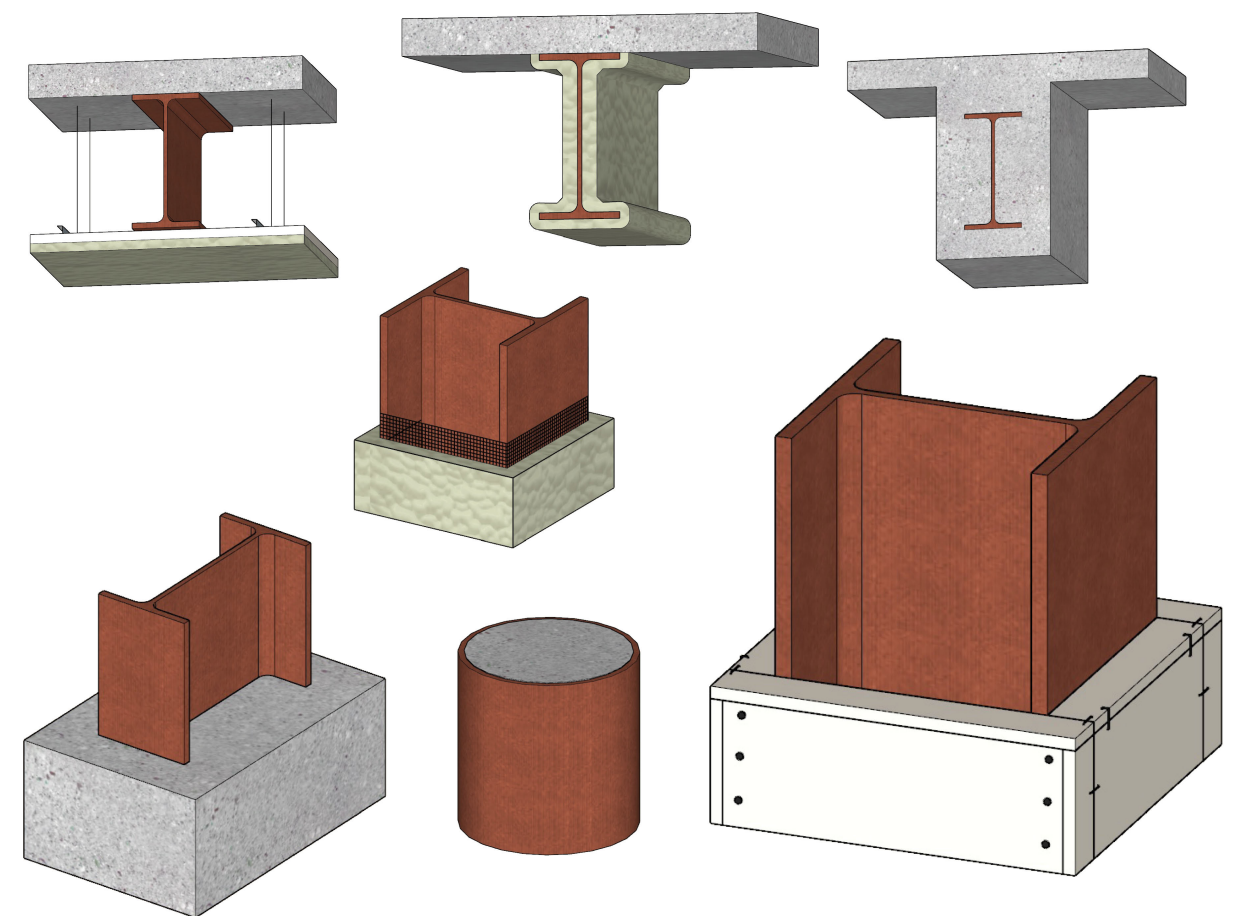


## มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ



สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร  
กรมโยธาธิการและผังเมือง  
ถ.พระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน  
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400  
โทร. 0-2299-4363 โทรสาร 0-2299-4366



กรมโยธาธิการและผังเมือง  
กระทรวงมหาดไทย  
พ.ศ. 2561



---

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

---

มยพ. 8304 - 61

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

ISBN 978-616-278-438-5

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน

เขตปทุมธานี กรุงเทพฯ 10400

โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

## คณะผู้จัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ

### ที่ปรึกษาโครงการ

นายอดิศร มโนมัยอำรุงกุล

### ผู้จัดการโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ

### บุคลากรหลัก

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ตระกุล อร่ามรักษ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีป ชัยสมภพ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติกไกร
5. รองศาสตราจารย์ ดร.อัศววัชร เล่นวารี่
6. รองศาสตราจารย์ ดร.อภินิติ โชติสังกาศ
7. ดร.รังสรรค์ วงศ์จิรภัทร

### บุคลากรสนับสนุน

1. นายอนุรักษ์ เทพกรณ์
2. นายสิทธิพนธ์ แก้วสว่าง
3. นางสาวพลอยเครือ แจ่มวิถิเลิศ
4. นางสาวสิรินัดดา บุญเป็ง

**คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา**  
**เรื่อง มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ**

**ประธานกรรมการ**

นายสินธุ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

**คณะกรรมการ**

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ

ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรใหญ่

นายอนวัช บุรพาชน

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายวิบูลย์ ลีพัฒนากิจ

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายกนก สุจริตสัณชัย

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายพรชัย สังข์ศรี

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นายสมโชค เล่งวงศ์

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

ดร.ทยากร จันทรางศุ

วิศวกรโยธาชำนาญการ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

**กรรมการและเลขานุการ**

ดร.ธนิต ใจสอาด

วิศวกรโยธาชำนาญการ

**กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ**

นายวิโชติ กันภัย

วิศวกรโยธาชำนาญการ

นายธีรภัทร สุนทรชื่น

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

## ผู้ทรงคุณวุฒิในการจัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี
2. รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์
4. นายธนา แก้วกระจ่าง
5. นายสยามภู เฮนะเกษตร

## คำนำ

กฎกระทรวงฉบับที่ 60 (พ.ศ. 2549) ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดอัตราการใช้ไฟฟ้าของอาคาร กำหนดให้โครงสร้างหลักที่เป็นเสาหรือคานที่ก่อสร้างด้วยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณต้องมีขนาดและความหนาของคอนกรีตหุ้มตามกฎกระทรวง เพื่อให้มีอัตราการใช้ไฟฟ้าไม่น้อยกว่าที่กำหนด ส่วนในกรณีที่ไม่ได้ใช้คอนกรีตหุ้ม ต้องป้องกันโดยวิธีอื่นที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าไม่น้อยกว่าที่กำหนดเช่นเดียวกัน โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการใช้ไฟฟ้าจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต แต่เนื่องจากในปัจจุบัน วัสดุและระบบการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องหลายรูปแบบ เพื่อให้โครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณมีอัตราการใช้ไฟฟ้าตามที่กฎหมายกำหนด โดยที่อัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบป้องกันอัคคีภัยอื่นๆ ส่วนใหญ่นั้น จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิต ดังนั้นการประเมินอัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบป้องกันอัคคีภัยอื่นๆ ยังจำเป็นต้องใช้วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นหลัก ซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกและเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ปรึกษาโครงการจัดทำมาตรฐานการออกแบบ และการก่อสร้างอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ทำการศึกษาและจัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มยผ. 8304 – 61) เพื่อกำหนดวิธีการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยอื่นของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และเป็นไปตามหลักวิชาการและมาตรฐานสากล

กรมโยธาธิการและผังเมือง หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการนำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ (มยผ. 8304 – 61) ไปใช้ในทางปฏิบัติ จะช่วยให้อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีความมั่นคงแข็งแรงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะช่วยให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเพิ่มมากยิ่งขึ้น



(นายมนทล สุตประเสริฐ)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

## บทนำ

กฎกระทรวงฉบับที่ 60 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้กำหนดให้โครงสร้างหลักของอาคาร ดังต่อไปนี้ 1) อาคารสำหรับใช้เป็นคลังสินค้า โรงมหรสพ โรงแรม อาคารชุด หรือสถานพยาบาล 2) อาคารสำหรับใช้เพื่อเป็นกิจการพาณิชยกรรม การอุตสาหกรรม การศึกษา การสาธารณสุข หรือสำนักงานหรือที่ทำการที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร และ 3) อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นหอประชุม ที่มีโครงสร้างหลักเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของความหนาแน่นสุดของคอนกรีตหุ้มเหล็ก เพื่อให้โครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวง ส่วนกรณีที่ไม่ได้ใช้คอนกรีตหุ้ม ต้องป้องกันโดยวิธีอื่นที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าที่กำหนดเช่นเดียวกัน โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต

ดังนั้นเพื่อเป็นการกำหนดแนวทางสำหรับผู้ออกแบบในการคำนวณออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยอื่นสำหรับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณนอกเหนือจากการใช้คอนกรีตหุ้มตามที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ คณะที่ปรึกษาโครงการจัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ จึงได้จัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มยพ. 8304 - 61) ฉบับนี้ขึ้นเพื่อให้รายละเอียดของข้อกำหนดวิธีการป้องกันไฟเชิงรับต่างๆ สำหรับโครงสร้างหลักของอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ และวิธีการคำนวณค่าอัตราการทนไฟขององค์อาคารเหล็กที่ได้รับการป้องกันไฟด้วยระบบป้องกันไฟประเภทต่างๆ ประกอบด้วยการใช้คอนกรีต อิฐ แผ่นยิปซัมชนิดทนไฟ และวัสดุฉนวนกันไฟหุ้มโครงสร้างเหล็ก และการเติมคอนกรีตภายในท่อเหล็ก เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบอัตราการทนไฟของระบบเหล่านี้ได้แทนการทดสอบอัตราการทนไฟภายใต้อุณหภูมิของไฟมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ โดยที่ข้อกำหนดของระบบและวัสดุป้องกันไฟจะมีรายละเอียดระบุอยู่ในบทที่ 4 และการคำนวณออกแบบระบบป้องกันไฟสำหรับเสาเหล็ก คานเหล็ก โครงข้อหมุนเหล็ก และระบบพื้นและหลังคาเหล็กจะมีรายละเอียดระบุอยู่ในบทที่ 5 ถึง บทที่ 8 ตามลำดับ

ในฐานะหัวหน้าโครงการจัดทำมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ  
ผมใคร่ขอขอบคุณคณะที่ปรึกษาทุกท่านที่ได้ร่วมกันดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณคณะกรรมการ  
กำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิที่กรมโยธาธิการและผังเมืองแต่งตั้ง ประกอบด้วย  
ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์  
คุณธนา แก้วกระจ่าง และคุณสยามภู เฮนะเกษตร ที่ได้ให้คำชี้แนะในการจัดทำมาตรฐานฉบับนี้



