บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม

ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีเป้าหมายหลัก คือ ต้องการให้มีผลงานมีคุณภาพดี ก่อสร้างได้รวดเร็วทันเวลาและมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างมาสู่ระบบอุตสาหกรรม คือ การผลิตของที่ชนิดเดียวกันซ้ำๆกันมากๆ ขึ้นก็จะยิ่งทำให้ต้นทุนต่อชิ้น หรือ ต่อหน่วยลดลง การผลิตก็คุมคุณภาพได้ดีขึ้น และสามารถผลิตได้เร็วขึ้น [1]

กลุ่มประเทศทางยุโรปตะวันตกได้เป็นผู้ริเริ่มค้นคว้านำเอาการสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรมมาใช้กันในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เนื่องจากประสบปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย การขาดแคลนคนงานประเภทช่างฝีมือ การก่อสร้างอุตสาหกรรมหมายถึง การดำเนินการก่อสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรม โดยนำกรรมวิธีและเทคโนโลยีที่ดีที่สุดมาประยุกต์ให้สนองขบวนการที่ร่วมกันของความต้องการและการออกแบบ ในการผลิตและก่อสร้าง [2]

การก่อสร้างอุตสาหกรรมเป็นการนำเอาวิธีการก่อสรางแบบอุตสาหกรรมประสานเข้ากับวิธีการออกแบบการผลิต และปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้าง การตลาด การเงินและการบริหารของโครงการในตัวอาคาร ข้อได้เปรียบของการผลตชิ้นส่วนอาคาร และประกอบในที่ที่ก่อสร้างมีดังนี้

1. สามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมากๆ
2. มีการควบคุมคุณภาพได้อย่างเต็มที่
3. ลดเวลาการก่อสร้าง

2. การนำเหล็กมาใช้ในงานสถาปัตยกรรม

เหล็กถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับสิ่งปลูกสร้างมากกว่า 2 ศตวรรษแล้ว โครงสร้างเหล็กแรกสุดที่ได้รับการบันทึกไว้คือ สะพานโค้งซึ่งมีช่วงเสายาว 30 เมตร สร้างในอังกฤษเมื่อปี 1779 โดยใช้เหล็กหล่อจนถึงปลายศตวรรษ 18 ชิ้นส่วนเหล็กจึงมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรม ทำให้การใช้โครงสร้างเหล็ก

---

[1] ธวัชชัย สุทธิประภา, การสัมมนาเรื่อง " โครงสร้างคอนกรีต เทคนิคการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรม และระบบวัสดุกึ่งสำเร็จรูป ," (กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย).

[2] สุเชษฐ ขาวเรือ, อ้างถึง Royal Institute British Architect, " The Industrialization of Building ", (Welwyn Garden, Hertfordshire : Broadwater Press, 1965), หน้า 20.

เริ่มแพร่หลายในทวีปยุโรป เริ่มจากเหล็กรูปพรรณหน้าตัดฉากซึ่งผลิตในปี 1819 และรูป I ในปี 1849 ในฝรั่งเศส เมื่อมีการผลิตเหล็กรูปพรรณเป็นมาตรฐานเหล็กจึงได้รับความนิยม สำหรับงานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างสะพาน ซึ่งต้องการอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง เพื่อให้มีช่วงกลางระหว่างเสาสามารถมีความยาวมากที่สุด จนถึงในศตวรรษ 1900 เหล็กจึงได้รับความนิยมสำหรับการสร้างอาคารสูง โดยเฉพาะในประเทศที่มีความเสี่ยงภัยเนื่องจากแผ่นดินไหวมาก เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย เหล็กเป็นที่นิยมสำหรับโครงสร้างโรงงานและคลังสินค้ามานานแล้ว แต่เมื่อเร็วๆ นี้เองสะพานข้ามทางแยกต่างๆ ก็ได้อาศัยข้อได้เปรียบของโครงสร้างเหล็ก คือ การประกอบและติดตั้งที่รวดเร็ว ทำให้สามารถก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกเป็นจำนวนมากในกรุงเทพมหานคร ภายในระยะเวลาอันสั้น ส่วนการใช้โครงสร้างเหล็กสำหรับอาคารและบ้านพักอาศัยที่ผ่านมา ยังมีปัญหาอยู่หลายประการ ทำให้การพัฒนาโครงสร้างเหล็กทางด้านนี้ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร [3]

3. ข้อดี-ข้อเสีย ของการใช้เหล็กในการก่อสร้างอาคาร

ตารางที่ 2-1 แสดงข้อดี – ข้อเสีย ในการใช้โครงสร้างเหล็กในการก่อสร้าง

ข้อดีของโครงสร้างเหล็ก	ข้อเสียของโครงสร้างเหล็ก
1. ก่อสร้างได้รวดเร็ว	1. ราคาค่อนข้างแพง
2. ตัดต่อ แต่งเติมชิ้นส่วนได้ในภายหลัง	2. ต้องใช้เครื่องจักรหนักเท่านั้น
3. ความเสียหายระหว่างการขนส่งน้อย	3. ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญเฉพาะ
4. ควบคุมคุณภาพได้ง่าย เนื่องจากเป็นวัสดุเนื้อเดียว	4. ใช้ความสูงต่อชั้นมาก ได้จำนวนชั้นน้อยเมื่อถูกจำกัดความสูง
5. น้ำหนักเบา ทำให้ประหยัดงานฐานราก	5. ไม่ทนทานต่อสภาวะอากาศในระยะยาว
6. ความยืดหยุ่นของโครงสร้างสูงมาก	6. ต้องการการบำรุงรักษาในระยะยาว
7. สภาพสถานที่ก่อสร้าง สะอาด เรียบร้อย	7. ทนความร้อนจากไฟไหม้ได้ไม่นาน
	8. ต้องการความแม่นยำสูง อันตรายในการทำงานสูง

* ที่มา : วรศักดิ์ กนกนุกูลชัย, "แนวโน้มและการพัฒนาโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย," โยธาสาร 5(มิถุนายน 2538)

1. จุดเด่นของโครงสร้างเหล็กในเรื่องความปลอดภัย

- การก่อสร้างโครงสร้างเหล็กมีการควบคุมคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากจะลดปริมาณงานที่หน่วยงานลง เพราะเกือบทุกขั้นตอนของการทำงานสามารถทำมาจากโรงงานได้ เช่น การตัด , เชื่อม , เจาะรู และพร้อมที่จะประกอบติดตั้งที่หน่วยงานได้ทันที โดยมีการควบคุมคุณภาพเป็นอย่างดี ในขณะที่ถ้าเป็น

[3] วรศักดิ์ กนกนุกูลชัย, "แนวโน้มและการพัฒนาโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย," โยธาสาร 5(มิถุนายน 2538) : 59.

ก่อสร้างแบบเดิม ทุกขั้นตอนของการทำงานต้องทำที่หน่วยงานทั้งหมด ซึ่งการควบคุมคุณภาพทำได้ยากกว่า

- โครงสร้างเหล็กมีความยืดหยุ่น (Ductility) สูง ทำให้อาคารสามารถต้านทาง Lateral Forces เช่น แรงลม หรือแผ่นดินไหวได้ดีกว่าโครงสร้างชนิดอื่นๆ ดังนั้นโครงสร้างเหล็กจึงให้ความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินได้เป็นอย่างดี

2. สะดวกและรวดเร็วในการก่อสร้าง

- ลดเวลาในการเตรียมงาน และสั่งเหล็กโครงสร้างจากต่างประเทศลง จากเดิมโครงการก่อสร้างที่ต้องการใช้โครงสร้างเหล็กต้องมีการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งใช้เวลาเตรียมการสั่งซื้อนานถึง 2-3 เดือน ปัจจุบันถ้ามีการผลิตเหล็กโครงสร้างภายในประเทศจะทำให้ลดเวลาเตรียมการในส่วนนี้ลงเหลือเพียง 2-3 สัปดาห์

- ลดเวลาในการก่อสร้างฐานรากโดยเฉพาะการก่อสร้างอาคารในเขตกรุงเทพฯ เนื่องจากอาคารที่ก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กจะมีน้ำหนักเบากว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตมาก เมื่ออาคารที่น้ำหนักเบา ฐานรากที่รองรับอาคารก็ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ทำให้ลดเวลาในการก่อสร้างฐานรากลงตลอดจนลดค่าใช้จ่ายในส่วนฐานรากอีกด้วย

