

มาตรฐานประกอบอาคารออกแบบอาคาร ที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูป เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2565



มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร
ที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป
เพื่อดำเนินงานการสันเสเทือนของแผ่นดินไหว

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูป
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ISBN 978-974-458-761-9

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 ทั้งนี้เพราะระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป จะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบโครงสร้างหล่อในที่ (Cast-in-place) สามารถควบคุมคุณภาพได้ดีด้วยการผลิตภายในโรงงาน และยังสามารถลดมลพิษ วัสดุสูญเสีย และปัญหาขาดแคลนแรงงาน ในระหว่างการก่อสร้าง ทำให้ลดต้นทุนในการก่อสร้างลงได้ อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป จำเป็นต้องมีการออกแบบ การผลิต และการติดตั้ง ที่ถูกต้องตามมาตรฐานและหลักวิชาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในบริเวณที่โครงสร้างอาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในประเทศไทย ยังไม่มีมาตรฐานหรือรูปแบบที่ชัดเจน สำหรับการก่อสร้างในบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ทำให้ผู้ประกอบการนำรูปแบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของต่างประเทศ หรือรูปแบบของตนเองมาใช้ ซึ่งรูปแบบเหล่านั้นอาจไม่สอดคล้องกับลักษณะการทำงานก่อสร้างของประเทศไทยหรืออาจไม่เป็นไปตามหลักวิชาการ ส่งผลให้อาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป อาจเกิดปัญหาขึ้นในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว และในบางกรณีอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและเกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานอาคารดังกล่าว

กรมโยธาธิการและผังเมืองเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงได้จัดทำ มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป เพื่อดำเนินงานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว หรือ มยผ.1305-65 ขึ้น เพื่อให้การก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทยมีความปลอดภัย และสามารถต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม ตามที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่า มาตรฐานฉบับนี้จะช่วยยกระดับและพัฒนาการก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้อาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนมากขึ้น รวมไปถึงส่งเสริมการใช้ระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐานในอุตสาหกรรมก่อสร้างมากขึ้นต่อไป



(นายพรพจน์ เพ็ญพาส)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

**รายชื่อคณะที่ปรึกษาโครงการจ้างที่ปรึกษาเพื่อจัดทำ
มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูป
เพื่อดำเนินงานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว**

หัวหน้าคณะทำงาน

รศ.เอนก ศิริพานิชกร

คณะทำงานหลัก

1. รศ.ดร.สุทัศน์ ลิลาทวีวัฒน์
2. ผศ.ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี
3. ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรกุล
4. ดร.ธีระวุฒิ มุฮาหมัด
5. รศ.ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล
6. ศ.ดร.สมนึก ตั้งเดิมสิริกุล
7. รศ.ดร.ทรงพล จารูวิศิษฐ์
8. รศ.ดร.ชยานนท์ หารรัชภิญโญ
9. ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

ที่ปรึกษาคณะทำงาน

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

คณะทำงานสนับสนุน

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย | 6. นางสาวณัฐณิชา สกลอารีย์ |
| 2. นางสาวชาลิณี กระจ่างพจน์ | 7. นางสาวณัฐกมล เกิดจังหวัด |
| 3. นางสาวพิมชนก เปรมสมาน | 8. นางสาวแพนวลี เรืองอยู่ |
| 4. นางสาวกมลนิตย์ หนูอ่อน | 9. นางสาวกาญจนา นุ่นสวัสดิ์ |
| 5. นางสาวธัญวรัตน์ สันติสุทธิกุล | 10. นางสาวติรณา อุ่บัว |

คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างที่ปรึกษา
สำหรับการจ้างที่ปรึกษาค่าใช้จ่ายในการจัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร
ที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อดำเนินงานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว

ประธานกรรมการ

นายสินธุ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

นายนิเวศน์ ล่ำเลิศลักษณ์ชัย

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

นายวิบูลย์ ลิพัฒนากิจ

ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายพรชัย สังข์ศรี

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายทยากร จันทรางศุ

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและเลขานุการ

นายธนิศ ใจสอาด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางณัฏกานต์ แสงสุวรรณ

วิศวกรโยธาชำนาญการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายชานนท์ โตเบญจพร

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ผู้ทรงคุณวุฒิโครงการจ้างที่ปรึกษาเพื่อจัดทำ

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูป

เพื่อดำเนินงานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว

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

สารบัญ

ส่วนที่ 1	ทั่วไป	1
1.1	ขอบข่าย	1
1.2	ข้อกำหนดทั่วไป	2
ส่วนที่ 2	นิยามและสัญลักษณ์	3
2.1	นิยาม	3
2.2	สัญลักษณ์	7
ส่วนที่ 3	ข้อกำหนดสำหรับการผลิต การออกแบบ การเคลื่อนย้าย และการติดตั้งของคอนกรีตหล่อสำเร็จ	11
3.1	ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง	11
3.2	ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต	11
3.3	ข้อกำหนดเกี่ยวกับความคงทนของคอนกรีตเสริมเหล็ก	12
3.4	ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง	12
3.5	ข้อกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	12
3.6	ข้อกำหนดรายละเอียดการเสริมเหล็ก	12
3.7	การฝังยึดในคอนกรีต	13
3.8	การผลิต การเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ	13
3.9	การป้องกันอัคคีภัย	13
ส่วนที่ 4	การคำนวณออกแบบอาคารให้ต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	15
4.1	บทนำ	15
4.2	ข้อกำหนดของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ	18
4.3	รายละเอียดการออกแบบองค์อาคารของระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างแบบต่าง ๆ	20
4.4	การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นไดอะแฟรม	23
4.5	ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้อยู่ในระบบต้านทานแรงด้านข้าง	30
4.6	วิธีการตรวจสอบและเกณฑ์การยอมรับของอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่ทำเสมือนระบบหล่อในที่ (Non-emulative Design)	37

สารบัญ

บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อดำเนินงานแผ่นดินไหว	53
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการออกแบบจุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรง	83

ส่วนที่ 1 ทั่วไป

1.1 ขอบข่าย

- 1.1.1 มาตรฐานฉบับนี้ เกี่ยวข้องกับการผลิต ออกแบบ และการใช้งาน ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับ โครงสร้างอาคาร เพื่อให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [16]
- 1.1.2 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทั้งที่เป็นคอนกรีต เสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง ทั้งแบบที่ใช้มวลรวมปกติหรือมวลรวมเบา และยังครอบคลุมไปถึง กรณีที่มีการใช้เส้นใยในส่วนผสมคอนกรีต ทั้งนี้ไม่ครอบคลุมชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จบางประเภท เช่น เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ ชิ้นส่วนโครงสร้างของสะพานและสาธารณูปโภคพื้นฐาน ท่อคอนกรีต รางระบายน้ำ เป็นต้น
- 1.1.3 มาตรฐานฉบับนี้ไม่ครอบคลุมชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่ใช้วัสดุประสานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ปูนซีเมนต์ เช่น จีโอพอลิเมอร์ หากวัสดุประสานอื่นใดได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ผู้ออกแบบจะต้อง ดำเนินการพิสูจน์ด้วยการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ และการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เพื่อให้เกิด ความมั่นใจว่ามีความปลอดภัยไม่น้อยไปกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้
- 1.1.4 มาตรฐานนี้ได้ระบุข้อกำหนดไว้เป็นขั้นต่ำ หากมีเหตุผลหรือข้อบ่งชี้ว่าชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จำเป็นต้องมีสมรรถนะดีกว่าที่กำหนดในมาตรฐานนี้ วิศวกรที่รับผิดชอบจะต้องดำเนินการโดยใช้หลัก ทางวิชาการที่มีการศึกษาวิจัยและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรณีที่ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีการ อ้างอิงไปยังข้อกำหนดในมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตหล่อสำเร็จ ให้ถือว่าข้อกำหนดใน มาตรฐานนั้นเป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับมาตรฐานนี้
- 1.1.5 หากภายหลังกฎหมายควบคุมอาคาร หรือมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มีการกำหนด หลักเกณฑ์ การออกแบบ การผลิต และการใช้งาน อาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีต หล่อสำเร็จ สำหรับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว ซึ่งแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้ ให้ใช้หลักเกณฑ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวตามที่กำหนดไว้ในกฎหมายควบคุมอาคาร หรือ มาตรฐาน ดังกล่าว

1.2 ข้อกำหนดทั่วไป

- 1.2.1 การผลิต ออกแบบ และการใช้งาน ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับโครงสร้างอาคาร ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัยของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป มยพ. 1108-65 [18] ยกเว้นแต่ระบุเป็นอย่างอื่นในมาตรฐานฉบับนี้
- 1.2.2 ในกรณีที่เลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบหล่อสำเร็จเพื่อดำเนินงานแผ่นดินไหว จะต้องพิจารณาออกแบบองค์อาคารและจุดต่อ ให้มีกำลังเพียงพอ และมีการให้รายละเอียดเพื่อความเหนียวที่เหมาะสม สอดคล้องกับระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ทั้งนี้ องค์อาคารและจุดต่อต้องสามารถรับแรงดึง แรงดัด แรงอัด และแรงเฉือน ที่เกิดขึ้นได้
- 1.2.3 การออกแบบองค์อาคารและจุดต่อ ต้องใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณด้วยมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ และมีพื้นฐานอยู่บนหลักการทางวิศวกรรมที่เหมาะสม ในกรณีที่ต้องการเลือกใช้รูปแบบองค์อาคารและจุดต่อที่แตกต่างไปจากที่กำหนดในมาตรฐานฉบับนี้ จะต้องมีการศึกษาหรือผลการทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าองค์อาคารและจุดต่อนั้นมีพฤติกรรมและความสามารถในการต้านทานแรง ความเหนียว ความสามารถในการสลายพลังงาน และรูปแบบการวิบัติ เป็นไปตามที่กำหนด

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Drift)	หมายถึง	การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพัทธ์ระหว่างส่วนที่พิจารณา
การต่อทาบเหล็ก (Lap Splicing)	หมายถึง	การนำเหล็กเสริมสองเส้นมาทาบทับกันแล้วหล่อคอนกรีตหุ้มเพื่อถ่ายแรงจากเหล็กเส้นหนึ่งสู่เหล็กอีกเส้นหนึ่งผ่านคอนกรีตโดยรอบ
การออกแบบที่ไม่ทำเหมือนคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design)	หมายถึง	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้หลักการพิจารณาแตกต่างจากแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่
การออกแบบเสมือนเป็นคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Design)	หมายถึง	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จโดยพิจารณาเหมือนเป็นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่
การอัดแรง (Prestressing)	หมายถึง	การทำให้คอนกรีตเกิดหน่วยแรงอัดโดยการทำให้เกิดแรงดึงในเหล็กอัดแรงที่พยายามหดตัว
กำลังที่ออกแบบ (Design Strength)	หมายถึง	กำลังระบุที่คูณตัวคูณลดกำลัง ϕ
กำลังระบุ (Nominal Strength)	หมายถึง	กำลังขององค์อาคารหรือของหน้าตัดขวางที่คำนวณได้ตามข้อกำหนดและสมมติฐานของวิธีการคำนวณออกแบบโดยใช้ค่ากำลังระบุของวัสดุ
ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง (Structural Integrity)	หมายถึง	ความมั่นคงเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของโครงสร้างโดยการทำให้ระบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จมีการยึดโยงอย่างเพียงพอและมีความต่อเนื่องระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกในทิศทางต่าง ๆ ได้ โดยไม่เกิดการเสียรูปมากเกินไป จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานเกินกว่าอายุของโครงสร้างที่ตั้งใจไว้เพื่อลดความเสี่ยงต่อการวิบัติของชิ้นส่วนหรืออาคารทั้งหมด

เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นในบริเวณบริเวณหนึ่งของอาคาร

ความยาวระยะฝัง (Embedment Length)	หมายถึง	ความยาวระยะฝังของเหล็กเสริมที่ฝังไว้เลยจากหน้าตัด วิกฤต
คอนกรีต (Concrete)	หมายถึง	วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของวัสดุประสาน เช่น ซีเมนต์หรือซีเมนต์ผสมวัสดุพอลิเมอร์ เป็นต้น มวลรวม ละเอียด เช่น ทราย เป็นต้น มวลรวมหยาบ เช่น หินหรือ กรวด เป็นต้น และน้ำ โดยมีหรือไม่มีสารผสมเพิ่ม
คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมฝังภายใน โดยที่คอนกรีตและ เหล็กเสริมทำงานร่วมกันในการต้านทานแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น
คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete)	หมายถึง	ชิ้นส่วนของคอนกรีตล้วนหรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อ ในสถานที่อื่นที่ไม่ใช่ตำแหน่งสุดท้ายในโครงสร้าง
คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete)	หมายถึง	คอนกรีตที่มีลวดอัดแรงฝังภายในที่ทำให้เกิดหน่วยแรงอัด ในคอนกรีตโดยมีขนาดและการกระจายของหน่วยแรง ตามต้องการเพื่อที่จะหักล้างหรือลดหน่วยแรงอันเกิดจาก น้ำหนักบรรทุก
คานยึดคาน (Coupling Beam)	หมายถึง	คานที่ยึดหรือเชื่อมกำแพงรับแรงเฉือนเข้าด้วยกัน ซึ่งทำหน้าที่ ส่งถ่ายแรงเฉือนเป็นหลัก และทำให้กำแพง โดยรวมมีกำลังต้านทานแรงดัดขึ้นได้มากขึ้น
จุดเชื่อมต่อ (Connection)	หมายถึง	จุดยึดต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่มาต่อประสานกัน และมีการถ่ายส่งแรงให้แก่กัน
จุดเชื่อมต่อแบบเหนียว (Ductile Connection)	หมายถึง	จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งถูก ออกแบบให้วิบัติในลักษณะที่เกิดการครากของเหล็ก ส่งผลให้อาคารเคลื่อนตัวได้มากโดยจุดเชื่อมต่อไม่แตกหัก เมื่อเกิดแผ่นดินไหว
จุดรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Support)	หมายถึง	จุดรองรับโครงสร้างที่สามารถต้านการเคลื่อนที่และ การหมุนได้อย่างสมบูรณ์
ช่วงเสา (Bay)	หมายถึง	ช่วงระยะห่างระหว่างเสาข้างเคียงในชั้นเดียวกัน

ชุดการรวมแรง (Load Combination)	หมายถึง	การรวมผลของน้ำหนักบรรทุกทุกชนิดต่าง ๆ ที่กระทำต่อโครงสร้าง
ไดอะแฟรม (Diaphragm)	หมายถึง	แผ่นพื้น แผ่นหลังคา หรือ ระบบการรังยัด ที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้างไปยังองค์อาคารแนวดิ่งในระบบต้านแรงด้านข้าง
ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor)	หมายถึง	ตัวประกอบที่ใช้ผลของน้ำหนักบรรทุกทุกชนิดต่าง ๆ ในชุดการรวมแรง โดยคำนึงถึงโอกาสในการเกิดผลจากน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่เบี่ยงเบนจากสภาวะใช้งานปกติ
ตัวต่อเหล็กเสริมเชิงกล (Mechanical Coupler)	หมายถึง	ข้อต่อโลหะเชิงกล เพื่อให้ถ่ายแรงระหว่างกัน ใช้ทดแทนการต่อทาบเหล็ก
น้ำหนักบรรทุก (Load)	หมายถึง	แรงหรือการกระทำอื่น ๆ ที่เป็นผลมาจากน้ำหนักของวัสดุอาคาร ผู้อยู่อาศัยและทรัพย์สิน ฯลฯ หรือจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน และการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงมิติของอาคาร
น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)	หมายถึง	น้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงที่มีลักษณะคงที่ตายตัว ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของวัสดุโครงสร้างอาคารเป็นหลัก
น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)	หมายถึง	น้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงที่สามารถมีการเคลื่อนย้าย เคลื่อนที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาด น้ำหนักอยู่ตลอดเวลา หรืออยู่เพียงชั่วคราว
ผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall)	หมายถึง	ผนังที่ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้างที่ขนานกับระนาบของตัวผนัง ทั้งนี้อาจเรียกว่า กำแพงรับแรงเฉือน
พฤติกรรมเสมือนการหล่อในที่ (Emulate Cast-in-place Behavior)	หมายถึง	พฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่พิจารณาเหมือนเป็นคอนกรีตแบบหล่อในที่
รอยต่อ (Joint)	หมายถึง	ตำแหน่งที่ชิ้นส่วนหรือโครงสร้างมาอยู่ติดกัน
ระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว (Seismic-force-resisting System)	หมายถึง	ส่วนของโครงสร้างที่ถูกออกแบบให้ต้านทานแรงด้านข้าง เช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว
ระยะโก่ง (Deflection)	หมายถึง	การแอ่นของโครงสร้าง วัดด้วยระยะของตำแหน่งที่เคลื่อนตัวไปจากตำแหน่งเดิม

ระยะขอบ (Edge Distance)	หมายถึง	ระยะจากขอบของผิวหน้าคอนกรีตถึงกึ่งกลางสลักเกลียว
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (Specified Concrete Cover)	หมายถึง	ระยะจากผิวนอกสุดของเหล็กเสริมถึงผิวนอกสุดของคอนกรีต
ระยะห่าง (Clear Spacing)	หมายถึง	มิติที่น้อยที่สุดระหว่างผิวด้านนอกสุดของชิ้นส่วนที่อยู่ติดกัน
แรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear)	หมายถึง	แรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ฐานของอาคาร ซึ่งเท่ากับแรงต้านข้างทั้งหมดที่มากระทำด้านบน
แรงเฉือนเสียดทาน (Shear-friction)	หมายถึง	ความต้านทานแรงเฉือนที่คำนวณด้วยหลักการของแรงเสียดทานระหว่างผิวที่สัมผัสกัน
แรงที่ขอบของไดอะแฟรม (Chord Force)	หมายถึง	แรงภายในไดอะแฟรมบริเวณริมขอบของไดอะแฟรมที่ได้จากการพิจารณาไดอะแฟรมเป็นแบบคานลึกในแนวราบ
ลวดอัดแรง (Tendon)	หมายถึง	ลวดในชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่มีการถูกดึงในภายหลังประกอบด้วย การฝังยัด และการหุ้มด้วยวัสดุเคลือบผิวสำหรับประเภทที่ไม่มีการยัดหน่วง หรือท่อที่มีการเติมด้วยวัสดุเกราท์จนเต็มสำหรับประเภทที่มีการยัดหน่วง
เส้นทางของแรง (Load Path)	หมายถึง	แนวเส้นทางของแรงที่จะต้องส่งผ่านจากส่วนโครงสร้างหนึ่งไปยังส่วนโครงสร้างที่ต่อเนื่องกัน
เส้นทางของแรงในระนาบ (In-plane Load Path)	หมายถึง	เส้นทางของแรงที่ส่งผ่านในแนวระนาบของโครงสร้าง
เส้นทางส่งผ่านแรงทางเลือก (Alternative Load Path)	หมายถึง	แนวเส้นทางเพิ่มเติมของแรงที่สามารถส่งผ่านจากส่วนโครงสร้างหนึ่งไปยังส่วนโครงสร้างที่ต่อเนื่องกันได้โดยหากสูญเสียเส้นทางหนึ่งไป ยังคงมีเส้นทางอื่นสามารถส่งผ่านแรงได้
เหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop)	หมายถึง	เหล็กปลอกแบบวงปิด หรือมีปลอกอย่างต่อเนื่อง ที่ทำให้เกิดพฤติกรรมโอברัดคอนกรีตภายในวงรอบ โดยไม่เปิดตัวออกถึงแม้คอนกรีตเริ่มเกิดการแตกร้าว
องค์อาคารเชื่อม (Collector)	หมายถึง	องค์อาคารซึ่งทำหน้าที่รวบรวมและถ่ายแรงในแนวราบจากโครงสร้างกลับเข้าสู่ระบบต้านทานแรงต้านข้าง
อุปกรณ์ต่อเหล็กเสริมเชิงกล (Mechanical Splice)	หมายถึง	อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อเหล็กเสริมเพื่อถ่ายแรงจากเหล็กเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่ง

2.2 สัญลักษณ์

A_{ch}	=	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชิ้นส่วนคอนกรีตวัดถึงขอบนอกของเหล็กเสริมทางขวาง
A_{cv}	=	พื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมดซึ่งกรณีของ (1) กำแพง คิดจากความกว้างหน้าตัดช่วงเอวคูณความลึกของหน้าตัดซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน หรือ (2) ไดอะแฟรม คิดจากพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมดของคอนกรีต โดยไม่รวมถึงพื้นที่ช่องเปิด โดยใช้เฉพาะความหนาของคอนกรีตทับหน้าเท่านั้น (ตารางมิลลิเมตร)
A_g	=	พื้นที่หน้าตัดเต็มของคอนกรีต (ตารางมิลลิเมตร) โดยหักพื้นที่รูกลวงออกสำหรับคอนกรีตหน้าตัดกลวง
A_f	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนเสียดทาน (ข้อ 8.2.9.2) (ตารางมิลลิเมตร)
b_w	=	ขนาดความกว้างของหน้าตัดบริเวณแผ่นเอว หรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางกลางกรณีหน้าตัดกลม (มิลลิเมตร)
C_d	=	ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (มิลลิเมตร)
d	=	ระยะวัดจากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัดไปยังจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง (มิลลิเมตร) / ความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด ซึ่งเป็นขนาดของหน้าตัดในทิศทาง ที่รับแรงเฉือน
d_b	=	เส้นผ่านศูนย์กลางระบุของเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรง (มิลลิเมตร)
E_c	=	มอดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (เมกะปาสกาล)
E_{max}	=	กำลังต้านทานแรงด้านข้างสูงสุดของชิ้นตัวอย่างที่วัดค่าได้จากการทดสอบ (นิวตัน)
E_n	=	กำลังต้านทานแรงด้านข้างระบุซึ่งคำนวณโดยใช้มิติตามที่ระบุในการออกแบบและคุณสมบัติวัสดุตามที่ระบุในการออกแบบ (นิวตัน)
E_{nt}	=	กำลังต้านทานแรงด้านข้างระบุที่คำนวณโดยใช้มิติของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่วัดได้จริงและค่ากำลังครากของเหล็กเสริมและกำลังอัดของคอนกรีตชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบวัสดุจริง (นิวตัน)
E_{pr}	=	กำลังต้านทานแรงสูงสุดที่คาดหวังซึ่งคำนวณโดยใช้มิติของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่วัดได้จริงและคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุที่ได้จากการทดสอบจริง (นิวตัน)
E_s	=	มอดุลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม (เมกะปาสกาล)
f'_c	=	กำลังอัดของคอนกรีต (เมกะปาสกาล)

f_{ps}	=	หน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่กำลังต้านแรงดัดระบุของหน้าตัด (เมกะปาสกาล)
f_y	=	กำลังครากของเหล็กเสริม (เมกะปาสกาล)
f_{ys}	=	กำลังครากของเหล็กเสริมทางขวาง (เมกะปาสกาล)
f_{yt}	=	กำลังครากระบุของเหล็กเสริมทางขวาง (เมกะปาสกาล)
h	=	ความหนาของแผ่นพื้น หรือความสูงทั้งหมดของคาน หรือ ความกว้างทั้งหมดของหน้าตัดเสา (ส่วนที่ 7) (มิลลิเมตร)
h_{ci}	=	ความสูงของเสาสมมติ (มิลลิเมตร)
h_d	=	ความลึกของไดอะแฟรม (มิลลิเมตร)
h_s	=	ความสูงของเสาชั้นที่พิจารณา (มิลลิเมตร)
h_{sx}	=	ความสูงระหว่างชั้นที่ x (มิลลิเมตร)
h_w	=	ความสูงทั้งหมดของกำแพงจากฐานถึงยอด หรือความสูงช่วงว่างของส่วนของกำแพง (มิลลิเมตร)
h_x	=	ระยะห่างสูงสุดระหว่างเหล็กตามยาวสองเส้นที่อยู่ติดกันซึ่งได้รับการยึดรั้งด้านข้างโดยมุมของเหล็กปลอกหรือเหล็กยึดขวางวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
l	=	ความยาวช่วงของไดอะแฟรม (มิลลิเมตร)
l_d	=	ความยาวระยะฝังเพิ่มในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย ลวดข้ออ้อย ลวดเหล็กเชื่อมชนิดเรียบหรือข้ออ้อย (มิลลิเมตร)
	=	ระยะฝังของเหล็กเสริม (มิลลิเมตร)
l_w	=	ความยาวในแนวราบทั้งหมดของกำแพง หรือส่วนของกำแพงในทิศทางของแรงเฉือน (มิลลิเมตร)
M	=	ค่าโมเมนต์ (ส่วนที่ 7) (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_a	=	โมเมนต์ในขณะใช้งาน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{cr}	=	โมเมนต์ในขณะที่เกิดรอยร้าว (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_n	=	กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุ (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{nc}	=	โมเมนต์ดัดของคานเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองรวมกับน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ ก่อนจะเกิดพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบบหน้าตัดเชิงประกอบ (Composite section) (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_{pr}	=	กำลังต้านโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เป็นไปได้ (Probable Bending Moment Strength) (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_u	=	โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกที่คูณตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกแล้ว (นิวตัน-มิลลิเมตร)
P_u	=	แรงแนวแกนปรับค่า จากน้ำหนักบรรทุกทุกที่คูณตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกแล้ว
R	=	ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง
s	=	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามขวาง
S_e	=	แรงที่ใช้ในการออกแบบซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นที่จุดต่อที่สอดคล้องกับการเกิดจุดหมุนพลาสติก ณ จุดที่ตั้งใจให้เกิดการครากขึ้น ภายใต้แรงแผ่นดินไหวและน้ำหนักบรรทุกแนวตั้ง (นิวตัน)
S_n	=	กำลังออกแบบระบุของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (นิวตัน)
S_y	=	กำลังที่จุดคราก (นิวตัน)
v_c	=	กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุของแผ่นพื้นแบบแรงเฉือนสองทิศทางโดยคอนกรีต (เมกะปาสกาล)
v_s	=	กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุในคอนกรีตเทียบเท่าเนื่องจากการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน (เมกะปาสกาล)
v_{uv}	=	หน่วยแรงเฉือนในแผ่นพื้นที่หน้าตัดวิกฤตถ่ายแรงแบบสองทิศทาง (เมกะปาสกาล)
V_c	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุโดยคอนกรีต (นิวตัน)
V_e	=	แรงเฉือนออกแบบที่คำนวณจากสถานะที่มีโมเมนต์สูงสุดที่เป็นไปได้ (M_{pr})
V_n	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (Nominal Shear Strength) ของหน้าตัด (นิวตัน) หรือกำลังต้านทานแรงเฉือนระบุที่จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (นิวตัน)
V_u	=	แรงเฉือนที่ปรับค่าแล้วที่ได้จากชุดการรวมแรง
α	=	สัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม (ส่วนที่ 5) / การต่างระดับความเครียดตามแนวความหนาของผนัง (ส่วนที่ 7)
γ_f	=	สัมประสิทธิ์เฟล็กซิบิลิตี (flexibility coefficient) ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและฐานรากแผ่ (ส่วนที่ 7)
δ_u	=	การเคลื่อนที่ออกแบบ
Δ_x	=	การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ออกแบบระหว่างชั้นที่ x (design inter-story drift) (มิลลิเมตร)

λ	=	แฟกเตอร์สำหรับคอนกรีตมวลเบา
μ	=	สัมประสิทธิ์เสียดทานของแรงเฉือน
ρ	=	อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อพื้นที่หน้าตัด bd
ρ'	=	อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด ต่อพื้นที่หน้าตัด bd
ϕ	=	ตัวคูณลดกำลัง / ตัวคูณความต้านทาน
Ω_0	=	ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (overstrength factor)

ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดสำหรับการผลิต การออกแบบ การเคลื่อนย้าย และการติดตั้ง ของคอนกรีตหล่อสำเร็จ

3.1 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง

- 3.1.1 วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ได้แก่ ปูนซีเมนต์และวัสดุประสานมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เหล็กเสริมและลวดอัดแรง วัสดุเกรด มอร์ตาร์ และ ดราฟท์ วัสดุบริเวณจุดเชื่อมต่อ และวัสดุอุดรอยต่อกันน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับวัสดุที่ระบุไว้ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19] และมาตรฐาน มอก. ที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 การทดสอบสมบัติของวัสดุ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง กำลังเฉือน โมดูลัสยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซอง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐาน ASTM และต้องมีการเก็บรักษาระเบียบ การทดสอบทั้งหมดและเตรียมไว้ให้พร้อมเสมอ สำหรับการตรวจสอบในขณะที่ยังดำเนินการก่อสร้าง และหลังจากที่งานแล้วเสร็จ

