มยผ. 1108-65

มาตรฐานงานก่อสร้างอาคาร
ด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป



กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2565

มยผ. 1108-65
มาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2565



มาตรฐานงานก่อสร้างอาคาร

ด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง
มาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ISBN 978-974-458-742-8
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558
โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
ถนนพระรามที่ 6 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

พิมพ์ที่: บริษัท ลายเส้น ครีเอชั่น จำกัด
98/12 หมู่ 1 ตำบลบางคูเวียง
อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2565
จำนวน 600 เล่ม

คำนำ

ปัจจุบันระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Pre-cast) ได้ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย ทั้งอาคารขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูง และอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้านเดี่ยวหรือบ้านแถว เนื่องด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบโครงสร้างหล่อในที่ (Cast-in-place) เป็นอย่างมาก สามารถควบคุมคุณภาพได้ดีด้วยการผลิตภายในโรงงาน สามารถลดมลพิษและวัสดุสูญเสียในระหว่างการก่อสร้าง และยังสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ในกรณีที่เป็นการก่อสร้างรูปแบบเดียวกันจำนวนมากๆ แต่เนื่องด้วยปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ชัดเจน จึงทำให้ผู้ประกอบการนำมาตรฐานของต่างประเทศหรือมาตรฐานของตนเองมาอ้างอิง ซึ่งมาตรฐานเหล่านั้นอาจไม่สอดคล้องกับลักษณะการทำงานก่อสร้างของประเทศไทยหรืออาจไม่เป็นไปตามหลักวิชาการ ส่งผลให้อาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปเกิดปัญหาภายหลังจากที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ และในบางกรณียังส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและเกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานอาคารดังกล่าว

กรมโยธาธิการและผังเมืองเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคารจึงได้จัดทำมาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป หรือ มยผ.1108-65 ขึ้นเพื่อให้การก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทยมีความปลอยภัยในการก่อสร้าง ตั้งแต่กระบวนการออกแบบ กระบวนการผลิต กระบวนการขนส่ง และขั้นตอนการก่อสร้างจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ของชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น จุดต่อฐานรากกับเสาตอม่อสำเร็จรูป จุดต่อเสาสำเร็จรูปและคานสำเร็จรูป หรือแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนคานสำเร็จรูป ไปจนถึงจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปในงานสถาปัตยกรรม และยังรวมถึงแนวทางการออกแบบเพื่อต้านทานแรงลมและแรงแผ่นดินไหวตามกฎหมายควบคุมอาคาร เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนมากขึ้น

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่า มาตรฐานฉบับนี้จะช่วยยกระดับและพัฒนาการก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้น รวมไปถึงส่งเสริมการใช้ระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐานในอุตสาหกรรมก่อสร้างมากขึ้นต่อไป



(นายพรพจน์ เพ็ญพาส)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

รายชื่อคณะที่ปรึกษาโครงการจ้างที่ปรึกษาเพื่อจัดทำ
มาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

หัวหน้าคณะทำงาน

รศ.เอนก ศิริพานิชกร

คณะทำงานหลัก

1. ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรกุล
2. รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์
3. ดร.ธีระวุฒิ มูฮำหมัด
4. รศ.ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล
5. ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมสิริกุล
6. รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์
7. ผศ.ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี
8. รศ.ดร.ชยานนท์ หรรษภิญโญ
9. ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

ที่ปรึกษาคณะทำงาน

1. คุณคมกฤช สุทธิไวยกิจ
2. ดร.วรศักดิ์ จักราปิยะนันท์
3. คุณเทอดธรรม ยอดพฤติการณ์
4. คุณสุเมธ เกียรติเมธา
5. คุณชาคริต ทีปกรสุขเกษม

คณะทำงานสนับสนุน

1. นางสาวชาลินี กระจ่างพจน์
2. นางสาวพิมชนก เปรมสมาน
3. นางสาวกมลนิตย์ หนูอุ่น
4. นางสาวธัญวรัตม์ สันติสุทธิกุล
5. นางสาวณัฏฐณิชา สกลอารีย์
6. นางสาวณัฐกมล เกิดจังหวัด
7. นางสาวแพนวลี เรืองอยู่
8. นางสาวกาญจนา นุ่นสวัสดิ์
9. นางสาวตีรณา อู่บัว

คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างที่ปรึกษา
สำหรับการจ้างที่ปรึกษาค่าใช้จ่ายในการจัดทำมาตรฐานความปลอดภัย
ของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ประธานกรรมการ

นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์
ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

นายนิเวศน์ ล้ำเลิศลักษณชัย
วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

นายวิบูลย์ ลีพัฒนากิจ
ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายพรชัย สังข์ศรี
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายทยากร จันทรางศุ
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและเลขานุการ

นายธนิต ใจสอาด
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางณัฏกานต์ แสงสุวรรณ
วิศวกรโยธาชำนาญการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายชานนท์ โตเบญจพร
วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ผู้ทรงคุณวุฒิโครงการจ้างที่ปรึกษาเพื่อจัดทำ
มาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

1. ศาสตราจารย์ ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม
2. รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจจวาณิชย์
4. นายอนุชิต เจริญศุภกุล

สารบัญ

ส่วนที่ 1 ทั่วไป **1**

1.1 ขอบเขต 1

1.2 ข้อกำหนดทั่วไปของอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 2

1.3 การพิจารณารับรองการคำนวณออกแบบหรือการก่อสร้างระบบพิเศษ 3

1.4 การทำเครื่องหมายและหมายเลขประจำชิ้นงาน 3

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์ **5**

2.1 นิยาม 5

2.2 สัญลักษณ์ 18

ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง **31**

3.1 ขอบเขต 31

3.2 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุประสาน 31

3.3 ข้อกำหนดสำหรับมวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต 31

3.4 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเสริมแรง 32

3.5 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเกราต์ มอร์ต้าร์ และ ดรายแพ็ค 33

3.6 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุบริเวณจุดเชื่อมต่อ 35

3.7 วัสดุอุดรอยต่อกันน้ำ 36

3.8 ข้อกำหนดในการเก็บรักษาวัสดุก่อสร้าง 36

ส่วนที่ 4 คุณภาพของคอนกรีต การผสม การเท และการบ่มคอนกรีต **37**

4.1 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต 37

4.2 ข้อควรพิจารณาในการเลือกส่วนผสมคอนกรีต 38

4.3 ส่วนผสมของคอนกรีต 38

4.4 การผสมคอนกรีต 42

4.5 การลำเลียงและการเทคอนกรีต 43

4.6 การทำให้คอนกรีตแน่นตัว 43

4.7 การบ่มคอนกรีต 43

4.8 การแต่งผิวคอนกรีต 44

4.9 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบ 44

4.10 การพิจารณาผลการทดสอบ 44

สารบัญ

ส่วนที่ 5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับความคงทน 45

5.1 สมบัติของคอนกรีตเมื่อพิจารณาเรื่องความคงทน 45

5.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบเมื่อพิจารณาด้านความคงทน 46

5.3 การออกแบบเมื่อพิจารณาการเกิดสนิม 49

5.4 การออกแบบเมื่อพิจารณาการหดตัว 49

5.5 การออกแบบเมื่อพิจารณาการกัดกร่อน 50

5.6 การซ่อมแซมและบำรุงรักษาเพื่อความคงทนของโครงสร้าง 51

ส่วนที่ 6 รายละเอียดของการเสริมเหล็ก 53

6.1 ขอบเขตของข้อกำหนด 53

6.2 ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม 53

6.3 ของอ เหล็กยึดขวาง และเส้นผ่านศูนย์ของโค้งการดัดเหล็กเสริม 54

6.4 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงของเหล็กเสริม 58

6.5 การต่อเหล็กเสริม 63

6.6 เหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำ 66

6.7 เหล็กเสริมตามขวาง 67

6.8 เหล็กเสริมต้านการยึดหด 72

6.9 ข้อกำหนดอื่น ๆ เกี่ยวกับเหล็กเสริม 73

ส่วนที่ 7 การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงสร้าง 75

7.1 ระบบโครงสร้างอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 75

7.2 การออกแบบเสมือนคอนกรีตหล่อในที่ 78

7.3 น้ำหนักบรรทุกและแรงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ 87

7.4 ระบบโครงสร้างแบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall Systems) 97

7.5 โครงสร้างอาคารโครงต้านทานโมเมนต์ (Moment-Resisting Building Frames) 100

7.6 การออกแบบไดอะแฟรมแผ่นพื้น (Diaphragm Design) 104

7.7 การออกแบบในขั้นตอนการผลิต ขนส่ง และ ติดตั้ง 108

7.8 การกระจายแรงระหว่างองค์อาคาร 112

7.9 ข้อกำหนดของอาคารที่คำนวณผลของการพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) 113

สารบัญ

ส่วนที่ 8 การคำนวณออกแบบองค์อาคาร **115**

8.1 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบแผ่นพื้น 115

8.2 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบคาน 120

8.3 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบเสา 139

8.4 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบผนัง 141

8.5 กำลังของหน้าตัดชิ้นส่วนคอนกรีต 147

8.6 แฟกเตอร์ลดกำลัง 156

8.7 มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต 158

ส่วนที่ 9 ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง **159**

9.1 ทั่วไป 159

9.2 ข้อกำหนดความเป็นบูรณภาพของโครงสร้างทั่วไป 159

9.3 ข้อกำหนดความเป็นบูรณภาพของโครงสร้างผนังรับน้ำหนักขนาดใหญ่ 161

9.4 โครงสร้างประกอบด้วยวัสดุหลากหลาย 162

ส่วนที่ 10 ข้อกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ **163**

10.1 ขอบเขต 163

10.2 จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 163

10.3 การเชื่อมต่อกับฐานราก 170

10.4 การถ่ายแรงเฉือนในแนวนอนของชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ 172

10.5 แป้นหูช้าง และเชิงยื่น 174

10.6 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อเหล็กเสริม 178

ส่วนที่ 11 การฝังยึดในคอนกรีต **181**

11.1 ทั่วไป 181

11.2 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ฝังก่อนเทคอนกรีต 182

11.3 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ฝังภายหลังเทคอนกรีต 182

11.4 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับตัวฝังยึดสำหรับยก ค้ำยัน และยึดชิ้นส่วน 183

11.5 ข้อกำหนดตัวฝังยึดสำหรับยกชิ้นส่วน 183

11.6 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ติดตั้งภายหลังสำหรับค้ำยัน 184

11.7 ข้อกำหนดตัวฝังยึดสำหรับจุดต่อและตัวฝังยึดสำหรับค้ำยัน 184

สารบัญ

ส่วนที่ 12 ข้อกำหนดการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 185

12.1 ทั่วไป 185

12.2 ข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 189

12.3 ข้อกำหนดความปลอดภัยในการผลิตและการกองเก็บ 191

12.4 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 198

ส่วนที่ 13 ข้อกำหนดการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 203

13.1 ทั่วไป 203

13.2 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 204

13.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 221

13.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 223

13.5 ค่าความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 231

13.6 ความเสียหายที่ยอมให้และการซ่อมแซม 235

ส่วนที่ 14 ข้อกำหนดด้านการป้องกันอัคคีภัย 241

14.1 ขอบเขต 241

14.2 ข้อกำหนดทั่วไป 241

14.3 ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม 242

14.4 ขนาดองค์อาคารขั้นต่ำและการเสริมเหล็ก 243

14.5 การป้องกันไฟของจุดต่อ 246

14.6 การทดสอบอัตราการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้าง 247

14.7 การคำนวณค่าอัตราการทนไฟ 247

14.8 รอยต่อระหว่างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป 247

ส่วนที่ 15 การประเมินกำลังของโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ 249

15.1 ขอบเขต 249

15.2 การศึกษาขั้นต้น 251

15.3 วิธีการประเมินวัสดุ 257

15.4 การประเมินสภาวะน้ำหนักบรรทุกและการเลือกวิธีการประเมิน 260

15.5 การประเมิน 263

สารบัญ

ส่วนที่ 16 คอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม **273**

16.1 บทนำ 273

16.2 ประเภทและการใช้งานของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม 273

16.3 การพิจารณาการออกแบบโครงสร้าง 280

16.4 จุดเชื่อมต่อ 289

บรรณานุกรม **293**

ภาคผนวก ก รูปแบบจุดเชื่อมต่อโครงข้อแข็งและผนังรับน้ำหนักบรรทุกแบกทาน **301**

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและจุดเชื่อมต่อ **321**

ภาคผนวก ค การออกแบบโดยวิธี Concrete Capacity Design (CCD) สำหรับการฝังยึดในคอนกรีต **333**

ภาคผนวก ง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งเสา และผนัง **371**

ภาคผนวก จ ตารางเปรียบเทียบสมการที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบ สำหรับการใช้หน่วยที่แตกต่างกัน **375**

ดัชนี **381**

ส่วนที่ 1 ทั่วไป

1.1 ขอบเขต

1.1.1 มาตรฐานฉบับนี้ได้ให้ข้อกำหนดความปลอดภัยในการออกแบบ การผลิต การกองเก็บ การขนส่งและการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารทั่วไป โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์แรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและจุดต่อ การออกแบบองค์อาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ การออกแบบจุดเชื่อมต่อขององค์อาคาร ข้อกำหนดเพื่อทำให้องค์อาคารมีความคงทน มีอัตราการทนไฟเพียงพอ และโครงสร้างอาคารมีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหว รวมถึงข้อกำหนดของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้ในงานสถาปัตยกรรมและข้อกำหนดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการผลิตและการติดตั้ง

1.1.2 มาตรฐานฉบับนี้ให้ใช้สำหรับอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทั้งที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง ซึ่งอาจใช้มวลรวมปกติหรือมวลรวมเบา และยังครอบคลุมไปถึงกรณีที่มีการใช้เส้นใยในส่วนผสมคอนกรีต ทั้งนี้ไม่ครอบคลุมชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จบางประเภท เช่น เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ ชิ้นส่วนโครงสร้างของสะพานและสาธารณูปโภคพื้นฐาน ท่อคอนกรีต รางระบายน้ำ เป็นต้น

1.1.3 มาตรฐานฉบับนี้ไม่ครอบคลุมชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้วัสดุประสานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ปูนซีเมนต์ เช่น จีโอพอลิเมอร์ หากวัสดุประสานอื่นใดได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ออกแบบจะต้องดำเนินการพิสูจน์ผ่านการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ และการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ามีค่าความปลอดภัยไม่น้อยไปกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้

1.1.4 มาตรฐานนี้ได้ระบุข้อกำหนดขั้นต่ำ หากมีเหตุผลหรือข้อบ่งชี้ว่าชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจำเป็นต้องมีสมรรถนะดีกว่าที่กำหนดในมาตรฐานนี้ วิศวกรที่รับผิดชอบในแต่ละส่วนจะต้องดำเนินการโดยใช้หลักทางวิชาการที่มีการศึกษาวิจัยและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรณีที่ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีการอ้างอิงไปยังข้อกำหนดในมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตหล่อสำเร็จ ให้ถือว่าข้อกำหนดในมาตรฐานนั้นเป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับมาตรฐานนี้

1.1.5 หากภายหลังกฎหมายควบคุมอาคารได้กำหนดหลักเกณฑ์ การออกแบบ การผลิต การกองเก็บ การขนส่งและการติดตั้งอาคารที่ทำจากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้ ให้ใช้หลักเกณฑ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวตามที่กำหนดไว้ในกฎหมายควบคุมอาคาร

1.2 ข้อกำหนดทั่วไปของอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

1.2.1 การออกแบบองค์อาคารและจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องคำนึงถึงการรับน้ำหนักและสภาพการยึดรั้งของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตั้งแต่เริ่มการผลิต การกองเก็บ การขนส่ง การติดตั้ง รวมถึงสภาพการใช้งานจริง

1.2.2 เมื่อองค์อาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จประกอบขึ้นเป็นระบบโครงสร้าง แรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกใช้งาน แรงลม แรงแผ่นดินไหว รวมถึงการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากแรง หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต้องถูกพิจารณาในการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ รวมถึงบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

1.2.3 ผู้ออกแบบต้องระบุและคำนึงถึงผลของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ขององค์อาคารที่ทำจากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและองค์อาคารอื่นที่เกี่ยวข้อง รวมถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบริเวณจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

1.2.4 แบบก่อสร้างอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทั้งที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และ/หรือคอนกรีตอัดแรง จะต้องแสดงรายละเอียดทางโครงสร้าง และรายการประกอบแบบ โดยต้องมีวิศวกรที่มีใบประกอบวิชาชีพ เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ลงนามรับรองแบบก่อสร้างนั้น โดยแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบต้องแสดงถึงข้อมูลดังต่อไปนี้

1.2.4.1 น้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ

1.2.4.2 กำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนดตามแต่ละส่วนขององโครงสร้างที่ได้คำนวณออกแบบไว้

1.2.4.3 กำลังดึงระบุ หรือชั้นคุณภาพของเหล็กเสริม และลวดอัดแรง

1.2.4.4 ขนาดและตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้าง และรายละเอียดการเสริมเหล็กทั้งหมด

1.2.4.5 กรณีที่เกิดการคืบ การหดตัว การเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากอุณหภูมิและสาเหตุอื่น ๆ ต้องมีข้อกำหนดสำหรับการเปลี่ยนแปลงมิติที่ยอมให้

1.2.4.6 ระยะยึดปลายของเหล็กเสริม ตำแหน่ง และความยาวของการต่อทาบเหล็ก

1.2.5 ต้องระบุประเภทและตำแหน่งของรอยต่อเชื่อม และข้อต่อทางกลของเหล็กเสริม ในรายการประกอบแบบและแบบก่อสร้าง นอกเหนือจากที่ระบุในข้อที่ 1.2.4 ดังต่อไปนี้

1.2.5.1 รายละเอียดการเสริมเหล็ก อุปกรณ์ที่ฝังในคอนกรีต อุปกรณ์สำหรับยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่จำเป็นในการรับแรงชั่วคราวที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย การกองเก็บ การขนส่งและการติดตั้ง

1.2.5.2 กำลังอัดคอนกรีตที่ต้องการในช่วงอายุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การขนส่ง การติดตั้งและการใช้งาน

1.2.6 รายการคำนวณออกแบบ หากใช้การวิเคราะห์และการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้ออกแบบต้องแสดงข้อมูลที่ใช้ สมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบ และแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างหรือองค์อาคาร พร้อมส่งผลที่ได้รับจากโปรแกรมแนบไปกับเอกสารการขออนุญาตก่อสร้างด้วย

1.3 การพิจารณารับรองการคำนวณออกแบบ หรือการก่อสร้างระบบพิเศษ

วิศวกรสามารถนำเสนอข้อมูลการออกแบบ การก่อสร้าง หรือการเลือกวัสดุก่อสร้างที่อยู่นอกเหนือขอบเขตของมาตรฐานฉบับนี้ได้ แต่ต้องแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ และการทดสอบที่แสดงค่าความปลอดภัยต่อการใช้งานอย่างเพียงพอ เป็นไปตามมาตรฐานนี้

1.4 การทำเครื่องหมายและหมายเลขประจำชิ้นงาน

1.4.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละชิ้นต้องมีสัญลักษณ์ เครื่องหมาย หรือฉลากหมายเลขประจำชิ้นงานติดตั้งในตำแหน่งที่เห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งประกอบไปด้วย

1.4.1.1 การระบุตำแหน่งและทิศทางการวางในโครงสร้างอาคาร

1.4.1.2 ผู้ผลิต วันที่ผลิต

1.4.1.3 น้ำหนักของชิ้นส่วน

1.4.1.4 หมายเลขประจำชิ้นงานจะต้องสอดคล้องกับแบบการติดตั้ง

1.4.2 สำหรับชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาเหมือนกันเป็นจำนวนมาก ผู้ผลิตสามารถลดข้อมูลในข้อที่ 1.4.1 ให้กระชับหรือใช้ฉลากของชุดการผลิตแทน

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

การเกาะเกี่ยวกัน (Interlock)	หมายถึง	การต่อประกอบระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีลักษณะซ้อนทับเกาะเกี่ยวกัน
การคืบ (Creep)	หมายถึง	การเพิ่มขึ้นของความเครียดภายใต้แรงกระทำที่คงค้างอยู่บนโครงสร้าง
การคืบเทียบเท่า (Equivalent creep)	หมายถึง	ผลของการคืบที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงในโครงสร้างโดยใช้หลักการของการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นระยะสั้น
การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Drift)	หมายถึง	การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างส่วนที่พิจารณา
การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story drift)	หมายถึง	การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างพื้นของชั้นถัดไปที่อยู่เหนือชั้นที่พิจารณาและชั้นที่พิจารณา
การเชื่อม (Welding)	หมายถึง	การต่อเหล็กโดยการทำให้เหล็กที่ต้องการต่อกันหลอมละลายติดกัน
การดึงก่อน (Pretensioning)	หมายถึง	วิธีของการอัดแรงที่มีการเสริมแรงอัดโดยการดึงลวดอัดแรงก่อนหล่อคอนกรีต
การดึงภายหลัง (Post-tensioning)	หมายถึง	วิธีของการอัดแรงที่มีการเสริมแรงอัดโดยการดึงลวดอัดแรงหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว
การต่อทาบเหล็ก (Lap splicing)	หมายถึง	การนำเหล็กเสริมสองเส้นมาทาบทับกันแล้วหล่อคอนกรีตหุ้มเพื่อถ่ายแรงจากเหล็กเส้นหนึ่งสู่เหล็กอีกเส้นหนึ่งผ่านคอนกรีตโดยรอบ
การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change)	หมายถึง	การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งอาจทำให้เกิดการรั้งในโครงสร้าง
การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (Equivalent volume change)	หมายถึง	ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงในโครงสร้าง โดยใช้หลักการของการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นระยะสั้น
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature change)	หมายถึง	การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การเปลี่ยนรูป (Deformation)	หมายถึง	การเปลี่ยนขนาดของโครงสร้างหรือส่วนของโครงสร้าง
การเปลี่ยนรูปตามแนวแกน (Axial deformation)	หมายถึง	การยืดหรือหดตามแนวแกนของโครงสร้างหรือส่วนของโครงสร้าง
การเปลี่ยนรูปตามแนวเฉือน (Shear deformation)	หมายถึง	การเปลี่ยนขนาดในแนวเฉือนของโครงสร้างหรือส่วนของโครงสร้าง
การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นระยะสั้น (Short—term elastic deformation)	หมายถึง	การเปลี่ยนขนาดของโครงสร้างหรือส่วนของโครงสร้างในระยะเวลาสั้นๆ ลักษณะแบบยืดหยุ่น
การฝัง (Embedment)	หมายถึง	ระยะฝังของเหล็กเสริมที่ฝังไว้เลยจากหน้าตัดวิกฤต
การพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive collapse)	หมายถึง	การพังทลายของโครงสร้างที่เริ่มเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งในโครงสร้างและมีผลทำให้เกิดการพังทลายในส่วนอื่นๆ ของโครงสร้างตามมาต่อเนื่องกันไป
การยกจากส่วนหน้า (Face lift)	หมายถึง	การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนหล่อสำเร็จโดยการยกขึ้นจากผิวด้านหน้าของชิ้นส่วน
การวิเคราะห์โครงระนาบ (Plane frame analysis)	หมายถึง	การวิเคราะห์โครงสร้างในลักษณะของโครงเฟรมแบบสองมิติ
การวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM analysis)	หมายถึง	การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method)
การวิเคราะห์เสมือนโครงสร้างแบบเส้น (Linear Analysis of Structure)	หมายถึง	การวิเคราะห์โครงสร้างโดยพิจารณาส่วนเสาคานเป็นลักษณะแบบเส้นตามแนวกึ่งกลางที่ไม่มีขนาด
การหดตัวคายน้ำ (Drying Shrinkage)	หมายถึง	การหดตัวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเนื่องจากการสูญเสียความชื้น
การหดตัวเทียบเท่า (Equivalent shortening)	หมายถึง	ค่าการหดตัวที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงในโครงสร้าง โดยใช้หลักการของการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นระยะสั้น
การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature shortening)	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

การออกแบบที่ไม่ทำเสมือนคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design)	หมายถึง	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จที่พิจารณาแตกต่างจากแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่
การออกแบบเสมือนเป็นคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Design)	หมายถึง	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยพิจารณาเหมือนเป็นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่
การอัดแรง (Prestressing)	หมายถึง	การทำให้คอนกรีตเกิดหน่วยแรงอัดโดยการทำให้เกิดแรงดึงในเหล็กอัดแรงที่พยายามหดตัว
กำลังที่ออกแบบ (Design strength)	หมายถึง	กำลังระบุที่คูณแฟกเตอร์ลดกำลัง ϕ
กำลังระบุ (Nominal strength)	หมายถึง	กำลังขององค์อาคารหรือของหน้าตัดขวางที่คำนวณได้ตามข้อกำหนดและสมมติฐานของวิธีการคำนวนออกแบบ
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (Compressive strength)	หมายถึง	หน่วยแรงสูงสุดเนื่องจากแรงอัดตามแกนยาวของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ที่สามารถต้านทานได้
ของอต้านแรงไหวสะเทือน (Seismic hook)	หมายถึง	ของอบนเหล็กลูกตั้ง ห่วง หรือเหล็กยึดขวาง โดยงอไม่น้อยกว่า 135 องศา ยกเว้นห่วงวงกลมจะต้องงอไม่น้อยกว่า 90 องศา ของอจะต้องมีส่วนปลายยื่นอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม แต่ไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร ของอจะต้องเสริมแรงตามยาวและส่วนปลายข้องอจะต้องยื่นเข้าไปด้านในของเหล็กลูกตั้งหรือห่วง
ครอบเสาและลูกฟัก (Column Covers and Mullions)	หมายถึง	ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับครอบเสา หรือใช้เป็นลูกฟัก เป็นการแสดงออกด้านสถาปัตยกรรมที่ก่อให้เกิดรูปร่างพิเศษ หรือเพิ่มความต้านทานต่อการทนไฟ
ความแข็งเกร็ง (Rigidity)	หมายถึง	ลักษณะความแข็งที่มีการเปลี่ยนรูปน้อยมาก หรือเป็นศูนย์
ความเครียด (Strain)	หมายถึง	อัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุเทียบกับขนาดตั้งต้น

ความเฉื่อยเชิงหมุน (Rotational inertia)	หมายถึง	สมบัติความเฉื่อยของวัตถุแข็งเกร็งในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงความเร่งเชิงมุมของการหมุนของวัตถุรอบแกนหมุน
ความชะลูด (Slenderness)	หมายถึง	ลักษณะของเสาที่มีขนาดหน้าตัดน้อยเมื่อเทียบกับความยาวเสา
ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง (Structural Integrity)	หมายถึง	ความมั่นคงเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของโครงสร้าง โดยการทำให้ระบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จมีการยึดโยงอย่างเพียงพอและมีความต่อเนื่องระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกในทิศทางต่าง ๆ ได้ โดยไม่เกิดการเสียรูปมากเกินไป จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างจะถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่าอายุของโครงสร้างที่ตั้งใจไว้และเพื่อลดความเสี่ยงต่อการวิบัติอย่างต่อเนื่องของชิ้นส่วนหรืออาคารทั้งหมดเนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นในบริเวณหนึ่งของอาคารจากน้ำหนักบรรทุก
ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity)	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงและเส้นทางการส่งถ่ายแรงอย่างฉับพลันของรูปทรงหรือน้ำหนัก
ความยาวระยะฝัง (Embedment length)	หมายถึง	ความยาวระยะฝังของเหล็กเสริมที่ฝังไว้เลยจากหน้าตัดวิกฤต
ความยาวระยะฝังพอ (Development length)	หมายถึง	ความยาวระยะฝังของเหล็กเสริมที่ต้องการ เพื่อทำให้เกิดกำลังต้านแรงดึงเพียงพอกับที่คำนวณออกแบบเหล็กเสริมที่หน้าตัดวิกฤต
ความลึกระยะฝังประสิทธิผล (Effective embedment depth)	หมายถึง	ระยะที่วัดจากขอบนอกสุดของคอนกรีตด้านรับแรงอัดไปยังจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง
คอนกรีต (Concrete)	หมายถึง	วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของวัสดุประสาน เช่น ซีเมนต์หรือซีเมนต์ผสมวัสดุพอซโซลาน เป็นต้น มวลรวมละเอียด เช่น ทราย เป็นต้น มวลรวมหยาบ เช่น หินหรือกรวด เป็นต้น และน้ำ โดยมีหรือไม่มีสารผสมเพิ่ม
คอนกรีตโครงสร้าง	หมายถึง	คอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก ซึ่งรวมถึงคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีมวลรวมเบาและมีความหนาแน่นสมดุลซึ่งอยู่ระหว่าง 1440 และ 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตมวลปกติ (Normal weight concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดสอดคล้องกับ ASTM C33 และมีความหนาแน่นมากกว่า 2160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตไม่อัดแรง (Nonprestressed concrete)	หมายถึง	คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีปริมาณเหล็กเสริมอย่างน้อยเท่ากับปริมาณขั้นต่ำของการเสริมที่ไม่มีการอัดแรง หรือสำหรับพื้นสองทางที่มีการเสริมแรงไม่น้อยกว่าปริมาณขั้นต่ำ
คอนกรีตล้วน (Plain concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่ไม่มีการเสริมด้วยวัสดุเสริมแรง
คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก (Steel fiber-reinforced concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีการเสริมเส้นใยเหล็ก โดยมีการกระจายตัวของเส้นใยอย่างต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต
คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมฝังภายใน โดยที่คอนกรีตและเหล็กเสริมทำงานร่วมกันในการต้านทานแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น
คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete)	หมายถึง	ชิ้นส่วนของคอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรงที่หล่อในสถานที่อื่นที่ไม่ใช่ตำแหน่งสุดท้ายในโครงสร้าง
คอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม (Architectural precast concrete)	หมายถึง	คอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีวัตถุประสงค์หลักสำหรับสถาปัตยกรรมของอาคาร โดยอาจมีรูปร่างพิเศษ และอาจมีการตกแต่งผิวด้วยวัสดุตกแต่งชนิดต่าง ๆ โดยที่ชิ้นส่วนนี้อาจเป็นหรือไม่เป็นส่วนหนึ่งของโครงอาคารก็ได้
คอนกรีตอัดแรง (Prestressed concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมอัดแรงฝังภายในที่ทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในคอนกรีตโดยมีขนาดและการกระจายของหน่วยแรงตามต้องการเพื่อที่จะหักล้างหรือลดหน่วยแรงอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุก
ค่าคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance)	หมายถึง	ระยะหรือขนาดที่ยอมให้การปฏิบัติงานคลาดเคลื่อนไปจากแบบก่อสร้างได้ เพื่อให้ต้นทุนในการควบคุมคุณภาพไม่สูงไป

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	หมายถึง	อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศเทียบกับปริมาณของไอน้ำอิ่มตัวที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน
คานต่อยึดควบ (Coupling beam)	หมายถึง	คานที่ยึดหรือเชื่อมกำแพงรับแรงเฉือนเข้าด้วยกัน ซึ่งทำหน้าที่ ส่งถ่ายแรงเฉือนเป็นหลัก และทำให้กำแพงโดยรวมมีกำลังต้านทานแรงด้านข้างได้มากขึ้น
โครงแกงแนงเหล็กหรือคอนกรีต (Steel or Concrete braced frame)	หมายถึง	โครงเหล็กถักหรือโครงคอนกรีตในแนวดิ่งเพื่อใช้เป็นระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง
โครงข้อแข็งต้านทานแรงดัด (Moment-Resisting Frame)	หมายถึง	โครงเสาคานที่มีจุดต่อแบบแข็งเกร็งสามารถต้านแรงด้านข้างโดยการดัดเป็นหลัก
จุดเชื่อมต่อ (Connection)	หมายถึง	จุดยึดต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มาต่อประสานกัน และมีการถ่ายส่งแรงแก่กัน
จุดเชื่อมต่อแบบเหนียว (Ductile connection)	หมายถึง	จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งถูกออกแบบให้วิบัติในลักษณะที่เกิดการคราก ของเหล็กส่งผลให้อาคารเคลื่อนตัวได้มากโดยจุดเชื่อมต่อไม่แตกหักเมื่อเกิดแผ่นดินไหว
จุดเชื่อมต่อแบบแห้ง (Dry connection)	หมายถึง	จุดเชื่อมต่อที่ไม่ใช้การเทคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่รอยต่อ
จุดดัดกลับ (Inflection point)	หมายถึง	ตำแหน่งในเสาหรือคานที่โมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์ (โมเมนต์เปลี่ยนค่าจากบวกเป็นลบหรือลบเป็นบวก) โดยการโก่งตัวจะเกิดการเปลี่ยนโค้งสลับทางกันที่จุดนี้
จุดรองรับแบบจุดหมุน (Pin support)	หมายถึง	จุดรองรับโครงสร้างที่ยอมให้หมุนได้แต่เคลื่อนที่ไม่ได้
จุดรองรับแบบยึดแน่น (Fixed support)	หมายถึง	จุดรองรับโครงสร้างที่สามารถต้านการเคลื่อนที่และการหมุนได้อย่างสมบูรณ์
จุดหมุน (Hinge)	หมายถึง	ตำแหน่งที่ค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ ทำให้เกิดจุดหมุน
ช่วงเสา (Bay)	หมายถึง	ช่วงระยะห่างระหว่างเสาข้างเคียงในชั้นเดียวกัน

ชิ้นส่วนคอนกรีตประกอบที่รับแรงดัด (Composite concrete flexural members)	หมายถึง	องค์อาคารคอนกรีตรับแรงดัดที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และ/หรือ ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อในที่โดยแยกกันหล่อแล้วต่อเข้าด้วยกัน โดยที่ทุกชิ้นส่วนทำหน้าที่เสมือนเป็นชิ้นเดียวกันในการรับน้ำหนักบรรทุก
ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่รับแรงแบกทาน (Non-bearing precast concrete)	หมายถึง	ชิ้นส่วนของคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกที่ส่งถ่ายมาจากชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น แต่ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนี้ต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลม แรงสั่นสะเทือน และแรงที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักของตัวชิ้นส่วนเองไปยังจุดรองรับ รวมถึงแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต ขนส่ง และติดตั้ง
ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบกล่อง (Precast concrete box element)	หมายถึง	ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีลักษณะเหมือนเป็นกล่องหรือวง
ชิ้นส่วนรูปกากบาท (Cruciform)	หมายถึง	ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่หล่อเสาและคานมาเป็นชิ้นเดียวกันลักษณะเป็นเหมือนรูปกากบาทเครื่องหมายบวก
ชิ้นส่วนรูปตัวทีคู่ (Double tee)	หมายถึง	ชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จหน้าตัดเป็นรูปตัวทีสองตัวติดกันเป็นคู่
ชุดการรวมแรง (Load combination)	หมายถึง	การรวมผลของน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ ที่กระทำต่อโครงสร้าง
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	หมายถึง	แผ่นพื้น แผ่นหลังคา หรือ ระบบการรั้งยึด ที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้างไปยังองค์อาคารแนวดิ่งในระบบต้านแรงด้านข้าง
ไดอะแฟรมแข็ง (Rigid diaphragm)	หมายถึง	ไดอะแฟรมที่มีความแข็งมากเมื่อเทียบกับระบบต้านทานแรงด้านข้างที่อยู่แนวดิ่ง เมื่อมีแรงด้านข้างเกิดขึ้น ไดอะเฟลมจะเคลื่อนที่เสมือนเป็นแผ่นๆ เดียว โดยแทบจะไม่มีการเสียรูปของไดอะแฟรม และทำให้ระบบต้านแรงด้านข้างแนวดิ่งเคลื่อนตัวในแนวราบไปด้วยกัน ซึ่งไดอะแฟรมทำหน้าที่กระจายแรงไปเข้าระบบต้านแรงด้านข้างระนาบต่างๆตามสัดส่วนของสติฟเนส

ไดอะแฟรมอ่อน (Flexible diaphragm)	หมายถึง	ไดอะแฟรมที่มีความอ่อนตัวเมื่อเทียบกับระบบต้านทานแรงด้านข้างที่อยู่แนวดิ่ง เมื่อมีแรงด้านข้างเกิดขึ้น มีการเสียรูปของไดอะแฟรม ทำให้การเคลื่อนที่ขององค์อาคารแนวดิ่งของระบบต้านทานด้านข้างไม่ถูกบังคับให้ไปด้วย แต่จะเป็นไปตามสติฟเนส และแรงในพื้นที่อิทธิพลตามแต่ละระนาบของระบบต้านทานด้านข้าง
ตัวต่อเหล็กเสริมเชิงกล (Mechanical coupler)	หมายถึง	ข้อต่อโลหะเชิงกล เช่น เพื่อให้ถ่ายแรงระหว่างกันใช้ทดแทนการต่อทาบเหล็ก
ตัวฝังยึด (Anchors)	หมายถึง	วัสดุหรืออุปกรณ์ที่ฝังในคอนกรีตเพื่อส่งผ่านแรงจากชิ้นส่วนต่างๆที่เชื่อมต่อกัน
ตัวยึดและตัวฝังสำหรับติดตั้งค้ำยัน (Ferrules)	หมายถึง	อุปกรณ์สำหรับช่วยในการติดตั้งค้ำยันโดยฝังยึดอยู่ในเนื้อคอนกรีต
ตัวอุดยาง (Rubber Plug)	หมายถึง	ยางสำหรับอุดเพื่อกันน้ำปูนเกราต์รั่ว
ตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity)	หมายถึง	ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงสติฟเนสของโครงสร้างซึ่งหากแรงด้านข้างกระทำผ่านจุดนี้จะเกิดการเคลื่อนที่โดยไม่หมุนรอบแกนดิ่ง
แถบรองแบกทาน (Bearing strip)	หมายถึง	แผ่นรองรับบริเวณปลายแผ่นพื้นที่วางทับบนผนัง
น้ำหนักบรรทุก (Load)	หมายถึง	แรงหรือการกระทำอื่น ๆ ที่เป็นผลมาจากน้ำหนักรวมของวัสดุอาคาร ผู้อยู่อาศัยและทรัพย์สิน ผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน และการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงมิติของอาคาร คือ น้ำหนักกระทำแบบถาวรเป็นน้ำหนักกระทำที่มีความแปรผันตามเวลาน้อย น้ำหนักกระทำอื่นทั้งหมดเป็นน้ำหนักกระทำที่แปรปรวน
น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load)	หมายถึง	น้ำหนักบรรทุกที่มีลักษณะคงที่ตายตัว ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของวัสดุโครงสร้างอาคารเป็นหลัก

น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)	หมายถึง	น้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนย้าย เคลื่อนที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา หรืออยู่ชั่วคราว
น้ำหนักบรรทุกที่คูณด้วยแฟกเตอร์ (Factored load)	หมายถึง	น้ำหนักบรรทุกที่คูณด้วยแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม
แบบจำลองค้ำยันและตัวยึด (Strut-and-Tie Model)	หมายถึง	แบบจำลองในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สมมติว่าองค์อาคารเสมือนเป็นโครงถักที่มีท่อนรับแรงอัดและท่อนรับแรงดึงในเนื้อของคอนกรีต
ปลอกเชิงกล (Mechanical splice)	หมายถึง	ปลอกเหล็กรูปทรงกระบอกปลายเปิดเพื่อสอดใส่เหล็กเสริม ช่องว่างภายในท่อจะทำการเกราต์โดยใช้วัสดุมอร์ต้าร์ที่มีกำลังสูงและมีการหดตัวน้อย โดยการกรอกหรืออัดฉีดเข้าไปในช่องว่าง ในกรณีที่ปลายปลอกด้านใดด้านหนึ่งมีเกลียวให้ใช้กับเหล็กเสริมที่มีเกลียว และปลายอีกด้านหนึ่งใช้การต่อเหล็กเสริมโดยการสอดใส่ในปลอกเหล็ก
ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่รับน้ำหนักแบกทาน (Precast concrete bearing wall)	หมายถึง	แผ่นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้รับน้ำหนักจากหลังคาหรือพื้น มีทั้งชิ้นส่วนแนวดิ่งและแนวนอน โดยชิ้นส่วนทางแนวนอนจะออกแบบเสมือนคาน ซึ่งการออกแบบต้องคำนึงถึงรอยแตกและความแข็งแรงทุกสภาวะแรงที่มากระทำ
ผนังเปลือกอาคาร (Façade)	หมายถึง	ผนังด้านนอกของอาคารใช้กันแดดและกันฝน
ผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall)	หมายถึง	ผนังที่ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้างที่ขนานกับระนาบของตัวกำแพง
ผนังรับแรงเฉือนคู่ควบ (Coupled Shear Walls)	หมายถึง	ผนังรับแรงเฉือนมากกว่าหนึ่งผืน ที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยคานยึดควบดูเสมือนเป็นผนังผืนใหญ่
ผลของ P-Delta (P-Delta effect)	หมายถึง	แรงเฉือนและแรงดัดเพิ่มเติมในองค์อาคารที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งย้ายตำแหน่งเยื้องออกจากแนวเดิมเนื่องจากโยกตัวทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร

แผงขอบ (Spandrel Panel)	หมายถึง	ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความสูงไม่เกินความสูงแต่ละชั้นของอาคารโดยติดตั้งอยู่บริเวณขอบนอกของอาคาร
แผงหน้าต่าง (Window Panels)	หมายถึง	ชิ้นส่วนแผงคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความยาวหนึ่งช่วงเสาและสูงไม่เกินหนึ่งชั้น โดยมีช่องเปิดสำหรับหน้าต่าง
แผ่นผนัง (Wall Panels)	หมายถึง	ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จใช้เป็นผนังรับน้ำหนักหรือผนังรับแรงเฉือนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการรับแรงทางด้านข้าง
แผ่นพื้นตัน (Precast slab)	หมายถึง	แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบทึบที่ไม่มีรูกลวงภายในแผ่นพื้น
แผ่นรอง (Base plate)	หมายถึง	แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นฐานรอง มักใช้ในการรองฐานเสา
แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุก (Load factor)	หมายถึง	ตัวประกอบที่ใช้ผลของน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ ในชุดการรวมแรง โดยคำนึงถึงโอกาสในการเกิดผลจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่เบี่ยงเบนจากสภาวะใช้งานปกติ
แฟกเตอร์แรงกระแทก (Impact factor)	หมายถึง	แฟกเตอร์สำหรับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการยกชิ้นส่วนหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ
แฟกเตอร์แรงดูด (Form suction factor)	หมายถึง	แฟกเตอร์สำหรับแรงต้านทานการยกชิ้นส่วนหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ อันเนื่องมาจากการดูดกันระหว่างผิวของแบบหล่อและผิวของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ
มวลรวม (Aggregate)	หมายถึง	วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดโตตั้งแต่ 0.0075 มิลลิเมตรขึ้นไป
มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)	หมายถึง	อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงต่อความเครียดที่สอดคล้องกันในช่วงที่วัสดุมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น
โมเมนต์พลิกคว่ำ (Overturning moment)	หมายถึง	โมเมนต์ที่พยายามจะทำให้วัตถุเกิดการพลิกคว่ำ
รอยต่อ (Joint)	หมายถึง	ส่วนของโครงสร้างทั่วไปที่ชิ้นส่วนมาชนกัน

รอยต่อควบคุม (Control joint)	หมายถึง	รอยต่อที่ทำขึ้นเพื่อควบคุมรอยแตกร้าวไม่ให้กระจายไปทั่วชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ แต่จะบังคับให้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่กำหนดไว้แทน
รอยต่อแบบเปียก (Grout joint)	หมายถึง	รอยต่อที่มีการเทปูนเกราต์หรือคอนกรีตลงในรอยต่อ
รอยต่อเผื่อขยาย (Expansion Joint)	หมายถึง	รอยต่อที่ทำขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายเทแรงระหว่างโครงสร้าง เช่นการขยายตัวของโครงสร้างเนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิซึ่งทำให้โครงสร้างขยายตัวมาชนกัน
รอยต่อเผื่อหดตัว (Contraction joint)	หมายถึง	รอยต่อควบคุมสำหรับรอยแตกร้าวในคอนกรีตชนิดที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตสูญเสียน้ำ ทำให้คอนกรีตหดตัวแล้วเกิดการแตกร้าวไปทั่ว
ระดับความยึดแน่น (Degree of Fixity)	หมายถึง	ระดับของความเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่น มีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่นที่ต้านโมเมนต์และการหมุนได้อย่างสมบูรณ์ และมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุนที่ไม่สามารถต้านโมเมนต์ได้
ระบบการยกชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Rigging system)	หมายถึง	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ประกอบด้วย ขอเกี่ยว ลวดสลิง สายเคเบิล แม่แรง เครน ฯลฯ
ระบบโครงสร้าง (Structural system)	หมายถึง	ชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกันถูกออกแบบมาเพื่อให้ตอบสนองความต้องการด้านประสิทธิภาพขั้นต่ำ
ระบบต้านแรงสะเทือน (Seismic-force-resisting system)	หมายถึง	ส่วนของโครงสร้างที่ถูกออกแบบให้ต้านทานผลแรงด้านข้าง เช่น แรงลม แผ่นดินไหวขั้น
ระยะโก่ง (Deflection)	หมายถึง	การแอ่นของโครงสร้างนอกระบบ วัดด้วยระยะของตำแหน่งที่เคลื่อนตัวไปจากตำแหน่งเดิม
ระยะขอบ (Edge distance)	หมายถึง	ระยะจากขอบของผิวหน้าคอนกรีตถึงกึ่งกลางสลักเกลียว
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Concrete cover)	หมายถึง	ระยะห่างระหว่างผิวนอกสุดของเหล็กเสริมกับผิวนอกสุดของคอนกรีต

แรงกระทำแบบจุด (Concentrated point load)	หมายถึง	แรงที่กระทำต่อโครงสร้างโดยพิจารณาเป็นแรงกระทำที่จุดเดียว
แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)	หมายถึง	แรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งฐานอาคาร ซึ่งเท่ากับแรงด้านข้างทั้งหมดที่มากระทำด้านบน
แรงเฉือนเสียดทาน (Shear-friction)	หมายถึง	ความต้านทานแรงเฉือนที่คำนวณด้วยหลักการของแรงเสียดทานระหว่างผิวที่สัมผัสกัน
แรงที่ขอบของไดอะแฟรม (Chord force)	หมายถึง	แรงภายในไดอะแฟรมบริเวณริมขอบของไดอะแฟรมที่ได้จากการพิจารณาไดอะแฟรมเป็นแบบคานลึกในแนวราบ
แรงนอกระนาบ (Out of plane)	หมายถึง	แรงที่กระทำในแนวนอกระนาบของโครงสร้าง ซึ่งทำให้โครงสร้างเกิดการแอ่นนอกระนาบ
แรงลม (Wind Load)	หมายถึง	แรงที่กระทำต่อโครงสร้างอันเป็นผลจากลม
ลวดตะแกรงเชื่อม (Welded-wire fabric)	หมายถึง	ลวดเหล็กกล้าเชื่อมติดกันด้วยไฟฟ้าเป็นตะแกรง ทำให้จุดตัดทุกจุดหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ผลิตจากลวดเหล็กรีดเย็น ทอติดกันเป็นผืน มีขนาดเส้นลวดต่าง ๆ
ลวดอัดแรง (Tendon)	หมายถึง	ในชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่มีการถูกดึงในภายหลัง ประกอบด้วย การฝังยึด และการหุ้มด้วยวัสดุเคลือบผิวสำหรับประเภทที่ไม่มีการยึดหน่วง หรือท่อที่มีการเติมด้วยวัสดุเกราต์จนเต็มสำหรับประเภทที่มีการยึดหน่วง
ลิ้น (Key)	หมายถึง	ลักษณะการต่อชิ้นส่วนเข้าด้วยกันโดยด้านหนึ่งทำเป็นร่องยาวประกบเข้ากับอีกด้านหนึ่งที่ทำยื่นไปสวมสอดกัน
สลักเกลียวยึดฝัง (Anchor bolt)	หมายถึง	สลักเกลียวที่ฝังในคอนกรีตเพื่อส่งผ่านแรงชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกันไปสู่คอนกรีต
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Coefficient of thermal expansion)	หมายถึง	ค่าความแตกต่างของความยาวหรือปริมาตรของวัตถุที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 องศา เมื่อเทียบกับความยาวหรือปริมาตรเริ่มต้น
สัมประสิทธิ์ยืดหยุ่น (Flexibility coefficient)	หมายถึง	การเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำ 1 หน่วย

สัมประสิทธิ์สติฟเนส (Stiffness coefficient)	หมายถึง	แรงที่ต้องใช้กระทำเพื่อทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่ 1 หน่วย
เส้นทางของแรง (Load path)	หมายถึง	แนวเส้นทางของแรงที่จะต้องส่งผ่านจากส่วนโครงสร้างหนึ่งไปยังส่วนโครงสร้างที่ต่อเนื่องกัน
เส้นทางของแรงในระนาบ (In-plane load path)	หมายถึง	เส้นทางของแรงที่ส่งผ่านในแนวระนาบของโครงสร้าง
เส้นทางส่งผ่านแรงทางเลือก (Alternative load path)	หมายถึง	แนวเส้นทางเพิ่มเติมของแรงที่สามารถส่งผ่านจากส่วนโครงสร้างหนึ่งไปยังส่วนโครงสร้างที่ต่อเนื่องกันได้ โดยหากสูญเสียเส้นทางหนึ่งไป ยังคงมีเส้นทางอื่นสามารถส่งผ่านแรงได้
เหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop)	หมายถึง	เหล็กปลอกแบบวงปิด หรือมีปลอกอย่างต่อเนื่องที่ทำให้เกิดพฤติกรรมโอบรัดคอนกรีตภายในวงรอบ โดยไม่เปิดตัวออกถึงแม้คอนกรีตเริ่มเกิดการแตกร้าว
เหล็กยึดตามขวาง (Crosstie)	หมายถึง	การเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องต้องมีของอสำหรับรับแรงสั่นสะเทือนที่ปลายด้านหนึ่งและต้องงอไม่น้อยกว่า 90 องศา มีส่วนปลายที่ยื่นอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ของอจะประกอบเข้ากับเหล็กเสริมตามยาว ของอ 90 องศา ของเหล็กยึดตามขวางต่อเนื่อง 2 อัน
เหล็กเสริมประกอบ (Component reinforcement)	หมายถึง	เหล็กเสริมที่ใช้ร่วมกับตัวฝังยึดเพื่อช่วยส่งผ่านแรงจากตัวฝังยึดไปสู่ชิ้นส่วนโครงสร้าง
องค์อาคารเชื่อม (Collector)	หมายถึง	องค์อาคารซึ่งทำหน้าที่รวบรวมและถ่ายแรงในแนวราบจากระบบโครงสร้างต้านแรงกลับเข้าสู่ไดอะแฟรม
อุปกรณ์ต่อเหล็กแบบปลอก (Sleeve connector)	หมายถึง	อุปกรณ์ต่อเหล็กแบบปลอกสวม ใช้เสริมการต่อทาบเหล็ก โดยการสวมเหล็กผ่านปลอกและอัดน้ำปูนเกราต์ช่วยลดระยะทาบเหล็กได้
เอกสารการก่อสร้าง (Construction documents)	หมายถึง	เอกสารแบบรูปรายการและข้อกำหนดที่เป็นลายลักษณ์อักษรเพื่ออธิบายตำแหน่ง การออกแบบ วัสดุ ที่กำหนดให้ใช้ และลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนของโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับการขออนุญาตก่อสร้างอาคาร

2.2 สัญลักษณ์

a	=	ช่วงระยะแรงเฉือน วัดจากตำแหน่งแรงกระทำถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม A_{sh} (ข้อที่ 8.2.10.1)
	=	ความลึกหน่วยแรงอัดเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมเทียบเท่า (ข้อที่ 8.5.1.2)
a_v	=	ความยาวช่วงเฉือน
A_0	=	พื้นที่หน้าตัดบนเส้นทางการเฉือนไหล
A_{0h}	=	พื้นที่บนหน้าตัดบริเวณที่ล้อมรอบด้วยแนวเหล็กลูกตั้งวงนอกสุด
A_1	=	พื้นที่ที่น้ำหนักกระทำ
A_2	=	พื้นที่ของฐานรองรับที่ใหญ่ที่สุดของลาดพีรามิดจากพื้นที่ที่แรงกระทำโดยมีความลาดเอียงแนวราบ 1 แนวดิ่ง 2
A_b	=	เนื้อที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่รับแรงดึงทั้งหมด
	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตที่ต้านทานแรงเฉือน
A_{cf}	=	พื้นที่หน้าตัดที่กว้างกว่าของแถบคานของพื้นทั้งสองทางที่ตัดกันบริเวณตำแหน่งเสา
A_{ch}	=	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชิ้นส่วนคอนกรีตวัดถึงขอบนอกของเหล็กเสริมทางขวาง
A_{cp}	=	พื้นที่โดยรอบตามขอบหน้าตัดคอนกรีต
A_{cr}	=	พื้นที่เฉือนเสียดทานแนวนอน
A_{ct}	=	พื้นที่หน้าตัดในส่วนระหว่างผิวแรงดึงและศูนย์กลางของหน้าตัดเต็ม
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตโดยรอบบริเวณความหนาเอวและความยาวในทิศทางของแรงเฉือน
A_f	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงดัด
A_g	=	พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตรับแรงดึงหักลบช่องเปิด
A_h	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนตรง
A_l	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงดัดของปีกยื่น
	=	เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวเพื่อต้านทานแรงบิด
A_n	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนเสียดทาน

A_{Na} = พื้นที่ผลกระทบของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มแบบใช้สารยึดเกาะที่มีรูปร่างเป็นฐานของรูปพีระมิดซึ่งฉายพื้นผิวผลกระทบด้านนอกเป็นระยะ c_{Na} จากแนวกลางของตัวฝังยึดหรือจากเส้นที่ผ่านแถวของตัวฝังยึดที่อยู่ติดกันในกรณีที่เป็นตัวฝังยึดกลุ่ม

A_{Nao} = พื้นที่ผลกระทบของตัวฝังยึดเดี่ยวที่มีระยะขอบมากกว่าหรือเท่ากับ c_{Na}

A_{Nc} = พื้นที่ฉายการวิบัติคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มที่มีรูปร่างเป็นฐานของรูปพีระมิดซึ่งเป็นผลมาจากการฉายพื้นผิวการวิบัติไปด้านนอกเป็นระยะ $1.5h_{ef}$

A_{Nco} = พื้นที่ภาพฉายการวิบัติของคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวที่มีระยะขอบมากกว่าหรือเท่ากับ $1.5h_{ef}$

A_{pd} = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตรวมท่อ แผ่นหุ้มลวด และลวดอัดแรงในเสา

A_{ps} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กอัดแรงในพื้นที่หน่วยแรงดึงดัด

A_{pt} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กอัดแรงในเสา

A_{sc} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงหลัก

A_s = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

$A_{se,N}$ = พื้นที่ตัดขวางประสิทธิภาพของตัวฝังยึดรับแรงดึง

$A_{se,V}$ = พื้นที่ตัดขวางประสิทธิภาพของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

A_{sh} = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมทางขวางรวมถึงเหล็กยึดขวาง ในช่วงของระยะเรียง s ในทิศทางที่ตั้งฉากกับขนาดหน้าตัดด้านที่ยาว b_c

$A_{s,\min}$ = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดัดขั้นต่ำ

A_{st} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมในเสา

A_t = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กลูกตั้ง 1 ขาในช่วงระยะ s เพื่อการต้านทานแรงบิด

A_{tr} = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมทางขวางทุกเส้นภายในระยะเรียง s ที่ตัดผ่านระนาบที่มีโอกาสผ่าแยกเหล็กเสริมที่ทำให้เกิดแรงโดยการฝัง

A_v = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนแนวทแยงส่วนปลายยื่น

= เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในช่วงระยะเรียง s

A_{vf} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนเสียดทาน

$A_{v,\min}$ = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนขั้นต่ำ

A_{Vc} = พื้นที่ฉายของพื้นผิวการวิบัติที่ด้านข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณขอบของมันสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือกลุ่มตัวฝังยึด

A_{Vco} = พื้นที่ฉายสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวในชิ้นส่วนหนากับระยะจากขอบที่มากกว่าหรือเท่ากับ $1.5c_{a1}$ ในทิศตั้งฉากกับแรงเฉือน

A_{wv} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงดัดนอกระนาบแนวดิ่ง

A_{wl} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงดัดนอกระนาบแนวนอน

b_0 = ความยาวตามแนวขอบของหน้าตัดวิกฤตรับแรงเฉือนสองทางของแผ่นพื้น

b = ความกว้างของเอวคาน

b_l = ความกว้างของปีกคานและเอวคาน

b_t = ความกว้างของพื้นที่รับแรงกดแบกทาน

b_w = ขนาดความกว้างของหน้าตัดบริเวณแผ่นเอว หรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางกรณีหน้าตัดกลม

B_n = กำลังแบกทานระบุที่ผิวสัมผัสระหว่างองค์อาคารที่รองรับและที่ถูกรองรับและระหว่างชิ้นส่วนที่ใช้แบกทานที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองนั้น

c_0 = ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด

$c_{a,\min}$ = ระยะขอบน้อยที่สุด

c_b = ระยะที่น้อยกว่าของ (ก) ระยะจากศูนย์กลางของเหล็กเส้นหรือลวดเหล็กไปยังผิวพื้นคอนกรีตที่อยู่ใกล้สุดและ (ข) ครึ่งหนึ่งของระยะเรียงวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กเส้นหรือลวดเหล็กที่ถูกพัฒนา

$c_{\min}$ = ระยะหุ้มเหล็กเสริมขั้นต่ำที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้คงทน สำหรับทุกสภาพสิ่งแวดล้อม

C = ค่าสัมประสิทธิการขยายตัวจากอุณหภูมิ

d_{agg} = ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ

d_e = เส้นผ่านศูนย์กลางระบุของเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรง

d_e = ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางแรงและปลายคาน

d_l = ความลึกของระยะเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดัด

d_w = ความลึกของเหล็กเสริม A_{wv} และ A_{wl} จากผิวนอกของคาน

e = ระยะเยื้องศูนย์

e'_N = ค่าความเยื้องศูนย์สำหรับตัวฝังยึด

E_c = มอดุลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

E_{ci} = มอดุลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตขณะกองเก็บ

E_p = มอดุลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง

E_s = มอดุลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

f'_{ci} = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตขณะทำการอัดแรง

f'_{cr} = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

f_p = หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในลวดอัดแรงเนื่องจากการกระทำของแรงที่คิดแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกแล้ว

f_{pc} = หน่วยแรงอัดเฉลี่ยหลังจากการสูญเสียที่ศูนย์กลางหน้าตัดคอนกรีต

f_{pe} = หน่วยแรงอัดประสิทธิผลในคอนกรีต (หักการเสื่อมแรงแล้ว) ที่ตำแหน่งผิวหน้าตัดเมื่อมีหน่วยแรงดึงที่เกิดจากแรงกระทำภายนอก

f_{ps} = หน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่กำลังต้านแรงดัดระบุของหน้าตัด

f_{pu} = กำลังดึงระบุของลวดอัดแรง

f_{py} = ค่ากำลังครากของเหล็กอัดแรง

f_{se} = หน่วยแรงประสิทธิผลในลวดอัดแรง (หักการเสื่อมแรงแล้ว)

f_{tl} = หน่วยแรงรวมทั้งหมดในชิ้นส่วน

f_r = มอดุลัสแตกหักของคอนกรีต

f_l = หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

f_t = หน่วยแรงดึง ที่คำนวณได้หลังการสูญเสียแรงดึงทั้งหมด

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม

f_{ys} = กำลังครากของเหล็กเสริมของเหล็กทางขวาง

f_{yt} = กำลังดึงครากของเสริมเหล็กในแนวนอน

F = ค่าแรง

g = ระยะยืดของสลักเกลียว

h = ความหนาหรือความสูงทั้งหมดของพื้นหรือคาน

= ความกว้างทั้งหมดของเสา

h_{ci} = ความสูงของเสาสมมติ

h_d = ความลึกของไดอะแฟรม

h_l = ความลึกของส่วนปีกยื่น

h_s = ความสูงของเสาชั้นที่พิจารณา

h_w = ความสูงจากขอบถึงขอบของผนัง

$H_{sup,d}$ = แรงกระทำบนผนังของฐานรากแบบเบ้าคอนกรีต

I_{bp} = โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นรอง (พิจารณาหน้าตัดด้านความหนา)

I_c = มอดุลัสยืดหยุ่นของเสาคอนกรีต

I_{ci} = โมเมนต์ความเฉื่อยของเสาสมมติ

I_{cr} = โมเมนต์ความเฉื่อยหน้าตัดแตกร้าว

I_e = โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล

I_f = โมเมนต์ความเฉื่อยของฐานราก

I_g = โมเมนต์เฉื่อยในหน้าตัดเต็มที่ไม่มีรอยร้าว

k = แฟกเตอร์ความยาวประสิทธิผล

k_s = สัมประสิทธิ์ของมอดุลัสแรงต้านทานของชั้นดิน

K = ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนส

K_b = สติฟเนสของการหมุนที่ฐานเสา

K_c = สติฟเนสของเสา

K_{ci} = สติฟเนสของเสาสมมติ

K_l = ค่าคงที่ในการออกแบบสำหรับการคำนวณการคืบและการหดตัวเทียบเท่า

K_t = ค่าคงที่ในการออกแบบสำหรับการคำนวณการหดตัวเทียบเท่าเนื่องจากผลของอุณหภูมิ

K_{tr} = การเสริมเหล็กตามระนาบรอยแยก

l = ความยาวช่วงของไดอะแฟรม

l_c = ความสูงของผนังวัดจากศูนย์กลางถึงจุดต่อผนัง

= โมเมนต์ความเฉื่อยของเสา

l_d = ระยะฝังสำหรับรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย ลวดเหล็กข้ออ้อย ตะแกรงลวดหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

l_{dc} = ระยะฝังสำหรับรับแรงอัดของเหล็กข้ออ้อย ลวดเหล็กข้ออ้อย ตะแกรงลวดหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

l_{emb} = ระยะฝังของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จในฐานรากแบบเบ้าคอนกรีต

l_f = โมเมนต์ความเฉื่อยของฐานราก

l_n = ความยาวช่วงว่างของชิ้นส่วน

l_t = ช่วงระยะขององค์อาคารที่ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

l_w = ความยาวในแนวราบทั้งหมดของกำแพง หรือส่วนของกำแพงในทิศทางของแรงเฉือน

l_{sc} = ระยะต่อทาบในบริเวณที่รับแรงอัด

l_{st} ระยะต่อทาบขั้นต่ำในบริเวณรับแรงดึง

m = แฟกเตอร์ปรับแก้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมอัดส่วนของปีกยื่นกับส่วนเอวคาน A_{sh}

M = ค่าโมเมนต์

M_a = โมเมนต์ในขณะใช้งาน

M_{cr} = โมเมนต์ในขณะที่เกิดรอยร้าว

M_n = กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุ

M_{nc} = โมเมนต์ดัดของคานเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองรวมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ก่อนการเกิดหน้าตัดเชิงประกอบ

M_{pr} = กำลังต้านโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของเสาที่อยู่ภายในระยะความสูงของชั้นที่พิจารณา (Probable Bending Moment Strength)

M_u = โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่คูณตัวปะกอบน้ำหนักบรรทุกแล้ว

n = จำนวนของรายการ เช่น การทดสอบกำลัง เหล็กเส้น ลวดเหล็ก อุปกรณ์สมอยึด สมอยึด หรือแขนของหมวกรับแรงเฉือน

N_a = กำลังยึดหน่วงระบุรับแรงดึงของตัวฝังยึดเดี่ยว

N_{ag} = กำลังยึดหน่วงระบุรับแรงดึงของกลุ่มตัวฝังยึดเดี่ยว

N_b = กำลังแตกหลุดพื้นฐานของคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวรับแรงดึงในคอนกรีตที่แตกร้าว

N_{ba} = กำลังยึดหน่วงพื้นฐานของตัวฝังยึดเดี่ยวแบบใช้สารยึดเกาะรับแรงดึงในคอนกรีตที่แตกร้าว

N_c = แรงดึงลัพธ์กระทำบนหน้าตัดคอนกรีตที่มีหน่วยแรงดึงเกิดจากผลรวมของน้ำหนักบรรทุกใช้งานและแรงอัดสุทธิประสิทธิผล

N_{cb} = กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตรับแรงดึงของตัวฝังยึดเดี่ยว

N_{cbg} = กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตรับแรงดึงของกลุ่มตัวฝังยึด

N_n = กำลังดึงระบุ

N_p = กำลังดึงหลุดของสลักเกลียวและแท่งเหล็กแบบมีหัว

N_{pn} = กำลังดึงหลุดระบุของตัวฝังยึดเดี่ยวแบบติดตั้งก่อน ตัวฝังยึดแบบขยายตัวติดตั้งภายหลังและแบบปลายตัดติดตั้งภายหลัง

N_{sa} = ค่ากำลังระบุของตัวฝังยึดในแรงดึงที่ควบคุมโดยเหล็ก

N_{sbg} = กำลังแตกออกด้านข้างระบุของคอนกรีต

N_u = แรงแนวราบจากการถ่ายแรงกด หรือ แรงแนวแกนบนผนัง

N_{uc} = ตัวประกอบแรงยึดรั้ง

$N_{uc,\max}$ = แรงยึดรั้งสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับแรงกดที่สามารถส่งถ่ายแรงตามเส้นทางของจุดเชื่อมต่อที่รับแรงกดคูณด้วยตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในน้ำหนักจรร่วมกับผลของแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ

p = แรงตามแนวแกนในเสา

p_{cp} = ระยะขอบนอกหน้าตัดคอนกรีต

p_h = ระยะเส้นรอบแนวกึ่งกลางของเหล็กลูกตั้งวงนอกสุด

P_e = แรงอัดประสิทธิผลโดยลวดอัดแรง

P_o = กำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกนตรงศูนย์

P_n = กำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกนระบุ

$P_{n,\max}$ = กำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกนสูงสุด

$P_{nt,\max}$ = กำลังแรงดึงตามแนวแกนสูงสุดของชิ้นส่วนอัดแรงและไม่อัดแรง

P_u = แรงแนวแกนเพิ่มค่าที่หน้าตัด เป็นค่าบวกเมื่อเป็นแรงอัด และลบเมื่อเป็นแรงดึง

RH = ความชื้นสัมพัทธ์

s	=	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางขั้นต่ำของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (ข้อที่ 6.2.3.1)
	=	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามขวาง (ข้อที่ 6.4.2..4)
	=	ระยะระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (ข้อที่ 8.2.8.1)
	=	ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งในคาน (ข้อที่ 8.5.5.2)
s_s	=	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่าง
S_b	=	มอดุลัสหน้าตัดในด้านท้องของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ
S_{bc}	=	มอดุลัสหน้าตัดในด้านท้องของหน้าตัดเชิงประกอบ
S_n	=	กำลังออกแบบระบุของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ
t	=	ความหนาพื้น
t_0	=	อายุของคอนกรีตเมื่อเริ่มเผชิญการแห้งที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับอุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส
t_{0c}	=	อายุของคอนกรีตเมื่อเริ่มเผชิญการแห้งที่ได้รับการปรับแก้เนื่องจากผลของอุณหภูมิ
t_c	=	อายุของคอนกรีตขณะเผชิญการแห้งที่ได้รับการปรับแก้เนื่องจากผลของอุณหภูมิ
t_e	=	ความหนาเทียบเท่าคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของพื้นหารด้วยความกว้างของแผ่นพื้น
t_r	=	อายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมของโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการ
t_s	=	ระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับอุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส
T	=	แรงดึงในเคเบิ้ล
$T_1,\ T_2$	=	อุณหภูมิข้างนอกและข้างในตามลำดับ
T_n	=	กำลังต้านทานแรงบิดระบุ
T_{th}	=	แรงบิดขั้นต่ำสำหรับการออกแบบ
T_u	=	แรงบิดเพิ่มค่าที่หน้าตัด
U	=	ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกตามชุดการรวมแรง
v_c	=	กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุของแผ่นพื้นแบบแรงเฉือนสองทิศทางโดยคอนกรีต

v_s = กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุในคอนกรีตเทียบเท่าเนื่องจากการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

v_{un} = หน่วยแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤตในแผ่นพื้นซึ่งถ่ายแรงแบบสองทิศทางที่คูณตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกแล้วโดยพิจารณาจากชุดการรวมแรงที่วิกฤตที่สุดเฉพาะที่มีแรงแผ่นดินไหว

V_b = ค่ากำลังแตกออกของคอนกรีตพื้นฐานสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว

V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุโดยคอนกรีต

V_{cb} = กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือนของตัวฝังยึดเดี่ยว

V_{cbg} = กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือนของกลุ่มตัวฝังยึด

V_{ci} = กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุโดยคอนกรีตที่เกิดการแตกร้าวแนวทแยงเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับแรงดัด

V_{cp} = กำลังงัดหลุดสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว

V_{cpg} = กำลังงัดหลุดสำหรับกลุ่มตัวฝังยึด

V_{cw} = กำลังตานทานแรงเฉือนระบุโดยคอนกรีตเมื่อมีการแตกร้าวแนวทแยงที่คาน

V_n = กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของหน้าตัด

= กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุที่จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

V_{nh} = กำลังเฉือนระบุตามแนวนอน

V_p = องค์ประกอบแนวดิ่งของแรงเนื่องจากการอัดแรงสุทธิที่หน้าตัดหนึ่งๆ

V_s = กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุในคอนกรีตเทียบเท่าเนื่องจากการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

V_{sa} = กำลังระบุของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

V_u = แรงเฉือนที่ปรับค่าแล้ว

V_{uh} = แฟกเตอร์แรงเฉือนแนวนอน

w = น้ำหนักของโครงสร้าง

w_c = ความหนาแน่นมวลของคอนกรีต

x_1 = ระยะจากขอบเสาถึงกึ่งกลางสลักเกลียว

x_2 = ระยะจากขอบเสาถึงจุดยึดเสากับแผ่นรอง

y_b = ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวด้านล่างของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

$y_{\max}$ = การโก่งตัวสูงสุดในขณะที่รับแรง

y_t = การโก่งตัวสูงสุดที่พิจารณาผลของเวลา

= ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวด้านบนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

α = สัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม (ข้อที่ 5.2.1)

= มุมที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กเสริมสำหรับแรงเสียดทานเฉือนกับระนาบเฉือน

= (ข้อที่ 10.2.3.5)

α_c = แฟกเตอร์ผลของสัดส่วน h_w / l_w ของผนัง

α_t = การต่างระดับความเครียดตามแนวความหนาของผนัง

β = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของพื้นที่กระทำของน้ำหนักบรรทุกเป็นจุด

β_1 = แฟกเตอร์ความลึกหน่วยแรงอัดเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมเทียบเท่า

β_d = อัตราส่วนสำหรับการพิจารณาการลดค่าสติฟเนสของเสาเนื่องจากผลของแรงคงค้างตามแนวแกน

γ = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น

γ_{ab} = ค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นของสลักเกลียวยึด

γ_b = ค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นของฐานเสา

γ_{bp} = ค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นของแผ่นรอง

γ_f = ค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและฐานรากแผ่

γ_t = ตัวประกอบสมการ

δ_c = การคืบ

δ_{ec} = การคืบเทียบเท่า

δ_{es} = การหดตัวเทียบเท่า

δ_{et} = การหดตัวเนื่องจากผลของอุณหภูมิเทียบเท่า

δ_s = การหดตัว

δ_t = การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ

Δ = ค่าการเสียรูปเทียบเท่า

$\Delta^{\uparrow}$ = การโก่งตัวขึ้นเริ่มต้นเนื่องจากการอัดแรง

$\Delta_{f\max}$ = ค่าการแอ่นสูงสุดที่วัดได้ในระหว่างการทดสอบครั้งที่สองเทียบกับตำแหน่งของโครงสร้าง ณ เวลาเริ่มต้นการทดสอบครั้งที่สอง

$\Delta_{r\max}$ = ค่าการแอ่นตกค้างที่วัดได้ของคาน พื้น หลังคา หรือแผ่นพื้น

$\Delta_{\max}$ = ค่าการแอ่นสูงสุดที่วัดได้ของคาน พื้น หลังคา หรือแผ่นพื้น

λ = แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา

λ_{Δ} = แฟกเตอร์ปรับเพิ่มค่าการแอ่นตัวในระยะยาว

λ_s = แฟกเตอร์ผลกระทบของขนาด

μ = สัมประสิทธิ์เสียดทานของแรงเฉือน

μ_e = สัมประสิทธิ์เสียดทานประสิทธิผลของแรงเฉือน

ξ = แฟกเตอร์ที่ขึ้นกับระยะเวลาภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง

ρ = อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อพื้นที่หน้าตัด bd

ρ' = อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด ต่อพื้นที่หน้าตัด bd

ρ_l = อัตราส่วนของเหล็กเสริมแนวตั้งของผนัง ต่อพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตที่มีการเสริมเหล็กแนวตั้งนั้น

ρ_s = อัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวต่อคอนกรีตที่ถูกกักโดยเหล็กปลอกเกลียวนั้นโดยวัดถึงขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

ρ_t = อัตราส่วนการเสริมเหล็กในแนวนอน

τ_{cr} = หน่วยแรงยึดหน่วง

ϕ = แฟกเตอร์ลดกำลัง / การหมุนของโครงสร้าง

ϕ_{ab} = การหมุนในส่วนของสลักเกลียวยึด

ϕ_b = การหมุนที่ฐานเสา

ϕ_{bp} = การหมุนในส่วนของแผ่นรอง

ϕ_f = การหมุนในส่วนของฐานราก

$\Psi_{c,N}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวในขณะใช้งาน

$\Psi_{c,P}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดที่ถูกวางในบริเวณซึ่งการวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวในขณะใช้งาน

$\Psi_{c,V}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวที่นำหนักบรรทุกใช้งาน

$\Psi_{cp,N}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตไม่มีการแตกร้าว

$\Psi_{cp,Na}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะสำหรับคอนกรีตที่ไม่แตกร้าวที่ไม่มีการเสริมกำลังเพิ่มเติมเพื่อควบคุมการแยกตัว

Ψ_{e} = พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับการเคลือบผิวเหล็กเสริม

$\Psi_{ec,Na}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดกลุ่มซึ่งรับแรงดึงเยื้องศูนย์

$\Psi_{ec,V}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้การเยื้องศูนย์สำหรับตัวฝังยึดกลุ่มซึ่งรับแรงเฉือน

$\Psi_{ed,N}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับผลกระทบของขอบสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มที่รับแรงดึง

$\Psi_{ed,V}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับผลกระทบของขอบสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มที่รับแรงเฉือน

Ψ_{g} = พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเหล็กเสริม

$\Psi_{h,V}$ = แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดที่วางในชิ้นส่วนคอนกรีต

Ψ_{s} = พารามิเตอร์ที่แสดงประสิทธิภาพจากการเสริมเหล็ก

Ψ_{t} = พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริม

ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง

3.1 ขอบเขต

3.1.1 การทดสอบสมบัติของวัสดุ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง กำลังเฉือน มอดุลัสยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซอง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐาน ASTM

3.1.2 ระเบียนการทดสอบทั้งหมดต้องมีการเก็บรักษาและเตรียมไว้ให้พร้อมเสมอ สำหรับการตรวจสอบในขณะที่ดำเนินการก่อสร้าง และหลังจากที่งานแล้วเสร็จเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 ปี

3.2 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุประสาน

3.2.1 วัสดุประสานให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

3.2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้เป็นไปตาม มอก.15 [77] หรือมาตรฐาน ASTM C150M [34]

3.2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ให้เป็นไปตาม มอก.849 [87]

3.2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากถลุงจากเตาถลุงแบบพ่นลม ให้เป็นไปตาม มอก.2587 [89] หรือมาตรฐาน ASTM C989 [46]

3.2.1.4 ปูนซีเมนต์ไฮโดรลิกให้เป็นไปตาม มอก.2594 [84] หรือมาตรฐาน ASTM C1157M [48]

3.2.1.5 เถ้าลอยจากถ่านหินให้เป็นไปตาม มอก.2135 [88] หรือมาตรฐาน ASTM C618 [39]

3.2.1.6 ซิลิก้าฟูม (Silica Fume) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1240 [50]

3.2.2 วัสดุประสานที่นำมาใช้ต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดในการเลือกส่วนผสมของคอนกรีต ตามข้อที่ 4.2

3.3 ข้อกำหนดสำหรับมวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต

3.3.1 มวลรวมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตทั้งที่เป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมีสมบัติและขนาดใหญ่สุดของมวล รวมเป็นไปตาม มยผ.1101 [64]

3.3.2 มวลรวมที่ใช้สำหรับองค์อาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องสะอาด แกร่งและทนทาน ต้องไม่มีสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคุณสมบัติคอนกรีตเจือปน และไม่มีคราบดินหรือฝุ่นละเอียดเกาะอยู่มากเกินไป จนเป็นเหตุให้การพัฒนากำลังเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ และการยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมเสียไป

3.3.3 ขนาดโตสุดของมวลรวมต้องไม่มากกว่า

(ก) 1/5 ของด้านในที่แคบที่สุดของแบบหล่อ

(ข) 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น

(ค) 2/3 ของระยะช่องว่างที่น้อยที่สุดระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด

หากมีวิธีการทำให้คอนกรีตแน่นตัวได้โดยจะไม่เกิดรูพรุนหรือโพรงขึ้นแล้วก็อาจจะผ่อนผันจากข้อกำหนดนี้ได้

3.4 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเสริมแรง

เหล็กเสริมที่สามารถนำมาใช้ในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จทั้งที่เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกและชิ้นส่วนทางสถาปัตยกรรม เช่น ลวดอัดแรง เหล็กข้ออ้อย เหล็กเส้นกลม ตะแกรงลวด เป็นต้น โดยมีข้อกำหนดของวัสดุเสริมแรง ดังนี้

3.4.1 ลวดอัดแรง (Prestressing Tendons)

3.4.1.1 ลวดอัดแรงที่ใช้ในชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง ได้แก่ ลวดกลมผิวเรียบ (Wires) ลวดเกลียว (Strands) หรือเหล็กเส้นที่มีกำลังสูง (High-Strength Bars)

3.4.1.2 กลุ่มลวดอัดแรงที่ใช้ในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นลวดเกลียวแบบเจ็ดเส้น (Seven-Wire Strands) ตาม มอก.420 [82] ในกรณีที่ต้องการใช้ลวดเกลียวแบบสองเส้น และสามเส้น (Two-Wire and Three-Wire Strands) ผู้ออกแบบและผู้ผลิตต้องพิจารณาข้อจำกัดการใช้งานตามที่ระบุในมาตรฐาน ASTM A910 [28]

3.4.2 เหล็กข้ออ้อย

3.4.2.1 สมบัติทางกลและค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเหล็กข้ออ้อยให้เป็นไปตาม มยผ.1103 [65] และสมบัติอื่นให้เป็นไปตาม มอก.24 [79]

3.4.2.2 เหล็กข้ออ้อยที่มีสัญลักษณ์ตัวนูน “T” ซึ่งเป็นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนให้มีสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก กำลังดึง ความยืดและการดัดโค้ง รวมถึงสมรรถนะในการต่อเหล็กเสริม และอัตราการทนไฟ เป็นไปตาม มอก.24 [79]

3.4.2.3 หน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กข้ออ้อยให้คำนวณจากค่าที่ต่ำกว่าระหว่าง (ก) กับ (ข) เมื่อ

(ก) หน่วยแรงที่เป็นจุดตัดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียด กับเส้นขนานกราฟในช่วงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น (Elastic) ที่ความเครียดร้อยละ 0.2

(ข) หน่วยแรงที่ตรงกับความเครียดร้อยละ 0.50 สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากระบุไม่เกิน 420 MPa และหน่วยแรงที่ตรงกับความเครียดร้อยละ 0.35 สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่ มีกำลังครากระบุเกินกว่า 420 MPa

3.4.2.4 การเชื่อมเหล็กเสริมให้เป็นไปตาม มยผ.1103 [65]

3.4.2.5 ลวดเหล็กและตะแกรงลวดที่เคลือบด้วยอิพ็อกซีให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A884M [27]

3.4.3 เหล็กเส้นกลม

สมบัติทางกลและค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเหล็กเส้นกลมให้เป็นไปตาม มยผ.1103 [65] และสมบัติอื่นให้เป็นไปตาม มอก.20 [78]

3.4.4 ตะแกรงลวดเหล็ก

3.4.4.1 สมบัติทางกลของตะแกรงลวดเหล็ก (Steel Wire Mesh) ให้เป็นไปตาม มอก.737 [83]

3.4.4.2 การเสริมตะแกรงลวดในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความบางให้ใช้ตะแกรงลวดที่ไม่ได้ผ่านการม้วนมาก่อน เนื่องจากตะแกรงลวดที่ม้วนมาแล้วไม่สามารถคืนรูปกลับไปในสภาพที่แบนราบได้ทั้งหมด

3.4.5 ตะแกรงลวดเส้นใยคาร์บอนและตะแกรงลวดเส้นใยแก้ว

การเสริมตะแกรงลวดเส้นใยคาร์บอนและตะแกรงลวดเส้นใยแก้วในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องได้รับคำแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตที่มีประสบการณ์ มีความเชี่ยวชาญ และมีผลการทดสอบที่เชื่อถือได้

3.4.6 เส้นใย

3.4.6.1 เส้นใยบางชนิดถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว แต่เส้นใยเหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการเสริมแรงของโครงสร้างได้ การนำเส้นใยเหล่านี้ไปใช้แทนตะแกรงลวดในส่วนของคอนกรีตทับหน้าที่ถูกออกแบบให้รับแรงดึงไม่สามารถทำได้

3.4.6.2 การนำเส้นใยเหล็กมาใช้เพิ่มสมรรถนะในการรับแรงดัด แรงอัด หรือแรงเฉือนของคอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318 [12] หรือมาตรฐานสากลอื่น ๆ และจะต้องดำเนินการทดสอบในสถาบันที่น่าเชื่อถือเพื่อพิสูจน์กำลังของโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้เส้นใยเหล็กเสริมกำลัง

3.5 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเกราต์ มอร์ต้าร์ และ ดรายแพ็ค

วัสดุเกราต์ มอร์ต้าร์ และดรายแพ็ค (Drypack) คือ ส่วนผสมของวัสดุประสาน ทราย และน้ำเหมือนกัน แต่มีความข้นเหลวที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปใช้เพื่อลดการกัดกร่อนในเหล็กเสริม เพื่อความสวยงาม และเพื่อใช้ในการถ่ายแรงผ่านจุดต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ วัสดุประสานที่ใช้ในส่วนผสมอาจเป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ยิปซัม เรซิ่น หรือวัสดุอื่น ๆ

ในการใช้วัสดุเพื่อทำการเกราต์ มีข้อควรพิจารณาดังนี้

(ก) ไม่ควรนำปูนก่อและปูนฉาบ (Masonry Mortar) มาใช้ในการเกราต์ (Grout) เนื่องจากมีกำลังที่ต่ำ

(ข) วัสดุที่ใช้ในการเกราต์จะต้องปราศจากคลอไรด์

(ค) วัสดุที่ใช้ในการเกราต์ต้องมีการควบคุมคุณภาพเช่นเดียวกับคอนกรีต โดยมีการเตรียมและทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 [33] (หรือ ASTM C39 [30] สำหรับคอนกรีต)

3.5.1 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเกราต์ที่เป็นปูนทราย

วัสดุเกราต์ที่เป็นปูนทรายมีส่วนผสมที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และน้ำ โดยปกติจะใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ส่วน ต่อทราย 2 ถึง 3 ส่วน และมีการผสมน้ำลงไปตามลักษณะการใช้งาน

3.5.1.1 การเกราต์เพื่อเติมเต็มช่องว่างที่มีเหล็กเสริมอยู่หนาแน่นและพื้นที่ที่ไม่มีการปิดล้อม ควรใช้วัสดุเกราต์ชนิดที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย (Flowable Grout) การทำงานอาจจะต้องมีการตั้งแบบบริเวณช่องว่างดังกล่าวก่อนที่จะเทวัสดุเกราต์ลงไป วัสดุเกราต์ชนิดที่ไหลเข้าแบบได้ง่ายจะมีสัดส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานในปริมาณที่สูง (โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 0.5) จึงมีกำลังอัดที่ต่ำและมีการหดตัวที่สูง มีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวระหว่างส่วนผสม ดังนั้นในการใช้งานอาจจะต้องมีการใส่สารผสมเพิ่มลงไป เช่น สารลดน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

3.5.1.2 การเกราต์เพื่อเติมเต็มช่องว่างในพื้นที่ที่มีการปิดล้อมและมีขนาดเล็ก โดยบริเวณรอบพื้นที่ปิดล้อมมีความแข็งแรงเพียงพอ เช่น ในท่อของข้อต่อเหล็กเชิงกล ควรใช้วัสดุเกราต์ที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่าวัสดุเกราต์ในข้อที่ 3.5.1.1 โดยทำการฉีดวัสดุเกราต์ด้วยแรงดันสูงเข้าไปในช่องว่างดังกล่าว ปริมาณน้ำที่น้อยลงจะเป็นการเพิ่มกำลังอัดและลดการหดตัว

3.5.1.3 การเกราต์บริเวณพื้นที่ที่ไม่มีการปิดล้อม เช่น รอยต่อระหว่างผนังกับผนัง หรือผนังกับพื้น ควรใช้มอร์ต้าร์ซึ่งเป็นวัสดุเกราต์ที่มีความหนืดสูงกว่าวัสดุเกราต์ในข้อที่ 3.5.1.1 มอร์ต้าร์จะมีกำลังอัดอยู่ในช่วง 21 ถึง 42 MPa และมีการหดตัวน้อยกว่าวัสดุเกราต์ในข้อที่ 3.5.1.1

3.5.1.4 การเกราต์บริเวณที่ต้องรับแรงสูง เช่น ที่ฐานของเสาระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตที่อยู่ด้านล่าง ควรใช้วัสดุดรายแพ็ค ซึ่งเป็นวัสดุเกราต์ที่มีกำลังรับแรงอัดและความหนืดที่สูงมาก การเกราต์โดยใช้วัสดุดรายแพ็คนี้ต้องใช้มือหรือเครื่องมือขนาดเล็กช่วยในการบดอัดให้แน่น

3.5.2 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเกราต์ชนิดไม่หดตัว

ปัญหาการหดตัวของวัสดุเกราต์สามารถแก้ไขได้โดยการใช้วัสดุเกราต์ชนิดไม่หดตัว (Non-shrink Grout) ซึ่งจะมีบริษัทเฉพาะรายเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่าย วัสดุประเภทนี้จะมีอัตราการขยายตัวในช่วงระหว่างการแข็งตัวเท่ากับอัตราการหดตัวซึ่งจะเกิดตามมาภายหลัง เนื่องจากวัสดุเกราต์ชนิดไม่หดตัวเป็นวัสดุที่ผลิตเพื่อการพาณิชย์ จึงไม่มีข้อมูลส่วนผสมและข้อมูลผลการวิจัยที่เปิดเผยสู่สาธารณชน การนำไปใช้จึงต้องเป็นไปตามที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้อย่างเคร่งครัด

3.5.3 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุเกราต์ประเภทอิพ็อกซีเกราต์ (Epoxy Grouts)

วัสดุเกราต์ประเภทอิพ็อกซีเกราต์เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของอิพ็อกซีเรซิน กับทรายอบแห้งหรือวัสดุเติมอื่น ๆ (Filler Material) เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการให้วัสดุเกราต์มีกำลังสูงมาก หรือต้องการให้มีการปรับปรุงกำลังในการยึดเกาะกับคอนกรีต สมบัติของอิพ็อกซีเกราต์มีความแตกต่างกันไปตามส่วนผสมที่ใช้ และมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากวัสดุเกราต์ในข้อที่ 3.5.1 เช่น การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุอิพ็อกซีเกราต์ อาจจะมากถึง 7 เท่าของวัสดุเกราต์ประเภทปูนทราย นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้วัสดุอิพ็อกซี ในกรณีที่มีการระบุว่าวัสดุนั้นต้องมีอัตราการทนไฟ การจะใช้วัสดุอิพ็อกซีเกราต์จึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์และผลการทดสอบ วิธีการทดสอบการใช้งานของวัสดุอิพ็อกซีเกราต์มีแนะนำอยู่ใน ACI 503R [18]

3.6 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุบริเวณจุดเชื่อมต่อ

3.6.1 โดยทั่วไปจุดเชื่อมต่อมักประกอบไปด้วย เหล็กที่ฝังมากับคอนกรีต เหล็กหน้าตัดมาตรฐาน แผ่นรับน้ำหนักบรรทุกแบกทาน สลักเกลียว เป็นต้น หรืออาจจะเป็นจุดเชื่อมต่อที่มีรูปแบบเฉพาะตามที่บริษัทผู้ผลิตทำออกมาจำหน่ายเชิงพาณิชย์

3.6.2 เหล็กหน้าตัดมาตรฐานที่ใช้ในจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ได้แก่ แผ่นเหล็ก เหล็กฉาก เหล็กหน้าตัดรูปตัวซี เหล็กกล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยม และเหล็กรูปพรรณปีกกว้างหรือเหล็กหน้าตัดรูปตัวไอ (Wide-flange หรือ H Section)

3.6.3 แผ่นรับแรงแบกทาน (Bearing Pad) มีหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกแบบกดและสามารถให้ตัวในแนวราบได้ มักจะประกอบไปด้วย วัสดุประเภทโลหะและวัสดุอื่น ๆ ที่มีความยืดหยุ่น

3.6.4 การใช้งานสลักเกลียวยึดสำหรับงานโครงสร้างให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

3.6.4.1 การใช้สลักเกลียวยึดจะมีการเจาะรูแผ่นเหล็กได้หลายแบบ ได้แก่ รูขนาดมาตรฐาน รูขนาดใหญ่พิเศษ และรูแบบเป็นร่อง สลักเกลียวที่ใช้โดยทั่วไปมี 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM A307 [22] ASTM A325 [23] และ ASTM A490 [25] ซึ่งมีกำลังรับแรงดึง 420 840 และ 1050 MPa ตามลำดับ สลักเกลียว A325 และ A490 เป็นสลักเกลียวที่มีกำลังรับแรงได้สูง สามารถขันให้เกิดแรงดึงก่อน (Pre-tension) ในสลักเกลียวได้ นอกจากนี้ยังมีสลักเกลียวยึดชั้นคุณภาพอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้เช่นกัน ได้แก่ สลักเกลียวยึดชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM A193 Grade B5 และ B7 [21] ซึ่งมีกำลังรับแรงดึง 700 และ 875 MPa ตามลำดับ

3.6.4.2 สลักเกลียวยึด (Anchor Bolts) ที่ฝังไว้ในฐานและชิ้นส่วนอื่น ๆ ให้มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM F1554 [52] ซึ่งมีหน่วยแรงที่จุดครากเท่ากับ 250 385 และ 725 MPa

3.7 วัสดุอุดรอยต่อกันน้ำ

วัสดุอุดรอยต่อกันน้ำจะนำมาใช้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น อากาศ ความร้อน และสิ่งสกปรกที่จะผ่านเข้ามาบริเวณจุดเชื่อมต่อ วัสดุอุดรอยต่อกันน้ำมีลักษณะ 4 ประการ คือ 1) สามารถยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุอื่น ๆ ได้ 2) สามารถรับแรงได้ในระดับหนึ่ง 3) มีความยืดหยุ่น และ 4) ทนต่อสภาวะแวดล้อม ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุอุดรอยต่อกันน้ำเพิ่มเติมมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C1193 [49] ส่วนข้อมูลการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุอุดรอยต่อกันน้ำมีอยู่ใน ACI 504R [19] และ ASTM C1193 [49]

3.7.1 แนวรอยต่อที่จะทำการอุด

3.7.1.1 แนวรอยต่อที่จะทำการอุดต้องได้รับการออกแบบและมีการเผื่อความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในช่วงของการติดตั้ง

3.7.1.2 วัสดุอุดรอยต่อ (Joint Sealant) ควรออกแบบให้มีความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 2 ต่อ 1 คือ มีความลึกเป็นครึ่งหนึ่งของความกว้างรอยต่อ ยกเว้นในกรณีที่รอยต่อกว้างกว่า 25 mm ความลึกของวัสดุอุดรอยต่อให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต

3.7.1.3 อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกที่เหมาะสมจะทำให้รอยต่อสามารถขยับได้และวัสดุอุดรอยต่อสามารถยึดติดกับผิวคอนกรีตได้ดี

3.7.2 การพิจารณาวัสดุอุดรอยต่อ

3.7.2.1 การวิบัติของวัสดุอุดรอยต่ออาจจะเป็นผลมาจากการวิบัติเนื่องจากการยึดเกาะระหว่างพื้นผิววัสดุหรือการวิบัติในเนื้อวัสดุ การวิบัติเนื่องจากการยึดเกาะระหว่างพื้นผิววัสดุอาจจะเป็นผลมาจากการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตที่ไม่ดี พื้นผิวอาจจะมีคราบน้ำมัน มีฝุ่นเกาะ ส่วนการวิบัติในเนื้อวัสดุอุดรอยต่อเนื่องจากการรับแรงอาจเป็นผลมาจากอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกที่ไม่เหมาะสม หรืออาจเป็นผลมาจากสัดส่วนผสมของวัสดุอุดรอยต่อเอง หรือมีจากการรบกวนวัสดุขณะที่มีการแข็งตัว

3.7.2.2 ในบริเวณมุมของอาคาร ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจมีการเคลื่อนตัวในทิศที่ตั้งฉากกันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างวัน จึงต้องใช้วัสดุอุดรอยต่อที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

3.8 ข้อกำหนดในการเก็บรักษาวัสดุก่อสร้าง

ต้องเก็บรักษาปูนซีเมนต์ มวลรวม เหล็กเสริม วัสดุเกราต์ และวัสดุอุดรอยต่อต่าง ๆ เป็นอย่างดี โดยป้องกันมิให้เสื่อมคุณภาพหรือมีสารอื่นเจือปน ห้ามนำวัสดุใดที่ชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพแล้วมาใช้ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นอันขาด ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กอัดแรงต้องพิจารณาผลกระทบต่อการคลายตัวของลวดอัดแรงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ขณะบ่มคอนกรีตด้วย โดยเฉพาะการบ่มด้วยความร้อน

ส่วนที่ 4 คุณภาพของคอนกรีต การผสม การเท และการบ่มคอนกรีต

4.1 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

4.1.1 กำลังอัดประลัยที่ต้องการ (f'_c) ของคอนกรีตใช้สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตในข้อที่ 4.3 และใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินผลการทดสอบตาม มยผ.1101 [64] คอนกรีตที่ผลิตสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจึงต้องมีค่าเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) มีค่าเป็นไปตามที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

(ข) มีค่าไม่น้อยกว่า 17 MPa ทั้งคอนกรีตมวลปกติและมวลเบา

4.1.2 แบบที่จะขออนุญาตหรือใช้ในการก่อสร้างต้องแสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ออกแบบส่วนต่าง ๆ ขององค์อาคารอย่างชัดเจน

4.1.3 การทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีต

4.1.3.1 กำลังอัดประลัย (f'_c) ของคอนกรีตให้ถือเอาผลการทดสอบของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดมาตรฐานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm และสูง 300 mm ตาม มอก.409 [81] มยผ.1208 [66] หรือมาตรฐาน ASTM C192 [35]

4.1.3.2 การเก็บตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อที่ 4.9 ของมาตรฐานนี้ และข้อที่ 5.8 ของ มยผ.1101 [64]

4.1.3.3 ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่นให้ถือผลการทดสอบที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์ สำหรับคอนกรีตที่พัฒนากำลังอัดเร็วหรือคอนกรีตที่สามารถรอการพัฒนากำลังภายหลังอายุ 28 วัน ได้นั้นให้ใช้เวลาตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนดประกอบแบบเป็นเกณฑ์

4.1.3.4 ผลการทดสอบกำลังดึงแยกผ่าซีกของคอนกรีตจะไม่ใช้เป็นเกณฑ์ในการยอมรับคุณภาพของคอนกรีตที่ผลิต

4.1.4 คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กให้มีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับคอนกรีตผสมเส้นใยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ในกรณีที่ยังไม่มีประกาศดังกล่าว คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1116M [47] โดยที่ค่ากำลังอัดประลัย (f'_c) ขั้นต่ำของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กให้เป็นไปตามข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2

4.2 ข้อควรพิจารณาในการเลือกส่วนผสมคอนกรีต

4.2.1 การเลือกใช้วัสดุและส่วนผสมต้องทำให้คอนกรีตที่ผลิตมีลักษณะดังต่อไปนี้

4.2.1.1 คอนกรีตมีความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีต และมีความสามารถในการเทได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลได้เต็มแบบและหุ้มเหล็กเสริมได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัวหรือคายน้ำมากเกินไป

4.2.1.2 คอนกรีตมีความทนทานต่อการใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในส่วนที่ 5 ของมาตรฐานนี้

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในส่วนผสมคอนกรีตให้กระทำอย่างสม่ำเสมอ

4.2.3 การกำหนดส่วนผสมคอนกรีตรวมทั้งอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) ให้เป็นไปตามข้อที่ 4.3 ของมาตรฐานนี้ ในกรณีที่ต้องการให้คอนกรีตมีความคงทน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) ต้องไม่สูงเกินกว่าที่ค่าที่ยอมให้ในข้อที่ 5.2.2.3 ของ มยผ.1101 [64]

4.2.4 การใช้สารผสมเพิ่ม

4.2.4.1 การใช้สารผสมเพิ่ม ได้แก่ แร่ผสมเพิ่มและสารเคมีผสมเพิ่ม ให้เป็นไปตามข้อที่ 4.5 และ 5.1.4 ของ มยผ.1101 [64]

4.2.4.2 การใช้สารผสมเพิ่มต้องได้รับอนุมัติจากวิศวกรหรือผู้ควบคุมงานทุกครั้ง สารผสมเพิ่มต้องไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมและไม่ทำให้คุณภาพของคอนกรีตลดลงตลอดการใช้งาน เช่นเดียวกับวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต และก่อนเริ่มโครงการควรมีการทดลองผสมจริง เพื่อดูผลกระทบที่จะเกิดขึ้นและนำเสนอต่อวิศวกรผู้รับผิดชอบก่อน

4.3 ส่วนผสมของคอนกรีต

คอนกรีตที่ผลิตขึ้นจากส่วนผสมที่เลือกมาต้องมีคุณลักษณะ ความแข็งแรง ความคงทน และสมบัติอื่น ๆ ตามที่มาตรฐานนี้กำหนด รวมทั้งต้องมีค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยที่ต้องการ (f'_c) เป็นไปตามที่ออกแบบไว้

ในกรณีที่ผู้ผลิตหรือฝ่ายการผลิตคอนกรีตมีข้อมูลผลการทดสอบกำลังอัดประลัยคอนกรีต และข้อมูลดังกล่าวเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

(ก) มีอายุไม่เกิน 12 เดือน

(ข) ได้มาจากการทดสอบที่ดำเนินการเป็นช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 60 วัน

(ค) ความแตกต่างของกำลังอัดประลัยที่ต้องการ (f'_c) ระหว่างคอนกรีตที่เก็บข้อมูลมาและคอนกรีตที่จะผลิตมีค่าไม่เกิน 7 MPa

ให้ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (s_s) และค่ากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ตามที่ระบุในข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ตามลำดับ

ในกรณีที่ผู้ผลิตหรือฝ่ายการผลิตคอนกรีตไม่มีข้อมูลผลการทดสอบคอนกรีต ค่ากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ให้เป็นไปตามข้อที่ 4.3.2.2

4.3.1 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย

4.3.1.1 ข้อมูลผลการทดสอบที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย (s_s) ต้องได้มาจากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้วัสดุเดียวกันและมีการควบคุมคุณภาพเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่ต้องการผลิต และเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

(ก) ข้อมูลได้มาจากการทดสอบคอนกรีต 1 กลุ่มที่ใช้ส่วนผสมเดียวกัน และทำการทดสอบต่อเนื่องกันอย่างน้อย 15 ตัวอย่าง

(ข) ข้อมูลได้มาจากการทดสอบคอนกรีต 2 กลุ่ม ซึ่งภายในแต่ละกลุ่มทำการทดสอบต่อเนื่องกัน โดยที่ในแต่ละกลุ่มมีจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง และตัวอย่าง 2 กลุ่มรวมกันมีจำนวนไม่น้อยกว่า 30 ตัวอย่าง

4.3.1.2 การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างคอนกรีต

(ก) กรณีที่ข้อมูลได้มาจากการทดสอบคอนกรีต 1 กลุ่ม ให้ใช้สมการทั่วไปทางสถิติในการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างคอนกรีต (s_s)

(ข) กรณีที่ข้อมูลได้มาจากการทดสอบคอนกรีต 2 กลุ่ม ให้ใช้สมการต่อไปนี้

$$s_s = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}} \qquad (4.1)$$

เมื่อ s_s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมสำหรับข้อมูลที่ได้มาจากการทดสอบคอนกรีต 2 กลุ่ม

s_1, s_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้มาจากการทดสอบคอนกรีตกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

n_1, n_2 = จำนวนตัวอย่างคอนกรีตของกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.3.2 กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

4.3.2.1 ให้ใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย (s_s) จากข้อที่ 4.3.1 และแฟกเตอร์ปรับเพิ่มค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k) สำหรับกรณีที่จำนวนตัวอย่างคอนกรีตน้อยกว่า 30 ตัวอย่างในตารางที่ 4.1 แทนค่าลงไปในสมการในตารางที่ 4.2 เพื่อคำนวณหากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) โดยเลือกค่าที่มากกว่าของกำลังอัดที่คำนวณได้จากสมการ 2 สมการมาใช้

ตารางที่ 4.1 แฟกเตอร์ปรับเพิ่มค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k) สำหรับกรณีที่จำนวนตัวอย่างคอนกรีตน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง

จำนวนตัวอย่าง ที่ทำการทดสอบ	**แฟกเตอร์ปรับเพิ่ม ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k)**
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

หมายเหตุ ในกรณีที่ต้องการคำนวณหาแฟกเตอร์ปรับเพิ่มค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k) สำหรับจำนวนตัวอย่างที่แตกต่างไปจากที่ระบุไว้ในตาราง ให้ใช้ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างค่าแฟกเตอร์ปรับเพิ่มค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k) กับจำนวนตัวอย่างในการคำนวณ

ตารางที่ 4.2 กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) สำหรับกรณีที่สามารถนำข้อมูลผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย (s_s) ได้

กำลังอัดประลัยที่ต้องการ (MPa)	**กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (MPa)**	
	ค่าที่มากกว่าระหว่าง	**สมการ**
$f'_c \le 35$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34k\,s_s$	(4.2)
	หรือ $f'_c = f'_c + 2.33k\,s_s - 500$	(4.3)
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34k\,s_s$	(4.2)
	หรือ $f'_{cr} = 0.90\,f'_c + 2.33k\,s_s$	(4.4)

4.3.2.2 ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลผลการทดสอบหรือข้อมูลผลการทดสอบไม่สามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย (s_s) ตามที่ระบุไว้ในข้อที่ 4.3.1.1 ได้ ให้คำนวณกำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) โดยใช้สมการในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) สำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลผลการทดสอบหรือข้อมูลผลการทดสอบไม่สามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดประลัย (s_s) ได้

กำลังอัดประลัยที่ต้องการ (MPa)	กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$ (4.5)
$21 \le f'_c \le 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$ (4.6)
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$ (4.7)

4.3.3 เอกสารข้อมูลกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีต

การจัดทำเอกสารที่แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของคอนกรีตที่เลือกมาใช้จะทำให้คอนกรีตที่ต้องการผลิตมีกำลังอัดประลัยเฉลี่ยไม่น้อยกว่ากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ต้องมีเอกสารข้อมูลกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ผลิตมาก่อนหน้านี้ หรือเอกสารข้อมูลของส่วนผสมของคอนกรีตที่ทดลองทำขึ้นในห้องปฏิบัติการอย่างน้อย 1 ชุด ประกอบอยู่ในเอกสารนี้ด้วย โดยข้อมูลดังกล่าวให้เป็นไปตามข้อกำหนดใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

4.3.3.1 ข้อมูลกำลังอัดประลัยของคอนกรีตจากการผลิต

(ก) ในกรณีที่ข้อมูลเป็นผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต 1 กลุ่มที่ได้ดำเนินการทดสอบต่อเนื่องกันอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง โดยคอนกรีตที่นำมาทดสอบใช้วัสดุและส่วนผสมเหมือนกันกับคอนกรีตที่ต้องการผลิต รวมทั้งอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน และการทดสอบมีช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 60 วัน กำลังอัดประลัยดังกล่าวต้องมีค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่ากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr})

(ข) ในกรณีที่ข้อมูลเป็นผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต 2 กลุ่มที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน ให้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัย ($\overline{x}$) กับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (*w/cm*) ของคอนกรีตแต่ละกลุ่ม จากกราฟดังกล่าว ให้ใช้กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ในการกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (*w/cm*)

4.3.3.2 ส่วนผสมของคอนกรีตที่ทดลองทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ

การกำหนดส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้องการผลิตจากส่วนผสมที่ทดลองทำขึ้นในห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) ใช้วัสดุที่มีลักษณะ คุณภาพ และสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ คำนวณกำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ตามที่ระบุในข้อที่ 4.3.2

(ค) ออกแบบส่วนผสมให้คอนกรีตมีกำลังอัดประลัยที่แตกต่างกัน อย่างน้อย 3 ส่วนผสม โดยมีกำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังอัดประลัยที่ออกแบบ

(ง) ออกแบบส่วนผสมให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวแตกต่างจากค่าการยุบตัวสูงสุดสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ ตามข้อที่ 5.8 ของ มยผ.1101 [64] ไม่เกิน ± 2.0 cm

(จ) หล่อและทำการบ่มตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 3 ตัวอย่าง สำหรับแต่ละอายุของคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ ตาม มอก.409 [81] หรือมาตรฐาน ASTM C192/C192M [35] จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M [30] ที่อายุ 28 วัน หรือตามที่มีการระบุไว้เป็นอย่างอื่น

(ฉ) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยกับส่วนผสมของคอนกรีต โดยกำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ต้องอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังอัดประลัยที่ทดสอบได้ จากกราฟดังกล่าว ให้ใช้กำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) ในการกำหนดส่วนผสมคอนกรีต ในกรณีที่ต้องการออกแบบส่วนผสมให้คอนกรีตมีความคงทน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) ต้องไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามข้อที่ 5.2 ของ มยผ.1101 [64]

4.3.4 การปรับส่วนผสมคอนกรีต

ในกรณีที่นำส่วนผสมไปใช้ในการผลิตคอนกรีต และมีการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ผลิตขึ้นอย่างน้อย 15 ตัวอย่างต่อเนื่องกัน ให้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s_s) ของกำลังอัดประลัยดังกล่าว จากนั้นทำการคำนวณหากำลังอัดประลัยสำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (f'_{cr}) อีกครั้ง และให้ปรับส่วนผสมคอนกรีตใหม่ได้ตามข้อมูลผลการทดสอบ โดยส่วนผสมคอนกรีตที่ปรับใหม่ต้องยังรักษาลักษณะ คุณภาพ ความแข็งแรง ความคงทน และสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีตให้เป็นไปตามที่มาตรฐานนี้กำหนด

4.4 การผสมคอนกรีต

4.4.1 การผสม การผลิต และการลำเลียงคอนกรีตผสมเสร็จให้เป็นไปตาม มอก.213 [80] หรือมาตรฐาน ASTM C94/94M [32] หรือมาตรฐาน ASTM C685/ C685M [40]

4.4.2 การผสมคอนกรีตในสถานที่ก่อสร้างให้เป็นไปตามข้อที่ 5.3 ของ มยผ.1101 [64] หรือมาตรฐาน ASTM C94/94M [32] หรือมาตรฐาน ASTM C685/ C685M [40]

4.4.3 คอนกรีตที่เหลือค้างในเครื่องผสมต้องเทออกให้หมดก่อนจะผสมครั้งใหม่ต่อไป

4.4.4 ในระหว่างที่มีอากาศร้อนจัด ให้ระมัดระวังเรื่องส่วนผสม การผลิต การลำเลียง การเท การดูแลรักษาตลอดจนการบ่ม เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตร้อนจัด หรือน้ำในคอนกรีตระเหยออกมากเกินไป ซึ่งจะทำให้สูญเสียกำลังที่ต้องการหรือความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือความคงทนขององค์อาคารหรือโครงสร้างได้

4.5 การลำเลียงและการเทคอนกรีต

4.5.1 การตรวจสอบแบบหล่อก่อนการเทคอนกรีต การลำเลียงคอนกรีต การเทคอนกรีต การหยุดเทคอนกรีต และการป้องกันบริเวณที่ทำการเทคอนกรีตขณะที่มีฝนตกให้เป็นไปตามข้อที่ 5.4 ของ มยผ.1101 [64] หรือมาตรฐาน ASTM C94/94M [32]

4.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการลำเลียงคอนกรีตต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ไม่ทำให้ส่วนผสมของคอนกรีตแยกตัวขณะที่มีการลำเลียง และไม่ทำให้คอนกรีตที่ลำเลียงเกิดการติดขัดจนทำให้การเทคอนกรีตขาดความต่อเนื่อง

4.5.3 ก่อนเทคอนกรีต ให้ทำความสะอาดเครื่องมือทุก ๆ ชิ้นที่ใช้ผสมคอนกรีต ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ขนถ่ายคอนกรีตต้องกำจัดสิ่งสกปรกทั้งหลายที่อยู่ในแบบออกให้หมด แบบที่เทคอนกรีตต้องทาผิวภายในด้วยน้ำมันหรือน้ำยาเคมีที่เหมาะสมเพื่อป้องกันคอนกรีตติดแบบ เหล็กเสริมต้องสะอาดและปราศจากสิ่งสกปรกเคลือบที่ผิว หากมีน้ำขังในบริเวณที่จะเทคอนกรีต ให้ขจัดน้ำที่ขังอยู่ออกให้หมด

4.5.4 การเทคอนกรีตใหม่ต่อจากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ขจัดฝ้าน้ำปูนและวัสดุที่ไม่แข็งแรงออกเสียก่อน

4.5.5 คอนกรีตที่ห้ามนำมาเท เว้นเสียแต่จะได้รับอนุญาตจากวิศวกรผู้ควบคุมการผลิต ได้แก่

(ก) คอนกรีตที่เริ่มแข็งตัวแล้วแม้เพียงบางส่วน

(ข) คอนกรีตที่มีวัสดุแปลกปลอม

(ค) คอนกรีตที่มีการปรับความข้นเหลวใหม่

(ง) คอนกรีตที่ผสมซ้ำหลังจากผ่านการก่อตัวครั้งแรกไปแล้ว

4.6 การทำให้คอนกรีตแน่นตัว

การทำให้คอนกรีตแน่นตัวโดยการใช้เครื่องสั่นให้เป็นไปตามข้อที่ 5.5 ของ มยผ.1101 [64]

4.7 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีตให้ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกันได้ตามข้อที่ 5.6 ของ มยผ.1101 [64]

4.8 การแต่งผิวคอนกรีต

การแต่งผิวคอนกรีตที่มีรูพรุนหรือขรุขระ และการฉาบปูนทับผิวหน้าคอนกรีตหลังการถอดแบบให้เป็นไปตามข้อที่ 5.7 ของ มยผ.1101 [64]

4.9 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบ

4.9.1 การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) ให้เป็นไปตาม มยผ.1209 [67] และให้ทำการทดสอบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) ของคอนกรีต หรือเมื่อผู้ควบคุมการผลิตเห็นว่าคอนกรีตมีความข้นหรือเหลวเกินไป โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อที่ 5.8.1 ของ มยผ.1101 [64]

4.9.2 การเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ผลิตขึ้นเพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพให้ดำเนินการต่อหน้าผู้ควบคุมการผลิต และให้เป็นไปตามข้อที่ 5.8.2 ถึง 5.8.4 ของ มยผ.1101 [64] และ มยผ.1208 [66]

4.10 การพิจารณาผลการทดสอบ

4.10.1 คอนกรีตที่หล่อแล้วจะยอมรับได้ก็ต่อเมื่อผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานเป็นไปตามข้อที่ 5.9 ของ มยผ.1101 [64]

4.10.2 กรณีที่ต้องการประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่เทไปแล้วโดยการทดสอบแบบไม่ทำลายให้อ้างอิงวิธีการทดสอบตาม มยผ.1502 [72] ถึง มยผ.1504 [73]

4.10.3 การทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานนั้นต้องดำเนินการโดยหน่วยงานตามที่ข้อที่ 5.9.4 ของ มยผ.1101 [64] กำหนด

ส่วนที่ 5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับความคงทน

5.1 สมบัติของคอนกรีตเมื่อพิจารณาเรื่องความคงทน

5.1.1 สมบัติของคอนกรีตในสถานะต่าง ๆ

สมบัติของคอนกรีตในสถานะต่าง ๆ ได้แก่ คอนกรีตสด คอนกรีตในสถานะพลาสติก คอนกรีตอายุต้น คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ให้เป็นไปตามข้อที่ 3.2 ของ มยผ.1332 [71]

5.1.2 คอนกรีตในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

ในการออกแบบทั้งโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จและคอนกรีตหล่อในที่ให้มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมที่โครงสร้างต้องเผชิญ ให้วิศวกรผู้ออกแบบคำนึงถึงความคงทนของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่สัมพันธ์กับลักษณะของงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อมตามตารางที่ 4 ของ มยผ.1101 [64] ด้วย

5.1.3 อายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมขั้นต่ำของ โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ในการออกแบบอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จให้มีความเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานและสภาพทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ให้ใช้ข้อแนะนำเกี่ยวกับอายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมขั้นต่ำสำหรับอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อที่ 3.4 ของ มยผ.1332 [71] หรือตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 อายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมขั้นต่ำของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามตารางที่ 2 ของ มยผ.1332 [71]

ประเภทของอาคาร	อายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมขั้นต่ำ (ปี)
1. อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารชุมนุมคน อาคารชุด โรงแรมที่มีห้องพักตั้งแต่ 80 ห้องขึ้นไป	20
2. อาคารสถานที่ราชการทุกประเภท	20
3. อาคารสำนักงาน โรงมหรสพ สถานบริการ โรงงาน สถานศึกษา โรงแรมที่มีห้องพักน้อยกว่า 80 ห้อง	20
4. อาคารเพื่อการพักอาศัยที่สร้างขึ้นสำหรับจำหน่าย เช่น หมู่บ้านจัดสรร อาคารพาณิชย์ เป็นต้น	20
5. อาคารที่เจ้าของสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการพักอาศัยเอง	ไม่กำหนด

หมายเหตุ ผู้ออกแบบและเจ้าของอาคารสามารถกำหนดให้อาคารมีอายุการใช้งานปลอดการซ่อมแซมมากกว่าที่แนะนำในตารางนี้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้อาคาร

5.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบเมื่อพิจารณาด้านความคงทน

5.2.1 ระยะหุ้มเหล็กเสริม

เพื่อให้คอนกรีตและเหล็กเสริม ซึ่งรวมไปถึงท่อเหล็ก และอุปกรณ์เชื่อมต่อที่เป็นเหล็กมีความคงทนต่อการเสื่อมสภาพจากสภาพแวดล้อม โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จจึงต้องมีระยะหุ้มเหล็กเสริม (c) ที่เพียงพอ ทั้งนี้ต้องไม่น้อยไปกว่าระยะหุ้มต่ำสุดที่มีการปรับแก้ ($c_{\min}$) ตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพื่อเพิ่มความคงทน โดยข้อที่ 5.10 ของ มยผ.1101 [64] กำหนดให้ปรับแก้ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุดโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$c_{\min} = \alpha \cdot c_o \tag{5.1}$$

โดยที่ α = ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม ตามที่แสดงในตารางที่ 5.2

c_o = ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด ตามที่แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม (α) ตามตารางที่ 12 ของ มยผ.1101-64 [64]

ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (*w/cm*)	**ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม (α)**
$w/cm > 0.65$ หรือคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพที่ดี	1.2
$0.45 < w/cm \leq 0.65$	1.0
$w/cm \leq 0.45$	0.8*

หมายเหตุ * ยกเว้นกรณีที่ระยะหุ้มเหล็กเสริมทั่วไปต่ำกว่า 20 mm หรือกรณีที่ต้องเผชิญสภาวะซัลเฟตตั้งแต่ระดับปานกลางขึ้นไป ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริมเท่ากับ 1.0

ตารางที่ 5.3 ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด (c_o) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามตารางที่ 14 ของ มยผ.1101 [64]

ประเภทของงานก่อสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด (mm)
(ก) คอนกรีตที่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน	
● ในแผ่นผนัง	
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 mm ขึ้นไป	40
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm และเล็กกว่า	20
● ในองค์อาคารชนิดอื่น	
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 mm ขึ้นไป	50
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 mm ถึง 36 mm	40
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm และเล็กกว่า	30
(ข) คอนกรีตที่ไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดดฝน	
● ในผนัง แผ่นพื้น และตง	
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 mm ขึ้นไป	35
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm และเล็กกว่า	15
● ในคาน และเสา	
– เหล็กเสริมหลัก เหล็กลูกตั้งในคาน	25
– เหล็กเสริมหลัก เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียวในเสา	30
● ในคอนกรีตเปลือกบางและแผ่นพื้นพับจีบ	
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 mm ขึ้นไป	20
– เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm และเล็กกว่า	15

ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด (c_o) สำหรับคอนกรีตหล่อในที่ที่ใช้ร่วมกับโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ และสำหรับคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการอัดแรงให้เป็นไปตามตามตารางที่ 13 และ 15 ตามลำดับ ของ มยผ.1101 [64]

ในกรณีที่เป็นโครงสร้างหลักของอาคารตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 [59] ระยะหุ้มเหล็กเสริมของโครงสร้างหลักของอาคารดังกล่าวเมื่อพิจารณาตามสมการที่ 5.1 และตารางที่ 5.3 ของมาตรฐานนี้ และตารางที่ 13 ของ มยผ.1101 [64] แล้วจะต้องไม่น้อยกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด (c_o) ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 15 ของ มยผ.1101 [64]

5.2.2 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุด

การป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและสารละลายโดยการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (*w/cm*) ไม่ให้มีค่าสูงเกินไปช่วยทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำ ส่งผลให้คอนกรีตมีความคงทน ดังนั้นจึงต้องควบคุมคอนกรีตที่ใช้หล่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งมีสภาวะแวดล้อมในการใช้งานแตกต่างกันให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (*w/cm*) ไม่สูงเกินกว่าที่ค่าที่ยอมให้ในข้อที่ 5.2.2.3 ของ มยผ.1101 [64]

5.2.3 ความกว้างของรอยแตกร้าวที่ยอมให้

รอยแตกร้าวที่มีความกว้างมากทำให้ความชื้นและสารละลายซึมผ่านเขาไปได้โดยง่าย เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม ทำให้องค์อาคารเสื่อมสภาพเร็วและมีอายุการใช้งานสั้น ดังนั้นจึงต้องควบคุมขนาดของรอยแตกร้าวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่ให้มีค่ามากไปกว่าความกว้างของรอยแตกร้าวที่ยอมให้ในข้อที่ 4.3 ของ มยผ.1332 [71] หรือตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ความกว้างของรอยแตกร้าวที่ยอมให้ ตามตารางที่ 7 ของ มยผ.1332 [71]

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	เหล็กเสริมทั่วไป (mm)	เหล็กเสริมอัดแรง (mm)
1. สภาวะทั่วไป	0.005 x c	0.004 x c
2. สภาวะเสี่ยงต่อการเกิดสนิมปานกลาง	0.004 x c	ห้ามมีรอยร้าว
3. สภาวะเสี่ยงต่อการเกิดสนิมรุนแรง	0.0035 x c	ห้ามมีรอยร้าว

หมายเหตุ

- หากระยะหุ้มเหล็กเสริม (c) เกิน 100 mm ให้ใช้ค่า 100 mm ในการคำนวณหาความกว้างรอยแตกร้าวที่มากที่สุด
- วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกกำหนดขนาดความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุดให้ต่ำกว่าค่าในตารางได้หากต้องการให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
- สภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมระดับปานกลาง ได้แก่ สภาพแวดล้อมคาร์บอเนชันที่เสี่ยงต่อคาร์บอเนชันรุนแรง หรือสภาพแวดล้อมคลอไรด์ที่อยู่ห่างจากชายฝั่งตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 m
- สภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมระดับรุนแรง ได้แก่ สภาพแวดล้อมคลอไรด์ที่อยู่ห่างจากชายฝั่งน้อยกว่า 100 m

5.2.4 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ยอมให้ในส่วนผสมคอนกรีต

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมปริมาณคลอไรด์ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต จึงต้องควบคุมปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีตซึ่งมาจากส่วนผสมแต่ละชนิดไม่ให้มีค่าสูงเกินกว่าปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ยอมให้ในข้อที่ 4.4 ของ มยผ.1332 [71]

5.3 การออกแบบเมื่อพิจารณาการเกิดสนิม

5.3.1 การเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์ในสิ่งแวดล้อมทะเล

เมื่อคลอไรด์จากสภาพแวดล้อมซึมเขาสู่คอนกรีต ณ ตำแหน่งเหล็กเสริมมากพอ จะทำให้เหล็กเสริมเริ่มเป็นสนิม ดังนั้นเพื่อให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ จึงต้องออกแบบให้คอนกรีตมีปริมาณคลอไรด์ ณ ตำแหน่งเหล็กเสริมไม่เกินค่าวิกฤติที่จะทำให้เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมได้ในช่วงอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซม ตามข้อที่ 5.1 ของ มยผ.1332 [71]

5.3.2 การเกิดสนิมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน

คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะแพร่เข้าไปในคอนกรีตและทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน ทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมลดลง ดังนั้นเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความคงทนต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน จึงต้องออกแบบให้คอนกรีตมีความลึกของคาร์บอเนชันในช่วงอายุการใช้งานที่ปลอดการซ่อมแซมน้อยกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริม ตามข้อที่ 5.2 ของ มยผ.1332 [71]

5.4 การออกแบบเมื่อพิจารณาการหดตัว

ค่าการหดตัวหมายถึงค่าความเครียดการหด ค่าการหดตัวรวม ณ เวลาใด ๆ เป็นผลรวมของการหดตัวแบบแห้งและการหดตัวแบบออโตจีนัส ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการในข้อที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ ของ มยผ.1332 [71]

ค่าการหดตัวแบบแห้งสุดท้ายของคอนกรีต (Ultimate Drying Shrinkage Strain) อาจกำหนดให้มีค่าตามตารางที่ 5.5 สำหรับคอนกรีตทั่วไปที่ไม่มีการเสริมเหล็ก และตามตารางที่ 5.6 สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมหลักประมาณร้อยละ 1

ตารางที่ 5.5 ค่าการหดตัวแบบแห้งสุดท้าย (Ultimate Drying Shrinkage Strain) ของคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็ก ตามตารางที่ 13 ของ มยผ.1332 [71]

สภาพแวดล้อม	**ค่าการหดตัวแบบแห้งสุดท้ายของคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กที่อายุต่าง ๆ ($\mu\varepsilon$ หรือ $\times10^{-6}$)**				
	น้อยกว่า 3 วัน	**4 – 7 วัน**	**28 วัน**	**3 เดือน**	**1 ปี**
ภายนอกอาคาร	400	350	230	200	120
ภายในอาคาร	730	620	380	260	130

หมายเหตุ อายุคอนกรีตเมื่อเริ่มสัมผัสกับอากาศหลังการบ่ม โดยปกติเท่ากับอายุคอนกรีตเมื่อเสร็จสิ้นการบ่ม

ค่าในตารางที่ 5.5 ใช้ได้ดีในกรณีของ

- คอนกรีตธรรมดาที่
  - ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน
  - มีกำลังอัดไม่เกิน 55 MPa (หรือไม่เกิน 70 MPa หากใช้การลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพื่อเพิ่มกำลังอัด)
  - มีปริมาณน้ำระหว่าง 160-180 kg ต่อคอนกรีต 1 m^3
  - มีปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่าง 350-400 kg ต่อคอนกรีต 1 m^3
- องค์อาคารที่มีอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศประมาณ 150 มม.

