สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเสนอแบบข้อต่อเสาและคานของระบบการก่อสร้างสำเร็จรูป ในรูปแบบน็อตและโบลท์

PROPOSED DESIGN NUT AND BOLT JOINTS FOR PREFABRICATED BEAM-COLUMN CONNECTIONS

T105562

นายเอกชัย พ่วงพิศ
นายดิเรก เพชร์ยูงทอง
นายบุญเศรษฐพงศ์ รัตนเสถียรถาวร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105562
วัน,เดือน,ปี 27 พ.ย. 2552

b.....
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPOSED DESIGN NUT AND BOLT JOINTS FOR PREFABRICATED BEAM-COLUMN CONNECTIONS

Mr. Akachai Puangpit

Mr. Direk Petchyungthong

Mr. Boonsettapong Rattanasatiantawon

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGUTE'S INSTITUDE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ **การเสนอแบบข้อต่อเสาและคานของระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปในรูปแบบน็อตและโบลท์**

Proposed Design Nut and Bolt Joint Prefabricated Beam-Column Connections

นักศึกษา	นายเอกชัย	พ่วงพิศ	รหัสประจำตัว	48011135
	นายดิเรก	เพชร์ยูงทอง	รหัสประจำตัว	48012141
	นายบุญเศรษฐพงศ์	รัตนเสถียรถาวร	รหัสประจำตัว	48012152
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี	
2. ผศ. ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	
3. อ.ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสนอแบบข้อต่อเสาและคานของระบบการก่อสร้างสำเร็จรูป ในรูปแบบน็อตและโบลท์

PROPOSED DESIGN NUT AND BOLT JOINTS FOR PREFABRICATED BEAM-COLUMN CONNECTIONS

โดย	นายเอกชัย	พ่วงพิศ	รหัสประจำตัว	48011135
	นายดิเรก	เพชร์ยูงทอง	รหัสประจำตัว	48012141
	นายบุญเศรษฐพงศ์	รัตนเสถียรถาวร	รหัสประจำตัว	48012152

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมและประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อแบบน็อตและโบลท์ในระบบคอนกรีตสำเร็จรูป การศึกษาประกอบไปด้วยการออกแบบโครงสร้างรอยต่อเสา-คานโดยประยุกต์มาจากรอยต่อของโครงสร้างเหล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง และการทดสอบตัวอย่างเสา-คานสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบ ซึ่งมีขนาดเท่ากับของจริง โดยการเปรียบเทียบรอยต่อโดยใช้เหล็กฉากที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร เป็นส่วนประกอบ การศึกษาเน้นถึงพฤติกรรมการวิบัติของคานและลักษณะการวิบัติ ประสิทธิภาพของรอยต่อเสา-คานจากค่าโมเมนต์สูงสุดที่รับได้ การศึกษาพบว่า รอยต่อเกิดการวิบัติที่เหล็กฉากแบบ Prying Action โดยการเพิ่มความหนาของเหล็กฉากจะเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อเสา-คานได้มากขึ้น โดยดูจากค่าโมเมนต์สูงสุดที่รับได้เพิ่มมากขึ้น

ABSTRACT

This research aims to investigate behaviors and efficiency of nut and bolt joints for prefabricated beam-column connections. The study includes construction of beam-column connections, which can be applied for real-world engineering. Investigation of reinforced concrete beams and columns by comparing the connections of each is also observed. 6mm and 9mm angle bar plates were used in the research. The project highlight on beam failure behaviors and characteristics, and efficiency of beam-column connections evaluated from maximum moment values. After all observations, the results show that the connection of angle bar plates which is Prying Action failed. It is important to state that strength of beam-column connections increased with increasing of angle bar plates thickness. This can confirm by higher maximum moment values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ เป็นการจัดทำขึ้นตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งการที่สามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงลงไปได้นั้นมิได้เกิดจากกลุ่มผู้จัดทำเพียงลำพังเท่านั้น ส่วนหนึ่งก็เนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์ อุปกรณ์ ข้อมูล รวมทั้งคำแนะนำและการช่วยเหลือจากบุคคล และหน่วยงานหลายแห่ง ทั้งนี้กลุ่มผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆเหล่านี้ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้การจัดทำโครงงานพิเศษครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

- ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษครั้งนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางการศึกษา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข จนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
- พี่ รังสรรค์ สำโรงทอง พี่ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ซึ่งช่วยทางด้านค่าใช้จ่ายและให้คำปรึกษาต่างๆ
- ผศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์, อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง, ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร, อ.ศิลป์ชัย จานสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิศวกรรมโยธา ซึ่งให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงาน
- พี่สมบัติ เนตรสว่าง, พี่มานิตย์ บุปผาชาติ และพี่ธีรเดช คำวิไล ซึ่งช่วยจัดหาอุปกรณ์และให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์
- เพื่อนๆและน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจ
- บิดามารดาของผู้จัดทำโครงงานพิเศษ ที่คอยอนุเคราะห์จนจบการศึกษา และคอยให้กำลังใจอยู่ตลอดเวลา

นายเอกชัย พ่วงพิศ
นายดิเรก เพชร์ยูงทอง
นายบุญเศรษฐพงศ์ รัตนเสถียรถาวร

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ปัญหางานวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.4 วิธีการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 แผนการทำงานวิจัย	3
บทที่ 2 ระบบอาคารสำเร็จรูป (Prefabrication)	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 คำนิยามของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป	4
2.3 ระบบก่อสร้างสำเร็จรูป	5
2.3.1 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Structure of Panel System)	6
2.3.2 ระบบเสาและคาน (Skeleton Frame or and Beam)	9
2.3.3 ระบบเสาและแผ่นพื้น (Beamless Skeleton)	10
2.3.4 ระบบกล่อง (Box System)	11
2.4 รอยต่อระหว่างส่วนประกอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	12
2.3.5 การออกแบบรอยต่อ	13
2.3.6 ประเภทของรอยต่อ	15
2.3.6.1 รอยต่ออาคารคอนกรีตสำเร็จรูปประเภท Framed Structures	15
2.3.6.2 รอยต่ออาคารคอนกรีตสำเร็จรูปชนิด Large–Panel types	17
2.5 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.5.1 การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป 36
2.5.1.1 ลานหล่อ (Casting Yard) 36
2.5.1.2 แบบหล่อ (Mould) 36
2.5.1.3 การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป 37
2.5.1.4 วัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป 37
2.5.2 การเก็บสต๊อกและการขนส่ง 35
2.5.3 การติดตั้งและประกอบจุดรอยต่อสำเร็จรูป 35

บทที่ 3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การต่อโครงสร้างโดยใช้ตัวยึด 39
3.2 ลักษณะวิบัติของรอยต่อยึด 44
3.3 ประเภทของรอยต่อยึด 47
3.4 ข้อกำหนดสำหรับรอยต่อยึดแบบรับแรงกด-มาตรฐาน AISC 49
3.5 ข้อกำหนดสำหรับรอยต่อยึดแบบเลื่อนวิกฤต – มาตรฐาน AISC 52
3.6 ระยะห่างและระยะขอบของรอยต่อยึด – มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD 53
3.7 การออกแบบรอยต่อยึด 54
3.8 การต่อปลายคานในโครงอาคาร 60

บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 แนวคิดและการออกแบบของข้อต่อน็อตและโบลต์ที่จะนำมาพิจารณา 71
4.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบ 73
4.2.1 การพิจารณาการเกิดความเค้น (Stress) ด้วยโปรแกรม Algor V20 73
4.2.2 การพิจารณาการเสียรูป (Deformation) ด้วยโปรแกรม Algor V20 74
4.2.3 ระยะเจาะรูสำหรับเจาะเหล็กฉาก 75
4.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 79
4.3.1 เสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก 79
4.3.2 คานสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก 80
4.4 การเตรียมการทดสอบ 84
4.5 ขั้นตอนการทดสอบ 85

บทที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

5.1 ผลการทดสอบของคาน B-1 (เหล็กฉากหนา 6 มิลลิเมตร) 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

5.1.1 ความสัมพันธ์ของระยะเคลื่อนที่ปลายคาน 87

5.1.2 วิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนต่างๆของข้อต่อเสา-คาน 88

5.1.3 สำหรับการนำไปใช้งานแบบคานยื่น (cantilever beam) 93

5.2 ผลการทดสอบของคาน B-2 (เหล็กฉากหนา 9 มิลลิเมตร) 95

5.2.1 ความสัมพันธ์ของระยะเคลื่อนที่ปลายคาน 95

5.2.2 วิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนต่างๆของข้อต่อเสา-คาน 95

5.2.3 สำหรับการนำไปใช้งานแบบคานยื่น (cantilever beam) 99

5.3 สรุปผลการทดสอบคานทั้ง 2 ตัวอย่าง 101

5.3.1 เปรียบเทียบการเกิด Deflection กับทฤษฎีของคานแบบหล่อในที่ (Fixed) 101

5.3.2 โมเมนต์สูงสุดที่รับได้ 102

5.3.3 การวิบัติที่เกิดขึ้น 103

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 การติดตั้งและโมเดลโครงสร้างตัวอย่าง 104

6.1.1 การติดตั้งคาน-เสา โดยที่คานมีมากกว่าสองทิศทาง 105

6.1.2 การลดระดับผิวคานเพื่อให้เหล็กฉากเป็นระดับเดียวกับคาน 106

6.2 กระบวนการผลิต 107

6.3 ข้อดีข้อเสียของระบบสำเร็จรูป 108

6.4 เปรียบเทียบระหว่างระบบสำเร็จรูป และระบบก่อสร้างแบบเดิม 109

บรรณานุกรม 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางและกราฟ

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการทำงาน 3

ตารางที่ 3.1 ขนาดแรงเฉือนที่ยอมให้ ตามวิธี ASD 49

ตารางที่ 3.2 หน่วยแรงประลัยของตัวยึด ตามวิธี LRFD 50

ตารางที่ 3.3 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ F_t กก./ซม.^{2}
ในรอยต่อแบบรับแรงกด – ตามวิธี ASD 51

ตารางที่ 3.4 หน่วยแรงดึงประลัย F_t กก./ซม.^{2}
ในรอยต่อแบบรับแรงกด – ตามวิธี LRFD 51

ตารางที่ 3.5 แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว กก.* 52

ตารางที่ 3.6 ระยะของแนวเจาะรูสำหรับเหล็กฉาก มม. 53

ตารางที่ 3.7 ระยะขอบอย่างน้อย มม. 54

ตารางที่ 4.1 ระยะเจาะรูเหล็กฉากตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD 75

กราฟที 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของคาน B-1 87

กราฟที่ 5.2 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กฉากบน ของตัวอย่างคาน B-1 89

กราฟที่ 5.3 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กฉากล่าง ของตัวอย่างคาน B-1 89

กราฟที่ 5.4 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กเสริมบนในคาน ของตัวอย่างคาน B-1 90

กราฟที่ 5.5 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กเสริมล่างในคาน ของตัวอย่างคาน B-1 91

กราฟที่ 5.6 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่างคาน B-1 92

กราฟที่ 5.7 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณโบลท์ด้านล่างของคาน ของตัวอย่างคาน B-1 92

กราฟที 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของคาน B-2 95

กราฟที่ 5.9 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กฉากบน ของตัวอย่างคาน B-2 96

กราฟที่ 5.10 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กฉากล่าง ของตัวอย่างคาน B-2 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

กราฟที่ 5.11 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กเสริมบนในคาน ของตัวอย่างคาน B-2 97
กราฟที่ 5.12 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กเสริมบนในคาน ของตัวอย่างคาน B-1 97
กราฟที่ 5.13 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่างคาน B-2 98
กราฟที่ 5.14 แสดงผลการติด Stain Gage
บริเวณเหล็กโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่างคาน B-2 98
กราฟที่ 5.15 การเปรียบเทียบค่า Load & Deflection
กับทฤษฎี สำหรับตัวอย่างที่ 1 101
กราฟที่ 5.16 การเปรียบเทียบค่า Load & Deflection
กับทฤษฎี สำหรับตัวอย่างที่ 2 102
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบราคาการก่อสร้าง 108
ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบเวลาในการก่อสร้าง 108
ตารางในภาคผนวกข้อมูลที่บันทึกของคานตัวอย่าง B-1
(ข้อต่อเป็นเหล็กฉากหนา 6 มิลลิเมตร) 112
ตารางในภาคผนวกข้อมูลที่บันทึกของคานตัวอย่าง B-2
(ข้อต่อเป็นเหล็กฉากหนา 9 มิลลิเมตร) 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 อาคารที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนสำเร็จรูป
ทีมีขนาดมาตรฐานตามพิกัด (สมภพ, 2516) 6
รูปที่ 2.2 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก
ซึ่งวัดขนาดของชิ้นส่วนตามหลักการประสานทางพิกัด (สมภพ, 2516) 6
รูปที่ 2.3 ระบบโครงสร้างแบบ Long Wall (สมภพ,2516) 8
รูปที่ 2.4 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long Wall
ซึ่งใช้คานถ่ายน้ำหนักจากพื้นสู่กำแพง (สมภพ, 2516) 8
รูปที่ 2.5 ในระบบ Cross Wall สามารถวางผนังด้านหน้าได้หลายวิธี
(สมภพ,2516) 8
รูปที่ 2.6 แสดงการวางผนังรับแรงน้ำหนักแบบ
Two-Way Span (สมภพ, 2516) 9
รูปที่ 2.7 ระบบกรอบกลวง Ring-Frame (สมภพ,2516) 10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น (สมภพ,2516) 11
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (1) 19
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (2) 20
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (3) 21
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (4) 22
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (5) 23
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (6) 24
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (7) 25
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (8) 26
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (9) 27
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (10) 28
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (11) 29
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (12) 30
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (13) 31
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (14) 32
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (15) 33
รูป ข้อต่อในแบบต่างๆ (16) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.1 หมุดย้ำ 39
รูปที่ 3.2 สลักเกลียว 40
รูปที 3.3 ลักษณะการขันน็อตในแบบต่างๆ 42
รูปที่ 3.4 การต่อแบบทาบ 43
รูปที่ 3.5 การต่อแบบประกับ 43
รูปที่ 3.6 ระยะห่างระหว่างตัวยึด 44
รูปที 3.7 ลักษณะวิบัติของรอยต่อยึด 45
รูปที่ 3.8 รอยต่อแบบรับแรงกด และรอยต่อแบบมีแรงฝืด
หรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต 49
รูปที่ 3.9 รอยต่อรับแรงเยื้องศูนย์ 55
รูปที 3.10 แรงเฉือนบิดลักษณะต่างๆ 55
รูปที่ 3.11 รูปวิธีการคำนวณ 57
รูปที่ 3.12 รูปวิธีการคำนวณ 58
รูปที่ 3.13 การต่อปลายคานเพื่อรับแรงเฉือน 61
รูปที 3.14 การต่อปลายคานเพื่อรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด 65
รูปที่ 3.15 ลักษณะการเกิด prying action 66
รูปที่ 3.16 การประมาณหาความหนาของชิ้นส่วนเพื่อถ่ายแรงดึง 69
รูปที่ 3.17 เสริมเหล็กข้างคานในรอยต่อยึด 70
รูปที่ 4.1 รูปแบบการต่อระหว่างเสา-คานของโครงสร้างเหล็ก 71
รูปที่ 4.2 การทดสอบความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเหล็กฉาก
เมื่อทำการใส่แรง P ลงไป 73
รูปที่ 4.3 การทดสอบการเกิดการเสียรูป
และระยะที่ยืดออกในโปรแกรม Algor V20 74
รูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) แสดงรูปแบบคร่าวๆใน
คาน-เสาสำเร็จรูปที่จะทำการทดสอบ 76
รูปที่ 4.6 แสดงส่วนประกอบของเสา
ที่จะนำมาหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 79
รูปที่ 4.7 แสดงการต่อเหล็กเกลียวเข้ากับแบบ
เพื่อหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 80
รูปที่ 4.8 แสดงส่วนประกอบของคาน
ที่จะนำมาหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.9 แสดงการต่อเหล็กเกลียวเข้ากับแบบ
เพื่อหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 81
รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดเสาและคานระบบสำเร็จรูปที่จะทำการทดสอบ 82
รูปที่ 4.11 แสดงจุดที่ติด Strain Gage
ทั้งหมด 6 จุด ของเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 83
รูปที่ 4.12 แสดงการกระกอบเสาและคาน และการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ 85
รูปที่ 4.13 ค่าต่างๆที่ต้องจดบันทึก 86
รูปที่ 5.1 จุดที่ติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากตัวบนและตัวล่าง 88
รูปที่ 5.2 จุดที่ติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมในคาน 90
รูปที่ 5.3 จุดทีติด Stain Gage บริเวณโบลท์ด้านบนและด้านล่าง 91
รูปที่ 5.4 การวิบัติแบบ Prying Action 93
รูปที่ 6.1 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะของเหล็กฉากและ Bolts
เมื่อนำไปติดตั้งในโครงสร้างสำเร็จรูป 104
รูปที่ 6.2 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะของโบลท์
ในการต่อแบบ สองและสามทิศทาง 105
รูปที่ 6.3 การลดระดับผิวคาน 106
รูปที่ 6.4 แสดงการติดตั้งเหล็กฉากที่ทำการลดระดับของคานเรียบร้อยแล้ว 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

การก่อสร้างอาคารในปัจจุบันนี้ มีการแข่งขันกันสูง ในเรื่องของราคา ลูกค้า การบริการ และอื่นๆ และอย่างที่ทราบกันดีว่า ประเทศไทยของเราตอนนี้ กำลังผจญอยู่ในภาวะเศรษฐกิจตกต่ำอันเนื่องมาจากการดำเนินนโยบายผิดพลาดของทั้งภาครัฐและเอกชน พลังงานน้ำมันซึ่งตอนนี้ราคาก็ค่อยๆขยับขึ้นไปเรื่อยๆโดยไม่มีทีท่าว่าจะหยุด จึงเป็นปัญหาและผลกระทบสำคัญที่เกิดขึ้นกับการก่อสร้างยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก ส่งผลให้บริษัทก่อสร้างหลายๆบริษัทอยู่ไม่ได้เพราะต้นทุนในการก่อสร้างที่สูง และปัญหาอื่นๆต่างๆนานา

ปัจจุบันในต่างประเทศได้เริ่มคิดเทคโนโลยีใหม่ในการก่อสร้างขึ้นมาได้แก่ ระบบสำเร็จรูป ซึ่งสามารถทำงานได้เร็วกว่าระบบหล่อในที่ สามารถควบคุมคุณภาพได้ดีกว่าระบบเดิม ราคาต้นทุนที่ถูกกว่าเดิมมาก และยังสามารถความคุมงบประมาณก่อสร้างได้ดีกว่าเดิมอีกด้วย

ในประเทศไทย ก็ได้เริ่มมีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปนี้ขึ้นมาบ้างแล้ว แต่อาจไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากประชาชนยังขาดความมั่นใจในคุณภาพของโครงสร้าง และไม่มีบริษัทที่น่าเชื่อถือพอที่รับงานในด้านนี้ โดยระบบอาคารสำเร็จรูปในไทยตอนนี้จะเป็นระบบหล่อในที่อยู่ ซึ่งถ้าเราสามารถเปลี่ยนระบบหล่อนี้เป็นการใช้น็อตและโบลต์ได้ จะช่วยลดระยะเวลา และความสะดวกสบายในการก่อสร้างได้มากขึ้นอีกอย่างแน่นอนดังนั้น เราจึงควรคิดที่จะพัฒนาการก่อสร้างสมัยใหม่ซึ่งประหยัดทั้งในด้าน ราคา เวลาในการก่อสร้าง และคุณภาพ ความคงทนของสิ่งก่อสร้าง ก็ต้องได้คุณภาพมากที่สุดเพื่อตอบสนองทุกคำตอบของความต้องการของประชาชนได้

1.2 ปัญหางานวิจัย

ในปัจจุบัน การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปโดยใช้น็อตและโบลต์ในประเทศไทยมีอยู่น้อยมาก จึงทำให้การค้นคว้าหาข้อมูลลำบาก จึงอาจทำให้ต้องค้นคว้าตำราหรือเว็บไซต์ต่างประเทศเพิ่มเติมในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษารูปแบบของข้อต่อคานและเสาของระบบอาคารสำเร็จรูปปัจจุบัน
2. ออกแบบและประยุกต์ข้อต่อคานและเสาให้เป็นแบบน็อตและโบลต์ ให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับระบบหล่อในที่ เพื่อสามารถมาใช้กับระบบก่อสร้างในประเทศไทยได้

1.4 วิธีการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการก่อสร้างของระบบอาคารสำเร็จรูป ในด้านของ ค่าใช้จ่าย และอุปสรรคที่พบในการก่อสร้าง
2. ศึกษารูปแบบข้อต่อของระบบอาคารสำเร็จรูปที่ใช้อยู่ปัจจุบัน โดยเฉพาะข้อต่อในส่วนของเสาและคาน
3. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2 นำมาประยุกต์และออกแบบข้อต่อของเสาและคานเป็นแบบน็อตและโบลต์
4. จัดทำ Model ต้นแบบของอาคารสำเร็จรูประบบน็อตและโบลต์
5. ทดสอบคุณสมบัติของข้อต่อแบบน็อตและโบลต์ และวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียที่เกิดขึ้น
6. วิเคราห์ความเป็นไปได้ในอนาคตสำหรับระบบข้อต่อน็อตและโบลต์ของอาคารสำเร็จรูป

1.5 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาจุดเชื่อมต่อของโครงสร้าง เสาและคาน ของอาคารสำเร็จรูป 2 ชั้น
2. ทดสอบการรับน้ำหนักของรอยต่อระบบน็อตและโบลต์

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความตื่นตัวของเทคโนโลยีการก่อสร้าง ในระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปในประเทศไทย
2. ส่งเสริมและพัฒนาระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมที่อยู่อาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อย
3. ได้รูปแบบ Model ต้นแบบสำหรับสิ่งก่อสร้างของอาคารสำเร็จรูปที่ใช้ข้อต่อระบบน็อตและโบลต์ทั้งหลัง เพื่อเป็นข้อมูลที่ดีสำหรับการก่อสร้างในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทราบถึงข้อดีข้อเสียของโครงสร้างระบบสำเร็จรูป การแก้ปัญหาและอุปสรรคของโครงการที่ศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะทำระบบสำเร็จรูปนี้ไปทำการก่อสร้างต่อไป

1.7 แผนการทำงานวิจัย

No.	Task Name	Duration	2007							2008	
			Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
1	ศึกษากระบวนการก่อสร้างของระบบอาคารสำเร็จรูป	45 Days									
2	ศึกษารูปแบบข้อต่อของระบบอาคารสำเร็จรูปปัจจุบัน	45 Days									
3	ออกแบบข้อต่อของเสาและคานเป็นแบบน็อตและโบลต์	60 Days									
4	จัดทำ Model ต้นแบบของอาคารสำเร็จรูป	30 Days									
5	ทดสอบคุณสมบัติ และวิเคราะห์ข้อดีข้อเสีย	60 Days									
6	วิเคราห์ความเป็นไปได้ในอาคตของการก่อสร้างระบบนี้	15 Days									

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบอาคารสำเร็จรูป (Prefabrication)

2.1 กล่าวนำ

เทคนิคการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปกำลังเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากขึ้นโดยเฉพาะในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่มีจำนวนมากๆเช่น โครงการบ้านจัดสรร เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันกันสูง ความรวดเร็วจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ควรให้ความสำคัญ ในบทนี้เราจะกล่าวถึงระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูป ทั้งความเป็นมา ประเภทของการก่อสร้าง และวิธีการก่อสร้างอย่างละเอียด

2.2 คำนิยามของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป

การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป เป็นการก่อสร้างโดยวิธีการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป มีผู้ให้ความหมายหรือคำนิยามไว้ดังนี้

"พรีคาสต์คอนกรีต" (Precast Concrete) คือการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในสถานที่ใดๆ เช่น โรงงาน หรือบริเวณก่อสร้างก่อนแล้วจึงนำไปประกอบเป็นโครงสร้าง

"พรีแฟบบริเคชั่น" (Prefabrication) คืออุตสาหกรรมการก่อสร้างอันเป็นการผลิตส่วนประกอบจำนวนมากเพื่อก่อสร้างโดยอาศัยเครื่องมือ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ยก สำหรับปฏิบัติงาน

"ระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูป" (Prefabrication System) หรือการก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรม (Industrialized Building System) หมายถึง การนำโครงสร้างส่วนต่างๆของอาคารที่ทำสำเร็จรูปไว้แล้ว มาประกอบรวมกันเข้าเป็นอาคาร หรือเทคนิคการก่อสร้างใดๆก็ตามที่ยึดหลักกรรมวิธีการผลิตตามแนวระบบอุตสาหกรรม ตามหลักการของระบบนี้ โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ เช่น คาน พื้น ผนัง จะผลิตสำเร็จรูปมาจากโรงงาน แล้วนำมาต่อเชื่อมให้ติดกันเป็นตัวอาคาร ณ ที่ก่อสร้าง จึงเป็นระบบการก่อสร้างที่ตรงกันข้ามกับที่ปฏิบัติกัน ซึ่งแต่เดิมนั้นลำดับขั้นของงานอาคารจะต้องตั้งต้นจากการผูกเหล็กเสริม หล่อคอนกรีตเสา คาน พื้น ต่อเนื่องกันไปจนถึงชั้นหลังคา และอาจกล่าวได้ว่า งานส่วนใหญ่นั้นเป็นการสร้างสำเร็จรูปในที่ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป" (Prefabrication) หมายถึงการก่อสร้างที่มีการจัดทำมาล่วงหน้า โดยไม่จำกัดว่า เป็นแค่ชิ้นส่วนสำเร็จรูปอาจเรียกได้ว่า เป็นการก่อสร้างโดยระบบอุตสาหกรรมซึ่งมีความหมายมากกว่าชิ้นส่วนสำเร็จรูปและไม่ใช่แค่คานสำเร็จรูป เพราะบางทีการหล่อในที่ก็สามารถเรียกว่าเป็นการก่อสร้างโดยระบบอุตสาหกรรม โดยมีการเปรียบเทียบความหมายทั้งสองกับการก่อสร้างทั่วๆไปที่เรียกว่าการก่อสร้างแบบหล่อในที่ ซึ่งถ้าไม่ทำงานทั้งหมดในพื้นที่ก่อสร้างโดยมีการก่อสร้างมาจากที่อื่นเรียกว่า Precast

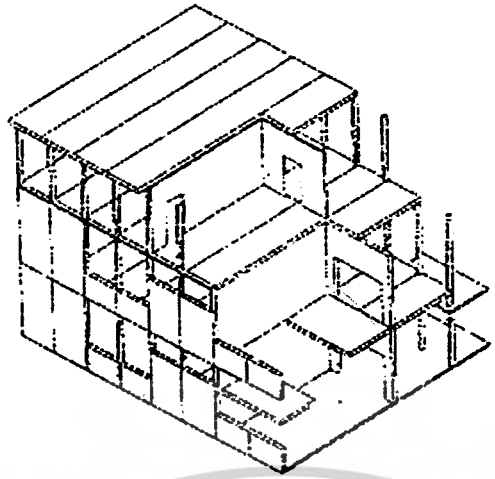
จากความหมายทั้งหมดจึงพอสรุปคำนิยามของระบบสำเร็จรูปได้ว่า การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปหมายถึง การก่อสร้างที่มีการผลิตชิ้นส่วนประกอบของอาคาร เช่น คาน เสา พื้น ผนัง ในโรงงานแล้วนำไปประกอบเป็นอาคารยังพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้อุปกรณ์ยก

2.3 ระบบก่อสร้างสำเร็จรูป

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากสำหรับอาคารที่ก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนำมาประกอบกัน คือ ปัญหาความต่อเนื่องในรอยต่อจุดต่างๆ ซึ่งถ้าหากออกแบบให้รอยต่อแข็งแรง เป็นเสมือนโครงร่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับโครงสร้างที่ทำการหล่อคอนกรีตแบบทั่วไปแล้ว จะต้องใช้การหล่อด้วยวิธีการพิเศษ เช่นการเชื่อมต่อเหล็กเข้าด้วยกัน การใช้น็อตและโบลท์ หรือการใช้ลวดอัดแรงดึงยึดชิ้นส่วนเข้าหากันด้วยวิธี Post Tension ซึ่งดูเหมือนว่าจะยิ่งทำให้การทำงานยุ่งยากมากไปกว่าการหล่อโครงสร้างกับที่เสียอีก ดังนั้นโครงสร้างสำเร็จรูปจึงพยายามที่จะหลีกเลี่ยงรอยต่อที่ต้องประสานให้ต่อเนื่องกันมากที่สุด ยกเว้นรอยต่อโครงสร้างที่สำคัญๆ ที่ต้องใช้รับแรงลมเป็นต้น ในการออกแบบด้านโครงสร้างของอาคาร ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ความแข็งแรงของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น จะต้องให้แข็งแรงเพียงพอกับสภาพการใช้งานเมื่อประกอบเข้าที่แล้ว ตลอดจนจะต้องไม่เสียหายในขณะขนส่งและติดตั้งด้วย
- การคำนวณถึงระบบโครงสร้าง ซึ่งประกอบกันเป็นอาคารทั้งระบบเพื่อให้สามารถต้านทานแรงลมตามแนวราบได้
- การคำนวณถึงความแข็งแกร่งของรอยต่อต่างๆ ระหว่างชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นไปยังส่วนของอาคารที่รับน้ำหนักต่อไปได้ เช่น รอยต่อระหว่างพื้นกับกำแพงจะต้องแข็งแรงพอที่พื้นจะส่งน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักจรบนพื้นผ่านไปลงกำแพงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

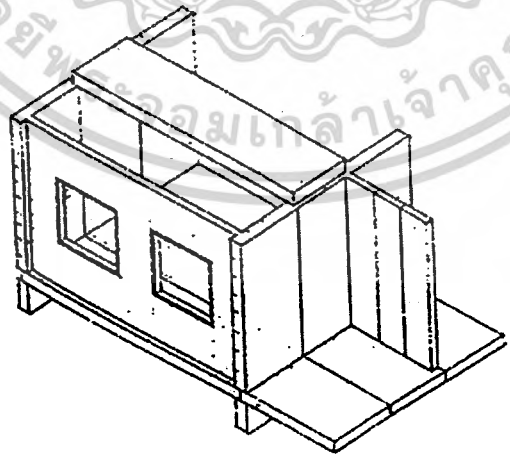


รูป 2.1 อาคารที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนสำเร็จรูป ที่มีขนาดมาตรฐานตามพิกัด (สมภพ, 2516)

ในปัจจุบันได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์วิธีการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม หรือระบบสำเร็จรูปไว้ในประเทศต่างๆมากกว่า 1000 ระบบขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศยุโรปทางตะวันออกและประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ระบบเหล่านี้อาจแยกเป็นประเภทใหญ่ๆได้คือระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก, ระบบเสาและคาน, ระบบเสาและแผ่นพื้นและระบบกล่อง