(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หัวหน้าโครงการฯ

## สารบัญ

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| สารบัญ.....                                                     | i   |
| สารบัญรูป.....                                                  | iii |
| สารบัญตาราง.....                                                | iv  |
| บทที่ 1 ทัวไป .....                                             | 1   |
| 1.1 วัตถุประสงค์.....                                           | 1   |
| 1.2 ขอบข่าย .....                                               | 1   |
| 1.3 มาตรฐานอ้างอิง.....                                         | 1   |
| บทที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์ .....                                 | 3   |
| 2.1 นิยาม.....                                                  | 3   |
| 2.2 สัญลักษณ์.....                                              | 3   |
| บทที่ 3 ระบบและวัสดุป้องกันไฟ .....                             | 7   |
| 3.1 คอนกรีตหรืออิฐ.....                                         | 7   |
| 3.2 แผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟ .....                                   | 10  |
| 3.3 วัสดุฉนวนกันไฟ .....                                        | 12  |
| 3.4 สารเคลือบผิวอินทนูเมสเซนส์.....                             | 13  |
| 3.5 ท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีต.....                                | 13  |
| บทที่ 4 อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับเสาเหล็ก .....        | 15  |
| 4.1 คอนกรีตหรืออิฐ.....                                         | 15  |
| 4.2 แผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟ .....                                   | 18  |
| 4.3 วัสดุฉนวนกันไฟ .....                                        | 19  |
| 4.4 เสาท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีต .....                            | 20  |
| บทที่ 5 อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับคานเหล็ก.....         | 21  |
| 5.1 วัสดุฉนวนกันไฟ .....                                        | 21  |
| บทที่ 6 อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับโครงข้อหมุนเหล็ก..... | 23  |
| บทที่ 7 การป้องกันไฟสำหรับระบบพื้นและหลังคาเหล็ก .....          | 25  |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| เอกสารอ้างอิง.....                                                                         | 27 |
| ภาคผนวก ก.อัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (W/D) ของเหล็กหน้าตัด..... | 24 |
| รูปตัวเอช                                                                                  |    |

## สารบัญรูป

|          |                                                                                           |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 1 | การหุ้มเสาเหล็กด้วยคอนกรีต .....                                                          | 7  |
| รูปที่ 2 | การหุ้มเสาเหล็กด้วยอิฐ .....                                                              | 8  |
| รูปที่ 3 | การติดตั้งแผ่นยับซึมหุ้มกันไฟสำหรับเสาเหล็ก (อัตราการทนไฟไม่เกิน 4 ชั่วโมง) .....         | 10 |
| รูปที่ 4 | การติดตั้งแผ่นยับซึมหุ้มกันไฟเพื่อป้องกันไฟเสาเหล็ก (อัตราการทนไฟไม่เกิน 3 ชั่วโมง) ..... | 11 |
| รูปที่ 5 | การใช้วัสดุฉนวนกันไฟเสาเหล็ก .....                                                        | 13 |
| รูปที่ 6 | การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) ของเสาเหล็ก .....           | 15 |
| รูปที่ 7 | การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) ของคานเหล็ก .....           | 21 |
| รูปที่ 8 | การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนหน้าตัดต่าง ๆ .....          | 23 |

## สารบัญตาราง

|              |                                                                                  |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 1   | ความหนาต่ำสุดที่ต้องการของคอนกรีตหุ้มป้องกันไฟส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ .....    | 9  |
| ตารางที่ 2   | คุณสมบัติของคอนกรีต (concrete) .....                                             | 17 |
| ตารางที่ 3   | คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก (concrete masonry) .....                                | 17 |
| ตารางที่ 4   | คุณสมบัติของอิฐดินเผา (clay masonry) .....                                       | 18 |
| ตารางที่ ก.1 | อัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (W/D) ของเหล็กหน้าตัด..... | 25 |
|              | รูปตัวเอช                                                                        |    |

## บทที่ 1 ทั่วไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารโครงสร้างเหล็กgrupพรรณฉบับนี้ให้ข้อกำหนดวิธีการป้องกันไฟเชิงรับต่าง ๆ สำหรับโครงสร้างหลักของอาคารโครงสร้างเหล็กgrupพรรณได้แก่ คาน เสา และโครงข้อหมุนเหล็ก รวมทั้งระบบพื้นและหลังคาซึ่งประกอบด้วยคานเหล็กที่รองรับพื้นหรือหลังคาคอนกรีตโดยอาจมีการใช้แผ่นพื้นเหล็ก (steel deck) เป็นแบบหล่อคอนกรีต
- 1.1.2 มาตรฐานให้แนวทางการคำนวณค่าอัตราการทนไฟขององค์อาคารเหล็กที่ได้รับการป้องกันไฟด้วยระบบป้องกันไฟประกอบด้วยการใช้คอนกรีต อิฐ แผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟ วัสดุฉนวนกันไฟ และการเติมท่อเหล็กด้วยคอนกรีต เพื่อเป็นทางเลือกแทนการทดสอบการทนไฟภายใต้อุณหภูมิของไฟมาตรฐาน

### 1.2 ขอบข่าย

มาตรฐานฉบับนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป แต่มาตรฐานไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบโครงสร้างสะพาน เชื้อน โครงสร้างชลประทาน ถังน้ำ เสาส่งไฟฟ้า เสาส่งสัญญาณวิทยุ ป้ายโฆษณา โครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่ได้เป็นลักษณะอาคาร

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- 1.3.1 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร ส่วนที่ 1 รายละเอียดและข้อกำหนดการทดสอบ (มยผ 8201)”
- 1.3.2 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร ส่วนที่ 2 ชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทรับน้ำหนักบรรทุก (มยผ 8202)”
- 1.3.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร ส่วนที่ 3 ส่วนประกอบอาคารไม่รับน้ำหนักบรรทุก (มยผ 8203)”
- 1.3.4 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “สีอีมีลชันพองตัวกันไฟ (intumescent fire resistive emulsion paints) (มอก. 2442)”
- 1.3.5 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Steel Self - Piercing Tapping Screws for Application of Gypsum Panel Products or Metal Plaster Bases to Wood Studs or Steel Studs (ASTM C1002)”

- 1.3.6 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Spray - Applied Mineral Fiber Thermal and Sound Absorbing Insulation (ASTM C1014)”
- 1.3.7 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Gypsum Board (ASTM C1396/C1396M)”
- 1.3.8 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (ASTM - E119)”
- 1.3.9 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire- Resistive Material ( SFRM) Applied to Structural Members (ASTM E605 / E605M)”
- 1.3.10 American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Cohesion/ Adhesion of Sprayed Fire- Resistive Materials Applied to Structural Members (ASTM E736 / E736M)”
- 1.3.11 International Organization for Standardization (ISO), “Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction (ISO 834)”
- 1.3.12 Underwriters Laboratories Inc., “Fire Resistance Directory”

## บทที่ 2

### นิยามและสัญลักษณ์

#### 2.1 นิยาม

“การป้องกันไฟเชิงรับ” (passive fire protection) หมายถึง การชะลอการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในชั้นส่วนหลักโครงสร้างรูปพรรณ เพื่อให้โครงสร้างยังมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกอย่างปลอดภัยภายใต้สถานการณ์เพลิงไหม้ในระยะเวลาหนึ่ง

“คอนกรีตมวลรวมคาร์บอเนต” (carbonate aggregate concrete) หมายถึง คอนกรีตที่มวลรวมมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต เช่น หินปูน (limestone) หรือ โดโลไมต์ (dolomite) และมีปริมาณควอตซ์ (quartz) เชิร์ต (chert) หรือหินเหล็กไฟ (flint) ไม่เกินร้อยละ 40

“คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส” (siliceous aggregate concrete) หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลรวมน้ำหนักรวมโดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (silica) หรือสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีปริมาณควอตซ์ (quartz) เชิร์ต (chert) หรือหินเหล็กไฟ (flint) มากกว่าร้อยละ 40

“คอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบา” (sand - lightweight aggregate concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดดินเผา (expanded clay) หินดินดาน (shale) ตะกรัน (slag) หินชนวน (slate) หรือเถ้าลอย (sintered fly ash) และทรายธรรมชาติ (natural sand) และมีค่าหน่วยมวลในสภาพแห้งอยู่ระหว่าง 1,680 ถึง 1,920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

“คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา” (lightweight aggregate concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดดินเผา (expanded clay) หินดินดาน (shale) ตะกรัน (slag) หินชนวน (slate) หรือ เถ้าลอย (sintered fly ash) และมีค่าหน่วยมวลในสภาพแห้งอยู่ระหว่าง 1,360 ถึง 1,840 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

“แผ่นฉนวนเส้นใยเซรามิก” (ceramic fiber blanket) หมายถึง วัสดุเส้นใยเซรามิกผลิตจากอลูมินาและซิลิกาเป็นหลักนำมาทอเป็นรูปแบบผืน มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 65 ถึง 130 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

“ระบบป้องกันไฟ” (fire protection system) หมายถึง วัสดุและวิธีการติดตั้งเพื่อใช้ในการป้องกันไฟ

“อัตราการทนไฟ” (fire resistance rating) หมายถึง ระยะเวลาที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยภายใต้อุณหภูมิสูงที่กำหนด