ข้อมูลในตารางที่ 5.5 ได้มาจากสภาวะของการทดสอบที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน ดังนี้

- ประมาณร้อยละ 65 กรณีภายนอกอาคาร
- ประมาณร้อยละ 40 กรณีภายในอาคารที่มีการปรับอากาศ
- ประมาณร้อยละ 50 กรณีภายในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ

ตารางที่ 5.6 ค่าการหดตัวแบบแห้งสุดท้าย (Ultimate Drying Shrinkage Strain) ของคอนกรีตเสริมเหล็กตามตารางที่ 14 ของ มยผ.1332 [71]

สภาพแวดล้อม	**ค่าการหดตัวแบบแห้งสุดท้ายของคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุต่างๆ ($\mu\varepsilon$ หรือ $\times10^{-6}$)**				
	น้อยกว่า 3 วัน	**4 – 7 วัน**	**28 วัน**	**3 เดือน**	**1 ปี**
ภายนอกอาคาร	340	290	180	160	120
ภายในอาคาร	620	520	310	210	120

หมายเหตุ อายุคอนกรีตเมื่อเริ่มสัมผัสกับอากาศหลังการบ่ม โดยปกติเท่ากับอายุคอนกรีตเมื่อเสร็จสิ้นการบ่ม

5.5 การออกแบบเมื่อพิจารณาการกัดกร่อน

5.5.1 การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟต

เพื่อให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อโซเดียมซัลเฟต ให้เลือกใช้วัสดุประสานและควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) สูงสุดให้สอดคล้องกับระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมตามข้อที่ 7.1 ของ มยผ.1332 [71]

5.5.2 การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

เพื่อให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อแมกนีเซียมซัลเฟต ให้เลือกใช้ปูนซีเมนต์และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) สูงสุดให้สอดคล้องกับระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมตามข้อที่ 7.2 ของ มยผ.1332 [71]

5.6 การซ่อมแซมและบำรุงรักษาเพื่อความคงทนของโครงสร้าง

ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเมื่อติดตั้งและใช้งานแล้วอาจต้องมีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่บริเวณหน้างานหากมีความเสียหายจากการติดตั้งหรือจากการใช้งานเกิดขึ้น ผู้ออกแบบการซ่อมแซมและบำรุงรักษาต้องวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นก่อน แล้วจึงทำการออกแบบและ เลือกวิธีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น เพื่อให้บริเวณที่ทำการซ่อมแซมและบำรุงรักษามีความคงทนถาวร และไม่ส่งผลกระทบต่อการถ่ายแรงและเสถียรภาพของโครงสร้าง สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมในการซ่อมแซมและและบำรุงรักษา รวมทั้งการประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างมีดังนี้

(ก) เงื่อนไขทางด้านสภาพแวดล้อมในระหว่างการติดตั้งและใช้งาน
(ข) ข้อกำหนดเกี่ยวกับการป้องกันไฟ
(ค) ข้อกำหนดเกี่ยวกับความสวยงามของอาคาร
(ง) ความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ซ่อมแซมและผลกระทบต่อการก่อสร้างที่อยู่ติดกัน
(จ) ข้อกำหนดและข้อจำกัดหากมีการเพิ่มจุดรองรับ
(ฉ) การทดสอบน้ำหนักบรรทุกเพื่อประเมินการซ่อมแซม (หากจำเป็น)
(ช) ข้อกำหนดของการออกแบบและการตรวจสอบ

5.6.1 การซ่อมแบบปะ (Patching)

5.6.1.1 แผ่นปะเป็นการแทนที่วัสดุคอนกรีตที่เสียหายหรือเสื่อมสภาพด้วยวัสดุประสานซีเมนต์ มีทั้งที่ใช้เป็นส่วนของโครงสร้างหรือเพื่อการตกแต่ง การปะโครงสร้างอาจใช้สำหรับส่งถ่ายน้ำหนักได้ ส่วนการปะเพื่อความสวยงามเกี่ยวกับรูปลักษณ์ภายนอกที่ปรากฏเท่านั้น การกะเทาะที่มีขนาดใหญ่ให้ซ่อมแซมด้วยการปะโครงสร้าง คอนกรีตที่มีรูพรุนไม่จำเป็นต้องมีการปะ หรือหากมีการปะ ก็ให้ดำเนินการเพียงเพื่อเป็นการตกแต่งผิวเท่านั้น

5.6.1.2 การเตรียมพื้นผิวสำหรับวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการปะให้เริ่มจากการสกัดคอนกรีตที่ไม่ได้ยึดติดแน่นออกจากบริเวณที่จะทำการปะก่อน ถ้าเป็นไปได้ขอบของการซ่อมแซมจะต้องเป็นเหลี่ยมและตั้งฉากกับผิวของโครงสร้างเดิม พื้นผิวต้องมีความขรุขระเพื่อให้วัสดุซ่อมแซมสามารถยึดเกาะกับผิวเดิมได้ ผิวบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมจะต้องสะอาด หยาบ และขรุขระ และให้ขจัดคราบต่าง ๆ ที่อยู่บริเวณเหล็กเสริม

5.6.1.3 ในการใช้อุปกรณ์ยึดเชิงกล (Mechanical Anchorage) ร่วมกับการยึดเหนี่ยวของวัสดุ โดยปกติแล้วพื้นผิวคอนกรีตต้องแห้ง (ในกรณีที่ใช้สารยึดเกาะอิพ็อกซีหรือแผ่นปะที่เป็นปูนทราย คอนกรีตต้องไม่มีความชื้นอยู่เลย) การใช้สารยึดเกาะให้ทำการทาให้ทั่วทั้งบริเวณเพื่อการยึดเกาะที่มีประสิทธิภาพและเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ

5.6.2 การซ่อมรอยแตกร้าว

5.6.2.1 ไม่จำเป็นต้องทำการซ่อมแซมรอยแตกร้าวเสมอไป ในบางกรณี อาจทำการปิดรอยแตกร้าวด้วยวัสดุตกแต่งแทนการซ่อมแซมได้ ก่อนที่จะเริ่มทำการซ่อมแซม ให้วิเคราะห์หาสาเหตุของการแตกร้าวในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จก่อน เมื่อต้องซ่อมรอยแตกร้าวด้วยอิพ็อกซี ให้เลือกใช้ด้วยอิพ็อกซีที่มีความหนืดต่ำ

5.6.2.2 รอยแตกที่จะทำการซ่อมแซมต้องสะอาด ปราศจากน้ำมันจารบีและฝุ่นละออง หากบริเวณรอยแตกร้าวมีความชื้น ให้เลือกใช้อิพ็อกซีที่เหมาะสำหรับความชื้น และต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต ความกว้างต้องมากกว่า 0.13 mm และความลึกต้องมากกว่า 100 mm เพื่อให้อิพ็อกซีสามารถเทเข้าได้

5.6.3 การซ่อมแซมรอยต่อและจุดเชื่อมต่อ

รอยต่อและจุดเชื่อมต่อที่ต้องมีการซ่อมแซมหรือดัดแปลงด้วยเหตุผลต่าง ๆ เช่น มีข้อผิดพลาดของตำแหน่ง มีปัญหาด้านความคงทน มีความเสียหายหรือไม่เตรียมการทำรอยต่อและจุดเชื่อมต่อไว้ล่วงหน้า ในการซ่อมแซมรอยต่อและจุดเชื่อมต่อ ให้เริ่มจากการตรวจสอบรอยต่อและจุดเชื่อมต่อ พิจารณาการเยื้องศูนย์ของการรับน้ำหนัก และเลือกวิธีการซ่อมแซมรอยต่อและจุดเชื่อมต่อที่เหมาะสม รวมทั้งพิจารณาดำเนินการขั้นตอนต่อไปนี้

(ก) ปรับขนาดของรอยเชื่อมบนวัสดุเชื่อมต่อเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการเชื่อมต่อ ในกรณีที่แผ่นเหล็กฝังอยู่ไม่ตรงแนว

(ข) เพิ่มขนาดของวัสดุเชื่อมต่อ

(ค) เพิ่มการเสริมแรงในแผ่นเสริมกำลังเพื่อแทนที่การเชื่อมต่อที่ไม่เพียงพอ

(ง) เพิ่มสลักเกลียวหรือเพิ่มจุดยึดสำหรับติดตั้งภายหลังด้วยวัสดุเชื่อมต่อที่เหมาะสม

(จ) ติดตั้งรอยต่อและจุดเชื่อมต่อใหม่เพิ่มเติมในบริเวณที่ใกล้เคียงกับจุดที่ต้องการซ่อมแซม

(ฉ) ใช้อิพ็อกซีด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะในบริเวณที่อาจได้รับความร้อนจากการเชื่อมเหล็ก รวมทั้งปรึกษากับผู้ผลิตอิพ็อกซีและดำเนินการตามที่ได้รับคำแนะนำอย่างเคร่งครัด

ส่วนที่ 6 รายละเอียดของการเสริมเหล็ก

6.1 ขอบเขตของข้อกำหนด

ข้อกำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดของการเสริมเหล็กในส่วนนี้ประกอบด้วย

(ก) ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

(ข) ของอมาตรฐาน (Standard Hook) ของอรับแรงไหวสะเทือน (Seismic Hook) เหล็กยึดขวาง (Crosstie)

(ค) ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงของเหล็กเสริม (Development of Reinforcement)

(ง) การต่อเหล็กเสริม (Splice)

(จ) เหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำ (Bundle Reinforcement)

(ฉ) เหล็กเสริมตามขวาง (Transverse Reinforcement)

6.2 ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

6.2.1 ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม (Clear Spacing) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.2.1.1 ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม (Clear Spacing) ในแนวระนาบของแต่ละชั้นต้องไม่น้อยกว่า

(ก) 25 mm

(ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d_b)

(ค) 4/3 เท่าของขนาดใหญ่สุดที่ระบุของมวลรวม (d_{agg})

6.2.1.2 ในกรณีที่มีเหล็กเสริมมากกว่าหนึ่งชั้น ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมชั้นบนและชั้นล่าง (Clear Spacing) ต้องไม่น้อยกว่า 25 mm

6.2.2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นองค์อาคารรับแรงอัด ได้แก่ เสา แขนค้ำยัน (Strut) บริเวณใกล้ขอบของผนัง (Boundary Element in Wall) เช่น ผนังรับน้ำหนัก หรือผนังรับแรงเฉือน ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมตามยาว (Clear Spacing) ต้องไม่น้อยกว่า

(ก) 40 mm

(ข) 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d_b)

(ค) 4/3 เท่าของขนาดใหญ่สุดที่ระบุของมวลรวม (d_{agg})

6.2.3 ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดก่อน (Pretension) ระยะระหว่างจุดศูนย์กลาง (Center-to-Center Spacing) ของเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.2.3.1 เหล็กเสริมอัดแรงประเภทลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Strand) ต้องมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดไม่น้อยกว่า

(ก) ระยะ s ในตารางที่ 6.1

(ข) ระยะที่คำนวณได้จากผลรวมของ 4/3 เท่าของขนาดใหญ่สุดที่ระบุของมวลรวม (d_{agg}) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (d_b)

ตารางที่ 6.1 ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางขั้นต่ำของเหล็กเสริมอัดแรงประเภทลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Pretensioned Strand) ที่ปลายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

f'_{ci} (MPa)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (d_b)	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางขั้นต่ำของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (s)
< 28 MPa	ทุกขนาด	$4\,d_b$
≥ 28 MPa	< 12.7 mm ($^1/_2$ in)	$4\,d_b$
	12.7 mm ($^1/_2$ in)	45 mm ($1^3/_4$ in)
	15.2 mm (0.6 in)	50 mm (2 in)

6.2.3.2 เหล็กเสริมอัดแรงประเภทลวดเหล็กกล้า (Wire) ต้องมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดไม่น้อยกว่า

(ก) 5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้า (d_b)

(ข) ระยะที่คำนวณได้จากผลรวมของ 4/3 เท่าของขนาดใหญ่สุดที่ระบุของมวลรวม (d_{agg}) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้า (d_b)

6.2.4 ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นคอนกรีตอัดแรง สามารถลดระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงตามแนวดิ่งที่อยู่ในบริเวณช่วงกลางของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้

6.3 ของอ เหล็กยึดขวาง และเส้นผ่านศูนย์ของโค้งการดัดเหล็กเสริม

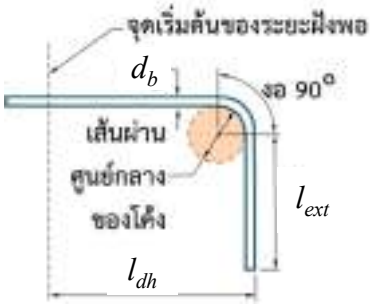
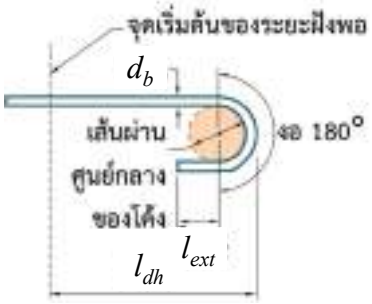
6.3.1 ของอมาตรฐานสำหรับเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กเส้นกลมให้เป็นไปตามข้อที่ 5.3.4.1 ของ มยผ.1103-64 [65] ดังนี้

(ก) ของอมุมฉากหรือของอ 90 องศา ให้ใช้กับเหล็กเส้นกลมขนาดตั้งแต่ 15 mm ขึ้นไป ความยาวของปลายที่ยื่นออกจากโค้งการดัดต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d_b)

(ข) ของอรูปครึ่งวงกลมหรือของอ 180 องศา ให้ใช้กับเหล็กเส้นกลมที่มีขนาดเล็กกว่า 15 mm ความยาวของปลายที่ยื่นออกจากโค้งการดัดต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d_b) และไม่น้อยกว่า 60 mm

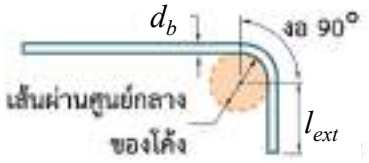
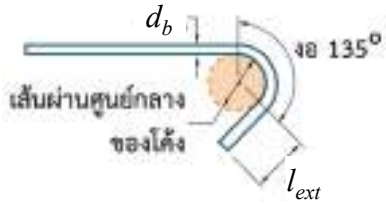
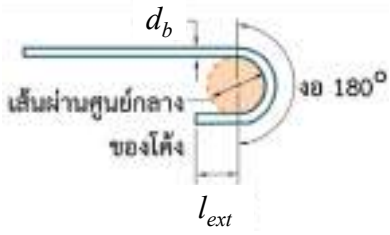
6.3.2 ของอมาตรฐานสำหรับเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กข้ออ้อยและรับแรงดึงให้เป็นไปตามตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 รูปทรงของของอมาตรฐานสำหรับเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กข้ออ้อยและรับแรงดึง

มุมของของอ (องศา)	ขนาดของเหล็กเสริม (d_b)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขั้นต่ำของโค้งการดัด	ความยาวของปลายที่ยื่นออกจากโค้งการดัด (l_{ext})	รูปแบบของของอ
90	6 ถึง 25 mm	$6\,d_b$	$12\,d_b$	
	28 ถึง 36 mm	$8\,d_b$		
	40 mm	$10\,d_b$		
180	6 ถึง 25 mm	$6\,d_b$	ค่าที่มากกว่าระหว่าง • $4\,d_b$ • 60 mm	
	28 ถึง 36 mm	$8\,d_b$		
	40 mm	$10\,d_b$		

6.3.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขั้นต่ำของโค้งการดัดและของอมาตรฐานสำหรับเหล็กเสริมตามขวาง (Transverse Reinforcement) ได้แก่ เหล็กลูกตั้งในคาน (Stirrup) เหล็กปลอกเดี่ยว (Tie) และเหล็กปลอกเกลียว (Spiral) ในเสา ให้เป็นไปตามตารางที่ 6.3 โดยให้ของอมาตรฐานของเหล็กเสริมตามขวางเหล่านี้ยึดอยู่ด้านนอกของเหล็กเสริมตามยาว (Longitudinal Reinforcement)

ตารางที่ 6.3 รูปทรงของของอมาตรฐานสำหรับเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกเดี่ยว

มุมของของอ (องศา)	ขนาดของเหล็กเสริม (d_b)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขั้นต่ำของโค้งการดัด	ความยาวของปลายที่ยื่นออกจากโค้งการดัด (l_{ext})	รูปแบบของของอ
90	6 ถึง 15 mm	$4\,d_b$	ค่าที่มากกว่าระหว่าง • $6\,d_b$ • 75 mm	
	19 ถึง 25 mm	$6\,d_b$	$12\,d_b$	
135	6 ถึง 15 mm	$4\,d_b$	ค่าที่มากกว่าระหว่าง • $6\,d_b$ • 75 mm	
	19 ถึง 25 mm	$6\,d_b$		
180	6 ถึง 15 mm	$4\,d_b$	ค่าที่มากกว่าระหว่าง • $4\,d_b$ • 65 mm	
	19 ถึง 25 mm	$6\,d_b$		

6.3.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของโค้งการดัดสำหรับตะแกรงลวด (Welded Wire) ที่นำมาใช้เป็นเหล็กลูกตั้งในคาน (Stirrup) หรือเหล็กปลอกเดี่ยว (Tie) ในเสาต้องไม่น้อยกว่า

(ก) 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด (d_b) สำหรับลวดที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 7 mm

(ข) 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด (d_b) สำหรับลวดที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 7 mm

6.3.5 ของอสำหรับรับแรงไหวสะเทือน (Seismic Hook) ของเหล็กลูกตั้ง เหล็กปลอกเดี่ยว และเหล็กยึดตามขวางสำหรับอาคารที่ก่อสร้างในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงว่าด้วยการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 [60] ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1301/1302 [68] และข้อกำหนดต่อไปนี้

6.3.5.1 สำหรับเหล็กปลอกรูปวงกลม (Circular Hoop) ให้งอปลายเป็นมุมฉากหรือทำมุมอย่างน้อย 90 องศา และสำหรับเหล็กปลอกเดี่ยวแบบอื่น ๆ ให้งอปลายทำมุมอย่างน้อย 135 องศา

6.3.5.2 ของอต้องถูกยึดติดกับเหล็กเสริมตามยาว และบริเวณปลายของของอต้องอยู่ด้านในของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก

6.3.6 เหล็กยึดขวาง (Crosstie) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.3.6.1 เหล็กยึดขวาง (Crosstie) ต้องเป็นเหล็กเสริมที่มีความยาวต่อเนื่องกันจากปลายข้างหนึ่งถึงปลายอีกข้างหนึ่ง

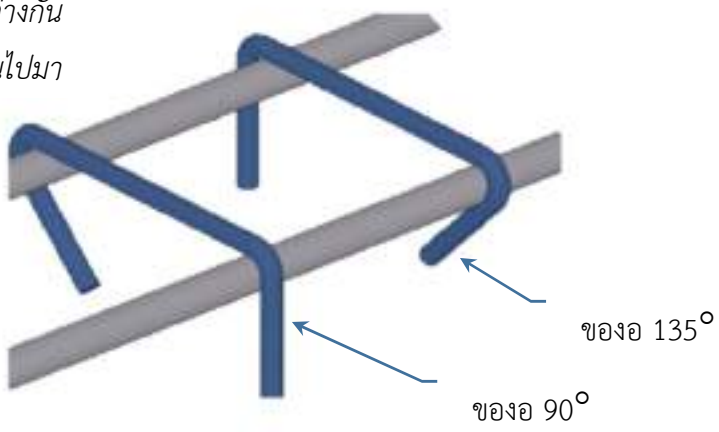
6.3.6.2 ของอที่ปลายข้างหนึ่งต้องเป็นของอสำหรับรับแรงไหวสะเทือน (Seismic Hook)

6.3.6.3 ของอที่ปลายอีกข้างหนึ่งต้องเป็นของอมาตรฐานที่เป็นมุมฉากหรือทำมุมอย่างน้อย 90 องศา

6.3.6.4 ของอต้องถูกยึดติดกับเหล็กเสริมตามยาว

6.3.6.5 ให้จัดวางเหล็กยึดขวาง (Crosstie) ที่มีของอตามข้อที่ 6.3.6.2 และ 6.3.6.3 สลับกันไปมา ดังแสดงในรูปที่ 6.1

การวางเหล็กยึดขวาง
ที่มีของอแตกต่างกัน
สลับกันไปมา



รูปที่ 6.1 การวางเหล็กยึดขวางสลับกันไปมา

6.4 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงของเหล็กเสริม

6.4.1 ข้อกำหนดทั่วไป

6.4.1.1 วิธีการที่ทำให้เหล็กเสริมมีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตที่เพียงพอสำหรับการรับแรงดึงและแรงอัดตามที่คำนวณได้ ได้แก่ การมีระยะฝังพอ การใช้ของอ (Hook) การใช้เหล็กข้ออ้อยแบบมีหัวที่ปลาย (Headed Deformed Bar) การใช้อุปกรณ์ทางกล หรือการใช้วิธีต่าง ๆ ร่วมกัน

6.4.1.2 ไม่ใช้ของอ (Hook) และไม่ใช้การทำหัวที่ปลายเหล็กเสริม (Head) เพื่อลดระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัดของเหล็กเสริม

6.4.1.3 ไม่ใช้แฟกเตอร์ลดกำลัง (ϕ) ในการคำนวณระยะฝังพอสำหรับการรับแรง (Development Length)

6.4.1.4 รากที่สองของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ($\sqrt{f'_c}$) ที่ใช้ในการคำนวณหาระยะฝังพอสำหรับการรับแรงต้องไม่เกิน 8.3 MPa

6.4.2 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย

6.4.2.1 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) ของเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) และลวดเหล็กข้ออ้อย (Deformed Wire) ให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง

(ก) ระยะที่คำนวณได้จากสมการอย่างง่ายในข้อที่ 6.4.2.3 หรือสมการทั่วไปในข้อที่ 6.4.2.4 โดยใช้แฟกเตอร์ปรับระยะฝังพอ สำหรับการรับแรงดึง (l_d) ตามที่ระบุในข้อที่ 6.4.2.5

(ข) 300 mm

6.4.2.2 สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) มากกว่า 560 MPa และมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมไม่เกิน 150 mm ต้องออกแบบให้มีเหล็กเสริมตามขวาง (Transverse Reinforcement) เพื่อให้ K_{tr} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d_b)

6.4.2.3 สำหรับเหล็กข้ออ้อยหรือลวดเหล็กข้ออ้อย ให้คำนวณระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) โดยใช้สมการอย่างง่ายในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) ของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย

ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมตามยาว (Clear Spacing) และ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมตามยาว (Clear Cover)	**เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 mm**	**เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 mm**
(1) ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมที่ต้องการให้มีระยะฝังพอ หรือช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมที่ทำการต่อทาบไม่น้อยกว่า d_b (2) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า d_b (3) เหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกเดี่ยวในช่วง l_d มีจำนวนไม่น้อยกว่าปริมาณขั้นต่ำที่มาตรฐานกำหนด หรือ (1) ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมที่ต้องการให้มีระยะฝังพอ หรือช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมที่ทำการต่อทาบไม่น้อยกว่า $2d_b$ (2) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า d_b	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{2.1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.7\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$
กรณีอื่น ๆ	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.4\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$

6.4.2.4 สำหรับเหล็กข้ออ้อยหรือลวดเหล็กข้ออ้อย ให้คำนวณระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) โดยใช้สมการทั่วไปต่อไปนี้

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s \Psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \qquad (6.1)$$

โดยที่ผลของการโอบรัด $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ ที่ใช้ในการคำนวณต้องไม่เกิน 2.5 และ

$$K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn} \qquad (6.2)$$

เมื่อ

K_{tr} = ดัชนีการเสริมเหล็กตามขวาง (Transverse Reinforcement Index) ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบสามารถกำหนดให้ K_{tr} = 0 ได้ เพื่อความง่ายในการคำนวณ แม้ว่าจะมีเหล็กเสริมตามขวางอยู่ก็ตาม ($A_{tr} \neq 0$)

Ψ_t = แฟกเตอร์สำหรับการปรับระยะฝังพอ (l_d) เนื่องจากตำแหน่งของเหล็กเสริมตามยาวที่อยู่ด้านบน

Ψ_e = แฟกเตอร์สำหรับการปรับระยะฝังพอ (l_d) ตามเทคนิคการเคลือบผิวเหล็กเสริมตามยาว

Ψ_s = แฟกเตอร์สำหรับการปรับระยะฝังพอ (l_d) ตามขนาดของเหล็กเสริมตามยาว

Ψ_g = แฟกเตอร์สำหรับการปรับระยะฝังพอ (l_d) ตามชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมตามยาว

λ = แฟกเตอร์สำหรับการปรับระยะฝังพอ (l_d) เนื่องจากสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

c_b = ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง

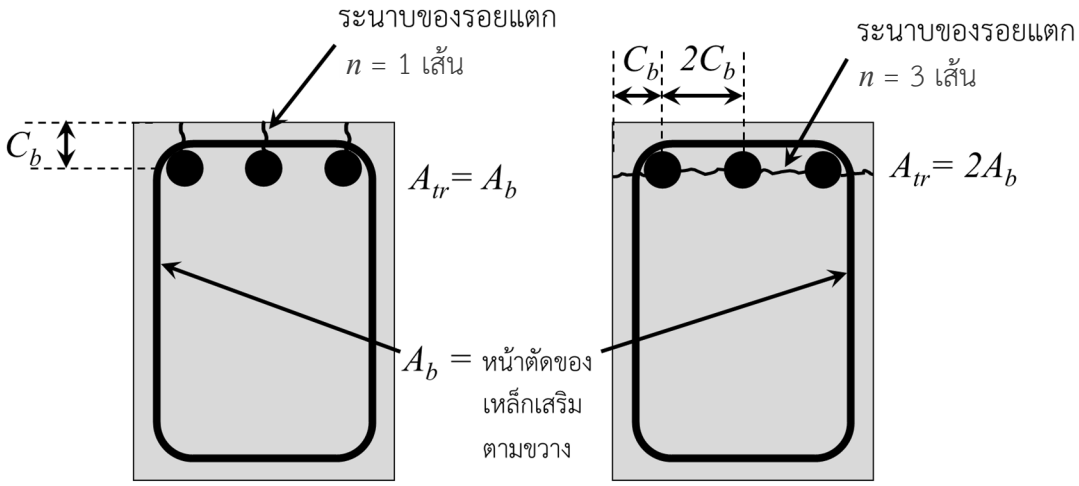
(ก) ระยะจากจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวถึงผิวด้านนอกของคอนกรีต

(ข) ครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว

n = จำนวนของเหล็กเสริมตามยาวที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณระยะฝังพอในการรับแรงหรือในการต่อทาบบริเวณระนาบของรอยแตก (ดูตัวอย่างในรูปที่ 6.2)

A_{tr} = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมตามขวางในแต่ละช่วงของระยะห่างของเหล็กลูกตั้ง s ที่รอยแตกตัดผ่าน (ดูตัวอย่างในรูปที่ 6.2)

s = ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามขวาง



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างของระนาบของรอยแตกและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

6.4.2.5 แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อปรับระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) ของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อยให้เป็นไปตามตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อปรับระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_d) ของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย

แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	**เงื่อนไข**	**ค่าของแฟกเตอร์**
ผลของมวลรวมเบา λ	คอนกรีตมวลเบา	0.75
	คอนกรีตมวลปกติ	1.0
ผลของชั้นคุณภาพของเหล็กเสริม Ψ_g	SD30 หรือ SD40	1.0
	SD50	1.15
ผลของอิพ็อกซีที่เคลือบผิวของเหล็กเสริม Ψ_e	(ก) มีการเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วย ● อิพ็อกซี หรือ ● อิพ็อกซีและสังกะสี โดยที่ ● ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Clear Cover) น้อยกว่า $3d_b$ หรือ ● ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม (Clear Spacing) น้อยกว่า $6d_b$	1.5
	(ข) มีการเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วย ● อิพ็อกซี หรือ ● อิพ็อกซีและสังกะสี โดยที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของข้อ (ก)	1.2
	(ค) ไม่มีการเคลือบผิวเหล็กเสริม หรือมีการเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยสังกะสี	1.0
ผลของขนาดของเหล็กเสริม Ψ_s	เหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 mm	1.0
	เหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 mm และลวดเหล็กข้ออ้อย	0.8
ผลของตำแหน่งของเหล็กเสริม Ψ_t	มีการเทคอนกรีตหนากว่า 300 mm ใต้เหล็กเสริมตามยาว	1.3
	กรณีอื่น ๆ	1.0

หมายเหตุ ผลคูณของ Ψ_t และ Ψ_e ที่ใช้ในการคำนวณต้องไม่เกิน 1.7

6.4.3 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_{dh}) ของเหล็กข้ออ้อยที่มีการทำปลายเป็นของอ (Standard Hook) ให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.3 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.4.4 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึง (l_{dt}) ของเหล็กข้ออ้อยที่มีหัวที่ปลายให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.4 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.4.5 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อยที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ทางกลที่ปลายให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.5 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.4.6 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึงของตะแกรงลวด (Welded Wire) ให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.6 และ 25.4.7 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.4.7 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรงประเภทลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Strand) ให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.8 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.4.8 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัดของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย

6.4.8.1 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัด (l_{dc}) ของเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) และลวดเหล็กข้ออ้อย (Deformed Wire) ให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง

(ก) ระยะที่คำนวณได้จากสมการในข้อที่ 6.4.8.2

(ข) 200 mm

6.4.8.2 ระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัด (l_{dc}) ให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง (ก) และ (ข) และให้ใช้แฟกเตอร์เพื่อปรับระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัดตามข้อที่ 6.4.8.3

(ก) $\left(\dfrac{0.24 f_y \Psi_r}{\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$

(ข) $0.043 f_y \Psi_r d_b$

6.4.8.3 แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อปรับระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัด (l_{dc}) ให้เป็นไปตามตารางที่ 6.6 ทั้งนี้สามารถกำหนดให้ Ψ_r = 1.0 ได้

ตารางที่ 6.6 แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อปรับระยะฝังพอสำหรับการรับแรงอัด (l_{dc}) ของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย

แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	**เงื่อนไข**	**ค่าของแฟกเตอร์**
ผลของมวลรวมเบา λ	คอนกรีตมวลเบา	0.75
	คอนกรีตมวลปกติ	1.0
ผลของการโอบรัดจากเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก (Confining Reinforcement) Ψ_r	เหล็กเสริมตามยาวซึ่งมีผลจากการโอบรัดของ (ก) เหล็กปลอกเกลียว (ข) เหล็กปลอกเดี่ยว ตามข้อที่ 6.7.2 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ (ข1) เหล็กข้ออ้อยหรือลวดเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm (ข2) ระยะระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมไม่เกิน 100 mm (ค) เหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกแบบวงปิด (Hoop) ที่มีระยะระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมไม่เกิน 100 mm	0.75
	กรณีอื่น ๆ	1.0

6.4.9 การลดระยะฝังพอสำหรับการรับแรงดึงและแรงอัดของเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อย และการรับแรงดึงของตะแกรงลวด (Welded Wire) ให้เป็นไปตามข้อที่ 25.4.10 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12]

6.5 การต่อเหล็กเสริม

6.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

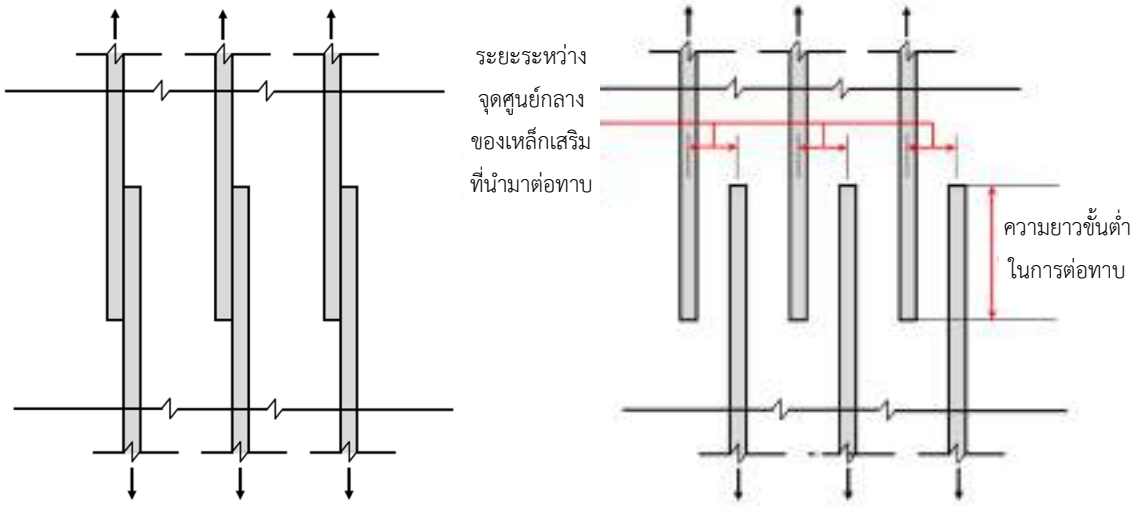
6.5.1.1 ห้ามต่อทาบเหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่กว่า 36 mm ยกเว้นในกรณีที่เป็นไปตามข้อที่ 6.5.3.3

6.5.1.2 ในการต่อทาบโดยการวางเหล็กเสริมชิดติดกัน (Contact Lap Splice) ในชิ้นส่วนหล่อสำเร็จดังแสดงในรูปที่ 6.3 (ก) ระยะห่างขั้นต่ำระหว่างตำแหน่งที่มีการต่อทาบที่อยู่ใกล้กัน และระยะห่างขั้นต่ำระหว่างตำแหน่งที่มีการต่อทาบกับเหล็กเสริมที่อยู่ใกล้กันให้เป็นไปตามข้อที่ 6.2.1

6.5.1.3 ในการต่อทาบโดยการวางเหล็กเสริมห่างกัน (Noncontact Lap Splice) ในชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่รับแรงดัดดังแสดงในรูปที่ 6.3 (ข) ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่นำมาต่อทาบกันต้องไม่เกิน

(ก) 1/5 ของความยาวขั้นต่ำในการต่อทาบ (Required Lap Splice Length)

(ข) 150 mm



(ก) การวางเหล็กเสริมชิดติดกัน (Contact Lap Splice)

(ข) การวางเหล็กเสริมห่างกัน (Noncontact Lap Splice)

รูปที่ 6.3 การต่อทาบเหล็กเสริม

6.5.1.4 การคำนวณความยาวในการต่อทาบจะไม่มีการลดระยะฝังพอ (Development Length, l_d) ตามข้อที่ 6.4.9

6.5.1.5 สำหรับเหล็กเสริมตามยาวที่มีหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) มากกว่า 560 MPa และมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมไม่เกิน 150 mm ต้องมีปริมาณของเหล็กเสริมตามขวางที่ทำให้ K_{tr} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว (d_b)

6.5.1.6 การต่อเหล็กเส้นกลม (Round Bar) ให้เป็นไปตามข้อที่ 5.5 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.5.2 ความยาวของการต่อทาบเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) และลวดเหล็กข้ออ้อย (Deformed Wire) ที่รับแรงดึง

6.5.2.1 ความยาวของการต่อทาบเหล็กเสริมตามยาวที่รับแรงดึง (l_{st}) สำหรับเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อยให้เป็นไปตามตารางที่ 6.7 และระยะฝังพอ (l_d) ในตารางที่ 6.7 ให้เป็นไปตามข้อที่ 6.4.2.1 (ก)

ตารางที่ 6.7 ความยาวของการต่อทาบเหล็กข้ออ้อยและลวดเหล็กข้ออ้อยที่รับแรงดึง

อัตราส่วนของ เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม ระหว่างเนื้อที่จริง กับเนื้อที่ที่ต้องการ ในช่วงที่มีการต่อทาบ $A_{s,provided} / A_{s,required}$	**ร้อยละสูงสุดของ เนื้อที่หน้าตัด A_s ของเหล็กเสริมที่นำมาต่อทาบ ในช่วงความยาวของการต่อทาบขั้นต่ำ (Required Lap Splice Length)**	**ประเภท ของ การต่อทาบ**	**ความยาว l_{st} ในการต่อทาบ เหล็กเสริมรับแรงดึง (ค่าที่มากกว่า)**
≥ 2.0	50	ก	1.0 l_d และ 300 mm
	100	ข	1.3 l_d และ 300 mm
< 2.0	ทุกกรณี	ข	

6.5.2.2 การต่อทาบเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงที่มีขนาดแตกต่างกัน ความยาวของการต่อทาบ l_{st} ต้องมากกว่า

(ก) ความยาว l_d ของเหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่กว่า

(ข) ความยาว l_{st} ของเหล็กที่ที่มีขนาดเล็กกว่า

6.5.3 ความยาวของการต่อทาบเหล็กข้ออ้อยที่รับแรงอัด

6.5.3.1 ความยาวของการต่อทาบเหล็กเสริมตามยาวที่รับแรงอัด (l_{sc}) สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm หรือเล็กกว่า ให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) ไม่เกิน 420 MPa ความยาวของการต่อทาบ l_{sc} ต้องมากกว่า $0.071 f_y d_b$ และ 300 mm

(ข) สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) อยู่ระหว่าง 420 MPa และ 560 MPa ความยาวของการต่อทาบ l_{sc} ต้องมากกว่า $(0.13 f_y - 24) d_b$ และ 300 mm

(ค) สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) ตั้งแต่ 560 MPa ขึ้นไป ความยาวของการต่อทาบ l_{sc} ต้องมากกว่า $(0.13 f_y - 24) d_b$ และ l_{st} ซึ่งคำนวณตามข้อที่ 6.5.2.1

ในกรณีที่คอนกรีตมีกำลังอัดประลัยต่ำกว่า 21 MPa ให้เพิ่มความยาวของการต่อทาบอีกร้อยละ 33

6.5.3.2 ห้ามต่อทาบเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดที่มีขนาดใหญ่กว่า 36 mm ยกเว้นในกรณีที่เป็นไปตามข้อที่ 6.5.3.3

6.5.3.3 การต่อทาบเหล็กเสริมตามยาวที่รับแรงอัดระหว่างเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm กับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm หรือเล็กกว่า ทำได้เฉพาะในกรณีที่สามารถดำเนินการให้เป็นไปตามข้อที่ 6.5.3.4

6.5.3.4 การต่อทาบเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดที่มีขนาดแตกต่างกัน ความยาวของการต่อทาบ l_{sc} ต้องมากกว่า

(ก) ความยาว l_{dc} ของเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งคำนวณ 6.4.8.1

(ข) ความยาว l_{sc} ของเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งคำนวณตามข้อที่ 6.5.3.1

6.5.4 การต่อเหล็กเสริมด้วยอุปกรณ์ทางกล (Mechanical Splice) และการเชื่อมไฟฟ้า (Welded Splice) ของเหล็กข้ออ้อยที่รับแรงดึงหรือแรงอัด

6.5.4.1 การต่อเหล็กเสริมด้วยอุปกรณ์ทางกลและการเชื่อมไฟฟ้าของเหล็กข้ออ้อย รอยต่อต้องสามารถรับแรงดึงและแรงอัดได้อย่างน้อย 1.25 เท่าของหน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) ของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อกัน

6.5.4.2 การต่อเหล็กเสริมด้วยการเชื่อมไฟฟ้าให้เป็นไปตามข้อที่ 5.6 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.5.5 การต่อเหล็กเสริมสำหรับกรณีอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากที่มาตรฐานนี้ระบุ ให้เป็นไปตามข้อที่ 5.5 ถึง 5.7 ของ มยผ.1103-64 [65] และข้อที่ 25.5 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12]

6.6 เหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำ

6.6.1 เหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำเพื่อให้รับแรงเหมือนเป็นเหล็กเส้นเดียวให้มีจำนวนได้ไม่เกินกำละ 4 เส้น

6.6.2 เหล็กเสริมตามยาวที่มัดรวมเป็นกำต้องอยู่ภายในและถูกโอบรัดไว้ด้วยเหล็กเสริมตามขวาง ในกรณีที่เหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำต้องรับแรงอัด เหล็กเสริมตามขวางที่นำมาโอบรัดต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 12 mm

6.6.3 เหล็กเสริมตามยาวในคานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 36 mm ไม่ให้มัดรวมเป็นกำ

6.6.4 ปลายของเหล็กเสริมแต่ละเส้นที่นำมามัดรวมเป็นกำในองค์อาคารรับแรงดัดต้องอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน โดยตำแหน่งของปลายเหล็กเสริมต้องห่างกันอย่างน้อย 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น

6.6.5 ระยะฝังพอของเหล็กแต่ละเส้นที่นำมามัดรวมเป็นกำ ทั้งที่เป็นเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด ให้เป็นไปตามที่ส่วนนี้ของมาตรฐานได้กำหนดไว้สำหรับเหล็กเสริมตามยาวแต่ละเส้น โดยให้เพิ่มระยะฝังพอขึ้นอีกร้อยละ 20 ในกรณีที่มัดเหล็กเสริมตามยาวรวมกัน 3 เส้น และร้อยละ 33 ในกรณีที่มัดเหล็กเสริมตามยาวรวมกัน 4 เส้น

6.6.6 ให้พิจารณาเหล็กเสริมที่มัดรวมเป็นกำเสมือนเป็นเหล็กเสริมเดี่ยวที่มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับเนื้อที่หน้าตัดรวมของเหล็กเสริมทั้งกำ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า d_b ซึ่งคำนวณได้มาจากการสมมติให้เหล็กเสริมเดี่ยวมีเนื้อที่หน้าตัดดังกล่าว โดยจะนำ d_b ที่คำนวณได้ไปใช้ดังนี้

(ก) กำหนดช่องว่างหรือระยะห่างระหว่างกัน

(ข) กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

(ค) พิจารณาช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมตามยาว (Clear Spacing) และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมตามยาว (Clear Cover) ในข้อที่ 6.4.2.3

(ง) คำนวณผลของการโอบรัด (Confinement) ในข้อที่ 6.4.2.4

(จ) กำหนดแฟกเตอร์ Ψ_e ในข้อที่ 6.4.2.5

6.6.7 ความยาวของการต่อทาบของเหล็กเสริมตามยาวที่นำมัดรวมเป็นกำให้เป็นไปตามความยาวของการต่อทาบเหล็กเสริมเดี่ยว และให้เพิ่มความยาวของการต่อทาบตามข้อที่ 6.6.5 ในการมัดรวมเหล็กเสริมแต่ละกำ ตำแหน่งของการต่อทาบเหล็กเสริมต้องไม่อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และไม่ให้นำเหล็กที่มัดรวมเป็นกำมาต่อทาบกัน

6.7 เหล็กเสริมตามขวาง

6.7.1 เหล็กลูกตั้ง (Stirrup)

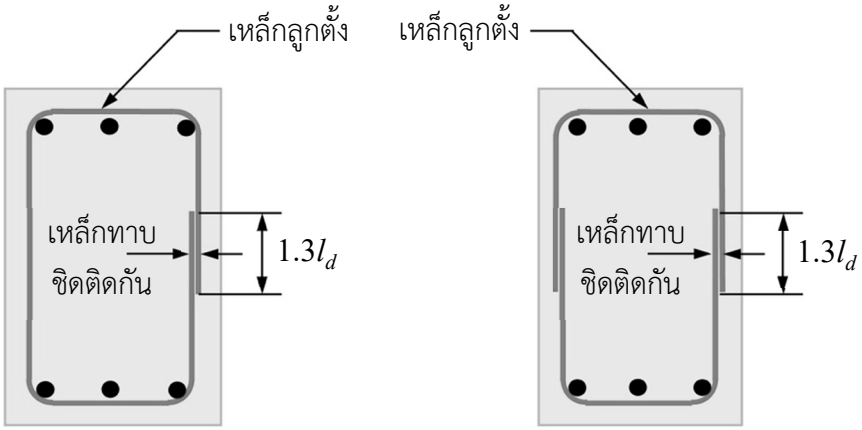
6.7.1.1 ให้ออกแบบเหล็กลูกตั้งให้มีความลึกที่สุดเท่าที่ระยะหุ้มคอนกรีตจะยอมให้ และทำการยึดปลายทั้ง 2 ข้างของเหล็กลูกตั้งให้แน่น ในกรณีที่ใช้เหล็กลูกตั้งรับแรงเฉือน ต้องวางเหล็กลูกตั้งให้มีความลึกเกินกว่าระยะ d ซึ่งเป็นระยะจากผิวด้านนอกที่รับแรงอัด

6.7.1.2 ทำการติดตั้งเหล็กลูกตั้ง โดยให้เหล็กเสริมตามยาวทุกเส้นอยู่ที่มุมด้านในของเหล็กลูกตั้ง

6.7.1.3 ข้อกำหนดของการยึดปลายของเหล็กลูกตั้งที่เป็นเหล็กข้ออ้อย ลวดเหล็กข้ออ้อย ตะแกรงลวดเหล็กรูปตัวยู และตะแกรงลวดเหล็กขาเดี่ยว ให้เป็นไปตามข้อที่ 25.7.1 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.7.1.4 เหล็กลูกตั้งสำหรับแรงบิดต้องเป็นแบบวงปิดที่ตั้งฉากกับแกนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยยอมให้เหล็กลูกตั้งประกอบขึ้นด้วยเหล็ก 2 ชิ้น โดยชิ้นที่ 1 เป็นเหล็กลูกตั้งรูปตัวยู และปิดวงรอบด้วยชิ้นที่ 2 ซึ่งเป็นเหล็กยึดตามขวาง (Crosstie)

6.7.1.5 เหล็กลูกตั้งแบบวงปิดสำหรับแรงอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แรงบิด สามารถประกอบขึ้นด้วยเหล็กลูกตั้งรูปตัวยู 2 ชิ้นวางต่อทาบกัน โดยให้มีความยาวของการต่อทาบอย่างน้อย $1.3l_d$ ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 เหล็กลูกตั้งแบบวงปิด

6.7.2 เหล็กปลอกเดี่ยว (Tie)

6.7.2.1 เหล็กปลอกเดี่ยวสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดต้องเป็นแบบวงปิด และมีระยะห่างเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมอย่างน้อย 4/3 เท่าของขนาดโตสุดของมวลรวม

(ข) ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมไม่เกิน

(ข1) 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว

(ข2) 48 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกเดี่ยว

(ข3) มิติด้านที่แคบที่สุดของหน้าตัดองค์อาคารรับแรงอัด

6.7.2.2 เหล็กปลอกเดี่ยวต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อยเป็นไปตามตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ขนาดขั้นต่ำของเหล็กปลอกเดี่ยว

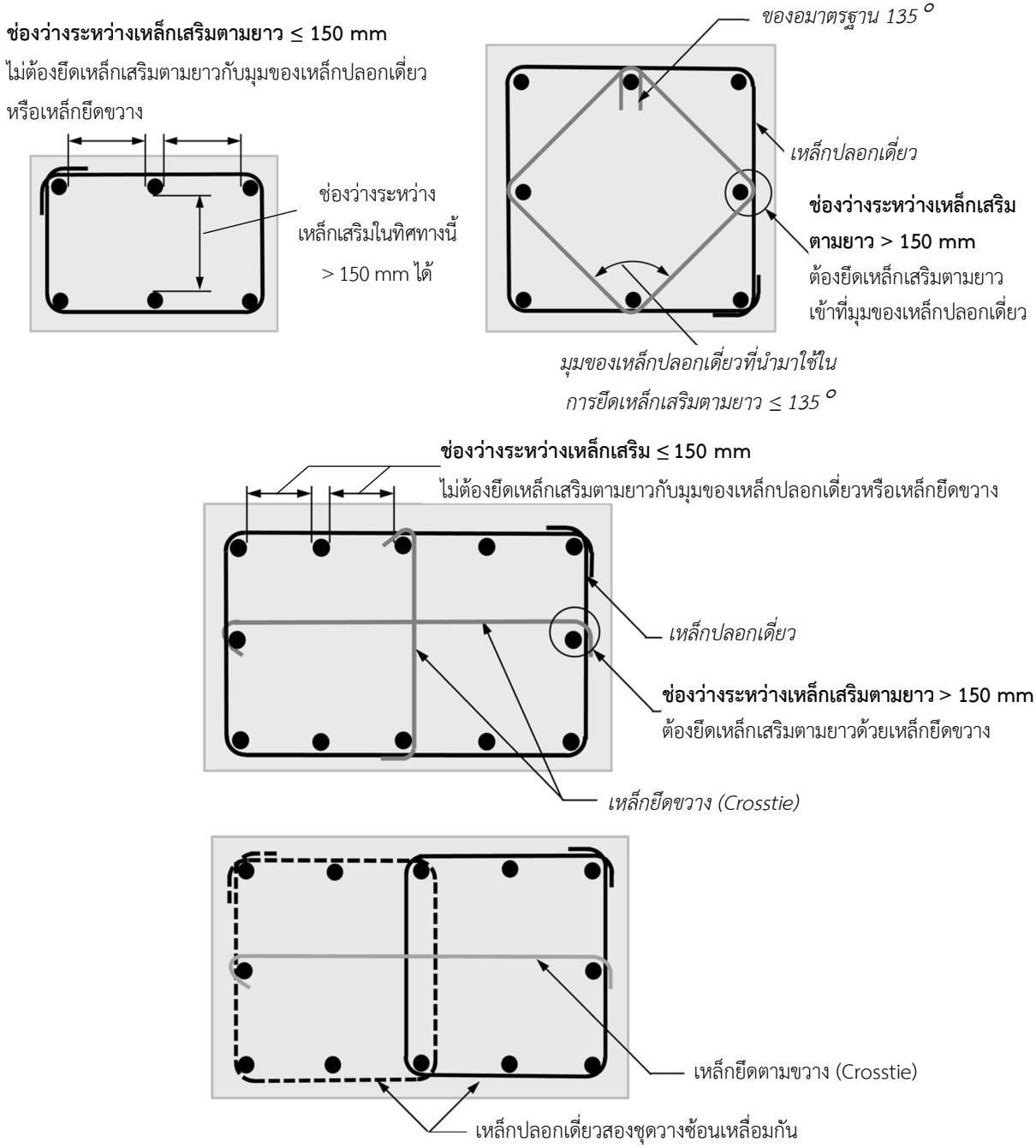
เส้นผ่านศูนย์กลางขั้นต่ำของเหล็กปลอกเดี่ยว	เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว
6 mm	ตั้งแต่ 20 mm ลงมา
9 mm	22 mm ถึง 32 mm
12 mm	ตั้งแต่ 36 mm ขึ้นไป

6.7.2.3 การใช้เหล็กปลอกเดี่ยวรูป 4 เหลี่ยมให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) ให้ยึดเหล็กเสริมตามยาวอย่างน้อยเส้นเว้นเส้นเข้ากับมุมด้านในของเหล็กปลอกเดี่ยว โดยมุมภายในของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องไม่เกิน 135 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6.5

(ข) ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมตามยาวที่ยึดและไม่ได้ยึดเข้ากับเหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กยึดขวาง (Crosstie) ให้มีระยะห่างกันได้ไม่เกิน 150 mm ดังแสดงในรูปที่ 6.5

(ค) ปลายของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องเป็นของอมาตรฐานตามข้อที่ 6.3



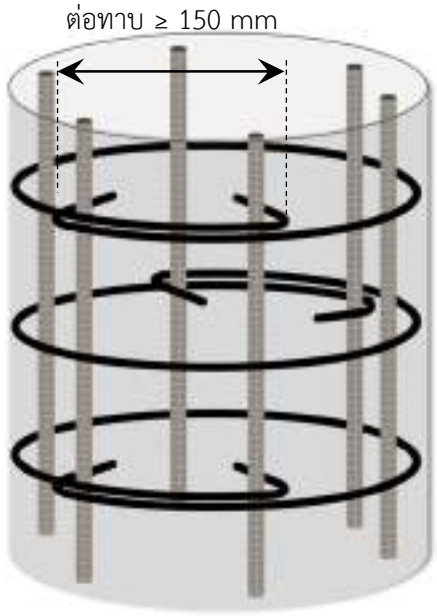
รูปที่ 6.5 เหล็กปลอกเดี่ยวรูป 4 เหลี่ยม

6.7.2.4 ให้ใช้เหล็กปลอกเดี่ยวรูปวงกลมได้ ในกรณีที่เหล็กเสริมตามยาวมีการจัดเรียงเป็นวงกลม โดยปลายของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) ปลายของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องมีความยาวของการต่อทาบอย่างน้อย 150 mm

(ข) ปลายของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องเป็นของอมาตรฐานตามข้อที่ 6.3

(ค) สำหรับเหล็กปลอกเดี่ยวซึ่งอยู่ติดกัน ตำแหน่งที่มีการต่อทาบปลายต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 เหล็กปลอกเดี่ยวรูปวงกลม

6.7.2.5 เหล็กปลอกเดี่ยวสำหรับแรงบิดต้องตั้งฉากกับแกนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และเป็นไปตามข้อที่ 25.7.2.5 ของมาตรฐาน ACI 318-19 [12] หรือมาตรฐานอื่นที่น่าเชื่อถือ

6.7.3 เหล็กปลอกเกลียว (Spiral)

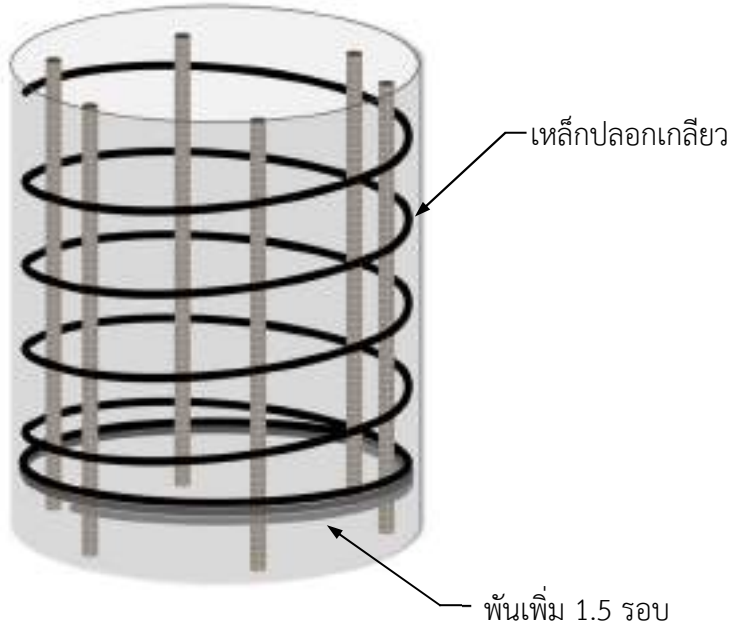
6.7.3.1 เหล็กปลอกเกลียวต้องประกอบด้วยเหล็กเส้นหรือลวดเหล็กที่มีความต่อเนื่อง โดยมีระยะห่างแต่ละเกลียวเท่ากัน ประกอบกันอย่างแน่นหนาและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยไม่ทำให้ขนาดและระยะเหล็กเสริมตามที่ออกแบบไว้คลาดเคลื่อนเนื่องจากการขนส่งและการติดตั้ง

6.7.3.2 เหล็กปลอกเกลียวต้องมีระยะห่างอย่างน้อย 25 mm และ 4/3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมวลรวม (d_{agg}) และไม่เกิน 75 mm และดูข้อที่ 6.6.3 ประกอบด้วย

6.7.3.3 สัดส่วนปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวให้เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\rho_s \geq 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad (6.3)$$

6.7.3.4 การยึดเหล็กปลอกเกลียวที่ปลายขององค์อาคาร ต้องทำการพันเพิ่มอีก 1.5 รอบที่ปลายแต่ละด้าน ดังแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 เหล็กปลอกเกลียว

6.7.3.5 ในกรณีที่ต้องการต่อเหล็กปลอกเกลียว ให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ก) การต่อเหล็กปลอกเกลียวด้วยอุปกรณ์ทางกลหรือการเชื่อมไฟฟ้าให้เป็นไปตามข้อที่ 6.5.4

(ข) สำหรับเหล็กเสริมที่มีหน่วยแรงที่จุดครากไม่เกิน 420 MPa ความยาวของการต่อทาบให้เป็นไปตามข้อที่ 6.7.3.6

6.7.3.6 ความยาวของการต่อทาบเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่น้อยกว่า

(ก) 300 mm

(ข) ความยาวของการต่อทาบตามตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ระยะทาบขั้นต่ำและรายละเอียดเหล็กปลอกเกลียว

ชนิดเหล็กเสริม	การเคลือบผิว	ปลายของเหล็กเกลียว หรือลวดเหล็ก	ความยาวของ การต่อทาบขั้นต่ำ
เหล็กข้ออ้อย	ไม่เคลือบผิวหรือ เคลือบสังกะสี (ชุบสังกะสี)	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$48\,d_b$
	เคลือบอิพ็อกซีหรือ เคลือบทั้งสังกะสีและอิพ็อกซี	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$72\,d_b$
		ของอมาตรฐาน ตามตารางที่ 6.3	$48\,d_b$
ลวดเหล็กข้ออ้อย	ไม่เคลือบผิว	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$48\,d_b$
	เคลือบอิพ็อกซี	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$72\,d_b$
		ของอมาตรฐาน ตามตารางที่ 6.3	$48\,d_b$
เหล็กเส้นกลม	เคลือบผิวหรือเคลือบสังกะสี (ชุบสังกะสี)	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$72\,d_b$
		ของอมาตรฐาน ตามตารางที่ 6.3	$48\,d_b$
ลวดเหล็ก	ไม่เคลือบผิว	ไม่จำเป็นต้องทำของอ	$72\,d_b$
		ของอมาตรฐาน ตามตารางที่ 6.3	$48\,d_b$

6.8 เหล็กเสริมต้านการยืดหด

6.8.1 ในแผ่นพื้นหล่อสำเร็จที่ออกแบบให้มีเหล็กเสริมรับแรงดัดทางเดียว ให้เสริมเหล็กต้านทานการยืดหดในแนวที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมดังกล่าว เพื่อรับแรงที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตหรือการยืดหดเนื่องจากอุณหภูมิ โดยให้เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตัวเป็นไปตามข้อที่ 6.8.2

6.8.2 เหล็กเสริมต้านการยืดหด

6.8.2.1 อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านทานการยืดหดต่อพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่าข้อกำหนดต่อไปนี้ และต้องไม่น้อยกว่า 0.0014

(ก) แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเส้นกลมชั้นคุณภาพ SR 24 ..... 0.0025

(ข) แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD 30 ..... 0.0020

(ค) แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD 40 หรือลวดเหล็กกลม หรือลวดเหล็กข้ออ้อย 0.0018

(ง) แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเสริมที่มีกำลังครากเกินกว่า 400 MPa

โดยวัดที่หน่วยความเครียดที่ร้อยละ 0.35 ..... $\frac{0.0018\times 400}{f_y}$

6.8.2.2 เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดต้องมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของหน้าตัดห่างกันไม่เกิน 5 เท่าของความหนาของแผ่นพื้นนั้น และไม่เกิน 400 mm

6.9 ข้อกำหนดอื่น ๆ เกี่ยวกับเหล็กเสริม

6.9.1 สภาพของเหล็กเสริม ผิวของเหล็กเสริม ตลอดจนขนาดและรูปร่างของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อที่ 5.1 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.9.2 เหล็กเสริมที่ผิวบางส่วนเป็นสนิมสามารถนำมาใช้งานได้ หากยังมีขนาดหน้าตัดและน้ำหนักของเหล็กเสริมเป็นไปตาม มอก. หรือมาตรฐาน ASTM ข้อกำหนดนี้ไม่รวมถึงเหล็กเสริมอัดแรงและลวดอัดแรง

6.9.3 การเก็บเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อที่ 5.2 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.9.4 การดัดเหล็กเสริม

6.9.4.1 การดัดเหล็กเสริมให้ใช้วิธีดัดโค้งเย็น ห้ามดัดเหล็กเส้นโดยวิธีเผาให้ร้อน เว้นแต่จะมีการระบุในแบบหรือรายการประกอบแบบ ทั้งนี้การดัดจะต้องไม่ทำให้เหล็กเส้นชำรุดเสียหาย

6.9.4.2 เหล็กเสริมซึ่งมีบางส่วนที่ฝังอยู่ในคอนกรีต ห้ามดัดปลายข้างที่โผล่จากคอนกรีต เว้นแต่จะมีการระบุในแบบหรือรายการประกอบแบบ

6.9.5 การจัดวางเหล็กเสริม

6.9.5.1 ก่อนเทคอนกรีต ต้องจัดวางเหล็กเสริมให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่กำหนดในแบบรายละเอียด โดยมีที่รองรับที่แข็งแรงและยึดไว้อย่างแน่นหนาและมั่นคงเพียงพอที่จะไม่ทำให้เหล็กเสริมเคลื่อนตัวหรือแอ่นตัวจากตำแหน่งเดิมเกินกว่าที่กำหนดไว้ในข้อที่ 5.4.1 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.9.5.2 ห้ามเชื่อมเหล็กเสริมที่ตัดกัน เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ออกแบบ

6.9.6 การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมเพื่อการทดสอบ

6.9.6.1 การทดสอบสมบัติทางกลของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อที่ 4.1.1 ข้อที่ 4.2.1 หรือ ข้อที่ 4.3.1 ของ มยผ.1103-64 [65] แล้วแต่กรณี

6.9.6.2 การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมให้เป็นไปตามข้อที่ 5.8 ของ มยผ.1103-64 [65]

6.9.7 การเก็บตัวอย่างตะแกรงลวดเพื่อการทดสอบ

6.9.7.1 การทดสอบแรงดึงและแรงเฉือนของตะแกรงลวดให้เป็นไปตามข้อที่ 5.9 ของมยผ.1103-64 [65] ตามลำดับ

6.9.7.2 การเก็บตัวอย่างตะแกรงลวดให้เป็นไปตามข้อที่ 5.9 ของมยผ.1103-64 [65]

6.9.8 การพิจารณาผลการทดสอบ

ถ้าปรากฏว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีสมบัติต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ให้ถือว่าเหล็กเสริมนั้นไม่สามารถนำไปใช้งานได้

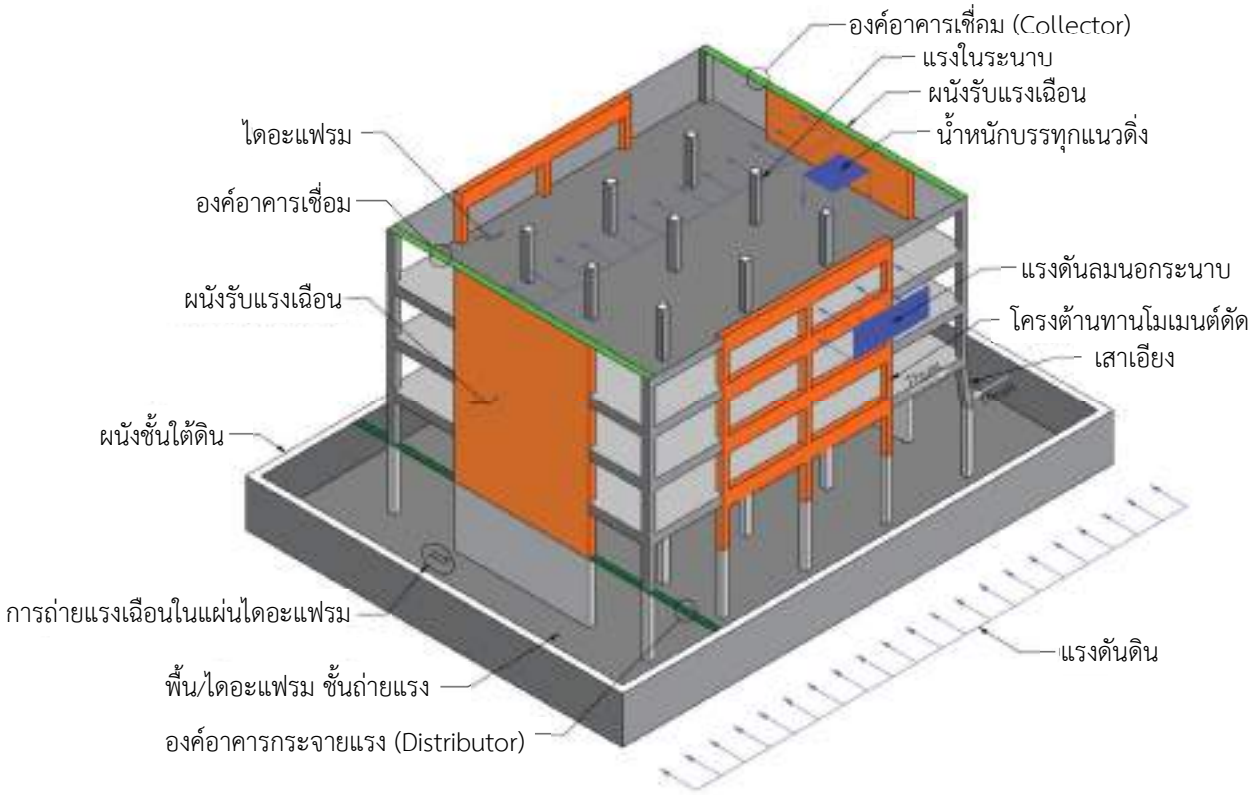
ส่วนที่ 7 การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

7.1 ระบบโครงสร้างอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การวิเคราะห์ออกแบบระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จนั้นต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายด้านประกอบเข้าด้วยกัน ทั้งในส่วนของระบบโครงสร้าง ชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ และจุดเชื่อมต่อโครงสร้าง ต้องสามารถพิจารณาการถ่ายแรงจากแรงที่ออกแบบไปตามเส้นทางของแรง (Load Path) สู่จุดรองรับสุดท้ายหรือฐานรากได้ และแม้จะไม่ได้กำหนดไว้เป็นข้อกำหนดก็ตาม แนะนำให้ออกแบบโครงสร้างและจุดเชื่อมต่อในลักษณะที่มีความเหนียว

7.1.1 การออกแบบโครงสร้างโดยหลักแล้วจะเป็นการออกแบบเพื่อรับแรงจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างเองและน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง

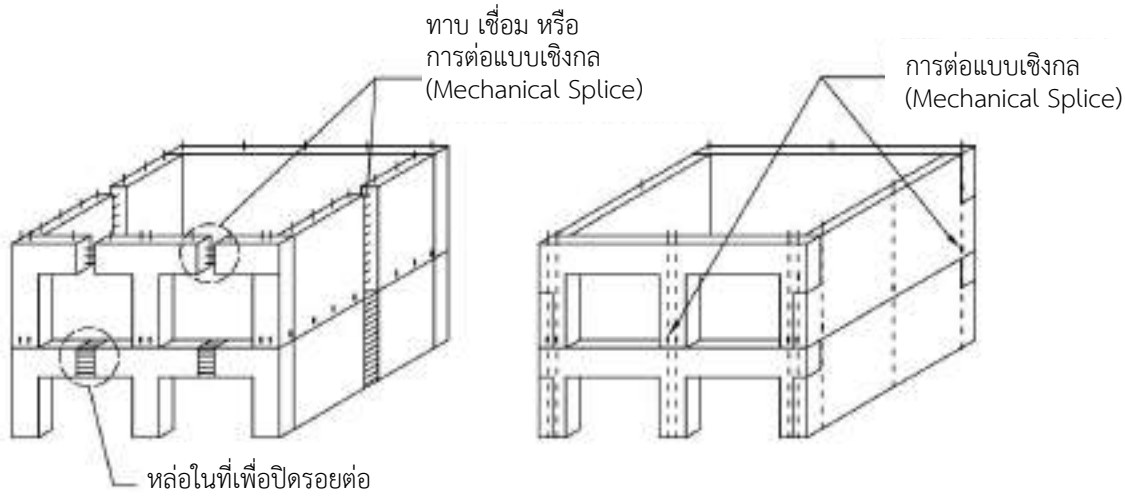
7.1.2 ในส่วนของการพิจารณาระบบต้านทานแรงด้านข้าง เช่นแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหวซึ่งแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ จะขึ้นอยู่กับการกระจายแรงด้านข้างผ่านระบบไดอะแฟรมของหลังคาหรือแผ่นพื้น ดังแสดงในรูปที่ 7.1 โดยมักจะเลือกระบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.1 การกระจายแรงด้านข้างและระบบโครงสร้างแบบต่าง ๆ ในอาคาร

7.1.2.1 ระบบเสายื่น (Cantilevered Column) หรือระบบแผ่นผนัง (Wall Panel) ในรูปแบบการรับแรงนอกระนาบ (Out of Plane) ระบบนี้โดยทั่วไปจะเหมาะเฉพาะสำหรับอาคารเตี้ยเท่านั้น โดยความสามารถในการยึดแน่นของฐานเสาเป็นผลมาจากโมเมนต์ของแรงคู่ควบระหว่างฐานรากและแผ่นพื้น หรือการยึดเสาหรือผนังกำแพงเข้าไปในฐานราก

7.1.2.2 ระบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) สามารถใช้ได้กับโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหรือคอนกรีตหล่อในที่ก็ได้ โดยทั่วไปชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ถูกนำมาใช้เป็นกำแพงโดยรอบอาคารมักจะนำมาใช้คิดเป็นผนังรับแรงเฉือน หรือการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปกล่อง (Precast Concrete Box Element) โดยจะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาในรูปแบบกล่องหรือจะเป็นผนังแต่ละชิ้นมาต่อกันทีละแผ่นให้เป็นกล่อง ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 7.2 ซึ่งอาจใช้เป็นโครงสร้างกำแพงของปล่องบันไดหรือช่องลิฟท์ จะช่วยให้ชิ้นส่วนโครงสร้างกล่องนั้นมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ที่สูงกว่าแผ่นผนังแบบแยกแผ่นกัน ส่งผลให้ระบบโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกด้านข้างได้ดีกว่า ระบบนี้สามารถใช้ได้ทั้งในอาคารเตี้ยและอาคารสูง



(ก) ใช้จุดเชื่อมต่อแบบหล่อในที่และตัวต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice)

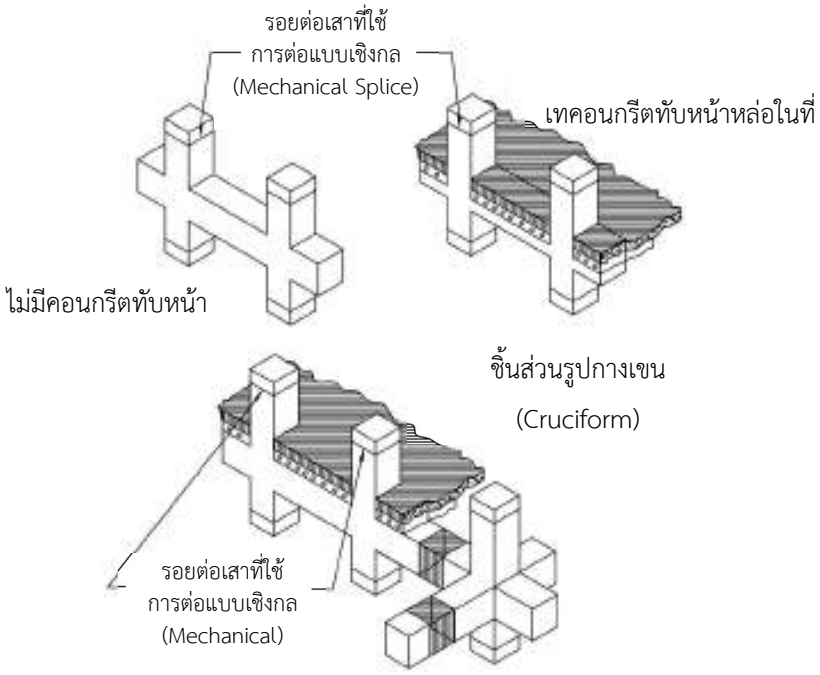
(ข) ใช้ปลอกต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice) และการเกาะเกี่ยวกัน (Interlock)

รูปที่ 7.2 รูปตัวอย่างโครงสร้างแบบกล่อง **[90]**

7.1.2.3 ระบบโครงแกงแนงเหล็กหรือคอนกรีตรูปอักษรเอ๊กซ์ (Steel or Concrete X-Bracing) ระบบนี้เหมาะสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารที่มีความสูงปานกลาง มักนิยมใช้ในอาคารจอดรถ ซึ่งมักประกอบด้วยระบบเสา คาน พื้น และ พื้นลาดเอียง มาประกอบกัน

7.1.2.4 ระบบโครงต้านทานแรงดัดหรือระบบโครงเฟรม (Moment-Resisting Frame) ระบบนี้มักถูกบังคับด้วยรูปแบบการใช้งานของอาคาร ในบางครั้งเพื่อลดผลของแรงยึดรั้งจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถออกแบบให้จุดเชื่อมต่อเป็นแบบรับแรงดัดเพียงฝั่งเดียวของชิ้นส่วนหรือจุดเชื่อมต่อที่ต้านแรงดัดและแรงในแนวราบเพียงทิศทางเดียว และสามารถพิจารณาร่วมกับระบบผนังรับแรงเฉือนเพื่อลดจำนวนโครงเฟรมที่จำเป็นลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องให้ความสำคัญพิจารณาพฤติกรรมร่วมกันของระบบโครงเฟรมกับผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากมีการเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน โดยจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบโครงเฟรมและผนังรับแรงเฉือนต้องแข็งแรงเพียงพอ

7.1.2.5 ระบบเสาคานคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบตัวอักษร H หรือรูปกางเขน (บางครั้งเรียกว่าชิ้นส่วน Cruciform หรือ Punched Shear Wall) ดังแสดงในรูปที่ 7.3 เป็นรูปแบบหนึ่งของโครงต้านทานแรงดัดแบบโมเมนต์เฟรมที่ก่อสร้างได้รวดเร็วสามารถควบคุมกำหนดจุดเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบโครงเฟรมได้ง่าย และสามารถกำหนดจุดเชื่อมต่อในชิ้นส่วนเสาคานบริเวณที่มีค่าความเค้นและโมเมนต์ดัดต่ำ



รูปที่ 7.3 รูปตัวอย่างชิ้นส่วนแบบตัวอักษร H หรือรูปกางเขน [90]

7.1.3 การออกแบบโครงสร้างไม่เพียงพิจารณาในเรื่องความแข็งแรง ความเหนียว ความคงทน ของโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงในแนวราบแล้ว ยังควรต้องพิจารณาผลของการคืบ (Creep) การหดตัว (Shrinkage) และผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วย (Temperature Change) ผลขององค์ประกอบเหล่านี้รวมเรียกว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Volume Change) ซึ่งเป็นผลให้เกิดการยืดรั้งโครงสร้าง ในกรณีที่มีค่ามากเกินไปอาจทำให้ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้สร้างความเสียหายให้โครงสร้างได้ แรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมักเกิดขึ้นกับโครงสร้างบ่อย ๆ อยู่ตลอด ซึ่งแตกต่างจากแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบซึ่งอาจไม่เกิดขึ้นจริงกับอาคารเลย

7.1.4 ระบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการถ่ายแรงในระนาบระหว่างชิ้นส่วนแผ่นพื้นและระบบผนังจะต้องให้แนวเส้นทางของแรงในระนาบ (In-Plane Load Path) มีความต่อเนื่องผ่านทั้งจุดเชื่อมต่อและชิ้นส่วน

7.1.5 สำหรับการกระจายแรงที่กระทำในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องทำการวิเคราะห์ ตามหลักการทางทฤษฎีหรือทำการทดสอบเพื่อหาค่าเนื่องจากชิ้นส่วนที่มีค่าสติฟเนสต้านทานการบิด (Torsional Stiffness) สูงเพียงพอจึงจะสามารถถ่ายแรงผ่านรอยต่อได้ดี อีกทั้งการกระจายแรง ยังขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่มีผลต่อการกระจายแรงที่เปลี่ยนไป

7.2 การออกแบบเสมือนคอนกรีตหล่อในที่

คอนกรีตหล่อสำเร็จได้นำมาใช้ในหลายประเทศทั่วโลกรวมถึงในบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวสูง โดยมาตรฐานการออกแบบได้กำหนดให้สามารถใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวได้หากองค์อาคารต่าง ๆ ของระบบโครงสร้างแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จมีการยึดต่อกันเสมือนกับคอนกรีตแบบหล่อในที่ ซึ่งเรียกการออกแบบในลักษณะนี้ว่า การออกแบบเสมือนกับคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Design)

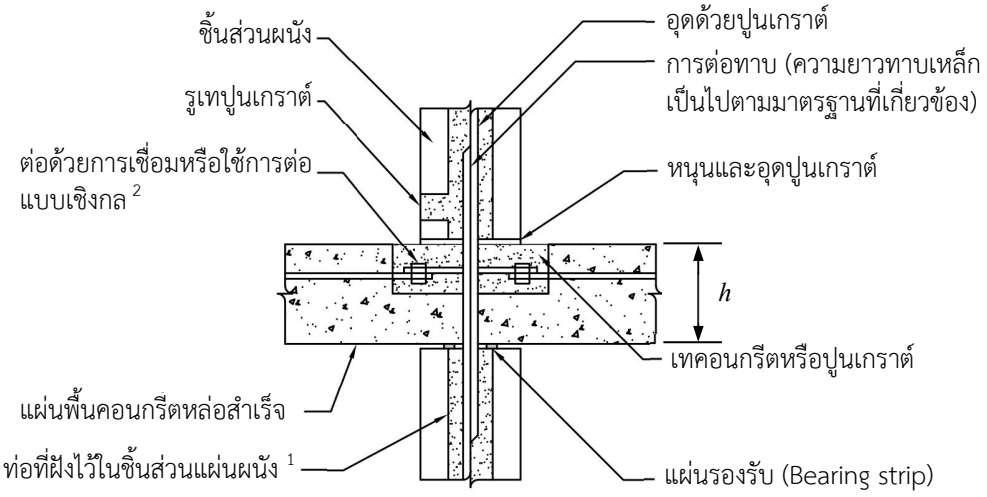
จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนแบบเสมือนคอนกรีตหล่อในที่นี้ อาจใช้เป็นการต่อทาบเหล็ก (Lap Splicing) การเชื่อม (Welding) หรือการต่อด้วยอุปกรณ์ต่อตรงเชิงกล (Mechanical Coupler) และทำคอนกรีตให้มีความต่อเนื่องกันด้วยด้วยการเทปูนเกราต์คุณภาพสูงชนิดที่ไม่หดตัว (High Quality Non-Shrink Grout) หรือการเทด้วยคอนกรีตหล่อในที่ลงในรอยต่อขนาดใหญ่พอที่สามารถทำได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ การใช้รอยต่อที่แข็งแรงไม่น้อยกว่าแบบคอนกรีตหล่อในที่ การวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จก็จะเปรียบเสมือนกับการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

7.2.1 จุดเชื่อมต่อแบบเสมือนหล่อในที่ของโครงสร้างระบบผนัง (Connection in Wall System)

7.2.1.1 สำหรับโครงสร้างระบบผนังรับแรงเฉือน การวิเคราะห์ควรต้องพิจารณาผลของการเปลี่ยนรูปเฉือน (Shear Deformation) สำหรับผนังที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้น (Aspect Ratio) ต่ำกว่า 3:1 และพิจารณาผลของการเยื้องศูนย์ของมวลจากตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของระบบผนังรับแรงเฉือนรวมถึงผลของแรงบิดด้วย

7.2.1.2 จุดเชื่อมต่อวิกฤตในระบบผนังโดยทั่วไปมักเกิดขึ้นที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนังหล่อสำเร็จและฐานรากแบบหล่อในที่ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดอันเนื่องจากแรงภายนอกในแนวราบสูงที่สุด ในกรณีของอาคารสูงจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนังด้วยกันเองก็สามารถเป็นจุดเชื่อมต่อสำคัญที่ต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน

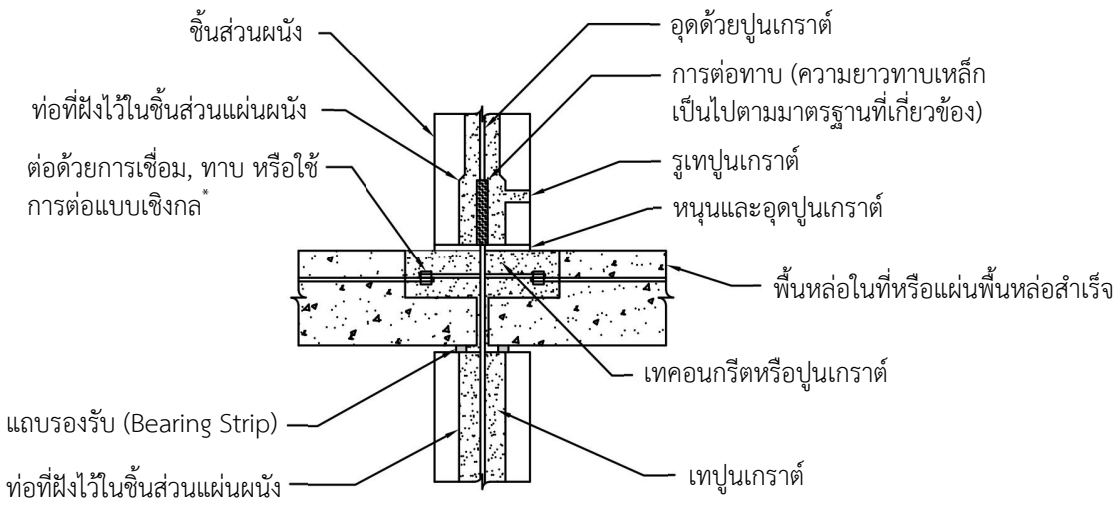
7.2.1.3 รอยต่อในแนวราบระหว่างแผ่นผนังกับแผ่นผนังโดยปกติจะเป็นระบบร่วมกันระหว่างการเทเกราต์และการต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่ง ปูนเกราต์จะทำให้รอยต่อมีกำลังแรงอัดได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนเหล็กเสริมจะช่วยให้มีความต่อเนื่องในการรับแรงดึง รูปที่ 7.4 และ 7.5 แสดงรอยต่อที่ทำการต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่งด้วยการทาบเหล็ก หรือใช้ปลอกต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice) ตามลำดับ การติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยการใช้รอยต่อที่มีกำลังสูงดังแสดงในรูปที่ 7.6 โดยการต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่งด้วยการต่อตรงและเกราต์ด้วยอุปกรณ์ต่อเหล็กแบบปลอก (Sleeve Connector) ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ในส่วนบริเวณฐานผนังกำแพงและจุดต่ออื่น ๆ ที่เหล็กเสริมอาจเกิดการครากได้จะต้องใช้การต่อแบบเชิงกลประเภท 2 (Mechanical Splice Type 2)



รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่งด้วยการทาบเหล็ก [90]

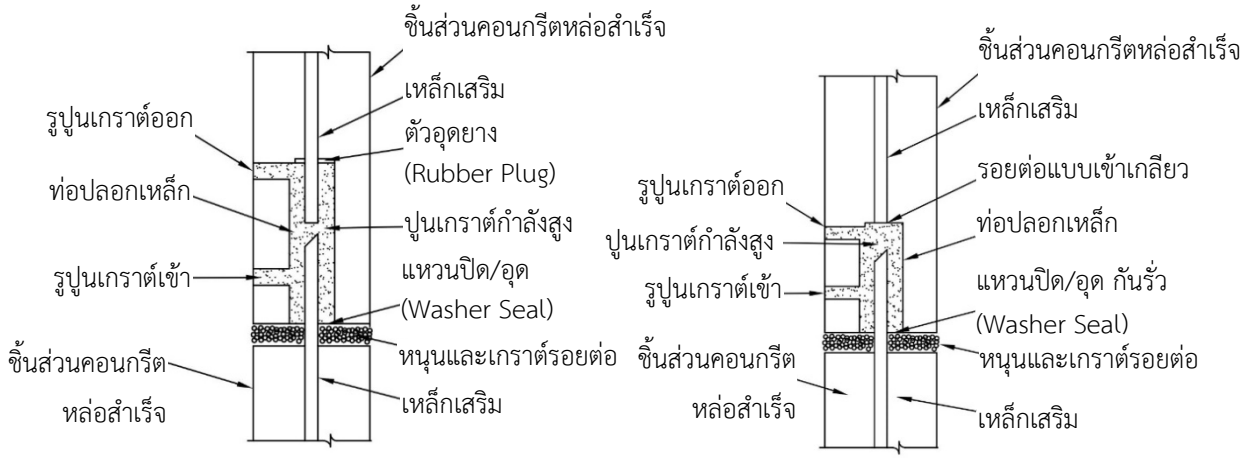
หมายเหตุ [1] เหล็กที่ทาบกันต้องยาวตลอดชิ้นส่วนโครงสร้าง

[2] เหล็กที่ทาบหรือเชื่อมกันต้องอยู่ที่ตำแหน่งไกลกว่าระยะ $2h$ จากผิวผนัง (h = ความหนาพื้น) หรือหากอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กว่าระยะ $2h$ ต้องใช้ การต่อเชิงกลประเภท 2

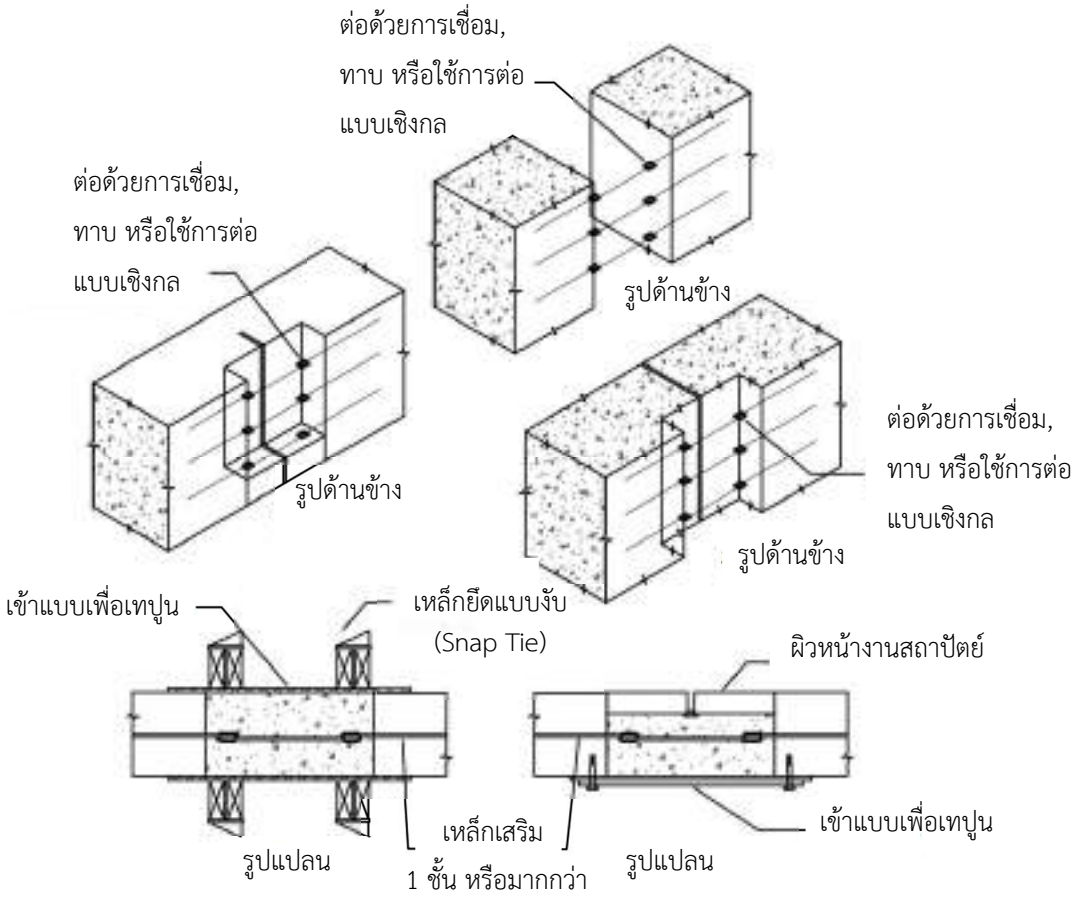


รูปที่ 7.5 ตัวอย่างการต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่งด้วยการใช้การต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice) [90]

หมายเหตุ * เหล็กที่ทาบหรือเชื่อมกันต้องอยู่ที่ตำแหน่งไกลกว่าระยะ $2h$ จากผิวผนังกำแพง (h = ความหนาพื้น) หรือหากอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กว่าระยะ $2h$ ต้องใช้ การต่อเชิงกลประเภท 2 (Mechanical Splice Type 2)



รูปที่ 7.6 ตัวอย่างการต่อเหล็กเสริมด้วยการใช้การต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice) และปูนเกราต์กำลังสูงที่ไม่หดตัว [90]

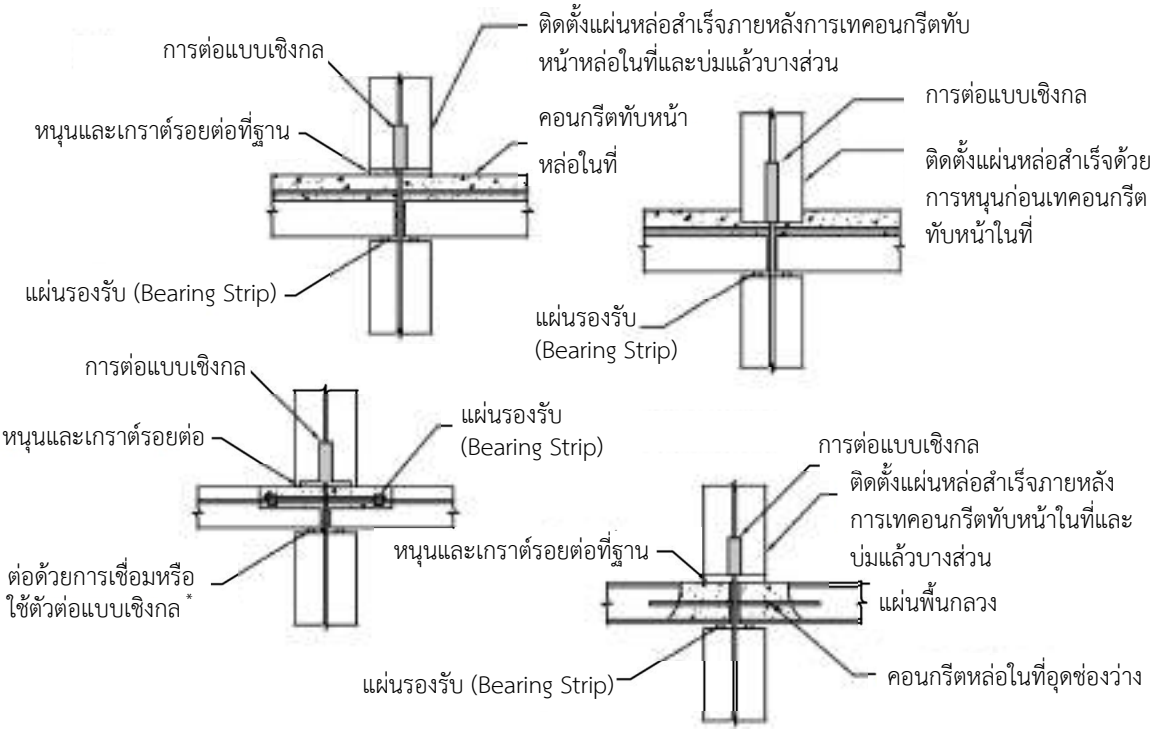


รูปที่ 7.7 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในแนวดิ่งและการหล่อในที่เพื่อปิดจุดเชื่อมต่อแบบต่าง ๆ [90]

7.2.1.4 บริเวณจุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนผนังกำแพงหล่อสำเร็จที่ต่อด้านข้าง สามารถใช้การหล่อในที่ดังแสดงในรูปที่ 7.7 ซึ่งเป็นการปิดจุดเชื่อมต่อที่ยึดกันด้วยเหล็กเสริมในแบบต่าง ๆ โดยเหล็กเสริมสามารถต่อกันด้วยวิธีการทาบได้หากมีระยะทาบเหล็กเพียงพอในช่องเปิดของรอยต่อบริเวณนั้นและต้องเป็นบริเวณที่สอดคล้องตามที่มาตรฐานกำหนด

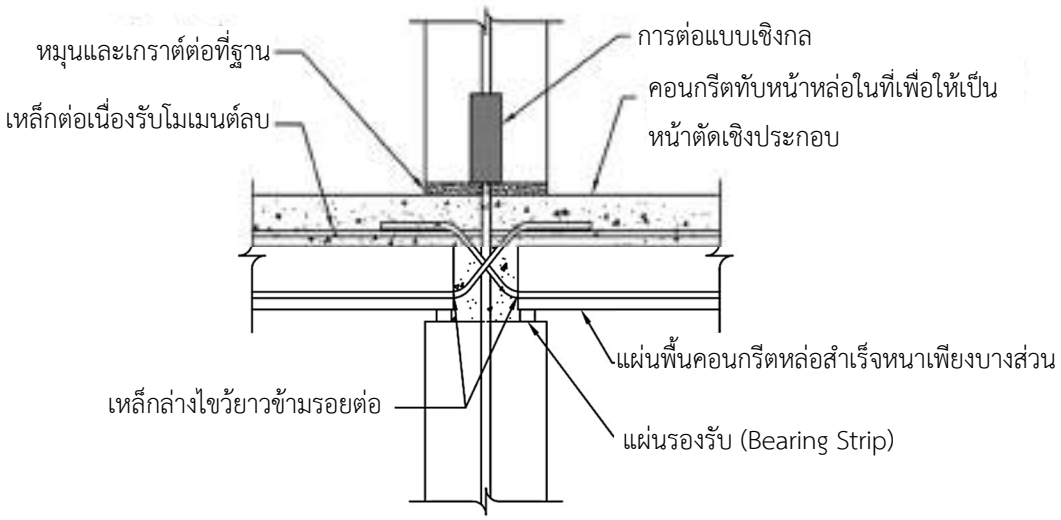
7.2.1.5 จุดเชื่อมต่อระหว่างไดอะแฟรมแผ่นพื้นและผนังต้องพิจารณาเป็นพิเศษในกรณีที่มีการถ่ายแรงภายในจากระบบแผ่นพื้นเข้าสู่ระบบผนังรับแรงเฉือน ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อบริเวณดังกล่าวอาจพิจารณาให้คงพฤติกรรมเป็นอิลาสติกภายใต้แรงแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงแนะนำให้จุดเชื่อมต่อผนัง-พื้น ดังกล่าว มีกำลังเหมาะสมใกล้เคียงกับกำลังของระบบผนังรับแรงเฉือน ดังแสดงตัวอย่างของจุดเชื่อมต่อบริเวณดังกล่าวในรูปที่ 7.8 – 7.9

7.2.1.6 ข้อแนะนำเทคนิคการไขว้เหล็กล่างขึ้นไปเป็นเหล็กบนบริเวณจุดเชื่อมต่อดังแสดงในรูปที่ 7.9 จะช่วยให้เกิดความต่อเนื่องของเหล็กเส้นของไดอะแฟรมของแผ่นพื้นและมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 7.8 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อระหว่างผนังกำแพงและแผ่นพื้นแบบใช้การต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice) [90]

หมายเหตุ * เหล็กที่ทาบหรือเชื่อมกันต้องอยู่ที่ตำแหน่งไกลกว่าระยะ $2h$ จากผิวผนังกำแพง (h = ความหนาพื้น) หรือหากอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กว่าระยะ $2h$ ต้องใช้การต่อเชิงกลประเภท 2 (Mechanical Splice Type 2)

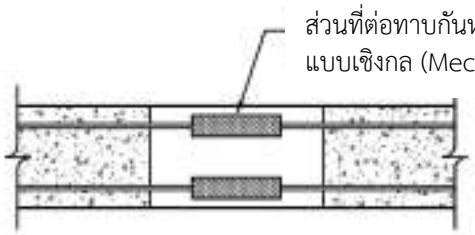


รูปที่ 7.9 เทคนิคการไขว้เหล็กเสริมล่างในพื้นขึ้นไปเป็นเหล็กบนบริเวณจุดเชื่อมต่อ
ระหว่างผนังกำแพงและแผ่นพื้น [90]

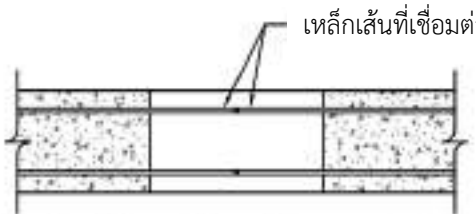
7.2.2 จุดเชื่อมต่อแบบเสมือนหล่อในที่ของโครงสร้างระบบโครงเฟรม (Connection in Frame System)

7.2.2.1 สำหรับโครงสร้างระบบโครงเฟรมที่ใช้การคำนวณแบบอิลาสติกเพื่อคำนวณออกแบบต้านทานแรงดัด และเพื่อให้ระบบโครงสร้างมีความเหนียว ต้องกำหนดให้อัตราส่วนเหล็กเสริมที่จุดหมุน (Hinge) บริเวณรอยต่อชิ้นส่วนคานสู่เสาไม่เกิน 0.025 และกำหนดให้คานมีกำลังต้านทานแรงดัดบวกที่บริเวณหน้าขอบเสาไม่น้อยกว่า 50% ของกำลังต้านทานแรงดัดลบด้วยเหตุผลเพื่อต้านทานการดัดกลับในกรณีเกิดแรงกระทำแบบสลับไปมา นอกจากนี้ในเสาบริเวณที่อยู่เหนือและต่ำกว่าจุดต่อดังกล่าวจะต้องมีกำลังต้านทานแรงดัดรวมมากกว่า 1.2 เท่าของผลรวมกำลังต้านทานแรงดัดของคานที่มาต่อรวมกันที่จุดต่อนั้น

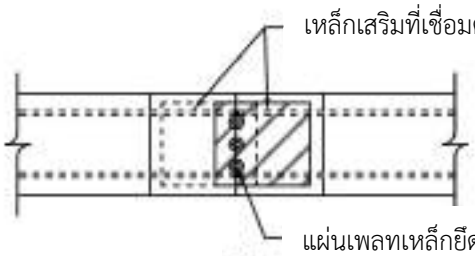
7.2.2.2 จุดเชื่อมต่อในอุดมคติของระบบโครงเฟรมจะอยู่ที่ตำแหน่งที่มีค่าแรงต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าแรงดัดต่ำที่สุดในชิ้นส่วนโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรใช้ตำแหน่งของจุดดัดกลับในการแบ่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เป็นจุดเชื่อมต่อเสมือนแบบคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative System) ดังรูปที่ 7.10 ที่แสดงตัวอย่างรูปแบบจุดเชื่อมต่อในแนวราบแบบต่าง ๆ ทั้งนี้มีคำแนะนำ ในมาตรฐาน NEHRP (1997) [55] ว่าที่จุดเชื่อมต่อจะต้องรับกำลังดัดได้ไม่น้อยกว่า 40% ของค่าแรงดัดสูงสุดของชิ้นส่วน



(ก) ต่อเหล็กเสริมด้วยการทาบหรือใช้ปลอกต่อแบบเชิงกล (Mechanical Splice)



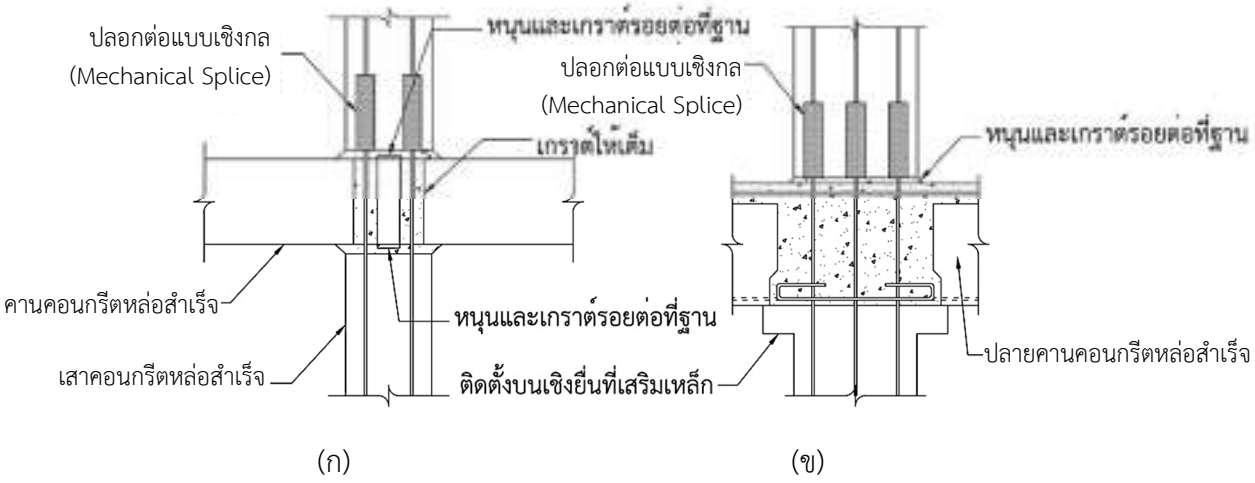
(ข) ต่อเหล็กเสริมด้วยการเชื่อมชน (ใช้กระบวนการพิเศษเฉพาะ)



(ค) จุดเชื่อมต่อที่ใช้ผสมทั้งการเชื่อมเหล็กและใช้แผ่นเพลทยึดด้วยสลักเกลียว

รูปที่ 7.10 จุดเชื่อมต่อในแนวราบของชิ้นส่วนคานในบริเวณตำแหน่งที่ไม่ใช่ริมหน้าเสา [90]

7.2.2.3 ชิ้นส่วนแบบเสาคานที่แยกต่างหากจากกันอาจทำให้ชิ้นส่วนเสาต้องรับแรงที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดต่อสูงกว่ากำลังรับแรงดัดของคานได้ จึงต้องพิจารณาทุกส่วนให้มีความปลอดภัย ดังรูปที่ 7.11 ที่แสดงตัวอย่างรอยต่อเสาคานแบบเสมือนหล่อในที่ ที่สามารถใช้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ ทั้งนี้จุดเชื่อมต่อต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่สามารถรับแรงได้และเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 7.11 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อบริเวณเสาและคาน (ก) เสา-เสา โดยทะลุผ่านท่อในคาน (ข) เสา-คาน โดยใช้การหล่อในที่ปิดรอยต่อ [90]

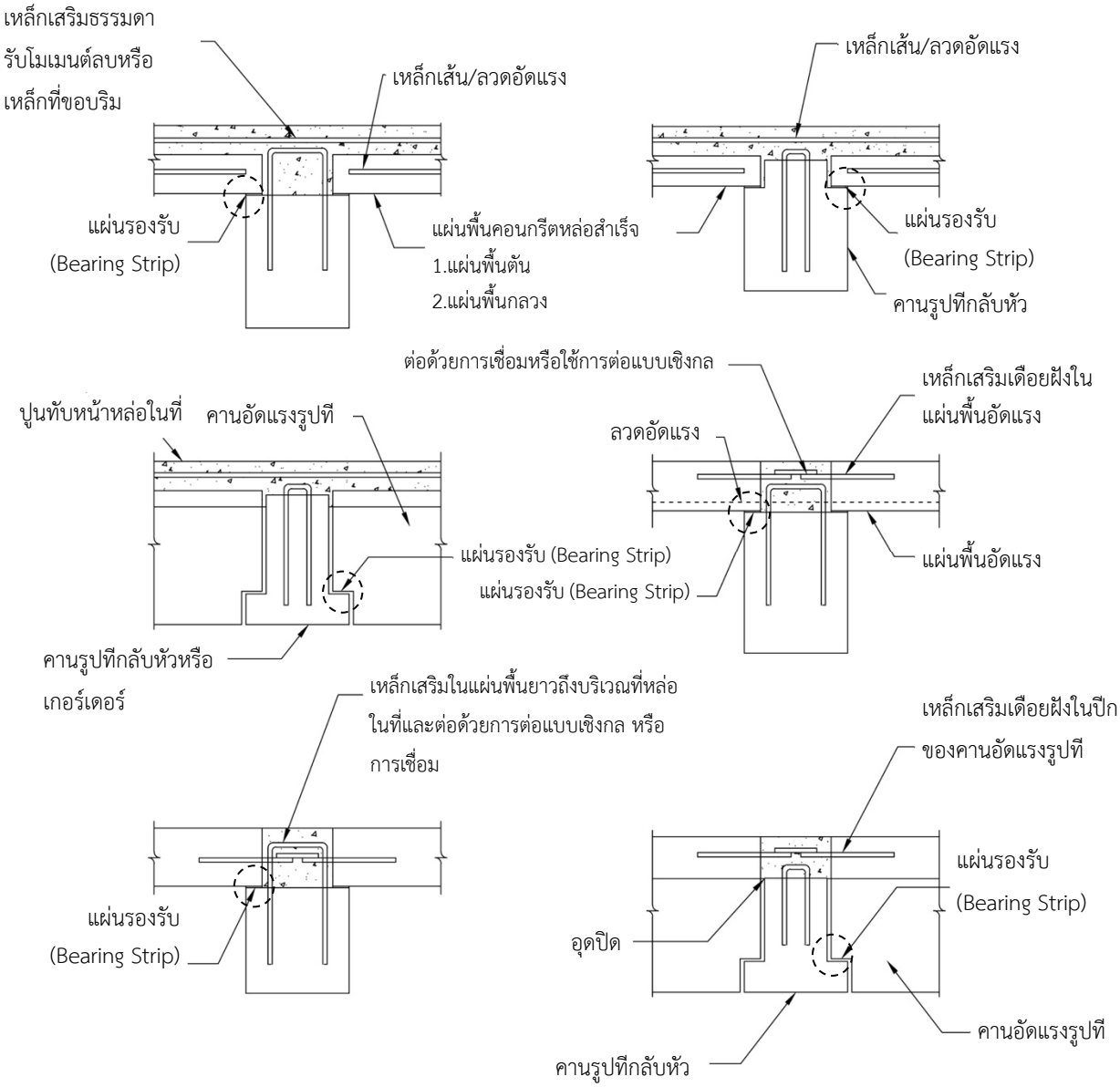
7.2.3 จุดเชื่อมต่อแบบเสมือนหล่อในที่ของไดอะแฟรมแผ่นพื้น (Connection in Floor Diaphragm)

7.2.3.1 จุดเชื่อมต่อในแผ่นพื้นจะต้องดีเพียงพอเพื่อให้ระบบสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบไดอะแฟรมพื้นสามารถใช้ได้ทั้งเป็นการเททับหน้าบนชิ้นส่วนพื้นหล่อสำเร็จหรือเป็นการต่อชิ้นส่วนของแผ่นพื้นก็ได้ (อย่างไรก็ตามในบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวสูง ไม่อนุญาตให้ใช้ระบบไดอะแฟรมแผ่นพื้นแบบใช้พื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จเพียงอย่างเดียวที่ไม่เททับหน้า) รูปที่ 7.12 และ 7.13 แสดงตัวอย่างของจุดเชื่อมต่อในไดอะแฟรมแผ่นพื้น จุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นพื้น หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างพื้นและคานรองรับ

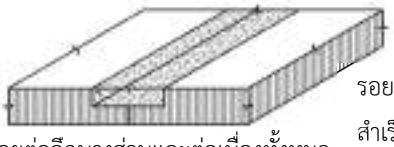
7.2.3.2 ในกรณีที่ใช้การต่อเหล็กในไดอะแฟรมแผ่นพื้นด้วยการต่อเชิงกล (Mechanical Splice) กรณีที่ต้องต้านทานแรงแผ่นดินไหว อุปกรณ์ต่อเหล็กต้องสามารถรับแรงได้มากกว่า 1.4 เท่าของกำลังรับแรงที่จุดครากของเหล็กเสริมที่ใช้ หรือใช้การต่อเชิงกลประเภท 2 (Mechanical Splice Type 2)

7.2.3.3 ไม่แนะนำให้ออกแบบระบบไดอะแฟรมแผ่นพื้นที่มีความเหนียวเนื่องจากอาจเกิดการครากของเหล็กในไดอะแฟรมแผ่นพื้นตามเส้นทางของแรงก่อนที่แรงจะถ่ายไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งและทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งเกิดการครากตามที่ได้ออกแบบไว้

7.2.3.4 รอยต่อที่จุดรองรับไดอะแฟรมแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จมักจะเกิดการร้าวขึ้นซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดความเครียดสูงที่บริเวณรอยต่อ สำหรับบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวสูงแนะนำให้เหล็กตะแกรงเชื่อม (Welded-Wire Fabric) มีระยะช่องสูงสุดไม่เกิน 250 mm และตัวต่อเหล็กที่ส่งแรงผ่านจุดเชื่อมต่อจะต้องแข็งแรงเพียงพอต่อความเครียดที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ตัวต่อที่ใช้เพียงการถ่ายแรงเฉือนจะต้องไม่สูญเสียกำลังเมื่อจุดต่อแยกห่างจากกันเนื่องจากผลของแรงดัด เหล็กเสริมบริเวณขอบ (Chord Reinforcing) ที่รับแรงดัดในไดอะแฟรมแผ่นพื้น จะต้องช่วยควบคุมการเสียรูปของไดอะแฟรมแผ่นพื้นไม่เพียงเฉพาะ ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) แต่รวมถึงต้องป้องกันไม่ให้เกิดการรากเกิดขึ้นด้วย

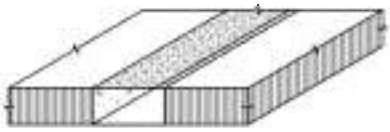


รูปที่ 7.12 ตัวอย่างรูปแบบจุดเชื่อมต่อบริเวณปลายแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ [90]

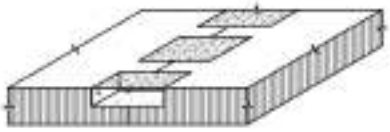


(ข) รอยต่อลึกบางส่วนและต่อเนื่องทั้งหมด

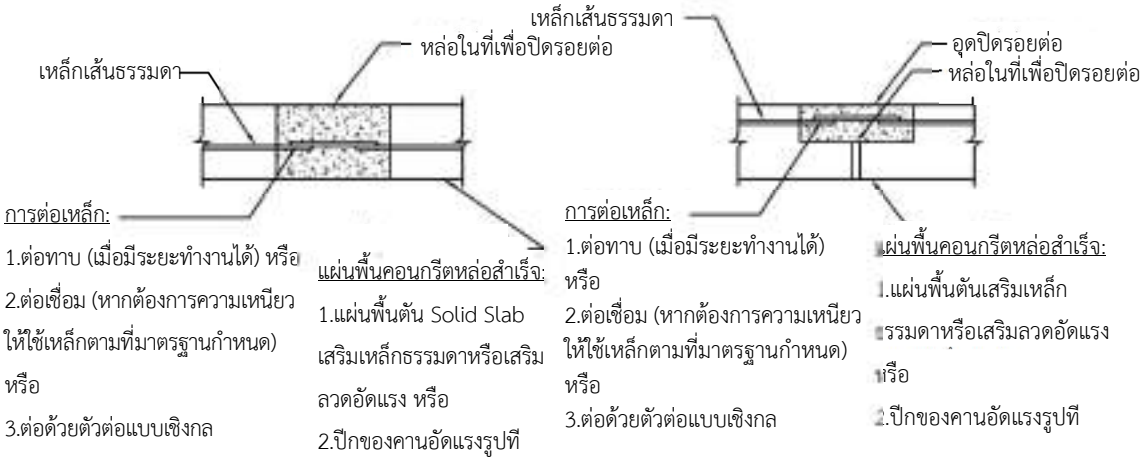
รอยต่อตามยาวที่ขอบแผ่นพื้นหล่อสำเร็จแบบไม่เททับหน้า (แนะนำการเสริมเหล็กตามรูปด้านล่าง)



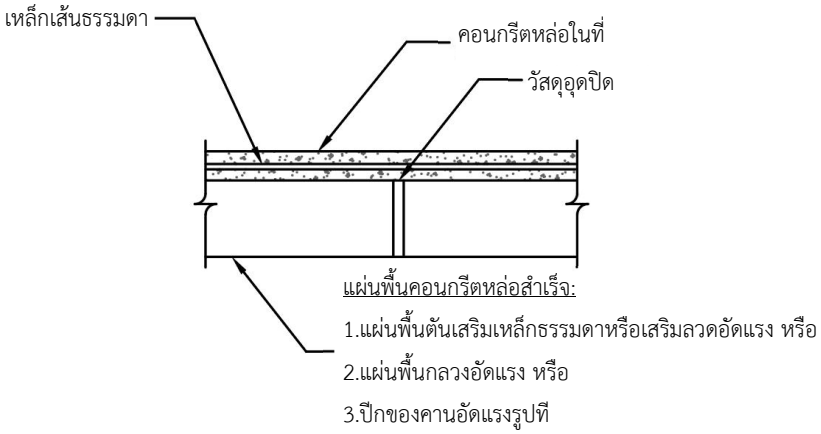
(ก) รอยต่อลึกเต็มและต่อเนื่องทั้งหมด



(ค) รอยต่อลึกบางส่วนแบบเหลื่อมเข้าลิ้น



(ก) รอยต่อตามยาวแบบรอยต่อลึกเต็มความหนา (ข) รอยต่อตามยาวแบบรอยต่อลึกบางส่วน



(ค) แผ่นพื้นแบบทับหน้าหล่อในที่ต่อเนื่องทั้งหมด

รูปที่ 7.13 ตัวอย่างรอยต่อตามยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ [90]

7.2.4 การออกแบบไม่เสมือนคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design)

เนื่องด้วยได้มีการพัฒนารูปแบบรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมากมายซึ่งมีความสามารถในการรับแรงที่แตกต่างกัน ในทิศทางต่าง ๆ ของแรง ทำให้สามารถทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จให้รับแรงต่าง ๆ ในทิศทางต่าง ๆ เฉพาะเจาะจงตามต้องการได้ การออกแบบในลักษณะนี้แตกต่างจากการออกแบบคอนกรีตหล่อในที่เนื่องจากต้องทราบค่าแรงที่เกิดขึ้นที่จุดเชื่อมต่อและต้องทราบความสามารถในการรับแรงที่จุดเชื่อมต่อนั้น เพื่อให้มั่นใจว่าจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ จะแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงภายนอกที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งหมายถึงว่าจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องมีผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ เพื่อนำผลทดสอบมาใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ออกแบบ หรือการใช้แบบจำลองโครงสร้างของจุดเชื่อมต่อที่มีความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างเพื่อพิจารณาและออกแบบแรงที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ

7.3 น้ำหนักบรรทุกและแรงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

7.3.1 การคำนวณออกแบบจะต้องพิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุกและสภาวะยึดรั้งทั้งหมด ทุกขั้นตอนของการก่อสร้าง ตั้งแต่เริ่มต้น จนประกอบโครงสร้างแล้วเสร็จ ทั้งในแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างและจุดเชื่อมต่อ โดยมีสิ่งต้องคำนึงถึง ได้แก่

7.3.1.1 น้ำหนักบรรทุกและสภาวะยึดรั้งทั้งหมด ตั้งแต่เริ่มต้นจนประกอบโครงสร้างแล้วเสร็จ

7.3.1.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อในที่และหล่อสำเร็จ

7.3.1.3 ผลของค่าคลาดเคลื่อนยอมให้

7.3.1.4 แรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการถอดแบบ การเก็บรักษา การขนส่ง และการติดตั้ง

7.3.1.5 พิจารณาผลที่เกิดขึ้นที่รอยต่อเชื่อม ความแข็งแรง และพฤติกรรมโครงสร้างที่ถูกต้องสอดคล้องกับการคำนวณออกแบบ

7.3.1.6 ผลของระยะโก่งตัวเริ่มต้น และระยะโก่งตัวในระยะยาว

7.3.1.7 ผลของการหดตัว การคืบ อุณหภูมิ การเสียรูปแบบอิลาสติก

7.3.1.8 พิจารณาผลของแรงลม และแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว

7.3.1.9 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชั่วคราว ให้คำนึงถึงความสั่นสะเทือน และพลศาสตร์ในสภาวะชั่วคราวระหว่างการดำเนินงานด้วย ซึ่งถ้าไม่มีการวิเคราะห์อย่างละเอียด ให้ใช้ตัวคูณเพิ่มค่าแรงแบบสถิตเพื่อพิจารณาผลกระทบดังกล่าว

7.3.1.10 การอนุญาตให้ใช้ประโยชน์จากแรงเสียดทานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกในการต้านทานแรงแนวราบได้เฉพาะในพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่มีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว และต้องไม่พึ่งพาแรงเสียดทานเพียงอย่างเดียวในการรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวม โดยอาคารต้องไม่มีความเสี่ยงที่จะเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง

7.3.1.11 ชิ้นส่วนพื้นหรือคานแบบช่วงเดียว ต้องป้องกันไม่ให้มีโอกาสที่จะเกิดการกระแทกอย่างแรงโดยสิ้นเชิง

7.3.1.12 ในกรณีของคอนกรีตอัดแรง หากมีการใช้ความร้อนในการบ่มคอนกรีตระหว่างขั้นตอนการผลิต ให้พิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียกำลังของเส้นลวดอัดแรงด้วย

7.3.2 ชนิดของน้ำหนักบรรทุกและแรง

7.3.2.1 น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง ประกอบด้วย

(ก) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

ได้แก่ น้ำหนักชิ้นส่วนขององค์อาคารเองรวมถึงน้ำหนักของวัสดุอื่นหรือชิ้นส่วนอื่นเพิ่มเติมที่จะนำมาเติมหรือติดเข้าด้วยกัน

(ข) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกที่ไม่อยู่ประจำและต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงข้อบัญญัติอาคารที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการยอมให้ในการลดน้ำหนักบรรทุกจรและค่าแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุก (Load Factor)

7.3.2.2 แรงลม (Wind Load)

อ้างอิงตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1311) [69] ซึ่งสามารถคำนวณแรงลมที่กระทำต่ออาคารและวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนหล่อสำเร็จได้ โดยพิจารณาตามลักษณะอาคารและข้อกำหนดว่าสามารถใช้วิธีการคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าโดยวิธีอย่างง่ายหรือวิธีอย่างละเอียด หรือหากอาคารมีลักษณะที่ซับซ้อนก็อาจจำเป็นต้องใช้วิธีการทดสอบอุโมงค์ลมเพื่อหาค่าแรงลมที่กระทำต่ออาคาร

7.3.2.3 แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load)

(ก) แผ่นดินไหวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพื้นดินทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เมื่อคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนผ่านใต้ตำแหน่งของอาคาร ฐานรากของอาคารที่อยู่ในดินก็จะเคลื่อนไหวตามในขณะที่โครงสร้างส่วนเหนือพื้นดินจะพยายามคงอยู่ในตำแหน่งเดิม การเคลื่อนที่แตกต่างกันของส่วนที่อยู่ใต้ดินและส่วนที่อยู่เหนือดินทำให้อาคารเกิดการเสียรูปและเกิดแรงกระทำขึ้นในโครงสร้างตลอดทั้งอาคาร

(ข) หลักการในการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวในปัจจุบันนั้น จะยอมให้อาคารมีความเสียหายเกิดขึ้นได้บ้างเล็กน้อย (Minor Damage) สำหรับแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงระดับปานกลาง (Moderate) และยอมให้อาคารสามารถเสียหายได้มาก (Major Damage) สำหรับแผ่นดินไหวที่รุนแรงมาก (Severe) แต่ต้องไม่ให้อาคารถล่ม (Collapse Prevented) การออกแบบจึงมักนิยมให้องค์อาคารมีการเปลี่ยนรูป

(Deformation) ที่มากเกินช่วงยืดหยุ่นได้เพื่อดูดซับพลังงานจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งการเปลี่ยนรูปของอาคารจะเกิดขึ้นได้มาก จะต้องให้องค์อาคารมีพฤติกรรมที่เหนียว และพยายามกำหนดระดับความเสียหายของอาคารด้วยการจำกัดค่าระยะโก่งของอาคารไว้ เช่น การกำหนดค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นข้างเคียงที่ยอมให้ (Interstory Drift)

(ค) แรงแผ่นดินไหวให้อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1301/1302) [68] ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่ กระทำต่ออาคารและวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนหล่อสำเร็จได้ รวมถึงการคำนวณแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) การกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร การกระจายแรงในแนวราบและแรงบิด การคำนวณแรงบิดที่รวมผลของแรงบิดจากแรงภายนอกและแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion) การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นข้างเคียง (Interstory Drift)

(ง) สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จทางสถาปัตยกรรม จะต้องสามารถรับแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนนั้น ๆ ได้และติดตั้งในตำแหน่งที่ถ่ายแรงผ่านไปยังระบบต้านแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารได้

7.3.2.4 นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาผลของขั้นตอนการก่อสร้างระหว่างการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอีกด้วย เนื่องจากลำดับขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ อาจมีผลทำให้การถ่ายน้ำหนักบรรทุกและแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแตกต่างไปจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารทั้งอาคารในลักษณะที่อาคารก่อสร้างเสร็จแล้ว เช่น น้ำหนักบรรทุกของพื้นที่วางบนคานที่ติดตั้งแบบคานช่วงเดียว (Simple-Span) แล้วค่อยทำจุดเชื่อมต่อระหว่างคานให้เป็นคานต่อเนื่องเพื่อถ่ายแรงดัดในภายหลังนั้นจะไม่ทำให้เกิดแรงดัดลบที่จุดเชื่อมต่อ ดังนั้นในการรวมผลของน้ำหนักบรรทุก (Load Combinations) กรณีต่าง ๆ ที่มีส่วนของน้ำหนักโครงสร้างเองที่เกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งชิ้นส่วน ควรทำการวิเคราะห์ในลักษณะที่สามารถหักล้างผลอันเนื่องมาจากน้ำหนักโครงสร้างเองนี้ออกจากผลวิเคราะห์ของแรงแผ่นดินไหวได้ ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าโมเมนต์ดัดลงได้ และเช่นเดียวกันสำหรับผลในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ควรพิจารณาแยกกันระหว่างผลของน้ำหนักโครงสร้างเองและผลอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหว ทั้งนี้ผลของการเคลื่อนตัวอันเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างเองอาจไม่ต้องพิจารณาได้ หากในระหว่างก่อสร้างอาคาร การติดตั้งชิ้นส่วนของอาคารได้ทำการปรับระยะให้ได้ตำแหน่งตามต้องการในการก่อสร้างแล้ว

7.3.3 วิธีรวมผลของน้ำหนักบรรทุก

การรวมผลของน้ำหนักร่วมกันระหว่างน้ำหนักบรรทุกแบบต่าง ๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ (หรือกฎกระทรวงฉบับที่ 6 [58] ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) [62]

7.3.4 แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Volume Changes)

7.3.4.1 การยึดรั้งโครงสร้างจากการคืบ (Creep) การหดตัว (Shrinkage) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Change) ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีผลทำให้เกิดแรงขึ้นภายในโครงสร้างและที่จุดเชื่อมต่อ ซึ่งควรต้องคำนึงถึงในการออกแบบและการให้รายละเอียดของโครงสร้างด้วย ผลของอุณหภูมิสามารถทำให้ปริมาตรหดหรือขยายตัวได้ แต่การคืบและการหดตัวทำให้เกิดเฉพาะการหดตัวเท่านั้น

7.3.4.2 การให้รายละเอียดที่เหมาะสมจะช่วยลดผลกระทบจากการยึดหรือหดตัวนี้ได้ ควรใช้จุดยึดต่อของชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งที่ทำให้การเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่มีความเหนียวเกิดขึ้นได้ เช่น การใช้แผ่นเหล็กยึดต่อหรือการยึดด้วยสลักเกลียว แต่หากใช้จุดยึดต่อที่ยึดแน่นเกินไป ก็อาจทำให้เกิดแรงจากการยึดรั้งสูงและมีผลในทางตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น การติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่ใช้การเชื่อมยึดที่ปลายทั้งสองด้านบนจุดรองรับ มักพบว่าเกิดปัญหาจากการยึดรั้ง ซึ่งหากเปลี่ยนไปใช้เพียงการยึดที่ส่วนด้านบนด้วยการยึดต่อที่มีความเหนียว ก็จะเพียงพอต่อแรงยึดรั้งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ แต่ถ้าทำการยึดต่อส่วนด้านบนจนแข็งแรงเกินไป ก็อาจทำให้เกิดแรงดัดลบสูงได้หากมีแรงอัดต้านที่บริเวณจุดรองรับ

7.3.4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่รับแรงในแนวดิ่งค่อนข้างสำคัญในกรณีที่เป็นอาคารสูง ซึ่งมักพบปัญหาในการเคลื่อนตัวที่ไม่เท่ากันของเสาและผนังเปลือกอาคาร (Facade) เช่น การติดตั้งแผ่นผนังเปลือกอาคาร (Facade) หล่อสำเร็จเข้ากับโครงสร้างที่เป็นส่วนหล่อในที่ จุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่และจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จเองควรพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้ด้วย

7.3.4.4 ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change Strains) โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ดังแสดงค่าในตารางที่ 7.1 ซึ่งความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้ต้องนำมาพิจารณาในการให้รายละเอียดจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อลดแรงจากการยึดรั้งของชิ้นส่วน

7.3.4.6 รอยต่อเผื่อขยาย (Expansion Joint)

(ก) รอยต่อโครงสร้างชนิดนี้มีไว้เพื่อจำกัดขนาดของแรงยึดรั้งอันเป็นผลมาจากความเครียดของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การหดตัว และการคืบ และมีไว้เพื่อให้โครงสร้างสามารถมีการขยับตัวได้บ้าง

(ข) รอยต่อสำหรับการหดตัวของโครงสร้าง จำเป็นเพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการลดของอุณหภูมิ การคืบ และ การหดตัว เรียกว่ารอยต่อเผื่อหดตัว (Contraction Joint) หรือ รอยต่อควบคุม (Control Joint) อย่างไรก็ตาม มักนิยมเรียกรวมกันกับรอยต่อเผื่อขยาย (Expansion Joint) เนื่องด้วยโดยทั่วไปแล้วแรงยึดรั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (หากอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเป็นการขยายตัว) จะมีค่ามากกว่าแรงจากการคืบหรือการหดตัว

(ค) ระยะเรียงของรอยต่อ (Spacing of Expansion Joint)
ระยะเรียงที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับประสบการณ์ซึ่งจะพิจารณาจากหลายปัจจัย อาทิ ชนิดของรอยต่อที่ใช้ สติฟเนสของเสาและคาน ตำแหน่งของชิ้นส่วนสำหรับต้านทานแรงด้านข้าง และสภาพอากาศ เช่น โครงสร้างที่ถูกแสงแดดโดยตรงกับโครงสร้างที่ไม่โดนแสงแดดจะได้รับผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ไม่เท่ากัน จึงควรใช้ระยะที่แตกต่างกัน ค่าแนะนำสำหรับโครงสร้างโดยทั่วไปควรทำการแบ่งรอยต่อโครงสร้างทุกระยะประมาณ 50 m

(ง) ความกว้างของรอยต่อเผื่อขยาย (Width of Expansion Joint)
ความกว้างของรอยต่อสามารถคำนวณตามทฤษฎีจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Coefficient of Expansion) ของคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ $10 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ และควรพิจารณาถึงอุณหภูมิในขณะที่ทำการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วย

ตารางที่ 7.1 ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (หน่วย: $\mu\varepsilon$)

	ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง (สำหรับชิ้นส่วนที่มีค่าหน่วยแรงอัดประมาณ 4.14 MPa)									
	คอนกรีตมวลปกติ					**คอนกรีตมวลเบา**				
	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)					**ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)**				
อุณหภูมิ °C	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
15	813.5	766.5	719.5	672.5	625.5	802.5	753.5	704.5	655.5	606.5
20	854.0	807.0	760.0	713.0	666.0	836.0	787.0	738.0	689.0	640.0
25	894.5	847.5	800.5	753.5	706.5	870.0	821.0	772.0	723.0	674.0
30	935.0	888.0	841.0	794.0	747.0	903.5	854.5	805.5	756.5	707.5
35	975.5	928.5	881.5	834.5	787.5	937.5	888.5	839.5	790.5	741.5
40	1016.0	969.0	922.0	875.0	828.0	971.0	922.0	873.0	824.0	775.0
45	1056.5	1009.5	962.5	915.5	868.5	1005.0	956.0	907.0	858.0	809.0

ตารางที่ 7.1 ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (หน่วย : $\mu\varepsilon$) (ต่อ)

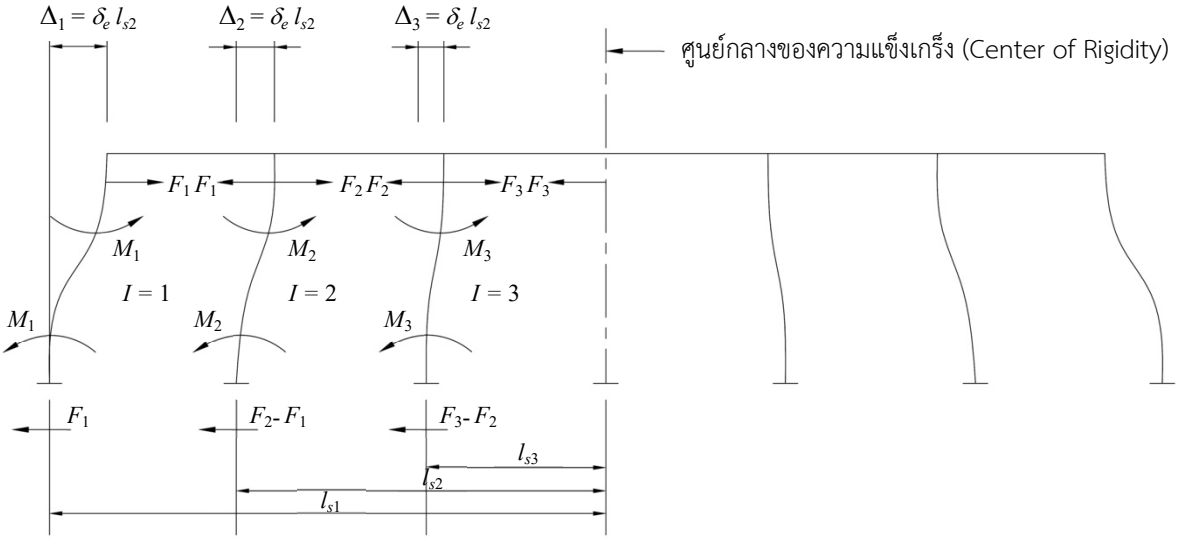
	ชิ้นส่วนคอนกรีตไม่อัดแรง									
	คอนกรีตมวลปกติ					**คอนกรีตมวลปกติ**				
	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)					**ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)**				
อุณหภูมิ °C	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
15	559.5	530.5	500.5	471.5	442.5	515.5	486.5	456.5	427.5	398.5
20	600.0	571.0	541.0	512.0	483.0	549.0	520.0	490.0	461.0	432.0
25	640.5	611.5	581.5	552.5	523.5	583.0	554.0	524.0	495.0	466.0
30	681.0	652.0	622.0	593.0	564.0	616.5	587.5	557.5	528.5	499.5
35	721.5	692.5	662.5	633.5	604.5	650.5	621.5	591.5	562.5	533.5
40	762.0	733.0	703.0	674.0	645.0	684.0	655.0	625.0	596.0	567.0
45	802.5	773.5	743.5	714.5	685.5	718.0	689.0	659.0	630.0	601.0

หมายเหตุ : อ้างอิงจาก Precast/Prestressed Concrete Institute. PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition, 2010 [56]

7.3.4.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)

(ก) แรงยึดรั้งอันเนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อระบบโครงต้านทานแรงดัดแบบโมเมนต์เฟรม (Moment Resisting Frame) จะทำให้เกิดแรงดึงและการแอ่นตัวในชิ้นส่วนของคาน และแรงเฉือนกับโมเมนต์ดัดในชิ้นส่วนเสา ค่าแรงดึง แรงเฉือน โมเมนต์ดัด และการแอ่นตัว จะขึ้นกับระยะห่างจากตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของโครงเฟรม

(ข) ตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) คือตำแหน่งในโครงเฟรมที่เกิดการหดตัวที่เท่ากันหมดโดยไม่มีการเคลื่อนตัวใด ๆ ในแนวราบเกิดขึ้น สำหรับโครงเฟรมที่มีความสมมาตรในแกนดิ่ง (มีระยะห่างช่วงเสา (Bay) เท่ากัน, ความสูงเฟรมเท่ากัน, สติฟเนส ของชิ้นส่วนเท่ากัน) ตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of rigidity) จะอยู่ที่กึ่งกลางของโครงเฟรม ดังแสดงในรูปที่ 7.14



รูปที่ 7.14 แรงภายในระบบโครงเฟรมต้านแรงดัดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร [56]

(ค) แรงดึงภายในคานจะสูงสุดในช่วงของช่วงเสา (Bay) ที่อยู่ใกล้ตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) มากที่สุด ส่วนการแอ่นตัวและค่าโมเมนต์ดัดของเสาจะสูงสุดในเสาที่อยู่ไกลตำแหน่ง ศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) มากที่สุด ดังนั้น

$$F_1 < F_2 < F_3$$

$$\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3$$

$$M_1 > M_2 > M_3$$

โดยสามารถวิเคราะห์หาค่าแรง F และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในโครงเฟรมต้านแรงดัดได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยหลักการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (Equivalent Volume Change) ดังต่อไปนี้

(ง) การคำนวณหาค่าแรงในระบบโครงสร้างด้วยหลักการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (Equivalent Volume Change)

ชิ้นส่วนโครงเฟรมในแนวราบที่ต่อกันที่ปลายในแบบที่ยึดรั้งไว้ต่อการหดตัวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรดังแสดงในรูปที่ 7.14 จะเกิดแรงดึงขึ้นในชิ้นส่วนและส่งถ่ายไปยังจุดรองรับ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการหดตัวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ผลของการหดตัวต่อค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่จุดรองรับกลับมีการลดลงเนื่องจากผลของการคืบและรอยร้าวขนาดเล็ก (Micro Cracking) ของชิ้นส่วนและจุดรองรับ

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่าแรงในการออกแบบ การคำนวณค่าแรงยึดรั้งอันเนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสามารถใช้หลักการเดียวกันกับการคำนวณค่าการเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกระยะสั้น (Short-Term Elastic Deformation) โดยใช้หลักการของการเสียรูปเทียบเท่า (Equivalent Shortening) ดังนี้

สมมติให้

$$\delta_{ec} = \frac{\delta_c}{K_l} \tag{7.1}$$

$$\delta_{es} = \frac{\delta_s}{K_l} \tag{7.2}$$

โดยที่ δ_{ec}, δ_{es} = การคืบเทียบเท่า (Equivalent Creep) และการหดตัวเทียบเท่า (Equivalent Shrinkage) ตามลำดับ

δ_c, δ_s = การคืบ (Creep) และ การหดตัว (Shrinkage) ตามลำดับ

K_l = ค่าคงที่ในการออกแบบ มีค่าระหว่าง 4 – 6 โดยค่าของ K_l จะมีค่าไปทางด้านน้อยเมื่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีการเสริมเหล็กมาก และจะมีค่าไปทางข้างมากเมื่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีการเสริมเหล็กน้อย โดยทั่วไปใช้ค่าเท่ากับ 5

ค่าการหดตัวอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสามารถพิจารณาได้ในรูปแบบเดียวกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมากที่สุดมักเกิดขึ้นเพียงในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณราว 60 – 90 วัน ดังนั้นจะได้ว่า

$$\delta_{et} = \frac{\delta_t}{K_t} \tag{7.3}$$

โดยที่ δ_{et}, δ_t = การหดตัวเนื่องจากผลของอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Shortening) และ การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Shortening) ตามลำดับ

δ_t = ค่าคงที่ในการออกแบบ โดยมีค่าเท่ากับ 1.5

ดังนั้นค่าการเสียรูปเทียบเท่า (Equivalent Shortening, Δ) ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta = \delta_{ec} + \delta_{es} + \delta_{et} = \frac{\delta_c + \delta_s}{K_l} + \frac{\delta_t}{K_t} \quad (7.4)$$

นอกจากนี้ สามารถอ้างอิงค่าความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (Equivalent Volume Change Strain) สำหรับอาคารทั่วไปในระบบโครงเฟรมได้จากตารางที่ 7.2 เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองโครงสร้างสำหรับวิเคราะห์หาค่าแรงภายในโครงสร้างต่อไป

7.3.4.8 ระดับความยึดแน่น (Degree of Fixity) ของจุดรองรับของฐานเสามีผลต่อค่าของแรงและโมเมนต์ดัดที่เป็นผลมาจากการยึดรั้งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การสมมติจุดรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาจทำให้ได้ค่าแรงยึดรั้งที่มากเกินไป ในขณะที่หากสมมติเป็นแบบจุดหมุน (Pin Support) จะได้ผลในทางตรงกันข้าม ระดับความยึดแน่นควรให้สอดคล้องกันในการวิเคราะห์โครงสร้างและการวิเคราะห์ผลของการยึดรั้งจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร รวมถึงการวิเคราะห์ผลจากความชะลูดของเสาด้วย (Slenderness Effects) ดังรายละเอียดแสดงไว้ในข้อที่ 7.5.2 และ 7.5.3 ซึ่งจะช่วยลดค่าแรงยึดรั้งอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของค่าแรง อันเป็นผลมาจากการยึดรั้งของเฟรมที่ต่อเนื่องกันหลาย ๆ ชุด แนะนำให้มีจุดเชื่อมต่อที่ยืดหยุ่นในระหว่างชุดของโครงเฟรมบ้างเพื่อลดผลการยึดรั้งลง

ตารางที่ 7.2 ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (หน่วย : $\mu\varepsilon$)

	ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง (สำหรับชิ้นส่วนที่มีค่าหน่วยแรงอัดประมาณ 4.14 MPa)									
	คอนกรีตมวลปกติ					**คอนกรีตมวลเบา**				
	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)					**ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)**				
อุณหภูมิ °C	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
15	287.0	277.0	268.0	258.0	249.0	264.0	254.0	245.0	235.0	225.0
20	314.0	304.0	295.0	285.0	276.0	286.0	276.0	267.0	257.0	247.0
25	341.0	331.0	322.0	312.0	303.0	309.0	299.0	290.0	280.0	270.0
30	368.0	358.0	349.0	339.0	330.0	331.0	321.0	312.0	302.0	292.0
35	395.0	385.0	376.0	366.0	357.0	354.0	344.0	335.0	325.0	315.0
40	422.0	412.0	403.0	393.0	384.0	376.0	366.0	357.0	347.0	337.0
45	449.0	439.0	430.0	420.0	411.0	399.0	389.0	380.0	370.0	360.0

ตารางที่ 7.2 ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า (หน่วย : $\mu\varepsilon$) (ต่อ)

	ชิ้นส่วนคอนกรีตไม่อัดแรง									
	คอนกรีตมวลปกติ					**คอนกรีตมวลเบา**				
	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)					**ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH, %)**				
อุณหภูมิ °C	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
15	236.0	230.0	224.0	218.0	212.0	206.5	200.5	194.5	188.5	182.5
20	263.0	257.0	251.0	245.0	239.0	229.0	223.0	217.0	211.0	205.0
25	290.0	284.0	278.0	272.0	266.0	251.5	245.5	239.5	233.5	227.5
30	317.0	311.0	305.0	299.0	293.0	274.0	268.0	262.0	256.0	250.0
35	344.0	338.0	332.0	326.0	320.0	296.5	290.5	284.5	278.5	272.5
40	371.0	365.0	359.0	353.0	347.0	319.0	313.0	307.0	301.0	295.0
45	398.0	392.0	386.0	380.0	374.0	341.5	335.5	329.5	323.5	317.5

หมายเหตุ : อ้างอิงจาก Precast/Prestressed Concrete Institute. PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition, 2010 [56]

7.4 ระบบโครงสร้างแบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall Systems)

ผนังรับแรงเฉือนเป็นระบบที่พบว่ามีประสิทธิภาพดีอย่างยิ่งในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง (แรงลมและแรงแผ่นดินไหว) โดยทั่วไปจะออกแบบในลักษณะเหมือนการก่อสร้างแบบหล่อในที่ และทำการปรับรูปแบบรอยต่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างในระบบหล่อสำเร็จ พบว่า หากโครงสร้างได้ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะเกิดการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Interstory Drift) ไม่เกิน 2% แล้วการเคลื่อนตัวและความเสียหายของอาคารจะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ในบริเวณที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพหรือได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับปานกลางเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว สามารถเลือกใช้รูปแบบรอยต่อที่ใช้จุดเชื่อมต่อแบบแห้ง (Dry Connections) และอาจมีการเกราต์เล็กน้อยได้ สำหรับในบริเวณที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับสูงเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว จุดเชื่อมต่อฐานรากและจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จมักใช้รูปแบบรอยต่อแบบพฤติกรรมเสมือนการหล่อในที่ (Emulate Cast-in-Place Behavior)

ปัญหาที่มักพบในระบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จ คือ การให้รายละเอียดที่เหนียวไม่เพียงพอทำให้โครงสร้างเปราะและเกิดความเสียหายเฉพาะที่ (เช่น การฝังยึดที่ไม่เพียงพอ) การให้รายละเอียดระบบไดอะแฟรมไม่เหมาะสม การเสริมเหล็กสำหรับแรงเฉือนและแรงบิดภายในระบบไดอะแฟรมไม่เพียงพอ หรือการยึดระหว่างระบบไดอะแฟรมเข้ากับผนังรับแรงเฉือนไม่เพียงพอ

7.4.1 หลักการทั่วไปของผนังรับแรงเฉือน

7.4.1.1 ผนังรับแรงเฉือนมีพฤติกรรมเสมือนคานยื่นในแนวดิ่งที่ถ่ายแรงในแนวราบในทิศทางขนานไปกับพื้นผิวของผนังจากโครงสร้างส่วนบนพื้นดินไปยังฐานราก ผนังรับแรงเฉือนควรถูกจัดวางแนวเพื่อต้านทานแรงด้านข้างในทิศทางหลักทั้ง 2 ทิศทางของอาคาร โดยอุดมคติแล้วควรมีผนังรับแรงเฉือนอย่างน้อย 2 ผนังจัดวางในแนวที่ต้านทานแรงด้านข้างในแต่ละทิศทางหลักของอาคาร ในกรณีที่หากมีผนังรับแรงเฉือนเพียงผนังเดียวที่วางแนวในทิศทางหลักของอาคาร ก็ควรจะมีผนังรับแรงเฉือนอีก 2 ผนังที่จัดวางในแนวตั้งฉากกันเพื่อต้านทานการบิดของอาคาร หรือทางเลือกอื่นอาจเป็นจัดวางผนังรับแรงเฉือน 3 ผนังที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศทางเดียวกันเลย

7.4.1.2 หากคำนวณออกแบบได้ ควรออกแบบให้ผนังรับแรงเฉือนเป็นผนังรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งไปในตัวด้วย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ผนังรับแรงเฉือนในการต้านทานการพลิกคว่ำและการถอนได้

7.4.1.3 การกระจายแรงด้านข้างเข้าสู่ผนังรับแรงเฉือนมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือ

(ก) ดินและฐานรากที่รองรับ

(ข) สติฟเนสของแผงไดอะแฟรม

(ค) สติฟเนสต้านแรงดัดและแรงเฉือนของผนัง และสติฟเนสของจุดเชื่อมต่อ

(ง) การเยื้องศูนย์ของตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกด้านข้างที่กระทำกับตำแหน่ง จุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของผนังรับแรงเฉือน

7.4.1.4 โดยทั่วไปแล้วการเสียรูปของดินและฐานรากมักไม่นำมาคำนวณรวมในการพิจารณากระจายแรงด้านข้างเข้าสู่ระบบผนังรับแรงเฉือน ถ้าอัตราส่วนความลึกต่อระยะช่วง (Depth-to-Span Ratio) ของแผงไดอะแฟรมมีค่าน้อย จะจัดว่าแผงไดอะแฟรมนั้นมีลักษณะยืดหยุ่น (Flexible Diaphragm) ซึ่งอาจมีการแอ่นตัวอย่างมีนัยสำคัญเกิดขึ้นได้ ไดอะแฟรมแบบยืดหยุ่นจะกระจายแรงเฉือนไปยังผนังรับแรงเฉือนในสัดส่วนตามความกว้างของการถ่ายแรงจากไดอะแฟรมไปยังผนังรับแรงและไม่มีความต่อเนื่อง

7.4.1.5 ในกรณีที่หากค่าความลึกต่อระยะช่วง (Depth-to-Span Ratio) ของแผงไดอะแฟรมมีค่ามากจะจัดว่าเป็นไดอะแฟรมแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm) ซึ่งไม่มีการเสียรูปในแนวนอนและจะกระจายแรงเฉือนไปยังผนังรับแรงเฉือนในสัดส่วนตามค่าสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนแต่ละผนัง

7.4.1.6 โดยทั่วไปสำหรับอาคารระบบผนังรับแรงเฉือนแบบหล่อสำเร็จ มักจะสมมติให้การคำนวณออกแบบพื้นไดอะแฟรมและหลังคาไดอะแฟรมมีลักษณะแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm)

7.4.2 ผนังรับแรงเฉือนคู่ควบ (Coupled Shear Walls)

7.4.2.1 ผนังรับแรงเฉือน 2 ผนังที่แยกจากกันด้วยช่องเปิดขนาดใหญ่ สามารถต่อเชื่อมถึงกันด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแนวแกน และ/หรือ แรงดัดร่วมด้วย ผลรวมสติฟเนส (Combined Stiffness) ของทั้ง 2 ผนังเมื่อเชื่อมกัน (Coupled shear wall) จะสูงกว่าผลบวกของ Uncombined Stiffness ของแต่ละผนังถ้าไม่เชื่อมต่อกันมาบวกเข้าด้วยกัน โดยอาศัยการถ่ายแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดผ่านคานต่อควบ (Coupling Beam) ผนังรับแรงเฉือนคู่ควบ (Coupled Shear Wall) สามารถลดการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ทางด้านข้างของอาคาร (Drift) ได้ดีและลดขนาดของโมเมนต์สำหรับผนังรับแรงเฉือนแต่ละผนังลงได้

7.4.2.2 การวิเคราะห์ค่าแรงภายในโครงสร้างจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับขนาดของเอลิเมนต์ในแบบจำลองโครงสร้าง หรืออาจใช้การวิเคราะห์โครงระนาบ (Plane Frame Analysis) ก็สามารถวิเคราะห์ผลในภาพรวมของโครงสร้างได้ อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์โครงระนาบควรพิจารณาผลของขนาดโครงสร้างร่วมด้วย เนื่องจากหากพิจารณาเพียงเสมือนโครงสร้างแบบเส้น (Centerline Basic Analysis) อาจได้ผลที่คลาดเคลื่อนได้

7.4.3 ผนังรับแรงเฉือนที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ (Shear Walls with Large Openings)

7.4.3.1 เช่นเดียวกันกับผนังรับแรงเฉือนแบบ Coupled Shear Walls ผนังแบบนี้จะใช้ค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างที่วิเคราะห์ได้เพื่อคำนวณหาค่าสติฟเนสเทียบเท่าเพื่อที่จะคำนวณการกระจายแรงต่อไปอีกขั้นตอนหนึ่งต่อไป

7.4.3.2 สำหรับโครงสร้างที่มีความสูงมาก ๆ ค่าแรงเฉือนในแนวดิ่ง (Vertical Shear) และการเปลี่ยนรูปตามแนวแกน (Axial Deformation) จะมีผลต่อความแข็งเกร็ง (Rigidity) ของแผ่นผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ดังนั้นกรณีนี้จำเป็นที่ต้องพิจารณาการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น

7.4.4 สิ่งที่ต้องประเมินของระบบผนังรับแรงเฉือน (Evaluation of Shear Wall Systems)

เมื่อทำการวิเคราะห์ทราบค่าแรงต่าง ๆ ในโครงสร้างของระบบผนังรับแรงเฉือนแล้ว ต้องประเมินค่าต่าง ๆ ดังนี้

7.4.4.1 โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ (Overturning Moment)

ให้พิจารณาค่าโมเมนต์ที่อาจทำให้เกิดการพลิกคว่ำจากแรงลม และแรงแผ่นดินไหวตามวิธีการรวมแรง หากโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำของโครงสร้างไม่เพียงพอ สามารถใช้วิธีเสริมเหล็กตัวยึดช่วยได้ (เช่น เหล็กเส้นยึดในแนวดิ่ง, การดึงลวดอัดแรงในภายหลังเพิ่ม) และอาจต้องขยายขนาดฐานราก ใช้เข็มรับแรงดึง หรือ วิธีอื่น ๆ เพื่อต้านทานผลจากโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำด้วย ในกรณีที่พบว่าไม่สามารถต้านทานโมเมนต์พลิกคว่ำได้ อาจต้องเพิ่มจำนวนหรือความยาวของผนังรับแรงเฉือนซึ่งต้องทำการวิเคราะห์ออกแบบตรวจสอบ

7.4.4.2 แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนที่ฐานโครงสร้างด้วยหลักการแรงเฉือนเสียดทาน (Shear-Friction) โดยพิจารณาจากผลของแรงอัดที่เกิดร่วมกับแรงดัดของผนังรับแรงเฉือนนั้น ซึ่งอาจต้องเสริมเหล็กเพิ่มให้มีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

7.4.4.3 ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Drift)

เมื่อตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์จากผลของแรงแผ่นดินไหวแล้ว บางกรณีอาจจำเป็นต้องตรวจสอบผลของ P-Delta ที่อาจเกิดขึ้นด้วย (อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1301/1302) [68]

7.5 โครงสร้างอาคารโครงต้านทานโมเมนต์ (Moment-Resisting Building Frames)

7.5.1 ความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ฐานเสา (Moment Resistance of Column Bases)

ในระบบโครงสร้างแบบเสาคานที่ไม่มีผนังรับแรงเฉือน เสาและฐานเสาจะเป็นส่วนของโครงสร้างที่ต้านทานแรงด้านข้าง ซึ่งจะพิจารณาความแข็งแรงของโครงสร้างจากการหมุนที่ฐานเสา (Rotation Characteristics of The Column Base) โดยเป็นผลรวมมาจากผลของแรงดัดที่แผ่นรอง (Base Plate), การยืดตัวของสลักเกลียวยึด และการหมุนของฐานรากในกรณีที่เป็นฐานรากแผ่ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติของดินใต้ฐานราก ดังแสดงในรูปที่ 7.15 โดย

การหมุนที่ฐานเสาทั้งหมด, $\phi_b = \phi_f + \phi_{bp} + \phi_{ab}$ (7.5)

โดยที่ ϕ_f คือ การหมุนในส่วนของฐานราก

ϕ_{bp} คือ การหมุนในส่วนของแผ่นรอง (Base Plate)

ϕ_{ab} คือ การหมุนในส่วนของสลักเกลียวยึด (Anchor Bolt)

ในกรณีที่แรงตามแนวแกนในเสาสูงมากพอที่ไม่เกิดแรงดึงขึ้นในสลักเกลียวยึด ค่า ϕ_{bp} และ ϕ_{ab} = 0

เมื่อพิจารณาสติฟเนสการหมุนของโครงสร้าง

$$\phi = \gamma M = \frac{M}{K} \tag{7.6}$$

เมื่อ M = ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น = $P.e$

e = ระยะเยื้องศูนย์ของแรงตามแนวแกนในเสา, P

γ = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Flexibility Coefficient)

K = ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนส (Stiffness Coefficient) = $\frac{1}{\gamma}$

จากรูปที่ 7.15 จะได้ว่า

$$\phi_b = M(\gamma_f + \gamma_{bp} + \gamma_{ab}) = P \cdot e(\gamma_f + \gamma_{bp} + \gamma_{ab}) \tag{7.7}$$