2.3.1 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Structure of Panel System)

ระบบนี้ไม่เป็นที่คุ้นเคยในประเทศไทยแต่นิยมใช้กันกว้างขวางในยุโรป การการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยนั้น ผนังสำเร็จรูปขนาดเท่าความสูงของชั้นจะถูกนำมาติดตั้งบนพื้นสำเร็จรูป หลังจากนั้นก็จะนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนัง กระทำเช่นนี้เรื่อยๆไป



รูปที่ 2.2 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก ซึ่งวัดขนาดของชิ้นส่วนตามหลักการประสานทางพิกัด (สมภพ, 2516)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังและพื้นในระบบนี้สามารถผลิตได้ง่ายๆ โดยการหล่อแบบที่วางนอนกับพื้นในวิธีการหล่อแบบนี้ สามารถที่จะปรับความหนาของแผ่นได้โดยสะดวกในแบบหล่อชุดเดียวกัน การผลิตผนังอีกแบบหนึ่งก็คือการหล่อแผ่นในแนวตั้งที่เรียกว่า Battery Casing ในวิธีนี้แบบสำหรับการหล่อจะวางตั้ง และมีแผ่นเหล็กกั้นเป็นช่องๆตามความหนาของผนังที่ต้องการ การเทคอนกรีตครั้งหนึ่งจะได้แผ่นผนังครั้งละจำนวนมากๆ

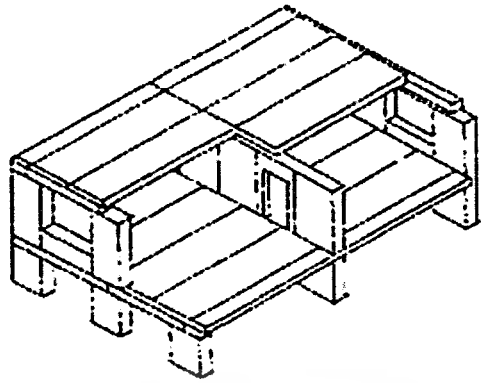
แผ่นพื้นเหล่านี้จะเสริมเหล็กตะแกรง 2 ชั้น, มีการฝังท่อเดินระบบไฟฟ้า, ท่อน้ำ ไว้เสร็จก่อนที่จะเทคอนกรีต ผิวคอนกรีตจะออกมาเรียบโดยไม่ต้องฉาบปูนอีกครั้ง เมื่อเทคอนกรีตจะต้องทิ้งระยะบ่มคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวระยะเวลาที่ต้องรอก่อนที่จะสามารถถอนคอนกรีตออกจากแบบนี้ สามารถเร่งให้เร็วขึ้นได้ โดยวิธีการอบด้วยไอน้ำ ซึ่งหลังจาก 24 ชั่วโมงแล้ว ก็สามารถถอดออกจากแบบได้ สำหรับผนังที่จะต้องเจาะช่องประตูหน้าต่างก็เพียงกั้นแบบเป็นช่องเปิดไว้เท่านั้น ในแบบชุดเดิม

ในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นในระบบนี้นับเป็นระบบโครงสร้างที่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ง่ายที่สุดมากกว่าระบบอื่นๆ ทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปหลังจากการผลิตก็คือการประกอบและการติดตั้งผนังเข้าที่ ซึ่งนับรวมตั้งแต่การขนส่งชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจากโรงงาน ไปถึงบริเวณการก่อสร้าง การยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นไปติดตั้งให้ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อมาที่เป็นปัญหามาก จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ และมีความประณีตในการทำงาน

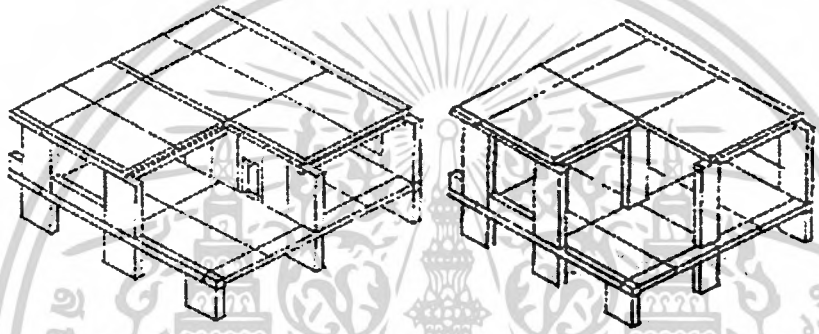
การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นลงที่แนวผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะเพียงเป็นผนังกั้นห้องเท่านั้น หากยังจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อมๆกันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังจะทำหน้าที่โครงสร้างอย่างสำคัญในอาคารเพื่อต้านแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโครงสร้างแบบเสาและคานอีกด้วย

ระบบการวางผนังรับน้ำหนักมี 3 วิธีคือ ระบบวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางแนวเดียวกับความยาวของอาคารเรียกว่า Long-Wall System, ระบบวางแผ่นผนังรับน้ำหนักให้ขวางกับความยาวของอาคาร เรียกว่า Cross-Wall System และระบบที่วางรับน้ำหนักให้รับน้ำหนักจากพื้นทั้ง 2 แนวเรียกว่า Two-Way Span System

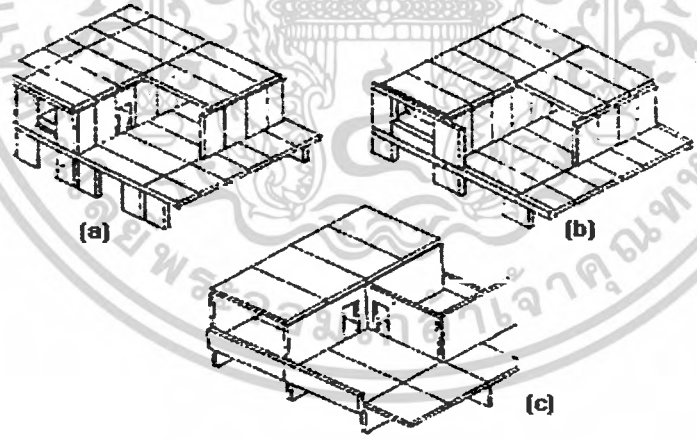
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบโครงสร้างแบบ Long Wall (สมภพ,2516)



รูปที่ 2.4 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long Wall ซึ่งใช้คานถ่ายน้ำหนักจากพื้นสู่กำแพง (สมภพ, 2516)



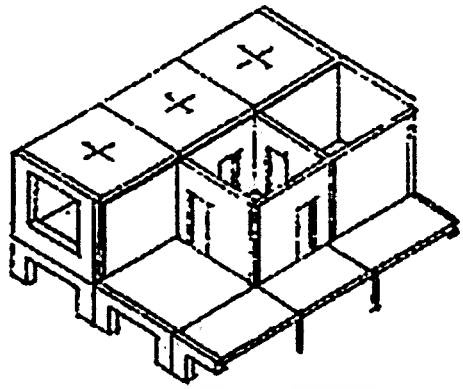
รูปที่ 2.5 ในระบบ Cross Wall สามารถวางผนังด้านหน้าได้หลายวิธี (สมภพ,2516)

a) ผนังวางอยู่บนพื้น

b) ผนังวางอยู่บนคานเสริมพิเศษ

c) ผนังเกาะติดอยู่กับกำแพงด้านข้างของกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



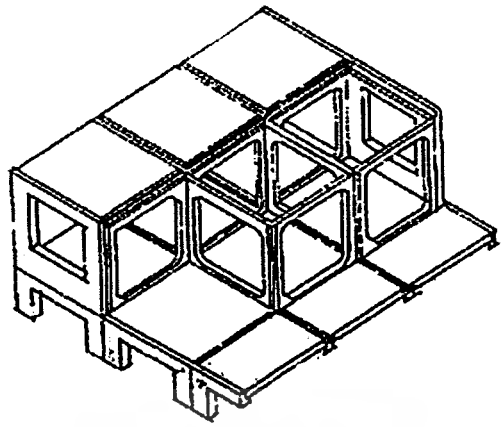
รูปที่ 2.6 แสดงการวางผนังรับแรงน้ำหนักแบบ Two-Way Span (สมภพ, 2516)

2.3.2 ระบบเสาและคาน (Skeleton Frame or and Beam)

ระบบนี้ก็คือระบบโครงสร้างที่ประเทศไทยใช้กันอย่างแพร่หลาย จนเกือบที่จะเป็นระบบเดียวที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย แม้กระทั่งในอาคารที่สามารถใช้โครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักได้อย่างประหยัดกว่าระบบอื่นๆ เช่น อาคารบ้านแถว ก็ยังคงใช้ระบบเสาและคานเป็นส่วนใหญ่ ระบบเสาและคานนิยมใช้สำหรับอาคารที่ไม่สามารถใช้ระบบผนังรับน้ำหนักได้ เนื่องจากความจำเป็นทางด้านการใช้สอย ที่ต้องการเปิดเนื้อที่ให้ผ่านถึงกันได้ตลอด เช่น อาคารโรงงาน สำนักงาน โรงเรือน เป็นต้น

หลักการของโครงสร้างแบบเสาและคานก็คือการรับน้ำหนักจากพื้นลงคาน จากคานส่งน้ำหนักลงเสา โครงสร้างเสาและคานแบบสำเร็จรูป นอกจากจะแตกต่างจากโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตกับที่ในกรณีที่เสาและคานเป็นแบบหล่อสำเร็จรูป แล้วนำมาประกอบกันแล้ว ยังมีความแตกต่างจากระบบหล่อกับที่อีกประการหนึ่ง คือโครงสร้างเสา-คาน สำเร็จรูปมักจะมีแนวคานสำเร็จรูปอยู่เพียงแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น ไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้าน เหมือนกับการหล่อกับที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดข้อยุ่งยากในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอันมาก ดังนั้นในระบบสำเร็จรูปจะมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวหนึ่งซึ่งไม่มีคานยึดนั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



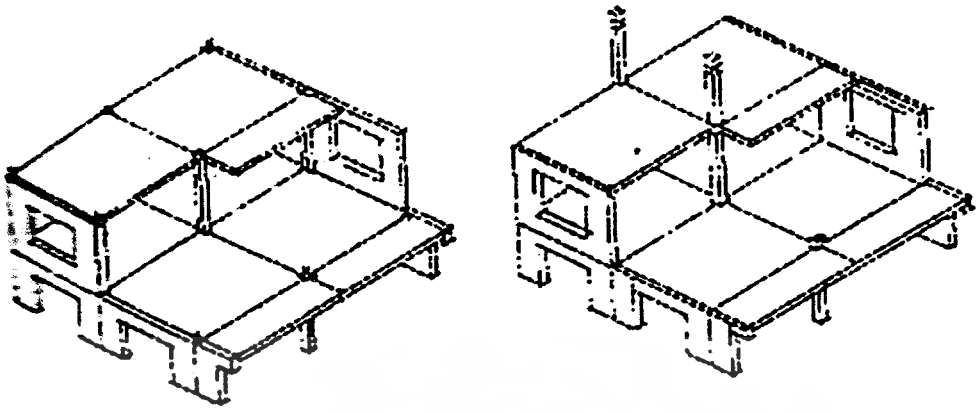
รูปที่ 2.7 ระบบกรอบกลวง Ring-Frame (สมภพ,2516)

วิธีการต่อชิ้นส่วนของเสาและคอนกรีตเข้าด้วยกันมีความยากกว่าระบบแผ่นพื้นรับน้ำหนักเป็นอันมาก วิธีการต่อรอยต่อระหว่างเสาและคานหลายวิธีก็ได้มาจากการเลือกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก จนมีผู้กล่าวว่าผู้ที่จะออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบเสาและคานได้ดี ควรจะเป็นผู้ที่เข้าใจและศึกษารอยต่อของโครงสร้างไม้อย่างดีมาก่อน

2.3.3 ระบบเสาและแผ่นพื้น (Beamless Skeleton)

ระบบโครงสร้างชนิดนี้ แผ่นพื้นที่จะวางไปบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคานเช่นเดียวกับโครงสร้างประเภท Flat Slab เสาจะต้องวางห่างกันไม่เกินขนาดของแผ่นพื้นที่สำเร็จรูปที่จะวางบนเสาทั้ง 4 ได้ ตามหลักการแล้วแผ่นพื้นที่จะสามารถวางอยู่บนปลายของเสาเพียง 4 จุดเท่านั้น จะต้องการความหนาและปริมาณเหล็กในคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่าแผ่นนั้นชนิดอื่นๆ ทั้งหมดแต่จะได้ประโยชน์ในด้านความสะดวกรวดเร็วในการประกอบและการติดตั้ง เนื่องจากสามารถตัดองค์ประกอบของโครงสร้างสำคัญไปได้ 1 ส่วน นั่นคือคาน โดยมีส่วนที่จะถูกใช้ทำหน้าที่แทนคานเพื่อที่จะยึดเสาให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้ควรที่จะมีการคำนวณต้านทานแรงลมเป็นพิเศษหรือ ต้องการแผนให้มีผนังคอนกรีตเพื่อรับแรงลมรวมอยู่ในโครงสร้างด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น (สมภพ,2516)
a) ใช้เสาเป็นส่วนรับน้ำหนักทั้งหมด b) ใช้เสาและผนังช่วยกันรับน้ำหนัก

ตัวอย่างโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น ที่ถูกนำไปใช้ได้แก่โครงสร้าง Wierzbon ในโปแลนด์ ส่วนในรัสเซีย ได้มีการนำระบบเสาและแผ่นพื้นประกอบกับระบบผนังรับน้ำหนักแบบ long-wall ซึ่งจะทำให้ได้อาคารที่มีช่องเปิดโล่งโดยตลอดได้

2.3.4 ระบบกล่อง (Box System)

ระบบนี้เป็นระบบที่ประเทศรัสเซียได้พัฒนาขึ้น และต่อมาได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการสงเคราะห์ของรัสเซียเอง ชิ้นส่วนต่างๆจะถูกประกอบหรือหล่อขึ้นเป็นกล่อง 3 มิติ ขนาดเท่ากับห้อง 1 ห้อง จากนั้นก็จะมีการตกแต่งภายใน ติดอุปกรณ์ไฟฟ้า ประปาต่างๆเสร็จเรียบร้อยมาจากโรงงาน แล้วจึงนำไปวางประกอบเรียงกันเป็นชั้นๆ ในบริเวณการก่อสร้าง นับว่าเป็นระบบที่สามารถลดแรงงาน และเวลาที่ต้องใช้บริเวณก่อสร้างได้มากที่สุดกว่าระบบใดๆในปัจจุบัน

Box System ถือว่าเป็นระบบที่เข้าถึงระบบงานอุตสาหกรรมขั้นสูงสุด เพราะงานส่วนใหญ่ทำสำเร็จจากโรงงานทั้งสิ้น แม้กระทั่งการปูพรมพื้น ประดับรูปภาพที่ผนัง ฯลฯ ข้อเสียของระบบนี้อยู่ตรงที่แต่ละหน่วยมีขนาดใหญ่ หนัก ทำให้ขนส่งลำบากมาก ต้องใช้อุปกรณ์ขนยกขนาดใหญ่พิเศษ และนำมาใช้ได้กับอาคารบางประเภทเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 รอยต่อระหว่างส่วนประกอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

ความจริงอย่างหนึ่งที่เป็นที่ทราบกันดีระหว่างผู้สนใจทำการค้นคว้าและออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูป ไม่ว่าจะเป็นระบบใดๆก็ตาม ความจริงนั้นคือ ผู้ใดสามารถพิชิตการออกแบบรอยต่อ ผู้นั้นคือผู้พิชิตการออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูป ข้อความดังกล่าว ไม่ใช่เป็นการกล่าวเกินความจริงเลย เราพิจารณาว่า ปัญหาที่ยากที่สุดในการออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปนั้นก็คือ ปัญหาของการออกแบบรอยต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆที่เราออกแบบมาแล้วเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างของระบบ ซึ่งต้องทำหน้าที่ต่างๆต่อไปนี้

1. ต้องสามารถถ่ายน้ำหนักคงที่ และน้ำหนักจร ที่ใช้ในการออกแบบ ได้ปลอดภัยและมีค่าองค์ประกอบของความปลอดภัยที่สูงแน่นอน
2. สามารถรับหรือถ่ายนำหนักได้โดยทีต้องไม่มีการเคลือนทีหรือบิดตัว และบริเวณรอยต่อนั้นๆไม่ควรมีหน่วยแรงสูง
3. ถ้าบริเวณก่อสร้างอยู่ในบริเวณที่มีการทำเหมืองใต้ดิน ขุดน้ำบาดาลมากๆ ในสภาพดินตามลุ่มแม่น้ำหรือย่านที่อาจมีแผ่นดินไหว รอยต่อนั้นต้องสามารถรับหน่วยแรงต่างๆที่อาจเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการทรุดตัว
4. ต้องช่วยรับค่าความคลาดเคลื่อน ที่อาจจะมีขึ้นในส่วนประกอบของระบบในระหว่างการผลิตหรือรอยต่อนั้นๆยังคงใช้ได้ในกรณีที่สัดส่วนของส่วนประกอบไม่แตกต่างไปมากกว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ผู้ผลิตได้กำหนดเอาไว้
5. ต้องง่ายต่อการประกอบ ง่ายต่อการดัดแปลงและไม่ต้องการค้ำยันชั่วคราวมากนักในระหว่างการทำงาน
6. ง่ายต่อการตรวจสอบและง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไข
7. ต้องทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้น้ำฝน ลม ไอความร้อน นอกอาคารเข้ามายังในอาคารและอาจต้องช่วยป้องกันการลดความดังของเสียงด้วย
8. ต้องดูความเรียบร้อยกลมกลืน เข้าส่วนกับส่วนประกอบในระบบ ทั้งนี้แล้วแต่จุดประสงค์ของผู้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เดิมทีเดียวในระยะต้นๆของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปผู้ออกแบบมักเลียนแบบการก่อสร้างในระบบการก่อสร้างในที่ โดยพยายามที่จะอุดรอยระหว่างส่วนประกอบต่างๆให้ดูหนาแน่นดูกลมกลืนเข้ากับวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นที่มาของรอยต่อประเภทปิด (Closed Joints) แต่จากประสบการณ์ของผู้ผลิต ผู้ออกแบบ ซึ่งพบว่ารอยต่อชนิดนี้กันความชื้นจากภายนอกได้ก็จริง แต่มักกันความชื้นจากภายในอาคารไม่ให้ออกไปด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะที่อยู่ในเขตหนาว ในฤดูหนาวอาคารบ้านเรือนมักจะมีปัญหาของการกลั่นตัวขอไอน้ำ กลายเป็นระออกน้ำจับตัวอยู่ตามผนังอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างกัน ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร และความชื้นที่มีประจำในบ้านระหว่างการเตรียมอาหาร อาบน้ำ ซึ่งปัญหาความชื้นนี้บ้านเราก็เกิดเหมือนกัน โดยเฉพาะในฤดูฝน จึงมีการค้นคว้าออกแบบรอยต่อขึ้นในแนวใหม่เรียกว่า รอยต่อประเภทเปิด (Opened Joints) ซึ่งอนุญาตให้ความชื้นถ่ายเทออกจากอาคารไปสู่ภายนอกได้ แต่ยังคงคุณสมบัติในด้านอื่นๆของรอยต่อแบบปิดเอาไว้เท่าที่จะทำได้

2.4.1 การออกแบบรอยต่อ

ก่อนที่จะออกแบบรอยต่อ ทีมงานที่ออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปต้องตัดสินใจ และกำหนดกฎเกณฑ์ของการออกแบบต่างๆดังต่อไปนี้

1. รอยต่อที่จะออกแบบจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Simply Support or Hinged)
2. รอยต่อนั้นต้องออกแบบให้สามารถรับแรงหรือน้ำหนักทั้งแนวดิ่งและแนวราบมากน้อยเพียงใด
3. รอยต่อนั้นๆจะต้องออกแบบให้มีการยืดหยุ่น (Freedom of Movement) หรือแน่นหนา (Restraint) เพื่อทีจะได้รับแรงกระทำหรือการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง อันเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Movement) การหดตัวเนื่องจาก Shrinkage และ เนื่องมาจาก Creep

อนึ่ง ผู้ออกแบบจะต้องนำเอาวิธีและขั้นตอนของการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆเข้าด้วยกัน มาร่วมในการคำนวณออกแบบรอยต่อด้วย ขั้นตอนของการประกอบและการออกแบบค้ำยันชั่วคราว ตลอดจนรายละเอียดของการยึด การยก ฯลฯ ชิ้นส่วนจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วน และทำพร้อมๆกันไป กับการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง รอยต่อระหว่างชิ้นส่วน การทำหุ่นจำลองด้วยไม้ตรงรอยต่อของชิ้นส่วน จะช่วยในการวางแผนการก่อสร้างได้มาก เพราะเป็นการยากที่จะมองเห็นปัญหาต่างๆ อย่าง มิติ คือในแนวราบ แนวดิ่ง และแนวลึก จากแบบก่อสร้าง 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้นส่วนคือ การที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนั้นได้แก่ การใช้ปูนก่ออุดช่องระหว่างรอยต่อของอิฐ

อีกวิธีหนึ่งคือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัดที่สามารถประกอบเข้าด้วยกันสนิท ตัวอย่างเช่น การเซาะร่องและการไสไม้ชนิดพื้นเข้าร่อง อย่างไรก็ดีรอยต่อแบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนจะเป็นชิ้นที่ออกแบบพิเศษมีลักษณะของตนเอง และต้องประกบเข้ากับส่วนรับอีกชิ้นหนึ่ง ทำให้ขาดความคล่องตัวในการใช้แทนชิ้นส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ เนื่องจากครึ่งหนึ่งของรอยต่อออกแบบมาเป็น "ตัวผู้" และครึ่งหนึ่งออกแบบมาเป็น "ตัวเมีย" ทำให้การประกอบติดตั้งเป็นไปตามลักษณะของรอยต่อคือ เรียงไปตามขวามือตลอด หรือซ้ายมือตลอด โดยตลอดเป็นต้น เหล่านี้ล้วนแล้วแต่จะทำให้จำนวนชิ้นส่วนมีจำนวนชนิดเพิ่มขึ้น เป็นภาระต่อหน่วยผลิตและหน่วยวางแผนก่อสร้าง

รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints)

รอยต่อแบบนี้พัฒนาขึ้นมา สำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปแบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้ หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของรอยต่อของโครงสร้างชนิดต่างๆที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรป ตัวอย่างเหล่านี้ถูกออกแบบขึ้นมา เพื่อใช้กับลักษณะภูมิประเทศของท้องถิ่นนั้นๆ ตัวอย่างดังต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างในการออกแบบข้อต่อโครงสร้างสำเร็จรูปภายในประเทศไทยของเรา ซึ่งยังต้องมีการดัดแปลงแก้ไขปรับปรุงให้เข้ากับวัสดุก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้าง อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนฝีมือของช่างก่อสร้างบ้านเรา การยกตัวอย่างรอยต่อจะยกตัวอย่างโดยแบ่งประเภทของการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อที่ใช้กับ Framed Structures เป็นพวกแรก กับรอยต่อที่เป็น Panel Structure บางจำพวกเป็นประเภทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของรอยต่อ

2.4.2.1 รอยต่ออาคารคอนกรีตสำเร็จรูปประเภท Framed Structures

(1) รอยต่อระหว่างเสา-ฐานราก (Column-Foundation joint : CF)

รอยต่อประเภทนี้มี 4 ชนิด คือ

1. แผ่นรองใต้ฐานมีขนาดเท่ากับเสา (Column Size Base Plasts) [รูป CF1-CF3]
2. แผ่นรองใต้ฐานมีขนาดใหญ่กว่าตัวเสา (Over Size Base Plates) [รูป CF4-CF7]
3. ฐานรับเสาแบบช่องเสียบ (Socket Base) [รูป CF8]
4. รอยต่อแบบ Sleeve-grout [รูป CF9-CF12]

โดยทั่วไปรอยต่อประเภทนี้จะอยู่ใต้ระดับพื้น (Finished Floor) การเลือกประเภทรอยต่อแบบใดนั้น จะขึ้นอยู่กับรูปแบบเสา ดังนี้

1) เสาประเภทอัดแรงหรือไม่อัดแรง (Prestress or non-prestress)
2) เสาเดี่ยวหล่อในที่
3) เสาที่มีการยึดรั้ง หรือจุดรองรับแบบ pin

(2) รอยต่อระหว่างเสากับเสา (Column-Column joints : CC)

โดยทั่วไปจะมีรูปแบบข้อต่อระหว่างเสาดังนี้คือ

1. รอยต่อแบบหมุดยึด (Bolted) [รูป CC1-CC3]
2. รอยต่อเชื่อมยึดติดกับแผ่นรอง (Welded Plates) [รูป CC4, CC5]
3. รอยต่อยึดด้วยท่อโลหะ (Tube to Tube) [รูป CC4, CC6]
4. รอยต่อยึดด้วยการ Sleeve Grout [รูป CC7-CC9]
5. รอยต่อยึดด้วยการเชื่อมเหล็กต่อทาบ (Welded Lap Bars) [รูป CC10]
6. รอยต่อยึดด้วย Sleeve Tube [รูป CC11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. รอยต่อยึดด้วยลวดเกลียวอัดแรง [รูป CC12]

(3) รอยต่อระหว่างคานหลัก – เสา (Girder-Column joint : GC)

ประเภทของรอยต่อแบบ GC มีดังนี้

i. รอยต่อแบบเชื่อม, ใช้หมุดเหล็กยึด หรือใช้เหล็ก Dowel ระหว่างเสากับคานหลัก (Simple welded bolted or Dowel connection) [รูป GC1-GC16]
ii. รอยต่อแบบแขวน (Hanger connection) [รูป GC17, GC18]
iii. รอยต่อเพื่อรับโมเมนต์ (Composite moment connection) [รูป GC19, GC20]
iv. รอยต่อประยุกต์ใช้ในกรณีพิเศษ (Special Application) [รูป GC21-GC24]

รูปแบบของรอยต่อส่วนประกอบโครงสร้างแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับการถ่ายแรงและลักษณะทางเรขาคณิตของโครงสร้าง ซึ่งพิจารณาจากเงื่อนไขต่อไปนี้

- สภาพการรองรับของคานหลัก (Girder bearing condition) บริเวณหลังคา คานหลักจะวางบนหัวเสาโดยตรง หรือบางครั้งหัวเสาอาจอยู่สูงกว่าระดับคานหลัก ซึ่งคานหลักจะถูกวางพาดบนปีกรับคานบริเวณหัวเสา
- ความสูงระดับพื้นและเพดาน (Floor and Ceiling)
- การต้านทานแรงด้านข้าง (Lateral Force Resistance) ถ้าโครงสร้างต้องต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้าง รอยต่อจำเป็นต้องสามารถถ่ายโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้
- ชนิดและขนาดแรงกระทำ (Load type and Magnitude) ขนาดปีกรับคานขึ้นอยู่กับแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน นอกจากนี้แรงกระทำเยื้องศูนย์ต้องถูกนำมาพิจารณาด้วยเพราะทำให้เกิดการบิด (Torsion) ขึ้นได้

สำหรับรอยต่อของคานยื่น (Cantilever Girder) ที่ต้องมีการพาดผ่านเสา จำเป็นต้องออกแบบรอยต่อเป็นกรณีพิเศษ

(4) รอยต่อระหว่างคาน – คานหลัก (Beam – Girder joints : BG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รอยต่อประเภทนี้จำเป็นเมื่อมีการวางคานซอยบนคานหลัก

รูป BG1 และ BG2 แสดงการวางคานซอยบนปีกล่าง (Lower Bearing Pad) ของคานหลัก ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความลึกของคานซอยและคานหลัก รอยต่อประเภทนี้ใช้ในการเชื่อมต่อระบบพื้นที่มีการเท Topping

สำหรับรอยต่อแบบ Dowel-sleeve (BG4) ใช้ในกรณีที่ความลึกคานเพียงพอในการวางคานซอยบนคานหลัก แล้วทำการยึดด้วยหมุดยาว

(5) รอยต่อระหว่าง คาน – คาน (Beam – Beam joints : BB)

รอยต่อลักษณะนี้จะพบในกรณีคานสามด้านต่อชนกับเสาเป็นรูปกางเขน หรือการต่อคานช่วงกลางคาน (mid-span) หรือในระบบคานต่อเนื่อง (Continuous beam)

ตัวอย่างรอยต่อ BB1 เป็นการต่อคานแบบพาดด้วยกัน รอยต่อบริเวณข้างบนจะมีเหล็กเสียบยึดระหว่างคานเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ตามแนวยาว

รอยต่อ BB2 รอยต่อบริเวณด้านล่างจะเป็นร่องเหล็กสำหรับต่อคาน ส่วนบริเวณด้านบนจะประกบด้วยแผ่นเหล็กและยึดด้วยหมุด

รอยต่อ BB3 ใช้ Splice Sleeve ซึ่งช่วยในเรื่องการถ่ายโมเมนต์

2.4.2.2 รอยต่ออาคารคอนกรีตสำเร็จรูปชนิด Large–Panel types

(1) รอยต่อระหว่างผนัง – ผนัง (Wall–Wall joints : WW)

มีในแบบต่างๆดังนี้

1. โบลท์ยึดในแนวราบ (Horizontal–bolted) [รูป WW1]
2. เชื่อมยึดในแนวราบ (Horizontal–welded) [รูป WW2, WW3]
3. ปลอก Sleeve ยึดในแนวราบ [รูป WW4]
4. ยึดด้วยลวดอัดแรง (Horizontal–post-tensioned) [รูป WW5, WW6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
105562

5. โบลท์ยึดในแนวดิ่ง (Vertical-bolted) [รูป WW7, WW8]
6. เชื่อมยึดในแนวดิ่ง (Vertical-welded) [รูป WW9-WW12]

(2) รอยต่อระหว่าง พื้น – พื้น (Slab – Slab joints : SS)

รอยต่อทางด้านข้างของพื้นทำขึ้นเพื่อถ่ายแรงเฉือนและเพื่อการวางแนว สำหรับความหนาของพื้นดับเบิ้ลทีจะอยู่ระหว่าง 2 นิ้วถึง 12 นิ้ว และจะมากกว่านี้สำหรับพื้นกลวงหรือพื้นตัน

รอยต่อมาตรฐานใช้ระหว่างพื้นกลวงและพื้นตันจะถูกเกร๊าท์ เชียร์คีย์ (SS1) ขนาดและรูปร่างของคีย์จะเปลี่ยนไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ในการเกร๊าท์คีย์จะถูกเติมใส่ด้วย ทราย-ซีเมนต์

รอยต่อแบบ Mechanocal Connection จะใช้แผ่นเหล็กแบนประกบข้างแผ่นพื้นและทำการยึดแผ่นพื้นทั้ง 2 ชิ้นด้วยสมอยึดหรือใช้สลักยึดฝังในเนื้อคอนกรีตดังรูป SS2-SS6