#### 2.2 สัญลักษณ์

|                |   |                                                                |
|----------------|---|----------------------------------------------------------------|
| A              | = | พื้นที่หน้าตัดของเสาท่อนเหล็ก                                  |
| A <sub>s</sub> | = | พื้นที่หน้าตัดของเสาเหล็กดัดรูปตัวเอช                          |
| b <sub>f</sub> | = | ความกว้างของปีก                                                |
| C              | = | แรงอัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และจรรยาที่ไม่ได้ปรับเพิ่มค่า |

|        |   |                                                                                     |
|--------|---|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_1$  | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช                             |
| $C_2$  | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช                             |
| $C_3$  | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาท่อเหล็ก (ท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยม)                 |
| $C_4$  | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาท่อเหล็ก (ท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยม)                 |
| $c_c$  | = | ความร้อนจำเพาะของคอนกรีตหรืออิฐ                                                     |
| $D$    | = | ระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน                                                     |
| $D_0$  | = | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสาท่อเหล็กกลม (สมการที่ 7)                               |
|        | = | ระยะขอบนอกของเสาท่อเหล็กท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส (สมการที่ 7)                           |
|        | = | ระยะขอบนอกที่น้อยสุดของเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้า (สมการที่ 7)                     |
| $d$    | = | ความลึกของหน้าตัด                                                                   |
| $f'_c$ | = | กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน                                              |
| $H$    | = | ความจุความร้อนของเสาเหล็กโครงสร้าง                                                  |
| $h$    | = | ความหนาของคอนกรีตหรือความหนาเทียบเท่าของอิฐ (สมการที่ 2)                            |
|        | = | ความหนาของแผ่นยิปซัม (สมการที่ 4)                                                   |
|        | = | ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟ (สมการที่ 5 และสมการที่ 6)                                 |
| $h_1$  | = | ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ใช้ในการทดสอบ                                            |
| $h_2$  | = | ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ต้องการ                                                  |
| $KL$   | = | ความยาวประสิทธิภาพของเสา                                                            |
| $k_c$  | = | สภาพการนำความร้อนของคอนกรีตหรืออิฐ                                                  |
| $L$    | = | มิติภายในเฉลี่ยของการป้องกันแบบกล่อง                                                |
| $L_1$  | = | มิติภายในของการป้องกันแบบกล่อง                                                      |
| $L_2$  | = | มิติภายในของการป้องกันแบบกล่อง                                                      |
| $m$    | = | ปริมาณความชื้นของคอนกรีตหรืออิฐที่สภาวะความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) |
| $R$    | = | อัตราการทนไฟ                                                                        |
| $R_0$  | = | อัตราการทนไฟที่สภาวะไม่มีความชื้น                                                   |
| $t_1$  | = | ความหนาของอิฐหุ้ม                                                                   |
| $t_2$  | = | ความหนาของอิฐหุ้ม                                                                   |
| $t_w$  | = | ความหนาของแผ่นเอวของหน้าตัด                                                         |
| $W$    | = | น้ำหนักเฉลี่ยของเสาเหล็ก                                                            |

- $W_1$  = น้ำหนักของคานเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ
- $W_2$  = น้ำหนักของคานเหล็กที่ต้องการหาความหนาของวัสดุฉีดยึดพ่นกันไฟ
- $W'$  = น้ำหนักรวมของเสาเหล็กและแผ่นยึดซึม
- $\rho_c$  = ความหนาแน่นของคอนกรีตหรืออิฐ

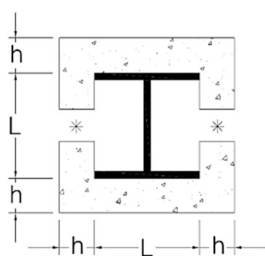


### บทที่ 3

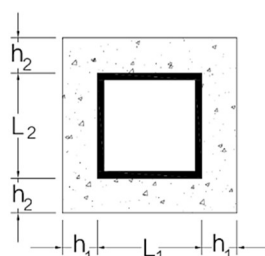
#### ระบบและวัสดุป้องกันไฟ

#### 3.1 คอนกรีตหรืออิฐ

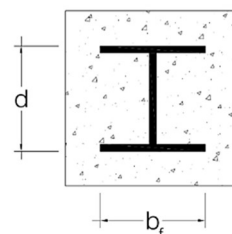
คอนกรีตมีคุณสมบัติการนำความร้อน (thermal conductivity) ต่ำและความจุความร้อน (heat capacity) สูง การใช้คอนกรีต (concrete) หรืออิฐ (masonry) หุ้มรอบเสาเหล็กดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถป้องกันเหล็กรูปพรรณจากการสัมผัสกับไฟโดยตรงและทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulation) ป้องกันไฟให้เหล็กรูปพรรณ ทั้งนี้อัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณที่หุ้มด้วยคอนกรีตหรืออิฐขึ้นอยู่กับระยะหุ้มที่ใช้ รูปที่ 1 และ 2 ได้แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กที่ป้องกันไฟด้วยการหุ้มรอบด้วยคอนกรีตหรืออิฐ (ในหัวข้อที่ 4.1)



(ก) คอนกรีตสำเร็จรูป  
(precast concrete covers)



(ข) คอนกรีตหุ้มเสาท่อเหล็ก  
(concrete - encased  
structural tube)

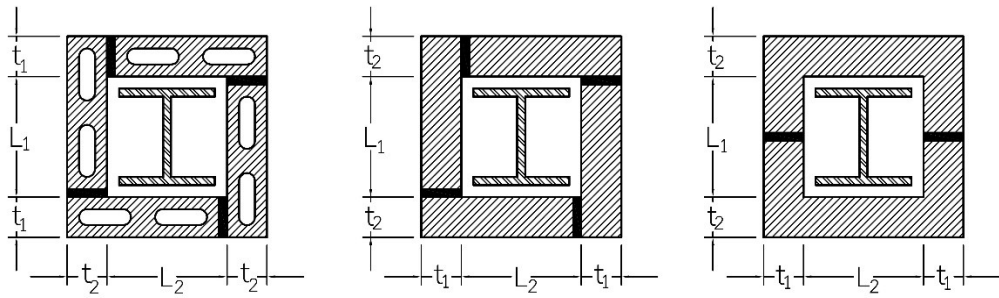


(ค) คอนกรีตหุ้มเสารูปตัวเอช  
(concrete - encased  
wide - flange shape)

\* รอยต่อของคอนกรีตสำเร็จรูป (รูปที่ 1 (ก)) ต้องไม่กว้างเกิน 25.4 มิลลิเมตร และต้องได้รับการป้องกันด้วยแผ่นฉนวนเส้นใยเซรามิก (ceramic fiber blanket) ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 65 ถึง 130 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาอย่างน้อย 25.4 มิลลิเมตร ทั้งนี้แผ่นฉนวนต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความหนาของคอนกรีตหุ้ม

#### รูปที่ 1 การหุ้มเสาเหล็กด้วยคอนกรีต (ข้อ 3.1)

ในรูปที่ 1 หากเส้นรอบรูปภายในของคอนกรีตหุ้มไม่เป็นจัตุรัสให้ใช้  $L$  เท่ากับค่าเฉลี่ยของ  $L_1$  และ  $L_2$  และหากความหนาของคอนกรีตหุ้มไม่คงที่ให้ใช้  $h$  เท่ากับค่าเฉลี่ยของ  $h_1$  และ  $h_2$



รูปที่ 2 การหุ้มเสาเหล็กด้วยอิฐ  
(ข้อ 3.1)

ในรูปที่ 2 ค่า  $L$  ในสมการคำนวณ (สมการที่ 2) ใช้ค่าเฉลี่ยของ  $L_1$  และ  $L_2$  และค่า  $h$  ในการคำนวณ (สมการที่ 2) ใช้ความหนาเทียบเท่าของอิฐหุ้ม โดยในกรณีอิฐตัน (solid masonry units) ใช้  $h$  เท่ากับค่าที่น้อยกว่าของ  $t_1$  และ  $t_2$  และในกรณีอิฐกลวง (hollow masonry units) ใช้  $h$  เท่ากับค่าที่น้อยกว่าของ  $t_1$  และ  $t_2$  คูณด้วยร้อยละของพื้นที่ส่วนที่ตันที่แสดงเป็นจุดทศนิยม

ในกรณีที่ใช้คอนกรีตหุ้มป้องกันไฟและไม่มีผลการทดสอบหรือผลการคำนวณอัตราการทนไฟให้กำหนดระยะหุ้มของคอนกรีตป้องกันไฟโครงสร้างเหล็กรูปพรรณไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ทั้งนี้ การใช้คอนกรีตหุ้มหล่อในที่ควรมีการเสริมเหล็กเส้นขนาดไม่เล็กกว่า 4 มิลลิเมตร พันรอบเสาเป็นเกลียวโดยมีระยะพิตช์ (pitch) ไม่เกิน 20 เซนติเมตร หรือในปริมาณที่เทียบเท่า

ตารางที่ 1 ความหนาต่ำสุดที่ต้องการของคอนกรีตหุ้มป้องกันไฟส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

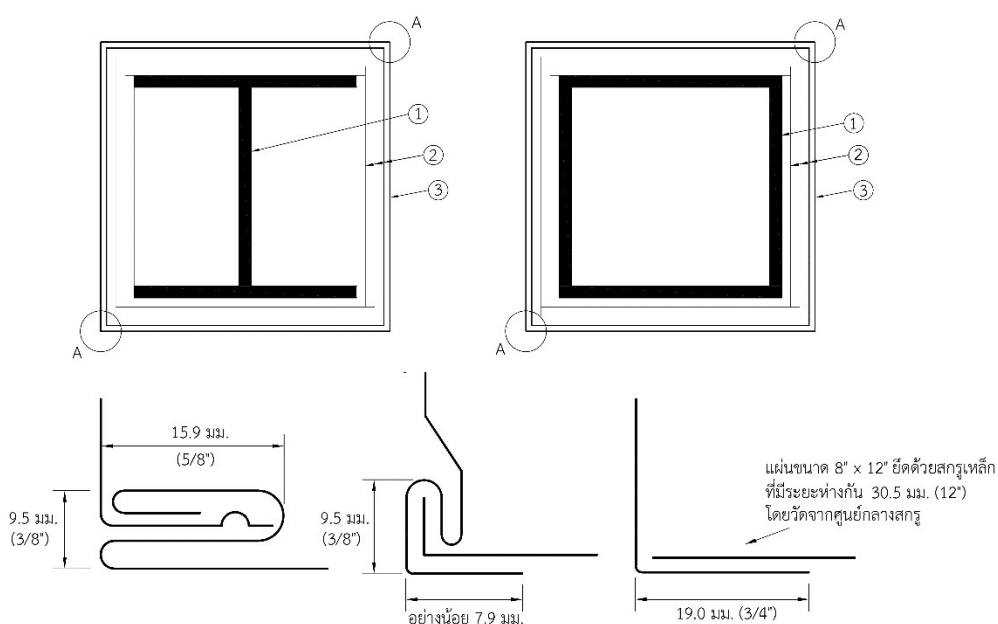
(ข้อ 3.1)