โดยที่

$$\gamma_f = \frac{1}{k_s I_f} \tag{7.8}$$

$$\gamma_{bp} = \frac{(x_1 + x_2)^3 \left(\frac{2e}{h + 2x_1} - 1 \right)}{6eE_s I_{bp}(h + x_1)} \tag{7.9}$$

$$\gamma_{ab} = \frac{g \left(\frac{2e}{h + 2x_1} - 1 \right)}{2eE_s A_b (h + x_1)} \tag{7.10}$$

เมื่อ γ_f = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและฐานรากแผ่

γ_{bp} = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของแผ่นรอง (Base Plate)

γ_{ab} = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของสลักเกลียวยึด (Anchor Bolt)

k_s = ค่าสัมประสิทธิ์ของโมดูลัสการต้านแรงกดของชั้นดิน (Coefficient of Subgrade Reaction) จากผลทดสอบดิน อาจหาได้จากค่ากำลังต้านทานแรงแบกทานของดินที่ยอมให้ (Allowable Soil Bearing Capacity)

I_f = โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia) ของฐานราก

E_s = มอดุลัสยืดหยุ่นของเหล็ก

I_{bp} = โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นรอง (พิจารณาหน้าตัดด้านความหนา)

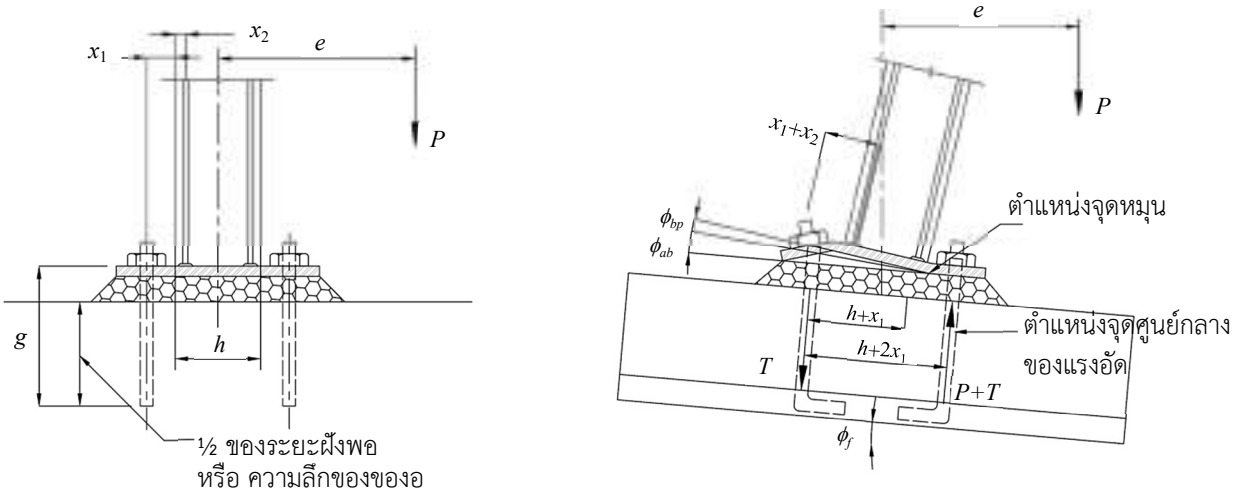
A_b = พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่รับแรงดึงทั้งหมด

h = ความกว้างเสาในทิศทางที่พิจารณาแรงดัด (ตามรูป)

x_1 = ระยะจากขอบเสาถึงกึ่งกลางสลักเกลียว มีค่าเป็นบวกเมื่อตำแหน่งสลักเกลียวอยู่เลยขอบเสา และเป็นลบเมื่อตำแหน่งสลักเกลียวอยู่ภายในขอบเสา (ตามรูป)

x_2 = ระยะจากขอบเสาถึงจุดยึดเสากับแผ่นรอง (ตามรูป)

g = ระยะยึดของสลักเกลียว ให้ใช้เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะฝังพอ (Development Length) + ระยะฝังในแผ่นรองทั้งหมด (ตามรูป)



ฐานเสาที่ไม่มีการหมุน ฐานเสาที่เกิดการหมุน

รูปที่ 7.15 สมมติฐานในการคำนวณสัมประสิทธิ์การหมุน (Rotational Coefficient) ของฐานเสา [56]

และค่าการหมุนที่ฐานเสานี้อาจทำให้แรงที่กระทำต่อเสามีระยะเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าโมเมนต์ที่กระทำเพิ่มขึ้นด้วย

จะสังเกตุได้ว่าหากค่าระยะเยื้องศูนย์, e ในสมการข้างต้นมีค่าน้อยกว่า $\frac{h}{2}+x_1$ (ตำแหน่งแรงอยู่ภายในช่วงที่เป็นแรงอัดทั้งหมด) ค่า γ_{bp} และ γ_{ab} มีค่าน้อยกว่าศูนย์, แสดงว่าไม่มีการหมุนเกิดขึ้นระหว่างเสาและฐานราก ในกรณีนี้จะพิจารณาเฉพาะการหมุนที่เกิดขึ้นจากผลของดินเท่านั้น

7.5.2 ฐานเสายึดแน่น (Fixity of Column Base)

ฐานเสายึดแน่น หมายถึงระดับความเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่นของฐานโดยหากเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่นที่สมบูรณ์สามารถรับแรงดัดได้ทั้งหมดโดยไม่เกิดการหมุนที่ฐานเสา จะถือว่ามีระดับความยึดแน่นเท่ากับ 1 หรือ 100% ระดับความยึดแน่น (Fixity) ของฐานเสานี้หาค่าได้จากอัตราส่วนของสติฟเนสของการหมุนที่ฐานเสา (K_b) ต่อ ผลรวมของสติฟเนสของเสาและฐานเสารวมกัน (K_b+K_c) ดังนี้

$$F_b=\frac{K_b}{K_b+K_c} \tag{7.11}$$

เมื่อ F_b = ระดับความยึดแน่น (Fixity) ของฐานเสา

$$K_b=\frac{1}{\gamma_b} \tag{7.12}$$

$$K_c=\frac{4E_cI_c}{h_s} \tag{7.13}$$

เมื่อ E_c = มอดุลัสยืดหยุ่นของเสาคอนกรีต

I_c = โมเมนต์ความเฉื่อยของเสา

h_s = ความสูงของเสาของชั้นที่พิจารณา

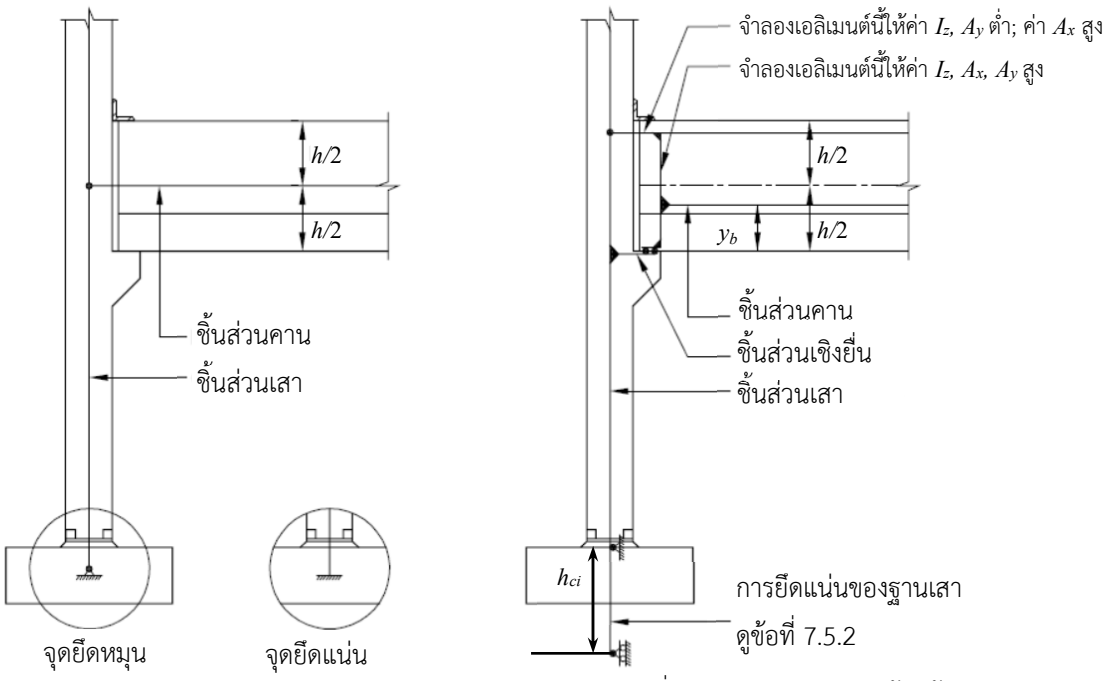
7.5.3 การวิเคราะห์เฟรมด้วยแบบจำลองโครงสร้างในคอมพิวเตอร์

การสร้างแบบจำลองโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม โดยไม่พิจารณาสภาพความเป็นจริงจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ เช่น การจำลองสภาพของฐานเสาแบบยึดหมุน (Pin) จะทำให้ค่าแรงในเสาสูงกว่าความเป็นจริง หรือการหากจำลองแบบยึดแน่น (Fix) ก็จะทำให้ค่าโมเมนต์ที่ฐานเสาสูงเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 7.16(ก) จึงแนะนำให้ทำการจำลองลักษณะโครงสร้างของฐานเสาซึ่งอาจใช้รูปแบบเอลิเมนต์แบบสปริง (Spring Element) ที่ระบุระดับความยึดแน่นของฐานเสาได้ หรืออาจใช้การจำลองตามในรูปที่ 7.16(ข) เป็นฐานเสาแบบยึดแน่นบางส่วน (Partially Fixed Base) ด้วยการต่อความสูงเสาสมมติ (Imaginary Column) ก็ได้ ดังแสดงในรูปโดยใช้ค่าความสูงเสาที่ต่อเพิ่มได้จากสมการ (7.14)

$$h_{ci} = \frac{3E_{ci}I_{ci}}{K_{ci}} \tag{7.14}$$

โดยที่สัญลักษณ์ตัวห้อย ci หมายถึงสมบัติของเสาสมมติ (Imaginary Column)

ค่า K_{ci} สามารถใช้เท่ากับ K_b จากที่คำนวณได้จากความยึดแน่นของฐานเสา



(ก) แบบจำลองสำหรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งโดยทั่วไป

(ข) แบบจำลองที่แนะนำสำหรับแรงทางด้านข้างและแรงต้านทานการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

รูปที่ 7.16 การจำลองฐานเสาในแบบจำลองโครงสร้าง [56]

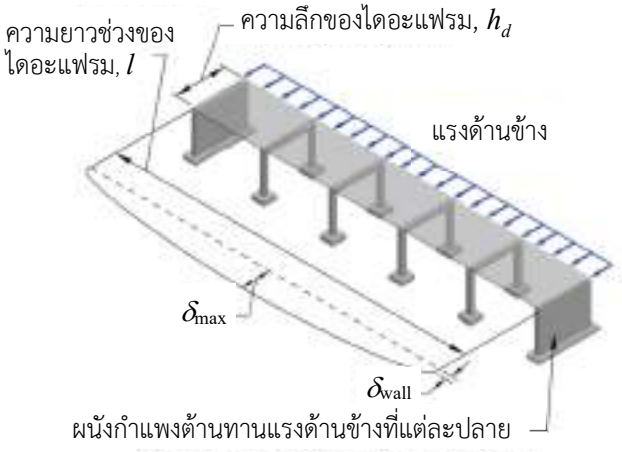
7.6 การออกแบบไดอะแฟรมแผ่นพื้น (Diaphragm Design)

ระบบแผ่นพื้นหรือหลังคาดาดฟ้านอกจากรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งแล้วยังช่วยยึดโยงชิ้นส่วนในแนวดิ่ง และมีพฤติกรรมเป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) ทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้าง (แรงลมและแรงแผ่นดินไหว) ไปยังระบบต้านทานแรงด้านข้างอีกด้วย ซึ่งระบบไดอะแฟรมของระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น อาจใช้เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จเสริมเหล็กโดยรอบและทำการยึดรอยต่อแบบเปียก (บางครั้งเรียกว่ารอยต่อแบบเกราต์, Grout Joint) หรือใช้เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จวางเหล็กเสริมและเทคอนกรีตทับหน้าหล่อในที่ก็ได้ เป็นต้น

7.6.1 ไดอะแฟรมแบบแข็งเกร็งและแบบยืดหยุ่น (Rigid and Flexible Diaphragm)

7.6.1.1 ไดอะแฟรมจะเป็นแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm) ได้เมื่อการถ่ายแรงจากระบบไดอะแฟรมสู่ระบบต้านทานแรงด้านข้างเป็นสัดส่วนขึ้นกับสติฟเนสของระบบต้านทานแรงด้านข้าง และเป็นแบบยืดหยุ่น (Flexible Diaphragm) เมื่อมีความยาวช่วง (Span) ยาวและมีค่าการโก่งตัวในแนวราบของไดอะแฟรมมากกว่าสองเท่าของค่าเฉลี่ย Story Drift ของชิ้นส่วนในแนวดิ่งของระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้าง ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 7.17 โดยทั่วไประบบพื้นที่มีการเทคอนกรีตทับหน้ายอมให้พิจารณาเป็นไดอะแฟรมแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm) ได้

7.6.1.2 พฤติกรรมของไดอะแฟรมที่แตกต่างกันให้ผลการกระจายแรงที่แตกต่างกันของระบบต้านทานแรงด้านข้างของอาคาร ดังนั้นการพิจารณาลักษณะของไดอะแฟรมที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตามในบางกรณี เป็นการยากที่จะพิจารณาไดอะแฟรมว่ามีลักษณะเป็นแบบใด ดังนั้นการออกแบบจะต้องเลือกวิธีที่ให้ผลในทางที่ปลอดภัยที่สุดไว้ก่อน ซึ่งอาจต้องพิจารณาค่าแรงในลักษณะขอบเขต (Envelope) หรืออาจใช้วิธีออกแบบปรับขนาดโครงสร้างจนกว่าจะได้ผลการกระจายแรงของไดอะแฟรมทั้งสองแบบใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7.17 ตัวอย่างของไดอะแฟรมที่อาจไม่เหมาะกับการพิจารณาเป็นไดอะแฟรมแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm)

7.6.2 แรงที่ใช้ในการออกแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Design Forces)

7.6.2.1 การออกแบบไดอะแฟรมเป็นการพิจารณาร่วมกันระหว่างไดอะแฟรมในแนวราบเพื่อถ่ายแรงสู่ชิ้นส่วนในแนวดิ่ง

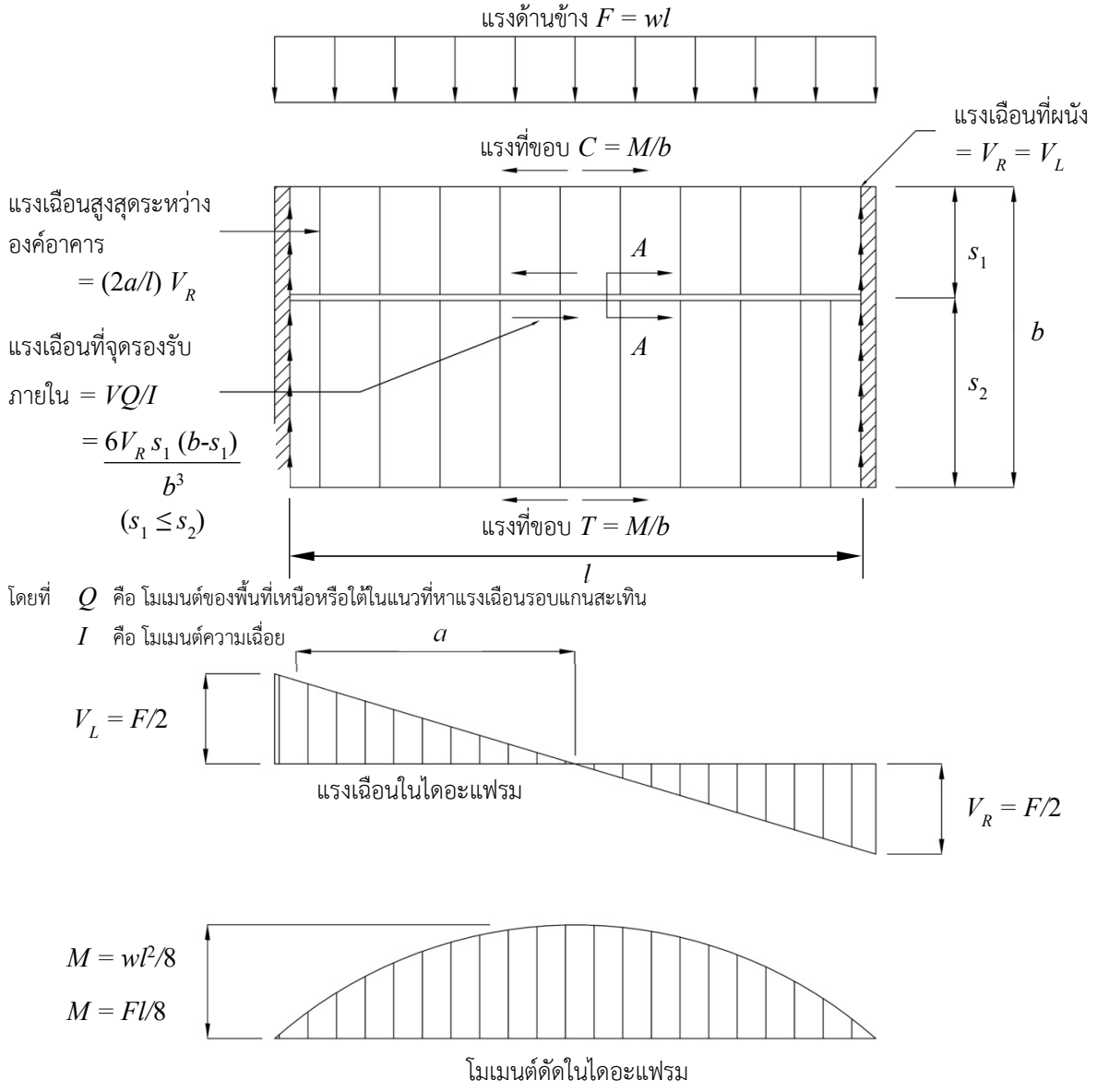
(ก) สำหรับแรงลม ให้พิจารณาแรงลมทั้งหมดที่กระทำกับโครงสร้าง แรงทางด้านหน้าอาคาร ด้านหลังอาคาร แรงยกตัว ซึ่งคำนวณค่าแรงดันลมอ้างอิงตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1311) [69]

(ข) สำหรับแรงแผ่นดินไหว ให้อ้างอิงมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1301/1302) [68]

7.6.2.2 นอกจากจะใช้วิธีออกแบบโดยพิจารณาไดอะแฟรมเป็นแบบคานลึกอย่างง่ายแล้ว ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีอื่น เช่น การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองค้ำยันและตัวยึด (Strut-and-Tie Modeling) หรือ ใช้การวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM Analysis) ก็ได้

7.6.2.3 สำหรับไดอะแฟรมแผ่นพื้นที่มีการเทคอนกรีตทับหน้าบนแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จให้สามารถคิดกำลังรับแรงเฉือนในแนวระนาบได้เหมือนกับไดอะแฟรมที่เป็นแบบเทคอนกรีตในที่ทั้งหมดโดยคิดค่าพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตในการรับแรงเฉือน จากความหนาของคอนกรีตทับหน้าสำหรับการคำนวณแบบไม่เชิงประกอบ (Non-Composite) และใช้ความหนารวมทั้งหมดสำหรับการคำนวณไดอะแฟรม แบบเชิงประกอบ (Composite) และใช้ค่ากำลังอัดคอนกรีต (f_c') เป็นค่าที่ต่ำที่สุดระหว่างคอนกรีตทับหน้าหรือคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ และต้องพิจารณาการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนแบบแรงเฉือนเสียดทาน (Shear-Friction) บริเวณรอยต่อระหว่างคอนกรีตที่เททับหน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เพียงพอด้วย โดยให้อ้างอิง ในส่วนที่ 8 และ 10 ของมาตรฐานนี้ประกอบ

7.6.2.4 สำหรับไดอะแฟรมแผ่นพื้นที่ไม่ได้เทคอนกรีตทับหน้าหล่อในที่เพื่อต้านทานแรงในแนวระนาบแบบอิลาสติกจะต้องสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นที่รอยต่อเมื่อมีรอยแยกเกิดขึ้น (ประมาณ 2.5 mm หรืออาจมากกว่าในกรณีที่มีแรงแผ่นดินไหว) อุปกรณ์ต่อเหล็กที่รอยต่อนี้ต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดึงที่เกิดขึ้นจากรอยแยกได้ และให้ใช้กำลังรับแรงเฉือนระบุ (Nominal Shear Strength) จากคอนกรีตบริเวณรอยต่อที่ทำการเกราต์นี้ไม่สูงเกินกว่า 0.55 Mpa และออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเพิ่มเติมด้วยการคำนวณแบบแรงเฉือนเสียดทาน (Shear Friction) (อ้างอิงในส่วนที่ 8 และ 10 ของมาตรฐานนี้ประกอบ) เช่นเดียวกับที่ได้ระบุไว้ในข้อที่ 7.6.3.1(ข) โดยปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ให้คิดแยกจากเหล็กเสริมที่ใช้รับแรงดึงจากผลของแรงดัดและแรงตามแนวแกน



รูปที่ 7.18 หลักการออกแบบไดอะแฟรมแบบคานอย่างง่าย [56]

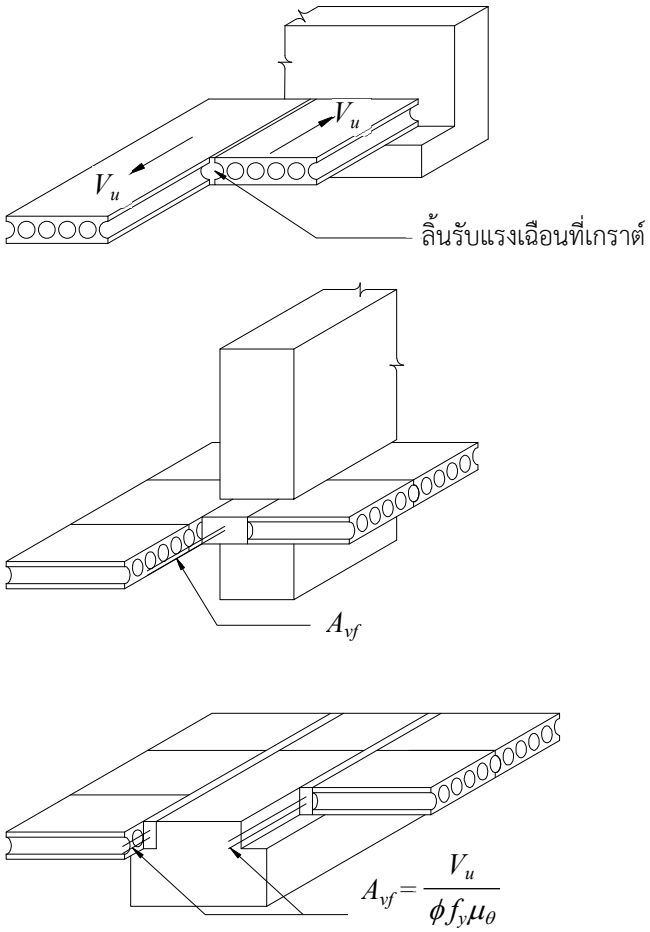
7.6.3 การออกแบบไดอะแฟรมแบบคานอย่างง่าย (Simple Diaphragm Design – The Horizontal Beam Analogy)

เป็นการพิจารณาพื้นหรือหลังคาดาดฟ้าเป็นแบบคานลึกในแนวราบโดยมีผนังรับแรงเฉือนหรือระบบต้านทานแรงด้านข้างรูปแบบอื่นเป็นจุดรองรับ แรงที่เกิดขึ้นภายในคานลึกเป็นแรงอัดและแรงดึงที่ริมขอบ (Chord) ของคาน และแรงเฉือนในไดอะแฟรมถ่ายแรงผ่านส่วนกลางด้านในของตัวคาน ดังแสดงในรูปที่ 7.18

7.6.3.1 การถ่ายแรงเฉือนในไดอะแฟรม

(ก) สำหรับไดอะแฟรมที่ไม่มีการเทคอนกรีตทับหน้า ชิ้นส่วนของพื้นหรือหลังคาดาดฟ้าต้องยึดกันแข็งแรงเพียงพอให้มีพฤติกรรมสามารถเป็นไดอะแฟรมได้ เช่น รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในทิศทางที่ขนานกับจุดรองรับต้องรับแรงเฉือนแบบคานได้ บริเวณด้านบนและล่างของคานต้องสามารถรับแรงดึงและแรงอัดซึ่งเกิดจากผลของ แรงดัดแบบคานได้ และบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่อยู่ในทิศทางตั้งฉากกับจุดรองรับต้องรับแรงเฉือนแบบ Horizontal Shear (VQ/I) ซึ่งคำนวณจากหลักการของ Shear Flow ได้

(ข) การยึดต่ออาจใช้เป็นการเชื่อมแผ่นเหล็กหรือใช้เป็นลิ้นรับแรงเฉือนที่เกราต์ (Grout Key) ได้ ในกรณีที่ใช้เป็นแบบ Grout Key ยอมให้ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของ Grout Key ได้ไม่เกิน 0.55 MPa และสามารถเสริมเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนช่วยได้ดังแสดงในรูปที่ 7.19 โดยคำนวณด้วยหลักการของแรงเฉือนเสียดทาน (Shear-Friction) โดยอ้างอิงในส่วนที่ 8 และ 10 ของมาตรฐานนี้ประกอบ



รูปที่ 7.19 การเสริมเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนในไดอะแฟรม [56]

(ค) สำหรับไดอะแฟรมที่มีการเทคอนกรีตทับหน้า ส่วนของคอนกรีตทับหน้าที่มีการเสริมเหล็กเพียงพอสามารถพิจารณาเป็นไดอะแฟรมได้ การเสริมเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนให้คำนวณด้วยหลักการของแรงเฉือนเสียดทาน (Shear-Friction) โดยอ้างอิงในส่วนที่ 8 และ 10 ของมาตรฐานนี้ประกอบ และเสริมเหล็กโดยรอบที่ขอบไดอะแฟรมเพื่อใช้รับแรงดึง (Chord Tension Force) จากผลของโมเมนต์ที่พิจารณาไดอะแฟรมเป็นแบบคานลึก

(ง) หลักการวิเคราะห์แบบเดียวกันสำหรับจุดเชื่อมต่อเพื่อถ่ายแรงเฉือนจากไดอะแฟรมสู่ผนังกำแพงรับแรงเฉือนหรือระบบต้านทานแรงด้านข้างสามารถกระทำโดยไดอะแฟรมแบบแข็งเกร็ง (Rigid Diaphragm) จะพิจารณาค่าแรงจากแรงเฉือนระหว่างชั้น (Story Shear) ที่พิจารณาให้เกิดผลมากสุดของแรงบิดในระนาบ และสำหรับไดอะแฟรมแบบยืดหยุ่น (Flexible Diaphragm) ให้พิจารณาค่าแรงจากระยะช่วง (Span) ของไดอะแฟรมกับจุดรองรับ

7.6.3.2 แรงที่ขอบของไดอะแฟรม (Chord Force)

(ก) แรงที่ขอบของไดอะแฟรมคำนวณจากค่าแรงดัดที่เกิดจากผลของการพิจารณาไดอะแฟรมเป็นแบบคานลึก ซึ่งสามารถใช้การเสริมเหล็กในคอนกรีตทับหน้าช่วยรับแรงได้

(ข) ปริมาณเหล็กเสริมที่ขอบของไดอะแฟรมนี้จะต้องมีไม่น้อยกว่าปริมาณที่ได้ระบุไว้ในส่วนที่ 9 ของมาตรฐานนี้ เพื่อรักษาความเป็นบูรณภาพ (Structural Integrity) ของโครงสร้างด้วย

7.7 การออกแบบในขั้นตอนการผลิต ขนส่ง และ ติดตั้ง

7.7.1 การออกแบบต้องพิจารณาถึงความเชื่อมโยงกันของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ก่อสร้าง ขนส่ง และการติดตั้ง ซึ่งจะทำให้การก่อสร้างมีประสิทธิภาพและประหยัดค่าก่อสร้าง เช่น พิจารณาเรื่องข้อจำกัดของสถานที่ก่อสร้าง เส้นทางขนส่ง ขนาดและน้ำหนักชิ้นส่วน ขนาดของเครนที่ใช้ ลำดับการยกชิ้นงาน ลำดับการติดตั้งชิ้นส่วน ทั้งนี้ให้อ้างอิงเนื้อหาในส่วนที่ 13 ของมาตรฐานนี้ประกอบ

7.7.2 ในการคำนวณออกแบบ ต้องตรวจสอบเสถียรภาพของอาคารในแต่ละขั้นตอนในระหว่างการติดตั้งจนก่อสร้างแล้วเสร็จ และต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการออกแบบและก่อสร้างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) ในระหว่างการก่อสร้างตามที่ได้ระบุไว้ในข้อที่ 7.9

7.7.3 หน่วยแรงดัด (Bending Stress) ที่เกิดจากน้ำหนักตัวเองของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในระหว่างการขนย้าย ขนส่ง และติดตั้ง ให้คำนวณด้วยวิธี

7.7.3.1 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยพิจารณาให้คอนกรีตแตกร้าว (Cracked Section) หรือ

7.7.3.2 ใช้ค่ากำลังรับแรงดึงภายใต้การดัด (Flexural Tensile Strength) ของคอนกรีตในขณะนั้น ซึ่งใช้ได้ไม่เกิน $0.41\sqrt{f_c'}$ (หน่วยเป็น MPa)

7.7.3.3 หรือพิจารณาทั้งข้อที่ 7.7.3.1 และ 7.7.3.2 ร่วมกัน

7.7.4 เมื่อคำนวณออกแบบโดยใช้หน้าตัดคอนกรีตแตกร้าว ต้องพิจารณาถึงการควบคุมขนาดของรอยร้าวให้ผ่านเกณฑ์ด้านความสวยงามและความคงทนในการใช้งานด้วย

7.7.5 ในระหว่างการขนส่ง ต้องคำนึงถึงผลจากความเร็วรถบรรทุกขนส่งต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผลอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์ในระหว่างการเลี้ยวรถด้วยความเร็ว แรงกระแทกจากการเบรกหยุดรถกระทันหัน เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการป้องกันยึดรัดชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้แข็งแรง มีความปลอดภัยต่อสาธารณชน

7.7.6 การจับยกชิ้นส่วน ต้องพิจารณาแรงที่แตกต่างกันเมื่อใช้รูปแบบการจับยกที่แตกต่างกัน (เช่น แรงดูดจากผิวแบบหล่อ แรงดัดจากน้ำหนักชิ้นส่วนเมื่อยกเอียง ฯลฯ) การใช้มุมยกที่ต่างกัน การจับชิ้นส่วนที่ตำแหน่งต่างกัน (เช่น ที่ยกจากส่วนขอบ ยกจากส่วนหน้า (Face Lift) ยกจากแนวราบ) ชิ้นส่วนและอุปกรณ์จุดยกต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ รวมถึงพิจารณาผลของการกระแทกที่ทำให้แรงเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจพิจารณาใช้ค่าตัวคูณเพิ่มกับค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบเพิ่มเติมอีกดังแสดงค่าตัวคูณไว้ในตารางที่ 7.3

7.7.7 ระบบการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Rigging System) หากไม่มีการระบุเป็นอย่างอื่น ต้องคำนวณออกแบบระบบของการจับยกชิ้นส่วนให้ถ่ายน้ำหนักที่เท่ากันผ่านไปยังตัวฝังสำหรับยกทั้งหมด ในกรณีที่ใช้สลิงมากกว่าสองเส้นในการยก น้ำหนักทั้งหมดที่เกิดขึ้นต้องสามารถรับได้โดยสลิงเพียงสองเส้น และมุมภายในระหว่างขาของสลิงในการยกต้องไม่เกิน 120 องศา

7.7.8 ตัวยึดและตัวฝังที่ติดตั้งสำหรับค้ำยัน (Ferrules)

7.7.8.1 ต้องออกแบบตัวฝังสำหรับค้ำยัน (Ferrules) เพื่อต้านทานแรงกระทำทั้งหมดที่ส่งผ่านมาจากค้ำยันและตัวยึด

7.7.8.2 ต้องติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างถาวรที่ทำให้อาคารมีเสถียรภาพในขณะใช้งาน โดยติดตั้งให้เสร็จก่อนการถอดค้ำยัน

7.7.8.3 ตัวยึดและตัวฝังที่ติดตั้งก่อน เช่น ตัวฝังแบบมีเกลียว หรือแผ่นเหล็กเชื่อม ต้องมีวิศวกรคำนวณและออกแบบให้รายละเอียด และต้องใช้งานให้ตรงตามแบบก่อสร้าง

7.7.8.4 เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ควรใช้รายละเอียดตัวยึดที่เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับโครงการหนึ่ง ๆ ทั้งหมด หากจะใช้ตัวยึดแบบถาวรในการยึดติดกับจุดรองรับชั่วคราว ผู้คำนวณออกแบบต้องพิจารณาแรงกระทำที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละกรณี

7.7.8.5 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของตัวฝังยึดที่เลือก ต้องพิจารณากับข้อมูลต่าง ๆ ต่อไปนี้

(ก) กำลังประลัยของคอนกรีต

(ข) ความหนาชิ้นส่วน

(ค) ความยาวตัวฝังยึด

(ง) ระยะขอบ

(จ) ระยะช่องว่างระหว่างตัวฝังยึด

(ฉ) เหล็กเสริมที่ใช้ร่วมกัน (Component Reinforcement)

(ช) ความเหนียวของตัวฝังยึด

(ซ) การทนไฟ

ตารางที่ 7.3 ค่าตัวคูณเพิ่มในการคำนวณค่าแรงของจุดยกระหว่างการยกเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

	ค่าตัวคูณ
ตัวคูณค่าแรงดูด* และโมเมนต์ (Suction Factor) เมื่อทำการถอดแบบออกจากแบบหล่อชนิด	
1) แบบหล่อที่เป็นพื้นผิวคอนกรีตที่มีการใช้ Bond-Breaker ที่มีประสิทธิภาพ	≥ 1.4
2) แบบหล่อที่เป็นพื้นผิวเรียบเช่นเหล็กที่ทาน้ำมันทาแบบ	≥ 1.2
ตัวคูณค่าแรงและโมเมนต์ (Dynamic Factor) จากการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนตามวิธีการขนส่ง	
3) เมื่อยกด้วยเครนที่มีการติดตั้งกับที่ เช่น Tower Crane, Gantry Crane, Overhead Crane	≥ 1.2
4) เมื่อขนส่งด้วยรถบรรทุกที่มีการเตรียมพื้นราบจัดวางที่มั่นคง	≥ 1.4
5) เมื่อยกด้วยอุปกรณ์ระบบรางบนพื้นผิวที่ราบและมั่นคง	≥ 1.7
6) เมื่อยกด้วยอุปกรณ์แบบไม่ใช่ระบบรางบนพื้นผิวที่ราบและมั่นคง	≥ 2.0
7) เมื่อยกด้วยวิธีอื่น ๆ ที่พื้นผิวไม่ราบเรียบ	≥ 5.0
ตัวคูณสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องถูกยกบ่อย ๆ ตลอดอายุใช้งาน (Service Life Factor) เช่น แผงกั้นชั่วคราวที่ใช้กั้นช่องจราจร (Barrier)	1.6

* ทั้งนี้การคำนวณเพิ่มค่าแรงจากผลของแรงดูดขณะถอดแบบและผลของแรงกระแทกไม่ต้องนำมารวมกัน

7.7.9 การออกแบบค้ำยันชั่วคราวสำหรับชิ้นส่วนในแนวดิ่ง

ระหว่างการติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จในขณะที่ระบบโครงสร้างยังไม่มีเสถียรภาพในแนวราบเพียงพอให้ติดตั้งระบบยึดรั้งชั่วคราว เช่น ระบบค้ำยัน โดยให้พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ในการออกแบบระบบค้ำยันชั่วคราวสำหรับชิ้นส่วนในแนวดิ่งหรือชิ้นส่วนเอียง ดังนี้

7.7.9.1 ค้ำยันชั่วคราวสำหรับแรงลม

7.7.9.2 น้ำหนักบรรทุกส่วนเพิ่มในแนวราบสำหรับชิ้นส่วนในแนวดิ่งที่รองรับโครงสร้างพื้นในแนวราบ โดยเฉพาะหากก่อสร้างพื้นโดยไม่มีการค้ำยันในแนวดิ่ง

7.7.9.3 แรงดันด้านข้างจากการเทคอนกรีต ในกรณีที่ใช้ชิ้นส่วนเป็นไม้แบบ

7.7.9.4 เสถียรภาพของอาคารในแต่ละขั้นตอน เพื่อป้องกันการเกิดการพังทลายแบบต่อเนื่อง

7.7.9.5 ยกเว้นกำหนดตามข้อที่ 7.7.9.7 ต้องค้ำยันชิ้นส่วนแต่ละชิ้นด้วยค้ำยันอย่างน้อย 2 ตัว

7.7.9.6 สำหรับชิ้นส่วนแคบ เช่น เสา ให้ค้ำยันในสองทิศทางตั้งฉากกัน

7.7.9.7 หากมีการคำนวณออกแบบและระบุในแบบก่อสร้าง สามารถแทนค้ำยันหนึ่งตัวหรือหลายตัวได้โดยการใช้

(ก) จุดรองรับเทียบเท่า ได้แก่ จุดรองรับที่มุม โครงสร้างหลัก หรือโครงสร้างแบบกล่อง

(ข) ค้ำยันที่ออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะ

7.7.9.8 ตัวยึดที่ปลายแท่งค้ำยันต้องสามารถถ่ายแรงสู่คอนกรีตหรือเหล็กในบริเวณโดยรอบ

7.7.9.9 ปลายแท่งค้ำยันที่ไม่ได้ยึดติดกับชิ้นส่วนคอนกรีต ให้ยึดติดกับโครงสร้างหรือระบบที่ต้านทานแรงที่เกิดจากค้ำยันได้

7.7.9.10 ต้องออกแบบฐานตัวค้ำยันไม่ให้เคลื่อนหรือหลุดออกจากตัวฝัง

7.7.9.11 สามารถใช้ระบบค้ำยันรองเพื่อป้องกันการโก่งเดาะและลดความยาวประสิทธิผลของค้ำยันหลักได้

7.7.9.12 ต้องตรวจสอบความสามารถและประสิทธิภาพของระบบค้ำยันรองเพื่อป้องกันการโก่งเดาะด้วยการทดสอบ

7.7.9.13 โครงสร้างของระบบค้ำยันต้องเพียงพอที่จะรองรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปทั้งที่เป็นคอนกรีตและเหล็ก

7.7.9.14 ต้องมีเอกสารที่ครบถ้วนที่แสดงถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับการค้ำยัน

7.7.9.15 เมื่อใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตเพื่อค้ำยันชั่วคราวให้กับชิ้นส่วนอื่น ต้องออกแบบจุดรองรับชั่วคราวเพื่อป้องกันการวิบัติแบบต่อเนื่อง

7.7.9.16 ในการออกแบบแผนผังและขั้นตอนติดตั้งของระบบค้ำยัน โดยเฉพาะที่มุมอาคารของระบบผนัง ต้องแน่ใจว่าการติดตั้งค้ำยันของผนังแผ่นที่สอง จะไม่ส่งผลกระทบต่อค้ำยันของผนังแผ่นแรก

7.7.10 การออกแบบค้ำยันชั่วคราวสำหรับชิ้นส่วนในแนวราบ เมื่อใช้ค้ำยันชั่วคราวในแนวดิ่ง ต้องระบุวิธียึดชิ้นส่วนในแนวราบกับค้ำยันเพื่อให้ค้ำยันชั่วคราวมีเสถียรภาพในระหว่างการก่อสร้างโดยพิจารณาปัจจัย ดังต่อไปนี้

7.7.10.1 น้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีต

7.7.10.2 น้ำหนักกระทำหรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นส่วนในแนวราบ

7.7.10.3 น้ำหนักของคอนกรีตสดทับหน้า

7.7.10.4 น้ำหนักบรรทุกจรจากการก่อสร้าง

7.7.10.5 ความสามารถในการรับน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักกระทำของชิ้นส่วนในแนวราบ

7.7.10.6 ความสามารถในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตที่อยู่ด้านล่าง

7.7.10.7 ค้ำยันชั่วคราวสามารถรับแรงกระทำในแนวราบได้

7.8 การกระจายแรงระหว่างองค์อาคาร

7.8.1 การกระจายแรงที่กระทำในทิศทางตั้งฉากกับระนาบขององค์อาคารสามารถหาได้จากการวิเคราะห์หรือทำการทดสอบ

7.8.2 น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด (Concentrated Load) และน้ำหนักบรรทุกแนวยาว (Line Load) สามารถกระจายสู่ชิ้นส่วนองค์อาคารต่าง ๆ ได้เมื่อชิ้นส่วนเหล่านั้นมีสติฟเนสการบิด (Torsional Stiffness) ที่เพียงพอและแรงเฉือนสามารถส่งผ่านรอยต่อได้ เช่น ชิ้นส่วนแผ่นพื้นกลวง หรือแผ่นพื้นตันหล่อสำเร็จ (Solid Slab) ซึ่งสามารถกระจายแรงได้ดีกว่าชิ้นส่วนประเภทรูปทีแฝด (Double Tee) ที่มีปีกบาง ๆ การกระจายของแรงในความเป็นจริงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของช่องเปิด เนื่องจากช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่มีผลต่อการกระจายของแรง

7.8.3 การพิจารณาการถ่ายแรงในระนาบระหว่างชิ้นส่วนของแผ่นพื้นและระบบผนังหล่อสำเร็จ มีดังนี้

7.8.3.1 แรงในระนาบหลัก ๆ จากไดอะแฟรมจะอยู่ในไดอะแฟรมของแผ่นพื้นและหลังคา ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงหรือแรงอัดตามแนวขอบและแรงเฉือนภายในไดอะแฟรม ควรจัดให้เหล็กเสริมมีความต่อเนื่อง ไม่ว่าจะด้วยวิธีการต่อทาบ การเชื่อม การต่อด้วยข้อต่อทางกล เพื่อรับแรงดึงที่เกิดขึ้น ในขณะที่แรงเฉือนและแรงอัดสามารถพิจารณาให้รับด้วยกำลังของคอนกรีตเพียงอย่างเดียวได้ เหล็กที่กล่าวถึงอาจเป็นเหล็กเส้น เหล็กแผ่น สลักเกลียว สลักมีหัว หรืออุปกรณ์เทียบเท่าอื่น ๆ ได้ และแรงดึงที่จุดเชื่อมต่อให้ถ่ายแรงต่อเนื่องรับต่อด้วยเหล็กเสริมหลักในองค์อาคาร

7.8.3.2 แรงหลักในระนาบของผนังหล่อสำเร็จจะเป็นแรงที่ถ่ายมาจากไดอะแฟรมและแรงในแนวราบภายนอก

7.8.4 การให้รายละเอียดจุดเชื่อมต่อต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดขึ้นและผลของการเสียรูปจากการหดตัว การคืบ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วย โดยอาจเลือกรูปแบบที่สามารถชดเชยการยึดรั้งจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการหมุนตัวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิและการโก่งตัวของโครงสร้าง และมีความแข็งแรงและเหนียวเพียงพอ ทั้งนี้ต้องพิจารณาตามรายละเอียด ดังนี้

7.8.4.1 เส้นทางของแรงหลักในระนาบที่ถ่ายแรงจากไดอะแฟรมต้องต่อเนื่องผ่านทั้งจุดเชื่อมต่อและชิ้นส่วนองค์อาคารโดยไม่ขาดช่วง

7.8.4.2 ต้องเสริมเหล็กให้ต่อเนื่องในจุดที่มีแรงดึงเกิดขึ้น

7.9 ข้อกำหนดของอาคารที่คำนวณผลของการพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse)

7.9.1 ต้องพิจารณาในเรื่องความเหนียวและแรงส่วนเกินของโครงสร้าง (Redundancy) เพื่อป้องกันหรือลดความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างหรืออาคารทั้งอาคารอันเนื่องมาจากความเสียหายเพียงส่วนน้อยบางส่วนขององค์อาคารเท่านั้น และสามารถปรับปรุงระบบโครงสร้างให้ดีขึ้นด้วยการปรับปรุงรายละเอียดของเหล็กเสริมที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ เช่น การทำให้การเคลื่อนตัวของจุดรองรับคานเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อคานเสียหายเพื่อไม่ให้กระทบกับองค์อาคารข้างเคียงอื่น ๆ ซึ่งหมายถึงการไม่อนุญาตให้ใช้จุดเชื่อมต่อที่พิจารณาความแข็งแรงจากเพียงแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากน้ำหนักตัวเองเท่านั้น นอกจากนี้ยังควรให้รายละเอียดจุดเชื่อมต่อเพื่อลดผลของการเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากการยึดรั้งจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนให้น้อยที่สุด

7.9.2 พิจารณาการเสียหายของค้ำยันต่าง ๆ หรือชิ้นส่วนโครงสร้างเพียงชิ้นเดียวจะต้องไม่ทำให้เกิดการวิบัติอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้น ทั้งในระหว่างก่อสร้างและเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ (โดยเฉพาะอาคารสูง) โดยใช้หลักการต่อไปนี้

7.9.2.1 โครงสร้างต้องมีความต่อเนื่องและมีกำลังแข็งแรงเพียงพอ

7.9.2.2 การคำนวณออกแบบระบบโครงสร้างต้องพิจารณาแนวทางต่าง ๆ ที่มีเส้นทางส่งผ่านแรงทางเลือก (Alternative Load Path) เพื่อให้ในกรณีที่หากโครงสร้างบางส่วนมีการวิบัติเสียหายเกิดขึ้น แรงกระทำที่เกิดขึ้นในระบบโครงสร้างยังคงสามารถถ่ายแรงไปในโครงสร้างอื่น ๆ ได้อย่างปลอดภัย และต่อเนื่องไปจนถึงฐานราก

7.9.2.3 เมื่อพิจารณาสมมติฐานความเสียหายหรือการหายไปของชิ้นส่วนทางโครงสร้างในบริเวณที่มีความเสี่ยง เช่น บริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากการระเบิดของแก๊สหรือวัตถุไวไฟ ว่าเมื่อขาดชิ้นส่วนไปแล้ว โครงสร้างโดยรวมต้องยังคงอยู่ได้โดยไม่เกิดการเสียหายพังทลายต่อเนื่องไปทั้งอาคาร

7.9.2.4 เมื่อเกิดความเสียหายของโครงสร้างที่จุดใด จะต้องไม่แผ่กระจายออกไปในวงกว้าง

7.9.2.5 อาจต้องมีการป้องกันบางชิ้นส่วนของโครงสร้างเป็นพิเศษ เช่น ในบริเวณที่อาจเกิดอุบัติเหตุจากรถชนได้ โดยอาจทำขอบป้องกัน เป็นต้น

7.9.2.6 ในกรณีที่มีความเสี่ยงอาจเกิดอุบัติเหตุรถชนชิ้นส่วนกันตกหล่อสำเร็จ ให้อ้างอิงมาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์ (มยผ.1321) [70] เพื่อคำนวณค่าแรงกระทำและวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงเพียงพอ

7.9.3 ให้อ้างอิงเนื้อหาในส่วนที่ 9 ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง ให้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลของการวิบัติอย่างต่อเนื่อง

ส่วนที่ 8 การคำนวณออกแบบองค์อาคาร

การคำนวณออกแบบองค์อาคารชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหากมิได้กำหนดอยู่ในมาตรฐานนี้ ให้อ้างอิงกับมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตหล่อในที่ รวมทั้งมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตอัดแรงที่ยอมรับกัน

8.1 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบแผ่นพื้น

8.1.1 แผ่นพื้นทางเดียว

8.1.1.1 กำลังต้านทาน

แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องมีกำลังต้านทานตามสมการ ดังนี้

$$\phi M_n \geq M_u \tag{8.1}$$

$$\phi V_n \geq V_u \tag{8.2}$$

แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องมีกำลังต้านทานตามสมการ ดังนี้

โดยที่ M_n คือ กำลังดัดระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.2

V_n คือ กำลังเฉือนระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.4

8.1.1.2 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงดัดขั้นต่ำ

(ก) สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง

เมื่อการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ต้องมีการเสริมเหล็กต้านแรงดัด โดยปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำสำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง ต้องไม่น้อยกว่าตามที่กำหนดด้านล่างนี้ โดยมีระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมไม่เกิน 3 เท่าของความหนาแผ่นพื้น หรือ 45 cm

เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24

$$A_{s,\min} = 0.0025 A_g$$

เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30

$$A_{s,\min} = 0.0020 A_g$$

เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD40 หรือ เหล็กตะแกรงเสริม

$$A_{s,\min} = 0.0018 A_g$$

เหล็กเสริมอื่น ๆ ที่มีค่ากำลังครากมากกว่า 400 MPa โดยวัดที่ความเครียด ร้อยละ 0.35

$$A_{s,\min} = 0.0018 A_g \times 400 / f_y$$

เมื่อ A_g คือ พื้นที่หน้าตัดเต็ม

(ข) สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง

สำหรับชิ้นส่วนอัดแรงชนิดแรงอัดแบบมีแรงยึดหน่วง ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงดัดขั้นต่ำรวมทั้งเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมธรรมดาจะต้องทำให้หน้าตัดมีกำลังดัดมากกว่า 1.2 เท่าของโมเมนต์ดัดแตกร้าว ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำดังกล่าว หากชิ้นส่วนมีค่ากำลังดัดที่ออกแบบและกำลังเฉือนที่ออกแบบไม่น้อยไปกว่า 2 เท่าของกำลังที่ต้องการ

สำหรับชิ้นส่วนอัดแรงชนิดแรงอัดแบบไม่มีแรงยึดหน่วง ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงดัดขั้นต่ำ $A_{s,\min} \geq 0.004 A_{ct}$ เมื่อ A_{ct} คือ พื้นที่หน้าตัดในส่วนระหว่างผิวแรงดึงและศูนย์กลางของหน้าตัดเต็ม

8.1.1.3 เหล็กเสริมต้านการยืดหด

เสริมเหล็กในทิศตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักต้านทานแรงดัด ให้พิจารณาข้อกำหนด ดังนี้

(ก) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าที่กำหนดในสมการที่ (8.2)

(ข) ระยะเรียงเหล็กเส้นไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 5 เท่าความหนาแผ่นพื้น หรือ 450 mm

(ค) การต่อเหล็กเส้นต้องเพียงพอเพื่อให้สามารถพัฒนากำลังเหล็กเส้นถึงกำลังคราก

(ง) ทั้งนี้ อาจยกเว้นเหล็กเสริมดังกล่าวเมื่อแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (รวมทั้งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ) ตรงตามเงื่อนไข (ง) ถึง (ฉ)

(จ) ชิ้นส่วนกว้างไม่เกิน 3600 mm

(ฉ) ชิ้นส่วนไม่ได้มีการยึดรั้งด้วยอุปกรณ์ทางกลที่สามารถต้านการเคลื่อนตัวในแนวขวางได้

(ช) ไม่มีหน่วยแรงดัดในทิศทางขวาง

(ซ) สำหรับกรณีชิ้นส่วนอัดแรง เหล็กอัดแรงเพื่อต้านทานการหดตัวนี้ ให้คำนวณในปริมาณเทียบเท่ากับค่าแรงดึงที่ต้องการที่ทำให้เหล็กปกติเกิดการครากในทางปฏิบัติอาจคำนวณปริมาณเหล็กอัดแรงที่ทำให้เกิดหน่วยแรงอัดประสิทธิผลภายหลังการเสื่อมแรงอัดทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 0.7 MPa บนหน้าตัดเต็ม

8.1.1.4 เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน

สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตต้องมีการเสริมเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนขั้นต่ำ $A_{v,\min}$ ในทุก ๆ หน้าตัดเมื่อ

$$V_u > \phi V_c \tag{8.3}$$

สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดกลวง (Hollow-Core Slab) ที่มีความหนาที่ปราศจากคอนกรีตผิวหน้า h มากกว่า 300 mm ต้องมีการเสริมเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนขั้นต่ำ $A_{v,\min}$ ในทุก ๆ หน้าตัดเมื่อ

$$V_u > 0.5\phi V_{cw} \quad (8.4)$$

ในกรณีที่เหล็กเสริมต้านแรงเฉือนจำเป็นต้องเสริมตามการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนขั้นต่ำ ต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดที่ 8.5.4

8.1.1.5 ความหนาขั้นต่ำ

สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตตันทำจากคอนกรีตน้ำหนักปกติ และเสริมเหล็กกำลังคราก 400 MPa ที่ไม่ได้รองรับหรือติดกับส่วนของผนัง หรือ ส่วนอาคารอื่น ๆ ที่อาจจะเสียหายจากการเกิดการโก่งที่มาก ความหนารวมของแผ่นพื้น h ควรมีค่าไม่น้อยไปกว่าที่กำหนดในตารางที่ 8.1 เว้นแต่จะมีการคำนวณพิสูจน์ โดยที่ l คือ ความยาวระยะช่วงพาดระหว่างจุดรองรับ

ตารางที่ 8.1 ความหนาขั้นต่ำของแผ่นพื้นคอนกรีตตันทางเดียวไม่อัดแรง

เงื่อนไขจุดรองรับ	ขั้นต่ำของ h
จุดรองรับช่วงเดี่ยวแบบธรรมดา	$l/20$
ปลายต่อเนื่องหนึ่งด้าน	$l/24$
ปลายต่อเนื่องสองด้าน	$l/28$
ปลายยื่น	$l/10$

หมายเหตุ

ความหนากำหนดในตารางนี้จะใช้งานสำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติ และกำลังครากเหล็กเสริม 400 MPa สำหรับกรณีอื่น ๆ ค่าต่ำสุดของ h ควรจะมีการปรับค่า ดังนี้

(ก) ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กกำลังครากอื่น ๆ ความหนาขั้นต่ำในตารางที่ 8.1 ต้องคูณด้วย $(0.4 + f_y/700)$

(ข) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตมวลเบา โดยมีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1,440 ถึง 1,840 kg/m^3 ความหนาขั้นต่ำในตารางที่ 8.1 ต้องคูณด้วยค่าปรับแก้ที่มากกว่าระหว่าง $(1.65 - 0.0003w_c)$ หรือ 1.09

8.1.2 แผ่นพื้นสองทาง

8.1.2.1 กำลังต้านทาน

แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องมีกำลังต้านทานตามสมการที่ (8.1) และ (8.2) ทั้งนี้อาจต้องพิจารณาแรงเฉือนในสองทาง ในบริเวณที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด หรือจุดรองรับของแผ่นพื้นที่มีลักษณะรวมเป็นจุด

เมื่อมีการอัดแรงที่มีขนาดหน่วยแรงอัดประสิทธิผลเฉลี่ยบนหน้าตัดไม่เกิน 0.86 MPa ให้ออกแบบเช่นเดียวกับแผ่นพื้นไม่อัดแรง

8.1.2.2 ช่องเปิดในแผ่นพื้น

สามารถยอมให้มีช่องเปิดในแผ่นพื้นได้ หากมีผลการวิเคราะห์ที่แสดงถึงค่ากำลังต้านทานการใช้งาน ระยะโก่ง ที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

อาจยอมให้มีช่องเปิดโดยไม่มีคานรัดรอบช่องเปิด เมื่อช่องเปิดอยู่ในบริเวณแถบกลางแผ่นพื้นทั้งสองทาง แต่ทั้งนี้ยังคงปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวบริเวณช่องเปิดในบริเวณอื่นแทน

8.1.2.3 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงดัดขั้นต่ำ

(ก) ในกรณีคอนกรีตไม่อัดแรงต้องมีเหล็กเสริมในปริมาณ $A_{s,\min}$ ไม่น้อยกว่าที่กำหนดในข้อที่ 8.1.1.2 (ก) โดยเสริมในผิวที่เกิดหน่วยแรงดึงในทิศทางที่พิจารณา

(ข) ในกรณีคอนกรีตอัดแรง โดยที่หน่วยแรงอัดประสิทธิผล $f_{se}A_{ps}$ ต้องทำให้เกิดหน่วยแรงอัดบนหน้าตัดแผ่นพื้นเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 0.86 MPa

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัดขั้นต่ำสำหรับชิ้นส่วนอัดแรงชนิดแรงอัดแบบมีแรงยึดหน่วง (Bonded Prestressed Reinforcement) ปริมาณเหล็กที่ใส่รวมทั้งเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมธรรมดา จะต้องทำให้หน้าตัดมีกำลังดัดมากกว่า 1.2 เท่าของโมเมนต์ดัดแตกร้าว ยกเว้นกรณีเมื่อแผ่นพื้นมีกำลังดัดและกำลังเฉือนที่ออกแบบไม่น้อยกว่าสองเท่าของกำลังที่ต้องการ

ปริมาณเหล็กเสริมข้ออ้อยที่มีการยึดหน่วงกับคอนกรีตขั้นต่ำในบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดึงตามตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ปริมาณเหล็กเสริมข้ออ้อยตามแนวยาวที่มีการยึดหน่วงกับคอนกรีตขั้นต่ำ

บริเวณเสริมเหล็ก	หน่วยแรงดึง f_t ที่คำนวณได้หลังการสูญเสียแรงดึงทั้งหมด	$A_{s,\min}$ (mm^2)	หมายเหตุ
โมเมนต์ดัดบวก	$f_t \le 0.17\sqrt{f_c'}$	ไม่มี	-
	$0.17\sqrt{f_c'} < f_t \le 0.50\sqrt{f_c'}$	$\frac{N_c}{0.5f_y}$	1,2
โมเมนต์ดัดลบที่เสา	$f_t \le 0.50\sqrt{f_c'}$	$0.00075A_{cf}$	2

หมายเหตุ 1) ค่า f_y ไม่เกิน 400 MPa

2) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดมีแรงยึดหน่วง สามารถลดปริมาณ $A_{s,\min}$ ลงได้ตามปริมาณพื้นที่ลวดอัดแรงที่วางอยู่ในพื้นที่หน้าตัดที่ใช้คำนวณค่าแรง N_c สำหรับโมเมนต์ดัดทิศบวก หรือปริมาณพื้นที่ลวดอัดแรงที่วางอยู่ในพื้นที่หน้าตัดความกว้างของพื้น $1.5h$ จากขอบเสาสำหรับโมเมนต์ดัดทิศลบ โดยที่ N_c คือ แรงดึงลัพธ์กระทำบนหน้าตัดคอนกรีตที่มีหน่วยแรงดึง

เกิดจากผลรวมของน้ำหนักบรรทุกใช้งานและแรงอัดสุทธิประสิทธิผล A_{cf} คือ พื้นที่หน้าตัดที่กว้างกว่าของแถบคานของพื้นทั้งสองทางที่ตัดกันบนตำแหน่งเสา

8.1.2.4 ระยะห่างการเสริมเหล็กรับแรงดัด

(ก) ในกรณีคอนกรีตไม่อัดแรง ระยะห่างของเหล็กข้ออ้อยตามแนวยาว s ต้องมีค่าไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $2h$ และ 450 mm ที่หน้าตัดวิกฤต หรือไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $3h$ และ 450 mm ที่หน้าตัดอื่น ๆ

(ข) ในกรณีคอนกรีตอัดแรงรับแรงกระทำกระจายสม่ำเสมอ ระยะห่างมากสุดระหว่างลวดอัดแรง หรือกลุ่มลวดอัดแรงต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $8h$ และ 1,500 mm

8.1.3 การกระจายน้ำหนักบรรทุกแผ่นพื้นทางเดียว

ในกรณีแผ่นพื้นทางเดียวรับน้ำหนักบรรทุกกระจายแบบเป็นแนวเส้นตามยาวแผ่นพื้น ตัวอย่างเช่น น้ำหนักบรรทุกจากผนัง ระบบแผ่นพื้นทางเดียวสามารถส่งผ่านหรือกระจายน้ำหนักบรรทุกทางแผ่นด้านข้างหากมีปูนเกราต์ด้านการเฉือนระหว่างแผ่น ทั้งนี้ การกระจายน้ำหนักดังกล่าวควรได้รับคำแนะนำจากผู้ผลิต

8.1.4 ช่องเปิดบนแผ่นพื้นทางเดียว

ช่องเปิดบนแผ่นพื้นทางเดียว ยอมให้มีช่องเปิดที่มีรูปทรงยาวขนานไปกับช่วงพาด รวมทั้ง การเจาะรูขนาดเล็กที่ตัดผ่านลวดอัดแรงหรือเหล็กเสริมจำนวนไม่มาก ส่วนในแผ่นพื้นที่มีชิ้นส่วนเอวลึกที่เป็นส่วนหลักในการรับน้ำหนัก เช่น ขอบเอวของแผ่นพื้นตัวยูคว่ำ ช่องเปิดจะต้องไม่ตัดผ่านพื้นที่โครงสร้างหน้าตัดส่วนเอวลึกนี้

8.1.5 ข้อแนะนำการเสริมกำลังให้ชิ้นส่วนแผ่นพื้นกลวง

แผ่นพื้นแบบกลวงสามารถเสริมกำลังได้โดยการเกราต์รวมกับการใช้เหล็กเสริมกำลังในช่องกลวงของแผ่นพื้น หากต้องการเสริมเฉพาะกำลังรับแรงเฉือน การเติมช่องว่างด้วยการเกราต์หรือคอนกรีตจะช่วยเพิ่มความกว้างประสิทธิผล

8.1.6 ระยะวางพาดจุดรองรับ

ระยะจากขอบจุดรองรับถึงขอบของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ในทิศทางเดียวกับระยะพาดต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 1/180 ของระยะขอบใน แต่ทั้งนี้ ระยะพาดต้องไม่น้อยกว่า 50 mm เว้นเสียแต่ว่าจะมีผลการทดสอบหรือผลการวิเคราะห์ให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นจะไม่ลดลง

8.2 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบคาน

8.2.1 ขอบเขต

ในข้อกำหนดการออกแบบคานในส่วนที่ 8.2 นี้ ครอบคลุมถึงลักษณะชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังนี้

8.2.1.1 คานชิ้นเดี่ยว หรือ คานคอนกรีตเชิงประกอบ (Composite Beam) ที่เกิดจากการเทคอนกรีตไม่พร้อมกัน แต่ประสานกันจนสามารถรับแรงได้เสมือนเป็นชิ้นเดียวกัน

8.2.1.2 คานตงที่มีการดัดในทิศทางเดียว

8.2.2 ข้อกำหนดด้านกำลังต้านทาน

ในทุก ๆ กรณีของแรงกระทำ คานที่ออกแบบต้องมีกำลังต้านทานสอดคล้องกับสมการ ดังนี้

$$\phi M_n \geq M_u \tag{8.5}$$

$$\phi V_n \geq V_u \tag{8.6}$$

$$\phi T_n \geq T_u \tag{8.7}$$

$$\phi P_n \geq P_u \tag{8.8}$$

8.2.2.1 การออกแบบกำลังต้านแรงดัดประลัย

(ก) ในกรณีที่ $P_u < 0.10 f_c' A_g$ กำลังดัด M_n คำนวณโดยมีสมมติฐานตามข้อที่ 8.5.2

(ข) ในกรณีที่ $P_u \geq 0.10 f_c' A_g$ กำลังดัด M_n คำนวณโดยมีสมมติฐานตามข้อที่ 8.5.3

8.2.2.2 การออกแบบกำลังต้านแรงเฉือนประลัย

(ก) กำลังเฉือนระบุ V_n ให้คำนวณตามข้อที่ 8.5.4

(ข) สำหรับคานเชิงประกอบ กำลังเฉือนแนวนอนระหว่างคอนกรีตที่เทต่างเวลาให้คำนวณตามข้อที่ 8.5.7

8.2.2.3 การออกแบบกำลังต้านแรงบิดประลัย

กำลังบิดระบุ T_n ให้คำนวณตามข้อที่ 8.5.6

8.2.3 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงดัดขั้นต่ำ

8.2.3.1 สำหรับชิ้นส่วนรับแรงดัดที่ไม่อัดแรง

ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำคำนวณได้จากสมการที่ (8.9)

$$A_{s,\min} = \frac{0.25\sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \geq \frac{1.4 b_w d}{f_y} \tag{8.9}$$

โดยที่ b_w คือ ความกว้างของเอวคาน

สำหรับหน้าตัดรูปอักษรที ที่ความลึกส่วนของปีกอยู่ในส่วนรับแรงดึง ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำเป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่างปริมาณที่คำนวณจากสมการที่ (8.9) โดยแทนค่า b_w เป็นความกว้างของปีกคาน หรือปริมาณที่คำนวณโดย

$$A_{s,\min} = \frac{0.5\sqrt{f_c'}b_w d}{f_y} \tag{8.10}$$

โดยที่ b_w ในสมการที่ (8.10) คือ ความกว้างของเอวคาน

ทั้งนี้ สามารถยกเว้นปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำที่คำนวณข้างต้นเมื่อปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้จริงต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า 1.33 เท่าของปริมาณเหล็กที่ต้องการที่ได้จากการคำนวณออกแบบ

8.2.3.2 สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงรับแรงดัด

(ก) สำหรับชิ้นส่วนอัดแรงชนิดแรงอัดไม่มีแรงยึดหน่วง ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัดขั้นต่ำ $A_{s,\min} \geq 0.004A_{ct}$ เมื่อ A_{ct} คือ พื้นที่หน้าตัดในส่วนระหว่างผิวแรงดึงและศูนย์กลางของหน้าตัดเต็ม

(ข) ชิ้นส่วนอัดแรงชนิดแรงอัดมีแรงยึดหน่วง ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัดขั้นต่ำรวมทั้งเหล็กเสริมอัดแรง และ เหล็กเสริมธรรมดา ให้กำลังดัดออกแบบประลัยของหน้าตัดมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของโมเมนต์ในขณะที่เกิดรอยร้าว $\left(\phi M_n \geq 1.2M_{cr}\right)$ โดยพิจารณาที่หน้าตัดแรงดัดวิกฤต และยกเว้นสำหรับชิ้นส่วนที่มีกำลังรับแรงเฉือนและกำลังรับแรงดัดมากกว่า 2 เท่าของแรงที่ได้จากการวิเคราะห์ โมเมนต์ขณะเกิดรอยร้าว M_{cr} คำนวณได้ดังสมการที่ (8.11)

$$M_{cr} = S_{bc}\left[\frac{P_e}{A_g} + \frac{P_e e}{S_b} + f_r\right] - M_{nc}\left(\frac{S_{bc}}{S_b} - 1\right) \tag{8.11}$$

โดยที่ M_{nc} คือ โมเมนต์ดัดของคานเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองรวมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ก่อนการเกิดหน้าตัดเชิงประกอบ (Composite Section) หน่วย N-mm

S_b คือ มอดุลัสหน้าตัดในด้านท้องของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ หน่วย mm^3

S_{bc} คือ มอดุลัสหน้าตัดในด้านท้องของหน้าตัดเชิงประกอบ หน่วย mm^3

f_r คือ มอดุลัสการแตกหัก มีค่าเป็น $f_r = 0.62\lambda\sqrt{f_c'}$ หน่วย MPa โดยที่แฟกเตอร์ λ มีค่าตามข้อที่ 10.2.3.5

P_e คือ แรงอัดประสิทธิผลโดยลวดอัดแรง หน่วย N

e คือ ระยะเยื้องของลวดอัดแรงจากศูนย์กลางหน้าตัด หน่วย mm

8.2.4 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนขั้นต่ำ

หาก V_u มีค่ามากกว่า $\phi V_c / 2$ ต้องมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนขั้นต่ำ $A_{v,\min}$ ดังตารางที่ 8.3 เมื่อ V_c คือ กำลังเฉือนระบุโดยคอนกรีต คำนวณตามข้อที่ 8.5.4

ตารางที่ 8.3 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนขั้นต่ำ

<table>
<tr><th>ชนิดของคาน</th><th colspan="3">$A_{v,\min} / s$ (mm^2/m)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">คานไม่อัดแรง และ
คานอัดแรงเมื่อ
$A_{ps}f_{pe} < 0.4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$</td><td rowspan="2">เลือกใช้ค่าที่
มากกว่า
ระหว่าง</td><td colspan="2">$0.062\sqrt{f'_c}\dfrac{b_w}{f_{yt}}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$0.35\dfrac{b_w}{f_{yt}}$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">คานอัดแรงเมื่อ
$A_{ps}f_{pe} \geq 0.4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$</td><td rowspan="3">เลือกใช้ค่าที่
น้อยกว่า
ระหว่าง</td><td rowspan="2">เลือกใช้ค่าที่
มากกว่า
ระหว่าง</td><td>$0.062\sqrt{f'_c}\dfrac{b_w}{f_{yt}}$</td></tr>
<tr><td>$0.35\dfrac{b_w}{f_{yt}}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\dfrac{A_{ps}f_{pu}}{80f_{yt}d}\sqrt{\dfrac{d}{b_w}}$</td></tr>
</table>

8.2.5 ปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงบิดขั้นต่ำ

องค์อาคารต้องเสริมเหล็กรับแรงบิดขั้นต่ำ เมื่อค่าแรงบิดประลัย T_u เกินกว่าค่าพิกัดแรงบิด ϕT_{th} แสดงในข้อที่ 8.5.6.2 โดยมีเหล็กลูกตั้งวงปิดขั้นต่ำ คำนวณโดย

$$\left(A_v + 2A_t\right)_{min} = 0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (8.12)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า $0.35\dfrac{b_w s}{f_{yt}}$

8.2.6 ความลึกขั้นต่ำ

สำหรับคานคอนกรีตไม่อัดแรง ทำจากคอนกรีตน้ำหนักปกติ และเสริมเหล็กกำลังคราก 400 MPa ที่ไม่ได้รองรับหรือติดกับส่วนของผนัง หรือ ส่วนอาคารอื่น ๆ ที่อาจจะเสียหายจากการเกิดการโก่งที่มาก ความลึกรวมของคาน h ควรมีค่าไม่น้อยไปกว่าที่กำหนดในตารางที่ 8.4 เว้นแต่จะมีการคำนวณพิสูจน์ว่ามีระยะโก่งไม่เกินตามที่กำหนดข้อที่ 8.2.9.5 โดยที่ l คือ ความยาวระยะช่วงพาดระหว่างจุดรองรับ

ตารางที่ 8.4 ความลึกขั้นต่ำของคานคอนกรีตไม่อัดแรง

เงื่อนไขจุดรองรับ	ขั้นต่ำของ h
จุดรองรับแบบธรรมดา	$l/16$
ปลายต่อเนื่องหนึ่งด้าน	$l/18.5$
ปลายต่อเนื่องสองด้าน	$l/21$
ปลายยื่น	$l/8$

หมายเหตุ

ความลึกคานที่กำหนดในตารางนี้ใช้สำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติ และกำลังครากเหล็กเสริม 400 MPa สำหรับกรณีอื่น ๆ ค่าต่ำสุดของ h ควรจะมีการปรับค่า ดังนี้

(ก) ในกรณีที่มีการเสริมเหล็กกำลังครากอื่น ๆ ความลึกขั้นต่ำในตารางที่ 8.4 ต้องคูณด้วย $(0.4+f_y/700)$

(ข) สำหรับคานคอนกรีตมวลเบา โดยมีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1,440 ถึง 1,840 kg/m^3 ความลึกขั้นต่ำในตารางที่ 8.4 ต้องคูณด้วยค่าปรับแก้ที่มากกว่าระหว่าง $(1.65-0.0003w_c)$ หรือ 1.09

8.2.7 แรงดัดในคานหน้าตัดไม่สมมาตร

ในหลายกรณี ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจมีหน้าตัดไม่สมมาตร ทั้งนี้ต้องคำนวณออกแบบโดยอ้างอิงบนแกนหลักของหน้าตัด อย่างไรก็ตามให้พิจารณาแกนหลักภายหลังเมื่อมีการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันแล้ว

8.2.8 คานที่มีปีกล่าง

กรณีคานที่มีลักษณะเป็นรูปอักษรแอล หรือรูปอักษรทีหงาย ดังรูปที่ 8.1 มีส่วนปีกยื่นเป็นฐานรองรับจะทำให้เกิดแรงบิดในคาน ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาส่วนของเหล็กลูกตั้งและเหล็กยืน ดังนี้

8.2.8.1 กำลังรับแรงเฉือนของปีกยื่น

กำลังรับแรงเฉือนออกแบบของปีกคาน รองรับแรงกระทำเป็นจุด สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าที่น้อยกว่าของสมการที่ (8.13) และ (8.14)

สำหรับ $s > b_t + h_l$

$$V_n = 0.25\lambda\sqrt{f'_c}\,h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l\right] \tag{8.13}$$

$$V_n = 0.08\lambda\sqrt{f'_c}\,h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+2d_e\right] \tag{8.14}$$

สำหรับ $s < b_t + h_l$ และแรงกระทำเป็นจุดที่เท่ากัน ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าของสมการที่ (8.15) และ (8.16) หรือสมการที่ (8.17)

$$V_n = 0.12\lambda\sqrt{f_c'}h_l\left[2(b_l - b) + b_t + h_l + s\right] \tag{8.15}$$

$$V_n = 0.08\lambda\sqrt{f_c'}h_l\left[(b_l - b) + \left(\frac{b_t + h_l}{2}\right) + d_e + s\right] \tag{8.16}$$

โดยที่ h_l คือ ความลึกของส่วนปีกยื่น หน่วย mm

b คือ ความกว้างของเอวคาน หน่วย mm

b_l คือ ความกว้างของปีกคานและเอวคาน หน่วย mm

b_t คือ ความกว้างของพื้นที่รับแรงกด หน่วย mm

s คือ ระยะระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด หน่วย mm

d_e คือ ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางแรงและปลายคาน หน่วย mm

λ คือ แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา โดยมีค่าตามข้อที่ 10.2.3.5

หากส่วนปีกยื่น รับแรงกระทำต่อเนื่องหรือระยะเรียงของน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดมีปริมาณน้อย กำลังรับแรงเฉือนระบุคำนวณโดย

$$V_n = 0.17\lambda\sqrt{f_c'}h_l \tag{8.17}$$

โดยที่ V_n = กำลังเฉือนระบุ N/mm

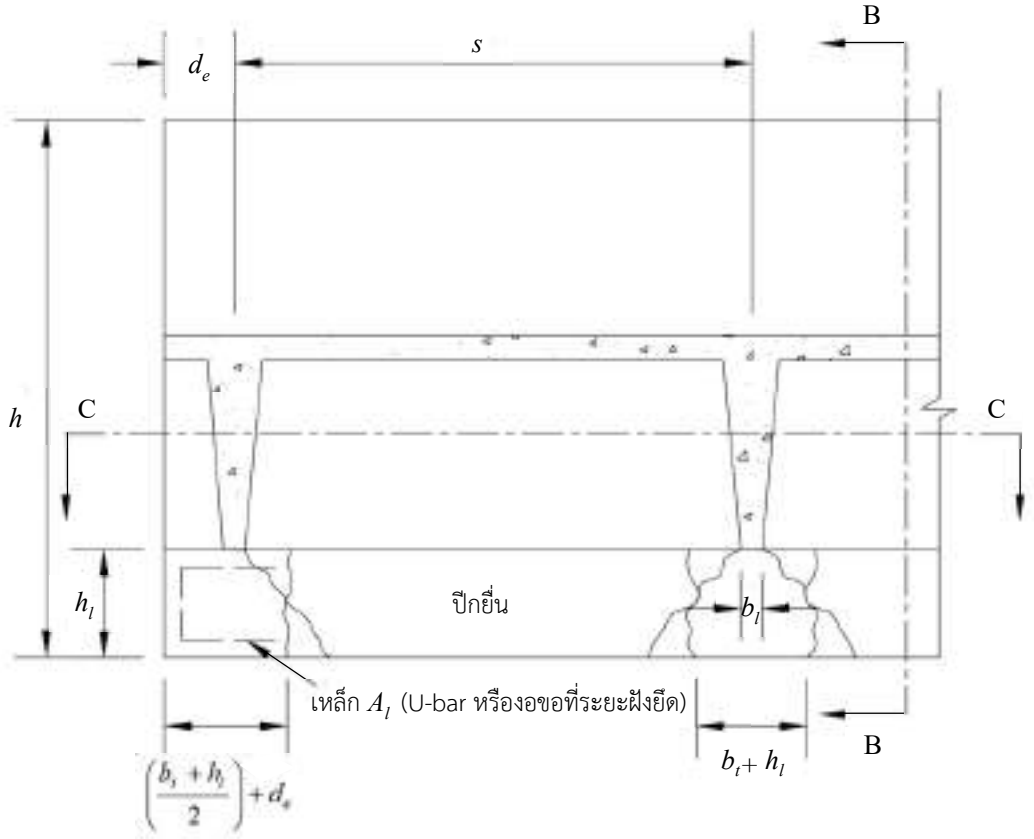
หาก $V_u > \phi V_n$ หรือ แรงกระทำมีค่าเกินกำลังที่คำนวณจากสมการที่ (8.13), (8.14) หรือ (8.17) ส่วนปีกยื่นควรจะมีการออกแบบสำหรับการถ่ายแรงของแรงเฉือนในข้อที่ 8.2.10.2 และแรงดึงในแนวทแยงตามข้อที่ 8.2.10.4

ให้คำนวณโดยใช้ค่า ϕ = 0.75

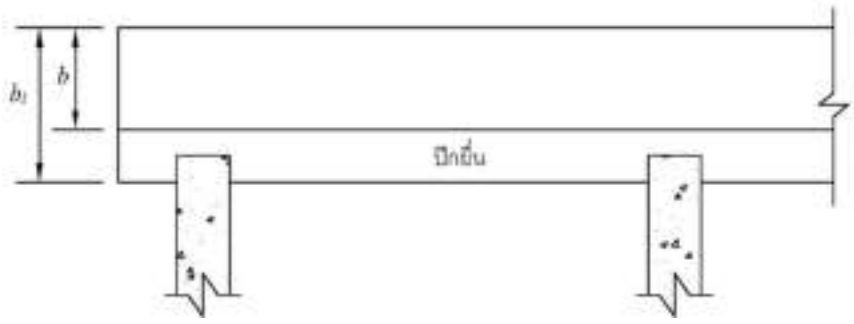
8.2.8.2 โมเมนต์ดัดแนวขวางของปีกยื่น (คานยื่น)

ปริมาณของเหล็กเสริมรับแรงดัดในส่วนปีกยื่น A_s คำนวณได้จากสมการที่ (8.18) โดยจัดให้ระยะเรียงของเหล็กเสริมกระจายสม่ำเสมอในช่วงระยะ $6h_l$ จากจุดถ่ายแรงทั้งสองข้าง แต่จะต้องไม่เกินไปกว่าระยะครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างจุดถ่ายแรงข้างเคียง และระยะเรียงของเหล็กเสริมไม่ควรเกินกว่าความลึกของปีกยื่น h_l หรือ 450 mm ตามแสดงดังรูปที่ 8.1

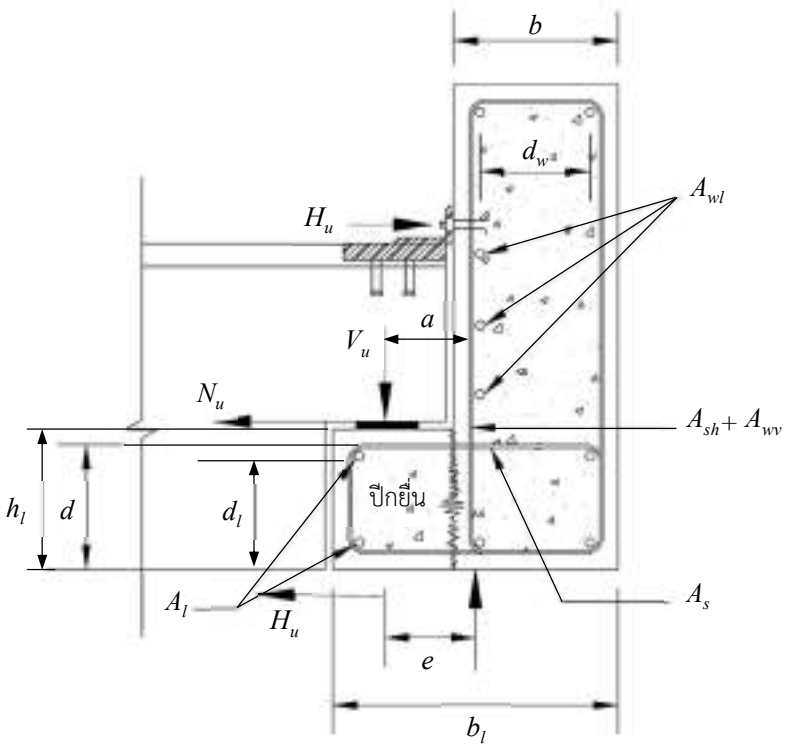
$$A_s = \frac{1}{\phi f_y}\left[V_u\left(\frac{a}{d}\right) + N_u\left(\frac{h_l}{d}\right)\right] \tag{8.18}$$



(ก) รูปด้าน และแนวแตกเฉือนที่เป็นไปได้ในส่วนปีกยื่น

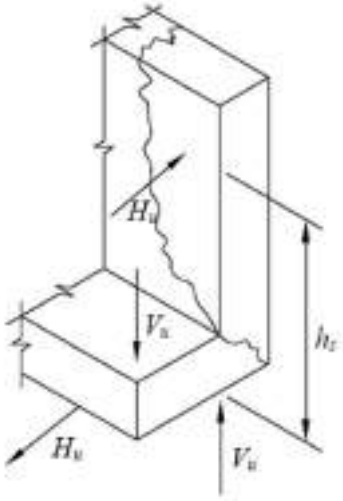


(ข) รูปแปลนแสดงรูปแนวตัดแนว C-C



(หมายเหตุ: ไม่ได้แสดงเหล็กเสริมสำหรับต้านแรงดัดและแรงบิด และแรงยึดรั้ง N_u ไม่ควรมีค่าน้อยกว่า 0.2 เท่าของส่วนแรงคงค้างในระยะยาวของแรงประลัย V_u เว้นแต่จะมีการคำนวณที่ชัดเจน)

(ค) รูปตัดแนว B-B แสดงสมดุลแรงและเหล็กเสริมในส่วนปีกยื่น



(ง) การดัดนอกระนาบเนื่องจากสมดุลแรงบิด

รูปที่ 8.1 การออกแบบคานปีกยื่นด้านล่าง [56]

8.2.8.3 แรงดัดแนวยาวของปีกยื่น

เหล็กเสริมตามยาวรับแรงดัดคำนวณได้จากสมการที่ (8.19) โดยวางเหล็กเหล็กเสริมทั้งด้านบนและด้านล่างของปีก

$$A_l = 1.38(b_l - b)d_l / f_y \tag{8.19}$$

โดยที่ b คือความกว้างของคานที่ผิวบน b_l คือ ความกว้างท้องคานรวมส่วนยื่น และ d_l = ความลึกของระยะเหล็กเสริม A_l (ดูรูปที่ 8.1)

8.2.8.4 การยึดส่วนของปีกยื่นกับส่วนเอวคาน

เหล็กยึดส่วนปีกยื่นเข้ากับส่วนเอว A_{sh} สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (8.20) ทั้งนี้ปริมาณเหล็กที่ได้ไม่จำเป็นต้องนำไปรวมเพิ่มกับปริมาณของเหล็กที่ใช้รับแรงเฉือนในข้อที่ 8.5.4 และรับแรงบิดในข้อที่ 8.5.6

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi f_y}(m) \tag{8.20}$$

โดยที่ V_u คือ แรงเฉือนที่ปรับค่าแล้ว

ϕ = 0.75

f_y คือ กำลังครากของเหล็กเสริม

m คือ แฟกเตอร์ปรับแก้ คำนวณโดย

$$m = \frac{\left[(d_s + a) - \left(3 - 2\frac{h_l}{h}\right)\left(\frac{h_l}{h}\right)^2\left(\frac{b_l}{2}\right) - e\gamma_t \frac{(x^2 y)_l}{\sum x^2 y}\right]}{d_s} \tag{8.21}$$

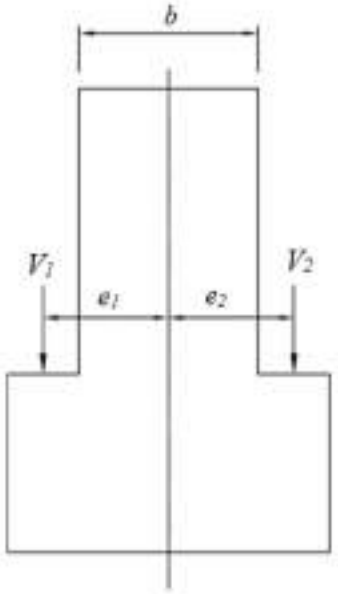
โดยที่ γ_t อาจพิจารณาเชิงอนุรักษ์ให้มีค่าเป็น 1.0 เมื่อเสริมด้วยเหล็กลูกตั้งวงปิดหรือ 0 เมื่อไม่มีเหล็กลูกตั้งวงปิดเสริมในส่วนปีกยื่น

x, y คือ ระยะที่สั้นกว่าและยาวกว่าตามลำดับ ของส่วนพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมในส่วนปีกยื่นและส่วนเอวของคาน

$m \geq 0.6$ สำหรับคานหน้าตัดอักษรแอล

$m \geq 0.4$ สำหรับคานหน้าตัดอักษรทีกลับหัว

ในกรณีของคานหน้าตัดรูปอักษรทีกลับหัวที่มีแรงกระทำที่ปีกยื่น 2 ฝั่ง ให้ใช้ค่าระยะ a เทียบเท่า สามารถคำนวณได้ดังรูปที่ 8.2



$$V_1 e_1 \le V_2 e_2$$

$$e_0 = \frac{V_2 e_2 - V_1 e_1}{V_2 + V_1}$$

$$a_0 = \frac{b}{2} + e_0 - d_s$$

คำนวณค่า m โดยสมการที่ (8.21) โดยใช้ค่า $e = e_0, b_t = b, a = a_0$ และคำนวณค่า A_{sh} ในสมการที่ (8.20) โดย $V_u = V_1 + V_2$

รูปที่ 8.2 น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดที่ไม่สมดุลของคานรูปอักษรทีกลับหัว [56]

8.2.8.5 แรงดัดนอกระนาบที่ปลายของคาน

เมื่อแรงกระทำและแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับไม่อยู่ในแนวเดียวกันดังรูปที่ 8.1(ง) จะทำให้เกิดแรงดัดนอกแนวระนาบ ทำให้ต้องมีการจัดเหล็กเสริมต้านทานทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มขึ้น คำนวณได้โดยสมการที่ (8.22) โดยเสริมบริเวณผิวด้านในของคาน ทั้งนี้ เหล็กที่คำนวณได้ไม่ต้องนำมารวมเพิ่มกับเหล็กเสริมรับแรงบิด

ให้วางเหล็กเสริม A_{wl} และ A_{wv} กระจายสม่ำเสมอตลอดความสูงและความกว้างคาน ในช่วงระยะยึดป้องกันการบิด h_s ดังรูปที่ 8.1(ง)

$$A_{wv} = A_{wl} = \frac{V_u e}{2\phi f_y d_w} \qquad (8.22)$$

โดยที่ V_u = แรงเฉือนที่ปรับค่าแล้วที่หน้าตัดวิกฤต

e = ระยะเยื้องจากศูนย์กลาง ดูรูปที่ 8.1(ค)

ϕ = 0.75

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม

d_w = ความลึกของเหล็กเสริม A_{wv} และ A_{wl} จากผิวนอกของคาน

8.2.9 กำลังแบกทาน

8.2.9.1 กำลังแบกทานบนคอนกรีตล้วน

สามารถใช้คอนกรีตล้วนรับแรงแบกทานเมื่อมีแรงกดกระจายสม่ำเสมอและมีค่าความเค้นแรงแบกทานต่ำ เช่น การวางแผ่นพื้นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ในกรณี ชิ้นส่วนที่เอวบางวางบนพื้นที่รับแรงแบกทานน้อยกว่า 13,000 mm^2 แนะนำให้มีปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดเท่ากับ $N_u / \phi f_y$ (และต้องไม่น้อยกว่าเหล็กขนาด RB9 1 เส้น)

ในกรณีที่จุดรองรับมีแผ่นฐานรองรับ ขนาดแรง N_u ประมาณให้มีค่า 0.2 เท่าของแรงกระทำ V_u ที่คำนวณจากส่วนแรงคงค้างในระยะยาว หรืออาจคำนวณด้วยวิธีอื่นที่น่าเชื่อถือ

การออกแบบกำลังแบกทานของฐานคอนกรีตรองรับแรงกดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\phi V_n = \phi C_r (0.85 f_c' A_1) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \le 1.1 f_c' A_1 \qquad (8.23)$$

โดยที่ ϕV_n = กำลังแบกทานออกแบบ

ϕ = 0.65

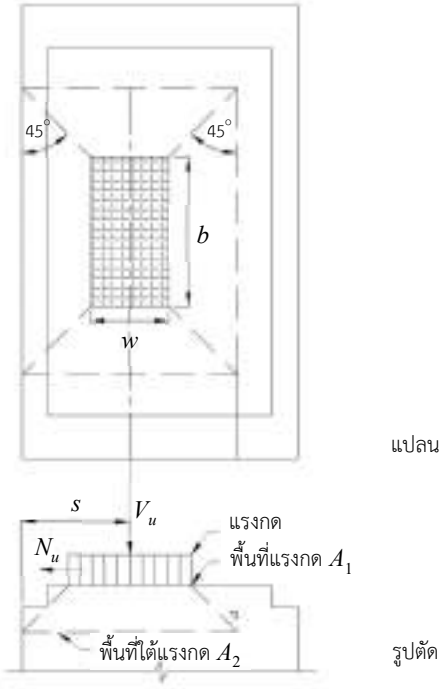
$$C_r = \left(\frac{sw}{129{,}000} \right)^{\frac{N_u}{V_u}}$$

= 1.0 เมื่อมีเหล็กเสริมวางในทิศทางของแรง N_u ตามข้อที่ 8.2.9.2 หรือเมื่อไม่มีแรงกระทำ N_u และค่าผลคูณของ $s \cdot w$ ควรมีค่าไม่เกิน 5,800 mm^2

s = ระยะห่างจากขอบถึงตำแหน่งแรงกระทำ

A_1 = พื้นที่แรงกระทำ = bw (รูปที่ 8.3)

A_2 = พื้นที่ของฐานใต้ส่วนล่างที่ใหญ่ที่สุดของลาดปิรามิดจากพื้นที่ที่แรงกระทำและมีความลาดเอียงด้านแนวราบ 2 ต่อแนวตั้ง 1 (ดูรูปที่ 8.3)



รูปที่ 8.3 กำลังแบกทานบนคอนกรีตล้วน [12]

8.2.9.2 กำลังแบกทานบนคอนกรีตเสริมเหล็ก

ต้องมีการเสริมเหล็ก หากแรง V_u เกินกว่ากำลังแบกทานออกแบบ ϕV_n คำนวณโดยสมการที่ (8.23) โดยหาปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการจากทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือน ดังข้อที่ 8.5.7 จากรูปที่ 8.4 เหล็กเสริม $A_{vf} + A_n$ ที่มีทิศทางตามแรง N_u คำนวณโดยข้อที่ 8.5.7 โดยที่ $A_{cr} = b \times h$ (ประมาณค่ามุม θ^o = 0) ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดแรงยึดหน่วงเพียงพอ จำเป็นต้องทำของอ หรือเชื่อมต่อกับเหล็กยึดหรือแผ่นรองรับแรงแบกทานเหล็กเสริมตามแนวตั้งต้านรอยร้าวตามแนวนอน สามารถคำนวณได้โดย

$$A_{sh} = \frac{\left(A_{vf} + A_n\right) f_y}{\mu_e f_{ys}} \tag{8.24}$$

โดยที่ $\mu_e = \dfrac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{(A_{vf} + A_n) f_{ys}}$ และไม่เกินค่าในตารางที่ 8.9

f_y คือ กำลังครากของเหล็กเสริมของเหล็ก $A_{vf} + A_n$

f_{ys} คือ กำลังครากของเหล็กเสริมของเหล็ก A_{sh}

A_{cr} คือ พื้นที่เสียดทานเฉือนแนวนอน ($A_{cr} = l_d b$ ในรูปที่ 8.4)

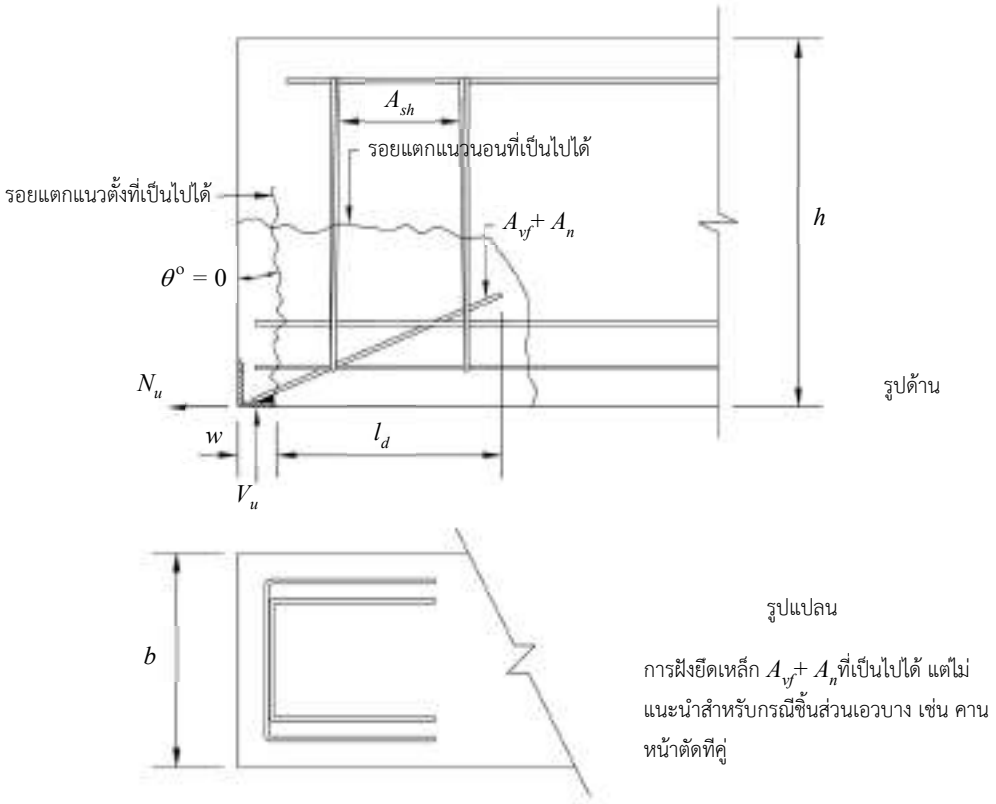
b คือ ความกว้างเฉลี่ย

l_d คือ ระยะฝังของเหล็กเสริม $A_{vf} + A_n$

λ คือ แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา โดยมีค่าตามข้อที่ 10.2.3.5

เหล็กลูกตั้งหรือตะแกรงที่ใช้เสริมต้านแรงดึงในแนวทแยง สามารถนำมาพิจารณาเป็นส่วนของเหล็กเสริม A_{sh} ได้

ในกรณี เมื่อชิ้นส่วนรับแรงแบกทาน เกินกว่า $1.1f'_cA_1$ ต้องทำการเสริมเหล็กเพื่อการกักคอนกรีต



รูปที่ 8.4 เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงแบกทาน [56]

8.2.10 กำลังแบกทานบนคอนกรีตเสริมเหล็ก

สมการออกแบบนี้ เหมาะกับคานที่ขนาดรอยบากที่ปลายมีค่าอัตราส่วนระยะเฉือนต่อความลึก (Shear Span-to-Depth Ratio) ไม่เกิน 1.0 (ระยะ a/d ดังรูปที่ 8.5)

บริเวณจุดปลายของชิ้นส่วน ควรเสริมเหล็กคำนวณตามสมการที่ (8.25) ถึง (8.31) เมื่อคานบากปลายมีลักษณะหนึ่งลักษณะใด ดังนี้

(ก) ความลึกส่วนที่บากมีค่ามากกว่า $0.2H$ หรือ 200 mm

(ข) ความกว้างส่วนบากมีค่ามากกว่า 300 mm (l_p ดังรูปที่ 8.5)

(ค) 1) สำหรับชิ้นส่วนที่มีความกว้างน้อยกว่า 200 mm มีเหล็กเสริมรับแรงดัดหลักเสริมยาวต่อเนื่องไปถึงปลายชิ้นส่วนเหนือส่วนบากไม่เกินครึ่งหนึ่ง

2) สำหรับชิ้นส่วนที่มีความกว้าง 200 mm หรือมากกว่า มีเหล็กเสริมรับแรงดัดหลักเสริมยาวต่อเนื่องไปถึงปลายชิ้นส่วนเหนือส่วนบากไม่เกิน 1 ใน 3

เกณฑ์กำหนดข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ปลายที่มีการบากสั้นและไม่ลึกมาก มีการเสริมเหล็กหลักในปริมาณที่เกินขั้นต่ำหรือมากกว่ายื่นเข้าเหนือส่วนบาก ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กเสริมบริเวณปลายชิ้นส่วนทุกประเภท ตามสมการที่ (8.25) ถึง (8.31) เช่นเมื่อส่วนที่บากตื้น เหล็กเสริม A_{sh} และ A'_{sh} ในรูปที่ 8.5 อาจไม่จำเป็น อย่างไรก็ตามแนะนำว่าควรมีการเสริมเหล็ก A_v และ $A_{vf} + A_n$ ตามข้อที่ 8.2.9.2

8.2.10.1 แรงดัดและแรงดึงในแนวแกนในส่วนปลายยื่น

การคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในแนวนอน A_s ประกอบด้วย เหล็กเสริมต้านแรงดัด A_f และเหล็กเสริมต้านแรงดึง A_n ดังสมการที่ (8.25)

$$A_s = A_f + A_n = \frac{1}{\phi f_y}\left[V_u\left(\frac{a}{d}\right) + N_u\left(\frac{h}{d}\right)\right] \qquad (8.25)$$

โดยที่ ϕ = 0.75

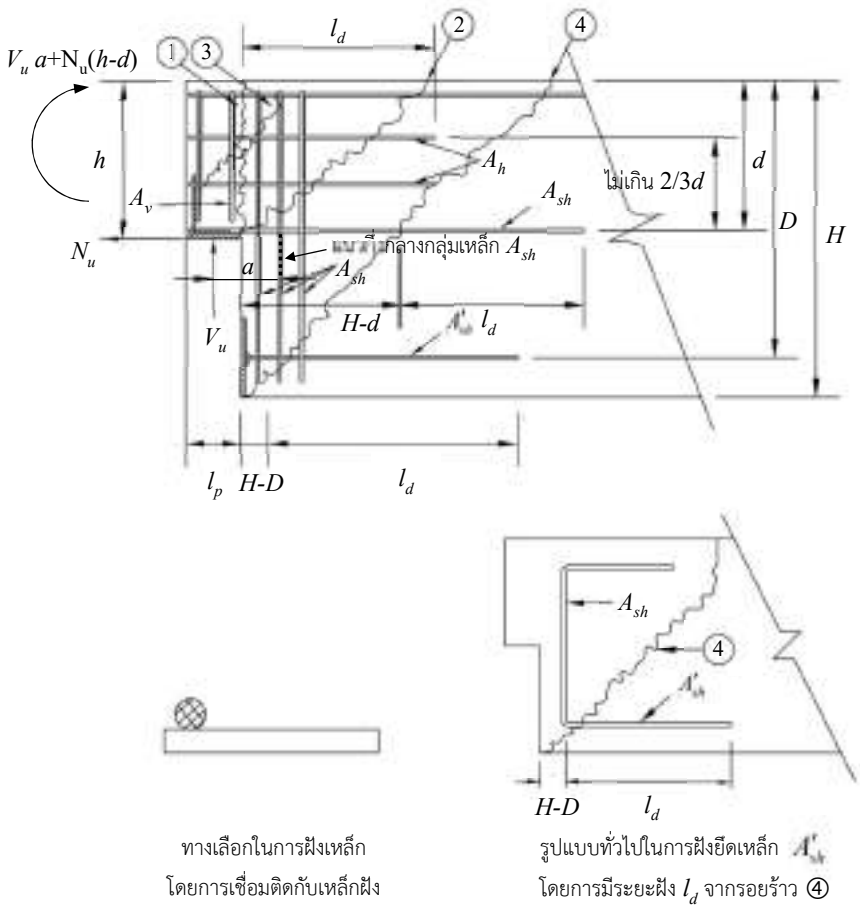
a = ช่วงระยะแรงเฉือน วัดจากตำแหน่งแรงกระทำถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม A_{sh}

h = ความลึกของชิ้นส่วนยื่นเหนือบาก

d = ระยะจากผิวบนถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม A_s

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริมรับแรงดัด

N_u = 0.2 เท่าของแรงกระทำ V_u ในส่วนที่เป็นแรงคงที่ (ในกรณีมีการวางแผ่นรอง) หรือตามค่าที่คำนวณได้โดยวิธีอื่น



รูปที่ 8.5 เหล็กเสริมที่บริเวณจุดต่อคานปลายบากรับแรงแบกทาน [56]

8.2.10.2 แรงเฉือนตรง (Direct Shear)

รอยร้าวที่เป็นไปได้ในแนวดิ่ง ① ดังรูปที่ 8.5 จะถูกต้านทานโดยเหล็กเสริม A_s และ A_h โดยเหล็กเสริมนี้คำนวณได้จากสมการที่ (8.26) ถึงสมการที่ (8.28)

$$A_s = \frac{2V_u}{3\phi f_y \mu_e} + A_n \tag{8.26}$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} \tag{8.27}$$

$$A_h = 0.5\left(A_s - A_n\right) \tag{8.28}$$

โดยที่ ϕ = 0.75

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม A_s, A_n, A_h หน่วย MPa

$\mu_e = \dfrac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$ และไม่เกินกว่าค่าในตารางที่ 8.9

8.2.10.3 เหล็กเสริมในแนวทแยงบริเวณมุมหักของชิ้นส่วน

ปริมาณของเหล็กเสริมเพื่อต้านแรงดึงในแนวทแยงบริเวณมุมหัก ② ในรูปที่ 8.5 คำนวณได้ดังนี้

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi f_y} \tag{8.29}$$

โดยที่ ϕ = 0.75

V_u = แรงที่ปรับค่าแล้ว

A_{sh} = เหล็กเสริมในแนวตั้งหรือแนวทแยง เพื่อป้องกันรอยร้าวจากแรงดึงทแยง

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม A_{sh}

8.2.10.4 แรงดึงแนวทแยงส่วนปลายยื่น

ปริมาณเหล็กเสริมเพิ่มเติมสำหรับต้านทานรอยร้าว ③ ในรูปที่ 8.5 คำนวณได้ดังนี้

$$\phi V_n = \phi\left(A_v f_y + A_h f_y + 0.17bd\lambda\sqrt{f_c'}\right) \tag{8.30}$$

เหล็กเสริมอย่างน้อยครึ่งหนึ่ง จะต้องใส่ในแนวตั้ง ดังนั้น

$$A_{v,\min} = \frac{1}{2f_y}\left(\frac{V_u}{\phi} - 0.17bd\lambda\sqrt{f_c'}\right) \tag{8.31}$$

8.2.10.5 ระยะฝังยึดของเหล็กเสริม (Anchorage of Reinforcement)

พิจารณาจากรูปที่ 8.5

(1) เหล็กเสริมแนวนอน A_s ควรจะเสริมอย่างน้อยเป็นระยะ l_d เลยจากแนวรอยร้าว ④ และยึดที่จุดปลายของคานโดยการเชื่อมเข้ากับเหล็กเสริมขวาง แผ่นเหล็ก หรือเหล็กฉาก

(2) เหล็กเสริมแนวนอน A_h ควรจะเสริมอย่างน้อยเป็นระยะ l_d เลยจากแนวรอยร้าว ① และยึดที่จุดปลายของคานโดยการดัดงอขอ หรือวิธีอื่นที่เหมาะสม

(3) เพื่อให้มั่นใจว่า เหล็กเสริมแขวน A_{sh} มีระยะยึดหน่วงเพียงพอ ควรดัดและมีความยาวต่อเนื่องขนานไปกับท้องคาน หรือต้องเสริมเหล็กในแนวนอนแยกต่างหากโดยที่ $A'_{sh} \geq A_{sh}$ เหล็กเสริมที่ขนานแนวท้องคานต้องมีระยะไม่น้อยกว่า l_d เลยจากแนวรอยร้าว ④ ส่วนเหล็กเสริม A'_{sh} ปลายด้านที่บากควรจะมีการยึดโดยใช้ การเชื่อมกับแผ่นเหล็ก (รูปที่ 8.5) หรือเหล็กฉาก หรือเหล็กขวาง

(4) เหล็กเสริมแนวตั้ง A_v ควรจะมีการดัดงอที่ปลาย ตามมาตรฐาน

8.2.10.6 ข้อพิจารณาอื่น ๆ (Other Considerations)

(1) ความลึกของปลายยื่นไม่ควรน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกของคาน เว้นแต่ว่า ความลึกของคานมีค่ามากกว่าความลึกที่จำเป็นเพื่อการรับแรง

(2) เหล็กเสริมแขวน A_{sh} ควรวางใกล้บริเวณมุมหัก เหล็กเสริมนี้ไม่ได้เพิ่มเติมจากปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน แต่เสริมเพิ่มจากที่คำนวณเพื่อต้านแรงบิด

(3) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ปรับค่าแล้ว (Factored Load) และการวิเคราะห์หน้าตัดเต็ม หากหน่วยแรงดัดบนหน้าตัดคานถัดจากหน้าตัดส่วนบาก มี $0.62\sqrt{f'_c}$ ต้องเสริมเหล็กตามแนวยาวเพื่อรองรับกำลังของแรงดัด

(4) ในช่วงความยาวของคานเท่ากับความลึก H ของคาน กำหนดให้กำลังรับแรงเฉือนที่รับได้โดยคอนกรีต V_c เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง V_{ci} และ V_{cw} ที่คำนวณที่ $H/2$ วัดจากปลายคานส่วนที่ความลึกเต็ม

8.2.11 การสูญเสียของแรงอัด

การประเมินการเสื่อมของแรงอัดที่ไม่ตรงจากความเป็นจริงอาจไม่ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดัดของชิ้นส่วน แต่อาจส่งผลต่อเงื่อนไขการใช้งาน เช่น การโก่งก่อน ระยะแอ่น และการแตกร้าว

ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการอัดแรง ให้พิจารณาผลของการเสื่อมของแรงอัดในลวดอัดแรงโดยใช้มาตรฐานที่ยอมรับกัน

8.2.12 การโก่งและการแอ่น

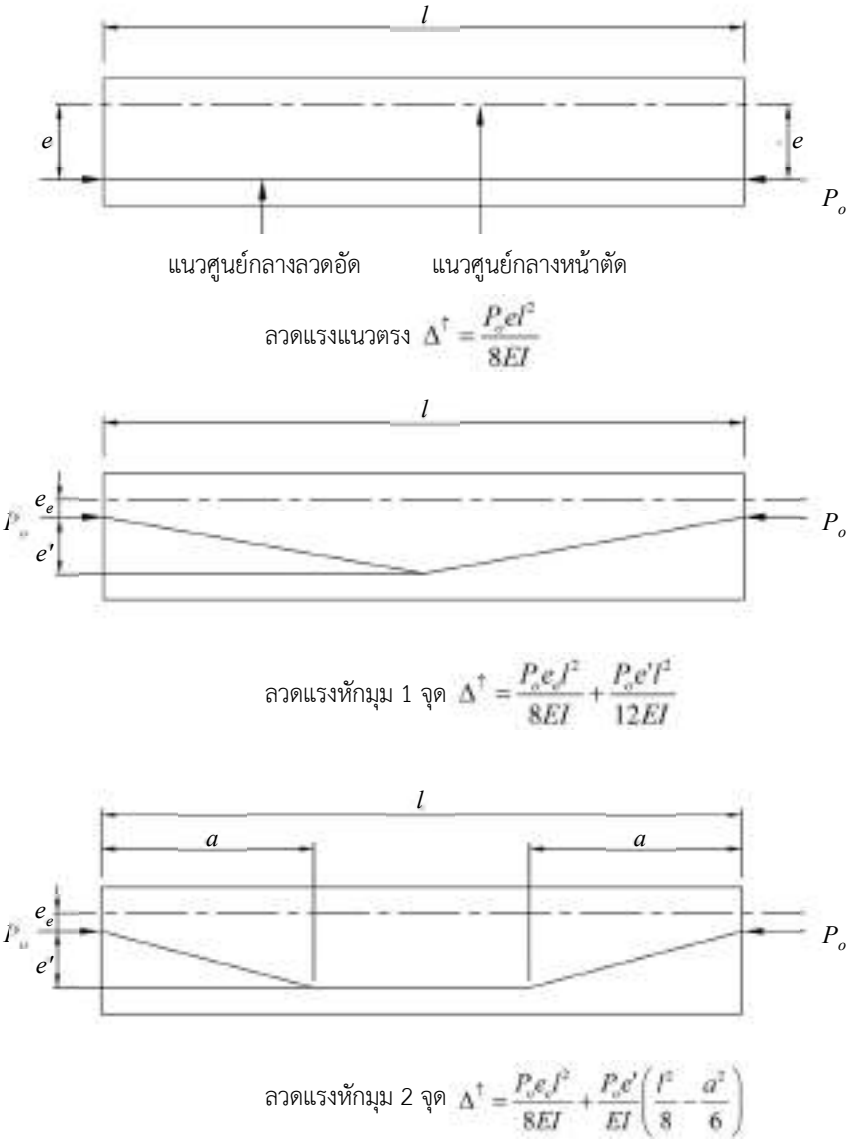
ระยะการโก่งโดยทันที และการแอ่นระยะยาว ต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นที่คำนวณได้

ชนิดขององค์อาคาร	ระยะแอ่นที่พิจารณา	ขีดจำกัดการโก่ง
หลังคาราบซึ่งไม่รองรับหรือไม่ติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการโก่งมาก	ระยะแอ่นที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$l/180$
พื้นซึ่งไม่รองรับหรือไม่ติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการโก่งมาก	ระยะแอ่นที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$l/360$
หลังคาหรือพื้นซึ่งรองรับหรือติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการโก่งมาก	ส่วนของระยะแอ่นทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังจากการยึดติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (ผลรวมของระยะแอ่นที่เพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างทั้งหมดและระยะแอ่นที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้น)	$l/480$
หลังคาหรือพื้นซึ่งรองรับหรือติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งคาดว่าจะไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการโก่งมาก		$l/240$

8.2.12.1 การโก่งเริ่มต้นจากการอัดแรง

การอัดแรงเยื้องศูนย์ทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเกิดการโก่งขึ้น ($\Delta^{\uparrow}$) รูปที่ 8.6 แสดงสมการสำหรับการประมาณระยะโก่งที่เกิดจากการอัดแรงสำหรับรูปแบบลวดอัดแรงที่พบได้บ่อยในงานคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดอัดแรง



รูปที่ 8.6 สมการการโก่งสำหรับลวดอัดแรงทั่วไป [56]

8.2.12.2 การโก่งช่วงอิลาสติก

การคำนวณระยะโก่งในช่วงอิลาสติก หากแรงดึงที่ผิวด้านล่างในชิ้นส่วนคอนกรีตช่วงพาดธรรมดามีค่าไม่เกินมอดุลัสการแตกหักในสมการที่ (8.32) ระยะการโก่งจะคำนวณโดยใช้โมเมนต์ ความเฉื่อยในหน้าตัดเต็มที่ไม่มีรอยร้าว (I_g)

$$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c} \tag{8.32}$$

โดยที่ λ = แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในข้อที่ 10.2.3.5

8.2.12.3 พฤติกรรมเชิงเส้นสองช่วง

ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรับแรงดัดที่เกิดการแตกร้าว การคำนวณระยะโก่งให้พิจารณาใช้หน้าตัดร้าวแปลง (Transformed Cracked Section) และยอมให้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและการโก่งแบบเชิงเส้นสองช่วง สามารถคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยหน้าตัดแตกร้าว (I_{cr}) ได้ ดังนี้

$I = I_g$ เชิงเส้นช่วงอิลาสติก พิจารณาข้อ 8.2.12.2
$I = I_{cr}$ เชิงเส้นช่วงหลังอิลาสติก (8.33)

หนึ่งทางเลือกอาจคำนวณค่า โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล (I_e) โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \tag{8.34}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_a} = 1 - \left(\frac{f_{tl} - f_r}{f_l}\right) \tag{8.35}$$

โดยที่ f_{tl} คือ ค่าความเค้นรวมทั้งหมดในชิ้นส่วน
f_l คือ ค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร
M_{cr} คือ โมเมนต์ในขณะที่เกิดรอยร้าว หน่วย N-mm
M_a คือ โมเมนต์ในขณะใช้งาน หน่วย N-mm

8.2.12.4 การโก่งและการแอ่นตัวระยะยาว

กำหนดแฟกเตอร์ λ_Δ เพิ่มค่าการแอ่นตัวเริ่มต้น สำหรับการประเมินการแอ่นตัวในระยะยาวของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่อัดแรง

$$\lambda_\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \tag{8.36}$$

โดยที่ ξ คือ แฟกเตอร์ที่ขึ้นกับระยะเวลาภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง อนุญาตให้สมมติค่าดังต่อไปนี้ คือ ที่เวลา 3 เดือน, 6 เดือน, 1 ปี และ 5 ปี ให้ใช้ค่าแฟกเตอร์ที่ขึ้นกับระยะเวลาภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง เท่ากับ 1.0, 1.2, 1.4 และ 2.0 ตามลำดับ

ρ' คือ อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงอัด

สำหรับกรณีคอนกรีตหล่อสำเร็จชนิดอัดแรง ให้พิจารณาแฟกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มค่าระยะโก่งเริ่มต้นจากการโก่งในขณะอัดแรง และการแอ่นทันทีภายหลังแรงกระทำตามประสบการณ์ที่ควรจะเป็น

8.3 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบเสา

8.3.1 กำลังรับแรงของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การออกแบบเพื่อให้เสามีกำลังลังต้านทานเหมาะสม จะต้องสอดคล้องสมการออกแบบกำลังดังนี้

$$\phi P_n \geq P_u \tag{8.37}$$

$$\phi M_n \geq M_u \tag{8.38}$$

$$\phi V_n \geq V_u \tag{8.39}$$

$$\phi T_n \geq T_u \tag{8.40}$$

โดยที่ P_n คือ กำลังต้านแรงตามแนวแกนระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.3

M_n คือ กำลังต้านแรงดัดระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.3

V_n คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.4

T_n คือ กำลังต้านแรงบิดระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.6

ϕ คือ แฟกเตอร์ลดกำลัง แสดงในข้อที่ 8.6

8.3.2 ขีดจำกัดการเสริมเหล็ก

8.3.2.1 เหล็กเสริมแนวยาว

สำหรับชิ้นส่วนเสาไม่อัดแรง และชิ้นส่วนเสาอัดแรงที่มีหน่วยแรงอัดประสิทธิผลน้อยกว่า 1.55 MPa จะต้องจัดเหล็กเสริมแนวยาวในปริมาณ $0.01A_g - 0.08A_g$

ทั้งนี้จำนวนเส้นของเหล็กตามยาวจะต้องไม่น้อยกว่า

(ก) 3 เส้น สำหรับเสาเหล็กปลอกเดี่ยวรูปสามเหลี่ยม

(ข) 4 เส้น สำหรับเสาเหล็กปลอกเดี่ยวรูปสี่เหลี่ยมหรือวงกลม

(ค) 6 เส้น สำหรับเสาเหล็กปลอกเกลียว หรือเสาในโครงต้านแรงดัดชนิดพิเศษที่เสริมเหล็กปลอกรัดรอบวงกลม

8.3.2.2 เหล็กเสริมต้านแรงเฉือน

ต้องจัดให้มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนขั้นต่ำ $A_{v,\min}$ ในทุก ๆ หน้าตัดเมื่อ $V_u > 0.5\phi V_c$

ในกรณีที่เมื่อคำนวณแล้วต้องการเหล็กเสริมรับแรงเฉือน $A_{v,\min}$ ต้องมีค่าที่มากกว่าระหว่าง

$$0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w s}{f_{yt}} \tag{8.41}$$

$$0.35\frac{b_w s}{f_{yt}} \tag{8.42}$$

ระยะเรียงของเหล็กปลอกสูงสุด กำหนดตามตารางที่ 8.6

ตารางที่ 8.6 ระยะเรียงสูงสุดของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

V_s		ระยะเรียงสูงสุด s (mm)	
		เสาคอนกรีตไม่อัดแรง	เสาคอนกรีตอัดแรง
$\leq 0.33\sqrt{f'_c}b_w d$	ค่าที่น้อยกว่า	$d/2$	$3h/4$
	ระหว่าง	600	
$> 0.33\sqrt{f'_c}b_w d$	ค่าที่น้อยกว่า	$d/4$	$3h/8$
	ระหว่าง	300	

8.3.3 ผลของความชะลูดในเสา

ผลของความชะลูด หรือ “Slenderness Effects” เป็นโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นเมื่อแนวทิศทางของแรงตามแนวแกน เยื้องออกจากจุดศูนย์กลางชิ้นส่วนหลังเกิดการเสียรูป ซึ่งไม่ได้ถูกพิจารณาในช่วงเริ่มต้นของการออกแบบ จึงเรียกโมเมนต์ดัดนี้ว่า “โมเมนต์ดัดลำดับที่ 2” ซึ่งมีสาเหตุดังนี้

(1) การเคลื่อนที่สัมพัทธ์จุดปลาย 2 จุดของชิ้นส่วนเนื่องจากการไม่สมดุลของแรง หรือความผิดพลาดในการก่อสร้าง

(2) การโก่งออกห่างจากจุดปลายของชิ้นส่วนเนื่องจาก

- โมเมนต์ที่ปลายจากการเยื้องศูนย์ของแรงในแนวแกน หรือ การอัดแรงเยื้องศูนย์ในชิ้นส่วนอัดแรง
- โมเมนต์ที่ปลายเนื่องจากความต่อเนื่องของโครงเฟรมแบบยึดแน่น หรือมีการยึดแน่นบางจุด
- แรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม
- การโก่งเนื่องจากความต่างของอุณหภูมิ
- ระยะผิดพลาดจากการผลิต

8.3.3.1 การประเมินผลของความชะลูดโดยประมาณ

ให้ประเมินการขยายค่าของโมเมนต์ตามความชะลูด สภาพการยึดรั้งที่ปลายทั้ง 2 และรูปแบบของโมเมนต์ดัดที่กระทำและความยาวส่วนที่ไม่มีการยึดรั้งขององค์อาคารรับแรงอัด

8.3.3.2 การวิเคราะห์ลำดับที่สอง (ผลของ P-Delta)

อาจพิจารณาความชะลูดโดยการวิเคราะห์ลำดับที่สอง ภายใต้สมมติฐานโครงสร้างในช่วงอิลาสติก รับแรงกระทำเพิ่มค่า ผู้คำนวณออกแบบจำเป็นต้องกำหนดค่าคลาดเคลื่อนจากการผลิตที่มีผลทำให้มิติชิ้นส่วนไม่ได้แนวตรงตามประสบการณ์หรือค่าที่ยอมให้ สำหรับการบิดตัวเนื่องจากอุณหภูมิในเสาชิ้นส่วนสำเร็จมักมีค่าน้อยทำให้ไม่จำเป็นต้องพิจารณา อย่างไรก็ตามอาจจะมีผลมากสำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ในการวิเคราะห์นี้ ให้คิดถึงผลของรอยร้าวที่จะทำให้สติฟเนสของชิ้นส่วนลดลงด้วย โดยใช้คุณสมบัติของหน้าตัดร้าวสำหรับการวิเคราะห์

ผลกระทบของการคืบควรจะถูกรวมอยู่ด้วย วิธีทั่วไปที่นิยมมากที่สุดคือ ลดค่าสติฟเนส (EI) โดยหารด้วย $1+\beta_d$ เมื่อ β_d คือ อัตราส่วนสำหรับการพิจารณาการลดค่าสติฟเนสของเสาเนื่องจากผลของแรงคงค้างตามแนวแกน

8.3.4 หน้าตัดที่แปรผันในองค์อาคารรับแรงอัด

แผ่นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปสถาปัตยกรรม มักจะมีรูปตัดที่ไม่คงที่ตลอดช่วงจุดรองรับให้พิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดต่อความชะลูดสำหรับชิ้นส่วนดังกล่าว

8.4 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณออกแบบผนัง

8.4.1 ข้อกำหนดด้านกำลังของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การคำนวณออกแบบผนังเพื่อต้านทานแรงกระทำ ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข ดังนี้

$$\phi P_n \geq P_u \tag{8.43}$$

$$\phi M_n \geq M_u \tag{8.44}$$

$$\phi V_n \geq V_u \tag{8.45}$$

โดยที่ P_n คือ กำลังต้านแรงตามแนวแกนระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.3

M_n คือ กำลังต้านแรงดัดระบุ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.3

V_n คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุนอกระนาบ คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.4 ส่วนกำลังต้านทานแรงเฉือนในระนาบคำนวณในข้อที่ 8.4.4

8.4.2 ความหนาต่ำสุด

ความหนาต่ำสุดของผนังกำหนดตามตารางที่ 8.7 ทั้งนี้ ยอมให้ผนังมีความหนาต่ำกว่าที่กำหนดนี้ได้ หากการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือแสดงให้เห็นว่าผนังที่บางกว่านี้ยังคงมีกำลังและเสถียรภาพเพียงพอ

ตารางที่ 8.7 ความหนาขั้นต่ำของผนัง h

ชนิดของผนัง		ความหนาขั้นต่ำของผนัง h
ผนังรับแรงกด	ค่าที่มากกว่าระหว่าง	100 mm
		1/25 ของระยะระหว่างจุดรองรับของแนวยาว และแนวสูง
ผนังไม่รับแรงกด	ค่าที่มากกว่าระหว่าง	100 mm
		1/30 ของระยะระหว่างจุดรองรับของแนวยาว และแนวสูง

8.4.3 การกระจายน้ำหนักบรรทุก

หากมิได้มีการวิเคราะห์ ความยาวในแนวราบของผนังในการต้านทานแรงกระทำแต่ละจุดจะต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าของระยะระหว่างศูนย์กลางของแรงกระทำและความยาวของพื้นที่แรงกดบวกสี่เท่าของความหนา ของผนัง

ทั้งนี้ ความยาวประสิทธิผลในแนวราบที่รับแรงกระทำนี้จะต้องไม่เลยตำแหน่งแนวต่อระหว่างแผ่นในแนวดิ่ง เว้นแต่กรณีมีการออกแบบให้สามารถถ่ายแรงผ่านแนวต่อนี้ได้

8.4.4 แรงเฉือนในระนาบ

V_n คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุในระนาบในแนวราบ คำนวณโดยสมการที่ (8.46) ทั้งนี้ต้องไม่เกิน $0.66\sqrt{f_c'}A_{cv}$

$$V_n = \left(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_{yt}\right) A_{cv} \qquad (8.46)$$

โดยที่

$\alpha_c = 0.25$ เมื่อ $h_w / l_w \le 1.5$

$\alpha_c = 0.17$ เมื่อ $h_w / l_w \ge 2.0$

ในระหว่าง $1.5 < h_w / l_w < 2.0$ ให้ประมาณค่า α_c ในช่วงเชิงเส้น

ในกรณีแรงสุทธิแนวแกนบนผนังเป็นแรงดึง ค่า α_c ในสมการที่ (8.46) คำนวณโดย

$$\alpha_c = 0.17\left(1 + \frac{N_u}{3.5A_g}\right) \ge 0.0$$

โดยแทนค่า N_u เป็นค่าลบเมื่อเป็นแรงดึง

A_{cv} คือ พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตโดยรอบบริเวณความหนาเอวและความยาวในทิศทางของแรงเฉือนหักลบช่องเปิด (ถ้ามี) A_g คือ พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตรับแรงดึงหักลบช่องเปิด (ถ้ามี) h_w คือ ความสูงจากขอบถึงขอบของผนัง l_w คือ ความยาวของผนังในทิศทางแรงเฉือน ρ_t คือ อัตราส่วนการเสริมเหล็กในแนวนอน และ f_{yt} คือ กำลังดึงครากของเสริมเหล็กในแนวนอน

ในกรณีผนังมีอัตราส่วน $h_w / l_w \le 2$ สามารถคำนวณค่ากำลังเฉือนในแนวราบโดยวิธี Strut-and-Tie ได้

8.4.5 กำลังรับแรงเฉือนนอกระนาบ

กำลังต้านแรงเฉือนระบุนอกระนาบ V_n คำนวณดังแสดงในข้อที่ 8.5.4

8.4.6 กำลังรับแรงแนวแกนร่วมกับแรงดัดนอกระนาบโดยวิธีอย่างง่าย

ผนังรับแรงตามแนวแกน ร่วมกับแรงดัดในระนาบ หรือ แรงดัดนอกระนาบ สามารถคำนวณได้ตามข้อกำหนด 8.5.3 อย่างไรก็ตาม ในกรณีรับแรงดัดร่วมนอกระนาบโดยที่ผลลัพธ์ของแรงอยู่ในบริเวณส่วนกลางของในสามส่วนของหน้าตัดผนังตันสี่เหลี่ยมผืนผ้า กำลังรับแรงตามแนวแกน สามารถคำนวณได้โดย

$$P_n = 0.55 f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{k l_c}{32 h} \right)^2 \right] \qquad (8.47)$$

โดยที่ k คือ แฟกเตอร์ความยาวประสิทธิผล ตามตารางที่ 8.8

l_c คือ ความสูงของผนังระยะวัดจากศูนย์กลางจุดต่อผนัง

h คือ ความหนาของผนัง

A_g คือ พื้นที่หน้าตัดเต็มของผนัง

ตารางที่ 8.8 แฟกเตอร์ความยาวประสิทธิผล k ตามสมการที่ (8.47)

เงื่อนไขลักษณะจุดรองรับที่ปลายผนัง	k
ผนังปลายบนและล่างมีการยึดรั้งไม่เกิดการเคลื่อนที่ทางข้าง และ	
(ก) มีการยึดรั้งการหมุนที่ปลายด้านหนึ่ง หรือทั้งสองปลาย	0.8
(ข) ไม่มีการยึดรั้งการหมุนที่ปลายทั้งสอง	1.0
ผนังไม่มีการยึดรั้งการเคลื่อนที่ทางข้าง	2.0

8.4.7 ขีดจำกัดปริมาณการเสริมเหล็ก

(ก) เมื่อแรงเฉือนในระนาบ $V_u \le 0.04\phi\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$

ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องมีการเสริมเหล็กข้ออ้อยหรือลวดตะแกรงเชื่อม ในอัตราส่วนการเสริมเหล็กทั้งในแนวตั้ง ρ_l และแนวนอน ρ_t ไม่น้อยกว่า 0.001 เว้นหากแสดงให้เห็นว่ามีกำลังและเสถียรภาพเพียงพอจากการวิเคราะห์

อย่างไรก็ตาม หากผนังมีหน่วยแรงอัดประสิทธิผลเฉลี่ยบนหน้าตัดไม่น้อยกว่า 1.55 MPa ไม่จำเป็นต้องพิจารณาปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้ง ρ_l ขั้นต่ำข้างต้น

ในชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ดัดทางเดียวกว้างไม่เกิน 3,600 mm และมิได้ถูกยึดรั้งในแนวนอน ไม่จำเป็นต้องพิจารณาปริมาณเหล็กเสริมในแนวนอน ρ_t ขั้นต่ำข้างต้น

(ข) เมื่อแรงเฉือนในระนาบ $V_u > 0.04\phi\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$

ปริมาณการเสริมเหล็กแนวตั้งขั้นต่ำ เป็นค่าที่มากกว่าระหว่างปริมาณเหล็กเสริมที่ คำนวณโดย $\rho_l = 0.0025 + 0.5(2.5 - h_w / l_w)(\rho_t - 0.0025)$ และ 0.0025 แต่ทั้งนี้ไม่เกิน ρ_t ที่ต้องการตามการออกแบบเพื่อต้านทานแรงเฉือน ตามสมการที่ (8.46)

8.4.8 ระยะการจัดเรียงเหล็กเสริม

8.4.8.1 เหล็กเสริมแนวตั้ง

ระยะเรียง s ของเหล็กเสริมแนวตั้ง จะต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าของค่าดังต่อไปนี้

(ก) 5 เท่าของความหนา h

(ข) 450 mm สำหรับผนังภายนอก หรือ 760 mm สำหรับผนังภายใน

หากในการคำนวณต้องการเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในระนาบ ระยะเรียง ต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดของ $3h$ ระยะ 450 mm และ l_w /3

สำหรับผนังที่มีความหนามากกว่า 250 mm จะต้องมีการเสริมเหล็ก 2 ชั้น ในแนวตั้งและแนวนอนใกล้กับผิวแต่ละชั้น ทั้งนี้ ยกเว้น ผนังจากฐานที่มีความสูงชั้นเดียว หรือ ผนังยื่นกันดิน เหล็กเสริมต้านแรงดัดดึงจัดเรียงกระจายสม่ำเสมอและอยู่ในตำแหน่งใกล้ผิวแรงดึง

กรณีการใส่เหล็กเสริมแนวตั้งเพื่อการต้านแรงอัดบนผนัง และมีปริมาณเหล็กเสริมแนวตั้งมากกว่า $0.01A_g$ ควรจัดให้มีเหล็กผูกยึดแนวขวาง

8.4.8.2 เหล็กเสริมแนวนอน

ระยะเรียง s ของเหล็กเสริมแนวนอน จะต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าของ

(ก) 5 เท่าของความหนา h

(ข) 450 mm สำหรับผนังภายนอก หรือ 760 mm สำหรับผนังภายใน

หากในการคำนวณต้องการเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในระนาบ ระยะเรียงต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดของ $3h$, 450 mm และ $l_w/5$

8.4.9 การเสริมเหล็กรอบช่องเปิด

นอกเหนือไปจากปริมาณเหล็กเสริมในข้อที่ 8.4.7 จะต้องเสริมเหล็กขนาด 16 mm ไม่น้อยกว่า 2 เส้น สำหรับผนังเสริมเหล็ก 2 ชั้น หรือเหล็กขนาด 16 mm ไม่น้อยกว่า 1 เส้น สำหรับผนังเสริมเหล็ก 1 ชั้น รอบช่องเปิดทั้งสองทิศทาง ทั้งนี้ เหล็กเสริมจะต้องมีระยะฝังเพียงพอที่จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงคราก ที่มุมช่องเปิด

8.4.10 การโก่งของผนังเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

การต่างระดับความเครียดระหว่างภายในและภายนอกของผนังทำให้ผนังเกิดการโก่งได้ ขนาดของการโก่ง (รูปที่ 8.7) คำนวณได้ดังนี้

$$\Delta = \frac{\alpha_t l_c^2}{8h} \tag{8.48}$$

โดยที่ α_t คือ การต่างระดับความเครียดตามแนวความหนาของผนัง

l_c คือ ความสูงของผนังระหว่างจุดรองรับ

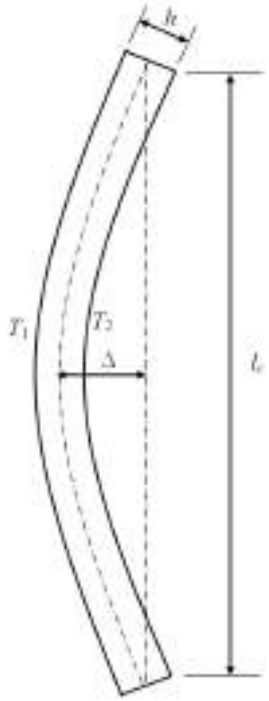
h คือ ความหนาของผนัง

สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกของผนัง

$$\alpha_t = C(T_1 - T_2) \tag{8.49}$$

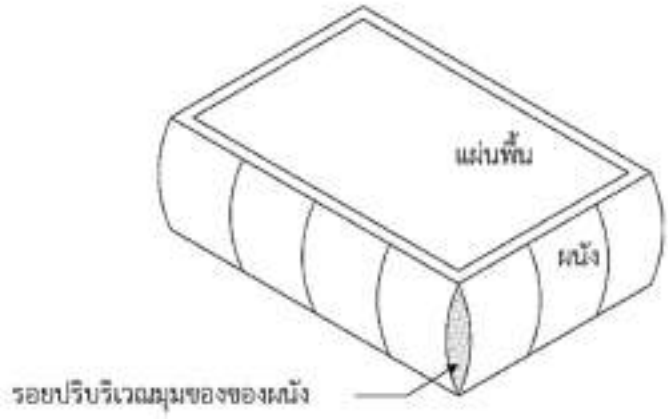
โดยที่ C คือ ค่าสัมประสิทธิการขยายตัวจากอุณหภูมิ สำหรับผนังคอนกรีต มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ $1 \times 10^{-5}/^{o}C$ (ทั้งนี้อาจมีค่าในช่วงระหว่าง $0.7 \times 10^{-5}/^{o}C$ ถึง $1.2 \times 10^{-5}/^{o}C$)

T_1, T_2 คือ อุณหภูมิข้างนอกและข้างใน ตามลำดับ



รูปที่ 8.7 การโก่งตัวของผนังเนื่องจากอุณหภูมิ [56]

ทั้งนี้ ระยะของการโก่งดังกล่าวของผนังมักจะไม่ค่อยมีนัยสำคัญมาก แต่อาจทำให้เกิดรอยร้าวที่บริเวณมุม (รูปที่ 8.8) และเกิดรอยแยกวัสดุผิวที่จุดต่อ ดังนั้นจึงควรมีการป้องกันการโก่งด้วยการยึดรั้งเพิ่มเติมอีก 1 จุดหรือมากกว่านั้นระหว่างแผ่นผนัง



รูปที่ 8.8 การเกิดรอยแยกบริเวณมุมของการโก่งตัวของผนังเนื่องจากอุณหภูมิ [56]

8.5 กำลังของหน้าตัดชิ้นส่วนคอนกรีต

8.5.1 สมมติฐานสำหรับการออกแบบกำลังตามแนวแกนและโมเมนต์ดัด

8.5.1.1 ภาวะสมดุลแรงและความเข้ากันได้ของความเครียด

(ก) ในทุก ๆ หน้าตัด แรงต้องอยู่ในภาวะสมดุล

(ข) ความเครียดบนหน้าตัดคอนกรีตและเหล็กเสริมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างจากแนวแกนสะเทิน

8.5.1.2 คอนกรีต

(ก) ค่าความเครียดอัดประลัยของคอนกรีตที่ผิวนอกสุดของหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0.003

(ข) ไม่คำนึงถึงกำลังดึงของคอนกรีตในการคำนวณกำลังดัดและกำลังตามแนวแกน

(ค) กำหนดการกระจายหน่วยแรงอัดเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมเทียบเท่า (Rectangular Stress Block) ความลึก "a" สัมพันธ์กับความลึกของแกนสะเทิน "c" โดยสมการ $a = \beta_1 c$ ค่าสัมประสิทธิ์ β_1 ขึ้นกับค่ากำลังอัด ดังนี้

ให้ใช้ค่าตัวประกอบ β_1 เท่ากับ 0.85 สำหรับกำลังคอนกรีต f_c' น้อยกว่าหรือเท่ากับ 28 MPa และค่า β_1 ลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 0.05 ต่อทุก ๆ 7 MPa สำหรับกำลังคอนกรีตสูงกว่า 28 MPa แต่ค่า β_1 ต้องไม่ต่ำกว่า 0.65

8.5.2 กำลังต้านแรงดัด

กำลังต้านแรงดัดระบุ M_n ของหน้าตัดใด ๆ คำนวณโดยพื้นฐานข้อสมมติฐาน 8.5.1

8.5.3 กำลังต้านแรงตามแนวแกน และกำลังต้านแรงตามแนวแกนร่วมแรงดัด

8.5.3.1 กำลังต้านแรงอัดตามแนวแกนสูงสุด

กำลังต้านแรงอัดตามแนวแกนสูงสุด $P_{n,\max}$ มีค่าเท่ากับ

$P_{n,\max} = 0.80P_o$ กรณี เสาคอนกรีตเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว

$P_{n,\max} = 0.85P_o$ กรณี เสาคอนกรีตเสริมเหล็กปลอกเกลียว

โดยที่ กำลังต้านแรงอัดตามแนวแกนตรงศูนย์กลาง P_o คำนวณโดย

(ก) สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง

$$P_o = 0.85f_c'\left(A_g - A_{st}\right) + f_y A_{st} \tag{8.50}$$

โดยที่ A_{st} คือ พื้นที่เหล็กเสริมในเสา

(ข) สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง

$$P_o = 0.85f_c'(A_g - A_{st} - A_{pd}) + f_y A_{st} - (f_{se} - 0.003E_p)A_{pt} \tag{8.51}$$

โดยที่ A_{pt} คือ พื้นที่ของเหล็กอัดแรง A_{pd} คือ พื้นที่รวมท่อ แผ่นหุ้มลวด และลวดอัดแรง ในกรณีของชิ้นส่วนอัดแรงภายหลังชนิดกรอกปูนเกราต์ อาจกำหนดให้ A_{pd} เท่ากับ A_{pt} และ f_{se} คือ หน่วยแรงประสิทธิผลในเหล็กอัดแรง โดยมีค่าไม่น้อยกว่า $0.003E_p$

8.5.3.2 กำลังแรงดึงตามแนวแกนสูงสุด

กำลังแรงดึงตามแนวแกนสูงสุดของชิ้นส่วนอัดแรงและไม่อัดแรงต้องมีค่าไม่เกิน

$$P_{nt,\max} = f_y A_{st} + \left(f_{se} + \Delta f_p\right) A_{pt} \tag{8.52}$$