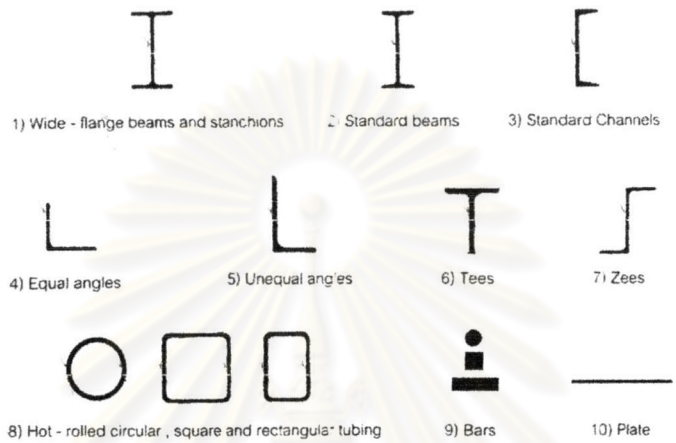
- การก่อสร้างอาคารด้วยโครงสร้างเหล็กสามารถผลิตชิ้นส่วนต่างๆ จากโรงงานซึ่งเมื่อขนส่งมาถึงหน่วยงาน ก็สามารถนำชิ้นส่วนมาประกอบและติดตั้งได้ทันที สามารถลดปริมาณงานที่ต้องทำที่หน่วยงานลงได้มากทำให้ลดเวลาการก่อสร้างอาคารลง จากการศึกษาพบว่าอาคารสูงขนาด 32 ชั้น ที่ใช้โครงสร้างเหล็ก สามารถลดเวลาในการสร้างลงได้ 25-30% เมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีต กล่าวคือ ในการก่อสร้างต่อชั้นโครงสร้างคอนกรีตใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 7 วัน ในขณะที่ใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จะใช้เวลาประมาณ 5 วัน (*ที่มา " แนวโน้มและการพัฒนาโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย," โยธาสาร 5 มิถุนายน 2538)

ในด้านราคาค่าก่อสร้างโดยรวมแล้วการใช้เหล็กโครงสร้างจะถูกกว่า ตัวอย่างเช่นโครงการสร้างตึก ATM สาธรทาวเวอร์ ขนาด 362 นิ้ว ค่าก่อสร้างต่อ 1 ตารางเมตร ถ้าใช้โครงสร้างคอนกรีตจะประมาณ 4,065 บาท ในขณะที่โครงสร้างเหล็กจะประมาณ 4,030 บาท ถูกกว่าร้อยละ 0.9 ต่อตารางเมตร (*ที่มา " แนวโน้มและการพัฒนาโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย," โยธาสาร 5 มิถุนายน 2538)

4. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณต่าง ๆในประเทศไทย

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีชื่อเรียกต่างกันออกไป เช่น SHAPE STEEL , STRUCTURAL STEEL , SECTION STEEL เป็นต้น ซึ่งหมายถึงเหล็กที่ผลิตออกมามีหน้าตัดเป็นรูปลักษณะต่างๆ ใช้ในงานโครงสร้างการผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีแนวทางได้ 3 วิธีคือ

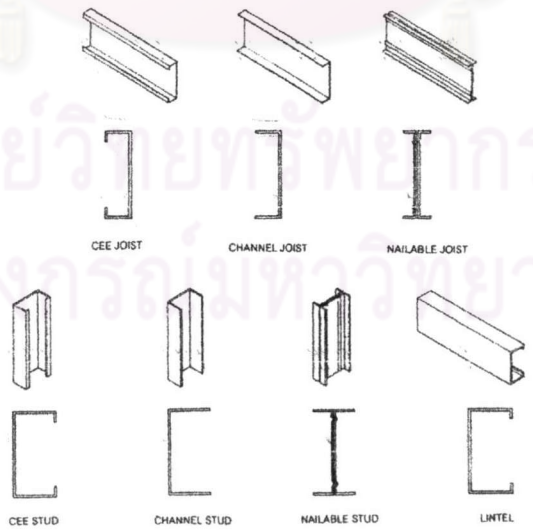
1. วิธีรีดร้อน (Hot Rolled) ได้จากการหลอมเศษเหล็กแล้วหล่อออกมาเป็น Billet จากนั้นนำไปรีดในขณะที่เหล็กมีอุณหภูมิสูง 1,200 องศาเซลเซียส ให้ได้รูปลักษณะตามที่ต้องการ เช่นรูปตัว I , H , T , U , L วิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปลักษณะใดลักษณะหนึ่งในปริมาณมากๆ แต่ถ้าผลิตในปริมาณน้อยจะไม่เหมาะสม เพราะต้องใช้เวลาในการปรับแต่งเครื่องจักรและเปลี่ยนลูกรีดสำหรับการผลิตโครงสร้างรูปพรรณ ที่มีรูปลักษณะแตกต่างกันทุกครั้ง



ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณรีดร้อน แบ่งตามมาตรฐานอเมริกัน

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 24.

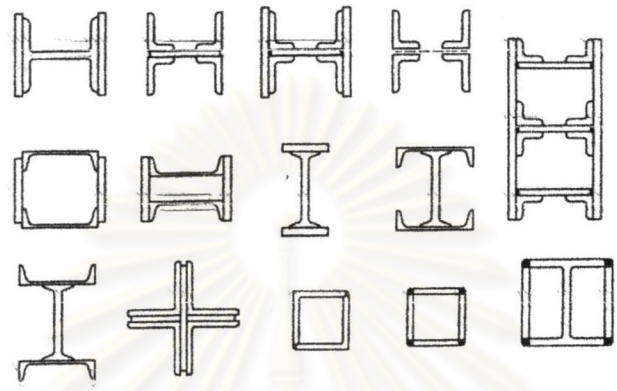
2. วิธีรีดเย็นหรือขึ้นรูปเย็น (Cold Rolled หรือ Cold Forming) เป็นการนำเหล็กแผ่นมารีดหรือพับขึ้นรูปขณะเย็นเพื่อให้ได้รูปลักษณะต่างๆ เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขนาดเบา หรือที่เรียกว่า Light Gauge Steel เช่น เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัว C ใช้ทำโครงสร้างหลังคา เป็นต้น



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณรีดเย็น หรือที่เรียกกันตามท้องตลาดว่า "เหล็กไลท์เกจ"

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 59.

3. วิธีเชื่อมประกอบ (Build Up หรือ Welded Beams) โดยนำเหล็กแผ่นขนาดความหนาตามที่ต้องการมาตัดและเชื่อมประกอบเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณตามรูปลักษณะที่ต้องการ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น I-BEAM และ H-BEAM วิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตเหล็กรูปพรรณลักษณะใดหนึ่งในประมาณน้อย ไม่คุ้มที่จะใช้วิธีรีดร้อน ใช้เป็นโครงสร้างในการก่อสร้างสาธารณูปโภค ต่างๆ เช่น ถนน ยกระดับข้ามทางแยก สะพานลอย เป็นต้น



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณที่ได้จากวิธีเชื่อมประกอบ

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 55.

5. วิธีการยึดต่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

ในการประกอบหรือยึดต่อเหล็กโครงสร้างรูปพรรณต่าง ๆ เข้าด้วยกัน มีอยู่ 3 วิธี คือ

1. ใช้หมุดย้ำ (Riveting)
2. การเชื่อม (Welding)
3. ใช้สลักเกลียว (Bolting)

วิธีการยึดต่อทั้ง 3 วิธี คือการเชื่อม การใช้สลักเดียว และการใช้หมุดย้ำนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารถใช้ในการทำรอยต่อของโครงสร้างเหล็กได้ดี และใช้แทนกันได้ ขึ้นอยู่กับความนิยมหรือความเคยชิน ของผู้ออกแบบ และช่างก่อสร้างในแต่ละท้องถิ่นเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 3 วิธีการนั้น ต่างก็มีข้อจำกัดหรือข้อดีข้อเสียแตกต่างกันด้วยเช่นกัน จึงต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน หรือความต้องการพิเศษ ในแต่ละโครงการก่อสร้างด้วย [4]

[4] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 51.

ตารางที่ 2-2 แสดงข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของการทำรอย

1. การเชื่อม (Welding)

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. เป็นรอยต่อแบบยึดแน่น (Rigidity) และมีความแข็งแรงสูง	1. เป็นรอยต่อถาวร ไม่สามารถถอดออกหรือนำไปประกอบใหม่ได้ จึงต้องตัดรอยต่อหรือโครงสร้างบางส่วนออก เมื่อต้องการรื้อถอน
2. เป็นรอยต่อที่ประกอบได้ง่าย ไม่ต้องเจาะรูและอาจไม่ต้องใช้แผ่นเหล็กประกับ อุปกรณ์หรือตัวต่อพิเศษ (Connector) อื่นๆ ประกอบก็ได้ทำให้ประหยัดวัสดุและราคาค่าก่อสร้าง	2. ต้องใช้ไฟฟ้าในการเชื่อม ถ้าไม่มีไฟฟ้าใช้ต้องจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจมีอันตรายจากไฟฟ้าช็อตและไฟไหม้ได้
3. เป็นรอยต่อที่เรียบง่าย (Simplicity) ไม่มีอุปกรณ์ยึดหรือแผ่นเหล็กเกะกะก็ได้ ทำให้สะดวกในการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบอาคาร เช่น พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน รวมทั้งให้ความสะดวกในการเดินท่อภายในอาคารได้ด้วย	3. มีแสงและควันรบกวนในระหว่างการเชื่อมและเปลวไฟหรือประกายไฟ อาจเป็นต้นเหตุทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย
4. เป็นรอยต่อที่ให้ความประณีตทางสถาปัตยกรรมสูง	4. รอยเชื่อมอาจเป็นจุดอ่อนให้เกิดสนิมได้ง่ายเพราะสารที่เคลือบผิวเหล็กถูกความร้อนทำลายในระหว่างการเชื่อม
5. สามารถทำการเชื่อมรอยต่อได้ ถึงแม้ว่ารอยต่อจะเป็นซอกมุมหรือที่แคบ ๆถ้าสามารถมองเห็นและให้ธูปเชื่อมเข้าไปถึงได้	5. การตรวจสอบและการควบคุมงานเชื่อมให้ได้มาตรฐานในสถานที่ก่อสร้าง ทำได้ค่อนข้างยาก

