



**ชุดมาตรฐานประกอบแบบ
โครงสร้างลักษณะพิเศษ
มยพ. 1341-54 ถึง 1346-54
และ: มยพ. 8213-54**

**กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2554**

คำนำ

เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว การก่อสร้างอาคารมีความสลับซับซ้อน และมีการก่อสร้างโครงสร้างลักษณะพิเศษที่หลากหลาย ประเภท เช่น การก่อสร้างโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง (Membrane Structures) การก่อสร้างหอหรือหอยืดโยง (Towers or Guyed Towers) และโครงสร้างที่ใช้เคเบิล (Cable Structures) เป็นต้น ซึ่งการออกแบบ และก่อสร้างโครงสร้างลักษณะพิเศษดังกล่าวจำเป็นต้องมีมาตรฐานการก่อสร้างเฉพาะ แต่เนื่องจาก ในขณะนี้ประเทศไทยยังไม่มีข้อบังคับหรือมาตรฐานดังกล่าวที่สมบูรณ์และชัดเจน ส่งผลให้เกิดปัญหา ในด้านปฏิบัติกับผู้เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นผู้ออกแบบ ผู้ตรวจสอบ และผู้กำกับดูแล กรมโยธาธิการ และผังเมืองจึงมอบหมายให้ บริษัท เช่าที่อีสท์เอเชียเทคโนโลยี จำกัด และบริษัท ไซน์ - เทคโนโลยี เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ดำเนินการศึกษาและยกร่างชุดมาตรฐาน ประกอบการออกแบบ โครงสร้างลักษณะพิเศษ โดยมาตรฐานดังกล่าวได้ผ่านขั้นตอนตามหลักการจัดทำมาตรฐาน อันเป็นที่ยอมรับ ได้แก่ การศึกษามาตรฐานการก่อสร้างโครงสร้างลักษณะพิเศษของประเทศที่เป็นสากล การรับฟังความเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิ การรับฟังความเห็นจากผู้ปฏิบัติและนักวิชาการ ซึ่งได้แก่ ผู้ออกแบบอาคาร (สถาปนิกและวิศวกร) เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานราชการและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง และอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ รวมถึงได้ศึกษาผลกระทบจากการปฏิบัติ จนสำเร็จ เป็นชุดมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย 7 มาตรฐาน ดังนี้

- (1) มยพ. 1341 มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง
- (2) มยพ. 1342 มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิล
- (3) มยพ. 1343 มาตรฐานประกอบออกแบบหอหรือหอยืดโยง
- (4) มยพ. 1344 มาตรฐานประกอบการออกแบบนั่งร้าน – ค้ำยัน
- (5) มยพ. 1345 มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง
- (6) มยพ. 1346 มาตรฐานประกอบการออกแบบห้องเก็บและที่เก็บฟิล์ม
- (7) มยพ. 8213 มาตรฐานการทดสอบการลามไฟของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การปฏิบัติตามชุดมาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างลักษณะพิเศษนี้ จะทำให้การก่อสร้างโครงสร้างลักษณะพิเศษในประเทศไทย มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น อันจะนำมาซึ่งความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนต่อไป



(นายอุดม พัวสกุล)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

โครงการพัฒนาและปรับปรุงจัดทำประมวลข้อบังคับอาคาร (Building Code) สำหรับประเทศไทย
โครงการย่อยที่ 6 : ข้อบังคับเกี่ยวกับการก่อสร้างโครงสร้างลักษณะพิเศษและบ้านพักอาศัย

ดำเนินการโดย : บริษัท เซ้าท์อีสต์เอเชียเทคโนโลยี จำกัด

: บริษัท ไซน์-เทค เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด

คณะทำงาน :

1. นายมนตรี สายะบวร	ผู้จัดการ โครงการ
2. นายสง่า ลิ้มธงชัย	รองผู้จัดการ โครงการ
3. ดร.ไกร สูงสว่าง	ผช.ด้านวิศวกรรมโครงสร้างพิเศษ
4. น.อ.ดร.กมล วัชรเสถียร	ผช.ด้านวิศวกรรมโครงสร้าง
5. ดร.เอกเทวิญ มโนวงศ์	ผช.ด้านวิศวกรรมโยธา
6. นายสถาพร ภูมิจิตรจารุ	ผช.ด้านวิศวกรรมปฐพี
7. น.ท. ไตรวัฒน์ วิริยะศิริ	ผช.ด้านสถาปัตยกรรม
8. ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุขสม	ผช.ด้านวิศวกรรมโครงสร้าง
9. นายประพัฒน์ สุระมานะ	ผช.ด้านสถาปัตยกรรม
10. นายลือชัย ทองนิล	ผช.ด้านวิศวกรรมงานระบบ
11. นายพงศ์พันธ์ เทสสิริ	ผช.ด้านกฎหมาย
12. นายณพดล กรุดนาค	ผช.ด้านประชาสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม
13. น.ท.นุภูถ เจริญ	วิศวกรโยธา / โครงสร้าง
14. น.อ.เรืองวิทย์ ศรีนวลนัค	วิศวกรโยธา / โครงสร้าง
15. นางสาวจิตติมา สุนทรารชน	สถาปนิก
16. นายอภิชาติ ประสิทธิ์สม	วิศวกรโยธา / โครงสร้าง
17. นายบรรพต สุระมานะ	วิศวกรโยธา / โครงสร้าง
18. นางสาวสุปัญญา สาลี	สถาปนิก
19. นายสมถวิล มั่งมี	วิศวกรโยธา / ผู้ประสานงานโครงการ

คำนำ

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางรองรับด้วยลม (มยผ. 1341-54)

1. ขอบข่าย	1
2. นิยามและสัญลักษณ์	1
2.1 นิยาม	1
2.2 สัญลักษณ์	3
3. มาตรฐานอ้างอิง	5
4. วัสดุ	6
4.1 วัสดุแผ่นบาง	6
4.2 เคเบิลและการเสริมกำลัง (Cables and Reinforcing)	7
4.3 ตะเข็บของวัสดุแผ่นบาง (Membrane Material Seam)	8
4.4 การเชื่อมด้วยวิธีกล (Mechanical Joint)	8
5. งานระบบของอาคาร (Building System)	9
5.1 ระบบเครื่องกล	9
5.2 ระบบป้องกันเพลิงไหม้ (Fire Protection)	12
5.3 ทางเข้าออก (Entrance and Exit)	12
5.4 ระบบท่อน้ำ (Plumbing System)	13
5.5 ระบบไฟฟ้า (Electrical System)	13
5.6 ระบบควบคุมและระบบตรวจสอบ (Control and Monitoring System)	14
6. การออกแบบ	14
6.1 น้ำหนักบรรทุก (Load)	14
6.2 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์และการออกแบบ (Analysis and Design Requirement)	16
6.3 กำลังออกแบบของชิ้นส่วน (Member Design Strength)	19

6.4	ตัวยึดและฐานราก (Anchorage and Foundation)	21
7.	การติดตั้งและการอัดอากาศ (Erection and Inflation)	22
7.1	การติดตั้ง (Erection)	22
7.2	การอัดอากาศ (Inflation)	22
8.	การใช้งาน การบำรุงรักษา กระบวนการในกรณีฉุกเฉิน และงานระบบ	22
8.1	ข้อตกลงการใช้งาน (Acceptance)	22
8.2	ระยะเวลาในการทดสอบและการบำรุงรักษา	23
9.	เอกสารอ้างอิง	23
ผนวก ก	ตัวอย่างรายละเอียดของตัวยึด (Anchorage)	24

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิล (มยพ. 1342-54)

1.	ขอบข่าย	33
2.	นิยามและสัญลักษณ์	33
2.1	นิยาม	33
2.2	สัญลักษณ์	34
3.	มาตรฐานอ้างอิง	36
4.	แบบรายละเอียดและเอกสารสำหรับการก่อสร้าง	36
5.	ข้อพิจารณาในการออกแบบ (Design Considerations)	37
5.1	การคำนวณน้ำหนักบรรทุก (Design Loading)	37
5.2	กำลังของเคเบิล (Cable Strength)	38
5.3	ตัวประกอบปรับลด	39
5.4	เทอร์มินัลหรือตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (End Fitting)	39
5.5	การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis)	41
5.6	เคเบิลที่ปลายทั้งสองข้างอยู่ในระดับเดียวกัน	42
5.7	เคเบิลที่ปลายแต่ละข้างอยู่ต่างระดับกัน	43

6. วัสดุเคเบิล (Cable Material)	44
6.1 รายการคุณลักษณะเฉพาะของเคเบิล (Cable Specification)	44
6.2 การยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching)	45
7. ตัวยึดติด (Fitting)	45
7.1 วัสดุ (Material)	45
7.2 การตรวจสอบ (Inspection)	45
7.3 เทอร์มินัล หรือตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (End Fitting)	46
7.4 ดีแฟล็กเตอร์ หรือ แซคเคิล	46
7.5 ตัวจับยึด (Clamp)	46
8. การเคลือบเพื่อป้องกัน (Protective Coating)	47
9. การประกอบ (Fabrication)	47
9.1 การยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching)	47
9.2 การวัดความยาวเคเบิล (Cable Length Measurement)	47
9.3 การทาสีตามแนว (Striping)	47
9.4 การขนส่ง (Shipping)	47
10. การติดตั้ง	48
10.1 วิธีการติดตั้ง	48
10.2 การติดตั้งเคเบิล	48
10.3 การยึดติดระหว่างช่วง	48
10.4 การยึดติดถาวร (Permanent Fitting) ในหน้างาน	48
11. เอกสารอ้างอิง	48
ผนวก ก ตัวอย่างของตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (Example of End Fittings)	50

มาตรฐานประกอบออกแบบหอหรือหอยืดโยง (มยผ. 1343-54)

1. ขอบข่าย.....	53
2. นิยามและสัญลักษณ์	53
2.1 นิยาม	53
2.2 สัญลักษณ์	54
3. มาตรฐานอ้างอิง	55
4. โครงสร้างหลักรูปพรรณ	56
4.1 ข้อพิจารณาทั่วไป	56
4.2 ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member)	56
4.3 ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member)	63
4.4 สลักเกลียว (Bolt)	63
4.5 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection)	64
4.6 ความหนาต่ำสุด (Minimum Thickness)	64
4.7 การเชื่อม (Welding)	64
5. การคำนวณออกแบบโครงสร้างอูมิเนียมสำหรับโครงสร้างหอหรือหอยืดโยง.....	65
5.1 ข้อพิจารณาทั่วไป	65
5.2 วัสดุ	65
5.3 การออกแบบ	66
5.4 จุดต่อ (Connection)	66
5.5 การป้องกันการกัดกร่อน	66
6. การคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับโครงสร้างหอหรือหอยืดโยง	66
7. แรงลมที่กระทำต่อหอหรือหอยืดโยง.....	67
7.1 แรงลม (Wind Load)	67
7.2 หน่วยแรงลมออกแบบ.....	68
7.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)	68

7.4	ค่าประกอบเนื่องจากแรงลมที่เพิ่มขึ้นบริเวณหลังคา	69
7.5	ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมลัพท์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d)	69
8.	การออกแบบสายยึดโยง (Design of Guy)	72
8.1	ทั่วไป.....	72
8.2	ความต้านทานปรับค่า.....	72
8.3	ตัวคูณประสิทธิภาพ	72
8.4	แรงดึงในสายยึดโยง (Guy Tension).....	72
8.5	อุปกรณ์ปรับความยาว (Take-Up Device)	72
8.6	วัสดุที่ไม่เป็นโลหะ (Nonmetallic Material).....	72
9.	ฐานรากและสมอยึดสายยึดโยง (Foundations and Guy Anchorage)	73
9.1	การออกแบบฐานราก	73
9.2	การสำรวจชั้นดิน	73
9.3	การออกแบบ	74
9.4	ฐานรากและสมอยึดในดิน (Foundations and Anchorages in Soil).....	74
9.5	สมอยึดในหิน (Rock Anchorages).....	74
10.	การติดตั้งโครงสร้างที่เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณและอลูมิเนียม	75
10.1	ทั่วไป.....	75
10.2	รอยต่อ (Connection).....	75
10.3	การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection)	75
10.4	ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง (Erection Tolerances).....	75
11.	การเข้าถึง.....	77
12.	ระบบป้องกันฟ้าผ่า.....	77
13.	ระบบไฟสัญญาณเตือนนักบิน.....	77
14.	เอกสารอ้างอิง	78

มาตรฐานประกอบการออกแบบนั่งร้านและค้ำยัน (มยพ. 1344-54)

1. ขอบข่าย.....	79
2. นิยาม	79
3. ประเภทของนั่งร้าน	80
4. การพิจารณาในการใช้นั่งร้าน.....	81
5. ข้อพิจารณาในการออกแบบ.....	81
5.1 น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ	81
5.2 หน่วยแรงที่ใช้ในการออกแบบ.....	82
5.3 การแอนตัวและการหดตัว	82
5.4 การทรุดตัว	82
5.5 สติฟเนส	82
5.6 ฐานราก	82
6. ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบนั่งร้านและค้ำยัน	82
6.1 นั่งร้านที่ทำด้วยไม้ (Wood Scaffolding).....	83
6.2 หน่วยแรงและส่วนปลอดภัย	83
6.3 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก	83
6.4 ที่รองรับ.....	83
6.5 การใช้ค้ำยัน	83
6.6 ราวกันตก.....	83
6.7 พื้นนั่งร้าน.....	83
7. การติดตั้งนั่งร้านและค้ำยัน.....	84
8. นั่งร้านและค้ำยันมาตรฐาน	84
8.1 นั่งร้านเสาเรียงเดียว สูงไม่เกิน 7 เมตร สำหรับปฏิบัติงานทาสี.....	84
8.2 นั่งร้าน สูงไม่เกิน 7 เมตร สำหรับงานก่อสร้าง	85
8.3 นั่งร้าน สูงไม่เกิน 12 เมตร สำหรับงานก่อสร้าง	86

9. การตรวจสอบนั่งร้าน	87
9.1 ช่วงเวลาในการตรวจสอบนั่งร้าน	87
9.2 รายละเอียดในการตรวจสอบนั่งร้านเบื้องต้น	87
10. เอกสารอ้างอิง	88

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง (มยพ. 1345-54)

1. ขอบข่าย	89
2. นิยามและสัญลักษณ์	89
2.1 นิยาม	89
2.2 สัญลักษณ์	90
3. มาตรฐานอ้างอิง	95
4. วัสดุก่อสร้างในงานคอนกรีตอัดแรง	95
5. ข้อกำหนดในการออกแบบ	95
6. สมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบ	96
7. การพิจารณาด้านกำลัง	97
7.1 กำลังที่ต้องการ (U)	98
7.2 กำลังที่ออกแบบ (De)	98
8. การพิจารณาภายใต้สถานะใช้งาน	98
8.2 ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์	98
8.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ในคอนกรีต	99
8.4 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมอัดแรง	100
8.5 ระยะแอ่นตัวสูงสุดที่ยอมให้	100
9. การสูญเสียของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง	102
9.1 ทั่วไป	102
9.2 การคำนวณหน่วยแรงดึงประสิทธิผล	102
9.3 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Loss, FR)	102

9.4	ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวในช่วงอีลาสติกของคอนกรีต (<i>ES</i>).....	104
9.5	ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึด (<i>ANC</i>)	104
9.6	ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (<i>SH</i>).....	105
9.7	ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (<i>CR</i>).....	106
9.8	ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (<i>RE</i>)	106
10.	เหล็กเสริมยึดเหนี่ยว.....	106
10.1	คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้าก่อน	106
10.2	โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้าภายหลัง ชนิดไม่ยึดเหนี่ยว	107
11.	การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตอัดแรงที่สถานะประลัย.....	108
11.1	เมื่อ $f'_c \leq 300$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	109
11.2	เมื่อ $f'_c > 300$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	109
12.	พิกัดของเหล็กเสริมในคอนกรีตอัดแรง	109
13.	การคำนวณหาค่าการแอ่นตัว	110
13.1	การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที	110
13.2	การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว	111
14.	หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง ณ สถานะประลัย	112
14.1	สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว (Bonded Tendon)	112
14.2	สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยว (Unbonded Tendon) และมี อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึก (Span to Depth) ไม่เกิน 35	113
14.3	สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยว (Unbonded Tendon) และมี อัตราส่วนความยาวต่อความลึก (Span to Depth) เกินกว่า 35	113
15.	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตกับการช่วยรับแรงดึง	113
16.	การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนในคอนกรีตอัดแรง	113
16.1	การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือน.....	114
16.2	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_n).....	114
16.3	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของคอนกรีต (V_c).....	114

16.4	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (V_s).....	116
17.	การออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	117
17.1	การออกแบบเมื่อค่า $V_u \geq \phi V_c$	117
17.2	การออกแบบเมื่อค่า $V_u < \phi V_c$	118
17.3	ระยะห่าง (Spacing) ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	118
18.	การออกแบบแรงบิดในคอนกรีตอัดแรง.....	119
19.	การออกแบบองค์อาคารในส่วนของสมอยึด	119
19.1	ทั่วไป.....	119
19.2	การออกแบบบริเวณปลายสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน	119
19.3	การออกแบบบริเวณสมอยึดสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง	121
20.	การออกแบบเพื่อความต้านทานอัคคีภัย	124
21.	การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมชนิดไม่ยึดเหนี่ยว	124
22.	เอกสารอ้างอิง	124

มาตรฐานประกอบการออกแบบห้องเก็บและที่เก็บฟิล์ม (มยผ. 1346-54)

1.	ขอบข่าย	125
2.	นิยาม	125
3.	มาตรฐานอ้างอิง	125
4.	ความต้องการและการจัดการที่เกี่ยวข้องกับห้องเก็บหรือที่เก็บฟิล์ม	126
4.1	การก่อสร้าง	126
4.2	ทางออก	126
4.3	ช่องระบายความดัน (Explosion Venting)	127
4.4	พื้นที่ของเจ้าหน้าที่	127
4.5	โต๊ะและชั้นวาง	127
4.6	อุปกรณ์ไฟฟ้า	127
4.7	ระบบท่อ.....	127

5. การป้องกันอัคคีภัย	128
5.1 ระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ	128
5.2 ระบบน้ำ	128
5.3 เครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือยกหัว	128
6. การจัดเก็บฟิล์มในเตรต.....	128
6.1 ทั่วไป.....	128
6.2 ตู้เก็บฟิล์ม	129
6.3 ห้องวาลท์	130
6.4 Extended Term Storage Cabinet	134
6.5 Extended Term Storage Vault.....	134
7. การเก็บรักษาฟิล์มในเตรต.....	136
7.1 ข้อกำหนดทั่วไป.....	136
7.2 ข้อกำหนดของกล่องใส่ฟิล์ม	136
7.3 การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง	136
7.4 เศษและส่วนของฟิล์ม.....	136
7.5 การขนส่ง.....	137
8. เครื่องฉายภาพยนตร์และกระบวนการพิเศษ	137
8.1 การปิดล้อมเครื่องฉายภาพยนตร์	137
8.2 บุคลากรฉาย	137
8.3 อัตราการทนไฟ	137
8.4 ประตูทางเข้าออก	137
8.5 พื้นที่ใช้งาน	137
8.6 อุปกรณ์อื่นๆ ภายในห้อง.....	137
8.7 ระบบระบายอากาศ	138
8.8 การเปิดปิดไฟ	138

9. การครอบครองพิเศษ.....	138
9.1 ที่เปลี่ยนฟิล์มภาพยนตร์ (Film Exchange).....	138
9.2 ห้องปฏิบัติการฟิล์มภาพยนตร์	138
10. เอกสารอ้างอิง	140

มาตรฐานการทดสอบการลามไฟของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง (มยผ. 8213-54)

1. ขอบข่าย	141
2. นิยามและสัญลักษณ์	141
3. มาตรฐานอ้างอิง	141
4. เครื่องมือทดสอบ	142
4.1 ตู้อบที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม (Conditioning Oven).....	142
4.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Enclosure)	142
4.3 ตัวจับยึด (Restraining Clamp).....	145
4.4 เครื่องพ่นไฟแบบใช้ก๊าซ (Gas Burner)	145
4.5 เครื่องจับเวลา	146
4.6 ไม้มัดรัด.....	146
5. ขั้นตอนและสภาพเงื่อนไขของการทดสอบ.....	146
5.1 ลักษณะของชิ้นตัวอย่าง (Specimen).....	146
5.2 สภาพเงื่อนไขของการทดสอบ.....	147
6. กระบวนการทดสอบการลามไฟ.....	147
6.1 การแขวนชิ้นตัวอย่าง.....	147
6.2 ขั้นตอนการทดสอบการลามไฟ.....	148
6.3 การวัดความยาวของซากการเผาไหม้.....	149
7. หลักเกณฑ์เกี่ยวกับการทดสอบ	149
7.1 หลักเกณฑ์ด้านสมรรถนะ (Performance Criteria)	149
7.2 การทดสอบใหม่ (Retest)	149

8. กระบวนการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (Exposure conditions) ของชิ้นวัสดุ.....	150
8.1 ทัวไป.....	150
8.2 การนำไปใช้ (Application).....	150
8.3 การเร่งปฏิกิริยาโดยการซักแห้ง (Accelerated Dry Cleaning)	150
8.4 การเร่งปฏิกิริยาโดยการฟอก (Accelerated Laundering)	150
8.5 การเร่งปฏิกิริยาโดยการชะล้างจากน้ำ (Water Leaching)	151
9. การรายงานผล (Reporting)	151
9.1 ทัวไป.....	151
9.2 การบรรยายเกี่ยวกับชิ้นวัสดุ	151
9.3 เงื่อนไขของชิ้นตัวอย่าง	152
9.4 เงื่อนไขของการทดสอบ (Test Condition)	152
9.5 กระบวนการ Exposure Condition.....	152
9.6 ผลการทดสอบ.....	152
9.7 บทสรุป.....	152
10. เอกสารอ้างอิง	152

มยผ. 1341-54

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง แบบรองรับด้วยลม

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ใช้สำหรับกำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำ เพื่อประกอบการออกแบบ และการใช้งานโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม (Air-Supported Membrane Structures) ทั้งที่เป็นโครงสร้างอิสระหรือติดตั้งร่วมกับโครงสร้างอื่นๆ
- 1.2 มาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเต็นท์ กระโจม โครงสร้างขยายตัวด้วยการอัดอากาศที่มีผนังสองชั้น (Air-Inflated Dual Wall) และโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางอื่นๆ ซึ่งไม่มีการอัดอากาศเข้ามาในพื้นที่ใช้สอย
- 1.3 การออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งานโครงสร้างอื่นๆ ที่นำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง
- 1.4 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“โครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง (Membrane Structures)” หมายถึง โครงสร้างรูปแบบต่างๆ ที่มีการใช้ “วัสดุแผ่นบาง (Membrane Material)” เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ปกติมักใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างหลังคาหรือผนัง ทั้งนี้วัสดุแผ่นบางจะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างหลักนั้นมากน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบการติดตั้ง (ประเภทของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง)

“โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม (Air-Supported Membrane Structures)” หมายถึง โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางที่คงรูปร่างของโครงสร้างไว้ด้วยการใช้แรงดันอากาศภายในที่มีค่าสูงกว่าแรงดันอากาศภายนอก เพื่อดันให้วัสดุแผ่นบางเกิดลักษณะพองตัวเป็นโครงสร้างตามที่ต้องการ และการใช้งานต้องมีลักษณะเป็นการที่ให้ผู้ใช้งานเข้าไปอยู่ภายในพื้นที่ส่วนที่มีการใช้แรงดันอากาศเพื่อการค้ำยันโครงสร้างนี้

“ความดันคงค้าง (Residual Pressure)” หมายถึง ความดันอากาศที่ใช้สำหรับคำนวณหา “ดัชนีการปล่อยลม (Deflation Index)” ความดันคงค้างนี้สามารถคำนวณได้จากผลรวมของน้ำหนักบรรทุก

“ความดันต่ำสุดขณะใช้งาน (Minimum Operating Pressure)” หมายถึง ความดันอากาศต่ำสุดซึ่งสามารถมีได้ภายในโครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมยังคงสามารถใช้งานได้

“ความดันปกติขณะใช้งาน (Normal Operating Pressure)” หมายถึง ช่วงของความดันอากาศขณะใช้งานที่กำหนดให้มีได้ภายในโครงสร้างโดยไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการพิเศษเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกที่ไม่เป็นปกติ

“ความดันภายในสูงสุดที่ใช้ออกแบบ (Design Maximum Internal Pressure)” หมายถึง ความดันอากาศ (Air Pressure) สูงสุดซึ่งระบบอัดอากาศ (Inflation System) สามารถอัดเข้ามาภายในโครงสร้างได้

“ความดันสูงสุดขณะใช้งาน (Maximum Operating Pressure)” หมายถึง ความดันอากาศสูงสุดที่ระบบควบคุมความดันยอมให้มีได้ในเวลาชั่วขณะหนึ่งหรือช่วงเวลาต่อเนื่องกัน

“ดัชนีการปล่อยลม (Deflation Index)” หมายถึง ตัวแปรรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นผลจากการคำนวณ เพื่อให้เกิดความมั่นใจสำหรับกรณีที่ต้องมีการอพยพฉุกเฉินออกจากโครงสร้าง (Emergency Egress)

“ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor)” หมายถึง ตัวคูณที่เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริงกับน้ำหนักบรรทุกระบุ ความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์รวมถึงการแปลงน้ำหนักบรรทุก และความเป็นไปได้ที่น้ำหนักบรรทุกวิกฤตจะเกิดขึ้นพร้อมกันมากกว่าหนึ่งค่า

“น้ำหนักบรรทุก (Load)” หมายถึง แรงกระทำที่เป็นผลมาจากน้ำหนักของวัสดุอาคาร น้ำหนักจากการใช้สอยอาคาร ผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงของการยึดรั้ง

“น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (Factored Load)” หมายถึง ผลคูณระหว่างน้ำหนักบรรทุกระบุกับตัวคูณน้ำหนักบรรทุก เพื่อใช้ในการออกแบบตามวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกหรือวิธีกำลัง

“น้ำหนักบรรทุกระบุ (Nominal Load)” หมายถึง ขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่ระบุไว้ในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารว่าด้วยเรื่องแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคาร

“ผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุก (Load Effect)” หมายถึง แรงและการเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นในองค์อาคารอันเป็นผลจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ

“ผ้าเคลือบ (Coated Fabric)” หมายถึง ผ้าพื้นฐาน (Base Fabric) ที่ถูกเคลือบโดยวัสดุเสริมบางๆ ซึ่งจะเป็นตัวรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในวัสดุแผ่นบาง

“ผ้าลามิเนต (Laminated Fabric)” หมายถึง วัสดุที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งสร้างขึ้นมาจากการนำวัสดุมาวางซ้อนเป็นกันชั้นๆ หรือด้วยวิธีการทาวัดประสานโพลิเมอร์ลงบนผิวของผ้าหนึ่งชั้นหรือหลายๆ ชั้น ซึ่งผ้าลามิเนตอย่างน้อยหนึ่งชั้นต้องมีลักษณะเป็นผ้าทอ (Textile Fabric)

“พัดลม (Fan)” หมายถึง อุปกรณ์เคลื่อนย้ายอากาศ (Air-Moving Device) ได้แก่ พัดลมหรือเครื่องเป่าลมแบบตามแนวแกน (Axial) แบบหอยโข่ง (Centrifugal) หรือแบบใบแจก (Propeller)

“พายุฝน (Rain Storm)” หมายถึง พายุฝนซึ่งมีปริมาณฝนใน 1 ชั่วโมง มากกว่า 13 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ขึ้นไป หรือมีปริมาณฝนรวมทั้งหมดภายใน 24 ชั่วโมง มากกว่า 19 มิลลิเมตร (0.75 นิ้ว) ขึ้นไป

“พายุลม (Wind Storm)” หมายถึง พายุลม (ไม่มีฝนตก) ซึ่งมีความเร็วลมมากกว่า 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (45 ไมล์ต่อชั่วโมง)

“ฟิล์ม (Film)” หมายถึง แผ่นยืดหยุ่นที่ไม่เสริมแรง (Unreinforced Flexible Sheets) ซึ่งประกอบด้วยชั้นพีวีซี (PVC) พอลิเอทิลีน (Polyethylene) หรือวัสดุอื่น ที่เป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นอัดซ้อนกัน

“ระบบอัดอากาศ (Inflation System)” หมายถึง ระบบและอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับทำให้โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมเกิดการพองตัว (Inflation) และสามารถใช้งานได้ (Operating) โดยระบบดังกล่าวอย่างน้อยต้องประกอบด้วย พัดลม มอเตอร์ ชุดแผ่นปรับลมสำรอง (Back-Draft Dampers) Relief Dampers ตัวเรือน (Housing) ท่อ (Duct) แหล่งพลังงานสำรอง (Standby Power) และเครื่องควบคุม (Controller)

“วัสดุแผ่นบาง (Membrane Material)” หมายถึง ผ้า (Fabric) ประเภทต่างๆ ที่มีความยืดหยุ่น หรือฟิล์ม (Film) ซึ่งนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง

“วัสดุแผ่นบางที่บุด้านใน (Membrane Liner)” หมายถึง ผ้า (Fabric) หรือฟิล์ม (Film) ที่อยู่ด้านใน ใช้สำหรับตกแต่ง ดูดซับเสียง เป็นฉนวนกันความร้อน หรือวัตถุประสงค์อื่นๆ แต่ไม่ใช่วัตถุประสงค์ด้านความแข็งแรงของโครงสร้าง

“สถานะขีดจำกัด (Limit State)” หมายถึง สถานะที่โครงสร้างหรือส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยพิจารณาจากการที่ไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งเรียกว่า “สถานะขีดจำกัดด้านการใช้งาน (Serviceability Limit State)” หรือจากการที่โครงสร้างไม่ปลอดภัย ซึ่งเรียกว่า “สถานะขีดจำกัดด้านกำลัง (Strength Limit State)”

“สัมประสิทธิ์ของรอบอายุการใช้งาน (Life-Cycle Factor)” หมายถึง สัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงการลดลงของกำลังของวัสดุตามเวลาอันเป็นผลจากการรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำอย่างต่อเนื่อง การสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม หรือการที่อายุของวัสดุเพิ่มมากขึ้น

“หน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้” หมายถึง ส่วนราชการ หรือนิติบุคคลตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโยธาธิการและผังเมืองหรือคณะกรรมการควบคุมอาคาร และมีวัตถุประสงค์ในการตรวจรับรองวัสดุและผลิตภัณฑ์ประกอบของอาคารให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

2.2 สัญลักษณ์

A_e = พื้นที่การรั่วไหลเทียบเท่า (Equivalent Leakage Area) ของอาคารสำหรับการออกแบบเมื่อกำหนดให้ประตูต่างๆ ปิด หน่วยเป็นตารางเมตร

A_n = พื้นที่สุทธิ (Net Area) หน่วยเป็นตารางเมตร

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

D_i = ดัชนีการปล่อยลม (Deflation Index)

E = แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Earthquake Load)

- F_u = หน่วยแรงดึงประลัยของเกเบิล หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- L_A = การสูญเสียความดันอากาศทั้งหมดจากการเข้าออก (Total Air Loss for Exiting) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- L_E = การสูญเสียความดันอากาศจากการเข้าออกที่ความดันคงค้าง (Loss due to Exiting) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- L_M = ปริมาณแรงดันอากาศที่ส่งเข้ามาที่ความดันคงค้าง (Supply Air) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- L_N = การสูญเสียความดันอากาศในสภาวะการใช้งานปกติที่ความดันคงค้าง (Normal Operating Loss) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- L_r = น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา (Roof Live Load)
- L_t = ค่าสัมประสิทธิ์ของอายุการใช้งาน (Life-Cycle Factor)
- P_D = ความดันคงค้าง (Residual Pressure) ในระหว่างทางเข้าออกเนื่องจากประตูเปิด การเข้าออกโดยการเปิดประตู หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- P_m = ความดันอากาศภายในสูงสุดที่ใช้ออกแบบ (Maximum Internal Design Pressure) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- P_o = ความดันอากาศขณะใช้งาน (Operating Pressure) ตามสภาพเงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนด หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- R = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝน
- S_u = กำลังประลัย (Ultimate Strength) ของตัวยึด หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{ff} = แรงดึงในทิศทางหลักเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่า (Tensile Force in Fill Direction due to Factored Load) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{fm} = แรงดึงในทิศทางที่ผิดรูปไป หรือในทิศทางหลักเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่า (Tensile Force in Either Warp or Fill Direction due to Factored Load) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{fw} = แรงดึงในทิศทางที่ผิดรูปไปเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่า (Tensile Force in Warp Direction due to Factored Load) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_r = กำลังรับแรงดึงออกแบบ (Design Tensile Strength) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{sb} = กำลังรับแรงดึงระบุของแผ่นตั้ง (Nominal Tensile Strength of Web) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{sf} = กำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุแผ่นบางใน ทิศทางหลัก (Nominal Tensile Strength of Membrane Material in Fill Direction) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{sj} = กำลังรับแรงดึงระบุของจุดเชื่อม (Nominal Tensile Strength of Joint) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

- T_{sm} = กำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุแผ่นบางในทิศทางที่ผิดรูปไป หรือในทิศทางหลัก (Nominal Tensile Strength of Membrane in Either Warp or Fill Direction) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- T_{sw} = กำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุแผ่นบางในทิศทางที่ผิดรูปไป (Nominal Tensile Strength of Membrane Material in Warp Direction) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
- V_7 = ปริมาตรของอากาศที่ความสูงมากกว่า 2.1 เมตร (7.0 ฟุต) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
- W = แรงลม (Wind Load) หน่วยเป็นกิโลกรัม
- ϕ_{anch} = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงของตัวยึด
- ϕ_b = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงสองแกนที่ตั้งฉากกันของวัสดุแผ่นบาง
- ϕ_c = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงของเคเบิล
- ϕ_{js} = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงของจุดเชื่อมและตะเข็บ
- ϕ_u = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงแกนเดียวของวัสดุแผ่นบาง
- ϕ_w = ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการพิจารณาแรงดึงของแผ่นตั้ง

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

- 3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 8213: มาตรฐานการทดสอบการลามไฟของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง
- 3.1.2 มาตรฐาน ASTM D 4851: Standard Test Methods for Coated and Laminated Fabrics for Architectural Use
- 3.1.3 มาตรฐาน ASTM E 84: Standard Test Methods for Surface-Burning Characteristics of Building Materials
- 3.1.4 มาตรฐาน ASTM E 108: Standard Test Method for Determining the Fire Retardancy of Roof Covering Materials
- 3.1.5 มาตรฐาน ASTM E 136: Standard Test Method for Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C
- 3.1.6 มาตรฐาน NFPA 37: Installation and Use of Stationary Combustion Engines and Gas Turbines
- 3.1.7 มาตรฐาน NFPA 701: Standard Methods of Fire Tests for Flame-Resistant Textiles and Films
- 3.1.8 มาตรฐาน NFPA 780: Lightning Protection Code

3.2 หากข้อกำหนดในประมวลข้อบังคับนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในประมวลข้อบังคับนี้เป็นสำคัญ

4. วัสดุ

วัสดุที่ใช้กับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนนี้ และต้องผ่านการตรวจรับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้

4.1 วัสดุแผ่นบาง

วัสดุแผ่นบางที่ใช้สำหรับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องเป็นผ้าหรือฟิล์ม ในกรณีที่วัสดุแผ่นบางมีการเสริมกำลัง วัสดุที่ใช้เสริมกำลังต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 4.2

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property)

- (1) วัสดุแผ่นบางต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการนำไปใช้งาน และปราศจากตำหนิที่ทำให้ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างลดลง และไม่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของน้ำ การเสื่อมสภาพ (Deterioration) หรือความเสียหายอื่นๆ
- (2) คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นบางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM D 4851: Standard Test Methods for Coated and Laminated Fabrics for Architectural Use

4.1.2 สมรรถนะในการต้านทานอัคคีภัย (Fire Performance)

4.1.2.1 วัสดุแผ่นบาง

วัสดุแผ่นบางที่นำมาใช้ต้องมีความสามารถในการทนอัคคีภัยตามประเภทของวัสดุแผ่นบางที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารลักษณะพิเศษ ประเภทโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง ซึ่งแบ่งประเภทของวัสดุแผ่นบางออกตามความสามารถในการทนไฟ ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

- (1) วัสดุแผ่นบางที่ไม่เผาไหม้ (Noncombustible Membrane Material) ชั้น ก หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่สามารถทนไฟตามการทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ. 8213: มาตรฐานการทดสอบการลามไฟของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง รวมทั้งต้องมีอัตราการลามไฟ (Flame Spread Index) ไม่มากกว่า 25 และอัตราการกระจายควัน (Smoke Development Index) ไม่มากกว่า 500 และมีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของวัสดุชั้น

A (Class A Rating) ตามมาตรฐาน ASTM E108: Standards Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings

- (2) วัสดุแผ่นบางที่ไม่เผาไหม้ ชั้น ข หมายถึง วัสดุแผ่นบางซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กำหนดเช่นเดียวกับชั้น ก ยกเว้นแต่ให้ใช้ข้อกำหนดของวัสดุชั้น

B (Class B Rating) ตามมาตรฐาน ASTM E108: Standards Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings แทน

- (3) วัสดุแผ่นบางที่ติดไฟได้อย่างจำกัด (Limited Combustible Membrane Material) ชั้น ค หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่สามารถทนไฟตามการทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ. 8213 รวมทั้งต้องมีอัตราการลามไฟไม่มากกว่า 25 และอัตราการกระจายควันไม่มากกว่า 450 และมีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของวัสดุชั้น C ตามมาตรฐาน E108: Standards Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings

- (4) วัสดุแผ่นบางที่ติดไฟได้อย่างจำกัด ชั้น ง หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่สามารถทนไฟตามการทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน มยผ. 8213 รวมทั้งต้องมีอัตราการลามไฟไม่มากกว่า 25 และอัตราการกระจายควันไม่มากกว่า 450

- (5) วัสดุแผ่นบางที่ติดไฟ (Combustible Membrane Material) ชั้น จ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่มีคุณสมบัติไม่ตรงตามข้อกำหนดในชั้นอื่นๆ ที่กล่าวข้างต้น

4.1.2.2 วัสดุแผ่นบางที่บุด้านใน (Membrane Liner)

วัสดุแผ่นบางที่บุด้านใน สามารถแบ่งประเภทได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ

4.1.2.1 แต่ไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E 108

4.2 เคเบิลและการเสริมกำลัง (Cables and Reinforcing)

สำหรับวัสดุแผ่นบางและวัสดุแผ่นบางที่บุด้านในที่มีการเสริมกำลัง วัสดุที่ใช้เสริมกำลังต้องเป็นเคเบิลที่เป็นโลหะ (Metallic Cable) เคเบิลที่ไม่เป็นโลหะ (Nonmetallic Cable) หรือวัสดุเสริมกำลังที่ไม่เป็นโลหะ (Nonmetallic Reinforcing) ซึ่งมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.2.1 เคเบิลที่เป็นโลหะ (Metallic Cable)

กำลังและความสามารถทางด้านอักษิณของเคเบิลที่เป็นโลหะ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานวัสดุที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้

4.2.2 เคเบิลที่ไม่เป็นโลหะ (Nonmetallic Cable)

กำลังของเคเบิลแต่ละเส้นและของสายรัด (Web) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 6 โดยที่คุณสมบัติของเคเบิลต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานวัสดุที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้ ส่วนสมรรถนะในการต้านทานอักษิณ (Fire Performance Characteristic) ต้องเทียบเท่ากับสมรรถนะในการต้านทานอักษิณของวัสดุแผ่นบางที่ติดอยู่กับเคเบิลหรือสายรัด ซึ่งหากมีการสูญเสียเคเบิลหรือสายรัดเพียงหนึ่งเส้นจะเป็นสาเหตุของการพังทลายได้

4.2.3 วัสดุเสริมกำลังไม่เป็นโลหะ (Non-Metallic Reinforcing)

กำลังและสมรรถนะในการต้านทานอักษิณของวัสดุเสริมกำลัง โครงสร้าง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 4.1.1 และข้อ 4.1.2

4.3 ตะเข็บของวัสดุแผ่นบาง (Membrane Material Seam)

4.3.1 วิธีการทำตะเข็บ (Fabrication Method)

วัสดุแผ่นบางตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ที่มีการเชื่อมต่อกัน ต้องเลือกใช้วิธีทำตะเข็บจากวิธีการดังต่อไปนี้ การเชื่อม (Welding) การเย็บ (Sewing) การประสาน (Cementing) หรือวิธีการอื่นที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้ ทั้งนี้ส่วนของการเชื่อมเหล่านี้จะเรียกว่า “ตะเข็บ (Seam)”

4.3.2 กำลังของตะเข็บ (Seam Strength)

ตะเข็บต้องมีกำลังรับน้ำหนักได้ ตามข้อกำหนดทั้งใน (1) และ (2) กล่าวคือ

- (1) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮต์) ตะเข็บต้องสามารถรับน้ำหนักเท่ากับ 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุก (ซึ่งยังไม่ได้ปรับค่าด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก) อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- (2) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (158 องศาฟาเรนไฮต์) ตะเข็บต้องสามารถรับน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักบรรทุก (ซึ่งยังไม่ได้ปรับค่าด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก) อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง

4.4 การเชื่อมด้วยวิธีกล (Mechanical Joint)

กรณีที่มีการทำตะเข็บด้วยวิธีกล (Mechanical Joint) กับวัสดุแผ่นบางหรือวัสดุแผ่นบางที่บุด้านใน แล้ววัสดุที่นำมาใช้ต้องเป็นวัสดุที่ไม่เกิดการกัดกร่อน หรือต้องมีการป้องกันการกัดกร่อน ทั้งนี้กำลังของรอยเชื่อมด้วยวิธีกลต้องมีกำลังเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 4.3.2

5. งานระบบของอาคาร (Building System)

งานระบบต่างๆ ของอาคาร รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างและติดตั้งโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนนี้

5.1 ระบบเครื่องกล

5.1.1 เครื่องอัดอากาศ (Inflation Air Supply Equipment)

5.1.1.1 ระบบอัดอากาศ (Inflation System)

- (1) โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องติดตั้งอุปกรณ์อัดอากาศ (Air supply Device) ที่มีจำนวนมากเพียงพอ
- (2) อุปกรณ์อัดอากาศนี้อย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย พัดลม (Fan) ตัวขับ (Driver) และเครื่องควบคุม (Controller)
- (3) เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ส่วนของอุปกรณ์อัดอากาศใดๆ จนไม่สามารถใช้งานได้ ระบบอัดอากาศต้องมี “ระบบสำรอง” ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างยังคงมีสมรรถนะตามรายละเอียดที่กำหนดในข้อ 5.1.1.2
- (4) ระบบควบคุมต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถส่งผ่านการทำงานไปที่อุปกรณ์อัดอากาศตัวอื่นๆ และได้รับพลังงานจากแหล่งสำรองโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดไว้ในข้อ 5.5.2

5.1.1.2 ความสามารถในการอัดอากาศ (Air Supply Capacity)

- (1) ระบบอัดอากาศต้องมีสมรรถนะเพียงพอที่จะอัดอากาศให้ความดันอากาศภายในโครงสร้างอยู่ในช่วงความดันปกติขณะใช้งาน (Normal Operating Pressure) ที่ออกแบบไว้ ตามรายละเอียดในข้อ 6.1.2
- (2) ระบบอัดอากาศต้องสามารถควบคุมคุณภาพของอากาศภายใน (Indoor Air Quality) ให้เป็นไปตามรายละเอียดในข้อ 5.1.2 และสามารถควบคุมควัน (Smoke Management) ให้เป็นไปตามรายละเอียดในข้อ 5.2.3
- (3) สมรรถนะที่ต้องการ (Required Performance) ของระบบการอัดอากาศต้องพิจารณาจากการสูญเสียความดันอากาศที่จะเกิดขึ้นได้ในสภาวะการใช้งานปกติของโครงสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วยการสูญเสีย

เนื่องจากระบบหรือบริเวณของการเชื่อมต่อต่างๆ ได้แก่ ระบบท่อ (Duct Work) ระบบทำความเย็น (Cooling System) ระบบกรองอากาศ (Filter) ชุดแผ่นปรับลม (Damper) ช่องระบายอากาศ (Louver) ตะแกรง (Grill) ช่องลม (Vent) ผนัง (Wall) บริเวณของหลังคาวัสดุแผ่นบางที่เชื่อมต่อระหว่างวัสดุหลังคาแผ่นบางกับตัวยึด (Roof Membrane Connection to Anchorage System) บริเวณหลังคาวัสดุแผ่นบางที่เชื่อมต่อระหว่างวัสดุหลังคาแผ่นบางกับช่องเปิด (Roof Membrane Connection to Opening) และการสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่านตัววัสดุแผ่นบาง (Permeability of the Membrane Material)

- (4) ความดันสูงสุดที่ระบบอัดอากาศสามารถวัดได้ต้องมีค่าไม่เกินความดันภายในสูงสุดที่ใช้ออกแบบ (Design Maximum Internal Pressure) ของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางตามที่กำหนด

5.1.1.3 การปล่อยลม (Deflation)

ระบบอัดอากาศที่มีความสามารถในการปล่อยลมที่ระดับต่ำกว่า 2.10 เมตร (7.0 ฟุต) ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถคงความดันอากาศที่มีค่า “ดัชนีการปล่อยลม (Deflation index, D_i)” ไม่น้อยกว่า 1.0 ทั้งนี้ดัชนีการปล่อยลมสามารถคำนวณได้จาก

$$D_i = \frac{0.0008V_7}{L_A} \quad (1)$$

โดยที่ค่า L_A สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$L_A = L_N + L_E - L_M \quad (2)$$

ส่วนค่า L_N และ L_E สามารถคำนวณจากความดันคงค้าง (P_D) ตามสมการต่อไปนี้

$$L_N = 0.839 \cdot A_e \cdot (P_D)^{0.5} \quad (3)$$

$$L_E = 0.0563 \cdot (P_D)^{0.5} \quad (4)$$

5.1.1.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับพัดลม (Fan Requirement)

พัดลมที่ติดตั้งในระบบอัดอากาศปกติ (Primary Inflation System) สำหรับการใช้งานกรณีปกติ หรือระบบอัดอากาศที่ใช้ในกรณีฉุกเฉิน (Emergency Inflation System) ต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- (1) สมรรถนะของพัดลมต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
- (2) พัดลมต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดช่วงสภาวะการใช้งานที่ต้องการ
- (3) ตัวขับ (Driver) ของพัดลมต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
- (4) ช่องทางเข้าออกของพัดลม (Fan Inlet & Outlet) และอุปกรณ์ของตัวขับต่างๆ (Drive Element) ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
- (5) พัดลมและตัวขับต้องทำงานสอดคล้องกันอย่างเหมาะสม และสามารถทำงานได้ตามสภาพแวดล้อมที่ติดตั้งอยู่
- (6) พัดลมต้องมีการติดตั้ง “อุปกรณ์หน่วงแบบกระแสลมไหลผ่าน (Back Draft Damper)” หรือ “อุปกรณ์หน่วงแบบใช้มอเตอร์ที่ติดสปริง (Spring-Loaded Motor Driven Damper)” เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียแรงดันอากาศเมื่อพัดลมไม่สามารถทำงานได้

5.1.1.5 งานท่อ (Ducting)

ระบบท่อต้องมีการรองรับที่มั่นคง ทนทานต่อสภาพอากาศ แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว และแรงกระแทก รวมทั้งต้องมีการติดตั้งท่อนำอากาศเข้าสู่พัดลม (Air Intake to Fan Unit) ในตำแหน่งที่มั่นใจได้ว่า จะไม่เกิดการกีดขวางทางลมเนื่องจากการสะสมของเศษวัสดุต่างๆ หรือจากน้ำฝนหรือน้ำท่วม และต้องหลีกเลี่ยงการนำอากาศที่ไม่ดีเข้าสู่โครงสร้าง เช่น ควันท่อ ควันท่อ หรือควันท่ออันตรายอื่นๆ เป็นต้น

5.1.2 การควบคุมคุณภาพของอากาศภายใน (Indoor Air Quality)

โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องออกแบบและติดตั้งระบบระบายอากาศ (Ventilation System) เพื่อให้อากาศภายในโครงสร้างมีการถ่ายเท และไม่เกิดสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานและเป็นอันตราย

5.2 ระบบป้องกันเพลิงไหม้ (Fire Protection)

การออกแบบและติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้ให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับระบบป้องกันเพลิงไหม้ และให้พิจารณาร่วมกับข้อกำหนดในส่วนนี้ ได้แก่

5.2.1 หัวกระจายน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler)

หากกำหนดให้มีการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติภายในโครงสร้างหลักแล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันอัคคีภัยสำหรับส่วนของโครงสร้างที่เป็นวัสดุแผ่นบาง และวัสดุบุด้านในซึ่งอยู่สูงกว่า 7.60 เมตร (25 ฟุต) เมื่อวัดจากพื้นผิวที่ติดไฟได้

5.2.2 เครื่องตรวจจับควันไฟ (Fire Detection)

หากกำหนดให้มีการติดตั้งระบบเครื่องตรวจจับควันไฟ พร้อมกับระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ ระบบดังกล่าวต้องไม่ส่งผลให้ระบบอัดอากาศหยุดทำงาน แต่ต้องมีระบบแจ้งเตือนผู้ควบคุม

5.2.3 การควบคุมควัน (Smoke Management)

หากกำหนดให้มีการติดตั้งระบบการควบคุมควัน ระบบดังกล่าวต้องได้รับการออกแบบการติดตั้ง และการใช้งานให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับระบบป้องกันเพลิงไหม้

5.2.4 แหล่งกำเนิดไฟ (Fire Source)

โครงสร้างต้องไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเปลวไฟ (Open-Flame Device) ในช่วงความสูง 7.60 เมตร (25 ฟุต) หรือต่ำกว่าจากวัสดุแผ่นบาง และวัสดุแผ่นบางที่มีการบุภายใน เว้นแต่จะมีอุปกรณ์ป้องกัน

5.3 ทางเข้าออก (Entrance and Exit)

กรอบประตู (Door Frame) หรือช่องเปิด (Opening Arrangement) สำหรับใช้เป็นทางเข้าออก ต้องถูกออกแบบให้สามารถทนต่อน้ำหนักบรรทุกตามรายละเอียดในข้อกำหนด 6.1 ได้ โดยไม่เกิดความเสียหายหรือเกิดการเสียรูปอย่างถาวร ทั้งนี้ประตูต้องสามารถทำงานได้ที่สภาวะความดันสูงสุดขณะให้บริการ (Maximum Operating Pressure)

5.3.1 ทางเข้าออกสำหรับผู้ใช้อาคาร ยานพาหนะ และเครื่องจักร

- (1) ทางเข้าสำหรับผู้ใช้อาคาร (Occupant Entrance) ต้องเป็น “ประตูหมุนแบบไม่ล้ม (Non-collapsible Revolving Door)” หรือ “ประตูควบคุมความดันอากาศแบบแอร์ล็อก (Airlock with Pressure-Balanced Door)”
- (2) ทางเข้าสำหรับยานพาหนะและเครื่องจักร (Vehicle and Equipment Access) ต้องจัดให้อยู่ในรูปแบบประตูควบคุมความดันอากาศ (Pressure-Balanced Door) หรือประตูที่ไม่เป็นบานผลัก (Non-Swinging Door) ทั้งนี้ถ้ามีการใช้แอร์ล็อกแล้ว แอร์

ล็อกต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะรองรับยานพาหนะหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์ขนาดใหญ่ที่สุดที่ต้องผ่านเข้าออกอาคารได้ และประตูของแอร์ล็อกทั้งสองข้างต้องมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมไม่ให้ประตูทั้งสองข้างสามารถเปิดพร้อมกันได้

- (3) ประตูทุกบานต้องติดตั้งช่องมอง (Vision Panel) เว้นแต่ประตูที่มีลักษณะใสซึ่งสามารถมองเห็นอีกฟากของประตูได้
- (4) ถ้าตำแหน่งของประตูแอร์ล็อกฟากหนึ่งไม่สามารถมองเห็นประตูแอร์ล็อกอีกฟากหนึ่งได้ ต้องมีการติดตั้งป้ายและสัญญาณไฟเตือน (Warning Light) ที่ประตูแอร์ล็อกทั้งสองข้าง เพื่อแสดงสถานะของประตูแอร์ล็อกอีกฟากหนึ่ง

5.3.2 ทางออกหนีภัยสำหรับผู้ใช้อาคาร

ทางออกหนีภัยสำหรับผู้ใช้อาคารต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับทางออกหนีภัย รวมทั้งต้องติดตั้งอุปกรณ์ปรับความดัน (Utilize Pressure Balance) และประตูต้องสามารถปิดได้เอง (Self-Closing Door)

5.4 ระบบท่อ (Plumbing System)

- 5.4.1 ระบบท่อต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับงานระบบท่อ
- 5.4.2 ระบบระบายน้ำต้องออกแบบให้สามารถใช้งานได้อย่างได้ความดันสูงสุดขณะใช้งาน

5.5 ระบบไฟฟ้า (Electrical System)

ระบบไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

5.5.1 ระบบแสงสว่าง (Light System)

ช่องว่าง (Clearance) รอบๆ อุปกรณ์ให้ความสว่างต้องเป็นไปตามรายละเอียดในข้อ 6.2.2 (4)

5.5.2 แหล่งพลังงานสำรอง (Standby Power)

ระบบอัดอากาศ (Inflation System) ต้องรับพลังงานจากแหล่งพลังงานอย่างน้อย 2 แหล่ง โดยหนึ่งในนั้นต้องเป็นแหล่งพลังงานสำรองที่ได้รับการตรวจสอบตามที่กำหนดในมาตรฐาน NFPA 37 ยกเว้นโครงสร้างที่ยึดติดกับพื้นดินและใช้งานเพื่อการอยู่อาศัยสำหรับครอบครัวเดียว รวมทั้งมีการควบคุมให้ค่าดัชนีการปล่อยลมไม่น้อยกว่า 1.0 ซึ่งสามารถใช้ระบบรับพลังงานจากแหล่งเดียวโดยไม่ต้องมีระบบพลังงานสำรองได้

5.5.3 การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (Lightning)

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าต้องมีลักษณะ เป็นไปตามข้อกำหนดใน กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