โดยที่ $\left(f_{se} + \Delta f_p\right)$ ต้องไม่เกินค่ากำลังครากของเหล็กอัดแรง f_{py} และ A_{pt} มีค่าเป็นศูนย์เมื่อเป็นชิ้นส่วนไม่อัดแรง และ Δf_p คือ หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในลวดอัดแรงเนื่องจากการกระทำของแรงที่คิดแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกแล้ว

8.5.3.3 กำลังรับแรงอัดร่วมแรงดัด

กำลังรับแรงอัดของเสาประเมินได้โดยการพิจารณาเส้นกราฟปฏิสัมพันธ์ของกำลัง (Capacity Interaction Curve)

8.5.4 กำลังต้านแรงเฉือนทางเดียว

กำลังต้านแรงเฉือนทางเดียวระบุที่หน้าตัดใด ๆ V_n คำนวณโดย

$$V_n = V_c + V_s \tag{8.53}$$

โดยที่ V_c คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุโดยคอนกรีต และ V_s คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุโดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

หาก V_u มีค่าน้อยกว่า $\phi V_c / 2$ ไม่ต้องมีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน อย่างไรก็ตาม สำหรับแผ่นพื้นเรียบ เช่น แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จตัน และกลวง หรือ ชนิดอื่น ๆ ที่ยืนยันผ่านการทดสอบแล้ว ไม่ต้องมีการเสริมเหล็กต้านแรงเฉือนถ้าแรงเฉือน เมื่อ V_u มีค่าไม่เกินกว่ากำลังต้านแรงเฉือนที่ออกแบบโดยคอนกรีต ϕV_c

ตำแหน่งของหน้าตัดวิกฤตสำหรับต้านแรงเฉือนและแรงบิด คือ ระยะ " d " วัดจากขอบจุดรองรับสำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง และ " $h/2$ " สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่แรงกระทำไม่ได้อยู่ที่ผิวด้านบนของชิ้นส่วน เช่น คานรูปอักษรแอล ระยะของ " d " หรือ " h " จะวัดจากระดับตำแหน่งของแรงกระทำถึงตำแหน่งผิวล่าง หรือสำหรับการออกแบบที่ปลอดภัยให้พิจารณาตำแหน่งของหน้าตัดวิกฤตที่ตำแหน่งขอบของจุดรองรับ และในกรณีถ้ามีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดใกล้กับขอบของจุดรองรับ หน้าตัดวิกฤตควรจะอยู่ที่บริเวณขอบจุดรองรับด้วย

8.5.4.1 ขนาดหน้าตัดจำกัดโดยแรงเฉือน

ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนจะต้องทำให้ กำลังเฉือนที่ต้องการของหน้าตัดสอดคล้องกับสมการที่ (8.54)

$$V_u \le \phi\left(V_c + 0.66\sqrt{f_c'}b_w d\right) \tag{8.54}$$

8.5.4.2 การจำกัดค่า $\sqrt{f_c'}$

ในการคำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต ค่า $\sqrt{f_c'}$ ต้องไม่เกิน 8.3 ยกเว้นสำหรับคานคอนกรีตและคอนกรีตอัดแรงที่มีเหล็กเสริมแรงเฉือนขั้นต่ำตามข้อกำหนด 8.2.4 และ 8.2.5

8.5.4.3 กำลังต้านทานแรงเฉือนในคอนกรีตไม่อัดแรง

(ก) ในกรณีที่มีแรงเฉือนและแรงดัด กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตคำนวณโดยสมการที่ (8.55)

$$V_c = 0.17\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \tag{8.55}$$

หรือสามารถคำนวณอย่างละเอียดโดยสมการที่ (8.56)

$$V_c = \left(0.16\lambda\sqrt{f_c'} + 17\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right)b_w d \le 0.29\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \tag{8.56}$$

โดยที่ $\dfrac{V_u d}{M_u} \le 1.0$

(ข) สำหรับกรณีมีแรงอัดร่วมด้วย คำนวณโดย

$$V_c = 0.17\left(1+\frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \tag{8.57}$$

หรือคำนวณอย่างละเอียดโดย

$$V_c = \left(0.16\lambda\sqrt{f_c'} + 17\rho_w\frac{V_u d}{M_u - N_u\dfrac{4h-d}{8}}\right)b_w d \tag{8.58}$$

โดยค่า V_c ที่คำนวณได้ตามสมการที่ (8.58) จะต้องไม่มากไปกว่าที่คำนวณตามสมการ ที่ (8.59)

$$V_c = 0.29\lambda\sqrt{f_c'}b_w d\sqrt{1+\frac{0.29N_u}{A_g}} \tag{8.59}$$

เทอม $\dfrac{N_u}{A_g}$ มีหน่วยเป็น MPa และ เมื่อเทอม $M_u - N_u\dfrac{4h-d}{8}$ ในสมการที่ (8.58) เป็นค่าลบ ให้คำนวณ V_c ด้วยสมการที่ (8.59)

(ค) สำหรับกรณีมีแรงดึงร่วมด้วย อาจกำหนดอย่างง่ายให้ค่า $V_c = 0$ หรือคำนวณอย่างละเอียดโดย

$$V_c = 0.17\left(1+\frac{0.29N_u}{A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \geq 0 \tag{8.60}$$

โดยที่ค่าแรงดึง N_u เป็นค่าลบ แต่ทั้งนี้ค่า V_c ต้องไม่ต่ำกว่าศูนย์

8.5.4.4 กำลังต้านทานแรงเฉือนในคอนกรีตอัดแรง

ค่าของ d ในข้อที่ 8.5.4.4 นี้ คือ ระยะระหว่างผิวขอบแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางของลวดอัดแรง โดย ค่าของ d ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $0.8h$

ในกรณีที่แรงอัดประสิทธิผล $A_{ps}f_{se} \geq 0.4\left(A_{ps}f_{pu}+A_s f_y\right)$ ใช้สมการที่ (8.61) กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีตคำนวณโดย

$$V_c = \left(0.05\lambda\sqrt{f_c'}+4.8\frac{V_u d}{M_u}\right)b_w d \tag{8.61}$$

โดยที่ $\frac{V_u d}{M_u} \leq 1.0$ และ $0.17\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \leq V_c \leq 0.42\lambda\sqrt{f_c'}b_w d$

นอกเหนือจากสมการที่ (8.61) กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีตอาจคำนวณโดยใช้ค่าที่น้อยกว่าของกำลังเฉือนร่วมดัด V_{ci} ของสมการที่ (8.62)-(8.65) และ กำลังเฉือนเอว V_{cw} ของสมการที่ (8.66) ดังนี้

$$V_{ci} = 0.05\lambda\sqrt{f_c'}b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{\max}} \tag{8.62}$$

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t}\right)\left(0.5\lambda\sqrt{f_c'}+f_{pe}-f_d\right) \tag{8.63}$$

ค่า V_{ci} ที่คำนวณได้ในสมการที่ (8.62) ต้องไม่น้อยไปกว่า ที่คำนวณตามสมการที่ (8.64) หรือ (8.65)

$$V_{ci} = 0.14\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \quad \text{กรณี } A_{ps}f_{se} < 0.4\left(A_{ps}f_{pu}+A_s f_y\right) \tag{8.64}$$

$$V_{ci} = 0.17\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \text{ กรณี } A_{ps}f_{se} \geq 0.4\left(A_{ps}f_{pu}+A_s f_y\right) \tag{8.65}$$

$$V_{cw} = \left(0.29\lambda\sqrt{f_c'}+0.3f_{pc}\right)b_w d + V_p \tag{8.66}$$

8.5.4.5 เหล็กเสริมต้านแรงเฉือน

สำหรับปริมาณเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน คำนวณโดยสมการที่ (8.67)

$$A_v = \frac{\left[\left(\frac{V_u}{\phi}\right) - V_c\right] s}{f_{yt} d} \tag{8.67}$$

ทั้งนี้ ปริมาณของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่คำนวณได้ดังสมการที่ (8.67) ต้องไม่น้อยไปกว่า

$$A_v = 0.062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_{yt}} \quad \text{และไม่น้อยกว่า } 0.35\frac{b_w s}{f_{yt}} \tag{8.68}$$

และสำหรับชิ้นส่วนอัดแรงปริมาณเหล็กเสริมต้องไม่น้อยกว่าที่คำนวณโดยสมการที่ (8.68) หรือ (8.69)

$$A_v = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_y d}\sqrt{\frac{d}{b_w}} \tag{8.69}$$

8.5.5 กำลังต้านแรงเฉือนสองทาง

แผ่นพื้นสองทางรับแรงกระทำเป็นจุด จะเกิดหน่วยความเค้นเฉือนในสองทาง คล้ายคลึงกับแผ่นพื้นท้องเรียบวางบนหัวเสา การคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนสองทาง v_n คำนวณโดย

$$v_n = v_c + v_s \tag{8.70}$$

โดยที่ v_c คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางโดยคอนกรีตบนหน้าตัดวิกฤต หน่วย MPa

v_s คือ กำลังต้านแรงเฉือนระบุทั้งสองทางโดยเหล็กเสริม หน่วย MPa

หน้าตัดวิกฤตสำหรับการคำนวณค่า v_c เป็นหน้าตัดระยะ b_0 วัดจากแนว $d/2$ จากขอบพื้นที่แรงกระทำเป็นจุดโดยรอบแรงกระทำที่หน้าตัดลึก d

8.5.5.1 กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางสำหรับชิ้นส่วนที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

(ก) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตไม่อัดแรง กำลังต้านแรงเฉือนระบุทั้งสองทางโดยคอนกรีต คำนวณโดยค่าที่น้อยกว่าระหว่าง

$$v_c = 0.33\lambda_s\lambda\sqrt{f_c'} \text{ หรือ } v_c = 0.17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda_s\lambda\sqrt{f_c'} \tag{8.71}$$

โดยที่ λ_s คือ แฟกเตอร์ผลกระทบของขนาด แสดงในสมการที่ (8.73)

β คือ อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของพื้นที่กระทำของน้ำหนักบรรทุกเป็นจุด

(ข) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางโดยคอนกรีต อาจคำนวณโดยพิจารณาสมการที่ (8.71) หรือ ตามรายละเอียด ACI318 [12]

8.5.5.2 กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางสำหรับชิ้นส่วนที่มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน

กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางโดยคอนกรีตในแผ่นพื้นคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนชนิดที่เป็นเหล็กลูกตั้ง คำนวณโดย

$$v_c = 0.17\lambda_s\lambda\sqrt{f'_c} \tag{8.72}$$

โดยที่ λ_s คือ แฟกเตอร์พิจารณาผลของขนาดมีค่าเท่ากับ

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0.004d}} \le 1.0 \tag{8.73}$$

กำลังต้านแรงเฉือนระบุสองทางโดยเหล็กเสริมคำนวณโดย

$$v_s = \frac{A_v f_{yt}}{b_o s} \tag{8.74}$$

โดยที่ A_v คือ พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนนับรวมทุก ๆ ขาเหล็กลูกตั้งในแนวรอบวงของพื้นที่น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด หรือ รอบวงขอบเสา

s คือ ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้ง

8.5.6 กำลังต้านทานแรงบิด

8.5.6.1 หน้าตัดวิกฤต

ขนาดของแรงโมเมนต์บิดประลัย (T_u) ที่ใช้ในการออกแบบที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d จากขอบของจุดรองรับสำหรับชิ้นส่วนที่ไม่อัดแรง และระยะ $h/2$ สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง หากแรงบิดเป็นจุดกระทำในระยะ d สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่อัดแรงหรือ $h/2$ สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง ให้พิจารณาหน้าตัดวิกฤตในตำแหน่งขอบจุดรองรับ

8.5.6.2 แรงบิดขั้นต่ำ

ไม่จำเป็นต้องออกแบบรับแรงบิด เมื่อแรงบิดประลัย T_u มีค่าน้อยกว่าแรงบิดขั้นต่ำ ϕT_{th} คำนวณโดย

สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง

$$T_{th} = 0.083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{{A_{cp}}^2}{p_{cp}}\right) \tag{8.75}$$

สำหรับชิ้นส่วนอัดแรง

$$T_{th} = 0.083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{{A_{cp}}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f'_c}}} \tag{8.76}$$

สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรงและมีแรงตามแนวแกน

$$T_{th} = 0.083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}{}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0.33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}} \qquad (8.77)$$

โดยที่ λ คือ แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา ตามข้อที่ 10.2.3.5

f_{pc} คือ แรงอัดเฉลี่ยหลังจากการสูญเสียที่ศูนย์กลางหน้าตัดคอนกรีต

N_u คือ แรงตามแนวแกนที่คูณด้วยแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกแล้ว มีค่าเป็นบวกเมื่อเป็นแรงอัด และเป็นลบเมื่อเป็นแรงดึง

A_{cp} คือ พื้นที่โดยรอบตามขอบหน้าตัดคอนกรีต หน่วย mm^2

p_{cp} คือ ระยะรอบขอบนอกหน้าตัดคอนกรีต หน่วย mm

กรณีชิ้นส่วนหน้าตัดกลวง ให้คำนวณค่า T_{th} ในสมการที่ (8.75)-(8.77) โดยแทนตัวแปร A_{cp} ด้วย A_g (หน้าตัดเนื้อคอนกรีตที่หักรูกลวง)

8.5.6.3 กำลังต้านแรงบิดระบุ

สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง และอัดแรง กำลังต้านแรงบิดระบุ T_u มีค่าที่น้อยกว่า ระหว่าง

$$T_n = \frac{2A_0A_tf_{yt}}{s}\cot\theta \qquad (8.78)$$

$$T_n = \frac{2A_0A_lf_y}{p_h}\cot\theta \qquad (8.79)$$

โดยที่ A_0 คือ เนื้อที่บนเส้นทางการเฉือนไหล หน่วย ตารางมิลลิเมตร หรือ คิดเป็น $0.85A_{0h}$

A_{0h} คือ เนื้อที่บนหน้าตัดบริเวณที่ล้อมรอบด้วยแนวเหล็กลูกตั้งวงนอกสุด หน่วย mm^2 (ดังรูปที่ 8.9)

A_l คือ เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามแนวยาวเพื่อการต้านทานแรงบิด หน่วย mm^2

A_t คือ เนื้อที่หน้าตัดเหล็กลูกตั้ง 1 ขาในช่วงระยะ s เพื่อการต้านทานแรงบิด หน่วย mm^2

p_h คือ ระยะเส้นรอบแนวกึ่งกลางของเหล็กลูกตั้งวงนอกสุด หน่วย mm

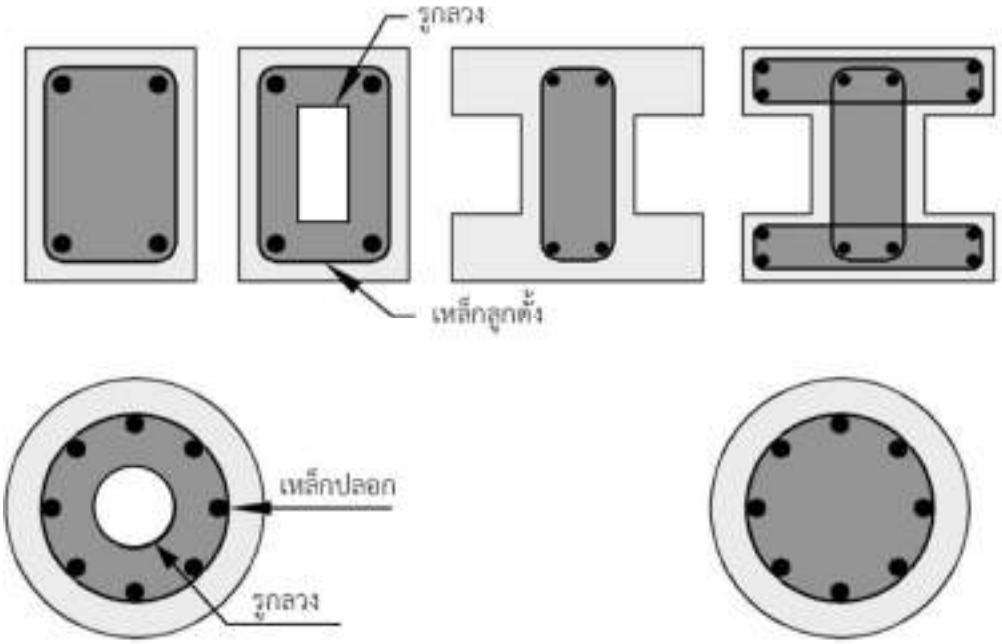
θ คือ มุมเอียงของรอยร้าวทแยง มีค่าระหว่าง 30-60 องศา หรือ

(ก) 45 องศา สำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแรง หรือ ชิ้นส่วนอัดแรงเมื่อ

$$A_{ps}f_{se} < 0.4(A_{ps}f_{pu} + A_sf_y)$$

(ข) 37.5 องศา สำหรับชิ้นส่วนอัดแรงเมื่อ

$$A_{ps}f_{se} \geq 0.4(A_{ps}f_{pu} + A_sf_y)$$



รูปที่ 8.9 การคำนวณพื้นที่ส่วนเงาทึบ A_{0h}

8.5.6.4 ขีดจำกัดขนาดหน้าตัด

ขนาดหน้าตัดที่ออกแบบ ต้องทำให้สมการด้านล่างเป็นจริง

(ก) สำหรับหน้าตัดตัน

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{0h}{}^2}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+0.66\sqrt{f_c'}\right) \tag{8.80}$$

(ข) สำหรับหน้าตัดกลวง

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{0h}{}^2}\right) \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+0.66\sqrt{f_c'}\right) \tag{8.81}$$

8.5.7 แรงเสียดทานเฉือน

แรงเสียดทานเฉือนเป็นการถ่ายโอนแรงเฉือนข้ามระนาบ เช่น ระนาบรอยร้าวที่มีอยู่ก่อนหรือระนาบแตกที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายหลัง การเชื่อมต่อระหว่างวัสดุที่แตกต่างกันหรือการเชื่อมต่อระหว่างคอนกรีตที่หล่อในเวลาที่ต่างกัน กำลังต้านทานแรงเสียดทานเฉือนนี้เกิดขึ้นได้จากการเสริมเหล็กผ่านระนาบนี้ ซึ่งเป็นการเพิ่มการรับแรงตั้งฉากบนระนาบ แรงเสียดทานเฉือนนี้สามารถใช้ออกแบบได้กับส่วนคอนกรีตรับแรงแบกทาน ชิ้นส่วนแป้นหูช้าง เชิงยื่น ส่วนยื่นของคานปลายบาก หน้าตัดเชิงประกอบ เป็นต้น

ปริมาณการเสริมเหล็กตั้งฉากบนระนาบต้านแรงเสียดทานเฉือน คำนวณได้จากข้อที่ 10.2.3.5

ทั้งนี้ อาจใช้ค่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉือนประสิทธิผล μ_e เมื่อแรงกระทำคงอยู่ในทิศทางเดียว มีคอนกรีตหล่อเป็นเนื้อเดียวกัน หรือ มีการเตรียมผิวให้มีความหยาบ ดังสมการที่ (8.82)

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu_e} \tag{8.82}$$

โดยที่ ϕ = 0.75

A_{vf} = เนื้อที่ของเหล็กต้านแรงเสียดทานเฉือนเสริมในแนวตั้งฉากกับระนาบแตกร้าว หน่วย mm^2

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม A_{vf} หน่วย MPa (ไม่เกิน 420 MPa)

V_u = แรงเฉือนที่ปรับค่าแล้วในทิศทางขนานกับระนาบแตกร้าว หน่วยเป็น N (มีค่าไม่เกินที่กำหนดในตาราง ที่ 8.9)

μ_e = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉือนประสิทธิผล คำนวณโดย

$$\mu_e = \frac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{V_u} \text{ มีค่าไม่เกินตารางที่ 8.9} \tag{8.83}$$

λ = แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีต,เบา ข้อที่ 10.2.3.5

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉือน ตารางที่ 8.9

A_{cr} = เนื้อที่ของระนาบแตกร้าว หน่วย mm^2

เมื่อมีแรงดึงตามแนวแกนร่วมด้วย ต้องเสริมเหล็กเพิ่มในปริมาณดังนี้

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} \tag{8.84}$$

โดยที่ A_n = พื้นที่ของเหล็กเสริมที่ต้องการเพื่อต้านทานแรงดึงตามแนวแกน หน่วย mm^2

N_u = ขนาดของแรงดึงตามแนวแกนตั้งฉากกับระนาบ หน่วย N อาจจะใช้ขนาด 0.2 เท่าของแรงคงค้างในแนวขนาน

ϕ = 0.75

ตารางที่ 8.9 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เงื่อนไขของผิวสัมผัส	ค่า μ แนะนำ	ค่า μ_e สูงสุด	ค่าสูงสุด V_u / ϕ
คอนกรีตที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกัน	1.4λ	3.4	$0.30\lambda f_c' A_{cr} \le 6.89\lambda A_{cr}$
คอนกรีตที่หล่อติดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วโดยมีผิวรอยต่อที่เตรียมพื้นผิวหยาบให้มีความขรุขระลึกขนาดประมาณ 6 mm	1.0λ	2.9	$0.25\lambda f_c' A_{cr} \le 6.89\lambda A_{cr}$
คอนกรีตที่หล่อติดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วโดยไม่มีผิวรอยต่อที่ทำให้หยาบ	0.6λ	ใช้ไม่ได้*	$0.20\lambda f_c' A_{cr} \le 5.52\lambda A_{cr}$
คอนกรีตที่ยึดด้วยสลักมีหัวหรือเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตกับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ขึ้นรูปด้วยการรีด	0.7λ	ใช้ไม่ได้*	$0.20\lambda f_c' A_{cr} \le 5.52\lambda A_{cr}$

* ไม่สามารถใช้ค่า μ_e ได้ในกรณีการเทคอนกรีตบนผิวคอนกรีตเดิมที่ไม่มีการเตรียมผิวหยาบ หรือ บนผิวโครงสร้างเหล็ก

8.6 แฟกเตอร์ลดกำลัง

หากมิได้กำหนดเป็นการเฉพาะเจาะจงในแต่ละส่วนของมาตรฐานนี้ ให้ใช้แฟกเตอร์ลดกำลัง ดังนี้

8.6.1 ขอบเขต

แฟกเตอร์ลดกำลัง (ϕ, Strength Reduction Factor) ใช้สำหรับการออกแบบอาคารใหม่ ไม่รวมถึงเพื่อการประเมินกำลังอาคารเก่า

8.6.2 ค่าแฟกเตอร์ลดกำลังชิ้นส่วนรับแรงดัด และแรงตามแนวแกนร่วมแรงดัด

ค่าแฟกเตอร์ลดกำลังชิ้นส่วนรับแรงดัด และแรงตามแนวแกนร่วมแรงดัด โดยมีค่า ดังนี้

ตารางที่ 8.10 ค่าแฟกเตอร์ลดกำลังชิ้นส่วนรับแรงดัด และแรงตามแนวแกนร่วมแรงดัด

กรณีแรง	กรณีที่ 1*	กรณีที่ 2*
1. แรงดัดที่ไม่มีแรงตามแนวแกน	0.90	0.80
2. แรงตามแนวแกน และแรงตามแนวแกนที่มีแรงดัดร่วม (สำหรับแรงตามแนวแกนที่มีแรงดัด กำลังระบุที่รับแรงตามแนวแกนและแรงดัด ต้องแยกคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ ϕ ที่เหมาะสม)		
2.1 แรงดึงตามแนวแกนและแรงดึงตามแนวแกนที่มีแรงดัดร่วมด้วย	0.90	0.80
2.2 แรงอัดตามแนวแกน และแรงอัดตามแนวแกนที่มีแรงดัดร่วมด้วย	0.75	0.65
- องค์อาคารที่ใช้เหล็กปลอกเกลียวที่เป็นไปตามมาตรฐาน		
- องค์อาคารอื่น ๆ		
ในกรณีที่แรงอัดตามแนวแกนมีค่าน้อยอาจเพิ่มค่า ϕ ได้โดย		
- สำหรับองค์อาคารที่ f_y ไม่เกิน 400 MPa โดยมีเหล็กเสริมสมมาตรและมี $(h-d'-d_s)/h$ ไม่น้อยกว่า 0.70 อาจเพิ่มค่า ϕ อย่างเชิงเส้น จนถึง 0.90 หรือ 0.80 เมื่อ ϕP_n ลดลงจาก $0.1f'_cA_g$ จนถึงศูนย์ (A_g คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด)	0.70	0.60
- สำหรับองค์อาคารอื่น ๆ อาจเพิ่มค่า ϕ อย่างเชิงเส้นจนถึง 0.90 หรือ 0.80 เมื่อ ϕP_n ลดลงจาก $0.1f'_cA_g$ หรือ ϕP_n โดยเลือกใช้ค่าที่น้อยกว่าไปจนถึงศูนย์		

หมายเหตุ * ให้ใช้แฟกเตอร์ลดกำลังในกรณีที่ 1 เมื่อการก่อสร้างมีการควบคุมเป็นอย่างดีและมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุ มิฉะนั้นให้ใช้แฟกเตอร์ลดกำลังในกรณีที่ 2

8.6.3 ค่าแฟกเตอร์ลดกำลังชิ้นส่วนรับแรงเฉือนและแรงบิด

กรณีที่ 1: ϕ = 0.85

กรณีที่ 2: ϕ = 0.75

8.7 มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) ที่ใช้ในประกอบการคำนวณหาค่าการโก่งตัวหรือการแอ่นตัวของชิ้นส่วนคอนกรีต หาได้จากอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

8.7.1 มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

8.7.1.1 เมื่อค่าของ w_c อยู่ระหว่าง 1,440 และ 2,560 kg/m^3

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ (หน่วย MPa)} \quad (8.85)$$

8.7.1.2 เมื่อเป็นคอนกรีตน้ำหนักปกติ

$$E_c = 4,700 \sqrt{f'_c} \text{ (หน่วย MPa)} \quad (8.86)$$

8.7.2 ค่า E_c ที่ยอมให้ได้จากการทดสอบส่วนผสมคอนกรีตที่ถูกใช้ในชิ้นส่วนโครงสร้าง และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

8.7.2.1 E_c ระบุจะใช้กับสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เป็นไปตามส่วนที่ 4

8.7.2.2 การทดสอบให้ดำเนินการที่อายุ 28 วันหรือตามที่ระบุในเอกสารการก่อสร้าง

ส่วนที่ 9 ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง

9.1 ทั่วไป

9.1.1 ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง (Structural Integrity) ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อปรับปรุงจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และเพิ่มความเหนียวของโครงสร้าง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงต่อการวิบัติของชิ้นส่วนคอนกรีตหรืออาคารทั้งหมด เนื่องจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณหนึ่งของอาคาร

9.1.2 รายละเอียดที่ได้ให้ในส่วนนี้จะกำหนดแรงดึงขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบเพื่อสามารถส่งถ่ายแรงดึงระหว่างจุดเชื่อมต่อได้อย่างดีและเพียงพอ ได้แก่ จุดเชื่อมต่อระหว่างเสากับเสา ผนังกับผนัง เสาหรือผนังกับไดอะแฟรม

9.1.3 ความเป็นบูรณภาพโดยรวมของโครงสร้างสามารถเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการให้รายละเอียดของการเสริมเหล็กเพิ่มเติมเพียงเล็กน้อย ได้แก่ กรณีที่คานเกิดความเสียหาย ชิ้นส่วนอื่น ๆ จะไม่ได้รับผลกระทบหากจุดรองรับถูกออกแบบให้เกิดการเคลื่อนที่น้อยสุด ด้วยเหตุนี้จึงไม่อนุญาตให้ใช้รายละเอียดจุดต่อที่ขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ นอกจากนี้จุดเชื่อมต่อควรมีรายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อลดโอกาสในการแตกร้าวจากการเกิดแรงยึดรั้งจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ได้แก่ การหดตัว การคืบ และการขยายตัวหรือหดตัวจากอุณหภูมิ

9.2 ข้อกำหนดความเป็นบูรณภาพของโครงสร้างทั่วไป

9.2.1 สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างที่ทำจากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ การปรับปรุงจุดเชื่อมต่อและเพิ่มความเหนียวทำได้โดยการเชื่อมต่อองค์อาคารเข้าด้วยกันกับระบบต้านแรงด้านข้าง เพื่อสร้างเส้นทางของการถ่ายแรงโดยตรงระหว่างองค์อาคาร โดยเส้นทางของแรงในระบบต้านแรงด้านข้างต้องมีความต่อเนื่องไปยังฐานราก

9.2.2 เหล็กยึดรับแรงดึง (Tension Tie) จะต้องจัดให้มีอย่างเพียงพอเพื่อเชื่อมต่อองค์อาคารเข้าด้วยกันทั้งทางตามยาว ตามขวาง ทางตั้ง และรัดรอบนอกของโครงสร้างอาคาร

9.2.3 ไม่อนุญาตให้ใช้จุดเชื่อมต่อที่อาศัยแรงเสียดทานที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำแต่เพียงอย่างเดียว

9.2.4 เมื่อประกอบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเข้าเป็นไดอะแฟรมของแผ่นพื้นหรือหลังคาแล้ว จุดเชื่อมต่อระหว่างไดอะแฟรมและองค์อาคารที่ใช้รองรับทางด้านข้างของไดอะแฟรมจะต้องมีกำลังดึงระบุไม่ต่ำกว่า 4.4 N/mm

9.2.5 ต้องมีจุดเชื่อมต่อรับแรงดึงทางตั้งในองค์อาคารตามแนวตั้งทุกประเภท ยกเว้นผนังที่ใช้ตกแต่ง

9.2.5.1 จุดเชื่อมต่อจะถูกติดตั้งอยู่ที่รอยต่อในแนวนอน ให้เป็นไปตามข้อที่ 9.2.5.2 ถึง 9.2.5.4

9.2.5.2 จุดเชื่อมต่อของระหว่างเสากับเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ และระหว่างเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จกับฐานคอนกรีตจะต้องมีกำลังดึงระบุไม่น้อยกว่า $1.4A_g$ (N) โดยที่ A_g คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา หน่วยเป็น mm^2 สำหรับเสาที่มีหน้าตัดจริงใหญ่กว่าที่ต้องการในการรับน้ำหนักบรรทุก อนุญาตให้คำนวณด้วยหน้าตัดที่ลดค่าลงเหลือเท่ากับที่จำเป็นในการรับแรงจริงแต่ต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของหน้าตัดจริง

9.2.5.3 ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่รวมแผงกันแดดจะต้องมีจุดเชื่อมต่ออย่างน้อยสองจุดต่อชิ้นและมีกำลังดึงระบุไม่น้อยกว่า 44 kN ต่อจุด

9.2.5.4 หากผลการวิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากแรงด้านข้างพบว่าไม่มีแรงดึงเกิดขึ้นที่ฐานของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถฝังจุดเชื่อมต่อที่กำหนดตามข้อที่ 9.2.5.2 เข้ากับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่วางบนดินได้

9.2.6 ข้อยกเว้นสำหรับข้อกำหนดที่ผ่านมาสำหรับโครงสร้างแบบกล่องโมดูลที่ประกอบด้วยผนังสี่ด้านขึ้นไปและแผ่นพื้น หรือเพดานที่ถูกหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับผนัง เนื่องจากกล่องโมดูลเหล่านี้มีความเป็นเนื้อเดียวกันทุกมุม จึงยอมให้ลดข้อกำหนดแรงของจุดเชื่อมต่อที่ให้ไว้ในข้อที่ 9.2.5 แต่ต้องมีจุดเชื่อมต่ออย่างน้อยสี่ตำแหน่งวางอยู่ในผนังที่ตรงข้ามกันของกล่องโมดูล จากการที่น้ำหนักบรรทุกคงค้างคงที่ป้องกันการยกตัวของอาคารที่เกิดจากแรงด้านข้าง กำลังเฉือนระบุของจุดเชื่อมต่อแต่ละจุดต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากสุดของที่คำนวณได้ ดังต่อไปนี้

9.2.6.1 0.11 เท่าของน้ำหนักบรรทุกของโมดูลที่กระทำเหนือจุดเชื่อมต่อ

9.2.6.2 2.2 N/mm คูณกับด้านที่ยาวที่สุดของโมดูล หรือ

9.2.6.3 32 kN

9.2.7 เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจาก การคืบ การหดตัว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในคานที่วางบนจุดรองรับ การเชื่อมต่อโดยทั่วไปจึงอาจประกอบด้วยส่วนยึดรั้ง (Tie) ที่ด้านบนคานและใช้รองรับด้วยแผ่นยางเพื่อรับแรงกดที่ด้านล่าง การเชื่อมต่อส่วนยึดรั้งอาจทำโดยการเชื่อมใช้สลักเกลียว หรือฝังเหล็กเสริมและเกราต์รอยต่อ

9.3 ข้อกำหนดความเป็นบูรณภาพของโครงสร้างผนังรับน้ำหนักขนาดใหญ่

9.3.1 โครงสร้างผนังรับน้ำหนักบรรทุกขนาดใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จประเภทพิเศษที่เกี่ยวข้องกับความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง โดยทั่วไปโครงสร้างผนังขนาดใหญ่จะถูกสร้างขึ้นด้วยผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งมีมิติแนวนอนมากกว่ามิติแนวตั้งซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดความสูงชั้นเดียว ผนังจะถูกต่อกันตามความสูงของอาคารและถูกใช้รองรับพื้นและดาดฟ้า ซึ่งการส่งถ่ายแรงในอาคารดังกล่าวที่มีความสูงอาคารตั้งแต่สามชั้นขึ้นไป จะต้องนำมาพิจารณาในรายละเอียดตามข้อที่ 9.3.2

9.3.2 สำหรับผนังรับน้ำหนักบรรทุกคอนกรีตหล่อสำเร็จตั้งแต่สามชั้นขึ้นไป จะต้องมีจุดเชื่อมต่อของไดอะแฟรมระหว่างส่วนประกอบของไดอะแฟรม โดยจัดให้มีเหล็กยึดรับแรงดึง (Tension Tie) โดยรอบของพื้นหรือหลังคา และบริเวณช่องเปิด โดยใช้เหล็กเสริมไม่ต่ำกว่าที่ระบุไว้ในจุดเชื่อมต่อ (T-1) ถึง (T-4)

(T-1) จุดเชื่อมต่อตามยาวและตามขวางในระบบพื้นและหลังคาต้องรับกำลังดึงระบุไม่ต่ำกว่า 22 N/mm ของความกว้างหรือความยาว โดยมีรายละเอียดดังนี้

(ก) จะต้องมีเหล็กยึดสำหรับเชื่อมต่อตามยาวและตามขวางที่จุดรองรับผนังด้านใน และระหว่างระบบพื้นและหลังคากับผนังด้านนอก

(ข) เหล็กยึดสำหรับเชื่อมต่อตามยาวและตามขวางจะต้องอยู่ในระนาบของพื้นหรือหลังคา หรืออยู่ห่างจากระนาบไม่เกิน 600 mm

(ค) การยึดรั้งอาจใช้เหล็กเสริมเชื่อมต่อระหว่างพื้น หรือวางเหล็กเสริมแล้วเทคอนกรีตทับหน้า

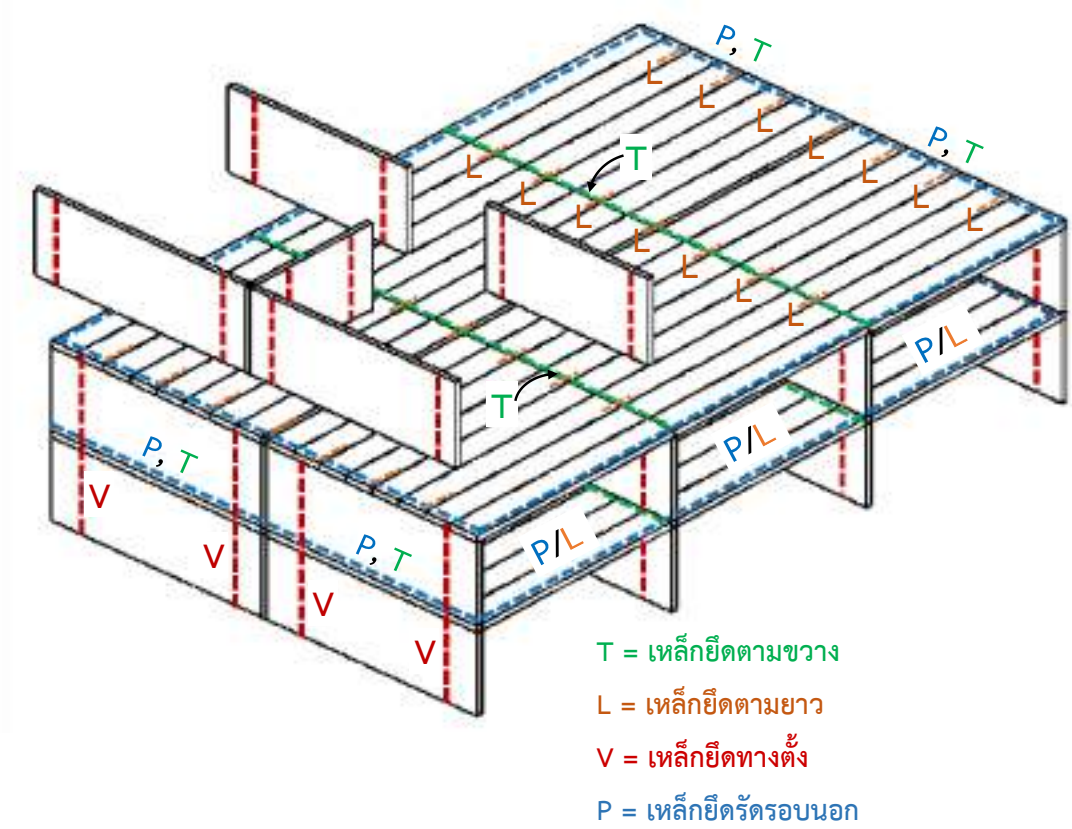
(ง) เหล็กยึดสำหรับเชื่อมต่อตามขวางในทิศตั้งฉากกับความยาวช่วงของพื้นหรือหลังคาจะต้องมีระยะห่างไม่มากกว่าระยะห่างระหว่างผนังรับน้ำหนัก

(T-2) จุดเชื่อมต่อแนวรัดรอบนอกของพื้นหรือหลังคาจะต้องอยู่ในระยะ 1.2 m จากขอบ และต้องมีกำลังดึงระบุไม่ต่ำกว่า 71 kN การยึดรั้งอาจใช้เหล็กเสริมและเกราต์ปิด หรือ ใช้แผงขอบ (Spandrel) หรือ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กยึดติดกับพื้น โดยเหล็กนี้ไม่ต้องนำไปรวมกับเหล็กที่เสริมตามยาวหรือตามขวางในหัวข้อ T-1 ข้างต้น

(T-3) จุดเชื่อมต่อตามยาวในทิศทางขนานกับความยาวช่วงของพื้นหรือหลังคาจะต้องมีระยะห่างไม่เกิน 3 m และกำลังดึงระบุไม่ต่ำกว่า 22 N/mm ของความกว้างหรือความยาว ในกรณีที่มีช่องเปิดจะต้องจัดรายละเอียดให้มีการถ่ายแรงรอบช่องเปิดได้

(T-4) จุดเชื่อมต่อทางตั้งจะต้องมีในผนังทุกด้านและยาวต่อเนื่องตลอดความสูงของอาคาร มีกำลังดึงระบุไม่ต่ำกว่า 44 N/mm ของความกว้างผนัง และต้องมีจุดเชื่อมต่ออย่างน้อยสองจุดต่อผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จหนึ่งชิ้น

รายละเอียดเหล็กยึดรับแรงดึงเหล็กของจุดเชื่อมต่อในทิศทางต่าง ๆ ของผนังรับน้ำหนักบรรทุกขนาดใหญ่ได้แสดงไว้ในรูป 9.1



รูปที่ 9.1 การจัดวางทั่วไปของเหล็กยึดรับแรงดึงในโครงสร้างผนังรับน้ำหนักบรรทุกขนาดใหญ่ [12]

9.4 โครงสร้างประกอบด้วยวัสดุหลากหลาย

การเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับวัสดุโครงสร้างอื่น ๆ เช่น ผนังก่ออิฐ เหล็ก หรือ ไม้ ควรพิจารณาการถ่ายน้ำหนักบรรทุกตามพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่สามารถควบคุมวัสดุอื่น ๆ ที่จะมาใช้ร่วม ดังนั้นวิศวกรต้องออกแบบและให้รายละเอียดการเชื่อมจุดต่อเพื่อตอบสนองความเป็นบูรณาภาพของโครงสร้าง โดยระบุไว้ในข้อกำหนดของการก่อสร้าง

ส่วนที่ 10 ข้อกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.1 ขอบเขต

10.1.1 ข้อกำหนดในส่วนนี้จะใช้กับการออกแบบจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อส่งถ่ายแรงที่ผิวสัมผัส ซึ่งประกอบไปด้วย

10.1.1.1 จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.1.1.2 จุดเชื่อมต่อระหว่างฐานรากและชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.1.1.3 การถ่ายเรงเฉือนในแนวนอนของชิ้นส่วนรับแรงดัดอนกรีตเชิงประกอบ

10.1.1.4 แป้นหูช้าง และเชิงยื่น

10.2 จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.2.1 ทั่วไป

10.2.1.1 แรงต่าง ๆ ได้แก่ แรงอัด แรงแบกทาน แรงดึง และแรงเฉือน สามารถส่งผ่านระหว่างองค์อาคารได้ด้วยรอยต่อที่อัดน้ำปูน หมุดรับแรงเฉือน ปลอกต่อทางกล เหล็กเสริมที่เชื่อมต่อกัน คอนกรีตทับหน้าที่มีเหล็กเดือย หรือหลายวิธีร่วมกัน

10.2.1.2 กำลังที่ต้องการของจุดเชื่อมต่อในการถ่ายแรงระหว่างองค์อาคารสามารถหาได้จากการคำนวณ หรือได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามวิธีที่เป็นที่ยอมรับ

10.2.1.3 ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดที่มีสมบัติทางกลแตกต่างกัน จะต้องคำนึงถึงค่าสติฟเนส กำลัง และความยืดหยุ่นสัมพัทธ์ของแต่ละวัสดุ

10.2.1.4 ห้ามใช้รายละเอียดจุดเชื่อมต่อที่ขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงอย่างเดียว

10.2.1.5 จุดเชื่อมต่อ และบริเวณของชิ้นส่วนที่ต่อเนื่องกันจะต้องออกแบบให้ต้านทานแรงต่าง ๆ และการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากผลของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในระบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.2.1.6 การคำนวณออกแบบจุดเชื่อมต่อจะต้องพิจารณาถึงผลการยึดรั้งในโครงสร้างเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดจากการคืบ การหดตัว การขยายตัวจากอุณหภูมิ หรือการทรุดตัวที่แตกต่างกัน ตามที่ระบุไว้ในส่วนที่ 7

10.2.1.7 คำนวณออกแบบจุดเชื่อมต่อจะต้องพิจารณาถึงความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 5 และต้องคำนึงถึงข้อกำหนดการทนไฟที่ให้ไว้ในส่วนที่ 14

10.2.1.8 การคำนวณออกแบบจุดเชื่อมต่อต้องพิจารณาถึงผลของความคลาดเคลื่อนระบุจากการติดตั้งของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 13

10.2.1.9 ความเป็นบูรณภาพของจุดเชื่อมต่อจะต้องมีการยึดรั้งอย่างเพียงพอในทิศทางต่าง ๆ ได้แก่ แนวดิ่ง ตามยาว ตามขวาง และ แนวรัดรอบนอกของโครงสร้างอาคาร ตามที่ได้กำหนดไว้ในส่วนที่ 9

10.2.2 กำลังที่ต้องการ

10.2.2.1 กำลังที่ต้องการของจุดเชื่อมต่อและบริเวณที่ต่อเนื่องกันต้องคำนวณให้เป็นไปตามผลการรวมแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7

10.2.2.2 กำลังที่ต้องการของจุดเชื่อมต่อและบริเวณที่ต่อเนื่องกันต้องคำนวณเป็นไปตามหลักการวิเคราะห์ ที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7, 8 และที่กำหนดไว้ในส่วนนี้

10.2.2.3 ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อที่รับแรงกด แรงยึดรั้งในแนวตั้งฉากกับแรงกด (N_{uc}) จะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) หรือ (ข) แต่ไม่จำเป็นต้องเกินค่า $N_{uc,\max}$, โดยที่ $N_{uc,\max}$ คือแรงยึดรั้งสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับแรงกดที่สามารถส่งถ่ายแรงตามเส้นทางของจุดเชื่อมต่อที่รับแรงกด คูณด้วยแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในน้ำหนักบรรทุกจรร่วมกับผลของแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ

(ก) สำหรับจุดเชื่อมต่อที่ไม่วางบนแผ่นรับแรงกด, N_{uc} จะต้องได้รับคำนวณพร้อมกันกับ V_u โดยใช้ผลการรวมแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุก และให้พิจารณาผลของแรงยึดรั้งที่เกิดจากจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ตามที่ระบุใน 11.2.1.6 แรงยึดรั้งที่ใช้จะได้รับการพิจารณาให้เป็นน้ำหนักบรรทุกจรกระทำกับจุดเชื่อมต่อ

(ข) สำหรับจุดเชื่อมต่อที่วางบนแผ่นรับแรงกด, N_{uc} จะเป็นร้อยละ 20 ของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างใช้งานคูณด้วยแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 1.7

10.2.2.4 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับวัสดุรับแรงกดหาจากผลการทดสอบ ค่าที่ยอมให้ของ $N_{uc,\max}$ จะหาได้จากแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างใช้งานคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกที่เท่ากับ 1.7

10.2.3 กำลังออกแบบ

10.2.3.1 สำหรับทุกผลการรวมของน้ำหนักบรรทุก กำลังออกแบบของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องเป็นไปตามสมการ ต่อไปนี้

$$\phi S_n \geq U \tag{10.1}$$

โดยที่ S_n = กำลังออกแบบระบุของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

U = ผลรวมของน้ำหนักบรรทุก เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7

ϕ = แฟกเตอร์ลดกำลัง

10.2.3.2 ค่า ϕ ให้เป็นไปตามชนิดขององค์อาคารที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 8

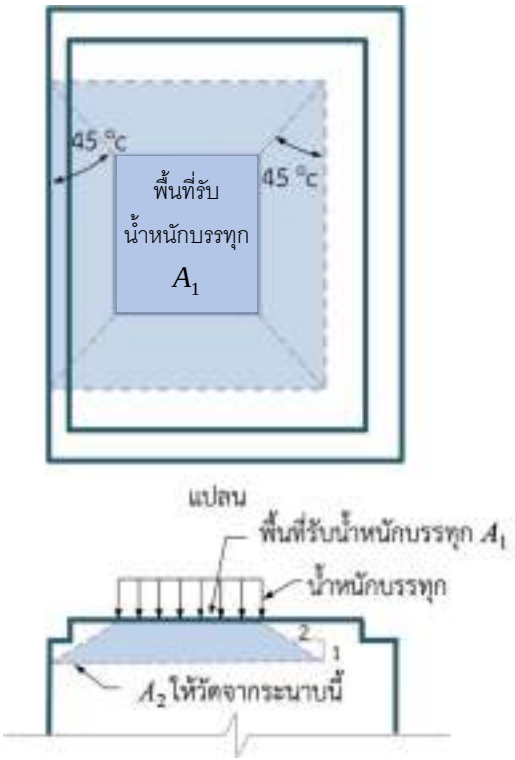
10.2.3.3 ที่ผิวสัมผัสระหว่างองค์อาคารที่รองรับและที่ถูกรองรับ และระหว่างชิ้นส่วนที่ใช้แบกทานที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองนั้น กำลังแบกทานระบุ B_n คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

(ก) กรณีพื้นที่ของฐานรองรับมีความกว้างที่มากกว่าทุกด้านของพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก โดยให้เลือกค่าที่น้อยกว่าระหว่าง (10.2) และ (10.3)

$$B_n = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \tag{10.2}$$

$$B_n = 0.85 f_c' A_1 \times 2 \tag{10.3}$$

โดยที่ A_1 คือ พื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ (ดูรูปที่ 10.1)



รูปที่ 10.1 การใช้กรวยตัดเพื่อหาค่า A_2 ของฐานรองรับแบบขั้นบันได หรือแบบลาดเอียง [12]

(ข) กรณีพื้นที่ผิวของฐานรองรับมีความกว้างน้อยกว่าแต่ละด้านของพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก กำลังแบกทานของคอนกรีตที่ผิวสัมผัสใดผิวสัมผัสหนึ่ง จะต้องไม่เกินค่า $\phi(0.85 f_c') A_1$

(ค) กำลังแบกทานของชิ้นส่วนแบกทานที่อยู่ระหว่างสองผิวสัมผัสต้องไม่เกินค่ากำลังแบกทานระบุของชิ้นส่วนตัวกลางนั้น

10.2.3.4 รายละเอียดระยะกดบนฐานรองรับ

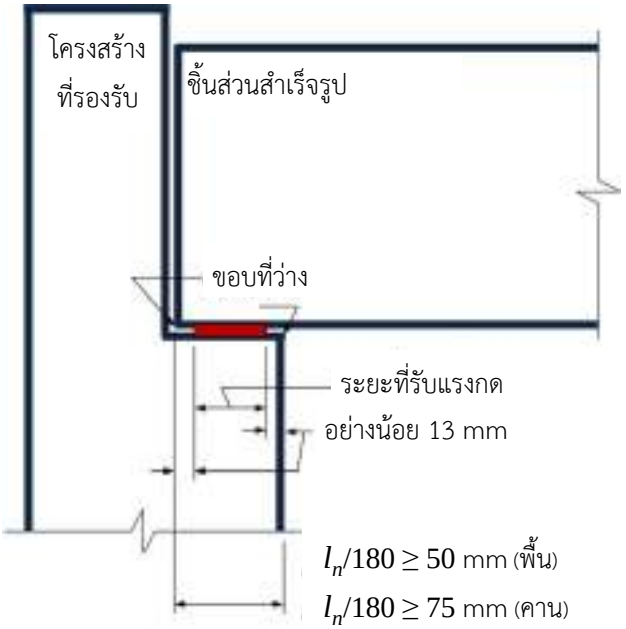
ระยะต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามข้อ (ก) และ (ข) ดังแสดงในรูปที่ 10.2 เว้นแต่ว่ามีการพิสูจน์โดยการทดสอบ หรือการคำนวณว่าพฤติกรรมขององค์อาคารไม่เกิดความเสียหาย

(ก) แต่ละองค์อาคารและโครงสร้างที่รองรับจะต้องได้รับการคำนวณออกแบบให้มีระยะห่างจากปลายองค์อาคารไปถึงผิวของโครงสร้างที่รองรับในทิศทางตามความยาวไม่น้อยกว่า 1/180 ของระยะช่วงว่าง (l_n , Clear Span) โดยเมื่อคำนึงถึงผลของระยะความคลาดเคลื่อนยินยอม แต่ต้องไม่น้อยกว่า

(1) 50 mm สำหรับแผ่นพื้นตันและแผ่นพื้นกลวง

(2) 75 mm สำหรับคานและองค์อาคารที่มีตง

(ข) แผ่นรองรับแรงแบกทานจะต้องมีระยะห่างจากขอบที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรงไม่น้อยกว่า 13 mm หรือ ไม่ต่ำกว่าระยะมุมตัดจากขอบที่มีการตัดมุม



รูปที่ 10.2 ระยะกดบนฐานรองรับ [12]

10.2.3.5 ในกรณีที่จุดเชื่อมต่อมีการส่งถ่ายแรงเฉือนระหว่างระนาบของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยการประยุกต์ใช้แรงเสียดทานเฉือนระหว่างผิวสัมผัส กำลังเฉือนระบุระหว่างรอยต่อ V_n หาได้ ดังต่อไปนี้

(ก) กรณีที่เหล็กเสริมสำหรับแรงเสียดทานเฉือนตั้งฉากกับระนาบเฉือน กำลังเฉือนระบุระหว่างรอยต่อหาได้จาก

$$V_n = \mu A_{vf} f_y \tag{10.4}$$

โดยที่ A_{vf} คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ผ่านระนาบเฉือน

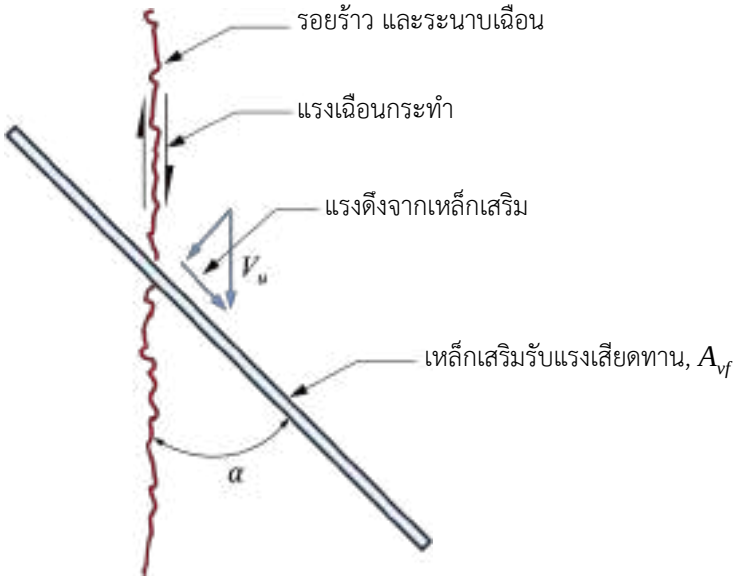
μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ดังแสดงในตารางที่ 10.1

f_y คือ กำลังครากของเหล็กเสริม

(ข) กรณีที่เหล็กเสริมสำหรับแรงเสียดทานเฉือนเอียงทำมุมกับระนาบเฉือน และแรงเฉือนทำให้เกิดแรงดึงในเหล็กเสริมสำหรับแรงเสียดทานเฉือน ดังรูปที่ 10.3 กำลังเฉือนระบุระหว่างรอยต่อหาได้จาก

$$V_n = A_{vf} f_y \left(\mu \sin\alpha + \cos\alpha\right) \tag{10.5}$$

โดยที่ α คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กเสริมสำหรับแรงเสียดทานเฉือนกับระนาบเฉือน



รูปที่ 10.3 เหล็กเสริมรับแรงเสียดทานเฉือนที่ทำมุมกับรอยร้าวที่ได้สมมุติ [12]

ตารางที่ 10.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและสภาพผิวสัมผัส

เงื่อนไขของสภาพผิวสัมผัส	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ)
- คอนกรีตที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกัน	1.4λ
- คอนกรีตที่หล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยผิวรอยต่อสะอาด ปราศจากสารเคลือบผิว และมีการทำผิวรอยต่อหยาบให้มีขนาดลึกประมาณ 6.3 mm	1.0λ
- คอนกรีตที่หล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยผิวรอยต่อสะอาด ปราศจากสารเคลือบผิว และไม่มีการทำผิวรอยต่อหยาบ	0.6λ
- คอนกรีตที่หล่อบนโครงสร้างเหล็กโดยที่ผิวรอยต่อสะอาด ปราศจากการทาสี และมีการติดตั้งหมุดรับแรงเฉือน หรือถูกเชื่อมด้วยเหล็กข้ออ้อยหรือลวดเหล็ก	0.7λ

โดยที่ λ = 1 สำหรับคอนกรีตมวลปกติ สำหรับกรณีคอนกรีตมวลเบา ค่าแฟกเตอร์ λ ยอมให้ใช้ได้เท่ากับ 0.7 หรือหาได้จากตารางที่ 10.2 ตามค่าความหนาแน่นสมดุลของส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบไว้ และตารางที่ 10.3 ตามองค์ประกอบของมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 10.2 ค่าแฟกเตอร์ λ สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ขึ้นกับความหนาแน่นสมดุล

$w_c, \text{kN/m}^3$	λ
≤ 15.71	0.75
$15.71 < w_c \leq 21.21$	$0.048w_c \leq 1.0$
> 21.21	1.0

ตารางที่ 10.3 ค่าตัวคูณ λ สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ขึ้นกับองค์ประกอบของมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีต	องค์ประกอบของมวลรวม	ค่าตัวคูณ λ
- ส่วนผสมมวลเบาทั้งหมด	ละเอียด: ASTM C330M [36]	0.75
	หยาบ: ASTM C330M [36]	
- ส่วนผสมละเอียดมวลเบา	ละเอียด: Combination of ASTM C330M [36] และ ASTM C33M [29]	0.75 ถึง 0.85
	หยาบ: ASTM C330M [36]	
- ทรายมวลเบา	ละเอียด: ASTM C33M [36]	0.85
	หยาบ: ASTM C330M [36]	
- ทรายมวลเบาผสมส่วนผสมหยาบ	ละเอียด: ASTM C33M [29]	0.85 ถึง 1
	หยาบ: Combination of ASTM C330M [36] และ ASTM C33M [29]	
- น้ำหนักปกติ	ละเอียด: ASTM C33M [29]	1
	หยาบ: ASTM C33M [29]	

(ค) ค่าแรงเฉือนระบุระหว่างรอยต่อ V_n ที่ได้รับจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 10.4 โดยกำลังอัดคอนกรีต f_c' ให้ใช้ค่าน้อยกว่าของคอนกรีตที่ใช้บริเวณรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ง) แรงอัดสุทธิอย่างถาวรที่ระนาบเฉือนสามารถให้ใช้เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ $A_{vf}\, f_y$ หรือเท่ากับแรงในเหล็กเสริมสำหรับการเสียดทานเฉือน ซึ่งใช้คำนวณหาค่า A_{vf} ที่ต้องการ

(จ) เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ต้องใช้ต้านทานแรงดึงสุทธิที่ปรับค่าที่ระนาบเฉือนจะต้องถูกเพิ่มเติมโดยไม่คิดรวมกับเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการเสียดทานเฉือนที่เกิดขึ้นที่ระนาบเฉือน

ตารางที่ 10.4 ค่าสูงสุดของแรงเฉือนระบุระหว่างรอยต่อ (V_n) และเงื่อนไข

เงื่อนไข	ค่าสูงสุดของ V_n		
คอนกรีตมวลปกติถูกหล่อเป็นเนื้อเดียวกัน หรือหล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และมีการทำผิวรอยต่อหยาบให้มีขนาดลึกประมาณ 6.3 mm	เลือกค่าน้อยสุดจาก 3 สมการ คือ 10.6 ถึง 10.8	$0.2 f_c' A_c$	(10.6)
		$\left(3.3 + 0.08 f_c'\right) A_c$	(10.7)
		$11 A_c$	(10.8)
กรณีอื่น	เลือกค่าน้อยสุดจาก 2 สมการ	$0.2 f_c' A_c$	(10.9)
		$5.5 A_c$	(10.10)

10.2.3.6 รายละเอียดเหล็กเสริมสำหรับการเสียดทานเฉือน

การเสริมเหล็กที่ระนาบเฉือนตามที่หาได้ในข้อที่ 10.2.3.5 จะต้องมีระยะฝังในคอนกรีตที่เพียงพอทั้งสองด้านของระนาบเฉือนเพื่อให้เกิดการครากของเหล็กเสริม

10.3 การเชื่อมต่อกับฐานราก

10.3.1 ทั่วไป

10.3.1.1 แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกและแรงดัดที่ฐานของเสา ผนัง หรือแท่นที่ถ่ายโอนไปยังฐานรากรองรับ โดยแรงกดบนผิวคอนกรีต และโดยแรงดึงผ่านเหล็กเสริม เดือย สลักเกลียวยึด หรือข้อต่อทางกล

10.3.1.2 เหล็กเสริม เดือย หรือ ปลอกต่อทางกลระหว่างชิ้นส่วนที่ถูกรองรับกับฐานรากจะต้องออกแบบเพื่อส่งถ่ายแรงตามข้อ (ก) และ (ข)

(ก) แรงอัดส่วนที่เกินกว่าค่าน้อยของกำลังรับแรงกดของคอนกรีตของชิ้นส่วนที่รองรับหรือ ฐานราก ซึ่งถูกคำนวณตามข้อที่ 10.2.3.3

(ข) แรงดึงใด ๆ ที่เกิดขึ้นได้บริเวณรอยต่อ

10.3.1.3 กรณีฐานของเสาเหล็กเชิงประกอบที่มีแกนเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณต้องเป็นไปตามเงื่อนไขในข้อ (ก) หรือ (ข) ดังนี้

(ก) ฐานของหน้าตัดโครงสร้างเหล็กจะต้องออกแบบเพื่อถ่ายแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจากชิ้นส่วนประกอบไปยังฐานราก

(ข) ฐานของหน้าตัดโครงสร้างเหล็กต้องคำนวณออกแบบเพื่อถ่ายแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกจากแกนเหล็กเท่านั้น และส่วนที่เหลือของแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจะถ่ายไปยังฐานรากโดยแรงอัดในคอนกรีต และโดยเหล็กเสริม

10.3.2 กำลังที่ต้องการ

แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกและแรงดัดที่ถ่ายไปยังฐานรากจะต้องคำนวณตามผลรวมน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์กำหนดไว้ในส่วนที่ 7

10.3.3 กำลังออกแบบ

10.3.3.1 กำลังออกแบบของจุดเชื่อมต่อระหว่างเสา ผนัง หรือ แท่น และฐานรากจะต้องเป็นไปตามสมการที่ 10.11 สำหรับแต่ละชุดของผลรวมแรงที่เกี่ยวข้อง สำหรับจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและฐานราก และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการยึดรั้งทางแนวดิ่งอย่างบูรณาภาพ ให้ไว้ในข้อที่ 9.2.5 หรือ 9.3.2 ของส่วนที่ 9

$$\phi S_n \geq U \qquad (10.11)$$

โดยที่ S_n คือ กำลังระบุของจุดเชื่อมต่อสำหรับแรงดัด แรงเฉือน แรงตามแนวแกน แรงบิด หรือแรงกด

10.3.3.2 ค่า ϕ ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในส่วนที่ 8

10.3.3.3 ผลรวมกำลังรับแรงดัดและแรงตามแนวแกนของจุดเชื่อมต่อให้เป็นไปตามข้อที่ 10.3.2

10.3.3.4 ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนที่ถูกรองรับกับฐานราก หรือ ชิ้นส่วนที่ถูกรองรับหรือฐานรากกับชิ้นส่วนที่ใช้แบกทานที่อยู่ระหว่างสองผิวสัมผัสนั้น กำลังแบกทานระบุ B_n สามารถคำนวณได้ จากข้อที่ 10.2.3.3 สำหรับพื้นผิวคอนกรีต โดยที่กำลังแบกทานระบุ B_n ให้ใช้ค่าน้อยกว่าของชิ้นส่วนแบกทานที่อยู่ระหว่างสองผิวสัมผัส และจะต้องไม่เกินค่ากำลังแบกทานระบุของชิ้นส่วนที่อยู่ตรงกลาง (หากมี)

10.3.3.5 ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนที่รองรับกับฐานราก กำลังเฉือนระบุ V_n ให้คำนวณตามข้อกำหนดจากการเสียดทานเฉือนที่ให้ไว้ในข้อที่ 10.2.3.5 หรือโดยวิธีอื่นที่เหมาะสม

10.3.3.6 ที่ฐานของเสาหล่อสำเร็จ แท่น หรือผนัง สลักเกลียวยึดและเหล็กยึดสำหรับการเชื่อมต่อทางกลต้องได้รับการคำนวณออกแบบให้มีกำลังเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 12 แรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ

10.3.3.7 ที่ฐานของเสาหล่อสำเร็จ แท่น หรือ ผนัง อุปกรณ์เชื่อมต่อทางกลต้องมีการออกแบบให้แข็งแรงตามต้องการโดยไม่ให้เกิดการวิบัติที่เหล็กยึด หรือคอนกรีตรอบ ๆ แตก

10.3.4 รายละเอียดสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและฐานราก

10.3.4.1 ที่ฐานของเสาหล่อสำเร็จ แท่น หรือผนัง การเชื่อมต่อกับฐานรากจะต้องเป็นไปตามข้อที่ 10.2.5.1 โดยมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง A_s ไม่น้อยกว่า $0.005A_g$ โดยที่ A_g คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชิ้นส่วนที่รองรับ

10.3.4.2 หากการรวมกันของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในข้อที่ 10.3.3 ไม่ทำให้เกิดแรงดึงที่ฐานของผนังหล่อสำเร็จ การยึดรั้งที่สมบูรณ์ทางแนวดิ่งต้องเป็นไปตามข้อที่ 10.2.5.2 โดยมีการฝังยึดในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดินที่เสริมเหล็กเพียงพอ

10.4 การถ่ายแรงเฉือนในแนวนอนของชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ

10.4.1 ทั่วไป

10.4.1.1 สำหรับชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ การถ่ายแรงเฉือนแนวนอนทั้งหมดเกิดขึ้นที่พื้นผิวสัมผัสของชิ้นส่วนโครงสร้างที่เชื่อมต่อกัน

10.4.1.2 ในกรณีที่มีแรงดึงเกิดขึ้นบนพื้นผิวสัมผัสใด ๆ ระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตที่เชื่อมต่อกัน การถ่ายแรงเฉือนในแนวนอนที่ผิวสัมผัสจะให้พิจารณาเฉพาะในกรณีที่มีเสริมเหล็กตามขวาง ตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ 10.4.6 และ 10.4.7

10.4.1.3 วิธีการเตรียมพื้นผิวที่ใช้ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อจะต้องระบุไว้ในรายการประกอบแบบการก่อสร้าง

10.4.2 กำลังที่ต้องการ

10.4.2.1 แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่ถ่ายตามพื้นผิวสัมผัสในชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ จะต้องคำนวณตามการรวมกันของน้ำหนักบรรทุก โดยให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7

10.4.2.2 กำลังที่ต้องการของชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบจะต้องคำนวณตามขั้นตอนการวิเคราะห์ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 8

10.4.3 กำลังออกแบบ

10.4.3.1 กำลังออกแบบสำหรับการถ่ายแรงเฉือนในแนวนอนต้องเป็นไปตามสมการที่ 10.12 ทุก ๆ ตำแหน่งตามพื้นผิวสัมผัสในชิ้นส่วนรับแรงดัดที่ใช้โครงสร้างคอนกรีตเชิงประกอบ ยกเว้นกรณีที่เป็นไปตามข้อที่ 10.4.5

$$\phi V_{nh} \geq V_u \tag{10.12}$$

โดยที่ กำลังเฉือนระบุในแนวนอน V_{nh} จะคำนวณได้จากข้อที่ 10.4.4

10.4.3.2 ϕ ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในส่วนที่ 8

10.4.4 กำลังเฉือนระบุในแนวนอน

10.4.4.1 หาก $V_u > \phi(3.5 b_v d)$ ค่า V_{nh} จะมีค่าเท่ากับ V_n ซึ่งคำนวณได้จากข้อที่ 10.2.3.5 โดยที่ b_v หมายถึงความกว้างของผิวสัมผัส และ d เป็นไปตามที่ให้ไว้ในข้อที่ 10.4.4.3

10.4.4.2 หาก $V_u < \phi(3.5 b_v d)$ ค่า V_{nh} จะคำนวณได้จากที่กำหนดไว้ในตารางที่ 10.5 โดยที่ $A_{v,\min}$ เป็นไปตามที่กำหนดในข้อที่ 10.4.6, b_v หมายถึงความกว้างของผิวสัมผัส และ d เป็นไปตามที่ให้ไว้ในข้อที่ 10.4.4.3

ตารางที่ 10.5 กำลังเฉือนระบุในแนวนอนตามวิธีการเตรียมผิวสัมผัส

เหล็กเสริมถ่ายแรงเฉือนทางแนวนอน	การเตรียมพื้นผิวสัมผัส[1]	V_{nh} , MN	
$A_v \geq A_{v,\min}$	คอนกรีตที่หล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยที่ทำผิวหยาบให้มีขนาดลึกประมาณ 6.3 mm	เลือกค่าน้อยจาก 2 สมการ	$\lambda\left(1.8+0.6\frac{A_v f_{yt}}{b_v s}\right)b_v d$
			$3.5b_v d$
	คอนกรีตที่หล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยไม่มีการทำผิวรอยต่อให้หยาบ	$0.55b_v d$	
กรณีอื่น	คอนกรีตที่หล่อทับบนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยที่ทำผิวหยาบ	$0.55b_v d$	

[1] ผิวสัมผัสคอนกรีตจะต้องสะอาดและปราศจากสารเคลือบ

10.4.4.3 ในตารางที่ 10.5, d เป็นระยะทางไกลสุดจากผิวแรงอัดของหน้าตัดประกอบไปยังจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึงตามยาวทั้งที่อัดแรงและไม่อัดแรง โดยที่ค่า d ต้องไม่น้อยกว่า $0.80h$ สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง

10.4.4.4 การเสริมเหล็กตามขวางในคอนกรีตที่หล่อไปก่อนและมีส่วนยื่นเข้าไปในคอนกรีตหล่อในที่โดยได้มีการยึดรั้งทั้งสองด้านของรอยต่อ สามารถพิจารณารวมเหล็กยึดเหล่านี้ในการคำนวณหากำลังเฉือนของ V_{nh}

10.4.5 วิธีทางเลือกอื่นสำหรับการคำนวณออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแนวนอน

10.4.5.1 ทางเลือกอื่นของข้อที่ 10.4.3.1, แฟกเตอร์แรงเฉือนแนวนอน V_{uh} คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงแรงดัดที่เกิดจากแรงอัดหรือแรงดึงในส่วนใด ๆ ของชิ้นส่วนคอนกรีตเชิงประกอบ โดยทุกตำแหน่งตามผิวสัมผัสจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

$$\phi V_{nh} \geq V_{uh} \tag{10.13}$$

กำลังเฉือนระบุตามแนวนอน V_{nh} จะต้องคำนวณตามข้อที่ 10.4.4.1 หรือ 10.4.4.2 โดยที่พื้นที่ของผิวสัมผัสแทนที่ด้วย $b_v d$ และใช้ V_{uh} แทน V_u

10.4.5.2 ในกรณีที่มีการออกแบบการเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงเฉือนทางแนวนอนเพื่อให้เป็นไปตามสมการที่ 10.13 อัตราส่วนระหว่างเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อระยะเรียงเหล็กเสริมตามแนวชิ้นส่วนต้องสะท้อนการกระจายตัวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอของแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสในชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ

10.4.5.3 การเสริมเหล็กตามขวางในคอนกรีตที่หล่อไปก่อนหน้า ที่มีส่วนยื่นเข้าไปในคอนกรีตหล่อในที่ โดยได้มีการยึดรั้งทั้งสองด้านของรอยต่อสามารถรวมเหล็กยึดเหล่านี้อยู่ในการคำนวณหากำลังเฉือนของ V_{nh}

10.4.6 การเสริมเหล็กขั้นต่ำสำหรับการถ่ายแรงเฉือนทางแนวนอน

10.4.6.1 ในกรณีที่มีการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อถ่ายแรงเฉือนทางแนวนอน, $A_{v,\min}$ จะต้องมีค่ามากกว่าข้อ (ก) และ (ข):

(ก) $A_{v,\min} \geq 0.062\sqrt{f_c'}\,\dfrac{b_w s}{f_{yt}}$

(ข) $A_{v,\min} \geq 0.35\,\dfrac{b_w s}{f_{yt}}$

10.4.7 รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับการถ่ายแรงเฉือนทางแนวนอน

10.4.7.1 การเสริมเหล็กสำหรับการถ่ายแรงเฉือนอาจประกอบด้วยแท่งเหล็กหรือลวดเหล็ก เหล็กปลอกหลายขา หรือขาเหล็กแนวตั้งของลวดเหล็ก

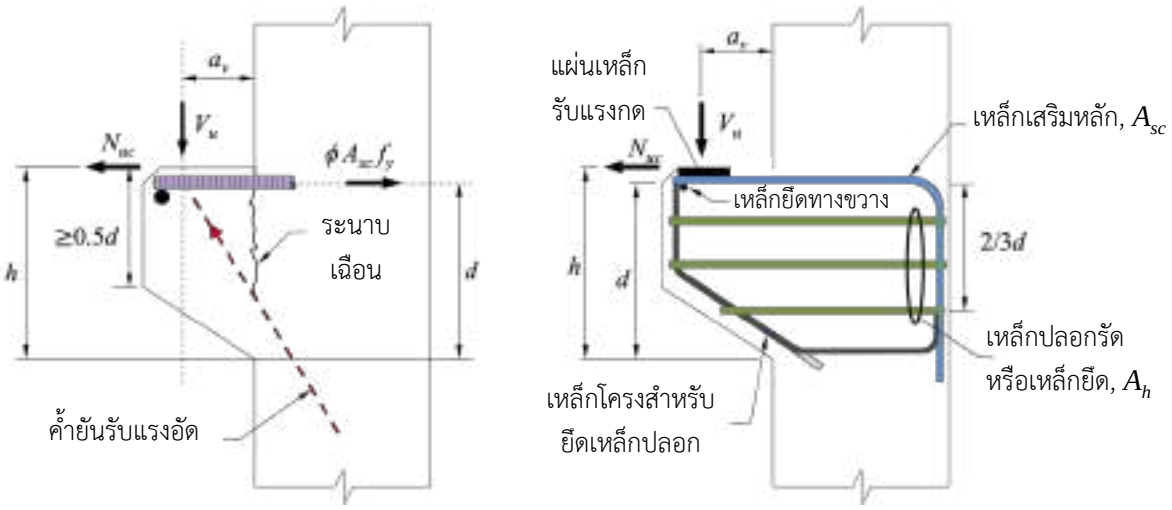
10.4.7.2 ในกรณีที่มีการคำนวณออกแบบเสริมเหล็กสำหรับถ่ายแรงเฉือนเพื่อต้านทานแรงเฉือนแนวนอน ระยะห่างตามแนวยาวของเหล็กเสริมสำหรับถ่ายแรงเฉือนจะต้องไม่เกิน 60 cm และไม่น้อยกว่าสี่เท่าของด้านแคบที่รองรับ

10.4.7.3 การเสริมเหล็กสำหรับถ่ายแรงเฉือนจะต้องมีการฝังในชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกันซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของระยะหุ้มและระยะฝังในส่วนที่ 5

10.5 แป้นหูช้าง และเชิงยื่น

10.5.1 ทั่วไป

10.5.1.1 แป้นหูช้างและเชิงยื่นจะต้องมีอัตราส่วนความยาวช่วงเฉือนต่อความลึก a_v/d น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.0 และใช้แฟกเตอร์แรงยึดรั้ง N_{uc} น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_u ซึ่งในการออกแบบต้องเป็นไปตามข้อกำหนดนี้



(ก) การตอบสนองของโครงสร้างในแป้นหูช้าง (ข) สัญลักษณ์ที่ใช้

รูปที่ 10.4 รายละเอียดการคำนวณออกแบบแป้นหูช้าง [12]

10.5.2 ข้อกำหนดด้านขนาด (รูปที่ 10.4)

10.5.2.1 ความลึกประสิทธิผล d สำหรับแป้นหูช้างหรือเชิงยื่นจะกำหนดจากที่ผิวของจุดรองรับ

10.5.2.2 ความลึกทั้งหมดของแป้นหูช้างและเชิงยื่นที่ปลายด้านนอกของพื้นที่รับแรงกดจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า $0.5d$

10.5.2.3 ต้องไม่มีส่วนใดของพื้นที่แผ่นรับแรงกดที่วางบนแป้นหูช้างหรือเชิงยื่น ออกไปจากผิวของจุดรองรับมากกว่าข้อ (ก) หรือ (ข)

(ก) ปลายของส่วนตรงของเหล็กเสริมหลักสำหรับรับแรงดึง

(ข) ผิวด้านในของเหล็กยึดทางขวาง (Transverse Bar) กรณีที่มีการใช้

10.5.2.4 สำหรับแป้นหูช้างและเชิงยื่นที่ใช้คอนกรีตมวลปกติ ค่าอัตราส่วนของ V_u/ϕ จะต้องมีค่าไม่เกินไปกว่าค่าน้อยสุดของข้อ (ก) ถึง (ค) ต่อไปนี้:

(ก) $0.2 f_c' b_w d$

(ข) $(3.3 + 0.08 f_c') b_w d$

(ค) $11 b_w d$

10.5.2.5 สำหรับแป้นหูช้างและเชิงยื่นที่ใช้คอนกรีตมวลเบา ค่า V_u/ϕ จะต้องมีค่าไม่เกินไปกว่าค่าน้อยสุดของข้อ (ก) ถึง (ข) ต่อไปนี้

(ง) $\left(0.2 - 0.07\frac{a_v}{d}\right) f_c' b_w d$

(จ) $\left(5.5 - 1.9\frac{a_v}{d}\right) b_w d$

10.5.3 กำลังที่ต้องการ

10.5.3.1 ตำแหน่งที่ผิวของจุดรองรับจะต้องคำนวณออกแบบให้ต้านทานแรงเฉือนที่ต้องการ V_u แรงยึดรั้งที่ต้องการ N_{uc} และโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M_u มีค่าเท่ากับ $\left(V_u a_v + N_{uc}\left(h-d\right)\right)$ ที่อาจเกิดขึ้นพร้อมกัน

10.5.3.2 แรงยึดรั้งที่ต้องการ N_{uc} และแรงเฉือนที่ต้องการ V_u จะใช้ค่ามากสุดที่คำนวณได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7 ค่าแรงยึดรั้งที่ต้องการ N_{uc} อาจคำนวณได้จากข้อที่ 10.2.2.3 หรือ 10.2.2.4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

10.5.3.3 กำลังที่ต้องการหาได้จากการวิธีการวิเคราะห์ที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7 และที่กำหนดเพิ่มเติมในส่วนนี้

10.5.4 กำลังที่ออกแบบ

10.5.4.1 กำลังที่ออกแบบทุกหน้าตัดจะต้องเป็นไปตาม $S_n \geq U$ และรวมถึงข้อ (ก) ถึง (ค) โดยจะต้องพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผลการรวมน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ด้วย

(ก) $\phi N_n \geq N_{uc}$

(ข) $\phi V_n \geq V_u$

(ค) $\phi M_n \geq M_u$

10.5.4.2 ค่า ϕ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 8

10.5.4.3 กำลังดึงระบุ N_n จะขึ้นกับ A_n และสามารถคำนวณได้จาก

$$N_n = A_n f_y \tag{10.14}$$

10.5.4.4 กำลังเฉือนระบุ V_n จะขึ้นกับ A_{vf} สามารถคำนวณได้จากข้อกำหนดจากแรงเสียดทานเฉือนที่ให้ไว้ในข้อ 11.2.3.5 โดยที่ A_{vf} คือเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ผ่านระนาบเฉือน

10.5.4.5 กำลังดัดระบุ M_n จะขึ้นกับ A_f และสามารถคำนวณได้จากสมมุติฐานการออกแบบที่ให้ไว้ในส่วนที่ 8

10.5.5 ข้อจำกัดการเสริมเหล็ก

10.5.5.1 เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงหลัก A_{sc} จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของข้อ (ก) ถึง (ค):

(ก) $A_f + A_n$

(ข) $(2/3)A_{vf} + A_n$

(ค) $0.04(f_c'/f_y)(b_w d)$

10.5.5.2 เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอกแบบปิด หรือเหล็กยึดที่ขนานกับเหล็กเสริมรับแรงดึงหลัก A_h ต้องไม่น้อยกว่า

$$A_h = 0.5(A_{sc} - A_n) \qquad (10.15)$$

10.5.6 รายละเอียดของการเสริมเหล็ก

10.5.6.1 ระยะคอนกรีตหุ้มให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 5

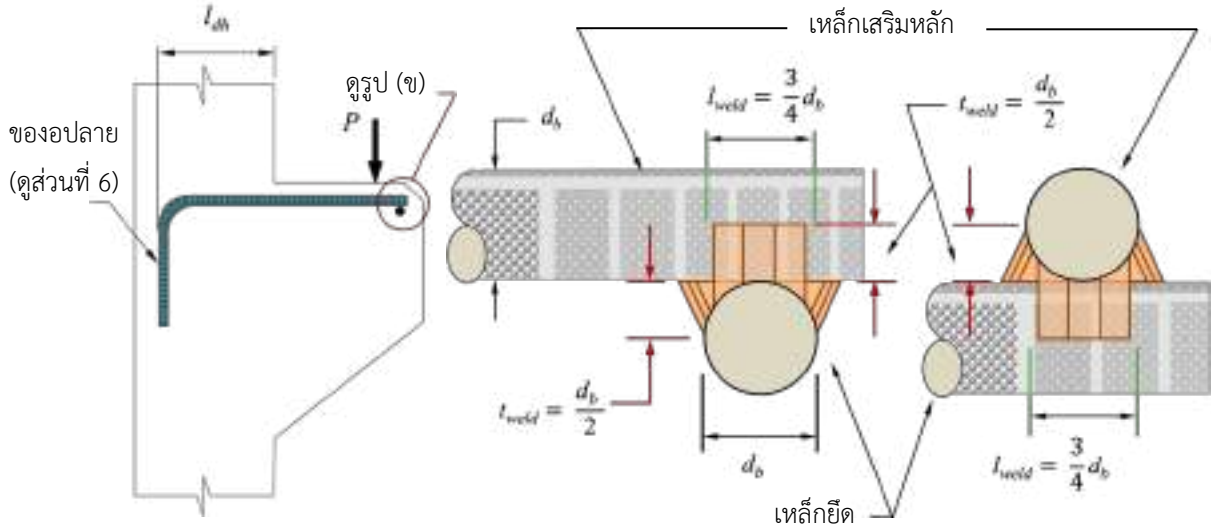
10.5.6.2 ระยะห่างน้อยสุดสำหรับเหล็กข้ออ้อยจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 6

10.5.6.3 ที่ผิวด้านหน้าของแป้นหูช้างหรือเชิงยื่น เหล็กเสริมหลักรับแรงดึงจะต้องถูกยึดรั้งเป็นไปตามข้อ (ก) (ข) หรือ (ค)

(ก) เชื่อมติดกับเหล็กขวางที่มีขนาดอย่างน้อยเท่ากันและคำนวณออกแบบให้สามารถพัฒนากำลังดึงถึงจุดคราก f_y ของเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง

(ข) มีการดัดโค้งกลับของเหล็กเสริมหลักรับแรงดึงเพื่อให้เกิดวงรอบทางแนวราบ (Horizontal Loop)

(ค) วิธีการยึดรั้งอื่น ๆ ที่พัฒนากำลังดึงถึงจุดคราก f_y



(ก) ระยะฝังในโครงสร้างรองรับ (ข) รายละเอียดการเชื่อมเหล็กเสริม

รูปที่ 10.5 รายละเอียดการฝังเหล็กเสริมรับแรงดึงในโครงสร้างรองรับ [12]

10.5.6.4 ระยะฝังเหล็กเสริมหลักรับแรงดึงให้วัดจากขอบของโครงสร้างรองรับ ดูรูปที่ 10.5 (ก)

10.5.6.5 ระยะฝังของเหล็กเสริมรับแรงดึงจะขึ้นกับการกระจายหน่วยแรงในเหล็กเสริม โดยไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดัด

10.5.6.6 เหล็กปลอกหรือเหล็กยึดแบบปิด A_h ต้องวางโดยมีระยะห่างสม่ำเสมอภายในช่วงระยะ $(2/3)d$ วัดจากเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง ดูรูปที่ 10.4 (ข)

10.6 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อเหล็กเสริม

10.6.1 ปลอกต่อเชิงกล (Mechanical Splices)

10.6.1.1 ปลอกต่อเชิงกลเป็นปลอกเหล็กรูปทรงกระบอกปลายเปิดเพื่อสอดใส่เหล็กเสริม ช่องว่างภายในท่อจะทำการเกราต์ด้วยวัสดุมอร์ตาร์กำลังสูงและมีการหดตัวน้อย โดยการกรอกหรืออัดฉีดเข้าไปในช่องว่าง ในกรณีที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งมีเกลียวให้ใช้กับเหล็กเสริมที่มีเกลียว และปลายอีกด้านหนึ่งใช้การต่อเหล็กเสริมโดยการสอดใส่ในปลอกเหล็ก โดยมีรายละเอียด ดังนี้

10.6.1.2 ปลอกต่อเชิงกลสามารถใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 12 – 55 mm

10.6.1.3 โดยทั่วไป ระบบการเกราต์ที่ใช้ในจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อให้ต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 150 ของกำลังดึงระบุของเหล็กเส้น ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้เพื่อต้านทานเรงดัดที่จุดเชื่อมต่อของเสา กำแพง และคาน

10.6.1.4 ปลอกต่อเชิงกลแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยที่สามารถจัดเป็นประเภทที่ 1 หรือประเภทที่ 2 ได้ตามลักษณะ ดังต่อไปนี้

(ก) ประเภทที่ 1 สามารถต้านทานแรงดึงหรือแรงอัดได้มากกว่าร้อยละ 125 ของกำลังดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม

(ข) ประเภทที่ 2 สามารถต้านทานแรงดึงหรือแรงอัดได้เท่ากับประเภทที่ 1 และสามารถต้านทานกำลังดึงสูงสุดได้ตามที่ระบุของเหล็กเสริมที่นำมาต่อเชิงกล

โดยปลอกต่อเชิงกลประเภทที่ 1 จะไม่ยอมให้ถูกใช้ในตำแหน่งจุดเชื่อมต่อที่อยู่ในระยะไม่เกิน 2 เท่าของความลึกของชิ้นส่วนที่วัดจากขอบเสาหรือคาน สำหรับกรณีโครงอาคารพิเศษรับแรงดัด หรือ ภายในระยะวิกฤติที่เหล็กเสริมมีแนวโน้มจะเกิดการครากเมื่อรับแรงทางด้านข้าง ส่วนข้อต่อเชิงกลประเภทที่ 2 สามารถใช้ได้ในทุกกรณีที่เหลือ

=

10.6.1.5 ข้อพึงระวังของการใช้ปลอกต่อเชิงกล มีดังต่อไปนี้

(ก) กรณีที่ผู้ผลิตปลอกต่อเชิงกลมีการกำหนดวัสดุเกราต์ที่กรอกหรืออัดลงในจุดเชื่อมต่อให้ยึดตามคำแนะนำของผู้ผลิต

(ข) ให้ยึดคำแนะนำตามเอกสารประกอบของผู้ผลิตสำหรับข้อระวังการใช้งานในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศหนาวเย็นหรือร้อนระหว่างทำการเกราต์

(ค) กรณีของการต่อเหล็กเส้นกับฐานรากหล่อในที่ ตำแหน่งเหล็กเสริมต้องถูกจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และมีการป้องกันความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างดี หากมีการต่อเหล็กหลายเส้นด้วยข้อต่อเชิงกล จะต้องมีการติดตั้งแผ่นบังคับตำแหน่ง (Spacer) ของเหล็กเสริมในสนามเป็นอย่างดี

(ง) ให้เผื่อความยาวของเหล็กเดือยที่โผล่ออกมาจากฐานคอนกรีตหล่อในที่ประมาณ 75 mm ถึง 100 mm จากที่กำหนดไว้ เพื่อใช้สำหรับตัดแต่งระยะฝังของเหล็กเดือยก่อนทำการติดตั้งลงในข้อต่อเชิงกลของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

10.6.2 การต่อเหล็กเส้นโดยการเชื่อม

(ก) การต่อเหล็กเส้นต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อมงานโครงสร้าง-การเสริมเหล็ก AWS D1.4 [53], ASTM A36 [20], ASTM A500 [26] (สำหรับท่อ) หรือ เป็นไปตามมาตรฐานสากล

(ข) รอยต่อที่มีการเชื่อมเต็มพื้นที่ต้องพัฒนากำลังรอยเชื่อมได้อย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังครากของเหล็กเส้นนั้น

10.6.3 การต่อทาบเหล็กเสริม และระยะฝังของเหล็กเส้นให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 6

10.6.4 การฝังเหล็กเส้นโดยใช้ท่อโลหะ

การฝังเหล็กเส้นลงในท่อโลหะที่มีความยืดหยุ่นจะต้องให้เหล็กเสริมสามารถพัฒนากำลังดึงได้อย่างน้อยถึงจุดคราก และเกิดการยึดรั้งเมื่อทำการเกราต์มอร์ตาร์พิเศษลงในท่อโลหะ ท่อโลหะจะต้องมีระยะหุ้มคอนกรีตที่เพียงพอเพื่อให้สามารถส่งถ่ายแรงดึง แรงอัด หรือแรงเฉือนได้อย่างเพียงพอ โดยมีข้อปฏิบัติดังต่อไปนี้

10.6.4.1 สำหรับแรงดึง ระยะฝังขั้นต่ำอย่างน้อย 300 mm

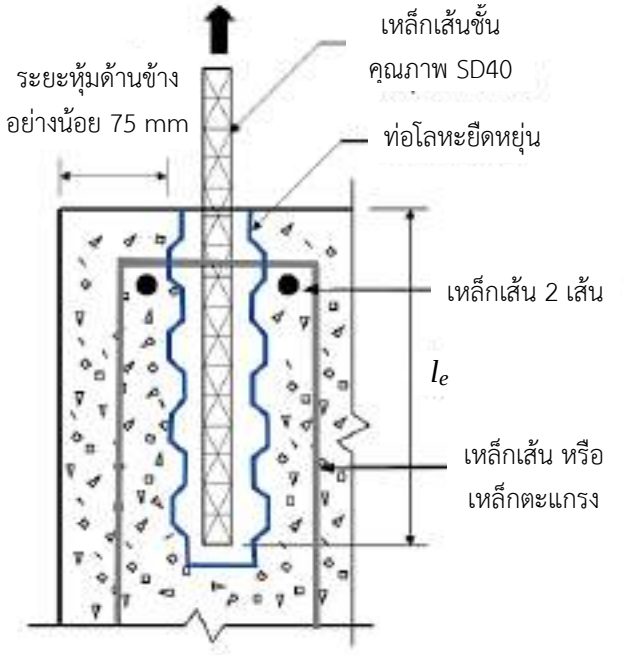
10.6.4.2 กรณีที่ใช้เพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว จุดเชื่อมต่อต้องมีความเหนียวเป็นไปตามข้อที่ 10.6.1.3

10.6.4.3 ระยะหุ้มคอนกรีตที่ด้านข้างของท่อควรมีระยะอย่างน้อย 75 mm

10.6.4.4 ท่อโลหะควรมีความหนาขั้นต่ำ 0.6 mm และควรมีช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมกับท่อด้านในอย่างน้อย 12 mm

10.6.4.5 กำลังอัดของมอร์ตาร์เกราต์ต้องไม่น้อยกว่า 35 MPa และต้องเป็นวัสดุที่ระบุว่าไม่หดตัว

10.6.4.6 หากใช้ท่อที่ทำจากวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ หรือมีขนาด ระยะหุ้มคอนกรีต การเว้นช่องว่างของเหล็กกับท่อแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ข้างต้น ผู้คำนวณออกแบบต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเหมือนสภาพการใช้งานจริงโดยที่ผลทดสอบต้องไม่น้อยว่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานนี้



ขนาดเหล็กเสริม (mm)	ระยะฝัง (mm)
10	300
12	300
16	400
20	500
25	700

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับวัสดุเกราต์ที่มีกำลังมากกว่า 35 MPa ให้คูณค่า**ในตารางด้วยค่า** $\sqrt{\frac{35}{f'_c}}$ แต่ต้องได้ไม่น้อยกว่า 300 mm

รูปที่ 10.6 การฝังยึดของเหล็กเสริมในท่อโลหะ [56]

ส่วนที่ 11 การฝังยึดในคอนกรีต

11.1 ทั่วไป

11.1.1 ตัวฝังยึดที่ฝังในคอนกรีตสำหรับส่งถ่ายแรงไปยังคอนกรีต ต้องเป็นชิ้นส่วนเหล็กหรือวัสดุเหนียว ทั้งที่ติดตั้งก่อนการเทคอนกรีตหรือติดตั้งภายหลังในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

11.1.2 อุปกรณ์ฝังยึดในคอนกรีตต้องได้รับอนุมัติจากวิศวกรที่รับผิดชอบ ให้แสดงแบบ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ฝังในคอนกรีต สิ่งที่ฝังไว้หรือตัวฝังยึดทั้งที่โผล่จากคอนกรีตหรือส่วนที่มองเห็นได้ เพื่อการตรวจสอบ

11.1.3 เมื่อได้รับอนุมัติจากวิศวกรที่รับผิดชอบ สิ่งที่ฝังไว้หรือตัวฝังยึดที่ฝังก่อนเทคอนกรีต อาจฝังในขณะที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติกได้ ถ้าหากว่า

- 11.1.3.1 ไม่จำเป็นต้องงอหรือผูกยึดสิ่งที่ฝังไว้กับเหล็กเสริมในช่วงที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติก
- 11.1.3.2 สามารถคงสิ่งที่ฝังไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องในขณะที่คอนกรีตยังคงสภาวะพลาสติก
- 11.1.3.3 สามารถยึดสิ่งที่ฝังไว้ให้ถูกต้องเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ต้องการได้

11.1.4 ในการคำนวณกำลังของตัวฝังยึด อย่างน้อยต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- 11.1.4.1 กำลังของเหล็กตัวฝังยึดรับแรงดึง
- 11.1.4.2 กำลังแตกหลุดของคอนกรีต (Concrete Breakout Strength) ของตัวฝังยึดรับแรงดึง
- 11.1.4.3 กำลังดึงหลุด (Pullout Strength) ของตัวฝังยึดรับแรงดึง
- 11.1.4.4 กำลังแตกออกด้านข้างของคอนกรีต (Concrete Side-Face Blowout Strength) ของตัวฝังยึดรับแรงดึง
- 11.1.4.5 กำลังยึดหน่วง (Bond Strength) ของตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะรับแรงดึง
- 11.1.4.6 การวิบัติจากรอยแตกร้าวแบบแยก (Splitting Failure)
- 11.1.4.7 กำลังของเหล็กตัวฝังยึดรับแรงเฉือน
- 11.1.4.8 กำลังแตกหลุดของคอนกรีต (Concrete Breakout Strength) ของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน
- 11.1.4.9 กำลังงัดหลุด (Pryout Strength) ของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

11.1.5 ในการคำนวณออกแบบตัวฝังยึด อย่างน้อยต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- 11.1.5.1 จำนวน ตำแหน่งและการจัดวางตัวฝังยึด ให้เพียงพอต่อการรับแรงดึงและแรงเฉือนที่กระทำกับจุดเชื่อมต่อ
- 11.1.5.2 ความสามารถในการรับแรงที่ลดลงในกรณีตัวฝังยึดอยู่ใกล้ขอบชิ้นส่วนหรืออยู่ใกล้กันของตัวฝังยึด

11.1.5.3 กำลังของคอนกรีตในขณะยก ขนย้ายหรือติดตั้ง

11.1.5.4 ความลึกของการฝังและความหนาชิ้นส่วน

11.1.6 สามารถใช้วิธีการคำนวณกำลังตามที่ปรากฏในภาคผนวก จ หรือมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ ในการออกแบบกำลังของตัวฝังยึดที่ฝังในคอนกรีต

11.1.7 ต้องคำนึงถึงกำลังของตัวฝังยึดที่ลดลง สำหรับกรณีที่ใช้การฝังยึดในคอนกรีตมวลเบา

11.2 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ฝังก่อนเทคอนกรีต

11.2.1 ตัวฝังยึดที่ฝังก่อนเทคอนกรีตเป็นเหล็กหรือวัสดุเหนียวที่ใช้สำหรับส่งผ่านแรงไปยังคอนกรีต ได้แก่ สลักเกลียวหรือสลักมีหัว ตัวฝังยึดแบบราง แบบแผ่นเหล็ก หรือสลักเกลียวหรือแท่งเหล็กปลายงอ โดยหมายรวมถึงตัวฝังยึดแบบแผ่นบางที่ส่วนปลายมีลักษณะซิกแซ็ก

11.2.2 ต้องมีการยึดรั้งตัวฝังยึดให้แน่นไม่เคลื่อนที่ ในขณะเทคอนกรีต

11.2.3 ต้องจัดวางตัวฝังยึดให้อยู่ในตำแหน่งและระดับตามแบบที่ได้รับการอนุมัติ

11.2.4 หากเป็นไปได้ ตัวฝังยึดทั้งหมดควรเป็นแบบมาตรฐานเดียวกันในชิ้นส่วนคอนกรีตแต่ละชิ้น เพื่อลดความผิดพลาด

11.2.5 ในกรณีต้องใช้งานตัวฝังยึดสำหรับจุดต่อถาวรในระหว่างการขนส่งหรือติดตั้งแบบชั่วคราว ต้องได้รับการยืนยันจากวิศวกรผู้ออกแบบว่าจะไม่กระทบความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวฝังยึดในระยะยาว

11.3 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ฝังภายหลังเทคอนกรีต

11.3.1 ตัวฝังยึดที่ฝังภายหลังเทคอนกรีตเป็นเหล็กหรือวัสดุเหนียวที่ถูกติดตั้งภายหลังในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ใช้สำหรับส่งผ่านแรงไปยังคอนกรีต ได้แก่ ตัวฝังยึดทางกลและตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ

11.3.2 ต้องเจาะรูสำหรับติดตั้งตัวฝังยึดในตำแหน่งและความลึกตามแบบที่ได้รับการอนุมัติ

11.3.3 ต้องทำความสะอาดรูเจาะก่อนทำการติดตั้งตัวฝังยึด

11.3.4 ตัวฝังยึดที่ใช้ต้องได้รับการทดสอบและรับรองความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีที่น่าเชื่อถือ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบ

11.3.5 ขั้นตอนการติดตั้งตัวฝังยึดต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนด

11.3.6 ในกรณีต้องใช้งานตัวฝังยึดสำหรับจุดต่อถาวรในระหว่างการขนส่งหรือติดตั้งแบบชั่วคราว ต้องได้รับการยืนยันจากวิศวกรผู้ออกแบบว่าจะไม่กระทบความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวฝังยึดในระยะยาว

11.4 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับตัวฝังยึดสำหรับยก ค้ำยัน และยึดชิ้นส่วน

11.4.1 ตัวฝังยึดสำหรับยก ค้ำยันและยึดชิ้นส่วน ต้องผลิตจากวัสดุเหนียว

11.4.2 ไม่ควรใช้เหล็กเสริมและลวดอัดแรงที่ดัดงอและฝังในคอนกรีตเพื่อใช้ในการยกชิ้นส่วน นอกจากจะแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถที่เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อที่ 11.5

11.4.3 ระบบที่ใช้ในการยกชิ้นส่วนให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อที่ 11.5 ยกเว้นในบางกรณีที่ไม่สามารถทำได้ ให้วิเคราะห์และพิสูจน์ว่าระบบที่ใช้ในการยกสามารถใช้ได้ปลอดภัยโดยวิศวกร

11.5 ข้อกำหนดตัวฝังยึดสำหรับยกชิ้นส่วน

11.5.1 ให้คำนวณน้ำหนักบรรทุก โดยพิจารณา

11.5.1.1 แรงดูดจากการยกชิ้นส่วนจากแบบหล่อในแนวราบหรือเอียง

11.5.1.2 แรงกระแทกในขั้นตอนการขนส่ง

11.5.1.3 น้ำหนักบรรทุกในขั้นตอนติดตั้งและค้ำยัน

11.5.1.4 แรงลม

11.5.1.5 แรงอื่น ๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกระหว่างการก่อสร้าง

11.5.2 ตัวฝังยึดสำหรับยกต้องผลิตจากวัสดุเหนียวที่มีระยะยืดตัวทั้งหมดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ใน มอก. ที่เกี่ยวข้อง

11.5.3 ตัวฝังยึดสำหรับยกต้องผลิตจากวัสดุที่มีสมบัติทางกลแบบเป็นเนื้อเดียวกัน

11.5.4 ในกรณีที่ต้องใช้เหล็กเสริมประกอบร่วมกับตัวฝังยึดสำหรับยก ค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวฝังยึดต้องหาจากการทดสอบการทำงานร่วมกันของวัสดุทั้งระบบในคอนกรีต

11.5.5 หากใช้ตัวฝังยึดสำหรับยกที่ขอบแบบแผ่นบาง ควรใช้เหล็กเสริมประกอบเพื่อเป็นขารับแรงดึง

11.5.6 ควรมีการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของตัวฝังยึดสำหรับยกที่ขอบ ทั้งกรณีที่ใช้หรือไม่ใช้เหล็กเสริมประกอบ

11.5.7 อัตราส่วนของกำลังกรณีที่ใช้ต่อกรณีที่ไม่ใช้เหล็กเสริมประกอบ ไม่ควรน้อยกว่า 1.1 สำหรับค่ากำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ไม่ต่ำกว่า 25 MPa ณ เวลาทดสอบ

11.6 ข้อกำหนดตัวฝังยึดที่ติดตั้งภายหลังสำหรับค้ำยัน

11.6.1 ให้คำนวณน้ำหนักบรรทุก โดยพิจารณาตามข้อที่ 11.5

11.6.2 ตัวฝังยึดที่ติดตั้งภายหลังจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดนี้

11.6.2.1 ตัวฝังยึดทางกล เช่น ตัวฝังยึดแบบปลายตัดหรือตัวฝังยึดแบบขยายตัว ให้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิต

11.6.2.2 ตัวฝังยึดแบบใช้สารเคมี (Chemical Anchors) ที่พึ่งพากำลังยึดหน่วงจากสารเคมี ไม่ควรนำมาใช้ ยกเว้นมีการทดสอบพิสูจน์ว่ารับแรงได้ถึง 120% ของน้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุด และให้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิต

11.6.2.3 ตัวฝังยึดแบบขยายตัว ให้ใช้เป็นชนิดควบคุมด้วยแรงบิด และให้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิต

11.6.2.4 ตัวฝังยึดแบบเกลียว (สกรู) ให้มีการคำนวณ และให้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิต

11.6.3 ต้องประทับตราตัวฝังยึดที่ติดตั้งภายหลังสำหรับค้ำยัน แสดงถึงสัญลักษณ์หรือชื่อของผู้ผลิตที่สามารถมองเห็นได้ภายหลังการติดตั้ง

11.7 ข้อกำหนดตัวฝังยึดสำหรับจุดต่อและตัวฝังยึดสำหรับค้ำยัน

11.7.1 ให้คำนวณน้ำหนักบรรทุก โดยพิจารณาตามข้อที่ 11.5 ในกรณีตัวฝังยึดสำหรับจุดต่อถาวร ให้พิจารณาน้ำหนักบรรทุกใช้งานจริงทั้งหมดของโครงสร้าง

11.7.2 ตัวฝังยึดที่ติดตั้งไว้ก่อนและสลักเกลียวต้องมีร่องเกลียวที่เข้ากันได้และได้รับการตรวจสอบก่อนการติดตั้ง

11.7.3 ให้ใช้ระบบการยึดชิ้นส่วนในการต้านแรงกระทำในแนวราบที่ถ่ายจากชิ้นส่วนลงสู่ฐานรองรับหรือพื้น ไม่ให้ใช้แรงเสียดทานในการต้านแรงเหล่านี้ โดยการยึดชิ้นส่วนต้องสามารถต้านทานแรงในแนวราบต่อไปนี้

11.7.3.1 แรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกออกแบบในแนวราบ

11.7.3.2 น้ำหนักบรรทุกจรขนาด 3 kN/m (หรือไม่ต่ำกว่า 5 kN) กระทำตลอดความกว้างของชิ้นส่วนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบชิ้นส่วน ณ ระดับของรอยต่อ

11.7.3.3 5% ของค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบในแนวดิ่ง

ส่วนที่ 12 ข้อกำหนดการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.1 ทั่วไป

12.1.1 ผู้ผลิตควรใช้ปัจจัยต่อไปนี้ มาประกอบการพิจารณาในการวางแผนเลือกสถานที่ตั้งสำหรับการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน

(ก) แหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตคอนกรีต

(ข) การผสมและการเทคอนกรีต

(ค) พื้นที่สำหรับการกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ง) การขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(จ) เครื่องจักรที่ใช้ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ฉ) การจัดการมลภาวะเพื่อลดผลกระทบต่อธรรมชาติ สภาพแวดล้อม และชุมชนใกล้เคียง

12.1.2 ผู้ผลิตควรวางแผนกระบวนการการผลิตให้บรรลุความต้องการต่อไปนี้

(ก) การผลิตมีความรวดเร็วและประหยัด

(ข) เครื่องจักรที่นำเข้ามาใช้แทนแรงงานคนสามารถเพิ่มปริมาณและคุณภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้เป็นอย่างดี

(ค) การผลิตมีการควบคุมให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีคุณภาพดีที่สุด โดยที่ยังรักษาความเร็วในการผลิตไว้ให้ทันกับการติดตั้ง

(ง) สภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงานมีความเหมาะสมสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

(จ) การเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศไม่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต

12.1.3 ผู้ผลิตสามารถทำการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ทั้งในโรงงานและในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง โดยสามารถแบ่งกระบวนการในการผลิต ออกได้เป็น

(ก) กระบวนการหลัก เช่น การประกอบแบบ การวางเหล็กเสริม การดึงลวดอัดแรง การวางอุปกรณ์ของงานระบบ การเทคอนกรีต การบ่ม การถอดแบบ และการกองเก็บ

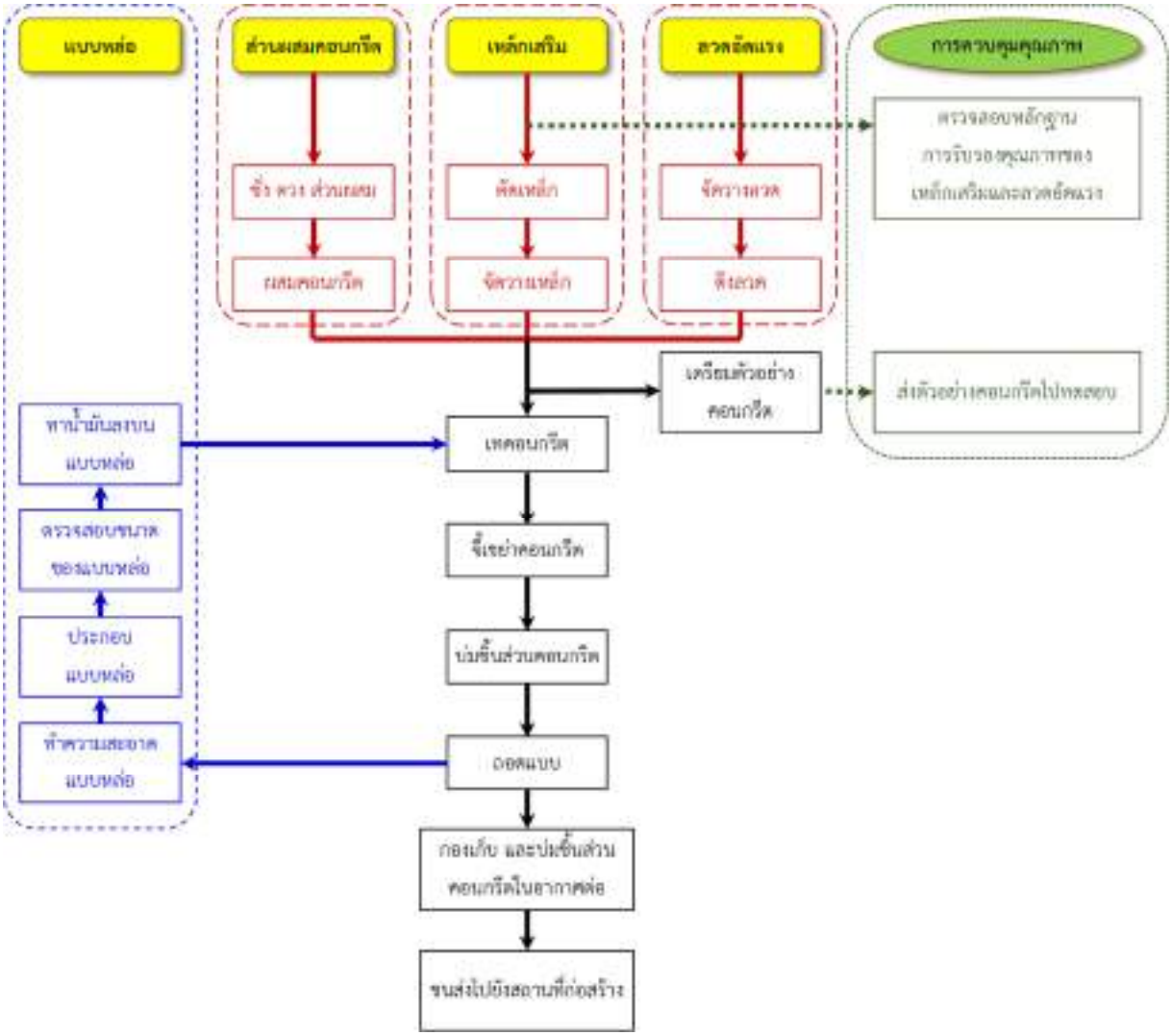
(ข) กระบวนการสนับสนุน เช่น การผสมคอนกรีต การตัดและผูกเหล็กเสริม การเตรียมอุปกรณ์ของงานระบบ การแต่งผิวของชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้น การทดสอบชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้น

(ค) กระบวนการรอง เช่น การกองเก็บวัสดุ การขนส่งคอนกรีตและเหล็กเสริมเข้าสู่พื้นที่การผลิต การขนส่งและการกองเก็บชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้น การซ่อมแซมอุปกรณ์ แบบหล่อ เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต การดูแลสถานที่ที่ใช้ในการบ่มตลอดจน การผลิตไอน้ำสำหรับการบ่ม

12.1.4 ขั้นตอนของการผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถแบ่งตามเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตได้ดังแสดงในตารางที่ 12.1 และสามารถเขียนเป็นแผนผังการผลิตได้ดังรูปที่ 12.1 โดยกระบวนการหลักในการผลิตจะอยู่ที่ขั้นตอนที่ 5 ถึง 10 การนำเทคโนโลยีมาใช้ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตให้พิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนและการประหยัดเวลาในการผลิต

ตารางที่ 12.1 ขั้นตอนของการผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จ

เลข SI	เลขขั้นตอนการหล่อสำเร็จ	ชื่อกระบวนการ	การทำงานที่เกี่ยวข้อง
(1)	(2)	(3)	(4)
i)	1	การจัดซื้อและการจัดเก็บวัสดุก่อสร้าง	การขนถ่ายและการเคลื่อนย้ายปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบและละเอียด และเหล็กกล้า รวมถึงการจัดเก็บวัสดุดังกล่าวในถัง ไซโล หรือโรงเก็บของ
ii)	2	การทดสอบวัสดุ	การทดสอบวัสดุทั้งหมด รวมถึงเหล็กที่ใช้ในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและบริเวณจุดต่อ
iii)	3	การคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	การทดสอบวัสดุ การจัดทำแผนภูมิขนาดคละ และการทดลองส่วนผสมต่าง ๆ
iv)	4	การจัดเตรียมเหล็กเสริม	การขนถ่ายเหล็กเสริมลงจากรถบรรทุกและนำไปจัดเรียงที่ลานพักเหล็ก การตัด การดัด การผูก หรือการเชื่อมเหล็กเสริม เพื่อนำไปวางในแบบหล่อ
v)	5	การเตรียมแบบหล่อ	การทำความสะอาดแบบหล่อ การทาน้ำยาหรือน้ำมันลงบนแบบหล่อ การจัดวางและการประกอบแบบหล่อ การจัดวางอุปกรณ์อื่น ๆ ตามตำแหน่งที่ระบุในแบบ
vi)	6	การจัดวางเหล็กเสริม และอุปกรณ์ฝังยึดเพื่อใช้ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีต	การจัดวางเหล็กเสริมพร้อมตัวคั่นระยะ และอุปกรณ์ฝังยึดเพื่อใช้ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีต ฯลฯ ลงในแบบหล่อ ตามที่ระบุในแบบ
vii)	7	การเตรียมคอนกรีต	การขนส่งวัสดุ การชั่งหรือตวงส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ วัสดุประสานอื่น ๆ มวลรวม น้ำ สารผสมเพิ่ม และการผสมคอนกรีต
viii)	8	การเคลื่อนย้ายคอนกรีตที่ผสมแล้ว	การเคลื่อนย้ายคอนกรีตที่ผสมแล้วไปเทลงในแบบหล่อ
ix)	9	การเทและการจี้เขย่าคอนกรีต	การเทและการจี้เขย่าคอนกรีตเพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ไม่เกิดเป็นโพรง ลดการแยกตัวของคอนกรีตและการเยิ้มน้ำ (Bleeding)
x)	10	การบ่มคอนกรีตและการถอดแบบ	การบ่มตามธรรมชาติด้วยน้ำหรือการบ่มเร่งด้วยไอน้ำและเทคนิคอื่น ๆ ในบางโรงงาน ขั้นตอนการบ่มอาจประกอบด้วย (ก) การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตพร้อมแบบหล่อเข้าไปในห้องบ่ม (ข) การนำชิ้นส่วนคอนกรีตพร้อมแบบหล่อออกมาภายหลังครบระยะเวลาการบ่ม (ค) การถอดแบบและการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ และ (ง) การบ่มต่อในอากาศระหว่างการกองเก็บ
xi)	11	การจัดเรียงชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	การเคลื่อนย้ายไปยังพื้นที่สำหรับการกองเก็บ เพื่อรอการขนส่งต่อไป
xii)	12	การทดสอบชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผลิตเสร็จแล้ว	การทดสอบจะทำกับชิ้นส่วนคอนกรีตทั้งแบบชิ้นเดียว และแบบที่นำหลาย ๆ ชิ้นมาประกอบกัน เพื่อให้แน่ใจว่ามีความแข็งแรงเพียงพอตามที่ออกแบบไว้
xiii)	13	อื่น ๆ	เช่น การบำรุงและซ่อมเครื่องจักรต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตให้มีสภาพที่พร้อมใช้งานเสมอ



รูปที่ 12.1 แผนผังการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.1.5 กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถแบ่งออกได้เป็น

(ก) การผลิตโดยแบบหล่ออยู่กับที่ (Stand Method) ซึ่งเป็นการผลิตโดยที่ขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ จะเกิดขึ้น ณ บริเวณที่ทำการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่เดียว

(ข) การผลิตโดยแบบหล่อเคลื่อนที่ (Flow Method) คือ การผลิตโดยที่ขั้นตอนการผลิตจะเกิดขึ้นในบริเวณที่แตกต่างกันไป แบบหล่อและชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ตามขั้นตอนการผลิต

12.1.6 กรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับองค์อาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละชิ้น สามารถดูได้จากตารางที่ 12.2

ตารางที่ 12.2 กรรมวิธีการผลิตสำหรับองค์อาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จ

เลข SI	วิธีการหล่อสำเร็จ	จุดที่นำไปใช้	ขนาดและน้ำหนักที่แนะนำ	ประโยชน์และหมายเหตุ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
i)	**แบบหล่อเดี่ยว** — เป็นแบบหล่อที่มีชิ้นส่วนหลัก 2 ส่วน คือ แบบรองด้านใต้ และแบบด้านข้าง ซึ่งนำมาประกอบเข้าด้วยกันโดยง่าย สามารถเคลื่อนย้ายได้ในกรณีที่จำเป็น แบบหล่ออาจทำจากไม้หรือเหล็กกล้า แบบหล่อสามารถออกแบบให้สามารถรับการอัดแรงได้ การจี้เขย่าหรือสั่นคอนกรีตสามารถทำโดยการเขย่าหรือสั่นแบบหล่อ	ก) แผ่นพื้น ผนัง เสา คาน แผงหน้าต่าง ท่อสี่เหลี่ยม และชิ้นส่วนพิเศษ ข) หมอนรางรถไฟอัดแรง	ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดและน้ำหนัก โดยจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการถอด แบบการเคลื่อนย้าย และการจัดวาง	ก) สามารถเสริมกำลังของหน้าตัดได้ ข) สามารถทำช่องเปิดได้ในสองระนาบ
ii)	**แบบหล่อกลุ่ม** — ใช้แผ่นกั้นที่สามารถปรับระยะห่างเพื่อให้ได้แบบหล่อที่มีระยะเท่ากับความหนาของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ต้องการ	แผ่นพื้น ผนัง แผ่นหลังคา ชิ้นส่วนเปลือกบาง ระแนง จันทัน และแป	ก) ความยาว : 18 m ข) ความกว้าง : 3 m ค) มวล : 5 ton	เหมาะเป็นพิเศษสำหรับการผลิตผนังเป็นจำนวนมาก
iii)	**การหล่อแบบซ้อน**	แผ่นพื้น และแผ่นหลังคา	ก) ความยาว : ตามต้องการ ข) ความกว้าง : 1 ถึง 4 m ค) มวล : 5 ton	เหมาะสำหรับการหล่อแผ่นคอนกรีตที่มีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งจะทำการหล่อซ้อนทับกันไปเรื่อย ๆ โดยมีวัสดุคั่นทำหน้าที่แบ่งระหว่างแต่ละชั้น
iv)	**แบบหล่อแบบยกตั้งได้** — แบบหล่อชนิดนี้สามารถยกขึ้นให้อยู่ในแนวตั้งได้ด้วยแม่แรงไฮดรอลิก	ผนังภายนอกที่ต้องการลวดลายพิเศษด้านเดียว หรือแผ่นคอนกรีตแบบประกบ	ก) ความยาว : 6 m ข) ความกว้าง : 4 m ค) มวล : 5 ton	เหมาะสำหรับการผลิตผนังภายนอก
v)	**แท่นหล่ออัดแรงแบบแนวยาว**	แผ่นคอนกรีตรูปตัวทีคู่ แผ่นพื้น เสา คาน แป เสาเข็ม	ก) ความยาว : ตามต้องการ ข) ความกว้าง : 2 m ค) ความสูง : 2 m ง) มวล : สูงสุด 10 ton	เหมาะเป็นพิเศษสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีต แบบอัดแรงก่อน (pre-tension)
vi)	**การรีด** — แบบหล่อคอนกรีตที่มีลักษณะยาว โดยมีขนาดหน้าตัดคงที่ การเทและ การสั่นคอนกรีตจะทำโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกับการหล่อแผ่นคอนกรีตกลวง	แผ่นหลังคา ผนังโฟม คอนกรีตและคาน ซึ่งการเทและการสั่นคอนกรีตจะทำโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกับการหล่อแผ่นคอนกรีตกลวง	ก) ความยาว : ตามต้องการ ข) ความกว้าง : ต่ำกว่า 2 m ค) ความสูง : ต่ำกว่า 3 m	เหมาะสำหรับบล็อกคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมกำลัง หรือแผ่นโฟมคอนกรีต

12.2 ข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.2.1 การเลือกขนาดของคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.2.1.1 ผู้ผลิตควรผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะขนาดยิ่งใหญ่ยิ่งประหยัดต้นทุนในการก่อสร้าง

12.2.1.2 ผู้ผลิตควรใช้ปัจจัยเหล่านี้ประกอบการพิจารณาในการเลือกขนาดของคอนกรีตหล่อสำเร็จที่จะทำการผลิต

(ก) เสถียรภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนย้าย

(ข) กฎหมายที่ควบคุมเกี่ยวกับขนาดและน้ำหนักในการขนส่ง รวมทั้งข้อจำกัดของเครื่องจักรที่ใช้ในการยก

(ค) กำลังของเครนที่ใช้ยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และตำแหน่งที่เครนจะต้องเคลื่อนไปทั้งในโรงงานและในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

(ง) พื้นที่ในการกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ รัศมีการเลี้ยวโค้งของรถบรรทุก ข้อจำกัดต่าง ๆ ของสถานที่ก่อสร้าง

(จ) เทคนิคการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.2.2 การเลือกใช้วัสดุสำหรับการผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ผู้ผลิตควรใช้ปัจจัยต่อไปนี้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ก) แหล่งวัตถุดิบ

(ข) น้ำหนัก

(ค) กำลัง

(ง) ความเป็นฉนวนกันความร้อน

(จ) ความเป็นฉนวนกันเสียง

(ฉ) ความยากง่ายในการทำงาน

(ช) การดูดซึมน้ำ

(ซ) ความทนทาน

(ฌ) การติดไฟ

(ญ) การประกอบ และติดตั้ง

(ฎ) ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

12.2.3 แบบหล่อ

12.2.3.1 ผู้ผลิตสามารถใช้แบบหล่อที่ทำมาจากวัสดุที่เป็นเหล็ก ไม้ คอนกรีต หรือพลาสติก และควรใช้ปัจจัยต่อไปนี้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบแบบหล่อ

(ก) ความสะดวกในการประกอบแบบและการถอดแบบหลังจากคอนกรีตแข็งตัว

(ข) ความแข็งแรงและมั่นคงของแบบหล่อต่อน้ำหนักของคอนกรีตสด และการจี้เขย่าหรือการสั่นคอนกรีตสด

(ค) ความทึบน้ำของแบบหล่อ

ผู้ผลิตควรเลือกใช้โต๊ะหล่อและแบบหล่อด้านข้างที่เป็นเหล็ก หากเป็นไปได้

12.2.3.2 ผนังของแบบหล่อประเภทยึดแน่นตายตัว (Fixed Sides) ต้องมีความลาดชันเพื่อความง่ายในการถอดแบบ

12.2.3.3 ผู้ผลิตควรผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยวางแบบหล่อในแนวราบเป็นหลัก โดยสามารถวางสายการผลิตไปตามแนวยาวของโรงงาน

12.2.4 การเร่งการก่อตัวของคอนกรีต

12.2.4.1 ผู้ผลิตสามารถเร่งการก่อตัวของคอนกรีต เพื่อลดเวลาในการบ่มคอนกรีต ซึ่งจะทำให้การถอดแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จทำได้เร็วขึ้น ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยใช้เทคนิคต่อไปนี้

(ก) การทำให้มวลรวมและน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการผสม

(ข) การอบไอน้ำ

(ค) การฉีดไอน้ำเข้าไประหว่างการผสม

(ง) การบ่มในอากาศที่มีอุณหภูมิสูง

(จ) การบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 50-80 °C

(ฉ) การใช้กระแสไฟฟ้า

(ช) การใช้สารเคมี

(ซ) การหมุนเหวี่ยง (Consolidation by Spinning)

(ฌ) การใช้แรงกดคอนกรีตสด เพื่อไล่น้ำออก

(ญ) การดูดน้ำและอากาศ (Vacuum Treatment) จากคอนกรีตที่พึ่งเทเสร็จ

(ฎ) การให้แรงกระแทก โดยการยกปล่อยแบบหล่อที่บรรจุคอนกรีตสดขึ้นเล็กน้อยแล้วปล่อยให้ตกลงหลาย ๆ ครั้ง เพื่อไล่น้ำและอากาศส่วนเกินออกไป

12.2.4.2 หลังการเร่งการก่อตัวของคอนกรีตโดยวิธีข้างบน ผู้ผลิตควรทำการบ่มชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต่อโดยใช้วิธีปกติทั่วไปเพื่อให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้น

12.2.5 การทำเครื่องหมายและหมายเลขประจำชิ้นงาน

12.2.5.1 ผู้ผลิตต้องระบุรายละเอียดต่อไปนี้บนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จทุกชิ้น

(ก) หมายเลขประจำชิ้นงาน

(ข) เครื่องหมายที่ระบุตำแหน่งที่จะติดตั้งในอาคารและทิศทางในการติดตั้ง

(ค) วันที่ทำการผลิต

12.2.5.2 หมายเลขประจำชิ้นงานต้องสอดคล้องกับที่ระบุในแบบก่อสร้าง

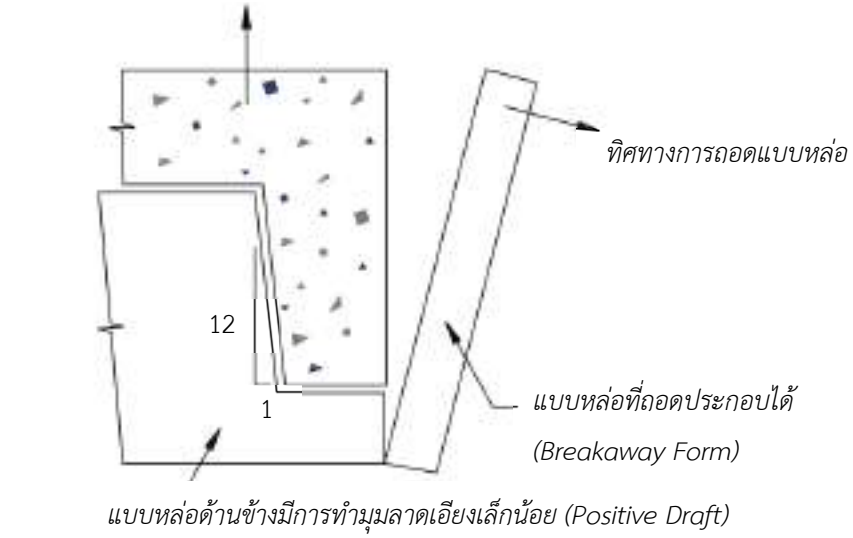
12.3 ข้อกำหนดความปลอดภัยในการผลิตและการกองเก็บ

12.3.1 การป้องกันความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.3.1.1 เพื่อป้องกันความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการถอดแบบ (หลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวและมีกำลังเพียงพอ) ผู้ผลิตสามารถดำเนินการ ดังนี้

(ก) ออกแบบให้ตัวแบบหล่อด้านข้างมีมุมลาดเอียงเล็กน้อย (Positive Draft) เพื่อง่ายต่อการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ และเพื่อช่วยลดฟองอากาศในคอนกรีตได้อีกทางนึงด้วย หรือ

(ข) เลือกใช้แบบหล่อที่ถอดประกอบได้ (Breakaway Form) ดังแสดงในรูปที่ 12.2



รูปที่ 12.2 แบบหล่อด้านข้างที่มีมุมลาดเอียงและแบบหล่อที่ถอดประกอบได้

12.3.1.2 เพื่อป้องกันความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการเคลื่อนย้ายให้ผู้ผลิตดำเนินการ ดังนี้

(ก) กำหนดวิธีการ รูปแบบการจัดวาง ตลอดจนตำแหน่งจุดรองรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วน และป้องกันไม่ให้มีแรงกระทำและหน่วยแรงขณะขนส่งและขณะกองเก็บสูงเกินกว่าที่คำนวณออกแบบไว้

(ข) กำหนดมาตรการในการป้องกันความเสียหายของส่วนต่าง ๆ ที่มีลักษณะยื่นออกจากชิ้นส่วนหลัก เช่น มุม หรือครีบ

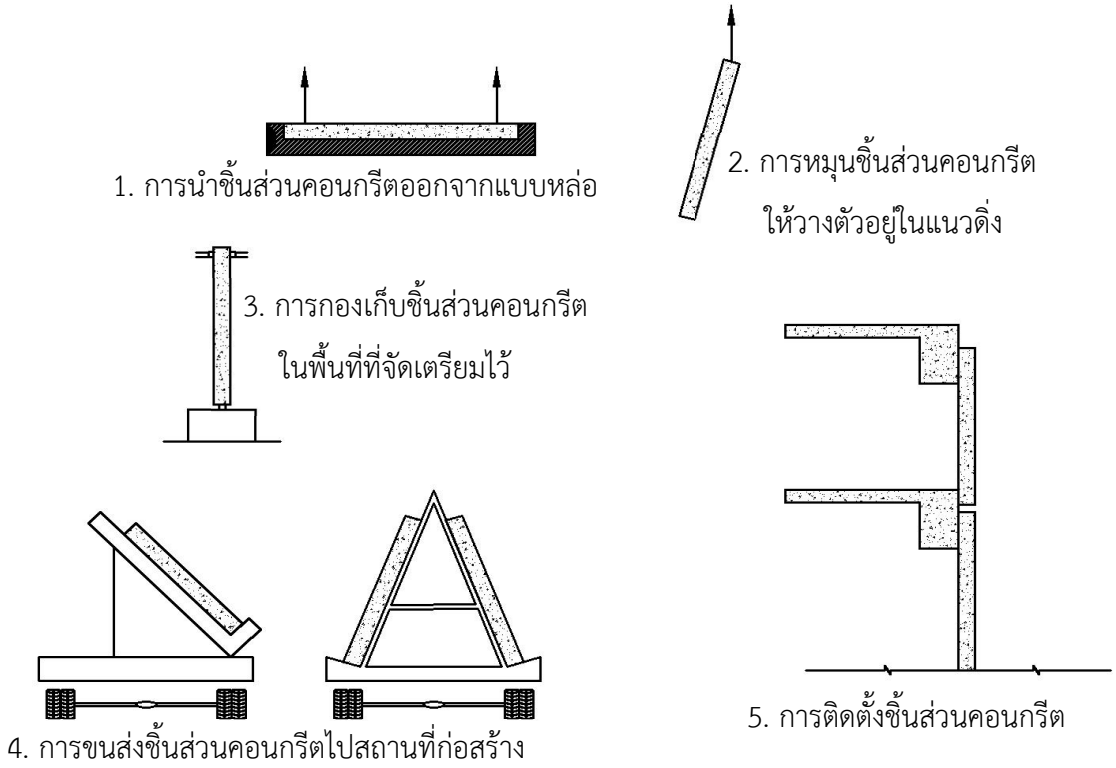
(ค) เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ไม่มีปัญหาเรื่องสีตก หรือเสียรูป จนทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีรอย สีตก หรือมีตำหนิถาวร

(ง) หาวิธีป้องกันไม่ให้มีน้ำหรือขยะสะสมอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

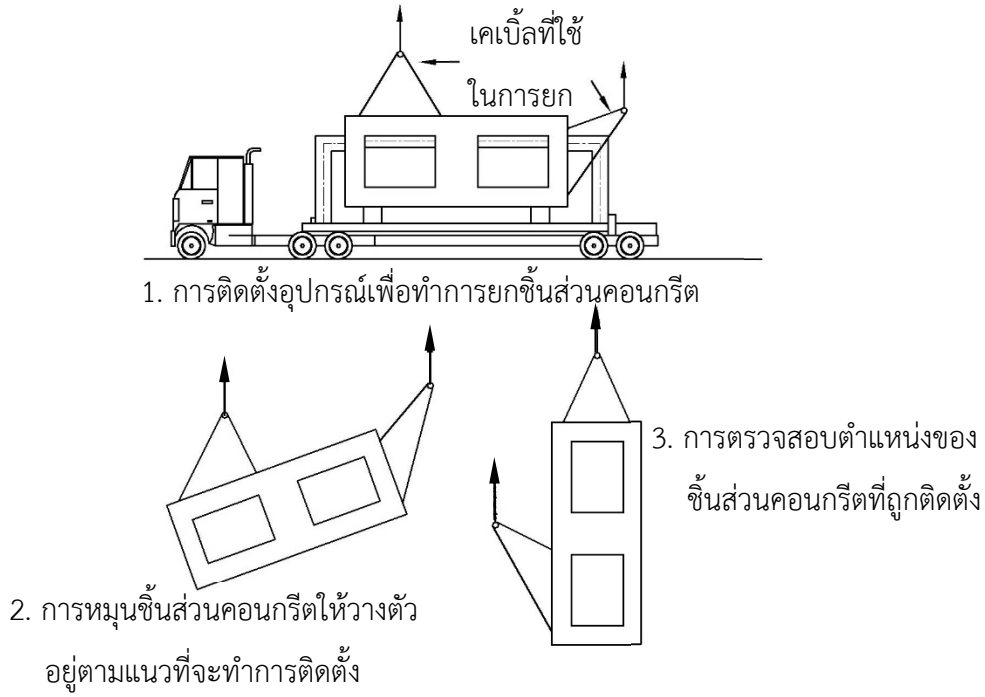
12.3.2 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.3.2.1 สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ติดตั้งในแนวดิ่ง เช่น ผนัง หรือเสา ผู้ผลิตควรยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ (ซึ่งปกติอยู่ในแนวราบ) และหมุนให้ไปวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง (ตามทิศทางที่จะถูกติดตั้ง) ก่อนจะนำไปกองเก็บหรือขนส่งต่อไป (รูปที่ 12.3) เพื่อทำให้การรับแรงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการกองเก็บและขนส่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการรับแรงหลังจากทำการติดตั้งในอาคารแล้ว และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.3.2.2 สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความสูงมากกว่า 1 ชั้น ผู้ผลิตสามารถกองเก็บและขนส่งตามแนวด้านยาว จากนั้นค่อยทำการหมุนแล้วยกขึ้นไปติดตั้งตามความสูงของอาคาร (รูปที่ 12.4)



รูปที่ 12.3 ขั้นตอนการทำงานเพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จน้อยที่สุด [56]



รูปที่ 12.4 ขั้นตอนการขนส่งและการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความสูงมาก ๆ เพื่อนำไปติดตั้ง [56]

12.3.3 กระบวนการตรวจสอบและดูแลระหว่างการกองเก็บ

ในระหว่างการกองเก็บ ผู้ผลิตควรมีกระบวนการตรวจสอบและดูแลต่อไปนี้

(ก) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีลักษณะเป็นแผ่น เช่น แผ่นพื้น และผนัง จะต้องจัดวางตามทิศทางที่ถูกคำนวณออกแบบไว้เพื่อการกองเก็บ ดังนั้นผู้ผลิตต้องทำเครื่องหมายบนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแสดงถึงทิศทางการวางระหว่างการกองเก็บ

(ข) พื้นที่ในบริเวณที่กองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องมีความแข็งแรงพอ ต้องไม่ทรุดหรือยุบตัวลงเมื่อมีน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกดลงมา

(ค) การกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในแนวราบ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้หนุนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องอยู่ในแนวที่ตรงกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดหน่วยแรงส่วนเกินจากการที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จยื่นเลยจากวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้หนุนออกไป

(ง) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้รับการจัดวางให้มีการกระจายน้ำหนักที่สม่ำเสมอ

(จ) การกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในแนวดิ่งควรมีจำนวนไม่เกิน 6-10 ชิ้น และพื้นบริเวณที่กองเก็บเป็นพื้นราบและอยู่ในแนวระดับ

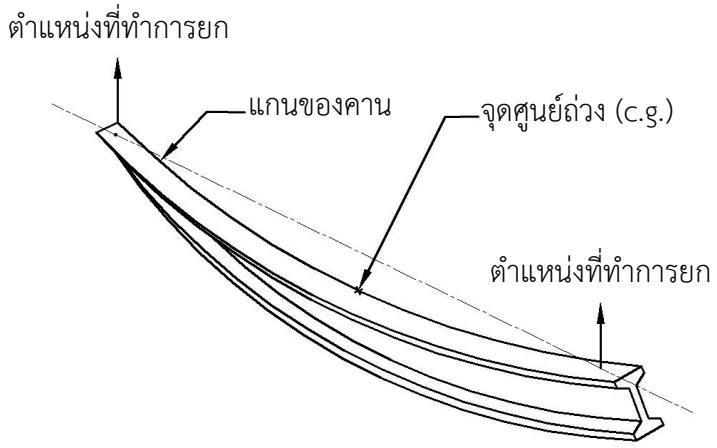
(จ1) ถ้าพื้นบริเวณที่กองเก็บเป็นพื้นที่มีการบดอัดให้แน่น น้ำหนักที่ถ่ายลงพื้นไม่ควรเกิน 15 ton/m^2 และไม่ควรวางซ้อนกันเกิน 6 ชิ้น

(จ2) ถ้าพื้นบริเวณที่กองเก็บเป็นพื้นที่มีการเทคอนกรีต น้ำหนักที่ถ่ายลงพื้นไม่ควรเกิน 30 ton/m^2 และไม่ควรวางซ้อนกันเกิน 10 ชิ้น

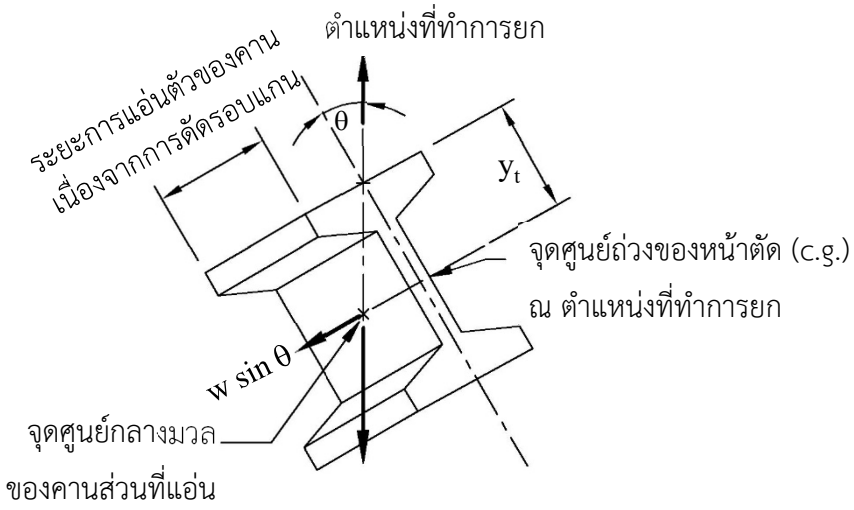
12.3.4 เสถียรภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการกองเก็บ

ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เป็นคอนกรีตอัดแรงมีโอกาสเกิดการโก่งเดาะด้านข้าง (Lateral buckling) ได้ยากกว่าชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป แต่ในขั้นตอนของการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ หากจุดรองรับมีการให้ตัวหรือเสียรูปได้ อาจส่งผลให้ชิ้นส่วนคอนกรีตที่มีความชะลูด (Slender) เกิดการดัดในทิศทางด้านข้าง (Lateral bending) ได้ โดยเฉพาะคานของสะพานหรือคานของอาคารจอดรถที่มักจะมีความยาวมาก ๆ

รูปที่ 12.5 แสดงการโก่งตัวของคานที่เกิดทั้ง 2 แกน ในขณะที่ทำการยกเพื่อเคลื่อนย้าย เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้ออกแบบควรพิจารณาเลื่อนจุดติดตั้งอุปกรณ์ฝังยึดสำหรับการยกให้เข้ามาอยู่ใกล้กันมากขึ้น และพิจารณาผลของการมีส่วนยื่นของคานที่เพิ่มขึ้นไปพร้อม ๆ กัน หรือทำการเสริมกำลังเป็นการชั่วคราวระหว่างการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง



(ก) คานที่มีการแอ่นตัวทั้งแนวดิ่งและแนวราบ



(ข) แผนภาพอิสระของวัตถุ (F.B.D.)