3.2 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

- 3.2.1 คอนกรีตที่ผลิตสำหรับขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องมีค่าดังต่อไปนี้
- 3.2.1.1 มีค่าเป็นไปตามที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง
 - 3.2.1.2 มีค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 17 เมกะปาสกาล (MPa) ทั้งคอนกรีตมวลปกติและมวลเบา
 - 3.2.1.3 มีค่าเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความคงทนของคอนกรีตในข้อที่ 3.3
- 3.2.2 การทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีต
- 3.2.2.1 กำลังอัดประลัย (f'_c) ของคอนกรีตให้ถือเอาผลการทดสอบของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดมาตรฐานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. และสูง 300 มม. ตาม มยผ. 1208-50 [14] หรือ มอก. 409 [22] หรือมาตรฐาน ASTM C192 [10]
 - 3.2.2.2 การเก็บตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1210-50 [13] และ มยผ. 1101-64 [18]
 - 3.2.2.3 ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่นให้ถือผลการทดสอบที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์ สำหรับคอนกรีตที่พัฒนากำลังอัดเร็วหรือคอนกรีตที่สามารถรอการพัฒนากำลังภายหลังอายุ 28 วัน ได้นั้น ให้ใช้เวลาตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนดประกอบแบบเป็นเกณฑ์

3.2.2.4 คอนกรีตเสริมเส้นใย ให้มีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับคอนกรีตผสมเส้นใยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ในกรณีที่ยังไม่มีประกาศดังกล่าว คอนกรีตเสริมเส้นใยให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1116M [12]

3.2.3 การเลือกส่วนผสม การผสม การลำเลียงและการเทคอนกรีต การบ่ม และการแต่งผิว สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]

3.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับความคงทนของคอนกรีตเสริมเหล็ก

ให้เป็นไปตาม ส่วนที่ 5 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]

3.4 ความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง

3.4.1 ผู้ออกแบบต้องออกแบบให้โครงสร้าง มีความเป็นบูรณภาพ (Structural Integrity) เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการวิบัติของชิ้นส่วนคอนกรีตหรืออาคารทั้งหมด เนื่องจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณหนึ่งของอาคาร

3.4.2 ความเป็นบูรณภาพโดยรวมของโครงสร้างสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการให้รายละเอียดของการเสริมเหล็ก สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างที่ทำจากชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และการปรับปรุงจุดเชื่อมต่อและเพิ่มความเหนียว

3.4.3 ในการออกแบบต้องพิจารณาถึงความเป็นบูรณภาพ (Structural Integrity) ของโครงสร้างตามที่แนะนำไว้ในส่วนที่ 9 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]

3.5 ข้อกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

3.5.1 การออกแบบจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อส่งถ่ายแรงที่ผิวสัมผัส ซึ่งประกอบไปด้วยจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จุดเชื่อมต่อระหว่างฐานรากและชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ การถ่ายแรงเฉือนในแนวนอนของชิ้นส่วนรับแรงดัดคอนกรีตเชิงประกอบ (composite concrete flexural member) แบนหูช้างและเชิงยื่น (bracket and corbel) ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 10 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19] และที่กำหนดเพิ่มเติมไว้ในมาตรฐานนี้สำหรับระบบโครงสร้างที่ใช้ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

3.6 ข้อกำหนดรายละเอียดการเสริมเหล็ก

3.6.1 รายละเอียดการเสริมเหล็ก ได้แก่ ของมาตรฐาน ระยะฝังของเหล็กเสริม การดัดเหล็กเสริม การจัดวางเหล็กเสริมและลวดอัดแรง จุดต่อระหว่างเหล็กเสริม รายละเอียดเหล็กเสริมตามขวาง

สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด องค์อาคารรับแรงดัด และ เหล็กเสริมด้านการยึดหด ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 6 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19] และที่กำหนดเพิ่มเติมไว้ในมาตรฐานนี้ สำหรับระบบโครงสร้างที่ใช้ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

3.7 การฝังยึดในคอนกรีต

ให้เป็นไปตาม ส่วนที่ 11 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]

3.8 การผลิต การเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ

- 3.8.1 ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผู้ผลิตต้องเลือกใช้วัสดุ และกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ตลอดจนมีการควบคุมคุณภาพในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 12 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]
- 3.8.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ควรมีค่าไม่เกินค่าที่แนะนำไว้ในส่วนที่ 13 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]
- 3.8.3 ผู้ผลิตต้องมีการวางแผนและกำหนดแนวทางในการป้องกันความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ระหว่างการถอดแบบ ระหว่างการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ และในระหว่างการกองเก็บ

3.9 การป้องกันอัคคีภัย

- 3.9.1 ระบบโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่ใช้ในบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ต้องมีการป้องกันป้องกันอัคคีภัยและการลุกลามของเพลิงไหม้ และการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่ให้ผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ตามแนวระนาบและแนวตั้ง รวมไปถึงการป้องกันการลามไฟและควันผ่านช่องเปิด (Fire Protection of Opening) ที่เกิดจากการเจาะทะลุหรือเว้นช่องว่างไว้เพื่องานระบบหรือสาธารณูปโภค
- 3.9.2 อัตราการทนไฟของโครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในกฎกระทรวงที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดลักษณะ สมบัติของวัสดุ และอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลัก และที่กำหนดในส่วนที่ 14 ของมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]
- 3.9.3 การประเมินและกำหนดอัตราการทนไฟของโครงสร้างคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ซึ่งอาจใช้วิธีหนึ่งวิธีใดดังต่อไปนี้

- 3.9.3.1 กำหนดขนาดองค์อาคารและระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมตามข้อกำหนดขั้นต่ำ
- 3.9.3.2 การทดสอบอัตราการทนไฟขององค์อาคารขึ้นส่วนโครงสร้าง
- 3.9.3.3 การคำนวณทางวิศวกรรมตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 [19]
- 3.9.4 จุดเชื่อมต่อที่อาจได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้ อาทิเช่น จุดต่อโครงสร้างหลัก โครงสร้างรอง จุดต่อของ พื้น ผนัง หรือ จุดต่อที่ใช้เหล็กรูปแบบต่าง ๆ จะต้องได้รับการป้องกันไฟให้มีอัตราการทนไฟเท่ากับอัตราการทนไฟของโครงสร้างหลักของจุดต่อนั้น ๆ โดยมีการคำนวณผลกระทบของจุดต่อนั้น ๆ และมีการพิจารณาถึงค่ากำลังที่ลดลงตามระยะเวลาที่เกิดเพลิงไหม้
- 3.9.5 ข้อกำหนดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการลุกลามของเพลิงไหม้และการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่ให้ผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ที่เกิดจากรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป ให้เป็นตามที่กำหนดในมาตรฐานว่าด้วยวัสดุและผลิตภัณฑ์ด้านอัคคีภัย มยผ. 8302-52 [15] ถึง มยผ. 8303-52 [16]

ส่วนที่ 4 การคำนวณออกแบบอาคารให้ต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

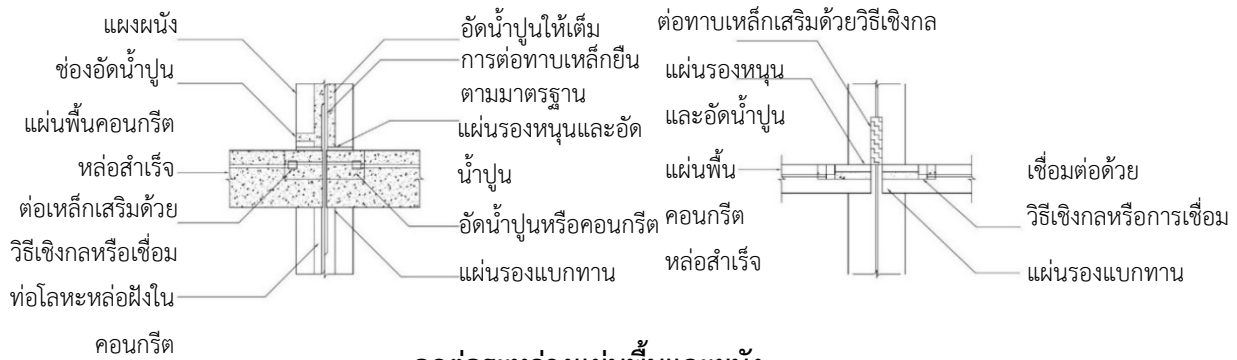
4.1 บทนำ

แนวคิดในการออกแบบอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จให้สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว แบ่งได้เป็นสองแนวทางหลัก ๆ คือ (1) การคำนวณออกแบบโดยทำเสมือนอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Design) กับ (2) การคำนวณออกแบบโดยไม่ทำเสมือนอาคารคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design) แต่ใช้ประโยชน์จากสมรรถนะในการหมุนที่จุดต่อระหว่างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เพื่อรองรับการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้แผ่นดินไหว และลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

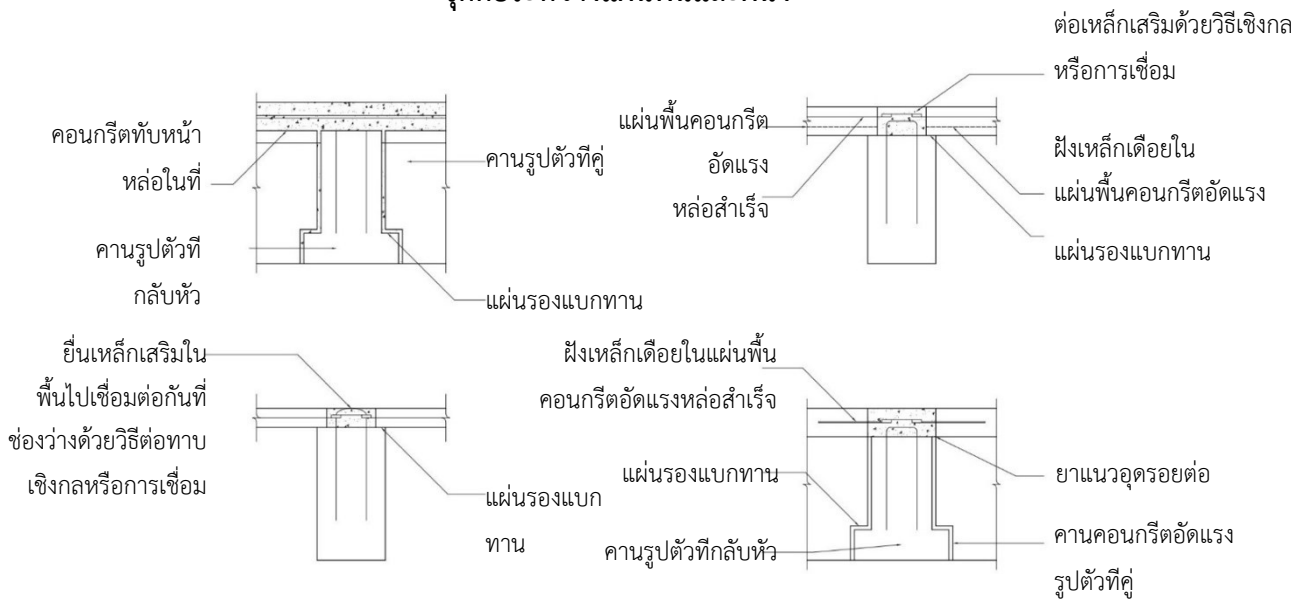
4.1.1 การออกแบบเสมือนคอนกรีตหล่อในที่ (Emulative Design)

ในกรณีที่อาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ข้อกำหนดการออกแบบอาคารยอมให้ใช้ระบบการก่อสร้างแบบหล่อสำเร็จได้แต่การก่อสร้างต้องเชื่อมต่อกันชิ้นส่วนหล่อสำเร็จเข้าด้วยกันโดยให้มีพฤติกรรมเทียบได้กับอาคารคอนกรีตแบบหล่อในที่ รูปที่ 4.1-1 แสดงตัวอย่างรายละเอียดจุดต่อของอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จที่สามารถเลียนแบบระบบคอนกรีตหล่อในที่ [3] แนวทางนี้อาจกำหนดให้จุดเชื่อมต่อไม่อยู่ในตำแหน่งโครงสร้างที่วิกฤตจากแผ่นดินไหว หรือทำให้จุดเชื่อมต่อบริเวณที่วิกฤตจากแผ่นดินไหวมีความสามารถต้านทานแรงและมีพฤติกรรมเหมือนกับบริเวณนั้นถูกสร้างด้วยวิธีการหล่อในที่ โดยทั่วไปอาจทำโดยใช้เหล็กเดือย (Dowel Bar) พาดผ่านจุดเชื่อมต่อโดยการทาบเหล็ก (Lap Splice) การเชื่อม หรืออุปกรณ์ต่อเหล็กเสริมเชิงกล (Mechanical Coupler) คอนกรีตถูกทำให้มีความต่อเนื่องโดยการเติมจุดเชื่อมต่อด้วยปูนเกรดที่มีคุณภาพสูงไม่หดตัวหรือเสริมแรงด้วยวัสดุเส้นใยในรอยต่อแนวนอนหรือการตั้งแบบเทคอนกรีตหล่อในที่ในบริเวณจุดต่อแนวตั้ง การก่อสร้างส่วนใหญ่ปฏิบัติตามกฎเกณฑ์สำหรับการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ แต่ปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อกันชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่เลือกใช้ เช่น การใช้คอนกรีตหุ้มให้มีความหนาเพียงพอบริเวณจุดต่อที่ใช้ข้อต่อเชิงกล

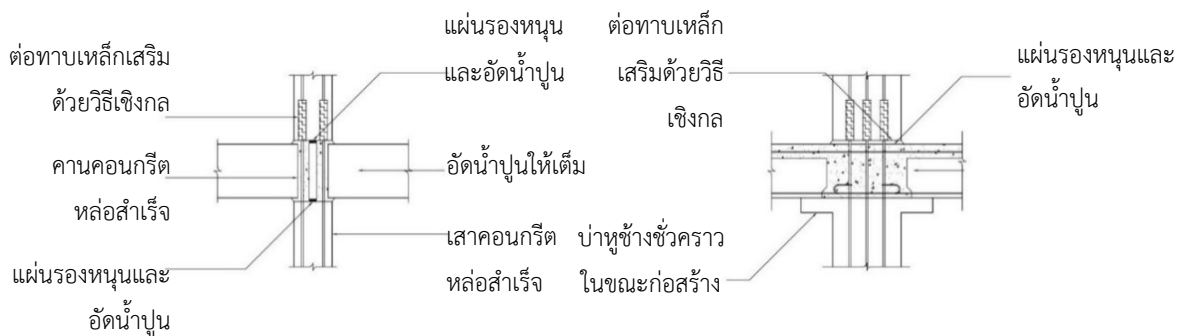
ข้อกำหนดในข้อ 4.3 สำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อสำเร็จ และผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ และค่าตัวประกอบในตารางที่ 4.2-1 ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำให้โครงสร้างคอนกรีตระบบหล่อสำเร็จมีพฤติกรรมเหมือนระบบหล่อในที่ตามแนวทางนี้



จุดต่อระหว่างแผ่นพื้นและผนัง



จุดต่อระหว่างแผ่นพื้นและคาน



จุดต่อระหว่างเสาและคาน

รูปที่ 4.1-1 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ใช้ระบบเสมือนเป็นอาคารคอนกรีตหล่อในที่

4.1.2 การออกแบบที่ไม่ทำเสมือนระบบคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design)

ในปัจจุบันมีงานวิจัยและการก่อสร้างอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยแนวทางที่ไม่ทำเสมือนระบบคอนกรีตหล่อในที่ในการต้านทานแผ่นดินไหว โดยใช้ประโยชน์จากความสามารถในการหมุนและการเคลื่อนที่สัมผัสบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เพื่อรองรับการโยกตัวและการเสียรูปของโครงสร้างระหว่างที่ได้รับแผ่นดินไหว มาตรฐานฉบับนี้ยอมให้ออกแบบอาคารโดยใช้แนวทางนี้ โดยต้องมีการตรวจสอบสมรรถนะของระบบโครงสร้างและต้องเป็นไปตามวิธีการทดสอบและเกณฑ์การยอมรับในข้อ 4.6 หรือเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับ [6] ตัวอย่างอาคารที่ไม่ทำเสมือนระบบคอนกรีตหล่อในที่ เช่น การใช้ลวดอัดแรงแบบดึงภายหลังชนิดไร้การยึดหน่วง (Unbonded Prestressing Tendons) ดึงยึดชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เช่น เสา คาน หรือ ผนังเอาไว้ด้วยกัน โดยรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน อาจมีการเปิดอ้า และหมุนสัมผัสกันได้ ทำให้อาคารโยกตัวได้มากโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายและความเครียดภายในชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแต่ละชิ้น นอกจากนี้อาคารที่ใช้ระบบเช่นนี้ยังมีความสามารถในการเคลื่อนที่กลับคืนไปยังตำแหน่งตั้งต้นได้ (Self-Centering) โดยไม่มีการเสียรูปคงค้าง หรืออีกตัวอย่างคือ อาคารที่มีการออกแบบให้จุดเชื่อมต่อมีความสามารถในการสลายพลังงานกลของการสั่นไหวโดยใช้อุปกรณ์หน่วงการสั่นไหวติดตั้งไว้บริเวณรอยต่อที่มีการโยกหรือหมุนร่วมด้วย เรียกว่า ระบบลูกผสม (Hybrid System)

4.1.3 ข้อพิจารณาเกี่ยวกับระบบต้านทานแรงด้านข้าง

ไม่ว่าจะใช้แนวทางใดข้างต้น อาคารจะต้องได้รับการคำนวณออกแบบโดยคำนึงถึงโครงสร้างหลักที่ใช้ต้านทานแรงด้านข้างที่มีการกำหนดเส้นทางการส่งถ่ายแรงไว้อย่างชัดเจน ตั้งแต่จุดกำเนิดของแรงเฉื่อยไปอย่างต่อเนื่องจนแรงถูกถ่ายลงสู่ฐานราก ในบริเวณจุดเชื่อมต่อที่คาดว่าจะมีการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างชิ้นส่วนมากจะต้องออกแบบให้เป็นจุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียว จุดเชื่อมต่อแต่ละจุดอาจถูกกำหนดและออกแบบให้สามารถส่งถ่ายแรงได้ในบางทิศทางและยอมให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสและมีความอ่อนตัวในทิศทางอื่น สิ่งที่สำคัญคือชิ้นส่วนทุกชิ้นจะต้องถูกยึดโยงและมีเส้นทางการถ่ายแรงจากทุกชิ้นส่วนไปสู่ระบบโครงสร้างหลักในการต้านทานแรงด้านข้าง

เนื่องจากแรงจากแผ่นดินไหวอาจเกิดขึ้นในทิศทางใดก็ได้ โครงสร้างจึงจำเป็นต้องมีความสามารถต้านทานแรงได้เพียงพอในทุกทิศทางรวมถึงการยกตัว (Uplift) ในการเลือกหน้าตัดองค์อาคารหน้าตัดรูปทรงปิด (Closed Section) เช่น หน้าตัดรูปกล่องหรือท่อ มีลักษณะที่พึงประสงค์ดีกว่าหน้าตัดรูปทรงเปิด (Opened Section) เพราะมีความต้านทานแรงบิดมากกว่า

ในโครงสร้างที่มีช่องเปิดที่ผนัง ผู้ออกแบบควรระวังและให้ความสำคัญกับแรงดัดและแรงเฉือนในตำแหน่งที่อยู่ใกล้ ๆ หรืออยู่รอบ ๆ ช่องเปิด เพื่อจำกัดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับองค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง (Non-structural Component) ผู้ออกแบบมีแนวทางในการออกแบบ

3 ทางเลือกได้แก่ (1) แยกการยัดยัดและปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรงกับโครงสร้างหลักในการต้านทานแรงด้านข้าง เพื่อลดการเสียรูปที่เกิดขึ้นในองค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง แต่จะต้องทำให้องค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรงนั้นมีเสถียรภาพและความสมบูรณ์ของโครงสร้างของตัวเอง (2) ลดการเสียรูปและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของทั้งระบบเพื่อลดการเสียรูปขององค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ผนังรับแรงเฉือน และ (3) ทำจุดต่อระหว่างองค์อาคารต่าง ๆ และองค์อาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง ให้สามารถรองรับการหมุนและการโยกตัวได้มากโดยไม่เกิดการวิบัติ โดยทั่วไปแนวทางที่ (1) หรือ (3) มักถูกใช้กับแผ่นผนังคอนกรีตสำหรับงานสถาปัตยกรรมที่ไม่ใช่ส่วนของโครงสร้างหลักในการต้านทานแรงด้านข้าง

4.2 ข้อกำหนดของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ

การคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร รวมถึงค่าแรงตอบสนองและการกระจัดของพื้นอาคาร และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ให้ปฏิบัติตาม มยผ. 1301/1302-61 [17]

4.2.1 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่อาคารตั้งอยู่ให้ปฏิบัติตามที่กำหนดใน มยผ. 1301/1302-61 [17] ซึ่งต้องมีการพิจารณาลักษณะของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคารด้วย

4.2.2 ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

การออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว มีการแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ประเภทการออกแบบ ก ข ค และ ง ขึ้นอยู่กับความสำคัญของอาคาร และระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ที่ระบุโดยค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (S_{DS}) และที่คาบ 1 วินาที (S_{D1}) ซึ่งประเภทการออกแบบจะมีผลต่อระบบต้านทานแรงด้านข้างที่ยอมให้ใช้ได้ โดยประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ง จะไม่อนุญาตให้ใช้ระบบที่มีความเหนียวแบบธรรมดา หรือหากจะใช้ระบบแบบความเหนียวปานกลาง จะมีข้อจำกัดของความสูงอาคารที่ยอมให้ใช้ดังหัวข้อ 2.3.1.2 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17]

4.2.3 แรงที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ

ในการคำนวณแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างและการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของอาคาร จะต้องใช้ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง R ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน Ω_0 และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว C_d ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างที่ใช้ในอาคารนั้น หัวข้อนี้จึงได้รวบรวมและสรุปค่าตัวประกอบดังกล่าวสำหรับระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างที่ใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังตารางที่ 4.2-1

ทุกระบบต้านทานแรงด้านข้างที่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เช่น มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ

ในระดับสากล และเป็นไปตามข้อกำหนดเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละชนิดของระบบต้านทานแรงด้านข้าง ตามข้อย่อในข้อ 4.3

ตารางที่ 4.2-1 ตัวประกอบปรับผลตอบแทน R ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน Ω_0 และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว C_d สำหรับระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างแบบต่าง ๆ (มยผ. 1301/1302-61 [17] และ ASCE 7-16 [7])

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบ		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
ระบบผนังรับน้ำหนัก บรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (ข้อ 4.3.2.1)	3	2.5	3	✓	X	X
	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการให้ รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (ข้อ 4.3.2.2)	4	2.5	4	✓	✓	X
	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความ เหนียวพิเศษ (ข้อ 4.3.2.3)	5	2.5	5	✓	✓	50 ม.
ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (ข้อ 4.3.2.1)	4	2.5	4	✓	X	X
	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการให้ รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (ข้อ 4.3.2.2)	5	2.5	4.5	✓	✓	X
	ผนังรับแรงเฉือนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความ เหนียวพิเศษ (ข้อ 4.3.2.3)	6	2.5	5	✓	✓	50 ม.
ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame System)	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (ข้อ 4.3.1.1)	3	3	2.5	✓	X	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความ เหนียวปานกลาง (ข้อ 4.3.1.1)	5	3	4.5	✓	✓	**
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความ เหนียวพิเศษ (ข้อ 4.3.1.2 – 4.3.1.4)	8	3	5.5	✓	✓	✓
เสายื่นจากฐานรากโดยคาน มาเชื่อมต่อแบบยึดหมุน (Cantilevered Column Systems)	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (ข้อ 4.3.1.1)	1	1.25	1	11 ม.	X	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความ เหนียวปานกลาง (ข้อ 4.3.1.1)	1.5	1.25	1.5	11 ม.	11 ม.	X

หมายเหตุ: ตัวเลขในหน่วยเมตรที่แสดงคือขีดจำกัดความสูงของอาคารที่ยอมให้ใช้ระบบต้านแรงด้านข้างนั้น
ได้ภายใต้ประเภทการออกแบบต่าง ๆ (ASCE 7-16 [7])

X = ไม่อนุญาต

** = ให้เป็นไปตามหัวข้อ 2.3.1.2 และ 2.3.1.3 ในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [17]

ข้อ 2.3.1.3 ใน มยพ. 1301/1302-61 [17] กำหนดว่า ในกรณีที่เลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบหล่อสำเร็จ จะต้องพิจารณาออกแบบองค์อาคารและจุดต่อให้มีกำลังเพียงพอ และมีการให้รายละเอียดเพื่อความเหนียวที่เหมาะสม สอดคล้องกับระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ทั้งนี้ องค์อาคารและจุดต่อต้องสามารถรับแรงในแนวแกน แรงเฉือน แรงดัด และโมเมนต์บิด ที่เกิดขึ้นได้ การออกแบบองค์อาคารและจุดต่อ ต้องใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณด้วยมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และมีพื้นฐานอยู่บนหลักการทางวิศวกรรมที่เหมาะสม ในกรณีที่ต้องการเลือกใช้รูปแบบที่แตกต่างไป ที่ยังไม่เคยมีการศึกษาหรือการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องมีการศึกษาหรือผลการทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าองค์อาคารและจุดต่อนั้น ๆ มีพฤติกรรมและความสามารถในการต้านทานแรง ความสามารถในการสลายพลังงาน และรูปแบบการวิบัติ เทียบเท่าองค์อาคารและจุดต่อของระบบโครงสร้างที่มีค่าตัวประกอบเทียบเท่ากับระบบที่เลือกใช้ ในกรณีที่องค์อาคารที่ใช้มีกำลังต้านทานแรงด้านข้างทิศทางหนึ่งอ่อนแอกว่าอีกทิศทางหนึ่งมาก วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงการวิบัติแบบต่อเนื่อง (Progressive Collapse) ของอาคารโดยภาพรวมหรือบางส่วน และออกแบบเพื่อป้องกันการวิบัติในลักษณะนี้

4.3 รายละเอียดการออกแบบองค์อาคารของระบบโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างแบบต่าง ๆ

4.3.1 ระบบโครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จ

เนื้อหาในข้อนี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างต้านแรงดัดที่ใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จและเป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านแรงแผ่นดินไหว

4.3.1.1 ในกรณีที่เลือกใช้ระบบโครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา หรือ ระบบโครงสร้างต้านแรงดัดคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความเหนียวปานกลาง จะต้องพิจารณาออกแบบองค์อาคารและจุดต่อให้มีกำลัง และมีการให้รายละเอียดเพื่อความเหนียว ไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดของโครงสร้างต้านแรงดัดแบบหล่อในที่สำหรับระดับความเหนียวนั้น ๆ ตามที่กำหนดใน มยพ. 1301/1302-61 [17] ข้อ 5.2.6 หรือ ข้อ 5.2.7 ตามลำดับ ในกรณีที่ไม่นำมาเปรียบเทียบกับระบบคอนกรีตหล่อในที่ (Non-Emulative Design) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 4.1.2 ในมาตรฐานนี้

4.3.1.2 โครงสร้างต้านแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษที่ใช้จุดเชื่อมต่อแบบเหนียว (Ductile Connection) ที่ถูกออกแบบให้มีพฤติกรรมเหมือนกับบริเวณนั้นถูกสร้างด้วยวิธีการหล่อในที่ จะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) ถึง (ค)

(ก) ข้อกำหนดที่ 5.2.8 ถึง 5.2.10 ในมาตรฐาน มยพ. 1301/1302-61 [17] สำหรับโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษ ซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตแบบหล่อในที่

(ข) สำหรับจุดเชื่อมต่อที่คำนวณตาม ทฤษฎีแรงเฉือน-เสียดทาน (Shear Friction) จะต้องมียกกำลังต้านทานแรงเฉือนไม่น้อยกว่า $2V_c$ โดยที่ V_c คือแรงเฉือนออกแบบซึ่งเป็นไป

ตามข้อกำหนดการคำนวณแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบที่พิจารณาจากกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่เป็นไปได้ ที่กระทำที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองด้าน ตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [17] ข้อ 5.2.8.4.1 และ 5.2.9.5.1

(ค) การต่อเชิงกลของเหล็กเสริม (Mechanical Splice) ในคานจะต้องมีลักษณะดังนี้

ค1. สำหรับการต่อเชิงกลของเหล็กเสริม ชนิดที่ 1 (Type 1) ที่สามารถต้านทานแรงดึงและแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของกำลังรับแรงที่จุดครากของเหล็กเสริมที่ใช้ต่อ ต้องอยู่ห่างจากหน้าคาน และหน้าเสา หรือบริเวณที่เหล็กเสริมจะเกิดการครากขึ้น ภายใต้แรงแผ่นดินไหว ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความลึกขององค์อาคาร

ค2. สำหรับการต่อเชิงกลของเหล็กเสริม ชนิดที่ 2 (Type 2) ที่มีคุณสมบัติเหมือนการต่อเชิงกล ชนิดที่ 1 (Type 1) และสามารถต้านทานแรงดึงได้จนถึงกำลังประลัย (Tensile Strength) จะต้องอยู่ห่างจากหน้าคาน และหน้าเสา หรือบริเวณที่เหล็กเสริมจะเกิดการครากขึ้น ภายใต้แรงแผ่นดินไหว ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความลึกขององค์อาคาร ยกเว้นกรณีที่ใช้กับเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 สามารถใช้ได้บริเวณข้างต้น แต่ต้องอยู่ที่ระยะไม่น้อยกว่า $h/2$ จากผิวหน้าของจุดต่อ