5.6 ระบบควบคุมและระบบดูแลตรวจสอบ (Control and Monitoring System)

5.6.1 ระบบควบคุมความดันอากาศแบบอัตโนมัติ (Automatic Pressure Control)

โครงสร้างต้องติดตั้งระบบควบคุมความดันอัตโนมัติซึ่งสามารถควบคุมความดันอากาศภายในโครงสร้างให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด เพื่อให้โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมมีเสถียรภาพและมั่นคงเหมาะสมกับการใช้งาน

5.6.2 ระบบควบคุมความดันอากาศด้วยมือ (Manual Pressure Control)

นอกเหนือจากระบบควบคุมความดันอากาศแบบอัตโนมัติ ต้องมีการติดตั้งระบบควบคุมความดันอากาศด้วยมือสำหรับการปรับความดันอากาศภายในโครงสร้าง ในตำแหน่งที่ได้รับการอนุมัติ

5.6.3 แผงควบคุม (Control Panel)

แผงควบคุมต้องแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลสำคัญต่างๆ และวิธีการควบคุมที่เป็นมาตรการรักษาความปลอดภัย ต้องถูกติดตั้งเอาไว้สำหรับผู้ควบคุม (Operator)

5.6.4 ลำดับของการพิจารณาในการควบคุม (Control System Priority)

ในการออกแบบระบบควบคุมต้องให้ความสนใจเกี่ยวกับการควบคุมความดันภายในให้มีความคงที่มาก่อนเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นจึงค่อยพิจารณาเกี่ยวกับสภาพของพื้นที่ (Space Conditioning)

5.6.5 สัญญาณเตือน (Alarm)

สัญญาณเตือนต้องเชื่อมต่อกับระบบทั้งหมดของโครงสร้าง เพื่อที่จะสามารถแจ้งเตือนผู้ควบคุมทราบเกี่ยวกับการเกิดสถานะที่ไม่ปกติ

6. การออกแบบ

6.1 น้ำหนักบรรทุก (Load)

การกำหนดน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคาร แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ที่กระทำกับโครงสร้างให้ครอบคลุมถึงช่วงของการติดตั้ง (Erection) และช่วงการรื้อถอน (Dismantling) ด้วย

6.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่สำหรับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม ประกอบด้วย

- (1) น้ำหนักของวัสดุแผ่นบางและวัสดุแผ่นบางที่ติดตั้งใน
- (2) น้ำหนักของส่วนเสริมกำลัง (Reinforcement) และส่วนของการเชื่อมต่อ

- (3) น้ำหนักของอุปกรณ์ประกอบอาคารที่ยึดติดกับตัวอาคาร (Fixed Service Equipment) เช่น ระบบแสงสว่าง (Light) เครื่องขยายเสียง (Speaker) ท่อ (Duct) ฝ้าบุต่างๆ (Liner) ฉนวน (Insulation) หรืออุปกรณ์อื่นที่รองรับโดยวัสดุแผ่นบางหรือวัสดุเสริมกำลัง

6.1.2 ความดันภายใน (Internal Pressure)

- (1) ความดันภายในต้องถูกพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของระบบต้านทานแรง (Load-Resisting System) ของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม รวมทั้งต้องพิจารณาแรงดันดังกล่าวให้เป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมด้วย
- (2) ค่าความดันขณะใช้งาน (Operating Pressure) ของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องถูกกำหนดและนำมาพิจารณาในการออกแบบ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมมีกำลังและความมั่นคงเพียงพอในการรับน้ำหนักบรรทุกที่สภาวะต่างๆ
- (3) ความดันสูงสุดขณะใช้งาน (Maximum Operating Pressure) ของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องถูกกำหนด เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดความสามารถของระบบอัดอากาศ (Inflation System) และเป็นการป้องกันวัสดุแผ่นบาง

6.1.3 การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load combinations)

- (1) การรวมน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคาร และข้อกำหนดเพิ่มเติมในข้อ 6.1.3 (3) โดยพิจารณาให้ความดันภายในโครงสร้างเป็นทั้งส่วนของแรงที่กระทำและส่วนของแรงต้านทาน
- (2) การรวมน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมที่สภาวะพองตัว (Inflated) พองตัวบางส่วน (Partially inflated) ปล่อยลม (Deflated) และการเปลี่ยนรูปทรงของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม (Displaced configurations)
- (3) การคำนวณน้ำหนักบรรทุกรวมของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมให้พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุก ดังกรณีต่อไปนี้

$$1.4D - 1.0P_o \quad (5)$$

$$0.9D - 1.6P_o \quad (6)$$

$$1.2D + (0.2L_r \text{ หรือ } 1.6R) - 1.0P_o \quad (7)$$

$$1.2D + 1.3W + (0.1L_r \text{ หรือ } 0.5R) - 1.0P_o \quad (8)$$

$$0.9D - 1.3W + (0.1L_r \text{ หรือ } 0.5R) - 1.0P_o \quad (9)$$

$$0.9D - 1.3W - 1.1P_m \quad (10)$$

$$1.2D + 1.0E - 1.0P_o \quad (11)$$

6.2 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์และการออกแบบ (Analysis and Design Requirement)

กำลังดึงออกแบบ (T_r) ของชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 6.3 ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับผลจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกรวม (Load Combination) ที่กระทำโครงสร้าง ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 6.1.3

6.2.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์

6.2.1.1 การวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบจากแรงกระทำที่มีต่อชิ้นส่วนต่างๆ นั้น ผู้คำนวณสามารถใช้วิธีการที่น่าเชื่อถือ (Rational Method) ใดๆ ก็ได้ แต่การวิเคราะห์ดังกล่าวต้องครอบคลุมถึงผลกระทบของการแอ่นตัวแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Large Deflection Nonlinearity) และคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Material Properties) และต้องใช้การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ที่พิจารณาถึงความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับแรงในชิ้นส่วนและการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่ง ดังต่อไปนี้

- (1) การเปลี่ยนรูป (Deformation) ที่คำนวณจากสภาวะการใช้งาน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเส้น (Linear Analysis) หรือใช้สมมติฐานของการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ (Empirical Design Assumption) มีค่ามากกว่า 0.5 เท่าของระยะช่องว่าง (Clearance) ระหว่างแผ่นบางหรือวัสดุเสริมกำลังกับวัตถุที่ยึดติดแน่นใดๆ อันอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นบางหรือวัสดุเสริมกำลังนั้น

- (2) ระยะความยาวช่วงว่างที่น้อยที่สุดของโครงสร้าง หรือความยาวช่วงในทิศทางของการเสริมกำลังหลัก (Primary Reinforcing) มีค่าเกินกว่า 60 เมตร (200 ฟุต)
- (3) ความยาวช่วง (Span) ที่น้อยที่สุดในทิศทางของการเสริมกำลังหลัก มีค่าเกินกว่า 30 เมตร (100 ฟุต) และมีอัตราส่วนระหว่างระยะยกกับความยาวช่วง (Ratio of Rise to Span) มากกว่า 0.60
- (4) เมื่อการเสริมกำลังหลักมีทิศทางเดียวเท่านั้น และ ความไม่สม่ำเสมอ (Irregularities) ของความยาวช่วง (Span) รูปร่าง (Shape) หรือน้ำหนักบรรทุกของชิ้นส่วนเสริมกำลังใดๆ ทำให้มีพฤติกรรมแตกต่างไปจากชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันอย่างมีนัยสำคัญ
- (5) โครงสร้างที่มีชิ้นส่วนเสริมกำลังหลัก ซึ่งได้รับการจัดเพื่อให้กระจายแรงจากจุดตัดใดๆ ถ่ายไปยังชิ้นส่วนเสริมกำลังตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป โดยการกระจายแรงดังกล่าวขึ้นกับค่าสติฟเนสสัมพัทธ์รวม (Relative Total Stiffness) ของชิ้นส่วน

6.2.1.2 ในการวิเคราะห์วัสดุแผ่นบางที่มีการเสริมกำลัง (Reinforced Membrane Material) ผู้คำนวณต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของการเคลื่อนตัวที่แตกต่างกันระหว่างแผ่นบางและวัสดุเสริมกำลัง

6.2.1.3 กรอบประตู (Door Frame) ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถรับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจากการพังทลายของวัสดุแผ่นบางและตัวยึด (Anchorage) ได้

6.2.2 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ (Design Requirements)

การออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องพิจารณาเกี่ยวกับเรื่องของกำลัง (Strength) และการใช้งาน (Serviceability)

- (1) กำลังที่ต้องการภายใต้ น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (Strength Requirements under Factored Load)

วัสดุแผ่นบาง เकेบิล และตัวยึด ต้องมีสัดส่วนที่สามารถต้านทานแรงกระทำที่มากที่สุดจากผลของน้ำหนักบรรทุกรวม (Load Combination) ตามที่กำหนดในข้อ

6.1.3

- (2) กำลังที่ต้องการภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำคงค้าง (Strength Requirements under Sustained Loading)
- วัสดุแผ่นบางต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานผลกระทบที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง เช่น การอัดอากาศ (Inflation) น้ำหนักบรรทุกคงที่ และการพิจารณาผลจากการคืบ (Creep) ของวัสดุแผ่นบางและวัสดุโครงสร้างอื่นๆ
- (3) แอ่งน้ำ (Pond)
- หากไม่มีมาตรการในการกำจัดน้ำขังบนวัสดุแผ่นบางแล้ว ผู้คำนวณออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมจะต้องพิจารณาผลกระทบจากแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นบนวัสดุแผ่นบางด้วย
- (4) ช่องว่าง (Clearance)
- ในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม ต้องมีการรักษาช่องว่างระหว่างวัสดุแผ่นบางกับวัตถุต่างๆ ทั้งที่อยู่ด้านในหรือด้านนอกของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง (Undeformed Configuration) โดยช่องว่างนี้ควรมีค่าไม่น้อยกว่าสองเท่าของค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการคำนวณภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Service Load) และความดันอากาศขณะใช้งาน (Operating Pressure)
- (5) การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection)
- ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เป็นโลหะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน อันมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม
- (6) การเสื่อมสภาพ (Deterioration)
- ในการคำนวณความต้านทานของชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง ให้พิจารณาการเสื่อมสภาพของวัสดุที่อาจเกิดขึ้นระหว่างอายุการใช้งานออกแบบ (Design Life) ของโครงสร้างเพื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของรอบอายุการใช้งาน (Life-Cycle Factor) ตามรายละเอียดในข้อ 6.3

6.3 กำลังออกแบบของชิ้นส่วน (Member Design Strength)

6.3.1 วัสดุแผ่นบาง (Membrane Material)

กำลังรับแรงดึงระบุ (Nominal Tensile Strength) ของวัสดุแผ่นบางที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย

- (1) กำลังรับแรงดึงระบุของแผ่นตั้ง (Nominal Tensile Strength of Web, T_{sb})
- (2) กำลังรับแรงดึงระบุในทิศทางหลักของวัสดุแผ่นบาง (Nominal Tensile Strength of Membrane Material in Fill Direction, T_{sf})
- (3) กำลังรับแรงดึงระบุของจุดเชื่อม (Nominal Tensile Strength of Joint, T_{sj})
- (4) กำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุแผ่นบางในทิศทางที่ผิวดรูปไปหรือในทิศทางหลัก (Nominal Tensile Strength of Membrane Material in either Warp or Fill Direction, T_{sm})
- (5) กำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุแผ่นบางในทิศทางที่ผิวดรูปไป (Nominal Tensile Strength of Membrane Material in Warp Direction, T_{sw})

โดยกำลังทั้งหมดข้างต้นให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 4.1.1

6.3.1.1 แรงดึงแกนเดียว (Uniaxial Tension)

กำลังรับแรงดึงออกแบบ (Design Tensile Strength) ของวัสดุแผ่นบางที่เป็นแรงดึงแกนเดียว สามารถคำนวณได้จาก

$$T_r = \phi_u L_t T_{sm} \geq T_{fm} \quad (12)$$

โดยที่ ϕ_u ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.5

6.3.1.2 แรงดึงสองแกน (Biaxial Tension)

กำลังต้านทานของแผ่นบางในการรับแรงดึงสองแกนที่ตั้งฉากกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$T_r = \phi_b L_t T_{sw} \geq T_{fw} \quad (13)$$

$$\text{และ } T_r = \phi_b L_t T_{sf} \geq T_{ff} \quad (14)$$

โดยที่ ϕ_b ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.5

6.3.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งาน (Life-Cycle Factor)

- (1) สำหรับวัสดุแผ่นบางที่จะไม่ถูกนำมาใช้งานซ้ำอีก และหลังจากใช้งานแล้ววัสดุแผ่นบางมีกำลังลดลงเหลือไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของกำลังออกแบบเริ่มแรก (Initial Design Strength) ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งาน (L_t) เท่ากับ 0.65 และในกรณีที่กำลังของวัสดุแผ่นบางลดลงเหลือไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของกำลังออกแบบเริ่มแรก ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานที่ลดลงแบบเชิงเส้นตามไปด้วย
- (2) สำหรับวัสดุแผ่นบางซึ่งมีการติดตั้งซ้ำหลายครั้งค่าสัมประสิทธิ์ของรอบอายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 0.50
- (3) การหาลำกำลังรับแรงดึงของวัสดุแผ่นบางให้ใช้วิธีแรงดึงแถบยาว (Strip Tensile Method) ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D4851
- (4) สำหรับวัสดุแผ่นบางที่จะนำมาใช้ติดตั้งซ้ำไปซ้ำมาหลายครั้งต้องผ่านการทดสอบการพับแห้ง (Dry Flex Fold Method) ตามมาตรฐาน ASTM D4851

6.3.2 เคเบิล (Cable) จุดเชื่อม (Joint) ตะเข็บ (Seam) และแผ่นดัด (Web)

6.3.2.1 กำลัง

กำลังรับแรงดึงออกแบบ (Design Tensile Strength) ซึ่งเกิดขึ้นโดยเคเบิล (Cable) จุดเชื่อม (Joint) ตะเข็บ (Seam) และแผ่นดัด (Web) สามารถคำนวณได้จาก

- (1) เคเบิล (Cable)

$$T_r = \phi_c L_t A_n F_u \quad (15)$$

โดยที่ ϕ_c ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.5

- (2) จุดเชื่อม (Joint) และตะเข็บ (Seam)

$$T_r = \phi_{js} L_t T_{sj} \quad (16)$$

โดยที่ ϕ_{js} ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.5

(3) แผ่นตั้ง (Web)

$$T_r = \phi_w L_t T_{sb} \quad (17)$$

โดยที่ ϕ_w ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.5

6.3.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งาน (Life-Cycle Factor)

- (1) ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานของเคเบิลเหล็กที่มีการเคลือบให้ใช้เท่ากับ 1.0 แต่ทั้งนี้ต้องลดค่าดังกล่าวลงหากพบว่า สภาพแวดล้อมการใช้งานส่งผลเสียหายอย่างรุนแรง ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานของเคเบิลที่ไม่เป็นโลหะ ให้ใช้เท่ากับ 0.4 เว้นแต่จะมีผลการทดสอบที่รับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานของแผ่นตั้ง (Web) ให้ใช้เท่ากับ 0.8 เว้นแต่จะมีผลการทดสอบที่รับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้
- (3) ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานของแผ่นบางที่อยู่ในรอยต่อด้วยวิธีกล (Mechanical Joint) และในตะเข็บ (Seam) ให้ใช้ค่าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในข้อ 6.3.1.3 สำหรับตะเข็บแบบร้อน (Heat-Sealed Seam) และเหลือเพียงร้อยละ 60 ของค่าที่กำหนดไว้ในข้อ 6.3.1.3 สำหรับตะเข็บแบบอื่นๆ เว้นแต่จะมีผลการทดสอบที่รับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้
- (4) ค่าสัมประสิทธิ์รอบอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่างๆ ของรอยต่อด้วยวิธีกลนอกเหนือจากแผ่นบาง ให้ใช้เท่ากับ 1.0

6.4 ตัวยึดและฐานราก (Anchorage and Foundation)

ระบบของตัวยึดและฐานรากของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมต้องถูกออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ผู้ออกแบบต้องแสดงแรงปฏิกิริยาที่ไม่ปรับค่า (Unfactored Reaction) ในแต่ละจุดน้ำหนักบรรทุก เพื่อใช้ประกอบในการออกแบบโครงสร้างด้วย

6.4.1 ระบบตัวยึด (Anchorage System)

ตัวยึดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดจับวัสดุแผ่นบาง เคเบิล หรือโครงถัก เข้ากับฐานรากหรือส่วนของโครงสร้างอื่นๆ ทั้งนี้ตัวยึดต้องได้รับการออกแบบให้สามารถกระจายแรงในสมอยึดแต่ละตัวไปสู่สิ่งหุ้ม (Envelope) ได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของหน่วยแรง (Stress Concentration) ที่เกิดขึ้นในแผ่นบางเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยเฉพาะใน

แผ่นบางที่รับน้ำหนักบริเวณที่มีการงอหรือบิดตัว นอกจากนี้ควรระวังเกี่ยวกับส่วนที่มีความคมต่างๆ ของตัวยึด อันอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุแผ่นบางได้

6.4.2 แรงของตัวยึด (Anchorage Force)

กำลังรับแรงดึงออกแบบ (Design Tensile Strength) ของระบบตัวยึด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_r = \phi_{anch} S_u \quad (18)$$

โดยที่ ϕ_{anch} ให้ใช้ค่าตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

7. การติดตั้งและการอัดอากาศ (Erection and Inflation)

7.1 การติดตั้ง (Erection)

การติดตั้งโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมจะสามารถเริ่มปฏิบัติงานได้ หลังจาก

7.1.1 เมื่อระบบตัวยึด (Anchorage System) ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ (Equipment Location) และส่วนที่ยึดติดกับอาคาร ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว

7.1.2 เมื่อมีเอกสารที่แสดงรายละเอียดอย่างชัดเจนเกี่ยวกับขั้นตอนการติดตั้ง หน้าที่รับผิดชอบของผู้ติดตั้งและผู้ที่เกี่ยวข้องในขณะทำงานที่เกี่ยวข้อง แผนการยกโครงสร้างขึ้นติดตั้ง ขั้นตอนในการดูแลรักษา การป้องกันอันตรายต่างๆ สภาพอากาศที่สามารถทำงานได้

7.2 การอัดอากาศ (Inflation)

การอัดอากาศจะสามารถเริ่มปฏิบัติงานได้ หลังจากทีระบบต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 5 ได้ทำการก่อสร้างและติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ และมีความพร้อมสำหรับการใช้งาน

8. การใช้งาน การบำรุงรักษา กระบวนการในกรณีฉุกเฉิน และงานระบบ

8.1 ข้อตกลงการใช้งาน (Acceptance)

รายละเอียดต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดซึ่งเจ้าของหรือผู้ดูแลอาคารต้องรับรู้ก่อนที่จะเริ่มใช้งาน โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม

8.1.1 เงื่อนไขการออกแบบ (Statement of Design Conditions)

- (1) ความดันปกติขณะใช้งาน (Normal Operating Pressure) และการสูญเสียความดันที่จะเกิดขึ้นขณะใช้งานโครงสร้างที่รับแรงดันนี้
- (2) ความดันสูงสุดขณะใช้งาน (Maximum Operating Pressure) การสูญเสียความดันและความสามารถของระบบการอัดอากาศ

- (3) ขั้นตอนปฏิบัติเมื่อเกิดพายุฝน (Rain Storm) หรือพายุลม (Wind Storm)
- (4) รายละเอียดเกี่ยวกับพฤติกรรมของโครงสร้างที่จะเกิดขึ้นในสภาวะปกติ สภาวะที่เกิดพายุฝน หรือพายุลม

8.1.2 ใบรับรองวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ (Certification of Material and Equipment)

- (1) ใบรับรองเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความสามารถของอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟของพัดลม (Fan) ที่แสดงความสัมพันธ์ของการสูบลมกับความดัน รวมไปถึงรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีความสำคัญ
- (2) ผลการทดสอบคุณภาพของวัสดุตามที่กำหนดในส่วนที่ 4

8.1.3 ผลการทดสอบการทำงานของระบบการอัดอากาศ

- (1) ผลการทดสอบการสูญเสียความดันอากาศมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่ออกแบบ
- (2) การทดสอบเพื่อยืนยันว่าความดันอากาศสูงสุดที่สามารถทำได้มีค่าไม่เกินความดันอากาศภายในสูงสุดที่ใช้ออกแบบ (Design Maximum Internal Pressure)

8.1.4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบสำรองและระบบฉุกเฉินต่างๆ

- (1) การทำงานของระบบอัตโนมัติเมื่อความดันอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด
- (2) การทำงานของระบบอัตโนมัติเมื่อความดันอากาศภายในมีค่ามากกว่าที่กำหนด

8.1.5 ข้อเสนอแนะ ข้อปฏิบัติ และคู่มืออื่นๆ

- (1) ข้อปฏิบัติต่างๆ ที่ต้องทำเป็นกิจวัตรและในกรณีฉุกเฉิน และคู่มือการบำรุงรักษา
- (2) รายการข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้งาน โครงสร้างและอุปกรณ์ต่างๆ
- (3) คู่มือการใช้งานและการบำรุงรักษาของระบบเครื่องกล ระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งทั้งหมด

8.2 ระยะเวลาในการทดสอบและการบำรุงรักษา

การทดสอบและการบำรุงรักษาต้องดำเนินการตามรอบระยะเวลาที่กำหนดอย่างเคร่งครัดเพื่อให้แน่ใจได้ว่าโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมมีประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งาน

9. เอกสารอ้างอิง

- 9.1 The American Society of Civil Engineer. 1997. ASCE 17-96 Air-Supported Structures, American Society of Civil Engineers. New York.

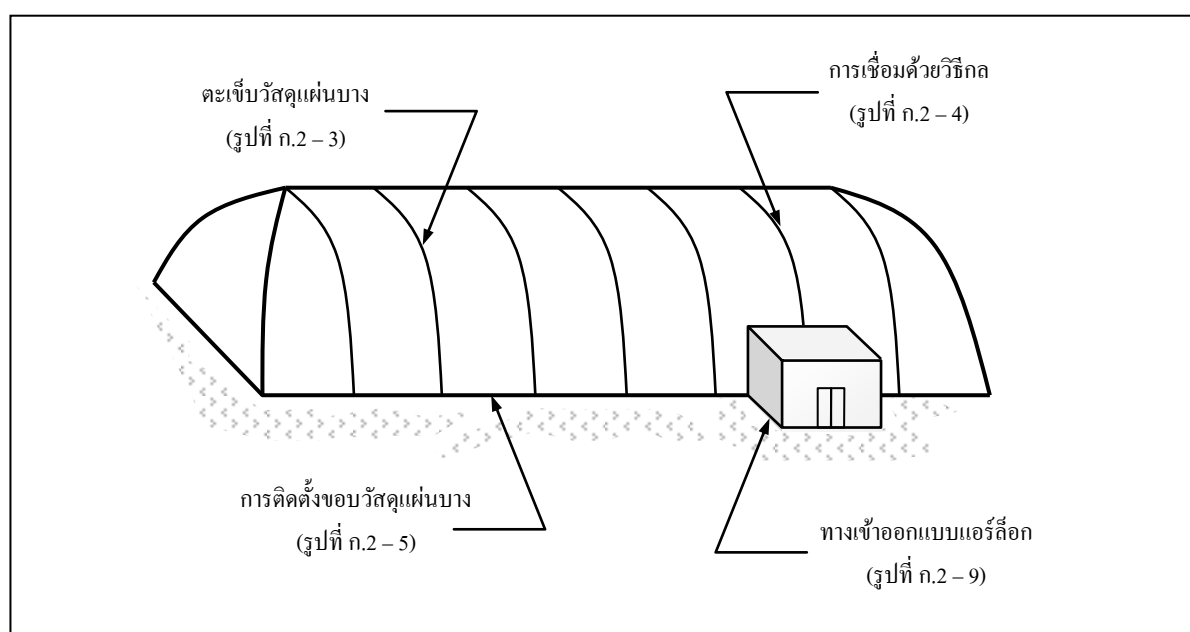
ผนวก ก ตัวอย่างรายละเอียดของตัวยึด (Anchorage)

ก.1 ทัวไป

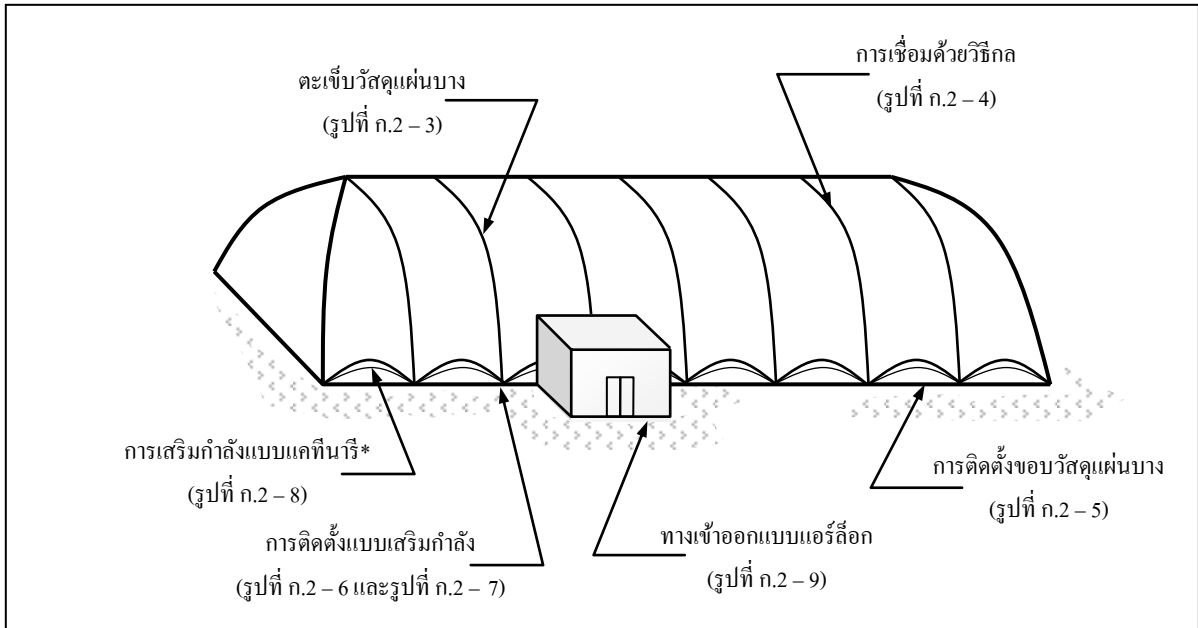
ก.1.1 เนื้อหาในส่วนนี้เป็นเพียงข้อเสนอแนะในการปฏิบัติเท่านั้น โดยไม่ถือว่าเป็นข้อบังคับที่ต้องปฏิบัติตามแต่อย่างใด

ก.1.2 เนื้อหาในส่วนนี้แสดงรายละเอียดพื้นฐานสำหรับการติดตั้งตัวยึด (Anchorage) เพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น โดยไม่ถือว่าเป็นข้อบังคับที่ต้องปฏิบัติตามแต่อย่างใด

ก.2 รายละเอียดทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม (Air-Supported Membrane Structures) รูปแบบยึดติดกับพื้น (Ground - Mounted)

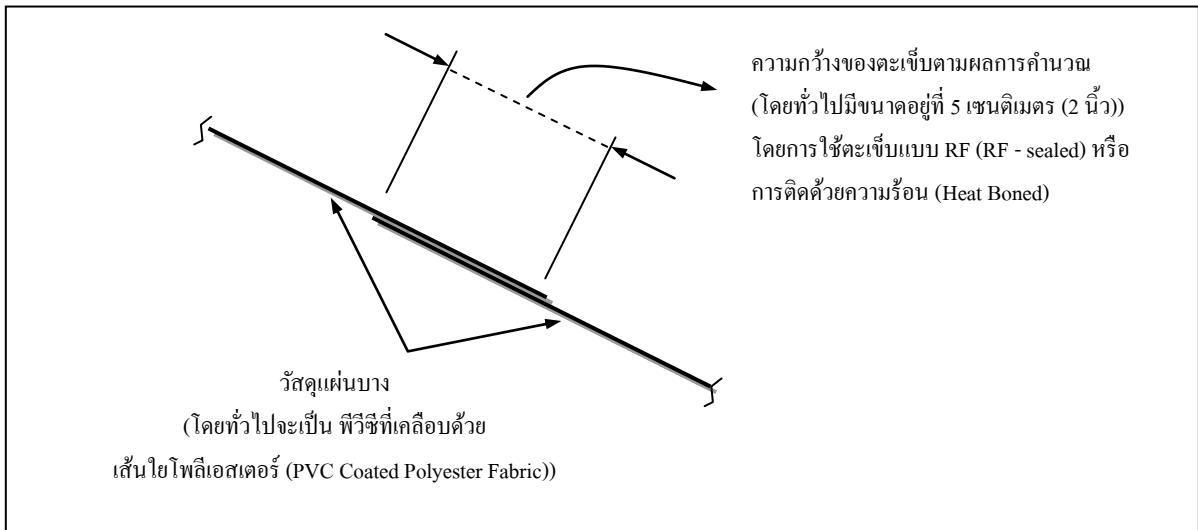


รูปที่ ก.2 - 1 โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมที่ยึดติดกับพื้นและไม่เสริมกำลัง
(Nonreinforced Ground-Mounted Air-Supported Membrane Structures)

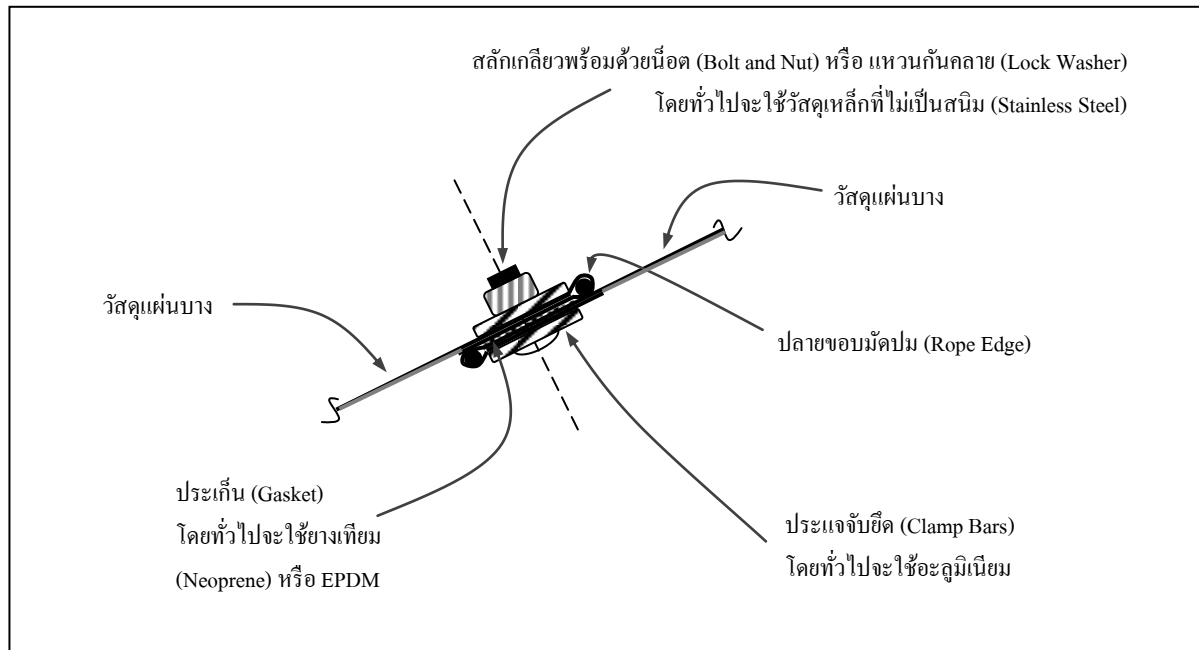


รูปที่ ก.2 - 2 โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมแบบที่ยึดติดกับพื้นและเสริมกำลัง
(Reinforced Ground-Mounted Air-Supported Membrane Structures)

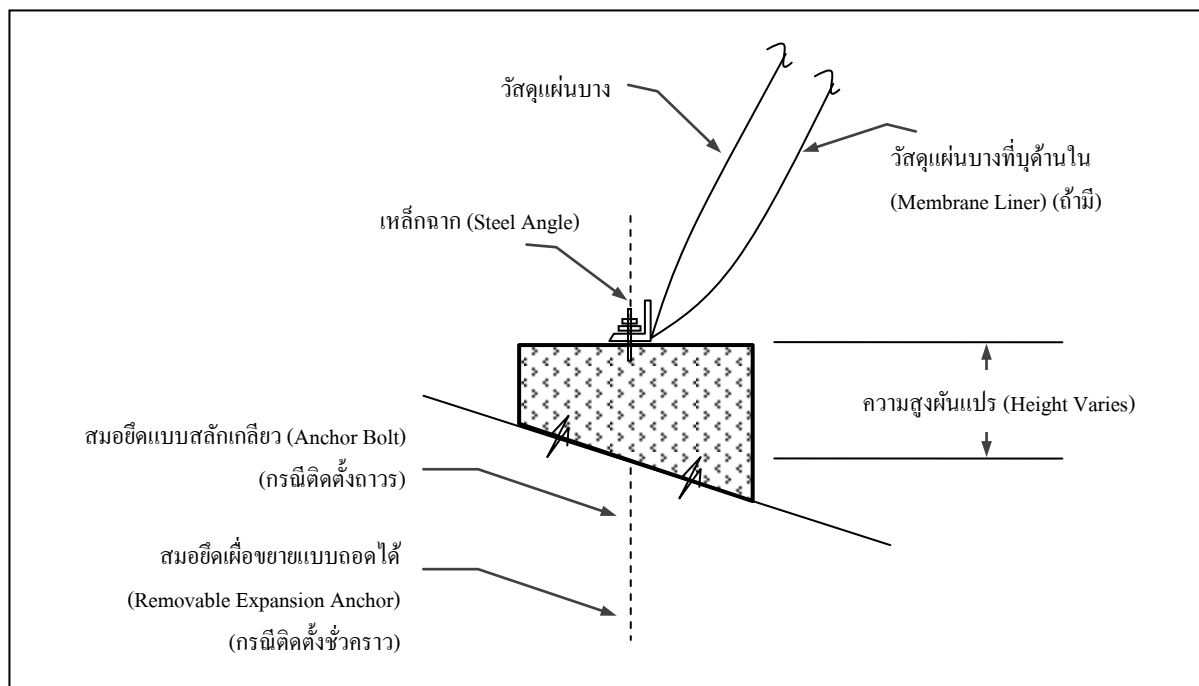
หมายเหตุ * แคทีนารี (Catenary) คือ การหย่อนของเชือก โซ่ หรือเคเบิล จากผลของแรงโน้มถ่วง ขณะที่ปลายทั้งสองด้านถูกยึดไว้



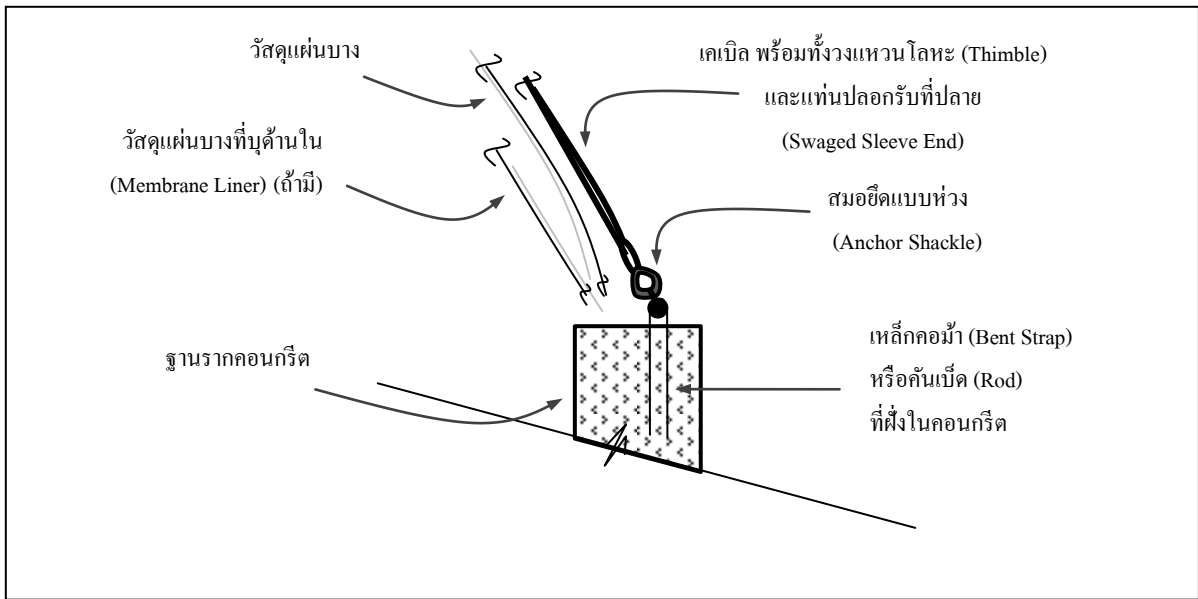
รูปที่ ก.2 - 3 รูปแบบทั่วไปของตะเข็บ (Seam)



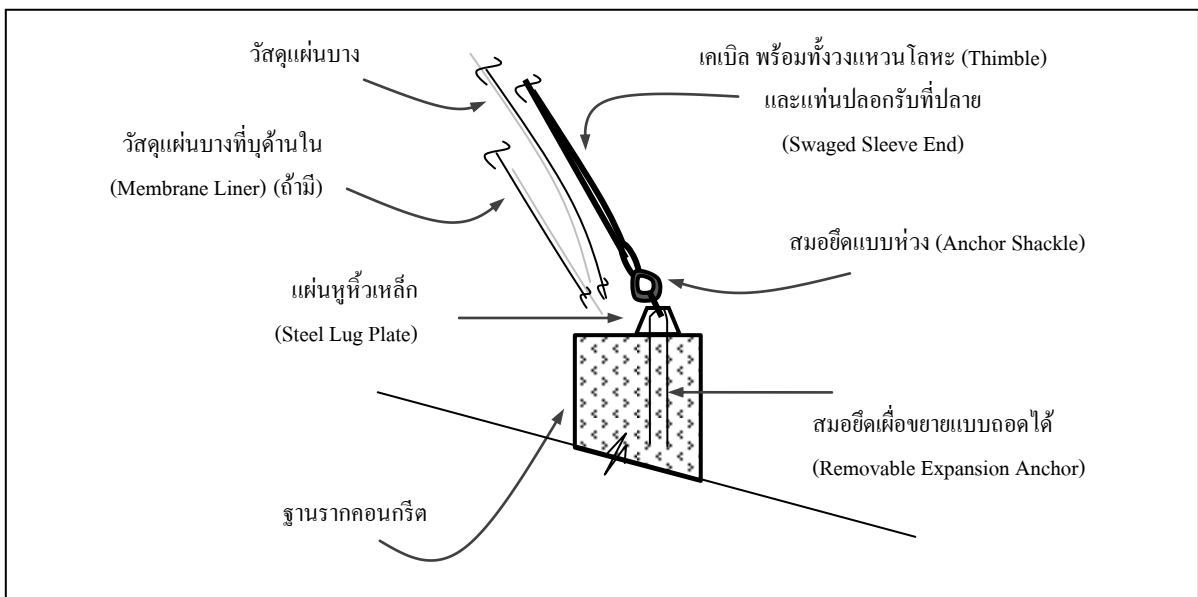
รูปที่ ก.2 – 4 รูปแบบทั่วไปของการเชื่อมด้วยวิธีกล (Mechanical Joint)



รูปที่ ก.2 – 5 รูปแบบทั่วไปของการติดตั้งขอบวัสดุแผ่นบาง
(Membrane Perimeter Attachment)

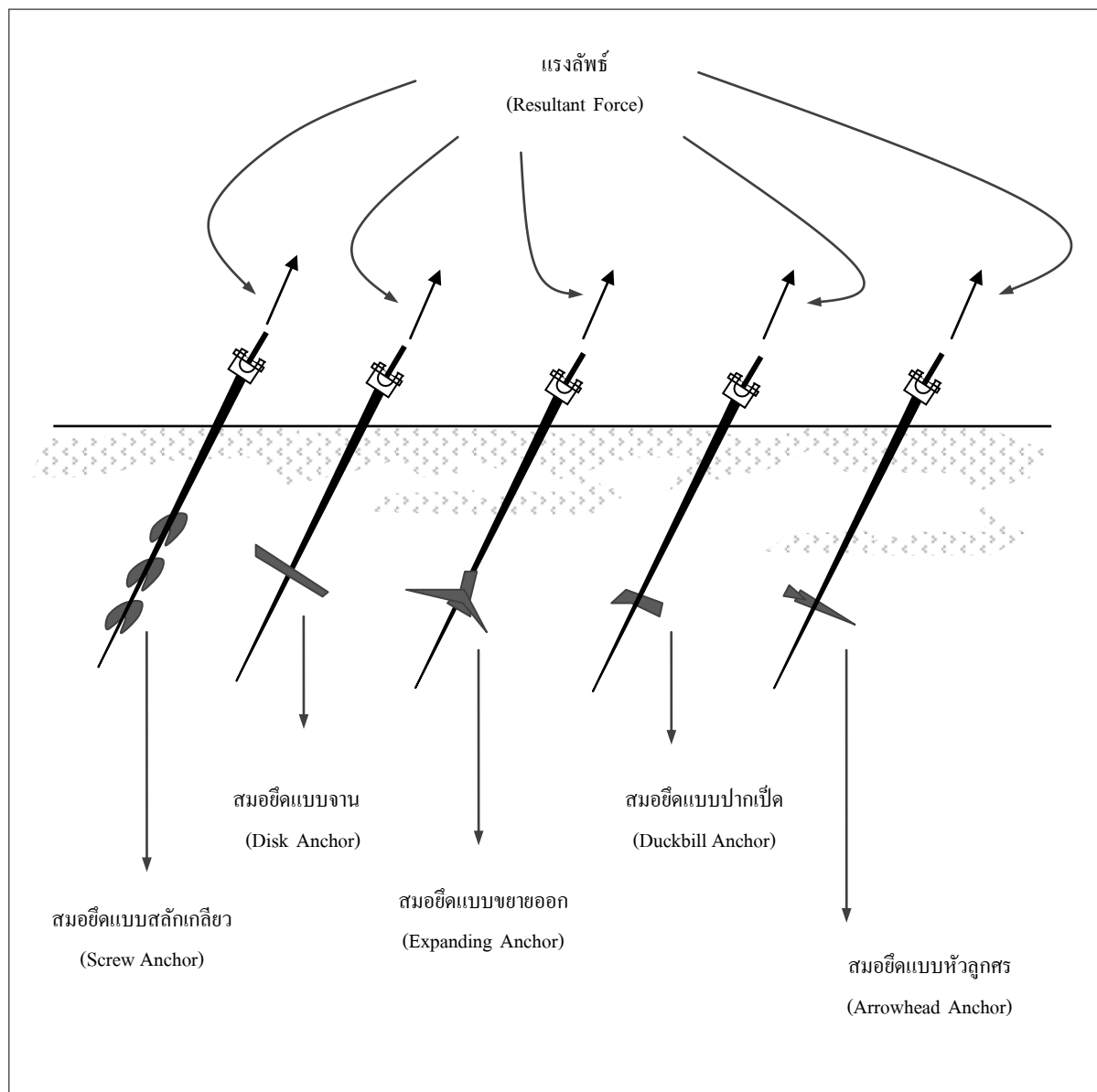


(ก) การเชื่อมต่อแบบเสริมกำลังในลักษณะถาวร

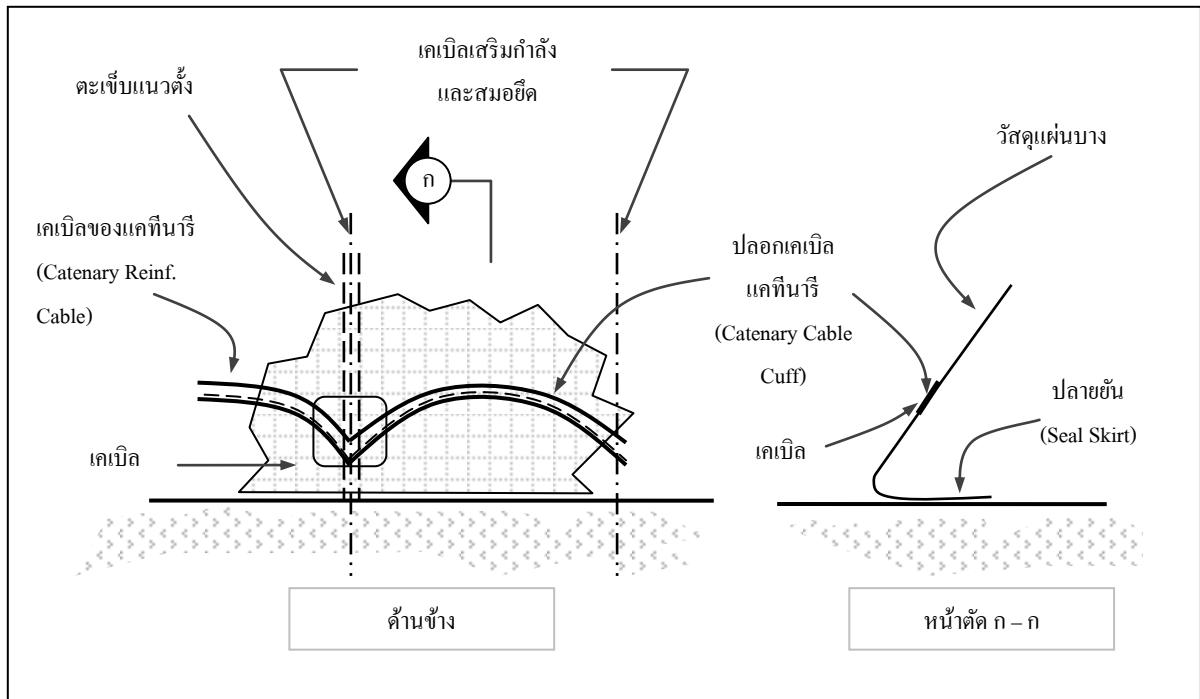


(ข) การเชื่อมต่อแบบเสริมกำลังในลักษณะชั่วคราว

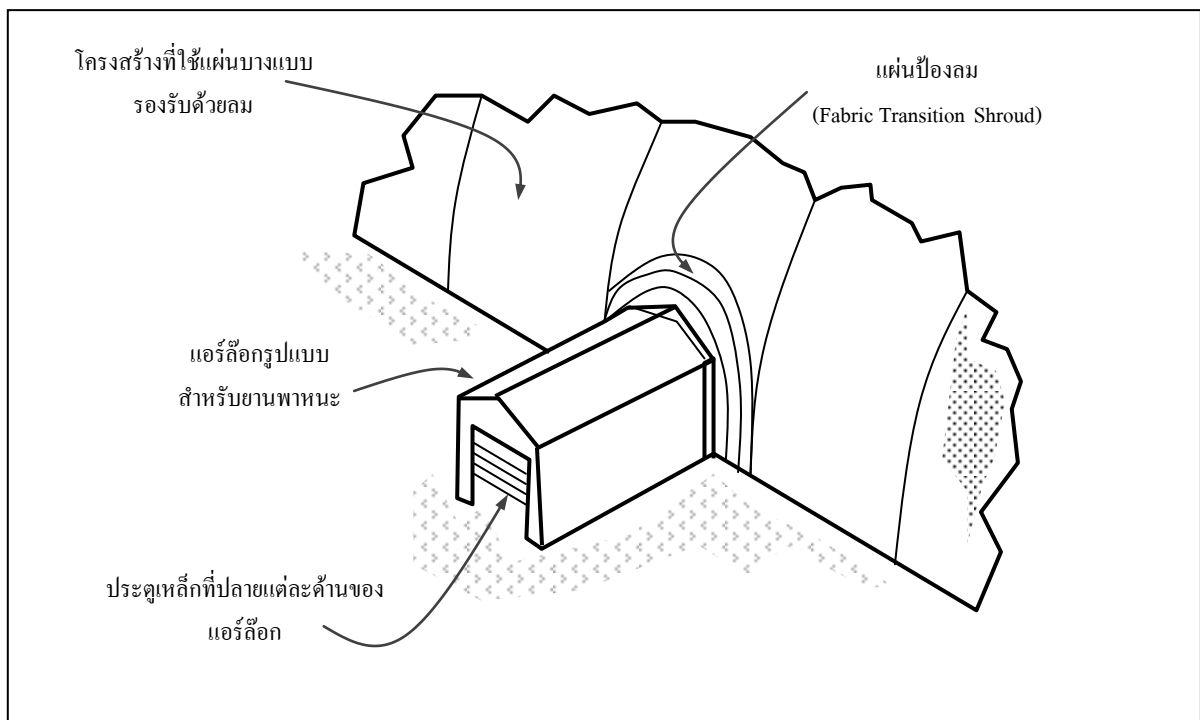
รูปที่ ก.2 – 6 รูปแบบทั่วไปของการติดตั้งแบบเสริมกำลัง
(Reinforcing Attachment)



รูปที่ ก.2 – 7 รูปแบบทางเลือกของสมอยึด (Anchor) ที่ใช้ในการติดตั้งแบบเสริมกำลัง
สำหรับการใช้งานชั่วคราว

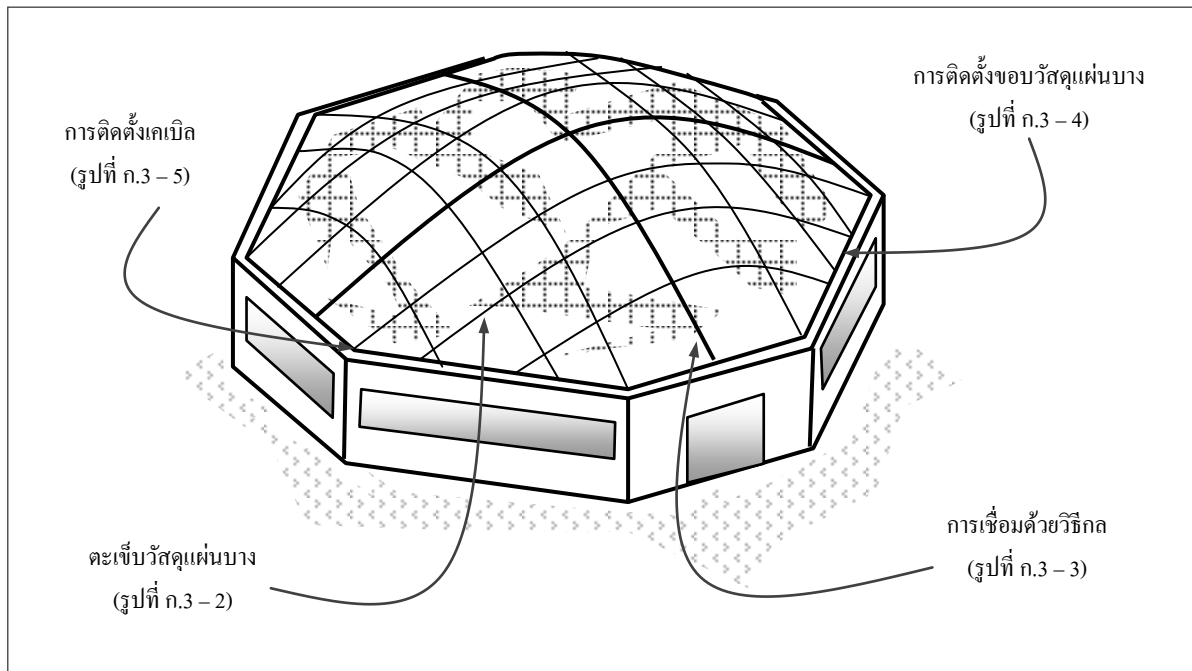


รูปที่ ก.2 – 8 การเสริมกำลังแบบแคทีนารี (Catenary Reinforcing)

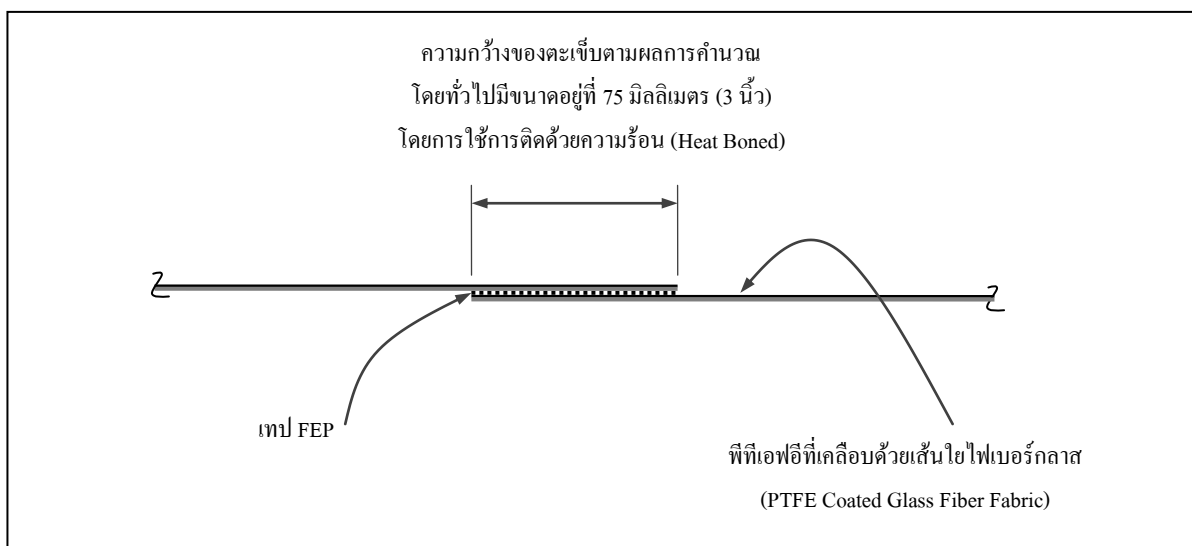


รูปที่ ก.2 – 9 ทางเข้าออกแบบแอร์ล็อก (Airlock Entry/Exit)