รูปที่ 12.5 การโก่งตัวของคานในขณะที่ทำการยกเพื่อเคลื่อนย้าย

12.3.5 จุดรองรับสำหรับการกองเก็บ

12.3.5.1 จุดรองรับสำหรับการกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จควรเป็นจุดเดียวกัน หรือใกล้เคียงกับจุดที่ใช้ในการยกออกจากแบบหล่อ และจุดที่ใช้ยกเพื่อเคลื่อนย้าย ในกรณีที่จุดรองรับหรือจุดยกในแต่ละขั้นตอนการทำงานไม่ตรงกัน ให้วิศวกรผู้ออกแบบทำการวิเคราะห์และตรวจสอบ พร้อมทั้งแจ้งผู้ที่เกี่ยวข้องให้รับทราบ

12.3.5.2 โดยทั่วไปแล้ว การกองเก็บจะใช้จุดรองรับ 2 จุด ในกรณีที่มีจุดรองรับมากกว่า 2 จุด จะต้องระวังในเรื่องของการทรุดตัวของจุดรองรับที่อาจเกิดขึ้นได้ การออกแบบให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าเท่า ๆ กันบนพื้นผิวทั้ง 2 ด้านของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถช่วยลดการเสียรูปของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการกองเก็บได้

12.3.5.3 วัสดุที่ใช้รองรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องมีความแข็งแรง ทนทาน และยืดหยุ่น เพื่อให้มีการกระจายน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ตามที่ออกแบบไว้

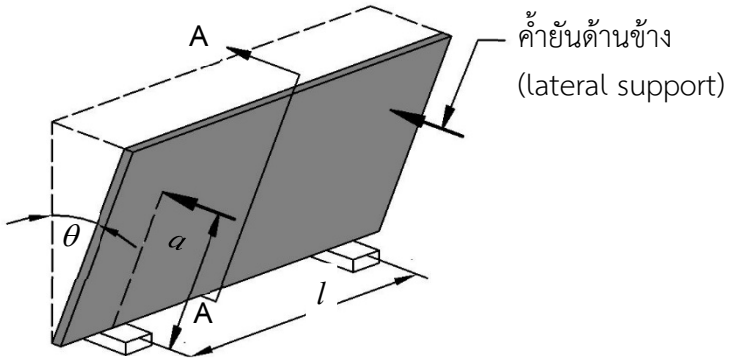
12.3.5.4 ปัญหาการเสียรูป (Warpage) ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือการหดตัวที่ไม่เท่ากันของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละด้าน มีโอกาสเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในระหว่างการกองเก็บ เป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่สามารถผ่อนปัญหาจากหนักเป็นเบาได้ โดยการ

(ก) ทำช่องเก็บสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละชิ้น (Blocking) หรือการใส่ค้ำยันระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละชิ้นให้มีจำนวนมากพอ

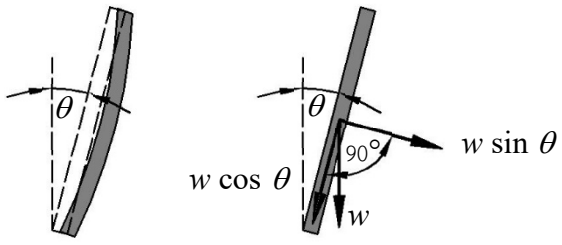
(ข) ป้องกันแสงแดดที่จะไปทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวทั้งสองด้านของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

วางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้อยู่ในแนวดิ่ง เพื่อให้แกนหลักของหน้าตัดรับแรงดัด

12.3.5.5 ในกรณีที่วางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยมีจุดรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 12.6 การเสียรูประหว่างการกองเก็บมีโอกาสเกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง การคำนวณหาค่าการโก่งตัวสูงสุดในขณะที่รับแรง ($y_{\max}$) โดยวิธี Superposition จะสามารถหาได้จากสมการที่ 12.1



การวางแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเอียงระหว่างการกองเก็บ



รูปที่ 12.6 การเสียรูปของผนังระหว่างการกองเก็บ

$$y_{\max} = \frac{0.013 \cdot w \cdot \sin\theta}{E_{ci}} \left[\frac{a^4}{I_c} + \frac{l^4}{I_b} \right] \qquad (12.1)$$

เมื่อ $y_{\max}$ = ค่าการโก่งตัวสูงสุดในขณะที่รับแรง (mm)

w = น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (N/mm^2 หรือ MPa)

E_{ci} = มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตขณะกองเก็บ (MPa)

a = ความสูงของตำแหน่งจุดค้ำยัน (mm)

l = ระยะระหว่างจุดรองรับ (mm)

I_c และ I_b = โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ของหน้าตัดผนังที่ไม่มีการแตกร้าว (uncracked section) ในแต่ละทิศทางที่พิจารณาการโก่งตัว (ตาม a และ l) โดยให้หน้าตัดของผนังในทิศทางที่พิจารณาการโก่งตัวมีความกว้าง 1 mm (mm^4/mm)

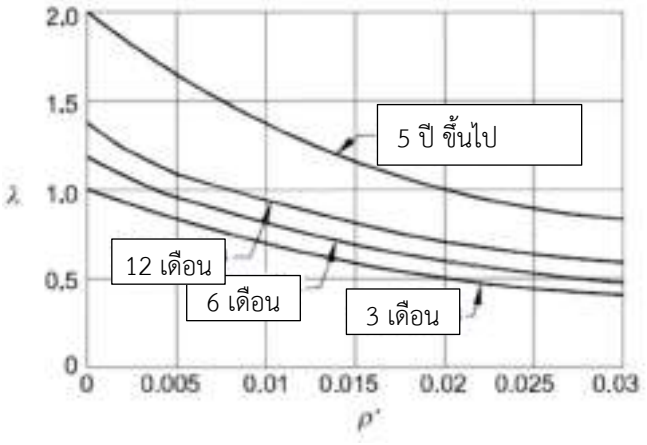
ค่าการโก่งตัวสูงสุดมีค่าเปลี่ยนไปตามเวลา (Time-Dependent) เนื่องจากการคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ค่าการโก่งตัวสูงสุดที่พิจารณาผลของเวลา (y_t) สามารถคำนวณได้จากค่าการโก่งตัวสูงสุดในขณะที่รับแรง ($y_{\max}$) และแฟกเตอร์ปรับค่า (λ) โดยใช้สมการที่ 12.2

$$y_t = y_{\max}(1+\lambda) \qquad (12.2)$$

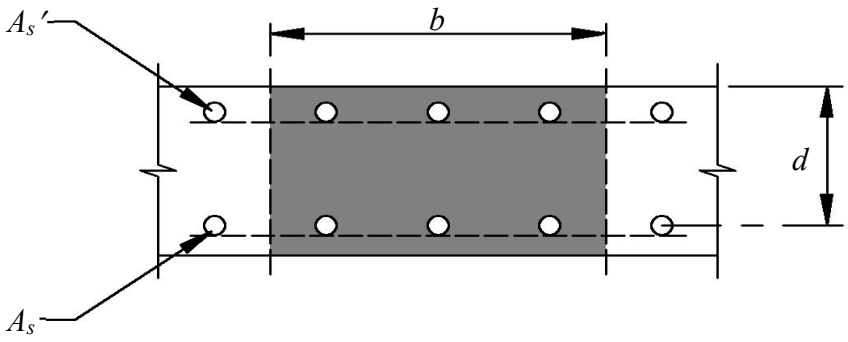
เมื่อ λ = แฟกเตอร์สำหรับผลของการคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) จากรูปที่ 12.7

และ ρ' = อัตราส่วนเนื้อที่หน้าตัดของปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด (ไม่รวมพื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง) คำนวณตามรูปที่ 12.8

$$= \frac{A_s'}{bd}$$



รูปที่ 12.7 ผลของแรงอัดในเหล็กเสริมที่มีต่อการคืบ (Creep) [56]



รูปที่ 12.8 เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้สำหรับการคำนวณ ρ'

12.4 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

12.4.1 ขนาดและมิติโดยรวม

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ที่มาตรฐานแนะนำสำหรับผู้ผลิต ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จบางประเภทได้แสดงไว้ในตารางที่ 12.3 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับชิ้นส่วนงานสถาปัตยกรรมควรมีค่าอยู่ในช่วง ±3.0 mm (สำหรับชิ้นส่วนขนาด 3 m หรือเล็กกว่า) ถึง ±6.5 mm (สำหรับชิ้นส่วนขนาด 6–12 m)

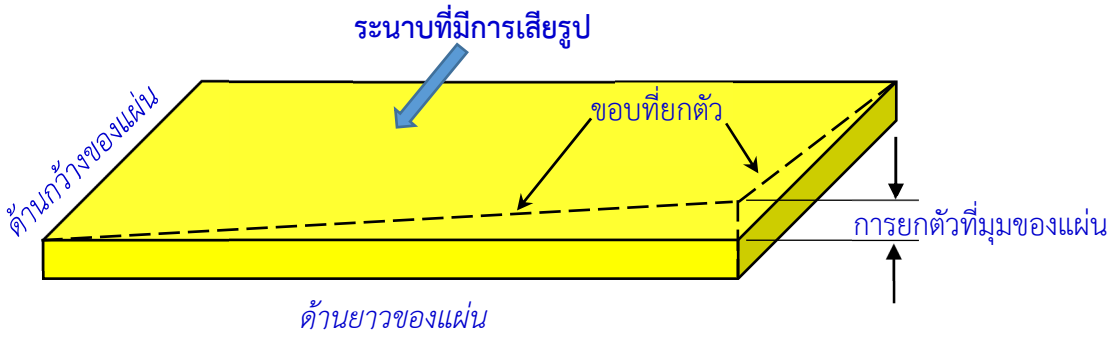
ตารางที่ 12.3 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

รหัสของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	
1 = คานและแผ่นพื้นหน้าตัดรูปอักษรทีคู่ (Double-T)	2 = คานและแผ่นพื้นหน้าตัดรูปอักษรทีเดี่ยว (Single-T)
3 = คานหน้าตัดรูปอักษรไอ (I)	4 = คานหน้าตัดสี่เหลี่ยม
5 = เสา	6 = แผ่นพื้น
7 = ผนัง	
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้	**ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ**
ความยาว	
± 10 mm	5 6 7
± 20 mm	4
± 25 mm	1 2 3
ความกว้าง	
± 5 mm	1 2 3 4 5 6 7
ความลึก	
± 5 mm	1 2 3 4 5 6 7

12.4.2 การเสียรูปของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหลังการถอดแบบ

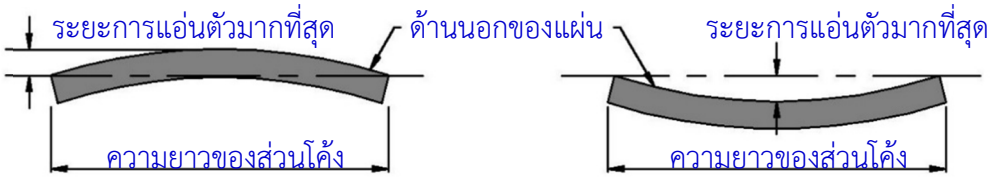
12.4.2.1 การเสียรูปของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหลังการถอดแบบนั้น อาจเกิดขึ้นระหว่างการผลิต หรือระหว่างการกองเก็บ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพพื้นผิวและความสวยงามของบริเวณรอยต่อระหว่าง แผ่นพื้นและผนังที่ต่อเนื่องกันโดยลักษณะการเสียรูป ดังนี้

(ก) การเสียรูปแบบมุมยกตัว (Warping) คือ การที่มุมของพื้นและผนังมีการยกตัวขึ้นสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ของระนาบของแผ่นดังแสดงในรูปที่ 12.9

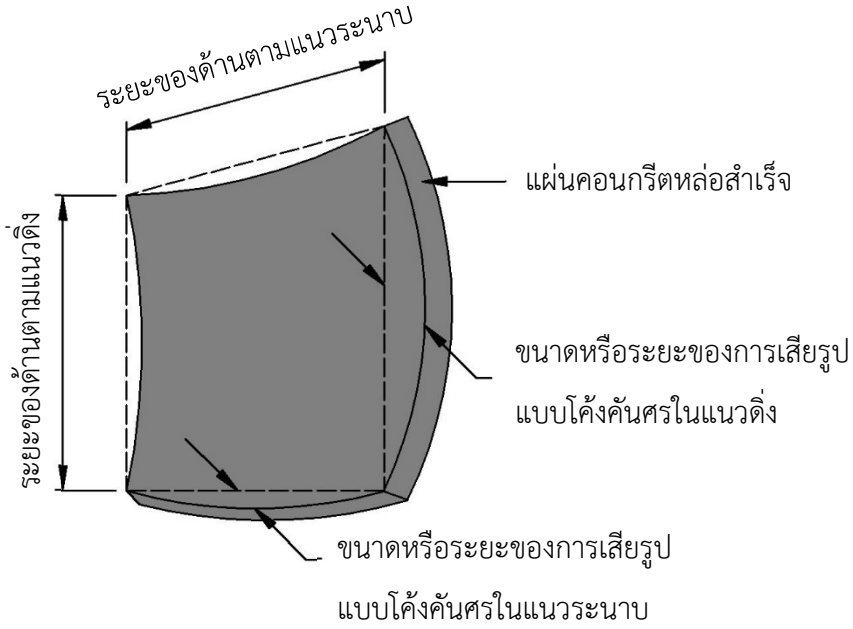


รูปที่ 12.9 การเสียรูปแบบมุมยกตัว (Warping)

(ข) การเสียรูปแบบโค้งคันศร (Bowing) จะมีความแตกต่างจากการเสียรูปแบบมุมยกตัว (Warping) ตรงที่ตำแหน่งของมุม 2 มุม จะอยู่ที่ระดับเดียวกัน และมีการแอ่นตัวบริเวณกลางแผ่น ดังแสดงในรูปที่ 12.10



รูปที่ 12.10 การเสียรูปแบบโค้งคันศร (Bowing)



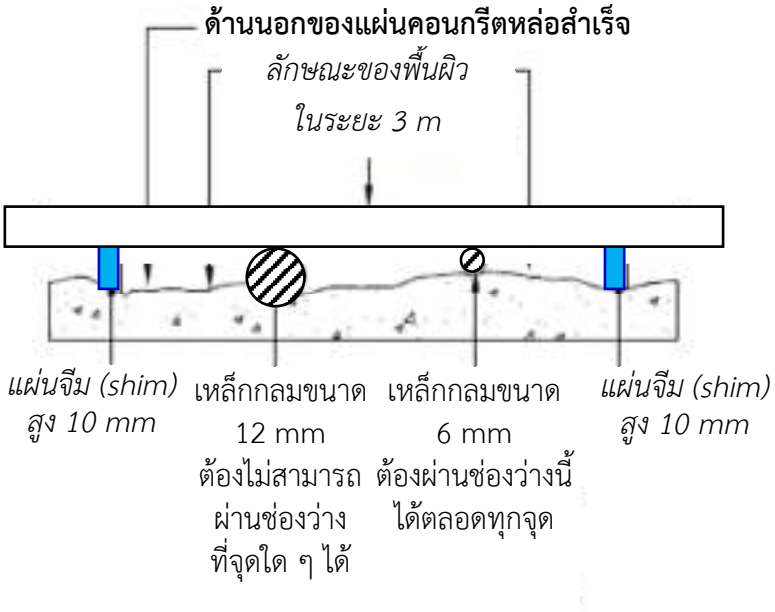
รูปที่ 12.10 การเสียรูปแบบโค้งคันศร (Bowing) (ต่อ)

12.4.2.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับการเสียรูปแบบมุมยกตัว (Warping) จึงกำหนดให้เป็นค่าที่อ้างอิงกับมุมของแผ่น โดยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ยกตัวขึ้นต่อระยะระหว่างมุมที่เกิดการเสียรูปแบบมุมยกตัว (Warping) กับมุมที่อยู่ใกล้ที่สุดต้องมีค่าไม่เกิน 5 mm/m

12.4.2.3 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับการเสียรูปแบบโค้งคันศร (Bowing) ของแผ่นแต่ละแผ่นต้องมีค่าไม่เกิน L/360 ในทิศทางที่พิจารณา และความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับการเสียรูปแบบโค้งคันศร (Bowing) ของแผ่นที่อยู่ติดกันต้องมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 12.5 mm

12.4.3 ความเรียบของพื้นผิว

ความเรียบของพื้นผิวชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Smoothness) มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของพื้นผิวเฉพาะในบริเวณที่อยู่ใกล้ ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 12.11 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับความแตกต่างของพื้นผิวนี้ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 mm ต่อความยาว 1 m



รูปที่ 12.11 ความขรุขระหรือความแตกต่างของพื้นผิวเฉพาะที่

ส่วนที่ 13 ข้อกำหนดการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้ง ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.1 ทั่วไป

13.1.1 ในการก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งควรร่วมกันวางแผนการทำงานทั้งระบบ เพื่อจะลดความยุ่งยากซับซ้อนของกระบวนการในการเคลื่อนย้ายและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย ลดความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุ และลดความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.1.2 ในการวางแผนการผลิตและก่อสร้างระบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ออกแบบต้องปฏิบัติ ดังนี้

(ก) ออกแบบขนาดและรูปทรงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยคำนึงถึงการทำงานทั้งในโรงงานผลิตและสถานที่ก่อสร้างว่าจะมีหรือใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์อะไรในการเคลื่อนย้าย ขนส่ง และติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และบริเวณสถานที่ก่อสร้างมีลักษณะและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างไร

(ข) ออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้มีความแข็งแรงในการรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ ทั้งขณะที่เคลื่อนย้าย ขนส่ง และติดตั้ง ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีช่องเปิดหรือมีส่วนยื่น ผู้ออกแบบต้องออกแบบตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดหรือส่วนยื่น ตลอดจนตำแหน่งและปริมาณของเหล็กเสริมด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันการแตกร้าวที่จะเกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในส่วนที่ 8

(ค) แยกวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จในขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และขณะเปิดใช้งาน ไปทีละขั้นตอน เนื่องจากแรงกระทำ กำลังของคอนกรีต ตลอดจนจุดรองรับและจุดยกมีความแตกต่างกันไปในแต่ละขั้นตอน

(ง) วางแผนให้มีการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ พร้อมทั้งออกแบบจุดยกและตัวฝังยึด สำหรับใช้ในการยกและเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

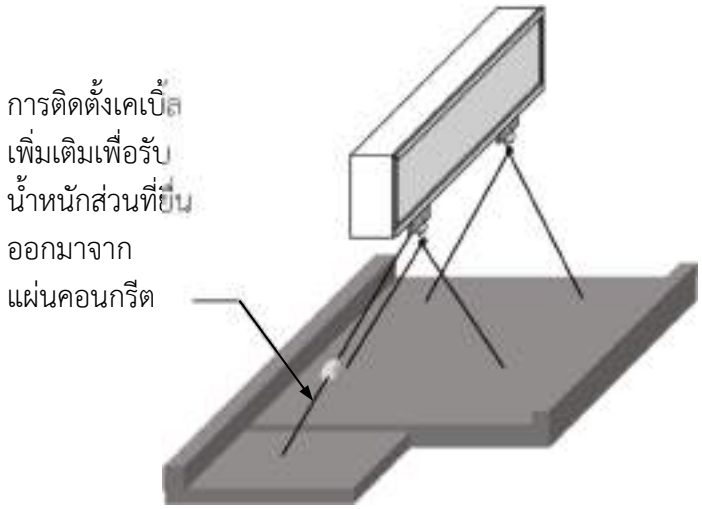
13.2 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.2.1 ตำแหน่งในการยกชิ้นส่วน

13.2.1.1 ผู้ผลิตต้องคำนวณออกแบบและกำหนดตำแหน่งในการยก สำหรับการยกเพื่อเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนมีค่าอยู่ในช่วงของหน่วยแรงที่ยอมให้ และตำแหน่งของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จวางตัวอยู่ในตำแหน่งที่ถูกออกแบบไว้ ระหว่างการยก รวมทั้งมีการกำหนดชนิดและตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการยกบนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

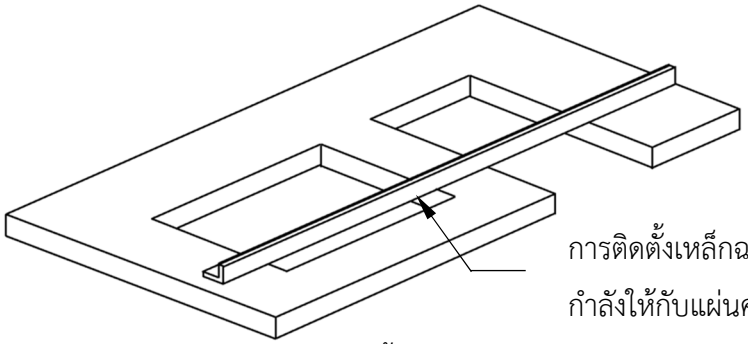
13.2.1.2 ในบางกรณี ผู้ผลิตต้องวางแผนเรื่องการยกเป็นพิเศษ เช่น

(ก) ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีรูปทรงที่ไม่สมมาตร อาจจะต้องมีการออกแบบตำแหน่งที่จะทำการยกเพิ่ม (Supplemental Lifting Point) จากกรณีปกติทั่วไป (ดูรูปที่ 13.1)

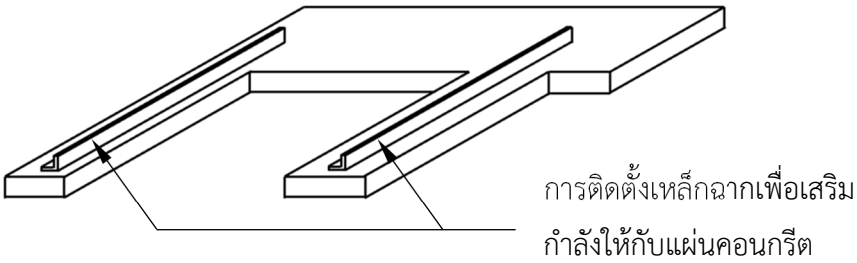


รูปที่ 13.1 การเพิ่มจุดยกให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Supplemental Lifting Point)

(ข) ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีช่องเปิดหรือมีระยะยื่นที่ยาว อาจจะต้องเสริมความแข็งแรงแบบชั่วคราวหรือแบบถาวรให้กับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังรูปที่ 13.2



(ก) ชิ้นส่วนที่มีช่องเปิด



(ข) ชิ้นส่วนที่มีการยื่น (Cantilever)

รูปที่ 13.2 การใช้เหล็กรูปพรรณเสริมกำลังให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Strong Back)

13.2.1.3 ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีรูปร่างพิเศษแตกต่างจากชิ้นส่วนทั่วไป จนต้องทำแบบหล่อเพิ่ม หรือต้องติดตั้งอุปกรณ์ในการยกเพิ่ม ผู้ผลิตสามารถคิดค่าใช้จ่ายเพิ่มจากผู้ว่าจ้างได้

13.2.2 การยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ

13.2.2.1 ผู้ผลิตควรวางแผนทิศทางในการวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการกองเก็บ การขนส่ง และหลังการติดตั้งเสร็จ เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดวิธีการที่จะใช้ในการถอดแบบ หรือยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ (Stripping) ว่าจะเป็นการทำในแนวราบ แนวดิ่ง หรือแนวเอียง

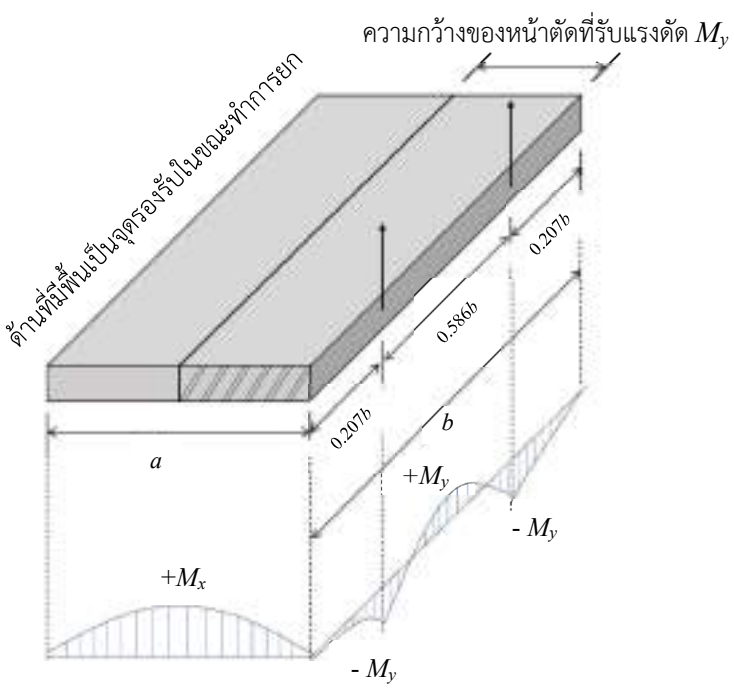
13.2.2.2 ผู้ผลิตต้องเป็นผู้คำนวณออกแบบตำแหน่งในการยก และออกแบบตัวฝังยึดสำหรับการยก (เช่น การติดตั้งพุก สมอ หรือห่วงเหล็ก เพื่อใช้ในการยก) โดยให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีค่าไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ในระหว่างที่ทำการยก ซึ่งหน่วยแรงที่ยอมให้นี้จะสัมพันธ์กับการควบคุมรอยแตกร้าว

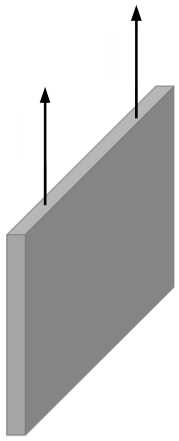
13.2.2.3 หากเป็นไปได้ ผู้ผลิตควรคำนวณออกแบบตัวฝังยึดให้เป็นอุปกรณ์ชุดเดียวกัน สำหรับการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อและการยกเพื่อติดตั้ง ในกรณีที่ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันได้ ให้ติดตั้งตัวฝังยึดเพิ่ม เพื่อให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถถูกยกขึ้นและหมุนปรับทิศทางไปตามที่จะติดตั้งจริงได้

13.2.2.4 ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับแรงดัดที่เกิดขึ้นระหว่างการยก

(ก) ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อ โดยทำการยกขอบด้านเดียว ขอบด้านล่างที่จะเป็นจุดหมุนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในขณะที่ทำการยก แรงดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 13.3 ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบนี้มีข้อควรระวังคือ การแตกกะเทาะของคอนกรีตในขอบด้านที่เป็นจุดหมุน ผู้ผลิตควรหาวัสดุอื่นที่รับแรงกดได้มารองรับขอบด้านล่างด้วย

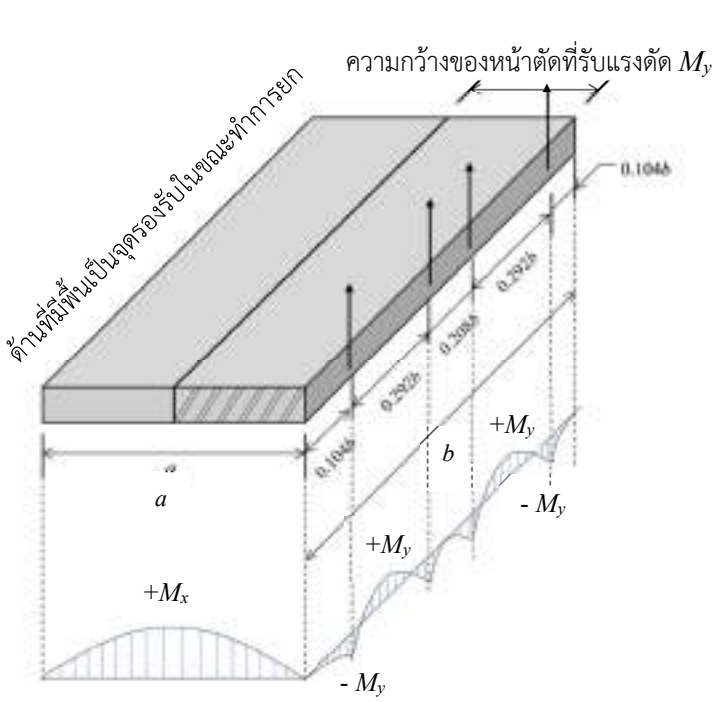
(ข) ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อในแนวราบ (Flat Stripping) จะทำให้เกิดแรงดัดตามรูปที่ 13.4

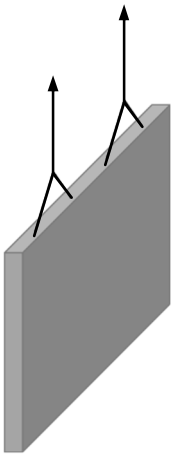




(ก) แรงดัดสูงสุด
สำหรับการยกแบบ 2 จุด

$-M_y = +M_y = 0.0107wab^2$





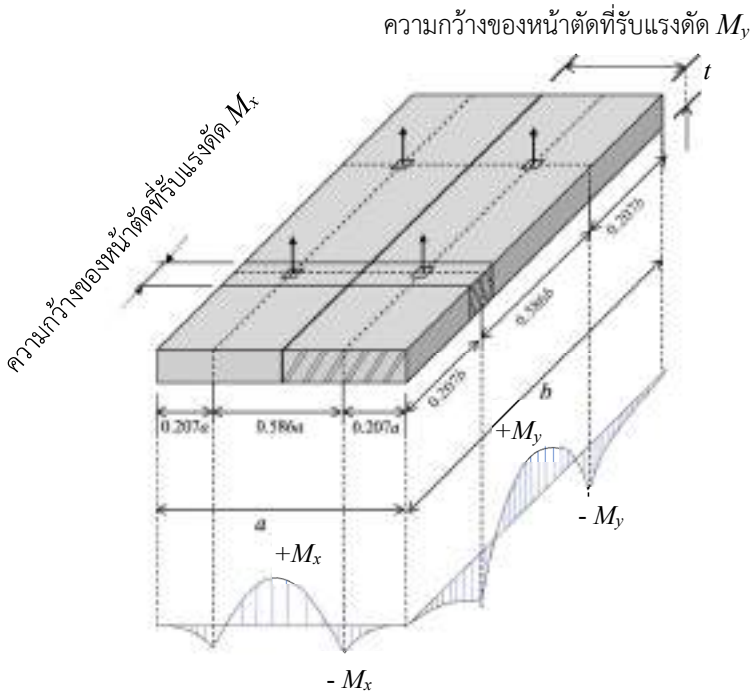
(ข) แรงดัดสูงสุด
สำหรับการยกแบบ 4 จุด

$-M_y = +M_y = 0.0027wab^2$

หมายเหตุ:

- เคเบิ้ลตามตำแหน่งในรูปรับแรงเท่ากันทุกเส้น
- w = น้ำหนักต่อพื้นที่
- M_x = แรงดัดต่อความกว้าง 1 หน่วย = $wa^2/8$
- ความกว้างของหน้าตัดที่รับแรงดัด $M_y = a/2$

รูปที่ 13.3 แรงดัดที่เกิดขึ้นเมื่อนำชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบโดยการยกที่ขอบด้านเดียว

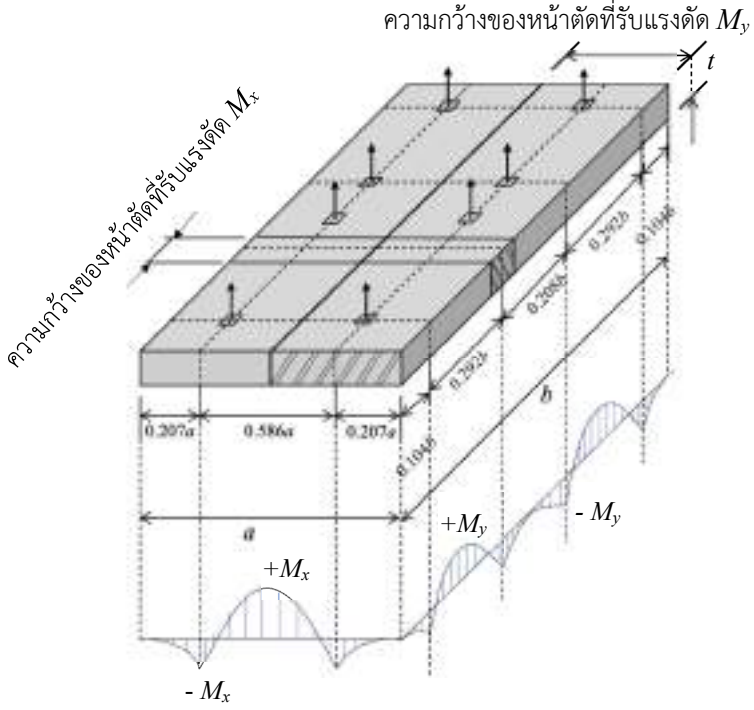


(ก) แรงดัดสูงสุด

สำหรับการยกแบบ 4 จุด

$-M_x = +M_x = 0.0107wa^2b$

$-M_y = +M_y = 0.0107wab^2$



(ข) แรงดัดสูงสุด

สำหรับการยกแบบ 8 จุด

$+M_x = -M_x = 0.0054wa^2b$

$+M_y = -M_y = 0.0027wab^2$

หมายเหตุ:

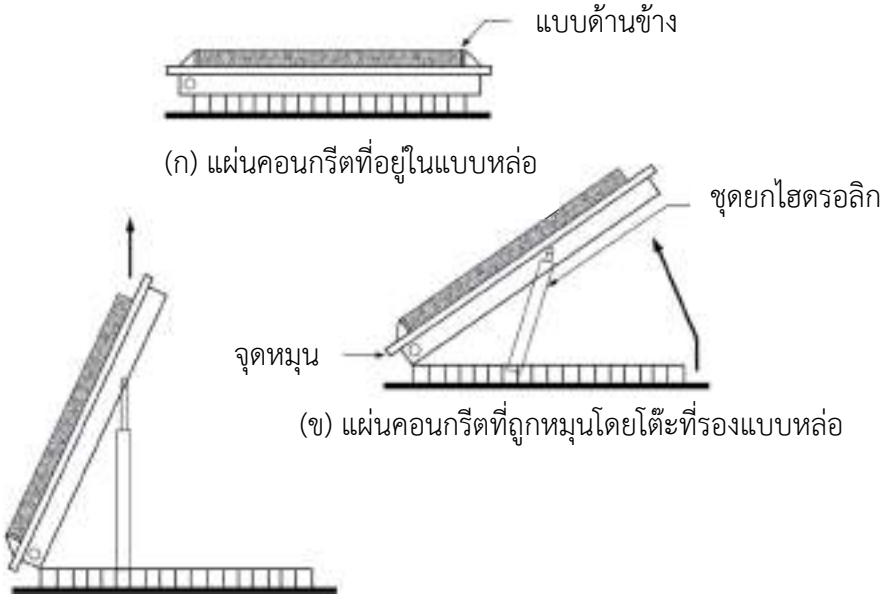
- เคเบิ้ลตามตำแหน่งในรูปรับแรงเท่ากันทุกเส้น
- w = น้ำหนักต่อพื้นที่
- ความกว้างของหน้าตัดที่รับแรงดัด Mx คือ ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $15t$ และ $b/4$
- ความกว้างของหน้าตัดที่รับแรงดัด $My = a/2$

รูปที่ 13.4 แรงดัดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการยกให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอยู่ในแนวราบ (Flat Stripping)

13.2.2.5 ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการยก

(ก) ในการวิเคราะห์หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการยกในทั้ง 2 กรณี ให้ใช้ “ความกว้างของหน้าตัดที่รับแรงดัด” ตามที่แสดงในรูปที่ 13.3 และ 13.4 ตามลำดับ

(ข) การนำโต๊ะแบบหล่อแบบยกหมุนเอียงได้ (Tilt Table หรือ Turning Rig) ดังแสดงในรูปที่ 13.5 มาใช้ จะช่วยลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการยกเพื่อนำชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากแบบหล่อลงได้



(ก) แผ่นคอนกรีตที่อยู่ในแบบหล่อ

(ข) แผ่นคอนกรีตที่ถูกหมุนโดยโต๊ะที่รองแบบหล่อ

(ค) การเคลื่อนย้ายแผ่นคอนกรีตออกจากแบบหล่อ (การถอดแบบ)

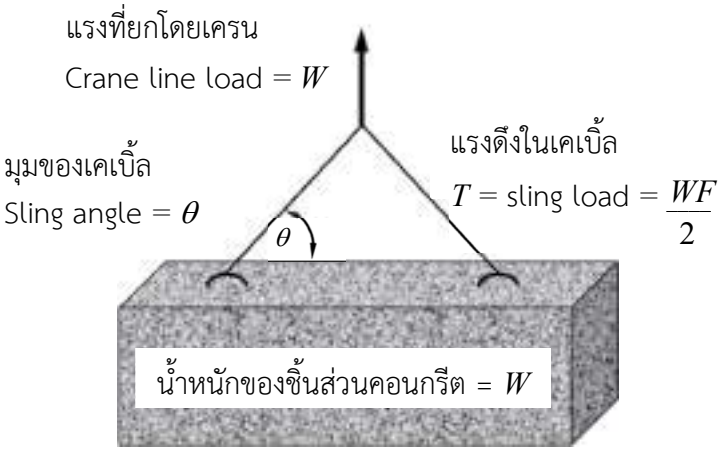
รูปที่ 13.5 การยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกจากโต๊ะแบบหล่อแบบหมุนเอียงได้ (Tilt Table)

(ค) ในกรณีที่ไม่สามารถหมุนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อทำการยกที่บริเวณขอบของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ เช่น มีข้อจำกัดเรื่องของ รูปร่าง พื้นที่ หรืออุปกรณ์ในการยก ผู้ผลิตสามารถติดตั้งตัวฝังยึดสำหรับการยกที่ผิวด้านบนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแทน โดยต้องออกแบบตำแหน่งของจุดยกเหล่านี้ให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นบนผิวทั้ง 2 ด้านมีค่าไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้

13.2.3 การยกเพื่อเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.2.3.1 ผู้ผลิตต้องพิจารณาหน่วยแรงและแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการยกตามวิธี เทคนิค และอุปกรณ์ที่ใช้ในการยก ดังนี้

(ก) การยกโดยใช้จุดยก 2 จุด จะมีแรงดึง T ในเคเบิ้ลในขณะที่ทำการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหนัก W ดังแสดงในรูปที่ 13.6



แฟกเตอร์ F สำหรับการคำนวณแรงดึง T ในเคเบิ้ล

θ	90°	75°	60°	45°	30°
F	1.00	1.04	1.16	1.41	2.00

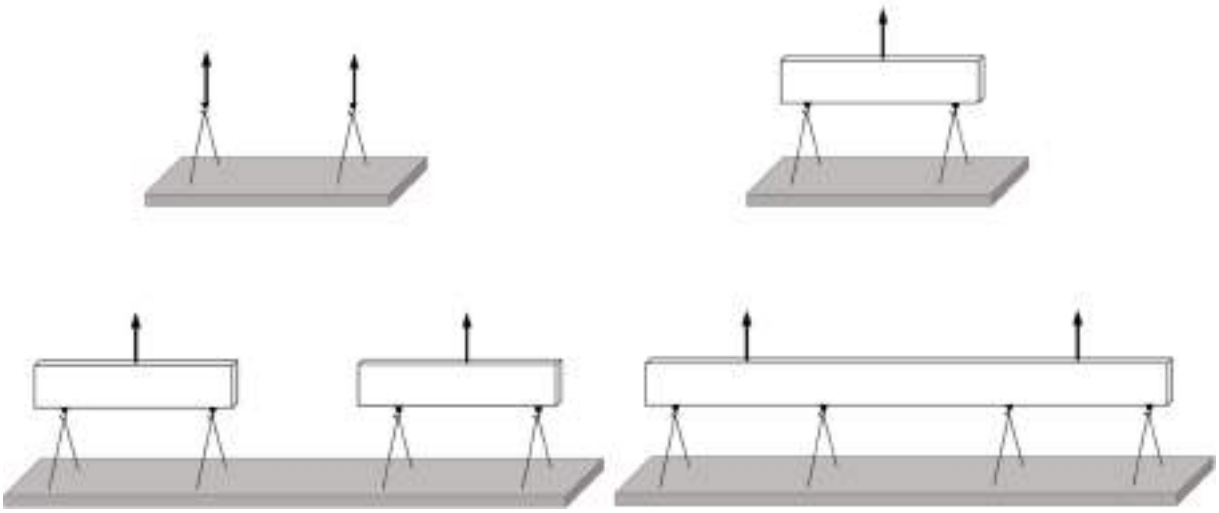
หมายเหตุ:

- โดยทั่วไป มุม θ มีค่าไม่น้อยกว่า 60°
- มุม θ ที่ใช้ในการคำนวณ เป็นมุมที่พิจารณาใน 3 มิติ (Bi-Directional Angle)
- ไม่แนะนำให้ใช้งานเคเบิ้ลโดยที่มุม θ มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 30°

รูปที่ 13.6 แรงดึงในเคเบิ้ล

ในกรณีที่มุมของการยก θ มีค่าน้อย ๆ องค์ประกอบของแรงดึง T ในแนวนอนจะทำให้เกิดแรงดัดเนื่องจากผลของ P-Δ Effect ได้ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องนำผลดังกล่าวมาพิจารณาในการออกแบบด้วย ดังนั้นในการออกแบบการยก ผู้ออกแบบต้องตรวจสอบแรงดัดดังกล่าวด้วยว่ามีค่าไม่สูงเกินกว่าที่หน้าตัดจะรับได้อย่างปลอดภัย

(ข) การยกโดยใช้จุดยก 4 หรือ 8 จุด ดังแสดงในรูปที่ 13.7 สามารถช่วยลดปัญหาจากแรงดัดเนื่องจากผลของ P-Δ ลงได้ โดยการเพิ่มจำนวนเครน หรือใช้คานถ่ายแรง (Spreader Beam)

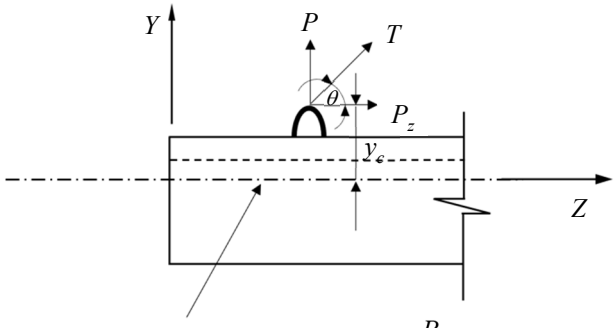


รูปที่ 13.7 การยกโดยให้เคเบิ้ลวางตัวในแนวดิ่ง

การเพิ่มจำนวนเคเบิ้ล (ซึ่งอาจต้องเพิ่มจำนวนเครน) หรือเพิ่มจำนวนของคานถ่ายแรง ดังแสดงในรูปที่ 13.7 นอกจากทำให้แรงดึงในเคเบิ้ลอยู่ในแนวดิ่งแล้ว ยังช่วยให้ผู้ผลิตสามารถคำนวณออกแบบให้แรงดึงในแต่ละเคเบิ้ลมีค่าแตกต่างกันได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีรูปร่างและความแข็งแรงในแต่ละช่วงแตกต่างกัน เช่น มีช่องเปิด หรือมีส่วนที่ยื่น ซึ่งโดยทั่วไปทำให้แรงที่ต้องใช้ยกในแต่ละจุดไม่เท่ากัน

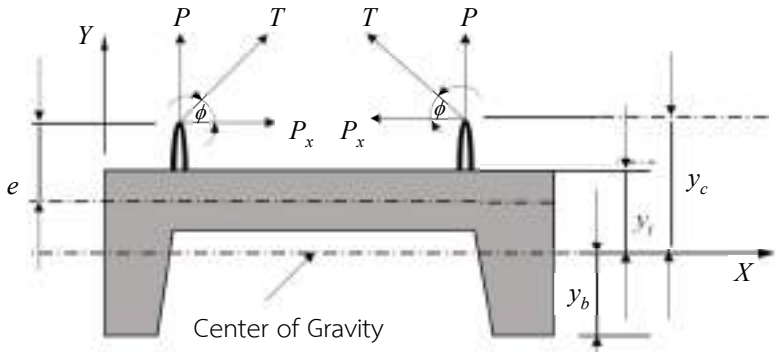
(ค) หากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จชิ้นใดมีการออกแบบเทคนิคการยกไว้เป็นกรณีพิเศษ จะต้องมีการเขียนรูปแบบการยกเอาไว้ในแบบปฏิบัติการ (Shop Drawing) ด้วย

13.2.3.2 การยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในบางรูปแบบ อาจจะมีแรงดัดเกิดขึ้นทั้งในทิศทางยาวและทิศทางขวาง (แรงดัดรอบแกน X และแกน Z ในรูปที่ 13.8 ตามลำดับ) เนื่องจากตำแหน่งของเคเบิ้ลที่ใช้ในการยกเมื่อเทียบกับหน้าตัดตามขวาง ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีหน้าตัดบางดังแสดงในรูปที่ 13.8 หน่วยแรงวิกฤตอาจจะเกิดขึ้นที่บริเวณระหว่างครีบ (Rib) ทั้ง 2 ข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ



$$P_z = \frac{P}{\tan\theta}$$

$$M_z = P_x y_c$$



$$P_x = \frac{P}{\tan\phi}$$

P = องค์ประกอบในแนวดิ่งของแรง T ในเคเบิ้ล

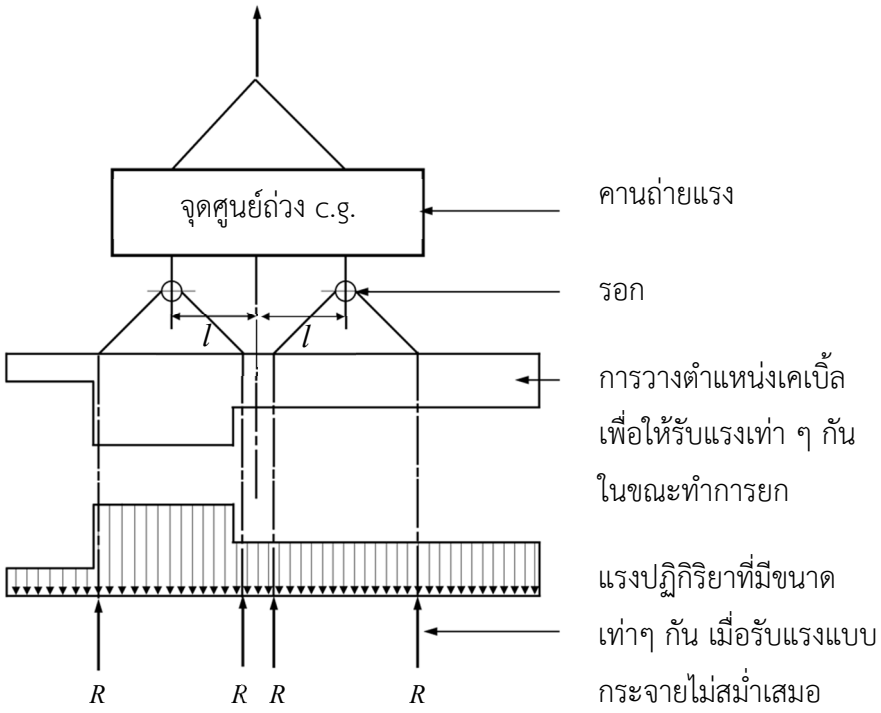
T = แรงดึงในเคเบิ้ล

$$T = P\sqrt{\frac{1}{\tan^2\phi} + \frac{1}{\sin^2\theta}}$$

รูปที่ 13.8 การยกชิ้นส่วนโดยที่เคเบิ้ลเอียงทำมุมกับแนวราบทำให้เกิดแรงดัด เนื่องจากแรงเยื้องศูนย์ P_x และ P_z (Eccentric Lifting)

13.2.3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดของหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ

(ก) ผู้ผลิตต้องทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งในการยกที่ทำให้แรงดึงในเคเบิ้ลมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 13.9



รูปที่ 13.9 การวางแผนการยกเพื่อให้มีแรงดึงในเคเบิ้ลมีค่าเท่ากัน ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีขนาดของหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ

(ข) การใช้รอก (Rolling Block) และคานถ่ายแรง (Spreader beam) ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดหน้าตัดไม่สม่ำเสมอและมีความยาวมากกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 13.9 จะช่วยปรับแรงดึงในเคเบิ้ลให้มีค่าที่ใกล้เคียงกันได้ ผู้ออกแบบสามารถทำการวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นในเคเบิ้ล (ในรูปที่ 13.8) โดยสมมติให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นคานต่อเนื่องที่มีแรงปฏิกิริยาเท่ากันทุกจุด แต่รับแรงแบบกระจายที่มีค่าแตกต่างกัน

13.2.3.4 ผู้ผลิตสามารถทำการวิเคราะห์และคำนวณออกแบบเกี่ยวกับการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากลอื่น ๆ ได้ เช่น ข้อกำหนดของมาตรฐาน PCI Design Handbook [56]

13.2.4 การคำนวณออกแบบการถอดแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.2.4.1 การคำนวณออกแบบการถอดแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Stripping Design) มีสิ่งที่ผู้ผลิตต้องคำนึงถึง ดังนี้

(ก) แรงดูดจากแบบหล่อ (Form Suction) และแรงแบบกระแทก (Impact Load)

(ข) แฟกเตอร์ความปลอดภัย หรืออัตราส่วนความปลอดภัย (Factors of Safety)

(ค) ขีดจำกัดของหน่วยแรง และการควบคุมรอยแตกร้าว

13.2.4.2 แฟกเตอร์แรงดูด (Form Suction Factor) และแฟกเตอร์แรงกระแทก (Impact Factor) แรงดูดจากแบบหล่อและแรงกระแทกที่กระทำกับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถคำนวณได้โดยการเอาแฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงในตารางที่ 13.1 มาคูณเข้ากับน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ แล้วทำการวิเคราะห์โดยทำเป็นแรงสถิตเทียบเท่า แฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงในตารางนี้ได้รวมแฟกเตอร์แรงดูด (Form Suction Factor) และแฟกเตอร์แรงกระแทก (Impact Factor) เข้าด้วยกันโดยอาศัยประสบการณ์การทำงานที่ผ่านมา ค่าในตารางที่ 13.1 จึงเป็นค่าที่มาตรฐานนี้แนะนำให้ใช้เป็นแนวทางสำหรับการคำนวณหาค่าแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการถอดแบบและแรงพลศาสตร์ (Dynamic force) ซึ่งอาจปรับเปลี่ยนได้ตามข้อมูลและประสบการณ์ที่ผู้ผลิตมี

ตารางที่ 13.1 แฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงที่ใช้ในการคำนวณหาแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับผลของแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการถอดแบบ และแรงพลศาสตร์[ก ข]

ประเภทของผลิตภัณฑ์	ผิว	
	มีการใช้สารหน่วง (Retarder) เพื่อทำให้ผิวมีความหยาบ หรือทำให้เกิดผิวแบบหินล้าง	ผิวเรียบ (มีการทาน้ำมันเพื่อให้มีความง่ายในการถอดแบบ)
ผิวเรียบ แบบด้านข้างสามารถถอดได้ ไม่มีร่องลายต่อหรือร่องลวดลาย	1.2	1.3
ผิวเรียบ ไม่มีร่องลายต่อและ/หรือร่องลวดลาย	1.3	1.4
ผิวลอน มีความเอียงของลอนเหมาะสม[ค]	1.4	1.6
ผิวแกะสลักและผิวลักษณะอื่น ๆ	1.5	1.7
การเคลื่อนย้ายในลานประกอบ[ง] และการติดตั้ง[ข]		
ผลิตภัณฑ์ทุกประเภท	1.2	
การเคลื่อนย้าย[ง](การขนส่ง)		
ผลิตภัณฑ์ทุกประเภท	1.5	

หมายเหตุ

ก. แฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงนี้ใช้สำหรับการคำนวณออกแบบแรงดัดของแผ่นคอนกรีต ซึ่งจะไม่นำไปใช้ร่วมกับแฟกเตอร์ความปลอดภัยของชุดอุปกรณ์ยก แรงดูดระหว่างแผ่นคอนกรีตกับแบบหล่อเป็นการประมาณการโดยการคูณแฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงกับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีต การคำนวณแรงดูดให้ถูกต้องและแม่นยำต้องใช้แฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงที่มีการพิจารณาพื้นที่สัมผัสจริงร่วมกับแฟกเตอร์แรงดูด ซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีต

ข. อาจสูงกว่านี้ในบางกรณี

ค. ตัวอย่าง เช่น แผ่นคอนกรีตรูปตัวที ร่อง และแผ่นคอนกรีตผิวลอน

ง. ในบางกรณีที่ผิวถนนหรืออุปกรณ์ เป็นต้น อยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม อาจจำเป็นต้องใช้ค่าที่สูงขึ้น

13.2.4.3 แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety)

สำหรับอุปกรณ์ทุกชิ้นที่เกี่ยวข้องกับการยกเพื่อถอดแบบต้องมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 4 การคำนวณแรงในอุปกรณ์แต่ละชิ้นให้พิจารณาน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยไม่ต้องนำแฟกเตอร์ปรับเพิ่มแรงในตารางที่ 13.1 มาใช้

13.2.4.4 ขีดจำกัดของหน่วยแรง

ผู้ผลิตต้องคำนวณออกแบบการถอดชิ้นส่วน โดยควบคุมไม่ให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่มีขนาดใหญ่จนมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Discernible-Cracking) บนพื้นผิวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในด้านที่เปิดเผยต่อสายตาของผู้คน และความกว้างของรอยแตกร้าวนี้ต้องเป็นไปตามข้อที่ 5.2.3

13.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.2.5.1 ในการผลิต การยก และการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ผลิตต้องมีเอกสารเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังนี้

(ก) คู่มืออธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการติดตั้งตัวฝังยึดสำหรับการยกชิ้นส่วนในการผลิต

(ข) คู่มือการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการยกและเคลื่อนย้ายชิ้นส่วน

(ค) ผลการทดสอบที่เกี่ยวกับตัวฝังยึดสำหรับการยกชิ้นส่วน เช่น ผลการทดสอบการรับแรงของตัวฝังยึด ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต เป็นต้น

13.2.5.2 ผู้ผลิตต้องติดตั้งตัวฝังยึดสำหรับการยกไว้ในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นอย่างดี เพื่อไว้ใช้ในการยึดกับเคเบิ้ลที่มาจากเครน ตัวอย่างของตัวฝังยึดเหล่านี้ ได้แก่

(ก) อุปกรณ์ประเภทห่วง (Loop) ที่ทำจากเหล็กเส้น (Rebar) ลวดอัดแรง (PC Strand) หรือเคเบิ้ลกำลังสูง (Aircraft Cable)

(ข) อุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึด (Thread Insert)

(ค) อุปกรณ์ประเภทพุกขนาดใหญ่ (Lifting Anchor)

(ง) อุปกรณ์ประเภทที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ (Proprietary Device)

13.2.5.3 การใช้อุปกรณ์ประเภทห่วงที่ดัดแปลงมาจากเหล็กเส้น ผู้ผลิตต้องคำนึงว่าแรงที่กระทำกับตัวฝังยึดสำหรับการยกชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นแรงพลศาสตร์ สมบัติเชิงกลที่ตัวฝังยึดเหล่านี้ต้องมี คือ ความเหนียว (Ductility) ดังนั้นการดัดแปลงเหล็กเส้นมาใช้เป็นตัวฝังยึดสำหรับการยกชิ้นส่วน ผู้ผลิตควรปฏิบัติ ดังนี้

(ก) หลีกเลี่ยงการใช้เหล็กข้ออ้อยมาดัดแปลงเป็นตัวฝังยึด เนื่องจากการเสียรูปจากการดัดโค้งจะทำให้หน่วยแรงในบริเวณดังกล่าวมีค่าหรือมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ที่ห่างออกไปมาก (Stress Concentration) โดยเฉพาะบริเวณที่เหล็กต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้ยึดเคเบิ้ลเข้ากับเหล็กข้ออ้อย (Shackle Pin) เข้าด้วยกัน นอกจากนี้เหล็กข้ออ้อยเองยังมีความเหนียว (Ductility) ที่ต่ำเมื่อเทียบกับเหล็กกลมทั่วไป และมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้น้อย เหล็กข้ออ้อยที่เกิดการคราก และมีการยืดตัวจนพฤติกรรมเข้ามาสู่ช่วงที่หน่วยแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (ช่วง Strain Hardening) หากนำมาดัด จะส่งผลให้มีความเหนียว (Ductility) เหลืออยู่น้อยจนอาจทำให้เกิดการวิบัติแบบเปราะ (Embrittlement) ได้

(ข) ดัดแปลงเหล็กกลมเรียบมาใช้เป็นตัวฝังยึดแทนการใช้เหล็กข้ออ้อย โดยมีเงื่อนไขในการนำมาใช้งาน ดังนี้

(ข1) มีข้อมูลสมบัติทางกลของเหล็กกลม

(ข2) มีระยะฝังในคอนกรีตเพียงพอหรือมีการใช้เทคนิคในการเสริมกำลังเพื่อลดระยะการฝังในคอนกรีต

(ข3) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่ใหญ่พอที่จะป้องกันการวิบัติเฉพาะที่ (Localized Failure) เนื่องจากแรงกดของอุปกรณ์ที่ใช้ยึดเคเบิ้ลเข้ากับเหล็กกลม (Shackle Pin)

13.2.5.4 การใช้อุปกรณ์ประเภทห่วงที่ทำจากเคเบิ้ลกำลังสูงจะเหมาะกับการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก เคเบิ้ลกำลังสูงมีหลายขนาดและรับแรงได้แตกต่างกัน ข้อกำหนดในการใช้ตัวฝังยึดประเภทห่วงที่ทำจากเคเบิ้ลกำลังสูง มีดังนี้

(ก) ณ จุดยกเดียวกัน สามารถติดตั้งห่วงที่ทำจากเคเบิ้ลกำลังสูงได้เพียงห่วงเดียวเท่านั้น

(ข) ระยะฝังในคอนกรีตของปลายเคเบิ้ลแต่ละด้านต้องไม่น้อยกว่า 120 cm (48 in)

(ค) เคเบิ้ลจะต้องถูกยึดเข้ากับเหล็กเสริมในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.2.5.5 การใช้อุปกรณ์ประเภทห่วงที่ทำจากลวดอัดแรง ผู้ผลิตจะต้องพิจารณาถึงกำลังของลวดอัดแรง ระยะฝังในคอนกรีต เส้นผ่านศูนย์กลางของห่วง และกำลังอัดของคอนกรีต เพราะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงระหว่างการยก

ข้อกำหนดในการใช้ตัวฝังยึดประเภทห่วงที่ทำจากลวดอัดแรง มีดังนี้

(ก) ผู้ผลิตต้องมีผลการทดสอบที่แสดงถึงกำลังในการรับแรงของอุปกรณ์ประเภทนี้ ณ จุดที่เกิดการเคลื่อนตัวของลวดอัดแรงออกจากเนื้อคอนกรีต (Strand Slippage) หรือจุดที่เกิดการวิบัติของลวดอัดแรง (Strand Failure) ขณะทำการยก และให้ใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factors of Safety) เท่ากับ 4 สำหรับการยกจริง

(ข) ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบตาม (ก) การใช้ลวดอัดแรงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(ข1) มีระยะฝังของปลายแต่ละข้างของห่วง ต้องไม่น้อยกว่า 60 cm (24 in)

(ข2) พื้นผิวของลวดอัดแรงต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน ฝุ่น หรือสนิม

(ข3) เส้นผ่านศูนย์กลางของห่วงมีขนาดไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดอัดแรง และต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 5 cm (2 in)

(ข4) ไม่ใช้ลวดอัดแรงที่มีสนิม หรือลวดอัดแรงที่ไม่ทราบขนาดและกำลัง

(ค) การใช้ห่วงที่ทำจากลวดอัดแรงสามารถติดตั้งได้มากกว่า 1 ห่วง ณ จุดยกเดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติค่อนข้างทำได้ยาก ข้อกำหนดในการใช้ห่วงมากกว่า 1 ห่วง ณ จุดยกเดียวกัน มีดังนี้

(ค1) ให้คำนวณความสามารถในการรับแรงของห่วง 2 ห่วง (Double-Strand Loops) และ 3 ห่วง (Triple-Strand Loops) ที่ถูกติดตั้งไว้ที่จุดยกเดียวกัน โดยการคูณความสามารถในการรับแรงของห่วง 1 ห่วง ด้วยค่า 1.7 และ 2.2 ตามลำดับ

(ค2) เพื่อหลีกเลี่ยงโอกาสที่ห่วงใดห่วงหนึ่งจะรับแรงสูงเกินกว่าห่วงอื่น ๆ การทำห่วงจะต้องระมัดระวังมิให้แต่ละห่วงมีขนาดที่แตกต่างกัน

13.2.5.6 **การใช้อุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึด (Thread Insert) จะใช้สำหรับการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดใหญ่**

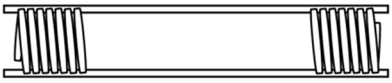
(ก) อุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึดจะมีการใช้คู่กับอุปกรณ์ที่เสริมกำลังในการยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต เช่น อุปกรณ์ที่เป็นแกนเหล็กยึดติดกับขดลวดที่ปลายทั้ง 2 ข้าง (Two-Strut Coil หรือ Four-Strut Coil) หรืออุปกรณ์แบบที่เป็นแกนเหล็กรูปตัว U ยึดติดกับขดลวดที่ปลาย (Coil Loop) (ดูรูปที่ 13.10)

(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึดต้องรักษาตำแหน่งการติดตั้งให้อุปกรณ์ประเภทนี้อยู่ในแนวดิ่ง มิฉะนั้นกำลังในการรับแรงจะลดลงอย่างมากถ้าหากติดตั้งไปแล้วเอียง

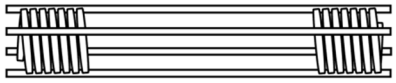
(ค) ระยะฝังของอุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึดต้องมีความลึกมากพอเพื่อให้มีพื้นที่ประสิทธิผลของกรวยรับแรงเฉือน (Shear Cone) เพียงพอ

(ง) การเลือกใช้อุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึด (Thread Insert) มีข้อแนะนำ ดังนี้

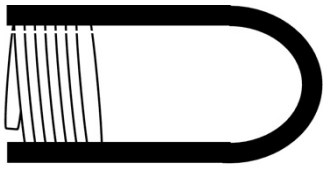
(ง1) ในกรณีที่ตัวฝังยึดรับเฉพาะแรงดึงในขณะทำการยก ผู้ผลิตสามารถเลือกติดตั้งอุปกรณ์แบบห่วงกลมที่มีปลายเกลียว (Eye Bolts) หรือห่วงเคเบิ้ล (Wire-Rope Loops) ในรูปที่ 13.10 เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้การยกเพื่อเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จทำได้อย่างรวดเร็ว



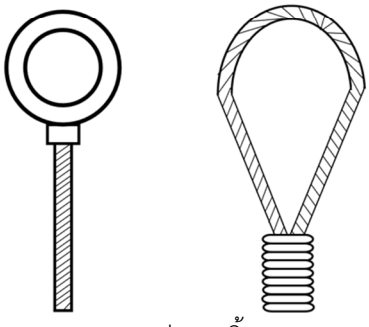
อุปกรณ์ที่เป็นแกนเหล็ก 2 ชิ้น ยึดติดกับขดลวดที่ปลายทั้ง 2 ข้าง (Two-Strut Coil)



อุปกรณ์ที่เป็นแกนเหล็ก 4 ชิ้น ยึดติดกับขดลวดที่ปลายทั้ง 2 ข้าง (Four-Strut Coil)



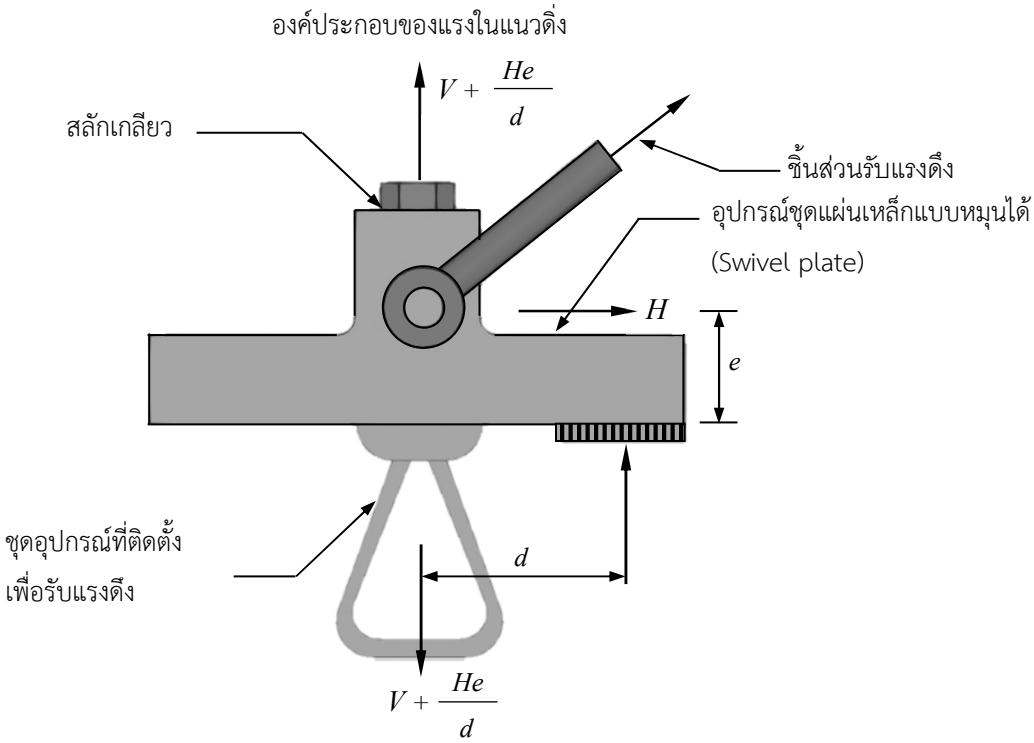
อุปกรณ์แบบที่เป็นแกนเหล็กรูปตัว U ยึดติดกับขดลวดที่ปลาย (Coil Loop)



ห่วงกลม (Eye Bolts) ห่วงเคเบิ้ล (Wire-Rope Loops)

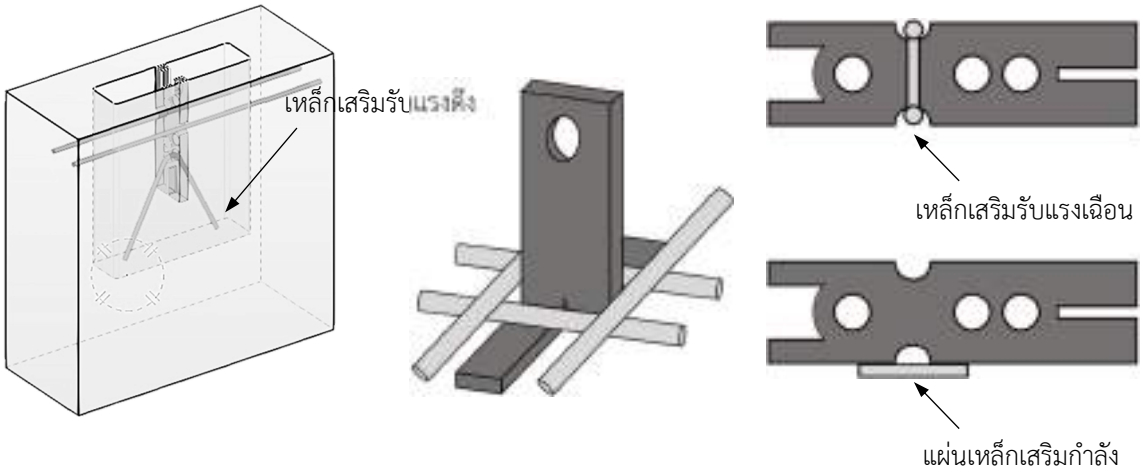
รูปที่ 13.10 อุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึด (Thread Insert)

(ง2) ในกรณีที่ตัวฝังยึดต้องรับทั้งแรงดึงและแรงเฉือน ผู้ผลิตต้องเลือกใช้ตัวฝังยึดแบบอื่นแทน เช่น ใช้อุปกรณ์ชุดแผ่นเหล็กแบบหมุนได้ (Swivel Plate) ร่วมกับอุปกรณ์ประเภทเกลียวที่ใช้การขันยึดดังแสดงในรูปที่ 13.11 โดยสลักเกลียวจะรับเฉพาะแรงดึง ส่วนแรงเฉือนจะรับโดยอุปกรณ์ชุดแผ่นเหล็กแบบหมุนได้ (Swivel Plate)



รูปที่ 13.11 ตัวอย่างชุดตัวฝังยึดที่รับแรงดึงและแรงเฉือนร่วมกัน

13.2.5.7 การใช้อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ (Proprietary Device) มีข้อดี คือ ตัวฝังยึดถูกติดตั้งมาโดยการซ่อนเอาไว้ในช่องว่างของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทำให้เกิดความสะดวกในการกองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เนื่องจากไม่มีตัวฝังยึดเพื่อการยกยื่นออกมาจากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จดังแสดงในรูปที่ 13.12

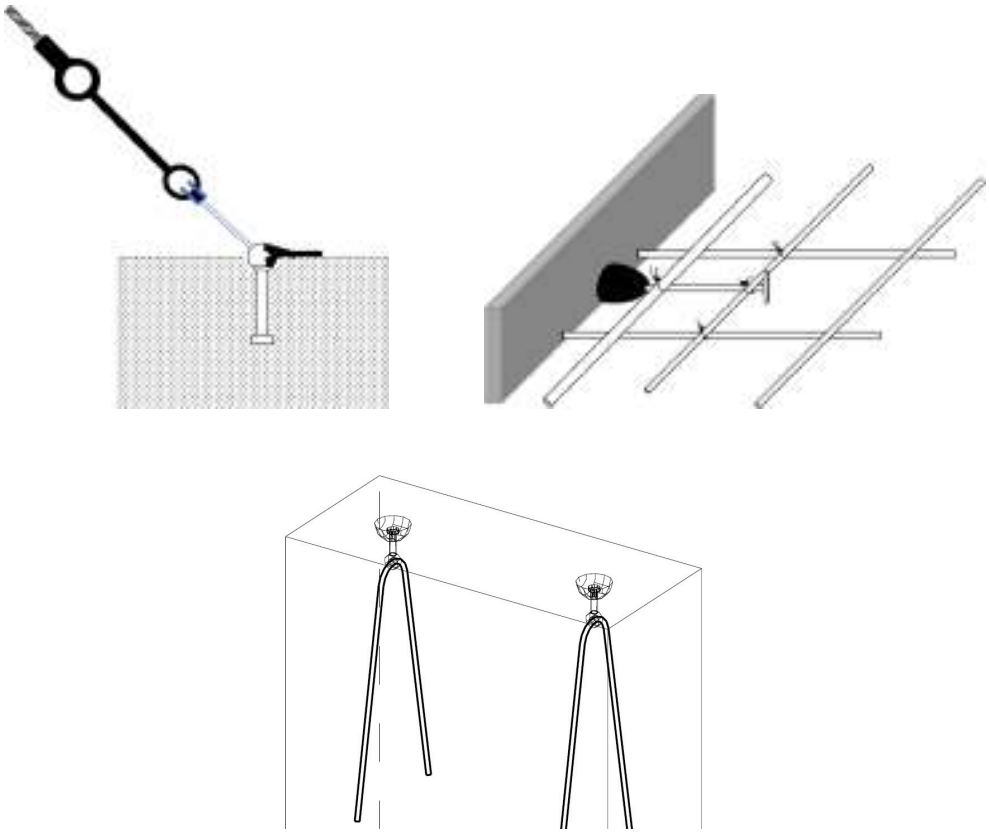


ก1) การติดตั้งตัวฝังยึดเมื่อชิ้นส่วนมีความหนาหรือลึก

ก2) การติดตั้งตัวฝังยึดเมื่อชิ้นส่วนมีความบาง

ก3) การเสริมกำลังให้กับตัวฝังยึด

(ก) อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นเหล็กแบน



(ข) อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นเหล็กกลมคล้ายพุก (Lifting Anchor)

รูปที่ 13.12 อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ (Proprietary Device)

13.2.5.8 ตัวฝังยึดสำหรับการทำจุดเชื่อมต่อและตัวฝังยึดสำหรับการยกจะต้องไม่เป็นชุดเดียวกัน เว้นแต่ได้รับการรับรองมาโดยวิศวกรผู้ออกแบบ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประมาท หรือ ความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของผู้รับเหมาติดตั้งที่จะทำการยกโดยการใช้ตัวฝังยึดสำหรับการทำจุดเชื่อมต่อแทน บริษัทผู้ผลิตจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุด โดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะหรือขนาดแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

13.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.3.1 ผู้ผลิตต้องวางแผนเรื่องค่าใช้จ่าย การออกแบบ และการจัดการที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จภายในสถานที่ผลิต และการขนส่งจากสถานที่ผลิตไปยังสถานที่ก่อสร้าง

13.3.2 วิธีการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดในเรื่องของขนาดใหญ่สุดที่จะขนส่งได้ น้ำหนักบรรทุกที่กฎหมายกำหนด และการสั่นสะเทือนเนื่องจากสภาพถนน ผู้ผลิตจึงต้องวางแผนเลือกวิธีการขนส่งให้สอดคล้องกับขนาดของเครน ขนาดของรถบรรทุก กฎจราจรและสภาพถนนหนทาง ระยะของช่องลอดต่าง ๆ ที่รถบรรทุกวิ่งผ่าน เช่น สะพาน อุโมงค์ หรือสะพานลอย ความสามารถในการรับน้ำหนักของถนนและสะพาน

13.3.3 ผู้ผลิตต้องทำการขนส่งด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดย

(ก) จัดวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องไม่ให้มีส่วนยื่นออกจากจุดรองรับมากเกินไป

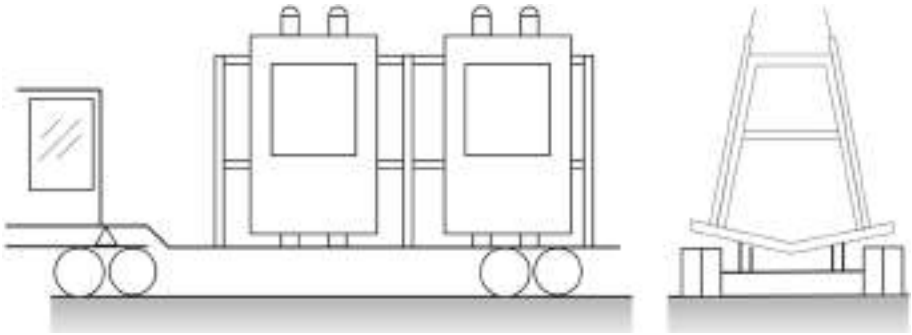
(ข) มีการควบคุมการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการขนส่งให้มีน้อยที่สุด

(ค) มีการออกแบบหรือวางแผนจัดการการขนส่งเป็นกรณีพิเศษในกรณีที่รถบรรทุกต้องวิ่งผ่านถนนที่ต้องมีการหักเลี้ยวหรือวิ่งผ่านถนนที่ขรุขระ เพื่อมิให้มีหน่วยแรงส่วนเกินเกิดขึ้นในชิ้นส่วน

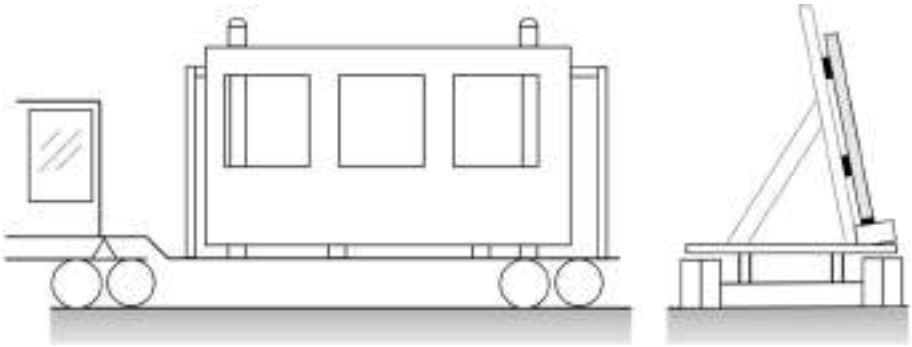
13.3.4 ผู้ผลิตควรขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดย

(ก) ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความสูงไม่เกิน 1 ชั้น ให้จัดวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในทิศทางเดียวกันกับที่จะถูกติดตั้ง เพราะจะช่วยลดเวลาในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และทำให้การติดตั้งเป็นไปได้โดยสะดวกมากขึ้น เช่น การขนส่งโดยใช้ A-Frame ดังแสดงในรูปที่ 13.13

(ข) ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความยาวมาก หรือมีความสูงมากกว่า 1 ชั้น ให้จัดวางตามแนวยาวแทน ดังแสดงในรูปที่ 13.14 การวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้อยู่ในแนวดิ่ง เป็นการใช้ประโยชน์ความสามารถในการต้านทานการเสียรูป (Stiffness) ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งมีโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ของหน้าตัดในแนวดิ่งมากกว่าในแนวราบ



รูปที่ 13.13 การขนส่งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความสูง 1 ชั้น โดยการจัดวางตามทิศทางในการติดตั้ง



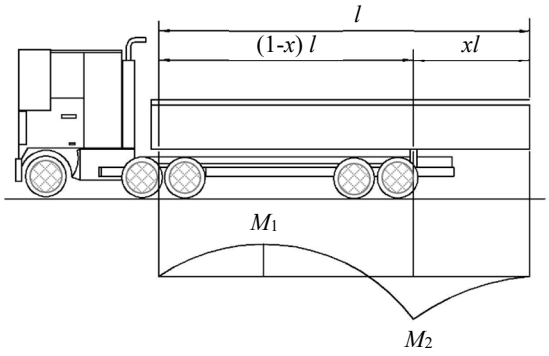
รูปที่ 13.14 การขนส่งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความยาวหรือความสูงมากกว่า 1 ชั้น โดยการจัดวางตามแนวยาว

13.3.5 การวางจุดรองรับในการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ มีข้อกำหนดดังนี้

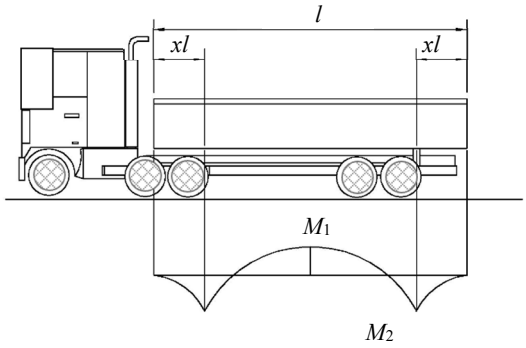
(ก) ผู้ผลิตต้องวางจุดรองรับให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่ถูกออกแบบไว้ตั้งแต่ต้น

(ข) การขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ผู้ผลิตต้องมีการเสริมความแข็งแรงโดยการใส่ค้ำยัน เพื่อควบคุมหน่วยแรงให้เป็นไปตามค่าที่คำนวณหรือกำหนดไว้

(ค) โดยปกติแล้ว ในการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จะมีการวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยมีบางส่วนยื่นออกไปจากจุดรองรับ ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีลักษณะไม่สมมาตร (เมื่อเทียบกับแกนการดัด) ผู้ผลิตสามารถใช้สมการที่ให้ไว้ในรูปที่ 13.15 สำหรับการคำนวณหาตำแหน่งของจุดรองรับซึ่งจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงที่เท่ากันสำหรับบริเวณที่มีแรงบวกและแรงลบ



(ก) การวางให้ชิ้นส่วนคอนกรีตยื่นด้านเดียว



(ข) การวางให้ชิ้นส่วนคอนกรีตยื่นทั้ง 2 ด้าน

$$x = \frac{1}{2}\left[1+\sqrt{\frac{y_b}{y_t}}-\sqrt{1+\frac{y_b}{y_t}}\right] \qquad x = \frac{1}{2\left[1+\sqrt{1+\frac{y_b}{y_t}}\right]}$$

เมื่อ y_b = ระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ถึงผิวด้านล่างของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

y_t = ระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ถึงผิวด้านบนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (สมการนี้ไม่ได้พิจารณาผลของแรง Pre-Stressed)

รูปที่ 13.15 สมการสำหรับคำนวณหาตำแหน่งของจุดรองรับซึ่งจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงที่เท่ากัน สำหรับการจัดวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ทำให้มีแรงดัดทั้งที่เป็นบวกและลบ

13.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.4.1 ทั่วไป

13.4.1.1 การออกแบบและการวางแผนการติดตั้งต้องมีทุกภาคส่วนเข้ามาเกี่ยวข้อง ตั้งแต่ผู้ออกแบบ ผู้ผลิต ผู้ติดตั้ง และผู้ควบคุมงาน

13.4.1.2 การวางแผนการก่อสร้างที่ดี จะทำให้การติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ดังนั้นผู้ติดตั้งต้องวางแผนการทำงานของขั้นตอนต่อไปนี้ให้ดี

(ก) การยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ข) การทำความสะอาดชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และสถานที่ก่อสร้าง

(ค) การทำความสะอาดช่องว่างสำหรับการต่อเหล็กของจุดเชื่อมต่อ การยกและวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จลงตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในอาคาร

(ง) การปรับตำแหน่งและระดับของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เข้าที่

(จ) การติดตั้งและปรับค้ำยัน

(ฉ) การติดตั้งและรื้อนั่งร้าน

(ช) การเชื่อมเหล็ก การเสริมเหล็ก และการเกราต์บริเวณจุดเชื่อมต่อ

(ซ) การตกแต่งจุดเชื่อมต่อให้ดูเรียบร้อย

การวางแผนขั้นตอนในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และการติดตั้งค้ำยันชั่วคราว ต้องพิจารณาถึงเครื่องจักร เช่น ทาวเวอร์เครน หรือรถเครน ที่ใช้ในการยกและเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในบริเวณสถานที่ก่อสร้างด้วย

13.4.1.3 ในการว่าจ้างผู้ประกอบการหรือบริษัทต่าง ๆ ให้ทำการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถทำได้ทั้ง

(ก) ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งเป็นบริษัทเดียวกัน

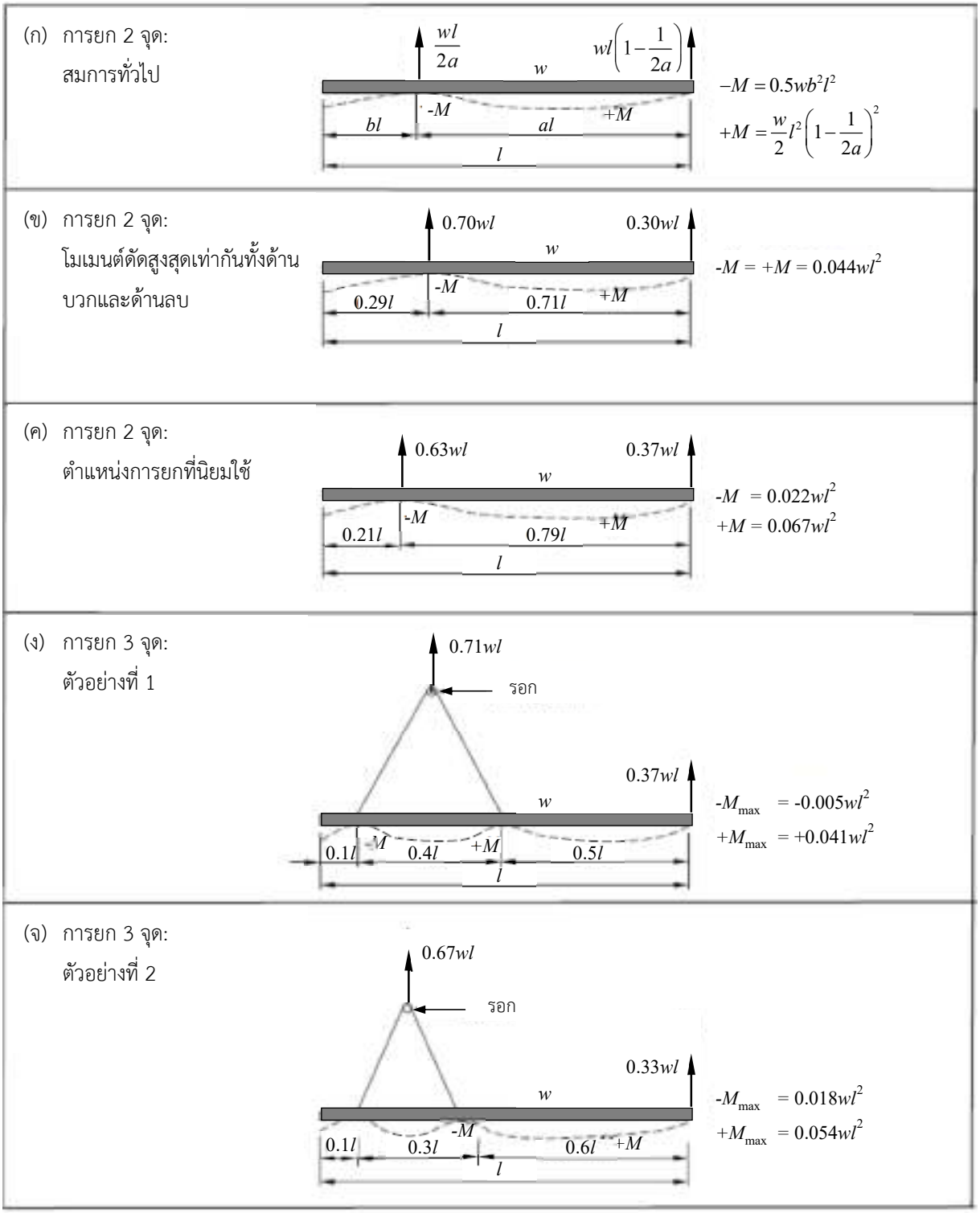
(ข) ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งเป็นคนละบริษัทกัน

13.4.1.4 ผู้ติดตั้งต้องอบรมเทคนิคและความปลอดภัยในการติดตั้งให้กับคนงานและผู้ปฏิบัติงานในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และให้เฉพาะผู้ที่ผ่านการอบรมจนมีทักษะและมีประสบการณ์ในการติดตั้งเป็นอย่างดีแล้วเท่านั้นปฏิบัติงานในขั้นตอนของการติดตั้งได้

13.4.1.5 ผู้ติดตั้งต้องมีคู่มือการติดตั้งและแบบก่อสร้างสำหรับการติดตั้งที่มีรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการทำงานติดตั้ง รวมทั้งมีรายละเอียดของการติดตั้งค้ำยันชั่วคราวแสดงอยู่ด้วย

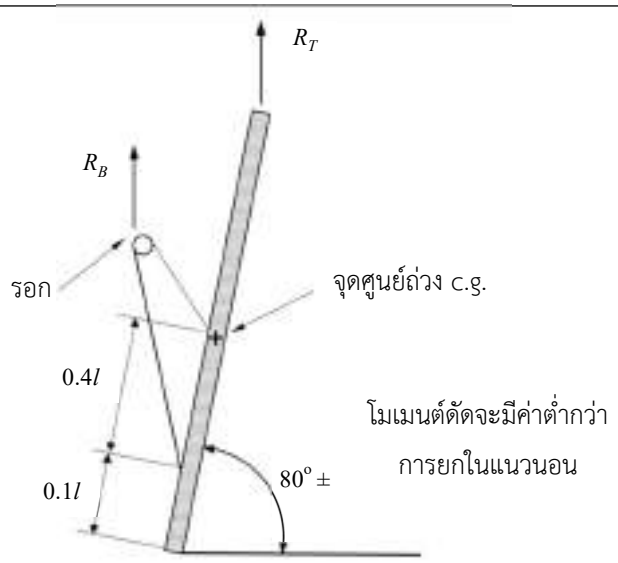
13.4.2 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อการติดตั้ง

13.4.2.1 ในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจากโรงงานที่ผลิตไปยังสถานที่ก่อสร้างเพื่อทำการติดตั้ง ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งจะต้องทำการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จหลายครั้ง โดยใช้เครื่องจักรหลายประเภท บางครั้งอาจจะต้องมีการหมุนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วย เพื่อให้เกิดความสะดวกในการขนส่งหรือติดตั้ง ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งสามารถคำนวณหาค่าแรงดัดสูงสุดและแรงปฏิกิริยาที่จุดยกหรือจุดรองรับ สำหรับการยกในรูปแบบต่าง ๆ ได้จากรูปที่ 13.16



รูปที่ 13.16 ค่าแรงดัดสูงสุดและแรงปฏิกิริยาที่จุดยกหรือจุดรองรับ สำหรับการยกในรูปแบบต่าง ๆ

(ฉ) การยก 3 จุด:
ตัวอย่างที่ 3

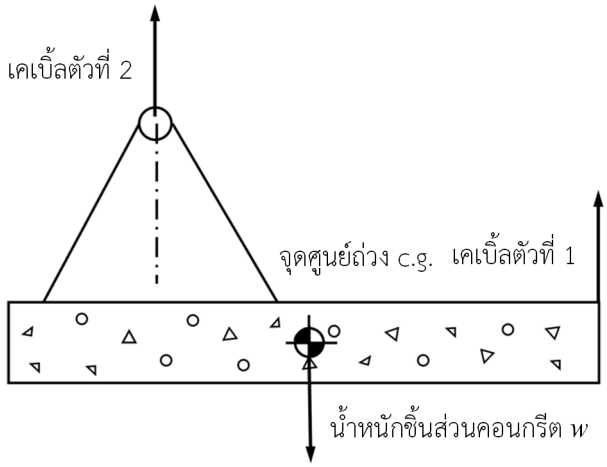


รูปที่ 13.16 (ต่อ) ค่าแรงดัดสูงสุด และแรงปฏิกิริยาที่จุดยกหรือจุดรองรับ สำหรับการยกในรูปแบบต่าง ๆ (R_B มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ $0.7wl$ ถึง $0.8wl$ ส่วน R_B มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ $0.3wl$ ถึง $0.2wl$ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ และความยาวของเคเบิ้ลที่ใช้ในการยก)

13.4.2.2 ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ มีข้อกำหนดสำหรับตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังนี้

(ก) ในกรณีที่ทำการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อทำการหมุนโดยใช้เครน 2 ตัว ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งต้องตรวจสอบให้จุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอยู่ระหว่างเคเบิ้ลที่ใช้ยกของเครนทั้ง 2 ตัว ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบทันทีทันใด

(ข) ในการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบ 3 จุด เพื่อทำการหมุนโดย 2 ใน 3 ของเคเบิ้ลคล้องผ่านรอกดังแสดงในรูปที่ 13.16 (ง) (จ) และ (ฉ) จุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องอยู่นอกแนวเคเบิ้ลทั้งสองของรอกดังแสดงในรูปที่ 13.17 (หากตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอยู่ระหว่างเคเบิ้ลทั้งสองของรอก ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะเกิดการแกว่งได้ง่าย) ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จด้านบนขณะที่ยกมีค่าสูงมากเกินไป ให้เปลี่ยนไปใช้การยกแบบ 4 จุดแทน



รูปที่ 13.17 เสถียรภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จระหว่างการยกเพื่อติดตั้ง

13.4.2.3 กำลังของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการยกจะต้องได้รับการตรวจสอบจากผู้ผลิตและผู้ติดตั้งว่า สามารถที่จะรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างที่ทำการยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ในทุกรูปแบบและทุกขั้นตอน

13.4.3 การใช้เครื่องจักรต่าง ๆ ในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ให้ผู้ติดตั้งปฏิบัติ ดังนี้

13.4.3.1 ห้ามใช้เครนในการยกคนงาน ผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนผู้เข้าเยี่ยมสถานที่ก่อสร้างโดยเด็ดขาด

13.4.3.2 ในกรณีที่ใช้เครนแบบรางเลื่อนบนพื้น รางตามแนวยาวควรมีความชันไม่เกินร้อยละ 2 และรางตามแนวขวางควรอยู่ในระดับเดียวกัน

13.4.3.3 ควรตรวจสอบเครนเป็นประจำทุกวัน โดยเฉพาะสภาพของแผ่นเหล็ก เคเบิ้ลหรือสลิงยก และสลักเกลียว

13.4.3.4 การใช้เครื่องจักรต่าง ๆ ในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้เป็นไปตามคู่มือการปฏิบัติงานที่ผู้ผลิตแนะนำ และให้ปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก

13.4.4 การค้ำยันระหว่างการติดตั้ง

13.4.4.1 ทั่วไป

ค้ำยันชั่วคราวถูกใช้เพื่อทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความมั่นคงและเสถียรภาพระหว่างการติดตั้ง การใช้ค้ำยันต้องมีการวิเคราะห์และออกแบบมาโดยวิศวกรผู้ออกแบบแบบก่อสร้างต้องมีรายละเอียดที่ชัดเจนเกี่ยวกับขั้นตอนการติดตั้งซึ่งรวมไปถึงการใส่และการถอดค้ำยัน หากเป็นไปได้จุดต่อของโครงสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จควรได้รับการออกแบบมาให้สามารถเป็นค้ำยันได้ด้วย เพื่อให้สามารถรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง

การติดตั้ง เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว แรงเนื่องจากการเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และแรงอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้างเนื่องจากลำดับขั้นตอนในการก่อสร้าง

13.4.4.2 การสำรวจและวางผัง

ก่อนที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะถูกส่งมาบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ผู้ติดตั้งต้องตรวจสอบสภาพของสถานที่ก่อสร้างว่ามีความพร้อมที่จะเริ่มทำการก่อสร้างแล้ว ตั้งแต่ตำแหน่ง ระดับ แนวต่าง ๆ อุปกรณ์และเครื่องมือในการปฏิบัติงาน ตลอดจนถนน และสายไฟฟ้า การสำรวจควรมีเป้าหมาย ดังนี้

(ก) ก่อนติดตั้ง: เพื่อตรวจสอบว่าตำแหน่งและระดับที่เริ่มก่อสร้างตรงกับตำแหน่ง และระดับที่ได้ถูกกำหนดไว้

(ข) ระหว่างการติดตั้ง: เพื่อตรวจสอบว่าชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จวางตัวอยู่ในแนวและระดับที่ถูกต้องก่อนจะทำการติดตั้งเป็นการถาวร

(ค) หลังการติดตั้ง: เพื่อตรวจสอบว่าชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้รับการติดตั้ง โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (รายละเอียดอยู่ในข้อที่ 13.5.2)

13.4.4.3 แรงที่ใช้ในการออกแบบสำหรับขั้นตอนการติดตั้ง

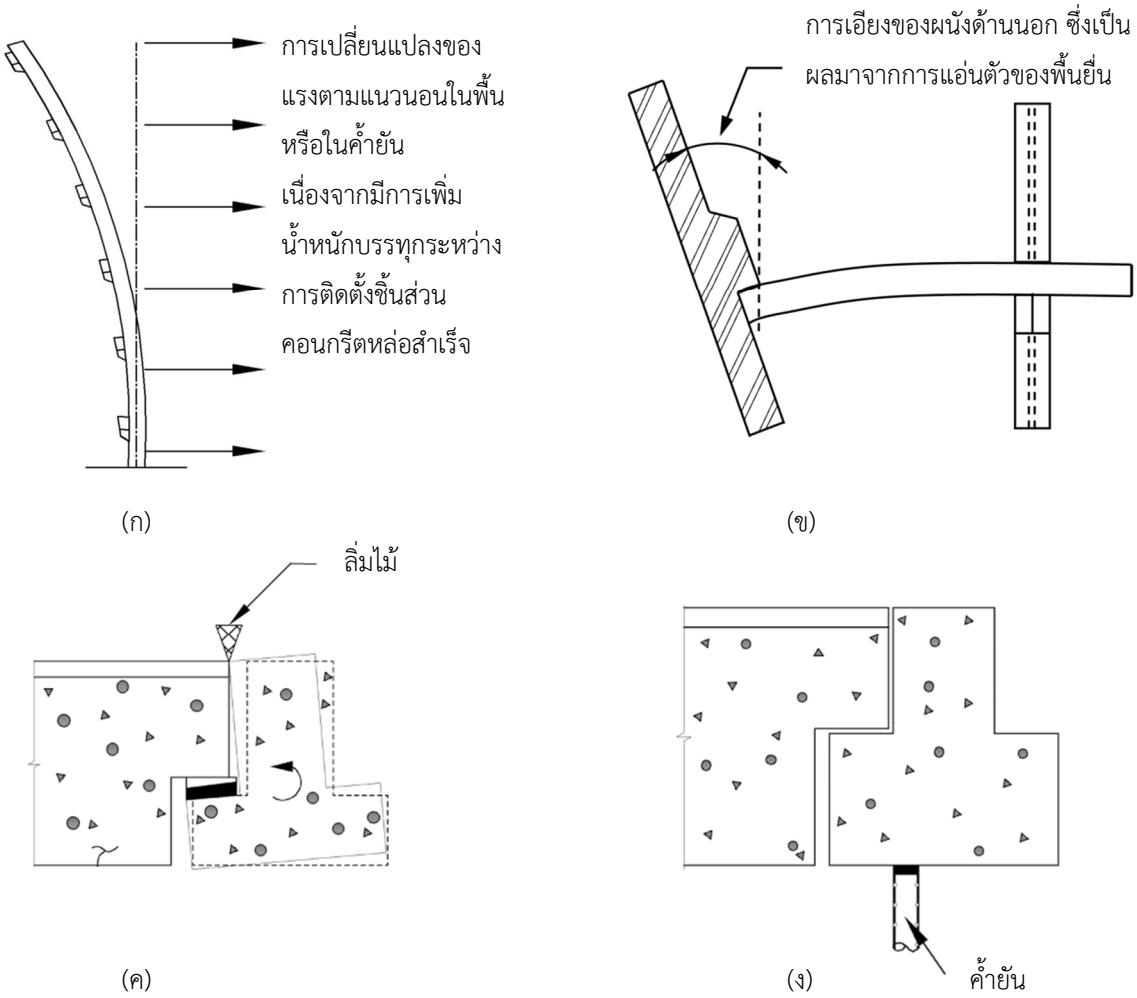
วิศวกรผู้ออกแบบต้องกำหนดค่าแรงต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการติดตั้ง เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบค้ำยันให้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีเสถียรภาพที่เพียงพอ ซึ่งแรงเหล่านี้มีทั้งส่วนที่ระบุไว้ในมาตรฐานและส่วนที่สามารถกำหนดขึ้นเองจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบ แรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นให้รวมไปถึงแรงที่เกิดขึ้นเป็นการชั่วคราวระหว่างการก่อสร้างด้วย (ดูรูปที่ 13.18) เช่น

(ก) แรงที่เกิดจากการวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่พร้อมกันระหว่างการก่อสร้าง (Unbalanced loads)

(ข) แรงที่เกิดจากการที่จุดต่อยังไม่ได้ทำงานระหว่างการติดตั้ง

(ค) แรงจากเครื่องจักรที่นำมาใช้ในการติดตั้ง

(ง) น้ำหนักบรรทุกจากการใช้พื้นที่บางส่วนเก็บวัสดุก่อสร้าง และมีการถ่ายน้ำหนักลงบนโครงสร้างที่กำลังก่อสร้าง



รูปที่ 13.18 แรงและน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการติดตั้ง
แล้วส่งผลต่อเสถียรภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.4.4.4 แฟกเตอร์ความปลอดภัย

การเลือกใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factors of Safety) สำหรับแรงที่เกิดขึ้นเป็นการชั่วคราวระหว่างการก่อสร้าง (Construction Loads) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น

(ก) ลักษณะของการวิบัติ

(ข) แรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

(ค) การควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและการก่อสร้าง

(ง) ความผิดพลาดในการปฏิบัติงานของคนงาน

(จ) งบประมาณการก่อสร้าง

วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัยตามวิจารณญาณ หรือเลือกใช้ค่าที่แนะนำในตารางที่ 13.2

ตารางที่ 13.2 แฟกเตอร์ความปลอดภัยที่แนะนำ สำหรับแรงที่เกิดขึ้นเป็นการชั่วคราวระหว่างการก่อสร้าง

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการค้ำยันโดยฝังยึดมาในคอนกรีต	3
ตัวฝังยึดในคอนกรีตเพื่อใช้ในการยก (Lifting inserts)	4
วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (Reusable hardware)	5

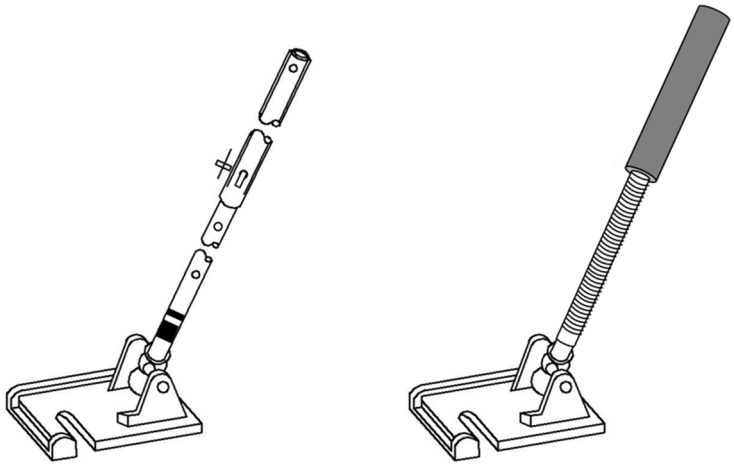
13.4.4.5 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำค้ำยัน

ค้ำยันที่มีการใช้งานกับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีหลากหลายรูปแบบและหลากหลายลักษณะ การใช้งานค้ำยันจึงมีข้อควรพิจารณา ดังนี้

(ก) สำหรับอาคาร 1 หรือ 2 ชั้นที่ต้องการทำค้ำยันอย่างง่าย ผู้ติดตั้งสามารถใช้ค้ำยันที่ทำจากท่อเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 13.19 ได้ ค้ำยันแบบนี้สามารถรับแรงได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง

(ข) ในกรณีที่ค้ำยันมีความยาวมาก ๆ และรับแรงอัด ผู้ติดตั้งต้องเพิ่มค้ำยันรองเพื่อลดความยาวของค้ำยันหลักให้สั้นลง ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการเกิดการโก่งเดาะ (Buckling) ของค้ำยันหลักลง

(ค) การยึดค้ำยันเข้ากับพื้นและผนัง วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงการรับแรงร่วมกันของแรงเฉือนและแรงตามแนวแกนของจุดยึดด้วย



ปรับระยะได้เฉพาะตำแหน่งที่มีรู ปรับระยะได้ทุกระยะโดยใช้เกลียว

รูปที่ 13.19 ลักษณะของค้ำยันชั่วคราวที่นิยมใช้ทั่วไป

13.5 ค่าความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.5.1 ทั่วไป

13.5.1.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ผู้ผลิต ผู้ติดตั้ง ตลอดจนผู้ทำงานด้านสถาปัตยกรรมและการตกแต่งได้มีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานที่สอดคล้องกัน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการแก้ไขงานภายหลังการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และส่วนประกอบอื่น ๆ เข้าด้วยกัน และยังช่วยให้อาคารที่ทำการก่อสร้างเสร็จแล้วสามารถใช้งานได้เต็มที่ตามที่ออกแบบไว้

13.5.1.2 ผู้ออกแบบ ผู้ผลิต และผู้ติดตั้งควรกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ร่วมกัน โดยเริ่มตั้งแต่ในขั้นตอนการอออกแบบ และตั้งอยู่บนพื้นฐานของการปฏิบัติงานที่ทำได้จริงและสะดวก แต่ไม่ทำให้ต้นทุนในการก่อสร้างเพิ่มสูงขึ้น

13.5.1.3 การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการก่อสร้างอาคารที่ใช้ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

(ก) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ: เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้สำหรับขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (รายละเอียดอยู่ในข้อที่ 12.4)

(ข) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง: เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้สำหรับมุมและระยะต่าง ๆ ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และโครงสร้างอื่น ๆ ที่นำมาติดตั้งเข้าด้วยกัน

(ค) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิววัสดุต่างชนิด: เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้สำหรับการยึด การติดหรือติดตั้งวัสดุอื่น ๆ เข้ากับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.5.1.4 การกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ควรกำหนดเป้าหมายร่วมกัน ดังนี้

(ก) เพื่อให้การออกแบบโครงสร้างได้มีการพิจารณาครอบคลุมถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดและตำแหน่ง เช่น แรงเยื้องศูนย์ พื้นที่รับแรงกดหรือแรงแบกทาน (Bearing Area) ตำแหน่งของจุดยึดและจุดยกต่าง ๆ และตำแหน่งของเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรง

(ข) เพื่อให้มั่นใจว่าจุดต่อระหว่างชิ้นส่วนและวัสดุต่าง ๆ มีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพในการถ่ายแรง

(ค) เพื่อรักษาความสวยงามทางสถาปัตยกรรมของอาคารให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้

(ง) เพื่อให้เกิดความสะดวกและความรวดเร็วในการผลิต โดยยังรักษาขนาดและมิติของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ได้

(จ) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจรับงาน และส่งมอบงานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง

(ฉ) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการยุติข้อพิพาทที่เกิดขึ้นระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง

13.5.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง

13.5.2.1 ระยะ ระดับ และตำแหน่งสุดท้ายของพื้นผิวของวัสดุปิดผิวโครงสร้างขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจากการผลิต โดยความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งจะเป็นตัวหลักในการควบคุมระดับและตำแหน่งของพื้นผิวของวัสดุปิดผิวโครงสร้าง

13.5.2.2 ผู้ติดตั้งสามารถใช้ตารางที่ 13.3 เป็นแนวทางในการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับคอนกรีตหล่อในที่

ตารางที่ 13.3 ค่าแนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับคอนกรีตหล่อในที่

รายการ	ค่าแนะนำสำหรับคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง
ความเบี่ยงเบนจากตำแหน่งในระนาบหรือแปลน (เสาหรือคานใดก็ได้ ตำแหน่งใดก็ได้)	± 13 mm ($^1/_2$ in) สำหรับเสา ± 25 mm (1 in) สำหรับคาน
ความเบี่ยงเบนจากระนาบหรือแปลนที่ขนานกับเส้นอาคารที่กำหนด	+ 2 mm/m ($^1/_{40}$ in/ft) สำหรับคานที่มีความยาวน้อยกว่า 6 m (20 ft) หรือสำหรับเสาที่อยู่ติดกันที่มีระยะห่างระหว่างเสาน้อยกว่า 6 m (20 ft) สูงสุด 13 mm ($^1/_2$ in) สำหรับเสาที่อยู่ติดกัน ที่มีระยะห่างระหว่างเสาตั้งแต่ 6 m (20 ft) ขึ้นไป
ความเบี่ยงเบนของตำแหน่งสัมพัทธ์ของเสาที่อยู่ติดกันจากตำแหน่งสัมพัทธ์ที่กำหนด (ที่ระดับใดก็ได้ที่ตรวจสอบ)	+ 13 mm ($^1/_2$ in)
ความเบี่ยงเบนจากเส้นแนวดิ่ง	+ 6 mm ($^1/_4$ in) สำหรับความสูง 3 m (10 ft) ที่ระดับใดก็ได้ สูงสุด 25 mm (1 in) สำหรับความสูงทั้งหมด
ความเบี่ยงเบนของระดับของพื้นผิวแบกทานจากระดับที่กำหนด (เสาหรือคานใดก็ได้, ตำแหน่งใดก็ได้)	ค่าสูงสุดในกรณีต่ำกว่า = 13 mm ($^1/_2$ in) ค่าสูงสุดในกรณีสูงกว่า = 6 mm ($^1/_4$ in)
ความเบี่ยงเบนของระดับของพื้นผิวแบกทานจากเส้นขนานกับเส้นแสดงระดับที่กำหนด	+ 2 mm/m ($^1/_{40}$ in/ft) สำหรับคาน ที่มีความยาวน้อยกว่า (20 ft) หรือสำหรับเสาที่อยู่ติดกันที่มีระยะห่างระหว่างเสาน้อยกว่า 6 m (20 ft) สูงสุด 13 mm ($^1/_2$ in) สำหรับเสาที่อยู่ติดกัน ที่มีระยะห่างระหว่างเสาตั้งแต่ 6 m (20 ft) ขึ้นไป
ความเบี่ยงเบนจากความยาวแบกทานที่กำหนดที่ส่วนรองรับ	± 19 mm ($^3/_4$ in)
ความเบี่ยงเบนจากความกว้างแบกทานที่กำหนดที่ส่วนรองรับ	± 13 mm ($^1/_2$ in)
ความไม่เรียบที่แนวของขอบที่อยู่ชิดกัน	สูงสุด 13 mm ($^1/_2$ in)

13.5.2.3 ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งสามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง (Recommended Erection Tolerances) ตามที่มาตรฐานสากลต่าง ๆ แนะนำได้ เช่น PCI Design Handbook ซึ่งมีตัวอย่างบางส่วนแสดงไว้อยู่ในภาคผนวก ง

13.5.3 การกำหนดระยะเว้นห่างระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างอื่น ๆ

13.5.3.1 ระยะเว้นห่างระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง (Clearance) ต้องถูกกำหนดขึ้นไว้สำหรับใช้ในการติดตั้ง เพื่อช่วยลดและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการผลิตและการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

13.5.3.2 ข้อควรพิจารณาเบื้องต้นในการกำหนดระยะเว้นห่างระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างอื่น ๆ (Clearance) มีดังนี้

(ก) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(ข) ประเภทของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(ค) ขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(ง) ตำแหน่งของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(จ) การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(ฉ) หน้าที่ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ
(ช) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง
(ซ) ระยะที่ต้องการสำหรับการทนไฟของโครงสร้างเหล็ก
(ฌ) ความหนาของแผ่นเหล็ก สลักเกลียว และชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบ

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เป็นข้อควรพิจารณาที่สำคัญที่สุดในการกำหนดระยะในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างอื่น ๆ (Clearances)

13.5.3.3 การกำหนดระยะเว้นห่างระหว่างโครงสร้าง (Clearances) สามารถใช้ค่าตามที่แนะนำไว้ในตารางที่ 13.4 ได้

ตารางที่ 13.4 ค่าแนะนำสำหรับการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้าง

รายการ	ระยะห่าง
ระยะระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	13 – 25 mm
ระยะระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่	25 – 50 mm
ระยะระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างเหล็ก	25 – 50 mm

13.5.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิววัสดุต่างชนิด

13.5.4.1 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิววัสดุต่างชนิด (Interfacing Tolerances) อาจมีการกำหนดค่าแตกต่างกันไปได้ตามชนิดและประเภทของงาน เช่น งานติดตั้งบานประตูหรือหน้าต่างที่มาจากผู้ผลิตคนละบริษัทกัน อาจมีข้อจำกัดในการติดตั้งที่ต่างกัน จึงอาจต้องใช้ความคลาดเคลื่อนระหว่างพื้นผิววัสดุที่แตกต่างกัน

13.5.4.2 ข้อควรพิจารณาเบื้องต้นในการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิววัสดุต่างชนิด (Interfacing Tolerances) มีดังนี้

(ก) ข้อกำหนดที่เกี่ยวกับโครงสร้าง

(ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

(ค) สภาพแวดล้อมและการป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม

(ง) การป้องกันการรั่วซึม

(จ) การระบายน้ำ

(ฉ) ข้อกำหนดเกี่ยวกับงานสถาปัตยกรรม

(ช) ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับขนาดและมิติ

(ซ) ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน

(ฌ) ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราการทนไฟ

(ญ) ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับความเป็นฉนวนกันเสียง

(ฎ) ความประหยัด

(ฏ) ข้อควรพิจารณาในการผลิตและติดตั้ง

13.6 ความเสียหายที่ยอมให้และการซ่อมแซม

13.6.1 ตำหนิและความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อค่าใช้จ่ายและเวลาในการก่อสร้าง ผู้ผลิตควรลดและหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการผลิตและการขนส่ง เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและแก้ไขปัญหาให้ต่ำที่สุด

13.6.2 ผู้ผลิตสามารถใช้ตารางที่ 13.5 ประกอบการพิจารณาถึงความเสียหายที่พบ สาเหตุที่เป็นไปได้ รวมถึงแนวทางการป้องกันและแก้ไข

ตารางที่ 13.5 ความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ปัญหา แนวทางการป้องกันและแก้ไข

เลข SI	ความเสียหายที่พบทั่วไป	สาเหตุที่เป็นไปได้	คำแนะนำ	แนวทางการแก้ไข
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
i)	ความเบี่ยงเบนทางขนาด: ก) ความเบี่ยงเบนทางขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจะส่งผลต่อแนวรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน ขณะติดตั้ง ข) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจโก่งตัวได้ เนื่องจากกำลังคอนกรีตไม่เพียงพอขณะยกหรือจากสภาพการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม	ก) แบบหล่ออาจไม่แข็งแรงเพียงพอทำให้ไม่สามารถรักษาค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ตามที่กำหนดไว้ได้ในระหว่างการเทคอนกรีต ข) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจยังมีกำลังคอนกรีตไม่เพียงพอเมื่อถอดแบบออก ค) ผิวด้านบนของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจไม่ได้ระดับและไม่ได้มีการเกลี่ยผิวอย่างถูกต้องในระหว่างการผลิต ส่งผลให้ความหนาไม่เท่ากัน ง) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผ่นผนังบางหรือแผ่นพื้น) อาจอยู่ภายใต้หน่วยแรงที่นอกเหนือไปจากที่คำนวณไว้หรือมีการเปลี่ยนรูป เนื่องจากไม่มีการรองรับชิ้นส่วนอย่างเหมาะสมในระหว่างการจัดเก็บ	ก) ตรวจสอบขนาดและความแข็งแรงของแบบหล่อเป็นประจำก่อนที่จะทำการหล่อ โดยทั่วไปแล้ว แบบหล่อที่ทำจากเหล็กกล้าจะต้องมีความหนาที่แนะนำดังต่อไปนี้: 1) 4.5 mm – หล่อได้ไม่เกิน 50 ครั้ง 2) 6 mm – หล่อได้ไม่เกิน 100 ครั้ง 3) 9 mm – หล่อได้ไม่เกิน 200 ครั้ง แบบหล่อจะเสื่อมสภาพไปเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาและการใช้งาน ดังนั้น ควรทำการซ่อม เพิ่มความแข็งแรง หรือเปลี่ยนใหม่เมื่อจำเป็น ข) ควรทำการทดสอบคอนกรีตทรงลูกบาศก์ เพื่อให้แน่ใจว่า คอนกรีตมีกำลังตรงตามที่กำหนดก่อนที่จะทำการถอดแบบ ค) ทำการเกลี่ยและปรับระดับของคอนกรีตที่เท โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น ไม้ฉาบปูน ง) ควรจัดเก็บและจัดเรียงชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอย่างเหมาะสม ณ จุดที่กำหนด โดยใช้วัสดุรองรับและชั้นวางแบบโครงที่เหมาะสม	ก) ในกรณีที่ขนาดเบี่ยงเบนเล็กน้อย สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการ เช่น การเจียผิว การเสิม/การสกัด และการใช้ปูนฉาบแต่งผิว ข) ห้ามใช้งานชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดเบี่ยงเบนเกินจากค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้และส่งผลอย่างมากต่อบูรณภาพของโครงสร้างหรือประสิทธิภาพทางสถาปัตยกรรม
ii)	รอยร้าว	ก) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจยังมีกำลังคอนกรีตไม่เพียงพอก่อนที่จะถอดแบบออก ข) รอยร้าวอาจเกิดขึ้นในระหว่างการยกครั้งแรก เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนกับแบบหล่อ ค) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจบางเกินไป (ต่ำกว่า 70 mm) และไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะถอดแบบและเคลื่อนย้ายได้อย่างปลอดภัย ง) รอยร้าวอาจเกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้ง เนื่องจากขาดการวางแผนและข้อกำหนดที่เหมาะสมเกี่ยวกับรูปทรงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ การผูกยึดกับเครน และตำแหน่งของช่องเปิด	ก) เลือกใช้วิธีการบ่ม ระยะเวลาการบ่ม และอุณหภูมิที่เหมาะสม ข) ควรทำการทดสอบคอนกรีตทรงลูกบาศก์ เพื่อให้แน่ใจว่า คอนกรีตมีกำลังตรงตามที่กำหนดก่อนที่จะทำการถอดแบบ ค) ควรใช้น้ำยาถอดแบบที่เหมาะสมและทาสารลงบนผิวแบบหล่อให้ทั่วถึงเพื่อลดแรงเสียดทาน ง) ควรเพิ่มความหนาของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อรองรับความเค้นจากการถอดแบบและการเคลื่อนย้าย จ) ควรเลือกใช้เทคนิคการเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม ฉ) ควรเตรียมจุดยึดสำหรับยกในจำนวนที่เพียงพอ เพื่อลดโอกาส	ก) ควรให้วิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์เป็นผู้ตรวจสอบรอยร้าวทั้งหมด เพื่อพิจารณาว่า จะส่งผลให้เกิดปัญหาทางโครงสร้างหรือไม่ ข) การซ่อมชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่เสียหายสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความรุนแรงของรอยร้าว ค) การซ่อมรอยร้าวขนาดเล็ก (ไม่เกิน 0.3 mm) สามารถทำได้ โดยการตัดร่องตัววีตามความลึกขั้นต่ำที่กำหนดตามแนวของรอยร้าว จากนั้นทำการปะซ่อม ง) สำหรับรอยร้าวที่ผิว (ใหญ่กว่า 0.3 mm) หรือรอยร้าวทะลุ ควรใช้วิธีการฉีดอิพ็อกซี เพื่อให้แน่ใจว่า

เลข SI	ความเสียหายที่พบทั่วไป	สาเหตุที่เป็นไปได้	คำแนะนำ	แนวทางการแก้ไข
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
			การเกิดหน่วยแรงสูงเกินไปในบางจุด ช) ควรเพิ่มจำนวนเหล็กเสริมที่บริเวณโดยรอบช่องเปิดและมุมที่มีรูปทรงไม่ปกติ ซ) ควรใช้แผ่นเสริมกำลังชั่วคราวที่บริเวณช่องเปิดในระหว่างการติดตั้ง	รอยร้าวมีการสมานอย่างสมบูรณ์และมีอิพ็อกซีอัดเต็มรอยร้าวดังกล่าว
iii)	การกะเทาะและความเสียหาย	ก) การกะเทาะที่บริเวณขอบแผ่นคอนกรีตมักจะมีสาเหตุมาจากแรงกระทำหรือแรงแบกทานที่จุดรองรับมีค่าสูงเกินไป ขณะเคลื่อนย้ายชิ้นส่วน ข) วิธีการจัดเก็บไม่เหมาะสม	ก) ควรใช้ความระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายต่อชิ้นส่วนในระหว่างการขนถ่ายขึ้นรถบรรทุก การเคลื่อนย้ายไปยังไซต์งาน และในระหว่างการขนถ่ายลงจากรถบรรทุก ควรใช้แผ่นรองเพื่อป้องกันบริเวณผิวสัมผัสจากความเสียหาย ข) พื้นที่จัดเก็บควรเป็นพื้นที่เรียบและแห้ง ค) ควรจัดเก็บและจัดเรียงชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จอย่างเหมาะสม ณ จุดที่กำหนด โดยใช้วัสดุรองรับและชั้นวางแบบโครงที่เหมาะสม ง) ควรทำความสะอาดแผ่นคอนกรีตหล่อหรือแบบหล่ออย่างทั่วถึง รวมทั้งทำการปรับระดับเพื่อให้ผิวเรียบ จ) ควรทาน้ำยาถอดแบบลงบนผิวแบบหล่ออย่างทั่วถึงเพียงพอ ฉ) ควรใช้ตัวคั่นระยะที่มีขนาดถูกต้อง รวมทั้งยึดเอาไว้ให้แน่นเพื่อให้ได้ระยะหุ้มตามที่กำหนดในระหว่าง การหล่อ ช) ตัวฝังยึดสำหรับการยกและกำลังคอนกรีตของชิ้นส่วนควรมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับวิธีการยกที่จะใช้ ควรใช้อุปกรณ์ยกที่มั่นใจว่ามีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ซ) ควรตรวจสอบว่า ตัวฝังยึดหรือตะขอสำหรับการยกอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และควรทำการยึดเอาไว้ที่ความลึกที่กำหนดก่อนที่จะเทคอนกรีต	ก) ขจัดเศษคอนกรีตที่หลุดออกทั้งหมด จากนั้นล้างฝุ่นหรือเศษที่บริเวณที่เกิดความเสียหาย ข) ทาวัสดุรองพื้นหรือวัสดุยึดประสานที่พื้นผิวคอนกรีตที่เกิดความเสียหาย ค) ใช้ตะแกรงลวดเหล็กร่วมกับคอนกรีตหรือวัสดุเกราต์ในบริเวณที่ทำการซ่อมแซม ง) เลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตหรือวัสดุเกราต์สำหรับการซ่อมแซมที่ให้กำลังในระดับเดียวกันกับคอนกรีตข้างเคียง จ) ติดตั้งแบบหล่อในจุดที่จำเป็น เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตหรือวัสดุเกราต์สำหรับการซ่อมแซมไหลออกมา ฉ) ป้องกันบริเวณที่ทำการซ่อมแซมจากความเสียหายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการบ่ม

เลข SI	ความเสียหายที่พบทั่วไป	สาเหตุที่เป็นไปได้	คำแนะนำ	แนวทางการแก้ไข
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
iv)	โพรงรังผึ้งและการเกิดรูพรุนมากเกินไป	ก) การจี้เขย่าหรือสั่นคอนกรีตไม่ดีเนื่องจากอุปกรณ์หรือการทำงานไม่มีประสิทธิภาพที่ดีพอ หรือมีเหล็กเสริมมากเกินไป ข) มีซีเมนต์เพสต์รั่วออกตามแนวขอบของแผ่นแบบด้านข้างเนื่องจากสาเหตุต่อไปนี้ 1) สลักเกลียวหรือสลักยึดหลวมหรือหายไป 2) ซีลปะเก็นยางเสียหาย 3) ชิ้นส่วนของแบบหล่อเสียหาย	ก) ควรเลือกใช้วิธีการจี้เขย่าหรือสั่นคอนกรีตที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ข) ควรตรวจสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและความเทได้ของคอนกรีต และทำการปรับเปลี่ยนถ้าจำเป็น ค) ใช้อุปกรณ์จี้เขย่าหรือเครื่องสั่นคอนกรีตที่เหมาะสม เช่น เครื่องสั่นชนิดยึดกับแบบหล่อ เพื่อให้การจี้เขย่าหรือสั่นคอนกรีตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ง) การแก้ปัญหาจำนวนเหล็กเสริมมากเกินไปสามารถทำได้ โดยการใช้เหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (จำนวนน้อยลง) หรือโดยการเพิ่มขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนในกรณีที่ทำได้ จ) ใช้ตัวต่อทางกลหรือปลอก เพื่อลดความซับซ้อนของการจัดเรียงเหล็กเสริมและเพื่อลดจำนวนของเหล็กเสริม ฉ) ซ่อมหรือเปลี่ยนแบบหล่อและอุปกรณ์เสริม เพื่อป้องกันไม่ให้ซีเมนต์เพสต์รั่วไหลออกมาในระหว่างการหล่อ	ก) ขจัดเศษคอนกรีตที่หลุดออกทั้งหมด จากนั้นล้างฝุ่นหรือเศษที่บริเวณที่เกิดความเสียหาย ข) ทาสารยึดติดที่พื้นผิวคอนกรีตที่เสียหาย ค) สามารถใช้ตะแกรงลวดเชื่อมเพื่อรองรับคอนกรีตหรือเกราต์ที่นำมาปะซ่อม ง) ควรเลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตหรือเกราต์สำหรับปะซ่อมที่ให้กำลังในระดับเดียวกันกับคอนกรีตข้างเคียง จ) ติดตั้งแบบหล่อในจุดที่จำเป็นเพื่อให้คอนกรีตหรือเกราต์สำหรับปะซ่อมไม่ไหลออกมา ฉ) ป้องกันบริเวณที่ทำการปะซ่อมจากการรบกวนต่าง ๆ ในระหว่างช่วงบ่ม
v)	ส่วนประกอบไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้อง เช่น อุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งก่อนหล่อ รูปทรงส่วนปลายหรือร่องทางสถาปัตยกรรม ตัวฝังยึดสำหรับการยก เหล็กเสริม เหล็กเสริมส่วนต่อ บล็อกเอาต์ ท่อย่น	ก) ส่วนประกอบดังกล่าวอาจไม่ได้ถูกรวมไว้ในแบบปฏิบัติการ (Shop Drawing) ข) อาจไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ	ก) ส่วนประกอบทั้งหมดจะต้องมีการระบุไว้ในแบบปฏิบัติการสำหรับการผลิต และหากมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จะต้องมีการแจ้งให้ทีมผู้ผลิตทราบ ข) การจัดทำรายการตรวจสอบสำหรับใช้ในระหว่างการตรวจสอบหน้างานสามารถที่จะช่วยให้มั่นใจได้ว่า มีการระบุส่วนประกอบทั้งหมดในแบบแล้วก่อนที่จะเริ่มขั้นตอนการหล่อ	ก) ในกรณีที่ส่วนประกอบบางอย่างขาดหายไป เช่น เหล็กเสริม/เหล็กเสริมส่วนต่อ และตัวฝังยึดสำหรับการยก สามารถที่จะแก้ไขได้ โดยการเชื่อมเหล็กเสริมเพิ่มเติมหลังจากสกัดคอนกรีตในบริเวณที่ต้องการออกแล้ว ข) ในกรณีของส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งก่อนหล่อ ร่อง และบล็อกเอาต์ สามารถแก้ไขได้ โดยการเซาะหรือสกัดผิวของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จออก
vi)	การลื่นหลุดของลวดเกลียว ซึ่งเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้จากการคำนวณออกแบบ (ข้อนี้เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอัดแรงเท่านั้น) การตรวจหาการลื่นหลุดของลวดเกลียวอัดแรงสามารถทำได้โดยการตรวจสอบลักษณะภายนอก	ก) กำลังยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับลวดเกลียวอัดแรงไม่เพียงพอ ข) การอัดคอนกรีตโดยรอบลวดเกลียวอัดแรงไม่มีประสิทธิภาพ	ก) ควรตรวจสอบยืนยันว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีกำลังคอนกรีตตรงตามที่ต้องการด้วยการทดสอบคอนกรีตทรงลูกบาศก์ก่อนที่จะคลายแรงดึงของลวดเกลียว ข) ควรเลือกใช้วิธีการอัดคอนกรีตที่เหมาะสมในระหว่างการหล่อ	ก) การลื่นหลุดของลวดเกลียวของชิ้นส่วนคอนกรีตเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ข) ควรทำการตรวจสอบยืนยันทางการคำนวณออกแบบ เพื่อให้ทราบค่ากำลังที่ลดลงของชิ้นส่วนดังกล่าวเนื่องจากการลื่นหลุดของ

เลข SI	ความเสียหายที่พบทั่วไป	สาเหตุที่เป็นไปได้	คำแนะนำ	แนวทางการแก้ไข
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
			ค) ควรตรวจสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและความเทได้ของคอนกรีต และทำการปรับเปลี่ยนถ้าจำเป็น ง) จัดเตรียมเครื่องสั่นคอนกรีตที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการอัดที่ดีขึ้น	ลวดเกลียว หากเลือกที่จะนำชิ้นส่วนมาใช้งาน
vii)	แนวไม่ตรง	ก) การวางหรือตำแหน่งของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่แม่นยำในระหว่างการติดตั้ง ข) มีการเบี่ยงเบนทางขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	ก) ควรเลือกใช้อุปกรณ์รังวัดและตรวจวัดระดับที่เหมาะสม เพื่อให้ได้แนวที่แม่นยำมากขึ้น ข) ควรยืนยันแนวและระดับว่าตรงตามที่กำหนดก่อนที่จะทำการต่อยึดชิ้นส่วนอย่างถาวร ค) ควรตรวจสอบยืนยันขนาดวิกฤตของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จก่อนที่จะทำการติดตั้ง	ก) การปรับแนวของชิ้นส่วน/แผ่นคอนกรีตเล็กน้อยสามารถทำได้ในระหว่างการติดตั้ง อย่างไรก็ตาม ต้องทำการประเมินผลกระทบที่มีต่อแนวการประกอบสุดท้ายและความเบี่ยงเบนของอาคารโดยรวม ข) ในกรณีที่มีการเบี่ยงเบนเล็กน้อย สามารถแก้ไขชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้โดยใช้วิธีการ เช่น การเจียผิว การเล็ม/การสกัด และการใช้ปูนฉาบแต่งผิว ก่อนที่จะทำการติดตั้ง ค) ห้ามใช้งานชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีขนาดเบี่ยงเบนเกินจากค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้และส่งผลอย่างมากต่อบูรณภาพของโครงสร้างหรือประสิทธิภาพทางสถาปัตยกรรม

ส่วนที่ 14 ข้อกำหนดด้านการป้องกันอัคคีภัย

14.1 ขอบเขต

14.1.1 ข้อกำหนดในส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของอาคารโครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป และเกี่ยวข้องกับการป้องกันการลุกลามของเพลิงไหม้และการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่ให้ผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูปตามแนวระนาบและแนวดิ่ง และทำให้เกิดการกั้นแยกอาคาร (Fire Compartment) รวมไปถึงการป้องกันการลามไฟและควันผ่านช่องเปิด (Fire Protection of Opening) ที่เกิดจากการเจาะทะลุหรือเว้นช่องว่างไว้เพื่องานระบบหรือสาธารณูปโภค

14.2 ข้อกำหนดทั่วไป

14.2.1 อัตราการทนไฟของโครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ สมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก

14.2.2 ข้อกำหนดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก ในมาตรฐานนี้ให้ใช้กับประเภทอาคารตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก

14.2.3 การประเมินและกำหนดอัตราการทนไฟของโครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ซึ่งอาจใช้วิธีหนึ่งวิธีใด ดังต่อไปนี้

(ก) กำหนดขนาดองค์อาคารและระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมตามข้อกำหนดขั้นต่ำ

(ข) การทดสอบอัตราการทนไฟขององค์อาคารชิ้นส่วนโครงสร้าง

(ค) การคำนวนทางวิศวกรรม

ข้อกำหนดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการลุกลามของเพลิงไหม้และการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่ให้ผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้เป็นตามที่กำหนดในมาตรฐานว่าด้วยวัสดุและผลิตภัณฑ์ด้านอัคคีภัย มยผ. 8302 [75] ถึง มยผ. 8303 ชุดที่ 1 [76] หรือตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4415 (พ.ศ. 2555) [61] เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 3 การอุดปิดช่องเปิดอาคารเพื่อป้องกันไฟลามโครงสร้างรอง และชิ้นส่วนโครงสร้างทนไฟ (Fire Resistance Element)

14.3 ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม

14.3.1 โครงสร้างหลักของอาคารคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องมีความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม ตามข้อกำหนดของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ สมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก และจะต้องก่อสร้างด้วยวัสดุทนไฟที่มีลักษณะดังที่กำหนดในตารางที่ 14.1

14.3.2 ในกรณีขนาดของโครงสร้างหลักมีค่าอยู่ระหว่างขนาดที่กำหนดในตาราง ให้คำนวณหาความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม โดยวิธีเทียบอัตราส่วน

14.3.3 กรณีที่โครงสร้างหลักมีขนาดหรือมีความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมน้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 14.1 จะต้องใช้วัสดุอื่นหุ้มเพิ่มเติม หรือต้องป้องกันโดยวิธีอื่นเพื่อช่วยทำให้เสาหรือคานมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ สมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก

ตารางที่ 14.1 ความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม

ชนิดของการก่อสร้างและโครงสร้างหลัก	ความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม (mm)
เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมที่มีด้านแคบขนาด 300 mm ขึ้นไป	40
เสาคอนกรีตเสริมเหล็กกลมหรือตั้งแต่ห้าเหลี่ยมขึ้นไปที่มีรูปทรงใกล้เคียงเสากลม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 300 mm ขึ้นไป	40
คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดกว้างตั้งแต่ 300 mm ขึ้นไป	40
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 115 mm	20
คานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน	75
คานคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง (1) กว้าง 200 mm โดยปลายไม้เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED) (2) กว้างตั้งแต่ 300 mm ขึ้นไป โดยปลายไม่เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED)	115 65

ชนิดของการก่อสร้างและโครงสร้างหลัก	ความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะหุ้ม (mm)
(3) กว้าง 200 mm โดยปลายเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED) (4) กว้างตั้งแต่ 300 mm ขึ้นไป โดยปลายเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED)	50 45
พื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนที่มีความหนาตั้งแต่ 115 mm ขึ้นไป	40
พื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลังที่มีความหนาตั้งแต่ 115 mm ขึ้นไป (1) ขอบไม่เหนี่ยวรั้ง (UNRESTRAINED) (2) ขอบเหนี่ยวรั้ง (RESTRAINED)	 40 20

14.4 ขนาดองค์อาคารขั้นต่ำและการเสริมเหล็ก

14.4.1 ข้อกำหนดนี้ใช้กับการก่อสร้างด้วยคอนกรีตประเภทต่าง ๆ ดังนี้

14.4.1.1 คอนกรีตมวลรวมคาร์บอเนต (Carbonate Aggregate Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่มวลรวมมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต เช่น หินปูน (Limestone) หรือโดโลไมต์ (Dolomite) และมีปริมาณควอตซ์ (Quartz) เชิร์ต (Chert) หรือหินเหล็กไฟ (Flint) ไม่เกินร้อยละ 40

14.4.1.2 คอนกรีตมวลรวมซิลิเชียส (Siliceous Aggregate Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลรวมน้ำหนักปกติโดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (Silica) หรือสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีปริมาณควอตซ์ (Quartz) เชิร์ต (Chert) หรือหินเหล็กไฟ (Flint) มากกว่าร้อยละ 40

14.4.1.3 คอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบา (Sand-Lightweight Aggregate Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดดินเผา (Expanded Clay) หินดินดาน (Shale) ตะกรัน (Slag) หินชนวน (Slate) หรือเถ้าลอย (Sintered Fly Ash) และทรายธรรมชาติ (Natural Sand) และมีค่ามวลในสภาพแห้งอยู่ระหว่าง 1,680 ถึง 1,920 kg/m^3

14.4.1.4 คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดดินเผา (Expanded Clay) หินดินดาน (Shale) ตะกรัน (Slag) หินชนวน (Slate) หรือเถ้าลอย (Sintered Fly Ash) และทรายธรรมชาติ (Natural Sand) และมีค่ามวลในสภาพแห้งอยู่ระหว่าง 1,360 ถึง 1,840 kg/m^3

14.4.2 โครงสร้างหลักของอาคารคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในอาคารประเภทต่าง ๆ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ สมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก ต้องมีขนาดองค์อาคารขั้นต่ำตามที่กำหนดในตารางที่ 14.1 สำหรับอาคารประเภทอื่นที่ไม่มีกำหนดในกฎกระทรวง ในกรณีที่ไม่มีผลทดสอบหรือข้อมูลอื่นใด ต้องมีขนาดองค์อาคารขั้นต่ำและการเสริมเหล็กตามที่ระบุในข้อ 14.4.2.1 ถึง 14.4.2.7

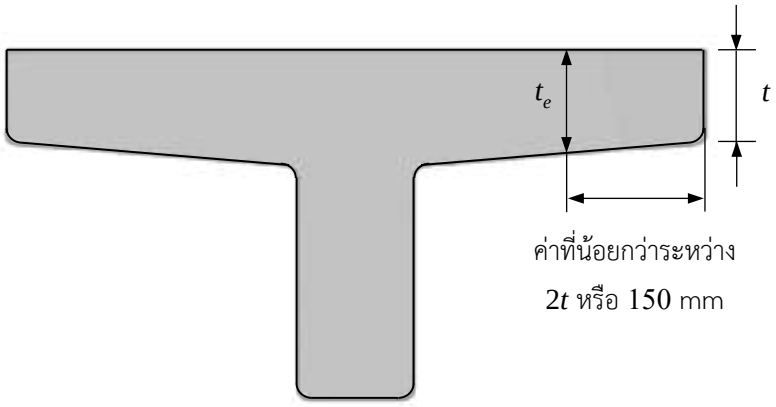
14.4.2.1 ขนาดองค์อาคารขั้นต่ำของพื้นคอนกรีตตันสำหรับอัตราการทนไฟต่าง ๆ ให้เป็นไปตามที่แสดงในตารางที่ 14.2

ตารางที่ 14.2 ขนาดองค์อาคารขั้นต่ำ (mm) ของพื้นคอนกรีตตันสำหรับอัตราการทนไฟต่าง ๆ

ประเภทคอนกรีต	อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)				
	1	1.5	2	3	4
คอนกรีตมวลรวมซิลิเชียส	88	108	115	155	175
คอนกรีตมวลรวมคาร์บอเนต	80	100	115	143	165
คอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบา	68	83	95	115	135
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา	63	78	90	110	128

14.4.2.2 สำหรับแผ่นพื้นกลวง (Hollow-Core Slab) ให้คำนวณความหนาเทียบเท่าพื้นคอนกรีตตันโดยการใช้พื้นที่หน้าตัดหารด้วยความกว้างของแผ่นพื้น

14.4.2.3 สำหรับพื้นที่เป็นส่วนหนึ่งของคานรูปตัวที ให้กำหนดความหนาเทียบเท่าพื้นคอนกรีตตันจากพื้นที่ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากปลายขอบของคานรูปตัวทีเป็นระยะเท่ากับ ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง สองเท่าของความหนาที่ปลายหรือ 150 mm ดังแสดงในรูป 14.1



รูปที่ 14.1 ความหนาเทียบเท่าพื้นคอนกรีตตัน สำหรับพื้นที่เป็นส่วนหนึ่งของคานรูปตัวที