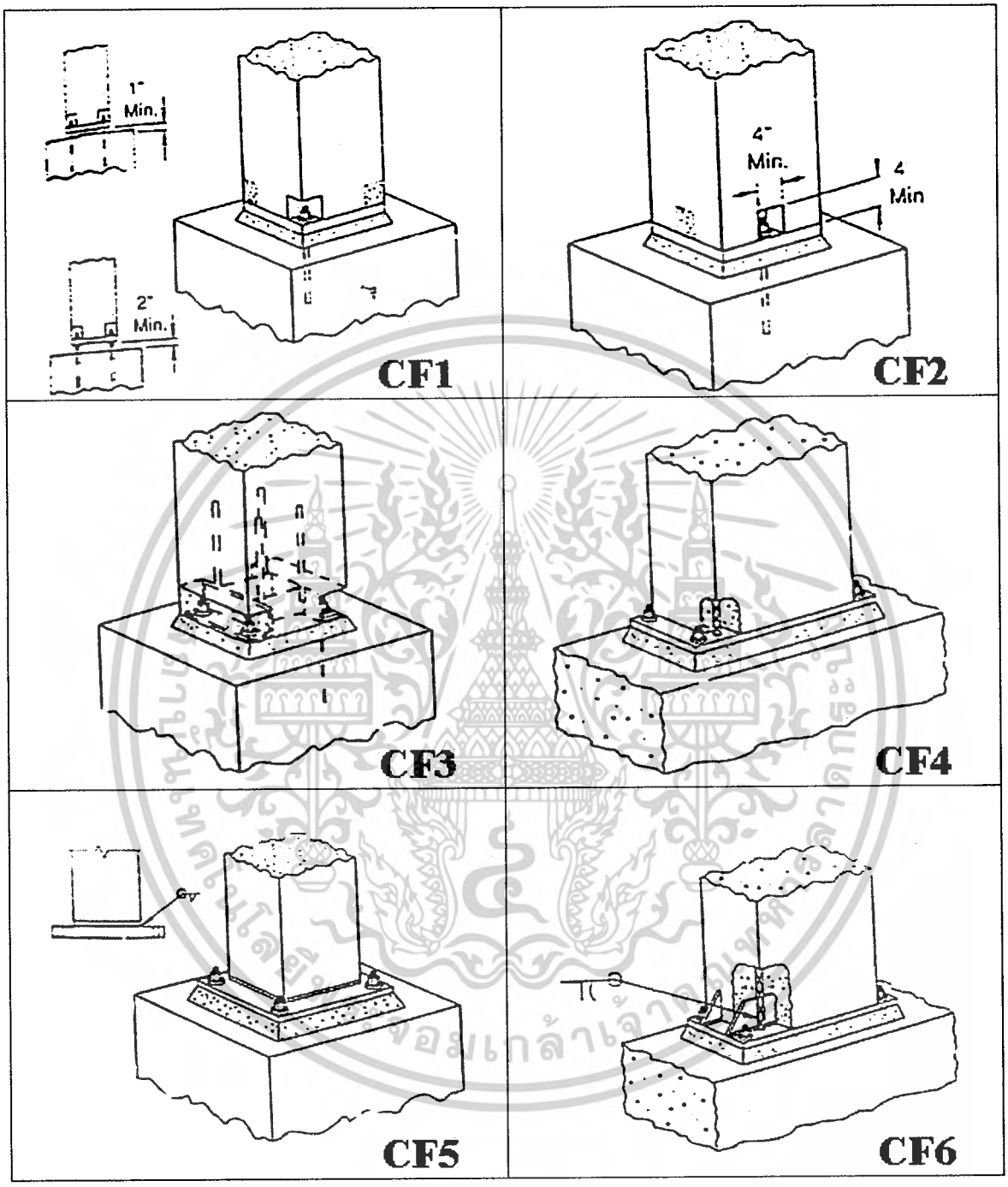
(3) รอยต่อระหว่างพื้น – ผนัง (Slab – Wall joints : SW)

มีในแบบต่างๆดังนี้

1. รอยต่อของพื้นกลวงและตัน (Hollow – Core and Solid Slab Connection) ดังรูป SW1-SW4
2. Stemmed Member Connection ดังรูป SW5-SW12

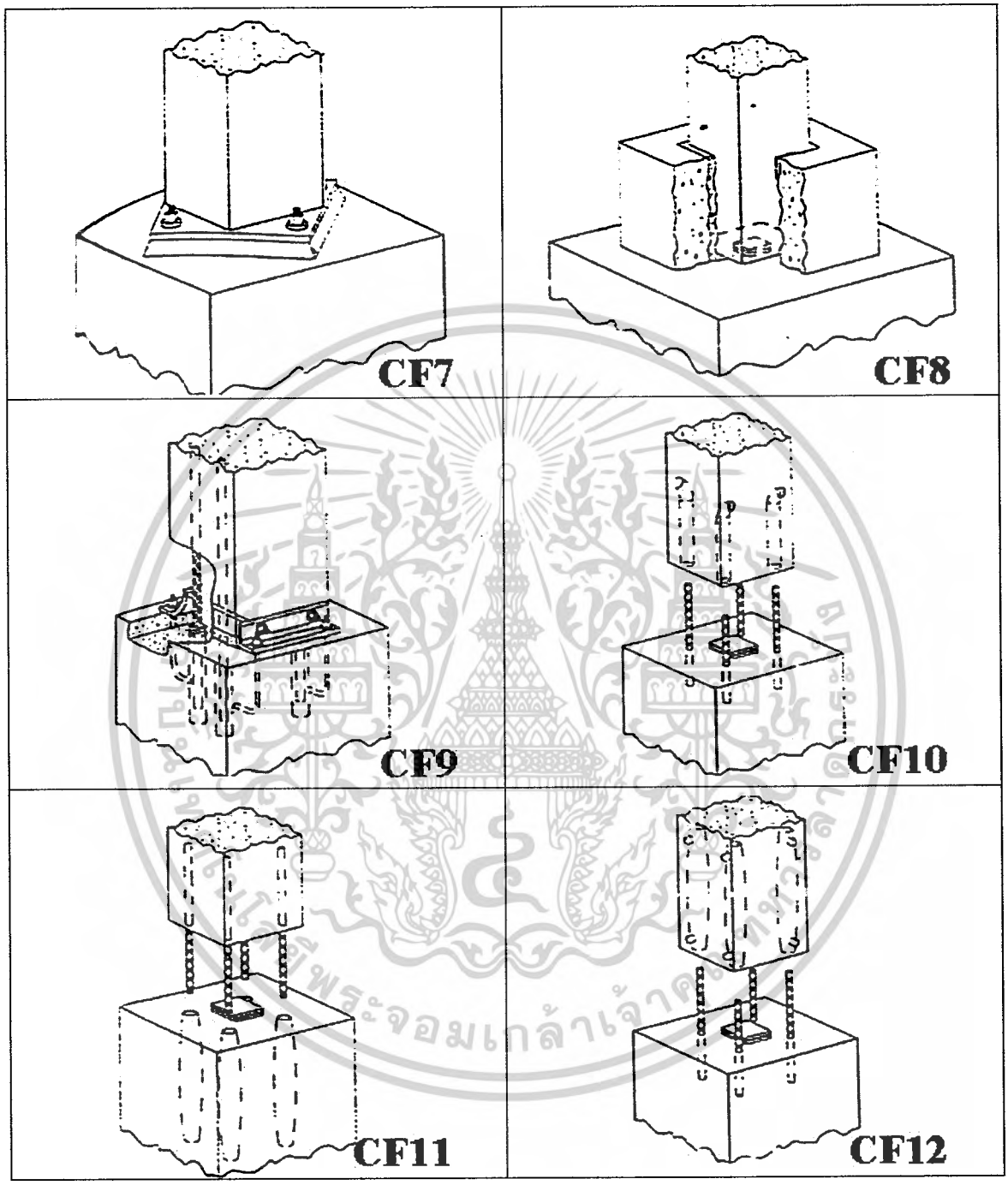
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปประกอบ



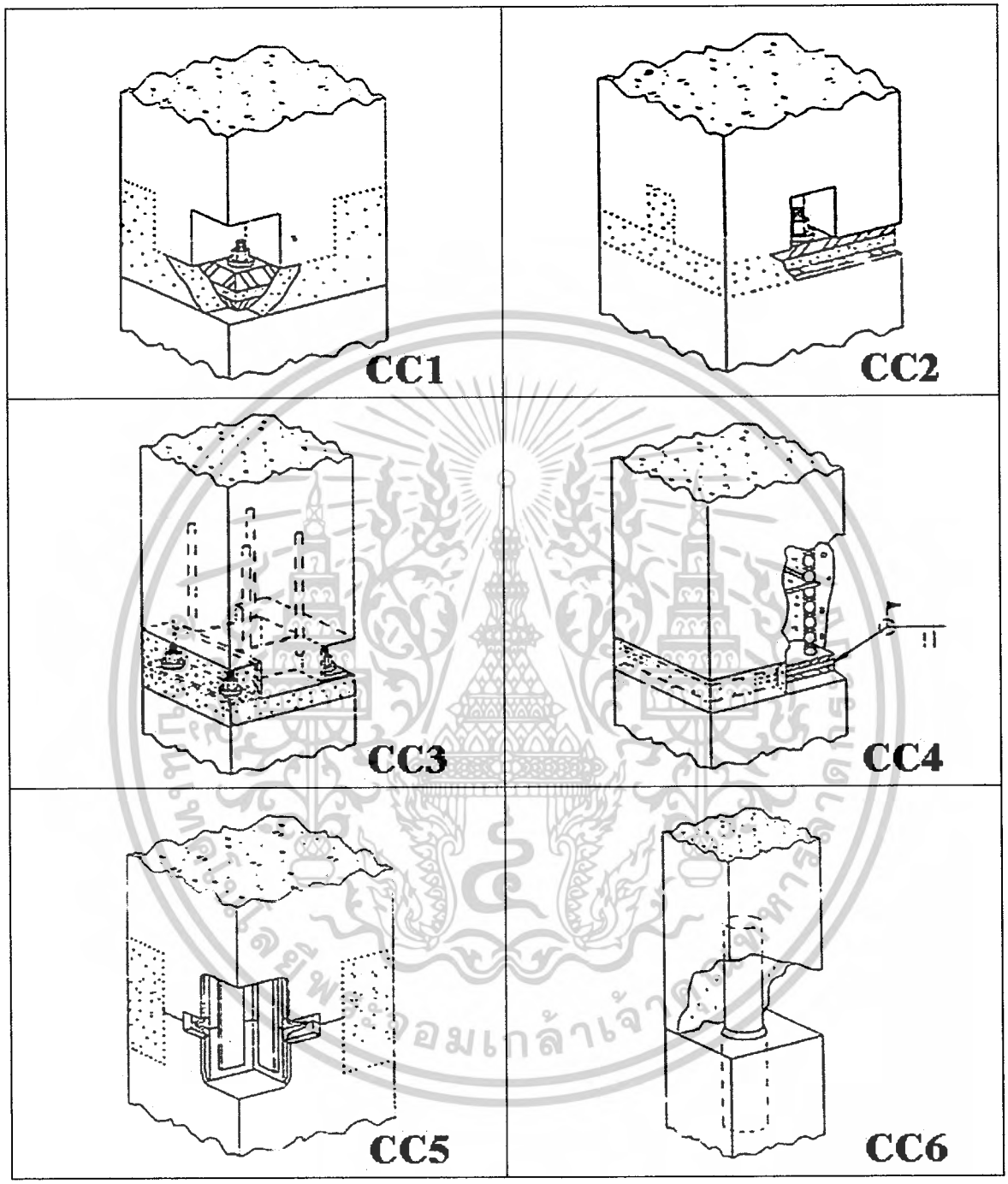
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



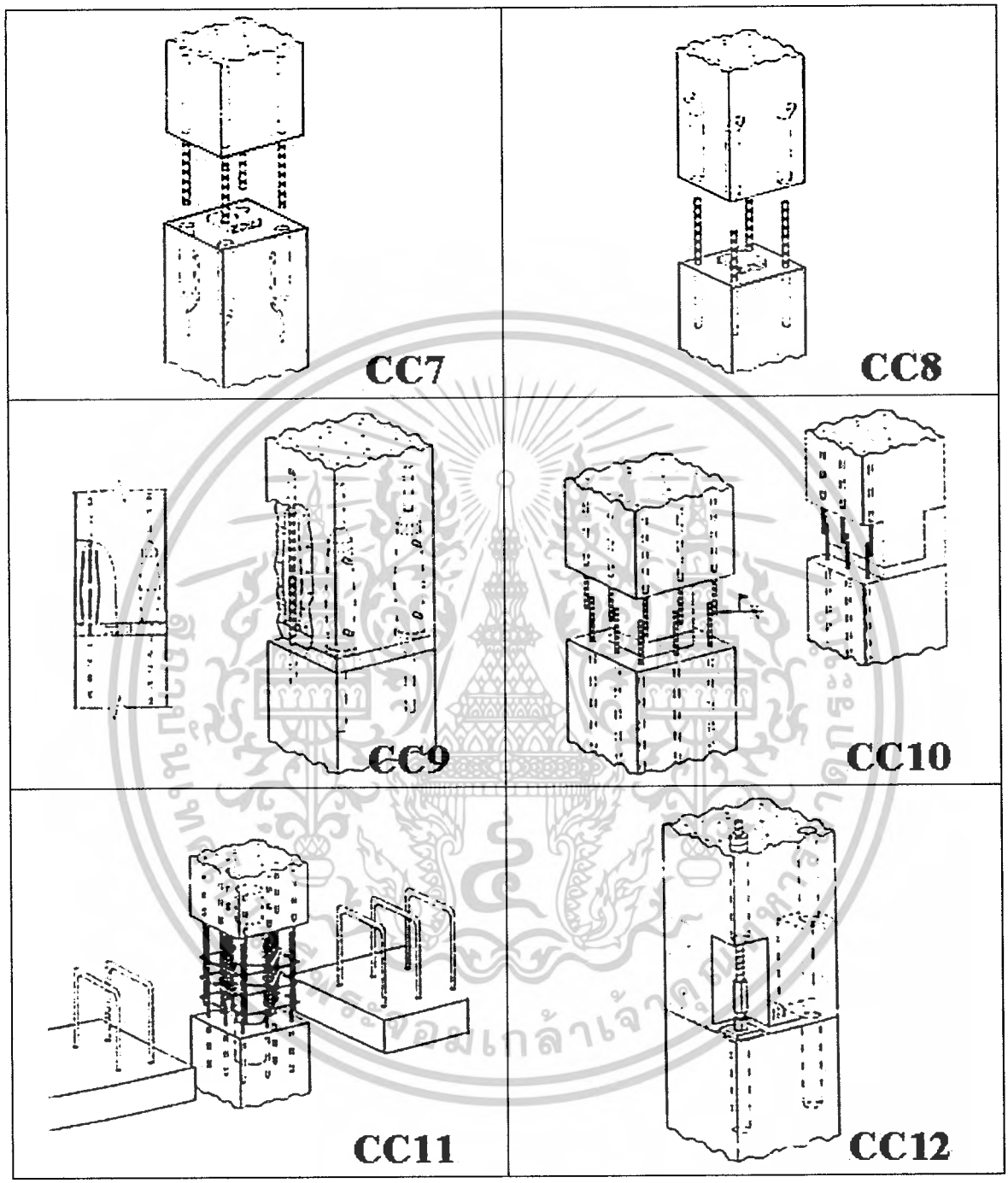
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



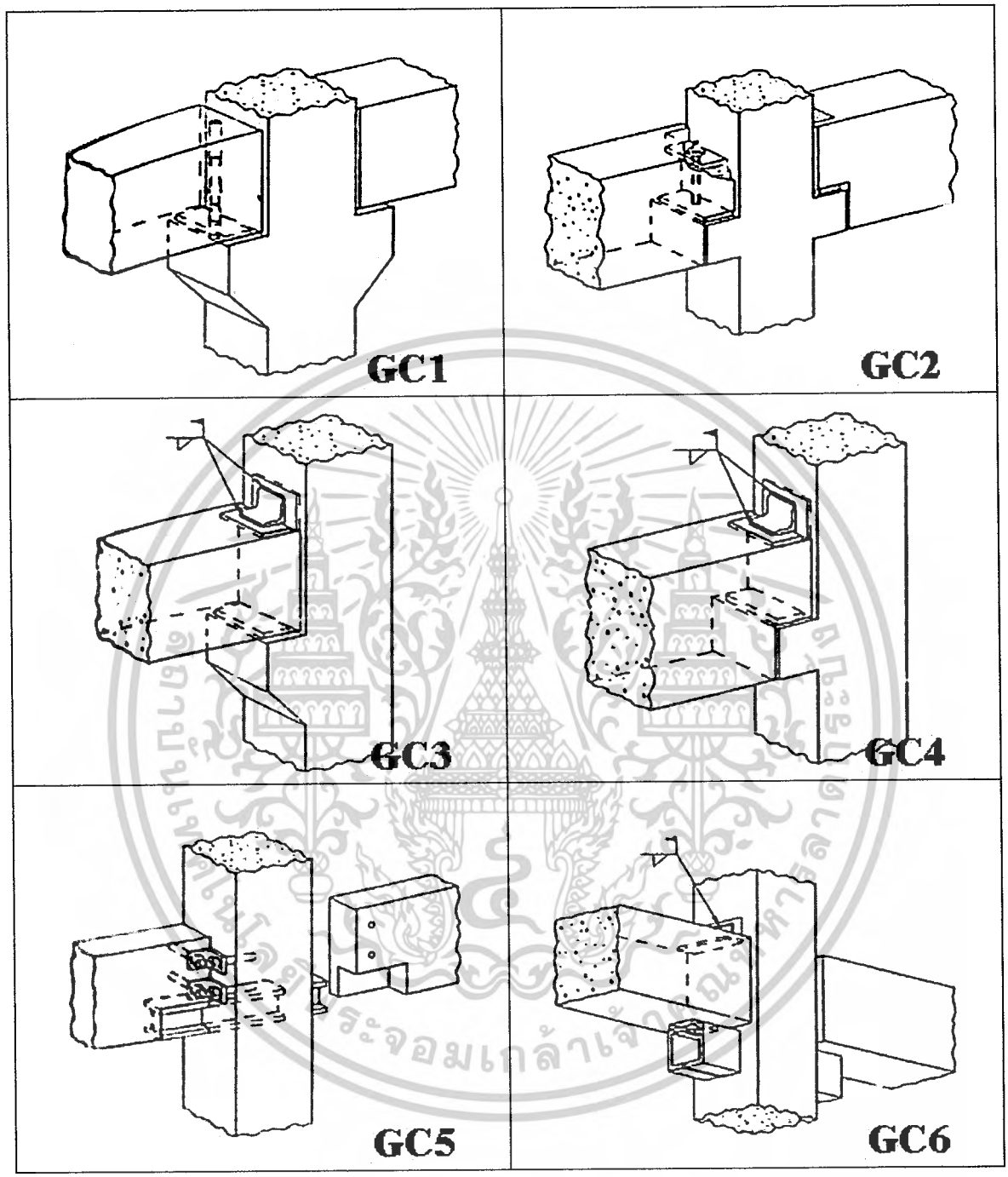
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



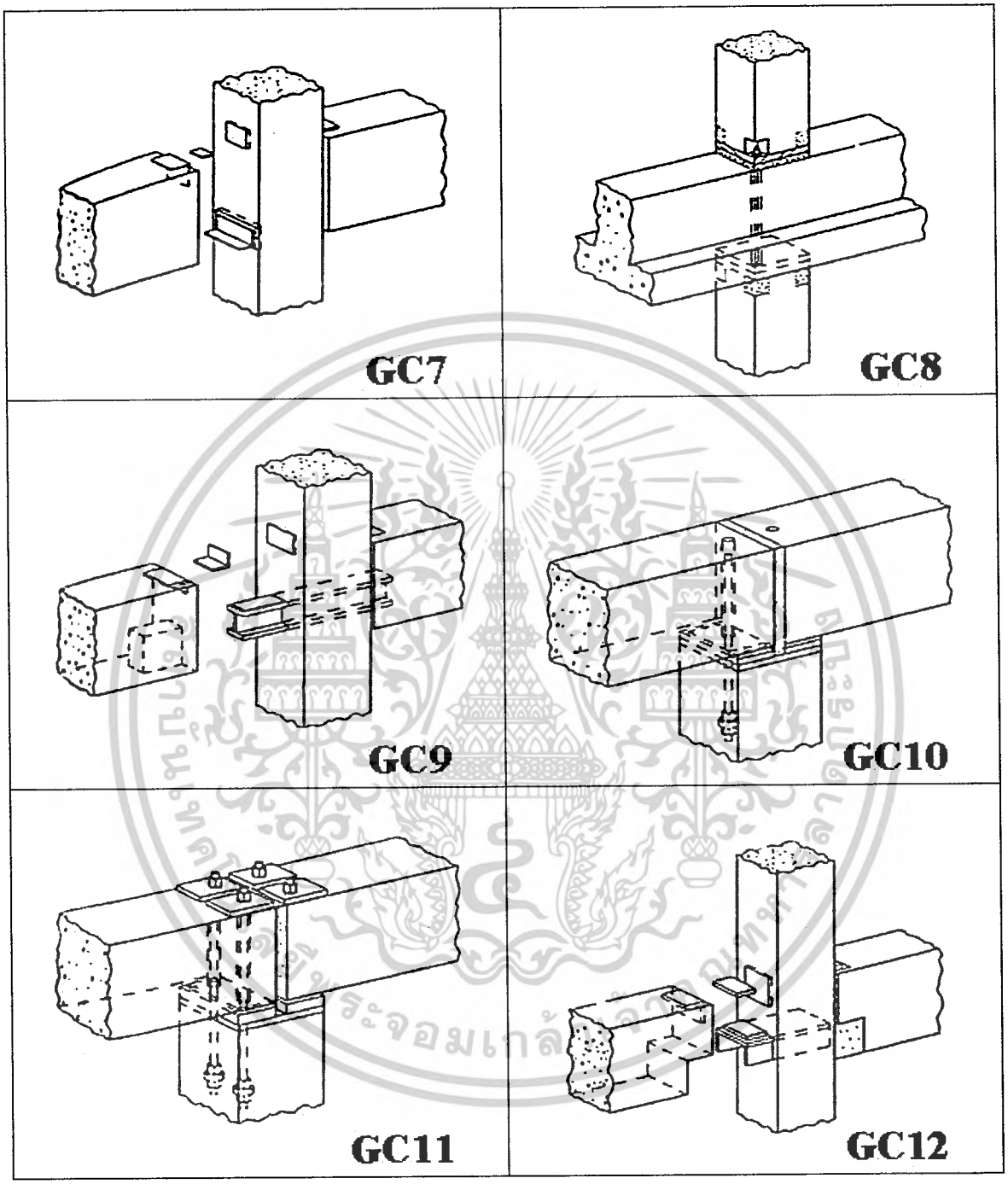
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



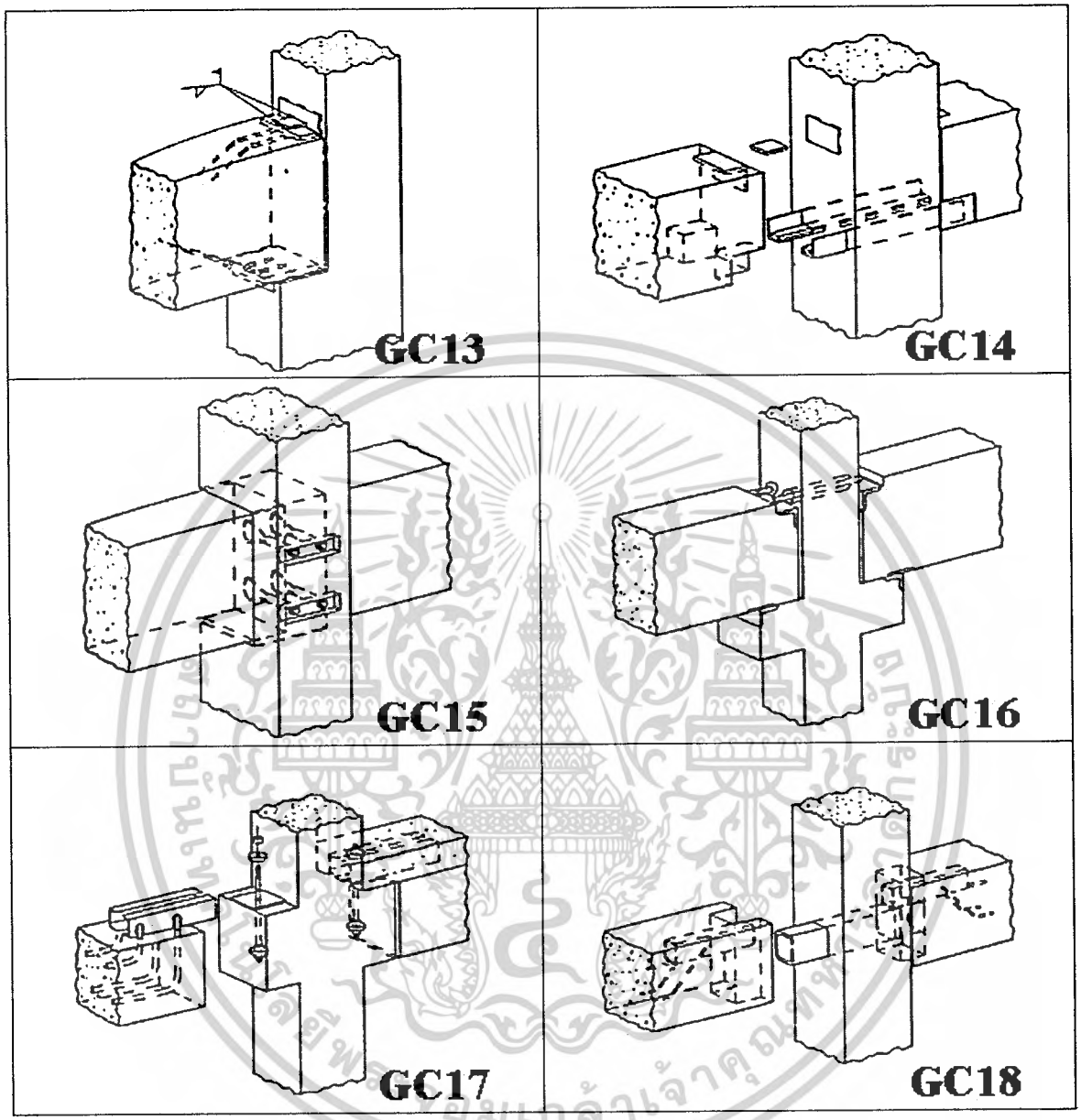
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



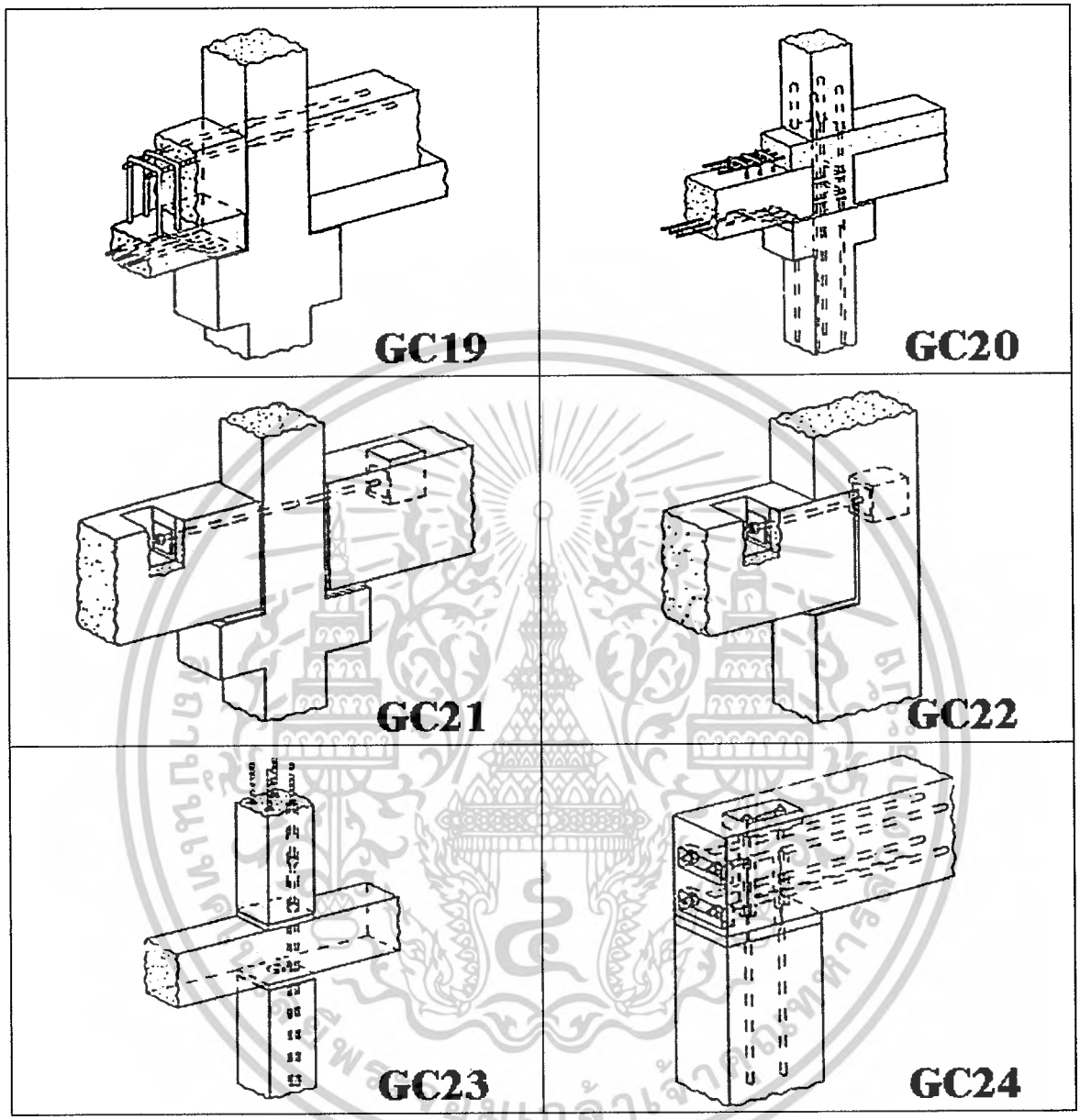
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