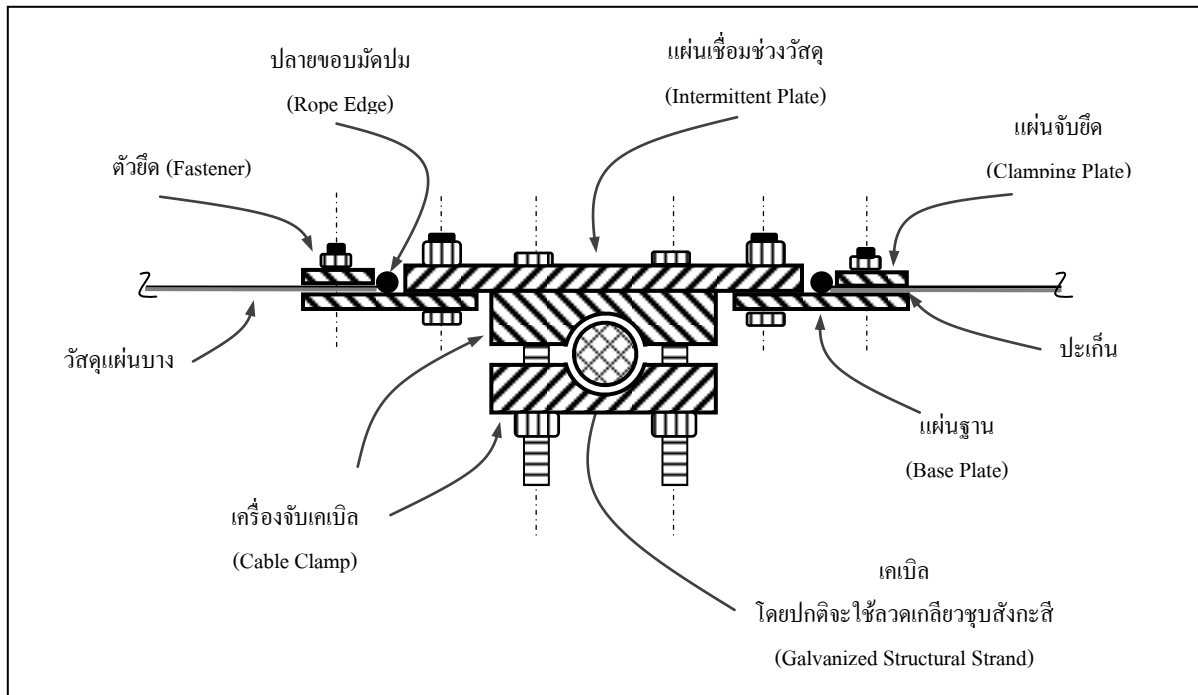
ก.3 รายละเอียดทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลม (Air-Supported Membrane Structures) รูปแบบยกกระดาน (Elevated Structures)



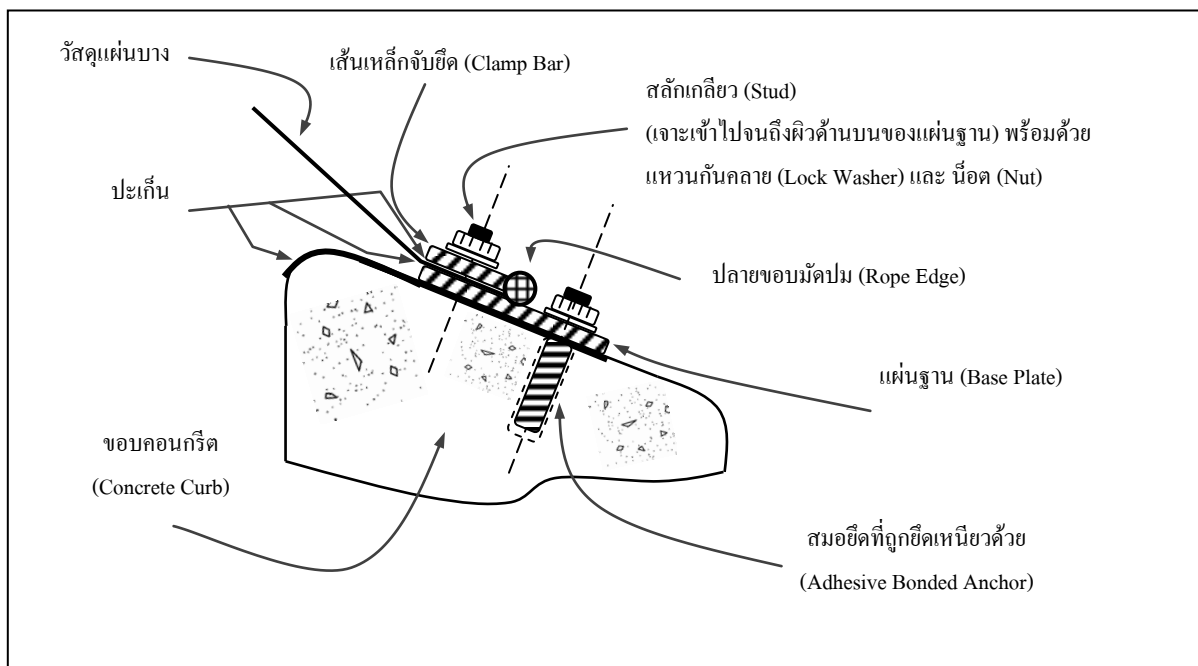
รูปที่ ก.3 – 1 โครงสร้างที่ใช้แผ่นบางแบบรองรับด้วยลมที่ถูกยกกระดาน
(Elevated Air-Supported Membrane Structures)



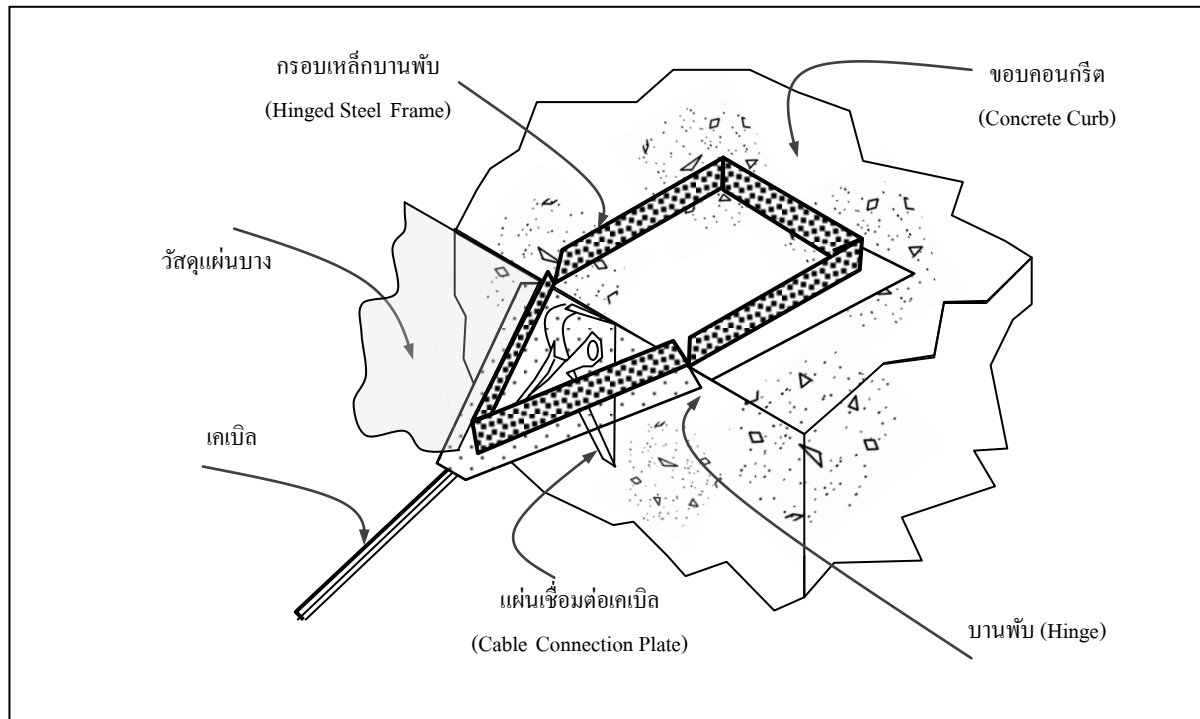
รูปที่ ก.3 – 2 รูปแบบทั่วไปของตะเข็บ (Seam)



รูปที่ ก.3 – 3 การเชื่อมด้วยวิธีกล (Mechanical Joint)



รูปที่ ก.3 – 4 รูปแบบทั่วไปของการติดตั้งขอบวัสดุแผ่นบาง
(Membrane Perimeter Attachment)



รูปที่ ก.3 – 5 รูปแบบทั่วไปของการติดตั้งเคเบิล (Cable Attachment)

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิล

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ใช้สำหรับกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อประกอบการออกแบบโครงสร้าง (Structural Design) การประกอบและติดตั้ง (Fabrication and Installation) เคเบิล (Cable) ที่ใช้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรองรับและยึดโยง (Support and Bracing) ตัวอาคาร หลังคา และแผ่นพื้น เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร
- 1.2 มาตรฐานนี้ครอบคลุมชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นขดลวดที่เกิดจากลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Wire Strand) ลวดสลิง (Wire Rope) หรือลวดตีเกลียวคู่ (Parallel Wire Strand) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความสำคัญในการรับแรงดึง
- 1.3 มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึง เคเบิลที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel Cable) และเคเบิลที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Cable) ทั้งที่มีและไม่มีเคลือบป้องกันการกัดกร่อน (Coating)

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

- “เคเบิล (Cable)” หมายถึง องค์อาคารรับแรงดึงที่ยืดหยุ่นได้ง่าย ประกอบด้วยลวด (Wires) หรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Wire Strand) หรือกลุ่มของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวที่ถูกนำมารวมกันเป็นลวดสลิง (Wire Rope) ซึ่งภายนอกจะถูกหุ้มด้วยฉนวน (Jacket or Sheath) โดยรอบหรือไม่ก็ได้
- “แรงดึงสำหรับการยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching Force)” หมายถึง แรงดึงคงค้างที่ใช้ยืดเคเบิลที่พันขดตัวกัน โดยอาจจะดึงเพียงครั้งเดียวหรือหลายครั้งก็ได้
- “โครงสร้างที่ใช้เคเบิล (Cable Structure)” หมายถึง อาคารหรือโครงสร้างที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงสร้างหลัก มีการใช้เคเบิลเป็นวัสดุถาวรในการก่อสร้าง
- “โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเคเบิล สามารถคำนวณได้จากความลาดชันของเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดบนเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงที่มีหน่วยแรงเท่ากับร้อยละ 10 ของกำลังระบุ และจุดบนเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงที่มีหน่วยแรงเท่ากับร้อยละ 90 ของกำลังระบุ
- “การดึงเคเบิลก่อนใช้งาน (Prestressing)” หมายถึง การดึงเคเบิลในเวลาทำการติดตั้งเคเบิลนั้นๆ ก่อนการใช้งาน

“การยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching)” หมายถึง การดึงเคเบิลที่พันขดตัวกันให้ยืดตัวก่อนการก่อสร้าง เพื่อป้องกันไม่ให้เคเบิลขดตัวในช่วงระหว่างการก่อสร้าง

“กำลังระบุของเคเบิล (Nominal Cable Strength)” หมายถึง กำลังรับน้ำหนักของเคเบิลที่กำหนดได้จากกำลังแตกหัก (Breaking Strength) ของลวดในเคเบิล ซึ่งวิธีการกำหนดกำลังระบุของเคเบิลก็จะแตกต่างกันไปตามมาตรฐานที่กำหนดชนิดของเคเบิลนั้น ๆ

“ชั้นของเคเบิล (Grade)” หมายถึง การแบ่งชั้นของเคเบิลออกตามกำลังระบุ (Nominal Strength) หรือการแบ่งชั้นของเคเบิลตามองค์ประกอบที่เป็นโลหะของลวด (Wire)

“ดีฟเลกเตอร์ (Deflector)” หมายถึง อุปกรณ์รองรับเคเบิลมีรูปร่างคล้ายอานม้า มักใช้ในการเปลี่ยนแนวของเคเบิลโดยการหักเหมุม บางครั้งก็เรียกว่า “แซดเดิล (Saddle)”

“ตัวจับยึด (Clamp)” หมายถึง อุปกรณ์จับยึดเคเบิลที่ใช้แรงเสียดทานในการถ่ายแรง

“ลวด (Wire)” หมายถึง ลวดเหล็กกล้าที่มีหน้าตัดทั้งเป็นวงกลมและไม่เป็นวงกลม ลวดที่มีหน้าตัดวงกลมจะขึ้นรูปด้วยการรีดเย็น (Cold-drawn) ส่วนลวดที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลมจะขึ้นรูปได้ทั้งวิธีรีดเย็นหรือวิธีการขึ้นรูปเย็น (Cold-rolled) ก็ได้

“ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Strand)” หมายถึง ลวดเหล็กกล้าจำนวนตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปมาตีเกลียวเข้าด้วยกันให้มีระยะช่วงเกลียวสม่ำเสมอ

“ลวดสลิง (Wire Rope)” หมายถึง ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวจำนวนตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปที่มาพันรอบเข้าด้วยกันตามแนวแกนของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวอีกเส้นหนึ่ง หรือลวดสลิงเส้นอื่นๆ

“สมอยึด (Anchorage)” หมายถึง องค์อาคารของโครงสร้างที่ใช้ในการให้เคเบิลยึดติด

“อุปกรณ์เทอร์มินเนชัน (Termination)” หมายถึง อุปกรณ์ที่ยึดติดที่ปลายของเคเบิลเพื่อใช้ในการถ่ายแรงดึงในเคเบิลไปยังสมอยึด (Anchorage) ของเคเบิลตัวนั้นๆ อุปกรณ์เทอร์มินเนชันอาจมีลักษณะเป็นวงแหวน (Loop Formed) ติดอยู่ปลายของเคเบิล การที่ติดอุปกรณ์เทอร์มินเนชันไว้ที่ปลายของเคเบิล ทำให้บางครั้งก็เรียกอุปกรณ์เทอร์มินเนชันว่า “ตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (End Fitting)”

“อุปกรณ์ยึดติด (Fitting)” หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดหรือรองรับเคเบิลและส่วนประกอบอื่นๆของเคเบิล

“อุปกรณ์หน่วง (Damper)” หมายถึง อุปกรณ์ที่ติดกับโครงสร้างเคเบิลเพื่อปรับปรุงโครงสร้างเคเบิลให้มีความสามารถตอบสนองต่อแรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic Load) ได้ดีขึ้น อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์แบบแอคทีฟ หรือ พาสซีฟ (Active or Passive Device) ก็ได้

2.2 สัญลักษณ์

C = น้ำหนักบรรทุกจากการติดตั้ง (Erection Load) หรือน้ำหนักบรรทุกชั่วคราว (Temporary Load) ในระหว่างการก่อสร้าง หน่วยเป็นกิโลกรัม

D	= น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างและส่วนประกอบถาวรอื่นๆ ของโครงสร้าง หน่วยเป็นกิโลกรัม
E	= แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว (Earthquake Load) หน่วยเป็นกิโลกรัม
H	= แรงดึงในเคเบิลในแนวราบ หน่วยเป็นกิโลกรัม
l	= ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ หน่วยเป็นเมตร
L	= น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เนื่องจากการใช้งาน (Occupancy) และอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Movable Equipment) หน่วยเป็นกิโลกรัม
L_{cl}	= ความยาวของเส้นคอร์ด (Chord Line) หน่วยเป็นเมตร
L_r	= น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา (Roof Live Load) หน่วยเป็นกิโลกรัม
p	= น้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอซึ่งกระทำกับเคเบิลในแนวดิ่ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อเมตร
P	= แรงเนื่องจากการดึงเคเบิล (Prestressing Force) ก่อนใช้งาน หน่วยเป็นกิโลกรัม
R	= น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝนที่ตกมาในช่วงแรก (Initial Rainwater) ไม่รวมถึงการขังของน้ำ (Ponding Contribution) หน่วยเป็นกิโลกรัม
S	= ความยาวเคเบิล หน่วยเป็นเมตร
S_d	= กำลังออกแบบของเคเบิล
S_n	= กำลังระบุของเคเบิล (Nominal Cable Strength)
T	= แรงดึงในเคเบิล หน่วยเป็นกิโลกรัม
T_{max}	= แรงดึง หน่วยเป็นกิโลกรัม
$\bar{T}$	= แรงดึงเฉลี่ยในเคเบิล (Average Cable Tension) หน่วยเป็นกิโลกรัม
V	= แรงดึงในเคเบิลในแนวดิ่ง หน่วยเป็นกิโลกรัม
w_G	= น้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอที่กระทำกับเคเบิลไปตามในแนวโค้ง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเมตร
W	= แรงลม (Wind Load) หน่วยเป็นกิโลกรัม
θ	= มุมในแนวดิ่งระหว่างแนวเส้นคอร์ด (Chord Line) กับ แนวเส้นอ้างอิงในแนวราบ (Horizontal Reference)
Δ	= ระยะดกท้องช้าง หน่วยเป็นเมตร
ϕ_d	= ตัวประกอบปรับลดของดีฟเลกเตอร์ (Deflector Reduction Factor)
ϕ_f	= ตัวประกอบปรับลดของตัวยึดติด (Fitting Reduction Factor)

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

3.1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 95: ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง

3.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 348: เหล็กลวดคาร์บอนต่ำ

3.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 420: ลวดเหล็กกล้าดีเกลือสำหรับคอนกรีตอัดแรง

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างอิงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้เป็นสำคัญ

4. แบบรายละเอียดและเอกสารสำหรับการก่อสร้าง

แบบก่อสร้าง (Fabrication Drawing หรือ Shop Drawing) ของโครงสร้างที่ใช้เคเบิลต้อง

4.1 ระบุตำแหน่งของเคเบิลทั้งในระนาบราบและระนาบตั้ง รวมถึงรายละเอียดการยึดต่อ (Connection) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดในการออกแบบ และควรระบุเพิ่มเติมสำหรับกรณีน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่อุณหภูมิปกติด้วย

4.2 ระบุมิติต่างๆ น้ำหนักบรรทุก รวมถึงแรงดึงเคเบิลที่ใช้ในการติดตั้ง และข้อมูลอื่นๆ ที่เพียงพอสำหรับการคำนวณความยาวของเคเบิล

4.3 แสดงรายละเอียดของ อุปกรณ์เทอร์มินัล อุปกรณ์ยึดติด สมอยึด และรายละเอียดการรองรับอื่นๆ พร้อมทั้งข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์ชนิดนั้นๆ ที่เพียงพอที่จะสามารถระบุและจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นได้

4.4 กำหนดตำแหน่งของโครงสร้างต่างๆ ที่ได้มีการกำหนดสำหรับเริ่มต้นการก่อสร้าง เพื่อเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ โครงสร้างต่างๆ เหล่านั้นจะได้อยู่ในตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการ

4.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการก่อสร้างและการเตรียมการต่างๆ พร้อมข้อความที่ระบุว่ารายละเอียดข้างต้นเป็น "ข้อมูลซึ่งเป็นเพียงข้อเสนอแนะ" หรือ "ข้อมูลซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ทำการก่อสร้างต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด" เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญและเกี่ยวข้องการควบคุมน้ำหนักบรรทุกหรือการเคลื่อนตัวของเคเบิล หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

4.6 ระบุคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ เคเบิล และวัสดุต่างๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกหรือแรงภายในที่สามารถรับได้ ลักษณะโครงสร้าง เป็นต้น เพื่อจะได้ใช้เป็นข้อพิจารณาที่จะเทียบเท่าอุปกรณ์ เคเบิล หรือวัสดุอื่น ในกรณีที่มีความจำเป็นที่ต้องมีการเปลี่ยนเคเบิล วัสดุ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ระบุในแบบ

4.7 แสดงข้อกำหนดเกี่ยวกับเคเบิล เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล การเคลือบ (Coating) เคเบิลชั้นของเคเบิล วัสดุที่ใช้ในการผลิตเคเบิล รวมถึงวิธีการทดสอบ และข้อมูลสำคัญอื่น

4.8 แสดงข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) ในการผลิตวัสดุยึดติด และในการติดตั้งทั้งกรณีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและในระหว่างการก่อสร้าง รวมทั้งต้องมีการกำหนดขั้นตอนในการวัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล

5. ข้อพิจารณาในการออกแบบ (Design Considerations)

5.1 การคำนวณหาคำนวณน้ำหนักบรรทุก (Design Loading)

5.1.1 น้ำหนักบรรทุก (Load)

5.1.1.1 การกำหนดน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบอาคารและส่วนต่างๆ ของอาคาร ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำกับอาคาร

5.1.1.2 ในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิลต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติมสำหรับโครงสร้างที่ใช้เคเบิล ซึ่งประกอบด้วย

- (1) ผลกระทบเนื่องจากลมที่พัดผ่านโครงสร้างที่ใช้เคเบิล โดยพิจารณา รวมถึงผลทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Effect) ที่กระทำต่อเคเบิลเส้นหนึ่งๆ และที่กระทำต่อโครงสร้างที่ใช้เคเบิลโดยรวม ซึ่งสามารถกำหนดได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel Test) หรือการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์แบบตัวเลข (Numerical Dynamic Analysis)
- (2) การสั่นไหวขององค์อาคารหรือโครงสร้างเนื่องจากแรงลม (Wind-Induced Structural Vibration) และผลกระทบจากความล้า (Fatigue Effect)
- (3) ผลกระทบจากแผ่นดินไหว (Earthquake Effect)

5.1.2 การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combination)

ในการคำนวณหาแรงดึงในเคเบิล (Cable Tension) ให้พิจารณาแรงดึงในเคเบิล จากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่สภาวะใช้งาน (Service Load) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

- (1) แรงดึงในเคเบิลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (D) และแรงดึงเคเบิลก่อนใช้งาน (P)

$$T_1 = D + P \quad (1)$$

- (2) แรงดึงในเคเบิลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ แรงดึงเคเบิลก่อนใช้งาน น้ำหนักบรรทุกจร (L) และน้ำหนักบรรทุกของหลังคา (L_r) หรือน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝนที่ตกลงมาไม่รวมการขังของน้ำ (R)

$$T_2 = D + P + L + (L_r \text{ หรือ } R) \quad (2)$$

- (3) แรงดึงในเคเบิลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ แรงดึงเคเบิลก่อนใช้งาน และแรงลม (W) หรือแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว (E)

$$T_3 = D + P + (W \text{ หรือ } E) \quad (3)$$

- (4) แรงดึงในเคเบิลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ แรงดึงเคเบิลก่อนใช้งาน น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกของหลังคา หรือน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝนที่ตกลงมาไม่รวมการขังของน้ำ และแรงลม หรือแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

$$T_4 = D + P + L + (L_r \text{ หรือ } R) + (W \text{ หรือ } E) \quad (4)$$

- (5) แรงดึงในเคเบิลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกจากการติดตั้งและน้ำหนักบรรทุกชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (C) และส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ แรงดึงเคเบิลก่อนใช้งาน น้ำหนักบรรทุกจร และแรงลมที่เกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้ง

$$T_5 = C + D, L, P \text{ และ } W \text{ ที่มาจากส่วนประกอบของการติดตั้ง} \quad (5)$$

5.2 กำลังของเคเบิล (Cable Strength)

กำลังออกแบบ (Design Strength, S_d) ของเคเบิลแต่ละเส้น ต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าข้อกำหนดดังต่อไปนี้

$$5.2.1 \quad 2.2 \times T_1$$

$$5.2.2 \quad 2.2 \times T_2$$

$$5.2.3 \quad 2.0 \times T_3$$

$$5.2.4 \quad 2.0 \times T_4$$

$$5.2.5 \quad 2.0 \times T_5$$

โดยที่เงื่อนไขกำลังออกแบบของเคเบิลแต่ละเส้นข้างต้น ต้องมีค่าเป็นจริงเสมอสำหรับสถานะในรูปแบบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้กับเคเบิลในขณะทำการก่อสร้างและขณะใช้งาน เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น ทั้งนี้กำลัง

ออกแบบของเคเบิล (S_d) ต้องใช้ค่าที่น้อยที่ได้จากสมการ (6) หรือ (7) เว้นแต่กรณีที่มีการออกแบบสำหรับการล้า (Fatigue) และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม

$$S_d = S_n \times \phi_f \quad (6)$$

$$S_d = S_n \times \phi_d \quad (7)$$

โดยในกรณีที่ไม่มีการใช้ดีฟเลกเตอร์ ค่า ϕ_d เท่ากับ 1

5.3 ตัวประกอบปรับลด

รายละเอียดต่างๆ ของตัวประกอบปรับลดที่ส่งผลกระทบต่อกำลังออกแบบของเคเบิลมีดังต่อไปนี้

5.3.1 ตัวประกอบปรับลดของตัวยึดติด (Fitting Reduction Factor)

คือ ค่าตัวประกอบปรับลดกำลังของเคเบิลที่เกิดจากพฤติกรรมของการถ่ายแรงของเคเบิลไปยังตัวยึดติด ดังแสดงในตารางที่ 1

5.3.2 ตัวประกอบปรับลดของดีฟเลกเตอร์ (Deflector Reduction Factor)

คือ ตัวประกอบปรับลดกำลังของเคเบิลที่เกิดจากความโค้งของเคเบิลที่พาดผ่านแซดเดิล (Saddle) ซึ่งสามารถพิจารณาค่าได้จากตารางที่ 2

โดยค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 นี้ สามารถใช้ได้ในการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของเคเบิลที่ดีฟเลกเตอร์ (Deflector Angle) เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจนวนน้อยกว่า 2 องศา สำหรับลวดเหล็กกล้าตีเกลียวและน้อยกว่า 4 องศา สำหรับลวดสลิง ทั้งนี้เมื่อค่ามุมของดีฟเลกเตอร์ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมากกว่านี้แล้ว ค่าตัวประกอบปรับลดของดีฟเลกเตอร์ (ϕ_d) ต้องมาจากการคำนวณที่มีความน่าเชื่อถือ

5.3.3 ผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Elevated Temperature Effect)

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิลต้องพิจารณาผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเคเบิลและตัวยึดติด

5.3.4 ผลกระทบจากความล้า (Fatigue Effect)

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างที่ใช้เคเบิลต้องพิจารณาการลดลงของกำลังของเคเบิลเนื่องจากความล้า

5.4 เทอร์มินันซ์หรือตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (End Fitting)

5.4.1 เทอร์มินันซ์หรือตัวยึดติดที่ปลายเคเบิลต้องมีกำลังประลัย (Ultimate Strength) ไม่น้อยกว่า 1.1 เท่า (หรือร้อยละ 110) ของกำลังระบุของเคเบิล

ตารางที่ 1 ตัวประกอบปรับลดของตัวยึดติด (ϕ_f)
(ข้อ 5.3.1)

ชนิดของตัวยึดติด (Type of Termination)	ตัวประกอบปรับลดของตัวยึดติด	
	ลวดสลิง (Rope)	ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Strands)
เป้าหล่อ (Poured Socket) (แบบตั้งกะสีหรือเรซิน)	1.00	1.00
เป้าเหล็ก (Swaged Socket)	1.00 ¹⁾	N/A ²⁾
ห่วงกลที่ประกบกันด้วยปลอกหุ้ม (Mechanical Loop Splice with Sleeve and Thimble)		
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0 ถึง 25 มิลลิเมตร (0 ถึง 1 นิ้ว)	0.95	N/A
เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 25 ถึง 51 มิลลิเมตร (1 ถึง 2 นิ้ว)	0.925	N/A
เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 51 ถึง 89 มิลลิเมตร (2 ถึง 3.5 นิ้ว)	0.90	N/A
ห่วงหรือปลอกเชื่อมซึ่งต่อด้วยมือ (Loop or Thimble Splice with Hand Splice)		
ลวดสลิงแบบเหล็กกล้า (Carbon steel rope)		
ขนาด 6 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว)	0.90	N/A
ขนาด 13 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)	0.86	N/A
ขนาด 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)	0.82	N/A
ขนาด 22 ถึง 64 มิลลิเมตร (7/8 นิ้ว ถึง 2-1/2 นิ้ว)	0.80	N/A
ลวดสลิงแบบสแตนเลส (Stainless steel rope)		
ขนาด 6 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว)	0.80	N/A
ขนาด 13 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)	0.76	N/A
ขนาด 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)	0.72	N/A
ขนาด 22 มิลลิเมตร (7/8 นิ้ว)	0.70	N/A
เป้าอัด (Wedged Socket) ³⁾	0.75 ถึง 0.80	N/A
คลิป (Clip) ⁴⁾	0.80	N/A

- หมายเหตุ
- 1) สำหรับลวดสลิงทั่วไปเท่านั้น ถ้าลวดสลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ขึ้นไปต้องปรึกษาผู้ผลิต
 - 2) ปรึกษาผู้ผลิตในการกำหนดค่า
 - 3) กำหนดค่าเป็นช่วงเนื่องจากค่าตัวประกอบปรับลดของตัวยึดติดขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบตัวยึดติด ในกรณีที่ต้องการค่าที่แม่นยำให้ปรึกษาผู้ผลิต
 - 4) จำนวนของคลิปขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของลวดสลิง

ตารางที่ 2 ตัวประกอบปรับลดของดีแฟลคเตอร์ (ϕ_d)

(ข้อ 5.3.2)

อัตราส่วนระหว่าง รัศมีของแซดเดิลกับเส้นผ่าน ศูนย์กลางของลวดสลิง	อัตราส่วนระหว่างรัศมีของแซดเดิล กับเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว	ตัวประกอบ ปรับลดของ ดีแฟลคเตอร์ ¹⁾
15 หรือมากกว่า	20 หรือมากกว่า	1.00
14	19	0.95
13	18	0.90
12	17	0.85
11	16	0.80
10 ต่ำสุด	15 ต่ำสุด	0.75

หมายเหตุ 1) ค่าตัวประกอบปรับลดของดีแฟลคเตอร์ในตารางนี้ใช้สำหรับความโค้งที่เกิดจากแซดเดิลเท่านั้น

5.4.2 ตัวยึดติดต้องได้รับการออกแบบให้มี “หน่วยแรงเฉลี่ย (Average Stress)” ที่เกิดขึ้นตลอดตัวยึดติดน้อยกว่า “หน่วยแรงที่จุดคราก (Yield Stress)” ของวัสดุตัวยึดติด (Fitting Material) ภายใต้แรงดึงสถิต (Static Tension Force) ซึ่งมีค่าเท่ากับกำลังระบุของลวดสลิงหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียวที่ยึดติดเข้ากับตัวยึดติด

5.4.3 ในกรณีที่มีการออกแบบเพื่อให้เคเบิลมีขนาดใหญ่มายึดติดกับตัวยึดติดที่มีขนาดเล็ก หรือการใช้เคเบิลยึดติดกับตัวยึดติดที่มีขนาดใหญ่กว่า ผู้คำนวณออกแบบต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับการยึดติดเคเบิลเข้ากับตัวยึดติด และหน่วยแรงในตัวยึดติดที่ได้จากผู้ประกอบโครงสร้างหรือจากผู้ผลิตตัวยึดติดมาประกอบในการคำนวณออกแบบ

5.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis)

5.5.1 ข้อพิจารณาทั่วไป (General Considerations)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างที่ใช้เคเบิล นอกเหนือจากการพิจารณาผลต่างๆ ตามที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยทั่วไปแล้ว ต้องใช้ข้อพิจารณาเพิ่มเติมซึ่งได้กล่าวในมาตรฐานนี้ รวมไปถึงข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- (1) ต้องพิจารณาเคเบิลเป็นวัตถุยืดหยุ่น รูปร่างเป็นเส้น และรับแรงดึงเท่านั้น
- (2) ต้องพิจารณาผลของการยืดแบบอีลาสติก (Elastic Stretch) ของเคเบิลและการเสียรูป (Deformation) ของโครงสร้างที่รองรับเคเบิล ในการวิเคราะห์โครงสร้าง

- (3) ในกรณีที่มีการเคลื่อนตัวของเคเบิล (Cable Displacement) มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์แรงภายในโครงสร้างที่เคลื่อนตัว (Displaced Structure) ต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Analyses)

5.5.2 แรงดึงภายในเคเบิลเมื่อเริ่มทำการติดตั้ง

แรงดึงภายในเคเบิลเมื่อเริ่มทำการติดตั้งเคเบิลในโครงสร้างที่ใช้เคเบิลเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจาก ส่งผลทำให้โครงสร้างที่ใช้เคเบิลมีสดฟิเนสที่เพียงพอต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง และเพื่อประโยชน์ต่างๆ อีกดังต่อไปนี้

- (1) เป็นการเพิ่มเสถียรภาพของเคเบิลต่อการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดึงอันเกิดจากแรงภายนอกและการเคลื่อนตัวของฐานรองรับ
- (2) เป็นการเสริมกำลังต่อการเปลี่ยนรูปร่าง โดยไม่มีการยืดที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ เช่น เมื่อเคเบิลรับน้ำหนักบรรทุกแบบปฏิสมมาตร เป็นต้น

5.5.3 การสั่นสะเทือน (Vibration)

ในการออกแบบต้องมีการพิจารณาผลของน้ำหนักบรรทุกพลศาสตร์ (Dynamic Loading) ที่มีต่อหน่วยแรงของเคเบิล (Cable Stress) ความล้า และการแอ่นตัว (Deflections) ของเคเบิลเส้นหนึ่งเส้นใด และของโครงสร้างโดยรวม

5.5.4 การแอ่นตัว (Deflection)

เคเบิลที่ใช้รองรับพื้นหรือหลังคาต้องมีสัดส่วนเพียงพอ ที่จะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ และการยึดตัวของเคเบิลจะไม่ทำความเสียหายต่อโครงสร้างที่รองรับหรือโครงสร้างข้างเคียง

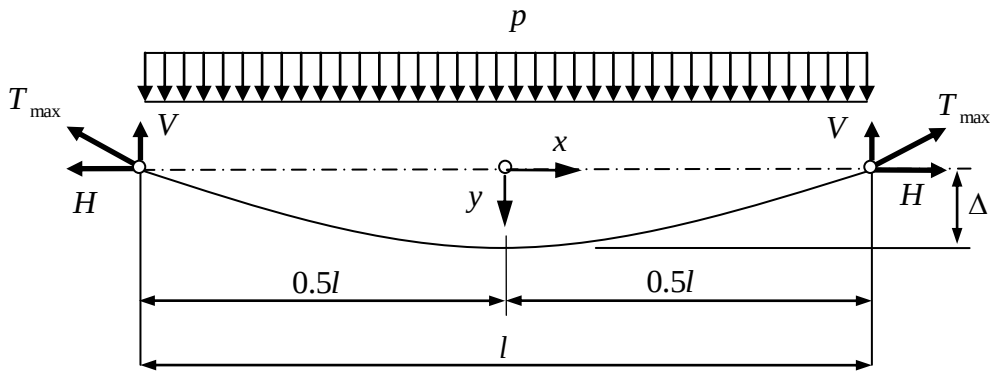
5.5.5 การวิเคราะห์โครงสร้างตามขั้นตอนการติดตั้ง (Erection Analyse)

โครงสร้างที่ใช้เคเบิลต้องคำนวณและออกแบบโดยคำนึงถึงวิธีการและลำดับในการก่อสร้าง เพราะวิธีการและลำดับในการก่อสร้างมีความสำคัญอย่างมากต่อความแข็งแรงและความปลอดภัยของโครงสร้างขณะที่ดำเนินการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับวิธีการและลำดับในการดึงเคเบิล ดังนั้นผู้ออกแบบต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างตามขั้นตอนการติดตั้งเคเบิล ซึ่งขั้นตอนการติดตั้งดังกล่าวอาจเป็นเพียงการนำแนะหรือการบังคับตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อ 5.4.1

5.6 เคเบิลที่ปลายทั้งสองข้างอยู่ในระดับเดียวกัน

การพิจารณาโครงสร้างที่ใช้เคเบิลซึ่งมีเคเบิลหนึ่งเส้นวางพาดระหว่างจุดรองรับสองจุดที่อยู่ในระดับเดียวกัน โดยมีระยะห่างระหว่างจุดรองรับเท่ากับ l มีน้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอซึ่งกระทำในแนวตั้ง ที่มีขนาดเท่ากับ p และมีระยะตกท้องช้าง (Sag) เท่ากับ Δ ดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งนี้สำหรับ

โครงสร้างที่ใช้เคเบิลที่มีเคเบิลในลักษณะแบบนี้ เช่น หลังคาแขวน (Hanging Roof) ที่ประกอบด้วยเคเบิลในส่วนที่เป็นผิวหลังคา และพื้นช่วงกลางของสะพานแขวน เป็นต้น



รูปที่ 1 เคเบิลที่ปลายทั้งสองข้างอยู่ในระดับเดียวกัน และมีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอกระทำในแนวดิ่ง (ข้อ 5.6)

จากรูปที่ 1 สามารถหารูปร่างของเคเบิล (y) ได้จากสมการดังนี้

$$y = \frac{4\Delta}{l^2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) \quad (8)$$

สามารถหาแรงดึงในเคเบิลได้จากสมการเหล่านี้

$$H = \frac{pl^2}{8\Delta} \quad (9)$$

$$V = \frac{pl}{2} \quad (10)$$

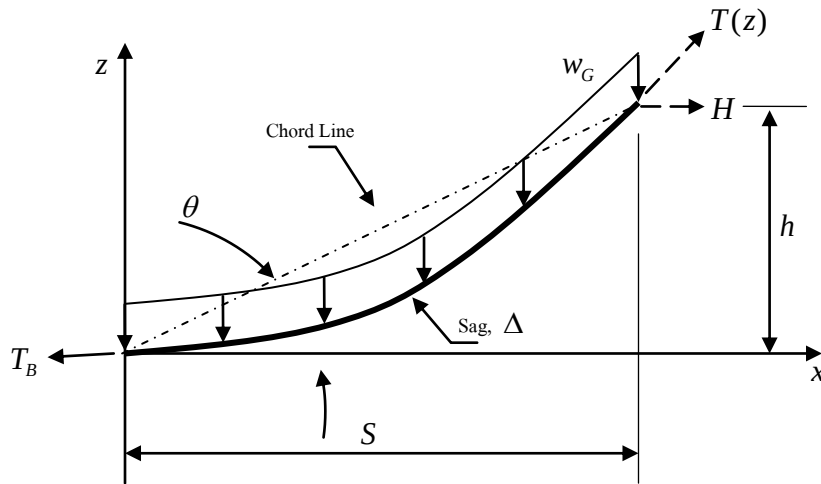
$$T_{\max} = H \sqrt{1 + 16 \left(\frac{\Delta}{l} \right)^2} \quad (11)$$

และสามารถคำนวณหาความยาวของเคเบิลได้ดังนี้

$$S = l \times \left(1 + \frac{8}{3} \left(\frac{\Delta}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{\Delta}{l} \right)^4 + \dots \right) \quad (12)$$

5.7 เคเบิลที่ปลายแต่ละข้างอยู่ต่างระดับกัน

พิจารณาเคเบิลเส้นหนึ่ง วางพาดระหว่างจุดรองรับสองจุดที่อยู่ต่างระดับกัน โดยมีค่าความต่างระดับเท่ากับ h และมีระยะห่างระหว่างจุดรองรับในแนวนอนเท่ากับ S โดยมีน้ำหนักบรรทุกทุกแบบกระจายสม่ำเสมอที่มีขนาดเท่ากับ w_c กระทำในแนวโค้งไปตามแนวเคเบิล และมีระยะตกท้องช้าง (Sag) เท่ากับ Δ ดังแสดงในรูปที่ 2 โครงสร้างที่ใช้เคเบิลที่มีการใช้เคเบิลรูปแบบนี้ เช่น หอขีดยาง และสะพานแขวน เป็นต้น



รูปที่ 2 เคเบิลที่ปลายแต่ละข้างต่างระดับกัน และมีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอกระทำในแนวดิ่ง
(ข้อ 5.7)

ในรูปนี้ แรงดึงเคเบิลของจุดรองรับที่อยู่ระดับต่ำกว่าคือ T_B ดังนั้น แรงดึงเคเบิลที่ระดับความสูง z จากปลายที่อยู่ด้านล่าง หรือ $T(z)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$T(z) = T_B + z \cdot w_G \quad (13)$$

แรงดึงเฉลี่ยในเคเบิล (Average Cable Tension, $\bar{T}$) สามารถหาได้จาก

$$\bar{T} = T_B + \frac{1}{2} \cdot w_G \cdot h \quad (14)$$

ระยะตกท้องข้างสูงสุดของเคเบิล (Sag, Δ) (ระยะที่วัดตั้งฉากจากเส้นตรงที่เชื่อมปลายทั้งสองข้างของเคเบิลไปยังเคเบิล) สามารถหาได้จาก

$$\Delta = \frac{w_G \cdot L_{cl}^2 \cdot \cos \theta}{8T} \quad (15)$$

6. วัสดุเคเบิล (Cable Material)

6.1 รายการคุณลักษณะเฉพาะของเคเบิล (Cable Specification)

เคเบิลที่จะนำมาใช้ตามรายละเอียดต่างๆ ในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ ต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดหรือมาตรฐานวัสดุที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วย

- 6.1.1 มอก. 95 ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง
- 6.1.2 มอก. 348 เหล็กลวดคาร์บอนต่ำ
- 6.1.3 มอก. 420 ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

นอกจากนี้ รายละเอียดต่างๆ ในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ ยังสามารถนำไปใช้กับเคเบิลที่ประกอบด้วยลวดเหล็กที่มีคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของลวดเหล็กสอดคล้องมาตรฐานของเคเบิลดังกล่าวข้างต้นด้วย

6.2 การยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching)

- 6.2.1 ในแบบก่อสร้างหรือข้อกำหนดทางด้านเทคนิค ต้องมีการระบุอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการยืดเคเบิลก่อนการใช้งานสำหรับเคเบิลแต่ละประเภทที่ใช้ในโครงสร้างที่ใช้เคเบิล โดยต้องมีการกำหนดค่าต่ำสุดของโมดูลัสยืดหยุ่นของเคเบิลหลังการยืดเคเบิลก่อนใช้งานเอาไว้ด้วย
- 6.2.2 แรงดึงสำหรับยืดเคเบิลก่อนการใช้งานสำหรับเคเบิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร (2.5 นิ้ว) หรือน้อยกว่า ต้องมีแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของ กำลังระบุของเคเบิล ยกเว้นมีการสาธิตอย่างเห็นได้ชัดจากผู้ผลิตเคเบิล ว่าสามารถสามารถยืดเคเบิลก่อนใช้งานให้มีค่าต่ำสุดของโมดูลัสยืดหยุ่นที่กำหนดด้วยแรงดึงที่น้อยกว่า
- 6.2.3 สำหรับเคเบิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 73 มิลลิเมตร (2.5 นิ้ว) ขึ้นไป ต้องปรึกษาผู้ผลิตเคเบิลเกี่ยวกับข้อกำหนดในการยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน

7. ตัวยึดติด (Fitting)

7.1 วัสดุ (Material)

ในการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ทำตัวยึดติด (Fitting Material) ต้องพิจารณาความเหมาะสมระหว่างเคเบิลและวัสดุของตัวยึดติดด้วย

7.2 การตรวจสอบ (Inspection)

- 7.2.1 เบ้าเทียบมาตรฐาน (Stock or Standard Socket) ต้องมีการทดสอบคุณสมบัติตามขั้นตอนการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิต และต้องมีการกำหนดการทดสอบเพิ่มเติมหรือการทดสอบกำลังของตัวยึดติดสำหรับเบ้าเทียบพิเศษ (Special Socket)
- 7.2.2 การทดสอบหารอยแตกร้าวของเบ้าเทียบของตัวยึดติดด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลายที่ได้รับการรับรอง โดยใช้ผู้ตรวจสอบที่มีการฝึกฝนและมีประสบการณ์ (Nondestructive Testing Procedure) เช่น การทดสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle) การซึมลึกของสี (Dye Penetrant) การใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic) และการใช้รังสี (Radiographic) เป็นต้น หรือใช้การทดสอบโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) และการส่งผ่านคลื่นเสียง (Acoustic Emission) ก็ได้ โดยในบริเวณที่มีหน่วยแรงสูงในตัวยึดติด ต้องไม่มีรอยแตกร้าวหรือความบกพร่องที่มีผลต่อกำลังของตัวยึดติด

7.3 เทอร์มินชัน หรือตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (End Fitting)

การติดตั้งตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล ต้องไม่ทำให้เกิดการสะสมของสิ่งสกปรก (Dirt) หรือความชื้น (Moisture) ในตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล ทั้งนี้ต้องพิจารณาป้องกันการกัดกร่อนของเคเบิลเพิ่มเติมในบริเวณที่อาจเกิดการสะสมของสิ่งสกปรกและความชื้นอีกด้วย

7.3.1 ตัวยึดติดเทปด้วยสังกะสี (Zinc-Poured Fitting)

สังกะสีที่นำมาใช้สำหรับเทปตัวยึดติด ต้องเป็นสังกะสีที่มีคุณภาพสูงหรือมีความบริสุทธิ์สูง ตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ASTM B6) โดยตัวยึดติดชนิดนี้ต้องสามารถทนความร้อนได้ถึง 204 องศาเซลเซียส (400 องศาฟาเรนไฮต์)

7.3.2 ตัวยึดติดเทปด้วยเรซิน (Resin-Poured Fitting)

เรซินที่นำมาใช้เทปตัวยึดติด ต้องเป็นเรซินแบบเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับทั้งก่อนและหลังการบ่ม (Curing) เรซินที่นำมาใช้ต้องรับการอนุมัติคุณสมบัติของเรซินซึ่งประกอบด้วย อายุการเก็บ (Shelf Life) การเตรียมการก่อนการใช้งานเรซิน โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตเรซิน นอกจากนี้ตัวเบ้าเสียบเอง ก็ต้องรับออกออกแบบเป็นพิเศษสำหรับตัวยึดติดหล่อเทปด้วยเรซินด้วย

7.3.3 ตัวยึดติดแบบเบ้าเหล็ก (Swaged) คลิป (Clip) และลิ้ม (Wedged)

ตัวยึดติดแบบเบ้าเหล็ก คลิป และลิ้ม สามารถนำมาใช้ได้ โดยวัสดุต้องมีกำลัง (Strength) เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.3

7.4 ดีแฟลคเตอร์ หรือ แแซดเดิล

พื้นผิวของแซดเดิลที่สัมผัสกับลวดสลิง (Rope) หรือลวดเหล็กกล้าดีเกิลียว (Strand) ต้องมีปราศจากรอบขรุขระ ขอบหรือมุมที่แหลมคม และผิวสัมผัสที่มีลักษณะโค้ง (Curved Contact Surface) ต้องมีระยะเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่า เคเบิลจะไม่สัมผัสกับปลายร่องของแซดเดิล (Saddle Groove) ภายใต้ทุกสภาวะการเคลื่อนตัวของเคเบิล (Deflection)

7.5 ตัวจับยึด (Clamp)

ในการออกแบบตัวจับยึดต้องพิจารณา แรงดันแบกทาน (Bearing Pressure) การรวมตัวแน่นของเคเบิล (Cable Compaction) มุมของการแอ่นตัว (Deflection Angle) แรงเสียดทาน (Friction) และลักษณะของร่อง (Groove Contour) ที่กำหนดโดยผู้ผลิตเคเบิล ประกอบการออกแบบ ทั้งนี้พื้นผิวสัมผัสระหว่างตัวจับยึดกับเคเบิลต้องปราศจากมุมหรือขอบที่แหลมคม

8. การเคลือบเพื่อป้องกัน (Protective Coating)

8.1 เคเบิลที่มีการสัมผัสกับบรรยากาศต้องมีการเคลือบเพื่อป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection) ด้วยวิธีที่เทียบเท่า Class A ของการเคลือบสังกะสีบนลวดเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A586 และ A603

8.2 สำหรับเคเบิลที่มีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมรุนแรง (Severe Environmental Condition) ต้องใช้การเคลือบ ด้วยวิธีที่เทียบเท่า Class B หรือ Class C ของการเคลือบสังกะสีบนลวดเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A586 และ A603 หรือวิธีการเคลือบป้องกันที่เทียบเท่า

8.3 การเคลือบป้องกันอัคคีภัย (Fire Protective Coating) ไม่ถือว่าเป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

9. การประกอบ (Fabrication)

9.1 การยืดเคเบิลก่อนการใช้งาน (Prestretching)

เคเบิลต้องได้รับการยืดก่อนการใช้งาน เพื่อให้เกิดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำสุดตามที่ในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือให้เกิดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง

9.2 การวัดความยาวเคเบิล (Cable Length Measurement)

การวัดความยาวเคเบิลต้องทำในสภาวะมีการดึงเคเบิลด้วยแรงดึงที่ระบุในแบบก่อสร้าง ทั้งนี้ถ้ามีกำหนดให้มีการยืดเคเบิลก่อนใช้งาน ให้วัดความยาวของเคเบิลหลังการยืดเคเบิลก่อนใช้งาน

9.3 การทาสีตามแนว (Striping)

เมื่อมีการระบุให้ทาสีเคเบิลตามแนวยาว (Longitudinal Paint Stripe) ให้ทำการทาสีเคเบิลหลังจากดึงเคเบิล ด้วยแรงดึงสำหรับการวัดความยาวของเคเบิล

9.4 การขนส่ง (Shipping)

การขนส่งเคเบิลสามารถทำได้ทั้งในสภาพของการม้วน (Reel) หรือการขด (Coil) ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

9.4.1 ลวดสลิงต้องไม่ถูกม้วนหรือขด ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของม้วนหรือขดเล็กกว่า 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสลิง

9.4.2 ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) หรือเล็กกว่า ต้องไม่ถูกม้วนหรือขด ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของม้วนหรือขดเล็กกว่า 25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

9.4.3 ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ขึ้นไป ต้องไม่ม้วนหรือขด ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของม้วนหรือขดเล็กกว่า 28 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

เนื่องจากขนาดของลวดและการยึดเคเบิลก่อนการใช้งานจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการยืดหยุ่นของเคเบิล (Cable Flexibility) และเคเบิลบางชนิดอาจจะสามารถทนต่อการขดเป็นม้วนหรือเป็นขดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าที่กำหนดในช่วงต้นได้ ดังนั้นการขดเคเบิลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดเล็กกว่าที่กำหนดข้างบนนั้นต้องได้รับการรับรองจากผู้ผลิต เพราะอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียเงื่อนไขในการยึดเคเบิลก่อนการใช้งานตามที่กำหนดไว้

10. การติดตั้ง

10.1 วิธีการติดตั้ง

แบบและเอกสารประกอบต้องแสดงวิธีการและลำดับในการก่อสร้าง โดยวิธีการดังกล่าวต้องระบุถึงข้อสมมติฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับลำดับการติดตั้งที่ตั้งขึ้นในขั้นตอนออกแบบ หากไม่มีการกำหนดเป็นอย่างอื่นในแบบและเอกสารประกอบนี้ ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติตามวิธีการติดตั้งที่แนะนำเท่านั้น ยกเว้นว่ามีตามวิธีการติดตั้งอื่นๆ ที่ได้รับอนุญาตจากผู้ออกแบบ

10.2 การติดตั้งเคเบิล

- 10.2.1 ต้องมีการดูแลรักษาตลอดการติดตั้งเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเคเบิลและวัสดุเคลือบ
- 10.2.2 ต้องไม่ลากเคเบิลไปเหนือหรือรอบวัตถุใดๆ ที่อาจขีดสี ขัดถู หรือทำให้ลวดเสียรูปร่าง จนก่อให้เกิดความเสียหาย หรือการหลุดออกของวัสดุเคลือบ หรืออาจเกิดความเสียหายกับลวดเหล็กและกลุ่มเคเบิล
- 10.2.3 ต้องไม่มอเคเบิลด้วยมุมที่เกินกว่าที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 9.4

10.3 การยึดติดระหว่างช่วง

แซดเดิลและตัวจับยึดระหว่างช่วงต้องติดตั้งในลักษณะที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับเคเบิล และการยึดติดเหล่านี้ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทำให้เคเบิลพันกัน

10.4 การยึดติดถาวร (Permanent Fitting) ในหน้างาน

เมื่อมีการใช้การยึดติดถาวรในหน้างาน ต้องมีการปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับข้อเสนอแนะที่ได้รับการรับรองจากผู้ผลิตเคเบิลและตัวจับยึด

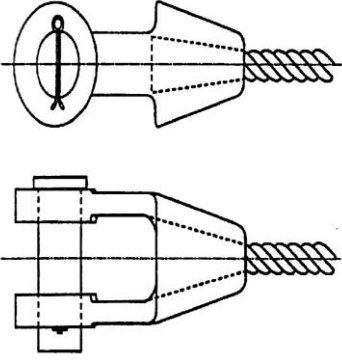
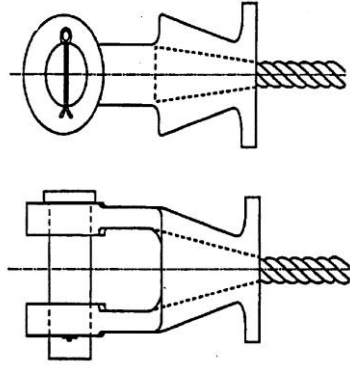
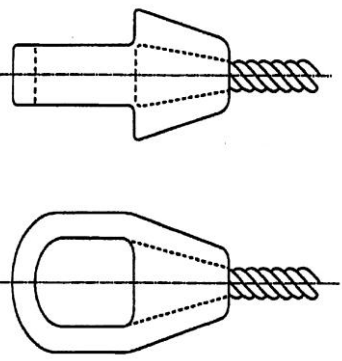
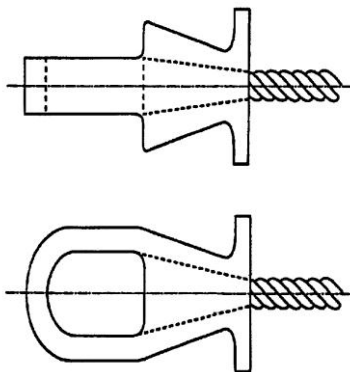
11. เอกสารอ้างอิง

- 11.1 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. มอก. 95-2540 ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง.
- 11.2 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2540. มอก. 348-2540 เหล็กลวดคาร์บอนต่ำ.

- 11.3 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2540. มอก. 420-2540 ลวดเหล็กกล้าดีเกิลีเยว สำหรับคอนกรีตอัดแรง.
- 11.4 The American Society of Civil Engineer. 1996. ASCE 19-96 Standard Guidelines for the Structural Applications of Steel Cables for Buildings. New York.
- 11.5 The International Code Council. 2006. International Building Code 2006.