2. การยึดด้วยสลักเกลียว (Bolting)

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. เหมาะสำหรับงานที่ต้องการรื้อถอนไปประกอบใหม่หรือโครงสร้างสำเร็จรูป	1. ความแข็งแรงปกติจะน้อยกว่าหมุดย้ำ และการเชื่อม ยกเว้นให้สลักเกลียวชนิดพิเศษ ซึ่งมีราคาแพงขึ้น
2. ติดตั้งได้ง่าย ต้องการเพียงสว่านหรือเครื่องมือเจาะรูและประแจปากตายขันเกลียวก็สามารถประกอบได้ ไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้าก็ก่อสร้างได้	2. ถ้ามีการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาจเกิดการคลายเกลียวได้ ยกเว้นใช้สลักเกลียวชนิดพิเศษ
3. มีสลักเกลียว แหวนรอง หรือตัวขันเกลียวหลายชนิดให้เลือกได้ตามความแข็งแรง หรือตามความเหมาะสมของงาน	3. เมื่อเจาะเข้าที่แล้วแก้ไขดัดแปลงได้ยากต้องการความแม่นยำสูง
4. ให้ความรู้สึกบึกบึน มั่นคงแข็งแรงดี	4. อุปกรณ์ที่ใช้ยึดหรือประกอบรอยต่อจะมีส่วนยื่นออกมาทำให้เกะกะ และดูไม่เรียบร้อยสวยงาม จึงอาจไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความประณีตสูง

3. การยึดด้วยหมุดย้ำ (Riveting)

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. สามารถต้านทานแรงไดนามิกส์หรือการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าการใช้สลักเกลียวปกติ 2. ให้ความประณีตเรียบร้อยกว่าการใช้สลักเกลียวและให้ความรู้สึกมั่นคงแข็งแรงดีมาก	1. ต้องใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการติดตั้งที่ยุ่งยากกว่า เช่น ต้องเผาไฟไหม้ร้อน 2. ถอดหรือถอนย้าย เพื่อการประกอบใหม่ได้ยากกว่าการใช้สลักเกลียว 3. เหมาะกับงานโครงสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงมาก ๆและไม่ต้องการความประณีตเรียบร้อยทางสถาปัตยกรรมมากนัก

6. ระบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

ระบบของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทแต่ที่นิยมกันทั่วไป ได้แก่ [5]

1. โครงเหล็กเบา (Lightweight steel frame) หรือ โครงสร้างเหล็กขนาดเล็ก
2. โครงเหล็กระบบเสา และคาน (Skeleton steel frame)
3. โครงข้อแข็ง (Steel rigid frame)
4. โครงถักเหล็ก หรือ โครงข้อหมุน (Steel truss)

1. โครงเหล็กเบา (Lightweight Steel Frame)

เป็นโครงสร้างระบบเดียวกับโครงไม้ขนาดเล็ก (Wood frame) ที่รู้จักกันดีในนามของ "Balloon Frame" และ "Platform Frame" โครงสร้างระบบนี้ใช้โครงคร่าวผนัง (Stud) รับน้ำหนักพื้นและหลังคา โครงเหล็กน้ำหนักเบาประกอบขึ้นจากเหล็กไลท์เกจ (Light gage steel) หรือเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-formed steel section) ซึ่งมีรูปตัดเป็นรูปตัว U , ตัว C หรือมีรูปตัดเฉพาะเป็นโครงคร่าวผนัง โครงสร้างพื้น และโครงหลังคา ในต่างประเทศ บางพื้นที่นิยมใช้แทนการก่อสร้างด้วยไม้

2. โครงเหล็กระบบเสา และคาน (Skeleton Steel Frame)

ประกอบขึ้นจากเสาและคานเหล็ก เป็นโครงสร้างที่นิยมใช้กันทั่วไป เหมาะกับอาคารทุกประเภท เช่น อาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า โรงงาน สามารถนำมาใช้ในงานกับอาคารหลายๆชั้นหรืออาคารสูง มักไม่นิยมใช้กับอาคารพักศัย เนื่องจากมีราคาแพง

---

[5] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก ", (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 61-67.

เสาและคาน มักออกแบบโดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งมีขนาดรูปตัดมาตรฐาน เช่น เหล็กปีกกว้าง (Wide Flange) คานรปตัว I และ เหล็กรูปรางน้ำ ในกรณีที่รับน้ำหนักบรรทุกมากหรือพาดช่วงกว้างมากๆ ก็จะใช้โครงสร้างเหล็กประกอบ (Built-up sections) หรือโครงสร้างเหล็กองค์ประกอบ (Composite section) ระยะห่างของเสา หรือช่วงพาดของคานปกติ 6.00 ถึง 12.00 เมตร

3. **โครงข้อแข็ง (Rigid Frame)**

เป็นระบบโครงสร้างที่ออกแบบให้เสา และคาน (โครงสร้างหลังคา) มีรอยต่อยึดติดกันแน่นเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อทำหน้าที่รับแรงร่วมกัน ทำให้สามารถลดโมเมนต์ดัดในคานลงได้ แต่จะเพิ่มโมเมนต์ดัดในเสามากขึ้นด้วย เป็นโครงสร้างที่ใช้พาดช่วงกว้างมากขึ้นกว่าระบบโครงสร้างเสาและ คานปกติ มักใช้กับอาคารชั้นเดียวที่มีช่วงเสากว้าง (12.00 ถึง 45.00 เมตร) และมีความสูงมาก เช่น ห้องประชุม โบสถ์ โกดัง และโรงงาน โครงสร้างส่วนหลังคาและเสาจะต่อเนื่องเป็นโครงสร้างชิ้นเดียวกัน เพื่อทำหน้าที่รับแรงร่วมกัน

โครงข้อแข็งมักประกอบขึ้นจากเหล็กรูปปีกกว้าง คานเหล็กรูปตัว I และ เหล็กรูปตัดประกอบ อาจมีรูปตัดเป็นกล่อง (Box Section) หรือ เป็นแผ่นเหล็กเชื่อมประกอบ (Welded plate girder) ก็ได้ โครงข้อแข็งมีอยู่หลายชนิดใช้พาดช่วงกว้างต่างๆกันไป ประมาณ 12.00 ถึง 45.00 เมตร

4. **โครงถักเหล็ก หรือ โครงข้อหมุน (Steel Truss)**

เป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากรูปสามเหลี่ยมของแรง (Triangle of forces) นิยมใช้ทำคานหลัก หรือ โครงหลังคาที่พาดช่วงกว้างๆ มีอยู่หลายชนิด หรือหลายประเภท ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานแตกต่างกันไป เหล็กเป็นวัสดุที่เหมาะกับการนำมาใช้ประกอบเป็นโครงถัก ทำให้พาดช่วงได้กว้างหรือรับน้ำหนักได้มากขึ้น รูปตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีขายในท้องตลาดสามารถนำมาใช้ประกอบเป็นโครงสร้างประเภทนี้ได้ดีเกือบทุกชนิด อยู่ที่ขนาด และชนิดของแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง (Structural member) นั้นๆ ที่นิยมใช้กันมากคือ เหล็กฉาก ท่อเหล็กกลมกลวง(Structural tube) เหล็กรูปปีกกว้าง เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว T เป็นต้น

โครงถัก (Trusses) อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

4.1 โครงถักกระนาบเดียว (Linear trusses หรือ Simple trusses) ใช้กับช่วงพาดปกติ 7.50 ถึง 60.00 เมตร แบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ใช้ได้ทั้งอาคารขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ เป็นโครงถักที่นิยมใช้กันทั่วไป

4.2 โครงถักสามมิติ (Space truss หรือ Double layer trusses) เหมาะที่จะใช้พาดช่วงหรือคลุมเนื้อที่กว้างมาก (ประมาณ 24.00– 200.00 เมตร) แบ่งออกได้เป็นอีกหลายชนิด ควรใช้กับอาคารขนาดใหญ่ หรือคลุมเนื้อที่มากเป็นพิเศษ เช่น ศูนย์ประชุม หรือ อาคารแสดงสินค้าขนาดใหญ่

โครงสร้างเหล็กระบบเสา และ คาน

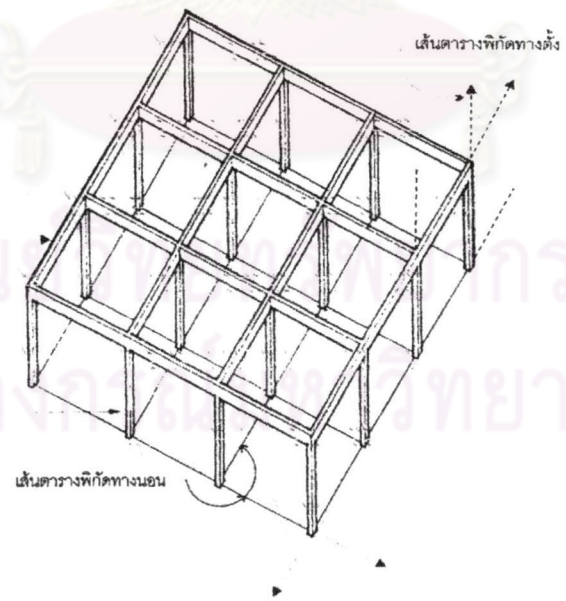
ประกอบด้วยเสาเหล็กและคานเหล็ก ซึ่งสามารถนำเอาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณชนิดต่าง ๆ มาใช้ได้ตามความเหมาะสม