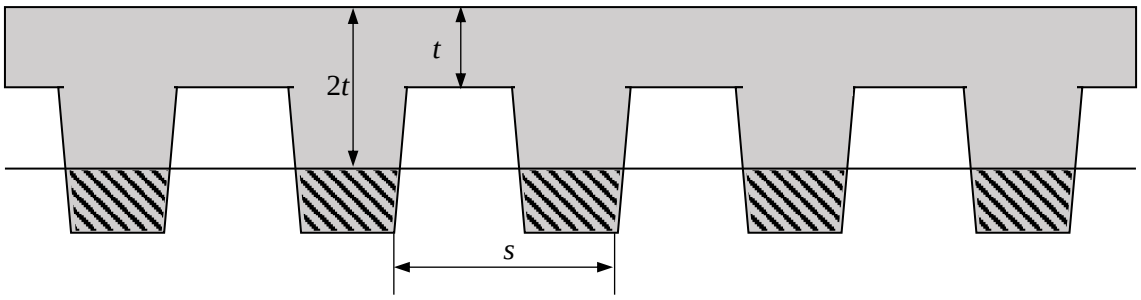
14.4.2.4 สำหรับแผ่นพื้นคานซี่ (Ribbed Slab) ให้ใช้ค่าความหนาเทียบเท่ากับพื้นคอนกรีตตันดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับกรณีที่ $s > 4t$ ให้ใช้ความหนาเท่ากับ t

(ข) สำหรับกรณีที่ $s \leq 2t$ ให้ใช้ความหนาเท่ากับ t_e

(ค) สำหรับกรณีที่ $4t > s > 2t$ ให้ใช้ความหนาเท่ากับ $t + (\frac{4t}{s} - 1)(t_e - t)$

โดยที่ s ระยะห่างระหว่างสัน t คือความหนาส่วนที่น้อยสุดของพื้น t_e ความหนาเทียบเท่าคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของพื้นหารด้วยความกว้างของแผ่นพื้น (รูปที่ 14.1 และ 14.2)



รูปที่ 14.2 พื้นคานซี่ (Ribbed Slab)

14.4.2.5 เสาที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องมีขนาดองค์อาคารขั้นต่ำดังตารางที่ 14.3

14.4.2.6 สำหรับเสาที่ใช้คอนกรีตที่มีกำลังมากกว่า 82.7 MPa ให้ใช้ขนาดความกว้างขั้นต่ำเท่ากับ 600 mm และใช้เหล็กปลอกที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

สำหรับเหล็กปลอกสี่เหลี่ยมให้ใช้การงอขอมาตรฐานแบบ 135 องศา

สำหรับเหล็กปลอกทรงกลมและเหล็กปลอกเกลียวให้ใช้การงอขอมาตรฐานแบบ 90 องศา

14.4.2.7 ความหนาขั้นต่ำของกำแพงรับน้ำหนักบรรทุก (Load Bearing Wall) หรือกำแพงไม่รับน้ำหนักบรรทุก (Non-Load Bearing) ที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องมีขนาดความหนาขั้นต่ำสำหรับอัตราการทนไฟค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 14.4

ตารางที่ 14.3 ขนาดองค์อาคารขั้นต่ำของเสา

ประเภทคอนกรีต	อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)				
	1	1.5	2*	3*	4**
คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส	200	225	250	300	350
คอนกรีตมวลรวมคาร์บอเนต	200	225	250	275	300
คอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบา	200	213	225	263	300

หมายเหตุ * สำหรับเสาที่มีด้านที่ขนานกันยาวไม่น้อยกว่า 900 mm สามารถลดขนาดด้านสั้นสุดเป็น 200 mm

** สำหรับเสาที่มีด้านที่ขนานกันยาวไม่น้อยกว่า 900 mm สามารถลดขนาดด้านสั้นสุดเป็น 300 mm

ตารางที่ 14.4 ความหนาขั้นต่ำของกำแพงรับแรงรับน้ำหนักบรรทุก หรือกำแพงไม่รับน้ำหนักบรรทุกที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ประเภทคอนกรีต	อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)				
	1	1.5	2	3	4
คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส	88	108	125	155	175
คอนกรีตมวลรวมคาร์บอเนต	80	100	115	143	165
คอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบา	68	83	95	115	135
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา	63	78	90	110	128

14.5 การป้องกันไฟของจุดเชื่อมต่อ

จุดเชื่อมต่อที่อาจได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้ อาทิเช่น จุดเชื่อมต่อโครงสร้างหลัก โครงสร้างรอง เช่น จุดเชื่อมต่อพื้น ผนัง หรือ ที่ใช้เหล็กรูปแบบต่าง ๆ จะต้องได้รับการป้องกันไฟให้มีอัตราการทนไฟเท่ากับอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลักของจุดเชื่อมต่อนั้น ๆ โดยมีการคำนวณผลกระทบของจุดต่อนั้น ๆ โดยใช้ค่าการรับกำลังที่มีผลกระทบตามแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการ

14.6 การทดสอบอัตราการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้าง

14.6.1 ในกรณีโครงสร้างหลักที่มีขนาดหรือมีความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือระยะคอนกรีตหุ้มน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 14.3 และ 14.4 จะต้องใช้วัสดุอื่นหุ้มเพิ่มเติมหรือป้องกันโดยวิธีอื่นเพื่อช่วยทำให้โครงสร้างมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า ที่กำหนดในกฎกระทรวง ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตามมาตรา 8 [62] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ คุณสมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้

14.6.2 การทดสอบอัตราการทนไฟจะต้องมีวิธีการทดสอบ การประกอบติดตั้ง การรองรับหรือการยึดวางตัวอย่างทดสอบ และการประเมินผลทดสอบ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานไอเอสโอ 834 (ISO 834) [54] หรือมาตรฐานการทดสอบอัตราการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร มยผ. 8202 [74]

14.7 การคำนวณค่าอัตราการทนไฟ

14.7.1 การคำนวณค่าอัตราการทนไฟมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินกำลังรับแรงของโครงสร้างภายใต้สภาวะที่เกิดเพลิงไหม้ตามระยะเวลาที่กำหนด

14.7.2 การคำนวณค่าอัตราการทนไฟต้องใช้วิธีที่มีพื้นฐานอยู่บนหลักการทางวิศวกรรม หรือเป็นไปตามมาตรฐานหรือวิธีการที่เป็นที่ยอมรับ และต้องพิจารณาถึงประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติของเหล็กเสริมและคอนกรีตที่เปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Properties at Elevated Temperature) ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งของเหล็กเสริมภายในคอนกรีตจากการเกิดเพลิงไหม้เป็นระยะเวลาตามที่กำหนด (Temperature within Concrete) และการยึดรั้งที่เกิดขึ้นของโครงสร้าง (Restraint)

14.7.3 นอกจากความสามารถในการรับแรงโดยไม่เกิดการพังถล่ม ค่าอัตราการทนไฟต้องพิจารณาถึงประเด็นอื่น ๆ ประกอบด้วย ได้แก่ การป้องกันการลามของไฟ (Flame Passage End Point) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจากการถ่ายเทความร้อน (Heat Transmission End Point) เป็นต้น

14.8 รอยต่อระหว่างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

14.8.1 โครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องมีการป้องกันการลุกลามของเพลิงไหม้และการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ ไม่ให้ผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป รวมไปถึงเพื่อการป้องกันการลามไฟและควันต้องมีความสามารถในการป้องกันการลามผ่านช่องเปิด (Fire Protection of Opening) ที่เกิดจากการเจาะทะลุหรือเว้นช่องว่างไว้เพื่องานระบบหรือสาธารณูปโภค

14.8.2 ช่องเปิดหรือรอยต่อซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่ที่กำหนด ให้เป็นส่วนกั้นแยก ที่มีอัตราการทนไฟ ต้องมีการป้องกันช่องเปิดหรือรอยต่อดังกล่าวด้วยวัสดุ ผลิตภัณฑ์ หรือระบบของวัสดุป้องกันไฟลาม ซึ่งผ่านการทดสอบการป้องกันไฟลามในแต่ละขนาดและประเภทช่องเปิดจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยในส่วนที่เกี่ยวกับการกั้นแยกอาคาร (Fire Compartment) รวมถึงช่องเปิดต่าง ๆ ของอาคารควรมีผลการทดสอบระบบป้องกันไฟและควันลามที่เป็นระบบตามมาตรฐานสากล รวมไปถึงการทดสอบทั้งระบบ เช่น พื้น ผนังภายในอาคาร เปลือกอาคาร และรอยต่อของผนังหรือยาแนวทั้งหมด เป็นต้น กรณีที่ไม่สามารถทดสอบได้ ให้ใช้การออกแบบตามหลักวิศวกรรม ที่อยู่บนพื้นฐานหลักการ หรือการคำนวณทางวิศวกรรม และมีเอกสารเอกสารกำกับแบบละเอียด โดยคำนึงถึงลักษณะช่องเปิด สภาวะแวดล้อม อัตราการทนไฟที่ต้องการ และอ้างอิงผลการทดสอบที่มีลักษณะใกล้เคียงกันในอดีต

14.8.3 รอยต่ออาคาร (Construction Joint) หรือช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างอาคาร ที่เพลิงไหม้ลุกลามหรือควันไฟแพร่กระจายผ่านไปได้ อาทิเช่น รอยต่อใต้ผนัง รอยต่อระหว่างผนังกับผนัง รอยต่อระหว่างผนังกับพื้นหรือคาน รอยต่อระหว่างพื้นกับพื้นและรอยต่อเหนือผนังซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของส่วนกั้นแยกและมิได้ถูกสร้างให้เป็นชิ้นเดียวกัน ต้องมีการก่อสร้างด้วยรูปแบบที่สามารถป้องกันไฟลามและมีการใช้วัสดุ ผลิตภัณฑ์ หรือระบบของวัสดุป้องกันไฟลาม เพื่อให้มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดของอัตราการทนไฟของโครงสร้างซึ่งนำมาประกอบกันการคำนวณค่าอัตราการทนไฟมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินกำลังรับแรงของโครงสร้างภายใต้สภาวะที่เกิดเพลิงไหม้ตามระยะเวลาที่กำหนด

ส่วนที่ 15 การประเมินกำลังของโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ

15.1 ขอบเขต

15.1.1 ขอบข่าย

ส่วนนี้เป็นคำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่องค์ประกอบทางโครงสร้างของอาคารคอนกรีตที่มีอยู่เดิมสามารถรองรับได้อย่างปลอดภัย โดยครอบคลุมทั้งในส่วนของโครงสร้างคอนกรีตรวมถึงคอนกรีตหล่อในที่ที่มีการเสริมเหล็ก คอนกรีตหล่อสำเร็จ คอนกรีตอัดแรง และคอนกรีตหล่อในที่แบบอัดแรงภายหลัง

15.1.2 การใช้งาน

ขั้นตอนการดำเนินการที่แนะนำในส่วนนี้สามารถใช้ได้ในกรณีที่จำเป็นต้องทำการประเมินกำลังของอาคารคอนกรีตที่มีอยู่เดิม ดังต่อไปนี้

15.1.2.1 โครงสร้างมีความเสียหาย เนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกมากเกินไปหรือน้ำหนักบรรทุกที่ไม่เหมาะสม การระเบิด การสั่นสะเทือน เพลิงไหม้ หรือสาเหตุอื่น ๆ

15.1.2.2 โครงสร้างที่มีสัญญาณบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพหรือจุดอ่อนทางโครงสร้าง เช่น คอนกรีตมีรอยร้าวหรือมีการหลุดล่อนมากผิดปกติ เหล็กเสริมคอนกรีตมีการกัดกร่อนเป็นสนิม องค์อาคารที่มีการแอ่นตัวหรือบิดตัวมากเกินไป หรือสัญญาณบ่งบอกถึงปัญหาอื่น ๆ

15.1.2.3 โครงสร้างที่สงสัยว่ามีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งในด้านการคำนวณออกแบบรายละเอียด วัสดุ หรือการก่อสร้าง

15.1.2.4 โครงสร้างที่สงสัยว่ามีความแข็งแรงทางโครงสร้างไม่เพียงพอและไม่ทราบเกณฑ์การออกแบบดั้งเดิม

15.1.2.5 โครงสร้างที่ผ่านการต่อเติมหรือมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งานหรือการอยู่อาศัย และกรณีที่เกณฑ์การออกแบบใหม่มีมาตรฐานสูงกว่าเกณฑ์การออกแบบเดิม

15.1.2.6 โครงสร้างที่จำเป็นต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพ หลังจากผ่านการแก้ไข ได้แก่ การซ่อมแซม หรือการเสริมความแข็งแรง

15.1.3 ข้อยกเว้น

ส่วนนี้ไม่ครอบคลุมกรณี ดังต่อไปนี้

15.1.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของโครงสร้างที่มีแนวคิดการออกแบบแตกต่างไปจากปกติ

15.1.3.2 การทดสอบผลิตภัณฑ์ที่กำลังพัฒนา ซึ่งมีการทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อควบคุมคุณภาพหรือเพื่อรับรองส่วนประกอบที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก

15.1.3.3 การประเมินฐานรากหรือสภาพดิน

15.1.3.4 การวิจัยทางวิศวกรรมโครงสร้าง

15.1.4 ประเภทของการประเมิน

โครงสร้างคอนกรีตที่มีอยู่เดิมซึ่งจะทำการประเมินนั้นจะมีลักษณะเฉพาะหรือระดับประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

15.1.4.1 เสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวม

15.1.4.2 เสถียรภาพของส่วนประกอบแต่ละส่วนของโครงสร้าง

15.1.4.3 ความแข็งแรงและความปลอดภัยขององค์ประกอบทางโครงสร้างแต่ละองค์ประกอบ

15.1.4.4 สติฟเนสของโครงสร้างโดยรวม

15.1.4.5 ความทนทานของโครงสร้าง

15.1.4.6 สติฟเนสขององค์ประกอบทางโครงสร้างแต่ละองค์ประกอบ

15.1.4.7 ความไวขององค์ประกอบทางโครงสร้างแต่ละองค์ประกอบต่อการเปลี่ยนรูปในระยะยาว

15.1.4.8 การตอบสนองทางพลวัตขององค์ประกอบทางโครงสร้างแต่ละองค์ประกอบ

15.1.4.9 ความต้านทานไฟของโครงสร้าง

15.1.4.10 สภาพใช้งานได้ของโครงสร้าง

15.1.5 ขั้นตอนสำหรับการประเมินโครงสร้าง

การประเมินโครงสร้างควรสะท้อนถึงลักษณะเฉพาะของโครงสร้างที่ทำการประเมินและปัญหาที่เกี่ยวข้องในทางบูรณภาพของโครงสร้าง โดยการประเมินประกอบด้วย:

15.1.5.1 การระบุสภาพเดิมของอาคาร รวมถึง:

(ก) การตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่

(ข) การทำการสำรวจสภาพ

(ค) การระบุสาเหตุและอัตราความก้าวหน้าของปัญหาที่มีอยู่เดิม

(ง) การวิเคราะห์โครงสร้างขั้นต้น

(จ) การระบุระดับการซ่อมแซมก่อนที่จะทำการประเมิน

15.1.5.2 การเลือกองค์ประกอบทางโครงสร้างที่จำเป็นต้องทำการประเมินอย่างละเอียด

15.1.5.3 การประเมินสภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกทั้งในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต ซึ่งโครงสร้างเคยรับและจะต้องรับภายใต้รูปแบบการใช้งานที่คาดการณ์ไว้

15.1.5.4 การทำการประเมิน

15.1.5.5 การประเมินผลที่ได้

15.1.5.6 การเตรียมรายงานที่มีข้อมูลสมบูรณ์ รวมถึง คำอธิบายขั้นตอนและสิ่งที่พบจากขั้นตอนก่อนหน้าทั้งหมด

15.1.6 ผลที่ได้รับจากการประเมิน

การใช้ดุลพินิจทางวิศวกรรมในการประเมินกำลังของอาคารคอนกรีตเสริมกำลังโดยวิศวกรโครงสร้างสามารถให้ข้อสรุปเกี่ยวกับบูรณภาพของโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

15.1.6.1 โครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงพอต่อวัตถุประสงค์การใช้งานตลอดอายุการใช้งานที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ หากมีการดูแลรักษาอย่างเหมาะสม

15.1.6.2 ในสภาพปัจจุบัน โครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงพอต่อวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่อาจไม่เป็นเช่นนั้นในอนาคตเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต

15.1.6.3 โครงสร้างมีความแข็งแรงไม่เพียงพอต่อวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่อาจเพียงพอกับการใช้งานในรูปแบบอื่น

15.1.6.4 โครงสร้างมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ และจำเป็นต้องทำการแก้ไข

15.1.6.5 โครงสร้างมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ และไม่สามารถแก้ไขได้

15.1.6.6 ข้อมูลที่มีนั้นไม่เพียงพอที่จะสรุปอย่างแน่ชัดได้

15.2 การศึกษาขั้นต้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษาขั้นต้น คือ เพื่อระบุสภาพในปัจจุบันของโครงสร้าง และจัดเตรียมข้อมูลที่จะต้องใช้ในการประเมินกำลังของโครงสร้างในปัจจุบันให้มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

15.2.1 การตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่เดิม

รายการของแหล่งข้อมูลต่อไปนี้มีไว้เพื่อเป็นแนวทาง โดยอาจไม่จำเป็นต้องพิจารณาแหล่งข้อมูลทุกรายการสำหรับการประเมินกำลัง

15.2.1.1 การออกแบบดั้งเดิม

มีแหล่งข้อมูลหลายแหล่งที่จะช่วยในการพิจารณาปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบดั้งเดิมของอาคาร เช่น

(ก) แบบทางสถาปัตยกรรม แบบโครงสร้าง แบบแปลนทางกล รวมถึงข้อกำหนดต่าง ๆ

(ข) การคำนวณออกแบบโครงสร้าง

(ค) คำสั่งแก้ไขแบบและข้อกำหนดดั้งเดิม

(ง) รายงานการประชุมระหว่างวิศวกรและที่ปรึกษาอื่น ๆ ของโครงการ

(จ) รายงานการศึกษาสภาพดิน รวมถึงรายงานการทรุดตัวที่คาดการณ์ไว้ของโครงสร้าง

15.2.1.2 วัสดุก่อสร้าง

ควรตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับโครงการ เพื่อทำความเข้าใจกับประเภทของวัสดุที่มีการกำหนดและใช้กับอาคาร เช่น

(ก) รายงานเกี่ยวกับสัดส่วนและสมบัติของส่วนผสมคอนกรีต รวมถึง ข้อมูลเกี่ยวกับสารผสมเพิ่มที่ใช้ เช่น สารลดน้ำ และสารกระจายกักฟองอากาศที่มีหรือไม่มีคลอไรด์

(ข) รายงานการทดสอบเหล็กเสริม

15.2.1.3 บันทึกการก่อสร้าง

บันทึกเอกสารต่าง ๆ ตั้งแต่การก่อสร้างดั้งเดิม เช่น

(ก) รายงานการตรวจสอบภาคสนาม

(ข) บันทึกประจำวันของผู้รับเหมาและผู้รับเหมาช่วง

(ค) ภาพถ่ายและวิดีโอแสดงความคืบหน้าของงาน

(ง) รายงานการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

(จ) รายงานการทดสอบปริมาณอากาศและค่ายุบตัวภาคสนาม

(ฉ) รายงานและบันทึกการรังวัด

(ช) รายงานที่ส่งโดยผู้ตรวจสอบอาคาร

(ซ) ภาพแบบและข้อกำหนดที่เก็บไว้ในห้องหรือสำนักงานในระหว่างการก่อสร้าง

(ฌ) บันทึกของแผนกบัญชีที่อาจระบุถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

15.2.1.4 เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการก่อสร้าง

การสอบถามข้อมูลจากบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานดังกล่าว

15.2.1.5 ประวัติการใช้อาคาร

ประกอบด้วยเอกสารทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับประวัติของอาคาร เช่น

(ก) รายชื่อของเจ้าของ/ผู้อยู่อาศัยในอดีตและปัจจุบัน ตัวแทนกฎหมาย และบริษัทประกัน

(ข) บันทึกการบำรุงรักษา

(ค) เอกสารและบันทึกเกี่ยวกับการซ่อมแซมและการปรับปรุงในอดีต รวมถึงสรุปการประเมินสภาพและรายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

(ง) บันทึกของเจ้าของอาคารหรือโครงสร้างข้างเคียง

(จ) บันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวและบันทึกเกี่ยวกับเหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรง เช่น พายุไต้ฝุ่น (ถ้ามี)

(ฉ) ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการรังวัด/ ภาพถ่ายดาวเทียม

15.2.2 การสำรวจสภาพของอาคาร

ขั้นตอนบางขั้นตอนที่ระบุต่อไปนี้อาจไม่จำเป็นสำหรับการประเมินกำลัง วิศวกรที่ทำการประเมินจะเป็นผู้ตัดสินใจว่า ข้อมูลใดเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการพิจารณาสภาพขององค์ประกอบทางโครงสร้างของอาคารที่จะทำการประเมิน

15.2.2.1 การตรวจหาความผิดปกติ ความรู้ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะพื้นฐานของคอนกรีตโครงสร้างและประเภทของปัญหาและการชำรุดที่สามารถสังเกตเห็นได้ในอาคารคอนกรีต ถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถทำการประเมินกำลังได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสาเหตุและการประเมินปัญหาในโครงสร้างคอนกรีตจะมีอยู่ในมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ ACI 201.1R [1], ACI 207.3R [2], ACI 222R [5], ACI 222.2R [6], ACI 224R [7], ACI 224.1R [8], ACI 309.2R [11], ACI 362R [13], ACI 364.1R [14] และ ACI 423.4R [15] รวมทั้งในเอกสารจากองค์กรอื่น ๆ เช่น สถาบัน การซ่อมแซมคอนกรีตสากล (International Concrete Repair Institute หรือ ICRI)

15.2.2.2 การตรวจสอบด้วยสายตา

การระบุตำแหน่งที่เกิดปัญหา การเสื่อมสภาพ และความเสียหายทั้งหมดของโครงสร้างที่สังเกตเห็นได้ด้วยตา ควรจะทำโดยการตรวจสอบด้วยสายตาอย่างถี่ถ้วนที่ส่วนประกอบทางโครงสร้างสำคัญของอาคาร แนะนำให้ใช้การถ่ายภาพ การจดบันทึก และการวาดภาพร่างเพื่อบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบดังกล่าว และควรแบ่งความผิดปกติออกตามประเภท ระดับความเสียหาย ตำแหน่ง และความรุนแรง

15.2.2.3 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับการทดสอบในที่

วิธีการทดสอบสำหรับการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตในที่ หรือวิธีการทดสอบสำหรับการหากำลังสัมพัทธ์ของคอนกรีตภายในโครงสร้างมีหลายวิธี โดยวิธีการเหล่านี้เรียกว่าการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่

(ก) การทดสอบค่าการสะท้อน (Rebound Number)

ขั้นตอนสำหรับการทดสอบและวิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีนี้เป็นไปตามมาตราฐาน ASTM C805 [42]

(ข) การทดสอบการยิงหัวหยั่ง (Probe Penetration)

ขั้นตอนสำหรับการทดสอบและวิธีการประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีนี้เป็นไปตามมาตราฐาน ASTM C803/C 803M [41]

(ค) การทดสอบความเร็วคลื่น (Pulse Velocity)

ขั้นตอนสำหรับการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C597 [38] ผลที่ได้จากทดสอบวิธีนี้คือ ค่าความเร็วของคลื่นที่เดินทางผ่านคอนกรีตที่ทำการทดสอบ โดยความเร็วคลื่นจะแปรผันตรงกับรากที่สองของมอดูลัสยืดหยุ่น และแปรผกผัน

กับความหนาแน่นมวลของคอนกรีต การทดสอบโดยใช้ความเร็วคลื่นจึงเป็นวิธีที่ไม่แนะนำให้ใช้ประมาณค่ากำลังของคอนกรีต การทดสอบนี้เหมาะสำหรับการระบุตำแหน่งในโครงสร้างซึ่งคอนกรีตมีคุณภาพแตกต่างออกไปหรือตำแหน่งที่อาจมีความเสียหายภายใน เช่น การแตกร้าว และโพรงรังผึ้ง

(ง) การทดสอบการดึงหลุด (Pullout Test)

การทดสอบการดึงหลุดประกอบด้วยการตรวจวัดแรงที่จำเป็นในการดึงโลหะที่ฝังไว้ออกจากชิ้นส่วนคอนกรีต รายละเอียดแสดงไว้ในมาตรฐาน ACI 228.1R [9] แรงดึงหลุดนี้จะมาจากแม่แรงที่ติดตั้งบนพื้นผิวคอนกรีตพร้อมด้วยแหวนปฏิกิริยาที่อยู่ในตำแหน่งร่วมศูนย์กับโลหะฝัง โดยเมื่อโลหะฝังถูกดึงออก จะมีชิ้นส่วนทรงกรวยของคอนกรีตถูกดึงหลุดออกมาด้วย การทดสอบนี้จะให้ค่าการวิบัติที่แม่นยำของคอนกรีต รวมทั้งเป็นการตรวจวัดสมบัติทางกำลังสถิต อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้มีข้อสรุปว่าเป็นการตรวจวัดสมบัติทางกำลังใด ดังนั้นจึงควรหาความสัมพันธ์ทางกำลังระหว่างกำลังอัดกับกำลังการดึงหลุด

15.2.2.4 การทดสอบในที่เพื่อระบุตำแหน่งของเหล็กเสริม

ขนาด จำนวน และตำแหน่งของเหล็กเสริม เป็นข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบเพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำ วิธีการให้ได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้ทำได้หลายวิธี ได้แก่

(ก) อุปกรณ์ระบบแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า เครื่องตรวจหาเหล็ก (Covermeter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบุตำแหน่งของเหล็กเสริมโดยเฉพาะ

(ข) การถ่ายภาพรังสี (Radiograph) เป็นอุปกรณ์เพื่อให้สามารถประเมินตำแหน่งการวางเหล็กเสริมได้อย่างเชื่อถือได้วิธีหนึ่ง

(ค) เรดาร์ทะลุพื้นดินเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุโลหะที่ฝังอยู่ในคอนกรีตได้

ในปัจจุบัน ระบบในข้อ (ก) ถึง (ค) นั้นจะไม่สามารถประมาณขนาดของเหล็กเส้นได้อย่างแม่นยำ รายละเอียดข้อมูลสรุปเกี่ยวกับเครื่องมือต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้แสดงไว้ในมาตรฐาน ACI 228.2R [10]

(ง) การทลายคอนกรีตหุ้ม วิธีการนี้เป็นการทลายคอนกรีตหุ้มออกโดยการเจาะหรือการกะเทาะ เพื่อระบุตำแหน่งและตรวจสอบขนาดของเหล็กเสริมที่ฝังไว้ และเพื่อหาระยะหุ้ม โดยจะใช้วิธีการนี้เป็นหลักเพื่อตรวจสอบยืนยันความถูกต้องและปรับเทียบผลที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายที่กล่าวถึงข้างต้น

15.2.2.5 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อระบุความผิดปกติภายใน

การตรวจหาความเสียหายภายในโครงสร้างมีหลากหลายวิธี โดยจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีความซับซ้อนและต้องใช้ความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในการทดสอบและอ่านผล วิธีการทดสอบมีดังนี้

(ก) การฟังเสียง

การตรวจหาบริเวณที่เป็นโพรงกลวงหรือการแตกล่อนเป็นชั้นใต้พื้นผิวคอนกรีตสามารถทำได้โดยการใช้ค้อนหรือแท่งเหล็กเคาะที่พื้นผิวคอนกรีต การเคาะที่บริเวณที่กลวงแตกล่อนเป็นชั้น หรือบาง จะทำให้เกิดเสียงกลวงโปร่งคล้ายกลอง แต่ความไวในการรับรู้และความเชื่อถือได้ของวิธีการนี้จะลดลงหากความเสียหายอยู่ที่ระดับความลึกมากขึ้น

(ข) ความเร็วคลื่น

ระยะเวลาเดินทางของคลื่นระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสมบัติของคอนกรีตตามแนวคลื่นและระยะเดินทางจริงของคลื่น หากบริเวณระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณมีคอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำ ระยะเวลาเดินทางของคลื่นจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วที่คำนวณได้มีค่าลดลง หากมีโพรงอยู่ระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ คลื่นจะเดินทางผ่านคอนกรีตโดยรอบโพรง ส่งผลให้ระยะเดินทางจริงของคลื่นเพิ่มขึ้นและทำให้ความเร็วคลื่นที่คำนวณได้มีค่าลดลง

(ค) เรดาร์ทะลุพื้นดิน

วิธีการนี้เป็นการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุ เสาอากาศที่ติดตั้งบนพื้นผิวคอนกรีตจะทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่วิทยุช่วงสั้นมาก ส่วนหนึ่งของคลื่นนี้จะสะท้อนกลับมายังเสาอากาศ ซึ่งทำหน้าที่รับคลื่นด้วยเช่นกัน และคลื่นส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านเข้าไปในคอนกรีต ในกรณีที่ชิ้นส่วนคอนกรีตมีรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกัน คลื่นบางส่วนที่ทะลุผ่านเข้าไปในคอนกรีตจะสะท้อนกลับมายังเสาอากาศ ถ้าทราบความเร็วของคลื่นในคอนกรีต จะทำให้สามารถหาความลึกของรอยต่อดังกล่าวได้ (ACI 228.2R [10]) เมื่อย้ายตำแหน่งของเสาอากาศไปบนพื้นผิว ระบบบันทึกข้อมูลดิจิตอลจะแสดงภาพด้านข้างของรอยต่อสะท้อนคลื่นภายในคอนกรีต การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการสะท้อนจะระบุถึงวัตถุที่ถูกฝังอยู่ โพรง และความหนาของแต่ละส่วน การอ่านภาพด้านข้างที่บันทึกไว้ถือเป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดของการใช้ระบบเรดาร์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด วิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่ฝังอยู่ในคอนกรีต เช่น เหล็กเสริมและท่อ รวมทั้งยังสามารถใช้เพื่อระบุบริเวณที่มีการเสื่อมสภาพ โพรงหรือโพรงรังผึ้ง และเพื่อวัดค่าความหนาของชิ้นส่วนในกรณีที่เข้าถึงชิ้นส่วนดังกล่าวได้จากด้านเดียว

ความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความนำไฟฟ้าของวัสดุและความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งวัสดุมีความนำไฟฟ้าสูงขึ้น คลื่นจะยิ่งทะลุทะลวงได้น้อยลง สำหรับการทดสอบคอนกรีต หากมีปริมาณความชื้นสูง คลื่นจะทะลุทะลวงได้น้อยลง

(ง) การถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด (Infrared Thermography)

พื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์จะมีการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นของรังสีนี้ที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในช่วงอินฟราเรดบนสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อัตราการแผ่พลังงานจากพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นผิว ดังนั้นการใช้เครื่องตรวจจับอินฟราเรดจึงสามารถระบุความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวได้ หากชิ้นส่วนคอนกรีตมีความเสียหายภายใน เช่น รอยร้าวหรือโพรงขนาดใหญ่ ทำให้มีความร้อนไหลผ่านภายในชิ้นส่วนคอนกรีต ความเสียหายดังกล่าวจะส่งผลต่ออุณหภูมิของพื้นผิวที่อยู่เหนือความเสียหายนั้น ๆ การถ่ายภาพแสดงอุณหภูมิพื้นผิวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องตรวจจับอินฟราเรด เพื่อระบุตำแหน่งของจุดร้อนหรือจุดเย็นบนพื้นผิว โดยตำแหน่งของจุดร้อนและจุดเย็นนี้จะสามารถบอกถึงตำแหน่งของความเสียหายภายในคอนกรีตได้ วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุตำแหน่งของการแตกล่อนเป็นชั้นในชั้นทางคอนกรีตและผิวสะพานได้ (ASTM D4788 [51])

(จ) การถ่ายภาพรังสี

การถ่ายภาพรังสีเป็นวิธีที่สามารถใช้เพื่อระบุตำแหน่งของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ได้ นอกจากนี้ การถ่ายภาพรังสียังสามารถใช้เพื่อระบุสภาพภายในขององค์ประกอบทางโครงสร้างได้เช่นกัน โดยเหล็กเสริมจะดูดซับพลังงานได้มากกว่าคอนกรีตโดยรอบ และจะแสดงขึ้นเป็นพื้นที่สว่างบนแผ่นฟิล์ม ในทางกลับกัน รอยร้าวและโพรงจะดูดซับรังสีได้น้อยกว่า และจะแสดงขึ้นเป็นพื้นที่มืดบนแผ่นฟิล์ม ระนาบรอยร้าวที่อยู่ในแนวขนานกับทิศทางของรังสีจะสามารถตรวจพบได้ง่ายกว่ารอยร้าวที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสี

15.3 วิธีการประเมินวัสดุ

เนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายขั้นตอนการประเมินคุณภาพและสมบัติเชิงกลของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้าง โดยการประเมินนี้มักจะใช้เพื่อสนับสนุนผลการทดสอบในที่หรือการทดสอบแบบไม่ทำลายตามที่อธิบายไว้ในส่วนที่ 15.2 โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์คอนกรีตทางอนุภาคและทางเคมี รวมไปถึงวิธีการทดสอบต่าง ๆ

15.3.1 คอนกรีต

15.3.1.1 แนวทางการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

การเก็บตัวอย่าง การเคลื่อนย้าย การระบุข้อมูลของตัวอย่าง และการจัดเก็บตัวอย่างคอนกรีตอย่างถูกวิธีถือเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อป้องกันความเสียหายหรือการปนเปื้อน ส่วนนี้จะอธิบายถึงเทคนิคที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

(ก) วิธีการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมให้เป็นไปตาม ASTM C823 [43]

การเก็บตัวอย่างมักจะทำเพื่อหาข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับสมบัติของคอนกรีตในโครงสร้างโดยรวม เพื่อหาสหสัมพันธ์กับการทดสอบในที่ตามที่อธิบายถึงในส่วนที่ 15.2 หรือเพื่อระบุลักษณะที่ผิดปกติหรือแตกต่างไปจากที่กำหนดในบางส่วนของโครงสร้าง ในกรณีของการเก็บข้อมูลทางสถิติ ตำแหน่งของตัวอย่างควรมีการสุ่มกระจายอย่างทั่วถึงทั้งโครงสร้าง จำนวนและขนาดของตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่จำเป็นต้องทำและระดับความเชื่อถือได้ที่ต้องการของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ

(ข) แผนการเก็บตัวอย่างที่จำเป็น ได้แก่ ทิศทางการเก็บตัวอย่างและตำแหน่งของตัวอย่างภายในชิ้นส่วนคอนกรีต สำหรับแต่ละโครงการนั้นจะขึ้นอยู่กับว่า สามารถพิสูจน์ได้หรือไม่ว่าคอนกรีตมีสมบัติเดียวกันทั้งโครงสร้าง

(ค) การเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยการเจาะคว้านแกน

ขั้นตอนสำหรับการเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยการเจาะคว้านแกน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C42/C42M [31] โดยขนาดแกนที่เหมาะสมจะนำไปทดสอบสมบัติทางกำลังควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่าสองเท่าของขนาดระบุสูงสุดของมวลรวมหยาบ หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 mm โดยเลือกขนาดใดขนาดหนึ่งที่ใหญ่กว่า การใช้แกนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะส่งผลให้ได้ ค่ากำลังต่ำลงและผันผวนมากขึ้น ส่วนความยาวแกน หากสามารถทำได้แกนที่จะนำไปทดสอบสมบัติทางกำลังควรมีความยาวเป็นสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ควรหลีกเลี่ยงอย่าให้มีเหล็กเสริมฝังอยู่ในแกนคอนกรีตที่จะนำไปทดสอบหากำลังอัด ควรเจาะคว้านแกนให้ได้ความยาวมากกว่าที่ต้องการประมาณ 50 mm เพื่อเป็นการเผื่อไว้ในกรณีที่เกิดความเสียหายกับบริเวณฐานแกน

15.3.1.2 การวิเคราะห์ทางอนุภาคและทางเคมี

การวิเคราะห์คอนกรีตทางอนุภาคและทางเคมี ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินกำลังของโครงสร้างที่มีอยู่เดิม โดยจะให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เกี่ยวกับองค์ประกอบของคอนกรีต สภาพในปัจจุบัน และการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ลักษณะเฉพาะและสมบัติของคอนกรีตที่ตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์เหล่านี้สามารถที่จะใช้ข้อมูลเชิงลึกในการวิเคราะห์ถึงลักษณะและรูปแบบของปัญหาที่เกิดขึ้นได้

(ก) การวิเคราะห์ทางอนุภาค

เทคนิคที่ใช้สำหรับการตรวจสอบคอนกรีตหรือมวลรวมในคอนกรีตในทางอนุภาค มีพื้นฐานการพัฒนามาจากเทคนิคที่ใช้ในด้านธรณีวิทยาเพื่อจำแนกหินและแร่ การตรวจสอบในลักษณะนี้มักจะทำภายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แกนคอนกรีตที่เจาะออกมาจากโครงสร้าง จากนั้น นำแกนดังกล่าวมาติดแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วนำไปขัด ก่อนที่จะนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ การตรวจสอบทางอนุภาคประกอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD) อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared Spectroscopy) และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Differential Thermal Analysis หรือ DTA) โดยปกติแล้ว การวิเคราะห์ทางอนุภาคจะใช้เพื่อตรวจหาองค์ประกอบของคอนกรีต เพื่อประเมินความเพียงพอของสัดส่วนของส่วนผสม และเพื่อระบุสาเหตุของการเสื่อมสภาพ การวิเคราะห์ทางอนุภาคสามารถให้ข้อมูล เช่น สัดส่วนเชิงปริมาตรของมวลรวม ซีเมนต์เพสต์ และโพรงอากาศ ความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต การมีอยู่ของวัสดุแปลกปลอม โอกาสเกิดปฏิกิริยาที่เป็นอันตรายระหว่างมวลรวมกับด่างซีเมนต์ ซัลเฟต และซัลไฟด์ การทรุดตัวและการเยิ้มในคอนกรีตสด การเกิดและการกระจายของรอยแตกร้าว การเสื่อมสภาพเนื่องจากการเสียดสีหรือการสัมผัสโดนไฟ เป็นต้น

(ข) การทดสอบทางเคมี

การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตทางเคมีสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสารประกอบของคอนกรีตและรูปแบบของการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ การทดสอบทางเคมียังสามารถใช้เพื่อตรวจหาระดับความรุนแรงของการเสื่อมสภาพรูปแบบต่าง ๆ และในบางกรณียังสามารถใช้เพื่อพยากรณ์โอกาสในการเกิดการเสื่อมสภาพในอนาคตหากลักษณะสภาพแวดล้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างของการทดสอบคอนกรีตทางเคมี ได้แก่ การตรวจหาปฏิกิริยาด่างกับซิลิกา (Alkali-Silica Reaction หรือ ASR) ความลึกของการเกิดคาร์บอเนชัน และการวัดความเข้มข้นของคลอไรด์

15.3.1.3 การทดสอบคอนกรีตเพื่อหากำลังอัด

การตรวจวัดกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรงจากโครงสร้างที่มีอยู่เดิมจะสามารถทำได้โดยการเจาะตัวอย่างแกนคอนกรีตแล้วนำมาทดสอบเท่านั้น การทดสอบในที่หรือการทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นจะสามารถใช้เพื่อประมาณค่ากำลังอัดได้ เมื่อทำการทดสอบดังกล่าวร่วมกับการทดสอบตัวอย่างแกน

(ก) การทดสอบแกน

การตรวจหากำลังอัดของแกนคอนกรีตที่เก็บจากโครงสร้างที่มีอยู่เดิมควรใช้ขั้นตอนและหลักการตามที่ระบุใน ASTM C39/C39M [30] และ ASTM C42/ C42M [31]

(ข) การทดสอบในที่

ในปัจจุบัน ยังไม่มีการทดสอบในที่ ซึ่งสามารถวัดกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในโครงสร้างที่มีอยู่เดิมได้โดยตรง การทดสอบในที่หรือการทดสอบแบบไม่ทำลายมักจะใช้ร่วมกับการทดสอบแกนคอนกรีตที่เจาะออกมา เพื่อลดจำนวนของการเจาะคว้านแกนที่จำเป็นสำหรับการประมาณค่ากำลังอัดของโครงสร้างโดยรวม ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการหาค่ากำลังอัดโดยประมาณที่ถูกต้องจากการทดสอบโดยอ้อมดังกล่าว ดูข้อมูลเพิ่มเติมในมาตรฐาน ACI 228.1R [9] และส่วนที่ 15.2.2.3

15.3.2 เหล็กเสริม

15.3.2.1 การตรวจหากำลังคราก

กำลังครากของเหล็กเสริมสามารถหาได้สองวิธี โดยข้อมูลกำลังครากจากใบรายงานผลการทดสอบที่จัดทำโดยบริษัทผู้ผลิตเหล็กเสริมสามารถนำมาใช้ได้ในกรณีที่วิศวกรและหน่วยงานควบคุมอาคารมีการตกลงร่วมกัน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลกำลังครากจากใบรายงานผลการทดสอบมักจะสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างภาคสนาม หากไม่มีใบรายงานผลการทดสอบหรือข้อมูลกำลังครากในใบรายงานไม่น่าเชื่อถือ จำเป็นจะต้องทำการเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างและทำการทดสอบแบบทำลาย แนวทางสำหรับวิธีการดังกล่าวมีอยู่ในข้อที่ 15.3.2.3

15.3.2.2 เทคนิคการเก็บตัวอย่าง

ในกรณีที่ต้องทำการทดสอบเพื่อหากำลังครากของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้

(ก) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงดึงควรจะเป็นเหล็กเส้นเต็มท่อน เกณฑ์กำหนดเกี่ยวกับความยาวของตัวอย่างทดสอบ การเตรียม การทดสอบ และการหากำลังครากมีกำหนดไว้ใน ASTM A370 [24]

(ข) ในกรณีที่ไม่สามารถหาตัวอย่างเหล็กเส้นที่มีความยาวตรงตามเกณฑ์กำหนดของ ASTM A370 [24] ได้ สามารถที่จะเตรียมตัวอย่าง (ด้วยการตัดเฉือน) ตามเกณฑ์กำหนดทั่วไปของ ASTM A370 [24] สำหรับการทดสอบและการหาสมบัติเชิงกล

(ค) ควรเก็บตัวอย่างจากตำแหน่งที่มีหน่วยแรงน้อยที่สุดของเหล็กเสริม

(ง) เพื่อป้องกันไม่ให้กำลังขององค์อาคารหนึ่ง ๆ ลดลงมากเกินไป ห้ามเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นเกินกว่าสองเส้นจากส่วนหน้าตัด (ตำแหน่ง) เดียวกันขององค์ประกอบทางโครงสร้าง

(จ) ตำแหน่งของตัวอย่างในโครงสร้างคอนกรีตต่อเนื่องควรอยู่ห่างจากกันไม่น้อยกว่าระยะฝังพอของเหล็กเสริม เพื่อป้องกันไม่ให้องค์อาคารสูญเสียกำลังมากเกินไป

(ฉ) องค์ประกอบทางโครงสร้างเดี่ยวที่มีความยาวช่วงน้อยกว่า 7.5 m หรือมีพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 60 mm^2 ควรเก็บตัวอย่างอย่างน้อยหนึ่งชิ้นจากเหล็กเสริมตามยาวหลัก (ไม่ใช่เหล็กลูกตั้งหรือเหล็กยึด)

15.3.2.3 ข้อพิจารณาเพิ่มเติม

การประเมินกำลังของโครงสร้างคอนกรีตอาจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือไปจากกำลังครากของเหล็กเสริม เช่น ระยะฝัง การงอปลาย และการหดตัวของหน้าตัด หรือ กำลังยึดหน่วง ผลการกัดกร่อนเป็นสนิมต่อประสิทธิภาพการรับแรงและความเหนียวลดลง การทดสอบเพื่อหาการกัดกร่อนเป็นสนิมนั้นประกอบด้วยการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (ASTM C876 [45]) และความต้านทานโพลาไรเซชัน ดูข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบดังกล่าวได้ใน ACI 222R [5] และ ACI 228.2R [10]

15.4 การประเมินสภาวะน้ำหนักบรรทุกและการเลือกวิธีการประเมิน

15.4.1 การประเมินน้ำหนักบรรทุกและสภาพแวดล้อม

15.4.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ประกอบด้วยน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 7

15.4.1.2 น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนัก ตำแหน่ง และทิศทางของน้ำหนักบรรทุกจรที่มีต่อส่วนประกอบทางโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของอาคาร เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 [58]

15.4.1.3 แรงลมเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 [58] หรือเป็นไปตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

15.4.1.4 แรงแผ่นดินไหวเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564 [60]

15.4.1.5 ผลกระทบจากความร้อน

ในกรณีที่มีการยึดรั้ง การขยายและการหดตัวของอาคารคอนกรีตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมในแต่ละวันและแต่ละฤดูกาลอาจส่งผลให้เกิดแรงอย่างมีนัยสำคัญต่อองค์ประกอบทางโครงสร้างได้ วิศวกรควรตรวจสอบข้อมูลในบันทึกสภาพอากาศท้องถิ่น เพื่อระบุช่วงอุณหภูมิที่โครงสร้างต้องรับสัมผัส

15.4.1.6 การคืบและการหดตัว

ผลกระทบจากการคืบและการหดตัวในระยะยาว ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีต (ACI 209R [3]) รอยร้าวหรือปัญหาอื่น ๆ อาจมีสาเหตุมาจากการหดตัวแบบยึดรั้ง (ACI 224R [7]) เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างคอนกรีต หน่วยแรงภายในนั้นเป็นผลมาจากการหดตัวแบบยึดรั้งและการคืบในระยะยาวของชิ้นส่วนคอนกรีต

15.4.1.7 เพลิงไหม้

ในกรณีที่อาคารที่ทำการประเมินเคยถูกเพลิงไหม้ ให้พิจารณาผลกระทบของความเสียหายเฉพาะจุดเนื่องจากความร้อนของเพลิงหรือเนื่องจากกระบวนการดับเพลิง โดยควรให้ความสำคัญกับผลกระทบของความร้อนจากเพลิงที่มีต่อกำลังของโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตในระหว่างเพลิงไหม้อาจก่อความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญได้ นอกจากนี้ ยังควรพิจารณาความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อ เหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงในระหว่างการประเมินด้วยเช่นกัน ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ความเสียหายเนื่องจากเพลิงไหม้มีอยู่ในมาตรฐาน ACI 216R [4] การวิเคราะห์ทางอนุภาคและการทดสอบในที่สามารถใช้เพื่อประเมินระดับความเสียหายจากเพลิงไหม้ได้

15.4.1.8 น้ำหนักบรรทุกรวม

วัตถุประสงค์ในการประเมินกำลัง แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักบรรทุกรวมควรเป็นไปตามตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 [58] หรือ ตามมาตรฐานนี้ ในกรณีของการประเมินสภาพใช้งานได้ การใช้แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกเป็น 1.0 สำหรับน้ำหนักบรรทุกในทุกกรณีถือว่ามีความเหมาะสมตามปกติ โดยปกติแล้ว การประเมินประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ของโครงสร้างจำเป็นจะต้องใช้น้ำหนักบรรทุกรวมหลายค่า

15.4.2 การเลือกวิธีการประเมินที่เหมาะสม

วิธีการประเมินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระบบโครงของโครงสร้าง ข้อมูลที่ทราบเกี่ยวกับสภาพโครงสร้างที่มีอยู่เดิม และข้อพิจารณาในด้านการดำเนินการและค่าใช้จ่าย ตัวเลือกโดยทั่วไปสำหรับวิธีการประเมิน ได้แก่ ประเมินโดยใช้การวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว การประเมินโดยใช้การวิเคราะห์และการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในที่ และการประเมินโดยใช้การวิเคราะห์และการทดสอบกับแบบจำลองขนาดเล็ก

15.4.2.1 การประเมินโดยใช้การวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว

การประเมินโดยใช้การวิเคราะห์เพียงอย่างเดียวเป็นวิธีที่แนะนำในกรณีต่อไปนี้

(ก) มีข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางกายภาพ สมบัติของวัสดุ และน้ำหนักบรรทุกที่คาดไว้และลักษณะทางโครงสร้างอย่างเพียงพอหรือสามารถหาข้อมูลได้จากการศึกษาภาคสนาม

(ข) การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติหรือไม่ปลอดภัย เนื่องจากระดับน้ำหนักบรรทุกที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบ ความซับซ้อนของน้ำหนักบรรทุกและการเตรียมการทดสอบ หรือทั้งสองอย่าง

(ค) มีข้อกังวลว่า องค์อาคารบางส่วนอาจเกิดการวิบัติอย่างฉับพลัน การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในกรณีดังกล่าวจะส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้างและบุคคลที่เป็นผู้ดำเนินการทดสอบ การวิบัติเนื่องจากแรงอัด (เช่น เสา หรือโครงโค้ง) แรงเฉือน หรือตัวยึดมักจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน

15.4.2.2 การประเมินโดยใช้การวิเคราะห์และการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในที่

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในที่ของโครงสร้างที่มีอยู่เดิมให้เป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318 [12] (บทที่ 20) หรือมาตรฐานอาคารคอนกรีตโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยแนะนำให้ใช้วิธีการประเมินโดยใช้การวิเคราะห์และการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในที่ในกรณีต่อไปนี้

(ก) ความซับซ้อนของแนวคิดการออกแบบและการขาดประสบการณ์เกี่ยวกับประเภทขององค์ประกอบทางโครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบ ส่งผลให้การประเมินด้วยการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติหรือให้ผลลัพธ์ที่ไม่แน่นอน

(ข) ไม่สามารถตรวจหาลักษณะเฉพาะของน้ำหนักบรรทุกและวัสดุขององค์ประกอบทางโครงสร้างได้

(ค) ปัญหาที่มีอยู่เดิมทำให้เกิดความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการประเมินด้วยการวิเคราะห์

(ง) ไม่สามารถตรวจหาระดับของความไม่มีประสิทธิภาพทางการคำนวณออกแบบวัสดุหรือการก่อสร้างได้

(จ) มีข้อกังวลเกี่ยวกับการที่องค์ประกอบทางโครงสร้างมีความสามารถไม่เพียงพอต่อน้ำหนักบรรทุกใหม่ ซึ่งสูงกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ที่คำนวณโดยใช้การออกแบบดั้งเดิม

15.4.2.3 การประเมินโดยใช้การวิเคราะห์และแบบจำลองขนาดเล็ก

การสร้างและการทดสอบกับแบบจำลองขนาดเล็กเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาใช้แทนการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเต็มรูปแบบได้ (ACI 444R [17]) อย่างไรก็ตาม วิศวกรมักจะไม่ได้ใช้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกกับแบบจำลองขนาดเล็กอีก แต่วิธีนี้มักจะถูกนำมาใช้เป็นหลักใน การวิจัย ซึ่งไม่อยู่ภายในขอบข่ายของมาตรฐานนี้

15.5 การประเมิน

15.5.1 การประเมินเชิงวิเคราะห์

15.5.1.1 รูปแบบของการวิเคราะห์

การวิเคราะห์จะมีสองความหมายด้วยกัน โดยความหมายแรกจะหมายถึง การหาค่าของแรงและโมเมนต์ที่มีอยู่ภายในโครงสร้าง และความหมายที่สองหมายถึง การใช้ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางโครงสร้างเพื่อพยากรณ์ว่าจะมีการตอบสนองต่อผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกที่มีอยู่เดิมอย่างไร

15.5.1.2 ระดับการวิเคราะห์

(ก) การวิเคราะห์อย่างละเอียด

การวิเคราะห์อย่างละเอียด (Rigorous Analysis) เป็นการวิเคราะห์บนพื้นฐานของทฤษฎีกลศาสตร์โครงสร้างที่ผ่านการยืนยันด้วยการทดลองแล้ว

(ข) การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite-Element Analysis)

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเชิงเส้นและการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น เป็นวิธีการสำหรับใช้ในกรณีที่วิธีการวิเคราะห์แบบปกตินั้นไม่เพียงพอ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้นสามารถใช้เพื่อประเมินผลกระทบของสมบัติวัสดุแบบไม่เชิงเส้นที่มีต่อการตอบสนองทางโครงสร้างต่อน้ำหนักบรรทุกระดับต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดลักษณะที่ไม่ใช่อิลาสติก เช่น การร้าวของคอนกรีต การเลื่อนของการยึดหน่วงบนผิวเหล็กเสริม และการครากของเหล็กเสริม

(ค) การวิเคราะห์โดยประมาณ

ผู้ทำการวิเคราะห์โดยประมาณจำเป็นต้องมีประสบการณ์ค่อนข้างสูงเกี่ยวกับประเภทและลักษณะของระบบโครงสร้างที่จะทำการประเมิน และที่สำคัญที่สุด ผู้ทำการวิเคราะห์โดยประมาณจำเป็นต้องมีดุลพินิจทางวิศวกรรมที่ดี

15.5.1.3 ข้อพิจารณาทั่วไป

ลักษณะของโครงสร้างตามสมมติฐานและผลการวิเคราะห์ที่ได้รับเชิงทฤษฎีจำเป็นจะต้องสอดคล้องกับลักษณะที่สังเกตได้ของโครงสร้าง การวิเคราะห์ควรเป็นไปตามลักษณะเฉพาะของโครงสร้าง เช่น

(ก) ลักษณะเฉพาะของการบิดตัวขององค์ประกอบทางโครงสร้าง

(ข) การตอบสนองต่อน้ำหนักบรรทุกในระบบแผ่นพื้นสองทาง

(ค) การยึดของโครงสร้างและส่วนรองรับเสาในแง่ของลักษณะเฉพาะของโมเมนต์การหมุน

(ง) ลักษณะเฉพาะของฐานเสาตามที่ได้รับผลกระทบจากสภาพดิน

15.5.1.4 เกณฑ์การยอมรับ

โครงสร้างหรือองค์ประกอบทางโครงสร้างที่ทำการประเมินจะถือว่ามีกำลังเพียงพอ หากการประเมินเชิงวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพที่พยากรณ์ไว้ขององค์ประกอบจากการคำนวณออกแบบเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ACI 318 [12] หรือมาตรฐานอาคารคอนกรีตโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

15.5.1.5 ผลการประเมินเชิงวิเคราะห์

การประเมินกำลังเชิงวิเคราะห์สามารถให้ผลการประเมินได้สามรูปแบบด้วยกันดังต่อไปนี้

(ก) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า อาคารหรือองค์ประกอบทางโครงสร้างมีส่วนเผื่อความปลอดภัย (Margin of Safety) เพียงพอตามบทบัญญัติของประมวลข้อบังคับอาคารที่เกี่ยวข้อง ในกรณีนี้กำลังออกแบบ (กำลังระบุคูณด้วยแฟกเตอร์ลดกำลัง) จะสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ

(ข) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังออกแบบต่ำกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ แต่สูงกว่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกเท่ากับหรือสูงกว่า 1.0 สำหรับน้ำหนักบรรทุกในทุกกรณี) กรณีนี้จะถือว่าอาคารหรือองค์ประกอบทางโครงสร้างมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ แต่ในบางกรณี อาจมีการอนุญาตให้ใช้งานโครงสร้างได้อย่างจำกัด โดยมีการจำกัดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำตามกำลังที่คำนวณได้ ในกรณีที่โครงสร้างมีกำลังต่ำกว่าที่กำหนดเพียงร้อยละ 5 หรือน้อยกว่า อาจใช้ดุลพินิจทางวิศวกรรมในแต่ละกรณีเพื่อระบุว่า โครงสร้างสามารถใช้งานได้ โดยไม่ต้องมีข้อจำกัดเพิ่มเติม

(ค) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังออกแบบของโครงสร้างต่ำกว่าค่าที่ต้องการสำหรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานภายใต้ประมวลข้อบังคับอาคารที่เกี่ยวข้อง ในกรณีดังกล่าวควรแจ้งให้เจ้าของอาคารทราบและพิจารณาในส่วนของการติดตั้งเสาค้ำยัน การจำกัดการใช้งานอย่างเข้มงวด หรือการอพยพคนออกจากพื้นที่จนกว่าจะมีการแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์

15.5.2 การใช้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อเสริมกับการประเมินเชิงวิเคราะห์

15.5.2.1 เงื่อนไขในการใช้งาน

ข้อแนะนำให้ใช้การทดสอบน้ำหนักบรรทุกในที่เฉพาะสำหรับกรณีที่ตรงตามเงื่อนไขต่อไปนี้ครบทั้งหมดเท่านั้น

(ก) ผลการทดสอบสามารถนำไปแปลผลเป็นกำลังทางโครงสร้างขององค์ประกอบที่ทำการทดสอบได้อย่างสมเหตุสมผล

(ข) สามารถชดเชยผลกระทบขององค์ประกอบทางโครงสร้างข้างเคียง ส่วนประกอบหรือโครงสร้างโดยรวมได้ในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและในระหว่างการประเมินผลการทดสอบ การชดเชยผลกระทบนี้รวมไปถึงเส้นทางน้ำหนักบรรทุกอื่นที่มีในอาคาร

(ค) สามารถตรวจสอบโครงสร้างได้อย่างเพียงพอและปลอดภัยด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินกำลังทางโครงสร้าง

(ง) ผู้มีส่วนร่วมกับการทดสอบทุกคนและผู้อื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงทุกคนมีความปลอดภัยในระหว่างการเตรียมการและการทดสอบ

15.5.2.2 การระบุรูปแบบการทดสอบ

การประเมินความเพียงพอทางประสิทธิภาพของโครงสร้างสามารถที่จะใช้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือทั้งสองรูปแบบต่อไปนี้เสริมได้

(ก) การทดสอบแบบสถิต

(ข) การทดสอบแบบพลวัต โดยใช้ขั้นตอนการทดสอบพิเศษที่พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะตามลักษณะเฉพาะของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวอยู่นอกเหนือไปจากขอบข่ายของมาตรฐานนี้

15.5.2.3 ข้อกำหนดทั่วไป

ข้อกำหนดทั่วไปต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับการทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

(ก) ต้องมีวิศวกรโยธาที่มีคุณสมบัติตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ดำเนินการควบคุมการทดสอบด้วยตนเอง

(ข) ส่วนของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบควรมีอายุของคอนกรีตอย่างน้อย 56 วัน การทดสอบโดยที่อายุยังไม่ถึงตามที่ระบุข้างต้นอาจได้รับอนุญาตให้ทำได้ในกรณีที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องมีการตกลงร่วมกัน โดยในกรณีดังกล่าว ประเด็นสำคัญคือการพิจารณาอายุของคอนกรีตอย่างถี่ถ้วนเนื่องจากเกี่ยวข้องกับกำลังของคอนกรีต

(ค) ควรมีการให้น้ำหนักบรรทุกแก่โครงสร้างเพื่อให้สามารถทดสอบจุดที่สงสัยว่าไม่แข็งแรงได้อย่างเพียงพอ

(ง) สำหรับโครงสร้างที่มีการสัมผัสโดนสภาพแวดล้อมภายนอก ควรทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ณ เวลาที่ความผันผวนทางอุณหภูมิ ลม และแสงอาทิตย์ส่งผลต่อโครงสร้างและอุปกรณ์ทดสอบน้อยที่สุด เช่น ช่วงเช้ามืด ช่วงค่ำ หรือช่วงกลางคืน

15.5.2.4 น้ำหนักทดสอบ

แนวทางต่อไปนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับการเลือกประเภทของน้ำหนักทดสอบหรืออุปกรณ์ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างคอนกรีต

(ก) สามารถใช้น้ำหนักทดสอบที่ประกอบด้วยวัตถุหลายชนิด เช่น แท่งเหล็ก อิฐ กระสอบทราย หรือคอนกรีตบล็อก ควรจัดเรียงน้ำหนักทดสอบให้มีลักษณะใกล้เคียงมากที่สุดกับลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างนั้น ๆ ได้รับการออกแบบไว้

(ข) น้ำหนักบรรทุกรวมในการทดสอบควรมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักที่กำหนดไว้

(ค) น้ำ ทรายร่วน หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน ควรนำมาบรรจุในช่องแบ่งขนาดเล็กหลายช่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลมาสะสมหรือการเคลื่อนที่ในระหว่างที่โครงสร้างมีการเปลี่ยนรูป ซึ่งอาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ

(ง) หากใช้อุปกรณ์ทดสอบแบบแม่แรงไฮดรอลิกหรือแม่แรงลม ให้จัดเตรียมที่รองรับให้เพียงพอสำหรับการถ่ายแรงปฏิกิริยา ยกเว้นในกรณีที่แรงปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของน้ำหนักในการทดสอบ ตรวจสอบให้แน่ใจว่า อุปกรณ์ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ แม้โครงสร้างจะเกิดการเปลี่ยนรูป

(จ) ไม่ควรใช้วัสดุที่ดูดความชื้นได้อย่างรวดเร็วเป็นน้ำหนักทดสอบ

(ฉ) ยึดอุปกรณ์ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกให้แน่นหนาหากเป็นการติดตั้งกับพื้นผิวลาดเอียง เพื่อป้องกันการเลื่อนออกจากตำแหน่ง ควรพิจารณาแรงประกอบของน้ำหนักบรรทุกในทุกทิศทางเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่

15.5.2.5 เครื่องมือตรวจวัด

แนวทางต่อไปนี้ใช้ได้กับการติดตั้งระบบเครื่องมือตรวจวัดสำหรับการตรวจสอบการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

(ก) เครื่องมือตรวจวัดสามารถตรวจสอบการแอ่น การเปลี่ยนรูปแนวขวาง การหมุนของส่วนรองรับ และการทรุดตัวหรือการเคลื่อนของส่วนรองรับในระหว่างการทดสอบด้วยน้ำหนักทดสอบได้

(ข) อุปกรณ์ตรวจวัดควรได้รับการติดตั้งเพื่อให้สามารถตรวจหาการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ทางรูปทรงของโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางโครงสร้างในระหว่างการทดสอบ

(ค) ในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ควรมีการป้องกันเครื่องมือตรวจวัดจากสภาพแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบ เช่น แสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่มีการผันผวนรุนแรง และลม

(ง) ก่อนที่จะเริ่มการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ควรติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดเพื่อตรวจหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างและต่อตัวเครื่องมือตรวจวัดเอง ถ้าจำเป็น ให้คำนวณหาค่าแฟกเตอร์ชดเชยเพื่อนำไปใช้กับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

(จ) สำหรับองค์อาคารรับแรงดัด ควรทำการวัดความเครียดที่ตำแหน่งวิกฤต

(ฉ) ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระยะแอ่นและความเครียดหลายเครื่องในพื้นที่วิกฤต

(ช) ค่าความผิดพลาดที่ยอมให้ของเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้วัดการเปลี่ยนตำแหน่งไม่ควรเกินร้อยละ 5 ของการเปลี่ยนรูปที่คำนวณได้ในทางทฤษฎี แต่จะต้องไม่เกิน 0.1 mm

(ซ) การแอ่นขององค์ประกอบทางโครงสร้างสามารถตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดแบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์วัดเชิงกล หรือโดยการใช้อุปกรณ์สำรวจทั่วไป

(ฌ) อุปกรณ์วัดเชิงกล เช่น เกจวัดแบบเข็ม จะมีความแข็งแรงทนทานและใช้งานได้ง่าย แต่จะเก็บข้อมูลได้ช้ากว่าและจำเป็นต้องส่งคนเข้าไปภายในโครงสร้างในระหว่างการทดสอบ ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายได้

(ญ) การตรวจวัดการแอ่นที่มีระยะมากสามารถทำได้ง่าย โดยการแขวนสเกลวัดที่จุดวิกฤตและอ่านค่าจากระยะไกลโดยใช้เครื่องวัดระดับ

(ฎ) การวัดความกว้างของรอยร้าวสามารถทำได้โดยใช้แว่นขยายแบบมีสเกลวัดหรือแผ่นวัดรอยร้าว อย่างไรก็ตาม การใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวมักจะมีข้อจำกัดเนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัย

(ฏ) การวัดการเคลื่อนตัวของรอยร้าว (การขยายหรือการหด) สามารถทำได้โดยใช้เกจวัดแบบเข็มและทรานสดิวเซอร์วัดการเปลี่ยนตำแหน่ง นอกจากนี้ การวัดการเคลื่อนตัวของรอยร้าวอย่างแม่นยำยังสามารถทำได้ โดยใช้เกจพอยต์ (Gauge Point) และเครื่องวัดระยะยืดตัว (Extensometer)

(ฐ) ควรใช้เทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิแวดล้อมในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก และควรวัดค่าอุณหภูมิที่ทุกจุดของโครงสร้าง ซึ่งได้รับผลกระทบจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

(ฑ) โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดน้ำหนักบรรทุกจากแรงกดของแม่แรงไฮดรอลิกหรือแม่แรงลม โดยมีรูปทรง ขนาด และช่วงการวัดค่าให้เลือกหลายรูปแบบ ทรานสดิวเซอร์วัดความดันเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้เพื่อวัดความดันของไหลในระบบไฮดรอลิก ซึ่งสามารถปรับเทียบตามระดับของน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการได้

(ฒ) ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยเก็บรวบรวมค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่าง ๆ หลายตัวได้พร้อมกันในระหว่างที่ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก อุปกรณ์วัดดังกล่าวประกอบด้วยหม้อแปลงวัดความดัน โหลดเซลล์ LVDT เครื่องวัดความเอียง เครื่องวัดระยะยืดตัว และเกจวัดความเครียด ดังนั้น จึงสามารถตรวจวัดการตอบสนองของโครงสร้างได้ตามเวลาจริง

(ณ) ตารางที่ 15.1 สรุปเกี่ยวกับเครื่องมือวัดบางประเภทที่ใช้สำหรับตรวจสอบลักษณะขององค์อาคารที่ทำการทดสอบ ตารางนี้มีชื่อทั่วไปที่ใช้เรียกอุปกรณ์ การใช้งานบางส่วนที่แนะนำ คำแนะนำเกี่ยวกับค่าขั้นต่ำที่สามารถวัดได้ และช่วงการวัด ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปกรณ์ดังกล่าว รวมไปถึงอุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ

15.5.2.6 การค้ำยัน

ควรทำการค้ำยันโครงสร้างก่อนที่จะทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ไม่ว่าจะเป็นการค้ำยันโครงสร้างทั้งหมดหรือเฉพาะส่วนที่ทำการทดสอบ เพื่อรองรับโครงสร้างเอาไว้ในกรณีที่เกิดการวิบัติในระหว่างการทดสอบ เสาค้ำยันควรได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้าง รวมถึงน้ำหนักทดสอบทั้งหมดในการทดสอบที่ส่วนของอาคารซึ่งอาจเกิดการพังทลายได้

ตาราง 15.1 สรุปเครื่องมือวัดทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในที่

ปัจจัยตรวจวัด	อุปกรณ์	ค่าขั้นต่ำที่สามารถวัดได้	ช่วงการวัด
การแอ่น	LVDT	0.0025 mm	±50 mm
	เกจวัดแบบเข็ม	0.025 mm	±75 mm
การหมุน	เครื่องวัดความเอียง	0.001 ℃	±3 ℃
ความเครียด	เกจวัดความเครียด	5 μ_e	±3000 μ_e
	เครื่องวัดระยะยืดตัว	50 μ_e	±10,000 μ_e
	LVDT	50 μ_e	±10,000 μ_e
ความกว้างของรอยร้าว	เครื่องวัดระยะยืดตัว	0.0025 mm	±5 mm
น้ำหนักบรรทุก	โหลดเซลล์	44.5 N	0 ถึง 890,000 N
	ทรานสดิวเซอร์วัดความดัน	445 N	0 ถึง 890,000 N

หมายเหตุ: 1 นิ้ว = 25 mm, 1 ปอนด์ = 4.45 N

15.5.2.7 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตขององค์อาคารรับแรงดัด

(ก) ข้อมูลต่อไปนี้เป็นแนวทางสำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตขององค์อาคารรับแรงดัด

(1) ติดตั้งเสาค้ำยันและเครื่องมือวัดก่อนที่จะติดตั้งน้ำหนักทดสอบ ทำการวัดชุดค่าระดับพื้นฐาน (Base Elevation) ทันทีก่อนที่จะติดตั้งน้ำหนักทดสอบ เพื่อใช้เป็นค่าหลักฐานทางระดับในการตรวจวัดการแอ่นขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

(2) ห้ามติดตั้งส่วนใดก็ตามของน้ำหนักทดสอบที่ใช้แทนน้ำหนักบรรทุกจรก่อนที่จะมีการแอ่นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่ม (Superimposed Dead Load) จะถึงค่าคงตัวไปแล้ว

(3) หลังจากการแอ่นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่รวมเสถียรแล้ว ให้สังเกต ทำเครื่องหมาย และบันทึกจุดที่เกิดรอยร้าวและความเสียหายอื่น ๆ

(4) ควรกำหนดให้น้ำหนักทดสอบรวม (TL) มีค่าเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ก่อให้เกิดผลกระทบของน้ำหนักบรรทุก โดยต้องไม่น้อยกว่า 0.85 (1.4D + 1.7L) บริเวณส่วนที่ทำการศึกษา โดย D และ L หมายถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ตามลำดับ การระบุน้ำหนักทดสอบควรมีการรวมการลดน้ำหนักบรรทุกจรตามที่ประมวลข้อบังคับอาคารที่เกี่ยวข้องอนุญาต

(5) การเพิ่มน้ำหนักทดสอบควรทำตามรูปแบบที่กำหนดไว้แล้ว โดยมีการเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละเท่า ๆ กันอย่างน้อยสี่ครั้ง ในกรณีที่เป็นการประเมินสภาพใช้งานได้ของโครงสร้าง ควรมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขั้นกลางโดยมีค่าเท่ากับ 1.0D + 1.0L เพื่อให้สามารถประเมินลักษณะสภาพใช้งานได้ของโครงสร้างได้ การเพิ่มน้ำหนักทดสอบควรทำโดยอย่าให้เกิดการกระแทกและไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนกับโครงสร้าง หลังจากการเพิ่มน้ำหนักทดสอบแต่ละครั้ง ให้ทำการตรวจวัดการแอ่นและรอยร้าวโดยเว้นรอบระยะเวลาเท่ากันจนกระทั่งระยะแอ่นคงที่ สำหรับการทดสอบนี้อาจถือได้ว่าโครงสร้างเสถียรแล้วเมื่อผลต่างระหว่างค่าระยะแอ่นที่วัดได้สองครั้งมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 ของระยะแอ่นรวมเริ่มต้นที่บันทึกไว้สำหรับการเพิ่มน้ำหนักทดสอบครั้งปัจจุบัน หากในระหว่างการทดสอบไม่ว่าจะในเวลาใดก็ตาม ค่าระยะแอ่นที่วัดได้เท่ากับหรือสูงกว่าค่าที่คำนวณไว้ให้หยุดการทดสอบเอาไว้ และจะสามารถทำการทดสอบได้ก็ต่อเมื่อมีเอกสารอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากวิศวกรควบคุมเท่านั้น

(6) วิศวกรควบคุมควรตรวจสอบโครงสร้างอย่างละเอียดหลังจากการเพิ่มน้ำหนักทดสอบแต่ละครั้ง เพื่อหาการเกิดหรือการเพิ่มขึ้นของรอยร้าวและปัญหาอื่น ๆ รวมทั้ง เพื่อหาการเปลี่ยนรูปหรือการหมุนที่มากผิดปกติ วิศวกรควบคุมควรวิเคราะห์ความสำคัญของปัญหาที่พบ และระบุว่าสามารถทำการทดสอบต่อได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

(7) ควรจัดทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก-การแอ่นสำหรับจุดวิกฤตทั้งหมดในการวัดการแอ่นในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก โดยจะมีอุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างกราฟแบบอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบต่าง ๆ สำหรับสร้างกราฟดังกล่าวโดยอัตโนมัติ ควรตรวจสอบกราฟดังกล่าวอย่างละเอียดในระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการตรวจหาการตอบสนองระหว่างน้ำหนักบรรทุก-การแอ่นของโครงสร้างและในการตรวจหาว่า โครงสร้างมีลักษณะทางอิลาสติกหรือไม่เมื่อเพิ่มน้ำหนักทดสอบจนเข้าใกล้ค่ารวม

(8) หลังจากน้ำหนักทดสอบรวมอยู่ในตำแหน่งเป็นเวลา 24 ชม. ให้ทำการวัดค่าการแอ่นอีกครั้ง จากนั้น จึงนำน้ำหนักทดสอบออกโดยแบ่งออกเป็นหลายครั้ง การนำออกแต่ละครั้งจะต้องไม่เกินกว่าสองเท่าของการเพิ่มน้ำหนักทดสอบแต่ละครั้ง ควรทำการวัดค่าการแอ่นก่อนและหลังจากการนำน้ำหนักทดสอบออกในแต่ละครั้ง และวัดค่าการแอ่นสุดท้ายหลังจากนำน้ำหนักทดสอบทั้งหมดออกแล้วเป็นเวลา 24 ชม.

(ข) เกณฑ์การประเมินผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตเป็นเวลา 24 ชม. ช่วงหลังจากครบ 24 ชม. ของการรับน้ำหนักคงที่ และช่วงหลังจากครบ 24 ชม. หลังจากนำน้ำหนักทดสอบออกแล้ว หากเป็นการประเมินด้านความปลอดภัยของโครงสร้างเท่านั้นและหากโครงสร้างที่รับน้ำหนักทดสอบไม่ได้แสดงให้เห็นถึงหลักฐานของการวิบัติอย่างชัดเจน ให้ถือว่าโครงสร้างดังกล่าวผ่านการทดสอบหากมีเกณฑ์ข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

(1) ค่าการแอ่นสูงสุดที่วัดได้ Δ_{max} ของคาน พื้น หลังคา หรือแผ่นพื้น มีค่า น้อยกว่า

$$\Delta_{max} \leq l_t^2/(20{,}000h) \qquad (15.1)$$

โดยที่ l_t = ช่วงระยะขององค์อาคารที่ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

h = ระยะลึกรวมขององค์อาคาร

ช่วงระยะขององค์อาคาร หมายถึง ระยะระหว่างกึ่งกลางของส่วนรองรับ หรือผลรวมของระยะห่างระหว่างส่วนรองรับกับระยะลึกขององค์อาคาร ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดน้อยกว่า สำหรับการหาค่าการแอ่นจำกัดของส่วนยื่น ให้ใช้ค่าเป็นสองเท่าของระยะห่างจากส่วนรองรับถึงส่วนปลาย และควรปรับค่าการแอ่นเพื่อชดเชยการเคลื่อนตัวของส่วนรองรับ

(2) ค่าการแอ่นตกค้างที่วัดได้ $\Delta_{r,\max}$ ของคาน พื้น หลังคา หรือแผ่นพื้นน้อยกว่า $\Delta_{\max}$ /4

หลักฐานการวิบัติที่สังเกตเห็นได้ ได้แก่ รอยร้าว การกะเทาะ การอัดแตก การแอ่น หรือการหมุนในระดับและความรุนแรงที่ถือว่าสูงผิดปกติตามความเห็นของวิศวกรที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับโครงสร้าง

ในกรณีที่ค่าการแอ่นตัวสูงสุดและค่าการแอ่นตัวตกค้างที่วัดได้ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในข้อ (1) หรือ (2) ข้างต้น อาจทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำอีกครั้งได้ โดยควรทำการทดสอบซ้ำนี้หลังจากผ่านไปแล้ว 72 ชม. หลังจากที่นำน้ำหนักทดสอบแรกออก ส่วนของโครงสร้างที่ทำการทดสอบซ้ำจะถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หากการคืนตัวของการแอ่นเป็นไปตามเงื่อนไขนี้

$$\Delta_{r,\max} \le \frac{\Delta_{f,\max}}{5} \tag{15.2}$$

โดย $\Delta_{f,\max}$ หมายถึง ค่าการแอ่นสูงสุดที่วัดได้ในระหว่างการทดสอบครั้งที่สองเทียบกับตำแหน่งของโครงสร้าง ณ เวลาเริ่มต้นการทดสอบครั้งที่สอง

15.5.2.8 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตขององค์อาคารรับแรงเฉือน

ไม่แนะนำให้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงเฉือนขององค์ประกอบทางโครงสร้าง ยกเว้นในกรณีที่ผิดไปจากปกติเท่านั้น เนื่องจากความไม่แน่นอนในส่วนของความเปราะและความฉับพลัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน ทำให้ต้องพึ่งดุลยพินิจของวิศวกรที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ซึ่งเป็นผู้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อหาความสามารถในการรับแรงเฉือนเป็นอย่างมาก การทดสอบแต่ละครั้งยังมีความเฉพาะตัวในแง่ของลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบทางโครงสร้างที่ทำการประเมินด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงไม่สามารถกำหนดแนวทางสำหรับการทดสอบดังกล่าวได้เหมือนกับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารรับแรงดัด แนวทางต่อไปนี้เป็นข้อพิจารณาสำหรับวิศวกรที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ซึ่งเป็นผู้ลงความเห็นว่าจำเป็นต้องทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงเฉือน

(ก) ควรมีการตรวจสอบโครงสร้างอย่างละเอียด ทั้งก่อนและในระหว่างการทดสอบ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการรับแรงเฉือนขององค์ประกอบทางโครงสร้าง

(ข) น้ำหนักทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 0.85 (1.4D + 1.7L)

(ค) ควรทำการวิเคราะห์โครงสร้างก่อนที่จะทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อให้สามารถพยากรณ์ประสิทธิภาพของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

(ง) จำเป็นต้องมีการค้ำยันโครงสร้าง โดยใช้การค้ำยันในรูปแบบเดียวกันกับการทดสอบองค์อาคารรับแรงดัดตามที่อธิบายไว้ข้างต้น

(จ) เครื่องมือวัดที่ใช้กับโครงสร้างควรจะสามารถวัดความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนได้ นอกเหนือไปจากการวัดการแอ่น การติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อตรวจหาความกว้างของรอยร้าวอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ และควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งในขณะที่องค์อาคารมีการรับน้ำหนักบรรทุกอยู่

(ฉ) ควรมีการตรวจสอบองค์ประกอบวิกฤตของโครงสร้างตลอดเวลาในระหว่างการทดสอบ

(ช) เมื่อทำการวางแผนการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสำหรับระบบแผ่นพื้นสองทาง ควรตรวจสอบอย่างละเอียดถี่ถ้วนในส่วนของผลกระทบจากการถ่ายโมเมนต์ไม่สมดุลที่มีต่อแรงเฉือนเจาะที่เสาที่มีช่วงระยะไม่เท่ากันหรือมีช่วงระยะที่รับน้ำหนักไม่เท่ากัน

(ซ) ในกรณีที่ประมวลข้อบังคับไม่ได้กำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำเอาไว้ ควรทำการกำหนดเกณฑ์การยอมรับสำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกตามดุลพินิจของวิศวกรที่มีคุณสมบัติเหมาะสม โดยต้องได้รับความเห็นพ้องจากหน่วยงานควบคุมอาคาร เกณฑ์การยอมรับดังกล่าวอาจพิจารณาจากรูปแบบและการเคลื่อนตัวของรอยร้าวบนระนาบการร้าวที่มีอยู่และตามระนาบการร้าวที่มีอยู่

15.5.3 ความจำเป็นในการวิจัย

วงการวิศวกรรมมีการเสาะหาวิธีการใหม่อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและการตรวจสอบโครงสร้างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หากพิจารณาในส่วนของวิธีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก วิธีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบวัฏจักรถือเป็นวิธีที่มีข้อดีอย่างมากในแง่ของความเชื่อถือได้และความประหยัด เมื่อเทียบกับวิธีการทดสอบแบบเดิม เช่น การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลักการของการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบวัฏจักรช่วยให้สามารถหาความเป็นเชิงเส้นของการตอบสนอง รวมถึง ความแม่นยำในการเกิดซ้ำและความถาวรของการเปลี่ยนรูป รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการทดสอบนี้และระเบียบวิธีที่แนะนำมีอยู่ในภาคผนวก A ของมาตรฐาน ACI 437R [16]

ส่วนที่ 16 คอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม

16.1 บทนำ

16.1.1 คอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม หมายถึง คอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีรูปร่างพิเศษมีการตกแต่งผิวด้วยวัสดุตกแต่งชนิดต่าง ๆ โดยที่ชิ้นส่วนนี้อาจเป็นหรือไม่เป็นส่วนหนึ่งของโครงอาคารก็ได้

16.1.2 ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรวมถึงจุดเชื่อมต่อกับองค์อาคารจะต้องออกแบบให้ต้านทานน้ำหนักบรรทุก แรงลม แรงสั่นสะเทือน แรงแผ่นดินไหว แรงจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร หรือแรงอื่นที่เกี่ยวข้อง

16.1.3 ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จนี้มีทั้งแบบคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง โดยผู้ออกแบบต้องตระหนักถึงประเภทและการใช้งานของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ รวมถึงเข้าใจผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต และการติดตั้งเป็นอย่างดี

16.2 ประเภทและการใช้งานของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม

16.2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่รับแรงกด

ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่รับแรงกด เป็นส่วนของคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่คำนึงถึงแรงจากน้ำหนักบรรทุกที่ส่งถ่ายมาจากชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น โดยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จนี้ต้องถูกออกแบบให้ต้านทานแรงลม แรงสั่นสะเทือน แรงแผ่นดินไหว และแรงที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักของชิ้นส่วนไปยังจุดรองรับ รวมถึงแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตและติดตั้ง ประเภทของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

16.2.1.1 แผงขอบ (Spandrel Panel) เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความสูงไม่เกินความสูงแต่ละชั้นของอาคารโดยเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเสา

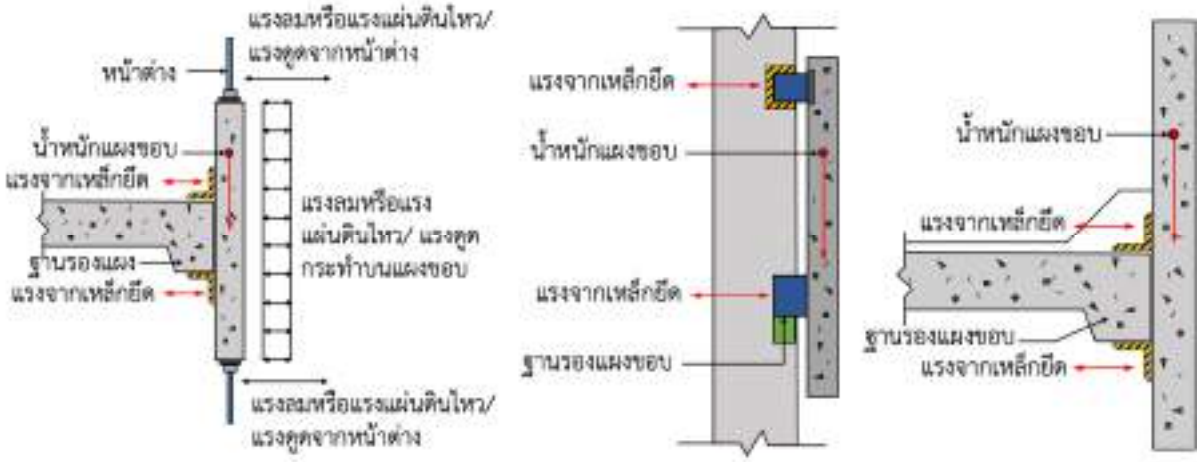
(ก) จุดรองรับสำหรับรับน้ำหนักของแผงขอบอาจเป็นได้ทั้งพื้นและเสา โดยที่แผงขอบจะมีเสถียรภาพจากจุดเชื่อมต่อที่ยึดรั้งกลับทางแนวราบ (Lateral Tieback) ดังรูปที่ 16.1

(ข) หากแผงขอบเป็นส่วนหนึ่งของผนังหน้าต่าง ให้คำนึงถึงผลกระทบของการแอ่นตัวและการบิดตัวของแผงขอบบนผนังหน้าต่างด้วย

(ค) การออกแบบต้องคำนึงถึงความเค้นที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นส่วนไม่ให้เกิดการแตกร้าวภายในน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

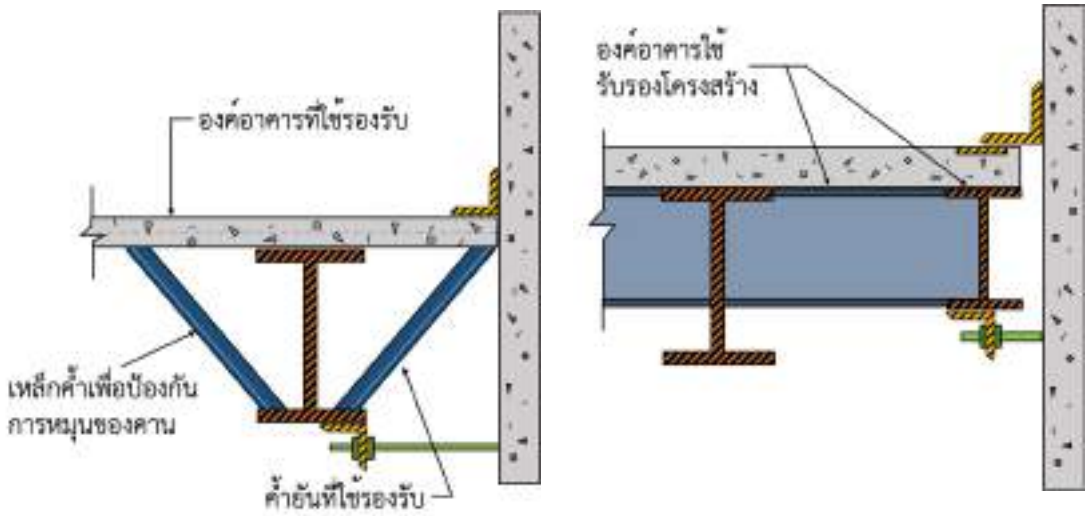
(ง) หากแผงขอบมีขนาดใหญ่ และต้องติดตั้งอยู่ที่ขอบของพื้นยื่น เพื่อไม่ให้เกิดการบิดตัวจากแรงกระทำเนื่องจากการเยื้องศูนย์ที่มาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเค้นดัดที่สูงในแผงขอบ และจุดเชื่อมต่อที่จุดรองรับ ผู้ออกแบบควรพิจารณาติดตั้งค้ำยันเสริม

ด้านข้างเพื่อให้แผงขอบมีเสถียรภาพและคานด้านในไม่ให้เกิดการบิดตัว ได้แก่ การติดตั้งแท่งเหล็กค้ำจากด้านข้างของคานทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 16.2 (ก) และการติดตั้งคานเสริมที่ปลายพื้นยื่น ดังรูปที่ 16.2 (ข) โดยชิ้นส่วนที่เป็นค้ำยันเสริมเหล่านี้ต้องได้รับการออกแบบโดยผู้ออกแบบและให้คิดเป็นส่วนของจุดรองรับโครงสร้าง



จุดเชื่อมต่อพื้น จุดเชื่อมต่อเสา จุดเชื่อมต่อหลังคา

รูปที่ 16.1 แรงที่กระทำบนแผงขอบ



(ก) (ข)

รูปที่ 16.2 การค้ำยันเสริมด้านข้างกรณีที่แผงขอบมีขนาดใหญ่

16.2.1.2 ครอบเสาและลูกฟัก (Column Covers and Mullions)

การใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับครอบเสา คาน หรือใช้เป็นลูกฟัก เป็นการแสดงออกด้านสถาปัตยกรรมที่ก่อให้เกิดรูปร่างพิเศษ หรือเพิ่มความต้านทานต่อการทนไฟ

(ก) ชิ้นส่วนครอบเสาจะถูกรองรับโดยโครงสร้างเสาหรือพื้น โดยให้พิจารณาเฉพาะน้ำหนักของชิ้นส่วนเอง แรงตามแนวดิ่งแต่ละช่วงความยาวของชิ้นส่วนครอบเสามักจะมีจุดรองรับของแต่ละชั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้การยึดรั้งกลับทั้งที่ด้านบนและด้านล่างของชิ้นส่วนสำหรับการถ่ายแรงด้านข้างและความมีเสถียรภาพ ขนาดของครอบเสาจะพยายามให้มีความยาวมากสุดเท่าที่จะยกติดตั้งได้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและจุดเชื่อมต่อทางแนวนอน

(ข) ลูกฟัก (Mullions) เป็นชิ้นส่วนที่แยกช่องหน้าต่างออกเป็นสัดส่วน โดยแรงลมที่กระทำกับกระจก และส่งถ่ายแรงมายังลูกฟัก ดังนั้นลูกฟักจะต้องมีความแข็งแรงที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงลมและการแอ่นตัวที่กำหนดโดยผู้ผลิตหน้าต่าง โดยบางครั้งอาจทำการอัดแรงเพื่อป้องกันการแตกร้าวของลูกฟัก

(ค) การออกแบบและติดตั้งครอบเสาและลูกฟักต้องพิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) เนื่องจากครอบเสาและลูกฟักมักจะเป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งกับโครงสร้างทางแนวดิ่ง ซึ่งจะต้องพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางดิ่งที่ยอมให้ในโครงสร้างภายหลังการติดตั้ง ในบางครั้งระดับความแปรปรวนนี้สามารถแก้ไขได้โดยออกแบบจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จให้มีความยืดหยุ่น โดยผู้ออกแบบต้องวางแผนสำหรับช่องว่างที่เพียงพอระหว่างชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมและโครงสร้าง

(2) ควรจะต้องออกแบบให้มีจุดรองรับในแนวดิ่ง 2 จุดเชื่อมต่อความสูงหนึ่งชั้น (หรืออาจใช้เพียง 1 จุดสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่แคบ เช่น ลูกฟักทางแนวดิ่ง) และต้องออกแบบให้มีจุดรองรับเพิ่มเติมสำหรับบริเวณที่มีแรงกระทำจากด้านข้างและให้เกิดเสถียรภาพ ในกรณีครอบเสาและลูกฟักที่ยาวมากให้พิจารณาจุดเชื่อมต่อบริเวณกึ่งกลางสำหรับรับแรงด้านข้างและต้านทานการแอ่นตัว

(3) ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิและความชื้น จุดเชื่อมต่อในแนวนอนระหว่างครอบเสาและลูกฟักควรมีความกว้างอย่างเพียงพอ และจุดเชื่อมต่อต้องมีความเหนียวเพียงพอสำหรับการขยายตัวและหมุนตัวจากอุณหภูมิ พฤติกรรมของชิ้นส่วนที่บางและดัดงอได้ง่ายสามารถปรับปรุงได้โดยการอัดแรง

(4) เนื่องจากแรงในแนวดิ่งและผลกระทบของการคืบและการหดตัวในเสาคอนกรีตโครงสร้างเสามีแนวโน้มที่จะหดสั้นลงในอาคารสูง ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดให้จุดเชื่อมต่อมีความกว้างในแนวนอนระหว่างแผ่นครอบคอนกรีตหล่อสำเร็จกับโครงสร้างเสาอย่างเพียงพอที่จะชดเชยผลกระทบนี้

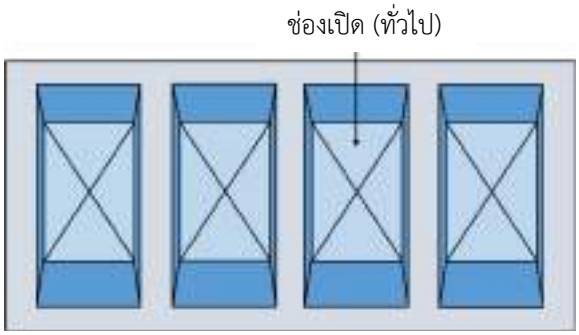
(5) ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณากระบวนการติดตั้ง จุดเชื่อมต่อของแผ่นครอบเสาและลูกฟัก ที่มักจะเข้าถึงได้ยากและเมื่อติดตั้งแล้วจะทำการปรับแก้ได้ยาก ความยากลำบากนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อต้องติดตั้งครอบเสารอบทั้งสี่ด้านของเสา ในบางกรณีนี้สามารถแก้ได้โดยการเชื่อมชิ้นส่วนด้านล่างกับเสา และยึดชิ้นส่วนด้านบนด้วยพุกเหล็กกับชิ้นส่วนด้านล่างอีกชิ้นที่อยู่ข้างบน

16.2.1.3 แผ่นหน้าต่าง (Window Panels)

โดยทั่วไปเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความยาวหนึ่งช่วงและสูงไม่เกินหนึ่งชั้น โดยมีช่องเปิดเดี่ยวขนาดใหญ่ หรือช่องเปิดหลายช่องสำหรับหน้าต่าง ดังรูปที่ 16.3

(ก) แผ่นที่ไม่รับน้ำหนักและมีช่องเปิดส่งผลให้เกิดความเค้นสูงบริเวณช่องเปิด ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักหรือการบิดตัวจากการยึดรั้งที่ไม่ได้ออกแบบไว้ จะส่งผลทำให้เกิดรอยแตกแผ่ออกจากมุม ดังรูปที่ 16.4 ผู้ออกแบบควรพิจารณาวิธีที่ป้องกันรอยแตกที่จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดอย่างกะทันหัน ได้แก่ การเสริมเหล็กกันแตกทำให้ขอบมุมมีความมน และ ออกแบบจุดเชื่อมต่อให้มีการคลายตัวจากการยึดรั้ง

(ข) หากมีช่องว่างไม่เพียงพอระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จกับจุดรองรับของโครงสร้าง หรือหากจุดเชื่อมต่อไม่ยอมให้มีการเคลื่อนที่จากการยึดรั้ง แรงที่เกิดจากพื้นที่อยู่ติดกันสามารถกระทำลงบนแผ่นหน้าต่างคอนกรีตได้ ดังรูปที่ 16.5 น้ำหนักนี้อาจก่อให้เกิดความเค้นสูงบริเวณกึ่งกลางของช่วงคานบริเวณช่องเปิด วิธีการป้องกันการถ่ายแรง ได้แก่ การทำร่องในจุดเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของแผ่น ซึ่งต้องได้รับการพัฒนาและดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง



(ก) แผ่นแบบโครงถัก

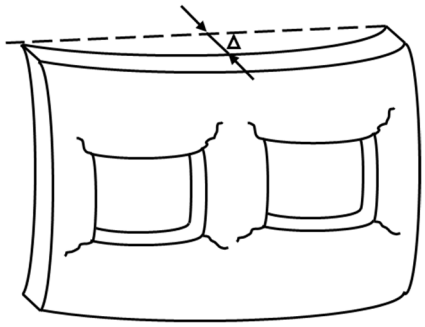


(ข) แผ่นผนังแบบราง

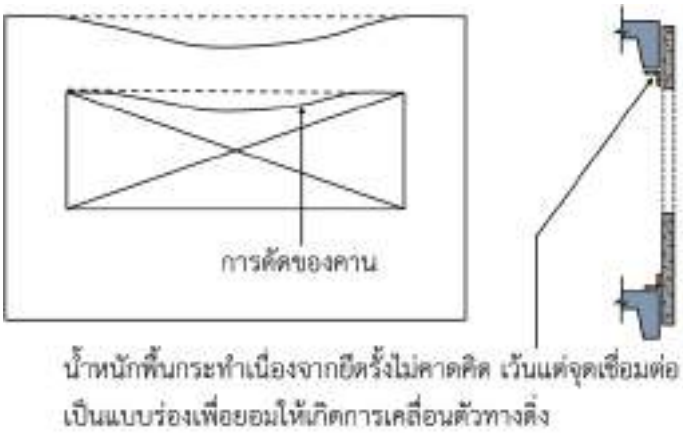


(ค) แผ่นหน้าต่างแบบลูกฟัก

รูปที่ 16.3 แผ่นหน้าต่างทางแนวดิ่งและแนวนอน [56]



รูปที่ 16.4 รอยแตกที่มุมช่องเปิดจากการบิดตัวจากการยึดรั้ง



รูปที่ 16.5 น้ำหนักที่ไม่คาดคิดกระทำลงบนชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่รับแรงกด [56]

16.2.1.4 แผ่นผนัง (Wall Panels) เป็นผนังปิดทึบกันแดด (Cladding) หรืออาจถูกใช้เป็นผนังรับน้ำหนักหรือผนังรับแรงเฉือนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการรับแรงทางด้านข้าง

(ก) แผ่นที่บางเกินไปอาจเกิดการบิดงอและทำให้เกิดปัญหาต่อวัสดุประสานรอยต่อที่บริเวณมุมอาคาร

(ข) ไม่ว่าจะเป็นแผงกันแดด ผนังรับน้ำหนัก หรือผนังรับแรงเฉือน การออกแบบจุดเชื่อมต่อมีความสำคัญและต้องคำนึงถึงแรงทั้งหมดที่อาจเกิดจากแรงด้านข้าง น้ำหนักที่เยื้องศูนย์ การบิดตัวที่เกิดจากความร้อนและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

(ค) แผ่นที่ไม่รับน้ำหนักทั้งหมดจะต้องออกแบบเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและไม่มีแรงจากการยึดรั้งที่จุดรองรับเพื่อป้องกันการบิดตัว ยกเว้นในกรณีที่จำเป็น

16.2.2 แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่รับแรงกด

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่รับแรงกดอาจรองรับน้ำหนักจากหลังคาหรือพื้น มีทั้งชิ้นส่วนทางแนวดิ่งและแนวนอน ชิ้นส่วนทางแนวนอนจะออกแบบเสมือนคาน โดยการออกแบบต้องคำนึงถึงรอยแตกและความแข็งแรงทุกสภาวะแรงที่มากระทำ สำหรับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทางแนวดิ่งให้ออกแบบแผ่นในแนวตั้งเหมือนกับการออกแบบเสา และต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนความสูงต่อความหนาที่มีค่ามากและมีการเยื้องศูนย์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเค้นนอกระนาบ (Out-of-Plane Stress) อย่างมีนัยสำคัญ ประเภทของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่รับแรงกดสำหรับงานสถาปัตยกรรม แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ ดังนี้

16.2.2.1 แผงขอบรับแรงกด (Load-Bearing Spandrels) เป็นแผงที่วางในแนวนอนระหว่างเสาและใช้รองรับน้ำหนักจากพื้นหรือหลังคา

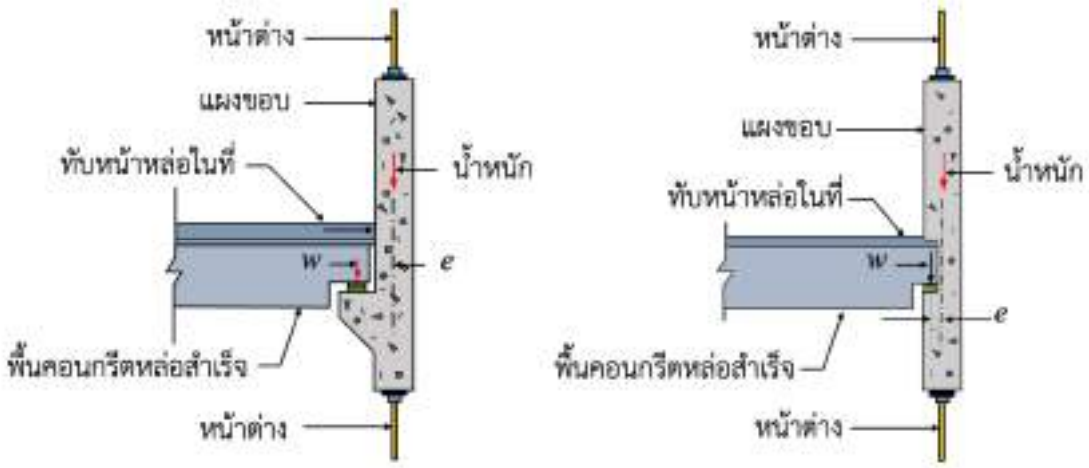
(ก) จุดรองรับทางแนวดิ่งที่รับน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงมักจะเยื้องศูนย์กัน รูปแบบจุดเชื่อมต่อทั่วไปของแผงขอบที่รองรับพื้น ดังแสดงในรูปที่ 16.6

(ข) การหมุนตัวของแผงขอบเนื่องจากการเยื้องศูนย์มักจะถูกต้านทานโดยแรงคู่ควบทางแนวนอนที่เกิดขึ้นในระบบพื้นหรือจุดเชื่อมต่อที่บริเวณเสารองรับเพื่อป้องกันการหมุนต้องมีการกำหนดรายละเอียดสำหรับการส่งถ่ายแรงอัดบริเวณด้านบนของพื้นและการส่งถ่ายแรงดึงที่บริเวณด้านล่างของชิ้นส่วนพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ค) การออกแบบจุดเชื่อมต่อต้องคำนึงถึงความเค้นที่จากการยึดรั้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ไม่ควรใช้จุดเชื่อมต่อที่รับแรงดึงบริเวณปลายด้านล่างทั้งสองข้างของพื้น

(ง) แม้จะมีแรงต้านการบิดโดยแรงคู่ควบในชิ้นส่วนพื้นภายหลังประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ การออกแบบจะต้องพิจารณาการบิดตัวของแผงขอบทั้งก่อนและหลังการติดตั้งชิ้นส่วน หากไม่สามารถปรับการบิดตัวได้โดยการใช้จุดเชื่อมต่อพื้นจะต้องออกแบบให้แผงรับรองรับความเครียดที่จะเกิดขึ้น

(จ) ไม่แนะนำให้ใช้จุดยึดรั้งกลับ (Tiebacks) เนื่องจากจะก่อให้เกิดความเค้นจากการยึดรั้ง อย่างไรก็ตามผู้ผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จส่วนใหญ่อาจเลือกใช้จุดยึดรั้งกลับเพิ่มเติมตามความยาวของแผงขอบเพื่อป้องกันการแตกร้าวภายใต้แรงตามแนวดิ่งและแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งต้องพิจารณาผลกระทบอย่างรอบครอบ



รูปที่ 16.6 แผงขอบรับแรงกด

16.2.2.2 แผ่นหน้าต่างรับแรงกด

ข้อกำหนดที่ใช้ข้อที่ 16.2.1.3 จะต้องถูกพิจารณาในที่นี้ด้วย

(ก) แผ่นหน้าต่างมีทั้งที่ถูกออกแบบมาวางทางแนวนอนระหว่างเสา หรือวางทางแนวตั้งระหว่างชั้น หากวางทางแนวนอนจะออกแบบเป็นคาน หรือถ้ามีช่องเปิดของหน้าต่างมีจำนวนมากและระยะห่างเท่ากัน ดังรูปที่ 16.3 (ก) แผ่นหน้าต่างจะออกแบบเป็นโครงถักแบบ Vierendeel เมื่อออกแบบเป็นคานจะต้องมีรอยต่อทางแนวนอนระหว่างแผ่นเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่ถ่ายแรงไปยังแผ่นด้านล่าง กรณีที่แผ่นมีช่องเปิดขนาดใหญ่ดังรูปที่ 16.3 (ค) อาจจำเป็นต้องวิเคราะห์เป็นแบบโครงข้อแข็ง

(ข) แผ่นผนังคอนกรีตสำหรับสถาปัตยกรรมส่วนที่มีความต่อเนื่องมากกว่าสองชั้นขึ้นไป ดังรูปที่ 16.3 (ข) และ (ค) แต่ถ้าหากมีการกำหนดตำแหน่งจุดเชื่อมต่อและมีการออกแบบอย่างเหมาะสม ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีช่วงยาวทางแนวตั้งที่สั้น

(ค) แผ่นผนังมาตรฐานอาจเป็นแบบแบบตัน แบบมีรูกลวง หรือ แบบมีก้าน โดยส่วนใหญ่ออกแบบเป็นคอนกรีตอัดแรง เมื่อมีการใช้งานแผ่นผนังรับน้ำหนัก ติดตั้งบนพื้น หรือหลังคาแบบมีก้าน (Stemmed Floor of Roof) ความกว้างของผนังที่ใช้ควรเท่ากับหรือเป็นสัดส่วนกับความกว้างของพื้นหรือหลังคา ตัวอย่างเช่น ถ้าพื้นมีความกว้าง 3 m ผนังควรมีขนาดความกว้าง 3 6 หรือ 9 m

16.2.2.3 แผ่นผนังรับแรงกด

(ก) ขนาดของแผ่นคอนกรีตสำหรับงานสถาปัตยกรรมมักจะถูกกำหนดตามความต้องการ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาแรงทางแนวดิ่ง หรือแรงทางด้านข้าง เมื่อแผ่นเหล่านี้ถูกนำมาใช้ทางแนวดิ่งจะทำหน้าที่เป็นผนังรับแรงเฉือนด้วย

(ข) เมื่อมีการวางชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในแนวตั้ง ชิ้นส่วนมักจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเหมือนเสาแต่ให้พิจารณาผลของอัตราส่วนความชะลูด เนื่องจากแผ่นผนังจะมีอัตราส่วนความสูงต่อความหนาของผนังค่อนข้างมากจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์โดยคำนึงถึงผลของ P-Delta

(ค) ไม่ยอมให้เกิดจากการแตกร้าวจากการโก่งตัว แผ่นผนังจะต้องถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้มีรอยแตกร้าวซึ่งอาจต้องใช้การอัดแรงในแผ่นผนังเพื่อป้องกันกรณีดังกล่าว

16.3 การพิจารณาการออกแบบโครงสร้าง

16.3.1 น้ำหนักบรรทุกออกแบบ

แรงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม ประกอบไปด้วย

16.3.1.1 แรงที่เกิดจากน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเอง

16.3.1.2 แรงที่เกิดขึ้นระหว่างการกองเก็บ การติดตั้ง และการก่อสร้าง

16.3.1.3 แรงภายนอก เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว แรงระเบิด แรงกระแทก หลังคา น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร แรงดันดิน หรือ แรงดันจากของไหล แรงต่าง ๆ เหล่านี้ต้องแสดงในรายละเอียดประกอบแบบก่อสร้าง

16.3.1.4 แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร หรือการเคลื่อนตัวของจุดรองรับ แรงเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นสูงที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ

16.3.1.5 แรงจากการถ่ายแรงจากชิ้นส่วนหรือองค์อาคารที่อยู่ติดกัน เช่น หน้าต่าง ประตู และป้าย

16.3.1.6 ผู้ออกแบบควรใช้รูปแบบการถ่ายน้ำหนักบรรทุกแบบง่ายที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ และกำหนดความเหนียวของจุดเชื่อมต่อ ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสเกิดปัญหาที่จุดเชื่อมต่อ นอกจากนี้จำนวนจุดเชื่อมต่อที่ถูกถ่ายแรงควรมีจำนวนน้อยที่สุด ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จควรมีจุดเชื่อมต่อสำหรับใช้ในการต้านทานแรงทางแนวดิ่ง ไม่เกิน 2 จุดเชื่อมต่อต่อ 1 แผ่น

16.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางปริมาตร

16.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรของคอนกรีตหล่อสำเร็จมีสาเหตุมาจากการคืบ การหดตัว และความผันผวนของอุณหภูมิ หากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถเคลื่อนตัวหรือเสียรูปได้อย่างอิสระ การเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรมักจะมีผลน้อย ส่วนในกรณีที่มีการยึดรั้งไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่โดยใช้อุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มที่ฐานรากหรือโครงอาคารอาจทำให้เกิดหน่วยแรงที่เป็นผลให้เกิดการแตกร้าวได้

16.3.2.2 เนื่องจากระยะเวลาระหว่างการหล่อจนถึงการนำชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จไปติดตั้งขั้นสุดท้ายมักจะกินเวลานาน การหดตัวและการคืบส่วนใหญ่ที่เกิดจากการอัดแรงจึงมักจะเหลือน้อยลงไปแล้วก่อนที่จะนำชิ้นส่วนไปทำการติดตั้ง ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาในรายละเอียดนี้

16.3.2.3 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของคอนกรีตจะแปรผันตามมวลรวมที่ใช้ โดยสำหรับคอนกรีตทั่วไปจะมีค่าสัมประสิทธิ์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 9 ถึง 12 × 10^{-6} mm/mm/°C

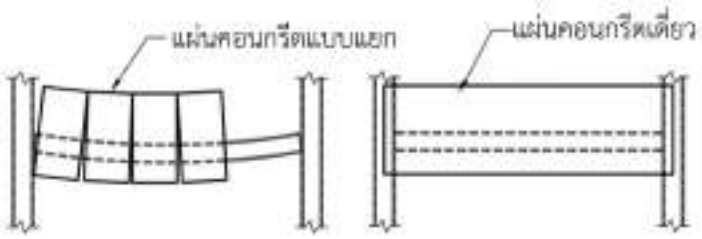
16.3.3 การโก่งของส่วนรองรับและการเคลื่อนตัวของอาคาร

16.3.3.1 องค์ประกอบทั้งหมดของอาคารควรได้รับการคำนวณออกแบบให้สามารถรองรับการเคลื่อนตัวได้โดยไม่ต้องมีที่รองรับหลายอัน ยกเว้นในกรณีที่จำเป็นต้องยึดรั้ง เพื่อป้องกันการโก่ง หรือเพื่อควบคุมหน่วยแรง

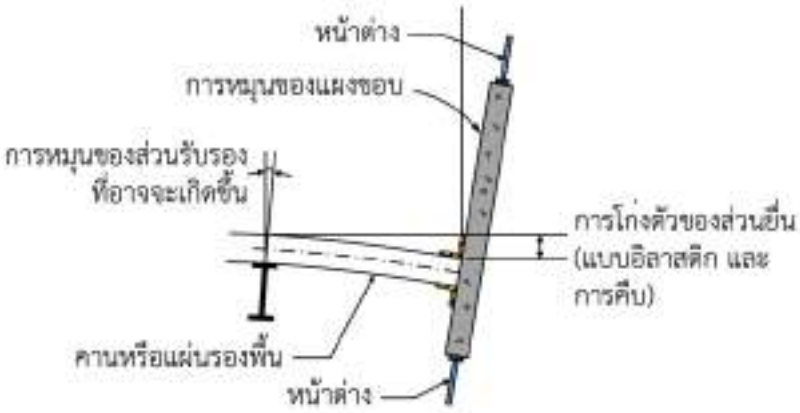
16.3.3.2 การหาแรงที่จำเป็นสำหรับการคำนวณออกแบบจุดเชื่อมต่อสามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ หรือใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

16.3.3.3 แผ่นผนังที่ถูกรองรับโดยคานอ่อนจะทำให้เกิดการโก่ง (หรือการหมุน) ของคาน (รูปที่ 16.7) ผู้ออกแบบจะต้องคำนวณออกแบบและติดตั้งจุดเชื่อมต่อโดยยอมให้เกิดการเปลี่ยนรูปดังกล่าวได้อย่างอิสระ และผู้ออกแบบควรคำนวณออกแบบคานขอบให้มีสติฟเนสเพียงพอเพื่อไม่เกินค่าคลาดเคลื่อนยินยอมโดยไม่ต้องปรับตั้งหรือปรับแนวแผ่นคอนกรีตใหม่

16.3.3.4 สำหรับส่วนของแผงขอบที่ถูกรองรับที่บริเวณปลายของส่วนยื่นยาว ผู้ออกแบบต้องหาผลกระทบจากการโก่งและการหมุนของส่วนรองรับรวมทั้งผลกระทบของการคืบ โดยจัดเตรียมรายละเอียดของอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มทั้งหมด และคำนวณออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตให้มีสตีฟเนสเพียงพอต่อลักษณะดังกล่าว (รูปที่ 16.8) โดยการโก่งของระบบรองรับส่วนยื่นอาจทำให้รอยต่อมีแนวไม่ตรงและมีค่าคลาดเคลื่อนยินยอมสูงกว่าที่กำหนดได้ (ดูส่วนที่ 13)



รูปที่ 16.7 การเปลี่ยนรูปของแผ่นคอนกรีตบนคานอ่อน [56]



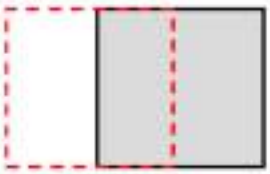
รูปที่ 16.8 ผลกระทบที่ส่วนรองรับส่วนยื่น

16.3.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของแผ่นคอนกรีตกับโครงรองรับเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทำความเข้าใจ โดยเฉพาะในกรณีของพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหว ลักษณะการตอบสนองของแผ่นเปลือกอาคารต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างรองรับมีได้หลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 16.9

การเคลื่อนตัวในระนาบเดียวกันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการยึดแผ่นไว้ที่ชั้นเดียวในระนาบเดียวกัน โดยแผ่นจะเคลื่อนตัวในแนวข้างในชั้นดังกล่าวและยังคงอยู่ในแนวตั้งเมื่อมองจากภาพด้านแผ่นแผงขอบและแผ่นผนังมักจะได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนตัวในลักษณะนี้

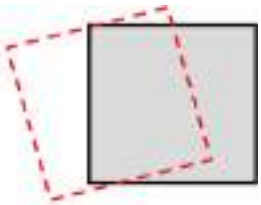
(ก) การหมุนในระนาบเดียวกัน (การโคลง) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการรองรับแผ่นไว้กับสองชั้นในระนาบเดียวกัน เมื่อโครงสร้างมีการเปลี่ยนตำแหน่ง จุดเชื่อมต่อแนวข้างจะลากแผ่นไปตามแนวข้าง ทำให้เกิดการหมุนในระนาบเดียวกัน การหมุนนี้จำเป็นต้องใช้จุดเชื่อมต่อรับแรงแบกทานที่ยอมให้มีการยกตัวได้ ชิ้นส่วนที่มีความแคบ เช่น แผ่นหุ้มเสา จะมีการออกแบบในลักษณะนี้เป็นบางครั้ง

(ข) การหมุนนอกระนาบ หมายถึง การเอียงของแผ่นที่อยู่ในแนวตั้งฉากเมื่อเทียบกับผิวการเคลื่อนตัวในลักษณะนี้มักจะพบได้บ่อยในกรณีที่มีการยึดแผ่นคอนกรีตกับหลาย ๆ ชั้นของโครงสร้าง จุดยึดเหล็กดึงหลังที่รองรับน้ำหนักบรรทุกจากลมและแรงไหวสะเทือนที่กระทำต่อแผ่นเปลือกอาคาร จะทำให้แผ่นเอียงออกนอกระนาบในระหว่างที่ชั้นอาคารมีการเคลื่อนตัว จุดเชื่อมต่อรับแรงแบกทานควรได้รับการคำนวณออกแบบให้รองรับการหมุนนอกระนาบเมื่อแผ่นเปลือกอาคารมีพฤติกรรมในลักษณะนี้



ภาพด้าน

(ก) การเคลื่อนตัวในระนาบ



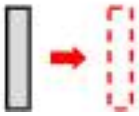
ภาพด้าน

(ข) การหมุนในระนาบเดียวกัน



ภาพตัด

(ค) การหมุนนอกระนาบ

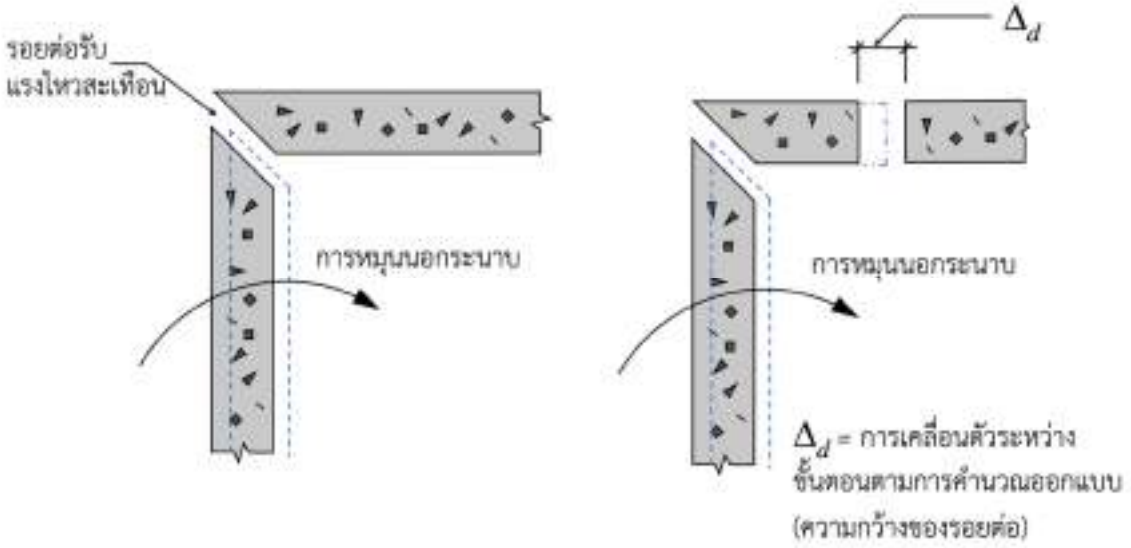


ภาพตัด

(ง) การเคลื่อนตัวนอกระนาบ

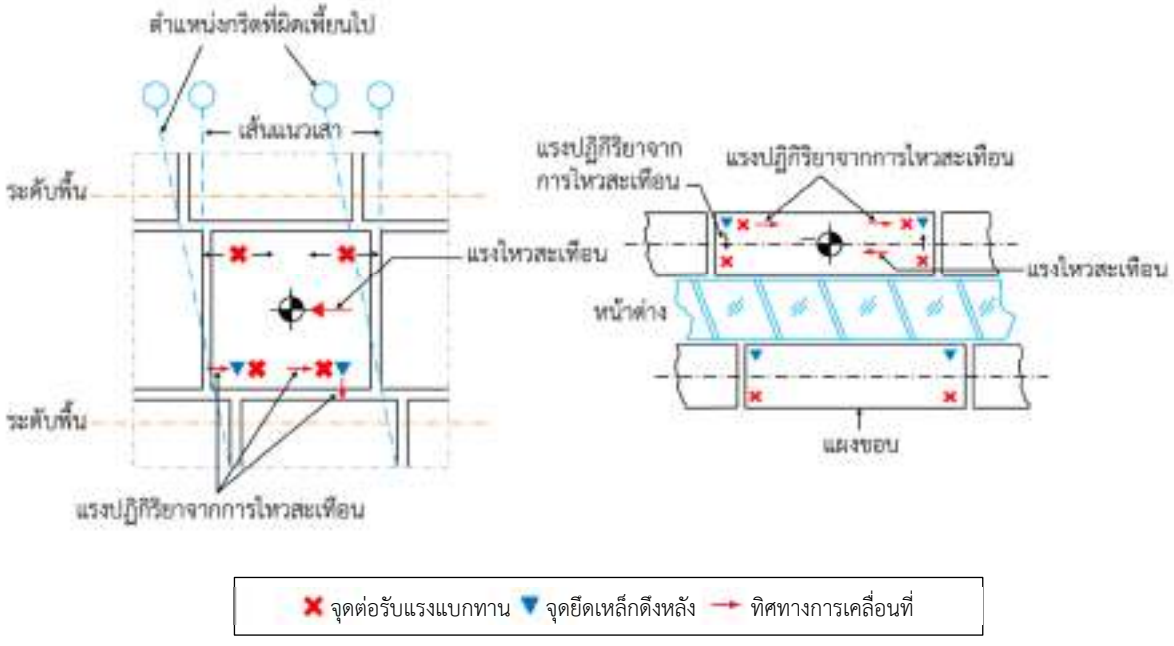
รูปที่ 16.9 รูปแบบการตอบสนองของแผ่นคอนกรีตต่อการเปลี่ยนตำแหน่ง [56]

16.3.3.6 รูปทรงของแผ่นและรอยต่อจะต้องได้รับการออกแบบโดยที่แผ่นจะต้องไม่ชนกันเองหรือชนกับโครงสร้างรองรับในระหว่างที่เกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากในกรณีที่เกิดการชนอาจส่งผลให้จุดเชื่อมต่อรับน้ำหนักบรรทุกมากเกินไปได้ วิธีการโดยทั่วไปในการป้องกันการชนคือการเพิ่มความกว้างของรอยต่อ โดยวางตำแหน่งของแผ่นที่อยู่ติดกันให้มีระยะมากกว่าขีดจำกัดของการเคลื่อนตัว รูปที่ 16.10 แสดงสภาวะที่มักจะพบทั่วไปในกรณีของมุมอาคารที่เกิดจากแผ่นผนัง โดยในตำแหน่งดังกล่าวแผ่นผนังแผ่นหนึ่งจะหมุนในขณะที่อีกแผ่นหนึ่งยังคงอยู่ในแนวตั้ง ส่งผลให้รอยต่อแคบลง ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นชนกันจึงควรเพิ่มระยะห่างของรอยต่อนี้เพื่อรองรับการเลื่อนตัวที่คาดการณ์ไว้



รูปที่ 16.10 รอยต่อที่มุมภายใต้สภาวะการเคลื่อนตัว [56]

16.3.3.7 เมื่อมีแรงแนวนอนในระนาบเดียวกันกระทำต่อแผ่น ระบบจุดเชื่อมต่อของแผ่นต้องสามารถทำให้ตัวแผ่นโคลงขึ้นที่มุมใดมุมหนึ่งหรือเคลื่อนตัวโดยไม่มีการพลิกหรือโคลง (รูปที่ 16.11) ดังนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวที่อาจเกิดขึ้นและปรับระบบจุดเชื่อมต่อ



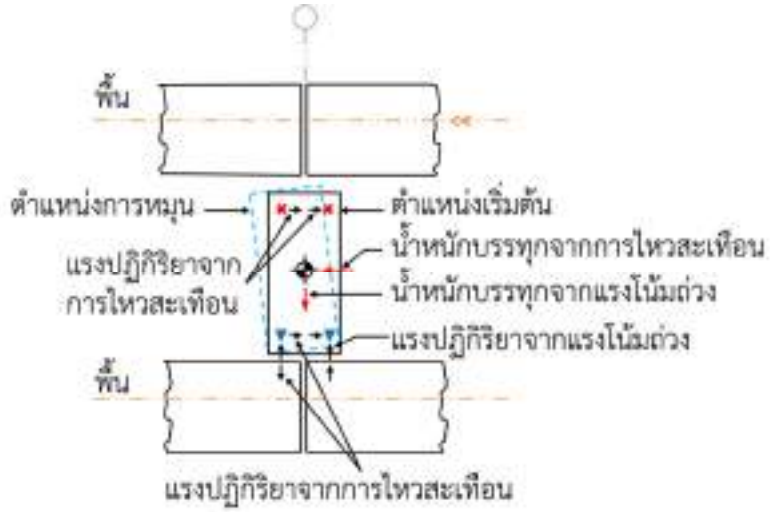
(ก) แผ่นผนัง (ข) แผ่นสแปนเดล

หมายเหตุ: ภาพไม่ได้แสดงน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงและน้ำหนักบรรทุกนอกระนาบที่กระทำต่อจุดต่อ

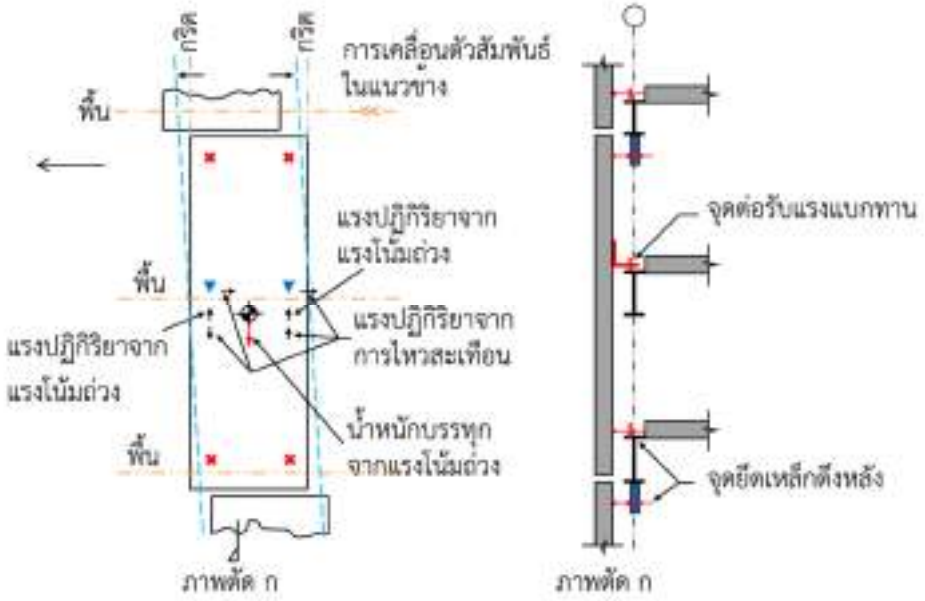
รูปที่ 16.11 ลักษณะของจุดต่อระหว่างแผ่นเปลือกอาคาร – การเคลื่อนตัวของแผ่นเนื่องจากแรงไหวสะเทือน [56]

16.3.3.8 ระบบจุดเชื่อมต่อแต่ละแบบจะแสดงถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของแผ่นในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว ในกรณีของแผ่นผนังแบบสูงจากพื้นถึงพื้นดูรูปที่ 16.12 (ก) เหล็กดึงหลังด้านบนจะกลายเป็นจุดเชื่อมต่อแยกซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงจากการเคลื่อนตัวของอาคารถูกส่งต่อไปยังแผ่น ผนังด้านล่างของแผ่นผนังจะถูกยึดติดและมีการเคลื่อนตัวไปพร้อมกับคานพื้น แรงไหวสะเทือนในระนาบของแผ่นผนังจะทำให้เกิดแรงคู่ควบแนวตั้งและแรงเฉือนที่จุดเชื่อมต่อรับแรงแบกทาน ซึ่งจะต้องต้านทานแรงดังกล่าวและน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วง ผู้ออกแบบอาจเลือกที่จะใช้ส่วนรองรับน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงที่ด้านบนของแผ่นผนังและใช้จุดเชื่อมต่อเหล็กดึงหลังที่ด้านล่างของแผ่น

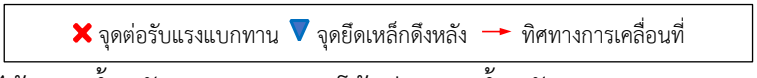
16.3.3.9 จุดเชื่อมต่อจะต้องสามารถรองรับการเคลื่อนตัวในระหว่างเหตุแผ่นดินไหวโดยการเคลื่อนหรือการดัดงอของวัสดุเชื่อมต่อที่มีความเหนียว จุดเชื่อมต่อแบบเคลื่อนจะต้องมีร่องยาวเพียงพอ เพื่อรองรับระยะเคลื่อนตัวที่คาดการณ์ไว้จากการเคลื่อนตัวของชั้นอาคารโดยต้องไม่มีสลักเกลียวเชื่อมหรือสลักเกลียวเฉือนหรือการเชื่อม จุดเชื่อมต่อแบบอ่อนจะต้องมีความยาวก้านหรือแผ่นเพียงพอสำหรับการดัดและการงอเมื่อเกิดการเคลื่อนตัวโดยไม่มีการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน



(ก)



(ข)



หมายเหตุ: ภาพไม่ได้แสดงน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงและน้ำหนักบรรทุกนอกระนาบที่กระทำต่อจุดต่อ

รูปที่ 16.12 ชิ้นส่วนทรงสูง/แคบที่มีการเคลื่อนตัว [56]

16.3.4 การเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้ง

16.3.4.1 การคำนวณออกแบบจะต้องมีการพิจารณาถึงลักษณะการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้ง โดยจะต้องดำเนินการก่อนที่จะสรุปขนาด รูปทรง และคุณสมบัติอื่น ๆ ในขั้นตอนสุดท้าย เนื่องจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งหรือสภาพหน้างานอาจส่งผลต่อการเลือกขนาดของแผ่นคอนกรีต

16.3.4.2 การเคลื่อนย้ายและการหมุนชิ้นส่วนบ่อยครั้งเกินไปในระหว่างการถอดแบบจนถึงการติดตั้งขั้นสุดท้ายจะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น รวมทั้งทำให้มีความเสี่ยงมากขึ้นที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากอุบัติเหตุ ผู้ผลิตคอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องพิจารณาในการออกแบบแผ่นคอนกรีตให้ทนต่อหน่วยแรงที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้ง รวมไปถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย

16.3.4.3 วิธีการเคลื่อนย้ายที่ดีที่สุดและประหยัด คือการถอดชิ้นส่วนออกจากแบบหล่อแล้วพลิกขึ้นให้อยู่ในแนวตั้งในลักษณะเดียวกับตำแหน่งติดตั้งสุดท้าย (รูปที่ 12.3) วิธีนี้มีข้อดีคือในกรณีที่ต้องจัดเก็บไว้เป็นเวลานาน แผ่นคอนกรีตจะอยู่ในลักษณะเดียวกันกับสภาวะการใช้งานจริง แผ่นผนังที่มีความสูงหลายชั้นอาจใช้วิธีการจัดเก็บและขนส่งโดยวางตามยาว จากนั้นนำมาหมุนกลางอากาศให้อยู่ในตำแหน่งติดตั้งที่หน้างาน (รูปที่ 12.4)

16.3.4.4 การเคลื่อนย้ายและการติดตั้งจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ยกหนึ่งชุด และอาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ยกอีกหนึ่งชุดสำหรับการถอดแบบ ควรเลือกตำแหน่งการยกแผ่นคอนกรีต โดยจะต้องแน่ใจว่าจะไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวในระหว่างการเคลื่อนย้าย ดูส่วนที่ 11 สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบตัวฝังสำหรับยก หูคล้องสลิง และจุดยกอื่น ๆ และสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายและการติดตั้ง

16.3.5 ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

16.3.5.1 ค่าคลาดเคลื่อนยอมให้สำหรับการออกแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรมให้เป็นไปตามส่วนที่ 13

16.3.5.2 สถาปนิกและผู้เกี่ยวข้องกับการออกแบบจะเป็นผู้กำหนดค่าคลาดเคลื่อนยอมให้ที่จำเป็นเพื่อให้แนวคิดในการสร้างอาคารสามารถทำได้จริง โดยมีเหตุผลดังต่อไปนี้

(ก) เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนต่าง ๆ จะสามารถประกอบเข้าด้วยกันได้อย่างพอดีโดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงแก้ไข

(ข) เพื่อให้แน่ใจว่า มีการคำนวณออกแบบโครงสร้างเพื่อรองรับปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนทางมิติได้อย่างเหมาะสม ตัวอย่างเช่น สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์ พื้นที่แบกทาน ตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดและตัวยึดและตำแหน่งของเหล็กเสริมหรือเหล็กอัดแรง

(ค) เพื่อให้แน่ใจว่า รอยต่อและวัสดุต่อประสานของโครงสร้างที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว เช่น กระจกระหว่างแผ่นผนัง มีประสิทธิภาพในระดับที่ยอมรับได้

(ง) เพื่อให้แน่ใจว่า ปัจจัยต่าง ๆ จะส่งผลให้โครงสร้างอาคารมีความสวยงามเป็นที่น่าพอใจ

(จ) การผลิตและการติดตั้งมีความง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งทราบระดับความแม่นยำทางมิติของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

(ฉ) เพื่อหลีกเลี่ยงการรุกล้ำเส้นแบ่งเขตตามกฎหมายควบคุมอาคาร และเพื่อกำหนดมาตรฐานค่าคลาดเคลื่อนยินยอมที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลงานจริงได้ในกรณีที่เกิดข้อพิพาท

(ช) เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้อย่างชัดเจน และเพื่อกำหนดความรับผิดชอบในการพัฒนา การปฏิบัติตาม และการรักษาค่าคลาดเคลื่อนยินยอมตามที่ตกลงไว้ร่วมกัน

16.3.5.3 หากค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด ก็อาจยังคงสามารถยอมรับชิ้นงานได้หากชิ้นงานดังกล่าวเป็นไปตามเกณฑ์ข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

(ก) ค่าคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าที่กำหนดนั้นไม่ได้ส่งผลต่อบูรณภาพของโครงสร้างหรือประสิทธิภาพทางสถาปัตยกรรมของชิ้นงานนั้น ๆ

(ข) สามารถปรับชิ้นงานให้กลับมามีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้อยู่ภายในเกณฑ์ได้ โดยใช้วิธีการที่เป็นที่น่าพอใจทั้งในแง่ของโครงสร้างและสถาปัตยกรรม

(ค) สามารถดัดแปลงชิ้นส่วนทั้งหมดที่ติดตั้งในภาพรวมให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดทางโครงสร้างและสถาปัตยกรรมได้

16.3.6 การควบคุมรอยแตกร้าว

16.3.6.1 ผู้ออกแบบควรมีการจำกัดขนาดรอยแตกร้าวสูงสุด เพื่อให้ชิ้นส่วนคอนกรีตมีความทนทาน โดยขนาดรอยแตกที่ยอมให้ได้กำหนดไว้ในส่วนที่ 5

16.3.6.2 ชิ้นส่วนคอนกรีตจะต้องมีจำนวนเหล็กเสริมเพียงพอและมีระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้น เพื่อควบคุมการกระจายของรอยแตกร้าวจากการหดตัว โดยเฉพาะในกรณีที่ชิ้นส่วนมีรูปทรงซับซ้อน มีปริมาตรคอนกรีตไม่สมดุล มีเหล็กเสริมไม่สมมาตร มีส่วนยื่นขนาดใหญ่ หรือมีขนาดหน้าตัดไม่เท่ากัน จะยิ่งทำให้โอกาสเกิดรอยร้าวจากการหดตัวนั้นเพิ่มขึ้น

16.3.7 แผ่นหนุน (Shims)

16.3.7.1 แผ่นหนุนมีบทบาทสำคัญในการติดตั้งคอนกรีตเปลือยหล่อสำเร็จ โดยทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จไปยังโครงสร้างรองรับหรือฐานราก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้หน่วยแรงแบกทานอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นข้อพิจารณาที่มีความสำคัญเป็นพิเศษโดยเฉพาะในกรณีที่ใช้วิธีการซ้อนแผ่นคอนกรีตเปลือยที่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก

16.3.7.2 แผ่นหนุนยังช่วยให้ผู้ติดตั้งสามารถปรับแผ่นคอนกรีตเปลือยหล่อสำเร็จให้มีความกว้างของรอยต่อถูกต้องและอยู่ในแนวที่ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้ว แผ่นหนุนที่ใช้จะทำจากพลาสติกแข็งที่มีขนาดความหนาต่าง ๆ มาซ้อนกันจนกลายเป็นรอยต่อที่มีขนาดตั้งแต่ 12 ถึง 25 mm โดยควรหลีกเลี่ยงการซ้อนแผ่นหนุนพลาสติกจนมีความหนาเกินกว่า 25 mm เนื่องจากยิ่งซ้อนแผ่นหนุนหลายแผ่นมากขึ้น จะยิ่งทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

16.3.7.3 เพื่อให้แผ่นหนุนคงประสิทธิภาพเอาไว้ได้ตลอดอายุของโครงสร้าง ผู้ควบคุมงานควรตรวจสอบว่าแผ่นหนุนมีการกระจายน้ำหนักบรรทุกเท่า ๆ กัน หากชุดแผ่นหนุนพลาสติกที่ซ้อนกันอยู่มีการกระจายน้ำหนักบรรทุกไม่สม่ำเสมอเท่ากันทั่วทั้งแผ่น อาจทำให้แผ่นหนุนค่อย ๆ เลื่อนหลุดออกจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้มาจากการที่ส่วนรองรับแรงแบกทานไม่ได้ระดับ หรือมีการใช้แผ่นคอนกรีตที่ไม่สมมาตรและจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นคอนกรีตไม่ตรงกับจุดศูนย์กลางของแผ่นหนุน รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป

16.3.7.4 เพื่อป้องกันการเลื่อนหลุดของแผ่นหนุน แนะนำให้ติดแผ่นหนุนพลาสติกเข้าด้วยกันโดยใช้กาวอิพ็อกซี หรือเลือกใช้ชุดแผ่นหนุนเหล็กกล้าที่ซ้อนและเชื่อมติดเข้าด้วยกัน แล้ววางแผ่นหนุนเดี่ยวอีกหนึ่งแผ่นไว้ด้านบน เพื่อให้ได้ขนาดสุดท้ายของรอยต่อที่ต้องการ

16.4 จุดเชื่อมต่อ

16.4.1 ข้อมูลทั่วไป

วัตถุประสงค์ในส่วนนี้คือ อธิบายเกี่ยวกับจุดเชื่อมต่อของแผ่นเปลือกอาคารคอนกรีตเปลือยที่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก

16.4.2 ข้อพิจารณาในการคำนวณออกแบบ

16.4.2.1 จุดเชื่อมต่อแผ่นเปลือกอาคารจะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกที่แผ่นเปลือกอาคารที่ต้องรองรับไว้ไปยังโครงสร้างที่รองรับ

16.4.2.2 จุดเชื่อมต่อสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท

(ก) ประเภทแรก ได้แก่ จุดเชื่อมต่อที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วง เช่น น้ำหนักของแผ่นคอนกรีตเองและวัสดุอื่น ๆ ที่แผ่นรองรับเอาไว้

(ข) ประเภทที่สอง ได้แก่ จุดเชื่อมต่อที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง เช่น จากแรงแบกทานเยื้องศูนย์ แรงลม แรงไหวสะเทือนหรือแรงระเบิด และแรงกระแทก การออกแบบจุดเชื่อมต่อให้สามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกประเภทได้พร้อมกันนั้นสามารถทำได้ โดยผู้ออกแบบควรตระหนักว่ายิ่งจุดเชื่อมต่อมีความเรียบง่ายก็จะยิ่งมีโอกาสน้อยลงที่จุดเชื่อมต่อดังกล่าวจะต้องรับแรงกระทำที่ไม่ต้องการ

16.4.2.3 การคำนวณออกแบบจุดเชื่อมต่อของแผ่นเปลือกอาคารคอนกรีตเปลือยหล่อสำเร็จ ให้ใช้วิธีกำลังตามที่อธิบายไว้ในส่วนที่ 10 ของมาตรฐานนี้ โดยแรงที่กระทำต่อจุดเชื่อมต่อจะคำนวณโดยใช้พื้นฐานจากน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ตามที่ได้ระบุไว้ในส่วนที่ 7

16.4.2.4 ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อ ผู้ออกแบบอาจใช้แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบ

16.4.2.5 จุดเชื่อมต่อของแผ่นคอนกรีตเปลือยหล่อสำเร็จควรมีการออกแบบเพื่อให้ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ ในกรณีของอาคารที่ใช้โครงสร้างเหล็ก ควรออกแบบและเลือกตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อ เพื่อไม่ให้ชิ้นส่วนโครงสร้างของอาคารมีการบิดตัว หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการบิดตัวได้ จะต้องมีการยึดชิ้นส่วนของอาคารไว้อย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการหมุน

16.4.2.6 แนวทางต่อไปนี้สามารถนำมาใช้ได้กับการเลือกตำแหน่งและการออกแบบจุดเชื่อมต่อ โดยดูข้อมูลเพิ่มเติมในรูปที่ 16.13

(ก) เตรียมจุดเชื่อมต่อรับแรงแบกทานเพียงสองจุดต่อแผ่นเท่านั้น เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะติดตั้งแผ่นคอนกรีตโดยที่มีการกระจายน้ำหนักบรรทุกไปยังจุดเชื่อมต่อรับแรงแบกทานมากกว่าสองจุดในลักษณะเดียวกับที่มีการคำนวณออกแบบไว้ การคาดการณ์น้ำหนักบรรทุกที่ไม่แม่นยำอาจส่งผลให้จุดเชื่อมต่อรับน้ำหนักบรรทุกมากเกินไปได้

(ข) แผ่นคอนกรีตจะไม่ได้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอไปยังคานรอบนอกของอาคาร แผ่นคอนกรีตมักจะมีความแข็งตึงมากกว่าคานรองรับ ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกของแผ่นจะถูกถ่ายไปยังคานที่สองจุดเท่านั้น

(ค) เลือกใช้จุดเชื่อมต่อที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน

(ง) ออกแบบจุดเชื่อมต่อโดยเผื่อไว้สำหรับน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เลวร้ายที่สุด การออกแบบจุดเชื่อมต่อตามน้ำหนักบรรทุกจริงของแผ่นคอนกรีตแต่ละแผ่นจะส่งผลให้มีรายละเอียดจุดเชื่อมต่อหลายแบบมากเกินไป และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้โดยไม่ได้ตั้งใจ

(จ) ออกแบบจุดเชื่อมต่อโดยอย่าใช้รูปทรงเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็กหลายขนาดมากเกินไป รวมทั้งควรจำกัดการใช้จำนวนและขนาดสลักเกลียวหรือแท่งเกลียวตลอดทั้งโครงการ

(ฉ) ตรวจสอบให้แน่ใจว่า การตกแต่งภายในของโครงสร้างสามารถปิดคลุมจุดเชื่อมต่อได้ทั้งหมด

(ช) ตัวฝังที่ใช้สำหรับจุดเชื่อมต่อไม่ควรนำมาใช้กับการยกแผ่นคอนกรีตได้ ควรใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์

(ซ) กำหนดเส้นทางน้ำหนักบรรทุก (Load Path) ที่สั้นที่สุดในการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่จุดรองรับ

(ฌ) เตรียมการเพื่อให้สามารถทำการปรับแก้ที่หน้างานได้

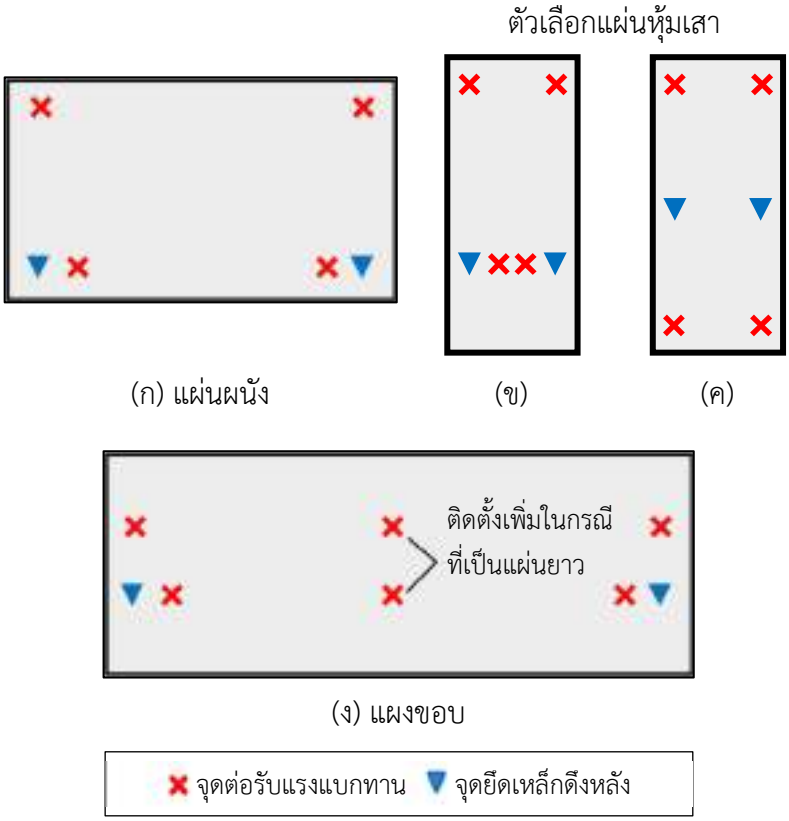
(ญ) คำนึงถึงความง่ายในการเข้าถึงจุดเชื่อมต่อ

(ฎ) พิจารณาค่าคลาดเคลื่อนยินยอมของคอนกรีตหล่อสำเร็จและโครงสร้างที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน

(ฏ) หลีกเลี่ยงการใช้จุดเชื่อมต่อที่จำเป็นต้องมีการเจาะภายหลัง

(ฐ) หลีกเลี่ยงการใช้จุดเชื่อมต่อที่จำเป็นต้องมีการเทคอนกรีตภายหลัง

16.4.2.7 จุดเชื่อมตัวที่ต้องใช้ตัวฝังยึด (Anchor) บริเวณเปลือกอาคาร ให้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อนโลหะ (ควรเคลือบผิวตัวฝังยึดด้วยสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนเป็นอย่างน้อย หรือเหล็กสแตนเลสในสิ่งแวดล้อมทะเล)



รูปที่ 16.13 ตำแหน่งโดยทั่วไปของจุดต่อแผ่นเปลือกอาคาร [56]



บรรณานุกรม

[1] American Concrete Institute, 2008, “ACI 201.1R: Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service” Michigan.