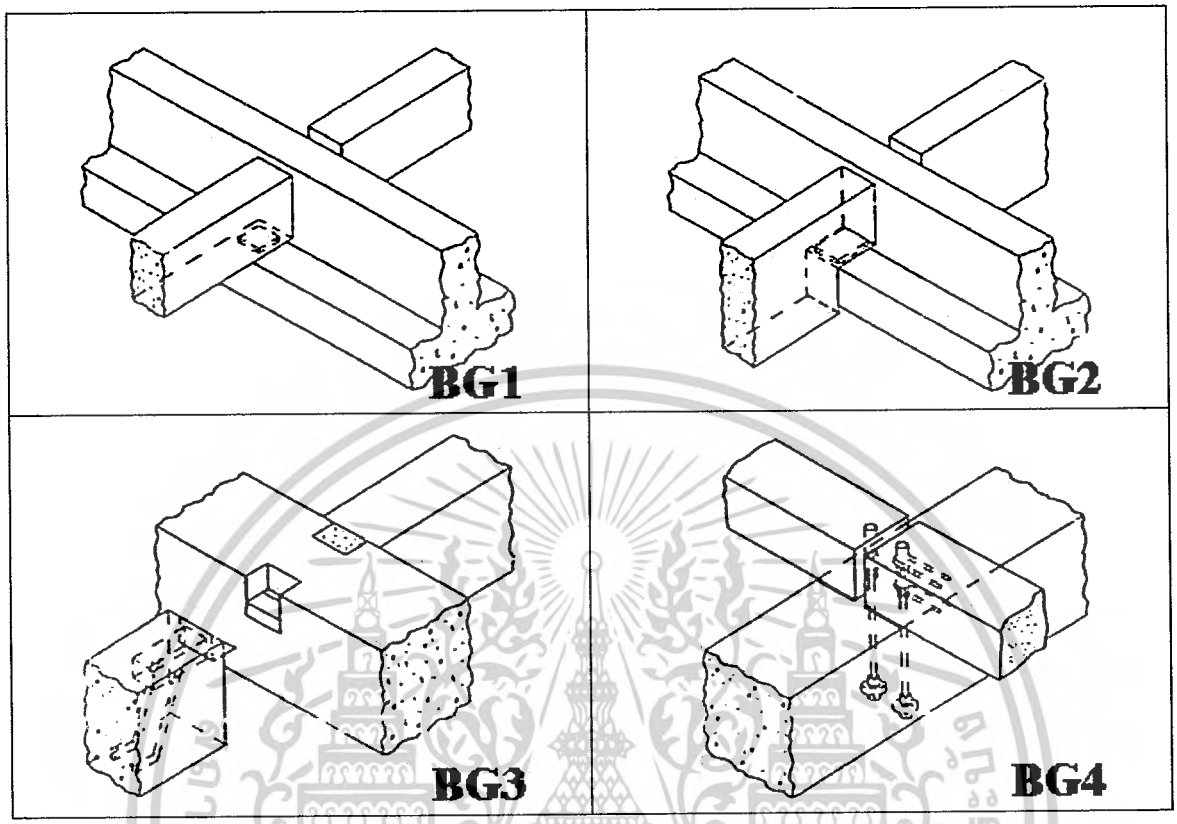
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



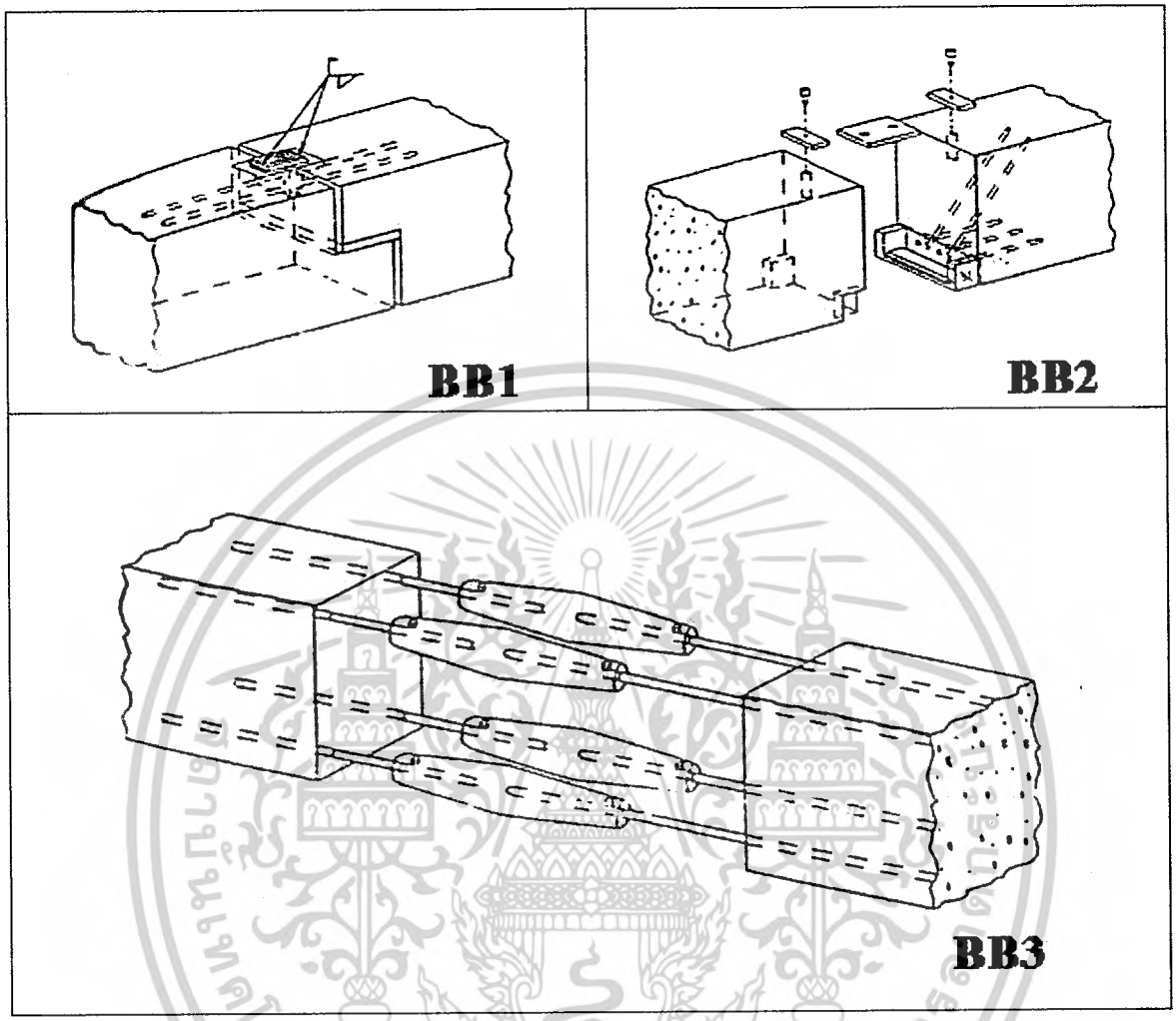
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



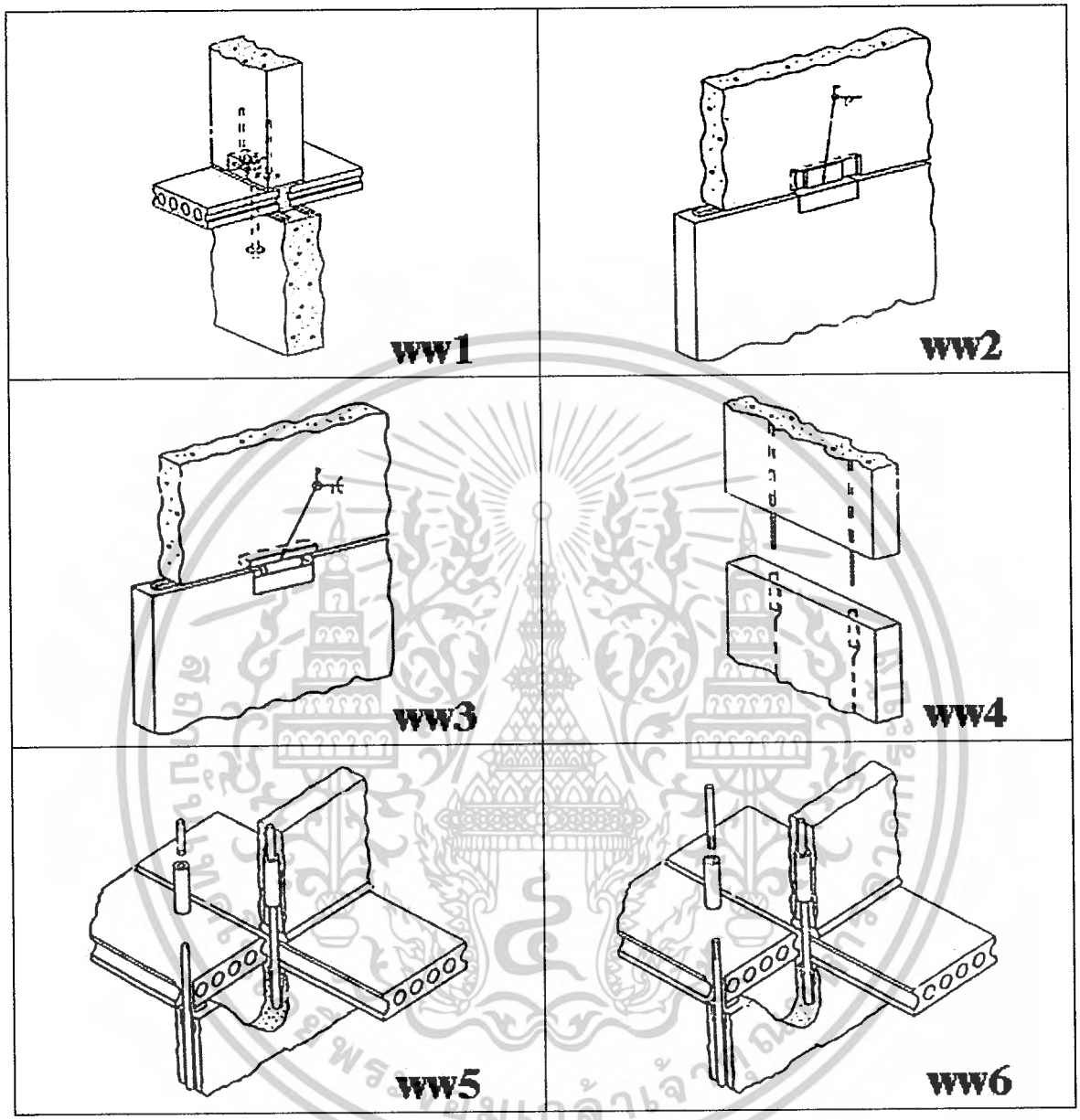
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



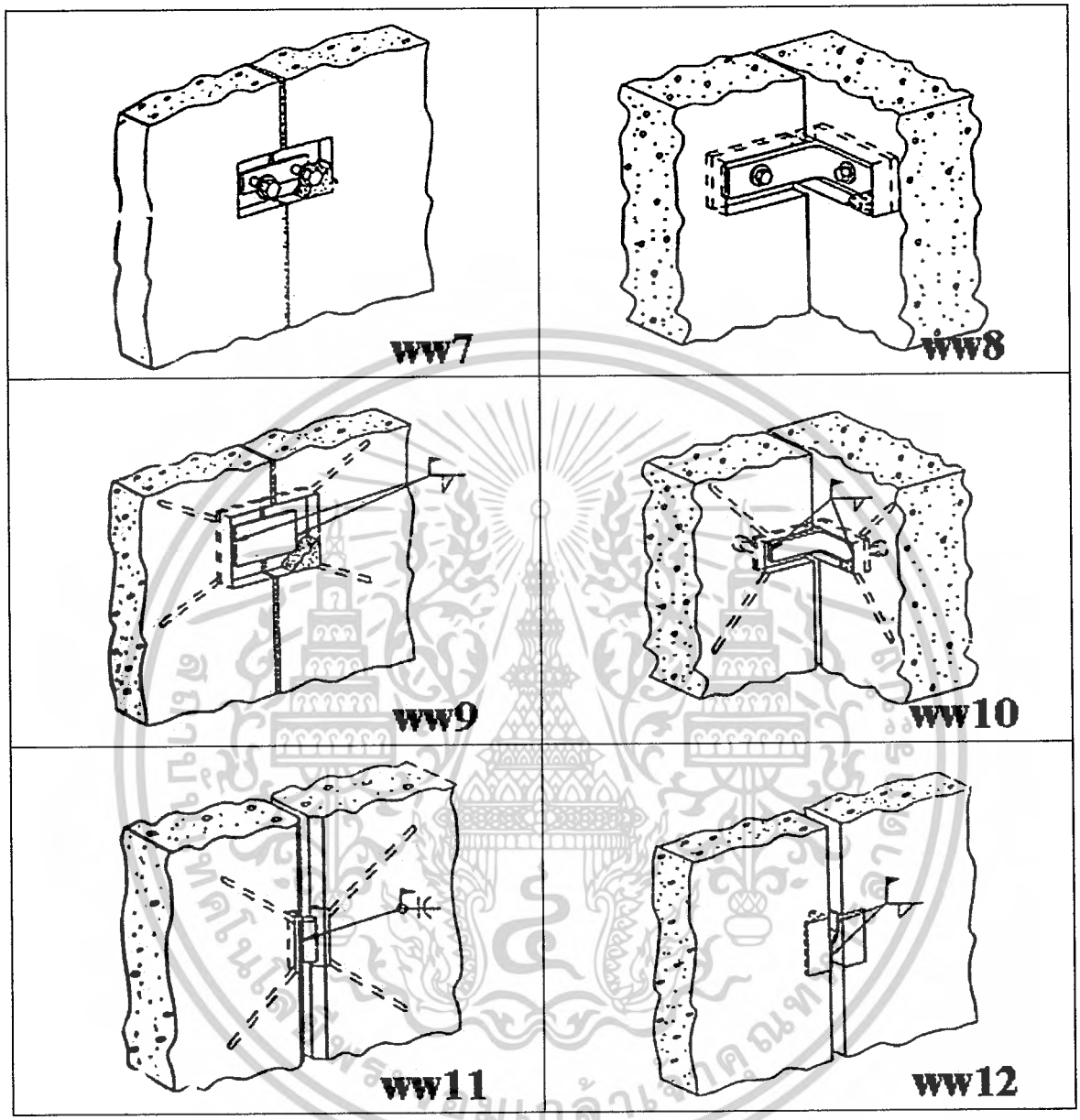
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



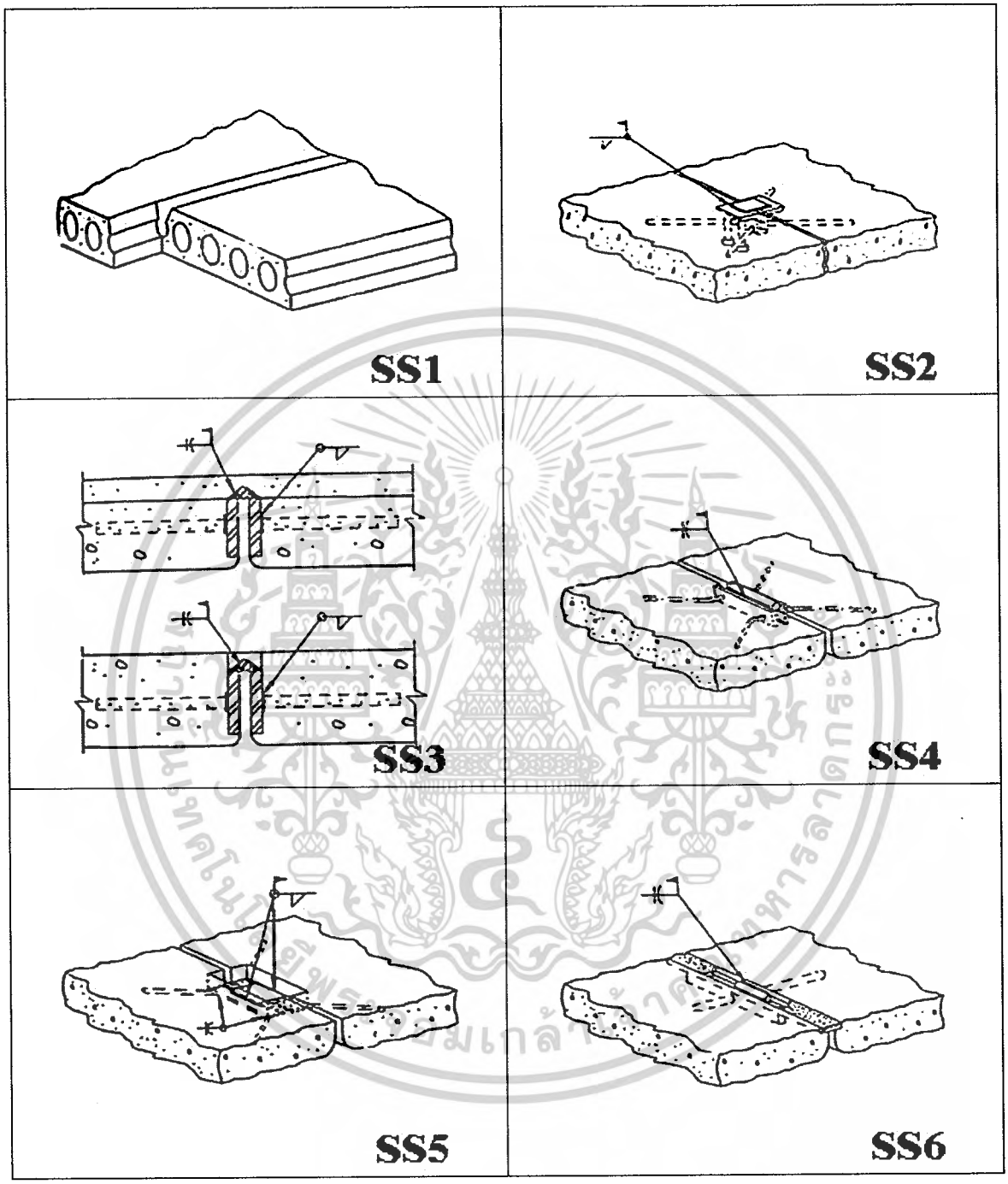
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



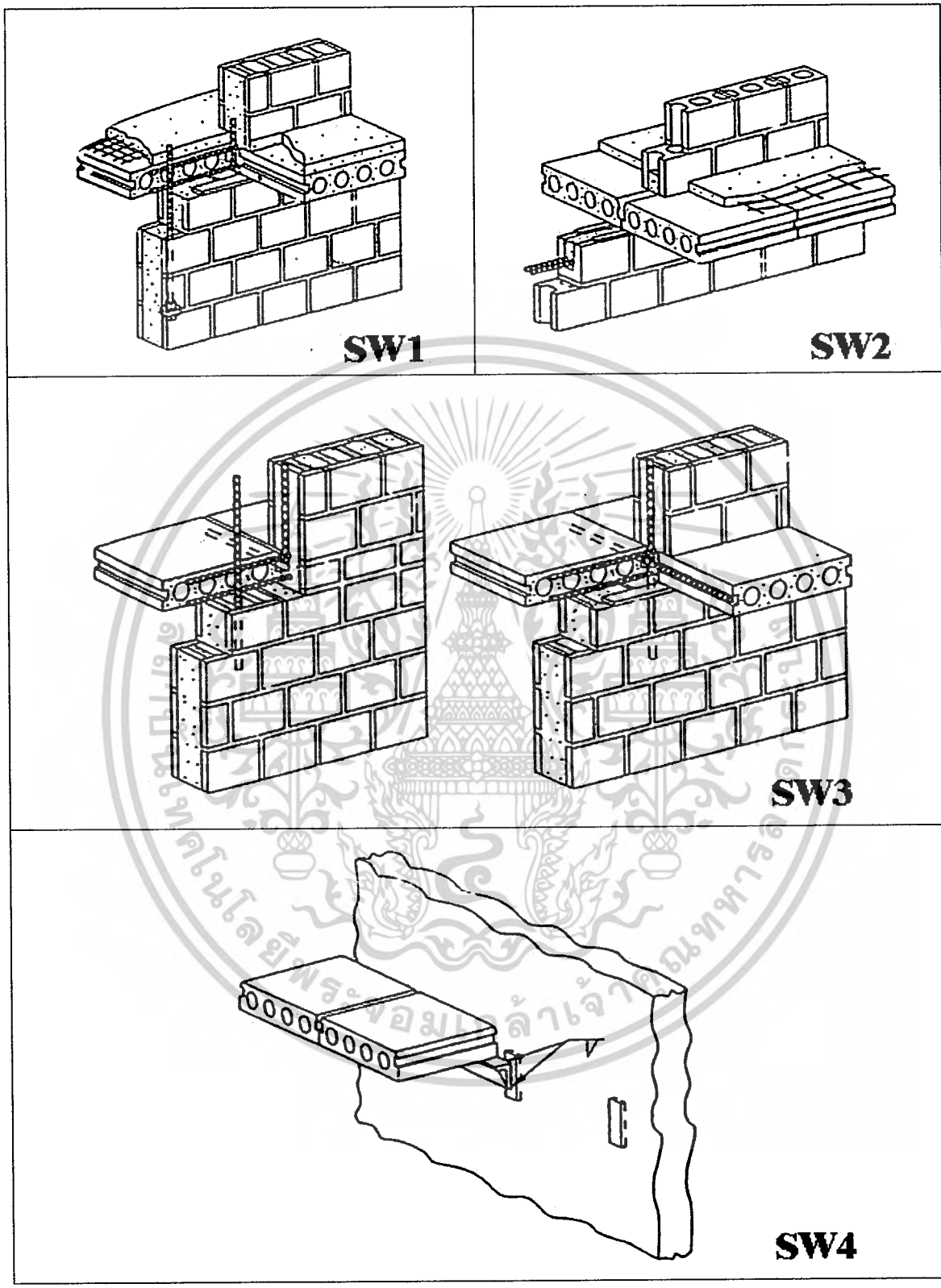
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



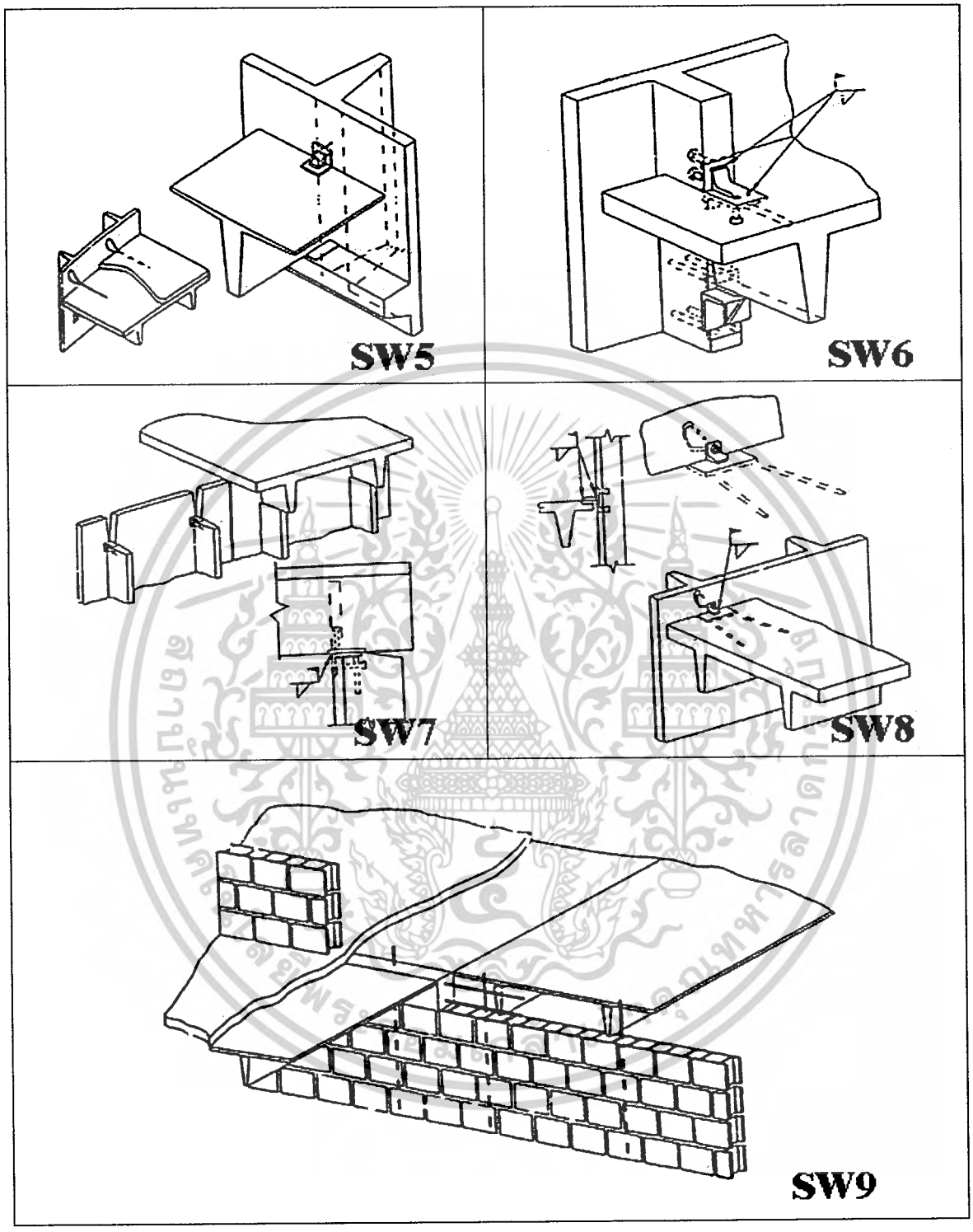
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



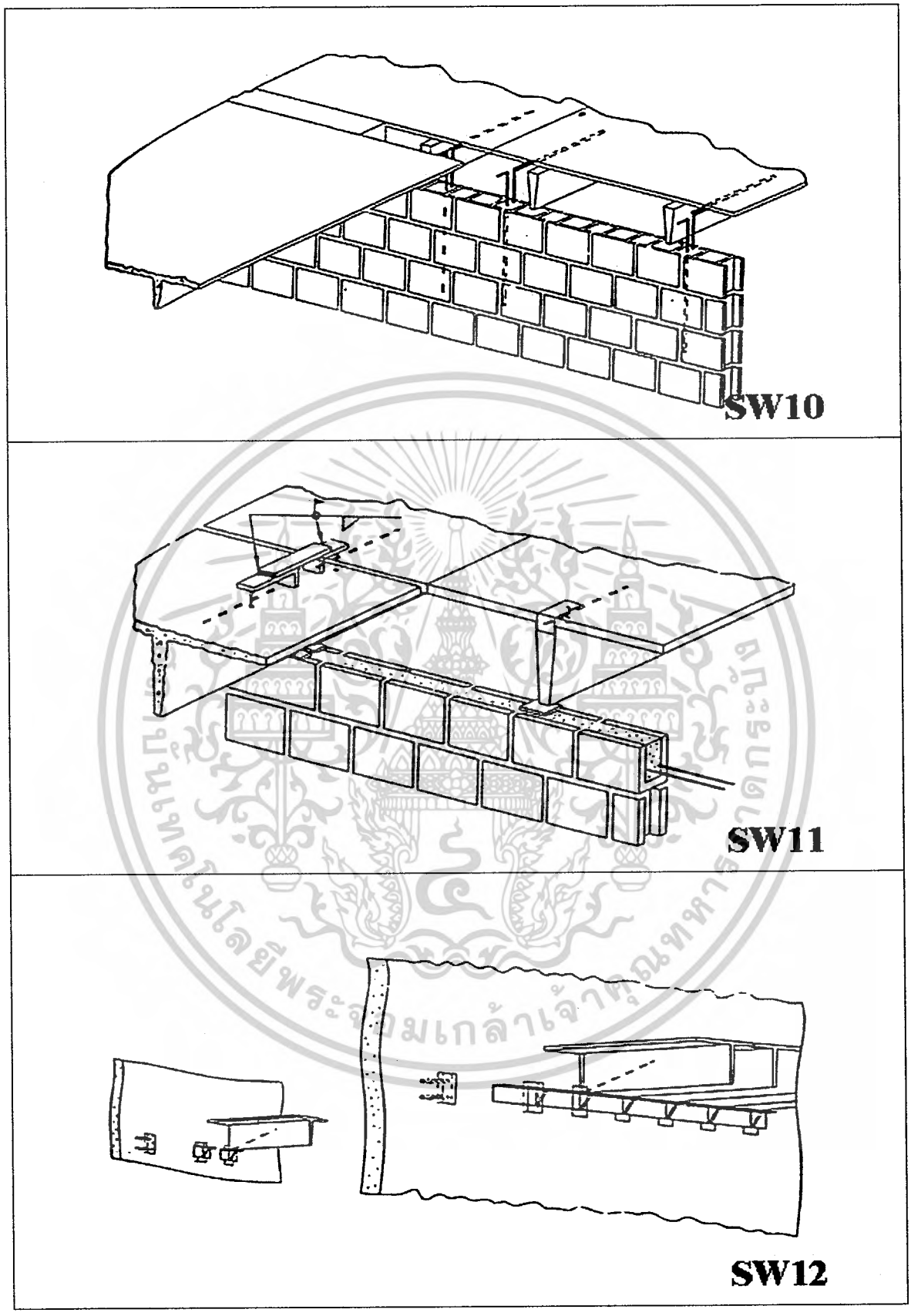
รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปข้อต่อในแบบต่างๆ (16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป

ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.5.1 การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

- การจัดทำโครงงานหรือลานหล่อ
- การจัดทำแบบหล่อ
- การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2.5.2 การเก็บสต๊อกและการขนส่ง

- การเก็บสต็อก
- การขนส่ง

2.5.3 การติดตั้งและประกอบจุดรอยต่อสำเร็จรูป

- การติดตั้ง
- การประกอบจุดรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การจัดเตรียมโรงงานสำหรับการผลิตนั้นมีความสำคัญมาก เพราะในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น ต้องใช้แรงงานมาก

ส่วนประกอบสำคัญของโรงงานคือ ลานหล่อ แบบหล่อ อุปกรณ์ยก และพื้นที่เก็บสต๊อก การจัดทำโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบ่งออกตามลักษณะของการใช้งานได้ 2 ลักษณะ

โรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบชั่วคราว ใช้พื้นที่ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างหรือบริเวณใกล้เคียงในการจัดทำโรงงาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขนส่งในระยะทางไกลๆ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการขนส่งขึ้น หรือรูปแบบของชิ้นส่วนสำเร็จรูปของอาคารมีปริมาณจำนวนหนึ่งเมื่อเสร็จโครงการก็ไม่มีการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปในลักษณะเช่นนี้อีกแล้ว

โรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบถาวร เป็นการจัดหาพื้นที่ทำโรงงานถาวรเพื่อใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป ที่มีปริมาณมากพอกับการลงทุน ไม่มีปัญหาด้านการขนส่งที่สำคัญต้องสามารถเปลี่ยนรูปแบบการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่างๆ ให้ได้ปริมาณมากพอและผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ส่วนงานโครงสร้างทั่วๆ ไปต้องใช้อยู่แล้ว เช่น เสาเข็ม แผ่นพื้นสำเร็จรูป

2.5.1.1 ลานหล่อ (Casting Yard)

ลานหล่อเป็นลักษณะของพื้นโรงงานที่ต้องมีคุณสมบัติคือ พื้นเรียบในแนวระนาบมีความคงทน แข็งแรงและไม่ทรุดตัว เป็นที่ใช้สำหรับการจัดตั้งแบบหล่อ เพื่อใช้ในการผลิตและเก็บสต๊อก

2.5.1.2 แบบหล่อ (Mould)