4.3.1.3 โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษที่ใช้จุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรง (Strong Connection) ที่ออกแบบให้มีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอีลาสติก และก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จจะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) ถึง (จ):

(ก) ข้อกำหนดที่ 5.2.8 ถึง 5.2.10 ในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [17] สำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษ ซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตแบบหล่อในที่

(ข) ความยาวช่วงว่างของชิ้นส่วน (Clear Span, l_n) ระหว่างตำแหน่งซึ่งตั้งใจให้เกิดจุดหมุนพลาสติกจากแรงดัดภายใต้การเสียรูปที่กำหนด จะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความลึกประสิทธิภาพ

(ค) กำลังของจุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรง (ϕS_n) จะต้องไม่น้อยกว่าแรงที่ใช้ในการออกแบบ (S_e) ที่เกิดขึ้นที่จุดต่อ สอดคล้องกับการเกิดจุดหมุนพลาสติก ณ จุดที่ตั้งใจให้เกิดการครากขึ้น ภายใต้แรงแผ่นดินไหวและน้ำหนักบรรทุกทุกแฉก

(ง) เหล็กเสริมหลักตามยาวจะต้องต่อเนื่องกันระหว่างจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ และจะต้องมีการงอหรือทาบยึด นอกบริเวณจุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรงและบริเวณที่จะเกิดจุดหมุนพลาสติก

(จ) สำหรับจุดเชื่อมต่อระหว่างเสากับเสา ค่ากำลังของจุดเชื่อมต่อ ϕS_n จะต้องไม่น้อยกว่า $1.4S_e$ และค่า ϕM_n จะต้องไม่น้อยกว่า $0.4M_{pr}$ โดยที่ M_{pr} คือ กำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่เป็นไปได้ของเสาที่อยู่ภายในระยะความสูงของชั้นที่พิจารณา และค่า

ϕV_n จะต้องไม่น้อยกว่าแรงเฉือนออกแบบ V_e ที่คำนวณจากกรณีที่มีโมเมนต์สูงสุดที่เป็นไปได้ M_{pr} เกิดขึ้นที่ปลายของเสาทั้งสองด้านกระทำร่วมกับค่าแรงอัดตามแนวแกนปรับค่า P_u โดยที่ค่าแรงเฉือนออกแบบ V_e ที่คำนวณได้นี้จะต้องไม่น้อยกว่าแรงเฉือนปรับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง ทั้งนี้ค่าแรงเฉือนออกแบบ V_e เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 5.2.9.5.1 ของมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [17]

4.3.1.4 โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษ ที่ใช้ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 4.3.1.2 หรือ 4.3.1.3 ข้างต้น จะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) ถึง (ค) ดังต่อไปนี้:

- (ก) ผ่านการทดสอบ ตามที่กำหนดในข้อ 4.6 เรื่องวิธีการตรวจสอบและเกณฑ์การยอมรับของอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จตามแนวทางที่ไม่ทำเสมือนระบบหล่อในที่ หรือตามมาตรฐาน ACI 374.1 [2]
- (ข) รายละเอียดและวัสดุของตัวอย่างทดสอบตามข้อ (ก) จะต้องสามารถเป็นตัวแทนที่แสดงถึงคุณสมบัติของรายละเอียดและวัสดุที่ใช้จริงของโครงสร้างได้
- (ค) ขั้นตอนการคำนวณออกแบบที่ใช้ในการกำหนดสัดส่วนและขนาดของตัวอย่างทดสอบจะต้องแสดงถึงกลไกของโครงสร้างในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งและผลจากแรงแผ่นดินไหว และกำหนดค่าที่ยอมรับได้เพื่อรักษากลไกการต้านทานแรงดังกล่าวกลไกต่าง ๆ ที่ไม่ตรงกับข้อกำหนดในมาตรฐานจะต้องถูกทดสอบ และกำหนดเป็นค่าขีดจำกัดบนของค่าที่ยอมรับได้

4.3.2 ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ

4.3.2.1 ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวธรรมดา

ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวธรรมดาคือผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่เป็นไปตาม มยผ. 1108-65 ส่วนที่ 6 และข้อกำหนดทั่วไปของคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.3.2.2 ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Structural Walls)

ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวปานกลางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวธรรมดา และข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- (1) ที่จุดเชื่อมต่อระหว่างแผงผนังหลายแผ่นเข้าด้วยกัน หรือระหว่างแผงผนังกับฐานราก ให้ออกแบบให้เกิดการครากที่ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กหรือที่เหล็กเสริมเท่านั้น

- (2) ที่จุดเชื่อมต่อที่ออกแบบให้เกิดการครากได้ จุดเชื่อมต่อจะต้องยังคงต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของกำลังประลัย ภายใต้การเสียรูปเนื่องจากอาคารเคลื่อนตัวไปถึงค่าการเคลื่อนตัวออกแบบ หรือจะต้องใช้การต่อเชิงกลของเหล็กเสริม ชนิดที่ 2 ซึ่งรับแรงได้ถึงจุดประลัยของเหล็กเสริม
- (3) สำหรับองค์ประกอบของจุดเชื่อมต่อที่ตั้งใจไม่ให้เกิดการคราก จะต้องมีกำลังต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของแรงที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการครากขึ้นในตำแหน่งที่กำหนดให้เกิดการครากขึ้นได้ ($1.5S_y$)
- (4) สำหรับโครงสร้างที่จัดอยู่ในประเภทการออกแบบ ง ส่วนของผนังที่ทำหน้าที่เหมือนเสา (Wall Pier) เนื่องจากผนังขาดความต่อเนื่อง จะต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.11.9 ของ มยผ. 1301/1302-61 ซึ่งกำหนดให้ทำตามข้อกำหนดของเสาในโครงข้อแข็งแบบความเหนียวพิเศษ ข้อ 5.2.9.3, 5.2.9.4, และ 5.2.9.5 ของ มยผ. 1301/1302-61 [17] หรือ ข้อ 4.5 ในมาตรฐานฉบับนี้ซึ่งเกี่ยวกับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้อยู่ในระบบต้านทานแรงด้านข้าง

4.3.2.3 ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวพิเศษ (Special Precast Shear Wall)

ระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวพิเศษต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบความเหนียวปานกลาง และข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- (1) ผนังโครงสร้างคอนกรีตแบบความเหนียวพิเศษ ซึ่งก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จ จะต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.11 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17] ว่าด้วยระบบผนังคอนกรีตที่มีความเหนียวพิเศษ และ ข้อ 4.3.2.2 ในมาตรฐานฉบับนี้
- (2) อนุญาตให้ใช้ผนังโครงสร้างแบบความเหนียวพิเศษ ซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จและการอัดแรงแบบใช้แรงดึงภายหลังโดยไม่มีการยึดเหนี่ยวระหว่างลวดอัดแรงกับคอนกรีต ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในข้อ 4.3.2.3 (1) ข้างต้นได้ แต่จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ในข้อ 4.6 ของมาตรฐานฉบับนี้

4.4 การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นไดอะแฟรม

ไดอะแฟรม หมายถึง องค์อาคารในแนวราบดังเช่นแผ่นพื้น ที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงในแนวราบจากจุดกำเนิดของแรงแนวราบไปยังองค์อาคารแนวตั้ง เช่น เสาหรือผนังที่จะส่งถ่ายแรงลงไปยังฐานรากต่อไป ในบางกรณีที่จุดต่อระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารแนวตั้งมีระยะหรือพื้นที่หน้าตัดที่จำกัด อาจมี

การใช้องค์อาคารเชื่อม (Collector) ที่ทำหน้าที่รวบรวมแรงจากไดอะแฟรมแล้วส่งต่อไปยังองค์อาคารแนวตั้งอีกที แรงหลักภายในองค์อาคารเชื่อมคือแรงตามแนวแกนทั้งแรงอัดและแรงดึง

4.4.1 ขอบข่าย

4.4.1.1 เนื้อหาในข้อ 4.4 นี้ใช้กับการออกแบบไดอะแฟรมและองค์อาคารเชื่อม (Collector) ที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้างของอาคารที่จัดอยู่ในประเภทการออกแบบ ง ทั้งไดอะแฟรมแบบหล่อในที่และหล่อสำเร็จ และใช้กับอาคารในประเภทการออกแบบ ค ในกรณีที่ไดอะแฟรมประกอบขึ้นจากคอนกรีตหล่อสำเร็จ

4.4.1.2 ข้อ 4.4.11 บังคับใช้กับไดอะแฟรมที่สร้างขึ้นโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและเป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้างของอาคารที่จัดอยู่ในประเภทการออกแบบ ค หรือ ง

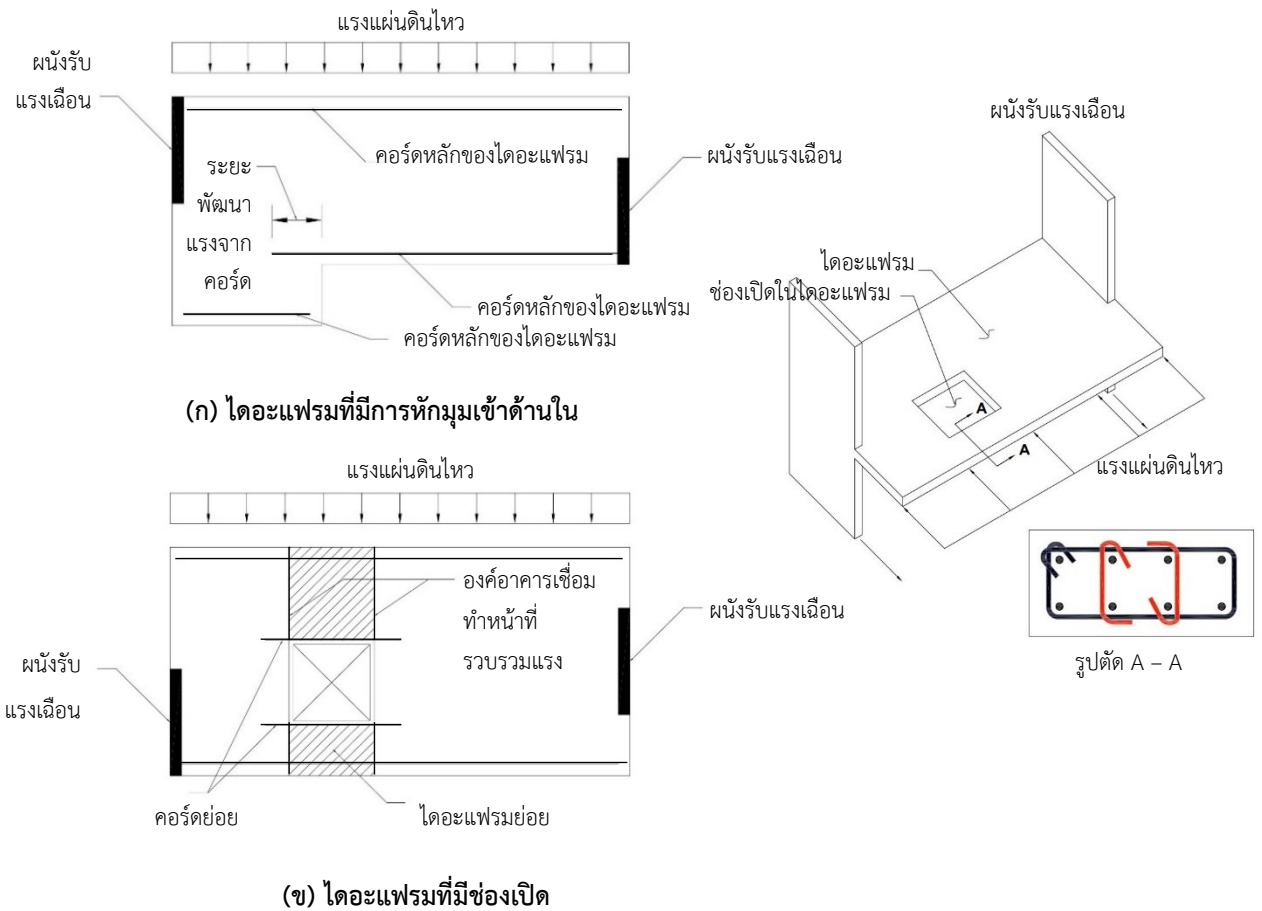
4.4.2 แรงออกแบบ

แรงจากแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบไดอะแฟรมให้อ้างอิงตามข้อ 2.9 ของ มยผ. 1301/1302-61 [17] และในกรณีที่อาคารมีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ง และมีความไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบ แบบ (1ก) (1ข) (2) (3) หรือ (4) หรือมีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง แบบ (4) ตามนิยามใน มยผ. 1301/1302-61 [17] ให้ปฏิบัติตามข้อ 2.4.3(4) ของ มยผ. 1301/1302-61 [17] ซึ่งให้เพิ่มแรงที่ใช้ในการออกแบบไดอะแฟรมและองค์อาคารเชื่อมอีกร้อยละ 25

4.4.3 เส้นทางของการส่งถ่ายแรง

4.4.3.1 ไดอะแฟรมและจุดเชื่อมต่อจะต้องได้รับการออกแบบและกำหนดรายละเอียดหลักเสริมให้สามารถส่งถ่ายแรงจากไดอะแฟรมไปยังองค์อาคารเชื่อมและไปยังองค์อาคารแนวตั้งในระบบต้านทานแรงด้านข้างได้อย่างเพียงพอ จุดกำเนิดของแรงเฉื่อยเนื่องจากแผ่นดินไหวมาจากตำแหน่งของมวลในอาคาร แผ่นพื้นของอาคารคือจุดกำเนิดหลักของแรงที่จะต้องถูกส่งถ่ายไปยังองค์อาคารแนวตั้ง ซึ่งแผ่นพื้นไดอะแฟรมทำหน้าที่คล้ายคานที่วางตัวตะแคงในแนวราบ ขอบของไดอะแฟรม (Main Diaphragm Chords) จะเกิดแรงอัดหรือแรงดึงเนื่องจากแรงดัดในระนาบของไดอะแฟรม ดังรูปที่ 4.4-1 และ 4.4-2

4.4.3.2 ชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของไดอะแฟรม ที่รับแรงตามแนวแกนเป็นหลักและทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงเฉื่อยและแรงดัดของไดอะแฟรม บริเวณรอบช่องเปิดหรือบริเวณที่มีความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับองค์อาคารเชื่อมในข้อ 4.4.7.6 และ 4.4.7.7



รูปที่ 4.4-1 ไดอะแฟรมที่มี (ก) มุมหักเข้าใน (ข) ช่องเปิด

รูปที่ 4.4-2 ส่วนของไดอะแฟรมที่มีการรับแรงอัดเป็นหลักตามข้อ 4.4.3.2

4.4.4 ไดอะแฟรมแบบที่คอนกรีตทับหน้าหล่อในที่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตกับแผ่นพื้นหล่อสำเร็จ

อนุญาตให้พิจารณาแผ่นพื้นที่ขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตกับคอนกรีตทับหน้าแบบหล่อในที่ เป็นไดอะแฟรมที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้างได้ โดยมีเงื่อนไขว่า คอนกรีตทับหน้าแบบหล่อในที่นั้นต้องมีการเสริมเหล็กและพื้นผิวของคอนกรีตหล่อสำเร็จที่แข็งตัวอยู่ก่อนแล้วนั้นต้องสะอาด ปราศจากฝุ่นน้ำปูน และมีการทำผิวหยาบให้เกิดการยึดหน่วงกับคอนกรีตทับหน้า

4.4.5 ไตอะแฟรมแบบที่คอนกรีตทับหน้าหล่อในที่ไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิต

อนุญาตให้พิจารณาใช้คอนกรีตทับหน้าแบบหล่อในที่ที่ไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตกับชั้นส่วนพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นไตอะแฟรมที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้างได้ โดยมีเงื่อนไขว่าคอนกรีตทับหน้าหล่อในที่นั้นต้องได้รับการออกแบบและมีรายละเอียดเหล็กเสริมที่ทำให้สามารถต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวได้โดยลำพัง

4.4.6 ความหนาขั้นต่ำของไตอะแฟรม

คอนกรีตทับหน้าที่มีพฤติกรรมคอมโพสิตกับแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่จะใช้เป็นไตอะแฟรมสำหรับส่งถ่ายแรงจากแผ่นดินไหวจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.

ส่วนแผ่นพื้นคอนกรีตทับหน้าที่ไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิต ที่จะใช้เป็นไตอะแฟรมสำหรับส่งถ่ายแรงจากแผ่นดินไหวจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 65 มม.

4.4.7 เหล็กเสริม

4.4.7.1 อัตราส่วนเหล็กเสริมขั้นต่ำสำหรับไตอะแฟรมจะต้องเป็นไปตามข้อ 6.8 ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 เพื่อป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัวคาน้ำและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และเป็นไปตามข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- ระยะเรียงเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางในระบบพื้นหรือหลังคาจะต้องไม่เกิน 450 มม. ยกเว้นในกรณีของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลัง
- ในกรณีที่ใช้ลวดเหล็กเสริมแบบเชื่อมเป็นตะแกรงในการต้านแรงเฉือนในคอนกรีตทับหน้าที่เทบนชั้นส่วนพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ลวดที่ขนานกับรอยต่อระหว่างชั้นส่วนหล่อสำเร็จจะต้องมีระยะเรียงไม่น้อยกว่า 250 มม. เมื่อวัดที่กึ่งกลางลวดเหล็กเสริม
- เหล็กเสริมที่ใช้ต้านแรงเฉือนจะต้องมีความต่อเนื่องและมีการจัดเรียงกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะนาบของแรงเฉือน

4.4.7.2 หากใช้ลวดอัดแรงแบบยึดหน่วง (Bonded) เป็นเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงในองค์อาคารเชื่อม (Collector) แรงเฉือนในไตอะแฟรม แรงดึงเนื่องจากการดัดจะต้องมีการคำนวณออกแบบให้หน่วยแรงในลวดอัดแรงเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวออกแบบมีค่าไม่เกิน 400 เมกะปาสกาล ทั้งนี้อนุญาตให้ใช้แรงอัดในคอนกรีตเนื่องจากการอัดแรงแบบไม่มีการยึดหน่วง (Unbonded) ในการต้านแรงออกแบบของไตอะแฟรมเนื่องจากแผ่นดินไหวได้ โดยต้องมีเส้นทางการส่งถ่ายแรงที่สมบูรณ์

- 4.4.7.3 เหล็กเสริมที่ใช้ต้านทานแรงในองค์อาคารเชื่อม แรงเฉือนในไดอะแฟรม หรือแรงดึงจากการดัดในระนาบของไดอะแฟรมจะต้องมีการยึดฝังหรือต่อทาบให้สามารถต้านทานแรงดึงได้ถึงกำลังคราก f_y
- 4.4.7.4 อนุญาตให้ใช้การต่อเชิงกล ชนิดที่ 2 ตามข้อ 4.3.1.2 เท่านั้นกับเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 ในการถ่ายแรงระหว่างไดอะแฟรมกับองค์อาคารแนวดิ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้าง ไม่อนุญาตให้ใช้การต่อเชิงกลกับเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD50 ในการส่งถ่ายแรงดังกล่าว
- 4.4.7.5 เหล็กเสริมตามยาวสำหรับองค์อาคารเชื่อมจะต้องมีการออกแบบให้หน่วยแรงดึงเฉลี่ยตลอดระยะช่วง (ก) ระยะจากปลายขององค์อาคารเชื่อมถึงตำแหน่งที่เริ่มมีการถ่ายแรงไปยังองค์อาคารแนวดิ่ง หรือ (ข) ระยะห่างในแนวนอกระหว่างองค์อาคารแนวดิ่งสองชั้นที่องค์อาคารเชื่อมส่งถ่ายแรงเข้าไป มีค่าไม่เกิน ϕf_y โดยค่าของ f_y ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กเสริมและจะต้องใช้ค่าไม่เกิน 400 เมกะปาสกาล
- 4.4.7.6 องค์อาคารเชื่อมที่มีหน่วยแรงอัดเกินกว่า $0.2f'_c$ ที่ส่วนใดก็ตาม จะต้องมียเหล็กเสริมตามขวางที่เป็นไปตามข้อ 5.2.9.4 ของมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 ว่าด้วยเหล็กปลอกของเสาและระยะเรียงเหล็กปลอกของเสาในโครงข้อแข็งความเหนียวพิเศษ แต่ขีตจำกัดระยะเรียงเหล็กปลอกในข้อ 5.2.9.4.2(1) ของมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 ให้เป็นหนึ่ง ในสามของมิติด้านที่เล็กที่สุดขององค์อาคารเชื่อม โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้
- จำนวนของเหล็กเสริมตามขวางให้เป็นไปตามตารางที่ 4.4-1 โดยอนุญาตให้หยุดเสริมเหล็กเสริมตามขวางได้เมื่อหน่วยแรงอัดมีค่าน้อยกว่า $0.15f'_c$
 - ในกรณีที่ตรวจสอบค่าหน่วยแรงอัดข้างต้นด้วยแรงออกแบบที่คำนวณโดยใช้ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน ให้เปลี่ยนค่าหน่วยแรงอัดที่ต้องเสริมเหล็กทางขวางจาก $0.2f'_c$ ข้างต้นเป็น $0.5f'_c$ และค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้หยุดเสริมเหล็กทางขวางจาก $0.15f'_c$ เป็น $0.4f'_c$

ตารางที่ 4.4-1 เหล็กเสริมตามขวางสำหรับองค์อาคารเชื่อม

เหล็กเสริมตามขวาง	ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำ	
A_{sh} / sb_c สำหรับเหล็กโอบรัดแบบเกลียว	$0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	
ρ_s สำหรับเหล็กโอบรัดแบบเกลียวหรือแบบกลม	ค่าที่สูงกว่าระหว่าง	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$
		$0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$

4.4.7.7 การออกแบบรายละเอียดเหล็กเสริมตามยาวสำหรับองค์อาคารเชื่อมที่จุดต่อทาบและจุดยึดฝังจะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) หรือ (ข) ดังนี้

- (ก) ระยะจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมต้องไม่น้อยกว่าสามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวและไม่น้อยกว่า 65 มม. และมีระยะหุ้มของคอนกรีตอย่างน้อยสองเท่าครึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาว และไม่น้อยกว่า 50 มม.
- (ข) พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามขวาง A_v ต้องไม่น้อยกว่า ค่าที่มากกว่าของ $0.062\sqrt{f'_c}(b_ws / f_{yt})$ กับ $0.35b_ws / f_{yt}$ และต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดในข้อ 4.4.7.6

4.4.8 กำลังต้านทานแรงดัด

ไดอะแฟรมและส่วนประกอบของไดอะแฟรมจะต้องได้รับการคำนวณออกแบบตามข้อ 7.6 ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 และต้องมีการพิจารณาถึงผลกระทบของช่องเปิดในแผ่นพื้นไดอะแฟรม

4.4.9 กำลังเฉือน

4.4.9.1 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของไดอะแฟรมให้ใช้ค่าไม่เกิน

$$V_n = A_{cv} (0.17\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (4.1)$$

- ในกรณีที่คอนกรีตทับหน้าไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตกับแผ่นพื้นหล่อสำเร็จจะต้องคำนวณ A_{cv} โดยใช้เฉพาะความหนาของคอนกรีตทับหน้าเท่านั้น ส่วนในกรณีที่ไดอะแฟรมมีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตให้ใช้ความหนารวมของทั้งคอนกรีตทับหน้าและชั้นส่วนหล่อสำเร็จได้

- ในกรณีที่ไดอะแฟรมมีพฤติกรรมแบบคอมโพสิต ค่า f'_c ที่ใช้ในการคำนวณ V_n จะต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่าระหว่าง f'_c ของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จกับ f'_c ของคอนกรีตทับหน้า

4.4.9.2 กำลังเฉือนระบุของไดอะแฟรม V_n ให้ใช้ค่าได้ไม่เกิน $0.66\sqrt{f'_c}A_{cv}$

4.4.9.3 ในคอนกรีตทับหน้าที่อยู่เหนือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนแผ่นพื้นหล่อสำเร็จ กำลังเฉือนของไดอะแฟรมทั้งแบบที่มีและไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิต ให้ใช้ค่า V_n ได้ไม่เกิน

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (4.2)$$

โดย A_{vf} คือเนื้อที่หน้าตัดรวมของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนด้วยการเสียดทานในคอนกรีตทับหน้า ซึ่งรวมทั้งเหล็กเสริมที่กระจายตลอดแนวและเหล็กเสริมที่ขอบ ซึ่งวางตัวในทิศทางตั้งฉากกับแนวรอยต่อของชิ้นส่วนพื้นหล่อสำเร็จ

- สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1.0 λ โดยที่ λ มีค่าตามที่ระบุอยู่ในข้อ 10.2.3.5 ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 ซึ่งว่าด้วยคอนกรีตมวลเบา
- ให้เหล็กเสริมที่เรียงกระจาย มีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของ A_{vf} และจะต้องมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของแนวระนาบที่คาดว่าจะวิกฤตเนื่องจากแรงเฉือน
- ปริมาณเหล็กเสริมที่เรียงกระจายอยู่ในคอนกรีตทับหน้าในแต่ละทิศทางจะต้องเป็นไปตามข้อ 6.8 ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 ที่กำหนดเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการหดตัวคายน้ำจะต้องมีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 0.0018 เท่าของพื้นที่หน้าตัดรวมของคอนกรีต (gross concrete area)

4.4.9.4 ในคอนกรีตทับหน้าที่อยู่เหนือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนแผ่นพื้นหล่อสำเร็จ กำลังเฉือนของไดอะแฟรมทั้งแบบที่มีและไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิต ให้ใช้ค่า V_n ได้ไม่เกินที่ระบุไว้ในข้อที่ 10.2.3.5(ค) ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 ว่าด้วยค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนด้วยความเสียดทานระบุสูงสุดที่ให้ได้ โดย A_c คำนวณจากการใช้เฉพาะความหนาของคอนกรีตทับหน้า

4.4.10 รอยต่อระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง

รอยต่อระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างในไดอะแฟรม ถ้าเป็นที่คาดการณ์ได้ในขั้นตอนของการออกแบบว่าจำเป็นต้องมีรอยต่อระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง ให้ผู้ออกแบบระบุตำแหน่งและวิธีปฏิบัติไว้ในเอกสารข้อกำหนดของการก่อสร้าง หากไม่ได้ระบุไว้แต่พบในภายหลังว่าจำเป็นต้องมีรอยต่อระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างควรกำหนดให้อยู่ในบริเวณที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างน้อยที่สุด

และคำนึงถึงการส่งถ่ายแรงเสียดทานเฉือนระหว่างพื้นผิว พื้นผิวสัมผัสตรงรอยต่อจะต้องมีการทำผิวหยาบตามเงื่อนไขของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับพื้นผิวแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 8.9 ในมาตรฐาน มยผ. 1108-65 เช่น คอนกรีตที่จะเทหล่อติดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ต้องทำให้พื้นผิวเดิมสะอาด ปราศจากคราบน้ำปูน และมีการทำผิวให้ขรุขระเป็นร่องสูงต่ำประมาณ 6 มม. จึงจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $\mu = 1.0$ ได้

4.4.11 โดอะแฟรมจากคอนกรีตหล่อสำเร็จ

4.4.11.1 อนุญาตให้ใช้โดอะแฟรมและองค์อาคารเชื่อมที่สร้างขึ้นโดยคอนกรีตทับหน้ามีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตแต่ไม่เป็นไปตามข้อ 4.4.4 หรือโดอะแฟรมที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่มีคอนกรีตทับหน้าได้ โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐาน ACI 550.5 [5] ว่าด้วยข้อกำหนดในการออกแบบโดอะแฟรมที่ใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จ

4.4.11.2 โดอะแฟรมที่คอนกรีตทับหน้าไม่มีพฤติกรรมแบบคอมโพสิตจะต้องเป็นไปตามข้อ 4.4.5 และ 4.4.6 ซึ่งว่าด้วยความหนาขั้นต่ำ

4.4.11.3 จุดเชื่อมต่อและเหล็กเสริมที่จุดต่อที่ใช้ในการก่อสร้างโดอะแฟรมจากคอนกรีตหล่อสำเร็จตามข้อ 4.4.11.1 จะต้องได้รับการทดสอบตาม ACI 550.4 [4]

4.4.11.4 ไม่อนุญาตให้ทำการคาดคะเนโดยการประมาณค่านอกช่วงข้อมูลผลการทดสอบจุดเชื่อมต่อและเหล็กเสริมที่จุดต่อในการรับรองคุณภาพตาม ACI 550.4 [4] ที่เป็นการเพิ่มค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) ในการติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ

4.5 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้อยู่ในระบบต้านทานแรงด้านข้าง

4.5.1 ขอบข่าย

หัวข้อนี้ใช้บังคับกับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้าง ในอาคารที่จัดอยู่ในประเภทการออกแบบ ง ตาม มยผ. 1301/1302-61 [17]