| โครงสร้างที่ถูก<br>ป้องกันอัคคีภัย               | ชนิดวัสดุป้องกันอัคคีภัย                                                                                                                                                                                                                           | ความหนาต่ำสุดที่ต้องการ (มิลลิเมตร) |           |           |           |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                    | ระยะเวลาการทนไฟ                     |           |           |           |
|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                    | 4 ชั่วโมง                           | 3 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง | 1 ชั่วโมง |
| 1. เสาเหล็กและ<br>ชิ้นส่วนหลักของโครง<br>ข้อหมุน | คอนกรีตมวลรวมคาร์บอนेट คอนกรีตมวลรวม<br>น้ำหนักเบา และคอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนัก<br>เบา (ไม่มีหินทราย (sandstone) หินแกรนิต<br>(granite) และกรวดประเภทซิลิเซียส (siliceous<br>gravel)) สำหรับเสาเหล็กที่มีขนาด 150 x 150<br>มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า * | 62.5                                | 50        | 37.5      | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมคาร์บอนेट คอนกรีตมวลรวม<br>น้ำหนักเบา และคอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนัก<br>เบา (ไม่มีหินทราย (sandstone) หินแกรนิต<br>(granite) และกรวดประเภทซิลิเซียส (siliceous<br>gravel)) สำหรับเสาเหล็กที่มีขนาด 200 x 200<br>มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า   | 50                                  | 40        | 25        | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมคาร์บอนेट คอนกรีตมวลรวม<br>น้ำหนักเบา และคอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนัก<br>เบา (ไม่มีหินทราย (sandstone) หินแกรนิต<br>(granite) และกรวดประเภทซิลิเซียส (siliceous<br>gravel)) สำหรับเสาเหล็กที่มีขนาด 300 x 300<br>มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า   | 37.5                                | 25        | 25        | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส สำหรับเสาเหล็กที่มี<br>ขนาด 150 x 150 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า                                                                                                                                                                | 75                                  | 50        | 37.5      | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส สำหรับเสาเหล็กที่มี<br>ขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า                                                                                                                                                                | 62.5                                | 50        | 25        | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส สำหรับเสาเหล็กที่มี<br>ขนาด 300 x 300 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า                                                                                                                                                                | 50                                  | 25        | 25        | 25        |
|                                                  | คอนกรีตมวลรวมคาร์บอนेट คอนกรีตมวลรวม<br>น้ำหนักเบา หรือคอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนัก<br>เบา (ไม่มีหินทราย (sandstone) หินแกรนิต<br>(granite) และกรวดประเภทซิลิเซียส (siliceous<br>gravel))                                                              | 50                                  | 37.5      | 25        | 25        |
| 2. เหวหรือปีกของ<br>คานเหล็ก                     | คอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส                                                                                                                                                                                                                             | 62.5                                | 50        | 37.5      | 25        |

- \* หมายเหตุ: 1) กฎกระทรวงฉบับที่ 60 กำหนดให้เสาเหล็กขนาด 150x150 มิลลิเมตร 200x200 มิลลิเมตร และขนาดตั้งแต่ 300x300 มิลลิเมตร ขึ้นไป มีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างน้อย 50 40 และ 25 มิลลิเมตร ตามลำดับ และคานเหล็กมีระยะคอนกรีตหุ้มอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร
- 2) ในกรณีที่ไม่สามารถระบุประเภทคอนกรีต ให้อ้างอิงคอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส

### 3.2 แผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟ

แผ่นยิปซัมประเภท X (type X gypsum board) ตามมาตรฐาน ASTM C1396 / C1396M “Standard Specification for Gypsum Board” ที่มีองค์ประกอบที่ทำให้มีคุณสมบัติทนไฟที่สูงกว่าแผ่นยิปซัมประเภททั่วไป รูปที่ 3 และ 4 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการติดตั้งแผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟประเภท X เพื่อป้องกันไฟเสาเหล็กในกรณีอัคคีภัยการทนไฟไม่เกิน 4 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปแบบการติดตั้งตรงมุม A

(ก) แบบ snap - lock      (ข) แบบ Pittsburgh Seam      (ค) แบบทาบ

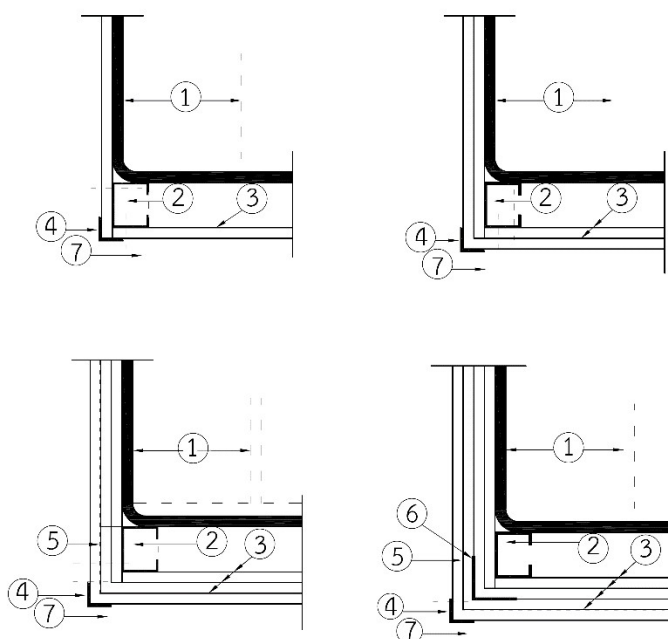
รูปที่ 3 การติดตั้งแผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟสำหรับเสาเหล็ก (อัคคีภัยการทนไฟไม่เกิน 4 ชั่วโมง)

(ข้อ 3.2)

ในรูปที่ 3 ประกอบด้วย

- (1) เสาเหล็ก (รูปตัวเอชหรือที)

- (2) แผ่นยิปซัมประเภท X ในกรณีที่ใช้ชั้นเดียวให้ติดตั้งแผ่นในแนวดิ่งโดยไม่มีรอยต่อแนวนอน ในกรณีที่ใช้มากกว่า 1 ชั้น สามารถมีรอยต่อแนวนอนที่ระยะห่างขั้นต่ำ 2.4 เมตร โดยรอยต่อของชั้นที่ติดกันต้องวางเยื้องสลับห่างอย่างน้อย 300 มิลลิเมตร
- (3) แผ่นหุ้มเสาใช้ galvanized หรือ stainless steel ที่มีความหนาอย่างน้อย 0.06 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดการติดตั้งตรงมุม A แบบ snap lock หรือ Pittsburgh Seam สำหรับอัตราทนไฟ 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4 การติดตั้งแผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟเพื่อป้องกันไฟเสาเหล็ก (อัตราการทนไฟไม่เกิน 3 ชั่วโมง)  
(ข้อ 3.2)

ในรูปที่ 4 ประกอบด้วย

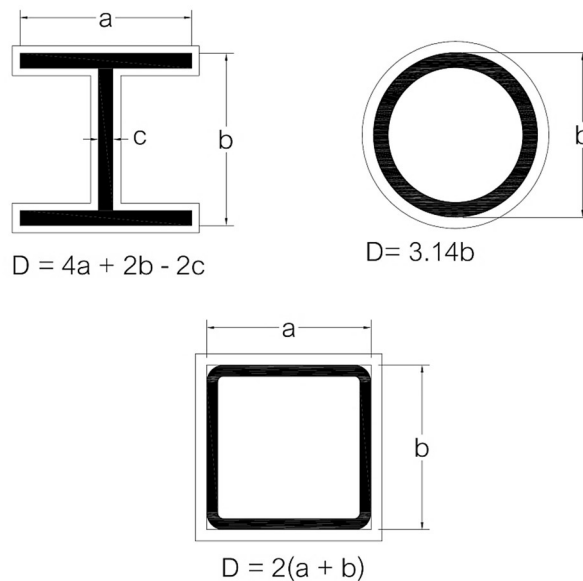
- (1) เสาเหล็ก (รูปตัวเอชหรือท่อ)
- (2) studs เป็น galvanized steel มีความหนาอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร มีปีกกว้าง 6.4 มิลลิเมตร และความยาวขาทั้งสอง 33.3 หรือ 36.5 มิลลิเมตร. โดยมีความยาวน้อยกว่าความสูงของเสา 12.7 มิลลิเมตร
- (3) แผ่นยิปซัมประเภท X ในกรณีที่ใช้ชั้นเดียวให้ติดตั้งแผ่นในแนวดิ่งโดยไม่มีรอยต่อแนวนอน ในกรณีที่ใช้มากกว่า 1 ชั้น สามารถมีรอยต่อแนวนอนที่ระยะห่างขั้นต่ำ 2.4 เมตร โดยรอยต่อของชั้นที่ติดกันต้องวางเยื้องสลับห่างอย่างน้อย 300 มิลลิเมตร

- (4) ตัวครอบมุมใช้ galvanized steel มีขนาดขา 38.1 มิลลิเมตร และความหนาอย่างน้อย 0.4 มิลลิเมตร โดยทำการยึดด้วยสกรูประเภท S ตามมาตรฐาน ASTM C1002 ขนาดยาว 1 นิ้ว และระยะเรียง 300 มิลลิเมตร
- (5) steel tie wire มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร และระยะเรียง 160 มิลลิเมตร
- (6) เหล็กฉาก galvanized steel มีขนาดขา 500x500 มิลลิเมตร และความหนาอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร
- (7) สกรูประเภท S ตามมาตรฐาน ASTM C1002 สกรูที่มีความยาว 25.4 มิลลิเมตร ใช้ยึดแผ่นยิปซัมชั้นแรก กับ steel studs และแผ่นยิปซัมชั้นที่สามกับเหล็กฉากมีระยะเรียงเท่ากับ 600 มิลลิเมตร สกรูที่มีความยาว 44.5 มิลลิเมตร ใช้ยึดแผ่นยิปซัมชั้นที่สองกับ steel studs และแผ่นยิปซัมชั้นที่สี่กับเหล็กฉากมีระยะเรียงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และสกรูที่มีความยาว 57.2 มิลลิเมตร ใช้ยึดแผ่นยิปซัมชั้นที่สามกับ steel studs มีระยะเรียงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

### 3.3 วัสดุฉนวนกันไฟ

วัสดุฉนวนกันไฟ (spray - applied fire - resistive materials: SFRM) ต้องมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนเพื่อป้องกันไฟให้เสาเหล็ก รูปที่ 5 แสดงการป้องกันไฟโดยใช้วัสดุฉนวนกันไฟ โดยจะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.8201 ถึง มยพ.8203 หรือมาตรฐานสากล เช่น มาตรฐานการทดสอบของ ISO 834 ASTM E119 และ UL Fire Resistance Directory โดย Underwriter's Laboratories Inc. ทั้งนี้ในการติดตั้งวัสดุฉนวนกันไฟจะต้องทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ดังต่อไปนี้