แบบหล่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโรงงาน เพราะแบบหล่อ จะเกี่ยวพันถึงการใช้ต้นทุนในการผลิต ความแม่นยำของขนาดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปและคุณภาพของชิ้นงาน การจัดเตรียมและเลือกใช้แบบหล่อ จะมีเงื่อนไขดังนี้

- ปริมาณของคอนกรีตที่จะทำให้สามารถรักษาขนาดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างแม่นยำในขบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Re-Used) และต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ
- ประกอบเข้ารูปตามรูปแบบของชิ้นส่วนสำเร็จรูป และน้ำปูนไม่รั่ว
- มีการยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตต่ำ (ถอดแบบง่าย) ทำความสะอาดง่าย
- การเคลื่อนย้ายสะดวก

2.5.1.3 การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่ง เพราะต้องใช้แรงงานมาก วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างจะอยู่ในขั้นตอนนี้ และรวมไปถึงการควบคุมคุณภาพด้วยงาน อาคารจะออกมาดีหรือไม่ ก็อยู่ที่ขั้นตอนนี้เพราะถ้าการผลิตชิ้นส่วนไม่ดีแล้วงานในขั้นตอนอื่นๆ ที่ตามมาก็จะดูไม่มีคุณภาพตามไปด้วย ขบวนการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นมีขั้นตอนต่างๆ ในขบวนการผลิตดังต่อไปนี้

- การประกอบแบบหล่อ เป็นการจัดแบบหล่อให้ได้รูปแบบและขนาดตามแบบที่กำหนดเพื่อการผลิต
- การทำงานเหล็กเสริม เป็นการจัดเตรียมเหล็กเสริมคอนกรีต สำหรับการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป
- การเทคอนกรีต
- การบ่มคอนกรีต เป็นการทิ้งช่วงเวลาไว้ให้คอนกรีตได้กำลังความแข็งแรงตามกำหนด
- การถอดแบบหล่อ เป็นการถอดแบบหล่อคอนกรีตหลังจากคอนกรีตมีความแข็งแรงตามกำหนด
- การเก็บชิ้นส่วนเข้าสต๊อก

2.5.1.4 วัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

วัสดุที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป คือ คอนกรีต เหล็กเสริม อุปกรณ์สำหรับประกอบจุดรอยต่อ อุปกรณ์สำหรับจุดยกและอุปกรณ์ของงานระบบไฟฟ้า-ประปา ที่จะฝังไว้ภายในผนัง (กรณีเดินสายและท่อภายในผนัง) เหล็กเสริมคอนกรีตชิ้นส่วนสำเร็จรูป สำหรับแผ่นพื้นและแผ่นผนังจะเป็นเหล็กตะแกรงสำเร็จรูปไม่ต้องใช้ลวดผูกเหล็ก เพียงแต่ตัดเหล็กให้ได้ตามรูปและขนาดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเท่านั้น และสำหรับเหล็กเสริมคานสำเร็จรูปจะใช้เหล็กเส้นธรรมดาและลวดผูกเหล็กผูกให้ขึ้นรูปตามแบบ ประการสำคัญสำหรับการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น กำลังของคอนกรีตจะต้องใช้กำลังสูงกว่าที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ เช่น ผู้ออกแบบกำหนดกำลังของคอนกรีตไว้ 240 กก./ตร.ซม. เนื่องมาจากการยกชิ้นส่วนและขนส่งภายในระยะเวลา 8- 10 ชั่วโมง ซึ่งต้องการกำลังของคอนกรีตในขณะเวลายกและขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 150 กก./ตร.ซม. และชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยทั่วไปจะไม่ผ่านการบ่มตามกระบวนการ เพราะจะทำให้สูญเสียเวลาในการก่อสร้างจึงต้องใช้คอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่าที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้

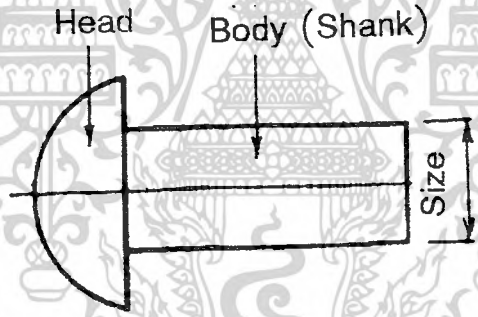
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การต่อโครงสร้างโดยใช้ตัวยึด

การต่อโครงสร้างโดยใช้ตัวยึด เช่น ใช้หมุดน้ำหรือสลักเกลียว เป็นการต่อยึดชิ้นส่วนของโครงสร้างหลาย ๆ ชิ้นให้ติดกัน เพื่อให้รอยต่อสามารถรับและถ่ายแรงกระทำได้ตามต้องการ แรงที่กระทำต่อตัวยึดอาจเป็นแรงร่วมศูนย์ ซึ่งได้แก่ แรงดึง แรงเฉือนที่กระทำผ่านศูนย์ถ่วงของรอยต่อ หรือแรงเยื้องศูนย์ที่กระทำไม่ผ่านศูนย์ถ่วงของรอยต่อ ทำให้ตัวยึดต้องรับทั้งแรงดึงและแรงเฉือนร่วมกัน การออกแบบรอยต่อพิจารณาได้จากกำลังของตัวยึดเมื่อต้องรับแรงกระทำแบบต่าง ๆ และจัดตำแหน่งของตัวยึดให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

- หมุดย้ำ (Rivet)



รูปที่ 3.1 หมุดย้ำ

รูปที่ 3.1 แสดงรูปร่างทั่วไปของหมุดย้ำ หัวของหมุดย้ำอาจจะเป็นแบบหัวกลม (button head) ดังที่แสดง หรือเป็นแบบหัวแบน (countersunk head) ซึ่งจะใช้เมื่อมีช่องว่างจำกัด ส่วนตัวของหมุดย้ำมีรูปตัดกลม และสามารถตัดให้มีความยาวได้ตามต้องการ หมุดย้ำมี 3 เกรดมาตรฐานของ ASTM คือ A502 เกรด 1 (A502-1), A502 เกรด 2 (A502-2), และ A502 เกรด 3 (A502-3) มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 12 มม. จนถึง 36 มม.

หมุดย้ำชนิด ASTM A502-1 เป็นชนิดที่ใช้ทั่วไป ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน (มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.8%) มีกำลังจุดครากประมาณ 1950 กก./ซม.^{2} และกำลังต้านทานแรงดึงประลัยประมาณ 4000 กก./ซม.^{2} ส่วนหมุดย้ำชนิด ASTM A502-2 และ A502-3 ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน-แมงกานิส มีกำลังจัด

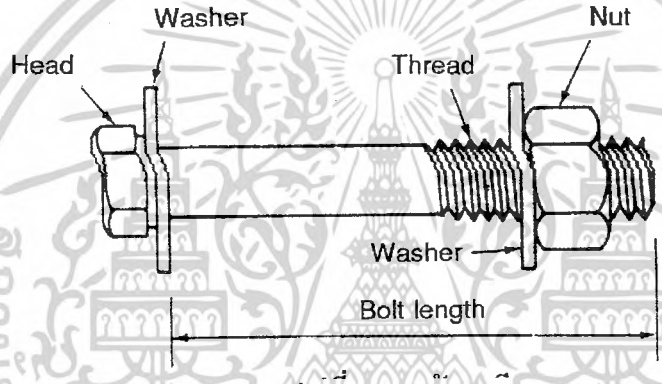
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรากประมาณ 2500 กก./ซม.² และกำลังต้านทานแรงดึงประลัยประมาณ 5500 กก./ซม.² (แต่ชนิด ASTM A502-3 จะทนต่อการผุกร่อนสูงมาก) นำมาใช้สำหรับต่อแผ่นโลหะที่ทำด้วยเหล็กกล้ากำลังสูง

การต่อส่วนของโครงสร้างด้วยหมุดย้ำ เป็นที่นิยมกันมากในสมัยแต่ก่อน แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้สลักเกลียวกำลังสูงเพราะทำรอยต่อได้ง่ายกว่า รวดเร็วกกว่าและประหยัดกว่า

- สลักเกลียว

รูปที่ 3.2 แสดงรูปร่างทั่วไปของสลักเกลียว หัวของสลักเกลียวอาจเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือแบบหกเหลี่ยม มีแหวนรอง และทำเกลียวที่ปลายสำหรับขันนอตเพื่อยึดชิ้นส่วน



รูปที่ 3.2 สลักเกลียว

สลักเกลียวที่ใช้ทำรอยต่อในโครงสร้างเหล็กมี 2 ชนิด คือสลักเกลียวชนิดธรรมดา (unfinished bolt) และสลักเกลียวชนิดกำลังสูง (high-strength bolt)

สลักเกลียวชนิดธรรมดา คือชนิด ASTM A307 ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีกำลังต้านทานแรงดึงประลัยประมาณ 4200 กก./ซม.² เป็นชนิดที่นำมาใช้รับแรงสถิตในโครงสร้างขนาดย่อม ซึ่งรอยต่อไม่รับแรงสั่นทะเทือนหรือกระแทก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 12 มม. (1/2") ถึง 38 มม. (1 ½")

สลักเกลียวชนิดกำลังสูง ได้แก่ชนิด ASTM A325 A449 และ A490 สลักเกลียวชนิด ASTM A325 และ A449 ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง-ชุบแข็ง มีกำลังต้านทานแรงดึงประลัยสูงกว่าสลักเกลียวชนิดธรรมดา โดยมีแรงดึงที่จุดดรากประมาณ 5600 ถึง 6350 กก./ซม.² และมีกำลังดึงประลัยประมาณ 7250 ถึง 8300 กก./ซม.² ขึ้นกับขนาดของสลักเกลียว ส่วนสลักเกลียวชนิด A490 ทำจากเหล็กกล้าประสม-ชุบแข็ง มีหน่วยแรงดึงที่จุดดรากประมาณ 7950 ถึง 8970 กก./ซม.² ขึ้นกับขนาดของสลักเกลียว สลักเกลียวชนิด ASTM A325 และ A490 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 12 มม. (1/2") ถึง 38 มม. (1 ½") ส่วนสลักเกลียวชนิด ASTM A449 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 38 มม. ถึง 76 มม. ปัจจุบันนิยมใช้สลักเกลียวกำลัง

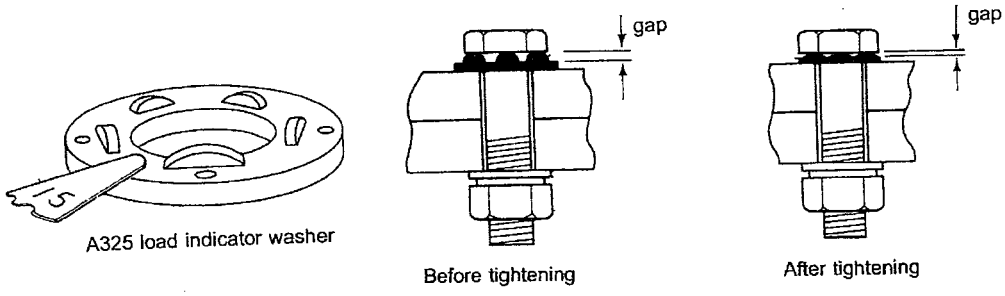
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง เพราะสามารถใช้แทนหมุดย้ำได้ เนื่องจากมีกำลังรับแรงมากกว่าหมุดย้ำ และสามารถนำมาใช้ได้กับรอยต่อที่มีการสั่นสะเทือน กระแทก และที่ต้องรับแรงกระทำซ้ำซาก เช่นรอยต่อโครงสะพาน รอยต่อที่ต้องรับแรงดึงโดยตรง ทั้งนี้ขึ้นอยู่วิธีขันนอตของสลักเกลียว ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบขันแน่นพอดี (snug-tight) และแบบขันแน่นมาก (fully tensioned)

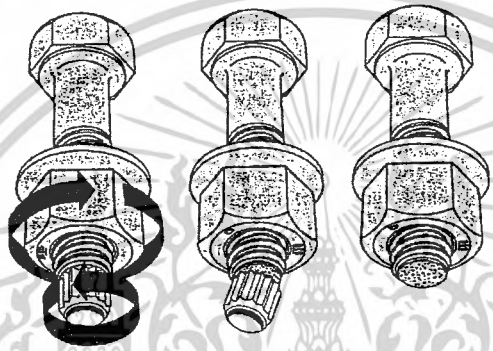
การขันนอตให้แน่นพอดี (snug-tight) อาจใช้ประแจแบบธรรมดาที่ขันด้วยแรงคน หรือใช้ประแจชนิด impact wrench เพื่อให้ชิ้นส่วนที่นำมาต่อสัมผัสกัน โดยมีแรงดึงในตัวสลักเกลียวบ้างเพียงเล็กน้อย ซึ่งรอยต่อจะขยับหรือเลื่อนตัวได้บ้างต่อเมื่อมีแรงกระทำ ลักษณะนี้รอยต่อจะยึดแบบรับแรงกดดัน (bearing type)

ส่วนการขันนอตให้แน่นมาก (fully tensioned) เพื่อมิให้รอยต่อขยับหรือเลื่อนตัวได้เลยเมื่อรับแรงกระทำใช้งาน ต้องขันนอตให้สลักเกลียวแต่ละตัวรับแรงดึงเริ่มแรกได้ประมาณร้อยละ 70 ของกำลังดึงประลัยของตัวสลักเกลียว ซึ่งทำได้โดย ก) วิธี turn-off-the-nut ขันนอตต่อไปอีกให้ได้จำนวนรอบตามที่ระบุ ข) วิธี Calibrating Wrench ขันนอตต่อไปด้วย Torque Wrench ซึ่งมีสเกลบอกกำลังหรือแรงที่ใช้ขัน ค) ใช้แหวนรองบอกแรงดึงที่เรียกว่า Calibrated Bolt Assemblies แบบนี้ต้องใช้เครื่องขันแบบเฉพาะ ซึ่งเมื่อขันได้ที่ ปลายของสลักเกลียวที่ต่อไว้พิเศษจะขาดและหลุดออก รอยต่อยึดในลักษณะนี้ แต่เดิมเรียกว่า รอยต่อแบบรับแรงฝืด (friction type) ปัจจุบันเรียกว่า รอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต (slip-critical connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) Direct Tension Indicator : DTI



ข) Calibrated Bolt Assemblies

รูปที่ 3.3 ลักษณะการขันน็อตในแบบต่างๆ

ลักษณะของการต่อยึดชิ้นส่วน

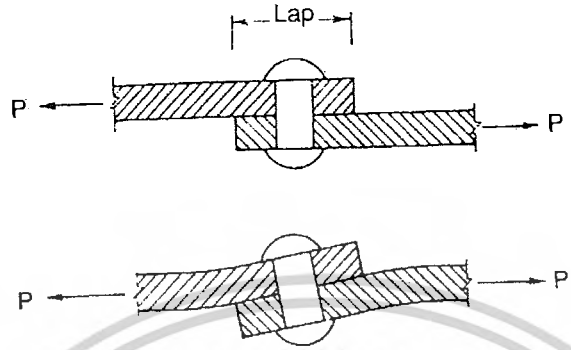
การต่อยึดชิ้นส่วนได้จากการสอดหมุดย้ำที่ร้อนแดง หรือสลักเกลียวผ่านรูเจาะที่เตรียมไว้ แล้วจึงย้ำปลายหมุดย้ำด้วยเครื่องย้ำให้เป็นรูปโค้งกลมหรือรูปแบนที่ใหญ่ขึ้น หรือทำการขันนอตที่ปลายสลักเกลียวให้แน่นพอดีหรือแน่นมาก (ตามที่กล่าวข้างต้น) เพื่อให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างได้แยกจากกัน ทั้งนี้ รูเจาะที่เตรียมไว้อาจเป็นรูเจาะมาตรฐาน หรือรูเจาะที่ใหญ่กว่ามาตรฐาน หรือรูเจาะแบบร่องสั้น หรือรูเจาะแบบร่องยาว แต่การพิจารณาในที่นี้จะถือว่าเป็นรูเจาะมาตรฐาน (standard hole) ซึ่งขนาดรูเจาะที่ระบุของสลักเกลียว (nominal dimension of hole) จะใหญ่กว่าขนาดของตัวยึด 1/16 นิ้ว (ประมาณ 1.5 มม.) เมื่อตัวยึดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 5/8 นิ้ว แต่ถ้าตัวยึดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 5/8 นิ้ว ขนาดรูเจาะที่ระบุของสลักเกลียวจะใหญ่กว่าขนาดของตัวยึด 1/8 นิ้ว (ประมาณ 3 มม.)

ลักษณะของการต่อชิ้นส่วนโดยใช้ตัวยึดอย่างง่ายที่สุด มี 2 ลักษณะ คือ

1. ต่อแบบทาบ (Lap Joint) โดยนำแผ่นโลหะที่จะต่อมาวางซ้อนหรือทาบกับอีกแผ่นหนึ่งแล้วเจาะรูสอดใส่ตัวยึดให้ยึดต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ลักษณะการต่อยึดแบบนี้รอยต่ออาจต้องรับแรงเยื้องศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

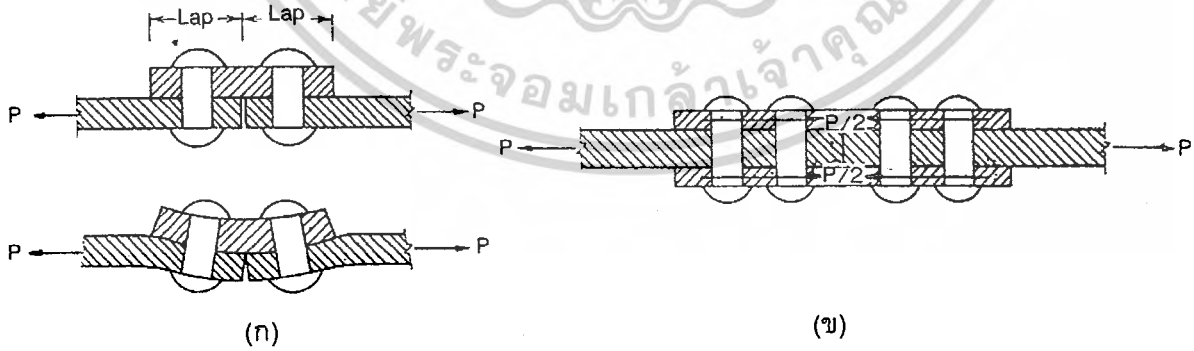
(eccentricity) จึงเกิดการดัดดังที่แสดง ซึ่งทำให้เกิดกำลังรับแรงของรอยต่อลดลง แก้ไขได้โดยใช้ตัวยึดอย่างน้อยสองตัวในหนึ่งแถว



รูปที่ 3.4 การต่อแบบทาบ

2. ต่อแบบประกับ (Butt Joint) เป็นการนำแผ่นโลหะที่จะต่อกันมาวางชนกัน แล้วใช้แผ่นเหล็กประกับเดี่ยวหนึ่งแผ่น (single cover butt joint) ทาบกับแผ่นโลหะที่จะต่อ เจาะรูใส่ตัวยึดเพื่อยึดให้ติดกัน ดังรูปที่ 3.5 (ก) รอยต่อแบบนี้จะทำให้เกิดการดัดเนื่องจากการเยื้องศูนย์ ส่วนในรูปที่ 3.5 (ข) เป็นการต่อโดยใช้แผ่นเหล็กประกับคู่ (double cover butt joint) ซึ่งรอยต่อแบบนี้ไม่มีการเยื้องศูนย์ เนื่องจากทำการต่อแบบสมมาตร ฉะนั้นการต่อในลักษณะนี้จึงได้รับความนิยมมากกว่า

การต่อยึดส่วนของโครงสร้างอาจใช้ตัวยึดเพียงแถวเดียว (เรียกว่าแบบ chain) หรือใช้ตัวยึดมากกว่าหนึ่งแถวและต่อยึดเยื้องกัน (เรียกว่าแบบ zigzag) ดังรูปที่ 6.6 อย่างไรก็ดี ต้องใช้ตัวยึดที่ขนานกับแนวแรงอย่างน้อยสองตัวในหนึ่งแถว



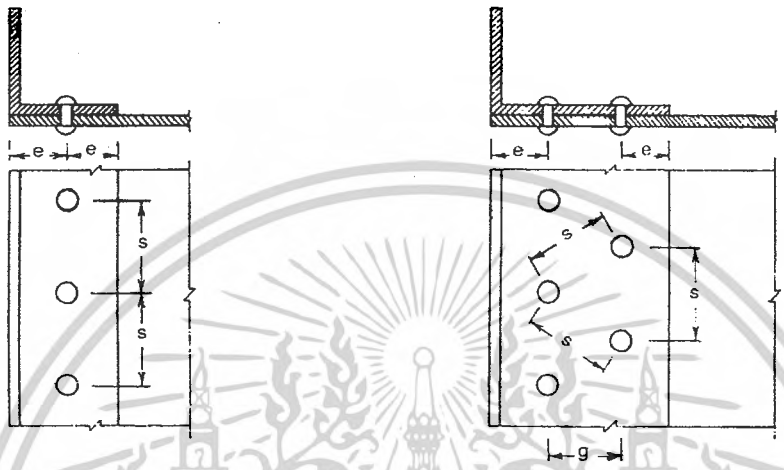
รูปที่ 3.5 การต่อแบบประกับ

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของตัวยึดหรือรูเจาะในแนวที่ขนานกับแนวแรง เรียกว่า pitch ใช้อักษรย่อเป็น “s”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของตัวยึดหรือรูเจาะในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแรง เรียกว่า gage ใช้อักษรย่อเป็น “g” และเรียกแถวของตัวยึดที่ขนานกับแนวแรงว่า gage line

ระยะห่างระหว่างขอบของชิ้นส่วนกับศูนย์กลางของตัวยึด หรือรูเจาะตัวนอกสุด เรียกว่า ระยะขอบ (edge distance) ใช้อักษรย่อเป็น “e”



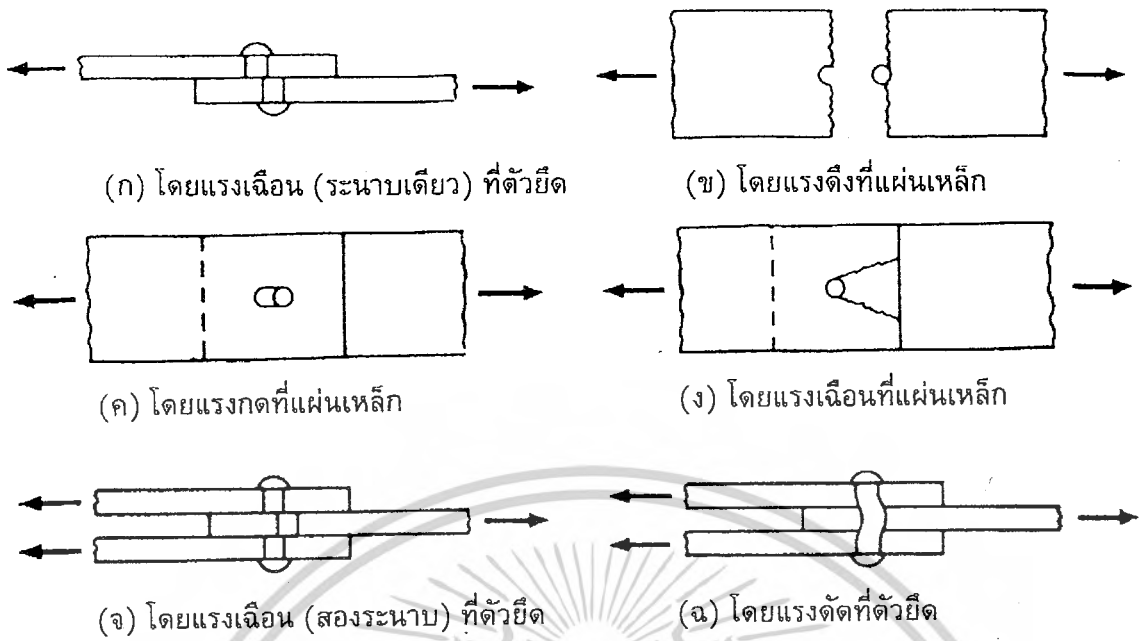
แบบ chain แบบ zigzag

รูปที่ 3.6 ระยะห่างระหว่างตัวยึด

3.2 ลักษณะวิบัติของรอยต่อยึด

การวิบัติของรอยต่อที่ยึดต่อกันด้วยตัวยึด (หมุดย้ำหรือสลักเกลียว) อาจเกิดขึ้นที่ตัวยึด (fasteners) หรือที่แผ่นโลหะที่นำมาต่อ (connected parts) ก็ได้ ดังตัวอย่างเช่น การต่อชิ้นส่วนโครงสร้างให้รับแรงดึง ในรูปที่ 3.7 ซึ่งแสดงลักษณะวิบัติที่อาจเกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลักษณะวิบัติของรอยต่อยึด

การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Failure) ที่ตัวยึด เนื่องจากใช้ขนาดของตัวยึดเล็กไป หรือใช้จำนวนตัวยึดน้อยไป ทำให้ตัวยึดมีกำลังต้านทานแรงเฉือนไม่เพียงพอในการส่งถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วน ฉะนั้นตัวยึดจึงถูกเฉือนขาด

ในการถ่ายแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งให้กับอีกชิ้นส่วนหนึ่ง จะเห็นว่าตัวยึดต้องรับแรงเฉือน เช่นในรูป (ก) เป็นการต่อทาบซึ่งมีการถ่ายแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งให้กับอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ดังนั้นตัวยึดจึงรับแรงเฉือนเพียงระนาบเดียว (single shear) ส่วนในรูป (จ) เป็นการถ่ายแรงจากชิ้นส่วนหลัก (main member) ให้กับแผ่นเหล็กประกับ (gusset plate) สองชิ้นที่ประกบกับชิ้นส่วนหลัก ในลักษณะนี้ ตัวยึดต้องรับแรงเฉือนสองระนาบ (double shear) ซึ่งค่าแรงเฉือนในแต่ละระนาบที่ตัวยึดต้องต้านทานขึ้นกับแรงที่ถ่ายให้กับแผ่นเหล็กประกับ

ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในตัวยึดพิจารณาโดยใช้เนื้อที่หน้าตัดของส่วนตัวยึดที่อยู่ในระนาบของการเฉือน หากเกลียวของตัวยึดอยู่ในระนาบของการเฉือนจะพบว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่ามากขึ้น หรือในทางตรงกันข้ามคือ ตัวยึดมีกำลังต้านแรงเฉือนลดลง การวิบัติแบบนี้สามารถป้องกันได้โดยเพิ่มขนาดหรือจำนวนของตัวยึดให้มากขึ้น

การวิบัติเนื่องจากแรงกด (Bearing Failure) อาจเกิดที่ตัวยึดหรือที่รูเจาะของแผ่นเหล็กตรงผิวสัมผัสกับตัวยึด สาเหตุเพราะรอยต่อนั้นมีการขยับหรือเลื่อนตัวของชิ้นส่วนในขณะที่รับแรงกระทำ เป็นเหตุให้เกิดหน่วยแรงกด (Bearing Stress) ตรงผิวสัมผัสนั้น หากพิจารณาว่าเมื่อรอยต่อมีการขยับหรือเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว และให้อย่างน้อยครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูปของตัวยึดต้องสัมผัสกับชิ้นส่วนที่นำมาต่อ จะพบว่า หน่วยแรงกดสูงสุดเกิดขึ้นตรงกึ่งกลางตัวยึดในแนวที่รับแรงกระทำ และมีค่าเป็นศูนย์ตรงขอบด้านข้างของตัวยึด แต่เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นจึงพิจารณาหาค่าหน่วยแรงกดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น โดยคิดว่าแรงกดนั้นกระทำบนพื้นที่ฉายตรง (Projected Area) ที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งได้จากความหนาแน่นของแผ่นเหล็กคูณกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด ดังนั้นหากรอยต่อใช้เหล็กแผ่นบางเกินไปจนไม่สามารถต้านทานหน่วยแรงกดอัดได้ แผ่นเหล็กจะถูกกดหรือบดอัดจนยู่ ตามแสดงในรูป (ค) แต่สามารถป้องกันการวิบัติแบบนี้ได้โดยเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กให้สอดคล้องกับขนาดของตัวยึด

การวิบัติจากการเฉือนขาด (Tear Out Failure) ที่แผ่นเหล็กซึ่งนำมาต่อยึด ดังรูป (จ) สาเหตุเป็นเพราะใช้แผ่นเหล็กบางไปหรือทำรูเจาะใกล้กับขอบหรือปลายของแผ่นเหล็กน้อยเกินไป ทำให้แผ่นเหล็กนั้นมีพื้นที่หลังตัวยึดไม่พอที่จะต้านแรงเฉือน จึงถูกเฉือนขาดตามที่แสดง วิธีการป้องกันการวิบัติแบบนี้ทำได้โดยเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กหรือทำรูเจาะโดยให้มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะถึงขอบหรือปลายชิ้นส่วนให้มากขึ้น (ปกติไม่น้อยกว่า 1.5 ถึง 2.0 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด)

การวิบัติจากการดึงขาด (Cracking of Fracture Failure) ที่แผ่นเหล็กซึ่งนำมาต่อยึด ดังรูป (ข) สาเหตุเป็นเพราะแผ่นเหล็กนั้นมีเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลหรือระยะห่างระหว่างตัวยึดน้อยไป จึงไม่สามารถต้านแรงดึงที่กระทำได้ แต่สามารถป้องกันการวิบัติแบบนี้ได้โดยเพิ่มขนาดของแผ่นเหล็กหรือจัดตำแหน่งของรูเจาะเสียใหม่

การวิบัติจากการดัด (Bending Failure) ที่ตัวยึด เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวยึดค่อนข้างชะลูดหรือยาวเกินไป เป็นเพราะต้องใช้ยึดเหล็กแผ่นหลายชิ้นที่หนามากเข้าด้วยกันโดยคิดแต่กำลังต้านแรงเฉือนที่ตัวยึดต้องรับหรือต้านทานเท่านั้น ดังนั้นตัวยึดจึงเกิดการโก่งโค้งงอ ดังแสดงในรูป (ฉ) แต่สามารถป้องกันได้โดยเลือกใช้ขนาดของตัวยึดให้เหมาะสม

การวิบัติจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (Block Shear) ที่แผ่นเหล็ก เมื่อต้องรับทั้งแรงดึงและแรงเฉือนร่วมกัน ตามที่กล่าวในเรื่องส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึง แต่สามารถป้องกันการวิบัติแบบนี้ได้โดยจัดตำแหน่งของรูเจาะเสียใหม่

จากลักษณะวิบัติต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับรอยต่อที่ต่อด้วยตัวยึด ดังที่กล่าวข้างต้น ดังนั้น เมื่อต้องพิจารณาออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง ผู้ออกแบบจะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษเพื่อป้องกันมิให้เกิดการวิบัติที่รอยต่อยึด หรือที่ชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ประเภทของรอยต่อยึด