ตามที่ ข้อกำหนดใน มยผ. 1301/1302-61 [17] ระบุว่า ในการออกแบบอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ง ให้ใช้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวพิเศษ หรือ ผนังโครงสร้างแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวแบบพิเศษ หรือให้เป็นไป ตามหัวข้อ 2.3.1.2 ข้อกำหนดด้านความสูง รวมทั้งแผ่นพื้นโดอะแฟรม โครงข้อหมุน และ ฐานรากที่ได้รับการออกแบบและจัดทำรายละเอียดการเสริมเหล็กให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว ส่วนองค์อาคารหรือส่วนของโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว (ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้าง) ให้ออกแบบองค์อาคารหรือส่วนของโครงสร้างเหล่านี้นั้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกแนวตั้งร่วมกับผลของแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่

ด้านข้างของโครงสร้าง จึงได้มีการกำหนดแนวทางการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้เป็นส่วนของระบบต้านทานแรงด้านข้างไว้ในหัวข้อ 4.5 ของมาตรฐานฉบับนี้

4.5.2 แรงที่ใช้ในการออกแบบ

ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้เป็นส่วนของระบบต้านทานแรงด้านข้างจะต้องถูกตรวจสอบด้วยชุดการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง ซึ่งต้องคำนึงถึงความเร่งจากแผ่นดินไหวในแนวตั้งและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสำหรับคำนวณออกแบบ

4.5.3 คาน เสา และข้อต่อเสา-คาน แบบหล่อในที่

4.5.3.1 คาน เสา และข้อต่อเสา-คาน แบบหล่อในที่ ต้องคำนวณออกแบบรายละเอียดให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 4.5.3.2 หรือ 4.5.3.3 ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเมื่อเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแผ่นดินไหวที่ระดับคำนวณออกแบบ หรือถ้าผลของการเคลื่อนที่เนื่องจากแผ่นดินไหวที่ระดับออกแบบไม่ได้มีการตรวจสอบโดยตรง ให้ปฏิบัติตามข้อ 4.5.3.3

4.5.3.2 เมื่อแรงดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นยังไม่เกินกำลังต้านออกแบบ ให้ปฏิบัติตามข้อ (ก) ถึง (ง) ดังต่อไปนี้

(ก) คานจะต้องมีเหล็กบนและเหล็กล่างฝังลายน้อยสองเส้น ที่หน้าตัดใด ๆ เหล็กเสริมตามยาวต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า $\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y}b_wd$ และไม่น้อยกว่า $\frac{1.4}{f_y}b_wd$ โดยใช้ค่า f_y ในการคำนวณได้ไม่เกิน 560 เมกะปาสกาล และอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมตามยาวต้องไม่เกิน 0.025 สำหรับเหล็ก SD40 และ 0.02 สำหรับเหล็ก SD50 และเป็นไปตามข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- ต้องมีเหล็กผูกตั้งตลอดความยาวคานโดยมีระยะเรียงห่างไม่เกิน $d/2$
- หากมีแรงตามแนวแกนเกินกว่า $A_g f'_c / 10$ เหล็กผูกตั้งจะต้องเป็นเหล็กรัตรอบได้แก่
 - 1) เหล็กผูกตั้งรัตรอบอาจประกอบด้วยเหล็กผูกตั้งเดี่ยวรูปสี่เหลี่ยมหรือกลมหรือเหล็กผูกตั้งเกลียว หรือมีการซ้อนเหลื่อมกันของเหล็กผูกตั้งรัตรอบมากกว่าหนึ่งวง โดยอาจจะมีเหล็กยึดขวาง (Cross Tie) ที่เป็นไปตามข้อกำหนดตามข้อ 4)
 - 2) จุดที่หักงอเหล็กปลอกบริเวณมุมหรือเหล็กยึดขวางจะต้องคล้องกับเหล็กตามยาว

- 3) เหล็กยึดขวาง (Cross Tie) อาจมีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่าเหล็กลูกตั้งรัตรอบ เหล็กยึดขวางต้องมี ขนาดไม่เล็กกว่า 9 มม. สำหรับเหล็กตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 28 มม. และไม่เล็กกว่า 12 มม. สำหรับเหล็กตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มม. ขึ้นไป และเหล็กที่มัดเป็นกลุ่ม (Bundled Bars) ซึ่งเหล็กยึดขวางจะมีปลายข้างหนึ่งงอขอ 135 องศา และอีกข้างหนึ่งงอขอ 90 องศา ให้จัดวางเหล็กยึดขวางให้ลักษณะปลายทั้งสองแบบสลับข้างกันไปตามแนวยาวของเหล็กเสริมตามยาว และตามแนวรอบรูปของหน้าตัดคาน
 - 4) เมื่อใช้เหล็กลูกตั้งเดี่ยวรูปสี่เหลี่ยมรัตรอบและเหล็กยึดขวาง ให้จัดวางเหล็กลูกตั้งให้ทำหน้าที่ยึดรัตรองขวางให้กับเหล็กเสริมตามยาว ดังนี้
 - ทุกมุมของเหล็กปลอกต้องคล้องกับเหล็กตามยาวและมุมภายในเหล็กปลอกต้องไม่เกิน 135 องศา
 - เหล็กตามยาวที่วางเรียงตามแนวเส้นรอบรูปของหน้าตัดต้องถูกคล้องด้วยเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กยึดขวางอย่างน้อยเส้นเว้นเส้น เหล็กตามยาวที่ไม่ถูกยึดรัตรองด้วยมุมของเหล็กปลอกหรือเหล็กยึดขวางจะอยู่ห่างจากเหล็กอื่นที่ถูกยึดรัตรองได้ไม่เกิน 150 มม.
 - 5) ระยะระหว่างเหล็กตามยาวที่มีการยึดรัตรองโดยเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กยึดขวาง (h_x) ต้องไม่เกิน 350 มม. วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง
 - 6) เมื่อแรงอัดตามแนวแกนที่คานตัวประกอบแล้ว $P_u > 0.3A_g f'_c$ หรือ ใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีต $f'_c > 70$ เมกะปาสกาล ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยวแบบสี่เหลี่ยม เหล็กตามยาวตามแนวเส้นรอบรูปทุกเส้นหรือทุกมัดต้องถูกยึดรัตรองด้วยมุมของเหล็กรัตรอบ หรือมุมที่เป็นของอ 135 องศา และระยะระหว่างเหล็กตามยาว (h_x) ต้องไม่เกิน 200 มม. ในที่นี้ P_u เป็นค่าแรงอัดที่ต้องการซึ่งได้รวมผลของแรงแผ่นดินไหวแล้ว ทั้งนี้ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งรัตรอบต้องไม่เกินหกเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาวที่เล็กที่สุด ($6d_b$) และไม่เกิน 150 มม.
- (ข) เสาต้องมีปริมาณเหล็กยื่นในช่วงตั้งแต่ $0.01A_g$ ถึง $0.06A_g$ และข้อกำหนดแรงเฉือนสำหรับการออกแบบเสาให้มีการวิบัติแบบดัดก่อนที่จะเกิดการวิบัติแบบเฉือน โดยคำนึงถึงกำลังต้านทานแรงดัดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง และเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- ให้มีเหล็กปลอกเกลียว หรือเหล็กปลอกเดี่ยวยึดรอบตาม ข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
 - ระยะเรียงของเหล็กปลอกยึดรอบ ต้องไม่เกินหกเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาวที่เล็กที่สุด ($6d_b$) และไม่เกิน 150 มม.
 - ให้มีเหล็กปลอกตามที่ได้กล่าวถึงในข้อ (ก) ในบริเวณโคนเสาและหัวเสาห่างจากผิวคานหรือพื้นบริเวณข้อต่อเสา-คานออกไปเป็นระยะ l_o ตามที่นิยามไว้ใน มยผ. 1301/1302-61 [17] กล่าวคือ l_o มีค่าเท่ากับค่าที่มากที่สุดใน 3 ข้อนี้
 - 1) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
 - 2) 1 ใน 6 เท่าของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา
 - 3) 500 มม.
- (ค) เสาที่มีแรงอัดตามแนวแกนที่คูณแฟกเตอร์น้ำหนักบรรทุกแล้วมีค่าเกิน $0.35f'_cA_g$ จะต้องเป็นไปตามข้อ 4.5.3.2 (ข) ในมาตรฐานนี้ ซึ่งกำหนดว่าถ้าคอนกรีตหุ้มที่อยู่นอกเหล็กปลอกยึดรอบมีความหนาเกิน 100 มม. จะต้องจัดให้มีเหล็กปลอกยึดรอบเพิ่มเติม โดยมีคอนกรีตหุ้มหนาไม่เกิน 100 มม. และมีระยะเรียงห่างไม่เกิน 300 มม. ทั้งนี้ ปริมาณเหล็กเสริมทางขวางขั้นต่ำกรณีใช้สำหรับเหล็กปลอกยึดรอบรูปสี่เหลี่ยมจะต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่าที่มากกว่าระหว่าง ข้อ (ก) และข้อ (ข) ในตารางที่ 4.5-1 ส่วนกรณีใช้สำหรับเหล็กปลอกยึดรอบรูปวงกลมจะต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่าที่มากกว่าระหว่าง ข้อ (ง) และข้อ (จ) ในตารางที่ 4.5-1

ตารางที่ 4.5-1 ปริมาณเหล็กปลอกกรอบของเสาในโครงข้อแข็งความเหนียวพิเศษ

เหล็กเสริมตามขวาง	เงื่อนไข	สมการที่เกี่ยวข้อง		กรณี
A_{sh}/sb_c สำหรับเหล็ก ปลอกรูป สี่เหลี่ยม	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ และ $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	ค่าที่มากกว่าของ (ก) และ (ข)	$0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(ก)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ หรือ $f'_c > 70 \text{ MPa}$	ค่าที่มากที่สุดจาก (ก) (ข) และ (ค)	$0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(ข)
			$0.2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$	(ค)
ρ_s สำหรับ ปลอกกลมหรือ เกลียว	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ และ $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	ค่าที่มากกว่าของ (ง) และ (จ)	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(ง)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ หรือ $f'_c > 70 \text{ MPa}$	ค่าที่มากที่สุดจาก (ง) (จ) และ (ฉ)	$0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(จ)
			$0.35k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$	(ฉ)

- ให้เสริมเหล็กปลอกดังกล่าวข้างต้นในช่วงระยะ l_o บริเวณโคนเสาและหัวเสาห่างจากผิวคานหรือพื้นบริเวณข้อต่อเสา-คาน ตามที่นิยามไว้ในข้อ 5.2.9.4.4 ของ มยพ. 1301/1302-61 [17]

(ง) จุดต่อเสา-คานต้องเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ว่าด้วยเรื่องจุดต่อคาน-เสา และพื้น-เสา หากไม่ถูกบังคับด้วยเหตุผลอื่น

4.5.3.3 เมื่อแรงดัดมีค่าเกิน ϕM_n หรือแรงเฉือนมีค่าเกิน ϕV_n หรือกรณีที่ไม่ได้คำนวณแรงดัดและแรงเฉือนจะต้องทำตามข้อ (ก) ถึง (ง) ดังต่อไปนี้

(ก) วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ข้อต่อเหล็กเสริมเชิงกลและการต่อเหล็กเสริมด้วยการเชื่อมไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

- ไม่อนุญาตให้ใช้ข้อต่อเหล็กเสริมเชิงกลในบริเวณจุดหมุนพลาสติกเป็นระยะสองเท่าของความลึกหน้าตัดชิ้นส่วนเสาหรือคานจากขอบของจุดต่อเสา-คาน เว้นแต่เมื่อใช้เหล็กเสริม SD40 และใช้ข้อต่อเชิงกลชนิดที่ 2 ซึ่งสามารถต้านทานแรงดึง

ได้ถึงจุดประลัยของเหล็กเสริม แต่ในกรณีนี้ยังคงห้ามมิให้ใช้ข้อต่อเชิงกลนี้ในช่วงระยะครึ่งหนึ่งของความลึกหน้าตัดจากขอบจุดต่อเสา-คาน และ

- ไม่อนุญาตให้ใช้การต่อเชื่อมเหล็กเสริมบริเวณจุดหมุนพลาสติก โดยการเชื่อมเหล็กเสริมด้วยไฟฟ้า และไม่อนุญาตให้เชื่อมเหล็กปลอก เหล็กลูกตั้ง เหล็กยึดขวาง หรืออุปกรณ์อื่นติดกับเหล็กเสริมตามยาว

- (ข) คานต้องเป็นไปตามข้อ 4.5.3.2(ก) ว่าด้วยคานที่ไม่เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้าง และตามข้อ 5.2.8 ในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 [17] ว่าด้วยกำลังต้านทานแรงเฉือนของคานในโครงข้อแข็งความเหนียวพิเศษ
- (ค) เสาต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.9 ในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 [17] ซึ่งเกี่ยวกับเหล็กเสริมตามยาว เหล็กเสริมตามขวางและกำลังต้านทานแรงเฉือนของเสาในโครงข้อแข็งความเหนียวพิเศษ
- (ง) จุดต่อเสา-คานต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.7 ในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 [17] ว่าด้วยจุดต่อในโครงข้อแข็งความเหนียวปานกลาง ซึ่งกำหนดให้มีเหล็กเสริมตามขวางในจุดต่อ ซึ่งกำหนดให้มีเหล็กปลอกใน จุดต่ออย่างน้อย 2 ปลอกที่ระดับหน้าตัดของคานที่มีความลึกน้อยที่สุดที่เข้ามา เชื่อมต่อที่จุดต่อเสา-คานนั้น

4.5.4 คานและเสาที่เป็นชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ

ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่คาดว่าไม่มีส่วนช่วยในการต้านทานแรงด้านข้างรวมถึงจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจะต้องเป็นไปตามข้อ (ก) ถึง (ง) ดังต่อไปนี้

- (ก) ทำตามข้อกำหนดในข้อ 4.5.3 ซึ่งกล่าวถึง เสา คาน และข้อต่อ แบบหล่อในที่ ที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้าง
- (ข) ต้องมีเหล็กปลอกตามที่กำหนดในข้อ 4.5.3.2(ข) ตลอดความยาวเสารวมไปถึงข้อต่อด้วย
- (ค) ต้องมีเหล็กเสริมป้องกันการร่วแบบต่อเนื่อง (Integrity Reinforcement) เพื่อความเป็นบูรณภาพของโครงสร้าง ตามมาตรฐาน มยผ.1108-65 [18]
- (ง) ระยะนั่งบนจุดรองรับของคานจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ.1108-65 [18] ซึ่งกำหนดระยะที่ขอบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนั่งอยู่บนจุดรองรับ โดยต้องเพิ่มระยะนั่งไปอีกอย่างน้อย 50 มม.

4.5.5 จุดต่อระหว่างพื้นกับเสา

4.5.5.1 สำหรับจุดต่อระหว่างพื้นกับเสาในระบบแผ่นพื้นสองทาง (Two-way Slabs) ที่ไม่มีคานการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในแผ่นพื้นให้ทำตามข้อกำหนดข้อ 4.5.5.3 ในกรณีดังต่อไปนี้

- (ก) กรณีแผ่นพื้นไม่อัดแรง $\Delta_x / h_{sx} \geq 0.035 - (1/20)(v_{uv} / \phi v_c)$

โดยที่ Δ_x คือ ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ x , h_{sx} คือ ความสูงระหว่างชั้นที่ x , v_{uv} คือ หน่วยแรงเฉือนในแผ่นพื้นทีหน้าตัดวิฤกถ่ายแรงแบบสองทิศทางที่คุณแพกเตอร์น้ำหนักบรรทุกแล้ว, ϕ คือ ตัวคูณลดกำลังแบบเฉือน และ v_c คือ กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนระบุของแผ่นพื้นสองทางโดยคอนกรีต

- (ข) กรณีแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดไร้การยึดหน่วง ที่มีหน่วยแรงอัดในคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกหลังการสูญเสียการอัดแรงจากสาเหตุต่าง ๆ ที่จุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดหรือที่รอยต่อระหว่างปีกกับเอวของหน้าตัดหากจุดศูนย์ถ่วงอยู่ในปีก (f_{pc}) ในแต่ละทิศทางที่ทำให้ $\Delta_x / h_{sx} \geq 0.040 - (1/20)(v_{uv} / \phi v_c)$

ในการพิจารณาตามข้อ (ก) และ (ข) ข้างต้น

- ให้คำนวณค่า v_{uv} โดยพิจารณาชุดการรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combination) เฉพาะที่มีแรงแผ่นดินไหว
- ค่า Δ_x / h_{sx} จะต้องใช้ค่าที่มากกว่าระหว่างค่าจากชั้นที่อยู่เหนือจากจุดต่อขึ้นไป หรือค่าจากชั้นที่อยู่ต่ำกว่าจุดต่อลงไป
- ให้ใช้ค่า v_c เท่ากับค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

$$v_c = 0.33 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \quad (4.3ก)$$

$$v_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \quad (4.3ข)$$

$$v_c = 0.083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \quad (4.3ค)$$

โดยที่ λ_s คือ แฟกเตอร์ผลของขนาด เท่ากับ $\sqrt{\frac{2}{1 + \frac{d}{10}}} \leq 1$

β คือ อัตราส่วนระหว่างมิติด้านยาวต่อด้านสั้นของหน้าตัดเสา

$\alpha = 40$ สำหรับเสาด้านใน

30 สำหรับเสาริมขอบอาคาร และ

20 สำหรับเสาด้านมุม

4.5.5.2 ไม่จำเป็นต้องทำให้ลึกรับแรงเฉือนตามข้อ 4.5.5.1 ถ้าผลการออกแบบเป็นไปตามข้อหนึ่งข้อใดข้างล่างนี้

- (ก) $\Delta_x / h_{sx} \leq 0.005$ สำหรับแผ่นพื้นที่ไม่มีการอัดแรง
- (ข) $\Delta_x / h_{sx} \leq 0.01$ สำหรับแผ่นพื้นอัดแรงภายหลังแบบลวดอัดแรงไม่ยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต โดยที่ f_{pc} ในแต่ละทิศทาง สอดคล้องกับ ACI 318-19 [1] ที่กำหนดว่าหน่วยแรงอัดประสิทธิผลในคอนกรีตหลังจากการสูญเสียแรงอัดบ้างแล้วโดยเฉลี่ยที่

หน้าตัดต่าง ๆ ตลอดความยาวช่วงพื้น ทั้งทางยาวและทางขวาง ในบริเวณพื้นที่อิทธิพลของลวดอัดแรงเส้นนั้นหรือกลุ่มนั้น จะต้องไม่น้อยกว่า 0.862 เมกะปาสกาล

- 4.5.5.3 เมื่อจำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน จะต้องให้มีปริมาณเหล็กเพียงพอที่จะทำให้กำลังต้านทานหน่วยแรงเฉือนจากการเสริมเหล็ก v_s ไม่น้อยกว่า $0.29\sqrt{f'_c}$ ที่หน้าตัดวิกฤตของแผ่นพื้นและจะต้องยื่นเหล็กเสริมออกไปอีกเป็นระยะไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาพื้นจากขอบของจตุรรองรับที่ใกล้กับหน้าตัดวิกฤตนั้น

4.5.6 ส่วนของผนังแนวตั้ง (Wall Piers)

ส่วนของผนังแนวตั้งที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรงด้านข้างเนื่องจากผนังขาดความต่อเนื่องจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 5.2.11.9 ของ มยผ. 1301/1302-61-[17]

- อนุญาตให้คำนวณค่าแรงเฉือนออกแบบโดยให้เท่ากับ Ω_0 คูณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายใต้การเคลื่อนที่ออกแบบ δ_u

4.6 วิธีการตรวจสอบและเกณฑ์การยอมรับของอาคารคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่ทำเสมือนระบบหล่อในที่ (Non-emulative Design)

4.6.1 บทนำ

ยอมให้ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดว่าด้วยรายละเอียดเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวได้ ถ้าสามารถแสดงด้วยผลการทดสอบและการวิเคราะห์ได้ว่าระบบโครงสร้างที่เสนอ มีกำลังและความเหนียวไม่น้อยกว่าระบบหล่อในที่ที่เทียบเคียงกัน หัวข้อนี้จึงกำหนดแนวทางขั้นต่ำของการตรวจพิสูจน์การยอมรับได้ของระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยใช้วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ในการตรวจพิสูจน์สมรรถนะของระบบโครงสร้าง ต้องพิจารณาครอบคลุมถึงการนำระบบโครงสร้างนี้ไปใช้กับอาคารต้นแบบ (Prototype Building) โดยมีการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของอาคารต้นแบบและมีการทดสอบขึ้นตัวอย่างที่ประกอบกันขึ้นเป็นชุดผนังสำหรับทดสอบ (Test Module) ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการออกแบบขึ้นตัวอย่างที่สอดคล้องกับระบบผนังที่จะใช้เป็นระบบต้านทานแรงด้านข้างของอาคารต้นแบบ

4.6.2 ขอบเขต

- 4.6.2.1 ข้อกำหนดนี้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำสำหรับระบบผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบอัดแรงภายหลังชนิดไร้การยึดหน่วง (Unbonded Post-Tensioned Precast Structural Walls, UBPTPCSW) ซึ่งรวมถึงทั้งกรณีที่มีพฤติกรรมคู่ควบ (Coupled Walls) และไม่มีพฤติกรรมคู่ควบระหว่างผนังข้างเคียง ในอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวรุนแรง

(High Seismic Hazard Areas) โดยอ้างอิงตาม ACI ITG 5.1 (2007) [6] ในกรณีของ
โครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อสำเร็จให้อ้างอิงตาม ACI 374.1 [2]

4.6.2.2 ข้อกำหนดนี้ใช้กับผนังที่มีอัตราส่วนความสูง (h_w) ต่อความยาว (l_w) ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป
โดยเป็นผนังที่มีความต่อเนื่องจากฐานขึ้นไปถึงยอดของผนัง โดยมีหน้าตัดวิกฤตที่คาดว่าจะ
เกิดการครากภายใต้แรงตัดจากแผ่นดินไหวร่วมกับแรงตามแนวแกนในแนวตั้ง ที่ตำแหน่ง
เดียวกันในบริเวณฐานของผนัง

4.6.2.3 ผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จในอาคารต้นแบบอาจจะประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนผนัง
หลายชิ้นในแนวนอนและหลายชิ้นในแนวตั้งประกอบเข้าด้วยกัน อาจมีพฤติกรรมแบบคู่ควบ
ระหว่างผนัง 2 ผนังที่อยู่ใกล้กัน หรือไม่มีพฤติกรรมคู่ควบก็ได้

4.6.2.4 ระบบโครงสร้างจะผ่านเกณฑ์ได้ก็ต่อเมื่ออาคารต้นแบบเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 4.6 นี้
และข้อกำหนดอื่น ๆ ใน ACI 318-19 [7] ยกเว้นข้อกำหนดสำหรับรายละเอียดของผนัง
โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ

4.6.2.5 ผลการทดสอบชุดผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีการอัดแรงภายหลังชนิดไร้การยึดหน่วงจะต้อง
เป็นไปตามเงื่อนไขในหัวข้อ 4.6 นี้ทั้งหมด

4.6.2.6 อาคารต้นแบบจะต้องได้รับการคำนวณออกแบบตามกระบวนการออกแบบ ที่ได้พัฒนาขึ้น
สำหรับระบบโครงสร้างนี้และมีการยืนยันสมรรถนะด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.6.2.7 อาคารต้นแบบจะต้อง

- (1) ได้รับการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้สมบัติสตีฟเนสที่ได้รับการยืนยันจากการทดสอบ
- (2) ได้รับการแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างมีการเคลื่อนที่ออกแบบ (เนื่องจากระดับความ
รุนแรงแผ่นดินไหวสำหรับการคำนวณออกแบบ) สำหรับทุกผนังไม่เกินกว่า 2 ใน 3
ของการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกับมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่ได้ทำการทดสอบในข้อ
4.6.5.4

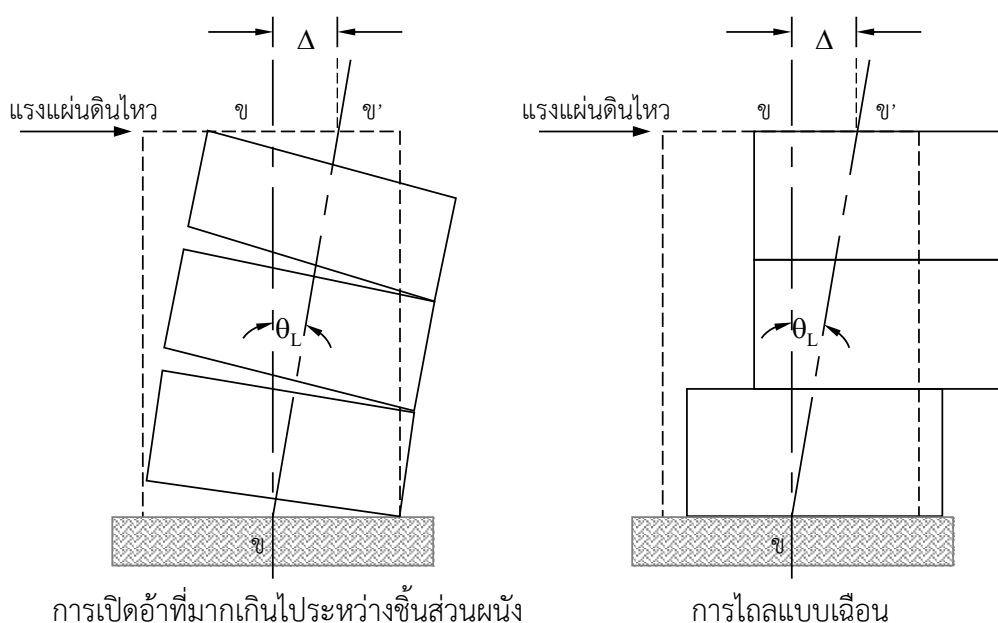
- (3) มีแรงภายในที่ต้องต้านทานที่ได้คูณแฟกเตอร์ชุดการรวมน้ำหนักบรรทุก (Load
Factor) แล้วไม่เกินกำลังต้านทานระบุที่ออกแบบไว้ และใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ
ขึ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจพิสูจน์สมรรถนะของระบบ
โครงสร้างต้านทานแรงด้านข้าง

4.6.3 ขั้นตอนกระบวนการออกแบบ

4.6.3.1 ในกระบวนการออกแบบที่นำไปสู่การกำหนดขนาดของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ
จะต้องระบุกลไกของระบบที่จะใช้ต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งและผลของแผ่นดินไหว

- 4.6.3.2 ก่อนทำการทดสอบ จะต้องมีการพัฒนากระบวนการออกแบบอาคารต้นแบบและผนังโครงสร้างของอาคารต้นแบบ กระบวนการออกแบบจะต้องคำนึงถึงผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ การแตกร้าว การเสียรูปของชิ้นส่วนและจุดต่อ และการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปกลับของแรงกระทำ กระบวนการออกแบบจะต้องระบุข้อมูลตามที่กำหนดในข้อ 4.6.3.2.1 ถึง 4.6.3.2.4 และจะต้องสามารถนำไปใช้กับผนังโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบอัดแรงภายหลังชนิดไร้การยึดหน่วงกับคอนกรีต (UBPTPCSW) ทั้งที่มีพฤติกรรมคู่ควบและไม่คู่ควบ ทุกผนังในอาคารต้นแบบได้
- 4.6.3.2.1 กระบวนการออกแบบจะต้องระบุวิธีการคำนวณสติฟเนสของผนัง UBPTPCSW
- 4.6.3.2.2 กระบวนการออกแบบจะต้องระบุวิธีการคำนวณกำลังต้านทานแรงดัดข้างของผนัง UBPTPCSW
- 4.6.3.2.3 กระบวนการออกแบบจะต้องระบุวิธีการออกแบบและการให้รายละเอียดผนัง UBPTPCSW เพื่อให้สามารถเคลื่อนตัวได้ไม่น้อยกว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในข้อ 4.6.2.7(2) โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกำลังต้านทานแรงเฉือนของผนัง การเชื่อมแบบไถระหว่างรอยต่อของชิ้นส่วนผนัง การเสริมเหล็กปลอกเพื่อป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กยื่นบริเวณริมขอบผนัง (Boundary Element) การโอบรัดคอนกรีต ชีตจำกัดของความเครียดทั้งแบบดิ่งและอัดของเหล็กเสริมและของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นคานาคู่ควบ รายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณเอวของผนังเพื่อป้องกันการแยกตัวในแนวตั้งเมื่อเกิดพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติก และพิจารณาถึงแรงอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์หรือกำลังต้านทานแรงของผนัง

4.6.3.2.4 กระบวนการออกแบบจะต้องระบุวิธีการป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การถล่มที่ชั้นใดชั้นหนึ่งเนื่องจากการโก่งเดาะของเหล็กยื่น การวิบัติของการต่อทาบเหล็ก การเปิดอ้าที่มากเกินไประหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จของผนังหรือระหว่างผนังกับฐาน การเลื่อนไถลที่มากเกินไปตามแนวรอยต่อ (รูปที่ 4.6-1) การวิบัติแบบเฉือนของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จของผนัง การเอียงศูนย์ระหว่างชิ้นส่วนหรือระหว่างผนังกับฐานเนื่องจากการบิดตัวของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ การสูญเสียเสถียรภาพทั้งในบริเวณเฉพาะที่หรือรวมของทั้งผนัง