ผนวก ก: ตัวอย่างของตัวยึดติดที่ปลายเคเบิล (Example of End Fittings)

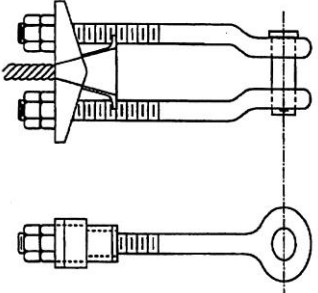
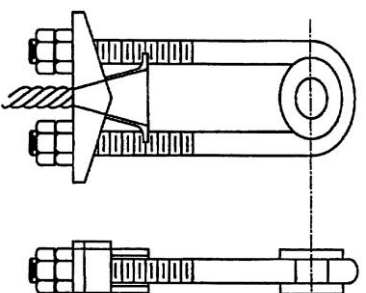
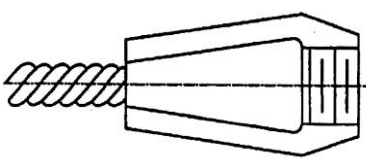
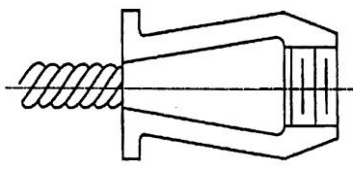
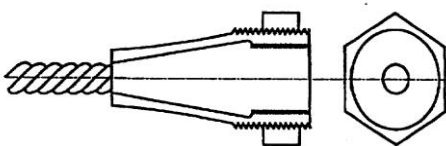
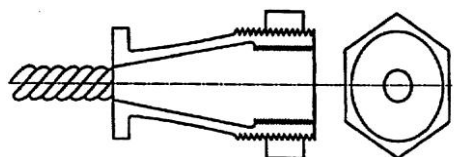
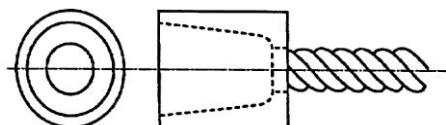
ผนวก ก แสดงตัวอย่างของรูปแบบของตัวยึดติดแบบเบ้าหล่อ (Poured Socket) และตัวยึดติดที่เข้ารูปลงจากการตอก (Swaged End Fitting) การยึดติดระหว่างตัวยึดติดและเคเบิลทั้งหมดให้เป็นไปตามที่กำหนดจากผู้ผลิตตัวยึดติด โดยทั่วไปแล้วตัวยึดติดแบบเทปิดด้วยสังกะสีและแบบเทปิดด้วยเรซิน (Zinc and Resin-Poured Sockets) ไม่ให้ใช้แทนกันได้ และหากมีการใช้ตัวยึดติดกับเคเบิลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 มิลลิเมตรให้ขอคำแนะนำจากผู้ผลิตตัวยึดติด

(1) เบ้าเปิด (Open Socket)	(2) เบ้าเปิดกับตัวรอง (Open Socket with Bearing)
	
(3) เบ้าปิด (Closed Socket)	(4) เบ้าปิดกับตัวรอง (Closed Socket with Bearing)
	

หมายเหตุ

สำหรับเบ้า (1) ถึง (4)

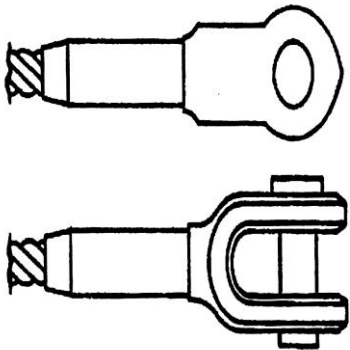
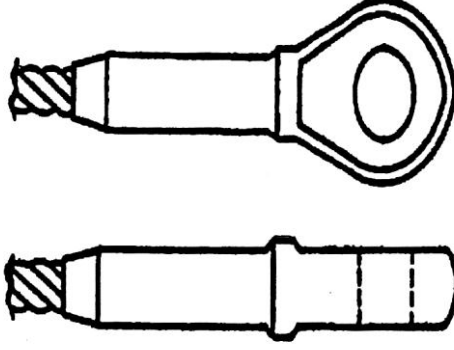
- 1) ที่ยึดติด (Attachments) อาจเป็นทั้งแบบเทปิดด้วยสังกะสีและแบบเทปิดด้วยเรซิน
- 2) ขนาดที่มีสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล ดังนี้
 - 2.1) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวขนาด 12 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว ถึง 4 นิ้ว)
 - 2.2) ลวดสลิงขนาด 6 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว ถึง 4 นิ้ว)

(5) เบ้าเปิดแบบเชื่อมต่อ (Open Bridge Socket) 	(6) เบ้าปิดแบบเชื่อมต่อ (Closed Bridge Socket) 
(7) เบ้าแบบเกลียว (Threaded Socket) 	(8) เบ้าแบบเกลียวกับตัวรอง (Threaded Socket with Bearing) 
(9) เบ้าสำหรับลวดเหล็กตีเกลียวรับแรงดึง (Tensile Strand Socket) 	(10) เบ้าสำหรับลวดเหล็กตีเกลียวรับแรงดึงกับตัวรอง (Tensile Strand Socket with Bearing) 
(11) เบ้าสมอกับตัวรอง (Anchor Socket with Bearing) 	

หมายเหตุ

สำหรับเบ้า (5) ถึง (11)

- 1) ที่ยึดติด (Attachments) อาจเป็นทั้งแบบเทปิดด้วยสังกะสีและแบบเทปิดด้วยเรซิน
- 2) ขนาดที่มีสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล ดังนี้
 - 2.1) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวขนาด 12 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว ถึง 4 นิ้ว)
 - 2.2) ลวดสลิ้งขนาด 9.5 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว ถึง 4 นิ้ว)

(12) เบ้าเปิดแบบเข้ารูปลจากการตอก (Open Swaged Socket)	(13) เบ้าปิดแบบเข้ารูปลจากการตอก (Closed Swaged Socket)
	

หมายเหตุ

สำหรับเบ้า (12) ถึง (13)

- 1) ที่ยึดติด (Attachments) เป็นแบบเข้ารูปลจากการตอก
- 2) ขนาดที่มีสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล ดังนี้
 - 2.1) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ให้ขอคำแนะนำจากผู้ผลิต
 - 2.2) ลวดสลิงขนาด 6 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว ถึง 4 นิ้ว)

(14) เบ้าเปิดแบบลิ้ม (Open Wedge-Type Socket)


หมายเหตุ

สำหรับเบ้า (14)

- 1) ที่ยึดติด (Attachments) เป็นแบบลิ้ม
- 2) ขนาดที่มีสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล ดังนี้
 - 2.1) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ให้ขอคำแนะนำจากผู้ผลิต
 - 2.2) ลวดสลิงขนาด 9.5 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว)

มาตรฐานประกอบออกแบบหอหรือหอยึดโยง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานประกอบออกแบบนี้ ใช้สำหรับประกอบออกแบบหอที่ใช้ติดตั้งเสาอากาศหรือสายอากาศเพื่อการสื่อสารทั้งประเภทที่ไม่มีสายยึดโยง (Free Standing) และมีสายยึดโยง (Guyed Tower) ที่มีความสูงจากพื้นดินตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป และมีวัสดุโครงสร้างเป็นเหล็ก รูปพรรณ อลูมิเนียม และคอนกรีต

1.2 มาตรฐานประกอบออกแบบนี้ครอบคลุมเฉพาะการออกแบบและคำนวณแรงลมที่กระทำต่อหอหรือหอยึดโยงที่มีรูปร่างปกติหรือมีการใช้งานกันโดยทั่วไปเท่านั้น แต่ไม่ครอบคลุมถึงหอหรือหอยึดโยงที่มีการออกแบบเป็นรูปร่างพิเศษทั้งด้านของรูปทรง ขนาด หรือความสูง หรือตั้งอยู่บนสถานที่ซึ่งมีสภาพแวดล้อมพิเศษ เช่น พื้นที่ซึ่งรับแรงลมที่มีกำลังสูงผิดปกติ เป็นต้น

1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“เสาอากาศหรือหอส่งสัญญาณวิทยุ (Antenna)” หมายถึง เสารับหรือส่งสัญญาณวิทยุ รวมถึงแผงรูปแบบต่างๆ ที่ใช้รับหรือส่งสัญญาณวิทยุ

“ความต้านทานปรับค่า (Factored Resistance)” หมายถึง ผลคูณระหว่างความต้านทานกับตัวคูณความต้านทานที่เหมาะสม

“ตัวคูณความต้านทาน (Resistance Factor)” หมายถึง ตัวคูณที่เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนระหว่างกำลังที่แท้จริงกับกำลังระบุ และลักษณะหรือผลของการวิบัติ (อาจเรียกว่า “ตัวคูณลดกำลัง หรือ Strength Reduction Factor”)

“ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor)” หมายถึง ตัวคูณที่เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริงกับน้ำหนักบรรทุกระบุ ความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์จากการแปลงน้ำหนักบรรทุกเป็นผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุก และความเป็นไปได้ที่น้ำหนักบรรทุกวิกฤตจะเกิดขึ้นพร้อมกันมากกว่าหนึ่งชุด

“น้ำหนักบรรทุก (Load)” หมายถึง แรงต่างๆ หรือการกระทำอื่นๆ ที่เป็นผลมาจากน้ำหนักวัสดุของอาคาร น้ำหนักจากการใช้สอยอาคาร ผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนขนาดจากการยืดยึด

“น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (Factored Load)” หมายถึง ผลคูณระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบตามวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก หรือวิธีกำลัง

“น้ำหนักบรรทุกระบุ (Nominal Load)” หมายถึง ขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่ระบุไว้กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคาร

“ผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุก (Load Effect)” หมายถึง แรงและการเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นในองค์อาคารอันเป็นผลจากน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำ

“สมอ (Anchor)” หมายถึง แท่งเหล็ก (Bar) ท่อนเหล็ก (Rod) หรือเหล็กเดือย (Dowel) ที่ฝังในดินหรือหินที่ใช้ในการรองรับ

“สมอยึด (Anchorage)” หมายถึง ระบบที่ทำหน้าที่ยึดตรึงการเคลื่อนตัวของสายยึดโยงหรือกลุ่มของสายยึดโยง

“หน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้” หมายถึง ส่วนราชการ หรือนิติบุคคลตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโยธาธิการและผังเมืองหรือคณะกรรมการควบคุมอาคาร และมีวัตถุประสงค์ในการตรวจรับรองวัสดุและผลิตภัณฑ์ประกอบของอาคารให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

“หอ (Tower)” หมายถึง โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นหอ เสาเดี่ยว หรือโครงถัก ที่สามารถตั้งอยู่ได้ โดยไม่ต้องมีการใช้สายยึดโยง ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการโทรคมนาคม การรับสัญญาณภาพหรือเสียง หรือสายสัญญาณ

“หอยึดโยง (Guyed Tower)” หมายถึง โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นหอ เสาเดี่ยว หรือโครงถัก ที่ต้องมีการใช้สายยึดโยงเพื่อให้สามารถตั้งอยู่ได้ ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการโทรคมนาคม การรับสัญญาณภาพหรือเสียง

“อุปกรณ์เสาอากาศ (Structural Antenna)” หมายถึง เสารับหรือส่งสัญญาณวิทยุและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ซึ่งทำงานร่วมกัน

2.2 สัญลักษณ์

A_f = พื้นที่รับลมของชั้นส่วนแบน หน่วยเป็นตารางเมตร

A_{net} = พื้นที่รับลมสุทธิของหอและโครงถักสูง หน่วยเป็นตารางเมตร

A_p = พื้นที่ของระนาบ หน่วยเป็นตารางเมตร

A_r = พื้นที่รับลมของชั้นส่วนกลม หน่วยเป็นตารางเมตร

A_s = พื้นที่รับลมของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบเดียวกับโครงถัก หน่วยเป็นตารางเมตร

C_a = ค่าประกอบเนื่องจากแรงลมที่เพิ่มขึ้นบริเวณหลังคา (Roof Wind Speed up Factor)

C_d	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (Drag Factor)
C_{df}	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม สำหรับชิ้นส่วนแบน
C_{dr}	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม สำหรับชิ้นส่วนกลม
C_e	=	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (Exposure Factor)
C_g	=	ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (Gust Effect Factor)
F_u	=	กำลังรับแรงดึงประลัย (Tensile Strength) หน่วยเป็นเมกะปาสกาล
H_x	=	ความสูงจากพื้นดิน ณ ตำแหน่งที่คำนวณค่าหน่วยแรงลมออกแบบ หน่วยเป็นเมตร
I_w	=	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม
K_1	=	ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างของชิ้นส่วน
K_2	=	ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ระนาบ
KL	=	ความยาวประสิทธิผล (Effective Length)
K	=	ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor)
L	=	ความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน (Unbraced Length)
P	=	หน่วยแรงลมออกแบบ (Design Wind Pressure) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
q	=	หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (Reference Velocity Pressure) หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
r	=	รัศมีไจเรชั่น (Radius of Gyration)
R_s	=	อัตราส่วนความทึบ (Solidity Ratio)
W	=	แรงลม (Wind Load)
ϕ	=	ตัวคูณความต้านทาน

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

- 3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1311: มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร
- 3.1.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1352: มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างอลูมิเนียม

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างอิงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้เป็นสำคัญ

4. โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

4.1 ข้อพิจารณาทั่วไป

4.1.1 ในการออกแบบหรือหอยึดโยงที่ใช้เหล็กรูปพรรณเป็นวัสดุก่อสร้างให้นำข้อกำหนดในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณสำหรับอาคารทั่วไปมาประกอบเป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดในการออกแบบด้วย โดยส่วนของข้อกำหนดที่ต้องนำมาพิจารณาได้แก่

- (1) คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง
- (2) อัตราส่วนความกว้าง-ความหนาของ (Width-Thickness Ratio) ของชิ้นส่วนรับแรงอัด
- (3) พื้นที่รวมและพื้นที่สุทธิ (Gross and Net Area)
- (4) กำลังต้านทานของชิ้นส่วนและจุดต่อ (Member and Connection Resistance)
- (5) คาน (Beam and Girder)
- (6) จุดต่อ (Connection)
- (7) สลักเกลียว (Bolt)
- (8) การเชื่อม (Welding)
- (9) ฐานของเสา (Column Base)
- (10) สมอและสมอยึด (Anchor and Anchorage)
- (11) การประกอบติดตั้ง (Fabrication)
- (12) การตรวจสอบ (Inspection)

4.1.2 ทั้งนี้ถ้าข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับข้อกำหนดที่นำมาพิจารณาในข้อ 4.1.1 แล้ว ให้ยึดถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นหลัก

4.1.3 การคำนวณกำลังรับแรงน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ที่มีหน้าตัดเหล็กรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงเหล็กฉาก (Angles) ที่มีกำหนดในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนของหอหรือหอยึดโยง

4.2 ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member)

ในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดจะต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ซึ่งมีค่าเท่ากับความยาวประสิทธิผล (KL) หารด้วยรัศมีไจเรชั่น (r) ในทิศทางที่สอดคล้องกัน โดยความยาว

ประสิทธิภาพ สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่าง ตัวประกอบความยาวประสิทธิภาพ (Effective Length Factor, K) และความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน (Unbraced Length, L)

4.2.1 อัตราส่วนความชะลูดสูงสุด (Maximum Slenderness Ratio)

ค่าอัตราส่วนความชะลูดสูงสุดของชิ้นส่วนรับแรงอัดให้ป็นดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ชิ้นส่วนหลัก (Main Member)

- (1) ชิ้นส่วนขา (Leg Member) มีค่าไม่เกิน 120
- (2) ชิ้นส่วนหลัก อื่นที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนขา มีค่าไม่เกิน 200

4.2.1.2 ชิ้นส่วนรอง (Secondary Member)

มีค่าไม่เกิน 240

4.2.2 ชิ้นส่วนขา (Leg Member)

4.2.2.1 เมื่อชิ้นส่วนถัก (Web Member) ของด้านชิดกันต่อเข้ากับชิ้นส่วนขาที่ระดับเดียวกันตามรูปที่ 1 ความยาวของชิ้นส่วนขาให้ใช้เท่ากับระยะระหว่างจุดต่อของชิ้นส่วนถักเมื่อวัดศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง (ระยะ L_1 ในรูปที่ 1) โดยค่า K ให้ใช้เท่ากับ 1.0 และค่ารัศมีไจเรชั่นให้ใช้ค่าต่ำสุด

4.2.2.2 เมื่อชิ้นส่วนถักของด้านชิดกันไม่ได้ต่อเข้ากับชิ้นส่วนขาที่ระดับเดียวกันตามรูปที่ 2 การคำนวณอัตราส่วนความชะลูดให้ใช้ค่าที่มากกว่าจากทั้งสองกรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 L = ระยะจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระหว่างจุดต่อของชิ้นส่วนถักที่อยู่บนด้านใดๆ (ระยะ L_1 ในรูปที่ 2)

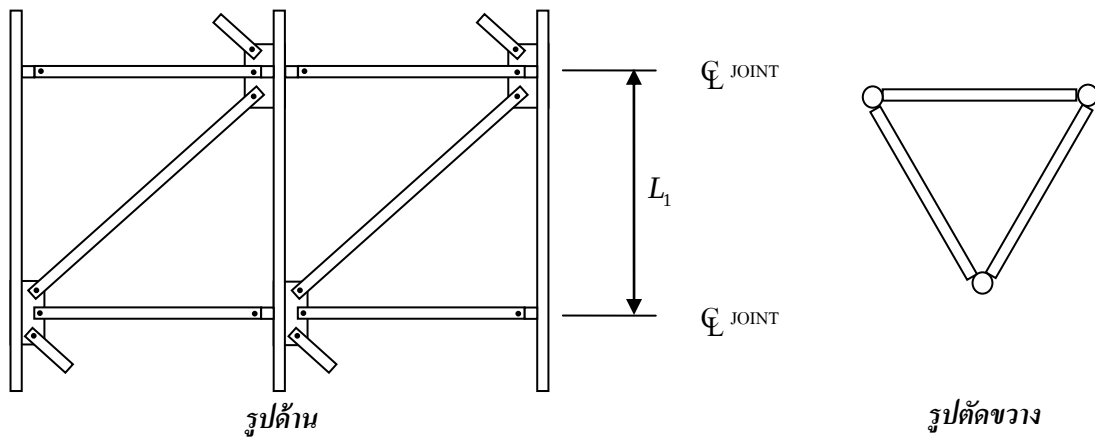
r = รัศมีรัศมีไจเรชั่นที่ขนานกับระนาบของด้านชิดกัน

K = 1.0

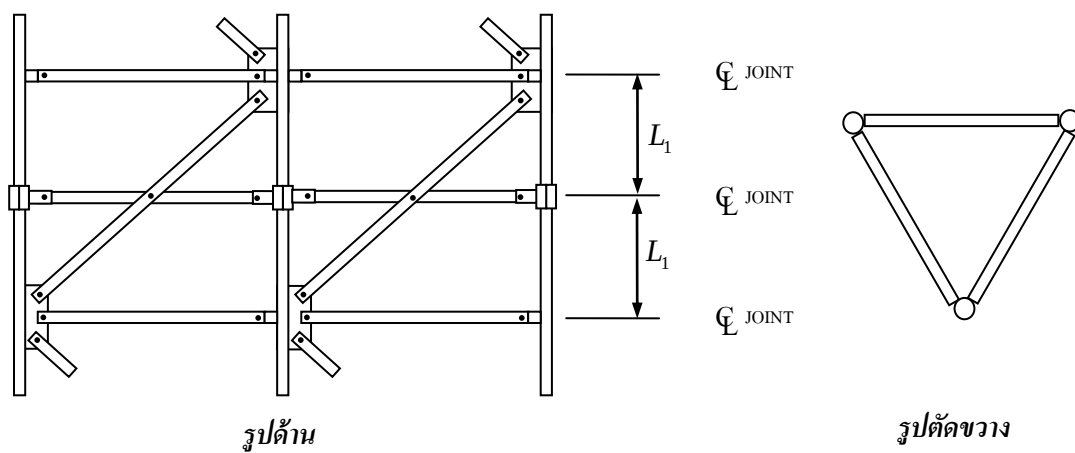
กรณีที่ 2 L = ระยะจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระหว่างจุดต่อของชิ้นส่วนถักของด้านตรงข้าม (ระยะ L_2 หรือ L_3 ในรูปที่ 2)

r = รัศมีรัศมีไจเรชั่นที่มีค่าน้อยสุด

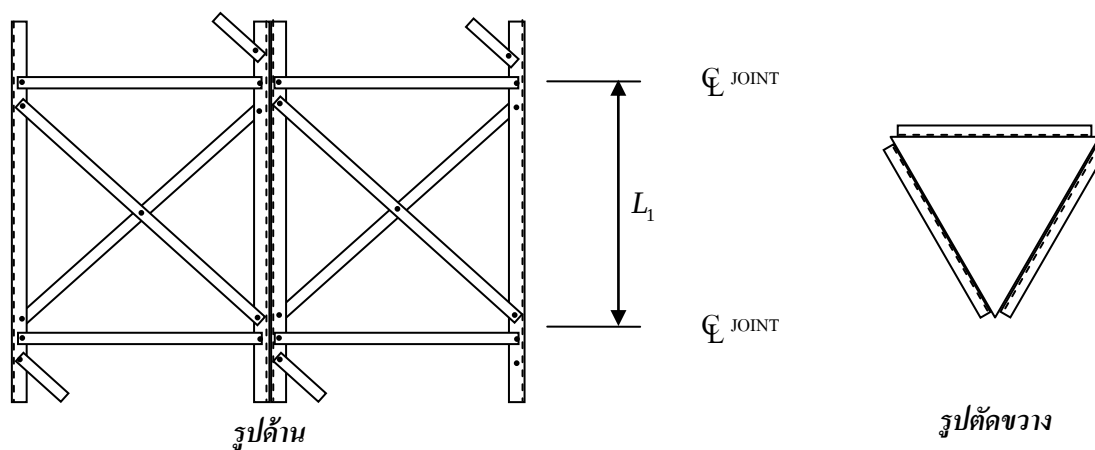
K = 1.0



(ก) ระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถัก (Web Member System)



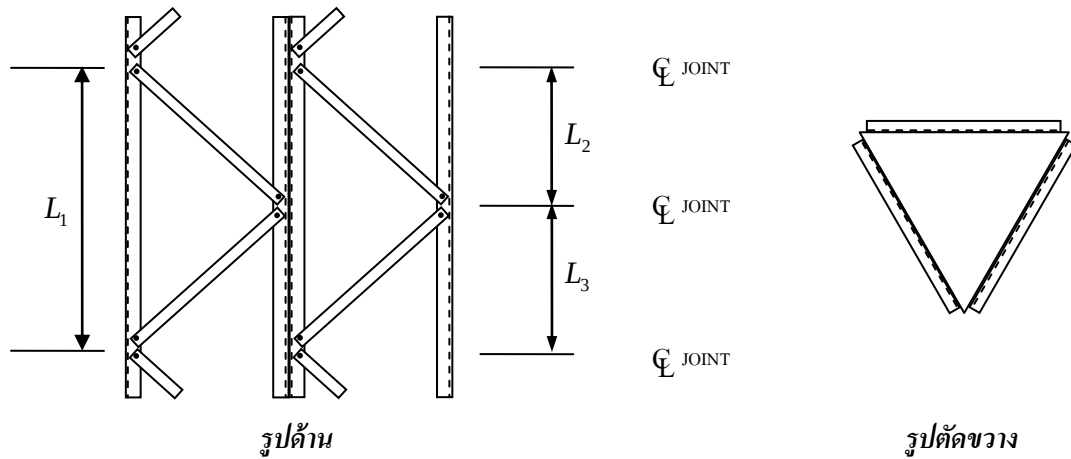
(ข) ระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักที่เพิ่มตัวถักกลาง (Web Member System with Additional Girt)



(ค) ระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักคู่ (Double Web Member System)

รูปที่ 1 ความยาวของชิ้นส่วนของระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักลักษณะต่างๆ

(ข้อ 4.2.2.1)



รูปที่ 2 ความยาวของชิ้นส่วนขาของระบบที่ใช้เฉพาะกับชิ้นส่วนลัดทแยง
(ข้อ 4.2.2.2)

4.2.2.3 ในกรณีที่อัตราส่วนความชะลูดของหอยืดโยงมีค่ามากกว่าอัตราส่วนความชะลูดของชิ้นส่วนขาชิ้นหนึ่งๆ แล้ว การออกแบบชิ้นส่วนขาให้ใช้อัตราส่วนความชะลูดของหอยืดโยง เว้นแต่จะวิเคราะห์ให้ตัวหอ (Mast) มีพฤติกรรมเป็นแบบคาน-เสา (Beam-Column) โดยให้ใช้ค่า K เท่ากับ 1.0 และระยะ L เท่ากับระยะระหว่างความสูงของที่รองรับ และสำหรับช่วงยื่น (Cantilever Span) ให้ใช้ระยะ L เท่ากับระยะจากระดับของตัวรองรับสูงสุดไปยังยอดของหอยืดโยง

4.2.3 ชิ้นส่วนลัด (Web Member)

ข้อกำหนดต่างๆ ของชิ้นส่วนลัดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.2.3.1** ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันของชิ้นส่วนลัดนั้นจะมีค่าเท่ากับระยะระหว่างจุดตัดของจุดเซนทรอยด์ของชิ้นส่วน (Centroid of Member) ตัวอย่างเช่น ในระบบยึดโยงโดยชิ้นส่วนลัดอย่างง่าย (Simple Web Bracing System) ที่มีชิ้นส่วนลัดต่อเข้ากับชิ้นส่วนขาโดยตรง หรือโดยใช้เหล็กแผ่นปะกับ (Gusset) แล้ว ความยาวของชิ้นส่วนลัดให้ใช้ระยะตามแนวชิ้นส่วนลัดจากจุดเซนทรอยด์ของชิ้นส่วนขาหนึ่งไปยังจุดเซนทรอยด์ของอีกชิ้นส่วนขาหนึ่ง เป็นต้น
- 4.2.3.2** สำหรับชิ้นส่วนลัดที่เป็นเหล็กฉากเดี่ยว (Single Angle Member) และมีจุดต่อที่ปลายชิ้นส่วนเป็นสลักเกลียวตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปและอยู่ในแนวเดียวกัน หรือ

เป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สามารถออกแบบให้ชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดในแนวแกนโดยไม่ต้องพิจารณาการเยื้องศูนย์จากเซนทรอยด์ของชิ้นส่วนที่จุดต่อนั้น และให้ใช้ค่า K เท่ากับ 0.9

หากค่า KL/r มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 120 ให้ใช้ค่า ϕ เท่ากับ 0.90 และในกรณีที่ค่า KL/r มีค่าน้อยกว่า 120 แล้วให้ใช้ค่า ϕ เท่ากับ 0.72 เว้นแต่ค่าความต้านทานปรับค่า ϕR ที่คำนวณจากค่า ϕ เท่ากับ 0.90 และ KL/r เท่ากับ 120 จะให้ค่าที่ต่ำกว่า

4.2.3.3 สำหรับชิ้นส่วนถักที่เป็นเหล็กฉากเดี่ยว (Single Angle Member) และมีจุดต่อที่ปลายชิ้นส่วนเป็นสลักเกลียวตัวเดียว หรือเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สามารถออกแบบให้ชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดในแนวแกนโดยใช้ค่า K เท่ากับ 0.9 และ ϕ เท่ากับ 0.72

4.2.3.4 สำหรับชิ้นส่วนถักที่เป็นเหล็กฉากคู่หลังชนกัน (Double Angle Members) และมีจุดต่อที่ปลายชิ้นส่วนเป็นสลักเกลียวตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป หรือเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สามารถออกแบบให้ชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดในแนวแกนโดยใช้ค่า K เท่ากับ 0.9 และ ϕ เท่ากับ 0.9 โดยเหล็กฉากคู่หลังชนกันต้องถูกยึดติดเข้าด้วยกันเป็นระยะๆ ด้วยแผ่นเหล็กเสริม (Filler) เพื่อป้องกันอัตราส่วนความชะลูดของเหล็กฉากเดี่ยวมีค่าเกินกว่าอัตราส่วนความชะลูดของเหล็กฉากคู่ แต่สำหรับกรณีที่ต้องคำนวณเป็นเหล็กฉากเดี่ยวให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยที่สุดของหน้าตัดและใช้ค่า K เท่ากับ 1.0

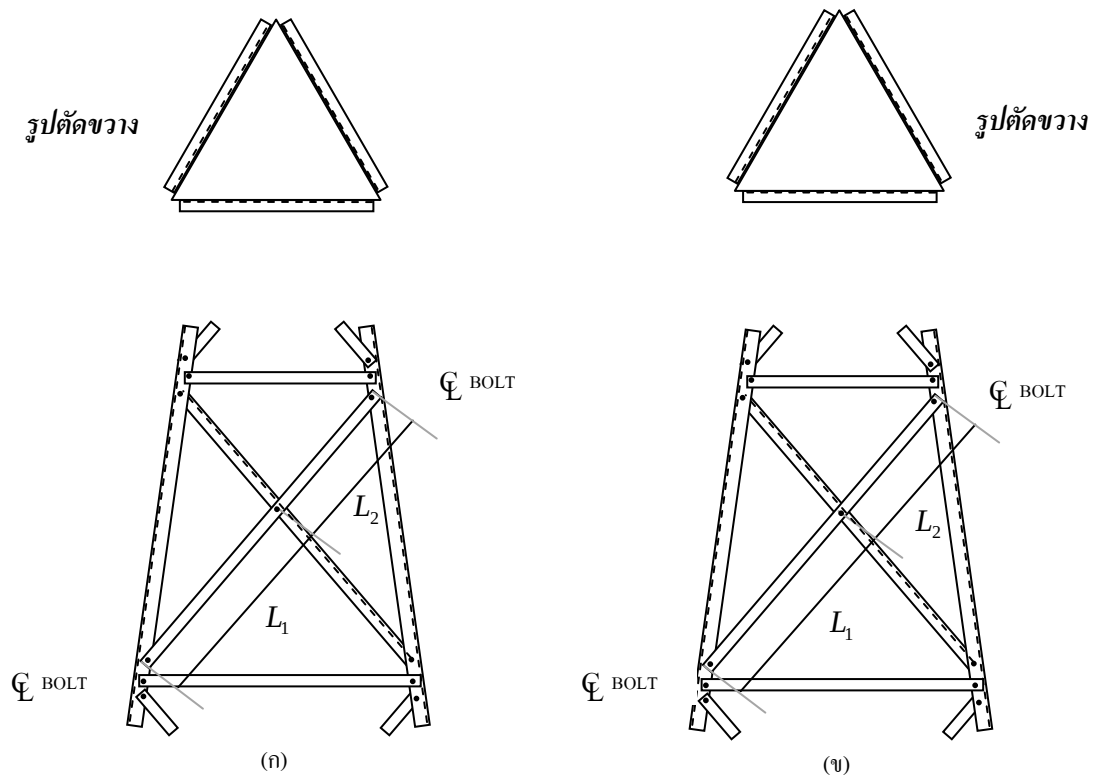
ในกรณีที่เหล็กฉากคู่หลังชนกันแต่ไม่มีการยึดติดกันดังกล่าวข้างต้น ให้คำนวณออกแบบชิ้นส่วนโดยพิจารณาเป็นชิ้นส่วนเหล็กฉากเดี่ยว 2 ชิ้น

4.2.3.5 สำหรับชิ้นส่วนเหล็กฉากคู่หลังชนกันที่จุดต่อที่ปลายชิ้นส่วนเป็นสลักเกลียวตัวเดียว หรือเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ให้พิจารณารายละเอียดต่างๆ ตามข้อ 4.2.3.4 โดยใช้ค่า K เท่ากับ 1.0 แทน

4.2.3.6 สำหรับชิ้นส่วนหน้าตัดรูปทรงอื่น เช่น เหล็กกลมตัน (Solid Round) ท่อเหล็ก (Tube) ท่อกลมกลวง (Pipe) และเหล็กรางน้ำ (Channel) เป็นต้น ให้นำหลักการทั่วไปของการออกแบบชิ้นส่วนเหล็กฉากที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้มา

ประยุกต์ใช้งาน ทั้งนี้สำหรับจุดต่อที่ใช้สลักเกลียวหลายตัวและไม่ได้พิจารณาผลของการเยื้องศูนย์ (Eccentricity) ให้ใช้ ϕ เท่ากับ 0.90 และค่า K เท่ากับ 0.9 สำหรับจุดที่ใช้สลักเกลียวเพียง 1 ตัว ค่า ϕ ให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.72 เว้นแต่จะมีการพิจารณาผลของการเยื้องศูนย์ และให้ใช้ค่า K เท่ากับ 1.0

4.2.3.7 สำหรับระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักคู่ (Double Web Member System) ในกรณีที่ชิ้นส่วนรับแรงอัดเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนรับแรงดึง ความยาวของชิ้นส่วนถักรับแรงอัดให้ใช้ระยะจากจุดตัดของชิ้นส่วนทั้งสองไปถึงจุดเซนทรอยด์ของชิ้นส่วนที่ปลายของชิ้นส่วนที่รับแรงอัด (L_1 หรือ L_2 ในรูปที่ 3) และให้ใช้ค่า K เท่ากับ 1.0



รูปที่ 3 ความยาวของชิ้นส่วนถักของระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักคู่
(ข้อ 4.2.3.7)

4.2.3.8 สำหรับชิ้นส่วนถักที่ใช้เป็นตัวค้ำยันด้านข้าง (Lateral Support) ของชิ้นส่วนขา จะต้องมีความสามารถในการรับแรงด้านข้าง (Lateral Force) ได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 2 ของแรงอัดสูงสุดในชิ้นส่วนขา ทั้งนี้ผู้ออกแบบสามารถใช้ค่าแรง ด้านข้างที่ต่ำกว่าที่กำหนดนี้ได้ แต่ต้องมีผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ อันแสดง ให้เห็นว่ากำลัง (Strength) และสติฟเนส (Stiffness) ของชิ้นส่วนมีค่าเพียงพอ แต่ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของแรงด้านข้างดังกล่าวพร้อมกับน้ำหนัก บรรทุกอื่น เช่น แรงเฉือนที่เกิดจากลม (Wind Shear Load) เป็นต้น

จากข้อกำหนดข้างต้น สามารถสรุปค่า K และค่า ϕ สำหรับชิ้นส่วนถักที่ ไม่ใช่ชิ้นส่วนขาได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลและตัวคูณความต้านทานของ ชิ้นส่วนถักที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนขาตามลักษณะของชิ้นส่วนและจุดต่อ
(ข้อ 4.2.3.8)

ลักษณะของชิ้นส่วน	ลักษณะของการจุดต่อ	ค่า K	ϕ สำหรับแรงอัดในแนวแกน
เหล็กลากเดี่ยว	สลักเกลียว 2 ตัว หรือมากกว่า โดย $KL/r \geq 120$	0.9	0.90
เหล็กลากเดี่ยว	สลักเกลียว 2 ตัว หรือมากกว่า โดย $KL/r < 120$	0.9	0.72 แต่กำลังต้านทานในทุกกรณี จะต้องไม่น้อยกว่า กรณีที่ คำนวณจาก $\phi = 90$ และ $KL/r = 120$
เหล็กลากเดี่ยว	สลักเกลียว 1 ตัว	1.0	0.72
เหล็กลากคู่	สลักเกลียว 2 ตัว หรือมากกว่า	0.9	0.90
เหล็กลากคู่	สลักเกลียว 1 ตัว	1.0	0.90
ระบบที่ใช้ชิ้นส่วนถักคู่			
เหล็กลากเดี่ยว	จุดต่อทุกลักษณะ	1.0	0.72
เหล็กลากคู่	จุดต่อทุกลักษณะ	1.0	0.90

4.3 ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member)

4.3.1 ชิ้นส่วนขา

ชิ้นส่วนขาและจุดต่อของชิ้นส่วนขาจะต้องมีความต้านทานแรงดึงปรับค่า เท่ากับหรือมากกว่าแรงดึงปรับค่า (Factored Tensile Force) ที่กระทำต่อชิ้นส่วน แต่ไม่ว่าในกรณีใดๆ ความต้านทานปรับค่าของชิ้นส่วนและจุดต่อของชิ้นส่วนที่รับแรงดึงจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของแรงอัดปรับค่าที่กระทำ

4.3.2 ชิ้นส่วนหลัก

ในการคำนวณกำลังรับแรงดึงของชิ้นส่วนหลักที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนขาและเป็นเหล็กฉากเดี่ยว ไม่ต้องพิจารณาผลของการเยื้องศูนย์

4.4 สลักเกลียว (Bolt)

4.4.1 วัสดุ

- (1) มาตรฐานของวัสดุและผลิตภัณฑ์สำหรับสลักเกลียวที่จะนำมาใช้ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน ASTM (A307, A325, A325 และ A394) และมาตรฐาน CSA (B33.4) เป็นต้น
- (2) สำหรับสลักเกลียวชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดในข้อ (1) สามารถนำมาใช้งานได้ แต่ต้องมีการทดสอบหาค่าต่ำสุดของกำลังรับแรงดึงประลัย เพื่อใช้ในการออกแบบและคำนวณ ห้ามใช้สลักเกลียวที่ทำจากเหล็กกล้าสูงชุบสังกะสีที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM A490 เป็นต้น
- (3) สลักเกลียวที่จะนำมาใช้งาน ต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องกับชนิดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ก่อสร้างโครงสร้างหรือหอยึดโยง เช่น โครงสร้างที่ใช้เหล็กแบบทนทานต่อสภาพอากาศ ต้องใช้สลักเกลียว (Bolt) นอต (Nut) และแหวน (Washer) ที่ทำแบบทนทานต่อสภาพอากาศ (Weathering) เป็นต้น

4.4.2 กำลังต้านทานของจุดต่อ (Connection Resistance)

4.4.2.1 กำลังต้านทานของสลักเกลียว (Bolt Resistance) ต้องพิจารณาตามข้อกำหนดที่กำหนดในตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

4.4.2.2 กำลังรับแรงดึงประลัยที่ใช้ในการคำนวณกำลังของสลักเกลียว ต้องเป็นค่าต่ำสุดที่กำหนดอยู่ในมาตรฐานของสลักเกลียวชนิดนั้นๆ

สำหรับสลักเกลียวตามมาตรฐาน ASTM A325, A325-M และ CSA B33.4 Grade 5 และ 5.2 ให้ใช้กำลังรับแรงดึงดังนี้

- (1) สลักเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) หรือเล็กกว่า ต้องมีกำลังรับแรงดึงไม่น้อยกว่า 825 เมกะปาสกาล
- (2) สลักเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ต้องมีกำลังรับแรงดึงไม่น้อยกว่า 725 เมกะปาสกาล

สำหรับสลักเกลียวตามมาตรฐาน ASTM A394, A307 และ CSA B33.4 Grade 2 ต้องมีกำลังรับแรงดึงไม่น้อยกว่า 415 เมกะปาสกาล

4.4.3 รายละเอียดของสลักเกลียว

รายละเอียดเกี่ยวกับสลักเกลียวที่ใช้ในโครงสร้างห่อหรือหอยืดโยง ประกอบด้วย

- (1) จุดต่อแบบแบททาน (Bearing Type Connection) ที่ใช้สลักเกลียวตามมาตรฐาน ASTM A325 ต้องพิจารณาเป็นจุดต่อแบบ Stress Reversal
 - (2) สำหรับจุดต่อที่ไม่ใช้สลักเกลียวตามมาตรฐาน ASTM A325 จะต้องป้องกันการคลายตัวของนอตขณะใช้งาน (Working Loose) โดยการอัด (Jam) หรือการใช้นอตล็อก (Lock Nut) แหวนล็อก (Lock Washer) หรือวิธีการอื่นๆ ซึ่งยอมรับโดยวิศวกร
- รายละเอียดต่างๆ ของสลักเกลียวในกรณีที่ไม่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ให้ประยุกต์ใช้จากมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

4.5 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection)

- 4.5.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กgrupพรรณทั้งหมดควรเคลือบด้วยสังกะสี (Zinc) หรือควรเป็นเหล็กgrupพรรณแบบทนทานต่อสภาพอากาศ (Weathering Steel)
- 4.5.2 การชุบเหล็กด้วยวิธีชุบร้อน (Hot Dipped Galvanized) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
- 4.5.3 การพ่นโลหะสังกะสี (Zinc Metal Spray) สามารถนำมาใช้ได้เมื่อได้รับอนุมัติจากวิศวกร โดยจะต้องมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 10 ถึง 20 ปี

4.6 ความหนาต่ำสุด (Minimum Thickness)

ความหนาต่ำสุดของชิ้นส่วนเหล็กgrupพรรณที่ใช้ในการก่อสร้างห่อและโครงสร้างถัก จะต้องไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร สำหรับตะแกรงพื้น (Floor Grating) และส่วนประกอบอื่นที่คล้ายคลึงกันสามารถใช้ความหนาตามมาตรฐานของผู้ผลิตได้

4.7 การเชื่อม (Welding)

การออกแบบและการก่อสร้างต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมให้ปฏิบัติตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

5. การคำนวณออกแบบโครงสร้างอลูมิเนียมสำหรับโครงสร้างหอหรือหอยึดโยง

5.1 ข้อพิจารณาทั่วไป

ความต้านทานปรับค่าของชิ้นส่วนอลูมิเนียมทั้งหมดบนโครงสร้างหอหรือหอยึดโยงจะต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแรงปรับค่าภายในชิ้นส่วน โดยการคำนวณความต้านทานปรับค่าให้เป็นไปตามมาตรฐาน มขพ. 1352: มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างอลูมิเนียม

5.2 วัสดุ

5.2.1 โลหะอลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy)

5.2.1.1 โลหะอลูมิเนียมผสมต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานของวัสดุอลูมิเนียมผสมที่เกี่ยวข้อง

5.2.1.2 ในการออกแบบโครงสร้างอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสมทุกประเภท สามารถใช้คุณสมบัติเชิงกลที่แสดงด้านล่าง ดังต่อไปนี้

- | | | |
|-----|--|-------------------------------|
| (1) | ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus) | 70,000 เมกะปาสกาล |
| (2) | ค่าโมดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus) | 26,000 เมกะปาสกาล |
| (3) | ค่าความหนาแน่นมวล (Mass Density) | 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| (4) | สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ
(Coefficient of Thermal Expansion) | 0.00024 °C ⁻¹ |

5.2.2 ลวดเชื่อมและอิเล็กโทรด (Welding Rod and Electrode)

ลวดเชื่อมและอิเล็กโทรดที่จะนำมาใช้ในการเชื่อมต่อโครงสร้างอลูมิเนียมต้องได้รับการรับรองมาตรฐานจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

5.2.3 สลักเกลียว (Bolt)

- (1) สลักเกลียวทำจากโลหะอลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy Bolt) ต้องผลิตจากโลหะอลูมิเนียมผสมชั้น Alloy 6061-T6 ที่มีการขึ้นรูปเกลียว (Rolled Thread)
- (2) สลักเกลียวทำจากเหล็ก (Steel Bolt) ต้องผ่านการชุบสังกะสีด้วยวิธีชุบร้อน (Hot Dipped Galvanized)
- (3) สำหรับสลักเกลียวชนิดอื่นๆ ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานรับรองที่เชื่อถือได้ สามารถนำมาใช้ได้ แต่ต้องมีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึงประลัยต่ำสุด เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบ

- (4) ห้ามใช้สลักเกลียวที่ทำจากเหล็กกำลังสูงชุบสังกะสีที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM A490

5.3 การออกแบบ

- 5.3.1 การออกแบบโครงสร้างโลหะอลูมิเนียมผสมให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1352 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างอลูมิเนียม
- 5.3.2 อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ไม่ควรมีค่าเกินกว่าข้อกำหนดดังต่อไปนี้
- | | |
|--|-----|
| (1) ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member) | |
| ที่เป็นชิ้นส่วนขา (Leg) | 120 |
| ที่เป็นชิ้นส่วนทแยง (Diagonal) | 150 |
| (2) ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member) | 200 |
| (3) ท่อ (Tube) ที่รับแรงอัดหรือแรงดึง | 100 |
- 5.3.3 ชิ้นส่วนจะต้องมีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาที่ไม่ทำให้การโก่งเดาะเฉพาะที่หรือการโก่งเดาะเชิงการบิดเป็นปัจจัยในการควบคุมการออกแบบชิ้นส่วน

5.4 จุดต่อ (Connection)

- 5.4.1 ในการคำนวณออกแบบจะต้องพิจารณาให้ สลักเกลียวมีพฤติกรรมเป็นสลักเกลียวแบบแบกทาน (Bearing) โดยไม่พิจารณาแรงเสียดทาน และห้ามนำสลักเกลียวแบบ Ribbed Bolts มาใช้
- 5.4.2 การเชื่อมในการยกขึ้นติดตั้งหรือประกอบโครงสร้าง (Fabrication or Erection of Structure) จะต้องกระทำโดยช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรอง (Certified) และเชื่อมตามรายละเอียดที่กำหนดในมาตรฐานงานเชื่อมที่เกี่ยวข้อง
- 5.4.3 การเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กรูปพรรณและอลูมิเนียมเข้าด้วยกันให้ใช้สลักเกลียวที่เป็นเหล็ก

5.5 การป้องกันการกัดกร่อน

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างโลหะอลูมิเนียมผสมไม่ต้องการป้องกันการกัดกร่อน เว้นแต่ในกรณีที่โครงสร้างโลหะอลูมิเนียมผสมมีการสัมผัสกับเหล็กเปลือย (Bare Steel) คอนกรีตดิบ (Green Concrete) และดินที่มีความชื้น (Damp Earth) จะต้องมีการป้องกันการกัดกร่อนตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

6. การคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับโครงสร้างหอหรือหอยึดโยง

- 6.1 การออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีต รวมไปถึงส่วนที่เป็นฐานรากและสมอยึด (Anchorage) ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีต

6.2 น้ำหนักที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของหอหรือหอยีดโยง ให้พิจารณาคำนวณตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารและข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

6.3 การออกแบบหอกลมกลวงคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับหอหรือหอยีดโยง จะต้องเป็นตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีต

7. แรงลมที่กระทำต่อหอหรือหอยีดโยง

7.1 แรงลม (Wind Load)

แรงลมที่กระทำต่อหอหรือหอยีดโยงให้คำนวณตามสมการที่ (1) เว้นแต่กรณีที่หอหรือหอยีดโยงมีการใช้ชิ้นส่วนแบน (Flat Members) หรือชิ้นส่วนกลม (Round Members) ให้คำนวณจากสมการที่ (2)

$$W = P \cdot C_d \cdot A_{net} \quad (1)$$

$$W = P \cdot (C_{df} A_f + C_{dr} A_r) \quad (2)$$

โดยที่ W คือ แรงลมที่กระทำต่อหอหรือหอยีดโยง มีหน่วยเป็นนิวตัน

P คือ หน่วยแรงลมออกแบบ (Design Wind Pressure) ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.1

C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.4

C_{df} คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม สำหรับชิ้นส่วนแบน (Flat Members) ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.4

C_{dr} คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม สำหรับชิ้นส่วนกลม (Round Members) ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.4

A_{net} คือ พื้นที่รับแรงลมสุทธิของหอหรือหอยีดโยง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

A_f คือ พื้นที่รับลมของชิ้นส่วนแบน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

A_r คือ พื้นที่รับลมของชิ้นส่วนกลม มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

ทั้งนี้การพิจารณาค่า W ให้พิจารณาถึงทิศทางลม (Wind Direction) ร่วมด้วย ตามหลักการดังต่อไปนี้

7.1.1 แรงลมสูงสุดที่คำนวณตามสมการที่ (1) หรือสมการที่ (2) ต้องพิจารณาให้กระทำต่อหอในลักษณะที่ทำให้เกิดค่าแรงสูงสุดในชิ้นส่วนใดๆ ของโครงสร้างหอ

7.1.2 สำหรับหอหรือหอยีดโยงที่มีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangular Tower) ควรพิจารณาแรงลมที่ทำมุม 30 องศา 60 องศา และ 90 องศา กับพื้นผิวของหอ

7.1.3 สำหรับหอหรือหอยีดโยงที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Square Tower) ควรพิจารณาแรงลมที่ทำมุม 45 องศา และ 90 องศา กับพื้นผิวของหอ

- 7.1.4** สำหรับแรงลมที่กระทำกับสายอากาศ (Antennas) ควรเป็นแรงที่คำนวณจากลมในทิศทางต่างๆ อันก่อให้เกิดหน่วยแรงสูงสุดขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลจากแรงเฉือน (Shear) และแรงบิด (Torsion) ที่เกิดขึ้นจากลมด้วย
- 7.1.5** สำหรับโครงสร้างที่มีสายอากาศยึดติดอยู่ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ในระดับที่แตกต่างกัน ให้ทำการคำนวณหาหน้าผกบรรทุกสูงสุดสำหรับสายอากาศแต่ละตัว โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของทิศทางหรือตำแหน่งของกลุ่มสายอากาศเหล่านี้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลจากแรงเฉือนและแรงบิด ที่เกิดขึ้นจากลมด้วย

7.2 หน่วยแรงลมออกแบบ

หน่วยแรงลมออกแบบ (P) สามารถคำนวณได้จาก

$$P = I_w \cdot q \cdot C_e \cdot C_a \cdot C_g \quad (3)$$

โดยที่	P	คือ	หน่วยแรงลมออกแบบ ที่กระทำต่อหอหรือหอยึดโยง
	I_w	คือ	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1.0
	q	คือ	หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดใน มยผ. 1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร
	C_e	คือ	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.3
	C_a	คือ	ค่าประกอบเนื่องจากแรงลมที่เพิ่มขึ้นบริเวณหลังคา ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในข้อ 7.4
	C_g	คือ	ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (Gust Effect Factor) ให้ใช้เท่ากับ 2.0

7.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

เมื่อสภาพภูมิประเทศเป็นที่โล่ง สามารถคำนวณได้จาก

$$C_e = \left(\frac{H_x}{10} \right)^{0.2} \quad (4)$$

โดยที่	C_e	คือ	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (Exposure Factor) ทั้งนี้ควรมีค่าตั้งแต่ 1.0 ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 2.0
	H_x	คือ	ความสูงจากพื้นดิน ณ ตำแหน่งที่คำนวณค่าหน่วยแรงลมออกแบบ มีหน่วยเป็น เมตร

โดยการพิจารณาคำนวณหาค่า C_e ให้พิจารณาตามหลักการดังต่อไปนี้

- 7.3.1** สำหรับโครงถักสูง (Guyed Structure) นั้น ช่วงคาน (Span) ของชิ้นส่วนในแต่ละช่วง เมื่อพิจารณาตามระดับของโครงถักสูง (Guy Level) สามารถใช้ค่าเฉลี่ยของ C_e ได้ตลอดความยาวของช่วงคานนั้นๆ

- 7.3.2 สำหรับโครงสร้างที่ไม่มีสายยึดโยง (Self-supporting Structure) ค่า C_e ควรคำนวณ ณ ความสูงของจุดต่อในโครงถัก (Panel Point) ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกระทำ
- 7.3.3 สำหรับโครงสร้างของเสาอากาศ (Structural Antennas) ค่า C_e ควรคำนวณ ณ ตำแหน่งเซนทรอยด์ (Centroid) ของพื้นที่ฉาย (Projected Area)
- 7.3.4 เมื่อสภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาและลาดชัน ให้พิจารณาค่า C_e ตามที่กำหนดใน มยผ. 1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร

7.4 ค่าประกอบเนื่องจากแรงลมที่เพิ่มขึ้นบริเวณหลังคา

โดยปกติค่าประกอบ C_d ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1.0 เว้นแต่กรณีที่หอหรือหอยึดโยงตั้งอยู่บนหลังคาหรือดาดฟ้า ให้พิจารณาตามหลักการดังต่อไปนี้

- 7.4.1 สำหรับหอหรือหอยึดโยงที่ตั้งอยู่บนหลังคา ค่า C_d ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหอหรือหอยึดโยง ให้พิจารณาจากความสูงของตำแหน่งนั้นๆ เทียบกับค่าน้อยสุดระหว่างความสูงและความกว้างของอาคาร (H_d) ในด้านที่หันเข้าหาลมซึ่งกำลังพิจารณา และอัตราส่วนระหว่างความสูงของตำแหน่งที่พิจารณาเทียบกับระยะห่างจากขอบของของหลังคา กล่าวคือ
- (1) ถ้าตำแหน่งนั้นๆ มีอัตราส่วนระหว่าง “ความสูงต่อระยะห่างจากขอบของของหลังคาหรือดาดฟ้า” ไม่เกินกว่า 1 ต่อ 5 ให้ใช้ค่า C_d มีค่าเท่ากับ 1.0
 - (2) ถ้าตำแหน่งนั้นๆ มีความสูงน้อยกว่า H_d และมีอัตราส่วนระหว่าง “ความสูงต่อระยะห่างจากขอบของของหลังคาหรือดาดฟ้า” เกินกว่า 1 ต่อ 5 ให้ใช้ค่า C_d มีค่าเท่ากับ 1.3
 - (3) ถ้าตำแหน่งนั้นๆ มีความสูงมากกว่า H_d ให้ใช้ค่า C_d มีค่าเท่ากับ 1.0
- 7.4.2 สำหรับหอหรือหอยึดโยงที่ตั้งอยู่บนหลังคา แต่อยู่ใต้ระดับ Upwind Parapet เมื่อพิจารณาลมที่พัดจากทุกทิศทาง สามารถใช้ค่า C_d มีค่าเท่ากับ 1.0 ได้
- 7.4.3 สำหรับหอหรือหอยึดโยงที่ตั้งอยู่ตรงขอบหรือมุมของหลังคาหรือดาดฟ้า ค่า C_d ควรปรับให้มีความมากกว่า 1.3

7.5 ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d)

7.5.1 หอหรือหอยึดโยงที่มีลักษณะกลมทึบ

ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d) มีค่าเท่ากับ 1.0

7.5.2 หอหรือหอยึดโยงที่มีลักษณะเป็นโครงถักโปร่งไม่ทึบลม

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d) ให้พิจารณาจากค่าอัตราส่วนความทึบ (Solidity Ratio, R_s) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ (5)

$$R_s = A_s / A_p \quad (5)$$

โดยที่	R_s	คือ	อัตราส่วนความทึบ
	A_s	คือ	พื้นที่รับลมของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบเดียวกับโครงถัก หน่วยเป็นตารางเมตร
	A_p	คือ	พื้นที่ของระนาบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก ความกว้างคูณกับความสูงของระนาบโครงถัก หน่วยเป็นตารางเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d) ให้ใช้ตามลักษณะของชิ้นส่วน C_{df} หรือ C_{dr} แล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้