รอยต่อยึดในโครงสร้างเหล็กอาจจำแนกตามสภาพที่ตัวยึดต้องรับแรงได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) รอยต่อแบบรับแรงกด (Bearing Type) เป็นรอยต่อที่ขยับหรือเลื่อนตัว (Slip) ได้บ้างเมื่อรับแรงกระทำ กล่าวคือ ขณะที่ตัวยึด (หมุดย้ำหรือสลักเกลียว) ทำหน้าที่รับและถ่ายแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วน โดยสมมุติว่าไม่มีแรงเสียดทานระหว่างแผ่นเหล็ก แต่จากการขยับตัวของชิ้นส่วนซึ่งเลื่อนไปแตะสัมผัสกับตัวยึดจะทำให้เกิดหน่วยแรงกดระหว่างตัวยึดกับชิ้นส่วนด้วย นั่นคือ รอยต่อแบบนี้ต้องรับทั้งแรงเฉือนและแรงกด ดังรูปที่ 3.8 (ก) ฉะนั้น ถ้าให้ P เป็นแรงที่ใช้งานที่ส่งถ่ายระหว่างชิ้นส่วนซึ่งต่างมีความหนาเท่ากับ t และให้ d เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึดซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A จะได้ว่า

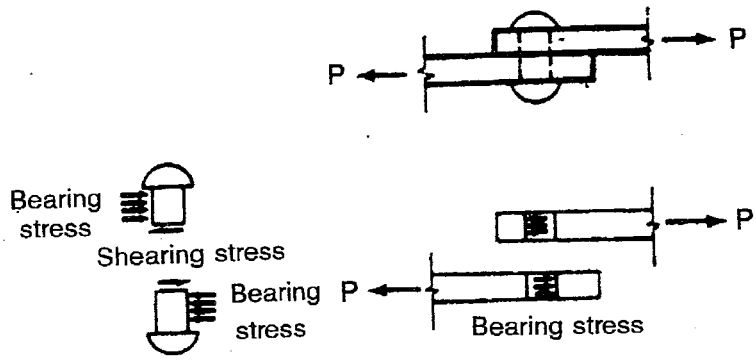
ก) ขนาดแรงเฉือนที่ตัวยึด : $f_v = \frac{P}{A_b} = \frac{P}{\pi d^2/4} \leq$ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v

หรือ กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของตัวยึด $= F_v A_b$

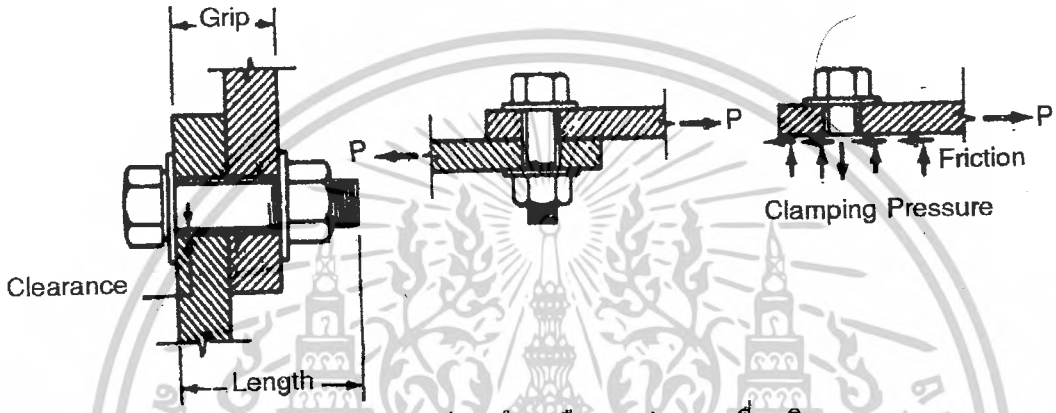
ข) หน่วยแรงเฉือนที่รูเจาะ : $f_p = \frac{P}{dt} \leq$ หน่วยแรงกดที่ยอมให้ F_p

หรือ กำลังรับแรงกดที่ยอมให้ที่รูเจาะ $= F_p dt$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) รอยต่อแบบรับแรงกด



(ข) รอยต่อแบบมีแรงฝืด หรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต

รูปที่ 3.8 รอยต่อแบบรับแรงกด และรอยต่อแบบมีแรงฝืดหรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต

2) รอยต่อแบบมีแรงฝืด (Friction-Type Connection) หรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต (Slip-Critical Connection) เป็นรอยต่อที่ถือว่าไม่มีการขยับหรือเลื่อนตัวของชิ้นส่วนในสภาวะที่รับแรงกระทำใช้งาน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการขันนอตแน่นมากโดยให้ตัวสลักเกลียวรับแรงดึงเริ่มแรกประมาณ 70% ของกำลังต้านทานแรงดึงประลัยของสลักเกลียวที่ใช้ ทำให้ชิ้นส่วนที่นำมายึดต่อกันแบบนี้จับยึดกันแน่นมากด้วยแรงหนีบ (clamping pressure : N) การรับและถ่ายแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนจึงอาศัยความต้านทานแรงฝืดหรือแรงเสียดทาน (friction : $F = \mu N$ โดยที่ μ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานในสภาวะสถิต ซึ่งขึ้นกับความสะอาดของพื้นผิวแผ่นโลหะและการเคลือบผิว หากพื้นผิวสะอาดปราศจากเกล็ดเหล็กและไม่ได้ทาสีจะถือเป็น class A ตามที่มาตรฐาน AISC กำหนด ซึ่งค่า μ จะเท่ากับ 0.33) ระหว่างแผ่นเหล็กนั้น ดังรูปที่ 3.8 (ข) ฉะนั้น เมื่อรอยต่อแบบนี้รับแรงกระทำใช้งาน จึงมีแต่แรงเฉือนที่ส่งถ่ายระหว่างชิ้นส่วนเพียงอย่างเดียว คือ

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ตัวยึด : } f_v = \frac{P}{A_b} = \frac{P}{\pi d^2/4} \leq \text{ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ } F_v$$

หรือ กำลังแรงเฉือนที่ยอมให้ของตัวยึด (เมื่อไม่มีการขยับหรือเลื่อนตัวของชิ้นส่วนในสภาวะที่รับแรงกระทำใช้งาน) $= F_v A_b$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดี หากแรงใช้งานที่กระทำมีค่ามาก (overload) ซึ่งทำให้แรงเฉือนที่ส่งถ่ายระหว่างชิ้นส่วนมีค่ามากเกินกว่าแรงเสียดทานหรือแรงฝืดตัวต้านทาน รอยต่อนั้นจะขยับหรือเลื่อนตัวได้ ซึ่งทำให้รอยต่อแบบนี้กลายเป็นรอยต่อแบบรับแรงกด ฉะนั้น ต้องพิจารณากำลังรับแรงของรอยต่อในสภาวะนี้ด้วย

3.4 ข้อกำหนดสำหรับรอยต่อยึดแบบรับแรงกด-มาตรฐาน AISC

กำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงเฉือนของตัวยึด

วิธี ASD : กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึด $= F_t A_b$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของตัวยึด $= F_v A_b$

ในที่นี้ F_t, F_b = หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ดังตารางที่ 6.1

A_b = เนื้อที่หน้าตัดของตัวยึด $\pi d^2 / 4$

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด

วิธี LRFD: กำลังรับแรงดึงประลัยของตัวยึด = $\phi F_t A_b$

กำลังรับแรงเฉือนประลัยของตัวยึด = $\phi F_v A_b$

ในที่นี้ F_t, F_v = หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงเฉือนประลัย ดังตารางที่ 6.2

A_b = เนื้อที่หน้าตัดของตัวยึด $\pi d^2 / 4$

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง = 0.75

ตารางที่ 3.1 ขนาดแรงเฉือนที่ยอมให้ ตามวิธี ASD

ประเภทของตัวยึด	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ F_t kg/cm^2	หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v (รอยต่อแบบรับแรงกด) kg/cm^2
A307 bolts	1400	700
A325-N bolts*	3080	1470
A325-X bolts*	3080	2100
A490-N bolts*	3780	1950
A490-X bolts*	3780	2800
A502, Gr.1. rivets	1600	1225
A502, Gr.2&3 rivets	2000	1540

* อักษร N ที่กำกับ หมายถึง เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน

อักษร X ที่กำกับ หมายถึง เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 หน่วยแรงประลัยของตัวยึด ตามวิธี LRFD

ประเภทของตัวยึด	หน่วยแรงดึงประลัย F_t	หน่วยแรงเฉือนประลัย F_v (รอยต่อแบบรับแรงกด) kg/cm^2
A307 bolts	3100	1650
A325-N bolts*	6210	3310
A325-X bolts*	6210	4140
A490-N bolts*	7760	4140
A490-X bolts*	7760	5170
A502, Gr.1. rivets	3100	1720
A502, Gr.2&3 rivets	4140	2280

* อักษร N ที่กำกับ หมายถึง เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน
อักษร X ที่กำกับ หมายถึง เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน

กำลังรับแรงกดที่รูเจาะ

สำหรับรอยต่อที่ใช้ตัวยึดในแนวที่ขนานกับแรงกระทำอย่างน้อยสองตัวหรือมากกว่า และมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐานมากกว่าหรือเท่ากับ 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด และมีระยะขอบมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด:

วิธี ASD: กำลังรับแรงกดที่ยอมให้ = $1.2F_u dt$

วิธี LRFD: กำลังรับแรงกดประลัย = $\phi(2.4F_u dt)$

ในที่นี้ F_u = หน่วยแรงดึงประลัยของแผ่นเหล็ก

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด

t = ความหนาของแผ่นเหล็กหรือแผ่นเหล็กรูปพรรณ ในที่นี้ใช้หมุดย้ำหรือที่ฝสลักแบบฝังหัว ให้ใช้ความหนาแน่นของแผ่นเหล็กเท่ากับความหนาจริงลบด้วยระยะครึ่งหนึ่งของหัวหมุดที่ฝังในแผ่นเหล็ก

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง = 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับแรงดึงของตัวยึดเมื่อรับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน

วิธี ASD : เมื่อตัวยึดในรอยต่อแบบรับแรงกด ต้องรับแรงทั้งแรงดึงและแรงเฉือน กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึดมีค่าเท่ากับ $F_t A_b$ โดยที่ F_t เป็นหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึด ดังตารางที่ 6.3 ทั้งนี้ หน่วยแรงเฉือน F_v ที่เกิดขึ้นในตัวยึด ต้องมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามที่กำหนดในตารางที่ 6.1

วิธี LRFD : เมื่อตัวยึดในรอยต่อแบบรับแรงกด ต้องรับทั้งแรงดึงและแรงเฉือน กำลังรับแรงดึงประลัยของตัวยึดมีค่าเท่ากับ $\phi F_t A_b$ โดยที่ F_t เป็นหน่วยแรงดึงประลัยของตัวยึด ดังตารางที่ 6.4 และ ϕ เป็นตัวคูณลดกำลัง มีค่าเท่ากับ 0.75 ทั้งนี้ หน่วยแรงเฉือน F_v ที่เกิดขึ้นในตัวยึด ต้องมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามที่กำหนดในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 3.3 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ F_t กก./ซม.^{2} ในรอยต่อแบบรับแรงกด – ตามวิธี ASD

ประเภทของตัวยึด	เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน	เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน
A307 Bolts	1800-1.8 $f_v \le 1400$	
A325 Bolts	$\sqrt{3080^2 - 4.39 f_v^2}$	$\sqrt{3080^2 - 2.15 f_v^2}$
A490 Bolts	$\sqrt{3780^2 - 3.75 f_v^2}$	$\sqrt{3780^2 - 1.82 f_v^2}$
A502, Gr. 1 rivets	2100-1.3 $f_v \le 1600$	
A502, Gr. 2 rivets	2660-1.3 $f_v \le 2000$	

ตารางที่ 3.4 หน่วยแรงดึงประลัย F_t กก./ซม.^{2} ในรอยต่อแบบรับแรงกด – ตามวิธี LRFD

ประเภทของตัวยึด	เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน	เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน
A307 Bolts	2690-1.8 $f_v \le 2070$	
A325 Bolts	5860-1.8 $f_v \le 4690$	5860-1.4 $f_v \le 4690$
A490 Bolts	7310-1.8 $f_v \le 5790$	7310-1.4 $f_v \le 5790$
A502, Gr. 1 rivets	3030-1.8 $f_v \le 2340$	
A502, Gr. 2 rivets	4070-1.8 $f_v \le 3100$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ข้อกำหนดสำหรับรอยต่อยึดแบบเลื่อนวิกฤต – มาตรฐาน AISC

มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ให้พิจารณากำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียวกำลังสูง (ASTM A325 หรือ A490) ในรอยต่อแบบมีแรงฝืด หรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต จากการกระทำของแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Service loads) อย่างเดียว ดังนี้

กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียวเมื่อรับแรงเฉือนอย่างเดียว :

กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียวหนึ่งตัว/ระนาบการเฉือน = $F_v A_b$

กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียวเมื่อรับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน :

กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียวหนึ่งตัว/ระนาบการเฉือน = $F_v A_b\,(1 - T/T_b)$

ในที่นี้ F_v = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

= 1170 กก./ซม.^{2} สำหรับสลักเกลียวชนิด A325 ที่ทำรูเจาะมาตรฐาน

= 1450 กก./ซม.^{2} สำหรับสลักเกลียวชนิด A490 ที่ทำรูเจาะมาตรฐาน

T = แรงดึงใช้งานที่กระทำ

T_b = แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว (มีค่าดังตารางที่ 3.5)

A_b = เนื้อที่หน้าตัดของสลักเกลียว

ตารางที่ 3.5 แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว กก.*

ขนาดของสลักเกลียว มม.	A325 Bolts	A490 Bolts
16	9100	11400
20	14200	17900
22	17600	22100
24	20500	25700
27	26700	33400
30	32600	40800
36	47500	59500

* มีค่าเท่ากับ 0.70 เท่าของกำลังต้านทานแรงดึงประลัยต่ำสุดของสลักเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ระยะห่างและระยะขอบของรอยต่อยึด – มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD

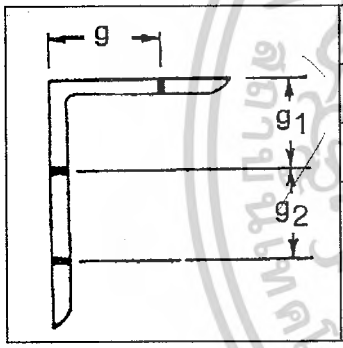
ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะ (spacing)

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐาน ทั้งในทิศทางที่ขนานกับแนวแรงและในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวแรง ต้องไม่น้อยกว่า $2\frac{2}{3}$ เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวยึด แต่นิยมใช้ไม่น้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด

ทั้งนี้ ระยะห่างมากที่สุดต้องไม่เกินกว่า 24 เท่าของความหนาของแผ่นเหล็ก หรือ 30 ซม. เมื่อใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีการกัดกร่อน แต่เมื่อใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน ระยะห่างมากที่สุดต้องไม่เกินกว่า 14 เท่า ของความหนาของแผ่นเหล็ก หรือ 18 ซม.

จากตารางที่ 3.6 แสดงระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐานในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง สำหรับเหล็กฉากรูปพรรณ ซึ่งขึ้นกับความยาวของขาเหล็กฉาก

ตารางที่ 3.6 ระยะของแนวเจาะรูสำหรับเหล็กฉาก มม.



Leg	200	175	150	125	100	90	75	65	50
g	112.5	100.0	87.5	75.0	62.5	50.0	44.0	35.0	28.0
g_1	75.0	62.5	56.5	50.0					
g_2	75.0	75.0	62.5	44.0					

ระยะขอบ (edge distance)

ระยะจากศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐานถึงขอบของชิ้นส่วนที่ต่อต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ในตารางที่ 3.7 ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึดและการตัดขอบ อย่างไรก็ดี ระยะขอบไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึดตามที่กำหนดสำหรับการออกแบบหากำลังรับแรงกด

ทั้งนี้ ระยะขอบต้องไม่เกินกว่า 12 เท่าของความหนาของแผ่นเหล็ก หรือ 15 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ระยะขอบอย่างน้อย มม.

เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด มม.	ขอบที่ตัดโดยการเฉือนขาด	ขอบของเหล็กรูป หรือขอบที่ตัดด้วยก๊าซ
16	28	22
20	34	26
22	38	28
24	42	30
27	48	34
30	52	38
36	64	46
เกินกว่า 36	1.75d	1.25d

3.7 การออกแบบรอยต่อยึด

หลักเกณฑ์การออกแบบ คือ

แรงกระทำบนตัวยึด ≤ กำลังรับแรงของตัวยึด

ทั้งนี้ ต้องจัดระยะห่างระหว่างรูเจาะและระยะขอบให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

รอยต่อรับแรงร่วมศูนย์

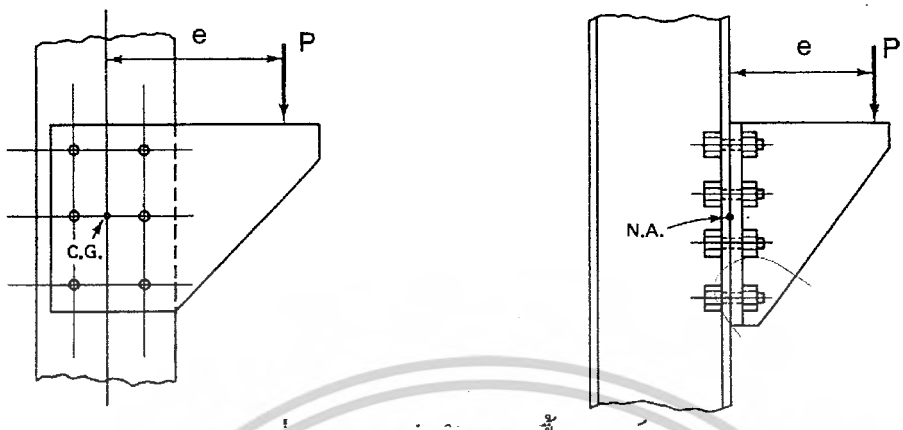
รอยต่อที่รับแรงกระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ เรียกว่า รอยต่อรับแรงร่วมศูนย์ ในลักษณะนี้ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนตัวยึด (เช่น หน่วยแรงดึง หน่วยแรงอัด หรือหน่วยแรงเฉือน) ทั้งในรอยต่อแบบรับแรงกด หรือรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต จะสมมติว่ากระจายอย่างสม่ำเสมอบนตัวยึดทุกตัว นั่นคือ ตัวยึดแต่ละตัวจะรับแรงกระทำเท่าๆกัน

รอยต่อรับแรงเยื้องศูนย์

รอยต่อที่รับแรงกระทำไม่ผ่านจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ เรียกว่า รอยต่อรับแรงเยื้องศูนย์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.9 ทำให้ตัวยึดแต่ละตัวรับแรงกระทำไม่เท่ากัน การตรวจสอบหรือออกแบบตัวยึดสำหรับรอยต่อในลักษณะนี้ ทำได้โดยย้ายแรงเยื้องศูนย์นั้นให้มากระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ นั่นคือ ที่

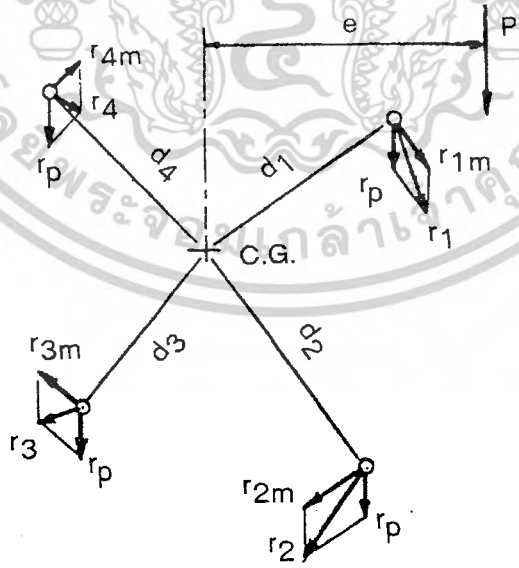
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อต้องรับแรงและโมเมนต์ดัดหรือโมเมนต์บิดอันเนื่องมาจากแรงเยื้องศูนย์นั้น ซึ่งจะพบว่า ตัวยึดที่อยู่ห่างจากศูนย์ถ่วงของรอยต่อมากที่สุดจะรับแรงจากผมของโมเมนต์มากที่สุด



รูปที่ 3.9 รอยต่อรับแรงเยื้องศูนย์

พิจารณารอยต่อยึดที่ต้องรับแรงเยื้องศูนย์ P กระทำห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อเป็นระยะเท่ากับ e ทั้งนี้แรงกระทำอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบของรอยต่อ ดังรูปที่ 3.10 ดังนั้น เมื่อย้ายแรงเยื้องศูนย์ P ให้มากระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ จะเห็นว่า ที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อต้องรับแรง P (ซึ่งเป็นแรงเฉือนตรง) และโมเมนต์บิด M = (Pe) ฉะนั้น ตัวยึดแต่ละตัวจึงต้องรับแรงเฉือน r_p อันเนื่องมาจากแรง P เท่าๆกัน และแรงเฉือนบิด r_m อันเนื่องมาจากโมเมนต์บิด M ซึ่งมีค่าขึ้นกับระยะห่างที่วัดจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อไปยังตัวยึดแต่ละตัว (คำนวณได้จากสูตรหาแรงบิด)



รูปที่ 3.10 แรงเฉือนบิดลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสมมติให้ N เป็นจำนวนของตัวยึดที่ใช้ในรอยต่อ และ d เป็นระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อถึงตัวยึด ดังนั้น จะได้

แรงเฉือนบนตัวยึดแต่ละตัวในทิศทางที่ขนาดกับแรง P : $r_p = p/N$

ส่วนแรงเฉือนบิด r_m บนตัวยึดแต่ละตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับระยะ d หาได้ดังนี้

สมมติให้ r_{1m}, r_{2m}, r_{3m} และ r_{4m} เป็นแรงเฉือนบิดที่กระทำบนตัวยึดในทิศทางตั้งฉากกับระยะ d_1, d_2, d_3 และ d_4 ซึ่งวัดจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อถึงตัวยึด ดังรูป นั่นคือ

$$M = Pe = r_{1m} d_1 + r_{2m} d_2 + r_{3m} d_3 + r_{4m} d_4 \qquad (3.1)$$

ถ้าสมมติว่าแรงเฉือนบิดที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์บิด M เป็นปฏิภาคกับระยะที่วัดจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อไปยังตัวยึดแต่ละตัว จะได้ว่า

$$\frac{r_{1m}}{d_1} = \frac{r_{2m}}{d_2} = \frac{r_{3m}}{d_3} = \frac{r_{4m}}{d_4} \qquad (3.2)$$

จากสมการข้างต้น ถ้าต้องการหาค่าแรงเฉือนบิด r_{1m} ดังนั้น จะเขียนค่าของแรงเฉือนบิด r_m ต่างๆให้อยู่ในเทอมของแรง r_{1m} และ d_1 ซึ่งจะได้ว่า

$$r_{1m} = r_{1m}\frac{d_1}{d_1} r_{2m} = r_{1m}\frac{d_2}{d_1} r_{3m} = r_{1m}\frac{d_3}{d_1} r_{4m} = r_{1m}\frac{d_4}{d_1}$$

เมื่อแทนค่าแรงเฉือนบิด r_m เหล่านี้ลงในสมการที่ (3.1) จะได้

$$M = \frac{r_{1m}d_1^2}{d_1} + \frac{r_{1m}d_2^2}{d_1} + \frac{r_{1m}d_3^2}{d_1} + \frac{r_{1m}d_4^2}{d_1} = \frac{r_{1m}}{d_1}(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2) = \frac{r_{1m}}{d_1}(\Sigma d^2)$$

นั่นคือ แรงเฉือนบิด $r_{1m} = \dfrac{Md_1}{\sum d^2}$ โดยที่ $\sum d^2 = (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2)$

ทำนองเดียวกัน จะหาได้ว่า

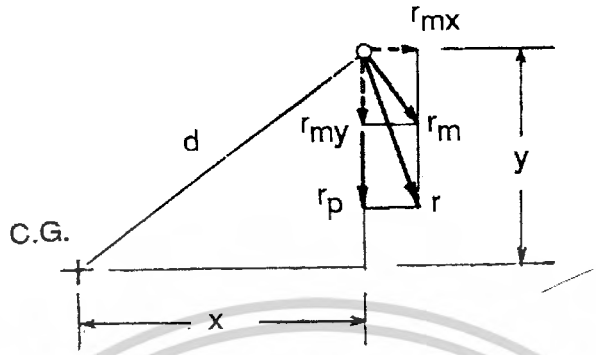
แรงเฉือนบิด $r_{2m} = \dfrac{Md_2}{\sum d^2}$ $r_{3m} = \dfrac{Md_3}{\sum d^2}$ และ $r_{4m} = \dfrac{Md_4}{\sum d^2}$ (3.3)

นั่นคือ ค่าแรงเฉือนบิดบนตัวยึดอันเนื่องมาจากโมเมนต์บิด : $r_m = \dfrac{Md}{\sum d^2}$

เนื่องจาก แรงเฉือน r_p กับแรงเฉือนบิด r_m อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้น ค่าของแรงลัพท์บนตัวยึดแต่ละตัวอันเนื่องมาจากการกระทำของแรงเยื้องศูนย์ จะได้จากการรวมแรงเฉือน r_p กับแรงเฉือน r_m ตามแบบเวคเตอร์ หรือโดยวิธีกราฟฟิค หรือโดยการแยกแรงให้อยู่ในแนวที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันก่อน แล้วจึงรวมโดยใช้วิธีการคำนวณ

ถ้าพิจารณาให้ x และ y เป็นระยะในแนวนอนและแนวตั้งของตัวยึดตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งวัดจากศูนย์ถ่วงของรอยต่อ โดยมี r_m เป็นแรงบิดบนตัวยึดอันเนื่องมาจากโมเมนต์บิด และมี r_p เป็นแรงบนตัวยึดอันเนื่องมาจากแรงเฉือนตรง ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปวิธีการคำนวณ

ถ้าแตกแรง r_m ให้อยู่ในแนวนอนและแนวตั้ง จะได้

แรง r_m ในแนวนอน : $r_{mx} = \frac{r_m y}{d} = \frac{My}{\sum d^2}$

แรง r_m ในแนวตั้ง : $r_{my} = \frac{r_m x}{d} = \frac{Mx}{\sum d^2}$

แต่เนื่องจาก $d^2 = x^2 + y^2$

ดังนั้น $r_{mx} = \frac{My}{\sum (x^2 + y^2)}$ และ $r_{my} = \frac{Mx}{\sum (x^2 + y^2)}$ (3.4)

ฉะนั้น รวมแรงในแนวตั้ง $= r_{my} + r_p$ และ แรงรวมในแนวนอน $= r_{mx}$

นั่นคือ แรงลัพท์บนตัวยึด $r = \sqrt{(r_{my} + r_p)^2 + r_{mx}^2} \leq$ กำลังของตัวยึดตามที่มาตรฐานกำหนด

ในกรณีที่แรงเยื้องศูนย์ไม่อยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบของรอยต่อ เมื่อย้ายแรงเยื้องศูนย์ให้มากระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ ดังนั้น ตัวยึดแต่ละตัวต้องรับทั้งแรงเฉือนตรงที่ได้จากแรงเยื้องศูนย์ซึ่งกระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ และแรงดึงหรือแรงอัดซึ่งเป็นผลจากโมเมนต์ดัดโดยหาค่าแรงนี้ได้จากสูตรแรงดัด ฉะนั้น ตัวยึดในรอยต่อนี้จึงต้องรับทั้งแรงเฉือนและแรงดึงหรือแรงอัดแต่อยู่ต่างระนาบกัน อย่างไรก็ดี ตัวยึดที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อมากที่สุดจะเป็นตัวรับแรงมากที่สุด ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินกว่าที่สมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณหาจำนวนตัวยึดในรอยต่อยึดที่รับแรงเยื้องศูนย์

สมมติว่า ต้องใช้ตัวยึดในแถวตั้ง (หนึ่งแถว) เท่ากับ n ตัว และในแนวนอน (หนึ่งแถว) เท่ากับ m ตัว นั่นคือ ต้องใช้ตัวยึดทั้งหมดเท่ากับ $n \times m$ ตัว เพื่อให้รับโมเมนต์ M ที่เกิดจากแรงเยื้องศูนย์ ในที่นี้สมมติว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของตัวยึดเท่ากับ s (รูปที่ 3.12)

หาค่า $\sum y^2$ และ $\sum x^2$ รับจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ :

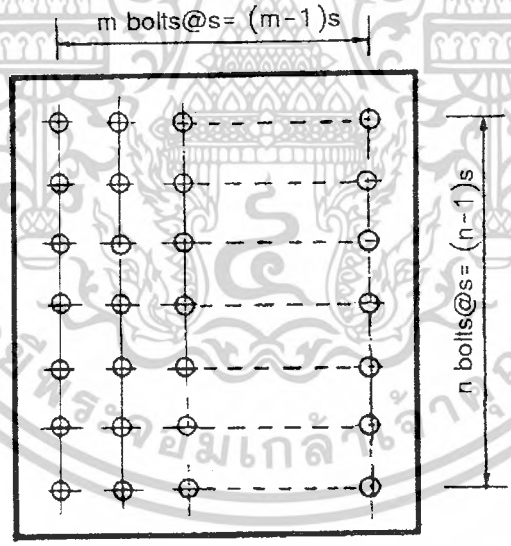
สำหรับตัวยึดในแนวตั้งเพียงแถวเดียว จะได้ $\sum y^2 = \dfrac{s^2 n(n-1)(n+1)}{12}$

ดังนั้น เมื่อมีตัวยึดเท่ากับ m แถว จะได้ $\sum y^2 = \dfrac{s^2 mn(n-1)(n+1)}{12}$

ทำนองเดียวกัน จะได้ $\sum x^2 = \dfrac{s^2 nm(m-1)(m+1)}{12}$

ดังนั้น $\sum d^2 = \sum x^2 + \sum y^2 = \dfrac{s^2 mn}{12}(m^2 + n^2 - 2)$

สำหรับตัวยึดตัวนอกสุด ระยะ $d = \sqrt{(\dfrac{n-1}{2}s)^2 + (\dfrac{m-1}{2}s)^2} = \dfrac{s}{2}\sqrt{(n-1)^2 + (m-1)^2}$



รูปที่ 3.12 รูปวิธีการคำนวณ

หากพิจารณาเฉพาะผลของโมเมนต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้น จากสมการ (3.3) จะได้แรงบนตัวยึดตัวนอกสุดอันเนื่องมาจากโมเมนต์มีค่าเท่ากับ $\dfrac{Md}{\sum d^2} \leq$ กำลังของตัวยึด R นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{Md}{\sum d^2} = \frac{\frac{Ms}{2}\sqrt{(n-1)^2+(m-1)^2}}{s^2\frac{mn}{12}(m^2+n^2-2)} \le R$$

หรือ $$\frac{6M}{smn}\frac{\sqrt{(n-1)^2+(m-1)^2}}{(m^2+n^2-2)} \le R$$

ถ้าสมมติให้ $n > m$: ดังนั้น $\frac{6M}{smn^2}$ (โดยประมาณ) $\le R$

หรือจำนวนแถวตั้งของตัวยึด $n \ge \sqrt{\frac{6M}{smR}}$ (3.5)