เหล็กรูปพรรณที่นิยมใช้ทำเสา คือ เหล็กรูปปีกกว้าง คานรูปตัวไอ เหล็กรูปตัดกลวง และเสาประกอบ เสาโดยทั่วไปมักมีรูปตัดใกล้เคียงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสมมาตรทั้งสองแกน

เหล็กรูปพรรณที่ใช้ทำคาน คือ เหล็กรูปปีกกว้าง คานรูปตัวไอ เหล็กรูปรางน้ำ ท่อเหล็กกลวงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คานประกอบ และโครงถัก คานโดยทั่วไปมักมีรูปตัดใกล้เคียงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสมมาตรทั้งสองแกน

ช่วงพาดที่ประหยัดของโครงสร้างระบบนี้ คือ 6.00 – 9.60 เมตร ถ้ามีช่วงพาดกว้างมากคานจะมีหน้าตัดลึก และมีน้ำหนักมาก ทำให้เกิดการแอ่นตัว (Deflection) มาก เหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ทำคานขนาดใหญ่หาซื้อได้ยากอาจต้องประกอบขึ้นเอง

โดยหลักการแล้วถ้าสามารถควบคุมให้อาคารมีช่วงเสาเท่า ๆ กัน หรือ มีตารางพิกัดโครงสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่เหมือน ๆ กันแล้ว โครงสร้างเหล็กจะประหยัด และมีประสิทธิภาพสูงมาก โครงสร้างประเภทนี้เหมาะที่จะใช้กับอาคารสาธารณะ อาคารพาณิชยกรรม และอาคารอุตสาหกรรมโดยทั่วไป เช่น อาคารสำนักงาน ห้างสรรถสินค้า โรงงาน อาจมีความสูงหลายสิบชั้นก็ได้ ถ้าเป็นอาคารที่ต้องรับน้ำหนักมาก เสามีความสูงมาก หรือคานต้องพาดช่วงกว้างมากกว่าปกติ ก็ควรใช้โครงสร้างประกอบ หรือโครงสร้างระบบอื่นแทน



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างเหล็กรูปพรรณระบบเสา และคาน การออกแบบอาคารโดยใช้ตารางพิกัดโครงสร้างที่มีขนาดคงที่ หรือเหมือนๆกันจะช่วยให้การก่อสร้างมีประสิทธิภาพสูง

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 63.

ลักษณะของโครงสร้างระบบเสา และคานเหล็ก

1. คานวางพาดบนเสาแบบธรรมดา (Post and beam with freely supported)
2. คานยื่น (Cantilever beam) โดยอาจยื่นจากคาน หรือ ยื่นจากเสา
3. โครงสร้างต่อเนื่องสูงหลาย ๆ ชั้น (Skeleton steel frame)

โครงสร้างเหล็กจะโย้หรือพังได้ง่ายเมื่อมีแรงกระทำทางด้านข้างจึงอาจจำเป็นต้องมีการยึดยัน (Bracing) ให้กับโครงสร้าง ซึ่งมีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน สำหรับอาคารสูงจำเป็นต้องมีโครงยึดยันและมีรอยต่อโครงสร้างที่แข็งแรงเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถต้านแทนแรงลมได้ด้วย

ระบบโครงสร้าง

1. ระบบคานทางเดียว (One-way beam system) ถ่ายน้ำหนักพื้นลงเสาโดยตรง เหมาะกับอาคารที่มีรูปร่างยาว ๆ และมีความกว้างไม่มากนัก สามารถเปิดโล่งได้ตลอด เสาด้านยายของตัวอาคารจะมีช่วงเสา (Bay) แคบ ๆ (3.00 ถึง 6.00 เมตร) เพื่อช่วยลดน้ำหนักบรรทุกของคานซึ่งพาดกว้าง (ช่วงพาดด้านสกัด) และช่วยให้สามารถลดความลึกของคานลงได้ โครงสร้างระบบนี้ควรมีการยึดยัน (Bracing) ระหว่างเสาช่วงแรกเพื่อช่วยรับแรงในแนวราบ ซึ่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับคาน

2. ระบบคาน 2 ทาง (Two-way beam system) ประกอบด้วยคาน (Floor beam หรือ Secondary beam) และ คานเหล็ก (Girder หรือ Primary beam) น้ำหนักจะถ่ายจากพื้นสู่คาน และคานหลัก แล้วจึงถ่ายลงเสา เป็นระบบโครงเหล็กที่นิยมใช้ทั่วไป เพราะสามารถพาดช่วงได้กว้างพอ ๆ กันทั้งสองทิศทาง รับแรงในแนวราบได้ดีทั้งสองทิศทาง และมีตารางพิกัดโครงสร้างที่สามารถปรับใช้กับอาคารประเภทต่าง ๆ ได้ง่าย ในการออกแบบอาจกำหนดให้ระดับหลังคานทั้งสองชุดเสมอกัน หรือ ให้คานชุดแรก (Floor beam) วางซ้อนอยู่บนคานหลักก็ได้ ในกรณีหลังจะทำให้ความสูงระหว่างชั้นอาคารเพิ่ม แต่ช่วยให้มีเนื้อที่เดินท่อเหนือฝ้าเพดานมากขึ้นด้วย

3. ระบบคาน 3 ชุด (Triple beam system) ได้แก่ คานรับพื้น (Tertiary beam) คานรอง (Secondary beam) และคานหลัก (Girder หรือ Primary beam) ใช้กับอาคารที่มีช่วงเสากว้างมากขึ้นทั้งสองทิศทาง หรือ อาคารขนาดใหญ่ เป็นระบบโครงสร้างที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

การเลือกระบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับประเภทของอาคารนั้น มีความสำคัญมากเพราะตำแหน่งและขนาดของช่วงเสา ช่วงคาน หรือโครงสร้างอื่น ๆ จะมีผลกระทบต่อเนื้อที่ใช้สอยภายใน รูปลักษณะภายนอก และการเดินท่องานระบบอุปกรณ์อาคารต่าง ๆ ด้วย การออกแบบอาคารของสถาปนิกจึงควรให้ความสำคัญกับขนาดตารางพิกัดโครงสร้างที่เหมาะสม หรือระบบโครงสร้างที่ประหยัดด้วย

7. การทำรอยต่อโครงสร้างเหล็ก (ระบบเสา-คาน) [6]

1. การทำรอยต่อระหว่างฐานราก ค.ส.ล. กับเสาเหล็ก

เป็นรอยต่อระหว่างงานเหล็ก กับงานคอนกรีต ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

1.1 เสียบเสาเหล็กเข้าไปในคอนกรีตโดยตรง วิธีการนี้เมื่อติดตั้งแบบและวางเหล็กเสริมของฐานราก หรือตอม่อเสร็จแล้ว ตั้งเสาเสียบเข้าไปในแบบ ให้ได้ดิ่ง ได้ระดับตามที่ต้องการยึดเสาให้มั่นคงแข็งแรงอยู่กับที่ด้วยค้ำยัน หรือโครงสร้างชั่วคราว แล้วจึงเทคอนกรีตฐานราก หรือตอม่อ วิธีการยึดเสาเหล็กให้ติดแน่นกับคอนกรีต ใช้เหล็กเสริมพิเศษรอบ ๆ เสาหรืออาจใช้แผ่นเหล็ก วิธีการนี้ให้ความแข็งแรงดีมาก แต่ไม่สะดวกในการติดตั้งเสา และในการเทคอนกรีตอาจกระทบกระเทือนทำให้ศูนย์ ระดับ หรือตำแหน่งเสา คลาดเคลื่อนได้

1.2 ทำรอยต่อโดยใช้แผ่นเหล็กยึดติดกับฐานราก หรือตอม่อ วิธีการนี้จะติดตั้งแผ่นเหล็ก (Base plate) ให้ได้ระดับ และยึดติดแน่นกับฐานรากคอนกรีต หรือ ยอดตอม่อก่อน โดยใช้สลักเกลียว (Anchor bolt) หรือแผ่นเหล็ก ฝังยึดเป็นสมออยู่ในฐานรากก่อนการเทคอนกรีต เพื่อยึดแผ่นเหล็กให้ติดแน่นกับคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแห้งแล้ว จึงนำเสามายึดติดกับแผ่นเหล็กที่ปรับระดับไว้แล้วโดยตรง หรืออาจมีแผ่นเหล็กอีกแผ่นหนึ่งเชื่อมติดกับโคนเสาไว้ก่อน เมื่อตั้งเสาให้แผ่นเหล็กประกบกันแล้วจึงเชื่อมหรือใช้สลักเกลียวยึดแผ่นเหล็กทั้ง 2 เข้าด้วยกัน การทำรอยต่อโดยใช้แผ่นเหล็กช่วยให้ทำงานได้สะดวก เพราะขั้นตอนการต่อเสาเกิดขึ้นหลังจากที่งานหล่อคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว เป็นวิธีการยึดเสาเหล็กติดกับคานคอนกรีต หรือเสาคอนกรีตทั่วไป การต่อเสาโดยวิธีนี้จะต้องควบคุมระดับของแผ่นเหล็กรองรับโคนเสาให้ได้ และต้องควบคุม ตำแหน่ง หรือศูนย์ ของเสาเหล็กที่เชื่อมต่อให้เที่ยงตรงด้วย