7.5.2.1 สำหรับชิ้นส่วนแบน (Flat Member)

- (1) กรณีสหหรือหอยี่ดโงงทรงสี่เหลี่ยม (Square Tower)

$$C_{df} = 4.0(R_s)^2 - 5.9(R_s) + 4.0 \quad (5)$$

- (2) กรณีสหหรือหอยี่ดโงงทรงสามเหลี่ยม (Triangular Tower)

$$C_{df} = 3.4(R_s)^2 - 4.7(R_s) + 3.4 \quad (6)$$

7.5.2.2 สำหรับชิ้นส่วนกลม (Round Member)

$$C_{dr} = C_{df}[0.51(R_s)^2 + 0.57] \quad (7)$$

โดยให้เลือกใช้ค่า C_{df} ที่เหมาะสม จากสมการที่ (5) หรือสมการที่ (6)

7.5.2.3 สำหรับหอยี่ดหรือหอยี่ดโงงรูปทรงสี่เหลี่ยม (Square Tower)

เมื่อมีลมกระทำในแนวทแยง (Wind on the Diagonal) ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม (C_d) ต้องได้รับการปรับค่า โดยการคูณด้วยสัมประสิทธิ์ K_d ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$K_d = 1 + K_1 K_2 \quad (8)$$

โดยที่ K_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างของชิ้นส่วน มีค่าเท่ากับ 0.55 สำหรับชิ้นส่วนแบน และมีค่าเท่ากับ 0.80 สำหรับชิ้นส่วนกลม

K_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ระนาบ ซึ่งมีค่าตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ K_2

(ข้อ 7.5)

R_s	K_2
0.0 ถึง 0.2	0.2
0.2 ถึง 0.5	R_s
0.5 ถึง 0.8	$1 - R_s$
0.8 ถึง 1.0	0.2

นอกจากการคำนวณข้างต้นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม C_d สำหรับหอหรือหอยึด โยงหน้าตัดสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมที่แปรผันตามค่าอัตราส่วนความทึบ (R_s) อาจหาได้จากค่าในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์แรงลมลัพธ์ในทิศทางเดียวกับลม C_d ของหอหรือหอยึดโยง

(ข้อ 7.5)

อัตราส่วน ความทึบ (R_s)	โครงถักสูง หน้าตัดสามเหลี่ยม		โครงถักสูง หน้าตัดสี่เหลี่ยม			
	ลมทุกทิศทาง		ลมบนพื้นผิว		ลมบนแนวทแยง	
	ขึ้นส่วน แบน	ขึ้นส่วน กลม	ขึ้นส่วน แบน	ขึ้นส่วน กลม	ขึ้นส่วน แบน	ขึ้นส่วน กลม
0.0	3.4	1.9	4.0	2.3	4.4	2.7
0.1	3.0	1.7	3.5	2.0	3.9	2.3
0.2	2.6	1.5	3.0	1.8	3.3	2.1
0.3	2.3	1.4	2.6	1.6	3.0	2.0
0.4	2.3	1.4	2.3	1.5	2.8	2.0
0.5	1.9	1.3	2.1	1.4	2.7	2.0
0.6	1.8	1.4	1.9	1.4	2.3	1.8
0.7	1.8	1.5	1.8	1.5	2.1	1.9
0.8	1.8	1.6	1.8	1.7	2.0	2.0
0.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.1	2.2
1.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.3	2.4

8. การออกแบบสายยึดโยง (Design of Guy)

8.1 ทัวไป

ความต้านทานปรับค่าของชุดชิ้นส่วนของสายยึดโยง (Guy Assembly) จะต้องไม่น้อยกว่าแรงปรับค่าภายในสายยึดโยงที่เป็นผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกปรับค่า

8.2 ความต้านทานปรับค่า

ความต้านทานปรับค่าของชุดชิ้นส่วนของสายยึดโยงสามารถหาได้จากผลคูณระหว่างกำลังประลัยของเคเบิลหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียวกับตัวคูณความต้านทาน (ϕ) ซึ่งเท่ากับ 0.60 และตัวคูณประสิทธิภาพ (Efficiency Factor) ตามประเภทของการยึดปลายและฉนวนที่ใช้

8.3 ตัวคูณประสิทธิภาพ

8.3.1 คลิปแบบ Twin-Base และแบบ U-Bolt ของสายยึดโยงที่เป็นลวดเหล็กกล้าตีเกลียวชนิด 7 เส้นให้ใช้ค่าตัวคูณประสิทธิภาพสูงสุดได้ไม่เกินกว่าร้อยละ 90 ส่วนการใช้คลิปแบบอื่นๆ ให้ใช้ค่าตัวคูณประสิทธิภาพสูงสุดได้ไม่เกินกว่าร้อยละ 75

8.3.2 สำหรับการยึดปลายประเภทอื่นให้หาค่าตัวคูณประสิทธิภาพจากการทดสอบที่เชื่อถือได้

8.4 แรงดึงในสายยึดโยง (Guy Tension)

สำหรับการออกแบบโดยทั่วไปแล้วแรงดึงเริ่มต้นในสายยึดโยงให้ใช้เท่ากับร้อยละ 10 ของกำลังดึงสูงสุด (Breaking Strength) ของลวดสลิง (Wire Rope) หรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียว โดยมีขีดจำกัดล่างและบนของการดึงเท่ากับร้อยละ 8 และ 15 ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้ออกแบบสามารถใช้ค่าแรงดึงเริ่มต้นที่นอกเหนือจากที่กำหนดดังกล่าวได้ แต่จะต้องมีเอกสารรับรองการใช้ค่าแรงดึงที่พิจารณาถึงความอ่อนไหว (Sensitivity) ของโครงสร้างที่มีต่อค่าแรงดึงเริ่มต้น รวมทั้งพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ด้วย หากจำเป็น

8.5 อุปกรณ์ปรับความยาว (Take-Up Device)

เกลียวปรับ (Turnbuckle) หรืออุปกรณ์ปรับความยาวต่างๆ จะต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการคลายตัว โดยการปรับเกลียวปรับหรืออุปกรณ์ดังกล่าวให้ปรับได้ไม่น้อยกว่าค่าระยะดังต่อไปนี้

8.5.1 300 มิลลิเมตร สำหรับสายยึดโยงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระบุไม่เกินกว่า 13 มิลลิเมตร

8.5.2 450 มิลลิเมตร สำหรับสายยึดโยงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระบุเกินกว่า 13 มิลลิเมตร

8.6 วัสดุที่ไม่เป็นโลหะ (Nonmetallic Material)

หากมีการใช้วัสดุที่ไม่เป็นโลหะแล้ว จะต้องพิจารณาผลกระทบของการยึดตัวของวัสดุดังกล่าว (ทั้งชั่วคราวและถาวร) ที่มีต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง

9. ฐานรากและสมอยึดสายยึดโยง (Foundations and Guy Anchorage)

9.1 การออกแบบฐานราก

การออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารว่าด้วยงานฐานราก และข้อกำหนดอื่นๆ ที่เพิ่มเติมในส่วนนี้

9.2 การสำรวจชั้นดิน

9.2.1 หากมีกำหนดให้ต้องมีการสำรวจชั้นดิน รายงานผลการสำรวจดังกล่าวจะต้องครอบคลุมข้อมูลที่ใช้ประกอบออกแบบดังต่อไปนี้

- (1) หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของดินฐานราก (Allowable Bearing Pressure)
- (2) สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างทั้งเชิงรุกและเชิงรับ (Coefficients of Active and Passive Soil Pressure)
- (3) มุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction)
- (4) กำลังแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength)
- (5) ระดับน้ำใต้ดิน (Water Table Level)
- (6) ความหนาแน่นของดิน (Density of Soil)
- (7) แรงแบกทานที่ยอมให้ของเสาเข็ม

9.2.2 หากดินฐานรากเป็นหิน รายงานการสำรวจชั้นดินจะต้องครอบคลุมข้อมูลที่ใช้ประกอบออกแบบดังต่อไปนี้

- (1) ประเภทและสถานะของหิน (Type and Condition of Rock)
- (2) ความลึกจนถึงชั้นหินที่ดี (Depth to Sound Rock)
- (3) ความหนาแน่น (Density)
- (4) หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้
- (5) กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)
- (6) ระดับน้ำใต้ดิน (Water Table Level)
- (7) ข้อเสนอแนะวิธีการของระบบยึด

9.3 การออกแบบ

- 9.3.1 การออกแบบฐานรากและสมอยึดสายยึดโยงของหอหรือหอยึดโยงจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินฐานรากในสถานที่ก่อสร้าง
- 9.3.2 ในการคำนวณแรงปรับค่า (Factored Force) จากผลการรวมน้ำหนักบรรทุกทั้งในแนวดิ่งแนวนราบ หรือการพลิกคว่ำตามที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารว่าด้วยการรวมน้ำหนักบรรทุก แรงปรับค่าจะต้องไม่เกินกว่าผลคูณระหว่างกำลังต้านทานของฐานรากหรือสมอยึดสายยึดโยงกับตัวคูณความต้านทานที่มีค่าเท่ากับ 0.75
- 9.3.3 ในการคำนวณตามข้อ 9.2.2 ค่าความต้านทานของแรงแบกทานให้ใช้จะใช้ได้ไม่เกินกว่า 2 เท่าของหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้
- 9.3.4 สำหรับสมอยึดในหินที่กำหนดให้รับแรงดึงเพียงตัวเดียว ให้ใช้ค่าตัวคูณความต้านทานเท่ากับ 0.5 และสำหรับสมอยึดที่ใช้เป็นกลุ่มตั้งแต่สองตัวขึ้นไปในการรับแรงร่วมกันให้ใช้ค่าตัวคูณความต้านทานเท่ากับ 0.75

9.4 ฐานรากและสมอยึดในดิน (Foundations and Anchorages in Soil)

- 9.4.1 หากไม่มีรายงานการสำรวจดิน ในการออกแบบให้ใช้ค่าความหนาแน่นของดินและคอนกรีตได้ไม่เกิน 1,600 และ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ
- 9.4.2 หากไม่มีรายงานการสำรวจดิน ส่วนของฐานรากและสมอยึดที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินให้ใช้ค่าความหนาแน่นแบบ Submerge ของดินและคอนกรีตได้ไม่เกิน 1,000 และ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

9.5 สมอยึดในหิน (Rock Anchorages)

- 9.5.1 กำลังต้านแรงดึงออก (Pull-Out Strength) ของสมอยึดในหินสามารถกำหนดได้จากอุปกรณ์การยึดโดยวิธีกล โดยการอัดฉีดน้ำปูน หรือจากทั้งสองวิธีร่วมกัน
- (1) สำหรับอุปกรณ์การยึดโดยวิธีกลสามารถการยึดโดยใช้สิ่งหุ้มที่ขยายตัว (Expanding Shield) เป็นเกลียวและแหวนรอง (Nut and Washer) ของอ (Hook) การดัดโค้ง (Bend) แผ่นเหล็กที่ยึดกับท่อนเหล็ก หรือโดยวิธีอื่นที่คล้ายคลึงกัน แต่เหล็กเส้นกลมที่ไม่มีอุปกรณ์การยึดโดยวิธีกลห้ามนำมาใช้
 - (2) สำหรับน้ำปูนที่ใช้ในการอัดฉีดจะต้องเป็นแบบไม่หดตัว (Nonshrinkage) ที่มีกำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุ 28 วันไม่น้อยกว่า 25 เมกาปาสกาล และค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ใช้ในการคำนวณจะต้องไม่เกินกว่า 2.0 เมกาปาสกาล

- 9.5.2** สมอียึดของสายยึดโยงที่อยู่ในหินผุหรือแตกร้าวให้ออกแบบเสมือนกับว่าสมอียึดดังกล่าวอยู่ในดิน เว้นแต่จะมีการกำหนดให้สมอียึดอยู่ระดับลึกลงที่เพียงพอต่อการต้านแรงที่เกิดขึ้น
- 9.5.3** หากกำหนดให้สมอียึดในหินต้องต้านทานแรงในแนวราบ จะต้องออกแบบให้สมอียึดดังกล่าวสามารถรับแรงเฉือนร่วมกับแรงดึงที่เกิดจากแรงในแนวราบ การลึกลับว่า และแรงพยุ้งตัว

10. การติดตั้งโครงสร้างที่เป็นหลักโครงสร้างรูปพรรณและอลูมิเนียม

10.1 ทั่วไป

ในระหว่างการติดตั้งจะต้องมีการกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการที่มั่นใจได้ว่า ในขณะที่ติดตั้ง ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกหรือแรงต่างๆ ได้อย่างปลอดภัย โดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรหรือเกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนใดๆ

10.2 รอยต่อ (Connection)

ภายหลังการติดตั้งโครงสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องตรวจสอบรอยต่อที่เป็นสลักเกลียวทั้งหมดว่า ชำรุด คลายตัว หรือหลวมหรือไม่ หากพบให้ทำการไขสลักเกลียวดังกล่าวให้แน่น ไม่ให้นำสลักเกลียวกำลังสูงชุบสังกะสี (Galvanized High-Strength Bolt) ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (Reuse)

10.3 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Protection)

ส่วนที่ได้รับการทาหรือรองพื้นจากโรงงานแล้วปรากฏว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นไม่ว่าจากการขนส่งหรือติดตั้งก็ตาม ให้ทำความสะอาดบริเวณดังกล่าวแล้วตกแต่งด้วยรองพื้นและทาสีใหม่ตามที่กำหนด

10.4 ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง (Erection Tolerances)

10.4.1 แนวตั้งของโครงสร้างและแรงดึงในสายยึดโยง (Structure Verticality and Guy Tensions)

- (1) สำหรับหอหรือหอยึดโยงประเภทมีสายยึดโยง ความคลาดเคลื่อนของแรงดึงในสายยึดโยงจะต้องอยู่ภายในช่วงร้อยละ ± 10 ของแรงดึงเริ่มต้นระบุ (Specified Initial Tension) และความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งระหว่างสองระดับใดๆ ของโครงสร้างจะต้องไม่เกินกว่า 1 ต่อ 2,500 (10 มิลลิเมตรต่อความสูง 25 เมตร)

- (2) สำหรับหอหรือหอยึดโยงประเภทไม่มีสายยึดโยง ความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งระหว่างสองระดับใดๆ ของโครงสร้างจะต้องไม่เกินกว่า 1 ต่อ 1,250 (20 มิลลิเมตรต่อความสูง 25 เมตร)

10.4.2 การบิดตัว (Twist)

สำหรับหอหรือหอยึดโยงทั้งประเภทที่มีและไม่มีสายยึดโยง ความคลาดเคลื่อนในการบิดระหว่างสองระดับใดๆ ของโครงสร้างจะต้องไม่เกินกว่า 0.5 องศาต่อความสูง 3 เมตร และเมื่อรวมตลอดทั้งความสูงของโครงสร้างจะต้องไม่เกินกว่า 5 องศา การบิดให้วัดในระนาบราบ

10.4.3 ชิ้นส่วน (Individual Member)

ความคลาดเคลื่อนของแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างในแนวตั้ง (Plumbness) ระดับ (Level) การปรับแนว (Alignment) และความตรง (Straightness) จะต้องไม่เกินกว่า 1 ใน 500

10.4.4 การวัด (Measurement)

การวัดเพื่อหาความคลาดเคลื่อนต่างๆ ให้ดำเนินการได้เมื่อความเร็วลมที่ระดับพื้นดินของสถานที่ก่อสร้างน้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

10.4.5 อุปกรณ์ยึดให้เข้าที่ (Take-Up Device)

การปรับความยาวของทั้งสองทิศทางหลังจากโครงสร้างได้ตั้งและสายยึดโยงถูกดึงแล้วจะต้องไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

- (1) 100 มิลลิเมตรสำหรับสายยึดโยงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระบุไม่เกินกว่า 13 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)
- (2) 150 มิลลิเมตรสำหรับสายยึดโยงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระบุเกินกว่า 13 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)

การปรับเกลียวปรับจะต้องไม่กระทำโดยการจับตัวเกลียวปรับ และหากมีการใช้เคเบิลหรืออุปกรณ์อื่นในการป้องกันการหมุนตัวของเกลียวปรับ จะต้องมีการจัดเคเบิลดังกล่าวไม่ให้เกิดความเสียหายจากการแกว่งของสายยึดโยง

10.4.6 คลิป (Clip)

ในกรณีที่มีการใช้คลิปแบบ Twin-Base และแบบ U-Bolt จะต้องมีการตรวจสอบว่าคลิปลดดังกล่าวจะต้องไม่ถูกบิดมากหรือน้อยเกินไป (Under- or Over-Torque) และภายหลังการติดตั้งแล้วจะต้องตรวจสอบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นจากแรงดึงในนอตที่มากเกินไปหรือไม่ ไม่ให้นำคลิปของสายยึดโยงที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

10.4.7 อุปกรณ์ในการติดตั้ง (Erection Equipment)

อุปกรณ์ในการติดตั้งหรือการทดสอบในระหว่างการติดตั้งจะต้องไม่ทำให้ชิ้นส่วนของชุดสายยึดโยงเสียหายหรือโค้งงอ

11. การเข้าถึง

หอหรือหอยึดโยงทุกประเภทต้องมีช่องทางเข้าถึง เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบหรือทำการซ่อมแซมบูรณะหอหรือหอยึดโยงโดยเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้อง

11.1 รูปแบบของช่องทางเข้าถึงขึ้นอยู่กับขนาดของหอหรือหอยึดโยง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

11.1.1 บันไดแนวตั้ง (Ladder) สำหรับหอหรือหอยึดโยงขนาดเล็กและขนาดกลาง

11.1.2 บันไดแบบมีขั้นบันได สำหรับหอหรือหอยึดโยงขนาดใหญ่

11.2 หอหรือหอยึดโยงควรมีโครงสร้างป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงช่องทางเข้าถึงของหอหรือหอยึดโยงได้โดยง่าย และต้องมีป้ายเตือนอันตรายติดตั้งเอาไว้

12. ระบบป้องกันฟ้าผ่า

หอหรือหอยึดโยงต้องมีการต่อสายดินและอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าซึ่งมีลักษณะถาวรและมีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอที่จะช่วยลดความเสียหายเมื่อเกิดฟ้าผ่าแก่อาคาร โครงสร้าง และอุปกรณ์ต่างๆ ที่หอหรือหอยึดโยงนั้นติดตั้งอยู่

13. ระบบไฟสัญญาณเตือนนักบิน

ระบบไฟสัญญาณเตือนนักบินเป็นระบบการให้สัญญาณตำแหน่งของหอหรือหอยึดโยง เพื่อความปลอดภัยแก่เครื่องบินที่จะเข้าใกล้หอหรือหอยึดโยง จะต้องพิจารณารายละเอียดต่อไปนี้ในการติดตั้ง

13.1 หอหรือหอยึดโยงที่ซึ่งยอดสูงสุดของหอหรือหอยึดโยงมีความสูงจากพื้นดินมากกว่า 45 เมตร ต้องติดตั้งระบบไฟสัญญาณเตือนนักบิน (Aircraft Warning Light) เพื่อแสดงตำแหน่งของหอหรือหอยึดโยงให้นักบิน

13.2 ระบบไฟสัญญาณเตือนนักบินควรติดตั้งที่ยอดสูงสุดของหอหรือหอยึดโยง และอาจติดตั้งเพิ่มเติมไปตามโครงสร้างของหอหรือหอยึดโยง อันจะเพียงพอให้นักบินสามารถมองเห็นแนวโครงสร้างของหอหรือหอยึดโยงได้

14. เอกสารอ้างอิง

- 14.1 กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2550. มยผ. 1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร.
- 14.2 The Telecommunications Industry Association and the Electronic Industries Alliance. 2006. TIA/EIA-222 Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures.
- 14.3 The Canadian Standards Association. CAN/CSA-S37-M86 Antennas, Towers, and Antenna-supporting Structures.

มาตรฐานประกอบการออกแบบนั่งร้านและค้ำยัน

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ใช้สำหรับกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อประกอบการออกแบบและติดตั้งระบบนั่งร้านและค้ำยัน ซึ่งจัดเป็นอาคารชั่วคราวเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอาคารประเภทที่ใช้กับงานก่อสร้างโดยตรง ที่มีลักษณะหรือรูปแบบการใช้งานตรงตามคำจำกัดความในมาตรฐานฉบับนี้
- 1.2 การพิจารณาข้อกำหนดอื่นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง และการใช้งานของนั่งร้านและค้ำยันซึ่งไม่มีความขัดแย้งกับข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ สามารถนำมาใช้ประกอบได้

2. นิยาม

2.1 นิยาม

“คานนั่งร้าน (Ledger)” หมายถึง ส่วนประกอบของนั่งร้าน วางทอดตามแนวราบต่อระหว่างเสาของนั่งร้าน ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวยึดนั่งร้าน

“ค้ำยัน (False Works)” หมายถึง โครงสร้างชั่วคราวที่มีการกำหนดเวลารื้อถอน ซึ่งจัดไว้สูงจากพื้นดิน หรือส่วนของอาคาร หรือส่วนของงานก่อสร้าง สำหรับเป็นตัวพยุงหรือหนุนขึ้นส่วนของอาคารหรือโครงสร้างหนึ่งๆ ให้อยู่กับที่ จนกว่าชิ้นส่วนของอาคารหรือโครงสร้างนั้นๆ จะมีความสามารถอยู่ได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ค้ำยันยังถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของนั่งร้านและแบบหล่อ (Formworks) เพื่อให้เกิดความมั่นคง

“งานก่อสร้าง (Construction)” หมายถึง การประกอบเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร และหมายความรวมถึง การต่อเติม ซ่อมแซม ซ่อมบำรุง ดัดแปลง หรือรื้อถอนอาคารนั้นๆ ด้วย

“ตง (Bearer)” หมายถึง ส่วนประกอบของนั่งร้าน ที่ใช้ในการรองรับพื้นนั่งร้าน

“นั่งร้าน (Scaffolding)” หมายถึง โครงสร้างชั่วคราวที่ใช้เป็นที่ปฏิบัติงานซึ่งจัดไว้สูงจากพื้นดิน หรือส่วนของอาคาร หรือส่วนของงานก่อสร้าง สำหรับเป็นที่รองรับของผู้ปฏิบัติงาน และวัสดุในงานก่อสร้าง เป็นการชั่วคราว

“นั่งร้านเสาเรียงเดี่ยว (Single Pole Scaffolding)” หมายถึง นั่งร้านซึ่งมีที่ปฏิบัติงานเป็นคานยึดติดกับเสาแถวเดียว

“พื้นนั่งร้าน (Planking)” หมายถึง แผ่นไม้หรือวัสดุที่เป็นแผ่นซึ่งนำมาวางบนตง ใช้สำหรับรองรับผู้ปฏิบัติงานและวัสดุก่อสร้าง

“ตัวยึดโยง (Braces)” หมายถึง ชิ้นส่วนซึ่งใช้ยึดจากจุดคงที่จุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างเอนผิดรูป

“ราวกันตก (Guardrail)” หมายถึง ราวกันแนวราบซึ่งยึดติดกับเสา ไปตามแนวด้านข้างของนั่งร้าน เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติงานตกลงไปเบื้องล่าง

“อาคาร (Building)” หมายถึง อาคารตามความหมายที่บัญญัติไว้ในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

“อาคารชั่วคราวเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอาคาร (Temporary Structure used in Construction of Building)” หมายถึง อาคารหรือโครงสร้างรูปแบบต่างๆ ที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นการชั่วคราวในงานก่อสร้าง และมีการกำหนดเวลารื้อถอน เช่น นั่งร้าน (Scaffolding) ค้ำยัน (False Works) สำนักงานในพื้นที่ก่อสร้าง (Site Office) ที่พักคนงาน (Shelter) โครงสร้างคลุมทางเดิน เป็นต้น

“อาคารชั่วคราวเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอาคารถาวรประเภทที่ใช้กับงานก่อสร้างโดยตรง” หมายถึง อาคารหรือโครงสร้างรูปแบบต่างๆ ที่นำมาใช้งานในกระบวนการก่อสร้างโดยตรงประกอบไปด้วย นั่งร้าน (Scaffolding) ค้ำยัน (False Works) แบบหล่อ (Formwork หรือ Mold) โครงสร้างป้องกันฝุ่น และโครงสร้างป้องกันของตกจากที่สูง

3. ประเภทของนั่งร้าน

นั่งร้านแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่

3.1 นั่งร้านแบบเสาเรียงเดี่ยว (Single Pole Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่มีลักษณะเป็นยื่นเสาแถวเดียว อีกด้านใช้โครงสร้างของอาคารแทน โดยปกติต้องมีระยะห่างเสาของนั่งร้านไม่เกิน 2 เมตร

3.2 นั่งร้านไม้ไผ่ (Bamboo Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่ทำจากไม้ไผ่ โดยความแข็งแรงของนั่งร้านประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสภาพและรูปแบบของไม้ไผ่ที่นำมาใช้งาน

3.3 นั่งร้านแบบยกพื้นอิสระ (Independent Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่ติดตั้งจากพื้นดินหรือพื้นของอาคาร แบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ได้แก่ นั่งร้านยกพื้นอิสระแบบหอสูง (Independent-Tower Scaffolding) นั่งร้านยกพื้นอิสระแบบแขวน (Independent-Over Hung Scaffolding) และนั่งร้านยกพื้นอิสระแบบติดตั้งล้อเคลื่อนที่ได้ (Independent-Mobile Scaffolding)

3.4 นั่งร้านแบบยกพื้นกว้าง (Platform Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่มีลักษณะการติดตั้งอยู่เหนือพื้นที่ปฏิบัติงานก่อสร้าง โดยจะมีการทำงานทั้งพื้นที่ด้านบนและพื้นที่ด้านล่าง

3.5 นั่งร้านแบบยื่น (Cantilever Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่มีลักษณะการใช้ค้ำยันติดตั้งยื่นออกไปด้านนอกโครงสร้างหลักหรือนอกตัวอาคาร โดยนั่งร้านจะถูกยึดเข้ากับโครงสร้าง ซึ่งเสาค้ำยันของนั่งร้านจะทำมุมเอียงกับโครงสร้างหลัก

3.6 นั่งร้านโครงสำเร็จรูป (Prefabricated Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่มีลักษณะถูกรองรับไว้บนฐานเกลียวปรับระดับ และจะต้องยึดโครงเหล็กไว้กับโครงสร้างที่มั่นคง ติดตั้งค้ำยันที่เสานั่งร้านกับเสาสมอบก

3.7 นั่งร้านแบบท้าวแขน (Bracket Scaffolding)

หมายถึง นั่งร้านที่ออกแบบพิเศษเฉพาะงาน โดยมีลักษณะเป็นการเชื่อมยึดโครงนั่งร้านเข้ากับโครงสร้างหลักหรือนั่งร้านอื่นๆ ส่วนใหญ่จะใช้กับงานติดตั้งหอกลับ

4. การพิจารณาในการใช้นั่งร้าน

4.1 การทำงานก่อสร้างใดๆ ซึ่งมีความสูงเกิน 2 เมตร ขึ้นไปเหนือจากพื้น ผู้ดำเนินการต้องจัดให้มีนั่งร้านสำหรับการก่อสร้างงานนั้นๆ ด้วย

4.2 นั่งร้านยกพื้นอิสระแบบติดตั้งล้อเคลื่อนที่ได้ ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์หยุดล้อ และก่อนการใช้งานทุกครั้ง ต้องมีการตรวจสอบว่าอุปกรณ์นี้ยังสามารถใช้งานได้ดีและมีความปลอดภัย

4.3 นั่งร้านแบบยื่น ต้องใช้งานในลักษณะของการเป็นที่ยืนทำงานเท่านั้น ห้ามไม่ให้มีการวางสิ่งของต่างๆ บนนั่งร้านประเภทนี้ เนื่องจากโดยปกติแล้วความแข็งแรงจะต่ำ อย่างไรก็ตามถ้ามีความประสงค์ที่จะมีการวางสิ่งของ อาจทำได้จากการเพิ่มความถี่ของระยะเสา ระยะดง แต่ทั้งนี้ต้องให้วิศวกรโยธาระดับสามัญขึ้นไปเป็นผู้พิจารณาออกแบบ

4.4 นั่งร้านแบบเสาเรียงเดี่ยว ต้องมีระยะห่างเสานั่งร้านต้องไม่เกิน 2 เมตร โดยความคลาดเคลื่อนของระยะห่างดังกล่าวที่ยอมรับได้คือ 15 เซนติเมตร

5. ข้อพิจารณาในการออกแบบ

ระบบนั่งร้านและค้ำยันที่ดีต้องแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักของคอนกรีต ไม้แบบ และน้ำหนักต่างๆ ระหว่างการก่อสร้างได้ดี โดยไม่มีการทรุดตัวหรือมีการทรุดตัวน้อย ทั้งนี้ข้อควรพิจารณาในการออกแบบนั่งร้านและค้ำยัน มีดังนี้

5.1 น้ำหนักบรรทุกออกแบบ

น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบระบบนั่งร้านและค้ำยันประกอบไปด้วย

- 5.1.1 “น้ำหนักในแนวตั้ง” ได้แก่ น้ำหนักของคอนกรีต เหล็กเสริม ลวดอัดแรง แบบหล่อ น้ำหนักของนั่งร้านและค้ำยัน น้ำหนักของแรงงานและเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

5.1.2 “น้ำหนักในแนวราบ” ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการสั่นสะเทือนระหว่างการก่อสร้าง โดยต้องมีค่า ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักในแนวดิ่ง

5.1.3 “น้ำหนักบรรทุกพิเศษ” ที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น การเทคอนกรีตกองไว้สูงเกินความจำเป็น เป็นต้น หรือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอันเกิดจากขั้นตอนการก่อสร้างก็ได้

5.2 หน่วยแรงที่ใช้ในการออกแบบ

หน่วยแรงที่ยอมให้ของนั่งร้านและค้ำยัน ต้องพิจารณาถึงการโก่งคด (Buckling) ของนั่งร้านและค้ำยัน

5.3 การแอ่นตัวและการหดตัว

การแอ่นตัว (Deflection) และการเปลี่ยนรูป (Deformation) ของระบบนั่งร้านและค้ำยัน ต้องพิจารณาการแอ่นตัวของคานและการหดตัวของเสาเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากระทำ ซึ่งต้องคำนวณและจัดระดับเพื่อไว้ (Camber) โดยทั่วไปการแอ่นตัวที่ยอมให้ประมาณ 1 ต่อ 200 ของความยาวช่วงคาน หรือในกรณีที่เป็นโครงสร้างหลักที่มีความสำคัญ การแอ่นตัวที่ยอมให้ประมาณ 1 ต่อ 500 ถึง 1 ต่อ 1,000 ของความยาวช่วงคาน

5.4 การทรุดตัว

ในการออกแบบจะต้องมีการตรวจสอบการทรุดตัว (Settlement) ของจุดที่รองรับเสาของนั่งร้านและค้ำยัน เพราะอาจทำให้ระดับของไม้แบบคลาดเคลื่อนจนทำให้ความหนาของโครงสร้างมากกว่าที่ต้องการ รวมถึงต้องพิจารณาป้องกันไม่ให้นั่งร้านและค้ำยันเกิดการกระทำกับพื้นที่รองรับจนเกิดการวิบัติในลักษณะของการเฉือนทะลุ (Punching Shear)

5.5 สติฟเนส

สติฟเนสของนั่งร้านและค้ำยันจะต้องเพียงพอต่อการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง ที่จะต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างไม้แบบกับคอนกรีตในขณะที่ดึงลวดอัดแรงอยู่ เนื่องจากคอนกรีตจะหดตัวและหลุดจากแบบหล่อ

5.6 ฐานราก

ฐานรากของนั่งร้านและค้ำยัน อาจใช้ฐานรากวางบนดินและฐานรากแผ่ หรือวางบนโครงสร้างก็ได้ ในกรณีที่ดินฐานรากสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดี มีการทรุดตัวน้อย อาจวางนั่งร้านบนคานเหล็กรูปพรรณเพื่อกระจายน้ำหนักลงสู่ดินฐานราก และป้องกันไม่ให้นั่งร้านและค้ำยันกระทำกับพื้นที่รองรับจนเกิดการวิบัติในลักษณะของการเฉือนทะลุ (Punching Shear)

6. ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบนั่งร้านและค้ำยัน

ผู้ออกแบบและกำหนดรายละเอียดคนนั่งร้านและค้ำยันจะต้องเป็นผู้ที่ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร โดยการออกแบบต้องมีรายละเอียดอย่างน้อยเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

6.1 นั้งร้านที่ทำด้วยไม้ (Wood Scaffolding)

สำหรับนั้งร้านและค้ำยันที่ทำด้วยไม้ ไม้ที่ใช้ต้องเป็นไม้ที่ไม่ผุเปื่อย ไม่มีรอยแตกร้าวหรือชำรุดอื่นๆ ที่จะทำให้ไม้ขาดความแข็งแรงทนทาน

6.2 หน่วยแรงและส่วนปลอดภัย

6.2.1 สำหรับนั้งร้านและค้ำยันที่ทำด้วยไม้ ไม้ที่ใช้ต้องมีหน่วยแรงดัดประลัย (Ultimate Bending Stress) ไม่น้อยกว่า 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีส่วนปลอดภัยไม่น้อยกว่าสี่เท่าของแรงดัดประลัย เว้นแต่ไม้ที่เป็นไม้ไฟ (นั้งร้านไม้) ต้องมีหลักฐานเอกสารในการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่มาจากสถาบันที่ทางราชการเชื่อถือได้

6.2.2 สำหรับนั้งร้านและค้ำยันที่ทำด้วยโลหะ โลหะที่ใช้ต้องมีจุดคราก (Yield Point) ไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีส่วนปลอดภัยไม่น้อยกว่าสองเท่าของจุดคราก

6.3 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของนั้งร้านและค้ำยัน เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

6.3.1 สำหรับนั้งร้านและค้ำยันที่ทำด้วยไม้ ต้องรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่า 4 เท่าของน้ำหนักใช้งาน

6.3.2 สำหรับนั้งร้านและค้ำยันที่ทำด้วยโลหะ ต้องรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักใช้งาน

6.4 ที่รองรับ

ที่รองรับนั้งร้านและค้ำยันต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักใช้งาน

6.5 การใช้ค้ำยัน

โครงนั้งร้านต้องมีการยึดโยง ค้ำยัน พยุง หรือตรึงกับพื้นดิน หรือส่วนของงานก่อสร้าง เพื่อไม่ให้เซหรือล้ม โดยการใช้ค้ำยันหรือตัวยึดโยงในรูปแบบต่างๆ

6.6 ราวกันตก

นั้งร้านต้องมีราวกันตกที่มีความสูงไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร และไม่เกิน 1.10 เมตร จากพื้นนั้งร้านตลอดแนวยาวของพื้นนั้งร้าน นอกจากเฉพาะช่วงที่จำเป็นเพื่อใช้สำหรับขนถ่ายสิ่งของ ยกเว้นนั้งร้านเสาเรียงเดียว

6.7 พื้นนั้งร้าน

นั้งร้านต้องจัดให้มีพื้นนั้งร้าน (Planking) ที่ปูติดต่อกัน โดยมีความกว้างไม่น้อยกว่า 35 เซนติเมตร ยึดกับตงอย่างแน่นหนา ยกเว้นในนั้งร้านเสาเรียงเดียว

6.8 บันได

นั่งร้านต้องจัดให้มีบันไดภายในนั่งร้านที่มีความลาดเอียงไม่เกิน 45 องศา ยกเว้นนั่งร้านเสาเรียงเดียว

7. การติดตั้งนั่งร้านและค้ำยัน

7.1 นั่งร้านและค้ำยัน ที่ทำด้วยไม้ ถ้ายึดด้วยตะปู ต้องใช้ตะปูขนาดและความยาวที่เหมาะสม และต้องมีจำนวนเพียงพอสำหรับข้อต่อหนึ่งๆ เพื่อให้มีความมั่นคงแข็งแรง โดยห้ามตอกตะปูให้อยู่ในลักษณะรับแรงถอนโดยตรง และต้องตอกให้สุดความยาวของตะปู เมื่อรื้อนั่งร้านออก ต้องถอนตะปูจากไม้ นั่งร้าน หรือตีพับให้หมด

7.2 นั่งร้านที่มีการใช้ลิฟต์ขนส่งวัสดุขึ้นลง ต้องจัดให้มีการป้องกันไม่ให้เกิดการกระแทกนั่งร้านในระหว่างนำวัสดุขึ้นลงได้

7.3 ห้ามมิให้สร้างนั่งร้านและค้ำยัน ยึดโยงกับหอลิฟต์

7.4 การติดตั้งนั่งร้านและค้ำยัน ให้ใช้อุปกรณ์และชิ้นส่วนทั้งหมดเป็นชนิดเดียวกัน ห้ามใช้วัสดุหลายชนิดมาผสมผสานกัน เช่น ไม้กับไม้ไผ่ เป็นต้น

7.5 ฐานของนั่งร้านและค้ำยัน ต้องมีความมั่นคงและวางอยู่ในลักษณะที่มีความสมดุล ห้ามใช้เศษวัสดุต่าง ๆ เช่น เศษอิฐ เศษไม้ เป็นต้น มาทำการรองขานั่งร้านเพื่อให้เกิดความสมดุล

7.6 ต้องจัดให้มีผ้าใบ หรือสังกะสี หรือไม้แผ่น หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกันปิดรอบนอกของนั่งร้าน เพื่อป้องกันอันตรายจากสิ่งของตก ยกเว้นนั่งร้านเสาเรียงเดียว

7.7 เหนือช่องที่กำหนดให้เป็นทางเดินต้องปิดคลุมด้วยผ้าใบ หรือสังกะสี หรือไม้แผ่น หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกันเพื่อป้องกันอันตรายแก่ผู้ใช้ทางเดินนั้น

8. นั่งร้านและค้ำยันมาตรฐาน

สำหรับงานติดตั้งนั่งร้านและค้ำยันที่ไม่เข้าข่ายเป็นงานวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามที่ระบุไว้ในส่วนนี้

8.1 นั่งร้านเสาเรียงเดียว สูงไม่เกิน 7 เมตร สำหรับปฏิบัติงานทั่วไป

8.1.1 นั่งร้านไม้ไผ่ (Bamboo Scaffolding)

- (1) ไม้ไผ่ทุกลำต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 6 เซนติเมตร เมื่อวัดตรงกลางท่อน
- (2) การต่อไม้ไผ่ให้ต่อกัน โดยมีความยาวของส่วนที่ทาบกันไม่น้อยกว่า 1 เมตร มัดให้ติดกันด้วยวิธีขันชะเนาะไม่น้อยกว่าสองเปลาะ เชือกหรือปอที่ใช้สำหรับผูกมัด

ไม้ไฟต้องเป็นเชือกหรือปอไหมที่มีความเหนียวพอสมควร และต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร

- (3) การตั้งเสาไม้ไฟ ให้ตั้งห่างกันไม่เกิน 1.50 เมตร สำหรับไม้ไฟที่ทำคานให้ผูกติดกับเสาทุกต้น
- (4) เมื่อตั้งเสาและผูกคานแล้ว ให้ใช้ไม้ไฟผูกทแยงกับเสาทุกต้น โดยทำมุมกับแนวราบไม่เกิน 45 องศา และผูกสลับฟันปลาตลอดแนว แล้วให้ใช้ไม้ไฟผูกยึดนั่งร้านกับเสาสมอฝังดิน โดยมีระยะห่างกันไม่เกิน 4.50 เมตร
- (5) ชั้นของนั่งร้านต้องมีระยะห่างแต่ละชั้นไม่เกิน 2 เมตร
- (6) น้ำหนักบรรทุกบนนั่งร้านแต่ละชั้น โดยเฉลี่ยแล้วห้ามไม่ให้เกินกว่า 50 กิโลกรัมต่อ ความยาว 1 เมตร

8.1.2 นั่งร้านที่ทำด้วยไม้ซึ่งทำจากไม้ชนิดอื่นๆ

- (1) ไม้ทุกชั้นต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 24 ตารางเซนติเมตร และมีหน้าแคบไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร
- (2) ระยะห่างของเสาคานและระยะระหว่างชั้นของนั่งร้านให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับนั่งร้านไม้ไฟ
- (3) นั่งร้านประเภทนี้ ห้ามใช้รับน้ำหนักเกินที่ก่น้ำหนักของผู้ปฏิบัติงานและวัสดุเบาที่จะนำมาใช้งาน

8.2 นั่งร้าน สูงไม่เกิน 7 เมตร สำหรับงานก่อสร้าง

ถ้ามีลักษณะเป็นนั่งร้านไม้ไฟ ต้องมีรายละเอียดตามข้อกำหนดดังนี้

- 8.2.1 ไม้ไฟทุกลำต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 6 เซนติเมตร เมื่อวัดตรงกลางท่อน
- 8.2.2 การต่อไม้ไฟให้ต่อกัน โดยมีความยาวของส่วนที่ทาบนั้นไม่น้อยกว่า 1 เมตร มัดให้ติดกันด้วยวิธีขันชะเนาะไม่น้อยกว่าสองปลาสี เชือกหรือปอที่ใช้สำหรับผูกลำไม้ไฟต้องเป็นเชือกหรือปอไหมที่มีความเหนียวพอสมควร และต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร
- 8.2.3 การตั้งเสาไม้ไฟ ให้ตั้งห่างกันไม่เกิน 1.50 เมตร เป็นสองแถว และระยะห่างระหว่างแถวคู่เสาต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร และไม่เกิน 79 เซนติเมตร โดยใช้ไม้ไฟผูกเป็นคานยึดกับเสาทุกต้นทั้งสองข้าง

- 8.2.4 ตงสำหรับรองรับพื้นให้ใช้ไม้เคร่า ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 24 ตารางเซนติเมตร ผูกติดกับคานไม้ไผ่ระยะห่างกันไม่เกิน 50 เซนติเมตร
- 8.2.5 ไม้ที่ใช้ปูนั้งร้านให้ใช้ไม้ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร ยึดติดกับตงให้แน่น
- 8.2.6 เมื่อตั้งเสาและผูกคานแล้ว ให้ใช้ไม้ไผ่ผูกทแยงกับเสาทุกต้น โดยทำมุมกับแนวราบไม่เกิน 45 องศา และผูกสลับพื้นปลาตลอดแนวทั้งแถวหน้าและแถวหลัง
- 8.2.7 นั้งร้านต้องใช้ไม้ไผ่ผูกยึดส่วนของนั้งร้านกับส่วนของอาคารซึ่งแข็งแรงพอ หรือผูกยึดกับเสาสมอฝังดิน แต่ห้ามห่างกันเกิน 4.50 เมตร
- 8.2.8 ชั้นของนั้งร้าน ต้องมีระยะห่างแต่ละชั้นไม่เกิน 2 เมตร
- 8.2.9 น้ำหนักบรรทุกบนจร ห้ามไม่ให้เกินกว่า 150 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
- 8.2.10 นั้งร้านต้องมีการจัดทำราวกันตก โดยใช้ไม้ไผ่ผูกกับเสาตามแนวนอน ระยะความสูงจากพื้นนั้งร้านแต่ละชั้นไม่ต่ำกว่า 90 เซนติเมตร และสูงไม่เกิน 1.10 เมตร สำหรับทุกชั้นของนั้งร้าน

8.3 นั้งร้าน สูงไม่เกิน 12 เมตร สำหรับงานก่อสร้าง

นั้งร้านต้องมีรายละเอียดตามข้อกำหนดดังนี้

- 8.3.1 นั้งร้านต้องใช้เสาไม้ที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 33 ตารางเซนติเมตร และหน้าแคบไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร
- 8.3.2 การตั้งเสาแต่ละต้นต้องห่างกันไม่เกิน 2 เมตร โดยตั้งเป็นสองแถวและระยะระหว่างแถวคู่เสาต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 75 เซนติเมตร เสาไม้ต้องตั้งให้ได้ตรงกับพื้น
- 8.3.3 การต่อเสาไม้ทุกแห่งต้องต่อด้วยวิธีชนกัน และมีไม้ทาบรอยชนนั้นทั้งสองด้าน ไม้ทาบต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าหน้าตัดของเสาและมีความยาวไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร
- 8.3.4 ไม้ที่ใช้ทำคาน ต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 33 ตารางเซนติเมตร และหน้าแคบไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร และมีหน้ากว้างไม่น้อยกว่า 9 เซนติเมตร ระยะห่างของคานแต่ละชั้นไม่เกิน 2 เมตร การต่อคานให้ต่อที่เสา คานให้ยึดกับเสา และต้องมีทุกรับทุกแห่ง
- 8.3.5 ไม้ที่ใช้ทำตง ต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 33 ตารางเซนติเมตร และหน้าแคบไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร ระยะห่างของตงแต่ละอันไม่เกิน 50 เซนติเมตร และตงทุกอันต้องยื่นปลายออกจากคานไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร โดยยึดติดกับคานทุกแห่ง
- 8.3.6 ไม้ที่ใช้ทำค้ำยัน ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าไม้ที่ใช้ทำตง ค้ำยันจากพื้นดินขึ้นไปโดยตลอดเป็นรูปสลับพื้นปลา และทแยงมุม 45 องศา ถึง 60 องศา
- 8.3.7 พื้นนั้งร้านให้ใช้ไม้ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร ปูทับตรงรอยต่อของพื้นต้องปูชน และให้เสริมตงรับปลายของพื้นทุกแห่งที่มีรอยต่อแล้วยึดกับตงให้แน่น

- 8.3.8** อุปกรณ์ที่ใช้ยัดนั่งร้านให้ใช้ตะปูที่มีความยาวพอเหมาะ หรือสลักเกลียวยึดทุกจุด
- 8.3.9** การยัดนั่งร้านติดกับอาคาร คาน หรือเสาคอนกรีตรอบนอกของอาคาร ให้ฝังเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาวไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ไว้ในคอนกรีตยื่นจากผิวคอนกรีต และมีระยะห่างกันไม่เกิน 2 เมตร เหล็กกลมดังกล่าวให้ปล่อยโผล่ไว้เพื่อยึดเสานั่งร้านโดยรอบอาคาร และให้จัดทำตัวยึดโยงป้องกันนั่งร้านเซหรือล้มเข้าหาอาคารทุกชั้นของอาคาร
- 8.3.10** นั่งร้านต้องทำบันไดสำหรับขึ้นไ้ภายใน โดยใช้ไม้ขนาดหน้าแคบไม่เกิน 3 เซนติเมตร และหน้ากว้างไม่น้อยกว่า 7 เซนติเมตร ติดตั้งลูกขึ้นบันได ระยะของลูกขึ้นบันไดห่างไม่เกิน 50 เซนติเมตร ต่อ ขึ้น บันไดแต่ละขั้นต้องทำให้เอียงกัน แต่ไม่เกิน 10 เมตร
- 8.3.11** นั่งร้านต้องมีการจัดทำราวกันตก โดยใช้ไม้หน้าแคบไม่เกิน 3 เซนติเมตร และหน้ากว้างไม่น้อยกว่า 7 เซนติเมตร ติดตั้งคร่าวด้านในของเสาหรือนั่งร้าน ราวนี้ต้องมีระยะความสูงจากพื้นนั่งร้านแต่ละชั้นไม่ต่ำกว่า 90 เซนติเมตร และสูงไม่เกิน 1.10 เมตร สำหรับทุกชั้นของนั่งร้าน
- 8.3.12** น้ำหนักบรรทุกบนจร ห้ามไม่ให้เกินกว่า 150 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

9. การตรวจสอบนั่งร้าน

นั่งร้านต้องได้รับการตรวจสอบรายละเอียดทางโครงสร้าง ความแข็งแรง และองค์ประกอบอื่นๆ เป็นไปตามที่กำหนดแบบและข้อกำหนดต่างๆ โดยต้องมีการลงบันทึกรายละเอียดและรับรองเป็นลายลักษณ์อักษร

9.1 ช่วงเวลาในการตรวจสอบนั่งร้าน

- 9.1.1** ภายหลังการติดตั้งหรือประกอบนั่งร้านเสร็จ
- 9.1.2** ก่อนใช้งานนั่งร้านครั้งแรก
- 9.1.3** ทุก 7 วันนับตั้งแต่วันที่ได้รับอนุญาตให้ใช้นั่งร้าน
- 9.1.4** หลังจากนั่งร้านได้ผ่านสภาพอากาศหรือสภาวะภัยธรรมชาติที่รุนแรง เช่น ฝนตกหนัก ลมกระโชกแรง แผ่นดินไหว เป็นต้น
- 9.1.5** หลังจากนั่งร้านเกิดเหตุการณ์ โดยมีเครื่องจักรหรือยานยนต์มากระแทกหรือเฉี่ยวชน
- 9.1.6** เมื่อมีการต่อเติม แก้ไข คัดแปลง นั่งร้าน

9.2 รายละเอียดในการตรวจสอบนั่งร้านเบื้องต้น

การตรวจสอบนั่งร้านตามข้อ 9.1 นั้น ให้พิจารณาตรวจสอบตามรายละเอียดเบื้องต้นอย่างน้อย ดังต่อไปนี้ และให้พิจารณาร่วมกับรายละเอียดเฉพาะอื่นๆ ตามแต่ประเภทนั่งร้านนั้นๆ

- 9.2.1 ระยะห่างระหว่างเสาและระหว่างคานาถูกต้อง
- 9.2.2 น้ํงร้านถูกยึดกับโครงสร้างหลักอย่างมั่นคงแข็งแรง
- 9.2.3 อุปกรณ์ยึดน้ํงร้านหรือเชือกที่ใช้ยึดจุดเชื่อมต่อต้องไม่หลวมคลอน
- 9.2.4 มีการติดตั้งค้ำยันด้านหน้าและด้านข้างอย่างถูกต้อง
- 9.2.5 มีการติดตั้งแผ่นกันของตกโดยรอบ
- 9.2.6 มีการติดตั้งราวกันตก ซึ่งประกอบได้ระยะที่เหมาะสม และมีความแข็งแรง
- 9.2.7 พื้นน้ํงร้านไม่เกยกัน ไม่มีช่องโหว่ที่วัสดุจะร่วงหล่นได้
- 9.2.8 มีการใช้ลวดเหล็กผูกมัดแผ่นพื้น
- 9.2.9 บันได (ถ้ามี) ถูกยึดตรึงมั่นคง ปลายบนเลยพื้น และสูงเพียงพอ ทางขึ้นลงบันไดแต่ละชั้น
เหลื่อมกันและมีมุมลาดเอียงถูกต้อง
- 9.2.10 ส่วนประกอบของน้ํงร้านไม่กีดขวางทางเดินหรือทางขึ้นลง
- 9.2.11 กรณีเป็นน้ํงร้านเคลื่อนที่ ล้อต้องล็อกได้ และรับน้ำหนักได้
- 9.2.12 มีการติดป้ายอนุญาตให้ใช้งานหลังผ่านการตรวจสอบ

10. เอกสารอ้างอิง

- 10.1 ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง ว่าด้วยน้ํงร้าน
- 10.2 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2525
- 10.3 กฎกระทรวงฉบับที่ 9 (พ.ศ. 2528) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
- 10.4 อันตรายจากน้ํงร้าน, กองตรวจความปลอดภัย และสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน
- 10.5 รณรงค์ แสงตะเกียง, ปฏิบัติการน้ํงร้านและความปลอดภัยในงานน้ํงร้าน

มาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบนี้ใช้สำหรับกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อประกอบการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทั่วไปเท่านั้น สำหรับโครงสร้างพิเศษอื่น เช่น สะพาน แผ่นพื้นไร้คาน อ่างเก็บน้ำ อาคารโค้ง หรือ โครงสร้างเปลือกบาง เป็นต้น ให้ใช้ข้อกำหนดนี้เท่าที่จะใช้ได้ และต้องพิจารณารายละเอียดเฉพาะของแต่ละโครงสร้างเพิ่มเติมหรือใช้ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับโครงสร้างนั้นๆ (ถ้ามี)
- 1.2 ข้อพิจารณาด้านการคำนวณในการออกแบบก่อสร้างอื่นๆ ที่จำเป็น ซึ่งไม่ได้ระบุรายละเอียดเฉพาะไว้ในข้อกำหนดนี้ ต้องนำมาตรฐานหรือข้อกำหนดอื่นๆ มาใช้งานร่วมด้วย
- 1.3 การพิจารณาข้อกำหนดอื่นที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งไม่มีความขัดแย้งกับข้อกำหนดนี้ หรือกำหนดค่าให้ใช้เฉพาะคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น สามารถนำมาใช้ร่วมกับคอนกรีตอัดแรงได้

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“การคลายแรงดึง (Relaxation)” หมายถึง การสูญเสียแรงดึงตามระยะเวลาของเหล็กเสริมอัดแรงที่ถูกดึงให้มีระยะยืดคงที่ โดยคิดเป็นร้อยละของแรงดึงเริ่มแรกที่ให้กับเหล็กเสริมอัดแรง

“การคลายหน่วยแรง (Stress - Relieved)” หมายถึง กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของลวดเหล็กกล้าเพื่อสำหรับใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง

“การสูญเสียของการอัดแรง (Prestressing Loss)” หมายถึง การที่เหล็กเสริมอัดแรงสูญเสียหน่วยแรงดึงเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความโค้งของแนวเหล็กเสริมอัดแรง การเข้าที่ของลิ่มสมอ การหดตัวอีลาสติก (Elastic Shortening) การคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ของคอนกรีต และการคลายแรงดึง (Relaxation) ของเหล็กเสริมอัดแรง

“คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete)” หมายถึง คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมอัดแรงฝังภายในที่ทำให้เกิดหน่วยแรง โดยมีขนาดและการกระจายของหน่วยแรงตามต้องการเพื่อที่จะหักล้างหรือลดหน่วยแรงอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุก

“ระยะส่งถ่ายแรง (Transmission Length)” หมายถึง ความยาวของชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการถ่ายแรงดึงเริ่มแรกจากเหล็กเสริมอัดแรงไปสู่คอนกรีต

“ลวดเหล็กกล้า (Wire)” หมายถึง ลวดเหล็กคาร์บอนสูงที่ทำขึ้นโดยวิธีดึงเย็น

“ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Strand)” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำลวดเหล็กกล้าตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป ตีเกลียวเข้าด้วยกันให้มีระยะช่วงเกลียวสม่ำเสมอและผ่านกระบวนการคลายหน่วยแรง (Stress-Relieved) ก่อนม้วนเป็นขด