สมการ $n \ge \sqrt{\frac{6M}{smR}}$ ใช้ในการประมาณหาจำนวนของตัวยึดที่ต้องการใช้ในรอยต่อรับแรงเยื้องศูนย์ ครั้นเมื่อลองเลือกใช้จำนวนตัวยึดตามตำแหน่งที่ต้องการ ให้ตรวจสอบหาแรงกระทำสูงสุดบนตัวยึดว่ามีค่าเกินกว่ากำลังรับแรงของตัวยึดนั้นหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การต่อปลายคานในโครงอาคาร

การต่อระหว่าง คานกับคาน คานกับเสา เสากับเสา หรือเสากับตอม่อ ในโครงอาคารเหล็กโดยใช้ตัวยึดหรือรอยต่อเชื่อม มาตรฐาน AISC แบ่งประเภทของข้อต่อหรือรอยต่อตามความสามารถต้านทานการหมุนที่ปลายชิ้นส่วนโครงสร้างอันเนื่องมาจากโมเมนต์ดัด ดังนี้

มาตรฐาน AISC/ASD แบ่งประเภทของข้อต่อหรือรอยต่อออกเป็น 3 แบบ คือ

Type 1 : Rigid frame ต้านการหมุนได้ 90-100%

Type 2 : Simple framing ต้านการหมุนได้ 0-20%

Type 3 : Partially restrained (semi-rigid) framimg ต้านการหมุนได้ 20-90%

แต่มาตรฐาน AISC/LRFD บ่งประเภทของข้อต่อหรือรอยต่อออกเป็น 2 แบบ คือ

Type FR : Rigid frame (fully restrained) ต้านการหมุนได้ 90-100%

Type PR : Partially restrained ต้านการหมุนได้น้อยกว่า 90% ซึ่งถ้าคิดว่าการต่อแบบนี้สามารถต้านการหมุนได้บ้างเล็กน้อย การต่อแบบนี้ตามมาตรฐาน AISC/LRFD จะตรงกับ type 2 ของมาตรฐาน AISC/ASD มิฉะนั้น การต่อแบบนี้จะเป็น type 3 ของมาตรฐาน AISC/ASD

อย่างไรก็ดี ในที่นี้ จะแบ่งประเภทของข้อต่อหรือรอยต่อออกเป็น 2 แบบหลักที่สำคัญ คือ

1. ข้อต่อหรือรอยต่อแบบง่าย (simple shear connections) ซึ่งทำหน้าที่รับ-ถ่ายแรงเฉือนอันเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว โดยอาจรับโมเมนต์ได้บ้างเพียงเล็กน้อยจากผลของการต่อยึด เช่น ข้อต่อหรือรอยต่อของคานช่วงเดียว (simple beam) ดังแสดงในรูปที่ 3.13

2. ข้อต่อหรือรอยต่อแบบรับโมเมนต์ดัด (Moment – resisting connections) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่รับ – ถ่ายแรงเฉือนแล้วยังต้องทำหน้าที่ถ่าย – รับโมเมนต์ดัดด้วย โดยอาจเป็นข้อต่อหรือรอยต่อแบบยึดแน่น (rigid framing หรือ fully restrained : FR) เช่น การต่อคานต่อเนื่องกับเสา หรืออาจเป็นข้อต่อหรือรอยต่อแบบกึ่งยึดแน่น (semi-rigid framing หรือ partially restrained : PR) ดังแสดงในรูปที่ 3.14

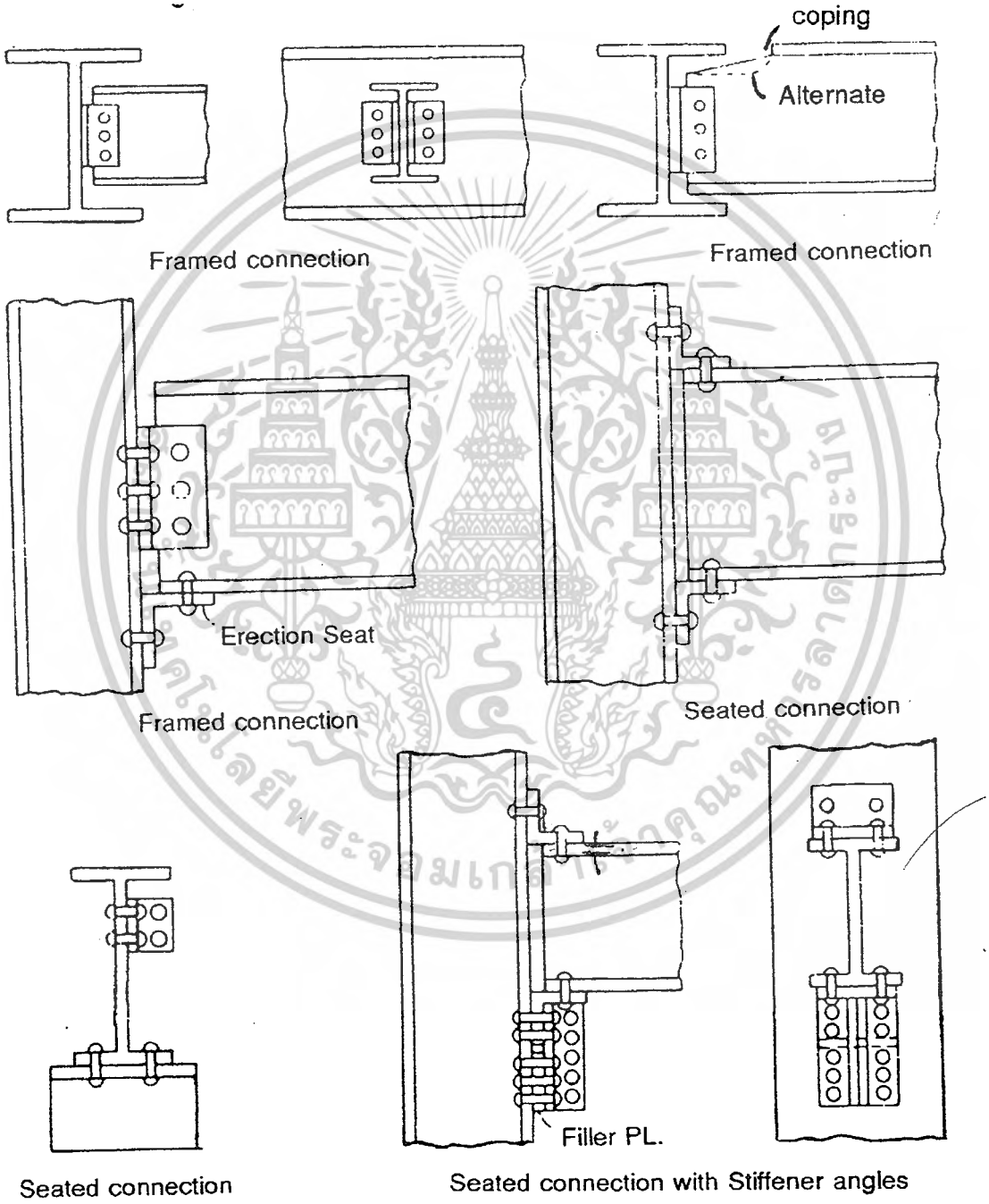
การออกแบบเพื่อยึดต่อปลายคานแบบง่าย

การต่อยึดระหว่างคานกับเสา หรือ คานกับคาน เพื่อให้สามารถรับ – ถ่ายแรงเฉือนอันเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาของคาน อาจพิจารณาใช้เหล็กฉาก (angle) 1 คู่ ซึ่งเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า Framed Beam Connections หรือใช้เหล็กฉากรองใต้คาน (seat angle) ซึ่งเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า Seated Beam Connections โดยมีแบบ unstiffened seat angle และแบบ stiffened seat angle ทั้งนี้ขึ้นกับค่าของแรงปฏิกิริยาที่กระทำ ตามที่แสดงในรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Framed Beam Connections

การต่อในลักษณะนี้เป็นการใช้เหล็กฉาก (angle) 1คู่ ดังรูปที่ 3.13 ขาข้างหนึ่งของเหล็กฉากที่ยึดติดกับเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของตัวคาน จะต่อยึดมาจากโรงงาน (เรียกว่า shop bolt หรือ shop rivet) และต่อยึดขาอีกข้างหนึ่งของเหล็กฉากให้ติดกับแผ่นปีกของเสาในสถานที่ก่อสร้าง (เรียกว่า field bolt หรือ field rivet) ทั้งนี้ จะแสดงสัญลักษณ์ของการต่อยึดในสถานที่ก่อสร้างไว้ที่ตัวยึดด้วยสีดำทึบ



รูปที่ 3.13 การต่อปลายคานเพื่อรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนของตัวยึด เช่น สลักเกลียว ที่ต้องใช้ พิจารณาได้จากกำลังรับแรงเฉือน (shear strength) และกำลังรับแรงกด (bearing strength) โดยไม่นำระยะเยื้องศูนย์จากการถ่ายแรงมาพิจารณา ส่วนขนาดของเหล็กฉากที่ต้องใช้ พิจารณาจากระยะเกจและระยะขอบตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งเหล็กฉากที่นำมาใช้ต้องมีความหนามากพอที่สามารถต้านทานแรงเฉือนนั้นได้ ทั้งนี้ให้เผื่อขนาดของขาเหล็กฉากที่จะต่อยึดกับเหล็กแผ่นตั้งของคานไว้ด้วย ซึ่งระยะสำหรับการยกติดตั้งระหว่างปลายคานกับเสามีค่าประมาณ ½ - ¾ นิ้ว โดยทั่วไป พบว่าความกว้างของขาเหล็กฉากประมาณ 4-8 นิ้ว ความยาวของเหล็กฉากประมาณ ½ - 2/3 ของความลึกของคานเหล็กรูป ส่วนความหนาของขาเหล็กฉากจะประมาณ 5/16 – ½ นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Seated Beam Connections

การต่อยึดปลายคานช่วงเดียวในลักษณะนี้เป็นการนำเหล็กฉากมาใช้รองใต้คาน (seat angle) โดยให้ทำหน้าที่รับ-ถ่ายแรงเฉือนอันเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาของคาน

ในกรณีที่แรงปฏิกิริยามีค่าไม่มาก (น้อยกว่า 20 ตัน) จะใช้เหล็กฉากชิ้นเดียวรองใต้คาน เรียกลักษณะการต่อแบบนี้ว่า unstiffened (flexible) beam-seat connections โดยยึดขาด้านยาวของเหล็กฉากติดกับแผ่นปีกของเสา ส่วนขาด้านสั้นของเหล็กฉากที่ยื่นออกจากปีกเสา (out standing leg : OSL) ที่ใช้เป็นที่รองรับคาน ต้องมีระยะที่ยื่นออกมารับคาน (beam bearing length : N ≥ ระยะ k) และมีความยาวมากพอที่จะไม่ทำให้เหล็กแผ่นตั้งของคานเกิดการคราก (web yielding) หรือยู่ (web crippling) ตามที่กล่าวในเรื่องผลการกระทำของน้ำหนักแบบจุดที่มีต่อคาน ส่วนความหนาของขาเหล็กฉากรองใต้คานพิจารณาได้จากโมเมนต์ดัดที่เกิดจากผลของแรงปฏิกิริยากระทำที่ระยะ N/2 ตรงหน้าตัดวิกฤตซึ่งอยู่ห่างจากหลังของขาเหล็กฉากที่ต่อยึดกับปีกเสาออกมาเป็นระยะเท่ากับ t+3/8 นิ้ว โดยที่ t เป็นความหนาของขาเหล็กฉาก ทั้งนี้ให้พิจารณาระยะ set back ระหว่างปลายคานกับเสา ประมาณ ½ นิ้ว

จำนวนของตัวยึด เช่น สลักเกลียว ที่ต้องใช้ พิจารณาได้จากกำลังรับแรงเฉือนและกำลังรับแรงกด โดยไม่นำระยะเยื้องศูนย์จากการถ่ายแรงมาพิจารณา ส่วนขนาดของเหล็กฉากที่ต้องใช้พิจารณาจากระยะเกจและระยะขอบตามที่มาตรฐานกำหนด โดยที่เหล็กฉากนั้นต้องมีความหนามากพอที่สามารถต้านทานแรงเฉือนนั้นได้

สำหรับกรณีที่แรงปฏิกิริยามีค่ามากจำเป็นต้องพิจารณาเสริมเหล็กฉากรองใต้คานนั้นให้มีกำลังรับแรงได้มากขึ้นโดยอาจใช้เหล็กฉาก (stiffener angles) เสริมข้างใต้เหล็กฉากรองใต้คานนั้น หรืออาจเปลี่ยนไปใช้เหล็กรูปพรรณรูปตัดตัวที หรือนำแผ่นเหล็ก 2 แผ่นมาประกอบกันให้เป็นรูปตัวทีก็ได้ เรียกลักษณะการต่อแบบนี้ว่า stiffened beam-seat connections การออกแบบสำหรับการต่อลักษณะนี้จะเหมือนกับการออกแบบ unstiffened (flexible) beam-seat connections แต่ทั้งนี้ แผ่นเสริมกำลังต้องมีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งแสดงไว้ในตัวอย่าง

อนึ่ง ในการต่อคานแบบ seated beam connections ตามที่กล่าวในทั้งสองกรณีข้างต้น จะต้องใช้เหล็กฉากอีกหนึ่งชิ้นยึดติดที่ด้านบนของปีกคานซึ่งเรียกว่า top angle หรือใช้เหล็กฉากยึดติดใกล้กับด้านบนของเหล็กแผ่นตั้งของคานซึ่งเรียกว่า side angle ก็ได้ โดยใช้ตัวยึดอย่างน้อย 2 ตัว ทั้งนี้ เพื่อยึดคานให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และเป็นค้ำยันทางข้างกันการบิดที่ปลายคาน ซึ่งความหนาของเหล็กฉากปิดบน (top angle) ต้องไม่หนาเกินไป (ปกติใช้ความหนาประมาณ ¼ นิ้ว) เพื่อให้ปลายคานสามารถหมุนได้ (โมเมนต์ที่ปลายคานเป็นศูนย์) ตามสมมติฐานของคานช่วงเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเพื่อยึดต่อปลายคานให้รับโมเมนต์ดัดด้วย

การต่อยึดปลายคานในโครงเฟรม (rigid frames) อาจเป็นแบบ Semi-rigid Framing (ที่เรียกว่าแบบ PR : Partially Restrained) หรือเป็นแบบ Rigid Framing (ที่เรียกว่าแบบ FR : Fully Restrained) ซึ่งขึ้นกับวิธีการออกแบบว่ายอมให้เกิดการหมุนที่ปลายคานได้หรือไม่

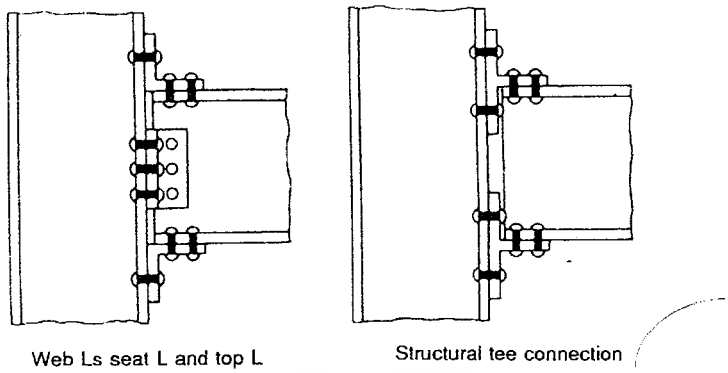
การออกแบบเพื่อยึดต่อปลานคาน ให้รับโมเมนต์ดัดด้วย ทำได้หลายแบบโดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าจะกำหนดให้รอยต่อยึดระหว่างชิ้นส่วนทำหน้าที่อะไร เช่น

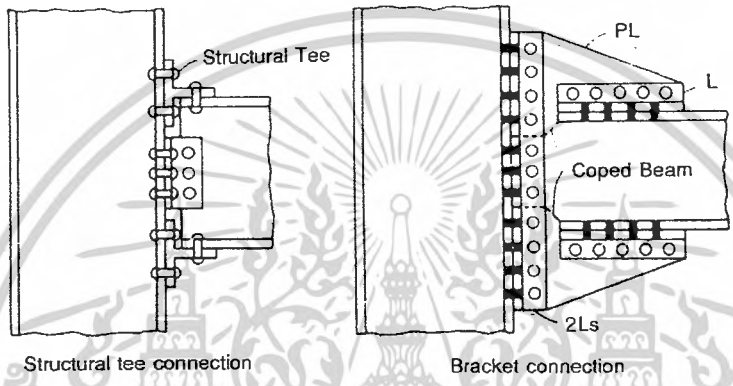
ก. พิจารณาให้เหล็กฉากคู่ที่ต่อยึดระหว่างแผ่นเหล็กแผ่นตั้งของคานกับแผ่นเหล็กปีกคานทำหน้าที่รับแต่แรงเฉือนที่กระทำ และพิจารณาให้เหล็กฉากใต้คานกับเหล็กฉากเหนือคานที่ต่อยึดระหว่างปีกคานกับปีกเสาทำหน้าที่รับแรงอัดและแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัด ตามลำดับ

ข. พิจารณาให้เหล็กฉากรองใต้คานที่ต่อยึดกับปีกเสาทำหน้าที่รับแรงเฉือนที่กระทำ โดยให้ส่วนที่ต่อยึดกับแผ่นเหล็กปีกคานทำหน้าที่รับแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัด และพิจารณาให้เหล็กฉากเหนือคานที่ต่อยึดระหว่างปีกคานกับปีกเสาทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัด

นอกจากนี้ อาจนำเหล็กรูปตัดตัวทีมาใช้แทนเหล็กฉาก (ที่อยู่เหนือและใต้คาน) โดยอาจมีหรือไม่มีเหล็กฉากคู่ ก็ได้ ดังรูปที่ 3.14 ขึ้นกับว่าจะพิจารณาให้รอยต่อยึดระหว่างชิ้นส่วนทำหน้าที่อะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.14 การต่อปลายคานเพื่อรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

สำหรับการออกแบบเพื่อยึดปลายคานให้รับโมเมนต์ดัด มีข้อที่ควรนำมาพิจารณา เพื่อป้องกันมิให้รอยต่อเกิดการวิบัติ คือ

ก. การวิบัติที่ตัวยึด หรือที่แผ่นปีกของเหล็กฉากหรือเหล็กรูปตัวที เนื่องจากเกิด prying action จากการถ่ายแรงอันเนื่องมาจากโมเมนต์ดัดหรือแรงดึงอื่น

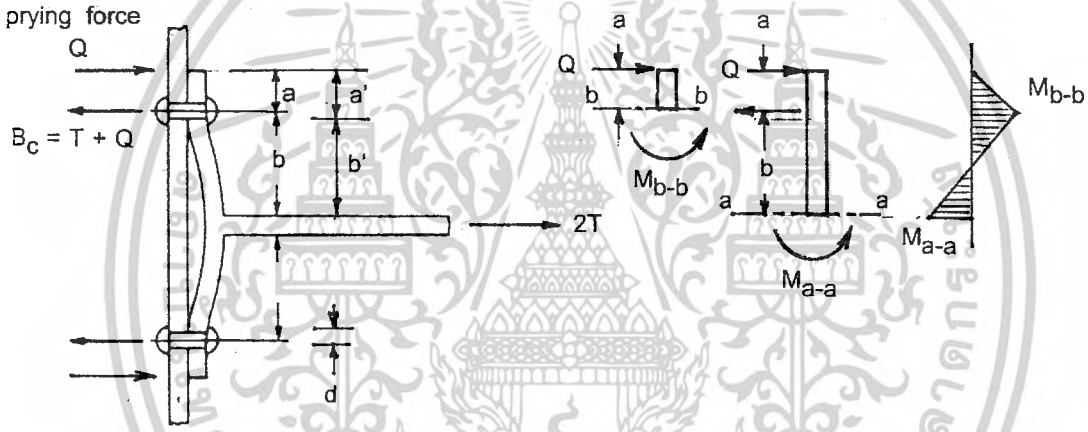
ข. การวิบัติเฉพาะที่ (local failure) ที่ปีกหรือเหล็กแผ่นตั้งของเสาซึ่งเป็นตัวรองรับการถ่ายแรงดึงหรือแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัด

การเกิด Prying action ที่รอยยึดต่อ

ในการต่อยึดชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องรับแรงดึง หากใช้ความหนาของแผ่นปีกของเหล็กฉากหรือแผ่นปีกของเหล็กรูปตัวทีเพื่อถ่ายทอดแรงดึงน้อยไป (ซึ่งเรียกว่า flexible flange) หรือใช้จำนวนของตัวยึดที่ต่อยึดกับปีกเสาน้อยไป รอยต่อยึดนั้นจะเกิดการวิบัติเนื่องจาก prying action แต่ในทางกลับกันถ้าใช้แผ่นปีกหนามาก (stiff flange) หรือใช้จำนวนของตัวยึดที่ต่อยึดกับปีกเสามากพอ รอยต่อนั้นจะไม่เกิดการวิบัติอันเนื่องมาจากพฤติกรรมของ prying action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารอยต่อยึดระหว่างปีกคาน (หรือปีกเสา) กับชิ้นส่วนรูปตัดตัวทีที่รับแรงดึง (หรือรูปตัดของเหล็กฉากก็ได้) ดังรูปที่ 3.15 ดังนั้น เมื่อมีแรงดึงเท่ากับ 2T มากระทำที่ชิ้นส่วน สลักเกลียวแต่ละตัวตรงรอยต่อยึดจะรับแรงดึงในทางทฤษฎีเท่ากับ T แต่ผลของแรงดึงที่กระทำต่อชิ้นส่วนรูปตัดตัวที อาจทำให้แผ่นปีกของรูปตัดตัวที (ซึ่งสมมติว่ามีความหนาน้อยกว่าความหนาของปีกคานหรือปีกเสา) เกิดการโก่งดัดดังรูป โดยบริเวณปลายของแผ่นปีกรูปตัดตัวทีจะไปกดอัดกับปีกคาน (หรือปีกเสา) ยังผลให้เกิด prying force ตรงบริเวณนั้น ในที่นี้ สมมติให้ prying force มีค่าเท่ากับ Q ต่อสลักเกลียวหนึ่งตัวและกระทำที่ปลายของแผ่นเหล็กรูปตัดตัวที ฉะนั้น สลักเกลียวแต่ละตัวจึงต้องรับแรงดึงเพิ่มจาก T เป็น T+Q ซึ่งถ้าแรงนี้มีค่ามากเกินกว่ากำลังที่ตัวสลักเกลียวสามารถรับได้ สลักเกลียวจะเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงดึง นอกจากนี้ ถ้าใช้ความหนาของแผ่นปีกของรูปตัดตัวทีน้อยไป รอยต่อยึดนั้นจะเกิดวิบัติที่แผ่นปีกอันเนื่องมาจากผลของโมเมนต์ดัด



รูปที่ 3.15 ลักษณะการเกิด prying action

ถ้าให้ a = ระยะจากศูนย์กลางของตัวยึดถึงขอบของแผ่นปีก แต่ต้องไม่เกินกว่า 1.25b

b = ระยะจากศูนย์กลางของตัวยึดถึงขอบเหล็กแผ่นตั้ง

d' = ขนาดรูเจาะของตัวยึด = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด d+3 มม.

p = ระยะความยาวของแผ่นปีกที่ขนานกับเหล็กแผ่นตั้ง สำหรับตัวยึดหนึ่งตัว

ดังนั้น จากสมดุลของโมเมนต์ดัดที่หน้าตัด a-a และ b-b ตลอดจนสมดุลของแรง จะหาความหนาของแผ่นปีกที่ต้องการอย่างน้อย ($t_{req'd}$) ที่รวมคิดทั้งกำลังรับแรงของแผ่นปีกและของตัวยึดได้ และสามารถหาแรงดึง (B_c) ที่สลักเกลียวแต่ละตัวต้องรับได้ แต่เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลอง พบว่าจะต้องใช้ระยะ a' = a + d/2 และระยะ b' = b – d/2 แทนระยะ a และระยะ b ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตามวิธี ASD

ความหนาของแผ่นปีก $t_{req'd} = \sqrt{\frac{8Tb'}{pF_y(1+8\alpha)}}$

แรงดึง B_c ต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว $= T[1+\frac{\delta\alpha}{(1+\delta\alpha)}\frac{b'}{a'}]$

ในเมื่อ

$\alpha = \frac{(\frac{B}{T}-1)\frac{a'}{b'}}{\delta[1-(\frac{B}{T}-1)\frac{a'}{b'}]}$ ถ้าได้ค่า <0 จะให้ $\alpha = 0$ แต่ถ้าได้ค่า >0 จะให้ $\alpha = 1$

$\delta = \frac{p-d'}{p}$

= อัตราส่วนระหว่างหน้าตัดสุทธิที่แถวของตัวยึดต่อหน้าตัดทั้งหมดที่แผ่นปีก

B = กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึดหนึ่งตัว

T = แรงดึงใช้งานที่กระทำต่อตัวยึดหนึ่งตัว

นั่นคือ ถ้าความหนาของแผ่นปีก t_f มีค่าเกินกว่า $t_{req'd}$ และถ้ากำลังรับแรงดึงของตัวยึด B มีค่าเกินกว่าค่าแรงดึง B_c ถือว่ารอยต่อยึดมีความปลอดภัย

หมายเหตุ ถ้าความหนาของแผ่นปีก t_f มีค่าต่างไปจากค่า $t_{req'd}$ (ซึ่งมักพบเสมอ) ให้หาค่าตัว α ใหม่ โดยใช้สมการนี้

$\alpha = \frac{1}{\delta}[\frac{8Tb'}{pt_f^2F_y}-1]$

ซึ่งค่าตัว α จะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ตามที่กล่าวแล้ว จากนั้นให้คำนวณหาค่าแรงดึง B_c ใหม่โดยใช้สมการ

แรงดึง B_c ต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว $= T[1+\frac{\delta\alpha}{(1+\delta\alpha)}\frac{b'}{a'}]$

ถ้าปรากฏว่า ค่าแรงดึง B_c น้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของตัวยึด B จะถือว่า รอยต่อมีความปลอดภัย

ตามวิธี LRFD

ความหนาของแผ่นปีก $t_{req'd} = \sqrt{\frac{4T_ub'}{\phi_b pF_y(1+\delta\alpha)}}$ $(\phi_b = 0.9)$

แรงดึง B_c ต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว $= T_u[1+\frac{\delta\alpha}{(1+\delta\alpha)}\frac{b'}{a'}]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเมื่อ

$$\alpha = \frac{(\frac{B}{T_u} - 1)\frac{a'}{b'}}{\delta[1 - (\frac{B}{T_u} - 1)\frac{a'}{b'}]}$$ ถ้าได้ค่า < 0 จะให้ $\alpha = 0$ แต่ถ้าได้ค่า > 0 จะให้ $\alpha = 1$

$$\delta = \frac{p - d'}{p}$$

= อัตราส่วนระหว่างหน้าตัดสุทธิที่แถวของตัวยึดต่อหน้าตัดทั้งหมดที่แผ่นปีก

B = กำลังรับแรงดึงประลัยของตัวยึดหนึ่งตัว

T_u = แรงดึงประลัยที่กระทำต่อตัวยึดหนึ่งตัว

นั่นคือ ถ้าความหนาของแผ่นปีก t_f มีค่าเกินกว่า $t_{req'd}$ และถ้ากำลังรับแรงดึงของตัวยึด B มีค่าเกินกว่าค่าแรงดึง B_c ถือว่ารอยต่อยึดมีความปลอดภัย

หมายเหตุ ถ้าความหนาของแผ่นปีก t_f มีค่าต่างไปจากค่า $t_{req'd}$ (ซึ่งมักพบเสมอ) ให้หาค่าตัว α ใหม่ โดยใช้สมการนี้

$$\alpha = \frac{1}{\delta}[\frac{4Tb'}{\phi_b p t_f^2 F_y} - 1]$$

ซึ่งค่าตัว α จะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ตามที่กล่าวแล้ว จากนั้นให้คำนวณหาค่าแรงดึง B_c ใหม่โดยใช้สมการ

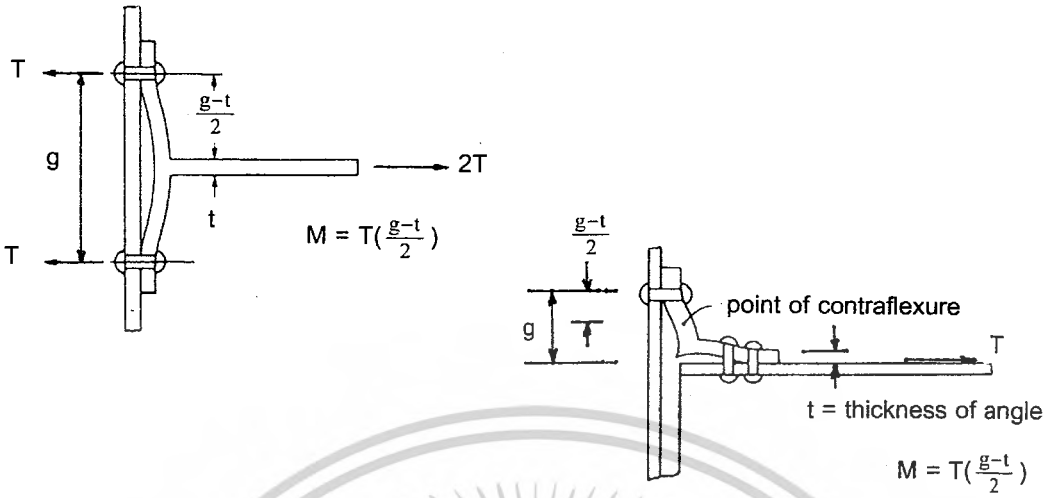
แรงดึง B_c ต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว $= T_u[1 + \frac{\delta\alpha}{(1+\delta\alpha)}\frac{b'}{a'}]$

ถ้าปรากฏว่า ค่าแรงดึง B_c น้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของตัวยึด B จะถือว่า รอยต่อมีความปลอดภัย

อย่างไรก็ดี ไม่ต้องพิจาณาผลของ prying action เลย ถ้าพบว่าแผ่นปีกที่ใช้มีความหนา $t_c \geq \sqrt{\frac{8Tb'}{pF_y}}$ ตามวิธี ASD หรือ $t_c \geq \sqrt{\frac{4Tb'}{\phi_b pF_y}}$ ตามวิธี LRFD เพราะเมื่อแผ่นปีกมีความหนามาก (stiff flange) จะไม่ก่อให้เกิด prying action แต่อย่างใด (นั่นคือ prying force Q = 0)