- (ก) ความหนา (thickness) และความหนาแน่นแบบแห้ง (dry density) ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดโดยผู้ผลิต โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E605 / E605M : “Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire - Resistive Material (SFRM) Applied to Structural Members” หรือมาตรฐานเทียบเท่า
- (ข) วัสดุกันไฟต้องมีค่ากำลังยึดเหนี่ยว (bond strength) ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดโดยผู้ผลิตโดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E736 / E736M : “Standard Test Method for Cohesion/Adhesion of Sprayed Fire - Resistive Materials Applied to Structural Members” หรือมาตรฐานเทียบเท่า ทั้งนี้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวจะต้องไม่ต่ำกว่า 7.2 กิโลปาสกาล



รูปที่ 5 การใช้วัสดุฉนวนกันไฟเสาเหล็ก  
(ข้อ 3.3)

สำหรับ SFRM ที่มีการใช้เส้นใยแร่เป็นส่วนผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C1014 “Standard Specification for Spray - Applied Mineral Fiber Thermal and Sound Absorbing Insulation”

### 3.4 สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนส์

สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนส์สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ 1) water-based coating 2) solvent-based coating และ 3) epoxy - based coating โดยทั่วไประบบป้องกันไฟที่ใช้สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนส์จะประกอบด้วย base coat (หรือ primer coat) เพื่อคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวที่ดีกับผิวเหล็ก สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนส์ และ top coat (หรือ sealing/decorative coat) เพื่อความสวยงามทนทาน สารเคลือบที่ประกอบด้วยผงสีที่มีสมบัติเป็นฉนวนกันไฟเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวและให้ก๊าซที่ไม่ติดไฟ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์แอมโมเนียหุ้มโครงสร้างเหล็กทำให้ความร้อนเข้าไปทำความเสียหายแก่โครงสร้างเหล็กได้ช้าลง เรียกว่า สีอิมัลชันพองตัวกันไฟ (intumescent fire resistive emulsion paints) หรือ “สีกันไฟ” คุณสมบัติของสีอิมัลชันพองตัวกันไฟให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2442

### 3.5 ท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีต

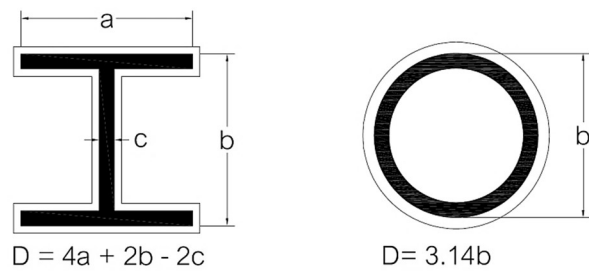
การเติมเต็มเสาท่อเหล็ก (ท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยม) ด้วยคอนกรีตสามารถช่วยเพิ่มอัตราการทนไฟของเสาเหล็กได้เนื่องจากคอนกรีตภายในช่วยเป็นตัวรับความร้อนให้เสาเหล็ก ทั้งนี้ไม่ควรปิดหุ้มท่อที่เติมด้วยคอนกรีต เนื่องจากในขณะเกิดเพลิงไหม้ ความชื้นในคอนกรีตจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ และก่อให้เกิดแรงดันที่อาจเป็นอันตรายได้ คุณสมบัติของคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อ 4.4



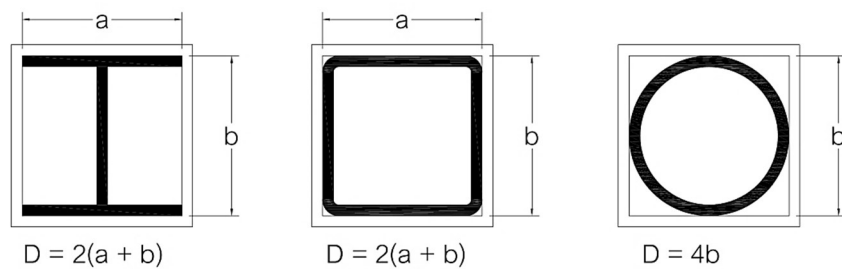
## บทที่ 4

### อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับเสาเหล็ก

อัตราการทนไฟของเสาเหล็กที่ใช้ระบบป้องกันไฟขึ้นอยู่กับหน้าตัดของเสาเหล็ก คุณสมบัติและปริมาณของระบบป้องกันไฟ การคำนวณค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กจะอ้างอิงค่าอัตราส่วนของน้ำหนักต่อหน่วยความยาว (weight, W) ต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) หรือเส้นรอบรูปภายในของวัสดุป้องกันไฟ ดังแสดงในรูปที่ 6 หรืออ้างอิงภาคผนวก ก. สำหรับหน้าตัดรูปตัวเอช



(ก) การป้องกันแบบเส้นรอบขอบ (contour protection)



(ข) การป้องกันแบบกล่องสี่เหลี่ยม (box protection)

รูปที่ 6 การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) ของเสาเหล็ก

#### 4.1 คอนกรีตหรืออิฐ

อัตราการทนไฟของเสาเหล็กที่ป้องกันไฟด้วยการหุ้มรอบด้วยคอนกรีตหรืออิฐดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$R = R_0 (1 + 0.03m) \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad R_0 = 1.22 \left( \frac{W}{D} \right)^{0.7} + 0.0027 \frac{h^{1.6}}{k_c^{0.2}} \left[ 1 + 31000 \left( \frac{H}{\rho_c c_c h(L + h)} \right)^{0.8} \right] \quad (2)$$

|        |                |   |                                                                                                        |
|--------|----------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | R              | = | อัตราการทนไฟที่สภาวะความชื้นสมดุล (equilibrium moisture condition) (ชั่วโมง)                           |
|        | R <sub>0</sub> | = | อัตราการทนไฟที่สภาวะไม่มีความชื้น (zero moisture content) (ชั่วโมง)                                    |
|        | m              | = | ปริมาณความชื้นของคอนกรีตหรืออิฐที่สภาวะความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) (ร้อยละโดยปริมาตร) |
|        | W              | = | น้ำหนักเฉลี่ยของเสาเหล็ก (กิโลกรัมต่อเมตร)                                                             |
|        | D              | = | ระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (มิลลิเมตร)                                                            |
|        | h              | = | ความหนาของคอนกรีตหรือความหนาเทียบเท่าของอิฐ (รูปที่ 1 และ 2) (มิลลิเมตร)                               |
|        | k <sub>c</sub> | = | สภาพการนำความร้อนของคอนกรีตหรืออิฐ (ตารางที่ 2 ถึง 4) (วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส)                    |
|        | H              | = | ความจุความร้อนของเสาเหล็ก (=0.46 W) (กิโลจูลต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส)                                    |
|        | p <sub>c</sub> | = | ความหนาแน่นของคอนกรีตหรืออิฐ (ตารางที่ 2 ถึง 4) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)                              |
|        | c <sub>c</sub> | = | ความร้อนจำเพาะของคอนกรีตหรืออิฐ (ตารางที่ 2 ถึง 4) (กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส)                 |
|        | L              | = | มิติภายในเฉลี่ยของการป้องกันแบบกล่อง (รูปที่ 1 และ 2) (มิลลิเมตร)                                      |

ในกรณีที่เสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอชถูกหุ้มรอบด้วยคอนกรีตทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 1 (ค) ความจุความร้อนของเสาเหล็กโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาผลจากความจุความร้อนของคอนกรีตโดยมีค่า ดังนี้

$$H = 0.46W + \frac{p_c c_c}{1,000,000} (b_f d - A_s) \quad (3)$$

|       |                |   |                                            |
|-------|----------------|---|--------------------------------------------|
| เมื่อ | b <sub>f</sub> | = | ความกว้างของปีกเสาเหล็ก (มิลลิเมตร)        |
|       | d              | = | ความลึกของหน้าตัดเสาเหล็ก (มิลลิเมตร)      |
|       | A <sub>s</sub> | = | พื้นที่หน้าตัดของเสาเหล็ก (ตารางมิลลิเมตร) |

## ตารางที่ 2 คุณสมบัติของคอนกรีต (concrete)

(ข้อ 4.1)

|                                     | คอนกรีตน้ำหนักปกติ <sup>1</sup> | คอนกรีตน้ำหนักเบา <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $k_c$ (วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน)       | 1.64                            | 0.61                           |
| $c_c$ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม - เคลวิน) | 0.84                            | 0.84                           |
| $\rho_c$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)  | 2323                            | 1762                           |
| $m$ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)         | 4                               | 5                              |

<sup>1</sup>คอนกรีตน้ำหนักปกติ หมายถึง คอนกรีตมวลรวมคาร์บอนหรือคอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส

<sup>2</sup>คอนกรีตน้ำหนักเบาหมายถึง คอนกรีตมวลร่วมน้ำหนักเบาหรือคอนกรีตมวลรวมทรายน้ำหนักเบาที่มีความหนาแน่นแบบแห้งไม่เกิน 1762 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## ตารางที่ 3 คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก (concrete masonry)

(ข้อ 4.1)

| ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | สภาพการนำความร้อน $k_c$<br>(วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1,281                                    | 0.36                                               |
| 1,362                                    | 0.40                                               |
| 1,442                                    | 0.43                                               |
| 1,522                                    | 0.48                                               |
| 1,602                                    | 0.54                                               |
| 1,682                                    | 0.59                                               |
| 1,762                                    | 0.66                                               |
| 1,842                                    | 0.73                                               |
| 1,922                                    | 0.80                                               |
| 2,002                                    | 0.88                                               |
| 2,082                                    | 0.97                                               |
| 2,162                                    | 1.07                                               |
| 2,243                                    | 1.19                                               |
| 2,323                                    | 1.32                                               |
| 2,403                                    | 1.45                                               |

**หมายเหตุ:** อาจใช้ค่าความร้อนจำเพาะของอิฐคอนกรีต ( $c_c$ ) เท่ากับ 1.05 กิโลจูลต่อกิโลกรัม - เคลวิน และ ปริมาณความชื้นที่สภาวะความชื้นสมดุล ( $m$ ) เท่ากับศูนย์

#### ตารางที่ 4 คุณสมบัติของอิฐดินเผา (clay masonry)

(ข้อ 4.1)

| ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | สภาพการนำความร้อน $k_c$<br>(วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1,922                                    | 2.16                                               |
| 2,082                                    | 3.89                                               |

**หมายเหตุ:** อาจใช้ค่าความร้อนจำเพาะของอิฐดินเผา ( $c_c$ ) เท่ากับ 1.00 กิโลจูลต่อกิโลกรัม - เคลวิน และปริมาณความชื้นที่สภาวะความชื้นสมดุล ( $m$ ) เท่ากับศูนย์