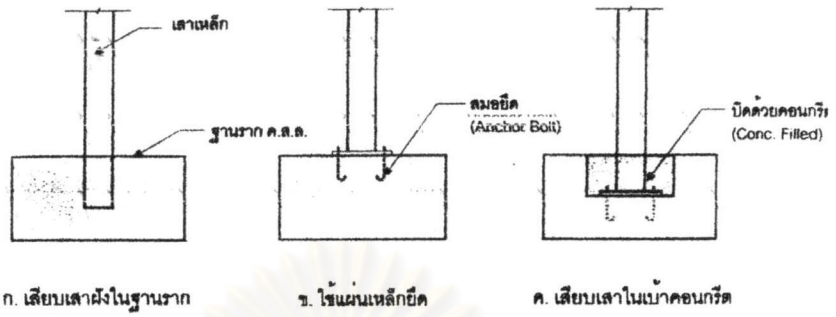
1.3 หล่อฐานรากเป็นเบ้าลึกเตรียมไว้ล่วงหน้า (Concrete pocket) เป็นวิธีการที่ผสมผสานกันระหว่าง วิธีที่ 1.1 และ 1.2 คือ อาจหล่อฐานรากเป็นเบ้าลึกเตรียมไว้ก่อน ที่ก้นหลุมอาจฝังสมอสลักเกลียว (Anchor bolt) สลักเกลียวรูปตัวยู (U-Bolt) หรือ แผ่นเหล็ก (Base plate) ไว้ล่วงหน้าก่อนการเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแห้งตัวดีแล้ว จึงเอาเสาเสียบไว้ในเบ้า ยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือสมอที่จัดเตรียมไว้แล้วจึงเทคอนกรีตปิดช่องว่างระหว่างเสาเหล็กกับคอนกรีต หรืออาจอุดรอยต่อด้วยปูนเกร๊าท์ (Grouting) ขึ้นอยู่กับความกว้างของเบ้า ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ อาจทำเบ้าให้กว้างกว่าเสามากขึ้น เสริมเหล็กรอบ ๆ โคนเสา แล้วจึงเทคอนกรีตปิดเบ้า

วิธีการทำรอยต่อระหว่างเสาเหล็กกับฐานราก หรือตอม่อนั้น ต้องพิจารณาถึงตำแหน่งของรอยต่อ หรือระดับของโครงสร้างเหล็กให้รอบคอบด้วย ปกติสำหรับโครงสร้างเหล็กไลท์เกจนิยมออกแบบให้ตอม่อและคานดินเป็นคอนกรีต แล้วจึงต่อเสาเหล็กในระดับที่สูงเหนือระดับดินขึ้นไปเพื่อกันความชื้น

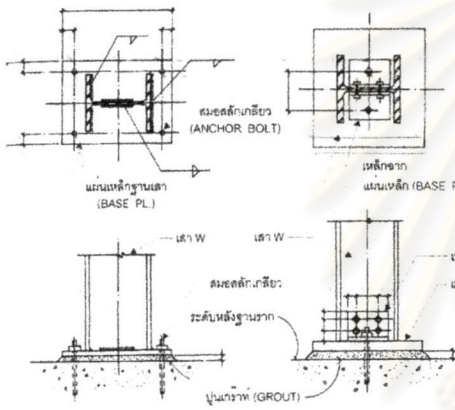
---

[6] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก ", (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 73-78.

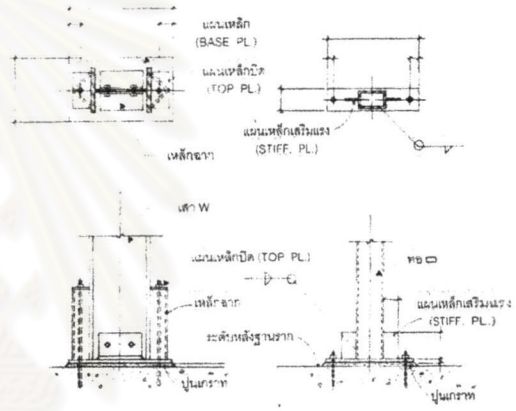
และช่วยไม่ให้เหล็กเป็นสนิมได้ง่าย หรืออาจใช้ตอม่อคอนกรีตยกเป็นใต้ถุนสูง แล้วจึงติดตั้งเสาเหล็ก หรือคานเหล็ก เช่นเดียวกับโครงสร้างไม้ก็ได้



ภาพที่ 2-5 วิธีการต่อเสาเหล็ก กับฐานราก



ภาพที่ 2-6 รอยต่อเสาเหล็กกับตอม่อค.ส.ล. แบบใช้แผ่นเหล็กยึดกับฐานราก



ภาพที่ 2-7 รอยต่อเสาเหล็กกับตอม่อค.ส.ล แบบใช้แผ่นเหล็กยึดกับฐานรากโดยเพิ่มแผ่นเหล็กเสริมความแข็งแรง

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 79-80.

2. การทำรอยต่อระหว่างเสากับคาน

เป็นรอยต่อระหว่างเสาเหล็กกับคานเหล็ก ซึ่งปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้เสา และคานเป็นเหล็กรูปปีกกว้าง (Wide flange section) วิธีการทำรอยต่อแบบมาตรฐานมี 2 วิธี คือ

2.1 การทำรอยต่อแบบใช้บ่ารองรับ (Seating)

วิธีการนี้นิยมใช้เหล็กฉาก (Angle) หรือบ่าที่ประกอบขึ้น ยึดติดกับเสาในตำแหน่งที่คำนวณระดับไว้แล้ว แล้วจึงนำคานเหล็กมาพาดบนบ่า หลังจากนั้นจึงยึดคานเหล็กติดกับเหล็กฉากที่รองรับให้ติดแน่น โดยอาจใช้วิธีการเชื่อม ใช้สลักเกลียว หรือใช้หมุดย้ำก็ได้

2.2 การทำรอยต่อแบบเข้ากรอบ (Framing)

เป็นวิธีการใช้เหล็กฉากหรือแผ่นเหล็กประกับยึดทางด้านข้างของคานให้ติดกับปีกหรือแผ่นเอว (Web) ของเสา โดยอาจใช้วิธีการเชื่อม ใช้สลักเกลียว หรือหมุดย้ำก็ได้ตามความเหมาะสม เหล็กฉาก

หรือแผ่นเหล็กประกับจะทำหน้าเป็นตัวต่อ (Connector) ระหว่างเสาและคาน เป็นรอยต่อที่ให้ความแข็งแรง และเรียบร้อยดี เพราะสามารถซ่อนเหล็กฉากไว้ในตัวคาน (แนบติดกับเอวของคานเหล็กปีกกว้าง หรือคานรูปตัวไอ) ทำให้ไม่เกะกะ ซึ่งต่างกับวิธีการทำรอยต่อแบบ 2.1 เพราะว่าเหล็กฉาก หรือบ่าซึ่งอยู่ใต้คานอาจเป็นอุปสรรคในการเดินท่อผ่าน หรือการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานติดกับท้องคาน

ในบางกรณีจะมีการทำบ่าชั่วคราว (Erection seat) เพื่อความสะดวกในการติดตั้งคานก่อนการทำรอยต่อแบบเข้ากรอบ หรือแบบอื่น ๆ เนื่องจากคานเหล็กมีน้ำหนักมาก เมื่อทำรอยต่อสมบูรณ์แล้วก็สามารถถอดบ่าชั่วคราวนั้นออกได้ เพื่อความเรียบร้อยของรอยต่อ แต่ในบางกรณีถ้าต้องการรอยต่อที่แข็งแรงมาก ก็อาจออกแบบให้เ็นรอยต่อแบบผสม คือ ยึดคานคิดกับบ่อให้แข็งแรง ผสมกับวิธีการใช้เหล็กฉากประกบข้าง (Framing) มีแผ่นเหล็กเสริมแรง (Stiffener) หรืออาจมีแผ่นเหล็กประกับเหนือปีกบนของคาน ในลักษณะเดียวกับรอยต่อของโครงสร้างอาคารสูงหรือรอยต่อของโครงข้อแข็ง (Rigid frame)

นอกจากนั้นยังมีรอยต่อแบบอื่น ๆ อีกหลายแบบ เช่น การใช้เหล็กรูปตัวทีเป็นตัวยึดต่อ (Connector) เป็นต้น การต่อคานกับคานสามารถทำได้โดยใช้แผ่นเหล็กประกับด้านข้างทั้งสองข้าง และอาจใช้แผ่นเหล็กประกับด้านบนและด้านล่างช่วยเพิ่มความแข็งแรงก็ได้ บางกรณีใช้แผ่นเหล็กยึดหัวคานที่จะต่อทั้งสองด้าน นำมาต่อประกบกัน แล้วจึงเชื่อมหรือยึดด้วยสลักเกลียว