รูปที่ 4.6-1 การเสียรูปตามแนวรอยต่อในแนวราบที่ไม่พึงประสงค์ (ก) การเปิดอ้าระหว่างชิ้นส่วนมากเกินไป (ข) การเลื่อนไถลในแนวราบตามแนวรอยต่อ [6]

4.6.3.3 การออกแบบชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องทำตามกระบวนการออกแบบที่ได้จัดทำขึ้น และจะต้องถูกบันทึกไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย

4.6.4 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

4.6.4.1 จะต้องมีการทดสอบชิ้นตัวอย่างไม่น้อยกว่า 2 ชุด แต่ละชุดเรียกว่า โมดูลทดสอบ

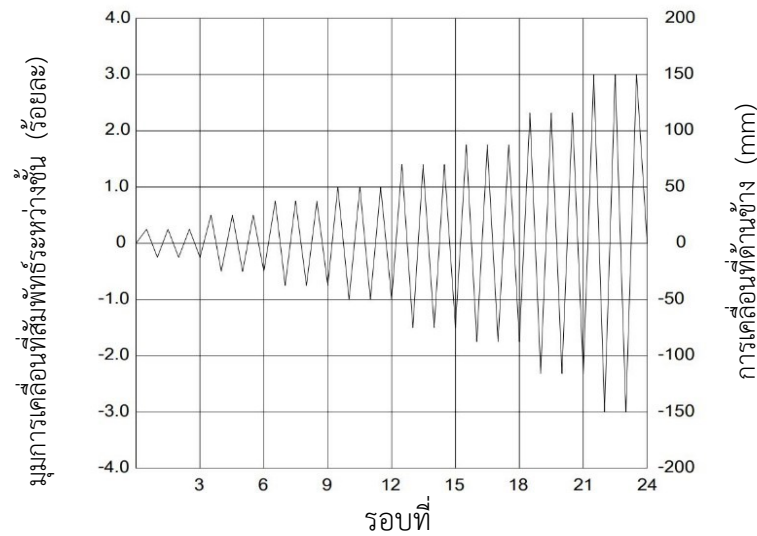
4.6.4.2 จะต้องทำการทดสอบอย่างน้อย 1 โมดูลทดสอบสำหรับแต่ละรูปแบบผนังภายใต้ชุดการรวมแรงที่วิกฤต ในกรณีที่มีผนัง 2 ผนังมาติดกันจะต้องทำการทดสอบโดยให้แรงแผ่นดินไหวกระทำ 2 ทิศทางพร้อมกันด้วย เว้นแต่จะสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ด้วยการวิเคราะห์หรือด้วยการทดสอบอื่นว่าการทดสอบภายใต้ผลของแผ่นดินไหว 2 ทิศทางนั้นไม่จำเป็น

- 4.6.4.3 ถ้าผนังที่มีพฤติกรรมคู่ควบระหว่างผนัง 2 ผนังที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกัน จะต้องมีการใช้คานหรืออุปกรณ์คู่ควบในชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วย โดยจะต้องมีรูปแบบและวัสดุชนิดเดียวกันและผลิตโดยผู้ผลิตเดียวกันกับอุปกรณ์ที่จะใช้ในอาคารต้นแบบ
- 4.6.4.4 อัตราส่วนการย่อขนาดจากขนาดจริงเป็นขนาดของชั้นตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ จะต้องใช้ชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่ใหญ่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมและความซับซ้อนของวัสดุขนาดจริงและกลไกของการส่งถ่ายแรงในอาคารต้นแบบ รวมถึงพฤติกรรมการคู่ควบถ้าเป็นผนังที่มีการคู่ควบ
- ขนาดของชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบควรที่จะเป็นขนาดจริง ถ้ายังไม่มีทดสอบอื่นหรือการวิเคราะห์อื่นในระหว่างการพัฒนาแบบโครงสร้างที่ใช้ชั้นตัวอย่างขนาดไม่เล็กกว่า 1 ต่อ 10
 - ถ้าในขั้นตอนของการพัฒนาแบบโครงสร้างได้มีการทดสอบมาเป็นจำนวนหนึ่งแล้วขนาดของชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อการตรวจพิสูจน์สมรรถนะอาจจะใช้ขนาดเล็กว่าขนาดจริงได้แต่ต้องไม่เล็กกว่า 1 ใน 3 ของขนาดจริง และจะต้องใช้หลักการความคล้ายคลึง (Similitude) ในการออกแบบการทดสอบและการแปลผลผลการทดสอบชั้นตัวอย่างในกรณีที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดจริง
 - ชั้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นคานคู่ควบจะต้องได้รับการทดสอบเพื่อแสดงถึงกำลังต้านทานความเหนียวและความสามารถในการสลายพลังงานโดยการทดสอบที่มีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดจริงในขั้นตอนของการพัฒนาแบบโครงสร้าง มิฉะนั้นจะต้องทดสอบด้วยขนาดจริงในขั้นตอนในการทดสอบเพื่อตรวจพิสูจน์สมรรถนะ
- 4.6.4.5 ชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องใช้ รูปทรงเรขาคณิต รายละเอียดการเสริมเหล็ก ขั้นตอนการประกอบและสมบัติวัสดุของผนัง จุดต่อและองค์อาคารคู่ควบ ที่เป็นตัวแทนที่ดีของส่วนประกอบเหล่านั้นที่จะใช้ในอาคารต้นแบบ
- ถ้าจะมีการใช้ระบบป้องกันสนิมที่ลวดอัดแรงจะต้องมีการใช้ระบบดังกล่าวในชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วย
 - อุปกรณ์ที่จะใช้บริเวณจุดเชื่อมต่อ เช่น ข้อต่อเชิงกล จะต้องเป็นแบบที่ผลิตขายโดยทั่วไป มิใช่ที่ผลิตขึ้นโดยเฉพาะสำหรับการทดสอบ แต่หากยังไม่มีการผลิตขายทั่วไปก็จะต้องใช้วัสดุเหมือนกับที่จะใช้จริงในอาคารต้นแบบ
- 4.6.4.6 ชั้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องมีอย่างน้อย 2 ชั้นตามแนวดิ่ง เว้นแต่ว่าผนังในอาคารต้นแบบจะเป็นชั้นเดียวจากฐานถึงยอดอาคาร

- จำนวนชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่จะใช้ในการทดสอบต้องเพียงพอที่จะยืนยันสมรรถนะของระบบโดยเฉพาะบริเวณแนวรอยต่อที่สำคัญ ได้แก่บริเวณระหว่างผนังและฐาน ระหว่างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จชิ้นล่างสุดกับชิ้นถัดขึ้นไป และระหว่างชิ้นบนสุดและชิ้นถัดลงมา
- 4.6.4.7 ให้มีแรงตามแนวแกนของผนังในการทดสอบด้วยตามที่จะเกิดขึ้นในอาคารต้นแบบ ถ้าแรงตามแนวแกนจากการวิเคราะห์อาคารต้นแบบมีค่ามากกว่า $0.05A_g f'_c$ แต่ไม่ให้ใช้แรงตามแนวแกนในการทดสอบถ้าแรงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลาในอาคารต้นแบบ
- 4.6.4.8 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องใช้รูปทรงเรขาคณิตและรายละเอียดการเสริมเหล็กที่ยึดระหว่างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จกับฐานรากตามรูปแบบจริงที่จะใช้ในอาคารต้นแบบ
- 4.6.4.9 ฐานที่จะใช้รองรับชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องมีขนาด สมบัติ การเสริมเหล็ก และยึดรั้งที่เพียงพอที่จะไม่เกิดการวิบัติระหว่างการทดสอบ และไม่ทำให้การโก่งตัวหรือการแตกร้าวของฐานส่งผลต่อสมรรถนะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบตลอดช่วงการเคลื่อนที่ของชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบไปจนถึงค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ขั้นต่ำที่ยอมให้ตามข้อ 4.6.5.4
- ถ้าทำการทดสอบชุดผนังที่มีพฤติกรรมคู่ควบและมีการใช้ฐานแยกจากกัน ให้คำนึงถึงผลกระทบจากการใช้ฐานแยกกันด้วย

4.6.5 วิธีการทดสอบ

- 4.6.5.1 จะต้องทดสอบโดยควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งให้มุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของชิ้นตัวอย่างเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 4.6.5.2 ถึง 4.6.5.5
 - รูปแบบการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างการทดสอบ จะต้องทำให้สามารถสังเกตพฤติกรรมที่สภาวะต่าง ๆ ที่สำคัญตามที่ระบุในข้อ 4.6.5.9, 4.6.5.10, 4.6.6.2.6 ถึง 4.6.6.2.9 ได้
 - ถ้าทำการทดสอบชุดผนังที่มีพฤติกรรมคู่ควบจะต้องผลักให้ผนังทั้งสองมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปเท่า ๆ กัน โดยยอมให้ต่างกันได้ไม่เกิน 5%
 - ถ้ามีการให้แรงกระทำแนวตั้งตามแนวแกนของผนังในการทดสอบ จะต้องให้แรงกระทำแนวตั้งก่อนที่จะเริ่มการเคลื่อนที่แนวราบและให้แรงแนวตั้งนั้นมีค่าคงที่คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5% ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบให้แรงผลักและการเคลื่อนที่แนวราบ
- 4.6.5.2 จะต้องให้การเคลื่อนที่ด้านข้างไปกลับเป็นจำนวน 3 รอบเต็มนับเป็น 1 ชุดสำหรับแต่ละค่าเป้าหมายของมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ โดยเครื่องทดสอบควรมีสมรรถนะทำให้เกิดมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ได้ไม่น้อยกว่า 0.04 เรเดียนทั้งไปและกลับ



รูปที่ 4.6-2 ตัวอย่างรูปแบบการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างการทดสอบ [6]

4.6.5.3 แรงผลัที่ใช้ใน 3 รอบแรกจะต้องไม่เกิน $0.6E_m$ โดยที่ E_m คือ กำลังต้านทานแรงด้านข้าง ระบุที่คำนวณจากขนาดของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่วัดได้จริงและค่ากำลังของวัสดุ ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบวัสดุจริง

- มุมการเคลื่อนที่สัมผัสสำหรับ 3 รอบการเคลื่อนที่ชุดถัดไปจะต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าและไม่เกิน 1.5 เท่าของค่ามุมการเคลื่อนที่สัมผัสชุดที่แล้ว
- สำหรับชุดการเคลื่อนที่ 3 รอบแรกหรือชุดถัดไปที่แรงกระทำยังต่ำกว่า $0.6E_m$ ยอมให้ การเพิ่มขึ้นของมุมการเคลื่อนที่สัมผัสขึ้นถัดไปเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 2.5 เท่าของชุดที่แล้ว

4.6.5.4 การทดสอบจะต้องดำเนินไปจนเกิดการวิบัติของชิ้นตัวอย่างหรือจนกระทั่งมุมการเคลื่อนที่สัมผัสมีค่าเกินสมการที่ 4.4 ในหน่วยร้อยละ

$$0.90 \leq 0.8[h_w/l_w] + 0.5 \leq 3.0 \quad (4.4)$$

h_w คือ ความสูงของผนังในอาคารต้นแบบ

l_w คือ ความยาวในแนวราบของผนังในทิศทางของแรงแนวราบ

4.6.5.5 หากทำการทดสอบชุดผนังที่มีพฤติกรรมคู่ควบให้ใช้ค่า h_w/l_w ในสมการที่ 4.4 เป็นค่า h_w/l_w ที่น้อยที่สุดของผนังแต่ละพื้นที่คู่ควบกัน

4.6.5.6 ให้ทำการทดสอบหากำลังครากของเหล็กเสริมโดยการทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มาจากชุดการผลิตเดียวกันกับเหล็กเสริมที่ใช้ในชิ้นตัวอย่าง และจะต้องทำการทดสอบอย่างน้อย 2 ชุด สำหรับแต่ละชนิดของเหล็กเสริมและขนาดของเหล็กเสริม

4.6.5.7 ให้ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้แท่งทรงกระบอก 100x200 มม. หรือ 150x300 มม. ที่มีสภาพเหมือนกับคอนกรีตในชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [9]

หากค่าเฉลี่ยของกำลังอัดคอนกรีตที่ทดสอบได้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 90 ของค่าที่ผู้คำนวณออกแบบกำหนดไว้ถือว่าชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบนั้นไม่สามารถใช้งานได้ ให้ทิ้งไปและให้ก่อสร้างชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบขึ้นมาใหม่ เว้นแต่วิศวกรผู้ออกแบบตัดสินใจว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ต่ำเกินไปนั้นเป็นที่ยอมรับได้

4.6.5.8 ถ้ากำลังต้านทานแรงและความสามารถในการเสีรูปของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ค้ำยันไม่ได้ขึ้นอยู่กับเหล็กเสริมที่ได้ทดสอบตามข้อ 4.6.5.6 ให้ทดสอบหาค่ากำลังครากและความสามารถในการเสีรูปของชิ้นส่วนค้ำยันนั้นแยกต่างหากจากการทดสอบชิ้นตัวอย่างชุดหนึ่งได้

4.6.5.9 ให้ทำการบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบให้เพียงพอต่อการประเมินสมรรถนะของชิ้นตัวอย่าง โดยควรบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างมุมการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแรงหลักที่ใช้กระทำอย่างต่อเนื่อง และให้ถ่ายรูปสภาพของชิ้นตัวอย่างเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไปถึงค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดในแต่ละรอบ

- จะต้องมีการตรวจวัดชิ้นตัวอย่างระหว่างการทดสอบให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการยืนยันพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารต้นแบบ เช่น การเปลี่ยนตำแหน่งบริเวณจุดต่อ ความยาวจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinge Length)
- จะต้องมีการตรวจวัดการเสีรูปที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งชิ้นตัวอย่างยกตัวอย่าง เช่น การหมุนตัวของฐาน เพื่อนำไปพิจารณาและใช้ประกอบการประเมินผลการทดสอบ
- จะต้องมีการตรวจติดตามบันทึกค่าแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงที่ไม่ยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตระหว่างการทดสอบสำหรับทุกผนังที่ทำการทดสอบ โดยให้ทำการตรวจวัดค่าแรงในลวดอัดแรงที่ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดยึดฝังที่ฐานของผนัง

4.6.5.10 ให้ใช้ค่าสถิติเอนสของผนังที่ทำการทดสอบโดยใช้เส้นโค้งขอบนอก (Envelope) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงหลักและมุมการเคลื่อนที่สัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบ โดยให้พิจารณาในช่วงที่แรงสูงสุดของแต่ละรอบการผลักรวมค่าระหว่าง $0.6E_m$ ถึง $0.9E_m$ และให้คำนวณค่าสถิติเอนสจากความชันของเส้นตรงที่ลากจากจุดกำเนิดไปถึงจุดบนกราฟที่มีแรงหลักเท่ากับ $0.75E_m$

4.6.6 วิธีการรายงานผลทดสอบ

4.6.6.1 การทดสอบจะต้องดำเนินการโดยหน่วยงานอิสระที่มีความสามารถทำการทดสอบตามที่กำหนดไว้ภายใต้การควบคุมของวิศวกรที่มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพและมีประสบการณ์ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างด้านทานแผ่นดินไหว

- งานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและการทดสอบเพื่อตรวจพิสูจน์ระบบโครงสร้างสำหรับอาคารต้นแบบให้เป็นความรับผิดชอบของวิศวกรผู้คำนวณออกแบบซึ่งมีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพนั้น

4.6.6.2 รายงานจะต้องแสดงสมมติฐานของการออกแบบ และสมรรถนะของชิ้นตัวอย่าง เป็นอย่างน้อย รวมถึงข้อมูลทั้งหมดตามข้อ 4.6.6.2.1 ถึง 4.6.6.2.12

4.6.6.2.1 รายงานจะต้องบรรยายถึงขั้นตอนกระบวนการออกแบบและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบอาคารต้นแบบ การทำนายกำลังด้านทานแรงของชิ้นตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกำลังด้านทานแรงด้านข้างระบุ E_n และ E_{nt} และกำลังด้านทานที่คาดหวัง E_{pr} โดยที่ E_n คือ กำลังด้านทานแรงด้านข้างระบุซึ่งคำนวณโดยใช้มิติตามที่ระบุในการออกแบบและสมบัติวัสดุตามที่ระบุในการคำนวณออกแบบ และ E_{pr} คือ กำลังด้านทานแรงสูงสุดที่คาดหวังซึ่งคำนวณโดยใช้มิติของชิ้นตัวอย่างที่วัดได้จริงและสมบัติวัสดุที่ทดสอบจริง

- รายงานจะต้องมีการระบุหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการเลือกอัตราส่วนขนาดย่อของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบและอัตราส่วนขนาดย่อขององค์อาคารคู่ควบถ้าถูกทดสอบแยกจากชิ้นตัวอย่างผนัง

4.6.6.2.2 รายงานจะต้องแสดงรายละเอียดของการออกแบบและวิธีก่อสร้างชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ และต้องมีแบบรูป (Drawing) ที่แสดงมิติของชิ้นส่วนทุกชิ้น

4.6.6.2.3 รายงานจะต้องแสดงสมบัติของวัสดุที่กำหนดในการคำนวณออกแบบและสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบจริง

4.6.6.2.4 รายงานจะต้องแสดงการติดตั้งชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบรวมถึงผังที่แสดงมิติของชิ้นส่วนต่าง ๆ และรูปถ่ายขณะติดตั้ง

4.6.6.2.5 รายงานจะต้องแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ เช่น ชนิด รุ่น ตำแหน่งของการติดตั้ง วันที่ได้รับการสอบเทียบและวัตถุประสงค์ของการสอบเทียบ

4.6.6.2.6 รายงานจะต้องบรรยายและแสดงกราฟของมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ตามลำดับขั้นตอนการให้แรงผลักและการเคลื่อนที่ด้านข้าง

- 4.6.6.2.7 รายงานจะต้องแสดงถึงสมรรถนะของชิ้นตัวอย่างที่สังเกตได้จากการทดสอบ รวมถึงภาพถ่ายที่บันทึกสภาพของชิ้นตัวอย่างที่ระยะการเคลื่อนตัวต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น ขณะที่เริ่มเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการดัดเป็นครั้งแรก ขณะที่เริ่มเกิดการเปิดอ้าของรอยต่อเป็นครั้งแรก ขณะที่เริ่มเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากการเฉือนเป็นครั้งแรก และขณะที่เริ่มเกิดการอัดประลัยของคอนกรีตทั้งภายใต้การเคลื่อนที่ไปในทิศทางบวกและลบ และความเสียหายที่สำคัญต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ให้ถ่ายภาพเมื่อการเคลื่อนตัวไปถึงค่าสูงสุดในแต่ละรอบและขณะที่ลดแรงกระทำเหลือศูนย์หลังจากที่ผลักชิ้นตัวอย่างครบ 3 รอบในแต่ละชุดของการเพิ่มมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์
- 4.6.6.2.8 รายงานจะต้องแสดงกราฟ (1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงหลักด้านข้างและมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (2) การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงเมื่อชิ้นตัวอย่างมีการเคลื่อนตัวไปถึงค่าสูงสุดในแต่ละรอบ และแรงหลักด้านข้างมีค่ามากกว่า $0.6E_{nt}$
- ให้มีการตรวจวัดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่แต่ละชั้นและที่รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนย่อยภายในผนัง
- 4.6.6.2.9 รายงานจะต้องแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการสลายพลังงานเชิงเปรียบเทียบ (Relative Energy Dissipation Ratio) กับมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Drift Angle)
- 4.6.6.2.10 รายงานจะต้องแสดงรายการคำนวณค่าสถิติเฟนสของแต่ละชั้นตัวอย่างผนังตามหัวข้อ 4.6.5.10
- ให้ประเมินความถูกต้องของการทำนายค่าสถิติเฟนส เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ทำนายในขณะทำการคำนวณออกแบบกับค่าที่ตรวจวัดได้จากการทดสอบ
 - ให้ทำการเปรียบเทียบและประเมินการทำนายเส้นโค้งขอบนอก (Envelope) ของความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดและมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุดของแต่ละชั้นของการผลักให้เกิดการเคลื่อนที่ 3 รอบ
- 4.6.6.2.11 รายงานจะต้องแสดงวันที่ทดสอบ วันที่จัดทำรายงาน ชื่อของหน่วยงานที่ดำเนินการทดสอบ ชื่อผู้จัดทำรายงาน ชื่อวิศวกรผู้รับผิดชอบที่มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ และผู้ให้เงินทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายของการทดสอบ

4.6.6.2.12 ให้มีภาคผนวกของรายงานที่แสดงรายการคำนวณออกแบบโครงสร้างของอาคารต้นแบบและการแปลงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักดันข้างกับการเปลี่ยนตำแหน่งจากการคำนวณดังกล่าวไปเป็นแรงผลึกและการเปลี่ยนตำแหน่งในการทดสอบ

4.6.7 เกณฑ์การยอมรับของการทดสอบ

ให้ใช้เกณฑ์การยอมรับนี้กับชิ้นตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบแต่ละชิ้น ไม่ให้พิจารณาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบผนังหลายชิ้นตัวอย่าง

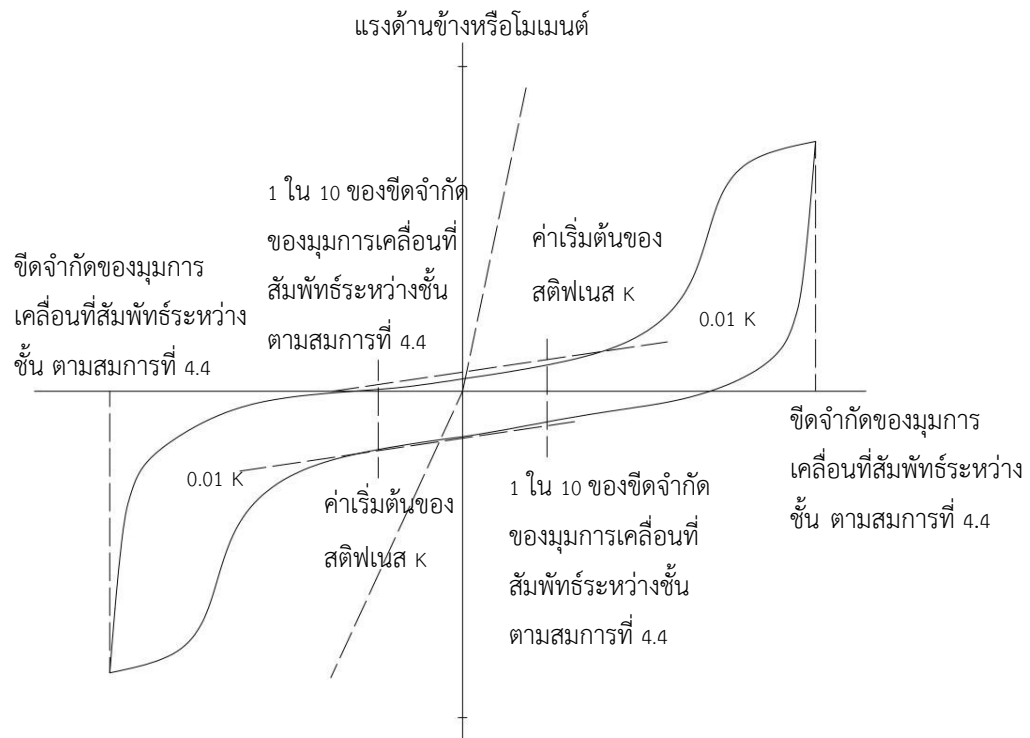
4.6.7.1 การตรวจพิสูจน์สมรรถนะของระบบโครงสร้างด้านทานแรงด้านข้าง UBPTPCSW จะถือว่าผ่านเกณฑ์ก็ต่อเมื่อ ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.6.7.1.1 ถึง 4.6.7.1.4 ทุกข้อทั้งในทิศทางบวกและทิศทางลบของการเปลี่ยนตำแหน่ง

4.6.7.1.1 กำลังด้านทานแรงด้านข้างสูงสุด E_{max} จะต้องไม่น้อยกว่า $0.9E_{pr}$ และไม่เกิน $1.2E_{pr}$

4.6.7.1.2 เมื่อการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าครึ่งหนึ่งของการเปลี่ยนตำแหน่งตามสมการที่ 4.4 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่จะต้องทำการทดสอบ แรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงที่ไม่ยึดหน่วงกับคอนกรีตจะต้องไม่เกิน 0.9 เท่าของกำลังครากของลวดอัดแรงนั้นจากการทดสอบที่ระยะยึดตัวร้อยละ 1

4.6.7.1.3 ในการทำให้ชิ้นตัวอย่างเปลี่ยนตำแหน่งไปกลับจนถึงค่าการเปลี่ยนตำแหน่งตามสมการที่ 4.4 จะต้องไม่มีการวิบัติของเหล็กเสริมหรือองค์อาคารคู่ควบหรือการเสื่อมถอยของกำลังด้านทานอย่างมีนัยสำคัญ

- หลังจากที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งทำให้แรงด้านทานด้านข้างไปถึงค่าสูงสุด E_{max} แล้ว แรงด้านทานการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่โยกตัวไปกลับในรอบถัดไปแต่ละรอบจะต้องมีแรงด้านทานสูงสุดไม่น้อยกว่า $0.8E_{max}$
- หากกำลังด้านทานสูงสุดทางทิศทางบวกและลบมีค่าต่างกันให้พิจารณาเกณฑ์ดังกล่าวสำหรับแต่ละทิศทางเป็นอิสระจากกัน



รูปที่ 4.6-4 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักดันข้างและมุมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ [6]

4.6.7.2 ขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบแล้วไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ถือว่าระบบโครงสร้างผนังนั้นไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจพิสูจน์สมรรถนะ และให้ทำการตรวจหาสาเหตุของความบกพร่องของขึ้นตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบด้วยการวิเคราะห์หรือการทดสอบที่จำเป็นก่อนที่จะดำเนินการตรวจพิสูจน์สมรรถนะอีกครั้ง

- ให้ทำการปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนกระบวนการออกแบบและให้ใช้ขั้นตอนกระบวนการออกแบบใหม่ที่ปรับปรุงแล้วในการออกแบบการทดสอบครั้งใหม่ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 4.6.4 และให้การทดสอบใหม่นั้นให้เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับในหัวข้อ 4.6.7

บรรณานุกรม

- [1] American Concrete Institute, 2019, “ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, Michigan.
- [2] American Concrete Institute, 2019, “ACI 374.1-05: Acceptance Criteria for Moment Frames based on Structural Testing and Commentary (Reapproved 2019)”, Michigan.
- [3] American Concrete Institute, 2000, “ACI 550R: Design Recommendations for Precast Concrete Structures”, Michigan.
- [4] American Concrete Institute, 2018, “ACI 550.4-18: Qualification of Precast Concrete Diaphragm Connections and Reinforcement at Joints for Earthquake Loading”, Michigan.
- [5] American Concrete Institute, 2018, “ACI 550.5-18: Code Requirements for the Design of Precast Concrete Diaphragms for Earthquake Motions”, Michigan.
- [6] American Concrete Institute, 2007, “ACI ITG-5.1: Acceptance Criteria for Special Unbonded Post-Tensioned Precast Structural Walls Based on Validation Testing and Commentary”, Michigan.
- [7] American Society of Civil Engineers, 2016, “ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, Reston, Virginia.
- [8] ASTM Committee, 2018, “ASTM C33/C33M-18: Standard Specification for Concrete Aggregates”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.
- [9] ASTM Committee, 2021, “ASTM C39/C39M-21: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.
- [10] 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.
- [11] ASTM Committee, 2019, “ASTM C567/C567M-19: Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete”, Philadelphia.