#### 4.2 แผ่นยิปซัมหุ้มกันไฟ

อัตราการทนไฟของเสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอชหรือท่อเหล็กที่ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนไม่เกิน 0.215 กิโลกรัมต่อเมตรต่อมิลลิเมตรและป้องกันด้วยแผ่นยิปซัมประเภท X ตามมาตรฐาน ASTM C1396 และมีการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 3 (สำหรับค่าอัตราการทนไฟไม่เกิน 4 ชั่วโมง) หรือรูปที่ 4 (สำหรับค่าอัตราการทนไฟไม่เกิน 3 ชั่วโมง) สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$R = 1.60 \left[ \frac{h \left( \frac{W'}{D} \right)}{2} \right]^{0.75} \quad (4)$$

โดยที่  $R$  = อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)  
 $h$  = ความหนาของแผ่นยิปซัม (มิลลิเมตร)  
 $W'$  = น้ำหนักรวมของเสาเหล็กและแผ่นยิปซัม ( $W' = W + 0.0008hD$ )  
 (กิโลกรัมต่อเมตร)

ในกรณีที่เสาเหล็กมีค่าอัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนสูงกว่า 0.215 กิโลกรัมต่อเมตรต่อมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นยิปซัมสำหรับอัตราการทนไฟที่กำหนดให้ใช้เท่ากับความหนาที่คำนวณได้จากหน้าตัดรูปตัวเอชขนาด W360x347 (หน่วย SI) ตามข้อกำหนด AISC LFRD - 94 “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building”

### 4.3 วัสดุฉนวนกันไฟ

อัตราการทนไฟของเสาเหล็กที่ป้องกันด้วยวัสดุฉนวนกันไฟดังแสดงในรูปที่ 5 สามารถคำนวณได้ ดังนี้

สำหรับเสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช:

$$R = \left( C_1 \frac{W}{D} + C_2 \right) h \quad (5)$$

สำหรับเสาท่อเหล็ก:

$$R = \left( C_3 \frac{A}{D} + C_4 \right) h \quad (6)$$

|        |                                 |   |                                                                     |
|--------|---------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | R                               | = | อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)                                              |
|        | h                               | = | ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟ (มิลลิเมตร)                                |
|        | D                               | = | เส้นรอบรูปของเสาเหล็กที่ได้รับความร้อน (มิลลิเมตร)                  |
|        | W                               | = | น้ำหนักเฉลี่ยของเสาเหล็ก (กิโลกรัมต่อเมตร)                          |
|        | A                               | = | พื้นที่หน้าตัดของเสาเหล็ก (ตารางมิลลิเมตร)                          |
|        | C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช             |
|        | C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> | = | ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟสำหรับเสาท่อเหล็ก (ท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยม) |

ค่าคงที่ของวัสดุฉนวนกันไฟให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E119 ทั้งนี้การใช้สมการที่ 5 และ 6 ในการคำนวณอัตราการทนไฟของเสาเหล็กโครงสร้างมีข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

- (1) เสาเหล็กมีค่า W/D ไม่ต่ำกว่าค่าของเสาในการทดสอบที่มีค่า W/D ต่ำที่สุด
- (2) เสาเหล็กมีค่า W/D ไม่สูงกว่าค่าของเสาในการทดสอบที่มีค่า W/D สูงที่สุด
- (3) ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟไม่น้อยกว่าความหนาท่ำสุดที่ใช้ในการทดสอบ
- (4) ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟไม่เกินความหนาสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ
- (5) ค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กไม่ต่ำกว่าค่าอัตราการทนไฟที่ต่ำสุดจากชุดการทดสอบ
- (6) ค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กไม่เกินค่าอัตราการทนไฟที่สูงสุดจากชุดการทดสอบ
- (7) สมการที่ 5 สามารถใช้คำนวณค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กหน้าตัดเปิดอื่น เช่น รูปรางน้ำ เหล็กฉาก และเหล็กรูปตัวที แต่ไม่สามารถใช้สำหรับเสาท่อเหล็กได้
- (8) สมการที่ 6 สามารถใช้คำนวณค่าอัตราการทนไฟของเสาเหล็กหน้าตัดเปิดอื่น ๆ ได้

#### 4.4 เสาท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีต

อัตราการทนไฟของเสาท่อเหล็ก (ท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยม) ที่เติมด้วยคอนกรีตน้ำหนักปกติสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$R = a \frac{(f'_c + 20)}{60(KL - 1,000)} D_0^2 \left( \frac{D_0}{C} \right)^{0.5} \quad (7)$$

|        |        |   |                                                                             |
|--------|--------|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | R      | = | อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)                                                      |
|        | a      | = | 0.07 สำหรับเสาท่อเหล็กกลมที่เติมด้วยคอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส                  |
|        |        | = | 0.08 สำหรับเสาท่อเหล็กกลมที่เติมด้วยคอนกรีตมวลรวมคาร์บอน                    |
|        |        | = | 0.06 สำหรับเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมที่เติมด้วยคอนกรีตมวลรวมซิลิเซียส           |
|        |        | = | 0.07 สำหรับเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมที่เติมด้วยคอนกรีตมวลรวมคาร์บอน             |
|        | $f'_c$ | = | กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (เมกะปาสกาล)                         |
|        | KL     | = | ความยาวประสิทธิภาพของเสา (มิลลิเมตร)                                        |
|        | $D_0$  | = | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสาท่อเหล็กกลม (มิลลิเมตร)                        |
|        |        | = | ระยะขอบนอกของเสาท่อเหล็กท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส (มิลลิเมตร)                    |
|        |        | = | ระยะขอบนอกที่น้อยสุดของเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้า (มิลลิเมตร)              |
|        | C      | = | แรงอัดรวมเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และจรที่ไม่ได้ปรับเพิ่มค่า (กิโลนิวตัน) |

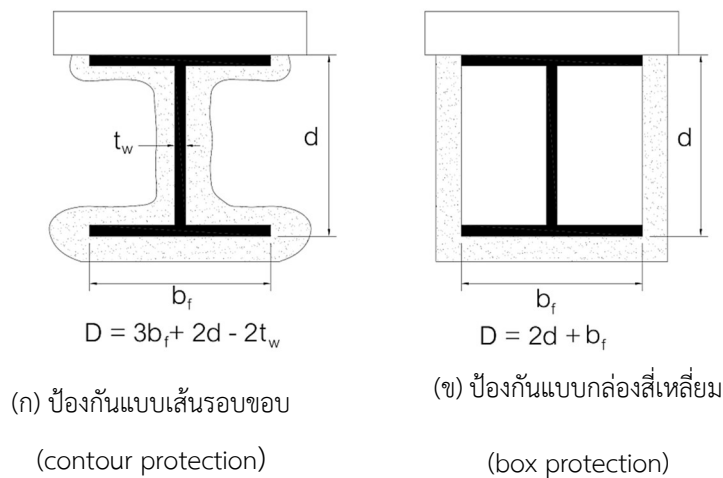
ทั้งนี้การใช้สมการที่ 7 เพื่อคำนวณค่าอัตราการทนไฟของเสาท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีตมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้ (อ้างอิง ASCE/SEI/SFPE 29 - 05)

- (1) อัตราการทนไฟมีค่าไม่เกิน 2 ชั่วโมง
- (2) กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 เมกะปาสกาล
- (3) ความยาวประสิทธิภาพของเสาอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 มิลลิเมตร
- (4) ค่า  $D_0$  ของเสาไม่น้อยกว่า 140 มิลลิเมตร และไม่เกิน 305 มิลลิเมตรในกรณีเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมหรือ 410 มิลลิเมตรในกรณีเสาท่อเหล็กกลม
- (5) แรงอัด C มีค่าไม่เกินกำลังรับแรงอัดออกแบบของคอนกรีตเติมที่คำนวณตามข้อกำหนด AISC LFRD - 94 “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building”

## บทที่ 5

### อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับคานเหล็ก

ค่าอัตราการทนไฟของคานเหล็กที่ใช้ระบบป้องกันไฟขึ้นอยู่กับหน้าตัดของคานเหล็ก คุณสมบัติ และความหนาของระบบป้องกันไฟ การคำนวณค่าอัตราการทนไฟของคานเหล็กจะอ้างอิงค่าอัตราส่วนของน้ำหนัก (weight, W) ต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) ดังแสดงในรูปที่ 7 หรืออ้างอิงภาคผนวก ก. สำหรับหน้าตัดรูปตัวเอช



รูปที่ 7 การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (heated perimeter, D) ของคานเหล็ก

#### 5.1 วัสดุฉนวนกันไฟ

การคำนวณหาความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟเพื่อป้องกันไฟคานเหล็กในรูปที่ 7 เพื่อให้มีค่าอัตราการทนไฟตามที่กำหนดสามารถอ้างอิงผลจากการทดสอบค่าอัตราการทนไฟของคานเหล็กที่ใช้วัสดุฉนวนกันไฟชนิดเดียวกันที่มีขนาดหน้าตัดต่างกันได้ ดังนี้

$$h_2 = \left[ \frac{W_1/D_1 + 0.036}{W_2/D_2 + 0.036} \right] h_1 \quad (8)$$

โดยที่  $h_1, h_2$  = ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ใช้ในการทดสอบและที่ต้องการตามลำดับ (มิลลิเมตร)

$W_1, W_2$  = น้ำหนักของคานเหล็กที่ใช้ในการทดสอบและที่ต้องการหาความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟ ตามลำดับ (กิโลกรัมต่อเมตร)

$D_1, D_2$  = เส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนของคานเหล็กที่ใช้ในการทดสอบและที่ต้องการหา  
ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟ ตามลำดับ (มิลลิเมตร)