“สมอยึด (Anchorage)” หมายถึง อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการถ่ายแรงที่ใช้กับเหล็กเสริมอัดแรง โดยปกติสมอยึดต้องสามารถถ่ายแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของแรงดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง ทั้งนี้สมอยึดอย่างน้อยต้องประกอบด้วย ถั่วงอ (Wedge) หัวสมอ (Anchor Head) และ เป้าหล่อ (Casting)

“เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (Reinforcement)” หมายถึง เหล็กเสริมที่ใช้ฝังในเนื้อคอนกรีตเพื่อเสริมกำลังขึ้น

“เหล็กเสริมอัดแรง (Prestressing Steel)” หมายถึง เหล็กเสริมกำลังสูงที่ใช้ฝังในเนื้อคอนกรีตเพื่อการเสริมกำลัง อาจเป็นลวดเหล็กกล้า (Steel Wire) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Steel Strand) และเหล็กเส้นอัดแรง (Steel Bar) ก็ได้ บางครั้งอาจเรียกว่า ลวดอัดแรง (Tendon)

2.2 สัญลักษณ์

A_1	=	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของแผ่นแบกทานสมอยึด มีค่าเท่ากับ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นแบกทานสมอยึดลบด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อหุ้มลวดอัดแรง (Duct) หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_2	=	พื้นที่หน้าตัดของปริซึมรับแรง หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_{ct}	=	พื้นที่หน้าตัดซึ่งอยู่ระหว่างแกนศูนย์กลางของหน้าตัดทั้งหมด (Gross Section) จนถึงผิวด้านที่อาจจะเกิดแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ดัด หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A'_c	=	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นพื้นที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมระหว่างขอบแผ่นพื้นที่กับแนวกึ่งกลางช่วงริม หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_{ps}	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_{sb}	=	พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ต้องการ (ปกติใช้เป็นลักษณะของเหล็กปลอก) หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยึดเหนี่ยว (Bonded Reinforcement) หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A'_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงอัด หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
A_v	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
$(A_v)_{min}$	=	ปริมาณต่ำสุดของการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
ANC	=	หน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนของสมอยึด หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
b	=	ความกว้างของคาน หน่วยเป็นเซนติเมตร

b_w	=	ความกว้างของตัวแกนคานหรือเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับหน้าตัดทรงกลม หน่วยเป็นเซนติเมตร
c	=	ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดที่เกิดหน่วยแรงอัดสูงสุด
CR	=	หน่วยแรงดึงที่สูญเสียของเหล็กเสริมอัดแรงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
d	=	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่รับแรงดึง หน่วยเป็นเซนติเมตร
d'	=	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่รับแรงอัด หน่วยเป็นเซนติเมตร
d_p	=	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นเซนติเมตร
De	=	กำลังที่ออกแบบ (Design Strength)
ES	=	หน่วยแรงดึงที่สูญเสียของเหล็กเสริมอัดแรงเนื่องจากการหดตัวในช่วงอีลาสติกของคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
E_{ci}	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตขณะถ่ายแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{cds}	=	หน่วยแรงดึงในคอนกรีต ณ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง เนื่องมาจากน้ำหนักคงที่ทั้งหมด ยกเว้น น้ำหนักคงที่ซึ่งมีอยู่แล้วขณะถ่ายแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{cir}	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีต ณ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง เนื่องจากการอัดแรงและน้ำหนักคงที่ของชิ้นส่วนทันทีภายหลังจากการอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{cp}	=	หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของคอนกรีตหลังสมอยึด หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
$(f_{cp})_i$	=	หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของคอนกรีตหลังสมอยึด ขณะถ่ายแรงอัดเข้าสู่องค์อาคาร หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
$(f_{cp})_s$	=	หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของคอนกรีตหลังสมอยึด ที่สถานะใช้งาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_d	=	หน่วยแรงดึงอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่จริง ที่ผิวนอกสุดซึ่งจะเกิดการแตกร้าว หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_i	=	หน่วยแรงดึงทันทีหลังจากการถ่ายแรงในเหล็กเสริมอัดแรง (Immediate Stress) หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_o	=	หน่วยแรงดึงเริ่มแรกในเหล็กเสริมอัดแรงที่สมอยึด (Original Stress) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร
f_{pc}	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีตบริเวณศูนย์กลางของหน้าตัดหรือที่รอยต่อของตัวแกนและปีกคาน ในกรณีที่อยู่ศูนย์กลางตกอยู่ในปีกของคาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{pe}	=	หน่วยแรงอัดในคอนกรีตเนื่องมาจากแรงอัดประสิทธิผล (Effective Prestress force) ที่ผิว นอกสุดซึ่งจะเกิดการแตกร้าว หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{ps}	=	หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง ณ สถานะประลัย หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{pu}	=	หน่วยแรงดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{py}	=	กำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_s	=	หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่นำมาใช้เสริมเป็นเหล็กเสริมรับแรงปริ หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_{se}	=	หน่วยแรงดึงประสิทธิผลในเหล็กเสริมอัดแรง (Effective Stress) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร
f_t	=	หน่วยแรงดึง (Tensile Stress) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f_y	=	กำลังครากของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f'_c	=	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่ออายุ 28 วัน จากการทดสอบโดยแท่งคอนกรีตทรงกระบอก มาตรฐาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
f'_{ci}	=	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตขณะถ่ายแรง จากการทดสอบโดยแท่งคอนกรีตทรงกระบอก มาตรฐาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
FR	=	หน่วยแรงดึงที่สูญเสียของเหล็กเสริมอัดแรงเนื่องจากแรงเสียดทาน ณ จุดที่กำลังพิจารณา (ระยะ x) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
h	=	ความหนาหรือความลึกของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง หน่วยเป็นเซนติเมตร
h_{cs}	=	ความลึกของหน้าตัด หน่วยเป็นเซนติเมตร
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด หน่วยเป็นเซนติเมตร ⁴
I_{cr}	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่แตกร้าว หน่วยเป็นเซนติเมตร ⁴
k	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความคด หน่วยเป็นเมตร ⁻¹
l	=	ความยาวของช่วงระหว่างเสาในทิศทางขนานกับทิศทางการเสริมเหล็ก หน่วยเป็น เซนติเมตร
l_{as}	=	ความยาวของช่วงพื้น (ระหว่างเสา) ในทิศทางขนานกับทิศทางการเสริมเหล็ก หน่วย เป็นเซนติเมตร

l_{px}	= ระยะตามแนวราบที่วัดจากปลายเหล็กเสริมอัดแรงถึงตำแหน่งที่พิจารณา หน่วยเป็นเมตร
L	= ความยาวของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นเซนติเมตร
LoP_i	= ค่าการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากการถ่ายแรงในเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
LoP_t	= ค่าการสูญเสียแรงดึงทั้งหมด หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
M_{cr}	= โมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว (Cracking Moment)
M_G	= โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเซนติเมตร
M_{max}	= โมเมนต์ปรับค่า (Factored Moment) ที่มากที่สุด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งหมดยกเว้นน้ำหนักบรรทุกคงที่จริง หน่วยเป็นกิโลกรัม – เซนติเมตร
M_n	= โมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด หรือ กำลังที่ระบุของโมเมนต์ (Nominal Strength)
M_u	= โมเมนต์ปรับค่า (Factored Moment) ที่เกิดขึ้นพร้อมกับแรงเฉือนเพิ่มส่วน หน่วยเป็นกิโลกรัม – เซนติเมตร
n	= อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมอัดแรงกับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
N	= กำลังระบุ (Nominal Strength)
N_c	= แรงดึงในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งหมดยกเว้น หน่วยเป็นกิโลกรัม
P	= แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงขณะถูกดึงด้วยอุปกรณ์ เมื่อพิจารณาตามลำดับการดึง สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายใน หน่วยเป็นกิโลกรัม
P_e	= แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงประสิทธิภาพ หน่วยเป็นกิโลกรัม
P_j	= แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงที่สมอยึด (แรงดึงที่ใช้ทำการดึงเหล็กเสริมอัดแรง ณ สมอยึด) หน่วยเป็นกิโลกรัม
P_o	= แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงหลังจากถ่ายแรงสู่คอนกรีตแล้ว หน่วยเป็นกิโลกรัม
P_{px}	= แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงที่ระยะ x จากสมอยึด หน่วยเป็นกิโลกรัม
P_{se}	= แรงอัดประสิทธิภาพ หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
P_{si}	= แรงอัดขณะถ่ายแรง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
RE	= หน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง
RH	= ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศตลอดปี หน่วยเป็นร้อยละ
SH	= หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรงที่สูญเสียเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
s	= ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หน่วยเป็นเซนติเมตร
T_b	= แรงปรี (แรงดึง) ประเภทต่างๆ ที่เกิดตามแนวที่กำลังพิจารณา
Tor	= แรงบิด (Torsion)
U	= กำลังที่ต้องการ (Required Strength)

V_c	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_{ci}	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ กรณีการแตกร้าวในแนวทแยง เนื่องจากผลรวมของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_{cw}	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ กรณีการแตกร้าวในแนวทแยง เนื่องจากผลของแรงดึงหลักในดัดแกน หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_d	=	แรงเฉือนของหน้าตัดที่กำลังพิจารณา ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่จริง (Unfactored Dead Load) หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_i	=	แรงเฉือนเพิ่มส่วน (Factored Shear) เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ยกเว้นน้ำหนักบรรทุกคงที่จริง หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_n	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (Nominal Shear Strength) หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_p	=	แรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงในหน้าตัดที่กำลังพิจารณา หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_s	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หน่วยเป็นกิโลกรัม
V_u	=	แรงเฉือนปรับค่า (Factored Shear Force) หน่วยเป็นกิโลกรัม
y_t	=	ระยะจากแกนศูนย์ถ่วงของหน้าตัดทั้งหมด ถึงผิวที่เกิดหน่วยแรงดึงมากที่สุด หน่วยเป็นเซนติเมตร
ε_{cu}	=	ความเครียดอัดประลัย
α	=	มุมระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกับแกนนอนของชิ้นส่วน
α_{px}	=	ผลรวมของมุมที่เปลี่ยนไปจากปลายเหล็กเสริมอัดแรงที่ทำการดึงถึงตำแหน่งที่พิจารณา หน่วยเป็นเรเดียน
μ_p	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง หน่วยเป็นเรเดียน ⁻¹
Δ_a	=	ค่าการเคลื่อนที่ของสมอยึด (Anchorage slip) หน่วยเป็นเซนติเมตร
ΔM_{cr}	=	โมเมนต์แตกร้าวด้วยการดัด (Flexural Cracking Moment) ที่หน้าตัด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกกระทำภายนอก หน่วยเป็นกิโลกรัม – เซนติเมตร
ϕ	=	ค่าตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor)
ω	=	ดัชนีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงดึง
ω_w	=	ดัชนีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงดึง สำหรับหน้าตัดคานที่มีปีก
ω'	=	ดัชนีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงอัด
ω'_w	=	ดัชนีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงอัด สำหรับหน้าตัดคานที่มีปีก
ω_p	=	ดัชนีเหล็กเสริมอัดแรง
ω_{pw}	=	ดัชนีเหล็กเสริมอัดแรง สำหรับหน้าตัดคานที่มีปีก
β_1	=	ตัวคูณที่แปรค่าตามกำลังของคอนกรีต (Factor for Concrete Strength)

ρ	=	อัตราส่วนของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงดึง
ρ'	=	อัตราส่วนของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตรับแรงอัด
ρ_p	=	อัตราส่วนของเหล็กเสริมอัดแรง
σ_b	=	หน่วยแรงแบกทานที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
$(\sigma_b)_i$	=	หน่วยแรงแบกทานที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต ขณะถ่ายแรงอัดเข้าสู่องค์อาคาร หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
$(\sigma_b)_s$	=	หน่วยแรงแบกทานที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต ขณะใช้งาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
γ_p	=	ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

- 3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ. 1102: มาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรง
- 3.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15: ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ (มาตรฐานบังคับ)
- 3.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 95: ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง (มาตรฐานบังคับ)
- 3.1.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 420: ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง (มาตรฐานบังคับ)

3.2 หากข้อกำหนดในประมวลข้อบังคับนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างอิงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในประมวลข้อบังคับนี้เป็นสำคัญ

4. วัสดุก่อสร้างในงานคอนกรีตอัดแรง

ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้างในงานคอนกรีตอัดแรง ได้แก่ คอนกรีต ลวดเหล็กกล้า ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ท่อร้อยลวด (Sheathing) น้ำปูน (Grouting) รวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในการก่อสร้าง ได้แก่ สมอยึด (Anchorage) หัวต่อ (Couple) อุปกรณ์ดึงเหล็กเสริมอัดแรง และเครื่องปั๊มซีเมนต์เหลว ให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยพ. 1102: มาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรง

5. ข้อกำหนดในการออกแบบ

5.1 รายละเอียดต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการออกแบบและก่อสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงต้องถูกแสดงไว้ที่ส่วนแรกของเอกสารประกอบการออกแบบ สำหรับรายละเอียดที่ต้องถูกแสดงประกอบไปด้วย

- 5.1.1 ชนิดของคอนกรีตอัดแรง ได้แก่ คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้าก่อน (Pre-Tensioning) และชนิดดึงล่วงหน้าภายหลัง (Post-Tensioning)
- 5.1.2 วัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างคอนกรีตอัดแรง และรายการคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญของวัสดุเหล่านั้น
- 5.1.3 กำลังอัดประลัยต่ำสุดของคอนกรีตในขณะถ่ายแรงและที่อายุ 28 วัน
- 5.2 ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงใดๆ ซึ่งนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ต้องได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับการใช้งานภายใต้น้ำหนักบรรทุก และการเสียดรูปต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งระหว่างกระบวนการก่อสร้างและการใช้งาน และต้องมีความคงทนตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้นๆ
- 5.3 การคำนวณและการวิเคราะห์ สำหรับการหาค่าแรงต่างๆ ในโครงสร้างอาจเลือกใช้ทฤษฎีอิลาสติก และใช้สมมติฐานการวิเคราะห์หรือการออกแบบอื่นๆ ที่เหมาะสมมาประกอบเพิ่มเติม
- 5.4 การออกแบบต้องพิจารณาความเข้มข้นของหน่วยแรง (Stress Concentration) ที่เกิดขึ้นจากผลของการอัดแรง
- 5.5 การวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดรับแรงดัดก่อนที่จะทำการยึดเหนี่ยวเหล็กเสริมอัดแรง ให้พิจารณาถึงพื้นที่หน้าตัดที่จะหายไปเนื่องจากท่อหลุมลวดอัดแรงด้วย
- 5.6 การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างสำหรับในการออกแบบอาคารและส่วนต่างๆ ของอาคาร ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำกับอาคาร

6. สมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบ

การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงมีสมมติฐานและหลักการพื้นฐานของการออกแบบดังต่อไปนี้

- 6.1 การออกแบบคอนกรีตอัดแรงควรใช้การออกแบบโดยทฤษฎีอิลาสติก แล้วทำการตรวจสอบกำลังที่สถานะประลัย
- 6.2 การออกแบบคอนกรีตที่สถานะประลัยต้องออกแบบให้เกิดการวิบัติชนิดแรงดึงเป็นหลัก โดยคำนวณหาโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด (M_n)
- 6.3 ณ สถานะประลัย ความเครียดอัดประลัย (ϵ_{cu}) ที่ผิวด้านรับแรงอัด สมมติให้
- $$\epsilon_{cu} = 0.003 \quad (1)$$
- 6.4 การคำนวณหาหน่วยแรงในเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ให้คำนวณจากผลคูณของความเครียดกับโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก แต่เมื่อหน่วยแรงเกินกว่ากำลังครากแล้ว ให้ใช้ค่าเท่ากับกำลังครากระบุ
- 6.5 การคำนวณหาหน่วยแรงในเหล็กเสริมอัดแรง ให้คำนวณตามข้อกำหนดในส่วนที่ 8
- 6.6 กำลังดึงของคอนกรีตจะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณกำลังรับแรงดัด นอกจากจะเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 8.2

6.7 ค่าตัวคูณลดกำลัง (ϕ) สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลัง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าตัวคูณลดกำลัง (ϕ)
(ข้อ 6.7)

แรงที่พิจารณา	ค่าตัวคูณลดกำลัง (ϕ)
แรงดัดที่ไม่มีแรงตามแนวแกน	0.90
แรงดัดตามแนวแกน	0.90
แรงอัดตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเหล็กปลอกเกลียว	0.75
แรงอัดตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเหล็กเดี่ยว	0.70
แรงเฉือนและแรงบิด	0.85
แรงแบกทานบนคอนกรีต	0.70

6.8 กำลังที่ออกแบบของโมเมนต์ (ϕM_n) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของโมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว (M_{cr})

$$\phi M_n \geq 1.2 M_{cr} \quad (2)$$

โดย M_{cr} = โมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว ซึ่งคำนวณจากการใช้โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต (f_r) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2.0 \sqrt{f'_c}$

6.9 กำลังที่ออกแบบของโมเมนต์ (ϕM_n) ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกำลังที่ต้องการ (Require Strength, M_u) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 7

$$\phi M_n \geq M_u \quad (3)$$

7. การพิจารณาด้านกำลัง

การพิจารณาด้านกำลังเป็นการพิจารณาคอนกรีตอัดแรง ณ สถานะประลัย (Ultimate State) โดยเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างก่อนที่จะเกิดการวิบัติ การพิจารณาด้านกำลังประกอบด้วยการศึกษา 2 ส่วนได้แก่ กำลังที่ต้องการ (Required Strength, U) และกำลังที่ออกแบบ (Design Strength, De)

7.1 กำลังที่ต้องการ (U)

กำลังที่ต้องการใช้สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์หน้าตัดคอนกรีตอัดแรง ให้คำนวณจากผลรวมของค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) กับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้างซึ่งเป็นผลรวมของน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) รวมไปถึงการพิจารณาผลของแรงประเภทอื่นๆ (ถ้ามี) เช่น ผลของแรงลม ผลของแรงจากแผ่นดินไหว ผลของแรงคืบดิน และผลของแรงคืบจากของเหลว เป็นต้น

7.2 กำลังที่ออกแบบ (De)

กำลังที่ออกแบบของหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงใดๆ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการ โดยการพิจารณาต้องครอบคลุมแรงประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย แรงดัด (Flexural Moment, M) แรงดึง (Tension, T) แรงจากการอัดแรง (Prestress, P) แรงเฉือน (Shear, V) และแรงบิด (Torsion, Tor)

$$[M, T, P, V, Tor]_{De} \geq [M, T, P, V, Tor]_U \quad (4)$$

ทั้งนี้กำลังที่ออกแบบสามารถคำนวณได้จากการคูณกำลังระบุ (Nominal Strength, N) ด้วย ค่าตัวคูณลดกำลัง (ϕ)

$$[M, T, P, V, Tor]_{De} = \phi \times [M, T, P, V, Tor]_N \quad (5)$$

ดังนั้นจาก (4) และ (5) จะได้ว่า

$$\phi \times [M, T, P, V, Tor]_N \geq [M, T, P, V, Tor]_U \quad (6)$$

8. การพิจารณาภายใต้สถานะใช้งาน

8.1 ทัวไป

การพิจารณาคอนกรีตอัดแรงภายใต้สถานะใช้งาน (Service State) ประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ การพิจารณาหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต การพิจารณาหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง และการพิจารณาภาระการแอ่นตัว

8.2 ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์

8.2.1 หน้าตัดที่เป็นระนาบต้องคงเป็นระนาบภายหลังได้รับน้ำหนักบรรทุก

8.2.2 การวิเคราะห์หน่วยแรงประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงภายใต้สถานะใช้งานต้องทำการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะดังต่อไปนี้

- (1) สภาวะขณะถ่ายแรง (Transfer Stage) หรือ สภาวะขณะค้ำจุน (Jacking Stage) เป็นการพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง ทันทีที่มีการถ่ายแรงอัดเข้าสู่โครงสร้าง โดยพิจารณารวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างด้วย

- (2) สภาวะใช้งาน (Service Stage) เป็นการพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้างและแรงอัดประสิทธิผล (หักค่าการสูญเสียแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงแล้ว)

8.3 หน่วยแรงที่ย่อมให้ในคอนกรีต

8.3.1 หน่วยแรงชั่วคราวในคอนกรีต

ณ สภาวะขณะถ่ายแรง ก่อนที่จะมีการเสื่อมลดของแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง อันเนื่องมาจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage) การคืบของคอนกรีต (Creep) และการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (Steel Relaxation) ต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดดังต่อไปนี้

8.3.1.1 หน่วยแรงอัด

สำหรับหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดจากการอัดแรง

$$\text{(Extreme Fiber Stress in Compression)} \leq 0.60 f'_{ci}$$

8.3.1.2 หน่วยแรงดึง

- (1) สำหรับหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดการจากการดึง ยกเว้นที่กำหนดในข้อ (2)

$$\text{(Extreme Fiber Stress in Tension)} \leq 0.80 \sqrt{f'_{ci}}$$

- (2) สำหรับหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดการจากการดึง ณ จุดปลายของชิ้นส่วน

$$\text{รองรับ (Supported Member)} \leq 1.60 \sqrt{f'_{ci}}$$

สำหรับหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ที่มีค่าเกินกว่าข้อกำหนด (1) หรือ (2) ข้างต้นนั้น ต้องมีการใช้เหล็กเสริมยึดเหนี่ยว (Bonded Reinforcement) เพิ่มเติมทั้งในรูปแบบของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต และเหล็กเสริมอัดแรง บนพื้นฐานการพิจารณาแบบหน้าตัดไม่แตกร้าว

8.3.2 หน่วยแรงในคอนกรีต ณ สภาวะใช้งาน

หน่วยแรงในคอนกรีต ณ สภาวะใช้งาน (หักค่าการสูญเสียแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงแล้ว) ต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดดังต่อไปนี้

8.3.2.1 หน่วยแรงอัด

- (1) สำหรับหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดการจากการอัดแรงร่วมกับน้ำหนักบรรทุก

$$\text{คงค้าง (Sustained Load)} \leq 0.45 f'_c$$

- (2) สำหรับหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดการจากการอัดแรงร่วมกับน้ำหนักบรรทุก

$$\text{ทั้งหมด (Total Load)} \leq 0.60 f'_c$$

8.3.2.2 หน่วยแรงดึง

สำหรับหน่วยแรงดึง (Tensile Stress, f_t) ให้พิจารณาค่าตามช่วงดังนี้

- (1) หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ขอบนอกในบริเวณคอนกรีตซึ่งถูกอัดแรงมาก่อน
(Precompressed Tensile Zone)

$$< 1.60\sqrt{f'_{ci}}$$

- (2) หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ขอบนอกในบริเวณคอนกรีตซึ่งถูกอัดแรงมาก่อน
ขององค์อาคาร (ยกเว้นระบบแผ่นพื้น 2 ทาง)

$$< 3.20\sqrt{f'_{ci}}$$

8.4 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมอัดแรง

หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- 8.4.1 ขณะถูกดึงด้วยเครื่องดึงเหล็ก $\leq 0.90 f_{py}$

แต่ต้องไม่เกิน $0.80 f_{pu}$ หรือค่าสูงสุดที่ถูกแนะนำโดยผู้ผลิตเหล็กเสริมอัดแรงหรือสมอ
ยึด

- 8.4.2 ทันทีหลังจากการถ่ายแรง $\leq 0.80 f_{py}$

แต่ต้องไม่เกิน $0.70 f_{pu}$

- 8.4.3 สำหรับเหล็กเสริมอัดแรงแบบดึงลวดภายใน ๓ บริเวณสมอยึด ทันทีหลังจากที่ถ่ายแรง
 $\leq 0.70 f_{pu}$

8.5 ระยะแอมตัวสูงสุดที่ยอมให้

ชิ้นส่วนใดๆ ของคอนกรีตอัดแรงที่รับแรงดัดต้องถูกออกแบบให้มีสติเฟ่นสเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการ
แอมตัวเกินกว่าค่าที่กำหนด นอกจากนี้การแอมตัวนี้ต้องไม่ทำให้เกิดการเสีรูปราง ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อ
กำลังหรือการใช้งานของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

ค่าการแอมตัวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ การแอมตัวที่เกิดขึ้นทันที และการแอมตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว
ซึ่งค่าการแอมตัวทั้ง 2 ชนิดนี้ ต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้สำหรับการคำนวณหา
การแอมตัวที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ชนิด ของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงให้พิจารณารายละเอียดในส่วนที่ 13

ตารางที่ 2 ค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่ยอมให้
(ข้อ 8.5)

ประเภทของชิ้นส่วน	การแอ่นตัวที่พิจารณา	ค่าการแอ่นตัวสูงสุด
คาน้ำเรียบไม่รองรับหรือเชื่อมยึดกับ ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non - Structural) ซึ่งอาจเสียหายจากการแอ่นตัวมากได้	การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$\frac{l}{180}^{1)}$
พื้นไม่รองรับหรือเชื่อมยึดกับ ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งอาจเสียหายจากการแอ่นตัวมากได้	การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$\frac{l}{360}$
พื้นและคาน้ำซึ่งรองรับหรือเชื่อมกับ ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งอาจเสียหายจากการแอ่นตัวมากได้	ส่วนของการแอ่นตัวทั้งหมด ที่ เกิดขึ้นหลังจากการติดตั้ง ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างแล้ว	$\frac{l}{480}^{2)}$
พื้นและคาน้ำซึ่งรองรับหรือเชื่อมกับ ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งไม่น่าจะเสียหายจากการแอ่นตัวมากได้	(ผลรวมของการแอ่นตัวระยะ ยาวจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง และการแอ่นตัวทันทีจาก น้ำหนักบรรทุกจรใดๆ ที่ เพิ่มขึ้น) ³⁾	$\frac{l}{240}^{4)}$

- หมายเหตุ
- 1) ค่าการแอ่นตัวนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงการขังนองของน้ำบนคาน้ำ ทั้งนี้การป้องกันการขังนองของน้ำบนคาน้ำ ควรกระทำโดยการคำนวณค่าการแอ่นตัวอย่างละเอียด ซึ่งต้องรวมน้ำหนักของน้ำที่ขังนอง และผลในระยะยาวต่อการแอ่นตัวของน้ำหนักบรรทุกคงค้างตลอดจนกระทั่งการแอ่นตัวขึ้น (Camber) ความคลาดเคลื่อนในการก่อสร้าง และความสามารถในการระบายน้ำ
 - 2) ค่าการแอ่นตัวนี้อาจยินยอมให้เกินได้ หากมีวิธีการที่จะป้องกันความเสียหายให้กับชิ้นส่วนที่รองรับหรือเชื่อมยึดนั้นๆ ได้
 - 3) ค่าการแอ่นตัวระยะยาวนี้อาจลดได้ด้วยค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นก่อนการติดตั้งชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง การคำนวณให้ยึดถือข้อมูลทางวิศวกรรมซึ่งเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติของการแอ่นตัว ตามเวลาของชิ้นส่วนซึ่งคล้ายคลึงกับชิ้นส่วนที่พิจารณา
 - 4) ค่าการแอ่นตัวนี้ต้องไม่มากกว่าความคลาดเคลื่อนสำหรับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง และอาจยินยอมให้เกินได้ ถ้ามีการเผื่อการแอ่นตัวขึ้นเพื่อให้การแอ่นตัวทั้งหมดหักลบด้วยการแอ่นตัวขึ้นแล้วไม่มากกว่าพิกัดนี้

9. การสูญเสียของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง

9.1 ทั่วไป

การคำนวณหาหน่วยแรงดึงประสิทธิภาพ (Effective Stress, f_{se}) ในเหล็กเสริมอัดแรง ต้องคำนึงถึงค่าการสูญเสียแรงดึง (Loss of Prestress) อันเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- 9.1.1 ความผิดเนื่องจากแรงเสียดทาน (FR) เนื่องจากความโค้งงอตั้งใจ (Intended Curvature) และความโค้งไม่ตั้งใจ (Unintended Curvature) ของเหล็กเสริมอัดแรง
- 9.1.2 การหดตัวในช่วงอีลาสติกของคอนกรีต (ES)
- 9.1.3 การเคลื่อนที่ของสมอยึด (ANC)
- 9.1.4 การหดตัวของคอนกรีต (SH)
- 9.1.5 การคืบของคอนกรีต (CR)
- 9.1.6 การคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (RE)

ทั้งนี้ค่าการสูญเสียแรงดึงตั้งแต่ข้อ 9.1.1 ถึง ข้อ 9.1.3 เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นทันที ขณะที่ค่าการสูญเสียแรงดึงตั้งแต่ข้อ 9.1.4 ถึง ข้อ 9.1.6 เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นตามเวลา

9.2 การคำนวณหน่วยแรงดึงประสิทธิภาพ

ค่าของหน่วยแรงดึงประสิทธิภาพ (f_{se}) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$f_i = f_o - LoP_i \quad (7)$$

$$f_{se} = f_o - LoP_t \quad (8)$$

โดย LoP_i = ค่าการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากการถ่ายแรงในเหล็กเสริมอัดแรง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$LoP_i = FR + ES + ANC \quad (9)$$

LoP_t = ค่าการสูญเสียแรงดึงทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$LoP_t = FR + ES + ANC + SH + CR + RE \quad (10)$$

9.3 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Loss, FR)

การคำนวณหาการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทานให้พิจารณาเฉพาะคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงตลอดภายหลัง ส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงตลอดก่อนไม่ต้องพิจารณา โดยการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทานสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_{px} = P_j \cdot e^{-(kl_{px} + \mu_p \alpha_{px})} \quad (11)$$

ทั้งนี้หากค่า $kl_{px} + \mu_p \alpha_{px}$ มีค่าต่ำกว่า 0.3 แล้ว ให้ใช้สมการต่อไปนี้แทน

$$P_{px} = \frac{P_j}{(1 + kl_{px} + \mu_p \alpha_{px})} \quad (12)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (μ_p) และค่าสัมประสิทธิ์ความกด (k) ควรหาจากการทดลองหรือการทดสอบเหล็กเสริมอัดแรง และต้องมีการตรวจทานในระหว่างการดึงเหล็กด้วย แต่หากไม่มีผลการทดลองหรือทดสอบสามารถใช้ค่าตามตารางที่ 3

ดังนั้นหน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ณ จุดที่กำลังพิจารณา (ระยะ x) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$FR = \frac{P_j - P_{px}}{A_{ps}} \quad (13)$$

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (μ_p) และค่าสัมประสิทธิ์ความกด (k)
(ข้อ 9.3)

ชนิดของเหล็กเสริมอัดแรง	ชนิดของวัสดุหุ้ม เหล็กเสริมอัดแรง	μ_p (เรเดียน ⁻¹)	k (เมตร ⁻¹)
ลวดอัดแรง หรือ ลวดเกลียวอัดแรง	ท่อโลหะมันวาว (Bright Metal Sheathing)	0.20 – 0.30	0.003 – 0.0066
	ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (Galvanized Metal Sheathing)	0.15 – 0.25	0.002 – 0.0049
	หุ้มเคลือบด้วยจารบีหรือแอสฟัลต์ (Greased or Asphalt Coated and Wrapped)	0.10 – 0.20	0.0015 – 0.004
	ท่อโลหะแข็งเคลือบสังกะสี (Galvanized Rigid)	0.25	0.0007
เหล็กเส้นอัดแรง	ท่อโลหะมันวาว (Bright Metal Sheathing)	0.20	0.0010
	ท่อโลหะเคลือบสังกะสี (Galvanized Metal Sheathing)	0.15	0.0007

9.4 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวในช่วงอีลาสติกของคอนกรีต (ES)

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

9.4.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

$$ES = \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir} = n \frac{P_o}{A_c} \quad (14)$$

9.4.2 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

$$ES = 0.5 \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir} \quad (15)$$

โดยที่ f_{cir} = หน่วยแรงอัดในคอนกรีต ณ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง เนื่องจากการอัดแรง และน้ำหนักคงที่ของชิ้นส่วนทันที ภายหลังจากการอัดแรง โดยให้พิจารณาค่าตามชนิดของคอนกรีตอัดแรง กล่าวคือ
กรณีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$f_{cir} = \frac{P_o}{A_c} + \frac{P_o e^2}{I} - \frac{M_G e}{I} \quad (16)$$

กรณีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$f_{cir} = \frac{P}{A_c} + \frac{P e^2}{I} - \frac{M_G e}{I} \quad (17)$$

P_o = แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงหลังจากถ่ายแรงสู่คอนกรีตแล้ว มีค่าประมาณ $0.9P_j$

P = แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงขณะถูกดึงด้วยอุปกรณ์ มีค่าประมาณ P_j

9.5 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึด (ANC)

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึดให้พิจารณาเฉพาะคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า ส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้าไม่ต้องพิจารณา โดยการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสมอยึดสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$ANC = \frac{\Delta_{\alpha} E_s}{L} \quad (18)$$

ค่าการเคลื่อนที่ของสมอยึดอาจใช้ค่าที่ได้จากเอกสารแสดงคุณลักษณะของสมอยึดจากผู้ผลิต รวมทั้งต้องคำนึงถึงความสอดคล้องกับเครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ แต่หากไม่มีค่าการเคลื่อนที่ดังกล่าวให้ใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับการเคลื่อนที่ของสมอยึดตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยสำหรับการเคลื่อนที่ของสมอยึด

(ข้อ 9.5)

ประเภทของสมอยึด	ค่าเฉลี่ยสำหรับการเคลื่อนที่ (เซนติเมตร)
สมอยึดชนิดแรงเสียดทาน (Friction Anchorage)	ประมาณ 0.25
สมอยึดชนิดแรงกด (Bearing Anchorage)	ประมาณ 0.08

9.6 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (SH)

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

9.6.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

$$SH = 1,200 - 11RH \quad (19)$$

9.6.2 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

$$SH = 0.80(1,200 - 11RH) \quad (20)$$

ทั้งนี้ค่าหน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตนอกจากการคำนวณตามสมการ (19) และ (20) แล้ว อาจใช้ค่าประมาณตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าประมาณสำหรับหน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต

(ข้อ 9.6)

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ใน อากาศตลอดปี (ร้อยละ)	หน่วยแรงดึงที่สูญเสียเนื่องจากการหดตัว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	คอนกรีตอัดแรง ชนิดดึงล่วงหน้า	คอนกรีตอัดแรง ชนิดดึงล่วงหน้า
100 - 76	350	280
75 - 26	700	560
25 - 0	1,060	850

9.7 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (CR)

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคืบของคอนกรีต ทั้งในคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้าและคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$CR = 12 f_{cir} - 7 f_{cds} \quad (21)$$

9.8 ค่าการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (RE)

การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

9.8.1 กรณีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

(1) สำหรับลวดเหล็กกล้า (มอก. 95)

$$RE = 1,270 - 0.4ES - 0.2(SH + CR) \quad (22)$$

(2) สำหรับลวดเหล็กกล้าดีเกลียว เกรด 1725 และ 1860 (มอก. 420)

$$RE = 1,410 - 0.4ES - 0.2(SH + CR) \quad (23)$$

9.8.2 กรณีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง

(1) สำหรับลวดเหล็กกล้า (มอก. 95)

$$RE = 1,270 - 0.3FR - 0.4ES - 0.2(SH + CR) \quad (24)$$

(2) สำหรับลวดเหล็กกล้าดีเกลียว เกรด 1725 และ 1860 (มอก. 420)

$$RE = 1,410 - 0.3FR - 0.4ES - 0.2(SH + CR) \quad (25)$$

(3) สำหรับเหล็กเส้นอัดแรง

ให้ใช้ค่า RE เท่ากับ 210

10. เหล็กเสริมยึดเหนี่ยว

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงอาจจะจำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กเสริมยึดเหนี่ยว (Bonded Reinforcement) ซึ่งเป็นการเสริมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ไม่มีการอัดแรงเพิ่มเติมเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง นอกเหนือไปจากเหล็กเสริมอัดแรงที่มีอยู่แล้ว ทั้งนี้การเสริมเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวให้พิจารณาตามชนิดของคอนกรีตอัดแรงดังต่อไปนี้

10.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงล่วงหน้า

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กเสริมยึดเหนี่ยว ถ้าผลของการวิเคราะห์พบว่า

10.1.1 ไม่เกิดหน่วยแรงดึงในคอนกรีต หรือ

10.1.2 เกิดหน่วยแรงดึงในคอนกรีต แต่มีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงดึงที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 8.3 หรือ

10.1.3 ต้องเพิ่มความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดให้มากขึ้น

10.2 โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายในหลัง ชนิดไม่ยึดเหนี่ยว

10.2.1 โครงสร้างระบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ระบบแผ่นพื้นไร้คาน

เหล็กเสริมยึดเหนี่ยวต้องมีในปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_s = 0.004A_{ct} \quad (26)$$

ทั้งนี้ต้องกระจายเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวตามสมการ (26) อย่างสม่ำเสมอในบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นก่อนการอัดแรง (Precompressed Tensile Zone) โดยให้วางใกล้กับขอบนอกสุดเท่าที่จะทำได้

10.2.2 แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slab)

10.2.2.1 บริเวณที่เกิดโมเมนต์บวก

ถ้าหน่วยแรงดึง ณ จุดใดๆ ในคอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน พบว่า

(1) มีค่าไม่เกิน $0.53\sqrt{f'_c}$

ควรใส่เหล็กเสริมยึดเหนี่ยวไม่น้อยกว่า 0.001 ของหน้าตัดคอนกรีตที่บริเวณใกล้ผิวรับแรงดึงในคอนกรีต

(2) มีค่าเกิน $0.53\sqrt{f'_c}$

ต้องใส่เหล็กเสริมยึดเหนี่ยวที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในบริเวณที่คอนกรีตเกิดหน่วยแรงดึงก่อนการอัดแรง และให้วางใกล้กับขอบนอกสุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ปริมาณเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวดังกล่าวต้องไม่น้อยกว่าค่าจากสมการต่อไปนี้

$$A_s = \frac{N_c}{0.5f_y} \quad (27)$$

โดย N_c = แรงดึงในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งหมด ซึ่งคำนวณตามวิธีหน้าตัดไม่แตกร้าว

f_y = กำลังครากของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

- (3) ทั้งนี้ความยาวของเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวนี้ต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของความยาวช่วงว่าง (Clear Span Length) และจัดให้เหล็กเสริมดังกล่าวอยู่ในช่วงกลางของบริเวณที่เกิดโมเมนต์บวก

10.2.2.2 บริเวณที่เกิดโมเมนต์ลบ

เหล็กเสริมยึดเหนี่ยวต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_s = 0.00075hl \quad (28)$$

ทั้งนี้การเสริมเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวตามที่คำนวณในสมการ (28) นี้ ต้อง

- (1) มีระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมต้องไม่เกินกว่า 30 เซนติเมตร
- (2) กระจายอยู่ภายในแนวไม่เกิน $1.5h$ จากผิวหน้าของเสาในแต่ละทิศทาง
- (3) มีจำนวนการเสริมเหล็กไม่น้อยกว่า 4 เส้น ในแต่ละทิศทาง

สำหรับบริเวณเสริม ปริมาณเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวต่ำสุดในทิศทางขนานกับขอบแผ่นพื้นให้คำนวณจาก

$$A_s = 0.00075A'_c \quad (29)$$

ทั้งนี้ความยาวของการเสริมเหล็กเสริมยึดเหนี่ยวนี้ต้องยื่นออกจากแนวศูนย์กลางแกน (Center line) ไปข้างละไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของระยะระหว่างเส้นศูนย์กลางแกนของเสา และต้องยื่นออกจากขอบเสาออกไปในแต่ละทิศทางไม่น้อยกว่า 1 ใน 6 ของช่องว่างระหว่างเสา

11. การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตอัดแรงที่สถานะประลัย

การวิเคราะห์การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีต (Concrete Stress Distribution) สามารถเลือกพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู พาราโบลา หรือรูปใดๆ ซึ่งส่งผลให้การคำนวณกำลังของหน้าตัดมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ แต่หากไม่มีผลการทดสอบให้ใช้การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเป็นรูปสี่เหลี่ยมเทียบเท่า (Equivalent Rectangular Stress Distribution) โดยความกว้างของหน่วยแรงอัดรูปสี่เหลี่ยมนี้มีค่าเท่ากับ $0.85 f'_c$ แผ่กระจายตลอดบริเวณที่ล้อมรอบด้วยขอบของหน้าตัดรับแรงอัด และเส้นขนานกับแกนสะเทินที่อยู่ห่างจากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัด เป็นระยะ a ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\beta_1 \cdot c$ ทั้งนี้ค่าตัวคูณที่แปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต (β_1) หาได้จาก

11.1 เมื่อ $f'_c \leq 300$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$$\beta_1 = 0.85 \quad (30)$$

11.2 เมื่อ $f'_c > 300$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$$\beta_1 = 0.85 - 0.0008(f' - 300) \geq 0.65 \quad (31)$$

12. พิกัดของเหล็กเสริมในคอนกรีตอัดแรง

พิกัดของเหล็กเสริมในคอนกรีตอัดแรงต้องถูกนำมาพิจารณาเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าปริมาณเหล็กเสริมในคอนกรีตอัดแรงมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์สมดุล (ตามหลักการออกแบบที่ทำให้เกิดการวิบัติชนิดแรงดึงเป็นหลัก) ทั้งนี้พิกัดของเหล็กเสริมในคอนกรีตอัดแรงให้พิจารณาจากดัชนีเหล็กเสริม (Reinforcement Index) ตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

$$\left. \begin{array}{l} \omega_p \\ \omega_p + (\omega - \omega') \frac{d}{d_p} \\ \omega_{pw} + (\omega_w - \omega'_w) \frac{d}{d_p} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{หรือ} \\ \text{หรือ} \end{array} \leq 0.36\beta_1 \quad (32)$$

โดยที่

$$\omega_p = \frac{\rho_p f_{ps}}{f'_c} \quad (33)$$

$$\omega = \frac{\rho f_y}{f'_c} \quad (34)$$

$$\omega' = \frac{\rho' f_y}{f'_c} \quad (35)$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{bd_p} \quad (36)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (37)$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} \quad (38)$$

- และ β_1 = ตัวคูณที่แปรค่าตามกำลังของคอนกรีต พิจารณาตามข้อกำหนดในส่วนที่ 11
- f_{ps} = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง ณ สถานะประลัย พิจารณาตามข้อกำหนดในส่วนที่ 14
- f_y = กำลังครากของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต พิจารณาตามข้อกำหนดในส่วนที่ 6
- $\omega_{pw}, \omega'_w, \omega_w$ = ดัชนีเหล็กเสริมสำหรับหน้าตัดคานที่มีปีก (เช่น รูปตัว T และ รูปตัว I) ใช้การคำนวณเช่นเดียวกับ ω_p , ω' และ ω แต่เปลี่ยนค่า b เป็นความกว้างของตัวแกน และปริมาณเหล็กเสริมต้องเป็นส่วนที่ทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในตัวแกนเท่านั้น

ในกรณีที่ดัชนีเหล็กเสริมข้างต้นมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ กำลังรับแรงดัดออกแบบต้องมีค่าไม่เกินกำลังรับแรงดัดที่คำนวณโดยใช้ส่วนรับแรงอัด (Compression Portion) ของโมเมนต์ภายในเป็นเกณฑ์

13. การคำนวณหาการแอ่นตัว

การคำนวณหาการแอ่นตัวจากผลของแรงกระทำต่างๆ เช่น แรงพยุ่ง แรงที่ปลายคาน หรือน้ำหนักบรรทุกภายนอก เป็นต้น ให้คำนวณค่าการแอ่นตัวแต่ละค่าได้จากสมการของการแอ่นตัวโดยปกติหรือตามทฤษฎีอีลาสติค แล้วนำผลมารวมกันโดยวิธีพีชคณิต และต้องระบุผลลัพธ์ของการคำนวณว่าเป็นการแอ่นขึ้น (Camber) หรือการแอ่นลง (Deflection) เสมอ

การแอ่นตัวประกอบไปด้วยการพิจารณาใน 2 ช่วง ได้แก่ การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที และการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว ซึ่งมีรายละเอียดของการพิจารณาดังต่อไปนี้

13.1 การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที

การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีเกิดจากผลของแรงต่างๆ เช่น การอัดแรง น้ำหนักของตัวคอนกรีตอัดแรงเอง น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม หรือน้ำหนักบรรทุกจร เป็นต้น ซึ่งในการคำนวณหาการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

13.1.1 การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีสำหรับหน้าตัดไม่แตกร้าว

คือ การคำนวณในช่วง ณ สภาวะใช้งาน โดยคอนกรีตยังไม่มีแตกร้าวเกิดขึ้น ซึ่งสามารถใช้สมการของการแอ่นตัวโดยปกติมาคำนวณหาการแอ่นตัวได้ทันที

13.1.2 การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีสำหรับหน้าตัดแตกร้าว

คือ การคำนวณในช่วง ณ สภาวะใช้งาน แต่คอนกรีตมีน้ำหนักบรรทุกภายนอกมากระทำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนส่งผลทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตมีค่าเกินกว่า $2.0\sqrt{f'_c}$ จะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต

สำหรับการคำนวณหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีสำหรับหน้าตัดแตกร้าวให้พิจารณา ณ สถานะเริ่มการแตกร้าว โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

- (1) ช่วงการแอ่นตัว ณ สถานะเริ่มการแตกร้าว ต้องพิจารณาย้อนหาน้ำหนักบรรทุกภายนอกที่ทำให้คอนกรีตเกิดการเริ่มแตกร้าว (w_{cr}) (เกิดหน่วยแรงดึงเท่ากับ $2.0\sqrt{f'_c}$) เพื่อนำมาหาค่าการแอ่นตัว ณ สถานะเริ่มการแตกร้าว
- (2) ช่วงการแอ่นตัวเพิ่มเติมหลังจากการแตกร้าว ต้องพิจารณาน้ำหนักบรรทุกภายนอกที่ยังคงเหลืออยู่และต้องใช้โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่แตกร้าว (I_{cr}) แทนโมเมนต์ความเฉื่อย (I) ในการคำนวณหาค่าการแอ่นตัวเพิ่มเติมหลังจากการแตกร้าว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$I_{cr} = n \cdot A_{ps} \cdot d_p^2 (1 - 1.67 \sqrt{n \rho_p}) \quad (39)$$

โดยที่ n = อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมอัดแรงกับ
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ($\frac{E_s}{E_c}$)

ρ_p = อัตราส่วนของเหล็กเสริมอัดแรง ทั้งนี้ให้พิจารณาตามสมการที่
(37)

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ $15,200\sqrt{f'_c}$

โดยให้นำค่าการแอ่นตัวทั้งสองช่วงข้างต้นมารวมกัน เพื่อหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีสำหรับหน้าตัดแตกร้าวสุทธิ

13.2 การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว

การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาวเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม การคืบของคอนกรีต การหดตัวของคอนกรีต การคลายตัวของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง เป็นต้น ทั้งนี้การคำนวณหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาวให้ใช้วิธีประมาณโดยใช้ตัวคูณ ดังแสดงในตารางที่ 6 การคำนวณค่าการแอ่นตัวในระยะยาวนี้ให้คิดจากชนิดของแรงที่กระทำแต่ละอย่างแยกออกจากกัน ตามเงื่อนไขในตาราง แล้วจึงค่อยนำค่าที่ได้มาคิดรวมกัน เพื่อหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาวสุทธิ

ตารางที่ 6 ค่าตัวคูณเพื่อคำนวณการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว
(ข้อ 13.2)

กรณีพิจารณา	ค่าตัวคูณ	
	ไม่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับคาน	หล่อเป็นเนื้อเดียวกับคาน
กรณี 1 : หลังจากถ่ายแรงไประยะหนึ่ง แต่ยังไม่มีน้ำหนักบรรทุกภายนอก		
1.1 เกิดการแอ่นตัวลง เนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักตัวเองขณะถ่ายแรง)	1.85	1.85
1.2 เกิดการแอ่นตัวขึ้น เนื่องจากการอัดแรง (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากการอัดแรงขณะถ่ายแรง)	1.80	1.80
กรณี 2 : หลังจากรับน้ำหนักบรรทุกภายนอก		
2.1 เกิดการแอ่นตัวลง เนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักตัวเองขณะถ่ายแรง)	2.70	2.40
2.2 เกิดการแอ่นตัวขึ้น เนื่องจากการอัดแรง (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากการอัดแรงขณะถ่ายแรง)	2.45	2.20
2.3 เกิดการแอ่นตัวลง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักคงที่เพิ่มเติมเท่านั้น)	3.00	3.00
2.4 เกิดการแอ่นตัวลง เนื่องจากพื้นที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับคาน (เอาค่าตัวคูณไปคูณกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากพื้นที่หล่อเพิ่มเติมเท่านั้น)	-	2.30

14. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง ณ สถานะประลัย

การคำนวณหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง ณ สถานะประลัย (f_{ps}) ให้ใช้วิธีการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานความสอดคล้องเชิงหน่วยการยืดหดตัว (Strain Compatibility) ในกรณีที่หน่วยแรงดึงประสิทธิผลมีค่าไม่น้อยกว่า $0.5f_{pu}$ ($f_{se} \geq 0.5f_{pu}$) สามารถใช้ค่า f_{ps} โดยประมาณดังต่อไปนี้

14.1 สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว (Bonded Tendon)

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \quad (40)$$

โดยที่ γ_p = ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง มีค่าดังนี้
 เท่ากับ 0.55 เมื่อ $0.80 \leq f_{py} / f_{pu} < 0.85$
 เท่ากับ 0.40 เมื่อ $0.85 \leq f_{py} / f_{pu} < 0.90$
 เท่ากับ 0.28 เมื่อ $f_{py} / f_{pu} > 0.90$

ในการคำนวณหาค่า f_{ps} ตามสมการ (40) หากมีการใช้เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตร่วมรับแรงอัดแล้ว พจน์ $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right]$ ให้ใช้ค่าไม่น้อยกว่า 0.17 และระยะ d' ต้องไม่เกินกว่า $0.15d_p$

14.2 สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยว (Unbonded Tendon) และมีอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึก (Span to Depth) ไม่เกิน 35

$$f_{ps} = f_{se} + 700 + \frac{f'_c}{100\rho_p} \quad (41)$$

โดยที่ f_{se} = หน่วยแรงดึงประสิทธิภาพในเหล็กเสริมอัดแรง
 แต่ทั้งนี้ค่า f_{ps} ต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่น้อยกว่าระหว่าง f_{py} และ $f_{se} + 4,000$

14.3 สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยว (Unbonded Tendon) และมีอัตราส่วนความยาวต่อความลึก (Span to Depth) เกินกว่า 35

$$f_{ps} = f_{se} + 700 + \frac{f'_c}{300\rho_p} \quad (42)$$

แต่ทั้งนี้ค่า f_{ps} ต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่น้อยกว่าระหว่าง f_{py} และ $f_{se} + 2,000$

15. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตกับการช่วยรับแรงดึง

สำหรับเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเหล็กเสริมอัดแรงอาจพิจารณาให้สามารถมีส่วนช่วยรับแรงดึงได้ และสามารถนำมารวมในการคำนวณกำลังรับแรงดัดของหน้าตัดโดยถือว่าเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมีหน่วยแรงเท่ากับกำลังคราก (f_y)

16. การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนในคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงใดๆ ต้องไม่เกิดการวิบัติโดยแรงเฉือน เช่นเดียวกันกับการออกแบบโครงสร้างชนิดอื่นๆ โดยสามารถใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือนช่วยในการเสริมกำลังในการรับแรงเฉือนของหน้าตัดได้ เช่นเดียวกันกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

16.1 การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือน

ในการออกแบบหน้าตัดโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงภายใต้แรงเฉือน ต้องออกแบบให้กำลังรับแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) มีค่าสูงกว่าแรงเฉือนปรับค่า (Factored Shear force, V_u) หรือ

$$\phi V_n \geq V_u \quad (43)$$

16.2 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_n)

16.2.1 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_n = V_c + V_s \quad (44)$$

โดย V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของคอนกรีต ทั้งนี้ให้พิจารณาตามข้อกำหนดในส่วนที่ 16.3

V_s = กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ทั้งนี้ให้พิจารณาตามข้อกำหนดในส่วนที่ 16.4

16.2.2 การคำนวณค่า V_n ต้องคำนึงถึงผลของช่องเปิดใดๆ ในชิ้นส่วนที่กำลังพิจารณาด้วย

16.2.3 การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงอาจจะออกแบบหน้าตัดที่อยู่ห่างจากผิวของที่รองรับเป็นระยะน้อยกว่า $h/2$ ให้รับแรงเฉือน V_u ได้เท่ากับแรงเฉือนระยะ $h/2$ จากผิวของที่รองรับได้ โดยมีเงื่อนไขว่า แรงปฏิกิริยา ณ ที่รองรับในทิศทางของแรงเฉือนภายนอกต้องทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในบริเวณปลายของชิ้นส่วนเหนือที่รองรับ และต้องไม่มีแรงกระทำเป็นจุด (Concentrated Load) ระหว่างผิวของที่รองรับกับหน้าตัดวิกฤตดังกล่าว

16.3 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของคอนกรีต (V_c)

16.3.1 การคำนวณอย่างละเอียด

กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของคอนกรีต (V_c) ให้พิจารณาจากค่าที่น้อยกว่าระหว่าง “กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ กรณีการแตกร้าวในแนวทแยง เนื่องจากผลรวมของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด (V_{ci})” และ “กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ กรณีการแตกร้าวในแนวทแยง เนื่องจากผลของแรงดึงหลักในตัวแกน (V_{cw})” กล่าวคือ

$$V_c = \min(V_{ci}, V_{cw}) \quad (45)$$

โดยที่ค่า V_{ci} และค่า V_{cw} สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c}b_wd_p + V_d + \frac{V_i\Delta M_{cr}}{M_{max}} \quad (46)$$

ทั้งนี้ V_{ci} สามารถใช้ได้ไม่น้อยกว่า $0.45\sqrt{f'_c}b_wd_p$

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc})b_wd_p + V_p \quad (47)$$

โดยที่ $\Delta M_{cr} =$ โมเมนต์แตกร้าวด้วยการตัดที่หน้าตัด เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกกระทำภายนอก สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta M_{cr} = \frac{1}{y_t} (1.6\sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d) \quad (48)$$