- [12] ASTM Committee, 2016, “ASTM C1116/C1116M-10a: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete”, Book of Standards Volume: 04.02, Philadelphia.
- [13] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย “มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (มยพ. 1210-50)”, กรุงเทพมหานคร.
- [14] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550, “มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและ การเก็บรักษา (มยพ. 1208-50)”, กรุงเทพมหานคร.
- [15] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2552, “มาตรฐานประกอบกรอกแบบติดตั้งชิ้นส่วน โครงสร้างทนไฟ (มยพ. 8302-52)”, กรุงเทพมหานคร.
- [16] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2552, “มาตรฐานประกอบกรอกแบบติดตั้งวัสดุและ อุปกรณ์ป้องกันการลามไฟ (มยพ. 8303-52)”, กรุงเทพมหานคร.
- [17] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2561, “มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ. 1301/1302-61 ปรับปรุงครั้งที่ 1)”, กรุงเทพมหานคร.
- [18] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2564, “มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงาน โครงสร้างอาคาร (มยพ. 1101-64: มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก)”, กรุงเทพมหานคร.
- [19] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2565, “มาตรฐานงานก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (มยพ. 1108-65)”, กรุงเทพมหานคร.
- [20] กระทรวงมหาดไทย, 2522, “พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522”, กรุงเทพมหานคร.
- [21] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555, “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4415 ออกตามความในพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดใน การป้องกันอัคคีภัย เล่ม 3 การอุดปิดช่องเปิดอาคารเพื่อป้องกันไฟลาม (มอก. 2541 เล่ม 3 – 2555)”, กรุงเทพมหานคร.
- [22] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม, 2562, “วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบคอนกรีต (Test Method for Compressive Strength of Concrete Specimens (มอก. 409-2562)”, กรุงเทพมหานคร.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

อาคารพักอาศัยทาวเฮ้าส์ 3 ชั้น

ก.1 ลักษณะของอาคารพักอาศัยทาวเฮ้าส์ 3 ชั้น

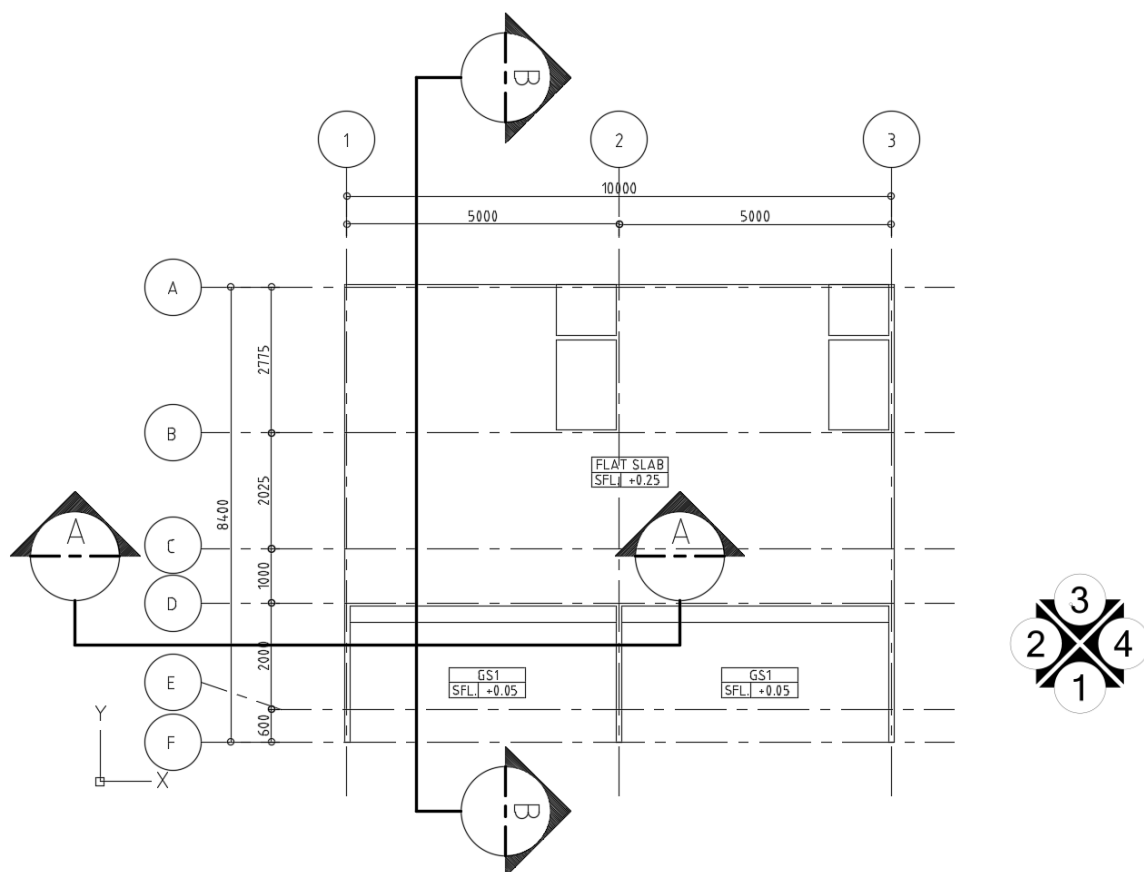
ก.1.1 รายละเอียดผัง ขนาด และรายละเอียดจุดต่อระหว่างองค์อาคาร

ในตัวอย่างนี้เป็นอาคารพักอาศัยทาวเฮ้าส์สูง 3 ชั้น 2 คูหา โดยแต่ละคูหากว้าง 5 เมตร และมีความยาว 8.4 เมตร โดยมีความสูงในแต่ละชั้นและอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของอาคารดังตารางที่ ก.1 ในส่วนของระบบพื้นในชั้นที่ 1 เป็นระบบแผ่นพื้นไร้คาน (Flat Slab) ดังรูปที่ ก.1 และ ในชั้นที่ 2 และ 3 เป็นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ดังรูปที่ ก.3 และ ก.5 ตามลำดับ ส่วนผนังเป็นระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทั้งหมดตั้งแต่ชั้นที่ 1 2 3 และชั้นหลังคา ดังรูปที่ ก.2 ก.4 ก.6 และ ก.7 ตามลำดับ

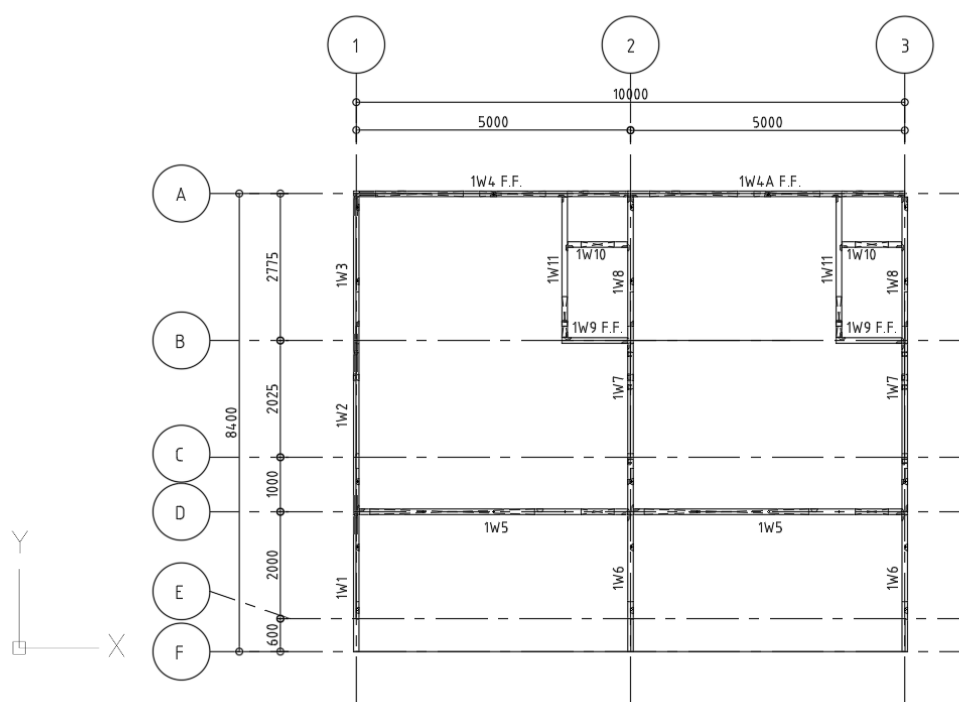
ในอาคารตัวอย่างนี้มีจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคารอยู่ 3 ชนิด คือ จุดเชื่อมต่อแบบหว้งรูปตัวยู จุดเชื่อมต่อแบบเหล็กเดือย (Dowel Bar) และ จุดเชื่อมต่อแบบเชื่อมแผ่นเหล็ก (Welded Steel Plate) โดยสามารถดูตัวอย่างรายละเอียดจุดเชื่อมต่อแต่ละชนิดได้ดังรูปที่ ก.14 สามารถดูตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อชนิดต่าง ๆ ที่แสดงในผัง รูปด้าน และรูปตัดได้ดังรูปที่ ก.1 ถึง ก.13 และสามารถดูคำอธิบายสัญลักษณ์ของจุดเชื่อมต่อแต่ละแบบที่แสดงในผังได้ดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะของอาคารตัวอย่าง

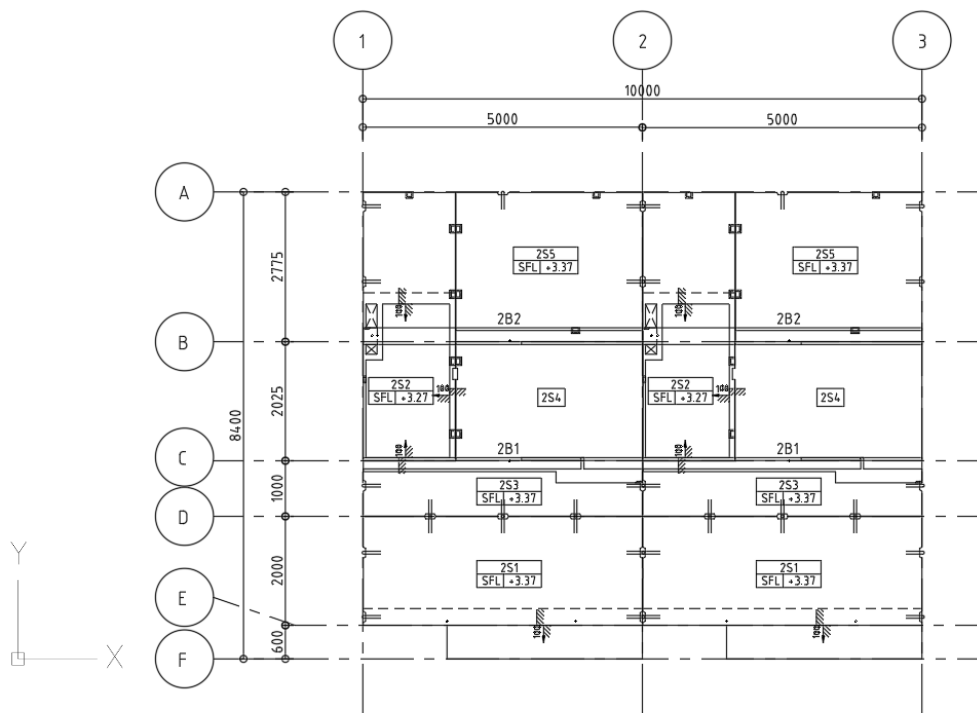
จำนวนชั้น	3
ความสูง (เมตร)	10.60
อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างทางแกน X	1.06
อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างทางแกน Y	1.26
ความสูงชั้นที่ 1 (เมตร)	3.12
ความสูงชั้นที่ 2 (เมตร)	2.95
ความสูงชั้นที่ 3 (เมตร)	2.73
ความสูงชั้นหลังคา (เมตร)	1.80
ระบบพื้น	ชั้นที่ 1 เป็นระบบ Flat Slab ชั้นที่ 2 และ 3 เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete)
ระบบผนัง	ชั้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete) ทั้งหมด



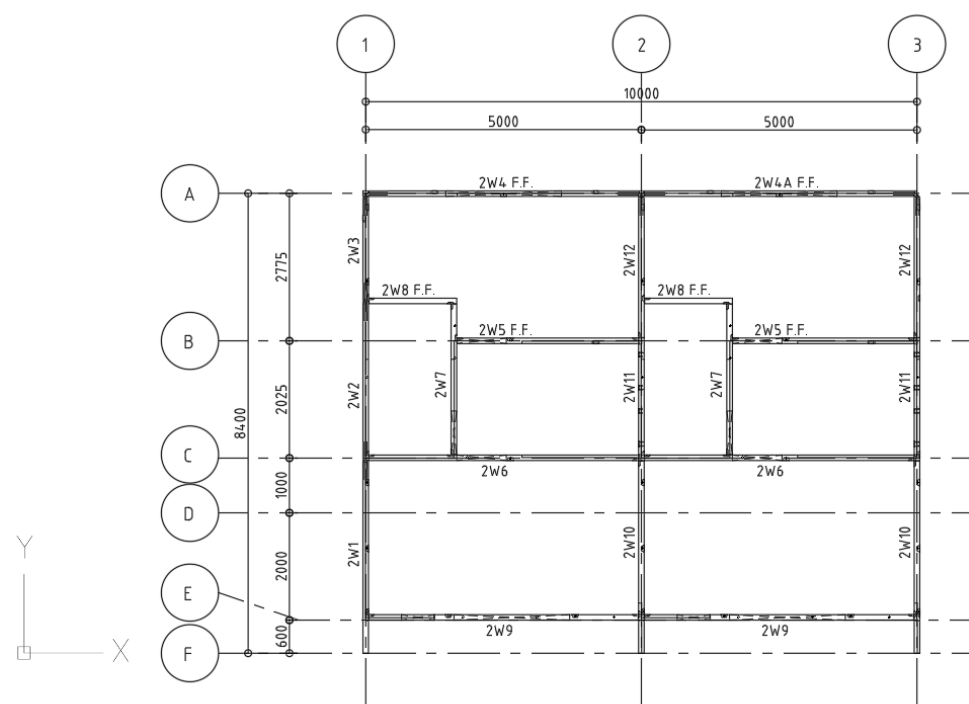
รูปที่ ก.1 ผังพื้นที่ 1 พร้อมสัญลักษณ์แสดงรูปด้าน (Elevation View) และรูปตัด (Section View)



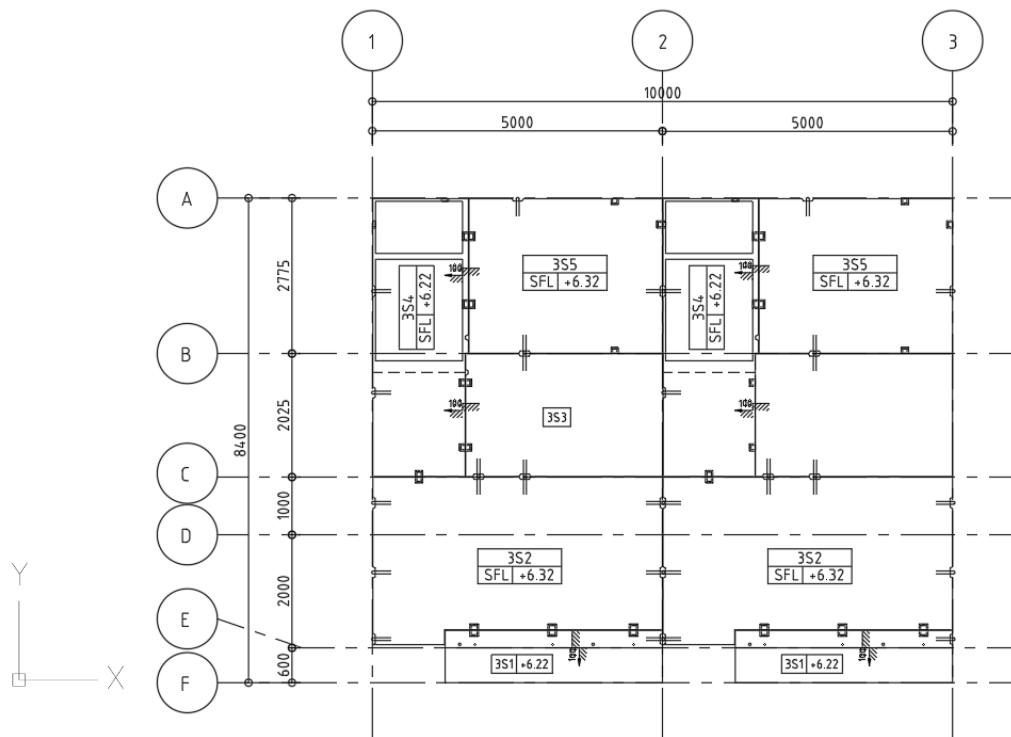
รูปที่ ก.2 ผังผนังพื้นที่ 1 (Wall)



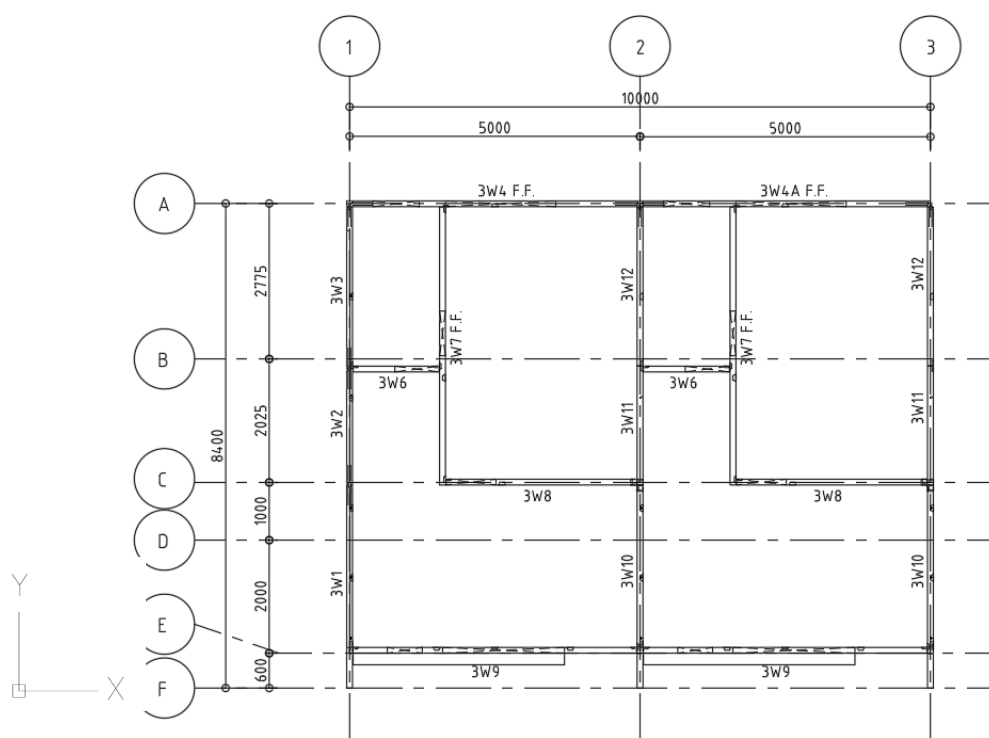
รูปที่ ก.3 ผังพื้นชั้นที่ 2 (Slab)



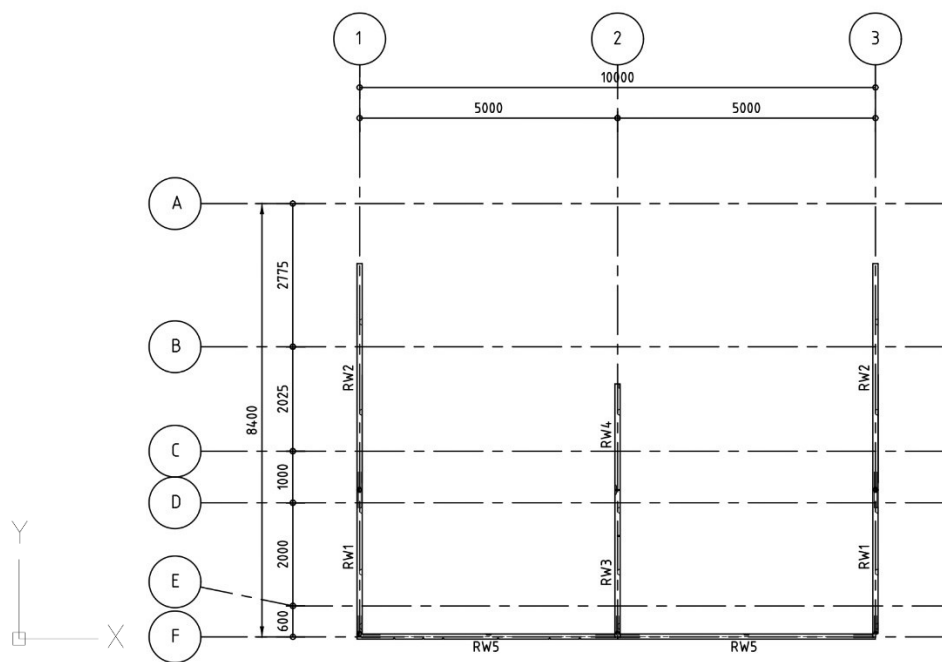
รูปที่ ก.4 ผังผนังชั้นที่ 2 (Wall)



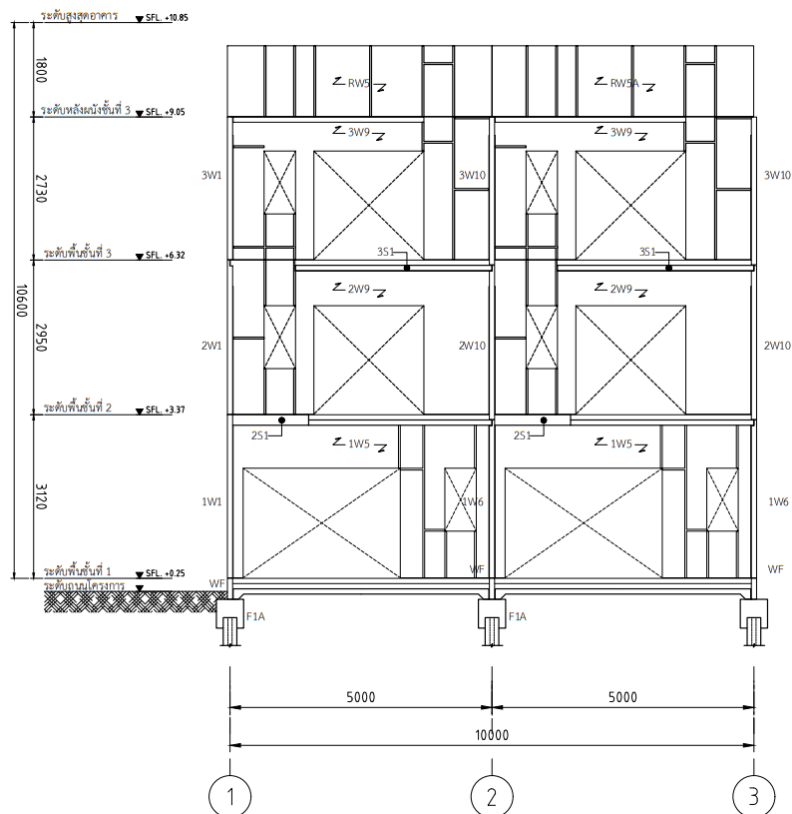
รูปที่ ก.5 ผังพื้นชั้นที่ 3 (Slab)



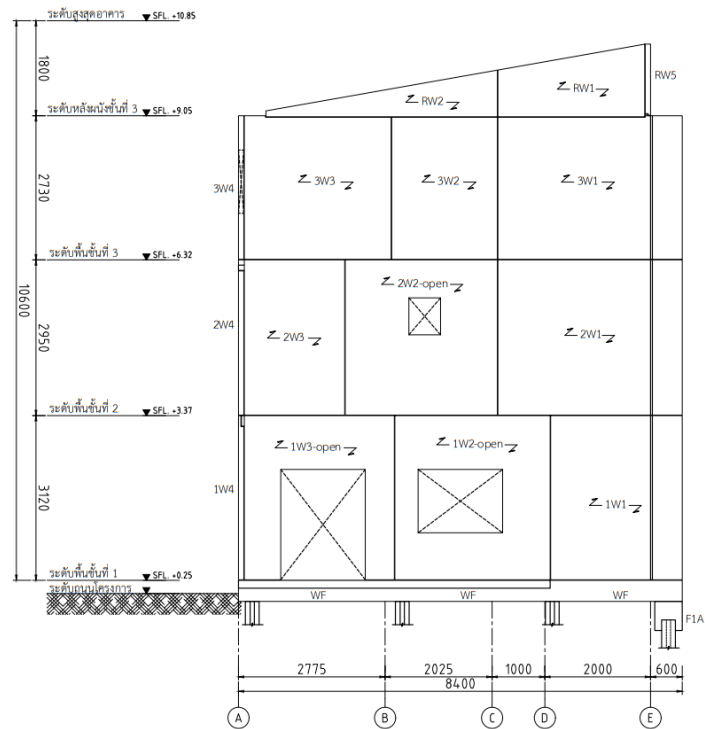
รูปที่ ก.6 ผังผนังชั้นที่ 3 (Wall)



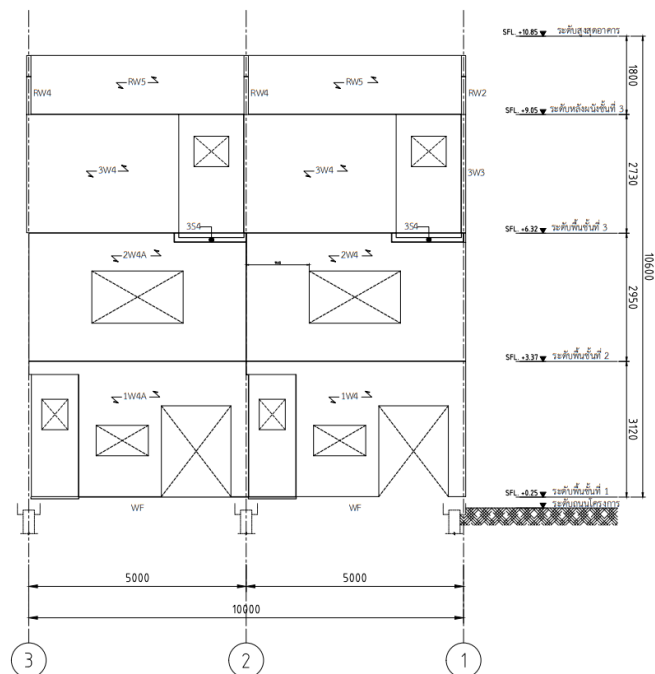
รูปที่ ก.7 ผนังชั้นหลังคา (Wall)



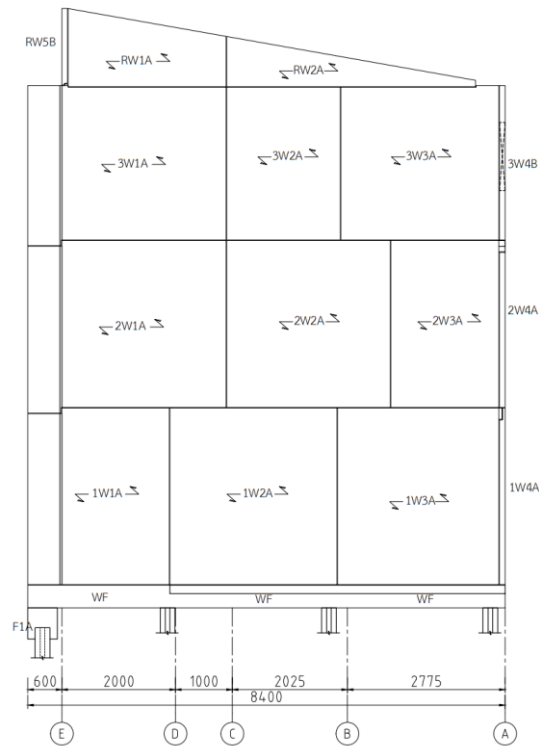
รูปที่ ก.8 รูปด้าน 1



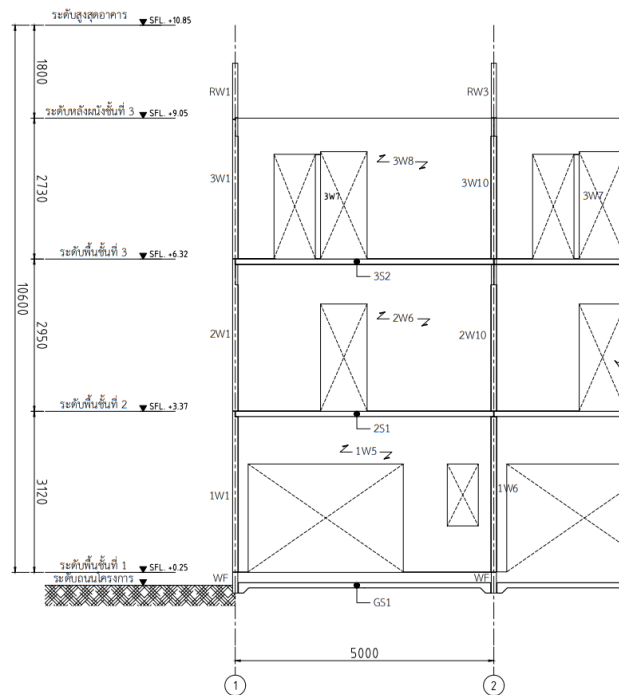
รูปที่ ก.9 รูปด้าน 2



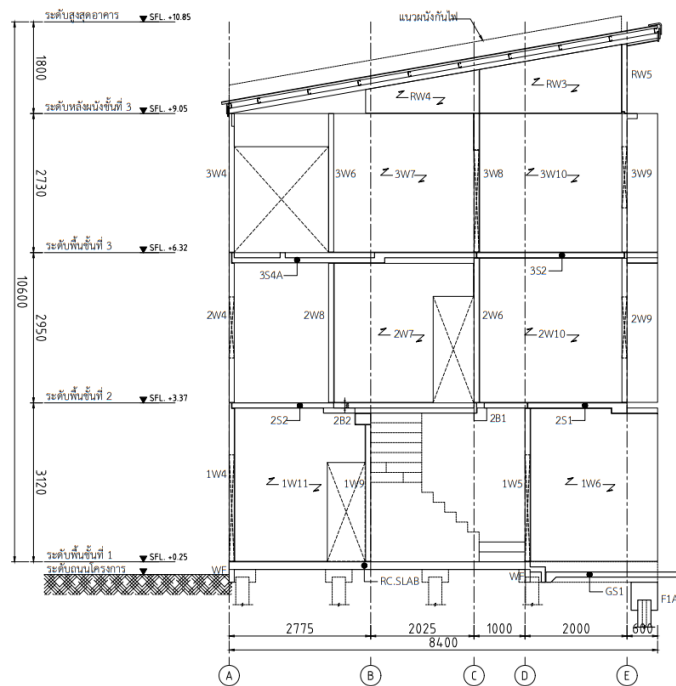
รูปที่ ก.10 รูปด้าน 3



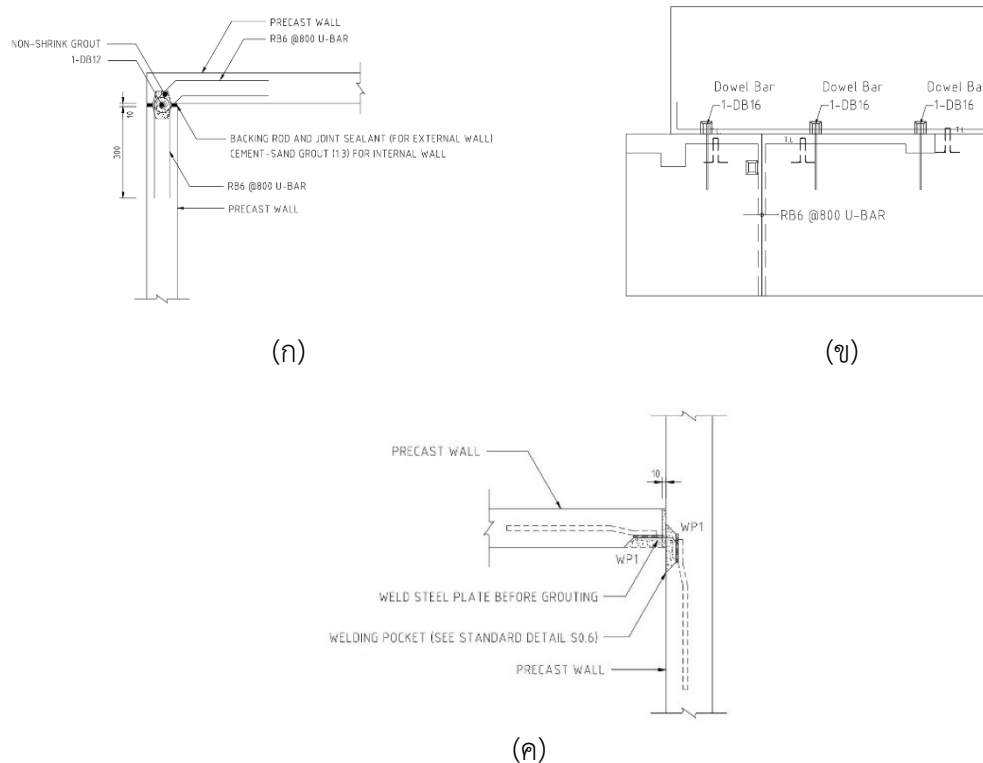
รูปที่ ก.11 รูปด้าน 4



รูปที่ ก.12 รูปตัด A-A



รูปที่ ก.13 รูปตัด B-B



รูปที่ ก.14 (ก) ภาพด้านบน (Top View) ของรายละเอียดจุดเชื่อมต่อแบบห่วงรูปตัวยู (ข) รูปด้าน (Elevation View) ของรายละเอียดจุดเชื่อมต่อแบบเหล็กเดือย (Dowel Bar) (ค) ภาพด้านบนของ รายละเอียดจุดเชื่อมต่อแบบเชื่อมแผ่นเหล็ก (Welded Steel Plate)