ความแข็งแรงของรอยต่อจะขึ้นกับขนาดขององค์อาคารและอุปกรณ์ยึด ได้แก่ เหล็กฉาก แผ่นเหล็ก สลักเกลียว หรือรอยเชื่อม โดยสถาบัน AISC (American Institute of Steel Construction) ได้แบ่งชนิดของรอยต่อเป็น 3 แบบดังนี้ [7]

แบบที่ 1 รอยต่อแบบยึดแน่น (Rigid Framing) หมายถึง รอยต่อระหว่างองค์อาคารที่ยึดติดกันแน่น โดยที่องศาของมุมที่องค์อาคารมายึดติดจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงมากระทำ

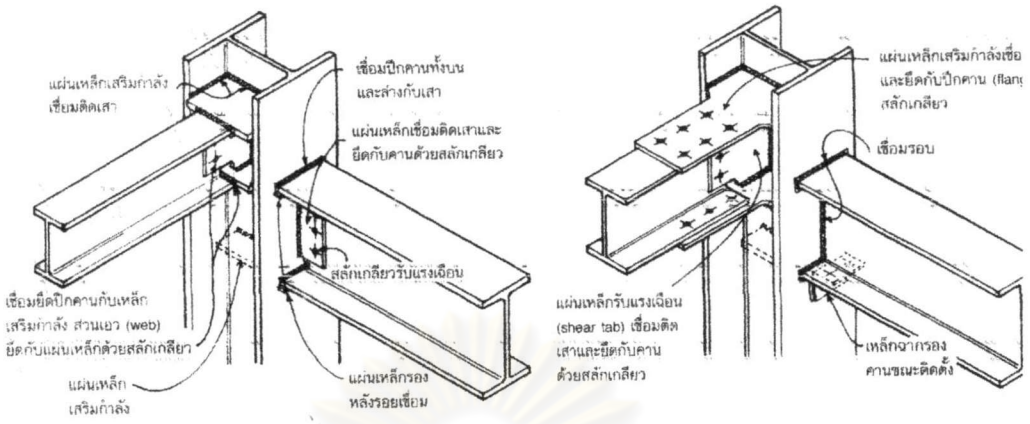
แบบที่ 2 รอยต่อแบบธรรมดา (Simple Framing) หมายถึง รอยต่อระหว่างองค์อาคารที่สามารถหมุนได้ โดยจะต้านทานเฉพาะแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อเท่านั้น

แบบที่ 3 รอยต่อแบบกึ่งยึด (Semi-Rigid) หมายถึง รอยต่อระหว่างองค์อาคารที่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้ และยังสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่รอยต่อได้เล็กน้อย

---

[7] ชิง, ฟรานซิส ดี. เค และ อาตัม, คาสแซนดรา, ก่อสร้างอาคาร บรรยายด้วยภาพ, แปลโดย ทัต สัจจะวาที, (กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544), หน้า98.

แบบที่ 1 รอยต่อรับโมเมนต์ (Moment Connections) รอยต่อแบบนี้ปีกของคานจะยึดแน่นกับเสา

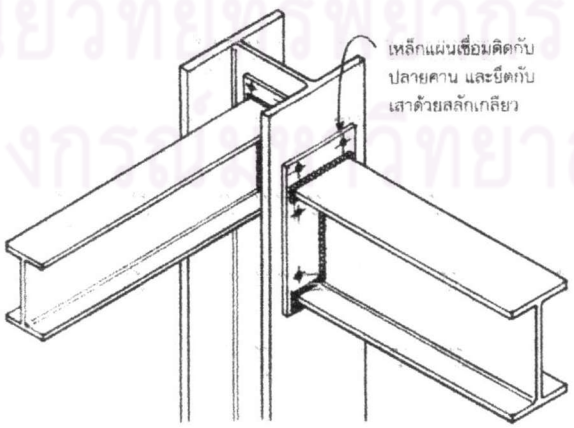


ภาพที่ 2-8 รอยต่อเสา-คานเหล็ก แบบรับโมเมนต์

แบบที่ 2 รอยต่อรับแรงเฉือน (Shear Connections)

ภาพที่ 2-9 รอยต่อเสา-คานเหล็ก แบบรับแรงเฉือน

แบบที่ 3 รอยต่อกึ่งยึดแน่น (Semi-Rigid Connections)



ภาพที่ 2-10 รอยต่อเสา-คานเหล็ก แบบกึ่งยึดแน่น

* ที่มา : ชิง, ฟรานซิส ดี. เค และ อาคัม, คาสแซนดรา. ก่อสร้างยวดาร บรรยายด้วยภาพ. แปลโดย ทัศ สัจจะวาที. (กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544) , หน้า98.

3. การทำรอยต่อระหว่างเสากับเสา และการลดขนาดเสา

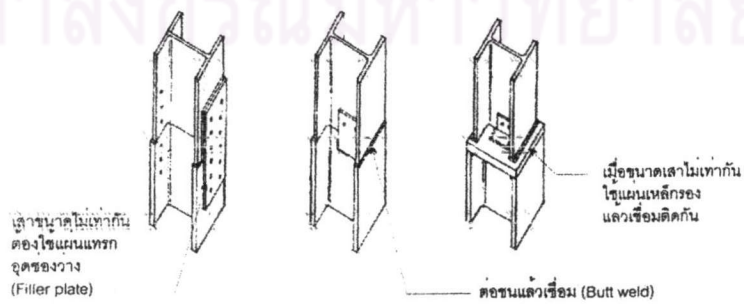
เนื่องจากเหล็กที่ผลิตจากโรงงาน และที่มีขายในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป จะมีความยาวมาตรฐาน เช่น 6.00 เมตร หรือ 9.00 เมตร และ 12.00 เมตร ซึ่งแต่ละโรงงานอาจแตกต่างกันถ้าต้องการขนาดเฉพาะหรือมีความยาวเป็นพิเศษ ต้องสั่งล่วงหน้า และราคามักแพงกว่าปกติ การนำเหล็กมาประกอบเป็นเสาสำหรับอาคารที่มีความสูงมาก ๆ จึงต้องมีการต่อเสา และปกติจะมีการลดขนาดเสาทุก ๆ 2-3 ชั้น ตามน้ำหนักบรรทุกที่สะสมจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่าง ตำแหน่งของรอยต่อเสากับเสา หรือการลดขนาดเสาปกติจะเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งดังนี้

3.1 ทำรอยต่อที่ระดับสูงกว่าคาน ประมาณ60ซม. รอยต่อจะอยู่เหนือรอยต่อของเสากับคานในชั้นนั้นๆ ทำให้สะดวกในการทำงานแต่อาจมีผลต่อความเรียบร้อยสวยงามของผนังบริเวณรอยต่อนั้น ๆ

3.2 ทำรอยต่อเสาในระดับเดียวกับระดับคาน โดยอาจวางเสาชั้นบนตั้งอยู่บนปีกของคานที่วางอยู่บนหัวเสาชั้นล่าง ควรใช้แผ่นเหล็กเสริมแรง (Stiffener) สอดระหว่างปีกของคาน เชื่อมติดกับปีกและเอวของคาน เพื่อช่วยถ่ายแรงจากเสาชั้นบนผ่านปีกและลำตัวของคานลงสู่เสาชั้นล่าง ในกรณีที่ความกว้างของเสาบน เสาล่าง และคานมีขนาดไม่เท่ากัน จำเป็นต้องใช้แผ่นเหล็ก (Base plate) ช่วยกระจายแรงให้ลงเต็มหน้าตัดเสา และให้ความสะดวกในการทำรอยต่อหรือการติดตั้งเสา

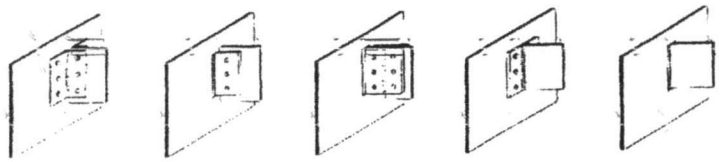
ในบางกรณีถ้าคานในแต่ละชั้นยึดติดกับด้านข้างของเสา การลดขนาดเสาหรือการต่อเสาก็ทำรอยต่อในระดับปีกคานด้านบน โดยใช้ Bearing plate ปิดหัวเสา หรือใช้ปีกบนของคานปิดหัวเสา แล้วตั้งเสาต่อไปได้เลย การทำรอยต่อระหว่างเสากับเสา ถ้ามีการลดขนาดเสา หรือมีรูปตัดต่างกัน ควรใช้แผ่นเหล็กปิดหัวเสาก่อน เพื่อกระจายแรงให้ถ่ายลงเต็มหน้าเสาด้านล่าง แล้วจึงยึดเสาติดกับแผ่นเหล็กให้แข็งแรง ถ้าเสาชั้นบนมีขนาดและรูปตัดเท่ากับเสาชั้นล่าง อาจใช้แผ่นเหล็กประกับด้านข้างที่ลำตัวหรือปีกของเสาให้สมมาตรทั้งสองแกน จะให้ความแข็งแรงเพียงพอ แต่ควรพิจารณาถึงความสวยงามหรือความเรียบร้อยของรอยต่อด้วย

ถ้าเสาชั้นบนกับชั้นล่างขนาดไม่เท่ากัน การใช้แผ่นเหล็กประกับด้านข้าง (Splice plate) จะมีช่องว่างเหลืออยู่ จึงต้องใช้แผ่นเหล็กบรรจุช่องว่างดังกล่าวให้เต็ม (Filler plate) เพื่อยึดให้เป็นท่อนเดียวกัน และถ่ายแรงต่อเนื่องกันได้โดยสมบูรณ์

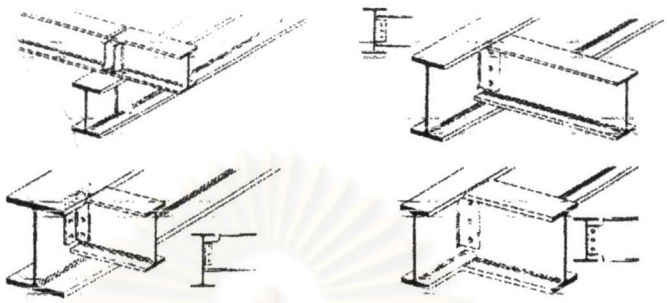


ภาพที่ 2-11 การต่อเสา และการลดขนาดเสา

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก " , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 76.