16.3.2 การคำนวณโดยประมาณ

ถ้าชิ้นส่วนที่มีแรงดึงประสิทธิผลในเหล็กเสริมอัดแรงมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของกำลังดึงประลัยเหล็กเสริมอัดแรงแล้ว และไม่ต้องการคำนวณค่า V_c ด้วยวิธีการอย่างละเอียดตามที่กำหนดไว้ในข้อ 16.3.1 นั้น อาจหาค่า V_c โดยการประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_c = \left(0.16\sqrt{f'_c} + 49 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d_p \quad (49)$$

ทั้งนี้ค่าของ $\frac{V_u d_p}{M_u}$ ในสมการที่ (49) ให้ใช้ได้ไม่เกิน 1.0 และค่า V_c สามารถใช้ได้ไม่น้อยกว่า $0.53\sqrt{f'_c} b_w d_p$ แต่ต้องไม่เกิน $1.33\sqrt{f'_c} b_w d_p$ นอกจากนี้ค่า V_c ต้องไม่เกินกว่าค่าที่คำนวณตามเงื่อนไขเพิ่มเติมในข้อ 16.3.3 ด้วย

16.3.3 เงื่อนไขพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน

- (1) ถ้าหน้าตัดที่ระยะ $h/2$ จากผิวของที่รองรับอยู่ห่างจากปลายของชิ้นส่วนน้อยกว่าระยะส่งถ่ายแรง (Transfer Length) ของเหล็กเสริมอัดแรงแล้ว ในการคำนวณค่า V_{cw} ใช้ค่าแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าแรงดึงประสิทธิผล นอกจากนี้ค่า V_{cw} ที่คำนวณได้จะเป็นค่าพิคัดสูงสุดของค่า V_c ที่คำนวณตามสมการ (49) ด้วย
ทั้งนี้ในการคำนวณค่าแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงให้สมมุติว่า แรงดึงดังกล่าวแปรผันเป็นเชิงเส้น โดยเริ่มจากมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ปลายของเหล็กเสริมอัดแรงจนถึงค่าสูงสุดที่ระยะเท่ากับระยะส่งถ่ายแรง โดยความยาวของระยะส่งถ่ายแรงอาจประมาณให้เท่ากับ 50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดตีเกลียวอัดแรง หรือเท่ากับ 100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดอัดแรง
- (2) ถ้าการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีตไม่สามารถส่งผ่านได้ตลอดถึงปลายของชิ้นส่วน การคำนวณหา V_c ด้วยวิธีละเอียดหรือวิธีประมาณตามที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ต้องพิจารณาถึงค่าแรงอัดที่ลดลงในชิ้นส่วนด้วย โดยค่า V_{cw} ที่คำนวณได้จากการอัดแรงที่ลดลงดังกล่าวจะใช้เป็นค่าพิคัดสูงสุดของสมการ (49) ด้วย

สำหรับการประมาณแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงอาจใช้วิธีการตาม (1) โดยแปรผันเชิงเส้นของแรงดึงดังกล่าวให้เริ่มจากมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งเริ่มเกิดการยึดเหนี่ยวจนถึงค่าสูงสุดที่ระยะเท่ากับระยะส่งถ่ายแรง และระยะส่งถ่ายแรงให้เป็นไปตามที่กำหนดใน (1)

16.4 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (V_s)

การวิเคราะห์แรงเฉือนสำหรับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงใดๆ ตามสมการ (43) ในครั้งแรก โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงอาจยังไม่ได้พิจารณาใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนเลย ดังนั้น V_s จะมีค่าเป็นศูนย์

16.4.1 การคำนวณค่า V_s

ค่า V_s สามารถพิจารณาได้ตามเงื่อนไขของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่พิจารณาใส่ไว้ในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ซึ่งสามารถแยกออกตามกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- (1) กรณีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเป็นเหล็กปลอกวางตั้งฉากกับแนวของชิ้นส่วน

$$V_s = \frac{A_v f_y d_p}{s} \quad (50)$$

- (2) กรณีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเป็นเหล็กปลอกวางเอียง (Stirrup) กับแนวของชิ้นส่วน

$$V_s = \frac{A_v f_y d_p}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (51)$$

- (3) กรณีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ซึ่งประกอบด้วยเหล็กเส้นเดียวหรือกลุ่มของเหล็กเส้นที่ขนานกัน และตัดขึ้นที่ระยะห่างจากที่รองรับเท่ากัน

$$V_s = A_v f_y \sin \alpha \quad \text{แต่ต้อง } \leq 0.80 \sqrt{f'_c} b_w d_p \quad (52)$$

- (4) กรณีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ซึ่งประกอบด้วยชุดของเหล็กค่อม (Bent Longitudinal Reinforcement) ที่ขนานกัน และถูกตัดขึ้นที่ระยะต่างๆ จากที่รองรับ
ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_s) ให้คำนวณได้จากสมการ (51)

โดยที่ A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ภายในระยะห่าง s มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร ทั้งนี้สำหรับเหล็กปลอก ค่า A_v จะมีค่าเป็น 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่ใช้

สำหรับเหล็กตามแนวยาวที่งอขึ้นเป็นเหล็กค่อมนั้น ให้ถือว่าเฉพาะ 3 ใน 4 ของช่วงกลางในส่วนที่เอียงของเหล็ก มีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือน

นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือนมากกว่าหนึ่งประเภทในบริเวณเดียวกันของชิ้นส่วน การคำนวณค่า V_s จะเท่ากับผลรวมค่า V_s ที่คำนวณได้จากเหล็กเสริมแต่ละประเภท

16.4.2 การพิจารณา V_s

ค่า V_s สำหรับทุกกรณีในข้อ 16.4.1 ต้องมีค่าไม่มากกว่า $2.12\sqrt{f'_c}b_wd_p$

แต่ถ้าค่า V_s มีค่ามากกว่าที่กำหนดนี้แล้ว ต้องออกแบบให้หน้าตัดของโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น

17. การออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

การออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ลักษณะ ตามผลการวิเคราะห์จากสมการ (43) และรายละเอียดอื่นๆ ตามข้อกำหนดในส่วนที่ 16 ทั้งนี้การออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือนควรดำเนินการพิจารณาออกแบบหน้าตัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงตามความเหมาะสมด้วย

17.1 การออกแบบเมื่อค่า $V_u \geq \phi V_c$

เมื่อผลการวิเคราะห์พบว่าแรงเฉือนเพิ่มส่วน (V_u) มีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่ออกแบบ (ϕV_c) แล้ว ต้องพิจารณาใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มกำลังต้านแรงเฉือนของหน้าตัดเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (43) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 17.1.1 คำนวณผลต่างระหว่างค่า V_u และค่า ϕV_c ซึ่งจะเท่ากับกำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ต้องการ ตามสมการดังนี้

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (53)$$

- 17.1.2 ถ้าพบว่าค่า V_s นี้ มีค่ามากกว่า $2.12\sqrt{f'_c}b_wd_p$ แล้ว ให้ย้อนกลับไปออกแบบให้หน้าตัดของโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยยังไม่ต้องพิจารณาเสริมเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (เริ่มออกแบบใหม่)

- 17.1.3 เลือกประเภทของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่จะนำมาใช้ เพื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (s) ตามเงื่อนไขของสมการต่างๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่แสดงไว้ในหัวข้อ โดยที่ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องพิจารณาให้ตรงตามเงื่อนไขในข้อ 17.3 ด้วย

- 17.1.4 ทั้งนี้ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ใช้ตามข้อ 17.1.3 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาณต่ำสุดของการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน ($(A_v)_{\min}$) ตามสมการ (54)

17.2 การออกแบบเมื่อค่า $V_u < \phi V_c$

เมื่อผลการวิเคราะห์พบว่าแรงเฉือนเพิ่มส่วน (V_u) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงเฉือนที่ออกแบบของคอนกรีต (ϕV_c) แล้วให้ตรวจสอบค่า V_u กับครึ่งหนึ่งของค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนในส่วนคอนกรีตอัดแรง ($\phi V_c/2$) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

17.2.1 ถ้าพบว่าค่า V_u มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่า $\phi V_c/2$ ($V_u \leq \phi V_c/2$) ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ยกเว้นถ้าโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่พิจารณามีลักษณะเป็น

(1) แผ่นพื้น

(2) ฐานราก

(3) คานซึ่งมีความลึกไม่มากกว่า 25 เซนติเมตร หรือ 2.5 เท่า ของความหนาของปีกคาน หรือครึ่งหนึ่งของความกว้างของตัวแกน ทั้งนี้ให้ใช้ค่ามากที่สุด

17.2.2 ถ้าพบว่าค่า V_u ค่ามากกว่า ค่า $\phi V_c/2$ ($V_u > \phi V_c/2$) ให้เสริมเหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่น้อยกว่าปริมาณต่ำสุดของการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน ($(A_v)_{\min}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$(A_v)_{\min} = \frac{3.5b_w s}{f_y} \quad (55)$$

ทั้งนี้สำหรับกรณีของคานคอนกรีตอัดแรงซึ่งมีแรงอัดประสิทธิผลในเหล็กเสริมอัดแรงไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง ปริมาณต่ำสุดของการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนอาจพิจารณาจากค่าที่น้อยกว่าระหว่างค่าที่ได้จากสมการ (55) หรือสมการ (56)

$$(A_v)_{\min} = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_y d_p} \sqrt{\frac{d_p}{b_w}} \quad (56)$$

17.3 ระยะห่าง (Spacing) ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

17.3.1 ระยะห่างของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่วางตั้งฉากกับแนวแกนของคานต้องไม่ห่างเกิน $0.75h$ และไม่เกิน 60 เซนติเมตร และถ้าค่า V_s มีค่าเกินกว่า $1.60\sqrt{f'_c}b_w d_p$ แล้วระยะห่างจะต้องลดลงครึ่งหนึ่ง

17.3.2 เหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่เป็นเหล็กดัดวางเอียง (Stirrup) และเหล็กค่อม (Bent Longitudinal Reinforcement) ต้องจัดวางโดยที่เส้นตรงทุกเส้นที่ลากจากจุดกึ่งกลางความลึกของชิ้นส่วน ไปยังแนวของเหล็กเสริมตามยาวที่รับแรงดึง ต้องถูกตัดผ่านเหล็กเสริมรับแรงเฉือนอย่างน้อย 1 เส้น

18. การออกแบบแรงบิดในคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงโดยทั่วไปสามารถละเว้นการคำนึงถึงผลของแรงบิดที่กระทำต่อโครงสร้าง ยกเว้นโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางชนิดที่อาจได้รับผลกระทบจากแรงบิด เช่น คานขอบ คานที่รับพื้นยื่น คานโค้ง บันไดเวียน เป็นต้น ทั้งนี้โครงสร้างเหล่านี้ให้นำหลักของการวิเคราะห์แรงบิดที่เหมาะสมมาพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

19. การออกแบบของค้ำอาคารในส่วนของสมอยึด

ส่วนของสมอยึด (Anchorage Zone) คือ ส่วนบริเวณปลาย (End Zone) ขององค์อาคารหรือโครงสร้างซึ่งเกิดการถ่ายแรงจากเหล็กเสริมอัดแรงเข้าสู่คอนกรีต โดยมีลักษณะเป็นการถ่ายแรงความเข้มข้นสูงอันเกิดจากแรงอัดเฉพาะจุด (Concentrated Prestressing Force) ให้กระจายออกไปสู่สภาวะของหน่วยแรงที่แปรผันเชิงเส้น (Linear Stress Distribution)

19.1 ทัวไป

การถ่ายแรงจากเหล็กเสริมอัดแรงเข้าสู่คอนกรีตอัดแรงมีอยู่ 2 วิธี กล่าวคือ

- 19.1.1 การถ่ายแรงผ่านแรงยึดเกาะ (Bond) ระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีตไปตามความยาวของลวดอัดแรง วิธีนี้จะใช้กับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน
- 19.1.2 การถ่ายแรงผ่านแรงแบกทาน (Bearing) ระหว่างแผ่นเหล็กสมอยึด (Steel Anchorage Plate) หรืออุปกรณ์สมอยึดชนิดอื่นๆ กับคอนกรีต วิธีนี้จะใช้กับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง

19.2 การออกแบบบริเวณปลายสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน (Pretensioned End Zone)

การถ่ายแรงจากเหล็กเสริมอัดแรงเข้าสู่คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนจะกระทำที่บริเวณปลายยึดผ่านแรงยึดเกาะระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงและคอนกรีต ซึ่งจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไปและมีความรุนแรงน้อยกว่าคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง ประกอบไปด้วยการพิจารณาที่สำคัญดังต่อไปนี้

19.2.1 ระยะถ่ายแรง (Transmission Length)

ระยะถ่ายแรง (Transmission Length) คือ ความยาวที่ต้องการในการถ่ายแรงอัดทั้งหมดจากปลายเหล็กเสริมอัดแรงเข้าสู่คอนกรีตที่หุ้มโดยรอบผ่านแรงยึดเกาะ ทั้งนี้ค่าระยะถ่ายแรงนี้ต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะถ่ายแรงต่ำสุดของเหล็กเสริมอัดแรง
(ข้อ 19.2.1)

ประเภทของเหล็กเสริมอัดแรง	ระยะถ่ายแรงต่ำสุด
ลวดอัดแรงชนิดกลมเกลี้ยง (Plain Wire)	100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง
ลวดอัดแรงชนิดมีรอยย่น (Indented Wire)	100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง
ลวดเกลียวอัดแรงประเภทคลายความเค้น (Steel-Relieved Steel Strand)	50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ทั้งนี้ระยะถ่ายแรงต่ำสุดตามที่แสดงในตารางข้างต้นจะสามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อได้พิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้แล้วเท่านั้น

- (1) การถ่ายแรงกระทำแบบช้าๆ โดยที่กำลังอัดประลัยของคอนกรีตขณะถ่ายแรง (f'_{ci}) มีค่าไม่น้อยกว่า 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- (2) สำหรับระยะถ่ายแรงของเหล็กเสริมอัดแรงที่อยู่บริเวณส่วนบนของคาน ควรพิจารณาเพิ่มระยะถ่ายแรงจากที่กำหนดในตารางข้างต้น เนื่องจากคอนกรีตส่วนบนของคานมักจะมีการอัดตัว (Compaction) ที่น้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ส่วนล่างของคาน
- (3) สำหรับผลทางการคำนวณ อาจจะสมมุติให้แรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรงแปรผันเป็นเส้นตรงจากศูนย์ที่ผิวปลายของชิ้นส่วน จนถึงค่าสูงสุดที่ระยะเท่ากับการถ่ายแรง
- (4) ถ้าเหล็กเสริมอัดแรงถูกป้องกันมิให้เกิดการยึดเกาะกับคอนกรีต เช่น โดยการใส่ปลอก (Sleeve) หรือเทปกั้นการยึดเกาะ (Debonding Tape) แล้ว ค่าระยะถ่ายแรงต่ำสุดตามที่แสดงในตารางข้างต้นยังคงสามารถใช้ได้ โดยให้ถือว่าการถ่ายแรงเริ่มเกิดขึ้นจากจุดสิ้นสุดของส่วนไร้การยึดเกาะ

19.2.2 เหล็กเสริมกันปริตามแนวแกน

เกิดจากหน่วยแรงดึงในทิศตั้งฉากกับแนวแกนของโครงสร้าง ทั้งนี้สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนอาจไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กเสริมกันปริตามแนวแกน แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเห็นว่าการแตกร้าวในแนวนอนอาจเกิดขึ้นได้ ต้องเสริมเหล็กปลอกในแนวตั้งเพื่อรับแรงปริ (แรงดึง) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) การเสริมเหล็กปลอกต้องให้สามารถรับแรงได้อย่างน้อยร้อยละ 4 ของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงทันทีในขณะถ่ายแรง

- (2) หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กปลอกต้องไม่เกิน 1,250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- (3) เหล็กปลอกที่ต้องวางให้อยู่ในระยะห่างจากปลายของชิ้นส่วนไม่เกิน 0.25 เท่าของความยาวของชิ้นส่วน
- (4) เหล็กปลอกอันแรกต้องวางให้ชิดปลายชิ้นส่วนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

19.3 การออกแบบบริเวณสมอยึดสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง (Post-Tensioned Anchorage Zone)

สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลัง แรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรงจะถ่ายในเข้าสู่คอนกรีตผ่านทางสมอยึดซึ่งเรียกว่า “แรงแบกทาน (Bearing)” แรงแบกทานนี้อาจมีค่าสูงมากจนทำให้เกิดการวิบัติ นอกจากนี้หน่วยแรงอัดจะส่งผลทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในทิศทางตั้งฉากก็จะเกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียง สมอยึด อันจะส่งผลทำให้เกิดการปริของคอนกรีตขึ้นได้

ดังนั้นการออกแบบบริเวณสมอยึดสำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายหลังประกอบด้วยการพิจารณาใน 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ การตรวจสอบแรงแบกทานของคอนกรีตหลังสมอยึด และการออกแบบเหล็กเสริมกันปริ

19.3.1 การตรวจสอบแรงแบกทานของคอนกรีตหลังสมอยึด

คือ การพิจารณาตรวจสอบค่าระหว่างแรงแบกทานที่เกิดจริงขึ้นบนคอนกรีต (σ_b) กับแรงแบกทานที่ยอมให้ของคอนกรีตหลังสมอยึด (f_{cp}) เพื่อป้องกันไม่ให้หน่วยแรงในคอนกรีตมีค่ามากจนเกินไป ทั้งนี้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง คือ ขณะถ่ายแรงอัดเข้าสู่องค์อาคาร และขณะใช้งาน

19.3.1.1 สำหรับค่าแรงแบกทานที่ยอมให้ของคอนกรีตหลังสมอยึดทั้ง 2 ช่วงสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

(1) ขณะถ่ายแรงอัดเข้าสู่องค์อาคาร

$$(f_{cp})_i = 0.8 f'_{ci} \sqrt{A_2 / A_1 - 0.2} \leq 1.25 f'_{ci} \quad (57)$$

ทั้งนี้ถ้าค่า $(f_{cp})_i$ มีค่ามากกว่า $1.25 f'_{ci}$ แล้ว ให้ใช้ค่า $(f_{cp})_i = 1.25 f'_{ci}$

(2) ขณะใช้งาน

$$(f_{cp})_s = 0.8 f'_c \sqrt{A_2 / A_1} \leq f'_c \quad (58)$$

ทั้งนี้ถ้าค่า $(f_{cp})_s$ มีค่ามากกว่า f'_c แล้ว ให้ใช้ค่า $(f_{cp})_s = f'_c$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดของปริซึมรับแรง (A_2) ให้พิจารณารูปที่ 1 ประกอบ

19.3.1.2 สำหรับค่าแรงแบกทานที่เกิดจริงขึ้นบนคอนกรีต (σ_b) คำนวณจาก

$$(\sigma_b)_i = \frac{P_{si}}{A_b} \quad (59)$$

$$(\sigma_b)_s = \frac{P_{se}}{A_b} \quad (60)$$

19.3.1.3 ให้ตรวจสอบว่าค่า

$$(\sigma_b)_i \geq (f_{cp})_i \text{ และ } (\sigma_b)_s \geq (f_{cp})_s \quad (61)$$

ถ้าผลการตรวจสอบไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (61) แล้ว ต้องกลับไปออกแบบขนาดของสมอยึดใหม่

19.3.2 การออกแบบเหล็กเสริมกันปริ

แรงดึงในทิศทางตั้งฉากซึ่งส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวฝลนลักษณะของการปริของคอนกรีต (Splitting Crack) นั้น เกิดจากการถ่ายแรงอัดของสมอยึดเข้าสู่คอนกรีตซึ่งมีลักษณะเป็นการกระจาย ทั้งนี้การกระจายจะเป็นไปใน 2 ทิศทาง คือ แนวตั้ง (หรือแนวแกน) และแนวราบ (หรือด้านข้าง) ดังนั้นแรงดึงจึงเกิดใน 2 ทิศทางเช่นกัน

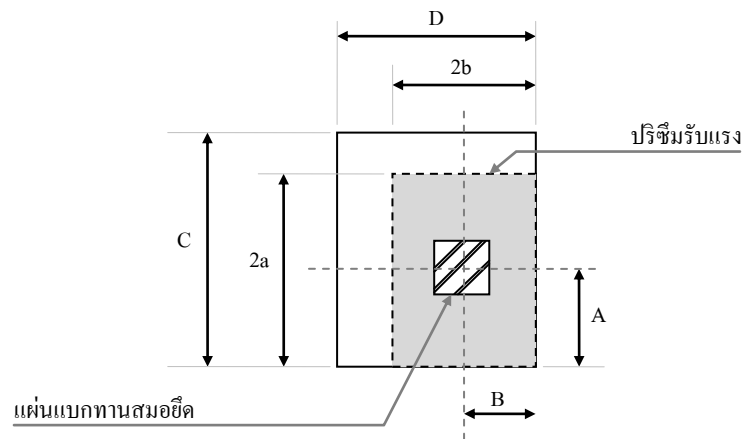
โดยตามปกติจะการใช้การเสริมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตในรูปของเหล็กปลอก เพื่อป้องกันการปริของคอนกรีต

การคำนวณหาหน่วยแรงปริตามแนวตั้ง และหน่วยแรงปริตามแนวราบ จะมีหลักการที่แตกต่างกันออกไปตามรูปแบบของสมอยึดที่นำมาใช้ เช่น สมอยึดเดี่ยววางกลางหน้าตัด สมอยึดคู่วางสมมาตร สมอยึดวางเป็นกลุ่ม หรือ สมอยึดวางเอียงศูนย์ เป็นต้น เพราะการวางสมอยึดในแต่ละรูปแบบจะส่งผลทำให้เกิดประเภทของโมเมนต์ที่แตกต่างกัน (โดยเฉพาะแนวตั้ง)

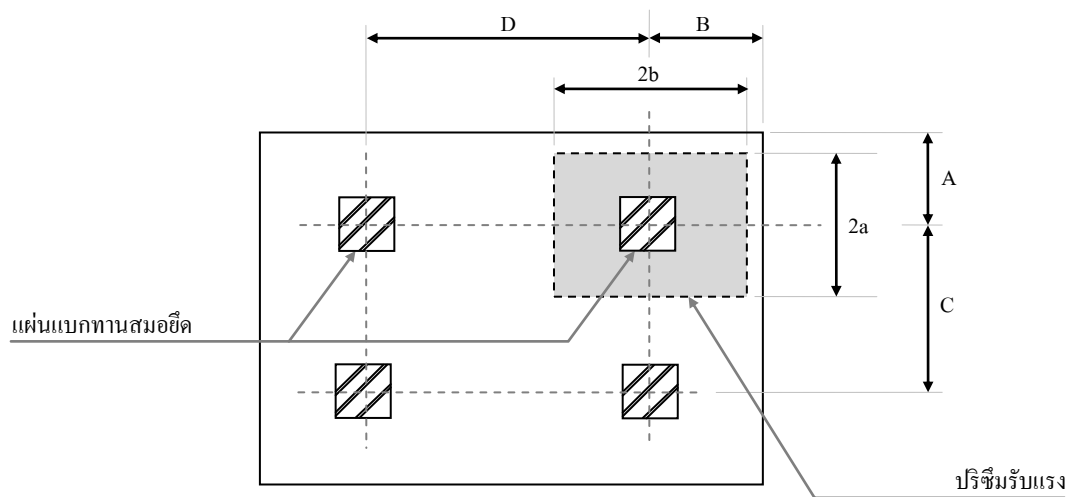
ดังนั้นการคำนวณหาหน่วยแรงปริตามแนวแกนและหน่วยแรงปริด้านข้างสามารถคำนวณได้จากหลักวิชาการต่างๆ ซึ่งมีความถูกต้อง โดยเลือกใช้ให้เกิดความเหมาะสม และสอดคล้องตามรูปแบบของของสมอยึดที่นำมาใช้

$$A_{sb} = \frac{T_b}{f_s} \quad (62)$$

หลังจากนั้นจึงเลือกประเภท จำนวน และกำหนดระยะห่างระหว่างเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่จะนำมาใช้ โดยผลรวมของพื้นที่หน้าของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตนี้ต้องมากกว่า (A_{sb}) ในสมการ (62) ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดของช่วงระยะจากปลายชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องใช้สำหรับวางเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตด้วย



ก. ปริมสำหรับสมอยึดเดี่ยว



ข. ปริมสำหรับกลุ่มสมอยึด

หมายเหตุ $2a$ = ขนาดที่เล็กกว่าระหว่าง $2A$ หรือ C หน่วยเป็น เซนติเมตร

$2b$ = ขนาดที่เล็กกว่าระหว่าง $2B$ หรือ D หน่วยเป็น เซนติเมตร

รูปที่ 1 การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของปริมรับแรง

(ข้อ 19.3.1.1)

20. การออกแบบเพื่อความต้านทานอัคคีภัย

การออกแบบคอนกรีตอัดแรงต้องคำนึงความต้านทานต่ออัคคีภัยเพิ่มเติม นอกเหนือไปจากการพิจารณาความแข็งแรงคงทนต่อการใช้งานตามที่กล่าวมาแล้วในส่วนต่างๆ ทั้งนี้สำหรับรายละเอียดของความต้านทานต่ออัคคีภัยให้พิจารณาตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

21. การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมชนิดไม่ยึดเหนี่ยว

สำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดภายในซึ่งมีลักษณะเป็นเหล็กเสริมชนิดไม่ยึดเหนี่ยว เหล็กเสริมอัดแรงต้องได้รับการป้องกันการผุกร่อนอย่างทั่วถึง โดยการเคลือบผิวด้วยสารป้องกันซึ่งมีคุณสมบัติอย่างน้อยดังต่อไปนี้

- 21.1 สารต้องมีความเสถียรภาพทางเคมี และไม่ทำปฏิกิริยากับทั้งเหล็กเสริมอัดแรง และท่อหุ้มลวดอัดแรง (Duct)
- 21.2 สารต้องมีความคงตัวตลอดอายุการใช้งาน กล่าวคือ ไม่มีการเสื่อมไหลหรือเกิดการแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิใช้งาน
- 21.3 สารต้องมีความสามารถป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงได้ตลอดอายุการใช้งาน
- 21.4 สารควรช่วยลดความเสียหายระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับท่อหุ้มลวดอัดแรง

22. เอกสารอ้างอิง

- 22.1 นเรศ พันธราช. 2540. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง. กรุงเทพมหานคร
- 22.2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ประเทศไทย. 2536. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง. พิมพ์ครั้งที่ 3
- 22.3 สมโพธิ วิวิธเกียรติก. 2550. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง. กรุงเทพมหานคร
- 22.4 The American Concrete Institute (ACI). 2005. ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- 22.5 BS8110 Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and Construction
- 22.6 The International Code Council (ICC), 2006. International Building Code 2006.
- 22.7 The National Research Council (NRC). 2005. National Building Code of Canada 2005.

มาตรฐานประกอบการออกแบบห้องเก็บและที่เก็บฟิล์ม

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานนี้ใช้สำหรับประกอบการออกแบบห้องเก็บและที่เก็บของฟิล์มชนิดเซลลูโลสไนเตรต (Cellulose Nitrate-Based) เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินในกรณีที่เกิดอัคคีภัย
- 1.2 ข้อกำหนดนี้ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับห้องเก็บและที่เก็บฟิล์มรูปแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ฟิล์มชนิดเซลลูโลสไนเตรต
- 1.3 ข้อพิจารณาด้านการคำนวณหรือการทดสอบในการออกแบบก่อสร้างอื่นที่จำเป็น ซึ่งไม่ได้ระบุรายละเอียดเฉพาะไว้ในข้อกำหนดนี้ สามารถนำมาตรฐานหรือข้อกำหนดอื่นๆ มาใช้งานร่วมด้วย

2. นิยาม

- “ช่องระบายความดัน (Explosion Vent)” หมายถึง ช่องระบายอากาศที่มีไว้สำหรับการปลดปล่อยความดันที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของการผสมกันระหว่างแก๊สของการสลายตัวและอากาศ
- “ช่องระบายอากาศ (Decomposition Vent)” หมายถึง ช่องระบายอากาศที่มีไว้สำหรับระบายแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือการสลายตัวของฟิล์มไนเตรต
- “ตู้เก็บฟิล์ม (Film Cabinet)” หมายถึง โครงสร้างเฉพาะและอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการเก็บรักษาฟิล์มภาพยนตร์ ชนิดฟิล์มไนเตรต ที่มีความจุได้มากถึง 170 กิโลกรัม (375 ปอนด์)
- “แผ่นฟิล์มมาตรฐาน (Standard Roll)” หมายถึง แผ่นฟิล์มมาตรฐานที่มีขนาดกว้าง 35 มิลลิเมตร (1 3/8 นิ้ว) ยาว 305 เมตร (1,000 ฟุต) และหนักประมาณ 2.30 กิโลกรัม (5.1 ปอนด์)
- “ฟิล์มไนเตรต (Cellulose Nitrate Film)” หมายถึง ฟิล์มบันทึกเสียงของภาพยนตร์ ภาพนิ่ง หรือ Flat Film ที่มีเซลลูโลสไนเตรตส่วนประกอบสำคัญ หรือเป็นส่วนที่หุ้มฟิล์มเอาไว้
- “ห้องวาลท์ (Vault)” หมายถึง สิ่งก่อสร้างเฉพาะและห้องเก็บรักษาอุปกรณ์ ที่มีความสามารถในการทนไฟได้ 4 ชั่วโมง และความจุภายในไม่เกิน 21 ลูกบาศก์เมตร (750 ลูกบาศก์ฟุต)

3. มาตรฐานอ้างอิง

- 3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย
- 3.1.1 มาตรฐาน NFPA 70: National Electric Code
- 3.1.2 มาตรฐาน NFPA 80: Standard for Fire Doors and Fire Windows

- 3.1.3 มาตรฐาน NFPA 90A: Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems
 - 3.1.4 มาตรฐาน NFPA 101: Life Safety Code
 - 3.1.5 มาตรฐาน NFPA 220: Standard on Types of Building Construction
 - 3.1.6 มาตรฐาน NFPA 221: Standard for High Challenge Fire Walls, Fire Walls, and Fire Barrier Walls
- 3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานประกอบการออกแบบนี้เป็นสำคัญ

4. ความต้องการและการจัดการที่เกี่ยวข้องกับห้องเก็บหรือที่เก็บฟิล์ม

4.1 การก่อสร้าง

- 4.1.1 ต้องเก็บรักษาฟิล์มในเตรตไว้ในห้องเก็บหรือที่เก็บฟิล์มรูปแบบที่ 1 (Type I) ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน NFPA 220
- 4.1.2 ต้องติดตั้งช่องระบายอากาศและระบายความดันไว้สำหรับห้องเก็บหรือที่เก็บฟิล์มที่ระบายอากาศได้ไม่ดี
- 4.1.3 ต้องแยกห้องที่เก็บรักษาฟิล์มในเตรตออกจากห้องอื่นๆ และต้องอยู่เป็นสัดส่วนแยกจากส่วนอื่นๆ ของอาคาร ทั้งนี้ห้องต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง
- 4.1.4 ต้องสร้างให้กำแพง ผนัง พื้น และเพดาน ของห้องที่เก็บรักษาฟิล์มในเตรต มีความต่อเนื่องและประสานกันตลอดทั้งหมด
- 4.1.5 ต้องมีการติดตั้งประตูหรือหน้าต่างที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็น ส่วนเปิดของห้องที่เก็บรักษาฟิล์มในเตรต

4.2 ทางออก

- 4.2.1 ห้องทุกห้องที่ใช้สำหรับเก็บรักษาฟิล์มในเตรต (ยกเว้นห้องวาล์ว) ต้องมีแนวทางเดิน (Aisle) กว้างไม่น้อยกว่า 91 เซนติเมตร (36 นิ้ว)
- 4.2.2 ทางออกของห้องที่เก็บรักษาฟิล์มในเตรตต้องมีทางเดินระหว่างแนว กว้างไม่น้อยกว่า 76 เซนติเมตร (30 นิ้ว)
- 4.2.3 ทางเดินระหว่างแนวของห้องวาล์วต้องกว้างไม่น้อยกว่า 76 เซนติเมตร (30 นิ้ว)
- 4.2.4 ห้องที่เก็บรักษาฟิล์มในเตรตต้องมีทางออกไม่น้อยกว่า 2 แห่ง และทางออกทั้งสองนี้ต้องแยกห่างออกจากกัน (ยกเว้นห้องวาล์ว)
- 4.2.5 ทางออกต้องมีสัญลักษณ์ว่า “ทางออก” ตามที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร เกี่ยวกับทางหนีไฟ

4.3 ช่องระบายความดัน (Explosion Venting)

4.3.1 ห้องที่เก็บรักษาฟิล์มไนเตรดต้องจัดให้มีช่องระบายความดันสำหรับอาคารที่ก่อสร้างใหม่ หรือมีห้องวาล์วที่ใช้ในการเก็บหรือรักษาฟิล์มไนเตรด

(ข้อยกเว้น ห้องที่มีจำนวนฟิล์มที่ไม่ได้เก็บในตู้ไม่เกิน 20 ม้วนมาตรฐาน หรือ 6,100 เมตร (20,000 ฟุต))

4.3.2 ช่องระบายความดันต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 0.09 ตารางเมตร ต่อปริมาตรห้องเก็บหรือห้องวาล์วขนาด 1.4 ลูกบาศก์เมตร

4.4 พื้นที่ของเจ้าหน้าที่

4.4.1 พื้นที่สำหรับเจ้าหน้าที่ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 3.30 ตารางเมตรต่อคน (35 ตารางฟุตต่อคน) สำหรับเจ้าหน้าที่ทุกคนในห้องทุกห้อง

4.4.2 พื้นที่ต้องไม่มีเจ้าหน้าที่มากกว่า 15 คน ที่ปฏิบัติงานในเวลาเดียวกัน สำหรับห้องหนึ่งๆ ที่มีฟิล์มไนเตรดอยู่

4.5 โต๊ะและชั้นวาง

4.5.1 โต๊ะและชั้นวางที่ใช้ในการเก็บฟิล์ม ต้องไม่ทำจากวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย

4.5.2 โต๊ะต้องไม่มีลิ้นชักข้างใต้

4.5.3 โต๊ะและชั้นวางต้องห่างจากวัสดุที่มีรังสีหรือความร้อนอย่างน้อย 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว)

4.6 อุปกรณ์ไฟฟ้า

4.6.1 สายไฟและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้งหมด ต้องเป็นไปตามรายละเอียดที่กำหนดในมาตรฐาน NFPA 70: National Electrical Code, for Class I, Group D, Division 2 อัตราของอุณหภูมิของเครื่องใช้ไฟฟ้าควรเป็นไปตาม Class T6

4.6.2 มอเตอร์ต้องวางอยู่หรือตั้งอยู่ในบริเวณที่ฟิล์มไม่สามารถออกมาสัมผัสถูกมอเตอร์ได้

4.7 ระบบท่อ

4.7.1 เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความร้อน เครื่องทำความเย็น และระบบระบายอากาศที่ต้องใช้ท่อ ต้องทำการติดตั้งตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 90A: Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems

4.7.2 ระบบท่อที่ใช้เป็นท่อระบายอากาศสำหรับห้อง ห้องวาล์ว หรือห้องเก็บฟิล์มไนเตรด ต้องเป็นระบบอิสระและแยกตัวออกจากท่ออื่นๆ ที่เชื่อมต่อกันใน ห้องวาล์ว อื่นๆ ยกเว้นท่อดับเพลิงและถังดับไฟจะใช้ท่อที่มีความสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 7 กิโลปาสกาล

4.7.3 ต้องไม่มีการหมุนเวียนของอากาศระหว่างห้องวาล์ว

5. การป้องกันอัคคีภัย

5.1 ระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

- 5.1.1 พื้นที่หรือห้องที่มีการเก็บรักษาฟิล์มในเตรต (ยกเว้นห้องฉายและห้องรีวาย) ที่มีปริมาณฟิล์มมากกว่า 23 กิโลกรัม (51 ปอนด์ หรือ 10 ม้วนมาตรฐาน) ต้องมีการติดตั้งระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติที่มีรูปแบบเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับการติดตั้งระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ
- 5.1.2 สำหรับพื้นที่อื่นที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่หรือห้องที่มีการเก็บรักษาฟิล์มในเตรตต้องมีการติดตั้งระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ
- 5.1.3 หัวกระจายน้ำดับเพลิงในแต่ละหัวที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง ต้องกระจายน้ำครอบคลุมพื้นที่ได้ ไม่น้อยกว่า 6 ตารางเมตร (64 ตารางฟุต) และหัวกระจายน้ำดับเพลิงต้องอยู่ห่างกันไม่เกิน 2.40 เมตร (8 ฟุต)

5.2 ระบบน้ำ

ระบบน้ำสำหรับระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ ต้องสามารถส่งน้ำได้ในอัตราไม่น้อยกว่า 1.26 ลิตรต่อวินาทีต่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงหนึ่งหัว เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 20 นาที สำหรับจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งหมดที่ติดตั้ง

5.3 เครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือยกหัว

พื้นที่หรือห้องที่มีการเก็บรักษาหรือการใช้งานฟิล์มในเตรต ต้องมีการติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือเครื่องดับเพลิงยกหัวที่มีมาตรฐาน และมีจำนวนไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารเกี่ยวกับการติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือยกหัว

6. การจัดเก็บฟิล์มในเตรต

6.1 ทั่วไป

ฟิล์มในเตรตที่ไม่ได้ใช้งาน ต้องได้รับการจัดเก็บไว้ ตามรายละเอียดดังนี้

- 6.1.1 สำหรับฟิล์มที่มีปริมาณตั้งแต่ 11 กิโลกรัม (25 ปอนด์ หรือ 5 ม้วนมาตรฐาน) แต่ไม่ถึง 340 กิโลกรัม (750 ปอนด์ หรือ 150 ม้วนมาตรฐาน) ต้องจัดเก็บฟิล์มในตู้เก็บฟิล์มหรือห้องวาลท์
- 6.1.2 สำหรับฟิล์มที่มีปริมาณมากกว่า 340 กิโลกรัม (750 ปอนด์ หรือ 150 ม้วนมาตรฐาน) ต้องจัดเก็บฟิล์มในห้องวาลท์
- 6.1.3 สำหรับฟิล์มที่มีการจัดเก็บเพิ่มเติมสามารถจัดเก็บฟิล์มในตู้เก็บฟิล์มหรือห้องวาลท์ก็ได้ แต่ต้องไม่ทำให้ปริมาณฟิล์มมากกว่าที่กำหนด

6.2 ตู้เก็บฟิล์ม

6.2.1 โครงสร้างของตู้เก็บฟิล์ม

- (1) วัสดุที่ใช้ทำฐาน ประตู ผนังด้านบน และด้านข้างของตู้เก็บฟิล์ม ต้องเป็นเหล็กชนิด U.S. No. 18 และกำแพงสองชั้นวางซึ่งมีช่องห่างขนาด 38 มิลลิเมตร (1.50 นิ้ว)
- (2) ข้อต่อของตู้เก็บฟิล์มต้องใช้เป็นข้อต่อที่มีความแข็งแรงและคงทนต่อการใช้งาน
- (3) ประตูของตู้เก็บฟิล์มควรมีบานพับ 3 แห่ง และด้านหลังประตู ต้องมีช่องว่างที่ทะลุถึงกันตลอดความสูงของตู้เก็บฟิล์มซึ่งมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ระหว่างด้านหน้าของชั้นวางและประตูด้านใน

6.2.2 ความจุของตู้เก็บฟิล์ม

ตู้เก็บฟิล์มต้องมีความจุของฟิล์มในตู้ไม่เกิน 170 กิโลกรัม (375 ปอนด์ หรือ 75 ม้วนมาตรฐาน)

6.2.3 ชั้นวางของตู้เก็บฟิล์ม

- (1) ชั้นวางควรทำจากวัสดุที่เป็นฉนวน ไม่ติดไฟ และมีความหนาไม่น้อยกว่า 9.50 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) หรือทำจากไม้เนื้อแข็งที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
- (2) ชั้นวางต้องมีขนาดพอดีกับด้านหลังและด้านข้างของตู้เก็บฟิล์ม แต่ต้องมีช่องห่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ระหว่างด้านหน้าของชั้นวางและประตูด้านใน
- (3) ชั้นวางต้องมีความลึกมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกล่องเก็บฟิล์มที่ใหญ่ที่สุดที่จะเก็บในชั้นวางนั้นๆ อีกไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)
- (4) ชั้นวางต้องมีตัวกันหรือที่รัดติดตั้งเอาไว้ เพื่อให้ม้วนหรือกล่องฟิล์มที่จัดเก็บอยู่ติดผนังด้านหลังของตู้เก็บฟิล์มเสมอ และด้านหน้าของม้วนหรือกล่องฟิล์มต้องอยู่ห่างจากขอบของชั้นวางเข้ามาไม่น้อยกว่า 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
- (5) ชั้นวางทั้งหมดต้องไม่มีส่วนยื่นของม้วนหรือกล่องฟิล์มและอุปกรณ์อื่นๆ ของตู้เก็บฟิล์มยื่นออกมาจากขอบของชั้นวาง

6.2.4 ท่อระบายอากาศ

- (1) ตู้เก็บฟิล์มที่สามารถเก็บฟิล์มในเตตระได้มากกว่า 23 กิโลกรัม (50 ปอนด์ หรือ 10 ม้วนมาตรฐาน) ต้องมีท่อระบายอากาศจากตู้ไปสู่อาคารภายนอก ทางระบายอากาศควรมี พื้นที่หน้าตัดอย่างน้อย 9,000 ตารางมิลลิเมตร ต่อ ความจุฟิล์ม 45 กิโลกรัม (14 ตารางนิ้ว ต่อ 100 ปอนด์)

- (2) วัสดุที่นำมาใช้ทำท่อระบายอากาศ ต้องใช้แผ่นเหล็ก และสำหรับท่อระบายอากาศที่อยู่ภายในตึกต้องหุ้มด้วยวัสดุฉนวนกันความร้อนไม่ติดไฟหนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)

6.2.5 การป้องกัน

- (1) ตู้เก็บฟิล์มที่สามารถเก็บฟิล์มได้มากกว่า 34 กิโลกรัม (75 ปอนด์ หรือ 15 ม้วนมาตรฐาน) ต้องมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติอย่างน้อย 1 หัว
- (2) ตู้เก็บฟิล์มที่ชั้นวางสำหรับการฟิล์มมากกว่า 1 ชั้น ต้องมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติอย่างน้อย 1 หัว ในแต่ละชั้น

6.2.6 ฟิล์มภาพยนตร์

- (1) ฟิล์มภาพยนตร์ในตู้ต้องแยกเป็นกล่องม้วนเดียว
- (2) กล่องฟิล์มภาพยนตร์ ถ้าวางในแนวตั้ง ต้องจำกัดไม่ให้เกิน 25 กล่อง ต่อชั้นวางหนึ่งชั้น
- (3) กล่องฟิล์มภาพยนตร์ ถ้าวางในแนวนอนต้องวางซ้อนกันไม่เกิน 5 กล่อง และวางไม่เกิน 3 แถว ต่อชั้นวางหนึ่งชั้น

6.3 ห้องวาล์ว

6.3.1 โครงสร้างทั่วไป

- (1) ห้องวาล์วควรสร้างโดยมีแบบแปลนที่ได้ผ่านการรับรองจากเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจในการอนุมัติ
- (2) ห้องวาล์วต้องมีความจุของห้องไม่น้อยกว่า 21 ลูกบาศก์เมตร (750 ลูกบาศก์ฟุต)
- (3) กำแพงและพื้นของห้องวาล์วต้องมีอัตราทนไฟไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง หากพื้นผิวของกำแพงหรือพื้นแตกหรือมีรู ต้องฉาบพื้นผิวของห้องดังกล่าวด้วยซีเมนต์ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการรั่วไหล
- (4) ถ้าเพดานของห้องวาล์วเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกทุก ต้องสามารถทนไฟได้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- (5) ถ้าผนังห้องวาล์วด้านเหนือหลังคามีขนาดตั้งแต่ 0.90 เมตร (3 ฟุต) ขึ้นไป หลังคาและเพดานของห้องวาล์วต้องใช้วัสดุการก่อสร้างที่ไม่ติดไฟ และต้องมีช่องระบายเพื่อป้องกันการระเบิด

- (6) ห้องวาล์วต้องติดตั้งระบบน้ำทิ้งหรือช่องน้ำไหล เพื่อให้น้ำจากระบบสปริงเกอร์ระบายไปสู่ด้านนอกของตัวตึก
- (ข้อยกเว้น สำหรับ Existing Vaults ต้องไม่ติดตั้งระบบน้ำทิ้งตรงไปสู่ด้านนอก)

6.3.2 ประตู

- (1) ต้องมีการติดตั้งประตูที่เปิดได้ด้วยระบบอัตโนมัติ
- (2) ประตูต้องปิดเองโดยทันที ถ้าเครื่องตรวจจับควันในห้องวาล์วเกิดทำงาน
- (3) ประตูต้องมีอัตราทนไฟ 3 ชั่วโมง
- (4) ประตูต้องติดตั้งตามที่ข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 80: Standard for Fire Doors and Fire Windows และถ้าอยู่ในสภาพเปิด ต้องปิดเองอัตโนมัติ ถ้าเครื่องตรวจจับติดตั้งไว้ที่ห้องวาล์วทำงาน
- (5) ข้อยกเว้นสำหรับประตู Existing Heavy Steel Doors หรือประตูที่เป็นทั้งสวิง และประตูเลื่อน ต้องเป็นโครงสร้างเหล็ก

6.3.3 อุณหภูมิ

ห้องวาล์วต้องมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิและต้องมีอุณหภูมิห้องไม่เกินกว่า 21 องศาเซลเซียส (70 องศาฟาเรนไฮต์)

6.3.4 ช่องระบายอากาศ

6.3.4.1 ห้องวาล์วต้องมีช่องระบายอากาศที่ไม่ได้เชื่อมตรงกับส่วนอื่น โดยช่องระบายอากาศควรมีพื้นที่หน้าตัดรวมไม่น้อย 1,290 ตารางเซนติเมตร ต่อ 454 กิโลกรัมของความจุฟิล์ม (200 ตารางนิ้ว ต่อ 1,000 ปอนด์ หรือ 200 ม้วนมาตรฐาน)

(ข้อยกเว้น สำหรับห้องวาล์วที่มี Explosion Venting ไม่จำเป็นต้องมีช่องระบายอากาศ)

6.3.4.2 Existing Vaults ต้องมีช่องระบายอากาศที่ไม่ได้เชื่อมตรงกับส่วนอื่น โดยช่องระบายอากาศนี้ต้องมีพื้นที่หน้าตัดรวมไม่น้อย 900 ตารางเซนติเมตร ต่อ 454 กิโลกรัมของความจุฟิล์ม (140 ตารางนิ้ว ต่อ 1,000 ปอนด์ หรือ 200 ม้วนมาตรฐาน)

- 6.3.4.3** พื้นที่หน้าตัดของช่องระบายอากาศสำหรับห้องวาล์วมาตรฐานขนาด 21 ลูกบาศก์เมตร (750 ลูกบาศก์ฟุต) ต้องไม่น้อยกว่า 130 ตารางเมตร (2,000 ตารางนิ้ว)
- 6.3.4.4** ท่อระบายอากาศที่อยู่ภายในอาคาร ต้องสามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง
- 6.3.4.5** ทางออกของช่องระบายอากาศแต่ละช่อง ต้องอยู่เหนือหลังคา สำหรับทางออกของช่องระบายอากาศที่ถ่ายเทออกตามแนวนอนหรือในกำแพงที่เอียง และต้องติดตั้งอุปกรณ์เพื่อจะหักเหกระแสไปทางด้านบน
- 6.3.4.6** ทางออกของช่องระบายอากาศต้องมีความสูงอย่างน้อย 15 เมตร (50 ฟุต) ตามแนวตั้ง เมื่อวัดจากหน้าต่างหรือจุดเปิดโล่งอื่นๆ และมีความสูงอย่างน้อย 7.60 เมตร (25 ฟุต) จากทางหนีไฟซึ่งอยู่ในระดับเดียวกัน หรือสูงกว่า
- 6.3.4.7** การจัดการเพื่อป้องกันฟิล์มไนเตรตในห้องวาล์วที่เกิดการติดไฟ มีดังนี้
- (1) การป้องกันแสงจากพระอาทิตย์ซึ่งจะเข้ามาทางช่องระบายอากาศ
 - (2) การป้องกันความร้อนที่เข้ามาทางช่องระบายอากาศ
- 6.3.4.8** ช่องระบายอากาศทุกช่องต้องมีอุปกรณ์ป้องกันอากาศไหลมาจากภายนอก ซึ่งอุปกรณ์อาจลักษณะเป็น
- (1) แผ่นกระจกที่มีความหนา 4.20 มิลลิเมตร (1/6 นิ้ว) ซึ่งจะแตกออกทันทีในช่วงเวลาเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้แผ่นกระจก ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 1,290 ตารางเซนติเมตร
 - (2) บานพับโลหะ
 - (3) Insulated vent panel
- โดยอุปกรณ์ข้างต้นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันอากาศไหลเปิดโดยอัตโนมัติ หรือเมื่อเกิดความดันภายใน 24.40 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- 6.3.4.9** ต้องติดตั้งตะแกรงที่ไม่เหลื่อมทับกันเกิน 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ในบริเวณทางออกของช่องระบายอากาศทุกอัน

6.3.5 การป้องกันอัคคีภัยจากการลามไฟ

สำหรับห้องวาล์วที่มีความเป็นไปได้จะเกิดการลามไฟจากพื้นที่อื่นๆ ภายในหรือภายนอกอาคารผ่านทางหน้าต่างกระจก หลังคารับแสงหรือช่องระบายอากาศ ต้องมีการป้องกันความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดขึ้นเหล่านี้

6.3.6 फिल्मภาพยนตร์

- (1) ช่องเก็บในห้องวาล์วที่ต้องทำจากไม้เนื้อแข็งหรือวัสดุฉนวนที่ไม่ติดไฟ และต้องประกอบด้วยชั้นวางที่ติดแน่นกับกำแพง
- (2) กำแพงแนวตั้งต้องทำจากวัสดุฉนวนที่ไม่ติดไฟ ที่มีความหนาอย่างน้อย 9.50 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ทั้งนี้กำแพงแนวตั้งต้องมีช่องว่างที่จะแบ่งชั้นวางเป็นช่วงๆ ซึ่งมีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร (3 ฟุต)
- (3) ชั้นวาง ต้องมีความลึกมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกล่องเก็บฟิล์มที่ใหญ่ที่สุดที่จะเก็บในชั้นวางนั้นๆ อีกไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)
- (4) โลหะหนูนต้องนำมาใช้เพื่อเก็บกล่องเก็บฟิล์มให้เข้าที่

6.3.7 ระบบป้องกันอัคคีภัย

ห้องวาล์วต้องมีการติดตั้งระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ หรือ Deluge System ในห้องวาล์ว ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- (1) ระบบกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ในระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ หรือ Open Sprinklers ต้องคำนวณจากพื้นฐานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง สำหรับ 1.80 ลูกบาศก์เมตร (62.50 ลูกบาศก์ฟุต) ของปริมาตรภายในห้องวาล์ว
- (2) จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ ที่น้อยสุดสำหรับห้องวาล์วพื้นที่มาตรฐานขนาด 21 ลูกบาศก์เมตร (750 ลูกบาศก์ฟุต) ต้องมีไม่น้อยกว่า 12 หัว
- (3) หัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติต้องออกแบบให้ครอบคลุมทั้งด้านบนและด้านหน้าของชั้นวาง
- (4) สำหรับบริเวณที่มีการนำหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติมาใช้ ต้องมีที่กั้นทำจากเหล็ก หรือวัสดุที่ทนไฟที่ ยอมรับได้ ติดตั้งระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ทั้งนี้ที่กั้นควรยึดแน่นอยู่กับที่และควรยื่นลงมาจากเพดาน 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ได้
Sprinkler Deflectors

6.3.8 หลอดไฟ

สวิตช์ไฟทุกตัวต้องอยู่ด้านนอกของห้องวาลท์ และสวิตช์ไฟต้องมีระบบซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฟในห้องวาลท์เปิดหรือปิด

6.4 Extended Term Storage Cabinet

6.4.1 Extended Term Storage Cabinet ต้องจัดวางไว้กับลิ้นชักหรือตู้เก็บที่แยกต่างหาก ในแต่ละตู้ไม่ควรเก็บฟิล์มเกิน 610 เมตร (2,000 ฟุต) ในแต่ละช่องต้องแยกออกจากกันโดยวัสดุฉนวนกันการติดไฟหนา 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ทั้งนี้แต่ละตู้ต้องมี Hinged Damper หรือวัสดุที่คล้ายกันเพื่อที่จะใช้ระบายอากาศไปสู่ทางระบายอากาศของตู้

6.4.2 Extended Term Storage Cabinet ต้องติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ เมื่อมีการเก็บรักษาฟิล์มไนเตรต มากกว่า 23 กิโลกรัม (51 ปอนด์) ขึ้นไป

6.4.3 สำหรับ Extended Term Storage Cabinet ที่มีความจุมากกว่า 23 กิโลกรัม (51 ปอนด์ หรือ 10 ม้วนมาตรฐาน) ต้องติดตั้งเครื่องระบายอากาศออกไปนอกอาคาร เครื่องระบายอากาศต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดอย่างน้อย อย่างน้อย 9,000 ตารางมิลลิเมตร ต่อ 45 กิโลกรัม ของความจุฟิล์ม (14 ตารางนิ้ว ต่อ 100 ปอนด์ หรือ 200 ม้วนมาตรฐาน)

6.4.4 ท่อระบายอากาศต้องสร้างจากแผ่นเหล็ก และต้องหุ้มด้วยฉนวนกันการติดไฟที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

6.5 Extended Term Storage Vault

6.5.1 โครงสร้างทั่วไป

(1) Extended Term Storage Vault ต้องไม่มีปริมาตรภายในเกินกว่า 28 ตารางเมตร (1,000 ตารางฟุต)