[2] American Concrete Institute, 2018, “ACI 207.3R: Report on Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions” Michigan.

[3] American Concrete Institute, 2008, “ACI 209R-92: Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures” Michigan.

[4] American Concrete Institute, 1989, “ACI 216R: Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements” Michigan.

[5] American Concrete Institute, 2001, “ACI 222R-01: Protection of Metals in Concrete against Corrosion” Michigan.

[6] American Concrete Institute, 2014, “ACI 222.2R: Corrosion of Prestressing Steels” Michigan.

[7] American Concrete Institute, 2001, “ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures” Michigan.

[8] American Concrete Institute, 2007, “ACI 224.1R-07: Causes, Evaluation, and Repair of Cracking in Concrete Structures” Michigan.

[9] American Concrete Institute, 2003, “ACI 228.1R-03: In-Place Methods to Estimate Concrete Strength” Michigan.

[10] American Concrete Institute, 2013, “ACI 228.2-13: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures” Michigan.

[11] American Concrete Institute, 2015, “ACI 309.2R-15: Guide to Identification and Control of Visible Surface Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces” Michigan.

[12] American Concrete Institute, 2019, “ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary” Michigan.

[13] American Concrete Institute, 1985, “ACI 362R: State-of-the-Art Report on Parking Structures” Michigan.

[14] American Concrete Institute, 2013, “ACI 364.1R-07: Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation” Michigan.

[15] American Concrete Institute, 1998, “ACI 423.4R: Corrosion and Repair of Unbonded Single Strand Tendons” Michigan.

[16] American Concrete Institute, 2003, “ACI 437R: Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings” Michigan.

[17] American Concrete Institute, 1979, “ACI 444R: Models of Concrete Structures - State-of-the-Art” Michigan.

[18] American Concrete Institute, 1993, “ACI 503R-93: Use of Epoxy Compounds with Concrete” Michigan.

[19] American Concrete Institute, 1997, “ACI 504R: Guide to Sealing Joints in Concrete Structures” Michigan.

[20] ASTM Committee, 1997, “ASTM A36: Standard Specification for Structural Steel”, Book of Standards Volume: 01.04, Philadelphia.

[21] ASTM Committee, 2020, “ASTM A193/A193M-20: Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications”, Book of Standards Volume: 01.01, Philadelphia.

[22] ASTM Committee, 2021, “ASTM A307-21: Standard Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60000 PSI Tensile Strength”, Book of Standards Volume: 01.09, Philadelphia.

[23] ASTM Committee, 2010, “ASTM A325: Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength”, Book of Standards Volume: 01.09, Philadelphia.

[24] ASTM Committee, 2021, “ASTM A370-21: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products”, Book of Standards Volume: 01.01, 01.02, 01.03, 01.04, 01.05, Philadelphia.

[25] ASTM Committee, 2014, “ASTM A490-14: Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength”, Book of Standards Volume: 01.09, Philadelphia.

[26] ASTM Committee, 2021, “ASTM A500: Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes”, Book of Standards Volume: 01.01, Philadelphia.

[27] ASTM Committee, 2019, “ASTM A884/A884M-19e1: Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Wire and Welded Wire Reinforcement”, Book of Standards Volume: 01.04, Philadelphia.

[28] ASTM Committee, 2018, “ASTM A910/A910M-18: Standard Specification for Uncoated, Weldless, 2-Wire and 3-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete”, Book of Standards Volume: 01.04, Philadelphia.

[29] ASTM Committee, 2018, “ASTM C33/C33M-18: Standard Specification for Concrete Aggregates”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[30] ASTM Committee, 2021, “ASTM C39/C39M-21: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[31] ASTM Committee, 2013, “ASTM C42/C42M-12: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[32] ASTM Committee, 2017, “ASTM C94/C94M-04: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[33] ASTM Committee, 2020, “ASTM C109/C109M-20: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)”, Book of Standards Volume: 04.01, Philadelphia.

[34] ASTM Committee, 2016, “ASTM C150/C150M-15: Standard Specification for Portland Cement”, Book of Standards Volume: 04.01, Philadelphia.

[35] ASTM Committee, 2020, “ASTM C192/C192M-19: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[36] ASTM Committee, 2017, “ASTM C330/C330M-17: Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[37] ASTM Committee, 2021, “ASTM C595/C595M-21: Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”, Book of Standards Volume: 04.01, Philadelphia.

[38] ASTM Committee, 2016, “ASTM C597-16: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[39] ASTM Committee, 2019, “ASTM C618-19: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[40] ASTM Committee, 2018, “ASTM C685/C685M-17: Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[41] ASTM Committee, 2019, “ASTM C803/C803M-18: Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[42] ASTM Committee, 2013, “ASTM C805/C805M-08: Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[43] ASTM Committee, 2017, “ASTM C823/C823M-12: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[44] ASTM Committee, 2018, “ASTM C845/C845M-18: Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement”, Book of Standards Volume: 04.01, Philadelphia.

[45] ASTM Committee, 2016, “ASTM C876-15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”, Book of Standards Volume: 03.02, 04.02, Philadelphia.

[46] ASTM Committee, 2012, “ASTM C989-10: Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[47] ASTM Committee, 2016, “ASTM C1116/C1116M-10a: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[48] ASTM Committee, 2020, “ASTM C1157/C1157M-17: Standard Performance Specification for Hydraulic Cement”, Book of Standards Volume: 04.01, Philadelphia.

[49] ASTM Committee, 2020, “ASTM C1193-16: Standard Guide for Use of Joint Sealants”, Book of Standards Volume: 04.07, Philadelphia.

[50] ASTM Committee, 2021, “ASTM C1240: Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.

[51] ASTM Committee, 2016, “ASTM D4788-03: Standard Test Method for Detecting Delamination in Bridge Decks Using Infrared Thermography”, Book of Standards Volume: 04.03, Philadelphia.

[52] ASTM Committee, 2021, “ASTM F1554-20: Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength”, Book of Standards Volume: 01.09, Philadelphia.

[53] American Welding Society, Inc. (AWS), 1998, “AWS D1.4 1998 Edition: Structural Welding Code - Reinforcing Steel”, Florida.

[54] International Organization for Standardization, 1999, “ISO 834: 2019 Fire-resistance tests - Elements of building construction, Geneva, Switzerland.

[55] Federal Emergency Management Agency, 1997, “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Washington, D.C.

[56] Precast/ Prestressed Concrete Institute, 2010, “PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition”, Florida.

[57] Precast/ Prestressed Concrete Institute, 2019, “PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete, 8th Edition”, Florida.

[58] กระทรวงมหาดไทย, 2527, “กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522”, กรุงเทพมหานคร.

[59] กระทรวงมหาดไทย, 2549, “กฎกระทรวงฉบับที่ 60 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522”, กรุงเทพมหานคร.

[60] กระทรวงมหาดไทย, 2564, “กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564”, กรุงเทพมหานคร.

[61] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555, “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4415 ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 3 การอุดปิดช่องเปิดอาคารเพื่อป้องกันไฟลาม (มอก. 2541 เล่ม 3 – 2555)”, กรุงเทพมหานคร.

[62] กระทรวงมหาดไทย, 2522, “พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522”, กรุงเทพมหานคร.

[63] กระทรวงมหาดไทย, 2542, “พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542”, กรุงเทพมหานคร.

[64] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2564, “มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (มยผ. 1101-64: มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก)”, กรุงเทพมหานคร.

[65] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2552, “มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (มยผ. 1103-64: มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต)”, กรุงเทพมหานคร.

[66] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550, “มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและการเก็บรักษา (มยผ. 1208-50)”, กรุงเทพมหานคร.

[67] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550, “มาตรฐานการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (มยผ. 1209-50)”, กรุงเทพมหานคร.

[68] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2561, “มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61)”, กรุงเทพมหานคร.

[69] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550, “มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ. 1311-50)”, กรุงเทพมหานคร.

[70] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2561, “มาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์ (มยผ.1321-61)”, กรุงเทพมหานคร.

[71] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2555, “มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-55)”, กรุงเทพมหานคร.

[72] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2551, “มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) (มยผ.1502-51)”, กรุงเทพมหานคร.

[73] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2551, “มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity) (มยผ. 1504-51)”, กรุงเทพมหานคร.

[74] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2551, “มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร ภาคที่ 2 (มยผ. 8202-51)”, กรุงเทพมหานคร.

[75] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2552, “มาตรฐานประกอบการออกแบบติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างทนไฟ (มยผ. 8302-52)”, กรุงเทพมหานคร.

[76] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2552, “มาตรฐานประกอบการออกแบบติดตั้งวัสดุและอุปกรณ์ป้องกันการลามไฟ (มยผ. 8303-52)”, กรุงเทพมหานคร.

[77] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2562, “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (มอก. 15-2559)”, กรุงเทพมหานคร.

[78] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559, “เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กเส้นกลม (มอก. 20-2559), กรุงเทพมหานคร.

[79] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548, เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กข้ออ้อย (มอก. 24-2548)”, กรุงเทพมหานคร.

[80] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2560, “คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2560)”, กรุงเทพมหานคร.

[81] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2562, “วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบคอนกรีต (Test Method for Compressive Strength of Concrete Specimens (มอก. 409-2562)”, กรุงเทพมหานคร.

[82] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540, “ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง (มอก. 420-2540)”, กรุงเทพมหานคร.

[83] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549, “ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต (มอก. 737-2549)”, กรุงเทพมหานคร.

[84] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556, “ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (มอก. 2594-2556)”, กรุงเทพมหานคร.

[85] Rejane Canha, Gabriela Mazureki Campos Bahniuk and Mounir Khalil El Debs, 2012, “Design Model and Recommendations of Column-foundation Connection through Socket with Rough Interfaces”, Rev. IBRACON Estrut. Mater. Vol.5 No.2, São Paulo.

[86] R. PIERALISI, and R. D. MACHADO, 2017, “Influence of Standard Recommendations for the Calculation of the Column-base Connection by Socket According to ABNT NBR 9062:2006”, Rev. IBRACON Estrut. Mater. Vol.10 No.1, São Paulo.

[87] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556, “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (มอก. 849-2556)”, กรุงเทพมหานคร.

[88] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), กระทรวงอุตสาหกรรม, 2545, “เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต (มอก. 2135-2545)”, กรุงเทพมหานคร.

[89] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556, “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากถลุงจากเตาถลุงแบบพ่นลม (มอก. 2587-2556)”, กรุงเทพมหานคร.

[90] American Concrete Institute, 2001, “ ACI 550.1R: Emulating Cast-in-Place Detailing in Precast Concrete Structures” Michigan.

ภาคผนวก ก
รูปแบบจุดเชื่อมต่อโครงข้อแข็งและผนังรับน้ำหนักบรรทุกแบกทาน

ก.1 บทนำ

การจัดทำรายละเอียดแบบทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Detailing) หมายถึง การคำนวณออกแบบระบบจุดต่อของโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยที่ประสิทธิภาพของโครงสร้างดังกล่าวเทียบได้กับโครงสร้างคอนกรีตเนื้อเดียวแบบหล่อในที่ที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไป

การจัดทำรายละเอียดแบบเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่แตกต่างจากการคำนวณออกแบบแบบใช้จุดต่อแบบไม่ทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Joints) ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้ถือว่าชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแยกจากกัน แต่มีการต่อเข้าด้วยกันด้วยจุดต่อแบบพิเศษ เช่น แผ่นเชื่อมหรือแผ่นยึดด้วยสลักเกลียว

คำว่า “การทำเสมือน” โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนแนวดิ่งหรือแนวนอนในระบบต้านแรงด้านข้างของอาคาร การจัดทำรายละเอียดแบบเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่สำหรับโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถนำมาใช้กับระบบโครงสร้างใดก็ได้ที่เหมาะกับการใช้คอนกรีตเนื้อเดียวเสริมเหล็กด้วยเช่นกัน โดยไม่ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดสำหรับเขตแผ่นดินไหว ดังนั้น แนวทางปฏิบัติด้านการคำนวณออกแบบในบางประเทศที่มีความเสี่ยงสูงต่อแผ่นดินไหว เช่น นิวซีแลนด์และญี่ปุ่น จะเป็นไปตามข้อบังคับการคำนวณออกแบบสำหรับควบคุมคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ออกแบบโดยการทำเสมือนการคำนวณออกแบบคอนกรีตหล่อในที่

การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่มีพื้นฐานอยู่บนข้อสนับสนุนที่ว่า ระบบโดยรวมมีพฤติกรรมเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่เนื่องจากข้อจำกัดในการเทคอนกรีต กระบวนการก่อสร้าง หรือทั้งสองอย่าง โดยโครงสร้างจะมีลักษณะเป็นชิ้นเดียวกัน เนื่องจากความต่อเนื่องของเหล็กเสริมและเกณฑ์กำหนดเฉพาะของรอยต่อโครงสร้าง ส่วนสำคัญของการจัดทำรายละเอียดแบบเสมือนเนื้อเดียวสำหรับคอนกรีตหล่อสำเร็จ คือการจัดทำรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จที่จะมีพฤติกรรมทางโครงสร้างในลักษณะเดียวกันกับโครงสร้างแบบหล่อในที่ รอยต่อโครงสร้างในโครงสร้างคอนกรีตทั้งแบบสำเร็จรูปและแบบหล่อในที่ควรมีตำแหน่งและรายละเอียดที่สามารถรับประกันได้ว่า จะมีการส่งถ่ายแรงและน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นในทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม

การเลือกระบบโครงสร้างที่เหมาะสม เช่น โครงข้อแข็งต้านแรงดัด ผนังรับแรงเฉือน โครงสร้างรูปกล่องและระบบผสม สำหรับน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง และน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วง ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพื่อให้ได้การคำนวณออกแบบที่มีประสิทธิภาพทั้งทางโครงสร้างและต้นทุน ในส่วนของ

คอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ออกแบบสามารถที่จะเลือกเฉพาะโครงหรือกำแพงที่จำเป็นต่อการต้านน้ำหนักบรรทุกตามเกณฑ์กำหนดของข้อบังคับ

โดยทั่วไปแล้ว การต่อเหล็กเสริมที่ใช้กับระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบเสมือนระบบคอนกรีตเนื้อเดียวหล่อในที่ จะประกอบไปด้วย การต่อด้วยการทาบ การต่อด้วยข้อต่อแบบเชิงกล และการต่อด้วยการเชื่อม ในกรณีที่ใช้วิธีการทาบเหล็กเสริม ระยะทาบจะต้องยื่นเข้าไปในคอนกรีตหล่อในที่ค่อนข้างมากเพื่อให้ได้ระยะทาบตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน การต่อด้วยข้อต่อทางกลที่ระบุในมาตรฐานมีการแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ ประเภท 1 และประเภท 2

ภาพประกอบในส่วนนี้แสดงเฉพาะรายละเอียดของเหล็กเสริมที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อไม่ให้มีรายละเอียดมากเกินไปและเพื่อให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน และจะไม่แสดงเหล็กเสริมอื่น ๆ ที่นำมาใช้คำนวณออกแบบทั่วไป

ก.2 รูปแบบจุดเชื่อมต่อโครงข้อแข็ง

ก.2.1 ตัวอย่างรูปแบบจุดต่อโดยทั่วไป – การออกแบบทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่(Emulative Design)

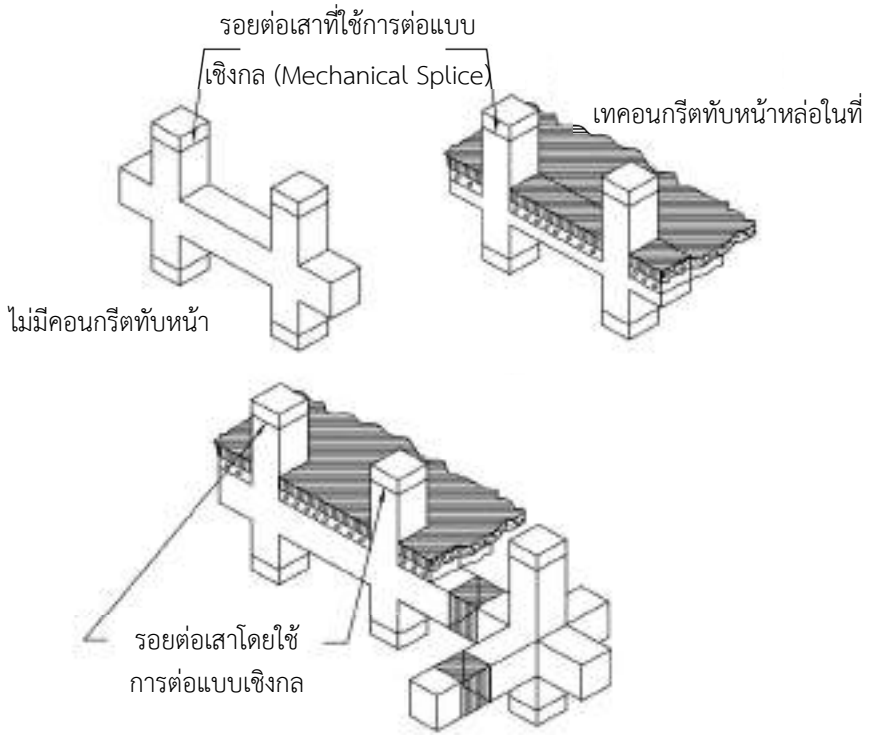
ก.2.1.1 ชิ้นส่วนคานและเสารูปตัว H หรือ รูปกางเขน

รูปแบบชิ้นส่วนนี้ดังแสดงในรูปที่ ก.1 สามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมตำแหน่ง และจำนวนของจุดต่อในระบบโครงได้ โดยที่กำหนดขนาดของชิ้นส่วนย่อยรูปกางเขน จะถูกกำหนดโดยระยะช่วงเสาและความสูงของชั้นอาคารรวมไปถึงข้อจำกัดด้านขนาดสำหรับการขนส่งชิ้นส่วน โครงรูปกางเขนมักจะถูกเรียกว่า ผนังรับแรงเฉือนเจาะช่อง การยกตั้งชิ้นส่วนดังกล่าวสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากสามารถตั้งอยู่ได้ด้วยตัวเองโดยใช้โครงค้ำแบบง่าย ๆ จุดต่อทั้งหมดจะอยู่ในบริเวณที่มีโมเมนต์ต่ำ

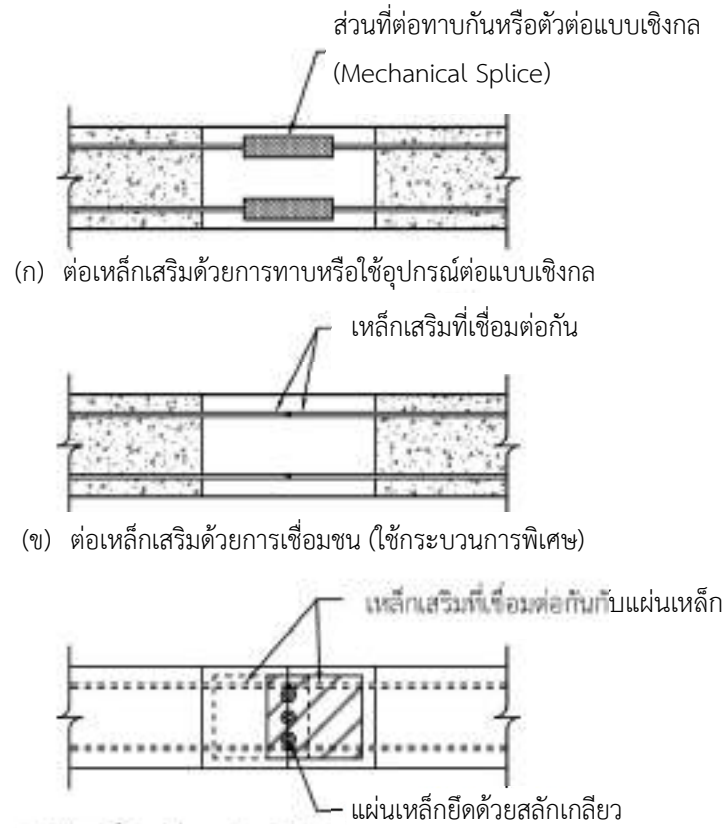
ก.2.1.2 จุดเชื่อมต่อของระบบโครงข้อแข็ง

ตำแหน่งที่เหมาะที่สุดสำหรับจุดต่อในระบบโครงข้อแข็ง ได้แก่ จุดที่แรงกระทำต่อโครงข้อแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเมนต์ควรจะอยู่ในระดับต่ำที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้การเลือกจุดดัดกลับเป็นจุดที่ใช้ในการแยกระบบเนื้อเดียวออกจากกัน และเป็นจุดเชื่อมต่อในเป็นระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ รูปที่ ก.2 แสดงตัวอย่างรูปแบบจุดเชื่อมต่อในแนวราบแบบต่าง ๆ การคำนวณออกแบบจุดต่อ แนะนำว่าควรเผื่อให้สามารถรองรับโมเมนต์ดัดได้ไม่น้อยกว่า 40% ของโมเมนต์สูงสุด ถึงแม้ว่าจะเป็นจุดเชื่อมต่อที่อยู่ที่จุดการโค้งกลับ

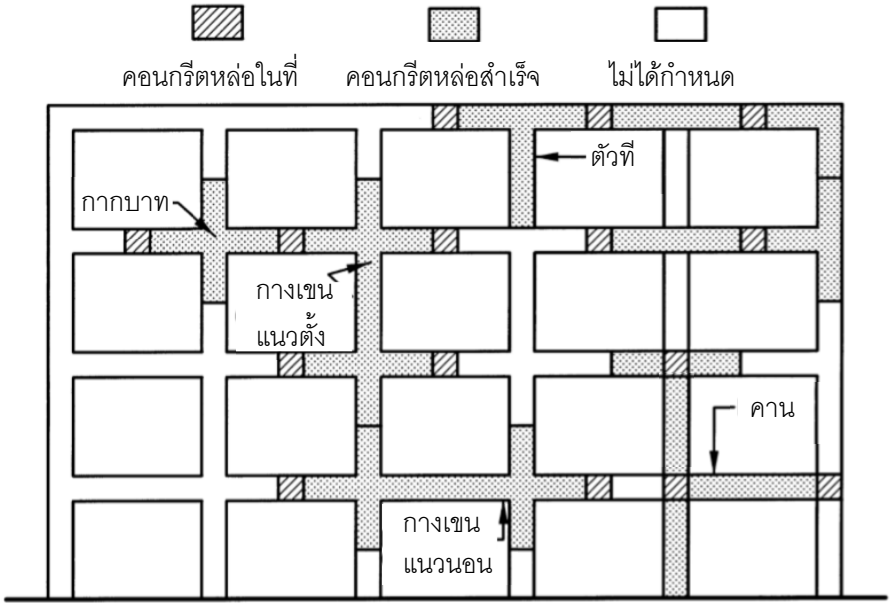
รูปที่ ก.3 เป็นการแสดงการเชื่อมต่อของโครงข้อแข็ง ซึ่งมีหลายรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ รูปกางเขนแนวตั้ง รูปกางเขนแนวนอน รูปกากบาท หรือเป็นชิ้นส่วนเดี่ยวคาน หรือเสา โดยจุดต่อเหล่านี้จะถูกทำต่อเหล็กเสริมด้วยการทาบ การต่อด้วยข้อต่อแบบเชิงกล หรือการต่อด้วยการเชื่อม จากนั้นทำการหล่อคอนกรีตในที่ปิดทับรอยต่อ



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างชิ้นส่วนคานและเสารูปตัว H หรือ รูปกางเขน (Cruciform) [90]

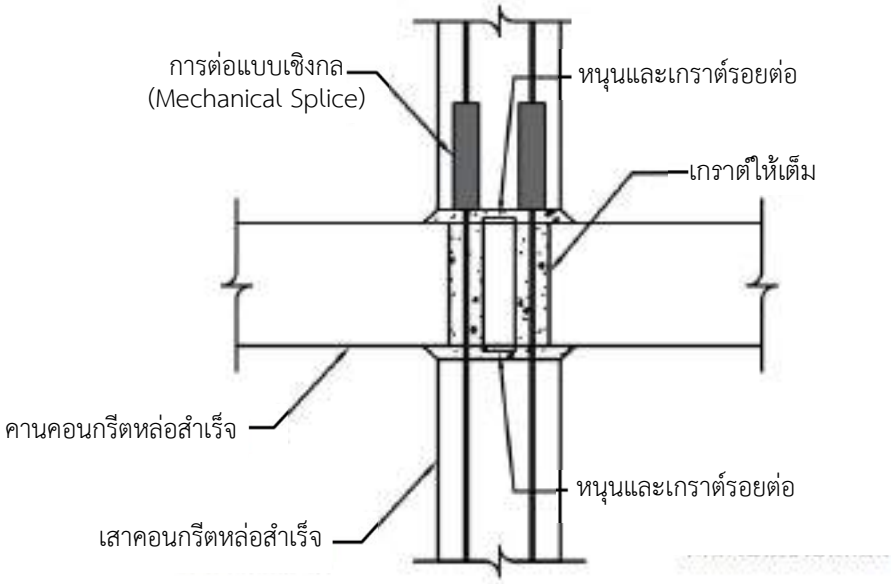


รูปที่ ก.2 จุดเชื่อมต่อในแนวราบของชิ้นส่วนคานในบริเวณตำแหน่งที่ไม่ใช่ริมหน้าเสา [90]

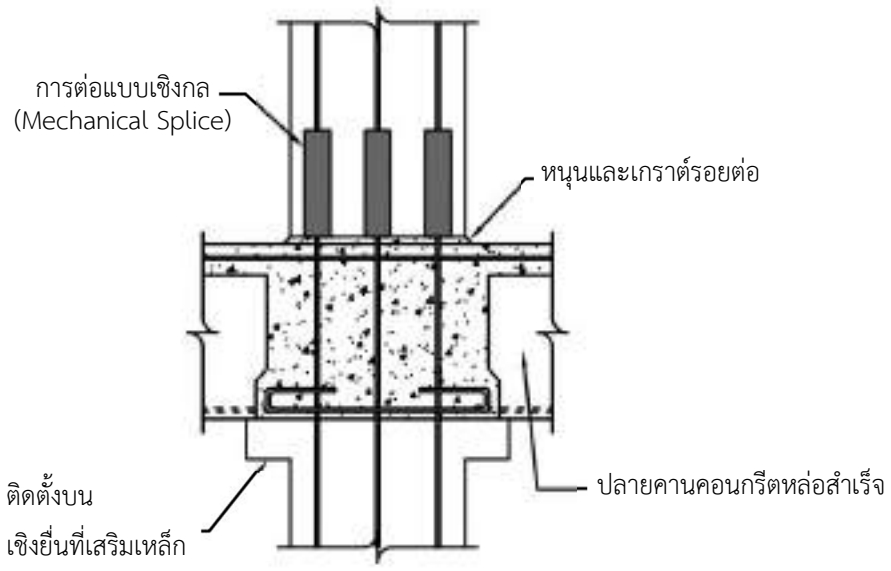


รูปที่ ก.3 การกำหนดจุดเชื่อมต่อของระบบโครงชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จออกเป็นชิ้นส่วนย่อย [90]

ระบบโครงข้อแข็งมักจะมีการแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนคาน และเสาเดี่ยว เพื่อให้ง่ายต่อการผลิต การติดตั้ง และการขนส่ง จุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนเดี่ยวดังกล่าวอาจต้องรับแรงในระดับสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีสมบัติตรงตามเกณฑ์กำหนดที่ว่า กำลังของเสาที่รอยต่อต้องสูงกว่าความสามารถในการรับแรงของคานตามสัดส่วนที่กำหนด โมเมนต์ดัดมักจะถูกส่งถ่ายผ่านทางจุดเชื่อมต่อดังกล่าว โดยแรงควบคู่ที่เกิดจากกำลังอัดในเกราต์หรือคอนกรีตหล่อในบริเวณที่รับแรงอัด ส่วนแรงดึงจะเกิดขึ้นในเหล็กเสริมที่ทำการต่อเข้าด้วยกัน รูปที่ ก.4 และ ก.5 เป็นการแสดงประเภทของรอยต่อคานและเสาเสมือนเนื้อเดียวที่มีการจัดทำรายละเอียดให้สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกและการเปลี่ยนรูปเนื่องจากแผ่นดินไหวได้



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อ เสา-เสา โดยทะลุผ่านท่อในคาน [90]

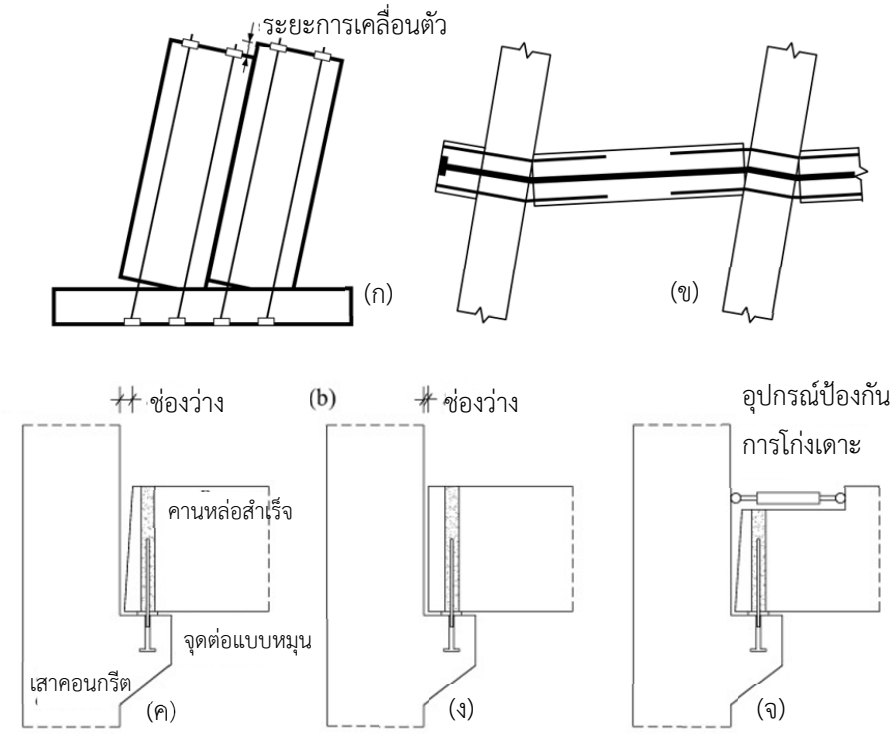


รูปที่ ก.5 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อ เสา-คาน โดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่เพื่อปิดรอยต่อ [90]

ก.2.2 ตัวอย่างรูปแบบจุดต่อโดยทั่วไป – การออกแบบไม่ทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design)

ก.2.2.1 ลักษณะจุดต่อไม่ทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Non-emulative joint)

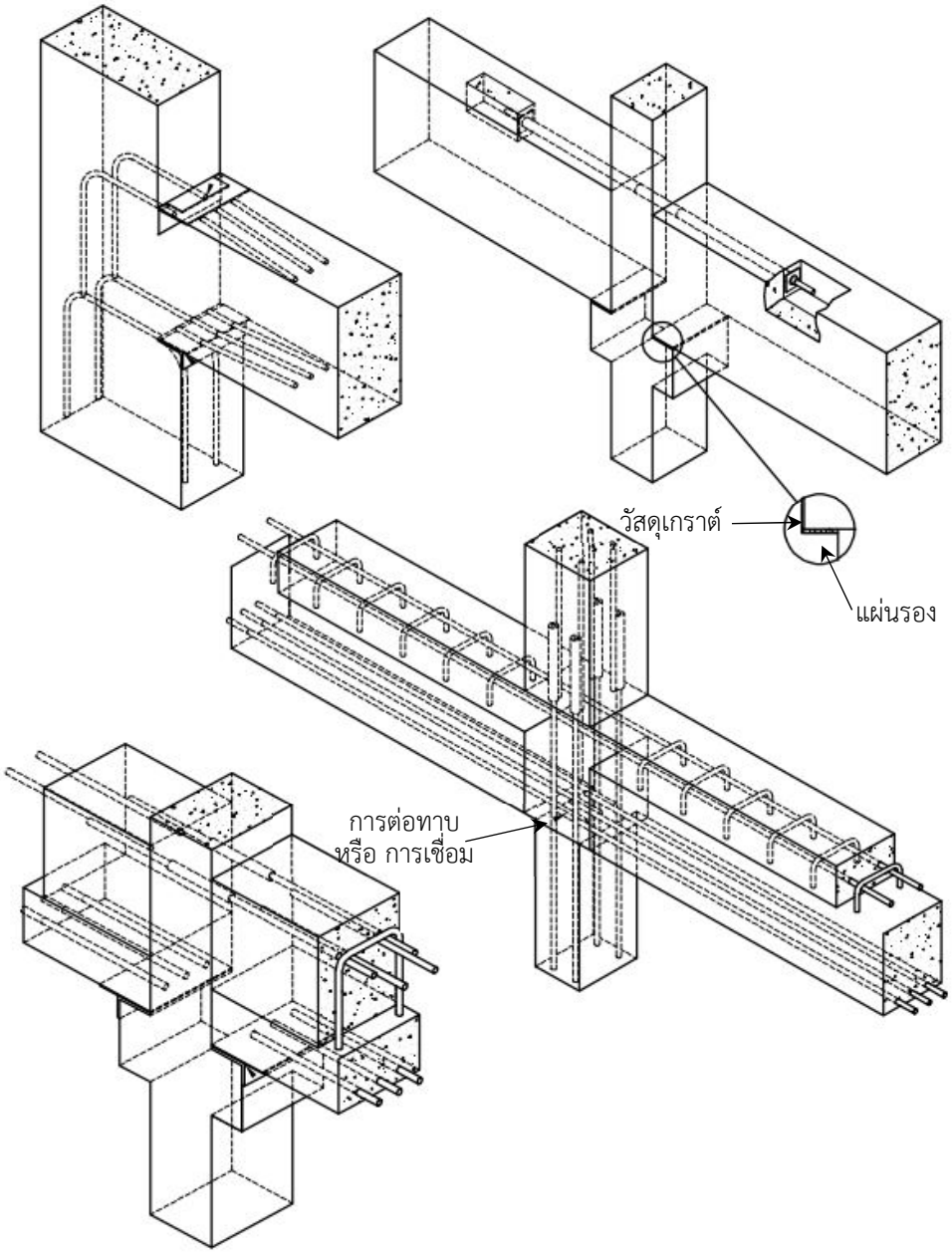
รูปแบบจุดต่อนี้จะมีลักษณะเป็นจุดหมุน (Pin) ที่ส่งถ่ายแรงผ่านแผ่นรับแรงกด (Bearing pad) หรือ เป็นจุดต่อที่อาจออกแบบให้สามารถรับโมเมนต์ได้ด้วยตามที่ต้องการ นอกจากนี้จุดต่อนี้อาจมีการใช้เทคนิคการเสริมแรงหรือ การสลายแรงที่กระทำกับชิ้นส่วน เช่น การอัดแรงทีหลัง (Post-tensioning) หรือ การใช้อุปกรณ์สลายพลังงานแบบต่างๆ (Energy dissipation device) จุดต่อแบบนี้จำเป็นต้องมีการออกแบบขึ้นมาเป็นพิเศษ และจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันพฤติกรรมและกำลังของจุดต่อว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ตัวอย่างของจุดต่อได้แสดงไว้ในรูปที่ ก.6 โดยรูปที่ ก.6 (ก) เป็นการเชื่อมต่อเสาสำเร็จกับฐานรากด้วยการอัดแรงทีหลัง รูปที่ ก.6 (ข) เป็นจุดต่อระหว่างคานสำเร็จกับเสาโดยการเชื่อมต่อร่วมกันของการต่อเหล็กเสริมเพื่อรับโมเมนต์ และการใช้การอัดแรงทีหลัง รูปที่ ก.6 (ค) และ (ง) เป็นจุดต่อระหวางคานกับเสา โดยคานที่วางอยู่บนเชิงยื่นของเสาโดยจุดต่อมีลักษณะเป็นจุดหมุน (Pin) และส่งถ่ายแรงผ่านแผ่นรับแรงกด (Bearing pad) นอกจากนี้จุดต่อได้มีการฝังเดือยเหล็กเพื่อไม่ให้คานหลุดออกจากเชิงยื่น รูปที่ ก.6 (จ) เป็นจุดต่อระหว่างคานกับเสาเหมือนในรูปที่ ก.6 (ค) และ (ง) แต่มีการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษที่บริเวณผิวด้านบนคานกับเสาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างของคาน



รูปที่ ก.6 ตัวอย่างจุดต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ออกแบบไม่เสมือนเนื้อเดียวกัน

ก.2.2.2 จุดเชื่อมต่อที่ส่งถ่ายโมเมนต์ (Moment Connections)

เสถียรภาพด้านข้างของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป หรือคอนกรีตอัดแรงจะได้รับอย่างสมบูณ์ผ่านการตอบสนองของโครงข้อแข็ง หรือการตอบสนองรวมกันของผนังเฉือนและโครงข้อแข็ง ดังนั้นจุดเชื่อมต่อจะต้องถูกพัฒนาในส่วนของการตอบสนอง และต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถรับโมเมนต์ที่เหมาะสมและมีความสามารถในการส่งถ่ายแรงเฉือน แรงดึง สำหรับการต้านทานโมเมนต์ที่จุดเชื่อมต่อสามารถได้รับโดยการฝังวัสดุในที่หลายประเภท เช่น พุกที่มีหัว (headed studs) พุกที่มีผิวขรุขระ (deformed bar anchors) การฝังเหล่านี้จะต้องได้ทำการยึดอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการวิบัติของคอนกรีต ดังนั้นจึงต้องแน่ใจว่าการวิบัติเป็นแบบเหนียว การอัดแรงทีหลังยังสามารถถูกใช้เพื่อพัฒนาการต้านทานโมเมนต์ที่รอยต่อระหว่างองค์อาคารที่ต่อกัน ในกรณีที่ต้องการความต้านทานโมเมนต์และความเหนียวในระดับสูงมักใช้การก่อสร้างแบบผสมเพื่อให้ได้จุดเชื่อมต่อของคอนกรีตที่มีพฤติกรรมเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ตัวอย่างบางส่วนของจุดเชื่อมต่อแบบต้านทานโมเมนต์ได้แสดงไว้ในรูปที่ ก.7

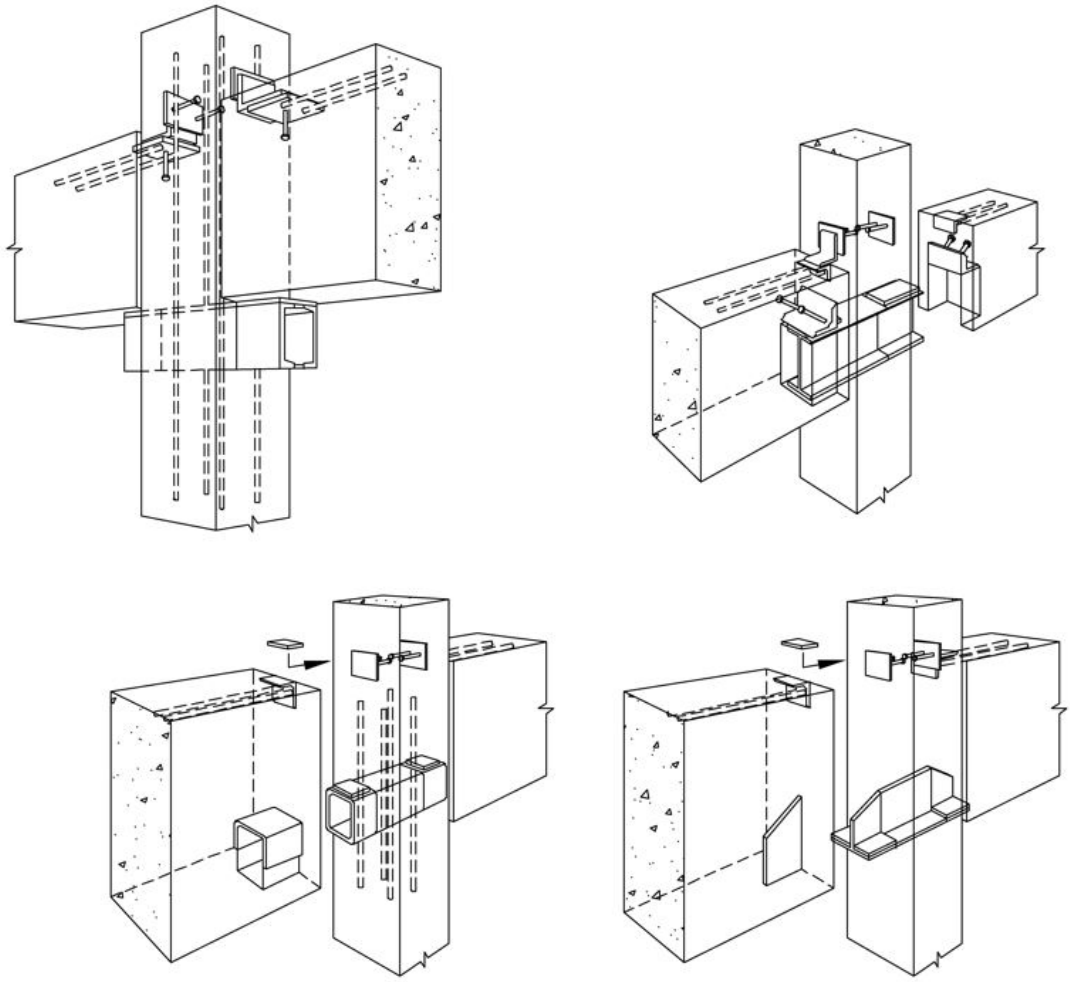


รูปที่ ก.7 จุดเชื่อมต่อต้านทานโมเมนต์ [56]

การออกแบบจุดเชื่อมต่อเพื่อต้านทานหรือส่งถ่ายโมเมนต์แบบไม่ให้มีการเสียรูปได้เลยหรือแบบแข็ง (Rigid) โดยปกติแล้วมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบที่ยอมให้มีการเสียรูปหรือเกิดการหมุนของจุดเชื่อมต่อได้บ้าง จุดเชื่อมต่อที่แข็ง (Rigid) จนไม่ยอมให้มีการเสียรูปได้เลย เมื่อมีการยึดรั้งในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อาจทำให้มีแรงที่ไม่พึงประสงค์เกิดขึ้นที่จุดเชื่อมต่อและบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นควรออกแบบจุดเชื่อมต่อให้เป็นแบบที่ยอมให้มีการเสียรูปได้ โดยมีกำลังเพียงพอในการต้านทานและส่งถ่ายโมเมนต์ในบริเวณดังกล่าว และมีความเหนียวเพียงพอกับการเสียรูปที่ต้องการ

ก.2.2.3 เชิงยื่นเหล็ก

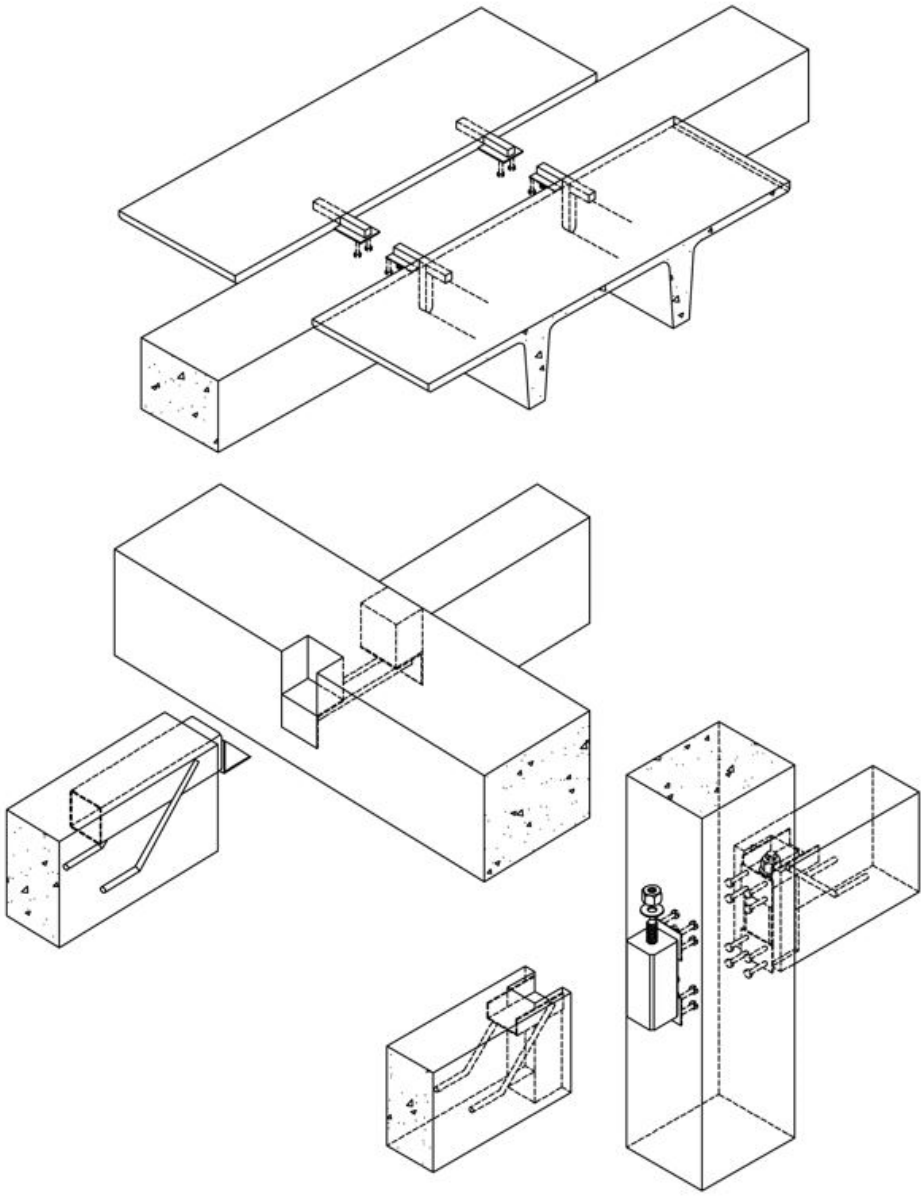
รูปทรงของโครงเหล็ก เช่น คานปีกกว้าง (Wide Flange) ตัวซีคู่ (Double Channels) ท่อ (Tubes) หรือ แผ่นแนวตั้ง (Vertical Plates) มักถูกใช้เป็นตัวยึด หรือเดือย บริเวณจุดต่อระหว่างคานกับเสา ดังแสดงในรูปที่ ก.8 กำลังคอนกรีตบริเวณจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนเหล่านี้สามารถคำนวณได้โดยการสมดุลของแรงทางสถิตยศาสตร์ และกลศาสตร์ของวัสดุ



รูปที่ ก.8 ตัวอย่างรูปแบบเชิงยื่นเหล็ก [56]

ก.2.2.4 จุดเชื่อมต่อแบบแขวน

ตัวแขวนมีลักษณะคล้ายกับปลายยื่น เมื่อการออกแบบต้องการให้ความลึกของโครงสร้างตื้นมาก ส่วนที่ยื่นออกมาหรือปลายที่รับแรงกดจะเป็นเหล็กแทนที่จะเป็นคอนกรีต ดังตัวอย่างจุดเชื่อมต่อระหว่างพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จกับคาน และระหว่างคานคอนกรีตหล่อสำเร็จกับเสา ดังแสดงในรูปที่ ก.9 โดยทั่วไปจุดเชื่อมต่อเหล่านี้จะมีแผ่นรับแรงกด (Bearing) ที่มีขนาดสั้น และอาจมีความอ่อนไหวต่อค่าความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง และการเคลื่อนที่จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต ดังนั้น ความแม่นยำในขนาดและการติดตั้งจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก

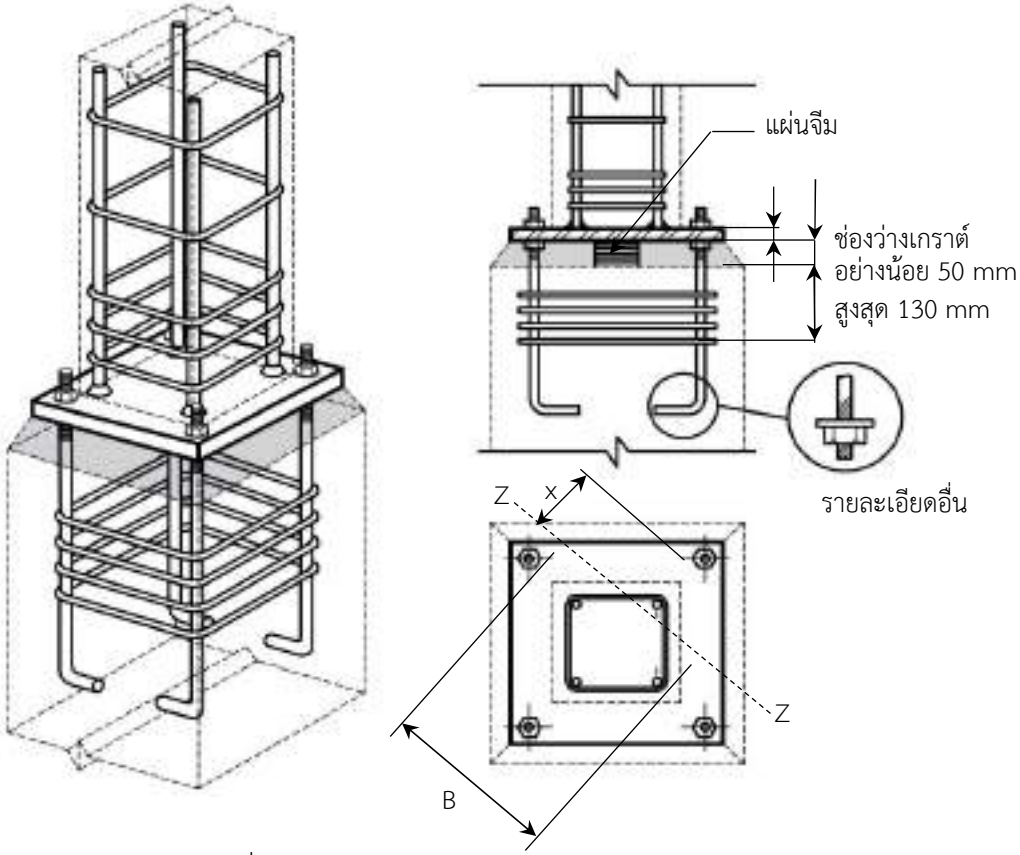


รูปที่ ก.9 ตัวอย่างรูปแบบตัวแขวนเหล็ก [56]

ก.2.2.5 แผ่นเหล็กฐาน (Base Plates)

ฐานของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องได้รับการออกแบบสำหรับทั้งการติดตั้งและการรับน้ำหนักใช้งานที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะขณะติดตั้งมักจะมีความสำคัญมากกว่า รายละเอียดของแผ่นเหล็กฐานที่นิยมใช้กันทั่วไปในจุดต่อระหว่างเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จกับฐานคอนกรีต หรือระหว่างเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จกับเสาคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ ก.10

ในการวิเคราะห์สำหรับน้ำหนักจากการยก หรือน้ำหนักชั่วคราวขณะก่อสร้าง ก่อนที่จะทำการเกราต์ใต้แผ่นเหล็กฐาน สลักเกลียวยึดทั้งหมดอาจจะอยู่ภายใต้แรงอัด หรือ หากมีแรงกดและโมเมนต์ร่วมกัน สลักเกลียวด้านหนึ่งจะอยู่ภายใต้แรงอัด ส่วนอีกด้านหนึ่งจะรับแรงถอน ดังนั้น ความหนาของแผ่นเหล็กฐานที่ต้องการจะหาจากแนวการดัดวิกฤติของแผ่นเหล็กตามเส้น Z-Z



รูปที่ ก.10 ตัวอย่างรูปแบบจุดเชื่อมต่อเสากับฐานคอนกรีตด้วยแผ่นเหล็กฐานและสลักเกลียวยึด [56]

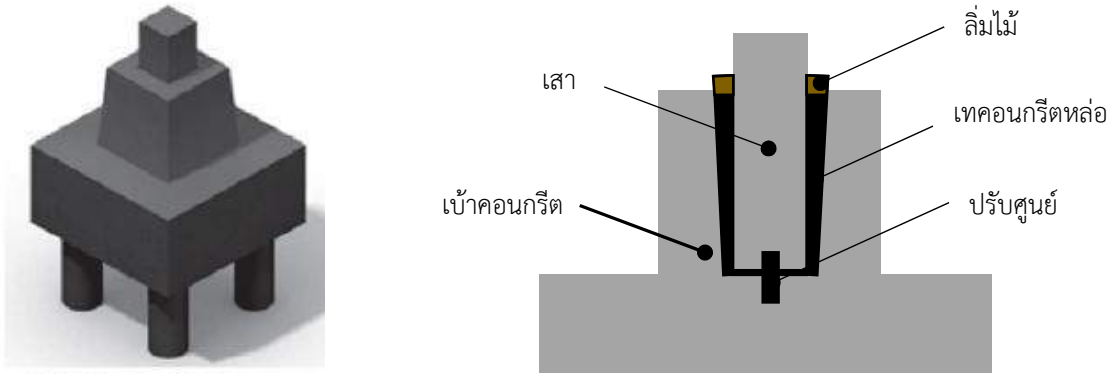
ก.2.2.6 จุดเชื่อมต่อระหว่างฐานรากกับเสาแบบเบ้าคอนกรีต (Column-Foundation Socket Connection)

(1) ข้อควรพิจารณาในการใช้ และลักษณะทั่วไปของจุดเชื่อมต่อ

จุดเชื่อมต่อระหว่างฐานรากกับเสาแบบเบ้าคอนกรีตได้เริ่มเป็นที่นิยมใช้อาคารจอดรถยนต์ที่มีความสูงอาคารไม่มาก และอาคารพาณิชย์ หรืออาคารโรงงานที่มีช่วงความยาวของเสาไม่มาก เนื่องจากอาคารเหล่านี้มีอัตราส่วนระหว่างความสูงกับความกว้างน้อยสุดของอาคารที่ไม่สูงมาก ดังนั้น น้ำหนักของโครงสร้างอาคารจะมีมาก ส่งผลให้ฐานรากที่รองรับเสาของอาคารจะไม่เกิดแรงถอน หรือแรงดึงที่เกิดจากแรงที่กระทำในแนวนอน ได้แก่ แรงลม หรือแรงแผ่นดินไหว

จุดเชื่อมต่อแบบเบ้าระหว่างเสากับฐานราก (Column-foundation Socket Connection) ประกอบด้วย ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่สำคัญ 2 ชิ้นส่วนได้แก่ เบ้าคอนกรีต (Concrete Socket) และส่วนของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Column) ที่ฝังอยู่ในเบ้าคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ ก.11 จุดต่อแบบนี้จะมีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงจุดต่อของคอนกรีตแบบหล่อในที่ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการส่งถ่ายแรง เช่น ระยะฝังของเสาในเบ้าคอนกรีต ขนาดของเบ้าคอนกรีต กำลังอัดของคอนกรีตที่เทลงในช่องว่างระหว่างเบ้าคอนกรีตกับของเสาคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น

เบ้าคอนกรีตมีทั้งแบบที่เบ้าทั้งหมดอยู่ในฐานราก แบบที่เบ้าบางส่วนอยู่ในฐานราก และแบบที่เบ้าทั้งหมดอยู่เหนือฐานราก (ดูรูปที่ ก.11) การเตรียมเบ้าคอนกรีตอาจทำโดยการหล่อในที่ไปพร้อม ๆ กับฐานราก หรืออาจเป็นการนำชิ้นส่วนเบ้าคอนกรีตสำเร็จรูปมาติดตั้งบนฐานรากก็ได้



รูปที่ ก.11 จุดต่อระหว่างเสากับฐานรากแบบเบ้าคอนกรีต [86]

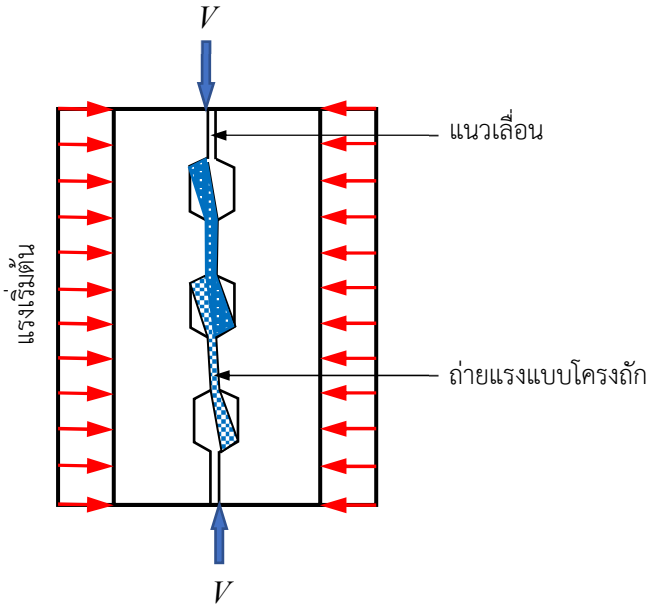
(2) ข้อควรพิจารณาในการติดตั้ง

การติดตั้งเสาคอนกรีตสำเร็จรูปลงในเบ้าคอนกรีตจะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมให้อยู่ในศูนย์กลาง (Centralization Device) ซึ่งมีลักษณะเป็นเดือยโดยเป็นตัวช่วยควบคุมให้การติดตั้งของเสาไม่เกิดการเยื้องศูนย์ จากนั้นใช้ลิ่มไม้สอดลงไปในช่องว่างระหว่างเบ้าคอนกรีต (Concrete Socket) กับเสาคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อปรับให้เสาวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง เมื่อเสาอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการแล้ว จึงทำการเทคอนกรีตลงในช่องว่าง โดยคอนกรีตที่ใช้เทจะต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่าทั้งคอนกรีตฐานรากและคอนกรีตเสาที่อายุเท่ากัน

ในระหว่างการติดตั้ง ให้ติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันชั่วคราวเพื่อป้องกันการล้มของเสาระหว่างติดตั้ง โดยให้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันชั่วคราวจนกว่าโครงสร้างจะมีสเถียรภาพ หรือคอนกรีตที่เทลงในช่องว่างได้แข็งตัวแล้ว จึงสามารถทำการรื้อถอนอุปกรณ์ค้ำยันชั่วคราวได้

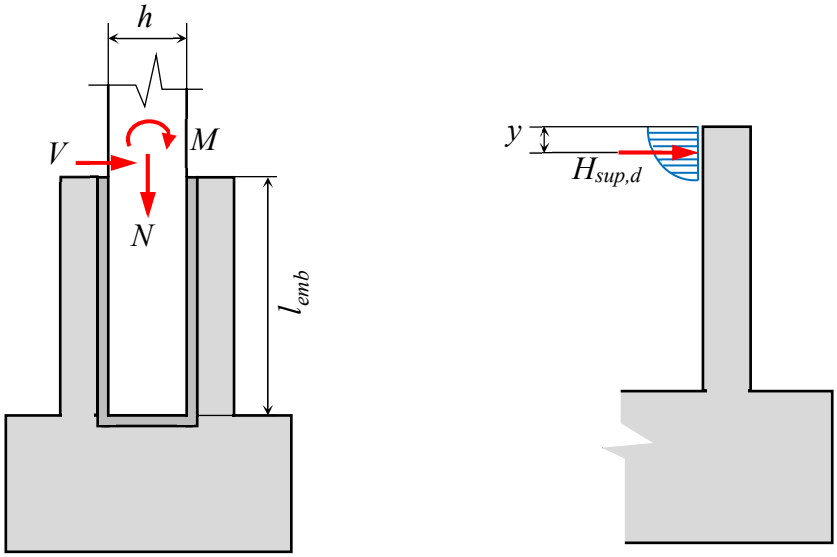
(3) ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

จุดต่อระหว่างเสากับฐานรากแบบเบ้าคอนกรีต มีทั้งแบบที่ผิวผนังด้านในมีผิวเรียบ (Smooth Interface) และผิวมีรอยหยัก (Rough Interface) รอยหยักบนผิวผนังที่เกิดขึ้นก่อให้สลักแรงเฉือน (Shear Key) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งถ่ายแรงระหว่างเสาคอนกรีตสำเร็จรูปกับเบ้าคอนกรีตในรูปแบบของค้ำยันรับแรงอัด (Strut) ดังแสดงในรูปที่ ก.12 ซึ่งลักษณะที่แตกต่างกันของผิวผนังทั้งสองแบบส่งผลให้มีแรงเสียดทาน (Friction) ที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ในการออกแบบจึงต้องคำนวณแรงเสียดทาน (Friction) แตกต่างกัน



รูปที่ ก.12 การส่งถ่ายแรงระหว่างเสาคอนกรีตสำเร็จรูปกับเบ้าคอนกรีตที่มีรอยหยักบนผิวผนัง [85]

จุดต่อระหว่างเสากับฐานรากแบบเบ้าคอนกรีตต้องได้รับการออกแบบให้มีมิติ เช่น ระยะฝังของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ (l_{emb}) และความหนาที่สามารถรับแรงตามแนวแกน (N) แรงเฉือน (V) และโมเมนต์ดัด (M) ที่ถ่ายมาจากเสาคอนกรีตสำเร็จรูปได้ ดังแสดงในรูปที่ ก.13 (ก) แรงเฉือน (V) และโมเมนต์ดัด (M) จากเสาจะถูกถ่ายไปที่บริเวณด้านบนของผนังด้านซ้ายของเบ้าคอนกรีต (Concrete Socket) โดยมีการกระจายของแรงกระทำบนผนัง ($H_{sup,d}$) พร้อมตำแหน่งที่แรงกระทำดังแสดงในรูปที่ ก.13 (ข) ส่วนผนังด้านขวาจะเกิดการกระจายของแรงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมากระทำเช่นเดียวกันกับผนังด้านซ้าย แต่ตำแหน่งของแรงกระทำจะอยู่ที่ด้านล่างของผนังแทน



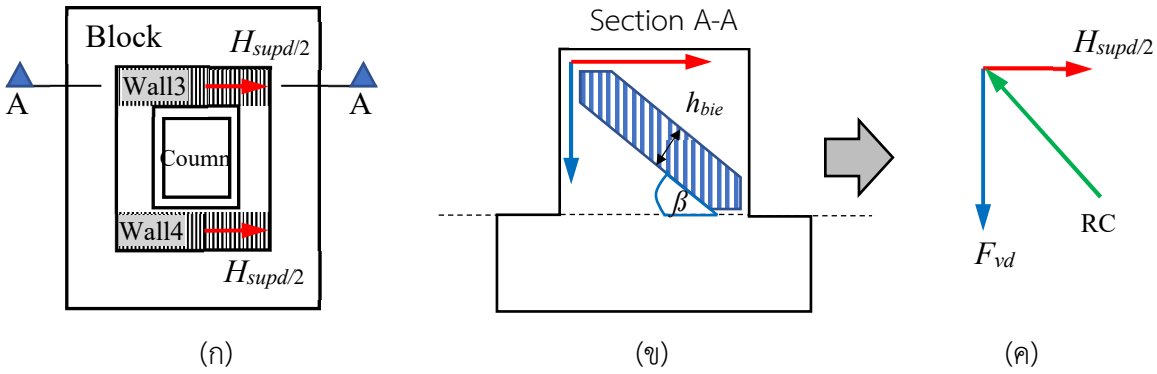
(ก) แรงภายในของเสา (ข) แรงจากเสาที่กระทำด้านบนของเบ้าคอนกรีต

รูปที่ ก.13 แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัดที่ถ่ายมาจากเสา [86]

เนื่องจากผนังในทิศทางที่ขนานกับแรงกระทำ ($H_{sup,d}$) มีโมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) สูงกว่าผนังในทิศทางที่ตั้งฉากกับแรงกระทำ ดังนั้นทางเลือกหนึ่งในการออกแบบ ผู้ออกแบบจึงสามารถเลือกพิจารณาการออกแบบได้ ดังนี้

(ก) ให้ผนังในทิศทางที่ขนานกับแรงกระทำรับแรงทั้งหมดไปดังแสดงในรูปที่ ก.14 (ก)

(ข) ลักษณะของการกระจายของแรงภายในของผนังในทิศทางนี้มีลักษณะเป็นโมเดลแบบโครงถัก (Truss Model) ดังแสดงในรูปที่ ก.14 (ข) และ (ค)



(ก) (ข) (ค)

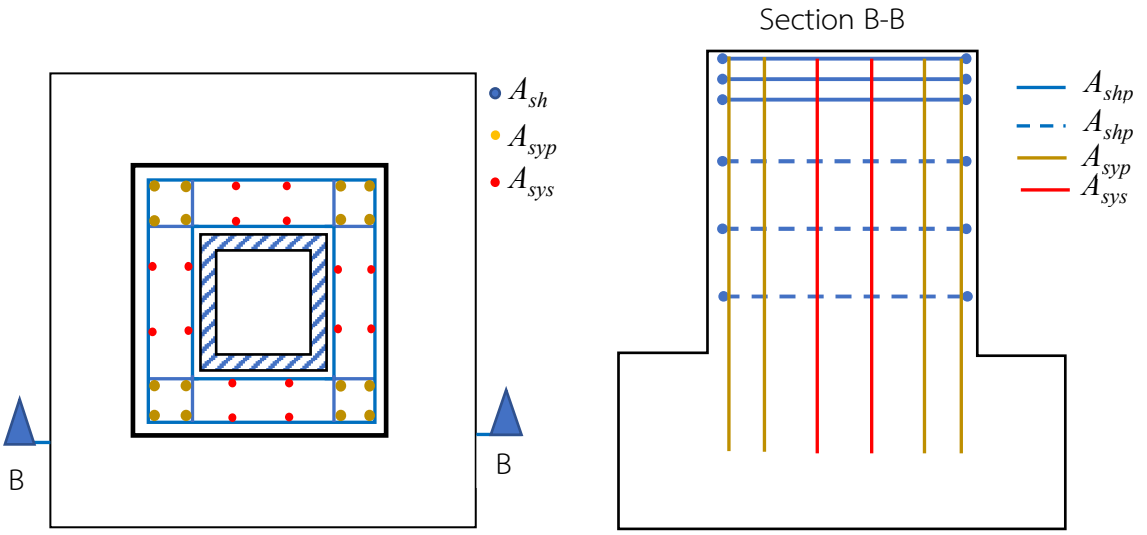
รูปที่ ก.14 แรงจากเสาที่กระทำกับผนังของเบ้าคอนกรีตในทิศทางที่ขนานกับแรงกระทำ [86]

จุดต่อระหว่างฐานรากกับเสาแบบเบ้าคอนกรีตต้องมีการตรวจสอบการเฉือนทะลุของเบ้าคอนกรีตเนื่องจากแรงที่ถ่ายมาจากเสา

ตัวอย่างการเสริมเหล็กในทิศทางต่าง ๆ ในผนังของเบ้าคอนกรีตที่วางบนฐานได้แสดงไว้ในรูปที่ ก.15 โดยปริมาณของเหล็กเสริมทางแนวราบ และเหล็กเสริมทางแนวดิ่งจะขึ้นกับมิติของเบ้าคอนกรีต ดังนี้

(ก) การเพิ่มระยะฝังของเสาในเบ้าคอนกรีตมากขึ้น ทำให้ปริมาณของเหล็กเสริมในแนวราบลดลง แต่ส่งผลทำให้ปริมาณของเหล็กเสริมในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น

(ข) ในการออกแบบเบ้าคอนกรีตควรศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนมิติของเบ้าคอนกรีต และระยะฝังของเสาในเบ้าคอนกรีตไปพร้อม ๆ กัน เพื่อให้ได้เบ้าคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (optimal design)



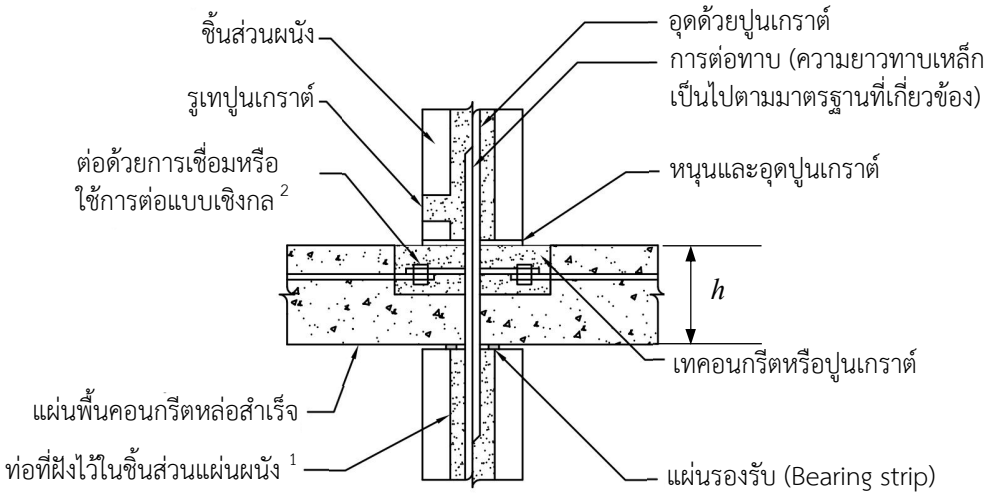
รูปที่ ก.15 ลักษณะของการเสริมเหล็กในผนังของเบ้าคอนกรีต [85]

ก.3 จุดเชื่อมต่อในระบบผนังรับน้ำหนัก – การออกแบบทำเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative design)

จุดเชื่อมต่อวิกฤตในระบบผนังมักจะเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จกับระบบฐานรากหล่อในที่ เนื่องจากตำแหน่งนี้จะมีแรงเฉือนและโมเมนต์สูงสุดจากน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง ในกรณีของอาคารสูง จุดเชื่อมต่ออื่น ๆ ระหว่างแผ่นผนังแต่ละชิ้นเองอาจมีความสำคัญเช่นเดียวกัน

ก.3.1 การต่อเหล็กเสริมทางแนวดิ่ง

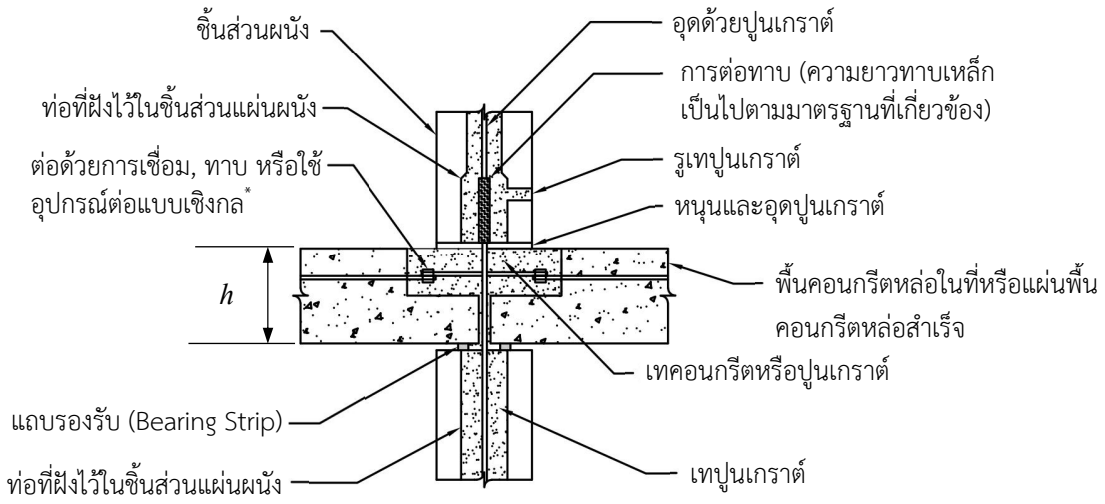
รอยต่อแนวนอนของจุดต่อระหว่างแผ่นผนังแต่ละชิ้นมักจะเป็นการใช้เกราต์กับการต่อเหล็กเสริมแนวดิ่งร่วมกัน โดยเกราต์ทำหน้าที่สร้างความต่อเนื่องให้กับแรงอัดที่รอยต่อ และเหล็กเสริมทำหน้าที่สร้างความต่อเนื่องให้กับแรงดึง รูปที่ ก.16 และ ก17 แสดงรอยต่อ โดยเหล็กเสริมแนวดิ่งมีการต่อด้วยการทาบภายในโพรงหรือโดยการต่อด้วยข้อต่อเกลียว การยกตั้งชิ้นส่วนอย่างรวดเร็วที่หน้างานอนุญาตให้ทำได้หากมีการใช้รอยต่อความแข็งแรงสูง ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ ก.18 โดยเหล็กเสริมแนวดิ่งมีการต่อด้วยปลอกต่อที่ออกแบบมาเป็นพิเศษและเป็นไปตามมาตรฐาน และเทเกราต์ทับ สำหรับฐานผนังและรอยต่ออื่น ๆ ที่อาจเกิดการคร่ากของเหล็กเสริม ควรใช้การต่อด้วยข้อต่อทางกลประเภท 2



รูปที่ ก.16 การต่อเหล็กเสริมในแนวดิ่งด้วยการใช้การต่อแบบเชิงกล [90]

หมายเหตุ [1] เหล็กที่ทาบกันต้องยาวตลอดชิ้นส่วนโครงสร้าง

[2] เหล็กที่ทาบหรือเชื่อมกันต้องอยู่ที่ตำแหน่งไกลกว่าระยะ $2h$ จากผิวผนัง (h = ความหนาพื้น) หรือหากอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กว่าระยะ $2h$ ต้องใช้ การต่อเชิงกลประเภท 2



รูปที่ ก.17 การต่อเหล็กเสริมแนวดิ่งภายในโพรง จากนั้น เทเกราต์ลงในระบบ [90]

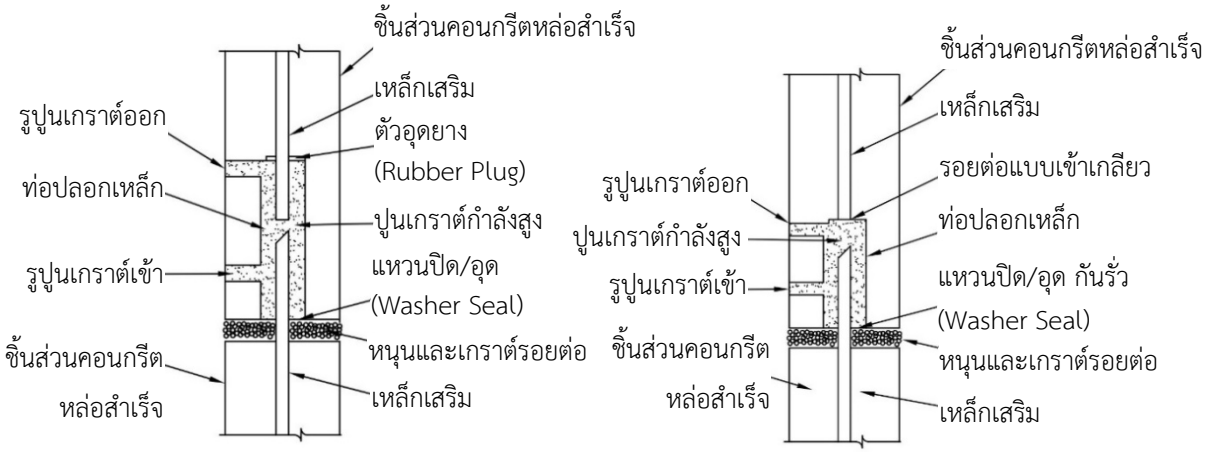
กระบวนการ: (1) ยกตั้งแผ่นผนัง โดยแขวนเอาไว้สูง

(2) ต่อเหล็กเสริมแนวดิ่งภายในแผ่นผนังที่ถูกยกตั้งขึ้นเข้ากับเหล็กเสริมที่ยื่นออกมาจากด้านล่าง

(3) ลดระดับความสูงของแผ่นผนังลงจนอยู่ที่ความสูงที่ถูกต้อง และ

(4) เทเกราต์ลงในโพรงโดยปล่อยให้ไหลลงมาจากด้านบนด้วยแรงโน้มถ่วงหรือโดยใช้ช่องเสริมสำหรับเทเกราต์จากด้านล่างของแผ่นผนัง

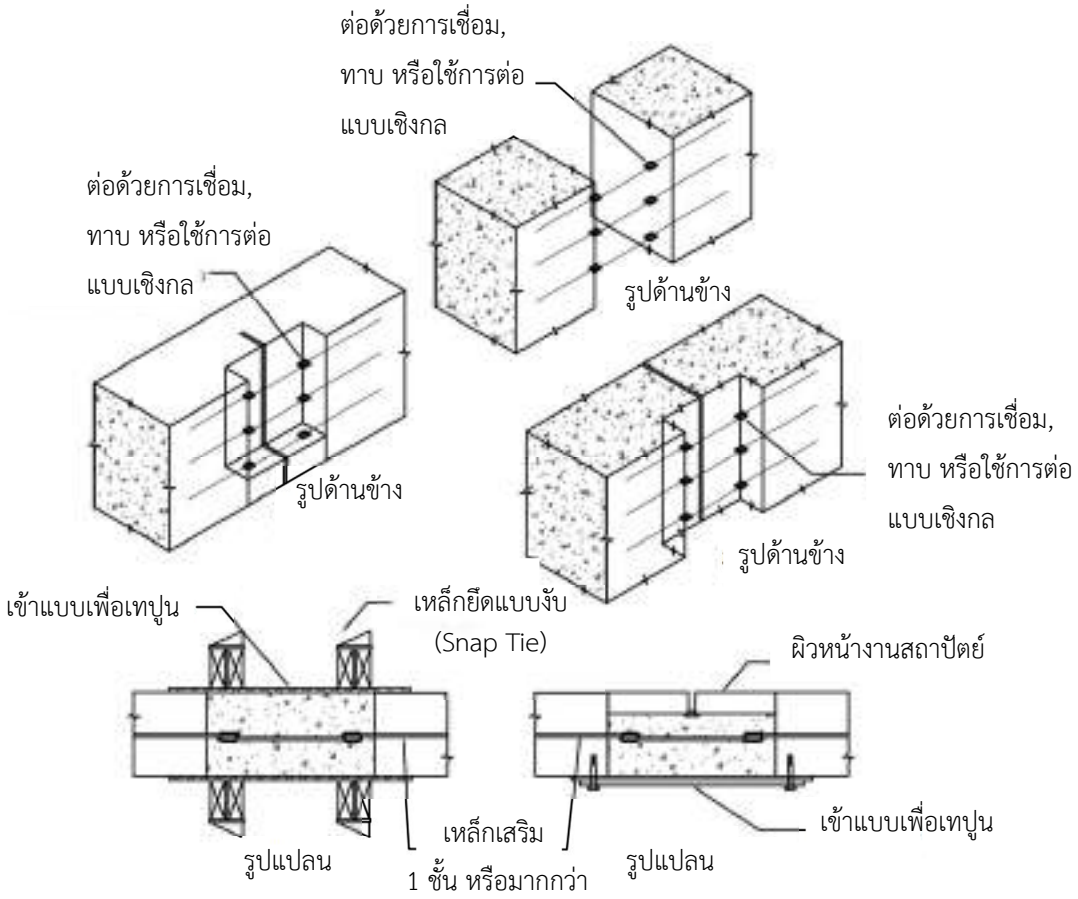
หมายเหตุ * เหล็กที่ทาบกันต้องยาวตลอดชิ้นส่วนโครงสร้าง และ เหล็กที่ทาบหรือเชื่อมกันต้องอยู่ที่ตำแหน่งไกลกว่าระยะ $2h$ จากผิวผนัง (h = ความหนาพื้น) หรือหากอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กว่าระยะ $2h$ ต้องใช้ การต่อเชิงกลประเภท 2



รูปที่ ก.18 ประเภททั่วไปของข้อต่อทางกลที่ใช้เกราต์กำลังสูงชนิดไม่หดตัว [90]

ก.3.2 การต่อเหล็กเสริมทางแนวนอน

จุดต่อแบบเทคอนกรีตหล่อในที่สามารถนำมาใช้กับผนังที่อยู่ข้างเคียงกันในกรณีที่เป็นแผ่นผนังแนวดิ่งทรงสูง ตัวเลือกวิธีต่าง ๆ ในการต่อแนวดิ่งมีแสดงอยู่ในรูปที่ ก.19 โดยเป็นการเทคอนกรีตหล่อในที่ปิดช่องและมีการต่อเหล็กเสริมในแนวนอนด้วยข้อต่อทางกล การทาบเหล็กเสริมสามารถทำได้หากระยะต่อทาบไม่มากไปกว่าขนาดความกว้างของช่องและการต่อทาบนั้นอยู่ภายในบริเวณของชิ้นส่วนที่ข้อบังคับอนุญาต รูปที่ ก.19 (ก) เป็นวิธีการต่อในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดด้านสถาปัตยกรรมเกี่ยวกับลักษณะภายนอก เช่น ภายในปล่องลิฟต์ ซึ่งผนังถูกซ่อนไว้ไม่ให้มองเห็น รูปที่ ก.19 (ข) เป็นวิธีการต่อในกรณีที่สามารถมองเห็นผิวคอนกรีตเปลือย เช่น หอควบคุมการบิน รูปที่ ก.19 (ค) สามารถใช้กับผนังรับแรงเฉือนเจาะช่อง เช่น จุดต่อที่ปลายและหัวของคานรูปกางเขนในกรณีที่ไม่เห็นผิวคอนกรีตดังกล่าว

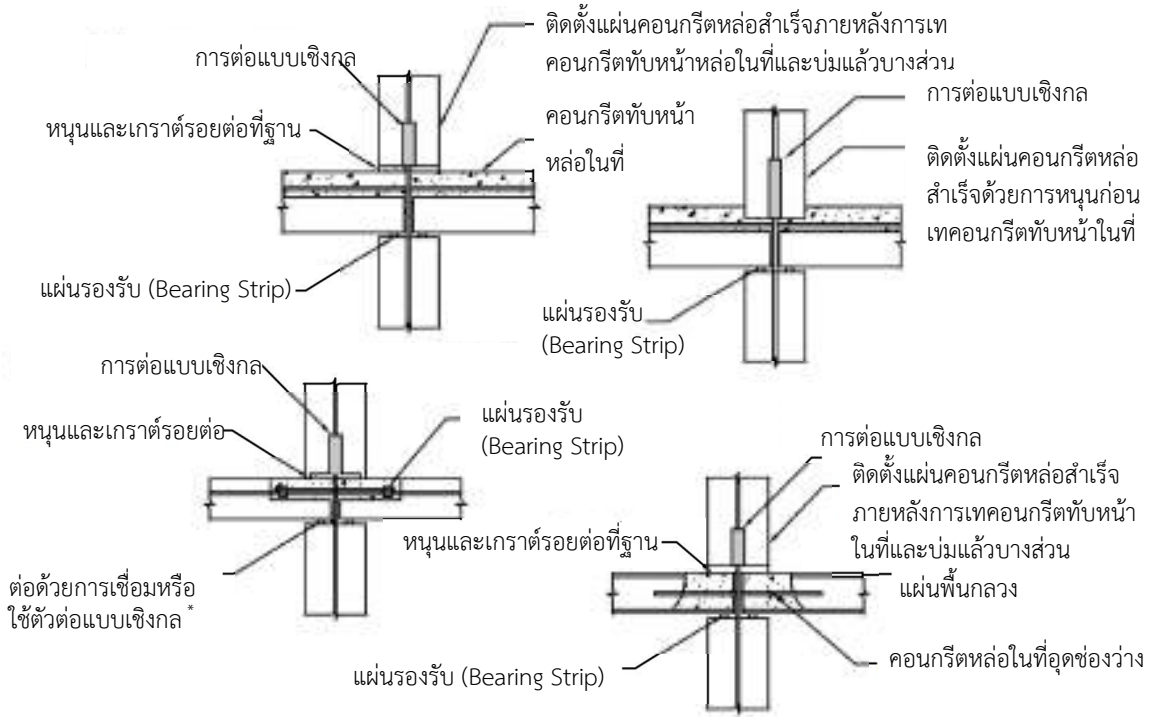


รูปที่ ก.19 การต่อและการปิดรอยต่อแบบหล่อในที่รูปแบบต่าง ๆ เพื่อสร้างรอยต่อแนวดิ่งระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ [90]

ก.3.3 การต่อเหล็กเสริมในพื้นเพื่อให้เกิดไดอะแฟรมพื้นกับผนัง

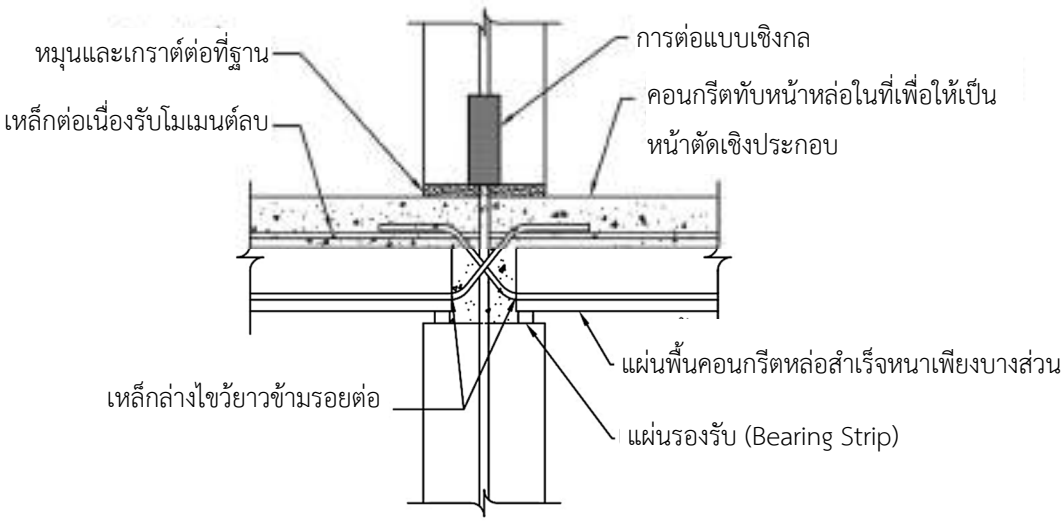
จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมพื้นกับผนังจะมีความสำคัญในกรณีที่ต้องการส่งถ่ายแรงเฉื่อย (Inertia Force) ที่พื้นไปยังระบบผนัง โดยไม่ว่าจะใช้แนวทางการคำนวณออกแบบใดในการกำหนดขนาดและจัดทำรายละเอียดของผนังก็ตาม วิศวกรบางคนยังคงรู้สึกว่า ควรคำนวณออกแบบไดอะแฟรมพื้นและจุดต่อเพื่อให้สามารถรักษาสมบัติอิลาสติกเอาไว้ได้ภายใต้แรงสั่นไหว และแรงแผ่นดินไหว ดังนั้น จึงต้องการใช้จุดต่อระหว่างผนังกับพื้นที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับระบบผนัง ตัวอย่างรายละเอียดของจุดต่อดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ ก.20 ถึง ก.22

เทคนิคการไขว้เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกที่แสดงในรูปที่ ก.21 เป็นการสร้างความต่อเนื่องของเหล็กเสริมโครงสร้างในไดอะแฟรมข้ามผนัง โดยทำหน้าที่เป็นเหล็กเสริมหลักที่ทำหน้าที่รับแรงเฉือน โดยในระหว่างการก่อสร้าง จะมีการค้ำยันแผ่นพื้นเอาไว้ ณ จุดที่ชนกับผนัง ดังนั้น หากแผ่นพื้นไม่ได้ถูกผลิตมาให้ยาวพอที่จะวางบนผนังเนื่องจากความผิดพลาด การเทคอนกรีตหล่อในที่ลงในช่องรอยต่อสามารถที่จะช่วยแก้จุดบกพร่องนี้ได้

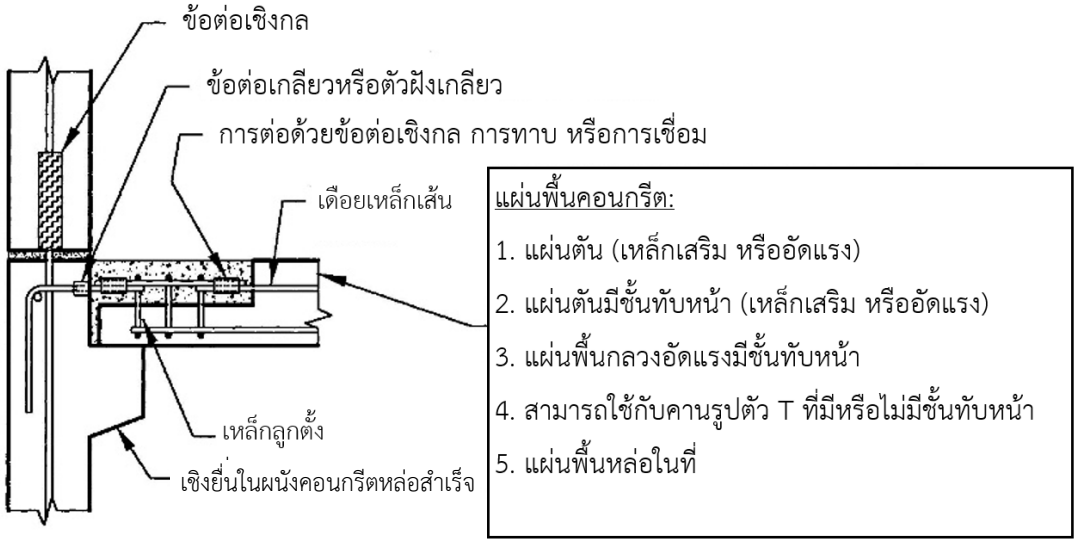


รูปที่ ก.20 ข้อต่อทางกลรูปแบบต่าง ๆ สำหรับการต่อเชื่อมผนังและพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปแบบต่าง ๆ [90]

หมายเหตุ *การต่อด้วยการเชื่อมและการทาบจะต้องอยู่ที่ระยะมากกว่า $2h$ (โดย h คือความหนาของพื้น) จากผิวหน้าของผนัง การต่อด้วยข้อต่อเชิงกลจะต้องเป็นประเภท 2 หากอยู่ที่ระยะน้อยกว่า $2h$ จากผิวหน้าของผนัง



รูปที่ ก.21 รายละเอียดระหว่างแผ่นพื้นกับผนัง โดยมีเหล็กเสริมยื่นข้ามรอยต่อผนังไปยังพื้นด้านตรงข้าม [90]



รูปที่ ก.22 รายละเอียดที่ส่วนปลายของจุดเชื่อมต่อเนื้อเดียวกันระหว่างพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ [90]

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและจุดเชื่อมต่อ

ตัวอย่างข้อที่ ข.1 เรื่องการคำนวณผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (จากเนื้อหาข้อที่ 7.3.4 ของส่วนที่ 7) กำหนดให้โครงข้อแข็งเสาคานชุดหนึ่งตามรูปด้านล่าง อยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิ 20°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 55% โดยเป็นคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จช่วงยาว 7.3 m (มีค่าการอัดแรงโดยหักค่าการสูญเสียแรงดึงช่วงต้นแล้วเหลือประมาณ 4.6 MPa) และเสามีขนาด 0.4x0.4 m สูง 3.65 m, ค่า E_c = 2.96x10^4 MPa และ f_c' ของเสาเท่ากับ 34.5 MPa

ได้ทำการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคานโดยพบว่ามีค่าดังต่อไปนี้*

- ณ เวลา หลังจากผลิตคานแล้วเป็นเวลา 60 วัน จึงทำการติดตั้งคาน พบว่า

  ความเครียดจากการคืบ (Creep strain) จากการอัดแรงเท่ากับ 87 με

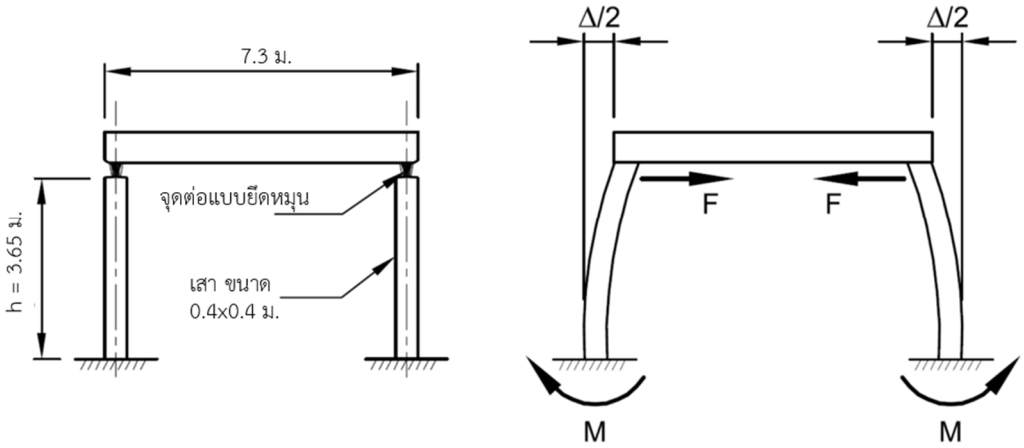
  ความเครียดจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage strain) เท่ากับ 140 με

- เมื่อติดตั้งคานแล้วเสร็จ จนถึงตลอดอายุการใช้งาน ประมาณค่าความเครียด ดังนี้

  ความเครียดจากการคืบ (Creep strain) เท่ากับ 268 με

  ความเครียดจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage strain) เท่ากับ 454 με

  ความเครียดจากผลของอุณหภูมิเท่ากับ 210 με



* อ้างอิงมาจาก PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition [x]

จงคำนวณหา

(ก) ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและการหดตัวของชิ้นส่วนคาน

(ข) แรงในแนวราบที่กระทำต่อหัวเสาส่วนบนสุดและโมเมนต์ดัดที่ฐานเสาอันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

วิธีคำนวณ

(ก) การคำนวณหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

ก-1. การคำนวณจากค่าความเครียดที่ตรวจวัดและประมาณการ

ผลรวมค่าความเครียดที่ระยะเวลา 60 วันหลังจากผลิตคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ

= 87+140 = 227 $\mu\varepsilon$

ผลรวมค่าความเครียดระยะยาวตลอดอายุการใช้งาน = 268+454+210 = 932 $\mu\varepsilon$

ค่าความเครียดรวมทั้งหมดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายหลังการติดตั้งที่จะมีผลต่อการยึดรั้งคือ

= 932-227 = 705 $\mu\varepsilon$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (การหดตัว) ของคานทั้งหมด เท่ากับ 705×10^{-6} (7.3×10^{3}) = 5.2 mm (หรือเท่ากับ 5.2/2 = 2.6 mm ที่แต่ละปลายของชิ้นส่วนคาน)

ก-2. การคำนวณโดยอ้างอิงค่าประมาณจากตารางที่กำหนดให้ในมาตรฐาน

จากตารางที่ 7.1 เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 20°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55% ความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรคอนกรีตหล่อสำเร็จ มีค่าประมาณ (807+760)/2 = 783.5 $\mu\varepsilon$ ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (การหดตัว) ของคานทั้งหมด เท่ากับ 783.5×10^{-6} (7.3×10^{3}) = 5.7 mm (หรือเท่ากับ 5.7/2 = 2.85 mm ที่แต่ละปลายของชิ้นส่วนคาน) จะเห็นว่าการคำนวณด้วยค่าจากตารางได้ค่าใกล้เคียงกับที่ตรวจวัดและประมาณการไว้ข้างต้น

โดยค่าที่คำนวณได้นี้จะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการให้รายละเอียดของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่เกี่ยวข้องต่อไป

(ข) การคำนวณค่าแรงในแนวราบที่กระทำที่หัวเสาและโมเมนต์ดัดที่ฐานเสาจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคาน (การหดตัวที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนคาน) จะทำให้เกิดแรงกระทำที่หัวเสาเมื่อได้ทำการติดตั้งชิ้นส่วนคานแล้ว ดังนั้นจะพิจารณาค่าการหดตัว ณ เวลาหลังจากติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแล้วเสร็จ ดังนี้

การคำนวณค่าการหดตัวของชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ผลของการคืบ (Creep shortening, δ_c) = (268 – 87)(10^{-6})(7.3x10^3) = 1.3 mm

ผลของการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage shortening, δ_s)

= (454 – 140)(10^{-6})(7.3x10^3) = 2.3 mm

ผลของอุณหภูมิ (Temp. shortening, δ_t) = (210)(10^{-6})(7.3x10^3) = 1.5 mm

การคำนวณค่าการเสียรูปเทียบเท่าของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (ใช้สมการที่ (7.1), (7.2) และ (7.3) โดยค่า K_l = 5 และ K_t = 1.5)

ผลของการคืบ (Equivalent creep shortening, δ_{ec}) = $\frac{\delta_c}{K_l}$ = 1.3/5 = 0.26 mm

ผลของ Shrinkage (Equivalent shrinkage shortening, δ_{es}) = $\frac{\delta_s}{K_l}$ = 2.3/5 = 0.46 mm

ผลของอุณหภูมิ (Equivalent temp. shortening, δ_{et}) = $\frac{\delta_t}{K_t}$ = 1.5/1.5 = 1 mm

ดังนั้นรวมผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่าทั้งหมดเท่ากับ 0.026+0.046+0.1 = 0.172 cm หรือเท่ากับ 1.72/2 = 0.86 mm ที่แต่ละปลายของชิ้นส่วนคาน

หากคำนวณค่าความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า ตามตารางที่ 7.2 เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 20°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55% จะได้ค่าความเครียดจากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่า มีค่าประมาณ (304+295)/2 = 299.5 με

ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบเท่าของคานทั้งหมด เท่ากับ 299.5x10^{-6}(7.3x10^3) = 2.2 mm (หรือเท่ากับ 2.2/2 = 1.1 mm ที่แต่ละปลายของชิ้นส่วนคาน) (การคำนวณด้วยค่าจากตารางได้ค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณตามสูตรข้างต้น)

คำนวณค่าแรงที่กระทำที่หัวเสา

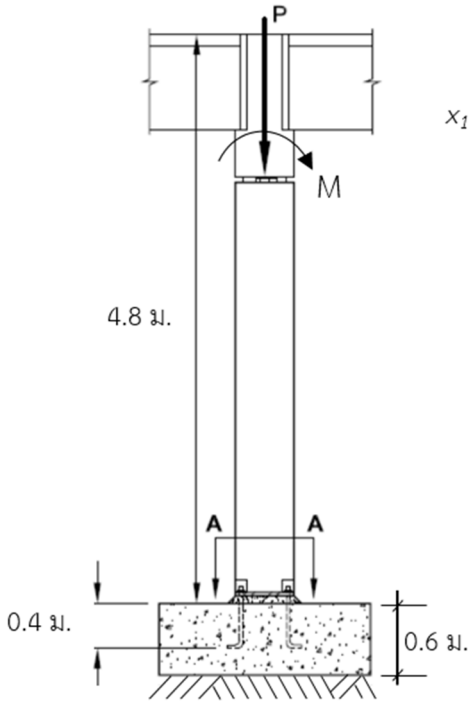
จาก $\Delta = \frac{Fh_s^3}{3E_cI_c}$ ดังนั้นจะได้ว่า

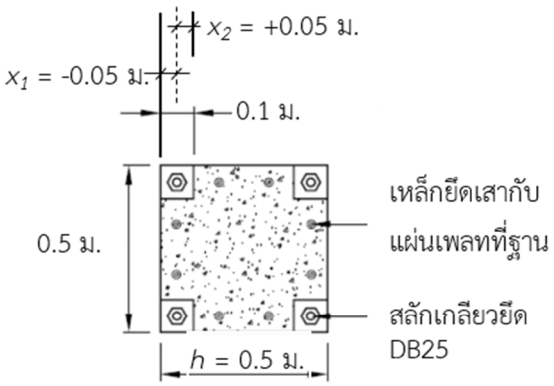
$$F = \frac{3E_c I_c \Delta}{h_s^3} = \frac{3(2.96\times10^4)(10^6)\left(\frac{1}{12}\times0.4\times0.4^3\right)(1.1\times10^{-3})}{(3.65)^3} = 4285 \text{ N}$$

$M = Fh_s$ = 4285(3.65) =15640.25 N-m

ตัวอย่างข้อที่ ข.2 เรื่องการคำนวณแรงและการหมุนที่ฐานเสา (Column base rotation) (จากเนื้อหาข้อที่ 7.5.1 ของส่วนที่ 7)

กำหนดให้เสาคอนกรีตหล่อสำเร็จติดตั้งอยู่บนฐานรากแผ่ขนาดสี่เหลี่ยมจตุรัส 1.8x1.8 m หนา 0.6 m ต้องรับแรงขนาด P_u = 300 kN, M_u = 65 kN-m ให้คำนวณหาค่าแรงที่ต้องออกแบบเมื่อพิจารณาผลของการหมุนที่ฐานเสาและการหมุนของฐานรากจากผลของดินร่วมด้วย (กำหนดค่า coefficient of subgrade reaction ของดิน, k_s = 53,000 kN/m^3)





เสาและแผ่นเพลทที่ฐาน
รูปตัด A-A

วิธีคำนวณ

ค่า $e = M_u / P_u$ = 65/300 = 0.2167 m

สมมติค่าการเยื้องศูนย์จากผลของการหมุนที่ฐานเสาเพิ่มอีก 7.5 mm = 0.0075 m

รวมค่าการเยื้องศูนย์ของแรงทั้งหมด = 0.2167+0.0075 = 0.2242 m

ตรวจสอบระยะ $\frac{h}{2}+x_1$ = 0.50/2 + (-0.05) = 0.2 m

ซึ่งน้อยกว่าค่าการเยื้องศูนย์รวมทั้งหมด ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบการหมุนระหว่างเสาและฐานเสา

จากสมการที่ (7.9) เนื่องจาก $x_1 + x_2$ = 0, ดังนั้น γ_{bp} = 0

จากรูปค่า g = 0.40 m (ระยะฝังของสลักเกลียวยึด)

แทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสมการที่ (7.10)

$$\gamma_{ab} = \frac{g\left(\frac{2e}{h+2x_1}-1\right)}{2eE_sA_b(h+x_1)} =$$

$$\frac{0.4\left(\frac{2\times 0.2242}{0.5+2(-0.05)}-1\right)}{2\times 0.2242\times(2.04\times 10^{11})(2\times(\frac{\pi}{4}\times 0.025^2))(0.5+(-0.05))}$$

$$= 0.12\text{x}10^{-8}$$

I_f = (1/12)(1.8)(1.8^3) = 0.8748 m^4

จากสมการที่ (7.8) จะได้ว่า

$$\gamma_f = \frac{1}{(53000\times 10^3\times 0.8748)} = 2.16\text{x}10^{-8}$$

M_u เพิ่มค่า = 300x0.2242 = 67.26 kN-m

จากสมการที่ (7.5) และ (7.6) จะได้ว่า

$\phi_b = (\gamma_f + \gamma_{ab})M_u$ = (0.12+2.16)(10^{-8})(67.26)(1000) = 0.00153 rad

ดังนั้นค่าการเยื้องศูนย์จากผลของการหมุนที่ฐานเสาเท่ากับ $\phi_b \times H$ = 0.00153 x 4.8 = 0.0073 m

ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่สมมติไว้ทีแรก (ค่าที่สมมติไว้ทีแรกใช้ได้)

สรุปว่าเสาต้นนี้ต้องออกแบบเพื่อรับแรง P_u = 300 kN และ M_u = 67.3 kN-m

(จะเห็นได้ว่าผลของการหมุนที่ฐานเสาทำให้มีโมเมนต์เพิ่มค่าจะเดิม 65 kN-m เป็น 67.3 kN-m)

ตัวอย่างข้อที่ ข.3 การออกแบบส่วนยื่นคานรูปตัวแอล (จากเนื้อหาข้อที่ 8.2 ของส่วนที่ 8)

กำหนดให้ คานฝากรูปตัด Double-T กว้าง 240 cm วางพาดบนคานตัวแอล ดังรูปที่ 8.1 โดยตำแหน่งการวางบนคานหลักรูปตัวแอลไม่ได้กำหนดตายตัว มีการเสริมเหล็กลูกตั้งวงปิดในส่วนยื่น (γ_t=1.0) มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

V_u	= 80,000 N	h	= 915 mm
N_u	= 13,500 N	h_s	= 760 mm
h_l	= 300 mm	b	= 200 mm
d	= 275 mm	d_s	= 170 mm

d_l = 250 mm s = 1,200 mm

b_t = 75 mm f'_c = 35 MPa

b_l = 355 mm f_y = 400 MPa

คำนวณหา

กำลังต้านทานส่วนยื่น L การยึดเข้ากับเอว และ ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ

<u>วิธีทำ</u>

ตำแหน่งว่าคานฝากระยะชิดต่ำสุด Min. $d_e = \frac{b_t}{2}$ = 75/2 = 37.5 mm

(ก) กำลังเฉือนของปีกยื่น

เมื่อ $s > b_t + h_l$

ดังนั้น จากสมการที่ (8.13) และ (8.14) จะได้

ϕV_n = $(0.75)(0.25)(1.0\sqrt{35})(300)[2(355-200)+75+300]$

= 227,954 N

ϕV_n = $(0.75)(0.08)(1.0\sqrt{35})(300)[2(355-200)+75+300+2(37.5)]$

= 80,932 N > 80,000 N

(ข) โมเมนต์ดัดแนวขวางของปีกยื่น (คานยื่น)

คำนวณปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัดของปีกยื่น A_s

Shear span a = $\frac{3}{4}(b_l - b)+30 = \frac{3}{4}(355-200)+30$ = 146.25 mm ใช้ 150 mm

จากสมการที่ (8.18)

$$A_s = \frac{1}{\phi f_y}\left[V_u\left(\frac{a}{d}\right)+N_u\left(\frac{h_l}{d}\right)\right] = \frac{1}{0.75(400)}\left[80,000\left(\frac{150}{275}\right)+13,500\left(\frac{300}{275}\right)\right]$$

= 194.5 mm^2

$6h_l$ = 1,800 mm > $\frac{s}{2}$ = 600 mm

ดังนั้น กระจายเหล็กเสริมในช่วง $\frac{s}{2}$ ของแต่ละข้าง โดยมีระยะเรียงห่างสูงสุด h_l = 300 mm

ใช้ DB10 @300 mm ; A_s = 78.5x4 = 314 mm^2 ทุก ๆ ช่วง 1,200 mm

ให้เสริมเพิ่มพิเศษ 2 เส้น บริเวณปลายคาน

(ค) โมเมนต์ดัดแนวยาวของปีกยื่น

จากสมการที่ (8.19)

A_l = 1.38(355-200)250/400 = 134 mm^2

เสริม 1-DB10 บน และ 1-DB10 ล่าง A_l = 157 mm^2

(ง) การยึดส่วนของปีกยื่นกับส่วนเอวคาน

จากสมการที่ (8.21)

$$m = \frac{\left[(275+146)-\left(3-2\frac{300}{915}\right)\left(\frac{300}{915}\right)^2\left(\frac{355}{2}\right)-\left(0.75\times155+\frac{200}{2}\right)\times1.0\times\frac{\left(300^2\times355\right)}{300^2\times355+200^2\times615}\right]}{275}$$

= 0.924

$$A_{sh} = \frac{80,000}{0.75\times400}\times0.924 = 246 \text{ mm}^2 \text{ ในช่วง } 1,200 \text{ mm หรือ}$$

$$A_{sh} = \frac{246}{1200} = 0.205 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

มีระยะห่างสูงสุด h_l = 300 mm

ดังนั้น ใช้ 1-DB10@300 mm = 78.5/300 = 0.261 mm^2/mm (มากกว่า 0.205 mm^2/mm)

(จ) แรงดัดนอกระนาบที่ปลายของคาน

จากสมการที่ (8.22)

สมมติค่าแรงบิด $R_u e = V_u e$ = 90x10^6 N-mm

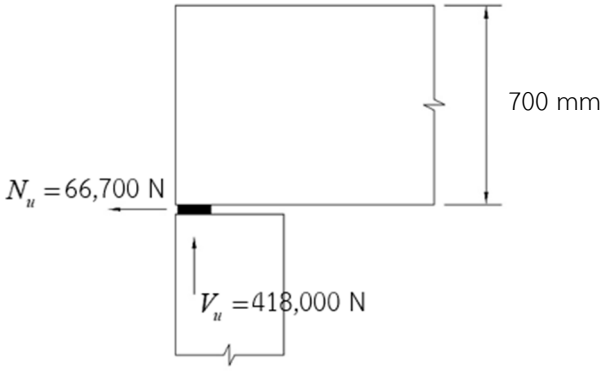
d_w = b-40 = 160 mm

$$A_{wv} = A_{wl} = \frac{90\times10^6}{2\times0.75\times400\times160} = 937 \text{ mm}^2$$

เสริมกระจายตลอดความลึกและความยาวของคานระยะ h_s =760 mm

เลือก 3-DB20 = 942.6 mm^2

ตัวอย่างข้อที่ ข.4 การออกแบบส่วนรับแรงแบกทานคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 300x700 mm^2 (จากเนื้อหาข้อที่ 8.2 ของส่วนที่ 8)



กำหนดให้

V_u = 418,000 N

N_u = 66,700 N

ส่วนแผ่นรองขนาด 100 mm x 250 mm

f'_c = 35 MPa

f_y = 400 MPa

คำนวณหา การเสริมเหล็กบริเวณปลายคานที่จุดรองรับ ดังรูปที่ 8.4

วิธีทำ

A_{cr} = 300x700 = 210,000 mm^2

ตรวจสอบ ค่าแรงเฉือนสูงสุด จากตารางที่ 8.10

Max $V_u = \phi(6.89\lambda bd)$

= (0.75)(6.89x1.0x210,000) = 1,086,750 N > 418,000 N

$$\mu_e = \frac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$$

$$= \frac{0.75(6.89)(1)(210,000)(1.4)}{418,000} = 3.64 > 3.4 \text{ ใช้ค่า } 3.4 \text{ (ตารางที่ 8.10)}$$

จากสมการที่ (8-82)

$$A_{vf} = A_{vt} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu_e} = \frac{418,000}{0.75(400)(3.4)} = 410 \text{ mm}^2$$

จากสมการที่ (8.84)

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} = \frac{66,700}{0.75(400)} = 222 \text{ mm}^2$$

ดังนั้น $A_{vf} + A_n$ = 410+222 = 632 mm^2

เสริมเหล็ก 3-DB20 A_s = 3(314.2) = 942.6 mm^2

คำนวณระยะฝังพอของเหล็ก (ดูส่วนที่ 6) สมมติค่า l_d = 550 mm

ระนาบเฉือนแนวนอน $A_{cr} = l_d b$ = 550x300 = 165,000 mm^2

$V_u = \left(A_{vf} + A_n\right) f_y$ = 942.6x400 =377,040 N

$$\mu_e = \frac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{V_u} = \frac{0.75(6.89)(1)(165,000)(1.4)}{377,040} = 3.17$$

จากสมการที่ (8.24)

$$A_{sh} = \frac{\left(A_{vf} + A_n\right) f_y}{\mu_e f_{ys}} = \frac{(942.6)(400)}{3.17(400)} = 297 \text{ mm}^2$$

ใช้ 2-DB10 เหล็กลูกตั้งวงปิด A_{sh} = 4(78.5) = 314 mm^2

ตัวอย่างข้อที่ ข.5 การเสริมเหล็กคานปลายบาก (จากเนื้อหาข้อที่ 8.2 ของส่วนที่ 8)

กำหนดให้

V_u = 445,000 N

N_u = 66,700 N

f'_c = 35 MPa

f_y = 400 MPa

คำนวณหา การเสริมเหล็ก ตามรูปที่ 8.5 โดยคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 400 mm ลึก 700 mm และมีมิติตามรูปถัดไป

วิธีทำ

(ก) การดัดในส่วนปลายยื่น จากสมการที่ (8.25)

สมมติค่า Shear span a = 150 mm และ d = 380 mm

$$A_s = \frac{1}{\phi f_y}\left[V_u\left(\frac{a}{d}\right) + N_u\left(\frac{h}{d}\right)\right] = \frac{1}{0.75(400)}\left[445,000\left(\frac{150}{380}\right) + 66,700\left(\frac{400}{380}\right)\right]$$

= 820 mm^2

(ข) แรงเฉือนโดยตรง

$$\mu_e = \frac{\phi 6.89 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$$

$$= \frac{(0.75)(6.89)(1)(400)(400)(1.4)}{445,000}$$

= 2.60 < 3.4 (ใช้ 2.60)

จากสมการที่ (8.26) และ (8.27)

$$A_s = \frac{2V_u}{3\phi f_y \mu_e} + \frac{N_u}{\phi f_y}$$

$$= \frac{2(445,00)}{3(0.75)(400)(2.60)} + \frac{66,700}{(0.75)(400)}$$

= 380+222

= 602 mm^2 < 820 mm^2 ดังนั้น ใช้ A_s = 820 mm^2

เสริม 3-DB20 ; A_s = 3x314.2 = 942.6 mm^2

จากสมการที่ (8.28)

$A_h = 0.5(A_s - A_n)$ = 0.5(602-222) =190 mm^2

ตรวจสอบกำลังเฉือนสูงสุด ในตารางที่ 8.9

$$\phi V_n = \phi(6.89 \lambda bd)$$

= 0.75x(6.89x1.0x400x380)

= 786,600 N > 445,000 N

ใช้ 2-DB20 U-bar A_h = 4×78.5 = 314 mm^2

(ค) แรงดึงทแยงมุมบาก

จากสมการที่ (8.29)

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi f_y} = \frac{445,000}{0.75(400)} = 1,483 \text{ mm}^2$$

ใช้ 7-DB12 เหล็กลูกตั้งวงปิด A_{sh} = 14(113.1) = 1,583 mm^2

A'_{sh} (ปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด = A_{sh})

ใช้ 5-DB20 A'_{sh} = 5(314.2) = 1,571 mm^2

(ง) แรงดึงทแยงในส่วนยื่น

จากสมการที่ (8.30)

กำลังเฉือนโดยคอนกรีต $= 0.17bd\lambda\sqrt{f_c'}$

$= 0.17 \times 400(380)(1.0)(\sqrt{35})$

$= 152{,}871$ N

จากสมการที่ (8.31)

$$A_v = \frac{1}{2f_y}\left(\frac{V_u}{\phi} - 0.17bd\lambda\sqrt{f_c'}\right)$$

$$= \frac{1}{2(400)}\left(\frac{445{,}000}{0.75} - 154{,}782\right)$$

$= 551$ mm^2

ลอง 2-DB16 เหล็กลูกตั้งวงปิด $A_v = 4 \times 201.1 = 804.4$ mm^2

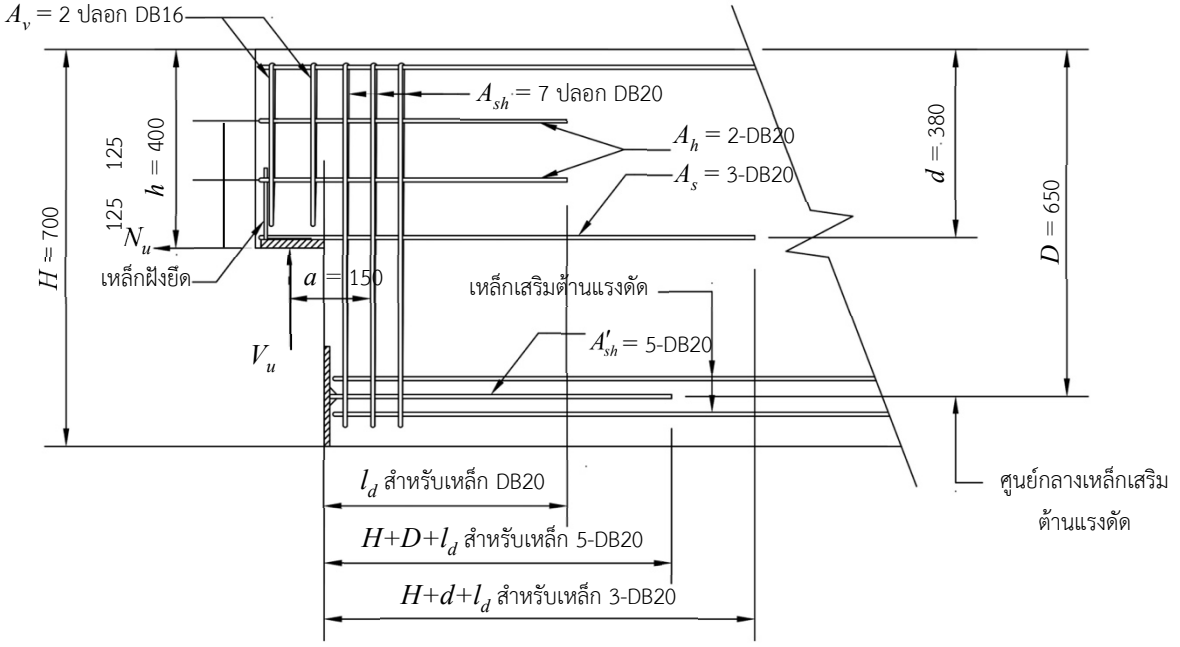
ตรวจสอบสมการ (8.30)

$$\phi V_n = \phi\left(A_v f_y + A_h f_y + 0.17bd\lambda\sqrt{f_c'}\right)$$

$= 0.75(804.4(400)+314(400)+152{,}871)$

$= 450{,}174$ N > 445,000 N

หมายเหตุ : ให้ตรวจสอบระยะฝังที่ต้องการ



ภาคผนวก ค

การออกแบบโดยวิธี Concrete Capacity Design (CCD) สำหรับการฝังยึดในคอนกรีต

ค.1 คำจำกัดความ

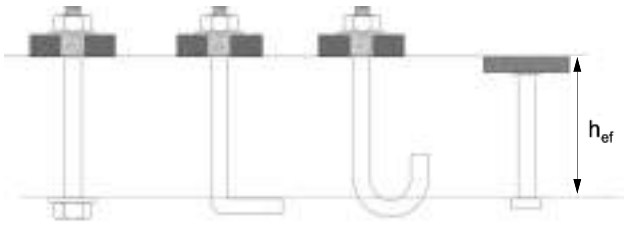
ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน (Cast-in Anchor) - เป็นตัวฝังยึดที่ติดตั้งในตำแหน่งและความลึกที่ต้องการก่อนการเทคอนกรีต

ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง (Post-installed Anchor) – เป็นตัวฝังยึดที่ติดตั้งในตำแหน่งและความลึกที่ต้องการ ภายหลังการเทคอนกรีตและคอนกรีตพัฒนากำลังรับน้ำหนักได้แล้ว

ความลึกฝังประสิทธิผล (Effective Embedment Depth) - เป็นความลึกทั้งหมดที่ตัวฝังยึดส่งผ่านแรงหรือรับแรงจากคอนกรีตที่ล้อมรอบ โดยปกติความลึกนี้คือความลึกของการวิบัติของพื้นผิวคอนกรีตในการทดสอบแรงดึง

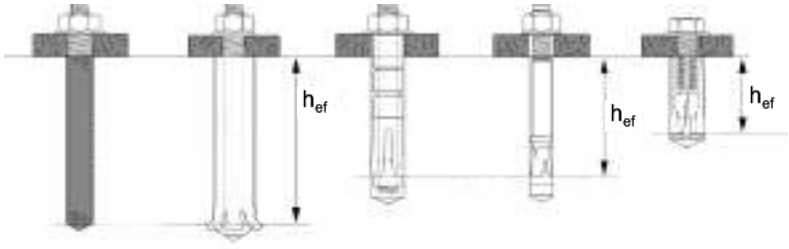
เหล็กเสริมฝังยึด (Anchor Reinforcement) - เหล็กเสริมที่ใช้ส่งผ่านแรงออกแบบทั้งหมดจากตัวฝังยึดไปสู่ชิ้นส่วนโครงสร้าง

เหล็กเสริมเพิ่มเติม (Supplementary Reinforcement) - เหล็กเสริมที่ใช้ควบคุมการแตกหลุดของคอนกรีตที่เกิดขึ้น แต่ไม่ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อส่งผ่านแรงทั้งหมดจากตัวฝังยึดไปสู่ชิ้นส่วนโครงสร้าง



(ก) (ข) (ค) (ง)

ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน (ก) สลักเกลียวมีหัว (ข) สลักเกลียวตัวแอล (ค) สลักเกลียวตัวเจ และ (ง) สลักมีหัว



(ก) (ข) (ค1) (ค2) (ง)

ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง (ก) ตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ (ข) ตัวฝังยึดแบบปลายตัด (ค) ตัวฝังยึดแบบขยายตัวชนิดควบคุมด้วยแรงบิด (ค1) ประเภทปลอก (ค) ประเภทสลัก และ (ง) ตัวฝังยึดแบบขยายตัวชนิดควบคุมด้วยระยะฝัง

รูปที่ ค.1 ชนิดตัวฝังยึด [12]

ค.2 ขอบเขต

ค.2.1 ภาคผนวกนี้มีข้อกำหนดการออกแบบสำหรับตัวฝังยึดในคอนกรีตที่เพื่อส่งแรงทางโครงสร้างด้วยแรงดึง แรงเฉือน หรือการร่วมกันของแรงดึงและแรงเฉือน ระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้ใช้สำหรับสภาพการใช้งานจริงมากกว่าเพื่อใช้ในการจัดการระยะสั้น ๆ หรือในสภาวะการก่อสร้าง

ค.2.2 ภาคผนวกนี้ประยุกต์ใช้กับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อนและตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง ทั้งนี้ specialty insert, through-bolts ตัวฝังยึดหลายตัวที่เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กตัวฝังยึดแบบใช้การอัดน้ำปูน และตัวฝังยึดแบบใช้แรงตอกโดยตรง ไม่รวมอยู่ในขอบเขตของคู่มือฉบับนี้

ค.2.3 ภาคผนวกนี้ไม่ครอบคลุมถึงการใช้งานกับน้ำหนักบรรทุกที่มีวงรอบความล้าสูงมากหรือน้ำหนักบรรทุกแบบกระแทก

ค.3 ข้อกำหนดทั่วไป

ค.3.1 ตัวฝังยึดและกลุ่มตัวฝังยึดจะถูกออกแบบสำหรับกรณีที่วิกฤติจากน้ำหนักบรรทุกที่คูณตัวคูณแรงแล้ว โดยการวิเคราะห์โครงสร้างแบบยืดหยุ่นโดยต้องพิจารณาผลกระทบของกลุ่มตัวฝังยึดทุกครั้งที่มีตัวฝังยึดสองตัวหรือมากกว่ามีระยะระหว่างกันน้อยกว่าระยะวิกฤติ ดังนี้

ตารางที่ ค.1 ระยะวิกฤติ

ลักษณะการวิบัติ	ระยะวิกฤติ
คอนกรีตแตกหลุดภายใต้แรงดึง	$3h_{ef}$
กำลังยึดหน่วงภายใต้แรงดึง	$2c_{Na}$
คอนกรีตแตกหลุดภายใต้แรงเฉือน	$3c_{a1}$

ค.3.2 กำลังที่ออกแบบไว้ของตัวฝังยึดจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกำลังที่ต้องการมากที่สุดที่คำนวณจากการรวมกันในกรณีต่าง ๆ ของน้ำหนักบรรทุกที่คูณตัวคูณแรงแล้ว

ค.3.3 ข้อกำหนดด้านการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว

ค.3.3.1 ตัวฝังยึดที่ใช้รับแรงแผ่นดินไหวต้องเป็นไปตามข้อที่ ค.3.3.2 ถึง ค.3.3.7

ค.3.3.2 ข้อกำหนดต่าง ๆ ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบในบริเวณพื้นที่จุดหมุนพลาสติก

ค.3.3.3 ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลังที่ใช้ ต้องผ่านการรับรองด้านการรับแรงแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับการออกแบบ

ค.3.3.4 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบรับแรงดึง

ค.3.3.4.1 หากแรงดึงที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวมีค่าไม่เกิน 20% ของค่าแรงดึงทั้งหมดที่คูณตัวคูณแรงแล้ว ให้ใช้ข้อที่ ค.5 ในการออกแบบ

ค.3.3.4.2 หากแรงดึงที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวมีค่าเกิน 20% ของค่าแรงดึงทั้งหมดที่คูณตัวคูณแรงแล้ว ให้ใช้ข้อที่ ค.3.3.4.3 และ ค.3.3.4.4 ในการออกแบบ

ค.3.3.4.3 ตัวฝังยึดและอุปกรณ์ประกอบจะต้องได้รับการออกแบบโดยใช้หนึ่งในตัวเลือก (ก) ถึง (ง) ต่อไปนี้

(ก) สำหรับตัวฝังยึดเดียว กำลังควบคุมโดยคอนกรีตจะต้องมากกว่ากำลังของเหล็กตัวฝังยึด สำหรับตัวฝังยึดกลุ่ม อัตราส่วนของแรงดึงที่กระทำกับตัวฝังยึดที่รับแรงสูงสุดต่อกำลังของเหล็กตัวฝังยึดนั้น ต้องเท่ากับหรือมากกว่าอัตราส่วนของแรงดึงทั้งหมดต่อกำลังควบคุมโดยคอนกรีตของกลุ่มตัวฝังยึด โดยคำนวณดังนี้

1. ใช้กำลังของเหล็กเป็น 1.2 เท่าของกำลังระบุของเหล็กตัวฝังยึด
2. กำลังควบคุมโดยคอนกรีต หมายรวมถึง กำลังแตกหลุดของคอนกรีต กำลังแตกออกด้านข้าง กำลังดึงหลุด และกำลังยึดหน่วง
3. ตัวฝังยึดต้องส่งแรงดึงผ่านชิ้นส่วนเหล็กที่มีความเหนียวโดยมีความยาวยืดอย่างน้อยแปดเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวฝังยึด เว้นแต่จะกำหนดเป็นอย่างอื่นโดยการวิเคราะห์
4. ในกรณีที่ตัวฝังยึดต้องรับแรงสลับทิศ จะต้องป้องกันการโก่งเดาะของตัวฝังยึดนั้น
5. ตัวฝังยึดที่มีเกลียวแต่ไม่ได้เป็นเกลียวตลอดทั้งความยาว อัตราส่วนของ $f_{uta} \geq f_{ya}$ จะต้องไม่น้อยกว่า 1.3 เว้นแต่จะต่อส่วนเกลียวทั้งหมดด้วยปลอกหรือข้อต่อ โดยส่วนที่ต่อนี้ต้องไม่อยู่ในบริเวณที่เกิดการคราก
6. เหล็กข้ออ้อยที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเหล็กที่มีความเหนียว จะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวที่น่าเชื่อถือ

(ข) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงดึงสูงสุดให้สามารถเกิดกลไกการครากแบบเหนียวในจุดต่อยึดภายใต้การดัด การเฉือน หรือการแบกทาน หรือผลรวมของการกระทำเหล่านั้น และให้พิจารณาทั้งกำลังส่วนเกินของวัสดุและความเครียดแข็งตัว โดยการออกแบบตัวฝังยึดรับแรงดึงให้คำนวณจากข้อที่ ค.3.3.4.4

(ค) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงดึงสูงสุดให้สามารถส่งแรงไปยังจุดต่อยึด โดยจุดต่อยึดไม่เกิดการคราก โดยการออกแบบตัวฝังยึดรับแรงดึงให้คำนวณจากข้อที่ ค.3.3.4.4

(ง) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงดึงสูงสุดจากผลรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่รวมแรงแผ่นดินไหวไว้ด้วย โดยการออกแบบตัวฝังยึดรับแรงดึงให้เป็นไปตามข้อที่ ค.4.1.1

ค.3.3.4.4 กำลังดึงออกแบบของตัวฝังยึดต้านแรงแผ่นดินไหว ให้ใช้ 75% ของกำลังตามที่ระบุในข้อที่ ค.4.1.1 สำหรับกำลังควบคุมโดยคอนกรีต โดยสมมติว่าคอนกรีตร้าว เว้นแต่การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตไม่ร้าว

ค.3.3.4.5 หากใช้เหล็กเสริมฝังยึดตามข้อที่ ค.5.2.9 ไม่ต้องลดกำลังดึงออกแบบของตัวฝังยึดเกินกว่าที่กำหนดในข้อที่ ค.5.2.9

ค.3.3.5 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบรับแรงเฉือน

ค.3.3.5.1 หากแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวมีค่าไม่เกิน 20% ของค่าแรงเฉือนทั้งหมดที่คูณตัวคูณแรงแล้ว ให้ใช้ข้อที่ ค.4.1.1 และ ค.6 ในการออกแบบ

ค.3.3.5.2 หากแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวมีค่าเกิน 20% ของค่าแรงเฉือนทั้งหมดที่คูณตัวคูณแรงแล้ว ให้ใช้ข้อที่ ค.3.3.5.3 และ ค.6 ในการออกแบบ

ค.3.3.5.3 ตัวฝังยึดและอุปกรณ์ประกอบจะต้องได้รับการออกแบบโดยใช้หนึ่งในตัวเลือก (ก) ถึง (ค) ต่อไปนี้

(ก) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงเฉือนสูงสุดให้สามารถเกิดกลไกการครากแบบเหนียวในจุดต่อยึดภายใต้การดัด การเฉือน หรือการแบกทาน หรือผลรวมของการกระทำเหล่านั้น และให้พิจารณาทั้งผลที่เกิดจากกำลังส่วนเกินของวัสดุและความเครียดแข็งตัว

(ข) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงเฉือนสูงสุดให้สามารถส่งแรงไปยังจุดต่อยึด โดยจุดต่อยึดไม่เกิดการคราก

(ค) ออกแบบตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเพื่อรับแรงเฉือนสูงสุดจากผลรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่รวมแรงแผ่นดินไหวไว้ด้วย โดยการออกแบบตัวฝังยึดรับแรงดึงให้เป็นไปตามข้อที่ ค.4.1.1

ค.3.3.5.4 หากใช้เหล็กเสริมฝังยึดตามข้อที่ ค.6.2.9 ไม่ต้องลดกำลังรับแรงดึงออกแบบของตัวฝังยึดเกินกว่าที่กำหนดในข้อที่ ค.6.2.9

ค.3.3.6 ตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดที่รับทั้งแรงดึงและแรงเฉือนจะต้องออกแบบตามข้อที่ ค.7 โดยกำลังดึงออกแบบของตัวฝังยึดคำนวณจากข้อที่ ค.3.3.4.4

ค.3.3.7 เหล็กเสริมฝังยึดที่ใช้ในโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว จะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อยที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวที่น่าเชื่อถือ

ค.3.4 ตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะซึ่งถูกติดตั้งตามแนวนอนหรือแนวเอียงขึ้นข้างบนควรได้รับการทดสอบคุณภาพตามข้อกำหนดสำหรับความไวต่อทิศทางการติดตั้งโดยมาตรฐานที่น่าเชื่อถือที่สอดคล้องกับการออกแบบ

ค.3.5 สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน ค่า f_c' ที่ใช้สำหรับการคำนวณต้องมีค่าไม่เกิน 69 MPa และสำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง ค่า f_c' ที่ใช้สำหรับการคำนวณต้องมีค่าไม่เกิน 55 MPa หากต้องการใช้ค่าที่มากกว่า 55 MPa ต้องมีผลการทดสอบยืนยันประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุก

ค.4 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับกำลังของตัวฝังยึด

ค.4.1 การออกแบบด้านกำลังของตัวฝังยึด สามารถใช้การคำนวณตามข้อที่ ค.4.2 หรือบนการประเมินจากผลการทดสอบที่ครอบคลุม สำหรับกำลังด้านต่าง ๆ ดังนี้

(ก) กำลังของเหล็กตัวฝังยึดรับแรงดึง (ข้อที่ ค.5.1)

(ข) กำลังแตกหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงดึง (ข้อที่ ค.5.2)

(ค) กำลังดึงหลุดของตัวฝังยึดรับแรงดึง (ข้อที่ ค.5.3)

(ง) กำลังแตกออกด้านข้างของคอนกรีตของตัวฝังยึดแบบมีหัวภายใต้แรงดึง (ข้อที่ ค.5.4)