แสดงตัวยึดต่อคาน (Connector) ต่างๆ



แสดงการต่อคานที่มีระดับต่างกันหลายแบบ

ภาพที่ 2-12 รอยต่อระหว่างคาน กับ คาน

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 76.

4. รอยต่อระหว่างคานหลักกับคานรอง

หลักการทำรอยต่อระหว่างคานหลักกับคานรองนั้น เหมือนกับการทำรอยต่อระหว่างเสากับคาน คือ

4.1 ใช้บ่ารองรับ (Seating) คือ เหล็กฉากรองรับคานรองหรือตง

4.2 ใช้การเข้ากรอบ (Framing) คือ ใช้เหล็กฉาก หรือ แผ่นเหล็กยึดประกับทั้งสองข้าง

4.3 ใช้การเชื่อมยึดระหว่างคานหลักกับคานรองโดยตรง

ปกติสามารถวางคานซอยหรือตงอยู่บนคาน หรือคานหลักได้โดยตรงเช่นเดียวกับโครงสร้างพื้นไม้ แต่โครงสร้างเหล็กสามารถวางระดับตงให้อยู่เสมอกับระดับคานหรือต่ำกว่าระดับคานได้โดยง่าย จึงมีอิสระในการเลือกใช้ร่วมกับระดับพื้นแบบต่าง ๆ ได้ดี การเขียนแบบโครงสร้างพื้นโครงสร้างจึงต้องตรวจสอบระดับของคานเหล็ก คานซอย ตง ระดับพื้นโครงสร้าง และระดับผิวสำเร็จ (Finish floor level) ให้ถูกต้องด้วย เพราะจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และจะมีผลต่อการเขียนแบบขยายรอยต่อต่าง ๆ ด้วย

5. รอยต่อระหว่างคาน กับพื้น

ขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของพื้นที่เลือกใช้ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดและอาจใช้วัสดุที่แตกต่างกัน ควรศึกษารายละเอียดการติดตั้งของระบบพื้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้กับโครงสร้างเหล็ก แต่โดยทั่วไปแล้วมักยึดแผ่นพื้นติดกับตง หรือคานเหล็กโดยใช้การเชื่อม หรือใช้สลักเกลียว หมุดเกลียว และหมุดย้ำ ยึดติดเข้าด้วยกันตามแต่ความเหมาะสมของวัสดุ

6. รอยต่อระหว่างเสา-คานและโครงหลังคา

ขึ้นอยู่กับชนิดและระบบของโครงหลังคาที่ใช้ จันทันหรือโครงหลังคาที่ใช้กันส่วนใหญ่ ก็คือ คาน หรือตงนั่นเอง การทำรอยต่อยึดติดกับหัวเสา หรือ คานอะเส จึงเป็นเช่นเดียวกับการทำรอยต่อระหว่างคานกับเสาหรือคานกับอะเสนั่นเอง

โครงหลังคา (Truss) หรือ เหล็กที่พาดช่วงกว้าง การทำรอยต่อระหว่างโครงหลังคากับเสาหรือคาน ปกติจะออกแบบให้ปลายข้างหนึ่งสามารถขยับตัวได้ (Free end) เพื่อการขยายตัวของโครงสร้างเนื่องจากความร้อน หรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปด้วย ส่วนปลายอีกข้างหนึ่ง จะยึดติดอยู่กับที่ (Fixed end)

การเขียนแบบขยายรายละเอียดรอยต่อในส่วนนี้ ต้องพิจารณาให้รอบคอบว่าจุดใดเป็นรอยต่อโครงสร้างชนิดใด เช่น

รอยต่อแบบยึดแน่น (Fixed joint)

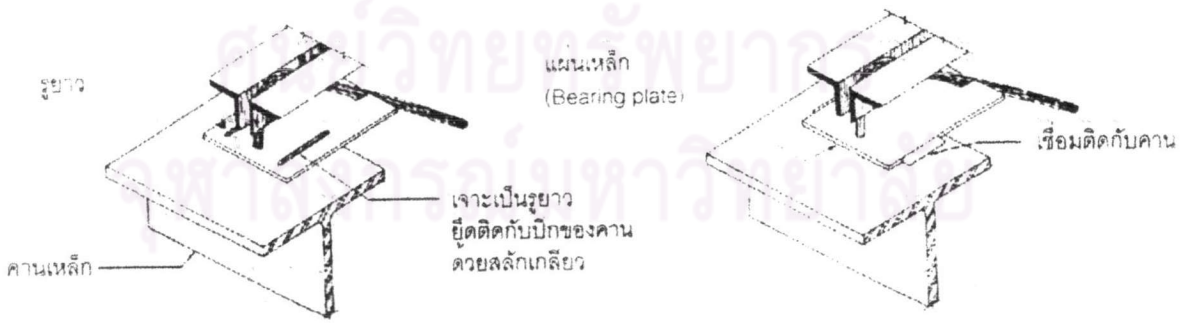
รอยต่อแบบอิสระ (Free joint)

รอยต่อแบบข้อหมุน หรือบานพับ (Hinge joint หรือ Pin joint)

รอยต่อแบบแข็งเกร็ง (Rigid joint)

รอยต่อเผื่อการขยาย (Expansion joint)

ซึ่งการให้รายละเอียดรอยต่อดังกล่าวจะแตกต่างกันไป ตามชนิดของโครงสร้าง และหลักการออกแบบของวิศวกรโครงสร้างเป็นสำคัญ ถ้าสถาปนิกและช่างเขียนแบบมีความรู้ความเข้าใจ ในหลักการออกแบบของวิศวกรโครงสร้าง ก็จะช่วยให้การเขียนแบบรายละเอียดรอยต่อโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวเนื่องในบริเวณดังกล่าวถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รอยต่อบางจุดอาจต้องแก้ปัญหาทั้งทางด้านโครงสร้าง และสถาปัตยกรรมควบคู่กันไป ไม่สามารถแยกพิจารณาแยกออกจากกันได้



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างรอยต่อโครงหลังคาเหล็ก (Roof joist) กับคานเหล็ก

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 78.

สรุป

การออกแบบและการให้รายละเอียดการทำรอยต่อทางโครงสร้าง ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะเป็นงานของวิศวกรโครงสร้าง แต่ในงานออกแบบที่ใช้โครงสร้างเป็นองค์ประกอบสำคัญทางสถาปัตยกรรมเพื่อความสวยงาม หรือ แสดงออกถึงลักษณะเฉพาะ สถาปนิก และวิศวกรจำเป็นต้องควบคุมดูแลเรื่องสัดส่วน ความประณีตเรียบร้อย หรือความสวยงามของโครงสร้าง และรอยต่อต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นด้วย ควรถือเป็นส่วนหนึ่งของงานสถาปัตยกรรมด้วย เพื่อให้ได้องค์ประกอบของอาคารที่มีความประณีต งดงาม และมีมาตรฐานการก่อสร้างที่ดีขึ้น

8. การป้องกันไฟโครงสร้างเหล็ก[8]

อาคารสาธารณะ ซึ่งความสูงหลายชั้นที่ใช้โครงสร้างเหล็กจำเป็นต้องมีวิธีการป้องกันไฟให้กับโครงสร้าง เพื่อป้องกันการวิบัติของโครงสร้างไม่ให้พังครืนลงมาทันทีก่อนที่จะหนีไฟได้ทันสำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป โครงสร้างต้องกันไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง แต่โครงสร้างบางส่วน หรืออาคารบางประเภทอาจต้องการอัตราการทนไฟ (Fire resistance rate) สูงกว่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับเทศบัญญัติ หรือกฎหมายท้องถิ่นของแต่ละประเทศ

ถึงแม้ว่าเหล็กเป็นวัสดุไม่ติดไฟ แต่เหล็กเป็นวัสดุที่อันตรายมากเมื่อเกิดไฟไหม้ เมื่อได้รับความร้อนสูง 400^{0} F ถึง 800^{0}F โครงสร้างเหล็กจะเสียกำลัง และจะวิบัติโดยเฉียงพลัน โดยปกติโครงสร้างเหล็กมีอันตรายจากเพลิงไหม้มากกว่าโครงสร้างคอนกรีต