ตารางที่ ก.2 สัญลักษณ์จุดเชื่อมต่อขององค์อาคารของผนังและพื้นในผังพื้นและผังผนังของโครงสร้าง

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	จุดเชื่อมต่อแบบห้วงรูปตัวยู
	จุดเชื่อมต่อแบบเหล็กเดือย (Dowel Rebar)
	จุดเชื่อมต่อแบบเชื่อมแผ่นเหล็ก (Welded Steel Plate)

ก.1.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของแต่ละชั้นส่วนเนื่องจากน้ำหนักของตัวอาคาร
รายละเอียดน้ำหนักบรรทุกคงที่และความหนาของแต่ละชั้นส่วน โดยกำหนดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต
เท่ากับ 23.5 kN/m³ ดังแสดงในตารางที่ ก.3 ถึง ก.7

ตารางที่ ก.3 ความหนากำแพงชั้นฐานราก

ชนิดของชั้นส่วน	ชื่อชั้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
ผนัง	WF	0.10	19.57
	รวม		19.57

ตารางที่ ก.4 ความหนาพื้นและกำแพงชั้นที่ 1

ชนิดของชั้นส่วน	ชื่อชั้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
พื้น	พื้น Flat Slab	0.15	209.95
	รวม		209.95
ผนัง	ผนัง 1W1	0.10	18.09
	ผนัง 1W2	0.10	20.88
	ผนัง 1W3	0.10	22.79
	ผนัง 1W4	0.10	73.52
	ผนัง 1W5	0.10	73.52
	ผนัง 1W6	0.10	36.17
	ผนัง 1W7	0.10	44.11

ชนิดของชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
	ผนัง 1W8	0.10	43.23
	ผนัง 1W9	0.10	15.44
	ผนัง 1W10	0.10	15.44
	ผนัง 1W11	0.10	40.80
	รวม		403.98

ตารางที่ ก.5 ความหนาพื้นและกำแพงชั้นที่ 2

ชนิดของชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
พื้น	2S1	0.10	57.97
	2S2	0.10	37.44
	2S3	0.10	26.86
	2S4	0.10	31.92
	2S5	0.10	43.74
	รวม		197.93
คาน	2B1	0.25x0.25	14.73
	2B2	0.30x0.30	22.62
	รวม		37.35
ผนัง	2W1	0.10	25.02
	2W2	0.10	19.46
	2W3	0.10	13.90
	2W4	0.10	69.51
	2W5	0.10	46.50
	2W6	0.10	69.51
	2W7	0.10	38.93
	2W8	0.10	23.01
	2W9	0.10	69.51

ชนิดของชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
	2W10	0.10	50.05
	2W11	0.10	30.93
	2W12	0.10	35.80
	รวม		492.14

ตารางที่ ก.6 ความหนาพื้นและกำแพงชั้นที่ 3

ชนิดของชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
พื้น	3S1	0.10	14.14
	3S2	0.10	70.69
	3S3	0.10	63.84
	3S4	0.10	37.44
	3S5	0.10	43.74
	รวม		229.85
ผนัง	3W1	0.10	23.16
	3W2	0.10	10.94
	3W3	0.10	19.94
	3W4	0.10	64.33
	3W5	0.10	0.00
	3W6	0.10	21.29
	3W7	0.10	61.75
	3W8	0.10	43.03
	3W9	0.10	64.33
	3W10	0.10	46.32
	3W11	0.10	26.05
	3W12	0.10	35.70
	รวม		416.84

ตารางที่ ก.7 ความหนาพื้นและกำแพงชั้นหลังคา

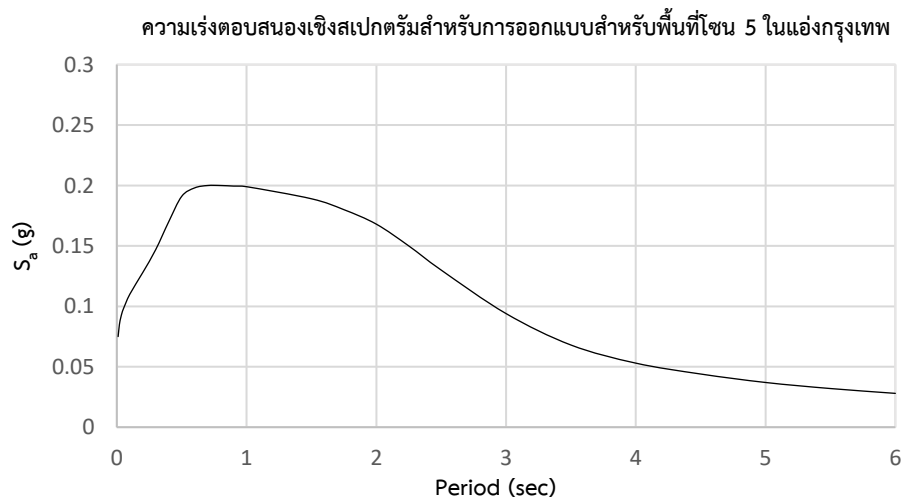
ชนิดของชั้นส่วน	ชื่อชั้นส่วน	ความหนา (m)	น้ำหนัก (kN)
ผนัง	RW1	0.10	14.62
	RW2	0.10	8.40
	RW3	0.10	7.06
	RW4	0.10	3.24
	RW5	0.10	31.76
	รวม		65.08

ก.2 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์

ในตัวอย่างนี้สมมติว่าอาคารตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานครชั้นใน (โซน 5) ซึ่งมีค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ (S_a) ดังตารางที่ ก.8

ตารางที่ ก.8 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์สำหรับพื้นที่โซน 5 ในแอ่งกรุงเทพ (อัตราส่วนความหน่วง 5%) จากตารางที่ 1.4-7 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17]

โซน \ S_a	S_a (0.01 s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0 s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.208	0.495	0.360	0.181	0.085	0.041	0.034	0.024	0.022
2	0.136	0.257	0.352	0.193	0.151	0.084	0.047	0.030	0.024
3	0.111	0.212	0.262	0.265	0.166	0.085	0.052	0.035	0.026
4	0.102	0.211	0.287	0.207	0.163	0.078	0.032	0.023	0.020
5	0.075	0.128	0.191	0.199	0.168	0.094	0.053	0.037	0.028
6	0.099	0.189	0.272	0.154	0.150	0.077	0.042	0.031	0.026
7	0.093	0.167	0.246	0.181	0.132	0.084	0.051	0.036	0.030
8	0.085	0.189	0.162	0.075	0.041	0.025	0.015	0.010	0.008
9	0.080	0.165	0.214	0.156	0.107	0.048	0.022	0.014	0.011
10	0.115	0.301	0.179	0.049	0.035	0.023	0.014	0.010	0.008



รูปที่ ก.15 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์สำหรับพื้นที่โซน 5 ใน
กรุงเทพฯ (อัตราส่วนความหน่วง 5%) [17]

ก.3 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร

ในตัวอย่างนี้เป็นการจำลองอาคาร ซึ่งเป็นบ้านพักสำหรับอยู่อาศัยจึงกำหนดประเภทอาคารอยู่ใน
ประเภทที่ II (ปกติ) ซึ่งมีค่าตัวประกอบความสำคัญเท่ากับ 1.0 ดังตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.9 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (จากตารางที่ 1.5-1 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17])

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมีอันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

ก.4 ประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหว

จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 [17] หัวข้อที่ 1.6 ได้มีการกำหนดให้มีการแบ่งประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวเป็น 4 ประเภทคือ ประเภท ก ข ค และ ง สำหรับนำไปเลือกระบบโครงสร้างโดยรวมของอาคารดังตารางที่ ก.12 ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบว่าอาคารตัวอย่างนี้อยู่ในประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวประเภทใด โดยวิธีการตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

จากตารางค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ (ตารางที่ ก.8) สามารถแบ่งประเภทการออกแบบจากการพิจารณาค่า S_{DS} และ S_{D1} ได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาจากค่า S_{DS}

$S_{DS} = 0.128$ ($S_{DS} < 0.167$) และประเภทความสำคัญเท่ากับ II (ปกติ) ดังนั้นประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวตรงกับ ก ดังที่แสดงในตารางที่ ก.10

พิจารณาจากค่า S_{D1}

$S_{D1} = 0.199$ ($0.133 < S_{D1} < 0.20$) และประเภทความสำคัญเท่ากับ II (ปกติ) ดังนั้นประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวตรงกับ ค ดังที่แสดงในตารางที่ ก.11

สรุป อาคารจัดอยู่ในประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวประเภท ค

ตารางที่ ก.10 การแบ่งประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS} (จากตารางที่ 1.6-1 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17])

ค่า S_{DS}	ประเภทการออกแบบด้านแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{DS} < 0.167$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	ข	ข	ค
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	ค	ค	ง
$0.50 \leq S_{DS}$	ง	ง	ง

ตารางที่ ก.11 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1} (จากตารางที่ 1.6-2 ใน มยพ. 1301/1302-61 [17])

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{D1} < 0.167$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.167 \leq S_{D1} < 0.33$	ข	ข	ค
$0.33 \leq S_{D1} < 0.50$	ค	ค	ง
$0.50 \leq S_{D1}$	ง	ง	ง

ก.5 การจำแนกระบบโครงสร้าง

จากหัวข้อที่ผ่านมาประเภทการออกแบบต้านแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างนี้อยู่ในประเภท ค และอาคารตัวอย่างนี้เป็นโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จเกือบทั้งหมด มีการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งด้วยผนัง ดังนั้นจึงจัดให้อาคารตัวอย่างนี้อยู่ในระบบโครงสร้างโดยรวมเป็นระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System) และ ระบบต้านแรงด้านข้างเป็นกำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ซึ่งมีค่าตัวประกอบ $R = 4$ $\Omega_0 = 2.5$ และ $C_d = 4$ ดังที่แสดงในตารางที่ ก.12

ตารางที่ ก.12 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบแทน (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) จากตารางที่ 4.3-1 ใน มยผ. 1301/1302-61 [17]

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	5	2.5	4.5	√	√	X

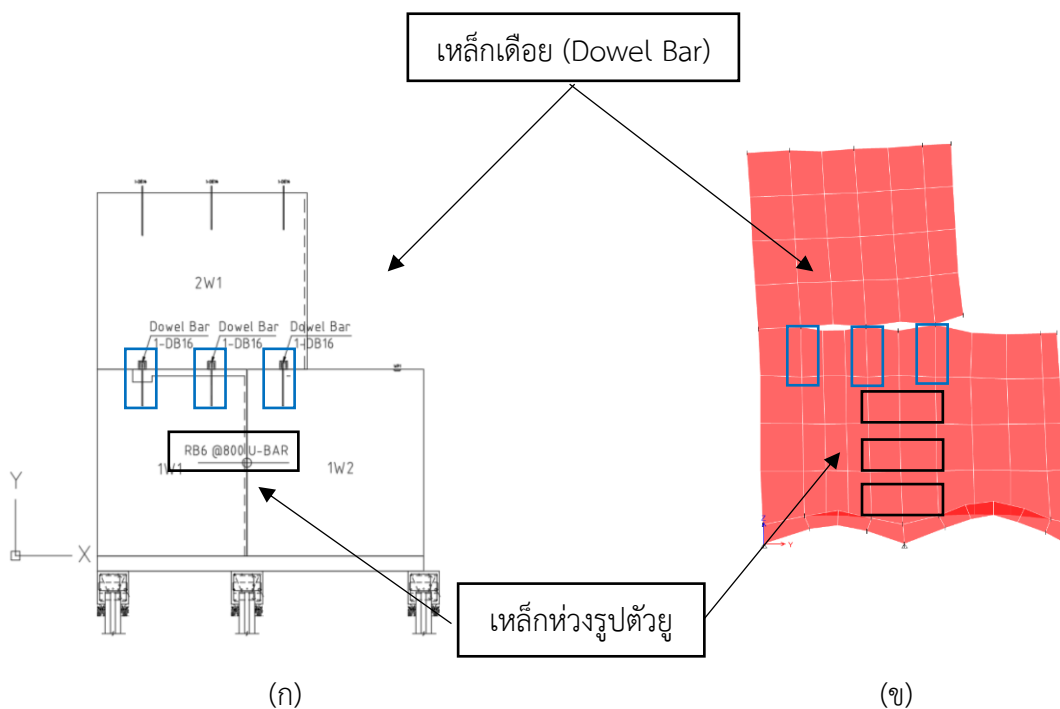
หมายเหตุ √ = ใช้ได้ x = ห้ามใช้ * = ดูหัวข้อ 2.3.1.2 ++ = ดูหัวข้อ 2.3.1.3

ก.6 การสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติถูกจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยในที่นี้เป็นอาคารที่มีโครงสร้างแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete) โดยในตัวอย่างจะสร้างแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปในที่นี้ใช้ชิ้นส่วนแบบ Shell Element ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนั้นจะต้องให้ Local Axis ของชิ้นส่วนไปในทิศทางเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยในตัวอย่างนี้ทำการสร้างแบบจำลองจุดต่อระหว่างชิ้นส่วนดังนี้

จุดเชื่อมต่อแบบเหล็กเดือย (Dowel Bar) โดยให้ตำแหน่งของจุดต่อ (Node) ตรงกันเพื่อจำลองให้พฤติกรรมการเชื่อมต่อเหมือนโครงสร้างจริง คือหากมีแรงมากระทำกับโครงสร้างที่ตำแหน่งของเหล็กเดือยที่เชื่อมระหว่างชิ้นส่วนด้านบนและชิ้นส่วนด้านล่างจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันในส่วนของตำแหน่งอื่นในโครงสร้างจริงที่ไม่มีจุดเชื่อมต่อกันระหว่างชิ้นส่วนอาจจะไม่เคลื่อนที่ไปด้วยกันจึงทำการสร้างแบบจำลองโดยปลดการเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วนโดยใช้คำสั่ง Do Not Create Edge Constraints เพื่อให้ตำแหน่งที่จุดต่อในแบบจำลอง (Node) ที่ไม่ตรงกันไม่เคลื่อนที่ไปด้วยกัน ดังรูปที่ ก.16 (ข)

ในส่วนของเหล็กห้วงรูปตัวยูในที่นี้สร้างจำลองโดยกำหนดขนาด Mesh ให้เท่ากับระยะห่าง (Spacing) ของเหล็กห้วงตามแบบก่อสร้างจริง คือ 800 mm ดังรูปที่ ก.16 (ข)



รูปที่ ก.16 (ก) Elevation View แสดงตำแหน่งของเหล็กเดือยระหว่างแผ่นผนังชั้น 1 และชั้น 2 (ข) สร้างแบบจำลองเหล็กเดือยและเหล็กห้วงรูปตัว U ให้มีพฤติกรรมสอดคล้องกับโครงสร้างจริง

จากนั้นทำการกำหนดค่าสติฟเนสของแบบจำลองอาคารตัวอย่าง ตามที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [17] หัวข้อที่ 2.8.3 ดังแสดงในตารางที่ ก.13 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ค่าสติฟเนสของกำแพงที่มีการแตกร้าว และกำแพงที่ไม่แตกร้าว มีค่าไม่เท่ากัน ในการสร้างแบบจำลองขึ้นต้นจึงทำการสมมติให้ผนังเป็นแบบกำแพงที่ยังไม่แตกร้าวก่อน จากนั้นทำการวิเคราะห์หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในผนังว่าชิ้นส่วนใดมีหน่วยแรงเกินค่ามอดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) หากพบว่าหน่วยแรงดึงมีค่ามากกว่ามอดูลัสการแตกร้าวจะปรับเปลี่ยนค่าสติฟเนสของชิ้นส่วนนั้นในแบบจำลองให้ลดลงเป็นแบบกำแพงที่มีการแตกร้าวตามตารางที่ ก.13 แล้วทำการวิเคราะห์หาค่าแรงภายในใหม่อีกครั้ง

ตารางที่ ก.13 การกำหนดค่าสติฟเนสขององค์อาคาร (จากหัวข้อ 2.8.3 ของ มยผ. 1301/1302-61 [17])

Element	Effective Stiffness	
	Moment of Inertia	Cross-sectional Area
กำแพงที่มีการแตกร้าว	$0.35I_g$	$1.0A_g$
กำแพงที่ไม่แตกร้าว	$0.70I_g$	$1.0A_g$
เสา	$0.70I_g$	$1.0A_g$
คาน	$0.35I_g$	$1.0A_g$
แผ่นพื้นไร้คาน	$0.25I_g$	$1.0A_g$

ก.6.1 น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (W)

ในการคำนวณน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลสำหรับการคำนวณหาแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 [17] หัวข้อที่ 2.8.2 เนื่องจากเป็นอาคารพักอาศัยประเภททาวเฮ้าส์น้ำหนักประสิทธิผล (W) จะคิดเพียงน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของอาคาร (หน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก = 23.5 kN/m^3) เท่านั้น โดยไม่ได้รวมร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร (Floor Live Load) เนื่องจากไม่ได้เป็นอาคารสำหรับเก็บพัสดุ อนึ่งหากเป็นอาคารที่มี superimposed dead load ควรที่จะนำมารวมคำนวณเป็นน้ำหนักประสิทธิผลด้วย สำหรับอาคารนี้สามารถนำน้ำหนักของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอาคารในตารางที่ ก.3 ถึงตารางที่ ก.7 มาคำนวณน้ำหนักประสิทธิผลได้ดังนี้

ตารางที่ ก.14 ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ของส่วนที่พิจารณานำมาคำนวณน้ำหนักประสิทธิผล

ส่วนที่พิจารณา	น้ำหนัก (kN)
ผนังชั้นหลังคา	65.1
ผนังชั้นที่ 3	416.8
พื้นชั้นที่ 3	229.9
ผนังชั้นที่ 2	492.1
พื้นชั้นที่ 2	235.3
ผนังชั้นที่ 1	404.0
พื้นชั้นที่ 1	210.0
ผนังชั้นฐานราก	19.6
รวม	2,072.7

ก.6.2 การรวมผลของแรงแผ่นดินไหว กับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง

ในการคำนวณหาแรงภายในจุดต่อในอาคารตัวอย่างใช้การรวมผลของแรงแผ่นดินไหวกับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งจากหัวข้อที่ 2.5.2 (ก) ใน มยผ. 1301/1302-61 [17] ใช้วิธีการรวมผลดังต่อไปนี้

ก.6.2.1 วิธีรวมผลของแรง

สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลังให้ใช้วิธีการรวมผลของแรงโดยเลือกชุดการรวมผลที่ให้ค่าแรงภายในชิ้นส่วนที่วิกฤตที่สุดของชุดการรวมผลดังต่อไปนี้

COMB1: $0.75(1.4D + 1.7L) + 1.0E$

COMB2: $0.9D + 1.0E$

ก.6.2.2 น้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำกับพื้นโครงสร้าง

จากพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับบ้านพักอาศัย (Live Load) = 200 kg/m^2

ก.7 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายในสำหรับการออกแบบ สามารถวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่าหรือวิธีเชิงพลศาสตร์ ตามที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302 [17] ในรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง

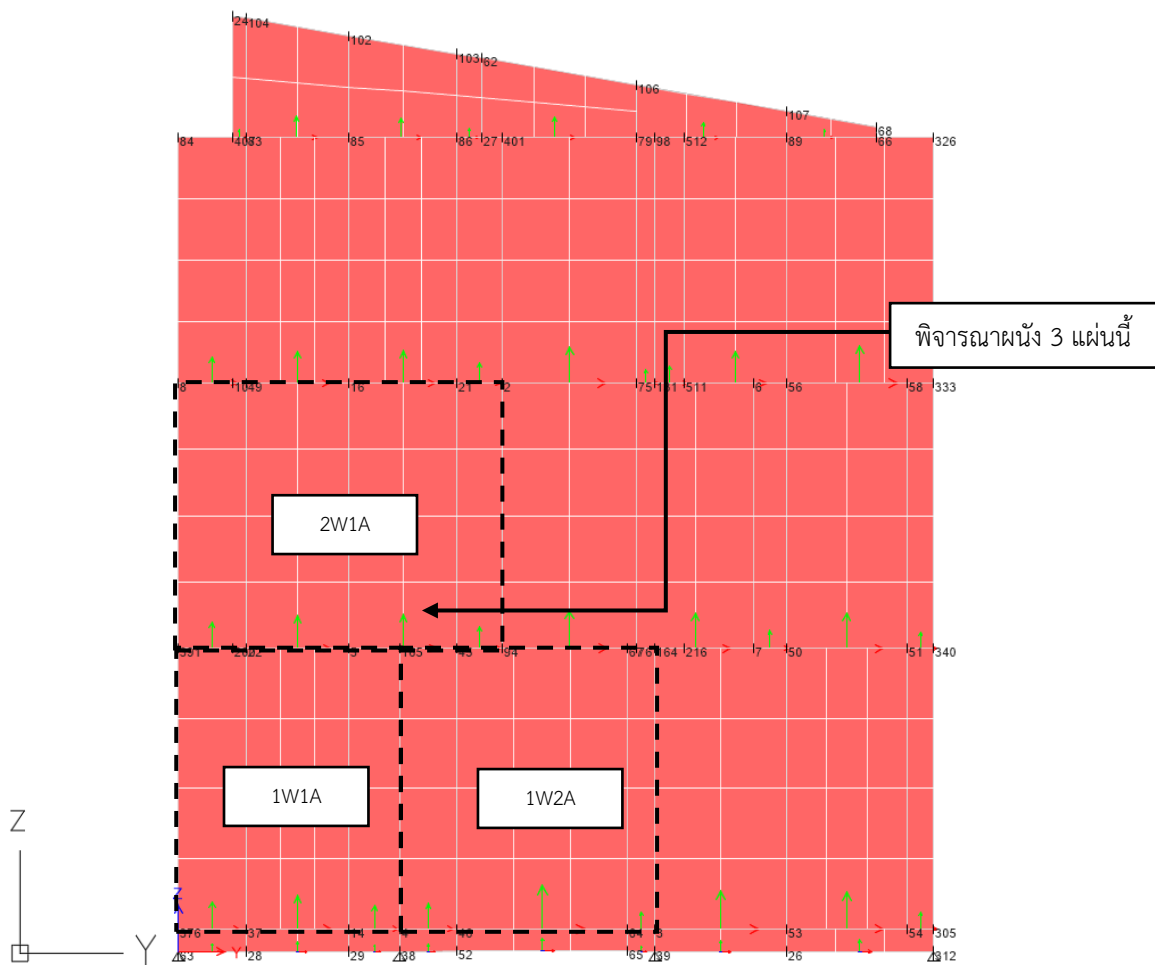
ก.8 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์และแรงภายในสำหรับการออกแบบจุดต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete)

ในอาคารตัวอย่างมีจุดต่อระหว่างองค์อาคารเช่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีจุดต่อ 2 แบบ คือ เหล็กเดือย (Dowel Bar) เพื่อเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนในแนวดิ่ง และ เหล็กห่วงรูปตัวยู ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนในแนวนอน

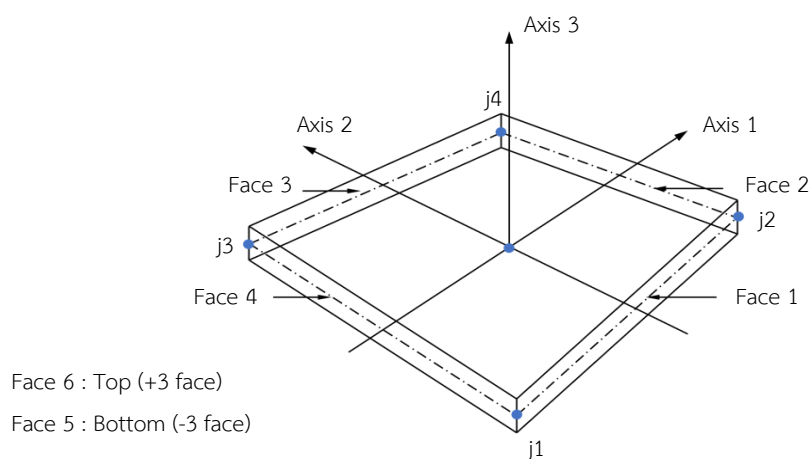
พิจารณาที่ Elevation 1 โดยในตัวอย่างนี้จะพิจารณาแรงภายในจุดเชื่อมต่อระหว่างผนัง 1W1 , 1W2 และ 2W1 ดังรูปที่ ก.17-18 และการสร้างแบบจำลองให้มีทิศของ Local Axis ไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ ก.19



รูปที่ ก.17 Elevation View 1



รูปที่ ก.18 แบบจำลองแสดง Local Axis ของแต่ละชิ้นส่วน โดยลูกศรแสดงถึง Axis 1 (สีแดง) , Axis 2 (สีเขียว) และ Axis 3 (สีน้ำเงิน)



รูปที่ ก.19 รูปแสดงทิศทางของ Local Axis ของ Shell Element

ก.8.1 ค่าแรงภายในชิ้นส่วนเหล็กเดือย (Dowel Bar)

แนวคิดในการคำนวณคือใช้แรงที่ Node ของ Shell Element มาเป็นแรงภายในเหล็กเดือย ในตัวอย่างอาคารนี้ ตารางที่ ก.15 แสดงค่าแรงในเหล็กเดือยเพียงตำแหน่ง JOINT ที่ 22 ซึ่งเป็นเหล็กเดือยที่เชื่อมระหว่างผนังชั้นที่ 1 ผนังชั้นที่ 2 และมีเหล็กห้วงรูปตัวยูจากพื้นชั้นที่ 2 มายึดติดกับเหล็กเดือย ดังรูปที่ ก.20 (ก) โดยค่าแรงภายในเหล็กเดือยที่ JOINT 22 ที่แสดงในตารางที่ ก.15 จะแสดงตามแกน Global Axis คือ F1 , F2 และ F3 ซึ่งหมายถึงแรงในแกน X (แรงเฉือนนอกกระนาบ) , Y (แรงเฉือนในระนาบ) และ Z (แรงตามแนวแกน) ตามลำดับ โดยแรงที่เกิดขึ้นที่ JOINT 22 จะมาจากผนังชั้นที่ 1 ผนังชั้นที่ 2 และพื้นชั้นที่ 2 ในที่นี้ E จากการวิเคราะห์ผลของแผ่นดินไหวด้วยวิธี Response Spectrum Analysis (RSA) ซึ่งได้มีการคูณปรับค่าแรงด้วย scaling factor (SF) เพื่อให้แรงเฉือนพื้นฐานไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของแรงสถิตเทียบเท่าแล้ว และได้พิจารณาผลจากแผ่นดินไหวกระทำทั้งในทิศทาง X และ Y