(2) กำแพงและพื้นต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง หากพื้นผิวของกำแพงหรือพื้นมีรอยแตกหรือมีรู ต้องทำการฉาบพื้นผิวทั้งสองข้างด้วยซีเมนต์ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ทั้งนี้วัสดุอื่นๆ ที่มีความสามารถในการทนไฟได้ใกล้เคียงกันและสามารถป้องกันการรั่วไหลของก๊าซผ่านทางรอยร้าวของกำแพงก็สามารถนำมาใช้ทดแทนได้

(3) Extended Term Storage Vault ต้องเป็นไปตามข้อ 6.3.1 (4) (5) และ (6)

6.5.2 ประตู

ประตูเปิดปิดของ Extended Term Storage Vaults ต้องมีการป้องกันที่เป็นไปตามข้อ 6.3.4

6.5.3 อุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิสูงสุด ต้องเป็นตามข้อ 6.3.3

6.5.4 ช่องระบายอากาศ

- (1) Extended Term Storage Vault ต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่เป็นไปข้อ 6.3.1 (4) (5) และ (6)
(ขอยกเว้น สำหรับห้องวาล์วที่มีท่อระบายความดัน)
- (2) ช่องระบายอากาศสำหรับ Extended Term Storage Vaults ขนาดมาตรฐานที่มีพื้นที่ 28 ตารางเมตร (1,000 ตารางฟุต) ต้องมีขนาดหน้าตัดไม่น้อยกว่า 172 ตารางเมตร (2,670 ตารางนิ้ว)

6.5.5 ฟิล์มภาพยนตร์

- (1) Extended Term Storage Vault ต้องมีการติดตั้งชั้นวางแนวนอนหรือที่กั้นแนวตั้ง ซึ่งช่องว่างไม่ควรใส่ได้เกิน 2 กล่อง โดยในแต่ละช่องต้องมีกล่องบรรจุขนาด 305 เมตร (1,000 ฟุต)
- (2) ต้องมีช่องระหว่างชั้นวางที่จะสามารถเปิดฝากล่องได้ประมาณ 13 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) โดยไม่ต้องเปิดฝาได้ทั้งหมด
- (3) ชั้นวางต้องแยกโดยที่กั้นแนวตั้งที่ซึ่งทำให้แต่ละช่องสามารถใส่กล่องได้เพียงกล่องเดียว ที่กั้นแนวตั้งและชั้นวางต้องทำจากวัสดุทนไฟที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร หรือไม้เนื้อแข็งที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)
- (4) ต้องวางกล่องไว้บนชั้นวาง ที่ซึ่งด้านหลังของกล่องจะติดกับผนังกำแพง
- (5) ต้องออกแบบช่องเก็บให้สอดคล้องกับระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ โดยต้องติดตั้งระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติไว้ด้านหน้าของโครงสร้างช่องเก็บ

6.5.6 หัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

การป้องกันอัคคีภัยของ Extended Term Storage Vault ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 6.3.7 ยกเว้นที่กำหนดเพิ่มเติมในข้อ 6.5.6 (1) และ (3)

- (1) หัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ 1 หัวต้องครอบคลุมพื้นที่ห้องวาล์วไม่เกิน ปริมาตร 1.80 ลูกบาศก์เมตร

- (2) สำหรับห้องวาล์วขนาด 28 ลูกบาศก์เมตร (1,000 ลูกบาศก์ฟุต) ต้องมีจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงอย่างน้อย 15 หัว
- (3) ต้องติดตั้งทิศทางของหัวกระจายน้ำดับเพลิงให้ปกคลุมไปถึงด้านหน้าของชั้นวาง

6.5.7 แสง

แสงภายในของ Extended Term Storage Vault ต้องเป็นไปตามข้อ 6.3.8

7. การเก็บรักษาฟิล์มในเทรต

7.1 ข้อกำหนดทั่วไป

สำหรับกระบวนการทุกขั้นตอนในการเก็บรักษาฟิล์มในเทรตต้องได้รับการควบคุมโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ ผู้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติที่มีหน้าที่สำคัญต่อการซ่อมบำรุงและการใช้ฟิล์มในเทรต เช่น การพิมพ์ การส่งภาพ การส่งสัญญาณเสียง การทำความสะอาด การตัดต่อ การซ่อม การทำสัญลักษณ์ หรือ การทำแคตตาล็อก เป็นต้น ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดนี้

7.2 ข้อกำหนดของกล่องใส่ฟิล์ม

ฟิล์มในเทรตต้องถูกเก็บให้มีความมิดชิด โดยใช้กล่องที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสำหรับการใช้งานโดยเฉพาะอยู่ตลอดเวลา เว้นแต่เวลาที่มีการใช้งานหรือว่ามีให้นำมาตรวจสอบ

7.3 การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ฟิล์มในเทรตต้องไม่วางหรือเก็บไว้ภายใต้ม้านั่ง ใต้โต๊ะ หรือใต้พื้นผิวอื่นๆ ที่จะบดบังจากการทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

7.4 เศษและส่วนของฟิล์ม

7.4.1 เศษของฟิล์มในเทรตต้องเก็บแยกออกจากเศษกระดาษ ฟิล์มประเภทอื่นๆ หรือขยะชนิดอื่นๆ

7.4.2 เศษของฟิล์มในเทรตต้องเก็บออกจากห้องทำงานอย่างน้อยวันละครั้ง และแยกไปไว้ในห้องที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ต้องเก็บไว้ได้น้ำและอยู่ภายในกล่องที่ทำจากเหล็กซึ่งมีฝาปิดที่หนาแน่น

7.4.3 ฟิล์มที่ไม่ได้ใช้แล้วไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งหรือว่าทั้งม้วนต้องเก็บไว้ในกล่องในห้องวาล์ว จนกว่าจะมีการนำไปทำลาย

7.4.4 เศษและส่วนของฟิล์มที่ไม่ได้ใช้แล้วต้องนำไปทำลายอย่างถูกวิธีในช่วงเวลาๆหนึ่ง ทั้งนี้ไม่ควรนำไปห่อหรือนำไปเผา

7.5 การขนส่ง

- 7.5.1 ต้องไม่ขนส่งฟิล์มในเครื่องบิน เครื่องบิน หรือยานพาหนะสาธารณะ ใดๆ ที่ใช้สำหรับขนส่งผู้โดยสาร
- 7.5.2 ต้องไม่ขนส่งฟิล์มในเครื่องบินทางรถไฟใต้ดินหรือสถานีใต้ดิน

8. เครื่องฉายภาพยนตร์และกระบวนการพิเศษ

8.1 การปิดล้อมเครื่องฉายภาพยนตร์

การติดตั้งเครื่องฉายภาพยนตร์ใหม่ที่ใช้ฟิล์มในเครื่องต้องมีการทำงานของเครื่องในพื้นที่ที่มีลักษณะปิดเท่านั้น ทั้งนี้พื้นที่ต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3.70 ตารางเมตร ต่อเครื่องฉายหนึ่งเครื่อง และมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.30 เมตร (7.50 ฟุต) ทั้งนี้เครื่องฉายภาพยนตร์สองเครื่องต้องไม่ตั้งอยู่รวมกันในพื้นที่เดียวกัน

8.2 บุชเครื่องฉาย

ฟิล์มในเครื่องที่มีขนาดไม่มากกว่า 34 กิโลกรัม (75 ปอนด์) สามารถใช้กับบุชเครื่องฉายได้ ยกเว้นในกรณีที่ฟิล์มเก็บในกล่องตามที่กำหนดในข้อ 6

8.3 อัตราการทนไฟ

ห้องฉายต้องมีอัตราการทนไฟที่ไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง วัสดุตกแต่งภายในต้องมีอัตราการลามไฟ (Flame Spread Index) ที่ไม่เกินกว่า 25

8.4 ประตูทางเข้าออก

ประตูทางเข้าออกต้องสามารถเปิดและปิดเองได้โดยด้วยตัวเอง ทั้งนี้ประตูต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง และได้รับการติดตั้งตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ประตูต้องปิดตลอดเวลาเมื่อไม่มีการใช้งาน

8.5 พื้นที่ใช้งาน

ต้องจัดพื้นที่ว่าง 2 ส่วน สำหรับห้องฉายภาพยนตร์หรือบุชฉาย โดยพื้นที่ส่วนแรกเป็นของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องซึ่งต้องมีขนาดไม่เกิน 129,000 ตารางมิลลิเมตร (200 ตารางนิ้ว) และพื้นที่ส่วนหลังใช้สำหรับการวางตัวเครื่องฉายซึ่งต้องมีขนาดไม่เกิน 77,400 ตารางมิลลิเมตร (120 ตารางนิ้ว) สำหรับกรณีที่ฉากฉายอุปกรณ์ Spotlight และ อุปกรณ์ Floodlight มีการติดตั้งในพื้นที่เดียวกันกับเครื่องฉายภาพยนตร์แล้ว ต้องไม่มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้เกินชนิดละ 1 เครื่อง

8.6 อุปกรณ์อื่นๆ ภายในห้อง

สำหรับชั้นวาง เฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ ในบริเวณพื้นที่ต้องทำจากวัสดุที่ไม่ติดไฟ (ข้อยกเว้น สำหรับโต๊ะต้องเป็นไปตามข้อ 4.5)

8.7 ระบบระบายอากาศ

ต้องจัดให้มีเครื่องระบายอากาศอย่างน้อย 1 เครื่อง สำหรับใช้ระบายอากาศของเครื่องอุปกรณ์และหลอดไฟ

- 8.7.1 ระบบระบายอากาศเสียต้องนำอากาศที่ระบายไปสู่ภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะทางตรงหรือผ่าน Flue ไม่ติดไฟ และต้องไม่ใช่ระบบนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น
- 8.7.2 ความสามารถในการระบายอากาศเสียออกจากห้องต้องไม่น้อยกว่า 0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (15 ลูกบาศก์ฟุต ต่อ นาที) แต่ต้องไม่มากกว่า 1.40 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (50 ลูกบาศก์ฟุต ต่อ นาที) สำหรับไฟแต่ละดวง และให้เพิ่มอีก 5.70 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (200 ลูกบาศก์ฟุต ต่อ นาที) สำหรับตัวห้องเอง
- 8.7.3 ระบบระบายอากาศเสียต้องได้รับการควบคุมจากภายในบริเวณห้องฉาย และควรจะมีปุ่มที่มีแสงซึ่งบ่งบอกสถานะการทำงานของระบบระบายอากาศนี้
- 8.7.4 ระบบระบายอากาศเสียที่ใช้ในห้องฉาย ต้องออกแบบให้ครอบคลุมในห้องฉาย และห้อง Rewind แต่ต้องไม่เชื่อมต่อกับทางอื่นๆ ที่มีระบบปรับอากาศหรือระบบระบายอากาศอื่นๆ ที่ใช้ในส่วนอื่นๆ ของอาคาร
- 8.7.5 ลิ้นเปิดปิด (Damper) ต้องไม่ติดตั้งไว้ในระบบระบายอากาศเสีย
- 8.7.6 ท่อระบายอากาศต้องทำจากวัสดุที่ไม่ติดไฟ และต้องตั้งให้ห่างจากวัสดุติดไฟอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) หรือต้องหุ้มด้วยวัสดุทนอุณหภูมิและไม่ติดไฟหนา 13 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว)
- 8.7.7 อากาศที่จะเข้ามาภายในห้องฉายต้องมาโดยตรงจากด้านนอกอาคาร และต้องได้รับการปกป้องด้วยลิ้นกันไฟ (Fire Damper) หรือ Shutter ที่จะมีจัดการทำงานอย่างอัตโนมัติ

8.8 การเปิดปิดไฟ

การเปิดปิดไฟต้องสามารถทำได้ทั้งจากในบริเวณพื้นที่ของเครื่องฉาย และจากพื้นที่ภายนอกห้องฉายอีกอย่างน้อยหนึ่งแห่ง

9. การครอบครองพิเศษ

9.1 ที่เปลี่ยนฟิล์มภาพยนตร์ (Film Exchange)

ต้องไม่เก็บหรือรักษาฟิล์มในเตรตไว้ในที่เปลี่ยนฟิล์ม

9.2 ห้องปฏิบัติการฟิล์มภาพยนตร์

9.2.1 ห้องปฏิบัติการฟิล์มภาพยนตร์ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 4

9.2.2 อาคารที่มีการเก็บรักษาฟิล์มภาพยนตร์ในเตรต ต้องมีระบบกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

- 9.2.3** จำนวนของฟิล์มในเตรตที่อยู่ภายนอกตู้เก็บหรือห้องวาลท์ ต้องจำกัดอยู่แค่เพียง 1 ภาพยนตร์ หรือ 1 เรื่อง ต่อ 1 การปฏิบัติ ทั้งนี้ต้องไม่มากกว่า 40 ม้วน หรือ 12,192 เมตร (40,000 ฟุต) ในห้องที่จัดเตรียมฟิล์มสำหรับการพิมพ์
- 9.2.4** จำนวนของฟิล์มในเตรตที่อยู่ภายนอกตู้เก็บหรือห้องวาลท์และไม่อยู่ในที่เก็บฟิล์ม ต้องไม่มากกว่า 2 ม้วน หรือ 610 เมตร (2,000 ฟุต) ต่อ คนที่ทำหน้าที่รักษาฟิล์ม
- 9.2.5** สำหรับการติดตั้งเครื่องพิมพ์ (Printing Machine) ต้องแยกเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่องด้วยฉากไม่ติดไฟ เว้นแต่จะมี ช่องว่างระหว่างฟิล์มในเครื่องหนึ่งและฟิล์มบนเครื่องฉาย ไม่น้อยกว่า 1.80 เมตร (6 ฟุต)
- (1) ส่วนที่แยกห้องเก็บฟิล์มในเตรตจากส่วนอื่น ต้องเป็นโครงสร้างที่มีอัตราทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง
 - (2) ในทุกกรณี ต้องจัดวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยต้องไม่มีเครื่องสองเครื่องที่ได้รับการปกป้องจากหัวหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงหัวเดียว
- 9.2.6** ต้องมีการติดตั้งเครื่องเป่าแบบ Cabinet -Type
- 9.2.7** ฟิล์มที่จะได้รับการเคลือบผิว (Wax) ต้องทำให้แล้วเสร็จในห้องเฉพาะที่แยกออกมาสำหรับฟิล์มที่เคลือบผิวแล้วและกำลังปล่อยผิวให้แห้ง (Expose) นั้น ต้องวางอยู่ภายในห้องเฉพาะ ทั้งนี้การปล่อยผิวให้แห้งแต่ละครั้ง ต้องไม่มีฟิล์มมากกว่า 10 ม้วน หรือ 3,050 เมตร (10,000 ฟุต) อยู่ในห้องเฉพาะนี้
- 9.2.8** ในแต่ละห้องที่มีการวางเครื่องฉายฟิล์มในเตรต จะวางเครื่องฉายดังกล่าวได้ไม่เกิน 2 เครื่อง
- 9.2.9** ห้องสำหรับเตรียมการจัดส่ง (Shipping Room) ต้องแยกออกจากส่วนอื่นของอาคาร ด้วยฉากตามที่กำหนดในข้อ 4.1.2 และต้องไม่ให้มีการปฏิบัติกิจกรรมอื่นๆ ภายในห้องสำหรับเตรียมการจัดส่งนี้ นอกเหนือจากการตรวจสอบและการบรรจุ ทั้งนี้ภายในห้องดังกล่าวต้องไม่มีฟิล์มมากกว่า 100 ม้วน หรือ 30,480 เมตร (100,000 ฟุต) อยู่ใน เวลาเดียวกัน และต้องไม่มีฟิล์มที่อยู่ในกล่องที่จะส่งมากกว่า 50 ม้วน หรือ 15,240 เมตร (50,000 ฟุต)

10. เอกสารอ้างอิง

- 10.1 National Fire Protection Association. 2001. NFPA 40 Standard for the Storage and Handling of Cellulose Nitrate Film.

มาตรฐานการทดสอบการลามไฟของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ใช้สำหรับกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อประกอบการทดสอบวัสดุแผ่นบางทั้งแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น ประเภทต่างๆ ดังนี้

- 1.1.1 แผ่นผ้า (Fabrics and Film) ทั้งที่มีหรือไม่มีการเสริมความแข็งแรงหรือการเสริมโครง (Reinforcement or Backing) โดยมีน้ำหนักรวมของวัสดุมากกว่า 700 กรัมต่อตารางเมตร
- 1.1.2 แผ่นผ้าแบบ Vinyl-Coated Blackout Lining และ Lined Draperies ที่ใช้ Vinyl-Coated Blackout Lining
- 1.1.3 แผ่นพลาสติก (Plastic Film) ทั้งที่มีหรือไม่มีการเสริมความแข็งแรงหรือการเสริมโครง ซึ่งนำมาใช้สำหรับการตกแต่งภายในอาคาร ทั้งที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างชั่วคราว หรือใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างถาวร
- 1.1.4 แผ่นผ้าทุกประเภทที่นำมาใช้สำหรับโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“โครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง (Membrane Structures)” หมายถึง โครงสร้างรูปแบบต่างๆ ที่มีการใช้ “วัสดุแผ่นบาง (Membrane Material)” เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ปกติมักใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างหลังคาหรือผนัง ทั้งนี้วัสดุแผ่นบางจะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างหลักนั้นมากน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบการติดตั้ง (ประเภทของโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง)

“วัสดุแผ่นบาง (Membrane Material)” หมายถึง ผ้า (Fabric) ประเภทต่างๆ ที่มีความยืดหยุ่น หรือฟิล์ม (Film) ซึ่งนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างที่ใช้แผ่นบาง

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

- 3.1.1 มาตรฐาน ASTM D 5025: Specification for a Laboratory Burner Used for Small-Scale Burning Tests in Plastic Materials

3.1.2 มาตรฐาน ASTM D 5027: Practice for Calibration of 20 mm and 125 mm Test Flames
for Small-Scale Burning Tests on Plastic Materials

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดใน
มาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. เครื่องมือทดสอบ

4.1 ตู้อบที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม (Conditioning Oven)

- 4.1.1** ตู้อบควรเป็นแบบ Forced-Draft เพื่อใช้ควบคุมสภาพแวดล้อมของชิ้นตัวอย่าง ก่อนถึง
เวลาที่จะนำชิ้นตัวอย่างไปเข้าสู่กระบวนการทดสอบ
- 4.1.2** ตู้อบต้องมีความสามารถในการทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่ไปรอบชิ้นตัวอย่างที่อยู่
ภายในได้
- 4.1.3** ตู้อบต้องมีความสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้คงอยู่ที่อุณหภูมิ 105 องศา
เซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส (220 องศาฟาเรนไฮต์ ± 5 องศาฟาเรนไฮต์)

4.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Enclosure)

ชุดอุปกรณ์ทดสอบต้องสามารถป้องกันชิ้นตัวอย่างจากสภาพแวดล้อมภายนอกในขณะทำการ
ทดสอบได้ เช่น ลม หรือ ไอน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์ทดสอบการลามไฟต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ
อย่างน้อย ได้แก่ ปล่องโลหะ ห้องทดสอบ ลวดสำหรับการแขวนชิ้นตัวอย่าง และผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการ
ไหลของก๊าซ โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ปล่องโลหะ (Metal Stack)

การทดสอบต้องทำในปล่องโลหะทรงสี่เหลี่ยม (Metal Stack) ที่มีรายละเอียดดังนี้

- (1) ปล่องโลหะทั้ง 4 ด้านควรมีความกว้าง 305 มิลลิเมตร ± 5 มิลลิเมตร (12.0 นิ้ว ± 0.2
นิ้ว) และมีความสูง 2,130 มิลลิเมตร ± 10 มิลลิเมตร (84.0 นิ้ว ± 0.4 นิ้ว)
- (2) ด้านบนและด้านล่างของปล่องโลหะต้องมีลักษณะเป็นช่องเปิดโล่ง
- (3) ปล่องโลหะต้องตั้งให้เยื้องเหนือพื้นประมาณ 305 มิลลิเมตร ± 5 มิลลิเมตร (12.0 นิ้ว
 ± 0.2 นิ้ว) ด้วยขาตั้ง
- (3) ปล่องโลหะที่ใช้ทดสอบต้องสะอาดและปราศจากเขม่าควัน

4.2.2 ห้องทดสอบ (Room or Chamber)

ปล่องโลหะต้องตั้งไว้ในห้องทดสอบ (Room or Chamber) ที่มีรายละเอียดดังนี้

- (1) ห้องทดสอบต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 15 ± 10 องศาเซลเซียส (60 ± 18 องศาฟาเรนไฮต์) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 70
- (2) ห้องทดสอบต้องมีลักษณะปิดอย่างมิดชิด
- (3) ห้องทดสอบควรติดตั้ง Draft - Free เพื่อป้องกันไม่ให้เปลวไฟได้รับการรบกวน
- (4) ห้องทดสอบต้องมีระบบระบายอากาศเสีย (Exhaust System) สำหรับถ่ายเทควันและแก๊สภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบแต่ละครั้ง ทั้งนี้ระบบระบายอากาศเสียนี้ต้องไม่ทำงานระหว่างที่มีการทดสอบ

4.2.3 ลวดสำหรับการแขวนชิ้นตัวอย่าง (Rod)

ปล่องโลหะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับการแขวนชิ้นตัวอย่าง ดังนี้

4.2.3.1 ลวดแขวนชิ้นตัวอย่างด้านบน (Top Specimen Rod)

เป็นลวดเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร หรือ 3 ± 0.1 มิลลิเมตร (0.060 ± 0.003 นิ้ว หรือ 0.120 ± 0.003 นิ้ว) และมีความยาว 330 ± 10 มิลลิเมตร (13 ± 0.1 นิ้ว) โดยปลายข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นปลายแหลม ทั้งนี้ปล่องโลหะต้องมีรู (Hole) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 มิลลิเมตร ทั้งสองข้างตามแนวดิ่ง อยู่ที่ความสูง $1,190 \pm 10$ มิลลิเมตร (46.8 ± 0.4 นิ้ว) เมื่อวัดจากด้านล่างของปล่องโลหะ เพื่อใช้สำหรับการติดตั้งลวดแขวนชิ้นตัวอย่างด้านบนนี้

4.2.3.2 ลวดแขวนชิ้นตัวอย่างด้านล่าง (Bottom Specimen Rod)

เป็นลวดเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร (0.060 ± 0.003 นิ้ว) และมีความยาว 255 ± 10 มิลลิเมตร (10.0 ± 0.4 นิ้ว) โดยปลายข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นปลายแหลม

4.2.3.3 ลวดยึดแนวดิ่ง (Vertical Support Wire)

เป็นลวดเหล็กอ่อนตัว (Soft Steel Wire) ที่มีลักษณะเป็นลวดคู่จำนวน 2 ชุด ที่มีการติดตั้งไปตามแนวดิ่งของปล่องโลหะ

- (1) ลวดแต่ละชุดต้องติดตั้งไว้กับลวดแขวนชิ้นตัวอย่างด้านบนและลวดแขวนชิ้นตัวอย่างด้านล่าง โดยมีระยะห่างจากแนวกึ่งกลางของตามแนวดิ่ง

ด้านหน้าของปล่องโลหะไปยังด้านซ้ายและขวาประมาณ 100 มิลลิเมตร $\pm$ 5 มิลลิเมตร ($4 \text{ นิ้ว} \pm 0.2 \text{ นิ้ว}$) (ลวดคู่ทั้ง 2 ชุด จะแยกให้ห่างออกจากกันประมาณ 200 มิลลิเมตร $\pm$ 5 มิลลิเมตร ($8 \text{ นิ้ว} \pm 0.2 \text{ นิ้ว}$) เมื่อพิจารณาตามแนวตามแนวด้านหน้าของปล่องโลหะ)

- (2) เส้นลวดคู่ของลวดแต่ละชุดจะอยู่ห่างจากกันประมาณ 25 มิลลิเมตร $\pm$ 2 มิลลิเมตร ($1.0 \text{ นิ้ว} \pm 0.1 \text{ นิ้ว}$) เมื่อพิจารณาไปตามแนวของปล่องโลหะ จากด้านหน้าไปยังด้านหลัง

4.2.3.4 ลวดคู่สำหรับเป็นที่ยึดของลวดยึดแนวตั้ง (Pair of Rod to Hold Vertical Support Wire)

เป็นลวดคู่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร $\pm$ 0.05 มิลลิเมตร ($0.250 \text{ นิ้ว} \pm 0.020 \text{ นิ้ว}$) โดยต้องติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนและด้านล่างของปล่องโลหะ สำหรับให้ลวดยึดแนวตั้งมาทำการยึดติด

4.2.4 ผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซ (Glass Fiber Fabric Baffle)

ผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซต้องติดตั้งบริเวณด้านบนของปล่องโลหะ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) ผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซที่จะนำมาใช้ ควรมีขนาด 1,000 มิลลิเมตร $\pm$ 10 มิลลิเมตร x 125 มิลลิเมตร $\pm$ 5 มิลลิเมตร ($39.4 \text{ นิ้ว} \pm 0.4 \text{ นิ้ว} \times 4.9 \text{ นิ้ว} \pm 0.2 \text{ นิ้ว}$)
- (2) เย็บขอบที่ปลายสุดทั้งสองด้านของผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซด้วยด้ายแบบเส้นใยแก้ว ให้ลึกเข้ามาจากขอบประมาณ 40 มิลลิเมตร $\pm$ 3 มิลลิเมตร ($1.6 \text{ นิ้ว} \pm 0.1 \text{ นิ้ว}$) เพื่อทำให้เกิดโพรงที่ปลายทั้งสองด้าน
- (3) สอดลวดขนาด 3 มิลลิเมตร $\pm$ 0.2 มิลลิเมตร x 330 มิลลิเมตร $\pm$ 5 มิลลิเมตร ($0.12 \text{ นิ้ว} \pm 0.01 \text{ นิ้ว} \times 13 \text{ นิ้ว} \pm 0.2 \text{ นิ้ว}$) เข้าไปยังขอบผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซด้านหนึ่ง และให้ทะลุผ่านไปยังรูขนาด 4 มิลลิเมตร $\pm$ 0.5 มิลลิเมตร ($0.158 \text{ นิ้ว} \pm 0.02 \text{ นิ้ว}$) ที่อยู่กึ่งกลางบนผนังด้านข้างของปล่องโลหะทั้งสองด้าน รูนี้ต้องอยู่ลึกลงมาจากขอบด้านบนของปล่องโลหะประมาณ 10 มิลลิเมตร $\pm$ 1 มิลลิเมตร ($0.4 \text{ นิ้ว} \pm 0.04 \text{ นิ้ว}$) และอยู่ที่กึ่งกลางบนผนังด้านข้างของปล่องโลหะของเมื่อวัดตามแนวลึกของปล่องโลหะ

- (4) สอดคลวขนาด 3 มิลลิเมตร $\pm$ 0.2 มิลลิเมตร x 330 มิลลิเมตร $\pm$ 5 มิลลิเมตร (0.12 นิ้ว $\pm$ 0.01 นิ้ว x 13 นิ้ว $\pm$ 0.2 นิ้ว) เข้าไปยังขอบผ้าเส้นใยแก้วควบคุมการไหลของก๊าซด้านล่าง (ขอบอีกด้านหนึ่งที่เหลืออยู่) และให้ทะลุผ่านไปยังรูสี่เหลี่ยม (Slotted Holes) ที่อยู่กึ่งกลางบนผนังด้านข้างของปล่องโลหะทั้งสองด้าน ซึ่งอยู่ลึกลงมาจากขอบด้านบนของปล่องโลหะประมาณ 930 มิลลิเมตร $\pm$ 2 มิลลิเมตร (36.6 นิ้ว $\pm$ 0.08 นิ้ว) รูสี่เหลี่ยมนี้ต้องมีขนาด 4 มิลลิเมตร $\pm$ 0.5 มิลลิเมตร X 25 มิลลิเมตร $\pm$ 1 มิลลิเมตร (0.160 นิ้ว $\pm$ 0.020 นิ้ว x 1 นิ้ว $\pm$ 0.040 นิ้ว)

4.3 ตัวจับยึด (Restraining Clamp)

ตัวจับยึดให้พิจารณารายละเอียดตามข้อ 4.2

4.4 เครื่องพ่นไฟแบบใช้ก๊าซ (Gas Burner)

เครื่องพ่นไฟที่ใช้สำหรับการทดสอบต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตาม ASTM D 5025: Specification for a Laboratory Burner Used for Small-Scale Burning Tests in Plastic Materials และรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.4.1 เครื่องพ่นไฟต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.5 มิลลิเมตร $\pm$ 1.5 มิลลิเมตร (0.37 นิ้ว $\pm$ 0.06 นิ้ว) และมีความยาวประมาณ 100 $\pm$ 10 มิลลิเมตร (3.9 นิ้ว $\pm$ 0.39 นิ้ว)
- 4.4.2 เปลวไฟที่ใช้ในการทดสอบต้องมีความแรงของเปลวไฟคงที่
- 4.4.3 เครื่องพ่นไฟต้องมีการสอบเทียบที่เชื่อถือได้หรือเป็นไปตามหลักการปฏิบัติของ ASTM D 5027: Practice for Calibration of 20 mm and 125 mm Test Flames for Small-Scale Burning Tests on Plastic Materials
- 4.4.4 ถ้าเครื่องพ่นไฟได้รับการติดตั้งคู่กับวาล์วควบคุมการไหลของก๊าซแล้ว วาล์วนี้ควรเปิดให้เต็มที่ เพื่อป้องกันการไหลติดขัดของก๊าซ นอกจากนี้ที่ท่อลม (Air Vent) ต้องได้รับการปิดผนึกไว้
- 4.4.5 เครื่องพ่นไฟต้องยึดติดอยู่กับที่ในตำแหน่งที่ทำมุม 25 องศา กับแนวเส้นระดับ โดยตำแหน่งสูงสุดของหัวเครื่องพ่นไฟควรวางอยู่ห่างจากขอบด้านล่างของชิ้นตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)
- 4.4.6 ก๊าซที่จะส่งไปยังเครื่องพ่นไฟต้องประกอบไปด้วย แก๊สมีเทนบริสุทธิ์ (Pure Methane) เป็นองค์ประกอบอย่างน้อยร้อยละ 97 หรือ ก๊าซธรรมชาติที่ให้ค่าความร้อนอยู่ที่ 25 x 10⁶ จูลต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 31 x 10⁶ จูลต่อลูกบาศก์เมตร (800 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุต ถึง 1,000 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุต)
- 4.4.7 เข็มวาล์วควบคุมก๊าซ (Needle Valve) ต้องใช้รูปแบบของมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอย (Rotameter) ที่ติดตั้งในสายแก๊สซึ่งนำไปแก๊สไปยังหัวเตา ทั้งนี้ขีดความสามารถสูงสุด

ของมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอยควรมีค่าอยู่ที่ 150 ลิตรต่อชั่วโมง ถึง 300 ลิตรต่อชั่วโมง (1.47×10^{-3} ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ถึง 2.9×10^{-3} ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)

4.4.8 เกจความดัน (Pressure Gauge) ต้องติดตั้งไว้ระหว่างถังแก๊สและเข็มวาล์วควบคุมก๊าซเพื่อใช้สำหรับควบคุมระบบการไหล

4.4.9 สายแก๊สจากเข็มวาล์วควบคุมก๊าซที่ไปยังมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอย และจากมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอยไปสู่หัวเตาควรมี Bore ที่มีขนาดอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร (0.24 นิ้ว) แต่ไม่ควรมีความยาวถึง 1,500 มิลลิเมตร (59 นิ้ว)

4.5 เครื่องจับเวลา

นาฬิกาหยุดเวลาหรือเครื่องจับเวลาอื่นๆ ต้องมีความละเอียดอยู่ที่ 0.5 วินาที เพื่อใช้สำหรับการจับเวลา

4.6 ไม้บรรทัด

ไม้บรรทัดต้องมีความละเอียดอยู่ที่หน่วย 1 มิลลิเมตร ($1/32$ นิ้ว) เพื่อใช้สำหรับการวัดความสูงของเปลวไฟ และขนาดของชิ้นตัวอย่าง

5. ชิ้นตัวอย่างและสภาพเงื่อนไขของการทดสอบ

5.1 ลักษณะของชิ้นตัวอย่าง (Specimen)

5.1.1 ขอบฟ้าเดิมของชิ้นตัวอย่างต้องตัดออกจากชิ้นตัวอย่างก่อนที่จะทำการเริ่มตัดชิ้นตัวอย่างตามขนาดที่กำหนด โดยชิ้นตัวอย่างต้องสุ่มเอามาจากส่วนต่างๆ ของชิ้นวัสดุอย่างทั่วถึงและมีขนาดที่เท่ากัน ทั้งนี้ชิ้นตัวอย่างต้องตัดไปตามแนวยาวของชิ้นวัสดุ

5.1.2 ชิ้นตัวอย่างต้องผ่านการเย็บตามขอบรอบทั้ง 4 ด้าน โดยแนวเย็บจะอยู่เข้ามาจากขอบประมาณ 5 มิลลิเมตร และให้เย็บเพิ่มอีก 1 แนวตามแนวกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างและเย็บไปตลอดความยาวของชิ้นตัวอย่าง

5.1.3 สำหรับการทดสอบการลามไฟของชิ้นวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Flat Sheet Material) ต้องมีจำนวนของชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง โดยชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นต้องมีขนาดกว้าง 125 มิลลิเมตร และยาว 1,200 มิลลิเมตร $\pm$ 25 มิลลิเมตร (4.9 นิ้ว $\times$ 47.25 นิ้ว $\pm$ 1.0 นิ้ว) ทั้งนี้สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ไม่สามารถพับได้ให้นำมาทำการทดสอบแบบแผ่น

5.1.4 สำหรับการทดสอบการลามไฟของชิ้นวัสดุที่มีลักษณะเป็นการพับเป็นชั้น (Materials Hung in Folds) ต้องมีจำนวนของชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 4 ตัวอย่าง ซึ่งชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นต้องมีขนาดกว้าง 610 มิลลิเมตร $\pm$ 25 มิลลิเมตร และยาว 1,200 มิลลิเมตร $\pm$ 25 มิลลิเมตร (24 นิ้ว $\pm$ 1 นิ้ว $\times$ 47.25 นิ้ว $\pm$ 1 นิ้ว) ทั้งนี้ชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นควรพับไปตามแนวยาวและมีแนวการพับจำนวน 4 แนว ดังนั้นความกว้างในแต่ละช่วงของการพับต้องมีขนาดกว้าง 125 มิลลิเมตร $\pm$ 20 มิลลิเมตร (4.9 นิ้ว $\pm$ 0.8 นิ้ว)

- 5.1.5 สำหรับชั้นวัสดุที่มีชั้นวัสดุอยู่หลายชั้น (Multilayer Assemblies) ไม่ว่าจะเป็นทั้งแบบแผ่นหรือแบบพับ ชั้นวัสดุต้องเย็บให้ติดกัน ด้วยการใช้ตะเข็บรูปแบบธรรมดา (Plain Stitch) ขนาดกว้าง 2.5 ตะเข็บ ต่อ 1 เซนติเมตร ± 0.25 ตะเข็บ ต่อ เซนติเมตร (6.4 ตะเข็บ ต่อ นิ้ว ± 0.6 ตะเข็บ ต่อ นิ้ว) และต้องใช้ด้ายแบบโพลีเอสเตอร์ หรือแบบฝ้าย No.40 ในการเย็บ

5.2 สภาพเงื่อนไขของการทดสอบ

- 5.2.1 การทดสอบชิ้นตัวอย่างต้องเตรียมไว้ในตู้อบที่มีอุณหภูมิภายในอยู่ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 30 องศาเซลเซียส (220 องศาฟาเรนไฮต์ ± 50 องศาฟาเรนไฮต์) ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงและไม่เกินกว่า 3 ชั่วโมง ก่อนเริ่มการทดสอบ
- 5.2.2 ระยะเวลาสำหรับการนำชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นนำเอาออกจากตู้อบมาติดตั้งในปล่องโลหะและเริ่มจุดเครื่องฟืนไฟต้องไม่เกิน 2 นาที
- 5.2.3 ถ้าชิ้นตัวอย่างมีการละลายหรือมีการเปลี่ยนรูปร่างถาวรที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (220 องศาฟาเรนไฮต์) แล้ว ชิ้นตัวอย่างต้องถูกทำให้มีอุณหภูมิอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮต์ ± 9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนเริ่มการจุดเครื่องฟืนไฟ

6. กระบวนการทดสอบการลามไฟ

6.1 การแขวนชิ้นตัวอย่าง

6.1.1 การแขวนชิ้นตัวอย่างด้านบน

ด้านบนของชิ้นตัวอย่างต้องแขวนโดยใช้ท่อเหล็กแขวนตัวอย่าง (Steel Mounting Rod) ขนาด 330 มิลลิเมตร (13 นิ้ว) มาร้อยผ่านชิ้นตัวอย่าง โดยยังต้องคงสภาพของชิ้นตัวอย่างที่เป็นแบบแผ่นหรือแบบพับเอาไว้ ทั้งนี้ท่อเหล็กแขวนตัวอย่างต้องร้อยในตำแหน่งที่ลึกลงมาจากขอบบนของชิ้นตัวอย่างประมาณ 15 มิลลิเมตร ± 5 มิลลิเมตร (0.6 นิ้ว ± 0.2 นิ้ว)

- (1) สำหรับชิ้นตัวอย่างแบบพับต้องแขวนตามแนวตั้ง โดยขอบของรอยพับ 2 ช่วงที่อยู่ตรงกลางควรหันหน้าเข้าสู่แนวด้านหน้าของปล่องโลหะ ทั้งนี้ชิ้นตัวอย่างต้องกระจายรอยพับให้ห่างออกจากกันอยู่ในช่วง 12 มิลลิเมตร ± 3 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว ± 0.12 นิ้ว) โดยใช้แท่งรองรับด้านบน (Top Support Rod) และแท่งแหลม (Sharpened Rod) ขนาด 1.5 มิลลิเมตร x 255 มิลลิเมตร (0.06 นิ้ว x 10 นิ้ว) ติดตั้งไว้ตรงช่วงกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างตามความยาว เพื่อยึดจับแนวพับของชิ้นตัวอย่างให้อยู่กับที่ ทั้งนี้จุดกึ่งกลางด้านล่างของช่วงพับ 2 ช่วงที่อยู่ตรงกลางของชิ้นตัวอย่าง

ควรตั้งอยู่เหนือเครื่องฟนไฟประมาณ 100 มิลลิเมตร $\pm$ 10 มิลลิเมตร (4 นิ้ว $\pm$ 0.4 นิ้ว)

- (2) สำหรับชิ้นตัวอย่างแบบแผ่นต้องแขวนให้อยู่ตามแนวตั้งในปล่องโลหะ โดยแนวด้านกว้างของชิ้นตัวอย่างต้องอยู่ตรงกับแนวด้านหน้าของปล่องโลหะ ดังนั้นจุดกึ่งกลางด้านล่างของชิ้นตัวอย่างต้องตั้งอยู่เหนือเครื่องฟนไฟประมาณ 100 มิลลิเมตร $\pm$ 10 มิลลิเมตร (4 นิ้ว $\pm$ 0.4 นิ้ว)

6.1.2 การแขวนชิ้นตัวอย่างด้านข้าง

บริเวณด้านข้างจำนวน 2 ตำแหน่ง ของชิ้นตัวอย่างทั้งแบบแผ่นและแบบพับ ได้แก่ ที่ระยะกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง และที่ระยะ 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) เมื่อวัดจากขอบล่างของชิ้นตัวอย่างขึ้นมา ต้องแขวนด้วยคลิป (Bulldog Clip) และลวดเบา (Lightweight Chain) ซึ่งจะไปยึดติดกับลวดยึดแนวตั้ง (Vertical Guide Wire) อีกทีหนึ่ง

6.2 ขั้นตอนการทดสอบการลามไฟ

- 6.2.1 เครื่องฟนไฟต้องจุดด้วยความดันก๊าซซึ่งมีค่าอยู่ที่ 17.5 กิโลปาสกาล $\pm$ 2.0 กิโลปาสกาล (2.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\pm$ 0.25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) กับอัตราการไหลที่ 113 ลิตรต่อชั่วโมง $\pm$ 3 ลิตรต่อชั่วโมง (1.1×10^{-3} ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที $\pm$ 2.9×10^{-5} ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)
- 6.2.2 วาล์วแก๊ส (Burner Air Inlet) ต้องพันด้วยเทปพันสายไฟแบบไวนิล (Vinyl Electrical Tape) เพื่อป้องกันลมเข้า และแก๊สต้องปรับให้สามารถส่งเปลวไฟที่ 280 มิลลิเมตร $\pm$ 12 มิลลิเมตร (11 นิ้ว $\pm$ 0.5 นิ้ว)
- 6.2.3 จุดที่ชิ้นตัวอย่างมีปฏิสัมพันธ์กับเปลวไฟ ต้องยึดเอาไว้ด้วยการใช้คลิป (Bulldog Clip) ติดไว้กับขอบของชิ้นตัวอย่าง และลวดยึดแนวตั้ง (Vertical Guide Wire) และลวดเบา (Lightweight Chain) คลิปนี้ต้องติดไว้ที่ขอบของตัวอย่างที่บริเวณตรงกึ่งกลางตามความยาวของชิ้นตัวอย่าง
- 6.2.4 การจุดไฟให้ใช้เวลาเพียง 2 นาที เท่านั้น หลังจากนั้นให้ดับไฟและนำเครื่องฟนไฟออก ทั้งนี้เปลวไฟที่ใช้ในการทดสอบควรวางท่ามุม 25 องศา กับแนวตั้ง โดยเครื่องฟนไฟที่อยู่บริเวณด้านใต้ขอบของชิ้นตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และระยะภายในประมาณ 20 มิลลิเมตร (0.8 นิ้ว) ของจุดกึ่งกลางตามความกว้างของชิ้นตัวอย่างแบบแผ่น หรือที่จุดกลางของหน้าตัดสำหรับชิ้นตัวอย่างแบบพับ
- 6.2.5 บันทึกระยะเวลาต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ที่ความละเอียด 0.5 วินาที)
 - (1) เวลาที่ชิ้นตัวอย่างเริ่มไหม้

- (2) เวลาที่เศษของชิ้นตัวอย่างเริ่มหลุดหรือแตกออกจากชิ้นตัวอย่าง (กรณีที่มีสถานะเป็นของแข็ง)
- (3) เวลาที่ชิ้นตัวอย่างเริ่มเป็นของเหลวและหยดออกจากชิ้นตัวอย่าง (กรณีที่มีสถานะเป็นของเหลว)
- (4) เวลาที่เศษของชิ้นตัวอย่างยังคงเผาไหม้ หลังจากตกลงสู่พื้น

6.2.6 หลังจากการเผาไหม้สิ้นสุดลง ชุดอุปกรณ์ทดสอบและห้องทดสอบต้องได้รับการถ่ายเทควันและแก๊สที่เกิดขึ้นออกเพื่อเตรียมตัวสำหรับการทดสอบครั้งต่อไป

6.3 การวัดความยาวของซากการเผาไหม้

ซากการเผาไหม้ของชิ้นตัวอย่างหลังจากผ่านการเผาไหม้ต้องได้รับการวัดความยาวเอาไว้ โดยความยาวของซากการเผาไหม้จะเท่ากับ ความยาวของชิ้นตัวอย่างเดิมลบด้วยระยะจากขอบด้านบนสุดของชิ้นตัวอย่างไปยังเส้นแนวนอนของชิ้นตัวอย่าง ณ จุดที่ชิ้นตัวอย่างยังมีสภาพสมบูรณ์

7. หลักเกณฑ์เกี่ยวกับการทดสอบ

7.1 หลักเกณฑ์ด้านสมรรถนะ (Performance Criteria)

ชิ้นตัวอย่างจะถือว่าไม่ผ่านทดสอบ ก็ต่อเมื่อ

- 7.1.1 ชิ้นตัวอย่างยังคงติดไฟต่อเนื่องนานเกินกว่า 2 วินาที หลังจากการดับไฟไปแล้ว
- 7.1.2 ซากการเผาไหม้สำหรับชิ้นตัวอย่างแบบพัวขึ้นใดๆ มีความยาวเกิน 1,050 มิลลิเมตร (41.3 นิ้ว)
- 7.1.3 เมื่อซากการเผาไหม้สำหรับชิ้นตัวอย่างแบบแผ่นขึ้นใดๆ มีความยาวเกิน 435 มิลลิเมตร (17.1 นิ้ว)
- 7.1.4 ไม่เวลาจะเป็นช่วงเวลาระหว่างหรือหลังการทดสอบ สำหรับเศษของชิ้นตัวอย่างที่หลุดหรือตก (กรณีที่มีสถานะเป็นของแข็ง) หรือที่หยด (กรณีที่มีสถานะเป็นของเหลว) จากชิ้นตัวอย่างลงบนพื้นของชุดอุปกรณ์ทดสอบแล้ว ถ้าเศษของชิ้นตัวอย่างที่ตกลงมานี้ยังคงมีการไหม้ต่อเนื่องนานเกินกว่า 2 วินาที ให้ทำการบันทึกไว้ว่าชิ้นตัวอย่างนี้ไม่ผ่านการทดสอบ

7.2 การทดสอบใหม่ (Retest)

- 7.2.1 ในกรณีที่มียังเพียง 1 ใน 4 ของชิ้นตัวอย่างแบบพัว ที่ไม่ผ่านการทดสอบตามหลักเกณฑ์ในข้อ 7.1 ให้ดำเนินการนำชิ้นตัวอย่างใหม่ 2 ชิ้น ที่ตัดจากตำแหน่งเดียวกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทดสอบไปมาทำการทดสอบเพิ่มเติม ถ้าชิ้นตัวอย่างใหม่ทั้ง 2 ชิ้น มีผลการทดสอบผ่านตามหลักเกณฑ์แล้ว ชิ้นวัสดุนี้ควรบันทึกว่าผ่านการทดสอบชิ้นตัวอย่าง

- 7.2.2 ในกรณีที่มีเพียง 1 ใน 10 ของชิ้นตัวอย่างแบบแผ่นมีผลการทดสอบไม่ผ่านการทดสอบตามหลักเกณฑ์ในข้อ 7.1 แล้วนั้น ให้นำชิ้นตัวอย่างใหม่ 5 ชิ้น ที่ตัดจากตำแหน่งเดียวกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทดสอบไปมาทำการทดสอบเพิ่มเติม ถ้าชิ้นตัวอย่างใหม่ทั้ง 5 ชิ้น มีผลการทดสอบผ่านหลักเกณฑ์แล้ว ชิ้นวัสดุนี้ควรบันทึกว่าผ่านการทดสอบ

8. กระบวนการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (Exposure conditions) ของชิ้นวัสดุ

8.1 ทัวไป

เมื่อผู้ผลิตวัสดุได้อ้างว่าชิ้นวัสดุที่ทำการทดสอบการลามไฟตามวิธีการนี้ยังจะคงความสามารถในการต้านไฟไว้ได้หลังจากที่ชิ้นวัสดุผ่านกระบวนการทำความสะอาดหรือผ่านสภาพอากาศ (Cleaning or Weathering) ชิ้นวัสดุนั้นๆ ต้องได้รับการทดสอบการลามไฟหลังจากผ่านกระบวนการ Exposure Condition ตามเงื่อนไขในส่วนนี้ด้วย

8.2 การนำไปใช้ (Application)

ชิ้นวัสดุควรผ่านกระบวนการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (Exposure Condition) วิธีใดวิธีหนึ่งได้แก่ การซักแห้ง (Dry Cleaning) การฟอก (Laundering) การเสียดความร้อนไปกับน้ำ (Exposure to Water) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการใช้งานชิ้นวัสดุนั้นจริงๆ

8.3 การเร่งปฏิกิริยาโดยการซักแห้ง (Accelerated Dry Cleaning)

- 8.3.1 ถ้าเลือกให้ชิ้นวัสดุที่จะนำมาทดสอบผ่านกระบวนการ Exposure Condition ด้วยวิธีการซักแห้งแล้ว ชิ้นวัสดุต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการซักแห้งอย่างครบทุกขั้นตอน จำนวน 3 ครั้ง ตามวิธีการใดวิธีหนึ่งของการซักแห้ง ดังนี้

- (1) วิธีการตามที่ผู้ผลิตได้ระบุขั้นตอนในการซักแห้งหรือขั้นตอนสุดท้ายในการบำรุงรักษาชิ้นวัสดุนั้นๆ
- (2) วิธีการของร้านซักแห้งทั่วไปซึ่งใช้ Perchloroethylene หรือ Stoddard เป็นตัวกลาง

- 8.3.2 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบควรตัดจากชิ้นวัสดุที่ผ่านกระบวนการซักแห้งแล้ว

- 8.3.3 ชิ้นตัวอย่างต้องตรงกับเงื่อนไขก่อนที่จะทำการทดสอบ

8.4 การเร่งปฏิกิริยาโดยการฟอก (Accelerated Laundering)

- 8.4.1 ถ้าเลือกให้ชิ้นวัสดุที่จะนำมาทดสอบผ่านกระบวนการ Exposure Condition ด้วยวิธีการฟอกแล้ว ชิ้นวัสดุต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการฟอกอย่างครบทุกขั้นตอน จำนวน 5 ครั้ง ตามวิธีการใดวิธีหนึ่งของการฟอก ดังนี้

- (1) วิธีการตามที่ผู้ผลิตได้ระบุขั้นตอนในการฟอกหรือขั้นตอนสุดท้ายในการดูแลชิ้นวัสดุนั้นๆ

(2) วิธีการฟอกของร้านค้าทั่วไป

8.4.2 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบต้องตัดจากชิ้นวัสดุที่ผ่านกระบวนการฟอกแล้ว

8.4.3 ชิ้นตัวอย่างต้องตรงกับเงื่อนไขก่อนที่จะทำการทดสอบ

8.5 การเร่งปฏิกิริยาโดยการชะล้างจากน้ำ (Water Leaching)

8.5.1 เมื่อชิ้นวัสดุมีการระบุว่า ใช้สำหรับโครงสร้างที่อยู่ภายนอกอาคาร ต้องนำชิ้นวัสดุนี้ไปแช่ใ้หมักน้ำในภาชนะบรรจุน้ำ ซึ่งบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้อง (20 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์ + 9 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 72 ชั่วโมง ทั้งนี้ภาชนะบรรจุน้ำนี้ควรมีความจุอย่างน้อย 15.1 ลิตรหรือ 4 แกลลอน

8.5.2 ภาชนะบรรจุน้ำต้องมีการระบายน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลา ระหว่างที่ชิ้นวัสดุแช่อยู่ใน และต้องเติมน้ำให้เต็มภาชนะบรรจุน้ำอยู่โดยทันที

8.5.3 เมื่อถึงเวลาสิ้นสุดการแช่ชิ้นตัวอย่างแล้ว นำชิ้นตัวอย่างต้องออกจากภาชนะบรรจุและปล่อยให้แห้งโดยอุณหภูมิห้อง

8.5.4 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบต้องตัดจากชิ้นวัสดุที่ผ่านกระบวนการชะล้างจากน้ำ

8.5.5 ชิ้นตัวอย่างต้องตรงกับเงื่อนไขก่อนที่จะทำการทดสอบ

8.5.6 ถ้าชิ้นวัสดุที่ทดสอบตามข้อกำหนด 8.4 การเร่งปฏิกิริยาสำหรับการฟอก (Accelerated Laundering) แล้ว ไม่จำเป็นต้องดำเนินการตามกระบวนการนี้

9. การรายงานผล (Reporting)

9.1 ทั่วไป

บันทึกผลการทดสอบต้องได้รับการรวบรวมและสรุปผลให้อยู่ในรูปแบบของรายงาน ซึ่งอย่างน้อยควรประกอบไปด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบของชิ้นวัสดุ เงื่อนไขของชิ้นตัวอย่าง เงื่อนไขของการทดสอบ การผ่านกระบวนการ Exposure Condition (ถ้ามี) ผลการทดสอบ และบทสรุป

9.2 การบรรยายเกี่ยวกับชิ้นวัสดุ

9.2.1 ระบุรายละเอียดของชิ้นวัสดุเกี่ยวกับ

(1) ส่วนประกอบและรูปแบบของชิ้นวัสดุที่นำมาทดสอบ

(2) รูปแบบหรือวิธีการของการประกอบชิ้นวัสดุ

(3) กรณีที่มีการใช้สารต้านทานไฟ (Flame Retardant) ต้องแสดงรายละเอียดเอาไว้รวมไปถึงต้องแสดงวิธีการของการนำสารต้านทานไฟมาใช้งาน

(4) น้ำหนักและโครงสร้างของชิ้นวัสดุ

9.2.2 รูปแบบของการนำชิ้นวัสดุไปประยุกต์ใช้งานจริง (ถ้าทราบ)

9.3 เงื่อนไขของชิ้นตัวอย่าง

เงื่อนไขของชิ้นตัวอย่างต้องระบุไว้อย่างชัดเจน

9.4 เงื่อนไขของการทดสอบ (Test Condition)

วิธีการทดสอบและเงื่อนไขของการทดสอบที่ใช้ต้องระบุไว้อย่างชัดเจน

9.5 กระบวนการ Exposure Condition

เมื่อมีการนำเอาชิ้นวัสดุไปผ่านการซักแห้ง การฟอก หรือการชะล้างจากน้ำ ต้องมีการระบุถึงวิธีการที่ใช้ และจำนวนรอบไว้อย่างชัดเจน

9.6 ผลการทดสอบ

ให้แสดงผลการทดสอบจากชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้น และผลการทดสอบที่เป็นค่าเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างทั้งหมด ที่มีรายละเอียดดังนี้

9.6.1 เวลาของการเผาไหม้สำหรับชิ้นตัวอย่างใดๆ ที่ตกลงลงบนพื้นของผู้ทดสอบ โดยมีความละเอียดที่ 0.5 วินาที

9.6.2 ความยาวของความยาวของซากการเผาไหม้ โดยมีความละเอียดที่ 3 มิลลิเมตร (0.12 นิ้ว)

9.6.3 เวลาของการลุกไหม้ (After Flame) โดยมีความละเอียดที่ 0.5 วินาที

9.6.4 จำนวนและลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ล้มเหลว

9.6.5 ข้อพิจารณาอื่นๆ

9.7 บทสรุป

การสรุปผลการทดสอบต้องระบุรายละเอียดอย่างแน่ชัดว่า ชิ้นวัสดุผ่านหรือไม่ผ่านการทดสอบ โดยอ้างอิงถึงผลการทดสอบที่แสดงในส่วนที่ 9.6 และหลักเกณฑ์ตามข้อกำหนดในส่วนที่ 7

10. เอกสารอ้างอิง

- 10.1 The National Fire Protection Association. 2004. NFPA 701: Standard Methods of Fire Tests for Flame Propagation of Textiles and Films.