วิธีการป้องกันไฟโครงสร้างเหล็ก มีอยู่หลายวิธี ได้แก่

1. ใช้หุ้มด้วยอิฐ (Clay tile) หรือ อิฐทนไฟ (Fire brick) เป็นวิธีการที่ใช้มานานแล้ว ซึ่งนิยมใช้กับการก่อสร้างด้วยวัสดุก่อ การก่ออิฐหุ้มเสาไม่ค่อยมีปัญหามากนัก แต่การป้องกันไฟในส่วนของคานเหล็กค่อนข้างยุ่งยาก อาจต้องผลิตอิฐชนิดพิเศษเพื่อใช้หุ้ม หรือให้ยึดเกาะกับปีกของคานเหล็ก ปัจจุบันจึงไม่ค่อยนิยมเพราะจะทำให้เสาและคานมีขนาดใหญ่มากขึ้น เพิ่มน้ำหนักโครงสร้างมากขึ้น และเสียเวลาในการก่อสร้าง

2. หุ้มด้วยคอนกรีต เมื่อติดตั้งโครงเหล็กเสร็จแล้ว จึงตั้งแบบและหล่อคอนกรีตหุ้มตามทีหลัง หรืออาจออกแบบให้เป็นโครงสร้างองค์ประกอบก็ได้ คือ ออกแบบให้คอนกรีต และเหล็กรับแรงร่วมกัน สร้างไปพร้อมกันคอนกรีตจะช่วยกนสนิมให้โครงเหล็กได้ด้วย วิธีนี้แข็งแรงและป้องกันไฟได้ดี แต่ยุ่งยาก ต้องตั้งแบบและหล่อคอนกรีตทำให้เสียเวลา อีกทั้งทำให้น้ำหนักโครงสร้างเพิ่มมากขึ้นด้วย

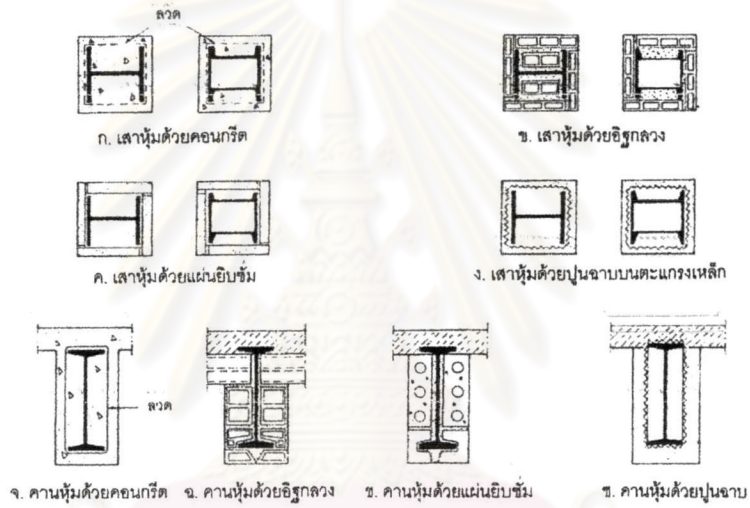
3. หุ้มด้วยแผ่นยิบซัม ต้องใช้แผ่นยิบซัมชนิดทนไฟหุ้มเสาและคาน โดยซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น เพื่อให้ได้ความหนาที่มีอัตราทนไฟตามต้องการ ที่สำคัญคือต้องยึดแผ่นยิบซัมให้แข็งแรง อาจต้องใช้โครง

---

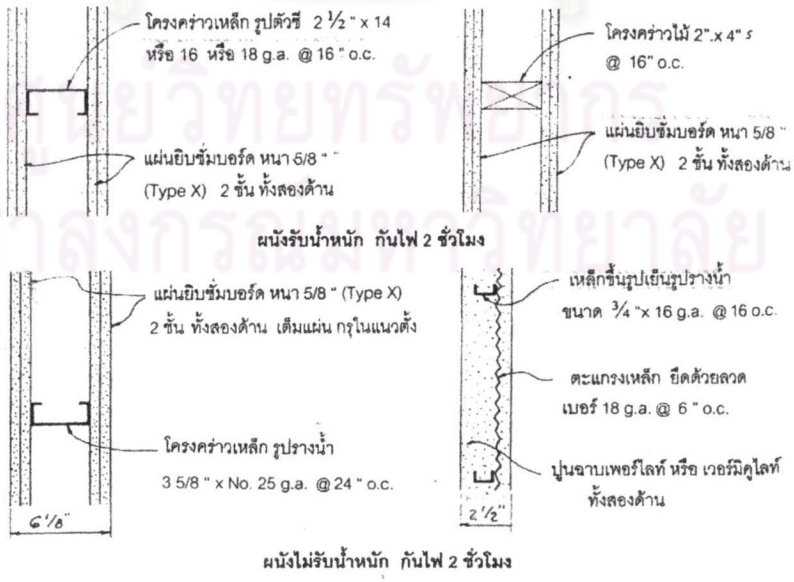
[8] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก ", (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 143-145.

คร่าวเหล็กช่วยรองรับ (Support) ในกรณีที่เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นวิธีการกันไฟที่นิยมใช้วิธีหนึ่ง เนื่องจากทำงานได้สะดวก

4. หุ้มด้วยปลาสเตอร์หรือปูนฉาบ ปกติมีใช้อยู่ 2 ชนิด คือ "Portland Cement Plaster" และ "Gypsum Plaster" ซึ่งมีอัตราการทนไฟได้ดีกว่าชนิดแรกมาก โดยเฉพาะถ้าผสมเพอร์ไลท์ (Perlite) หรือ เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) เข้าไปด้วย จะช่วยกันไฟได้ดีขึ้น วิธีการนี้นิยมใช้กันทั่วไป อัตราการทนไฟจึงขึ้นอยู่กับความหนาของปูนฉาบ และชนิดของปูนฉาบที่ใช้ การก่อสร้างต้องมีแผ่นลวดตะแกรงสำหรับงานปูนฉาบ (Metal lath) แผ่นตะแกรงเหล็กยืด (Expanded metal) หรือตะแกรงลวดกรงไก่ (Wire mesh) ยึดหุ้มเสาหรือคานเสียก่อนจึงจะฉาบปูนปิดได้ และในกรณีที่เสาหรือคานมีขนาดใหญ่ต้องใช้เหล็กปลอกหรือโครงเหล็กไลท์เกจ ยึดตะแกรงเหล็กติดกับเสาอีกทีหนึ่ง คือ ใช้ทำหน้าที่เป็นเสมือนโครงคร่าวรองรับแผ่นตะแกรงเหล็กนั่นเอง



ภาพที่ 2-14 แสดงวิธีการป้องกันไฟโครงสร้างเหล็กแบบต่างๆ



ภาพที่ 2-15 อัตราการทนไฟของผนัง

* ที่มา : จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " การก่อสร้างด้วยเหล็ก" , (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 144.

5. การป้องกันไฟโดยใช้สารพ่นหุ้มกันไฟ วิธีนี้ต้องใช้สารกันไฟชนิดพิเศษ เช่น เวอร์มิคูไลท์ หรือ โมโนโค๊ด พ่นหรือฉาบหุ้มเสา และคานเหล็กให้มีความหนาตามที่ต้องการ อัตราการกันไฟขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ และความหนาวัสดุตามที่กฎหมาย หรือบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ฯลฯ

ปัจจุบันมีวัสดุกันไฟใหม่ ๆ เกิดขึ้นหลายชนิด อาจใช้พ่น ทา หรือหุ้มโครงสร้างเหล็ก ใช้งานได้สะดวก รวดเร็วและมีน้ำหนักเบา แต่อาจยังไม่ได้รับการรับรองตามกฎหมาย หรือยังไม่ได้รับการยอมรับของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง การเลือกใช้วัสดุ และวิธีการป้องกันไฟโครงสร้างเหล็กจึงต้องพิจารณาหลาย ๆ ด้านก่อนการตัดสินใจ

อนึ่ง โครงสร้างอาคารแต่ละส่วน เช่น เสา คาน ตง โครงหลังคา (Truss) พื้น และผนังกันไฟนั้น ต้องการรายละเอียดการก่อสร้าง (Construction Details) ที่ได้มาตรฐานการกันไฟตามอัตราการทนไฟ (Fire resistance rate) ที่กำหนดไว้ในกฎหมาย ซึ่งแตกต่างกันตามส่วน และประเภทของอาคาร การเขียนแบบก่อสร้างจึงควรศึกษา และค้นคว้าเพิ่มเติมจากหนังสือคู่มือการเขียนแบบ หรือมาตรฐานการกันไฟโครงสร้างเหล็กที่ยอมรับกันทั่วไป และต้องตรวจสอบให้สอดคล้องกับเทศบัญญัติ หรือกฎหมายควบคุมการก่อสร้าง ที่ใช้บังคับในท้องถิ่นนั้น ๆ ด้วย [9]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[9] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, " **การก่อสร้างด้วยเหล็ก** ", (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542), หน้า 145.