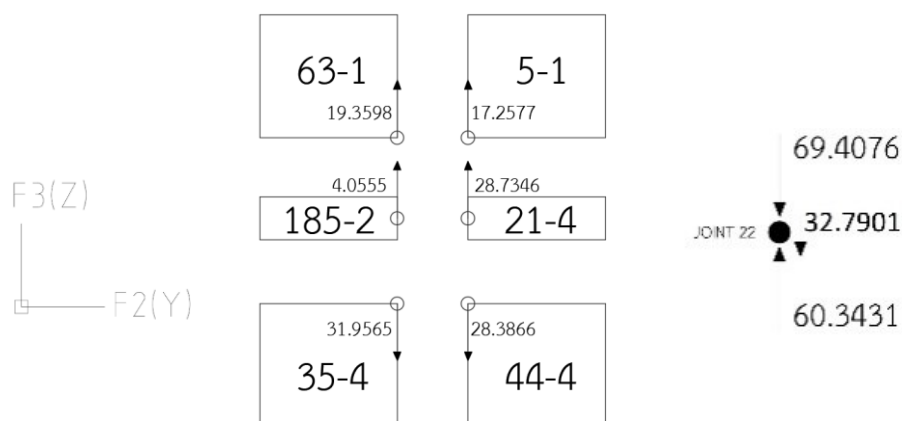
ตารางที่ ก.15 แรงภายในเหล็กเดือยที่ตำแหน่ง JOINT 22 สำหรับชุดการรวมผล COMB1

Joint	Shell Object	Shell Element	ชิ้นส่วน	F1	F2	F3
				kN	kN	kN
22	W18	5-1	ผนังชั้น 2	-0.4541	-1.9718	17.2577
	W22	63-1		0.4078	-2.4349	19.3598
	F6	21-4	แผ่นพื้นชั้น 2	4.0006	-0.5794	28.7346
	F12	185-2		-1.748	-2.5378	4.0555
	W22	35-4	ผนังชั้น 1	-1.2704	-1.4401	-31.9565
	W18	44-4		0.5217	10.7072	-28.3866
ผลรวม				1.4576	1.7432	9.0645

จากตารางที่ ก.15 จะเห็นว่าแรงที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างมีค่าดังนี้

ก.8.1.1 แรงแนวดิ่งตามแกน Z (F3)

ที่ชิ้นส่วน 35-4 และ 44-4 เท่ากับ $-31.9565 + (-28.3866) = -60.3431$ kN ตามลำดับ โดยเครื่องหมายลบ (-) แสดงถึงแรงที่ทิศลง (แกน Z) ซึ่งหมายถึงผนังชั้น 1 อยู่ภายใต้แรงอัด ส่วนแรงที่ได้กระทำต่อชิ้นส่วน 63-1 และ 5-1 มีค่าเท่ากับ $19.3598 + 17.2577 = 69.4076$ kN มีค่าเป็นบวกคือมีทิศขึ้น ซึ่งหมายถึงผนังชั้น 2 อยู่ภายใต้แรงอัดเช่นกัน ดังรูปที่ ก.21 ส่วนแรงที่กระทำต่อแผ่นพื้นชั้น 2 (element no. 185-2 และ 21-4) รวมเท่ากับ $4.0555 + 28.7346 = 32.7901$ ในที่นี้ดูเหมือนกับผลรวมของแรงต่าง ๆ ไม่เท่ากับศูนย์ แต่เป็นเพราะผลการวิเคราะห์ RSA ให้ค่าตอบสนองสูงสุดต่อแผ่นดินไหวซึ่งแต่ละ element อาจเกิดค่าสูงสุดไม่พร้อมกัน ในที่นี้จึงแสดงตารางที่ ก.16 ที่เป็นผลจากน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง 1.4D+1.7L เพื่อแสดงให้เห็นว่าในกรณีนี้ผลรวมของแรงที่ JOINT 22 จะเท่ากับศูนย์ หมายถึงวัตถุอยู่ในสมดุลแบบสถิต



รูปที่ ก.21 Free Body Diagram และแรงลัพธ์ ของแรงตามแนวแกน (F3) ของจุดเชื่อมต่อเหล็กเดียว (Dowel bar)

ก.8.1.2 แรงเฉือนในระนาบ (F2)

แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน 35-4 และ 44-4 เท่ากับ $-1.4401 + 10.7072 = 9.2671$ kN มีค่าบวกในทิศทาง F2 หรือแกน Y ส่วนแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน 63-1 และ 5-1 เท่ากับ $-2.4349 + (-1.9718) = -4.4067$ kN มีค่าลบในทิศทาง F2 หรือ Y

ก.8.1.3 แรงเฉือนนอกระนาบ (F1)

แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน 35-4 และ 44-4 เท่ากับ $-1.2704 + 0.5217 = -0.7487$ kN มีค่าลบในทิศทาง F1 หรือ แกน X ส่วนแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน 63-1 และ 5-1 เท่ากับ $0.4078 + (-0.4541) = -0.0463$ kN มีลบในทิศทาง F1 หรือ แกน X

ตารางที่ ก.16 แรงภายในเหล็กเดือยที่ตำแหน่ง JOINT 22 จากชุดการรวมผลของแรง 1.4D+1.7L (static)

Joint	Shell Object	Shell Element	ชิ้นส่วน	F1	F2	F3
				kN	kN	kN
22	W18	5-1	ผนังชั้น 2	-0.6604	-3.2117	21.0066
	W22	63-1		0.5264	-3.4078	24.3537
	F6	21-4	แผ่นพื้นชั้น 2	4.4081	-0.9656	35.7855
	F12	185-2		-3.2448	-4.0406	5.348
	W22	35-4	ผนังชั้น 1	-1.7173	-2.193	-46.2744
	W18	44-4		0.6879	13.8186	-40.2194
ผลรวม				0.0000	0.0000	0.0000

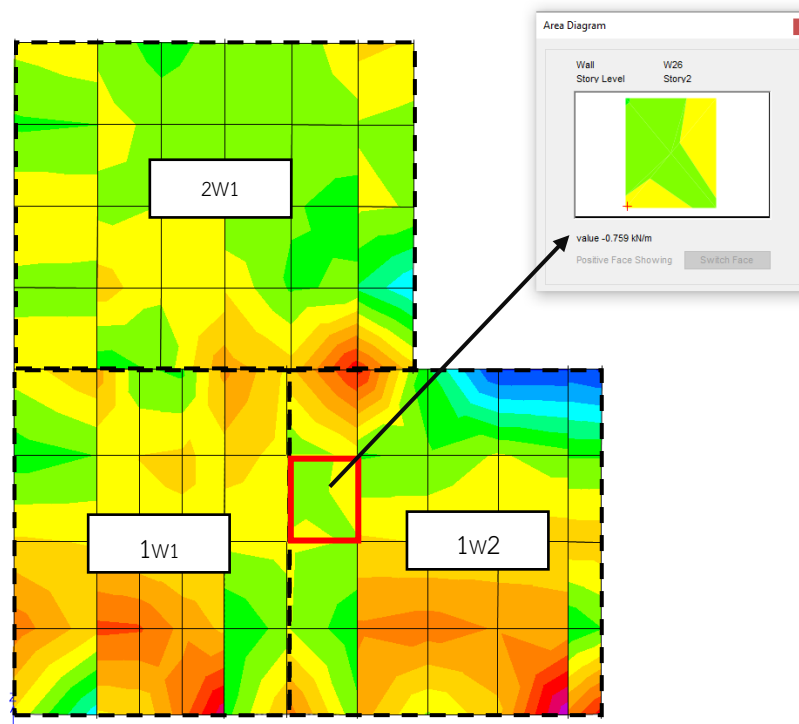
ก.8.2 ค่าแรงภายในชิ้นส่วนเหล็กห้วงรูปตัวยู

แนวคิดในการคำนวณค่าแรงภายในเหล็กห้วงคือ จากระยะห่าง (Spacing) ของเหล็กห้วงรูปตัวยูเท่ากับ 800 mm ดังนั้นในการแสดงค่าแรงภายในจะแสดงเป็น แรงต่อระยะห่าง (force/800 mm)

ในตัวอย่างนี้จะแสดงค่าแรงภายในเหล็กห้วงรูปตัวยู ที่ JOINT ~1751 ดังแสดงในรูปที่ ก.22 โดยค่าแรงภายในเหล็กห้วงรูปตัวยูจะอิงตามแกน Local Axis ดังรูปที่ ก.23 และ ก.24 คือแรงตามแนวแกน (F11) แรงเฉือนในระนาบ (F12) และแรงเฉือนนอกระนาบ (V13)

ก.8.2.1 แรงตามแนวแกน (F11)

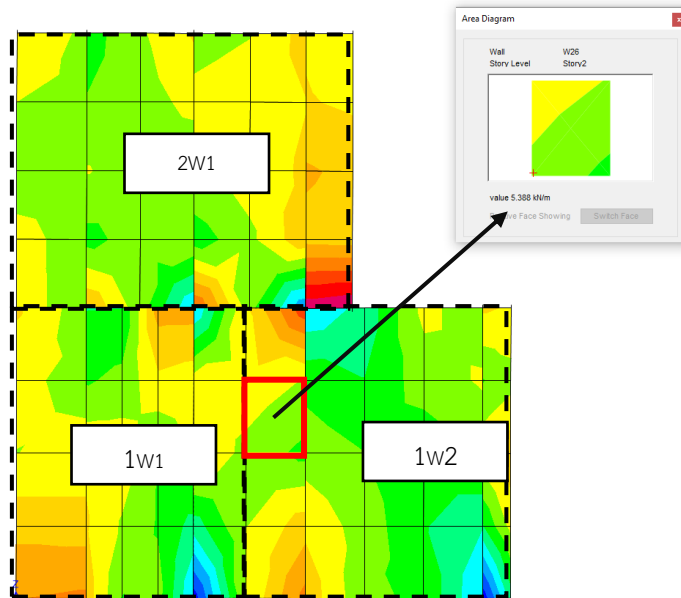
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างจะเห็นได้ว่าค่าแรงตามแนวแกน F11 คือ -0.759 kN/m ดังรูปที่ ก.22 ดังนั้นค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751 เท่ากับ -0.61 kN/80cm ซึ่งแรงที่แสดงนี้เป็นแรงที่ต้องต้านทาน (demand force) ที่จะต้องนำไปใช้ในการออกแบบให้จุดเชื่อมต่อมีกำลังต้านทาน (capacity) ที่เพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงได้อย่างปลอดภัยต่อไป



รูปที่ ก.22 แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751

ก.8.2.2 แรงเฉือนในระนาบ (F12)

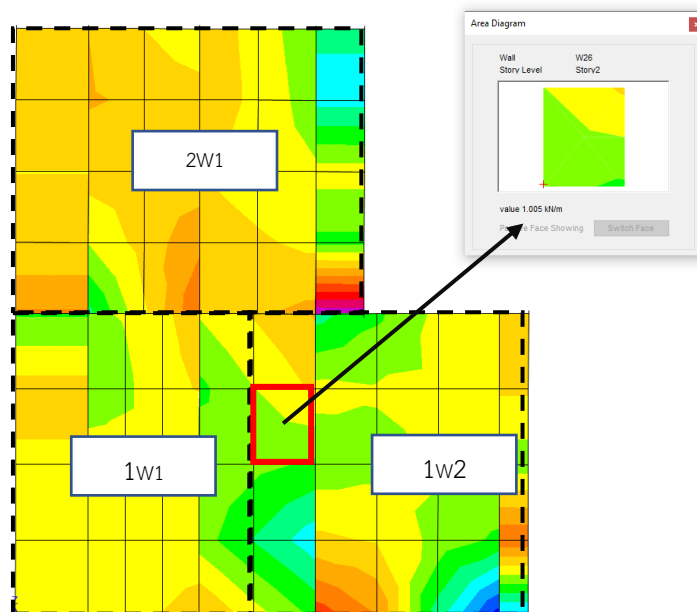
ค่าแรงเฉือนในระนาบจากการวิเคราะห์โครงสร้างเท่ากับ 5.388 kN/m ดังรูปที่ ก.23 ดังนั้น
ค่าแรงเฉือนในระนาบที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751 เท่ากับ 4.31 kN/80cm



รูปที่ ก.23 แรงเฉือนในระนาบที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751

ก.8.2.3 แรงเฉือนนอกระนาบ (V13)

ค่าแรงเฉือนนอกระนาบจากการวิเคราะห์โครงสร้างเท่ากับ 1.005 kN/m ดังรูปที่ ก.24 ดังนั้น
ค่าแรงเฉือนนอกระนาบที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751 เท่ากับ 0.804 kN/80cm

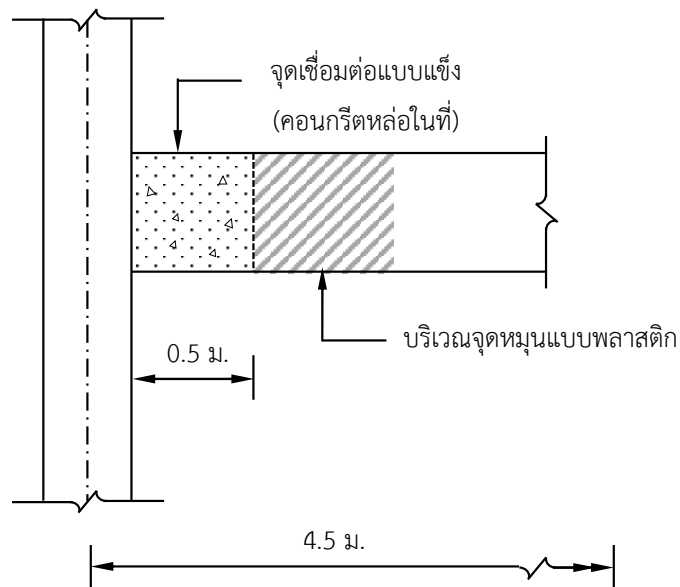


รูปที่ ก.24 แรงเฉือนนอกระนาบที่เกิดขึ้นที่ JOINT ~1751

ภาคผนวก ข

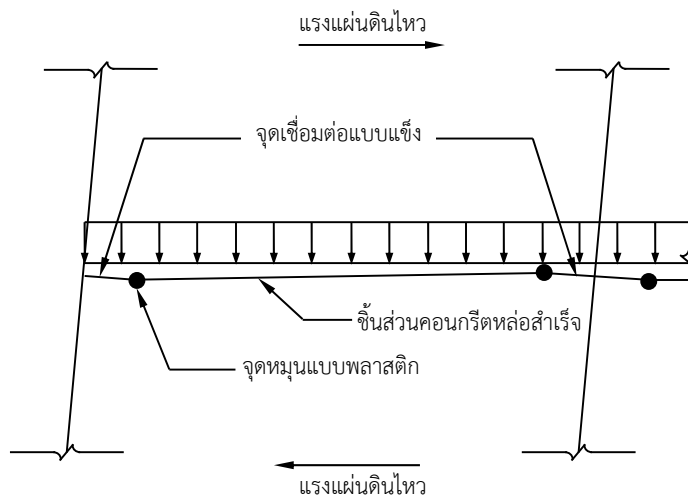
ตัวอย่างการออกแบบจุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรง

ตัวอย่างนี้จะเป็นการออกแบบจุดต่อคาน-เสา ของโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษที่ใช้จุดเชื่อมต่อแบบแข็งแรง (Strong Connection) ตามข้อกำหนด 4.3.1.3 โดยสมมุติให้จุดต่อนี้เป็นส่วนของคานริมอาคาร และโครงสร้างนี้ ได้รับการวิเคราะห์โครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302 และคำนวณออกแบบกำหนดเหล็กยื่นตามแนวคานเป็น 3DB16 สำหรับเหล็กบนและเหล็กล่างที่บริเวณปลายคาน คานมีขนาด 0.25x0.45 เมตร เสา ขนาด 0.35x0.35 เมตร คอนกรีตกำลังอัดประลัย 28 เมกะปาสกาล กำลังครากเหล็กเสริม 400 เมกะปาสกาล น้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งสำหรับกรณีการรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง $0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EQ$ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ 21.3 kN/m และความยาวช่วงเสา เท่ากับ 4.5 เมตร กำหนดให้ความกว้างของจุดต่อแบบแข็งที่เป็นแบบหล่อในที่มีขนาดเท่ากับ 0.5 เมตรดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 จุดต่อแบบแข็ง

หลักการของจุดต่อแบบแข็ง คือการออกแบบให้บริเวณที่เกิดการครากของเหล็กเสริมจากแรงแผ่นดินไหว หรือ บริเวณจุดหมุนพลาสติก (Plastic hinge region)อยู่นอกบริเวณจุดต่อ ดังนั้นจุดต่อจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรง มากกว่าแรงที่จะส่งผ่านมาจากจุดหมุนพลาสติก ทั้งนี้แรงที่ใช้ออกแบบจุดต่อแบบแข็งจะคิดมาจากแรงหรือโมเมนต์ดัดสูงสุดที่น่าจะเกิดขึ้น โดยรวมถึงกำลังส่วนเกินที่อาจมีในตัววัสดุและ Strain Hardening ในเหล็กเสริม ลักษณะกลไกการเสียรูป ของโครงสร้างที่ใช้จุดต่อแบบแข็ง ของโครงสร้างตัวอย่างแสดงในรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 กลไกการเสียรูป ของโครงสร้างที่ใช้จุดต่อแบบแข็ง

ข้อกำหนด 4.3.1.3 กำหนดให้จุดต่อแบบแข็งจะต้องมีกำลังไม่น้อยกว่าแรงที่จุดต่อที่สอดคล้องกับการเกิดจุดหมุนพลาสติก ณ จุดที่ตั้งใจให้เกิดการครากขึ้น การคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้น จะเป็นตามข้อกำหนดของระบบโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษในมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-2561 [17] โดยแรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่หน้ารอยต่อทั้งสองด้าน จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับกำลังโมเมนต์ดัดที่เป็นไปได้ M_{pr} ทั้งนี้ค่า M_{pr} จะเป็นค่ากำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดที่คิดจากค่ากำลังรับแรงดัดของเหล็กเสริมเท่ากับ $1.25 f_y$

ค่ากำลังโมเมนต์ดัดที่เป็นไปได้ M_{pr} สำหรับหน้าตัดคาน 0.25x0.45 เมตร เหล็กเสริม 3DB16 คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (ในกรณีที่ไม่วัดเหล็กรับแรงอัด)

$$a = \frac{A_s (1.25 f_y)}{0.85 f'_c b} = \frac{3 \cdot 201 (1.25 \cdot 400)}{0.85 \cdot 28 \cdot 250} = 50.67 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s 1.25 f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = (3 \cdot 201) (1.25 \cdot 400) \left(400 - \frac{50.67}{2} \right) = 112.9 \cdot 10^6 \text{ N-mm} = 112.9 \text{ kN-m}$$

เนื่องจากคานนี้บริเวณปลายจุดต่อใช้เหล็กเสริมเท่ากันทั้งบนและล่าง ดังนั้นค่ากำลังโมเมนต์ดัดที่เป็นไปได้จึงมีค่าเท่ากัน ทั้งกรณีที่รับโมเมนต์บวก (เหล็กล่างรับแรงดัด) และรับโมเมนต์ลบ (เหล็กบนรับแรงดัด)

ในกรณีที่โครงอาคารเคลื่อนตัวไปทางด้านขวามือ (ทิศทางตามรูป ข.3ก)

ค่าแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดขึ้นที่ริมซ้ายของคาน (ทิศทางตามรูป ข.3ก)

$$V_{EL} = \frac{(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)}{3.15} - \frac{21.3 \cdot 3.15}{2} = \frac{(112.9 + 112.9)}{3.15} - \frac{21.3 \cdot 3.15}{2} = 38.1 \text{ kN}$$

ค่ากำลังโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่หน้าเสาด้านริม เท่ากับ

$M_E = (M_{pr}^+ + V_{EL} \cdot 0.5) - 21.3 \cdot \frac{0.5^2}{2} = (112.9 + 38.1 \cdot 0.5) - 21.3 \cdot \frac{0.5^2}{2} = 129.3 \text{ kN-m}$ เป็นโมเมนต์บวก (เหล็กล่างรับแรงดึง)

ในกรณีที่โครงอาคารเคลื่อนตัวไปทางด้านซ้ายมือ (ทิศทางตามรูป ข.3ข)

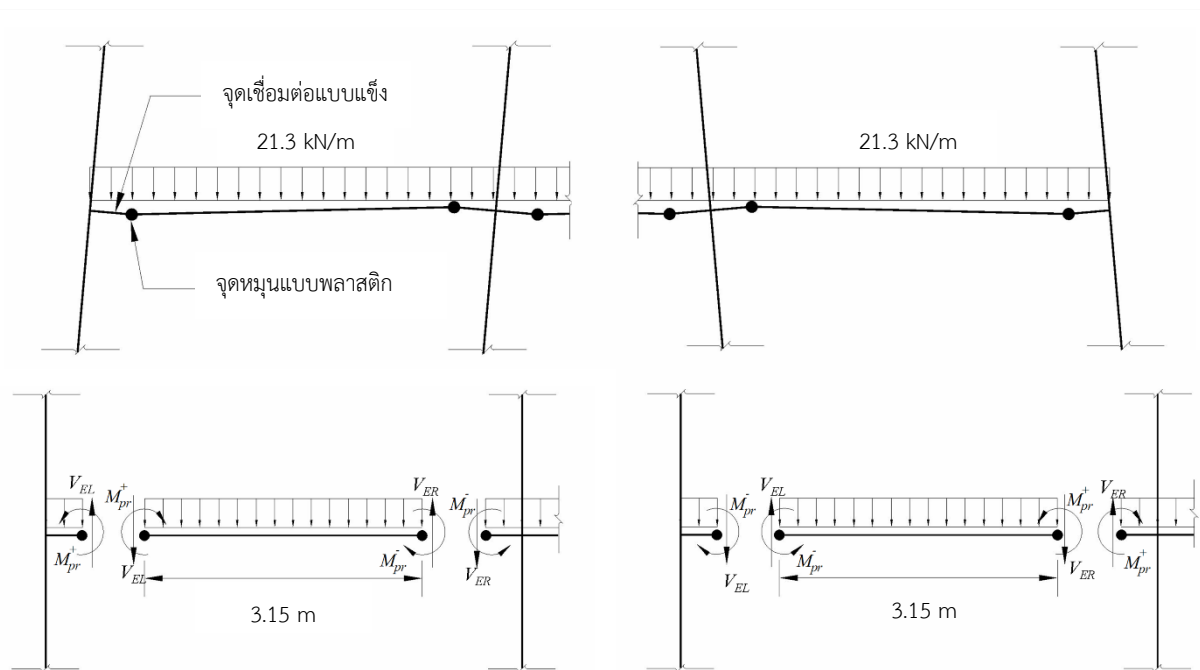
ค่าแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดขึ้นที่ริมซ้ายของคาน

$$V_{EL} = \frac{(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)}{3.15} + \frac{21.3 \cdot 3.15}{2} = \frac{(112.9 + 112.9)}{3.15} + \frac{21.3 \cdot 3.15}{2} = 105.2 \text{ kN}$$

ค่ากำลังโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่หน้าเสาด้านริม เท่ากับ

$$M_E = (M_{pr}^- + V_{EL} \cdot 0.5) + 21.3 \cdot \frac{0.5^2}{2} = (112.9 + 105.2 \cdot 0.5) + 21.3 \cdot \frac{0.5^2}{2} = 168.2 \text{ kN-m}$$

เป็นโมเมนต์ลบ (เหล็กบนรับแรงดึง)



ก) โครงอาคารเคลื่อนไปทางขวามือ

ข) โครงอาคารเคลื่อนไปทางซ้ายมือ

รูปที่ ข.3 แรงที่เกิดในโครงอาคาร

จากทั้งสองกรณี จะเห็นได้ว่ากรณีที่โครงอาคารเคลื่อนตัวไปทางด้านซ้ายมือ จะให้ค่าโมเมนต์ดัดที่สูงกว่า ดังนั้นจึงใช้ค่านี้ในการออกแบบจุดต่อ

เพื่อให้จุดต่อมีกำลังมากกว่าแรงที่จะส่งผ่านมาจากจุดหมุนพลาสติก จะต้องเสริมเหล็กเพิ่มเติม ในที่นี้ใช้เหล็กเสริม 2DB25 บนและล่าง ดังรูป ข.4 ดังนั้นเหล็กบนทั้งหมดในบริเวณจุดต่อเป็น 3DB16+2DB25 มีพื้นที่หน้าตัดรวม 1585 mm² และมีค่าความลึกประสิทธิภาพเท่ากับ 374 mm ในกรณีที่โมเมนต์กำลังจากเหล็กล่างที่รับแรงอัด กำลังรับแรงดัดของจุดต่อจะคำนวณได้ดังนี้ (ในกรณีนี้จะคิดกำลังต้านทานแรงดัดจากค่ากำลังระบุของวัสดุ โดยไม่คิดถึงกำลังส่วนเกิน)

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{1585 \cdot 400}{0.85 \cdot 28 \cdot 250} = 106.6 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = (1585)(400) \left(400 - \frac{106.6}{2} \right) = 219.8 \cdot 10^6 \text{ MPa-mm}^3 = 219.8 \text{ kN-m}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 219.8 = 197.82 \text{ kN-m} \geq 168.2 \text{ kN-m} \text{ สามารถใช้ได้}$$

สำหรับเหล็กปลอก ตามข้อกำหนดโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษ กำหนดให้ระยะเรียงของเหล็กปลอกตลอดความยาวเท่ากับสองเท่าของความลึกคาน วัสดุออกไปทั้งสองด้านของหน้าตัดที่คาดว่าจะเกิดครากขึ้น ต้องไม่เกินค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

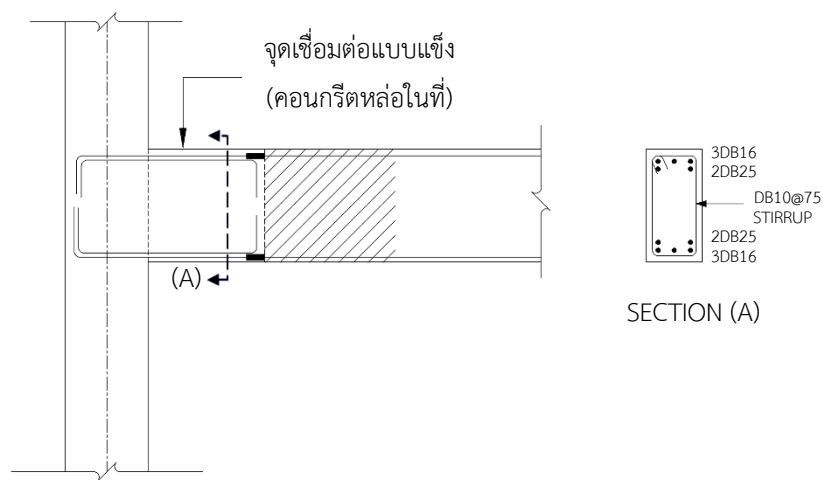
- (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ
- (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่เล็กที่สุด
- (3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกรัตรอบ
- (4) 300 mm

1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพเท่ากับ $37.4/4 = 9.35$ ซม. 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่เล็กที่สุด (DB16) เท่ากับ $8 \times 1.6 = 12.8$ ซม. 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกรัตรอบ (เลือกใช้ DB10) เท่ากับ $24 \times 1 = 24$ ซม. ดังนั้นเลือกใช้ค่าระยะห่าง 7.5 ซม.

นอกจากนี้ข้อกำหนดโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวแบบพิเศษ ยังกำหนดให้ออกแบบคานในบริเวณ สองเท่าของความลึกคานวัสดุออกไปทั้งสองด้านของหน้าตัดที่คาดว่าจะเกิดครากขึ้น โดยใช้ค่ากำลังต้านแรงเฉือนของคอนกรีต $V_c = 0$ ดังนั้น กำลังรับแรงเฉือน $\phi V_n = \phi V_s$ เลือกใช้ DB10@7.5 ซม.

$$\phi V_s = \phi \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = 0.85 \frac{157 \cdot 400 \cdot 374}{75} = 266188 \text{ N} = 266.2 \text{ kN} \geq 105.2 \text{ kN} \text{ สามารถใช้ได้สรุป}$$

รายละเอียดลักษณะจุดต่อได้ดังรูป ข.4



รูปที่ ข.4 ตัวอย่างรายละเอียดจุดต่อแบบแข็ง



สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถนนพระรามที่ 6 แขวงปทุมวัน

เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10400

โทร . 0-2299-4321 โทรสาร. 0-2299-4321