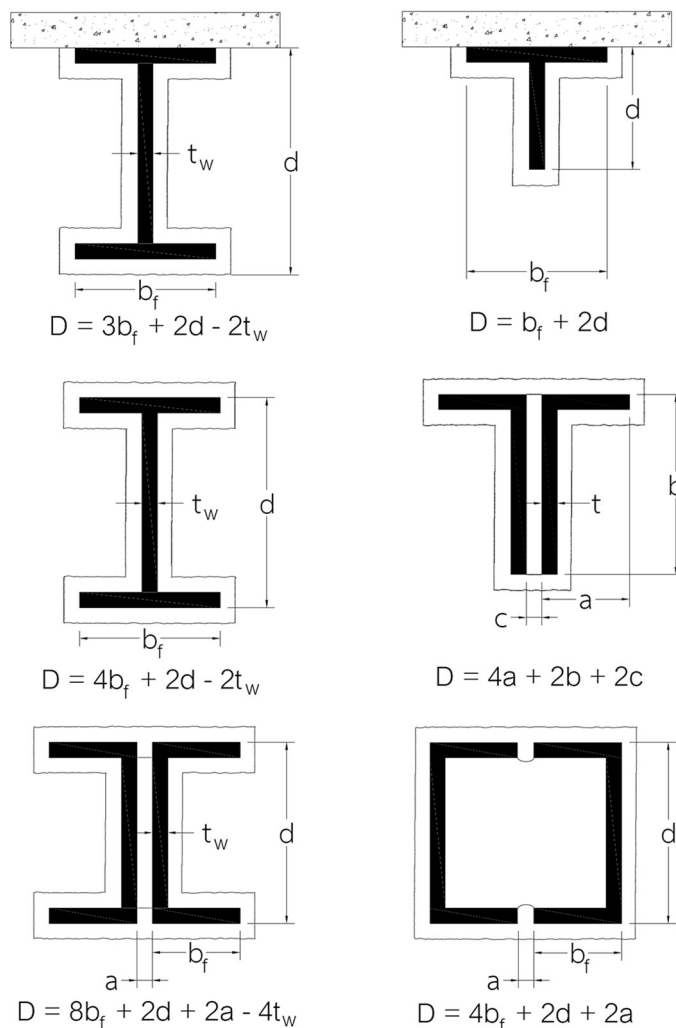
ทั้งนี้การใช้สมการที่ 8 ต้องเป็นไปตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

- (1) คานเหล็กที่ต้องการหาความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟมีค่า  $W_2/D_2$  ไม่ต่ำกว่า 0.022 กิโลกรัมต่อเมตรต่อมิลลิเมตร
- (2) ความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ต้องการ ( $h_2$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 8 ต้องไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร
- (3) สำหรับคานเดี่ยวหรือคานในระบบพื้นและหลังคาที่ปลายไม่ถูกยึดรั้ง (unrestrained beams) ให้อ้างอิงค่าความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ใช้ในการทดสอบ ( $h_1$ ) จากการทดสอบอัตราการไหมไฟเมื่อปลายคานไม่ถูกยึดรั้ง
- (4) สำหรับคานเดี่ยวหรือคานในระบบพื้นและหลังคาที่ปลายถูกยึดรั้ง (restrained beams) ให้อ้างอิงค่าความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟที่ใช้ในการทดสอบ ( $h_1$ ) จากการทดสอบอัตราการไหมไฟเมื่อปลายคานถูกยึดรั้ง
- (5) คานเดี่ยวที่ปลายถูกยึดรั้งจะต้องมีหน้าตัดอัดแน่น (compact section) ตามข้อกำหนด AISC LFRD - 94 “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building”

## บทที่ 6

### อัตราการทนไฟของระบบป้องกันไฟสำหรับโครงข้อหมุนเหล็ก

ค่าอัตราการทนไฟของโครงข้อหมุนเหล็กขึ้นอยู่กับค่าอัตราการทนไฟของชิ้นส่วนย่อย การคำนวณความหนาของวัสดุฉนวนกันไฟเพื่อป้องกันโครงข้อหมุนเหล็กให้พิจารณาทุกชิ้นส่วนย่อยและใช้ค่าความหนาสูงสุดที่คำนวณได้ ในกรณีที่หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนได้รับความร้อนทุกด้านให้อ้างอิงการคำนวณในหัวข้อที่ 5 (กรณีเสา) หรือในกรณีที่โครงข้อหมุนเหล็กรองรับพื้นหรือหลังคาโดยตรง ชิ้นส่วนโครงข้อหมุนที่ได้รับความร้อนเพียงบางด้านให้อ้างอิงการคำนวณในหัวข้อที่ 6 (กรณีคาน) รูปที่ 8 แสดงการคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนหน้าตัดต่าง ๆ ที่มีการป้องกันไฟในกรณีที่ใช้สารเคลือบผิว อินทูเมสเซนต์ให้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราการทนไฟของโครงข้อหมุน



รูปที่ 8 การคำนวณระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อนของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนหน้าตัดต่าง ๆ



## บทที่ 7

### การป้องกันไฟสำหรับระบบพื้นและหลังคาเหล็ก

ระบบพื้นและหลังคาเหล็กประกอบด้วยคานเหล็กที่รองรับพื้นหรือหลังคาคอนกรีตโดยอาจมีการใช้แผ่นพื้นเหล็ก (steel deck) เป็นแบบหล่อคอนกรีต ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทนไฟประกอบด้วยคุณสมบัติของคอนกรีต ประเภทและคุณสมบัติของพื้นเหล็ก คานเหล็ก การยึดรั้งและพฤติกรรมเชิงประกอบ (composite action)

ระบบป้องกันไฟเชิงรับสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ระบบเพดานทนไฟ (fire - rated ceiling system) และการป้องกันชิ้นส่วน (individual protection) โดยการป้องกันด้วยระบบเพดานทนไฟ จะทำการติดตั้งหรือแขวนแผ่นฉนวนใต้พื้นหรือหลังคา ในขณะที่การป้องกันชิ้นส่วนประกอบด้วยใช้แผ่นฉนวนหุ้มรอบทั้งหน้าตัดป้องกันแบบกล่องสี่เหลี่ยม หรือการใช้วัสดุฉนวนกันไฟ หรือสารเคลือบผิวอินทนูเมสเซนส์ ป้องกันแบบเส้นรอบขอบ สำหรับคานเหล็กร่วมกับการใช้วัสดุฉนวนกันไฟ สำหรับพื้นเหล็ก เป็นต้น ทั้งนี้การทดสอบหาอัตราการทนไฟของระบบพื้นและหลังคาเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 8201 ถึง มยผ. 8203 เรื่องมาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคารส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 3 หรือมาตรฐาน ASTM E119



## เอกสารอ้างอิง

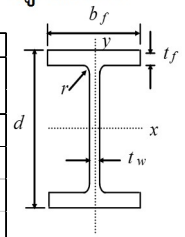
- (1) American Institute of Steel Construction, “Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360 - 10)”, 2010
- (2) American Society of Civil Engineering (ASCE), “Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection (ASCE/SEI/SFPE 29 - 05)”
- (3) M.J. Hurley (ed.), “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 5th Edition, Society of Fire Protection Engineers.
- (4) International Code Council Inc., “International Building Code”, 2009
- (5) American Institute of Steel Construction, , “Fire Resistance of Structural Steel Framing (AISC Steel Design Guide 19)”
- (6) American Institute of Steel Construction, “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building (AISC LRFD - 94)”



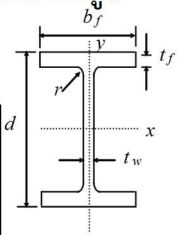
ภาคผนวก ก. อัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (W/D)  
ของเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (W/D) ของเหล็กหน้าตัดรูปตัวเอช