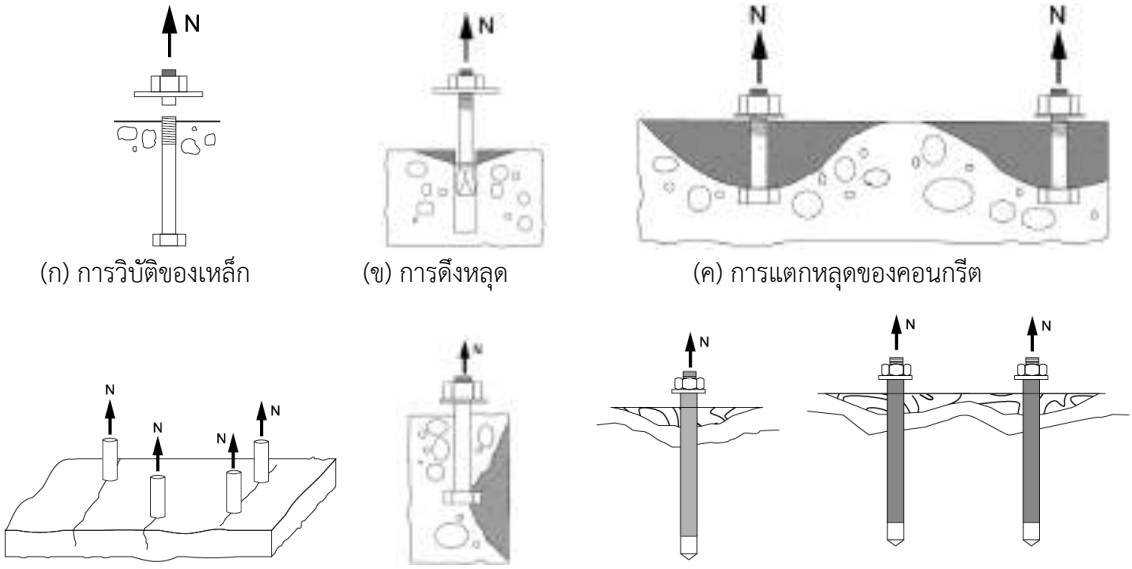
(จ) กำลังยึดหน่วงของตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะรับแรงดึง (ข้อที่ ค.5.5)

(ฉ) กำลังของเหล็กตัวฝังยึดรับแรงเฉือน (ข้อที่ ค.6.1)

(ช) กำลังแตกหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน (ข้อที่ ค.6.2)

(ซ) กำลังงัดหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน (ข้อที่ ค.6.3)

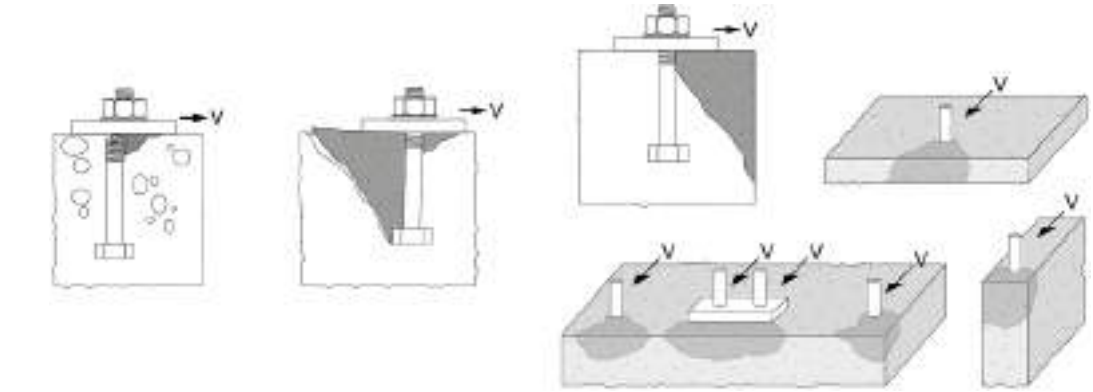
นอกจากนี้ ตัวฝังยึดต้องมีระยะขอบ ระยะห่าง และความหนาตามที่ต้องการเพื่อป้องกันการวิบัติจากรอยแตกร้าวแบบแยกตามที่กำหนดใน ข้อที่ ค.8



(ก) การวิบัติของเหล็ก (ข) การดึงหลุด (ค) การแตกหลุดของคอนกรีต

(ง) การแตกร้าวแบบแยกของคอนกรีต (จ) การแตกออกด้านข้างของคอนกรีต (ฉ) การวิบัติด้วยแรงยึดหน่วง

(1) ลักษณะการวิบัติภายใต้แรงดึง



(ก) การวิบัติของเหล็ก (ข) การงัดหลุดของคอนกรีต (ค) การแตกหลุดของคอนกรีต

(2) ลักษณะการวิบัติภายใต้แรงเฉือน

รูปที่ ค.2 ลักษณะการวิบัติรูปแบบต่าง ๆ [12]

ค.4.1.1 การออกแบบตัวฝังยึดจะต้องออกแบบให้

$$\phi N_n \geq N_{ua}$$

และ $$\phi V_n \geq V_{ua}$$

เมื่อ ϕN_n คือค่ากำลังออกแบบต่ำสุดภายใต้แรงดึงของตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดที่คำนวณจากทุกรูปแบบการวิบัติที่เกี่ยวข้อง

ϕV_n คือค่ากำลังออกแบบต่ำสุดภายใต้แรงเฉือนของตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดที่คำนวณจากทุกรูปแบบการวิบัติที่เกี่ยวข้อง

ค.4.1.2 สำหรับการออกแบบตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะเพื่อต้านทานแรงดึงคงค้างที่นอกเหนือไปจากข้อที่ ค.5.1.1 ให้ใช้สมการต่อไปนี้

$$0.55\phi N_{ba} \geq N_{ua,s} \qquad \text{(ค.1)}$$

โดย N_{ba} คำนวณได้จากข้อที่ ค.5.5.2

ค.4.1.3 เมื่อทั้ง N_{ua} และ V_{ua} เกิดพร้อมกัน ต้องพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองแรงในการคำนวณกำลังสำหรับการออกแบบซึ่งต้องสอดคล้องกับผลทดสอบที่มีความครอบคลุม โดยอาจใช้วิธีการในข้อที่ ค.7 ได้

ค.4.2 กำลังระบุสำหรับตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดเป็นผลมาจากแบบจำลองที่ทำนายกำลังได้สอดคล้องกับผลการทดสอบที่ครอบคลุม สำหรับกำลังระบุซึ่งเกี่ยวข้องกับกำลังคอนกรีต จะต้องคำนึงถึงผลของขนาดและจำนวนตัวฝังยึด ผลของระยะห่างระหว่างตัวฝังยึดที่อยู่ติดกัน ความใกล้กับขอบ ความลึกของชิ้นส่วนคอนกรีต แรงเยื้องศูนย์ในกลุ่มตัวฝังยึด และการเกิดหรือไม่เกิดรอยร้าว

ค.4.2.1 ผลของการเสริมเหล็กซึ่งจัดให้มีเพื่อยับยั้งการแตกออกของคอนกรีตสามารถใช้ในการออกแบบที่ระบุในข้อที่ ค.4.2 และเมื่อจัดให้มีเหล็กเสริมฝังยึดตามข้อที่ ค.5.2.9 และ ค.5.2.9 แล้ว ไม่จำเป็นต้องคำนวณกำลังแตกหลุดของคอนกรีตตามข้อที่ ค.5.2 และ ค.6.2 อีก

ค.4.2.2 ข้อกำหนดกำลังแตกหลุดของคอนกรีตสำหรับตัวฝังยึดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 mm ให้เป็นไปตามขั้นตอนการออกแบบในข้อที่ ค.5.2 และ ค.6.2

ค.4.2.3 ข้อกำหนดของกำลังยึดหน่วงสำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะที่มีความลึกฝัง $4d_a \leq h_{ef} \leq 20d_a$ ให้เป็นไปตามขั้นตอนการออกแบบในข้อที่ ค.5.5

ค.4.3 ตัวคูณลดกำลัง ϕ สำหรับตัวฝังยึดในคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ก) ตัวฝังยึดที่ถูกควบคุมโดยกำลังของชิ้นส่วนเหล็กเหนียว

1) แรงดึง 0.80

2) แรงเฉือน 0.75

ข) ตัวฝังยึดที่ถูกควบคุมโดยกำลังของชิ้นส่วนเหล็กเปราะ

1) แรงดึง 0.70

2) แรงเฉือน 0.65

ค) ตัวฝังยึดที่ถูกควบคุมโดยกำลังแตกหลุดของคอนกรีต กำลังแตกออกด้านข้าง กำลังดึงหลุด หรือกำลังงัดหลุด

	เงื่อนไข A	เงื่อนไข B
1) แรงเฉือน	0.85	0.75
2) แรงดึง		
ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน	0.85	0.75
ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง		
ประเภท 1	0.85	0.75
(มีความไวต่อการติดตั้งต่ำและมีความน่าเชื่อถือได้สูง)		
ประเภท 2	0.75	0.65
(มีความไวต่อการติดตั้งปานกลางและมีความน่าเชื่อถือได้ปานกลาง)		
ประเภท 3	0.65	0.55
(มีความไวต่อการติดตั้งสูงและมีความน่าเชื่อถือได้ต่ำ)		

เงื่อนไข A ใช้ในกรณีที่มีเหล็กเสริมเพิ่มเติม ยกเว้นในกรณีพิจารณากำลังงัดหลุดและกำลังดึงหลุด
เงื่อนไข B ใช้ในกรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมเพิ่มเติมและในกรณีพิจารณากำลังงัดหลุดและกำลังดึงหลุด

ค.5 ข้อกำหนดการออกแบบสำหรับแรงดึง

ค.5.1 กำลังเหล็กของตัวฝังยึดรับแรงดึง

ค.5.1.1 ต้องประเมินค่ากำลังระบุของตัวฝังยึดในแรงดึงที่ควบคุมโดยเหล็ก N_{sa} โดยการคำนวณบนพื้นฐานของคุณสมบัติของวัสดุของตัวฝังยึดและขนาดทางกายภาพของตัวฝังยึด

ค.5.1.2 กำลังระบุของตัวฝังยึดรับแรงดึง N_{sa} ต้องมีค่าไม่เกิน

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} \qquad \text{(ค.2)}$$

เมื่อ $A_{se,N}$ คือพื้นที่ตัดขวางประสิทธิภาพของตัวฝังยึดรับแรงดึง และ f_{uta} จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่น้อยกว่าของ $1.9 f_{ya}$ และ 860 MPa

ค.5.2 กำลังแตกหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงดึง

ค.5.2.1 กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตรับแรงดึง N_{cb} ของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือ N_{cbg} ของกลุ่มตัวฝังยึดจะต้องมีค่าไม่เกิน

(ก) สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \qquad \text{(ค.3)}$$

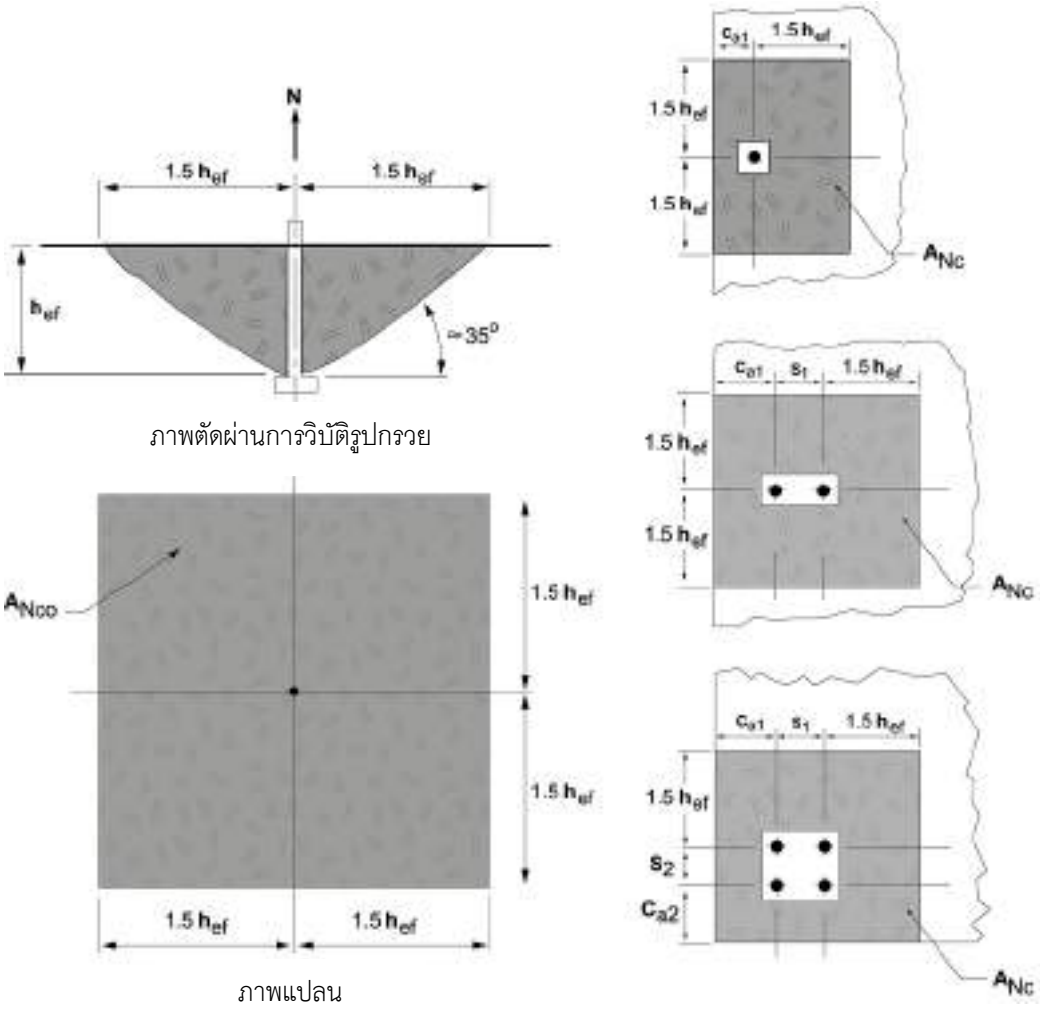
(ข) สำหรับตัวฝังยึดกลุ่ม

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \qquad \text{(ค.4)}$$

โดยตัวคูณปรับแก้ ψ เป็นไปตามข้อที่ ค.5.2.4 ถึง ค.5.2.7

A_{Nc} คือพื้นที่ฉายการวิบัติคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มที่มีรูปร่างเป็นฐานของรูปพีระมิดซึ่งเป็นผลมาจากการฉายพื้นผิวการวิบัติไปด้านนอกเป็นระยะ $1.5h_{ef}$ จากแนวกลางของตัวฝังยึดหรือจากเส้นที่ผ่านแถวของตัวฝังยึดที่อยู่ติดกันในกรณีที่เป็นตัวฝังยึดกลุ่ม โดย A_{Nc} ต้องมีค่าไม่เกิน nA_{Nco} เมื่อ n คือจำนวนตัวฝังยึดในกลุ่มที่ต้านแรงดึง A_{Nco} คือพื้นที่ภาพฉายการวิบัติของคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวที่มีระยะขอบมากกว่าหรือเท่ากับ $1.5h_{ef}$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^{\ 2} \qquad \text{(ค.5)}$$



รูปที่ ค.3 การคำนวณพื้นที่ภาพฉาย (ก) A_{Nco} และ (ข) A_{Nc} [12]

ค.5.2.2 กำลังแตกหลุดพื้นฐานของคอนกรีตของตัวฝังยึดเดี่ยวรับแรงดึงในคอนกรีตที่แตกร้าว N_b ต้องมีค่าไม่เกิน

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad \text{(ค.6)}$$

เมื่อ

k_c = 10 สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งก่อน และ

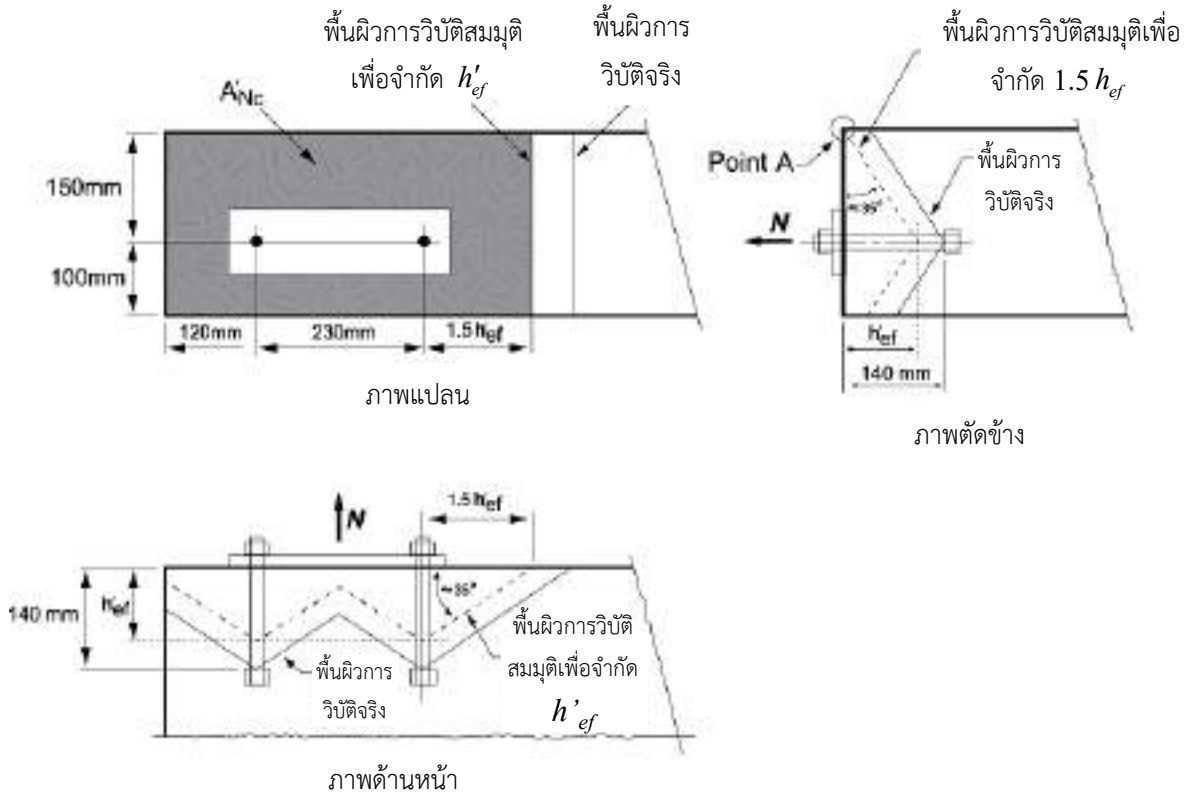
k_c = 7 สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลัง

ค่า k_c สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังอาจมีค่ามากกว่า 7 ได้หากมีการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะ แต่ต้องไม่เกิน 10

สำหรับแท่งเหล็กและสลักเกลียวแบบมีหัวชนิดติดตั้งก่อนโดยที่ 280 mm ≤ h_{ef} ≤ 635 mm ค่า N_b ต้องไม่เกิน

$$N_b = 3.9 \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} \quad \text{(ค.7)}$$

ค.5.2.3 เมื่อตัวฝังยึดถูกวางไว้ในระยะน้อยกว่า 1.5h_{ef} จากมุม 3 มุมขึ้นไป ค่า h_{ef} ที่ใช้สำหรับการคำนวณ A_{Nc} ตามข้อที่ ค.5.2.1 และในสมการที่ (ค.3) ถึง (ค.10) จะใช้ค่ามากกว่าระหว่าง $c_{a,\max}$/1.5 และ s/3 เมื่อ s คือระยะห่างมากที่สุดระหว่างตัวฝังยึดภายในกลุ่มตัวฝังยึด



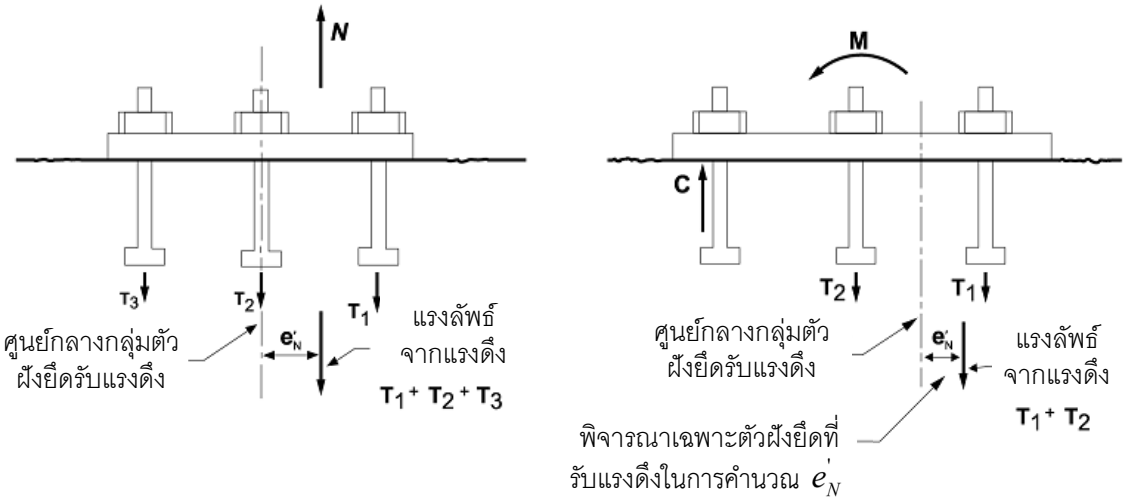
รูปที่ ค.4 ตัวอย่างในกรณีตัวฝังยึดใช้ในชิ้นส่วนแคบ [12]

ค.5.2.4 สามารถคำนวณตัวคูณปรับแก้สำหรับกลุ่มตัวฝังยึดที่เกิดแรงดึงเยื้องศูนย์ $\psi_{ec,N}$ ได้ดังนี้

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \qquad \text{(ค.8)}$$

โดยที่ $\psi_{ec,N}$ มีค่าไม่เกิน 1.0

ถ้าแรงกระทำบนตัวฝังยึดกลุ่มทำให้มีตัวฝังยึดเพียงบางตัวรับแรงดึง ตัวฝังยึดที่รับแรงดึงเหล่านั้นเท่านั้นจะถูกใช้ในการหาค่าความเยื้องศูนย์ e'_N สำหรับการใช้ในสมการที่ (ค.8) และสำหรับการคำนวณ N_{cbg} ตามสมการที่ (ค.4)



รูปที่ ค.5 การคำนวณ e'_N สำหรับกลุ่มตัวฝังยึด [12]

ค.5.2.5 คำนวณค่าตัวคูณปรับแก้สำหรับผลกระทบของขอบสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มที่รับแรงดึง $\psi_{ed,N}$ ได้ดังนี้

ถ้า $c_{a,\min} \geq 1.5h_{ef}$ ใช้ค่า $\psi_{ed,N} = 1$ (ค.9)

ถ้า $c_{a,\min} < 1.5h_{ef}$ ใช้ค่า $\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a,\min}}{1.5h_{ef}}$ (ค.10)

ค.5.2.6 สำหรับตัวฝังยึดซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวในขณะใช้งาน ใช้ค่าตัวคูณปรับแก้ $\psi_{c,N}$ ดังต่อไปนี้

$\psi_{c,N}$ = 1.25 สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งก่อน และ

$\psi_{c,N}$ = 1.4 สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังเมื่อใช้ค่า k_c เท่ากับ 7

เมื่อการวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตมีการแตกร้าวในขณะใช้งาน ใช้ค่า $\psi_{c,N}$ เท่ากับ 1.0 สำหรับทั้งกรณีตัวฝังยึดแบบติดตั้งก่อนและตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลัง

ค.5.2.7 ตัวคูณปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตไม่มีการแตกร้าว ตามข้อที่ ค.5.2.6 โดยไม่มีการเสริมเหล็กเพิ่มเติมเพื่อควบคุมรอยแยก สามารถคำนวณค่าตัวคูณปรับแก้ $\psi_{cp,N}$ ดังนี้

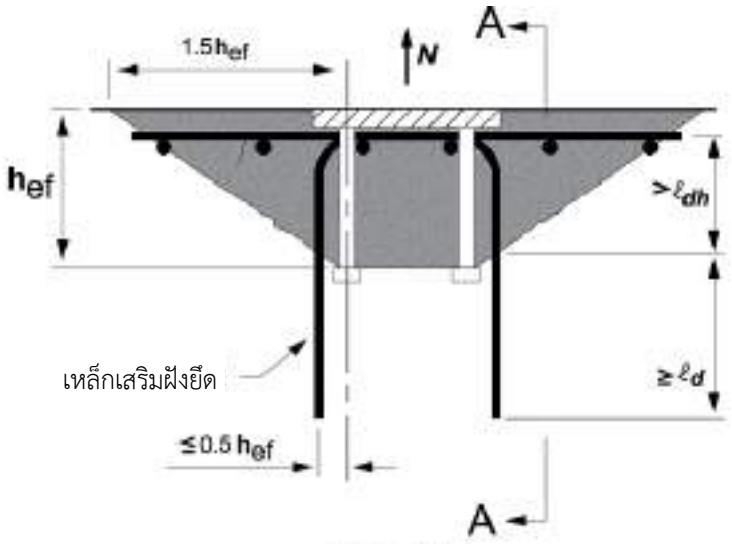
ถ้า $c_{a,\min} \geq c_{ac}$ ใช้ค่า $\psi_{cp,N} = 1.0$ (ค.11)

ถ้า $c_{a,\min} < c_{ac}$ ใช้ค่า $\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}}$ (ค.12)

แต่ค่า $\psi_{cp,N}$ ที่กำหนดไว้ในสมการที่ (ค.12) จะต้องไม่น้อยกว่า $1.5h_{ef} / c_{ac}$ เมื่อระยะวิกฤติเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ ค.8.6 สำหรับกรณีอื่น ๆ รวมถึงตัวฝังยึดแบบติดตั้งก่อน ใช้ค่า $\psi_{cp,N}$ เท่ากับ 1.0

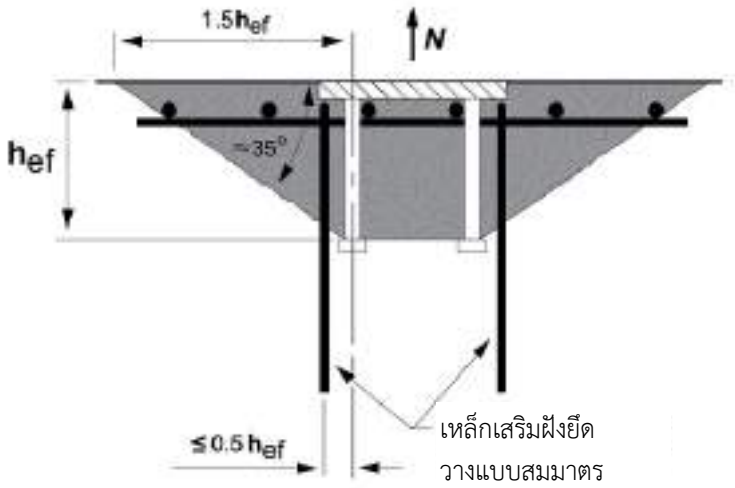
ค.5.2.8 เมื่อใส่แผ่นเหล็กหรือแหวนเพิ่มเติมที่ปลายของตัวฝังยึด สามารถคำนวณพื้นที่ฉายของพื้นผิวการวิบัติโดยการฉายพื้นผิวการวิบัติออกไปด้านนอก $1.5h_{ef}$ จากเส้นรอบวงของแผ่นเหล็กหรือแหวน เส้นรอบวงประสิทธิผลนี้ต้องไม่เกินค่าส่วนที่ถูกฉายไปด้านนอกมากกว่าความหนาของแหวนเหล็กหรือแผ่นจากขอบด้านนอกของส่วนปลายตัวฝังยึด

ค.5.2.9 เมื่อมีการเสริมเหล็กเสริมฝังยึดทั้งสองข้างของพื้นผิวการแตกออก สามารถใช้กำลังของเหล็กเสริมฝังยึดแทนกำลังแตกหลุดของคอนกรีตในการหาค่า ϕN_n ได้ และควรใช้ค่า ϕ = 0.85 ในการออกแบบเหล็กเสริมฝังยึด



ภาพมุมมองด้านหน้า

รูปที่ ค.6 เหล็กเสริมฝังยึดรับแรงดึง [12]



ภาพตัด A-A

รูปที่ ค.6 เหล็กเสริมฝังยึดรับแรงดึง (ต่อ) [12]

ค.5.3 กำลังดึงหลุดของตัวฝังยึดแบบติดตั้งก่อนและแบบติดตั้งภายหลังภายใต้แรงดึง (ยกเว้นตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ)

ค.5.3.1 กำลังดึงหลุดระบุของตัวฝังยึดเดี่ยวแบบติดตั้งก่อน ตัวฝังยึดแบบขยายตัวติดตั้งภายหลังและแบบปลายตัดติดตั้งภายหลัง N_{pn} ต้องมีค่าไม่เกิน

$$N_{pn} = \psi_{c,P} N_p \qquad \text{(ค.13)}$$

เมื่อ $\psi_{c,P}$ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ ค.5.3.6

ค.5.3.2 สำหรับตัวฝังยึดแบบขยายตัวและแบบปลายตัด ค่า N_p จะขึ้นกับผลการทดสอบและการประเมินตามมาตรฐานที่เชื่อถือได้ โดยไม่อนุญาตให้ใช้การคำนวณกำลังดึงหลุดสำหรับตัวฝังยึดเหล่านั้น

ค.5.3.3 สำหรับสลักเกลียวแบบมีหัว และแท่งเหล็กแบบมีหัว สามารถประเมินกำลังดึงหลุดโดยใช้ข้อที่ ค.5.3.4 สำหรับสลักเกลียวตะขอ (สลักเกลียวแบบ J หรือ L) สามารถประเมินกำลังดึงหลุดโดยใช้ข้อที่ ค.5.3.5 ทั้งนี้สามารถใช้ค่า N_p ซึ่งจะขึ้นกับผลการทดสอบและการประเมินตามมาตรฐานที่เชื่อถือได้ ในลักษณะเดียวกันกับกระบวนการในข้อที่ ค.5.3.2

ค.5.3.4 กำลังดึงหลุดของสลักเกลียวและแท่งเหล็กแบบมีหัว N_p สำหรับใช้ในสมการที่ (ค.13) จะต้องมีค่าไม่เกิน

$$N_p = 8 A_{brg} f_c' \qquad \text{(ค.14)}$$

ค.5.3.5 กำลังดึงหลุดของสลักเกลียวตะขอ N_p สำหรับใช้ในสมการที่ (ค.13) จะต้องมีค่าไม่เกิน

$$N_p = 0.9 f_c' e_h d_a \qquad \text{(ค.15)}$$

เมื่อ $3d_a \le e_h \le 4.5d_a$

ค.5.3.6 สำหรับตัวฝังยึดที่ถูกวางในบริเวณซึ่งการวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวในขณะใช้งาน ใช้ตัวคูณปรับแก้ดังต่อไปนี้

$\psi_{c,P}$ = 1.4

เมื่อการศึกษาระบุว่าคอนกรีตมีการแตกร้าวในขณะใช้งาน ใช้ $\psi_{c,P}$ เท่ากับ 1.0

ค.5.4 กำลังแตกออกด้านข้างของคอนกรีตของตัวฝังยึดแบบมีหัวภายใต้แรงดึง

ค.5.4.1 สำหรับตัวฝังยึดแบบมีหัวเดี่ยวที่มีการฝังลึกใกล้ขอบ ($h_{ef} > 2.5c_{a1}$) กำลังแตกออกด้านข้างระบุของคอนกรีต N_{sb} มีค่าไม่เกินค่าต่อไปนี้

$$N_{sb} = (13c_{a1}\sqrt{A_{brg}})\lambda_a \sqrt{f_c'} \qquad \text{(ค.16)}$$

ถ้าระยะขอบ c_{a2} สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวมีค่าน้อยกว่า $3c_{a1}$ จะต้องคูณค่าของ N_{sb} ด้วยตัวคูณ $(1+c_{a2}/c_{a1})/4$ เมื่อ $1.0 \le c_{a2}/c_{a1} \le 3.0$

ค.5.4.2 สำหรับการใช้ตัวฝังยึดแบบมีหัวหลายตัวที่มีการฝังลึกใกล้ขอบ ($h_{ef} > 2.5c_{a1}$) และระยะระหว่างตัวฝังยึดน้อยกว่า $6c_{a1}$ กำลังระบุของตัวฝังยึดเหล่านั้น N_{sbg} ควรมีค่าไม่เกิน

$$N_{sbg} = (1+\frac{s}{6c_{a1}})N_{sb} \qquad \text{(ค.17)}$$

เมื่อ s คือระยะระหว่างตัวฝังยึดอันนอกไปตามแนวขอบ และ N_{sb} ได้มาจากสมการที่ (ค.16) โดยไม่ต้องปรับแก้ระยะขอบ c_{a2}

ค.5.5 กำลังยึดหน่วงของตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะรับแรงดึง

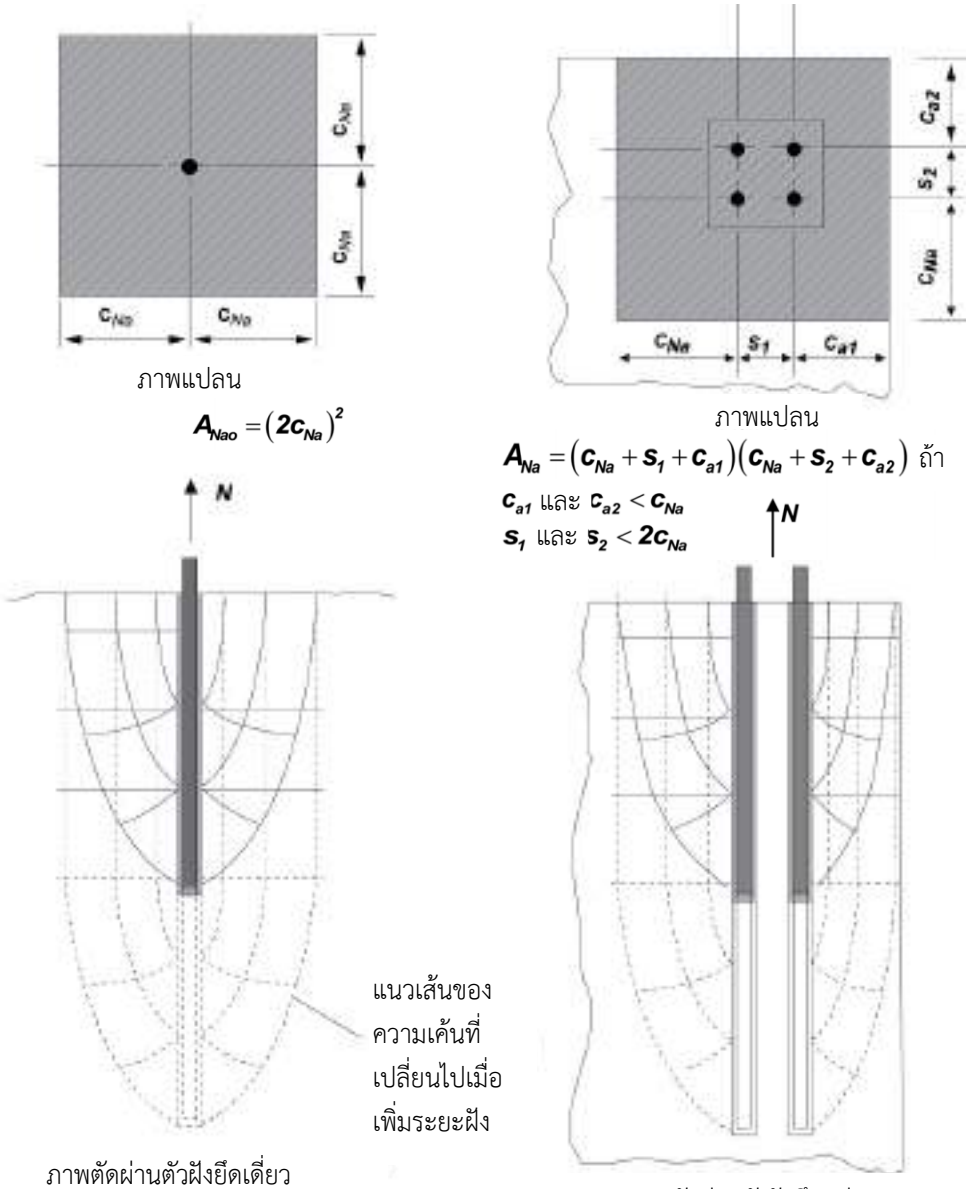
ค.5.5.1 กำลังยึดหน่วงระบุรับแรงดึง N_a ของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือ N_{ag} ของกลุ่มตัวฝังยึด ต้องมีค่าไม่เกิน

(ก) สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวแบบใช้สารยึดเกาะ

$$N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{ba} \qquad \text{(ค.18)}$$

(ข) สำหรับตัวฝังยึดกลุ่มแบบใช้สารยึดเกาะ

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \psi_{ec,Na} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{ba} \qquad \text{(ค.19)}$$



รูปที่ ค.7 การคำนวณพื้นที่ผลกระทบ A_{Nao} และ A_{Na} [12]

ได้กำหนดตัวคูณปรับแก้ $\psi_{ec,Na}$, $\psi_{ed,Na}$ และ $\psi_{cp,Na}$ ไว้ในข้อที่ ค.5.5.3, ค.5.5.4 และ ค.5.5.5 ตามลำดับ โดยที่ A_{Na} คือพื้นที่ผลกระทบของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือตัวฝังยึดกลุ่มแบบใช้สารยึดเกาะที่มีรูปร่างเป็นฐานของรูปพีระมิดซึ่งฉายพื้นผิวผลกระทบด้านนอกเป็นระยะ c_{Na} จากแนวกลางของตัวฝังยึดหรือจากเส้นที่ผ่านแถวของตัวฝังยึดที่อยู่ติดกันในกรณีที่เป็นตัวฝังยึดกลุ่ม โดย A_{Na} ต้องมีค่าไม่เกิน nA_{Nao} เมื่อ n คือจำนวนตัวฝังยึดในกลุ่มที่ต้านแรงดึง A_{Nao} คือพื้นที่ผลกระทบของของตัวฝังยึดเดี่ยวที่มีระยะขอบมากกว่าหรือเท่ากับ c_{Na}

$$A_{Nao} = 2c_{Na}{}^2 \qquad \text{(ค.20)}$$

$$c_{Na} = 10d_a\sqrt{\frac{\tau_{uncr}}{7.6}} \qquad \text{(ค.21)}$$

ค.5.5.2 กำลังยึดหน่วงพื้นฐานของตัวฝังยึดเดี่ยวแบบใช้สารยึดเกาะรับแรงดึงในคอนกรีตที่แตกร้าว N_{ba} มีค่าไม่เกิน

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi\, d_a h_{ef} \qquad \text{(ค.22)}$$

หน่วยแรงยึดหน่วง τ_{cr} ใช้ค่าจากผลการทดสอบและประเมินตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ

สำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะที่ใช้ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าคอนกรีตไม่มีการแตกร้าวในขณะใช้งาน สามารถใช้ค่า τ_{uncr} แทนที่ τ_{cr} ในสมการที่ (ค.22) โดยใช้ τ_{uncr} จากผลการทดสอบและประเมินตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ

เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัด f_c' ไม่น้อยกว่า 17 MPa และมีอายุไม่น้อยกว่า 21 วัน สามารถใช้ค่าหน่วยแรงยึดหน่วงดังนี้

กรณีใช้ภายนอกอาคาร τ_{cr} = 1.4 MPa และ τ_{uncr} = 4.5 MPa
กรณีใช้ภายในอาคาร τ_{cr} = 2.1 MPa และ τ_{uncr} = 7.0 MPa

โดยให้คูณ τ_{cr} และ τ_{uncr} ด้วยค่า 0.4 เมื่อใช้ต้านทานแรงดึงคงค้าง และเมื่อใช้ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้คูณ τ_{cr} ด้วยค่า 0.8 และ τ_{uncr} ด้วยค่า 0.4

ค.5.5.3 ตัวคูณปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดกลุ่มซึ่งรับแรงดึงเยื้องศูนย์ $\psi_{ec,Na}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\psi_{ce,Na} = \frac{1}{\left(1+\frac{e'_N}{c_{Na}}\right)} \qquad \text{(ค.23)}$$

แต่ $\psi_{ec,Na}$ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0

ในกรณีที่กลุ่มตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะมีเพียงบางตัวฝังยึดที่รับแรงดึง ให้คิดเฉพาะตัวฝังยึดที่รับแรงดึงเท่านั้นในการหาค่าการเยื้องศูนย์ e'_N สำหรับใช้ในสมการที่ (ค.23) และสำหรับการคำนวณค่า N_{ag} ตามสมการที่ (ค.19)

ในกรณีที่มีแรงเยื้องศูนย์เกิดขึ้นในสองแกนซึ่งตั้งฉากกัน ตัวคูณปรับแก้ $\psi_{ec,Na}$ ในสมการที่ (ค.19) จะใช้ผลคูณของตัวคูณปรับแก้ทั้งสองค่าในแต่ละแกน

ค.5.5.4 ตัวคูณปรับแก้สำหรับผลกระทบของขอบ $\psi_{ed,Na}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ถ้า $c_{a,\min} \geq c_{Na}$ ใช้ค่า $\psi_{ed,Na} = 1.0$ (ค.24)

ถ้า $c_{a,\min} < c_{Na}$ ใช้ค่า $\psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a,\min}}{c_{Na}}$ (ค.25)

ค.5.5.5 ตัวคูณปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะสำหรับคอนกรีตที่ไม่แตกร้าวตามข้อที่ ค.5.5.2 ที่ไม่มีการเสริมกำลังเสริมเพิ่มเติมเพื่อควบคุมการแยกตัว สามารถคำนวณ $\psi_{cp,Na}$ ได้ดังนี้

ถ้า $c_{a,\min} \geq c_{ac}$ ใช้ค่า $\psi_{cp,Na} = 1.0$ (ค.26)

ถ้า $c_{a,\min} < c_{ac}$ ใช้ค่า $\psi_{cp,Na} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}}$ (ค.27)

แต่ $\psi_{cp,Na}$ ที่กำหนดจากสมการที่ (ค.27) จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า c_{Na} / c_{ac} สำหรับกรณีอื่น ๆ $\psi_{cp,Na}$ จะต้องมีค่าเท่ากับ 1.0

ค.6 ข้อกำหนดการออกแบบสำหรับแรงเฉือน

ค.6.1 กำลังเหล็กของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

ค.6.1.1 ต้องประเมินค่ากำลังระบุของตัวฝังยึดรับแรงเฉือนที่ควบคุมโดยเหล็ก V_{sa} โดยการคำนวณจากคุณสมบัติของวัสดุและขนาดทางกายภาพของตัวฝังยึด

ค.6.1.2 กำลังระบุของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน V_{sa} ต้องมีค่าไม่เกินค่าในข้อ (ก) ถึง (ค)

(ก) สำหรับตัวฝังยึดแท่งเหล็กแบบมีหัวชนิดติดตั้งก่อน

$$V_{sa} = A_{se,V} f_{uta} \quad \text{(ค.28)}$$

เมื่อ $A_{se,V}$ คือพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของตัวฝังยึดในแรงเฉือน และ f_{uta} จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 1.9 f_{ya} และ 860 MPa

(ข) สำหรับตัวฝังยึดสลักเกลียวแบบมีหัวและสลักเลียวแบบตะขอชนิดติดตั้งก่อนและสำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังซึ่งปลอกหุ้มไม่หุ้มตลอดระนาบแรงเฉือน

$$V_{sa} = 0.6 A_{se,V} f_{uta} \quad \text{(ค.29)}$$

(ค) สำหรับตัวฝังยึดแบบติดตั้งภายหลังซึ่งปลอกหุ้มหุ้มตลอดระนาบแรงเฉือน V_{sa} จะขึ้นอยู่กับผลของการทดสอบและผลประเมินตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ โดยสามารถใช้สมการที่ (ค.29) เป็นทางเลือกในการคำนวณได้

ค.6.2 กำลังแตกหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

ค.6.2.1 กำลังแตกหลุดระบุของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน V_{cb} ของตัวฝังยึดเดี่ยวหรือ V_{cbg} ของกลุ่มตัวฝังยึดจะต้องมีค่าไม่เกิน

(ก) สำหรับแรงเฉือนที่ตั้งฉากกับขอบบนตัวฝังยึดเดี่ยว

$$V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \qquad \text{(ค.30)}$$

(ข) สำหรับแรงเฉือนที่ตั้งฉากกับขอบบนกลุ่มตัวฝังยึด

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \qquad \text{(ค.31)}$$

(ค) สำหรับแรงเฉือนที่ขนานกับขอบ V_{cb} หรือ V_{cbg} ให้มีค่าเป็น 2 เท่าของแรงเฉือนที่คำนวณจากสมการที่ (ค.30) หรือ (ค.31) ตามลำดับ โดยใช้ค่า $\psi_{ed,V}$ เท่ากับ 1.0

(ง) สำหรับตัวฝังยึดที่วางไว้ที่มุม กำลังคอนกรีตรองที่จำกัดจะถูกกำหนดให้กับทุกขอบ และจะเลือกใช้ค่าที่ต่ำที่สุด

ตัวคูณ $\psi_{ec,V}$, $\psi_{ed,V}$, $\psi_{c,V}$ และ $\psi_{h,V}$ กำหนดไว้ในข้อที่ ค.6.2.5, ค.6.2.6, ค.6.2.7 และ ค.6.2.8 ตามลำดับ

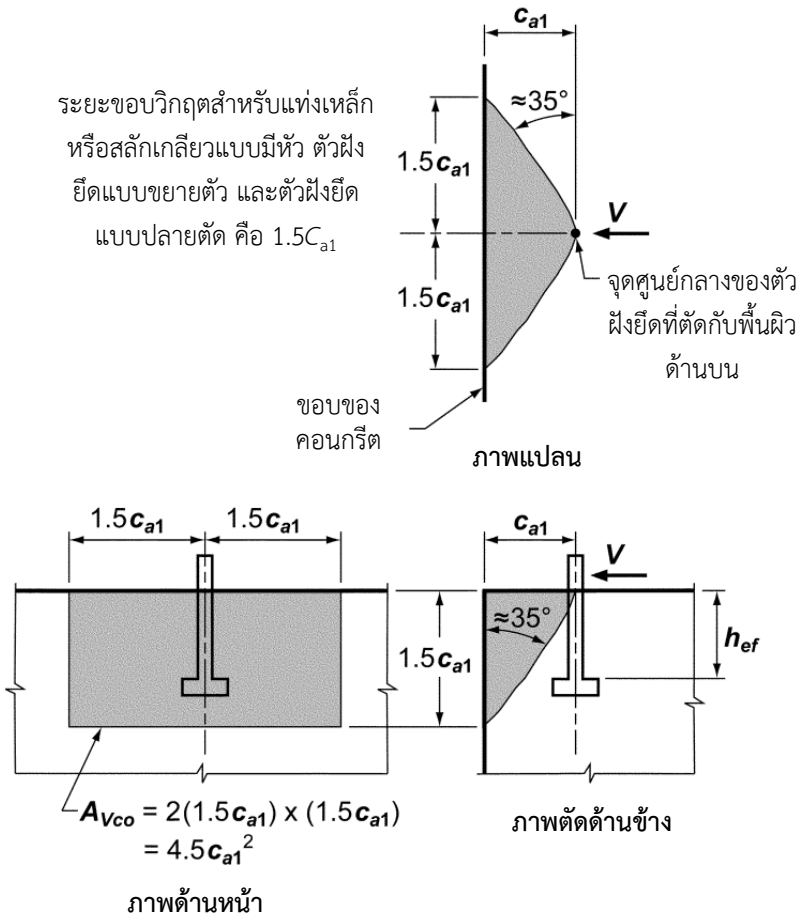
V_b คือค่ากำลังแตกออกของคอนกรีตพื้นฐานสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว

A_{Vc} คือพื้นที่ฉายของพื้นผิวการวิบัติที่ด้านข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณขอบของมัน สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือกลุ่มตัวฝังยึด สามารถหา A_{Vc} จากฐานของครึ่งพีรามิดที่ฉายไปบนผิวด้านข้างของชิ้นส่วนซึ่งยอดของครึ่งพีรามิดได้มาจากแกนของแถวตัวฝังยึดที่วิกฤติ ค่าของ c_{a1} กำหนดโดยใช้ระยะจากขอบถึงแกนนี้ ค่า A_{Vc} ต้องไม่เกิน nA_{Vco} เมื่อ n คือจำนวนตัวฝังยึดในกลุ่ม

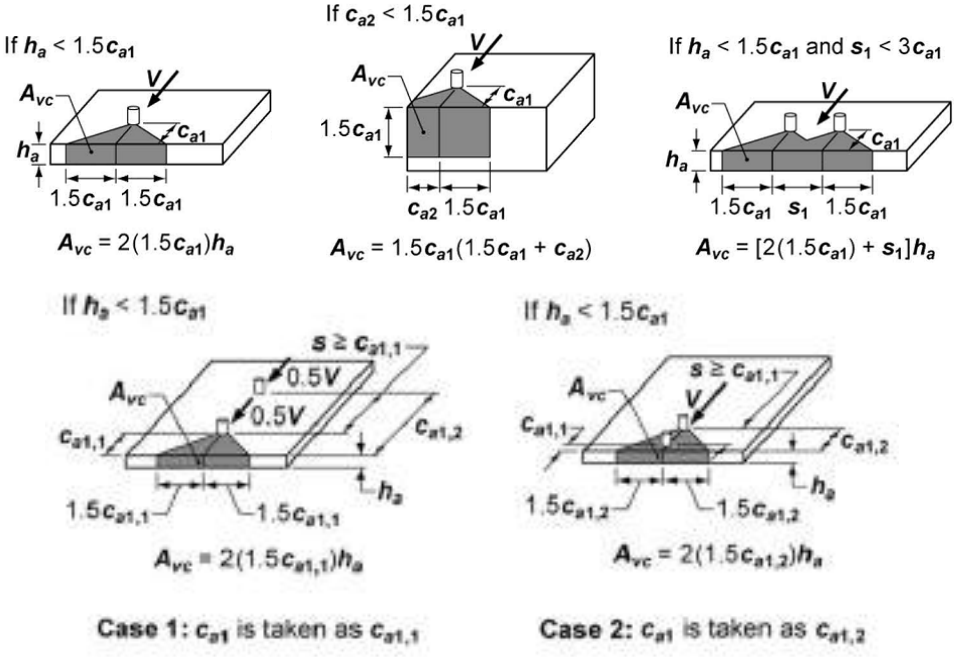
A_{Vco} คือพื้นที่ฉายสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวในชิ้นส่วนหนากับระยะจากขอบที่มากกว่าหรือเท่ากับ $1.5c_{a1}$ ในทิศตั้งฉากกับแรงเฉือน สามารถหา A_{Vco} จากฐานของครึ่งพีรามิดกับความยาวด้านข้างที่ขนานกับขอบของ $3c_{a1}$ และความลึกของ $1.5c_{a1}$

$$A_{Vco} = 4.5(c_{a1})^2 \qquad \text{(ค.32)}$$

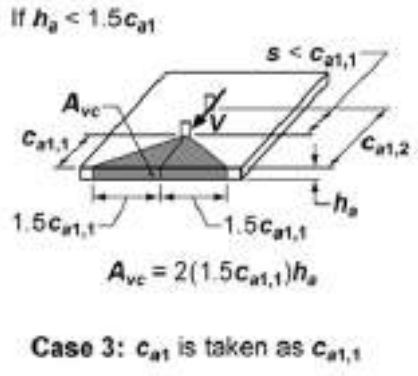
เมื่อวางตัวฝังยึดหลายตัวไว้ที่ระยะต่าง ๆ จากขอบและตัวฝังยึดถูกเชื่อมยึดกับแผ่นเหล็กหรืออุปกรณ์ยึดที่สามารถกระจายแรงให้ทุกตัวฝังยึด ให้ประเมินกำลังโดยใช้ระยะจากขอบถึงแถวที่ไกลที่สุดของตัวฝังที่วิกฤติ และสมมุติให้แถวตัวฝังยึดวิกฤตินี้รับแรงเฉือนทั้งหมดไว้



รูปที่ ค.8 การคำนวณค่า A_{Vco} [12]

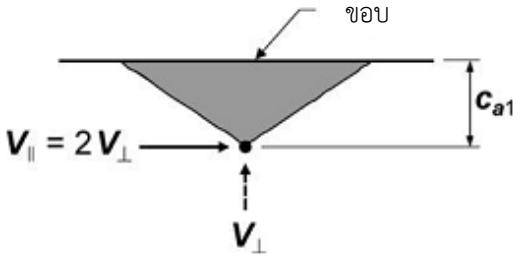


กรณี $S \geq C_{a1,1}$ ควรตรวจสอบกำลังโดยสมมุติทั้ง Case 1 และ Case 2
เพื่อหาค่าที่ควบคุมการออกแบบ

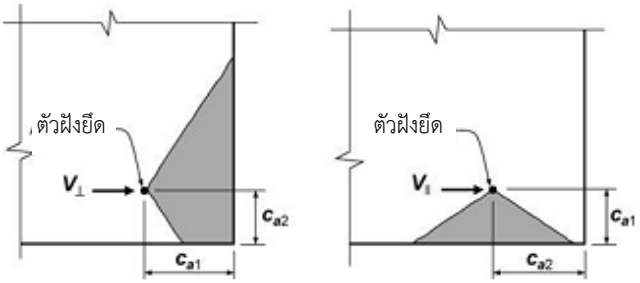


กรณี $S < C_{a1,1}$ ควรตรวจสอบกำลังโดยใช้ Case 3 ซึ่งสมมุติแรงเฉือน
ทั้งหมดให้กระทำที่ Anchor ตัวหน้าสุด

รูปที่ ค.9 การคำนวณค่า A_{Vc} [12]



แรงเฉือนขนานขอบ



แรงเฉือนใกล้มุม

รูปที่ ค.10 แรงเฉือนขนานขอบและแรงเฉือนใกล้มุม [12]

ค.6.2.2 กำลังแตกหลุดของคอนกรีตพื้นฐานรับแรงเฉือนของตัวฝังยึดเดี่ยวในคอนกรีตร้าว V_b ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าค่าใน (ก) และ (ข)

(ก) $$V_b = 0.6\left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\lambda_a\sqrt{f'_c}\left(c_{a1}\right)^{1.5} \quad \text{(ค.33)}$$

เมื่อ l_e คือความยาวของระยะแบกทานที่รับแรงเฉือน

$l_e = h_{ef}$ สำหรับตัวฝังยึดที่มีค่าสติฟเนสคงที่ตลอดความยาวของการฝัง เช่น สลักแบบมีหัว หรือ ตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลังที่มีปลอกเป็นปล้องเดียวตลอดความยาวของการฝัง

$l_e = 2d_a$ สำหรับตัวฝังยึดแบบขยายตัวที่ใช้การขันบิด ซึ่งมีปลอกของตัวยึดแยกต่างหากจากปลอกของการเบ่ง โดยที่

$l_e \le 8d_a$ ในทุกกรณี

(ข) $$V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5} \quad \text{(ค.34)}$$

ค.6.2.3 สำหรับหมุดหัวต่อที่ติดตั้งก่อน สลักเกลียวหัวต่อ หรือสลักเกลียวตะขอที่ถูกตอกกับอุปกรณ์ยึดติดเหล็กอย่างต่อเนื่องที่มีความหนาน้อยที่สุดเท่ากับค่าที่มากกว่าของ 10 mm และครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวฝังยึด กำลังการแตกออกของคอนกรีตพื้นฐานในแรงเฉือนของตัวฝังยึดเดี่ยวในคอนกรีตที่มีรอยร้าวจะเป็นค่าที่น้อยกว่าของสมการที่ (ค.34) และ (ค.35)

$$V_b = 0.66\left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5} \qquad \text{(ค.35)}$$

เมื่อ l_e กำหนดในข้อที่ ค.6.2.2 โดยที่

(ก) สำหรับกลุ่มตัวฝังยึด กำลังถูกกำหนดบนพื้นฐานของกำลังของแถวของตัวฝังยึดที่ไกลจากขอบมากที่สุด

(ข) ระยะของตัวฝังยึด s ไม่น้อยกว่า 65 mm และ

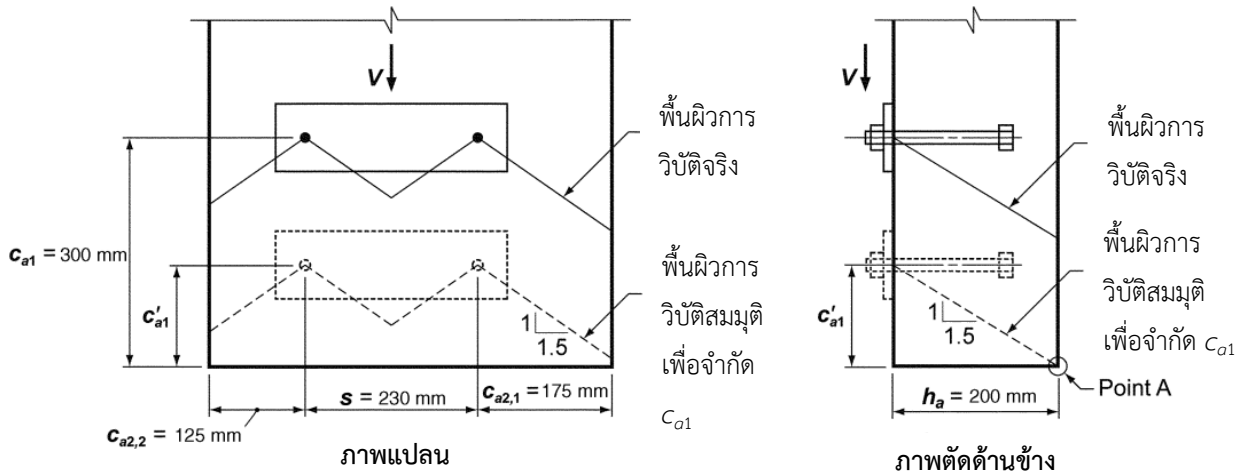
(ค) ต้องจัดให้มีเหล็กเสริมที่ขอบ ถ้า $c_{a2} \le 1.5h_{ef}$

ค.6.2.4 เมื่อตัวฝังยึดถูกวางในส่วนที่แคบของความหนาที่ถูกจำกัดที่ทั้งระยะขอบ c_{a2} และความหนา h_a น้อยกว่า $1.5c_{a1}$ ค่าของ c_{a1} ที่ใช้ในการคำนวณ A_{Vc} ตามข้อที่ ค.6.2.1 เช่นเดียวกันกับในสมการที่ (ค.32) ถึง (ค.39) จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่มากที่สุดของ

(ก) $c_{a2}/1.5$ เมื่อ c_{a2} คือระยะขอบที่ใหญ่ที่สุด

(ข) $h_a/1.5$ และ

(ค) $s/3$ เมื่อ s คือช่องว่างที่มากที่สุดที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงเฉือน ระหว่างตัวฝังยึดภายในกลุ่มเดียวกัน



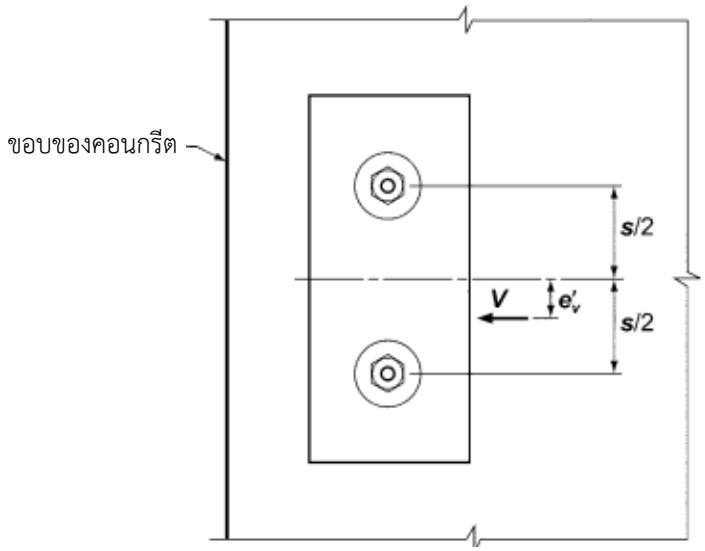
รูปที่ ค.11 ตัวอย่างตัวฝังยึดที่ติดตั้งในชิ้นส่วนแคบและความหนาจำกัด [12]

ค.6.2.5 คำนวณตัวคูณปรับแก้การเยื้องศูนย์สำหรับตัวฝังยึดกลุ่มซึ่งรับแรงเฉือน $\psi_{ec,V}$ ได้ดังนี้

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_V}{3c_{a1}}\right)} \qquad \text{(ค.36)}$$

แต่ $\psi_{ec,V}$ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0

ถ้าแรงกระทำบนกลุ่มตัวฝังยึดทำให้เกิดแรงเฉือนบนตัวฝังยึดบางตัวเท่านั้นที่รับแรงเฉือนในทิศทางเดียวกัน ให้พิจารณาเฉพาะตัวฝังยึดที่รับแรงเฉือนในทิศทางเดียวกันในการคำนวณค่า e'_V สำหรับใช้ในสมการที่ (ค.36) และสำหรับการคำนวณ V_{cbg} ตามสมการที่ (ค.31)



ภาพแปลน

รูปที่ ค.12 แสดงนิยามของ e'_V สำหรับตัวฝังยึดแบบกลุ่ม [12]

ค.6.2.6 คำนวณตัวคูณปรับแก้สำหรับผลกระทบขอบสำหรับตัวฝังยึดเดี่ยวหรือกลุ่มตัวฝังยึดที่รับแรงเฉือน $\psi_{ed,V}$ ได้ดังต่อไปนี้ โดยการใช้ค่า c_{a2} ที่น้อยกว่า

ถ้า $c_{a2} \geq 1.5c_{a1}$ แล้ว $\psi_{ed,V} = 1.0$ (ค.37)

ถ้า $c_{a2} < 1.5c_{a1}$ แล้ว $\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}}$ (ค.38)

ค.6.2.7 สำหรับตัวฝังยึดที่วางอยู่ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าไม่เกิดการแตกร้าวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน สามารถใช้ตัวคูณปรับแก้ต่อไปนี้

$\psi_{c,V}$ = 1.4

สำหรับตัวฝังยึดที่วางอยู่ในบริเวณที่การวิเคราะห์ระบุว่าเกิดการแตกร้าวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน สามารถใช้ค่าตัวคูณปรับแก้ดังต่อไปนี้

$\psi_{c,V}$ = 1.0 กรณีไม่มีเหล็กเสริมเพิ่มเติม หรือมีเหล็กเสริมที่ขอบขนาดเล็กกว่า 12 mm

$\psi_{c,V}$ = 1.2 กรณีมีเหล็กเสริมเพิ่มเติมขนาดไม่ต่ำกว่า 12 mm ระหว่างตัวฝังยึดและขอบ

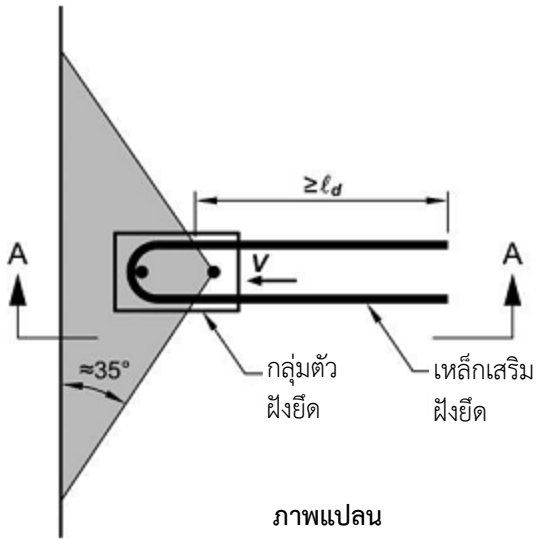
$\psi_{c,V}$ = 1.4 กรณีมีเหล็กเสริมเพิ่มเติมขนาดไม่ต่ำกว่า 12 mm ระหว่างตัวยึดและขอบ และมีการเสริมเหล็กปลอกรัดรอบด้วยระยะเรียงไม่เกิน 100 mm

ค.6.2.8 ตัวคูณปรับแก้สำหรับตัวฝังยึดที่วางในชิ้นส่วนคอนกรีตซึ่ง $h_a < 1.5c_{a1}$ สามารถคำนวณ $\psi_{h,V}$ ได้ดังนี้

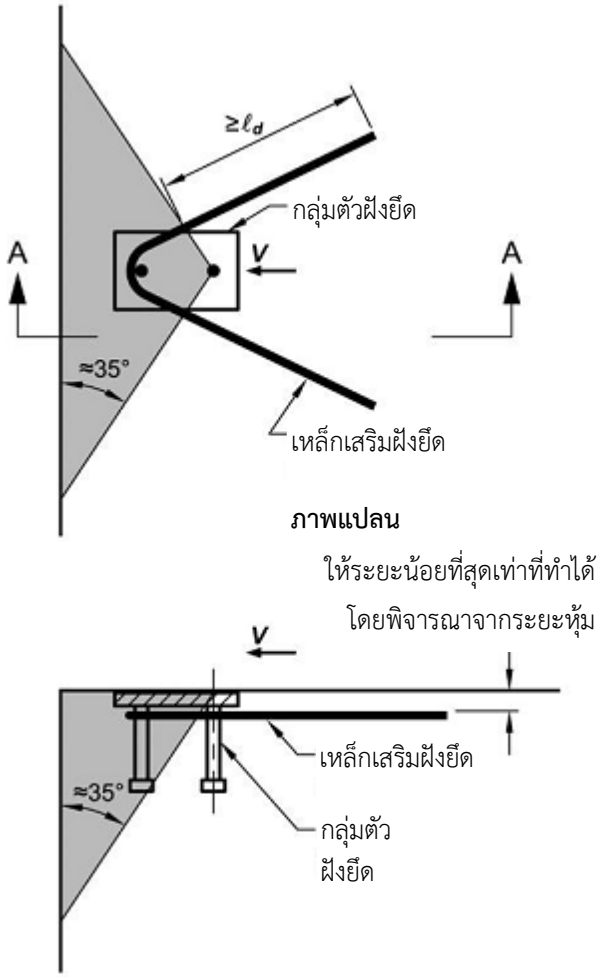
$$\psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \qquad \text{(ค.39)}$$

โดย $\psi_{h,V}$ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.0

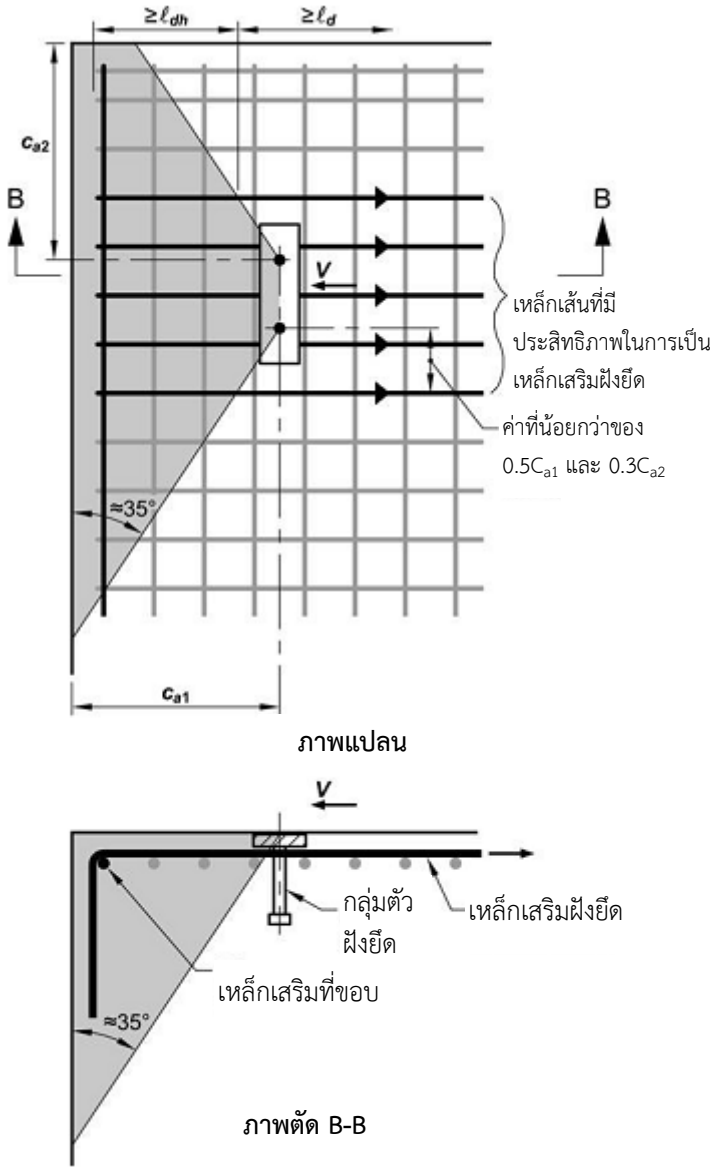
ค.6.2.9 กรณีมีการใส่เหล็กเสริมฝังยึดช่วยยึดรั้งทั้ง 2 ฝั่งของผิวการวิบัติแบบแตกหลุด โดยมีระยะฝังไม่น้อยกว่าระยะพัฒนาที่ต้องการ สามารถใช้กำลังที่ออกแบบของเหล็กเสริมฝังยึดแทนกำลังแตกหลุดของคอนกรีตในการหา ϕV_n และควรใช้ค่า ϕ = 0.85 ในการออกแบบเหล็กเสริมฝังยึด



ภาพแปลน



รูปที่ ค.13 เหล็กเสริมฝังยึดรับแรงเฉือน [12]



รูปที่ ค.14 เหล็กเสริมที่ขอบและเหล็กเสริมฝังยึดรับแรงเฉือน [12]

ค.6.3 กำลังงัดหลุดของคอนกรีตของตัวฝังยึดรับแรงเฉือน

ค.6.3.1 กำลังงัดหลุดระบุ V_{cp} สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว หรือ V_{cpg} สำหรับกลุ่มตัวฝังยึดจะต้องมีค่าไม่เกิน

(ก) สำหรับตัวฝังยึดเดี่ยว

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cp} \qquad \text{(ค.40)}$$

สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน ตัวฝังยึดแบบขยายตัวและแบบปลายตัด ให้ใช้ค่า N_{cp} จากการคำนวณค่า N_{cb} ในสมการที่ (ค.3) และสำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ ให้ใช้ค่า N_{cp} จากค่าที่น้อยกว่าระหว่างค่า N_a ที่คำนวณจากสมการที่ (ค.18) และค่า N_{cb} ที่คำนวณจากสมการที่ (ค.3)

(ข) สำหรับกลุ่มตัวฝังยึด

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cpg} \qquad \text{(ค.41)}$$

สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อน ตัวฝังยึดแบบขยายตัวและแบบปลายตัด ให้ใช้ค่า N_{cpg} จากการคำนวณค่า N_{cbg} ในสมการ (ค.4) และสำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ ให้ใช้ค่า N_{cpg} จากค่าที่น้อยกว่าระหว่างค่า N_{ag} ที่คำนวณจากสมการที่ (ค.19) และค่า N_{cbg} ที่คำนวณจากสมการที่ (ค.4)

ในสมการที่ (ค.40) และ (ค.41) ให้ใช้ค่า $k_{cp} = 1.0$ สำหรับ $h_{ef} < 65$ mm และ $k_{cp} = 2.0$ สำหรับ $h_{ef} \geq 65$ mm

ค.7 ปฏิสัมพันธ์ของแรงดึงและแรงเฉือน

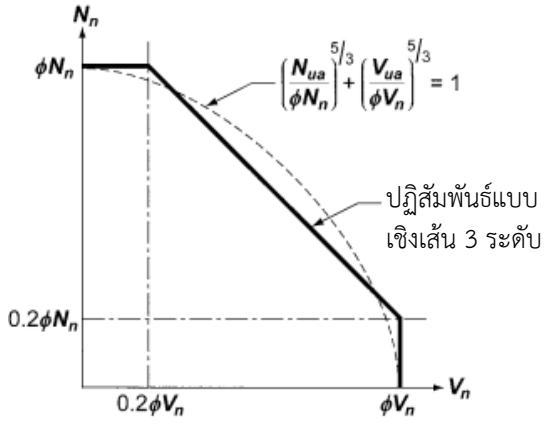
ถ้าไม่ได้ใช้ข้อกำหนดตามข้อที่ ค.4.1.3 ตัวฝังยึดหรือกลุ่มตัวฝังยึดที่รับทั้งแรงตามแกนและแรงเฉือน จะต้องออกแบบตามข้อกำหนดในข้อที่ ค.7.1 ถึง ค.7.3 โดยค่าของ ϕN_n และ ϕV_n เป็นค่ากำลังที่ต้องการตามที่กำหนดในข้อที่ ค.4.1.1 หรือข้อที่ ค.3.3

ค.7.1 ถ้า $\frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 0.2$ สำหรับกำลังควบคุมด้วยแรงเฉือนแล้ว สามารถใช้กำลังดึงทั้งหมดในการออกแบบได้ กล่าวคือ $\phi N_n \geq N_{ua}$

ค.7.2 ถ้า $\frac{N_{ua}}{\phi N_n} \leq 0.2$ สำหรับกำลังควบคุมด้วยแรงดึงแล้ว สามารถใช้กำลังเฉือนทั้งหมดในการออกแบบได้ กล่าวคือ $\phi V_n \geq V_{ua}$

ค.7.3 ถ้าไม่เป็นไปตามข้อที่ ค.7.1 และ ค.7.2 แล้ว ให้ใช้สมการปฏิสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1.2 \qquad \text{(ค.42)}$$



รูปที่ ค.15 แสดงปฏิสัมพันธ์ของแรงดึงและแรงเฉือน [12]

ค.8 ระยะขอบ ระยะห่างและความหนาที่ต้องการ เพื่อป้องกันการวิบัติจากรอยแตกร้าวแบบแยก

ระยะห่างและระยะขอบน้อยที่สุดสำหรับตัวฝังยึดและความหนาน้อยที่สุดของชิ้นส่วนโครงสร้างจะต้องเป็นไปตามข้อที่ ค.8.1 ถึง ค.8.6 นอกจากจะมีเหล็กเสริมเพิ่มเติมเพื่อควบคุมการแยกตัว สามารถใช้ค่าที่น้อยกว่าได้ โดยมีผลการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะ ที่ดำเนินการตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ

ค.8.1 หากไม่ได้คำนวณตามข้อที่ ค.8.4 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางที่น้อยที่สุดของตัวฝังยึดจะเท่ากับ $4d_a$ สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อนซึ่งไม่ถูกขันแน่น และ $6d_a$ สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อนที่ถูกขันแน่น และตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง

ค.8.2 หากไม่ได้คำนวณตามข้อที่ ค.8.4 ระยะขอบที่น้อยที่สุดสำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อนซึ่งไม่ถูกขันแน่นจะใช้ระยะหุ้มของเหล็กเสริม กรณีตัวฝังยึดชนิดติดตั้งก่อนที่ถูกขันแน่นระยะขอบที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ $6d_a$

ค.8.3 หากไม่ได้คำนวณตามข้อที่ ค.8.4 ระยะขอบที่น้อยที่สุดสำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลังจะใช้ค่าที่มากกว่าระหว่างระยะหุ้มของเหล็กเสริมหรือสองเท่าของขนาดมวลรวมที่ใหญ่ที่สุด โดยระยะขอบที่น้อยที่สุดต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

ตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ ..... $6d_a$

ตัวฝังยึดแบบปลายตัด ..... $6d_a$

ตัวฝังยึดแบบควบคุมด้วยการขัน ..... $8d_a$

ตัวฝังยึดแบบควบคุมด้วยระยะเคลื่อนตัว ..... $10d_a$

ค.8.4 สำหรับตัวฝังยึดที่การติดตั้งไม่ก่อให้เกิดแรงแยกตัวและที่ไม่ถูกขันแน่น ถ้าระยะขอบหรือระยะห่างระหว่างตัวฝังยึดน้อยกว่าที่ระบุไว้ในข้อที่ ค.8.1 ถึง ค.8.3 ในการคำนวณสามารถแทน d_a ด้วยค่า d'_a ที่น้อยกว่าซึ่งผ่านตามข้อกำหนดของข้อที่ ค.8.1 ถึง ค.8.3 โดยการคำนวณแรงต่าง ๆ ที่ทำกับตัวฝังยึดให้ใช้ค่าที่ได้จากตัวฝังยึดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d'_a

ค.8.5 ถ้าไม่ได้ประเมินจากผลการทดสอบตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ ค่าของ h_{ef} สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลังแบบปลายตัดหรือแบบขยายตัว ต้องมีค่าไม่เกินค่าที่มากกว่าของ (2/3)h_a และ h_a - 100 mm เมื่อ h_a คือ ความหนาชิ้นส่วน

ค.8.6 ถ้าไม่ได้ถูกกำหนดจากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานที่น่าเชื่อถือ ระยะขอบวิกฤติ c_{ac} จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

ตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ ..... $2h_{ef}$

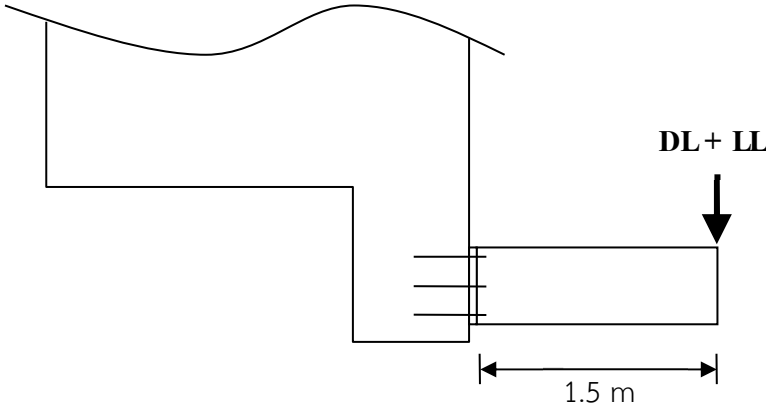
ตัวฝังยึดแบบปลายตัด ..... $2.5h_{ef}$

ตัวฝังยึดแบบควบคุมด้วยการขัน ..... $4h_{ef}$

ตัวฝังยึดแบบควบคุมด้วยระยะเคลื่อนตัว ..... $4h_{ef}$

ค.8.7 เอกสารก่อสร้างต้องระบุการใช้งานตัวฝังยึดด้วยระยะขอบที่น้อยที่สุดที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบ

<u>ตัวอย่างการออกแบบอุปกรณ์ฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ</u>



M_{ux} = 51,000 kN-mm

V_{ua} = 34 kN

ข้อกำหนด V_{ua} = 34 kN และ M_{ux} = 51,000 kN-mm

f'_c = 32 MPa (กำลังคอนกรีตทรงกระบอกที่ 28 วัน)

Threaded Anchor - ขนาด d_a = 25 mm

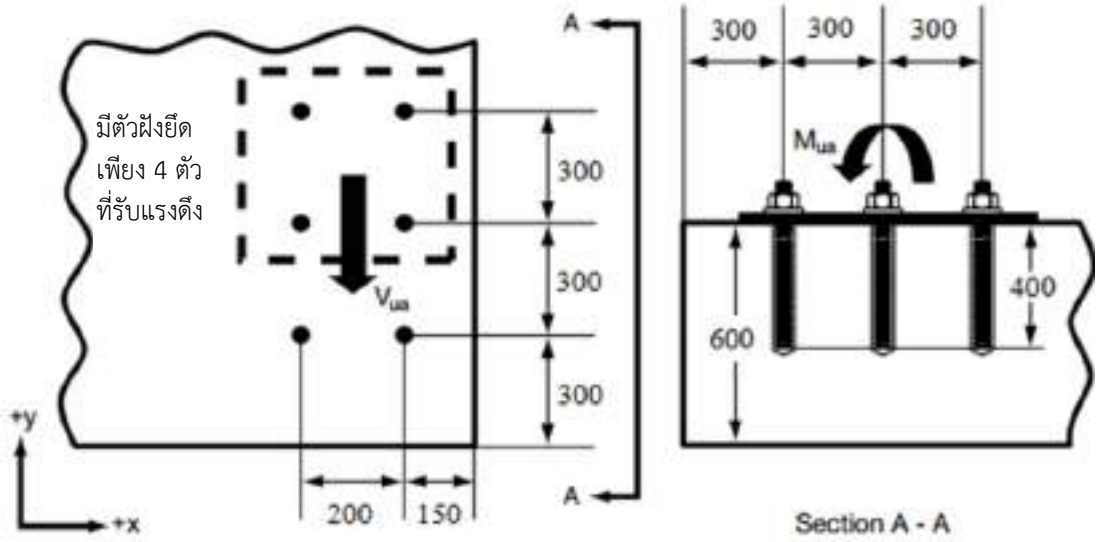
h_{ef} = 400 mm, f_{ya} = 600 MPa, f_{uta} = 750 MPa, A_{se} = 390 mm^2

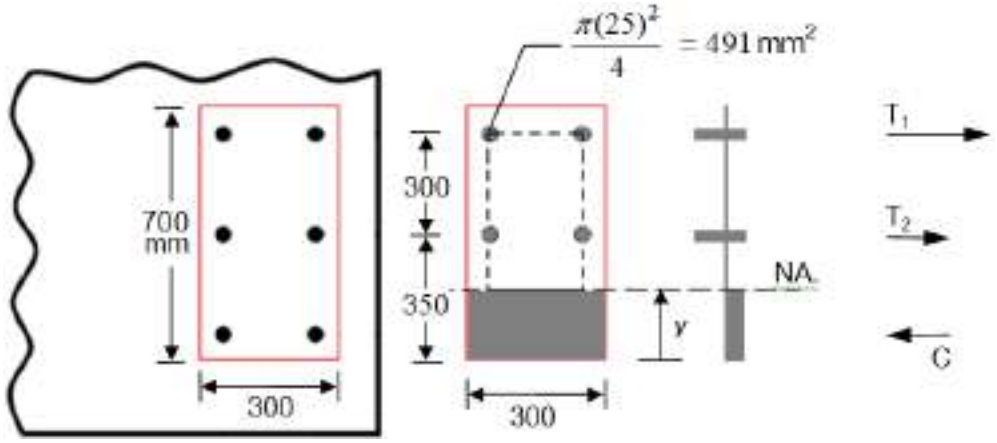
น้ำยาเคมี – bond stress, τ_{cr} = 6,6 MPa, τ_{uncr} = 10.1 MPa (ข้อมูลจากผู้ผลิต)

สมมุติให้ คอนกรีตแตกร้าว (Cracked concrete)

ความหนาชิ้นส่วนหลัก h_a = 600 mm

ใช้เงื่อนไข B สำหรับค่า ϕ





หาตำแหน่งแกนสะเทิน (NA.), y

2(491)(650-y)+2(491)(350- y) = 300(y)(y/2) → จะได้ว่า y = 74.6 mm

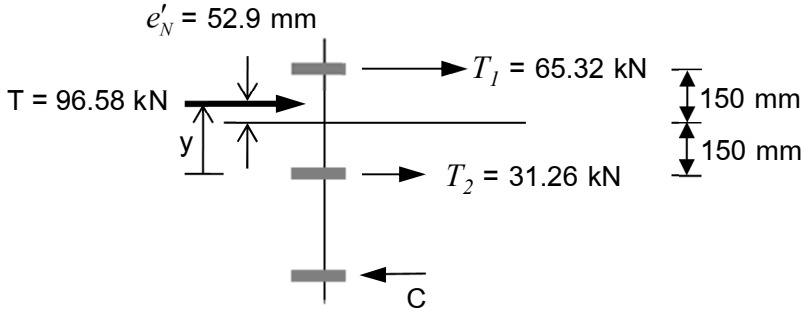
หาโมเมนต์ความเฉื่อย (*I*),

I = 2(491)(650-74.6)^2+2(491)(350-74.6)^2+300(74.6)^3/3 = 441.12x10^6 cm^4

ดังนั้นหาแรงดึง T_1 และ T_2 ได้จาก

$$T_1 = (\frac{Mc}{I})A = \frac{(51,000)(650-74.6)}{441.12\times10^6}(491) = 32.66 \text{ kN/ตัว}$$

$$T_2 = (\frac{Mc}{I})A = \frac{(51,000)(350-74.6)}{441.12\times10^6}(491) = 15.63 \text{ kN/ตัว}$$



รอบ T_2 จะได้ว่า $(T)(y) = (T_1)(300)$

y = (65.32)(300)/96.58 = 202.9 mm

ดังนั้น e'_N = 202.9 – 150 = 52.9 mm

<u>การตรวจสอบ</u>:

- *ข้อกำหนดด้านระยะและการจัดวาง และความหนา*
- *กำลังดึง*
- *กำลังเฉือน*
- *ปฏิสัมพันธ์ของแรงดึงและแรงเฉือน*

1) ข้อกำหนดเกี่ยวกับระยะขอบ ระยะห่าง และความหนา เพื่อป้องกันการวิบัติแบบปริแตก

- ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง (h)

  สำหรับตัวฝังยึดชนิดติดตั้งภายหลัง, $s \geq 6d_a$

  $s_{\min}$ = 200 mm ≥ $6d_a$ = 6(25) = 150 mm **<u>OK</u>**

- ตรวจสอบระยะฝัง (สำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ)

  $4d_a \leq h_{ef} \leq 20d_a$

  h_{ef} = 400 cm = 16 d_a **<u>OK</u>**

- ระยะขอบน้อยที่สุด ($c_{a,\min}$)

  สำหรับตัวฝังยึดแบบใช้สารยึดเกาะ $c_{a,\min} \geq 6\,d_a$

  $c_{a,\min}$ = 150 mm ≥ 6(25) = 150 mm **<u>OK</u>**

2) กำลังดึง

$\phi N_n \geq N_{ua}$ โดย ϕN_n จะพิจารณาจากรูปแบบการวิบัติต่าง ๆ

- กำลังดึงของเหล็กของอุปกรณ์ฝังยึด (Steel Strength in Tension, ϕN_{sa})

  $N_{sa} = \left(A_{se,N} f_{uta}\right)$

f_{uta} = 750 MPa (น้อยกว่า 1.9 f_{ya} = 1,140 MPa)

$A_{se,N}$ = 390 mm^2

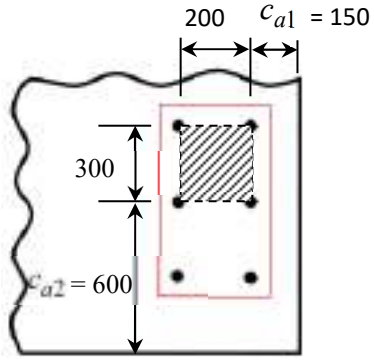
N_{sa} = (390)(750) = 292,500 N

ϕ = 0.8 สำหรับตัวฝังยึดที่รับแรงดึง วิบัติด้วยกำลังของชิ้นส่วนเหล็กที่เหนียว

ϕN_{sa} = 0.8(292,500)/1,000 = 234 kN / T_1 = 32.66 kN ###

- กำลังแตกหลุดของคอนกรีต (Concrete Breakout Strength, ϕN_{cbg}) รับแรงดึง

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b$$



สำหรับ A_{Nc} (ใช้ Anchors 4 ตัว)

1.5 h_{ef} = 1.5(400) = 600 mm

c_{a1} = 150 mm < 1.5 h_{ef} ดังนั้นใช้ 150 mm

c_{a2} = 600 mm = 1.5 h_{ef} ดังนั้นใช้ 600 mm

s_1 = 200 mm และ s_2 = 300 mm

A_{Nc} = (1.5 h_{ef} + s_1 + c_{a1})(1.5 h_{ef} + s_2 + c_{a2})

= (600+200+150)(600+300+600) = 1,425,000 mm^2

$A_{Nco} = 9h_{ef}^2$ = 9(400)^2 = 1,440,000 mm^2

มีแรงดึงเยื้องศูนย์

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{(1+\frac{2e'_N}{3h_{ef}})} = \frac{1}{(1+\frac{2\times 52.9}{3\times 400})} = 0.919$$

ตัวคูณแก้ไขระยะขอบ, $c_{a,\min}$ = 150 mm < 1.5 h_{ef}

ดังนั้น $\psi_{ed,N} = 0.7+0.3\frac{c_{a,\min}}{1.5h_{ef}}$ = 0.7+0.3(150/600) = 0.775

สมมุติคอนกรีตแตกร้าว $\psi_{c,N}$ = 1.0

สมมุติคอนกรีตแตกร้าว $\psi_{cp,N}$ = 1.0

กำลังแตกหลุดพื้นฐาน

$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$ = 7(1)$\sqrt{32}$(400)$^{1.5}$ = 316,783 N

$$N_{cbg} = \frac{1.425.000}{1.440.000}(0.919)(0.775)(1)(1)(316,783) = 223,271 \text{ N}$$

ϕ =0.75 สำหรับตัวฝังยึดที่รับแรงดึง วิบัติด้วยกำลังของคอนกรีต (เงื่อนไข B, ประเภทที่ 1)

ϕN_{cbg} = 0.75(223,271)/1,000 = 167.5 kN / T = 96.58 kN ###

- กำลังยึดหน่วง (Bond Strength) ของ Adhesive Anchors ที่รับแรงดึง, ϕN_{ag}

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \psi_{ec,Na} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{ba}$$

สำหรับ A_{Na}

c_{Na} = $10 d_a \sqrt{\frac{\tau_{uncr}}{7.6}}$ = 10(25) $\sqrt{\frac{10.1}{7.6}}$ = 288.2 mm

c_{a1} = 150 mm < c_{Na} ดังนั้นใช้ 150 mm

c_{a2} = 600 mm > c_{Na} ดังนั้นใช้ 288.2 mm

s_1 = 200 mm และ s_2 = 300 mm < $2c_{Na}$ = 576.4 mm **OK** (คิดเป็นกลุ่มได้)

$A_{Na} = (c_{Na} + s_1 + c_{a1})(c_{Na} + s_2 + c_{a2})$

= (288.2+200+150)(288.2+300+288.2) = 559,300 mm^2

$A_{Nao} = 4c_{Na}^2$ = 4(288.2)^2 = 332,200 mm^2

มีแรงดึงเยื้องศูนย์

$$\psi_{ec,Na} = \frac{1}{(1+\frac{e'_N}{C_{Na}})} = \frac{1}{(1+\frac{52,9}{288,2})} = 0.845$$

ตัวคูณแก้ไขระยะขอบ, $c_{a,\min}$ = 150 mm < c_{Na}

ดังนั้น $\psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a,\min}}{c_{Na}}$ = 0.7+0.3(150/288.2) = 0.856

คอนกรีตแตกร้าวและไม่มีเหล็กเสริมพิเศษ, $\psi_{cp,Na}$ = 1.0

กำลังยึดหน่วงพื้นฐาน

$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef}$ = (1)(6.6)π(25)(400) = 207,350 N

$N_{ag} = \frac{559,300}{332,200}(0.845)(0.856)(1)(207,350)$ = 252,510 N

ϕ=0.75 สำหรับ Anchors ที่รับแรงดึง วิบัติด้วยกำลังของคอนกรีต (เงื่อนไข B, ประเภทที่ 1)

ϕN_{ag} = 0.75(252,510)/1,000 = 189.4 kN / T = 96.58 kN ###

สรุป ϕN_n = ϕN_{cbg} = 167.5 kN / T = 96.58 kN → Concrete Breakout Strength

3) กำลังเฉือน

$\phi V_n \geq V_{ua}$ โดย ϕV_n จะพิจารณาจากรูปแบบการวิบัติต่าง ๆ

- กำลังเฉือนของเหล็กของอุปกรณ์ฝังยึด (Steel Strength in Shear, ϕV_{sa})

  $V_{sa} = n(0.6 A_{se,V} f_{uta})$

  f_{uta} = 750 MPa (น้อยกว่า 1.9 f_{ya} = 1,140 MPa)

  A_{se} = 350 mm^2

  V_{sa} = 6(0.6)(350)(750) = 6(157,500) = 945,000 kN

  ϕ =0.75 สำหรับตัวฝังยึดที่รับแรงเฉือน วิบัติด้วยกำลังของชิ้นส่วนเหล็กที่เหนียว

  ϕV_{sa} = 0.75(945,000).1,000 = 708.8 kN ###

- กำลังแตกหลุดของคอนกรีต (Concrete Breakout Strength, ϕV_{cbg}) รับแรงเฉือน

  $$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b$$

  กรณีฝังยึดที่มุม หาทั้งกรณีแรงเฉือนตั้งฉากกับขอบและขนานกับขอบ

  กรณีแรงเฉือนตั้งฉากกับขอบ

  สมมุติให้แรงเฉือนทั้งหมดให้กระทำที่ตัวฝังยึดตัวหน้าสุด

  1.5c_{a1} = 1.5(300) = 450 mm

  h_a = 600 mm > 1.5c_{a1} ดังนั้นใช้ 1.5c_{a1}

  c_{a2} = 150 mm < 1.5c_{a1} ดังนั้นใช้ c_{a2} = 150 mm

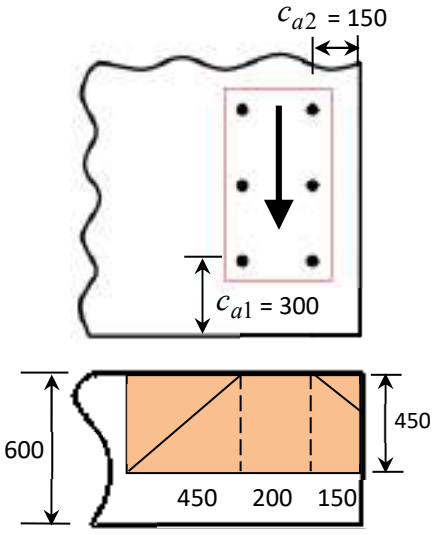
  s = 200 mm

  A_{Vc} = $(1.5c_{a1} + s + c_{a2})(1.5c_{a1})$

  = (450+200+150)(450) = 360,000 mm^2

  $A_{Vco} = 4.5c_{a1}^2$ = 4.5(300)^2 = 405,000 mm^2

  ไม่มีแรงเฉือนเยื้องศูนย์ $\psi_{ec,V}$ = 1.0



ตัวคูณแก้ไขระยะขอบ,

$\psi_{ed,V}$ = $0.7+0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}}$ = 0.7+0.3(150/450) = 0.8

สมมุติคอนกรีตแตกร้าวและไม่มีเหล็กเสริมพิเศษ $\psi_{c,V}$ = 1.0

เนื่องจาก h_a = 600 mm > 1.5 c_{a1} = 450 mm ดังนั้น $\psi_{h,V}$ = 1.0

คำนวณ V_b ,

$V_b = \min\{V_b = 0.6\left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\lambda_a\sqrt{f_c'}(c_{a1})^{1.5}$ และ $V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f_c'}(c_{a1})^{1.5}\}$

l_e = min(h_{ef} , 8 d_a) = min(400, 200) = 200 mm

V_b = $0.6\left(\frac{200}{25}\right)^{0.2}\sqrt{25}(1)\sqrt{32}(300)^{1.5}$ = 133,660 N

$V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f_c'}(c_{a1})^{1.5}$ = 3.7(1)$\sqrt{32}$(300)$^{1.5}$ = 108,757 N

} ใช้ = 108,757 N

ดังนั้น V_{cbg} = $\frac{360,000}{405,000}$(1)(0.8)(1)(1)(108,757) = 77,339 N

กรณีแรงเฉือนขนานกับขอบ

1.5 c_{a1} = 1.5(150) = 225 mm

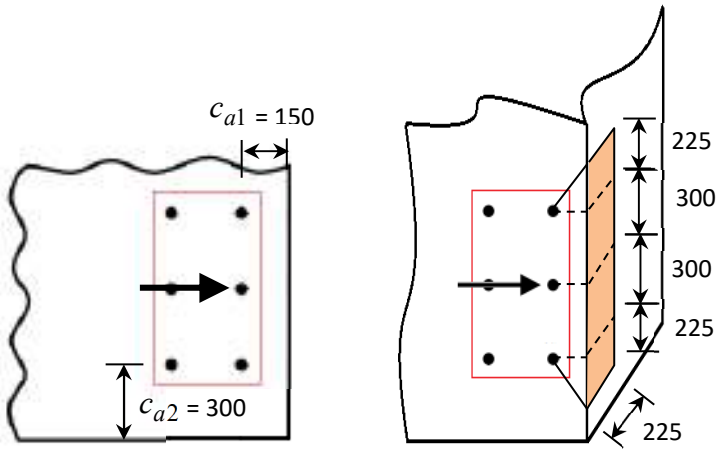
h_a = 600 mm > 1.5 c_{a1} ดังนั้นใช้ 1.5 c_{a1}

c_{a2} = 300 mm > 1.5 c_{a1} ดังนั้นใช้ 1.5 c_{a1}

s = 300 mm

A_{Vc} = (1.5 c_{a1} + 2 s +1.5 c_{a1})(1.5 c_{a1}) = (225+600+225)(225) = 236,300 mm^2

$A_{Vco} = 4.5c_{a1}^2$ = 4.5(150)^2 = 101,300 mm^2



ไม่มีแรงเฉือนเยื้องศูนย์ $\psi_{ec,V}$ = 1.0

กรณีแรงเฉือนขนานกับขอบตัวคูณแก้ไขระยะขอบ, $\psi_{ed,V}$ = 1.0

สมมุติคอนกรีตแตกร้าวและไม่มีเหล็กเสริมพิเศษ $\psi_{c,V}$ = 1.0

เนื่องจาก h_a = 600 mm > $1.5c_{a1}$ = 450 mm ดังนั้น $\psi_{h,V}$ = 1.0

$$V_b = \min\{V_b = 0.6\left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5} \text{ และ } V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5}\}$$

l_e = min(h_{ef} , $8d_a$) = min(400, 200) = 200 mm

$$V_b = 0.6\left(\frac{200}{25}\right)^{0.2}\sqrt{25}(1)\sqrt{32}(150)^{1.5} = 47{,}255 \text{ N}$$

$$V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5} = 3.7(1)\sqrt{32}(150)^{1.5} = 38{,}451 \text{ N}$$

} ใช้ = 38,451 N

ดังนั้น $V_{cbg} = \frac{236{,}300}{101{,}300}(1)(1)(1)(1)(38{,}451) = 89{,}580$ N

<u>ในกรณี แรงเฉือนขนานขอบ ใช้ 2 เท่า</u>

ดังนั้น V_{cbg} =(2)89,580 = 179,160 N > 77,339 N (แรงเฉือนตั้งฉากกับขอบ)

$\therefore V_{cbg}$ = 77,339 N

ϕ =0.75 สำหรับตัวฝังยึดที่รับแรงเฉือน วิบัติด้วยกำลังของคอนกรีต (เงื่อนไข B)

ϕV_{cbg} = 0.75(77,339)/1,000 = 58 kN ###

กำลังงัดหลุด (Pryout Strength, ϕV_{cpg})

$V_{cpg} = k_{cp}N_{cbg}$

h_{ef} = 400 mm ≥ 65 mm ดังนั้น k_{cp} = 2.0

กรณี Adhesive Anchors,

N_{cbg} = min(N_{cbg} , N_{ag}) = min(223,271 N, 252,510 N) = 223,271 N

V_{cpg} = (2.0)223,271 = 446,542 N

ϕ =0.75 สำหรับ Anchors ที่รับแรงเฉือน วิบัติด้วยกำลังของคอนกรีต (Condition B)

ϕV_{cpg} = 0.75(446,542)/1,000 = 334.9 kN ###

<u>สรุป</u> $\phi V_n = \phi V_{cbg}$ = 0.75(77,339)/1,000 = 58 kN → Concrete Breakout Strength

4) ปฏิสัมพันธ์ของแรงดึงและแรงเฉือน

$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} = \frac{96.58}{167.5} = 0.577 > 0.2$

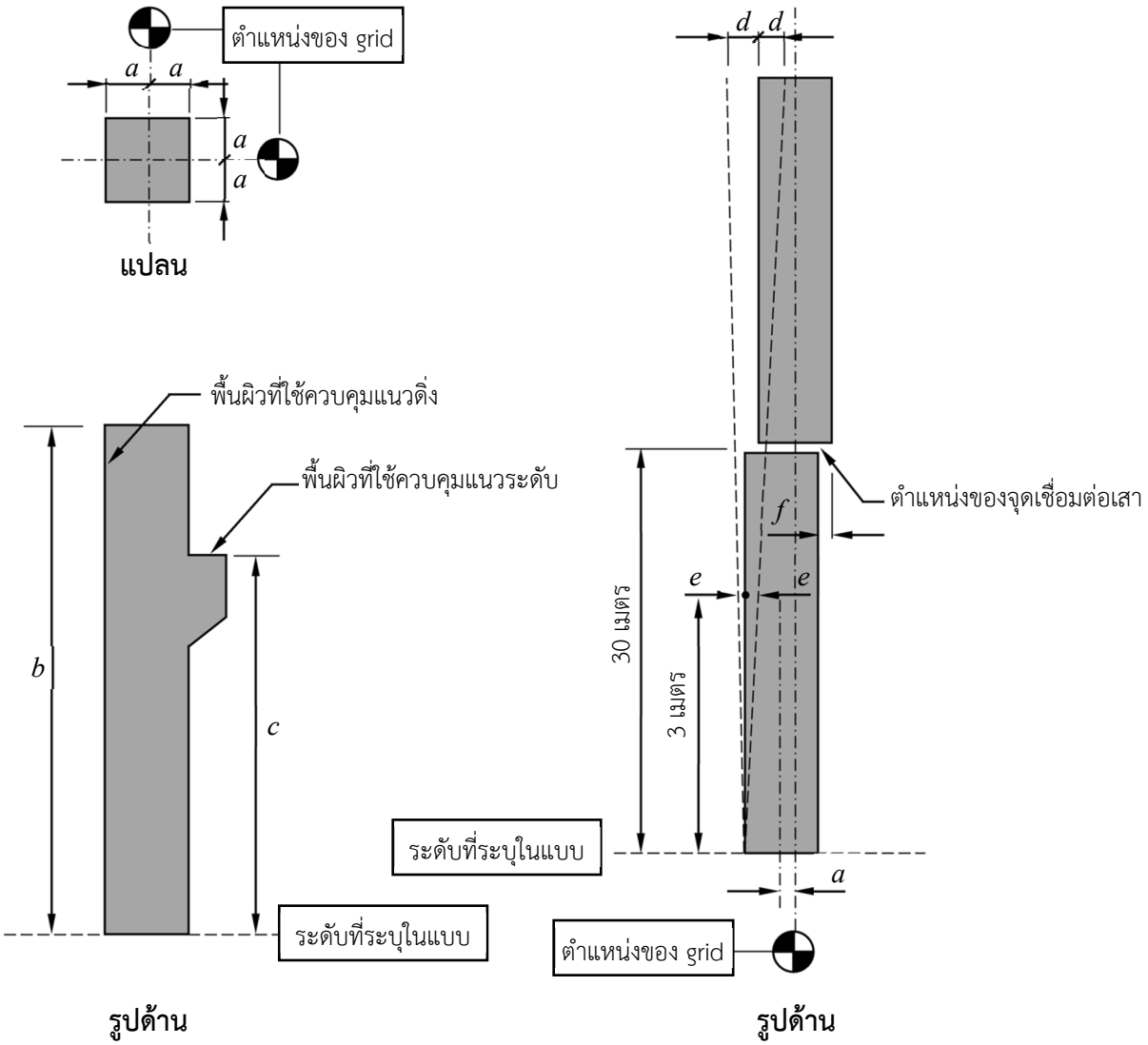
$\frac{V_{ua}}{\phi V_n} = \frac{34}{58} = 0.586 > 0.2$

ต้องตรวจสอบ $\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} = 0.577 + 0.586 = 1.16 \leq 1.2$ OK

ภาคผนวก ง
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งเสา และผนัง

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการก่อสร้างอาคารที่ใช้ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ แบ่งได้ออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามที่ได้อธิบายไว้ในข้อที่ 13.5.1 ได้แก่ 1) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 2) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง และ 3) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ระหว่างพื้นผิววัสดุต่างชนิด ซึ่งในส่วนของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้ง มาตรฐาน PCI Design Handbook [56] มีค่าที่แนะนำไว้ให้สำหรับผู้ติดตั้งได้ใช้เป็นแนวทางในการติดตั้งโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งในมาตรฐานนี้ได้นำความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งเสาและผนัง (Erection Tolerances) จากมาตรฐานดังกล่าวมาแสดงไว้เป็นตัวอย่างในภาคผนวก ง ตามรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

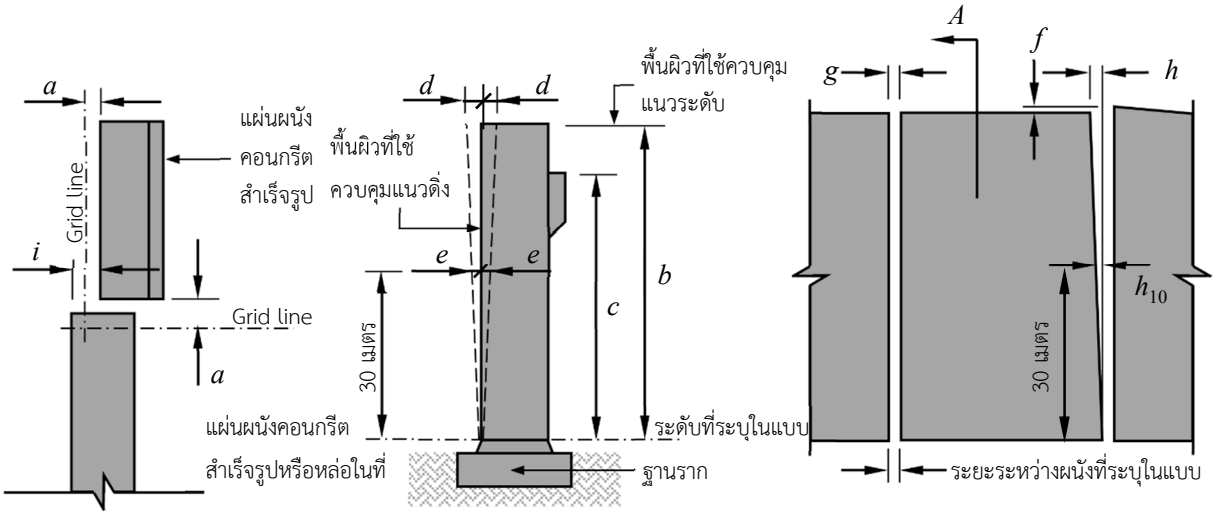
ง.1 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งเสา



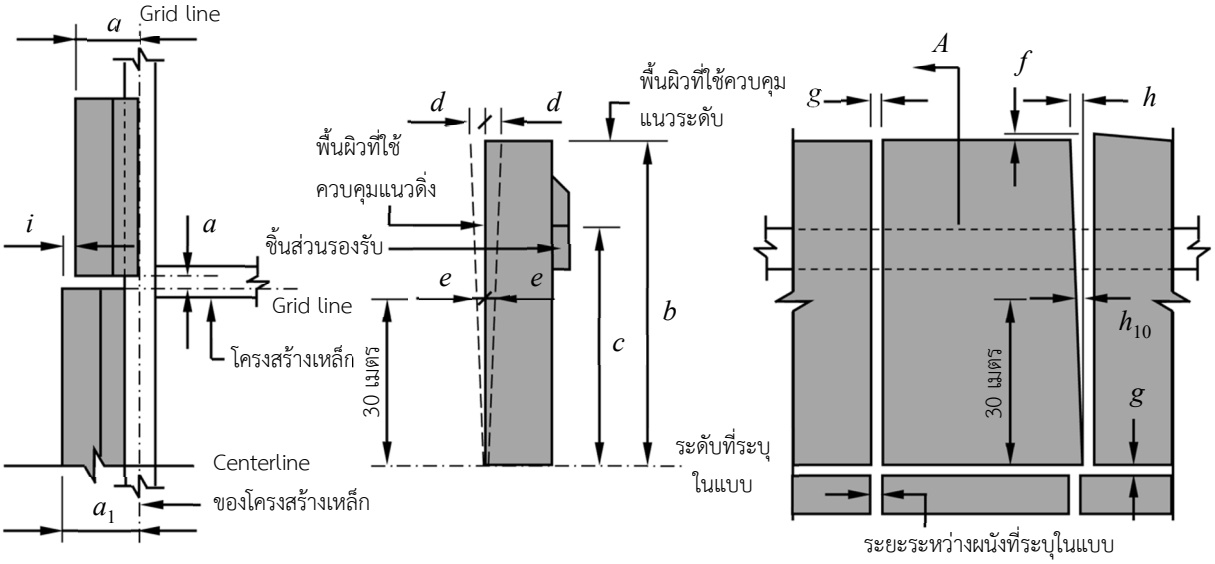
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งเสา

a	=	ตำแหน่งของเสาในแปลนจาก grid ที่อยู่ใกล้เคียง		
		• งานโครงสร้าง	±13	mm
		• งานสถาปัตยกรรม	±10	mm
b	=	ระยะจากระดับที่ระบุในแบบถึงปลายเสาด้านบน		
		• ตำแหน่งของปลายเสาด้านบนอยู่ต่ำกว่าระยะ b ได้มากที่สุด	13	mm
		• ตำแหน่งของปลายเสาด้านบนอยู่สูงกว่ากว่าระยะ b ได้มากที่สุด	6	mm
c	=	ระยะจากระดับที่ระบุในแบบถึงตำแหน่งของแป้นหูช้าง (Bearing haunch)		
		• ตำแหน่งของแป้นหูช้างอยู่ต่ำกว่าระยะ c ได้มากที่สุด	13	mm
		• ตำแหน่งของแป้นหูช้างอยู่สูงกว่ากว่าระยะ c ได้มากที่สุด	6	mm
d	=	ระยะเยื้องสูงสุดตามแนวราบของปลายเสาที่จุดสูงสุดของอาคาร (ความสูงของเสาแต่ละท่อนไม่เกิน 30 m)	25	mm
e	=	ระยะเยื้องตามแนวราบของเสาในช่วงทุก ๆ ความสูง 3 m	6	mm
f	=	ตำแหน่งที่แตกต่างกันในแนวราบระหว่างผิวหน้าของเสา 2 ต้น ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ		
		• บริเวณที่ไม่มีผลต่องานสถาปัตยกรรมและความสวยงาม	13	mm
		• บริเวณที่มีผลต่องานสถาปัตยกรรมและความสวยงาม	6	mm

ง.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งผนังรับน้ำหนัก



แปลน **รูปตัด A** **รูปด้าน**



แปลน **รูปตัด A** **รูปด้าน**

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการติดตั้งผนังรับน้ำหนัก

a	=	ตำแหน่งของผนังในแปลนจาก grid ที่อยู่ใกล้เคียง	±13 mm
a_1	=	ตำแหน่งของผนังในแปลนจาก centerline ของโครงสร้างเหล็กที่รองรับ	±13 mm
b	=	ระยะจากระดับที่ระบุในแบบถึงขอบบนสุดของผนัง	
		• ความคลาดเคลื่อนของระยะ b สำหรับผนัง	±13 mm
c	=	ระยะจากระดับที่ระบุในแบบถึงระดับของจุดรองรับต่าง ๆ	
		• ตำแหน่งของจุดรองรับอยู่ต่ำกว่าระยะ c ได้มากที่สุด	13 mm
		• ตำแหน่งของจุดรองรับอยู่สูงกว่ากว่าระยะ c ได้มากที่สุด	6 mm
d	=	ระยะเยื้องสูงสุดตามแนวราบของผนังที่ระดับที่ต่ำกว่าระหว่าง (ก) จุดสูงสุดของอาคาร หรือ (ข) ที่ระดับความสูง 30 m	25 mm
e	=	ระยะเยื้องตามแนวราบของผนังในช่วงทุก ๆ ความสูง 3 m	6 mm
f	=	ระดับที่แตกต่างกันระหว่างผนัง 2 ผนัง ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ	13 mm
g	=	ช่องว่างระหว่างผนัง ณ จุดเชื่อมต่อ	
h	=	ช่องว่างระหว่างผนังแบบที่มีมุมลาดเอียง (taper) ณ ตำแหน่งสูงสุดของจุดเชื่อมต่อ	13 mm
h_{10}	=	ช่องว่างระหว่างผนังแบบที่มีมุมลาดเอียง (taper) ที่ทุก ๆ ความสูง 3 m	10 mm
i	=	ตำแหน่งที่แตกต่างกันในแนวราบระหว่างผนัง 2 ผนัง ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ	
		• บริเวณที่ไม่มีผลต่องานสถาปัตยกรรมและความสวยงาม	19 mm
		• บริเวณที่มีผลต่องานสถาปัตยกรรมและความสวยงาม	10 mm

หมายเหตุ: สำหรับอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีความสูงเกินกว่า 30 m ให้เพิ่มค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ a และ d ได้ 3 mm/ชั้น แต่ต้องมีค่าสูงสุดไม่เกิน 50 mm

ภาคผนวก จ
ตารางเปรียบเทียบสมการที่ใช้ในการคำนวณ และออกแบบสำหรับการใช้หน่วยที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
	1 MPa	10 kgf/cm^2	145 psi
	f'_c = 21 MPa	f'_c = 210 kgf/cm^2	f'_c = 3000 psi
	f'_c = 28 MPa	f'_c = 280 kgf/cm^2	f'_c = 4000 psi
	f'_c = 35 MPa	f'_c = 350 kgf/cm^2	f'_c = 5000 psi
	f'_c = 42 MPa	f'_c = 420 kgf/cm^2	f'_c = 6000 psi
	f_y = 280 MPa	f_y = 2800 kgf/cm^2	f_y = 40,000 psi
	f_y = 420 MPa	f_y = 4200 kgf/cm^2	f_y = 60,000 psi
	$\sqrt{f'_c}$ ในหน่วย MPa	$3.18\sqrt{f'_c}$ ในหน่วย kgf/cm^2	$12\sqrt{f'_c}$ ในหน่วย psi
ตารางที่ 4.2	$f'_c \le 35$ $f'_c > 35$ $f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33s_s - 3.5$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s_s$	$f'_c \le 350$ $f'_c > 350$ $f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33s_s - 35$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s_s$	$f'_c \le 5000$ $f'_c > 5000$ $f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33s_s - 500$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s_s$
ตารางที่ 4.3	$f'_c < 21$ $21 \le f'_c \le 35$ $f'_c > 35$ $f'_{cr} = f'_c + 7.0$ $f'_{cr} = f'_c + 8.3$ $f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$	$f'_c < 210$ $210 \le f'_c \le 350$ $f'_c > 350$ $f'_{cr} = f'_c + 70$ $f'_{cr} = f'_c + 84$ $f'_{cr} = 1.10f'_c + 50$	$f'_c < 3000$ $3000 \le f'_c \le 5000$ $f'_c > 5000$ $f'_{cr} = f'_c + 1000$ $f'_{cr} = f'_c + 1200$ $f'_{cr} = 1.10f'_c + 725$
4.12.3.1	$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c}$	$f_r = 2\lambda\sqrt{f'_c}$	$f_r = 7.5\lambda\sqrt{f'_c}$
ตารางที่ 6.1	$f'_{ci} < 28$ $f'_{ci} \ge 28$	$f'_{ci} < 280$ $f'_{ci} \ge 280$	$f'_{ci} < 4000$ $f'_{ci} \ge 4000$

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
6.4.1.4	$\sqrt{f'_c} \le 8.3$	$\sqrt{f'_c} \le 27$	$\sqrt{f'_c} \le 100$
ตารางที่ 6.4	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{2.1\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{6.6\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{25\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$
	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.7\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{5.3\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{20\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$
	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.4\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{4.4\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{50\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$
	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{3.5\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_g}{40\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$
6.4.2.4	$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s \Psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y}{3.5\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s \Psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}\right) d_b$	$l_d = \left(\frac{3f_y}{40\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s \Psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}\right) d_b$
6.4.8.2 (ก)	$\left(\frac{0.24 f_y \Psi_r}{\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$\left(\frac{0.075 f_y \Psi_r}{\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_r}{50\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$
6.4.8.2 (ข)	$0.043 f_y \Psi_r d_b$	$0.0044 f_y \Psi_r d_b$	$0.0003 f_y \Psi_r d_b$
6.5.3.1 (ก)	$0.071 f_y d_b$	$0.0073 f_y d_b$	$0.0005 f_y d_b$
6.8.3.1(ข)(ค)	$(0.13 f_y - 24) d_b$	$(0.013 f_y - 24) d_b$	$(0.0009 f_y - 24) d_b$
7.7.3.2	$0.41\sqrt{f'_c}$	$1.30\sqrt{f'_c}$	$4.92\sqrt{f'_c}$
ตารางที่ 8.1	$(0.4 + f_y / 700)$	$(0.4 + f_y / 7000)$	$(0.4 + f_y / 100000)$
ตารางที่ 8.4	$(1.65 - 0.0003 w_c)$ w_c ในหน่วย kg/m^3	$(1.65 - 0.0003 w_c)$ w_c ในหน่วยkg/m^3	$(1.65 - 0.005 w_c)$ w_c ในหน่วย ibs/ft^3
ตารางที่ 8.2	$f_t \le 0.17\sqrt{f'_c}$	$f_t \le 0.53\sqrt{f'_c}$	$f_t \le 2\sqrt{f'_c}$
	$0.17\sqrt{f'_c} < f_t \le 0.50\sqrt{f'_c}$	$0.53\sqrt{f'_c} < f_t \le 1.6\sqrt{f'_c}$	$2\sqrt{f'_c} < f_t \le 6\sqrt{f'_c}$
	$f_t \le 0.50\sqrt{f'_c}$	$f_t \le 1.6\sqrt{f'_c}$	$f_t \le 6\sqrt{f'_c}$
8.2.3.1	$A_{s,\min} = \frac{0.25\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y} \ge \frac{1.4 b_w d}{f_y}$	$A_{s,\min} = \frac{0.80\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y} \ge \frac{14 b_w d}{f_y}$	$A_{s,\min} = \frac{3\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y} \ge \frac{200 b_w d}{f_y}$
	$A_{s,\min} = \frac{0.5\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y}$	$A_{s,\min} = \frac{1.6\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y}$	$A_{s,\min} = \frac{6\sqrt{f'_c} b_w d}{f_y}$
8.2.3.2	$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c}$	$f_r = 2\lambda\sqrt{f'_c}$	$f_r = 7.5\lambda\sqrt{f'_c}$

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
8.2.5	$0.062\sqrt{f'_c}\,\frac{b_w}{f_{yt}}$ $0.35\,\frac{b_w}{f_{yt}}$	$0.2\sqrt{f'_c}\,\frac{b_w}{f_{yt}}$ $3.5\,\frac{b_w}{f_{yt}}$	$0.75\sqrt{f'_c}\,\frac{b_w}{f_{yt}}$ $50\,\frac{b_w}{f_{yt}}$
8.2.8.1	$V_n = 0.25\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l\right]$ $V_n = 0.08\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+2d_e\right]$ $V_n = 0.12\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+s\right]$ $V_n = 0.08\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[(b_l-b)+\left(\frac{b_t+h_l}{2}\right)+d_e+s\right]$ $V_n = 0.17\lambda\sqrt{f'_c}h_l$	$V_n = 0.80\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l\right]$ $V_n = 0.25\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+2d_e\right]$ $V_n = 0.38\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+s\right]$ $V_n = 0.25\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[(b_l-b)+\left(\frac{b_t+h_l}{2}\right)+d_e+s\right]$ $V_n = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}h_l$	$V_n = 3\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l\right]$ $V_n = \lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+2d_e\right]$ $V_n = 1.5\lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[2(b_l-b)+b_t+h_l+s\right]$ $V_n = \lambda\sqrt{f'_c}h_l\left[(b_l-b)+\left(\frac{b_t+h_l}{2}\right)+d_e+s\right]$ $V_n = 2\lambda\sqrt{f'_c}h_l$
8.2.8.3	$A_l = 1.38(b_l-b)d_l / f_y$	$A_l = 14.06(b_l-b)d_l / f_y$	$A_l = 200(b_l-b)d_l / f_y$
8.2.9.1	$C_r = \left(\frac{sw}{129,000}\right)^{\frac{N_u}{V_u}}$	$C_r = \left(\frac{sw}{1290}\right)^{\frac{N_u}{V_u}}$	$C_r = \left(\frac{sw}{200}\right)^{\frac{N_u}{V_u}}$
8.2.9.2	$\mu_e = \frac{\phi 6.89\lambda A_{cr}\mu}{(A_{vf}-A_n)f_{ys}}$	$\mu_e = \frac{\phi 70.31\lambda A_{cr}\mu}{(A_{vf}-A_n)f_{ys}}$	$\mu_e = \frac{\phi 1000\lambda A_{cr}\mu}{(A_{vf}-A_n)f_{ys}}$
8.2.10.3	$\mu_e = \frac{\phi 6.89\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$	$\mu_e = \frac{\phi 70.31\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$	$\mu_e = \frac{\phi 1000\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$
8.2.10.4	$\phi V_n = \phi\left(A_v f_y + A_h f_y + 0.17bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$ $A_{v,\min} = \frac{1}{2f_y}\left(\frac{V_u}{\phi} - 0.17bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$	$\phi V_n = \phi\left(A_v f_y + A_h f_y + 0.53bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$ $A_{v,\min} = \frac{1}{2f_y}\left(\frac{V_u}{\phi} - 0.53bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$	$\phi V_n = \phi\left(A_v f_y + A_h f_y + 2bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$ $A_{v,\min} = \frac{1}{2f_y}\left(\frac{V_u}{\phi} - 2bd\lambda\sqrt{f'_c}\right)$
ตารางที่ 8.6	$V_s \le 0.33\sqrt{f'_c}b_w d$ $V_s > 0.33\sqrt{f'_c}b_w d$	$V_s \le 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$ $V_s > 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$	$V_s \le 4\sqrt{f'_c}b_w d$ $V_s > 4\sqrt{f'_c}b_w d$
8.4.4	$V_n < 0.66\sqrt{f'_c}A_{cv}$ $V_n = A_{cv}\left(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right)$ $\alpha_c = 0.25$ for $\frac{h_w}{l_w} \le 1.5$ $\alpha_c = 0.17$ for $\frac{h_w}{l_w} \ge 2.0$ $\alpha_c = 0.17\left(1+\frac{N_u}{3.5A_g}\right) \ge 0.0$	$V_n < 2.1\sqrt{f'_c}A_{cv}$ $V_n = A_{cv}\left(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right)$ $\alpha_c = 0.80$ for $\frac{h_w}{l_w} \le 1.5$ $\alpha_c = 0.53$ for $\frac{h_w}{l_w} \ge 2.0$ $\alpha_c = 0.53\left(1+\frac{N_u}{35A_g}\right) \ge 0.0$	$V_n < 8\sqrt{f'_c}A_{cv}$ $V_n = A_{cv}\left(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right)$ $\alpha_c = 3.0$ for $\frac{h_w}{l_w} \le 1.5$ $\alpha_c = 2.0$ for $\frac{h_w}{l_w} \ge 2.0$ $\alpha_c = 2\left(1+\frac{N_u}{500A_g}\right) \ge 0.0$

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
8.4.6	$P_n = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$	$P_n = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$	$P_n = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$
8.4.7 (ก)	$V_u \le 0.04 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$	$V_u \le 0.13 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$	$V_u \le 0.5 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$
8.4.7 (ข)	$V_u > 0.04 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$	$V_u > 0.13 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$	$V_u > 0.5 \phi \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} A_{cv}$
8.5.4.1	$V_u \le \phi \left(V_c + 0.66 \sqrt{f_c'} b_w d \right)$	$V_u \le \phi \left(V_c + 2.1 \sqrt{f_c'} b_w d \right)$	$V_u \le \phi \left(V_c + 8 \sqrt{f_c'} b_w d \right)$
8.5.4.3 (ก)	$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(0.16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$ $0.29 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$	$V_c = 0.53 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(0.5 \lambda \sqrt{f_c'} + 176 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$ $0.93 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$	$V_c = 2 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(1.9 \lambda \sqrt{f_c'} + 2500 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$ $3.5 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$
8.5.4.3 (ข)	$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(0.16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{4h-d}{8}} \right) b_w d$ $V_c = 0.29 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \sqrt{1 + \frac{0.29 N_u}{A_g}}$	$V_c = 0.53 \left(1 + \frac{N_u}{140 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(0.5 \lambda \sqrt{f_c'} + 176 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{4h-d}{8}} \right) b_w d$ $V_c = 0.93 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{35 A_g}}$	$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{2000 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \left(1.9 \lambda \sqrt{f_c'} + 2500 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{4h-d}{8}} \right) b_w d$ $V_c = 3.5 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{500 A_g}}$
8.5.4.3 (ค)	$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{0.29 N_u}{A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \ge 0$	$V_c = 0.53 \left(1 + \frac{N_u}{35 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \ge 0$	$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{500 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \ge 0$
8.5.4.3	$V_c = \left(0.05 \lambda \sqrt{f_c'} + 4.8 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d$ $0.17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \le V_c \le 0.42 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 0.05 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$ $M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(0.5 \lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d \right)$ $V_{ci} = 0.14 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{cw} = \left(0.29 \lambda \sqrt{f_c'} + 0.3 f_{pc} \right) b_w d_p + V_p$	$V_c = \left(0.16 \lambda \sqrt{f_c'} + 49 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d$ $0.53 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \le V_c \le 1.33 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 0.16 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$ $M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(1.6 \lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d \right)$ $V_{ci} = 0.45 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 0.53 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{cw} = \left(0.93 \lambda \sqrt{f_c'} + 0.3 f_{pc} \right) b_w d_p + V_p$	$V_c = \left(0.6 \lambda \sqrt{f_c'} + 700 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d$ $2 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \le V_c \le 5 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 0.6 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$ $M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(6 \lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d \right)$ $V_{ci} = 1.7 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{ci} = 2 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$ $V_{cw} = \left(3.5 \lambda \sqrt{f_c'} + 0.3 f_{pc} \right) b_w d_p + V_p$
8.5.5.1	$v_c = 0.33 \lambda \sqrt{f_c'}$ $v_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'}$	$v_c = 1.1 \lambda \sqrt{f_c'}$ $v_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'}$	$v_c = 4 \lambda \sqrt{f_c'}$ $v_c = \left(2 + \frac{4}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'}$

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
8.5.5.2	$v_c = 0.17\lambda_s\lambda\sqrt{f_c'}$	$v_c = 0.53\lambda_s\lambda\sqrt{f_c'}$	$v_c = 2\lambda_s\lambda\sqrt{f_c'}$
8.5.6.2	$T_{th} < 0.083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)$ $T_{th} < 0.083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f_c'}}}$ $T_{th} < 0.083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0.33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$	$T_{th} < 0.27\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)$ $T_{th} < 0.27\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{\lambda\sqrt{f_c'}}}$ $T_{th} < 0.27\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$	$T_{th} < \lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)$ $T_{th} < \lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{4\lambda\sqrt{f_c'}}}$ $T_{th} < \lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{4A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$
8.5.6.4	$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+0.66\sqrt{f_c'}\right)$ $\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+0.66\sqrt{f_c'}\right)$	$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+2\sqrt{f_c'}\right)$ $\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+2\sqrt{f_c'}\right)$	$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+8\sqrt{f_c'}\right)$ $\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+8\sqrt{f_c'}\right)$
ตารางที่ 8.9	$\mu_e = \frac{\phi 6.89\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$ $0.30\lambda f_c' A_{cr} \le 6.89\lambda A_{cr}$ $0.25\lambda f_c' A_{cr} \le 6.89\lambda A_{cr}$ $0.20\lambda f_c' A_{cr} \le 5.52\lambda A_{cr}$	$\mu_e = \frac{\phi 68.9\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$ $0.30\lambda f_c' A_{cr} \le 68.9\lambda A_{cr}$ $0.25\lambda f_c' A_{cr} \le 68.9\lambda A_{cr}$ $0.20\lambda f_c' A_{cr} \le 55.2\lambda A_{cr}$	$\mu_e = \frac{\phi 1000\lambda A_{cr}\mu}{V_u}$ $0.30\lambda f_c' A_{cr} \le 1000\lambda A_{cr}$ $0.25\lambda f_c' A_{cr} \le 1000\lambda A_{cr}$ $0.20\lambda f_c' A_{cr} \le 800\lambda A_{cr}$
8.7.1.1	$E_c = w_c^{1.5} 0.043\sqrt{f_c'}$	$E_c = w_c^{1.5} 0.14\sqrt{f_c'}$	$E_c = w_c^{1.5} 33\sqrt{f_c'}$
8.7.1.2	$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$	$E_c = 15{,}100\sqrt{f_c'}$	$E_c = 57{,}000\sqrt{f_c'}$
10.2.3.3 (ก)	$B_n = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ $B_n = 0.85 f_c' A_1 \times 2$	$B_n = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ $B_n = 0.85 f_c' A_1 \times 2$	$B_n = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ $B_n = 0.85 f_c' A_1 \times 2$
ตารางที่ 10.4	$0.2 f_c' A_c$ $(3.3+0.08 f_c') A_c$ $11 A_c$ $5.5 A_c$	$0.2 f_c' A_c$ $(34+0.08 f_c') A_c$ $110 A_c$ $55 A_c$	$0.2 f_c' A_c$ $(480+0.08 f_c') A_c$ $1600 A_c$ $800 A_c$
10.4.4.1	$V_u > \phi(3.5 b_v d)$	$V_u > \phi(35 b_v d)$	$V_u > \phi(500 b_v d)$
10.4.4.2	$V_u < \phi(3.5 b_v d)$	$V_u < \phi(35 b_v d)$	$V_u < \phi(500 b_v d)$
ตารางที่ 10.5	$\lambda\left(1.8+0.6\frac{A_v f_{yt}}{b_v s}\right) b_v d$ $3.5 b_v d$ $0.55 b_v d$	$\lambda\left(18+0.6\frac{A_v f_{yt}}{b_v s}\right) b_v d$ $35 b_v d$ $5.6 b_v d$	$\lambda\left(260+0.6\frac{A_v f_{yt}}{b_v s}\right) b_v d$ $500 b_v d$ $80 b_v d$

ตำแหน่งสมการ	ระบบ SI-Metric (MPa)	ระบบ MKS-Metric (ksc)	ระบบ U.S. Customary (psi)
10.4.7	$A_{v,\min} \geq 0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w s}{f_{yt}}$ $A_{v,\min} \geq 0.35\frac{b_w s}{f_{yt}}$	$A_{v,\min} \geq 0.2\sqrt{f'_c}\frac{b_w s}{f_{yt}}$ $A_{v,\min} \geq 3.5\frac{b_w s}{f_{yt}}$	$A_{v,\min} \geq 0.75\sqrt{f'_c}\frac{b_w s}{f_{yt}}$ $A_{v,\min} \geq \frac{50 b_w s}{f_{yt}}$

ดัชนี

ก

การกัดกร่อน 33, 48, 50, 51, 249,260
การเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยการคว้านแกน 257
การเกาะเกี่ยวกัน /การยึดเกาะ/การยึดหน่วง 5, 76, 36, 52, 118, 263
การขนส่งชิ้นส่วน 185, 193, 221, 302
การคืบ 5, 27, 78, 87, 94, 163, 197, 261, 276, 281
การเคลื่อนตัว 5, 32, 90, 97, 113, 116, 217, 234, 267, 281
การเชื่อม 5, 52, 33, 66, 71, 78, 85, 107, 112, 160, 179
การเชื่อมต่อกับฐานราก 170, 171
การซ่อมแซมและบำรุงรักษา 51
การตรวจสอบด้วยสายตา 253
การต่อทาบเหล็ก 5, 64, 179
การต่อแบบเชิงกล/ข้อต่อเชิงกล/อุปกรณ์ต่อเหล็กแบบปลอก 82, 178
การติดตั้งชิ้นส่วน 79, 89, 111, 193, 203, 223, 234, 287, 323
การทดสอบในที่เพื่อระบุตำแหน่งของเหล็กเสริม 254
การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อระบุความผิดปกติภายใน 255
การทำเครื่องหมาย/หมายเลขประจำชิ้นงาน 3, 191
การประเมินกำลังอัดของคอนกรีต 253
การประเมินน้ำหนักบรรทุก 260
การเปลี่ยนแปลงปริมาตร 5, 31, 78, 90, 103, 113, 163, 273
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 5, 78, 90, 113, 160
การเปลี่ยนรูป/การเสียรูป 6, 85, 88, 94, 250, 270, 281
การผลิตชิ้นส่วน 185, 189, 198, 205
การฝังเหล็กเส้นโดยใช้ท่อโลหะ 179
การพังทลายอย่างต่อเนื่อง 6, 113
การยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ 15, 110
การยึดรั้ง/ส่วนยึดรั้ง 90, 161
การวิเคราะห์โครงระนาบ 6, 99
การวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ 6, 105
การหดตัว 6, 28, 34, 49, 72, 78, 90, 113, 139, 160, 197, 260
การอัดแรง 7, 47, 117, 137, 188, 275
กำลังต้านทานแรงบิด 152
กำลังที่ออกแบบ 7, 176, 334, 356
กำลังแบกทาน 129, 165, 171
กำลังระบุ 7, 24, 158
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 7, 21, 37, 41, 44

ข

ของอมาตรฐาน 53, 57, 69 72
ข้อต่อเชิงกล 178

ค

ครอบเสาและลูกฟัก 7, 275
คลอไรด์ 33, 48, 252, 258
ความกว้างของรอยแตกร้าว 48
ความแข็งเกร็ง 8, 24, 79
ความชื้นสัมพัทธ์ 10, 50, 92, 96
ความทนทาน 38, 189, 250, 288
ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง 8, 159, 161
ความลึกขั้นต่ำ 122, 236
ความหนาขั้นต่ำของแผ่นพื้น 117
ความหนาแน่นสมดุล 168
คอนกรีตโครงสร้าง 8, 253, 276
คอนกรีตมวลเบา 9, 60, 93, 96, 168, 175, 182
คอนกรีตไม่อัดแรง 9, 118, 122, 149, 151, 194, 242, 273
คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 9, 37
คอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานสถาปัตยกรรม 9, 273
คอนกรีตอัดแรง 10, 54, 88, 115, 118, 121, 151, 194, 242
ค่าคลาดเคลื่อนยินยอม/ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ 9, 288, 231, 235
คาน/ตง/คานคอนกรีตเชิงประกอบ 120
คานบาก 131
คานรูปอักษรทีกลับหัว 128
คาร์บอเนชัน 49, 258
โครงแกงแนงเหล็กหรือคอนกรีต 10, 76

จ

จุดเชื่อมต่อ 10, 35, 52, 78, 90, 159, 289
จุดเชื่อมต่อแบบแห้ง 10, 97
จุดดัดกลับ 10, 83
จุดรองรับแบบยึดแน่น 10, 102
จุดหมุน 10, 83, 95

ช

ชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ 172
ชิ้นส่วนรูปกากบาท 11

ซ

โซเดียมซัลเฟต/แมกนีเซียมซัลเฟต 50, 51

ด

ไดอะแฟรม 11, 75, 84, 97, 104, 159

ต

ตัวฝังยึด 12, 110, 181, 291
ตัวฝังยึดสำหรับยก 183

ตัวอุดยาง 12, 80
ตำแหน่งศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง 13, 79, 92, 98

ป

แป้นหูช้าง/เชิงยื่น 174

ผ

ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ 13, 141, 161
แผงขอบ 14, 161, 273, 278
แผงหน้าต่าง 14
แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 14, 85, 115
แผ่นรอง 14, 100, 166

ฟ

แฟกเตอร์แรงดูด 14
แฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุก 14, 88, 164, 170, 172
แฟกเตอร์ลดกำลัง 7, 28, 139, 156

ม

มวลรวม 14, 31, 243, 258
มอดุลัสยืดหยุ่น 14, 158
โมเมนต์ดัดแนวขวางของปีกยื่น 124

ร

รอยต่อควบคุม 15, 91
รอยต่อเผื่อขยาย 15, 91
รอยต่อเผื่อหดตัว 15, 91
ระดับความยืดแน่น 15, 95
ระบบโครงแกงแนงเหล็ก 76
ระบบโครงเฟรม 77, 83
ระบบโครงสร้าง 15, 75, 97
ระบบผนังรับแรงเฉือน 76, 99
ระบบต้านแรงแผ่นดินไหว 89
ระบบเสาคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ 77
ระบบเสายื่น 76
ระยะกดบนฐานรองรับ 166
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 15, 59
ระยะทาบ 72, 81
ระยะฝัง 6, 8, 23, 134, 180
ระยะฝังพอ 8, 58, 62, 260
ระยะวางพาดจุดรองรับ 119
ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม 53
ระยะหุ้มเหล็กเสริม 20, 27, 46, 49
แรงกด 129, 142, 164, 273, 279
แรงเฉือนที่ฐาน 16, 89, 99
แรงที่ขอบของไดอะแฟรม 16, 108
แรงนอกระนาบ 16, 76
แรงเฉือนเสียดทาน 16, 99, 108, 154

ล

ลวดตะแกรงเชื่อม 17, 144
ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว/ลวดเกลียว (Strand) 32, 54, 62
ลวดอัดแรง 32, 183, 215
ลิ้น 16

ว

วัสดุประสาน 31, 33
วัสดุอุดรอยต่อ 36

ส

สลักเกลียวยึดฝัง 16, 35
ส่วนยึดรั้ง 160
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 164, 168
สัมประสิทธิ์สติฟเนส 17, 22, 100
สารผสมเพิ่ม 38
เส้นทางของแรง 17, 75, 113
เส้นใย 33
เสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ 139, 160

ห

หน้าตัดวิกฤต 152
เหล็กข้ออ้อย 32, 62, 64
เหล็กดึงหลัง 285
เหล็กตะแกรง 85
เหล็กยึดขวาง/เหล็กลูกตั้ง/เหล็กปลอก 54, 56, 57, 67, 68
เหล็กเส้นกลม 33, 54, 72
เหล็กเสริมต้านการยึดหด 72, 116
เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน 116

อ

องค์อาคารเชื่อม 17, 75
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/cm) 46
อายุการใช้งาน 45, 48
เอกสารการก่อสร้าง 17

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถนนพระรามที่ 6 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร . 0-2299-4321 โทรสาร. 0-2299-4321