| ขนาด    | น้ำหนัก<br>กก./ม. | $d$<br>มม. | $b_f$<br>มม. | ความหนา |       | $r$<br>มม. | $A$<br>ตร.ซม. | เสา           |            | คาน           |            |
|---------|-------------------|------------|--------------|---------|-------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|------------|
|         |                   |            |              | $t_w$   | $t_f$ |            |               | W/D (contour) | W/D (box)  | W/D (contour) | W/D (box)  |
|         |                   |            |              | มม.     | มม.   |            |               | กก./ม./มม.    | กก./ม./มม. | กก./ม./มม.    | กก./ม./มม. |
| 900x300 | 286               | 912        | 302          | 18      | 34    | 28         | 364.0         | 0.0955        | 0.1178     | 0.1062        | 0.1345     |
|         | 243               | 900        | 300          | 16      | 28    | 28         | 309.8         | 0.0819        | 0.1013     | 0.0911        | 0.1157     |
|         | 213               | 890        | 299          | 15      | 23    | 28         | 270.9         | 0.0723        | 0.0896     | 0.0805        | 0.1025     |
| 800x300 | 241               | 808        | 302          | 16      | 30    | 28         | 307.6         | 0.0863        | 0.1086     | 0.0968        | 0.1257     |
|         | 210               | 800        | 300          | 14      | 26    | 28         | 267.4         | 0.0758        | 0.0955     | 0.0850        | 0.1105     |
|         | 191               | 792        | 300          | 14      | 22    | 28         | 243.4         | 0.0693        | 0.0875     | 0.0778        | 0.1014     |
| 700x300 | 215               | 708        | 302          | 15      | 28    | 28         | 273.6         | 0.0829        | 0.1064     | 0.0938        | 0.1251     |
|         | 185               | 700        | 300          | 13      | 24    | 28         | 235.5         | 0.0719        | 0.0925     | 0.0814        | 0.1088     |
|         | 166               | 692        | 300          | 13      | 20    | 28         | 211.5         | 0.0649        | 0.0837     | 0.0735        | 0.0986     |
| 600x300 | 175               | 594        | 302          | 14      | 23    | 28         | 222.4         | 0.0739        | 0.0977     | 0.0847        | 0.1174     |
|         | 151               | 588        | 300          | 12      | 20    | 28         | 192.5         | 0.0642        | 0.0850     | 0.0736        | 0.1023     |
|         | 137               | 582        | 300          | 12      | 17    | 28         | 174.5         | 0.0585        | 0.0777     | 0.0672        | 0.0936     |
| 600x200 | 134               | 612        | 202          | 13      | 23    | 22         | 170.7         | 0.0668        | 0.0823     | 0.0743        | 0.0940     |
|         | 120               | 606        | 201          | 12      | 20    | 22         | 152.5         | 0.0602        | 0.0743     | 0.0670        | 0.0849     |
|         | 106               | 600        | 200          | 11      | 17    | 22         | 134.4         | 0.0536        | 0.0663     | 0.0596        | 0.0757     |
|         | 94.6              | 596        | 199          | 10      | 15    | 22         | 120.5         | 0.0481        | 0.0595     | 0.0535        | 0.0680     |
| 500x300 | 128               | 488        | 300          | 11      | 18    | 26         | 163.5         | 0.0594        | 0.0812     | 0.0690        | 0.1003     |
|         | 114               | 482        | 300          | 11      | 15    | 26         | 145.5         | 0.0532        | 0.0729     | 0.0619        | 0.0902     |
| 500x200 | 103               | 506        | 201          | 11      | 19    | 20         | 131.3         | 0.0574        | 0.0728     | 0.0647        | 0.0849     |
|         | 89.6              | 500        | 200          | 10      | 16    | 20         | 114.2         | 0.0503        | 0.0640     | 0.0567        | 0.0747     |
|         | 79.5              | 496        | 199          | 9       | 14    | 20         | 101.3         | 0.0449        | 0.0572     | 0.0506        | 0.0668     |
| 450x300 | 124               | 440        | 300          | 11      | 18    | 24         | 157.4         | 0.0603        | 0.0838     | 0.0705        | 0.1051     |
|         | 106               | 434        | 299          | 10      | 15    | 24         | 135.0         | 0.0519        | 0.0723     | 0.0607        | 0.0908     |
| 450x200 | 76.0              | 450        | 200          | 9       | 14    | 18         | 96.76         | 0.0452        | 0.0585     | 0.0513        | 0.0691     |
|         | 66.2              | 446        | 199          | 8       | 12    | 18         | 84.30         | 0.0396        | 0.0513     | 0.0449        | 0.0607     |
| 400x400 | 605               | 498        | 432          | 45      | 70    | 22         | 770.1         | 0.2297        | 0.3253     | 0.2748        | 0.4237     |
|         | 415               | 458        | 417          | 30      | 50    | 22         | 528.6         | 0.1644        | 0.2371     | 0.1970        | 0.3113     |
|         | 283               | 428        | 407          | 20      | 35    | 22         | 360.7         | 0.1158        | 0.1695     | 0.1389        | 0.2241     |
|         | 232               | 414        | 405          | 18      | 28    | 22         | 295.4         | 0.0962        | 0.1416     | 0.1156        | 0.1882     |
|         | 200               | 406        | 403          | 16      | 24    | 22         | 254.9         | 0.0836        | 0.1236     | 0.1006        | 0.1646     |
|         | 197               | 400        | 408          | 21      | 21    | 22         | 250.7         | 0.0824        | 0.1219     | 0.0994        | 0.1631     |
|         | 172               | 400        | 400          | 13      | 21    | 22         | 218.7         | 0.0725        | 0.1075     | 0.0871        | 0.1433     |
|         | 168               | 394        | 405          | 18      | 18    | 22         | 214.4         | 0.0708        | 0.1051     | 0.0854        | 0.1408     |
|         | 147               | 394        | 398          | 11      | 18    | 22         | 186.8         | 0.0623        | 0.0928     | 0.0750        | 0.1239     |
|         | 140               | 388        | 402          | 15      | 15    | 22         | 178.5         | 0.0595        | 0.0886     | 0.0717        | 0.1188     |
| 400x300 | 107               | 390        | 300          | 10      | 16    | 22         | 136.0         | 0.0546        | 0.0775     | 0.0645        | 0.0991     |
|         | 94.3              | 386        | 299          | 9       | 14    | 22         | 120.1         | 0.0484        | 0.0688     | 0.0571        | 0.0880     |
| 400x200 | 66                | 400        | 200          | 8       | 13    | 16         | 84.12         | 0.0417        | 0.0550     | 0.0477        | 0.0660     |
|         | 56.6              | 396        | 199          | 7       | 11    | 16         | 72.16         | 0.0360        | 0.0476     | 0.0412        | 0.0571     |
| 350x350 | 159               | 356        | 352          | 14      | 22    | 20         | 202.0         | 0.0760        | 0.1123     | 0.0914        | 0.1494     |
|         | 156               | 350        | 357          | 19      | 19    | 20         | 198.4         | 0.0746        | 0.1103     | 0.0900        | 0.1476     |
|         | 137               | 350        | 350          | 12      | 19    | 20         | 173.9         | 0.0660        | 0.0979     | 0.0794        | 0.1305     |
|         | 131               | 344        | 354          | 16      | 16    | 20         | 166.6         | 0.0632        | 0.0938     | 0.0763        | 0.1257     |
|         | 115               | 344        | 348          | 10      | 16    | 20         | 146.0         | 0.0558        | 0.0831     | 0.0672        | 0.1110     |
|         | 106               | 338        | 351          | 13      | 13    | 20         | 135.3         | 0.0516        | 0.0769     | 0.0622        | 0.1032     |
| 350x250 | 79.7              | 340        | 250          | 9       | 14    | 20         | 101.5         | 0.0480        | 0.0675     | 0.0564        | 0.0857     |
|         | 69.2              | 336        | 249          | 8       | 12    | 20         | 88.15         | 0.0419        | 0.0591     | 0.0493        | 0.0751     |
| 350x175 | 49.6              | 350        | 175          | 7       | 11    | 14         | 63.14         | 0.0358        | 0.0472     | 0.0410        | 0.0567     |
|         | 41.4              | 346        | 174          | 6       | 9     | 14         | 52.68         | 0.0301        | 0.0398     | 0.0344        | 0.0478     |



ตารางที่ ก1 (ต่อ) อัตราส่วนของน้ำหนักต่อระยะเส้นรอบรูปที่ได้รับความร้อน (W/D) ของเหล็กหน้าตัดรูป  
ตัวเอช



| ขนาด    | น้ำหนัก<br>กก./ม. | $d$<br>มม. | $b_f$<br>มม. | ความหนา |       | $r$<br>มม. | $A$<br>ตร.ซม. | เสา           |           | คาน           |           |
|---------|-------------------|------------|--------------|---------|-------|------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|         |                   |            |              | $t_w$   | $t_f$ |            |               | W/D (contour) | W/D (box) | W/D (contour) | W/D (box) |
|         |                   |            |              | มม.     | มม.   |            |               | กก./ม/มม.     | กก./ม/มม. | กก./ม/มม.     | กก./ม/มม. |
| 300x300 | 106               | 304        | 301          | 11      | 17    | 18         | 134.8         | 0.0592        | 0.0876    | 0.0712        | 0.1166    |
|         | 106               | 300        | 305          | 15      | 15    | 18         | 134.8         | 0.0592        | 0.0876    | 0.0714        | 0.1171    |
|         | 94.0              | 300        | 300          | 10      | 15    | 18         | 119.8         | 0.0528        | 0.0783    | 0.0635        | 0.1044    |
|         | 87.0              | 298        | 299          | 9       | 14    | 18         | 110.8         | 0.0490        | 0.0729    | 0.0590        | 0.0972    |
|         | 84.5              | 294        | 302          | 12      | 12    | 18         | 107.7         | 0.0477        | 0.0709    | 0.0575        | 0.0949    |
| 300x200 | 65.4              | 298        | 201          | 9       | 14    | 18         | 83.36         | 0.0473        | 0.0655    | 0.0554        | 0.0821    |
|         | 56.8              | 294        | 200          | 8       | 12    | 18         | 72.38         | 0.0414        | 0.0575    | 0.0485        | 0.0721    |
| 300x150 | 36.7              | 300        | 150          | 6.5     | 9     | 13         | 46.78         | 0.0309        | 0.0408    | 0.0354        | 0.0489    |
|         | 32.0              | 298        | 149          | 5.5     | 8     | 13         | 40.80         | 0.0271        | 0.0358    | 0.0310        | 0.0430    |
| 250x250 | 82.2              | 250        | 255          | 14      | 14    | 16         | 104.7         | 0.0551        | 0.0814    | 0.0665        | 0.1089    |
|         | 72.4              | 250        | 250          | 9       | 14    | 16         | 92.18         | 0.0489        | 0.0724    | 0.0588        | 0.0965    |
|         | 66.5              | 248        | 249          | 8       | 13    | 16         | 84.70         | 0.0451        | 0.0669    | 0.0542        | 0.0893    |
|         | 64.4              | 244        | 252          | 11      | 11    | 16         | 82.06         | 0.0437        | 0.0649    | 0.0527        | 0.0870    |
| 250x175 | 44.1              | 244        | 175          | 7       | 11    | 16         | 56.24         | 0.0376        | 0.0526    | 0.0441        | 0.0665    |
| 250x125 | 29.6              | 250        | 125          | 6       | 9     | 12         | 37.66         | 0.0300        | 0.0395    | 0.0343        | 0.0474    |
|         | 25.7              | 248        | 124          | 5       | 8     | 12         | 32.68         | 0.0262        | 0.0345    | 0.0300        | 0.0415    |
| 200x200 | 65.7              | 208        | 202          | 10      | 16    | 13         | 83.69         | 0.0546        | 0.0801    | 0.0656        | 0.1063    |
|         | 56.2              | 200        | 204          | 12      | 12    | 13         | 71.53         | 0.0471        | 0.0696    | 0.0569        | 0.0930    |
|         | 49.9              | 200        | 200          | 8       | 12    | 13         | 63.53         | 0.0421        | 0.0624    | 0.0507        | 0.0832    |
| 200x150 | 30.6              | 194        | 150          | 6       | 9     | 13         | 39.01         | 0.0314        | 0.0445    | 0.0370        | 0.0569    |
| 200x100 | 21.3              | 200        | 100          | 5.5     | 8     | 11         | 27.16         | 0.0270        | 0.0355    | 0.0309        | 0.0426    |
|         | 18.2              | 198        | 99           | 4.5     | 7     | 11         | 23.18         | 0.0232        | 0.0306    | 0.0266        | 0.0368    |
| 175x175 | 40.2              | 175        | 175          | 7.5     | 11    | 12         | 51.21         | 0.0388        | 0.0574    | 0.0467        | 0.0766    |
| 175x125 | 23.3              | 169        | 125          | 5.5     | 8     | 12         | 29.65         | 0.0282        | 0.0396    | 0.0332        | 0.0503    |
| 175x90  | 18.1              | 175        | 90           | 5       | 8     | 9          | 23.04         | 0.0259        | 0.0342    | 0.0297        | 0.0411    |
| 150x150 | 31.5              | 150        | 150          | 7       | 10    | 11         | 40.14         | 0.0356        | 0.0525    | 0.0428        | 0.0700    |
| 150x100 | 21.1              | 148        | 100          | 6       | 9     | 11         | 26.84         | 0.0308        | 0.0425    | 0.0361        | 0.0533    |
| 150x75  | 14.0              | 150        | 75           | 5       | 7     | 8          | 17.85         | 0.0237        | 0.0311    | 0.0272        | 0.0373    |
| 125x125 | 23.8              | 125        | 125          | 6.5     | 9     | 10         | 30.31         | 0.0323        | 0.0476    | 0.0389        | 0.0635    |
| 125x60  | 13.2              | 125        | 60           | 6       | 8     | 9          | 16.84         | 0.0276        | 0.0357    | 0.0316        | 0.0426    |
| 100x100 | 17.2              | 100        | 100          | 6       | 8     | 10         | 21.90         | 0.0293        | 0.0430    | 0.0352        | 0.0573    |
| 100x50  | 9.30              | 100        | 50           | 5       | 7     | 8          | 11.85         | 0.0238        | 0.0310    | 0.0274        | 0.0372    |