ในวิธีออกแบบเบื้องต้นเพื่อประมาณหาความหนาของแผ่นปีก (t_f) สำหรับชิ้นส่วนรูปตัดตัวทีหรือของแผ่นปีกสำหรับชิ้นส่วนรูปตัดเหล็กฉาก มักสมมติว่า แรงดึงที่กระทำอันเนื่องมาจากโมเมนต์ ทำให้ชิ้นส่วนที่นำมาใช้ยึดกับปีกเสาเกิดการโก่งดัด ดังรูป โดยมีจุดดัดกลับที่แผ่น flange ซึ่งต่อกับแผ่น web ของรูปตัดตัวที หรือมีจุดดัดกลับตรงกึ่งกลางระหว่างศูนย์กลางของตัวยึดกับหลังเหล็กรูปตัดฉาก ดังนั้น เมื่อหาโมเมนต์ที่จุดดัดกลับจะทำให้หาขนาดความหนาของชิ้นส่วนที่ต้องใช้ได้ ครั้นเมื่อเลือกใช้ขนาดความหนาของชิ้นส่วน จะนำมาตรวจสอบผลของ prying action ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

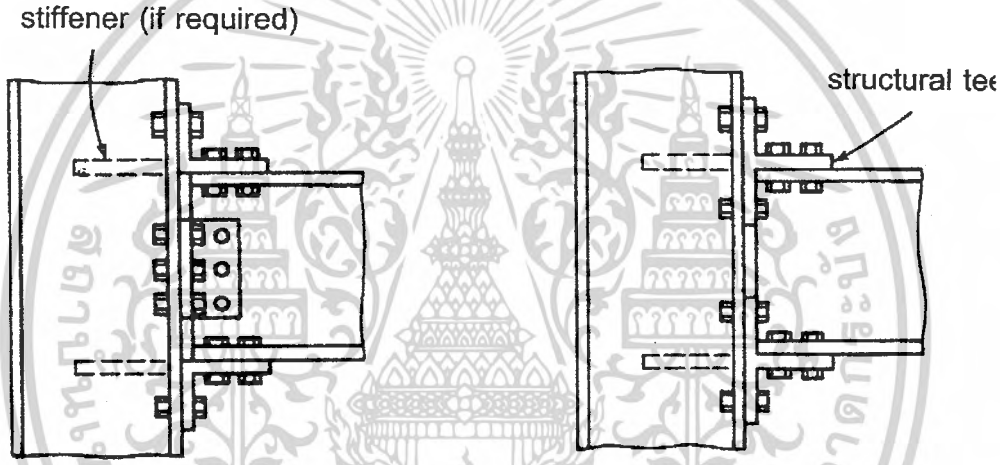


รูปที่ 3.16 การประมาณหาความหนาของชิ้นส่วนเพื่อถ่ายแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิบัติเฉพาะแห่งที่ปีกหรือเหล็กแผ่นตั้งของเสา

แรงดึงและแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัดซึ่งถ่ายให้เสารองรับ อาจทำให้ปีกเสาหรือเหล็กแผ่นตั้งของเสา (column web) เกิดการวิบัติเฉพาะแห่ง กล่าวคือ แรงดึงที่ส่งถ่ายจากปีกคานให้กับปีกเสา อาจทำให้ปีกเสาเกิดการโก่งดัดเฉพาะแห่ง (local bending) นอกเหนือจากชิ้นส่วนที่นำมาใช้ถ่ายแรงเกิด prying action ตามที่กล่าวแล้ว ส่วนแรงอัดที่ส่งถ่ายจากปีกคานให้กับปีกเสา อาจทำให้เหล็กแผ่นตั้งของเสาเกิดการครากหรืออยู่ได้เพราะผลของแรงกระทำแบบจุด การป้องกันมิให้เกิดการวิบัติเฉพาะแห่งทำโดย พิจารณาเสริมเหล็กเสริมข้างเสา (เรียกว่า column stiffener) โดยใช้เหล็กแผ่นในแนวเดียวกันกับคาน และอาจต้องเสริมแผ่นเหล็กทแยงที่เหล็กแผ่นตั้งของเสามีความหนาไม่พียงพอในการส่งถ่ายแรงเฉือนบริเวณรอยต่อ



รูปที่ 3.17 เสริมเหล็กข้างคานในรอยต่อยึด

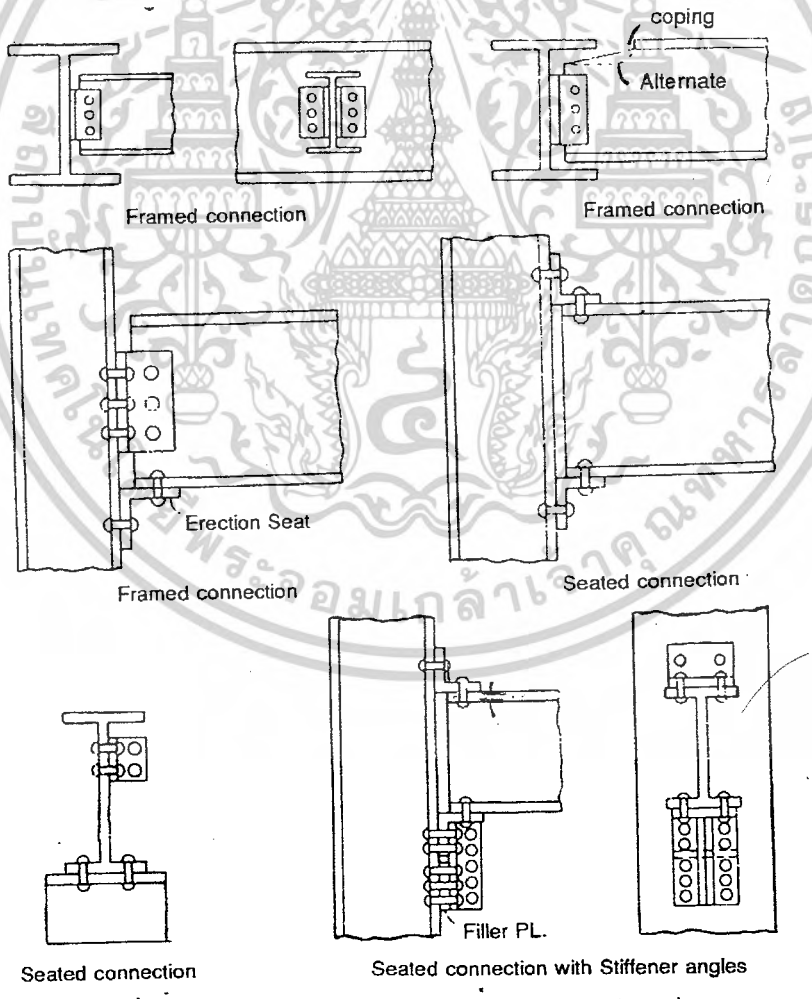
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 แนวคิดและการออกแบบของข้อต่อน็อตและโบลต์ที่จะนำมาพิจารณา

จากการทดสอบครั้งนี้เราจะทดสอบความสามารถของข้อต่อของโครงสร้างสำเร็จรูปที่ออกแบบ โดยการทดสอบต้องการจะทราบถึงพฤติกรรมการรับโมเมนต์ของข้อต่อที่ใช้ออกแบบว่ารับโมเมนต์ดัดได้เพียงใด เกิดการเคลื่อนที่ปลายคานอย่างไร และมีการวิบัติอย่างไร

จากการคิดวิเคราะห์ของรูปแบบข้อต่อที่จะนำมาออกแบบข้อต่อสำเร็จรูปเสาคานของระบบสำเร็จรูป เราจะพิจารณาจากข้อต่อแบบต่างๆที่ใช้ในการต่อโครงสร้างเหล็กระหว่างเสา-คานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยรูปแบบต่างๆจะเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 รูปแบบการต่อระหว่างเสา-คานของโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ

1. โครงสร้างที่ออกแบบต้องประกอบและสามารถยึดติดกันได้อย่างแข็งแรงเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันได้

2. การเลือกใช้วัสดุ จะต้องเลือกใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อที่จะสามารถประยุกต์เข้ากับงานจริงได้ง่าย

3. กระบวนการในการก่อสร้าง ต้องความรวดเร็ว เนื่องจากระบบก่อสร้างสำเร็จรูป ความรวดเร็วเป็นปัจจัยอันดับต้นๆของระบบก่อสร้างประเภทนี้

4. สมมติฐานของการวิบัติ ต้องตั้งสมมติฐานออกมาคร่าวๆก่อนการทดลอง ว่าจะเกิดการวิบัติอย่างไร เพื่อที่จะแก้ไขก่อนการทดสอบจริง

5. ต้องไม่ยุ่งยากและสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยรูปแบบก่อสร้างที่ออกแบบมา จะต้องสามารถประกอบเข้ากันได้โดยง่าย และไม่ยุ่งยาก

โดยหากลองมอง โดยการเปลี่ยนเสาเหล็กและคานเหล็กในรูปที่ 4.1 เป็นเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก รูปแบบที่จะเป็นไปได้มากที่สุดที่จะนำมาประยุกต์ได้หลายแบบด้วยกัน แต่รูปแบบที่สามารถประยุกต์ได้ และง่ายต่อการออกแบบและติดตั้งที่สุด คือ Seated Connection ซึ่งเป็นการใช้เหล็กฉาก 2 แผ่นประกอบติดที่ด้านบนและด้านล่างของคาน และยึดติดกันด้วยสลักเกลียว ซึ่งสามารถประยุกต์ออกแบบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีความเป็นไปได้สูง

จากโครงสร้างเหล็ก การต่อยึดแบบ Seated Connection ทำได้โดยการเจาะรูที่ตัวปีกของเหล็กเสาและคาน จากนั้นจะสามารถใช้สลักเกลียว (bolt) ในการยึดติดกันได้เลย แต่คอนกรีตเสริมเหล็กนั้นไม่สามารถทำแบบนั้นได้ เนื่องจากคอนกรีตนั้นมีความเปราะกว่าเหล็กมาก ดังนั้นเราจึงต้องหาวิธีในการยึดติดกันของเสาและคานในแบบอื่นๆ ที่สามารถทำกับเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้

ตัวเสาเราจึงได้คิดที่จะออกแบบสลักเกลียวที่เป็นเนื้อเดียวกับและคานขึ้นมา โดยจะเป็นการฝังสลักเกลียวเข้าไป และหล่อทับด้วยคอนกรีตอีกทีหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดการวิบัติของเนื้อคอนกรีตได้มาก

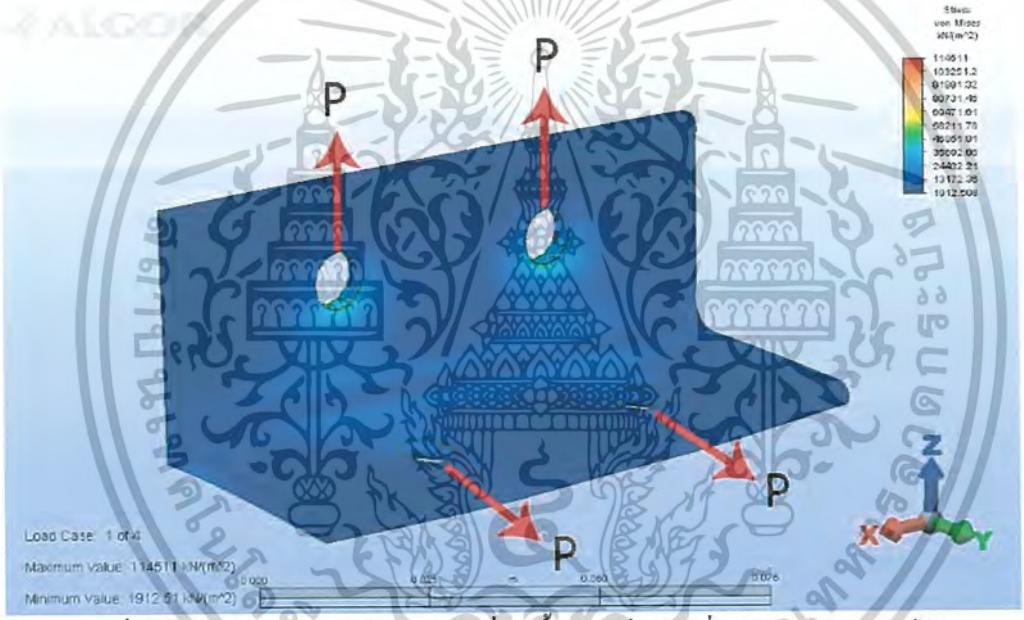
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบ

เหล็กฉาก

4.2.1 การพิจารณาการเกิดความเค้น (Stress) ของเหล็กฉากด้วยโปรแกรม Algor V20

จากหัวข้อที่ 4.1 เราได้ข้อสรุปของการทดสอบว่าจะใช้รูปแบบรอยต่อแบบ Seated Connection เนื่องจากข้อต่อรูปแบบนี้ วัสดุสำคัญที่มีผลอย่างยิ่งที่จะทำให้ข้อต่อมีความแข็งแรง ได้แก่ เหล็กฉากที่นำมาประกอบระหว่างเสากับคาน ดังนั้นเราจึงได้ศึกษาพฤติกรรมต่างๆของเหล็กฉากเมื่อรับแรงแรงดึงในลักษณะต่างๆด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วัสดุที่ชื่อว่า Algor V20 ได้ผลการทดสอบต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.2 การทดสอบความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเหล็กฉากเมื่อทำการใส่แรง P ลงไป

เมื่อเราทำการใส่แรง P ไปที่จุดซึ่งพิจารณา ในที่นี้คือรูที่ไว้สำหรับใส่น็อต จะทำให้เกิดแรงภายในของวัสดุออกมาต้าน นั่นคือความเค้น (Stress) เพื่อรักษารูปทรงให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ เนื่องจากการใส่แรงในลักษณะนี้เป็นการใส่โดยไม่กระจายสม่ำเสมอทั้งหน้าตัด จึงทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุเหล็กฉากนี้เกิดไม่สม่ำเสมอตามไปด้วย โดยความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นคือแรงต่อหน่วยพื้นที่ เป็นไปตามความสัมพันธ์

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ คือความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเหล็กฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

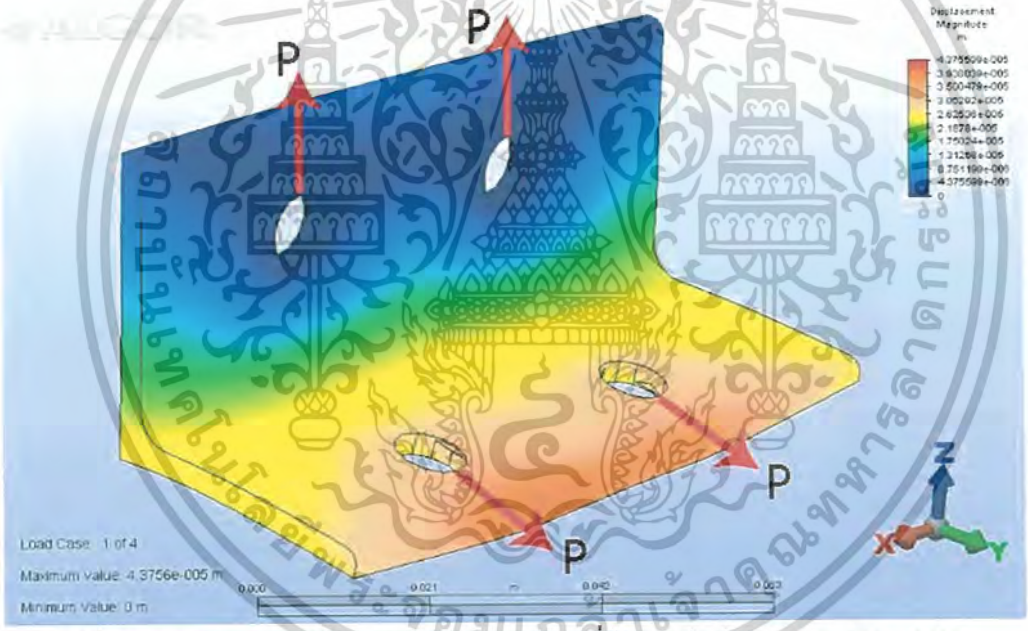
P คือแรงที่กระทำที่หน้าตัดเหล็กฉาก

A คือพื้นที่หน้าตัด (Area)

พิจารณาจากรูป 4.4 บริเวณพื้นที่ที่เป็นสีน้ำเงินนั้นคือบริเวณที่เกิดความเค้น (Stress) น้อยมากหรือไม่เกิดเลย ส่วนบริเวณที่เกิด ความเค้น (Stress) สูงที่สุด ได้แก่ บริเวณที่เป็นสีแดง จากรูป จุดที่เกิดความเค้นมากที่สุดได้แก่บริเวณขอบรูด้านตรงข้ามกับทิศทางของแรง โดยเหล็กฉาก 9 mm. สามารถเกิดความเค้นภายในได้สูงสุด 114,511 kN/m^2 และความเค้นภายในต่ำสุดเท่ากับ 1,912.51 kN/m^2

4.2.2 การพิจารณาการเสียรูป (Deformation) ของเหล็กฉากด้วยโปรแกรม Algor V20

เหล็กฉากเป็นวัสดุยืดหยุ่น (Elastic Material) จึงมีผลทำให้เมื่อเกิดความเค้นขึ้นภายในเหล็กฉาก จะทำให้เหล็กฉากเกิดการยืดออก (Displacement) โดยการวิเคราะห์การเสียรูปในโปรแกรม Algor V20 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.3 การทดสอบการเกิดการเสียรูปและระยะที่ยืดออกในโปรแกรม Algor V20

เมื่อทำการใส่แรง P เข้าไปที่บนิเวณรูของเหล็กฉาก เหล็กฉากซึ่งเป็นวัสดุยืดหยุ่นก็จะเริ่มยืดออก โดยจะยืดออกมากที่สุดในบริเวณที่เป็นสีแดง (ภาพ 4.5) ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อวัสดุเกิดความเค้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างควบคู่กันไปด้วย เช่นถ้าชิ้นส่วนมีความยาวเดิม (L) และเกิดความเค้นทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความยาวขึ้น ความยาวที่เกิดขึ้นอาจมีค่าเล็กน้อย กำหนดให้เป็น ΔL ดังนั้น กาหเทียบส่วนของความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิม ค่าที่ได้เราจะเรียกว่า “ความเครียด (Strain)” ตามความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

เมื่อ ε คือความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในเหล็กฉาก

ΔL คือความยาวที่เปลี่ยนไปจากความยาวเดิม

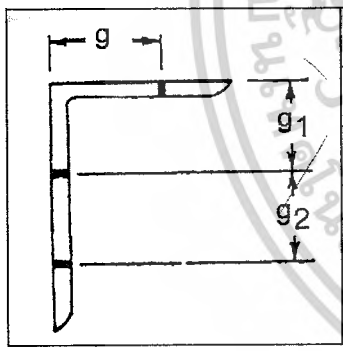
L คือความยาวเดิมของเหล็กฉาก

เนื่องจากความเครียดเป็นอัตราส่วนความยาวต่อความยาว จึงไม่มีหน่วย

ทั้งนี้ ในการทดสอบจริง แรง P ที่เกิดขึ้นอาจจะไม่ได้อยู่ในแนวแกนดังที่ได้ใช้โปรแกรม ดังนั้นการวิบัติที่เกิดขึ้นอาจไม่เป็นดังที่คาดการณ์ไว้

4.2.3 ระยะเจาะรูสำหรับเจาะเหล็กฉาก

ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้กำหนดระยะการเจาะรูสำหรับเหล็กฉาก โดยตารางจะแสดงระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐานในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง สำหรับเหล็กฉากรูปพรรณ ซึ่งขึ้นกับความยาวของขาเหล็กฉาก



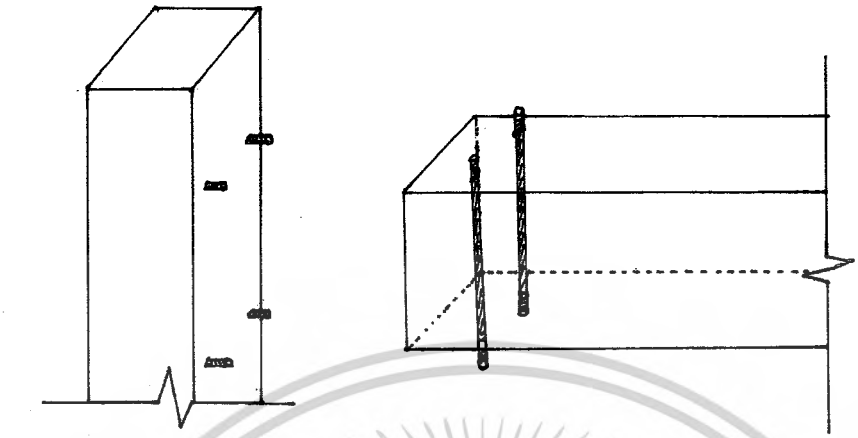
Leg	200	175	150	125	100	90	75	65	50
g	112.5	100.0	87.5	75.0	62.5	50.0	44.0	35.0	28.0
g_1	75.0	62.5	56.5	50.0					
g_2	75.0	75.0	62.5	44.0					

ตารางที่ 4.1 ระยะเจาะรูเหล็กฉากตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD

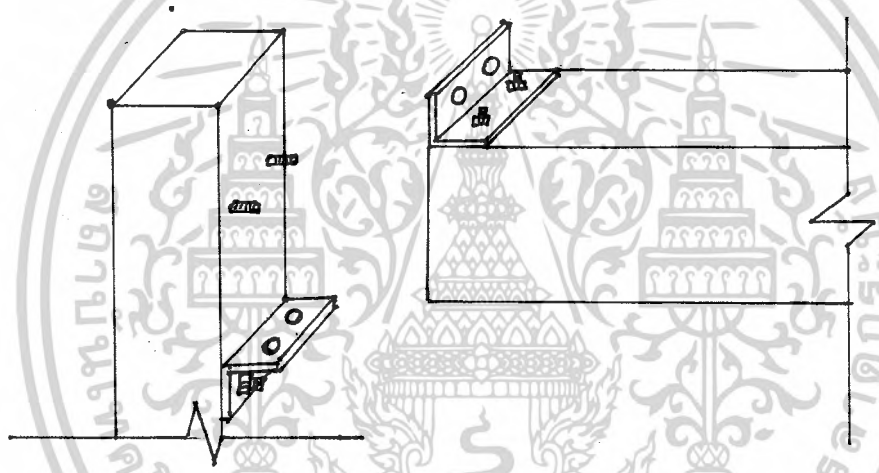
โดยเหล็กฉากที่ใช้มีระยะขาเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ระยะเจาะสำหรับเหล็กฉากจึงต้องใช้เท่ากับ 44.0 มิลลิเมตรเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเสาและคานที่ออกแบบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) แสดงรูปแบบคร่าวๆในคาน-เสาสำเร็จรูปที่จะทำการทดสอบ

เนื่องจากในโครงงานนี้ จะพิจารณาเฉพาะข้อต่อของอาคารสำเร็จรูปชนิดน็อตและโบลต์ และใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กในการทดสอบ ดังนั้นในการออกแบบเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กจึงต้องควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน โดยเสาจะใช้ขนาด 20×20 เซนติเมตร ยาว 2.40 เมตร และคาน กว้าง 20×30 เซนติเมตร ยาว 1.15 เมตร และให้มีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. คอนกรีต กำหนดให้คอนกรีตมีกำลังประลัยของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์เท่ากับ 210 kN/m^2 และค่ายุบตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 เซนติเมตร และไม่เกินกว่า 10 เซนติเมตร คอนกรีตจะต้องไม่มีสารผสมเพิ่มเพราะเป็นงานโครงสร้างที่หล่อเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ต้องควบคุมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เหล็กเสริม กำหนดให้กำลังครากเท่ากับ 2,400 kN/m^2 ในงานวิจัยเป็นเหล็กผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพ SR24

3. เหล็กปลอก กำหนดให้กำลังครากเท่ากับ 2,400 kN/m^2 ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 20-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพ SR24

4. แผ่นเหล็กฉาก (Steel Plate) กำหนดให้กำลังครากเท่ากับ 2,700 kN/m^2 ทำการเจาะรูด้านละ 2 รูห่างกัน 8 เซนติเมตรสำหรับใส่น็อต และให้ขนาดของรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 16 มิลลิเมตร ในงานวิจัยนี้แผ่นเหล็กผลิตตามมาตรฐาน มอก. 528-2527 ตามมาตรฐานเรียกชั้นคุณภาพ HR1 ขนาดของแผ่นเหล็ก กว้าง 7.5 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ใช้ความหนา 6 และ 9 มิลลิเมตร

5. โบลท์ที่ใช้เป็นตัวยึดประสาน จะใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ทำการ staff เกลียว ให้เกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร มีกำลังครากเท่ากับ 3,000 kN/m^2 ที่ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพ SR30

6. กำลังรับโมเมนต์ของเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสา มีขนาดหน้าตัด 20*20 cm ยาว 2.40 เมตร เสริมเหล็ก 4RB12
คาน มีขนาดหน้าตัด 20*30 cm ยาว 1.15 เมตร เสริมเหล็ก 4RB12

- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งานของเสา

$$C = 0.85 f_c' ba$$
$$= (0.85)(210)(20)a$$
$$= 3570a$$
$$T = A_s f_y$$
$$= (2.26)(2400)$$
$$= 5424$$

จาก C = T จะได้ a = 1.519 cm.

$$M_n = A_s f_y (d - \frac{a}{2})$$
$$= (2.26)(2400)(17 - \frac{1.519}{2})$$
$$= 880.88 \text{ kg-m}$$
$$M_u = \phi M_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= (0.9)(880.88)$

$= 792.79$ kg-m #

∴ กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของเสา เท่ากับ 792.79 kg-m

- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งานของคาน

$C = 0.85 f_c' ba$

$= (0.85)(210)(20)a$

$= 3570a$

$T = A_s f_y$

$= (2.26)(2400)$

$= 5424$

จาก C = T จะได้ a = 1.519 cm.

$M_n = A_s f_y (d - \frac{a}{2})$

$= (2.26)(2400)(27 - \frac{1.519}{2})$

$= 1,423.28$ kg-m

$M_u = \phi M_n$

$= (0.9)(1,423.28)$

$= 1,280.95$ kg-m #

∴ กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของคาน เท่ากับ 1,280.95 kg-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

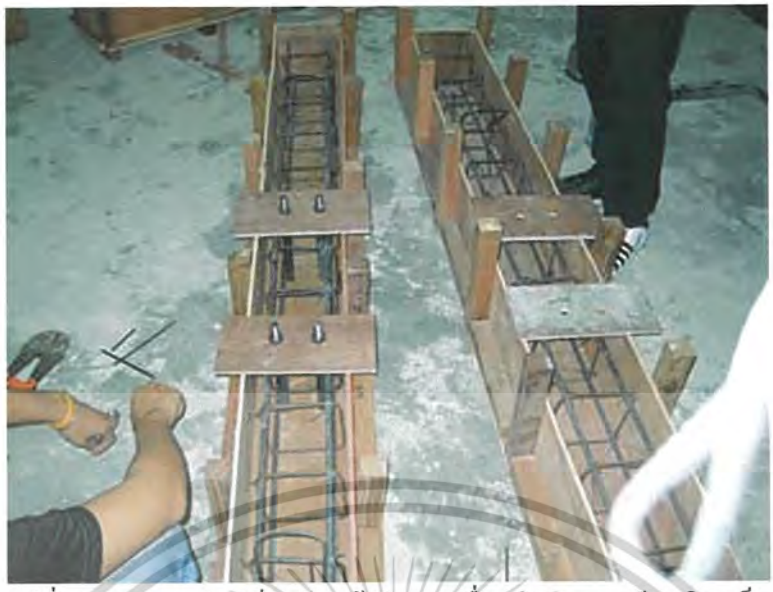
ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบในครั้งนี้เราจะต้องเตรียมตัวอย่าง เพื่อทดสอบกับข้อต่อที่ออกแบบ โดยแบบจำลองที่ใช้จะมีขนาดเท่ากับของจริง (Full Scale)

4.3.1 เสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างทดสอบจะเป็นเสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ 20×20 เซนติเมตร สูง 2.40 เมตร รายละเอียดการเสริมเหล็กยืน จะใช้เหล็กผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรเป็นเหล็กยืน 4 เส้น และเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีระยะระหว่างปลอกเท่ากับ 15 เซนติเมตร รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงชิ้นส่วนของเสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กและวิธีการใส่เหล็กเกลียวประกอบเข้าที่กึ่งกลางของเสา โดยเหล็กเกลียวจะประกอบเข้ากับไม้แบบเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขณะที่เทคอนกรีต โดยใส่เหล็กเกลียวทั้งหมด 4 เส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และให้มีระยะโผล่ออกมาของเกลียวเมื่อหล่อเสร็จแล้ว ประมาณ 5 เซนติเมตร

รูปที่ 4.6 แสดงส่วนประกอบของเสาที่จะนำมาหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

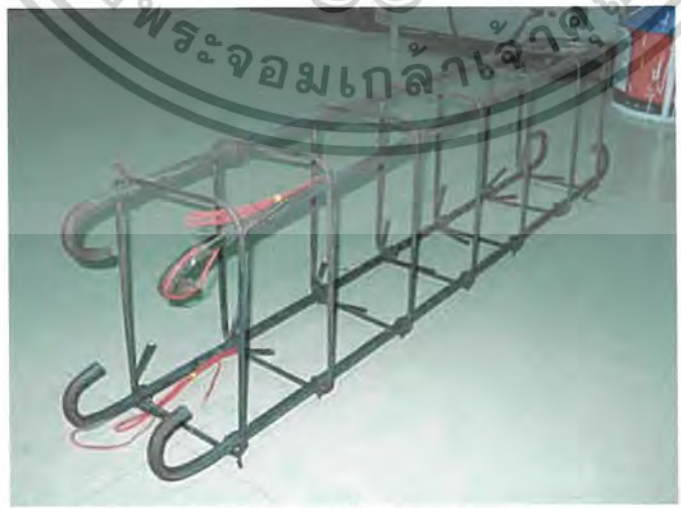
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อเหล็กเกลียวเข้ากับแบบเพื่อหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.3.2 คานสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างทดสอบเป็นคานสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดหน้าตัด 20×30 เซนติเมตร ยาว 1.15 เมตร เหล็กยืนเป็นเหล็กผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เสริมเหล็กจำนวน 4 เส้น เหล็กปลอกเป็นเหล็กผิวเรียบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปลอกเท่ากับ 15 เซนติเมตร ที่ปลายคานด้านติดกับเสาจะติดสาย Strain Gage เพื่อวัดค่าการเกิด Strain ของเหล็ก การประกอบเหล็กเกลียวเข้ากับปลายของคาน ให้มีระยะห่างจากปลายคานเท่ากับ 3.75 เซนติเมตร โดยจะใส่เหล็กเกลียวทั้งหมด 2 เส้น ให้มีระยะของเกลียวโผล่ออกมาข้างละประมาณ 5 เซนติเมตร การประกอบจะยึดติดกับไม้แบบเพื่อป้องกันการเคลื่อนขณะเทคอนกรีต รูป 4.8 และ 4.9 แสดงส่วนประกอบของคานและวิธีประกอบเหล็กเกลียวเข้ากับคาน



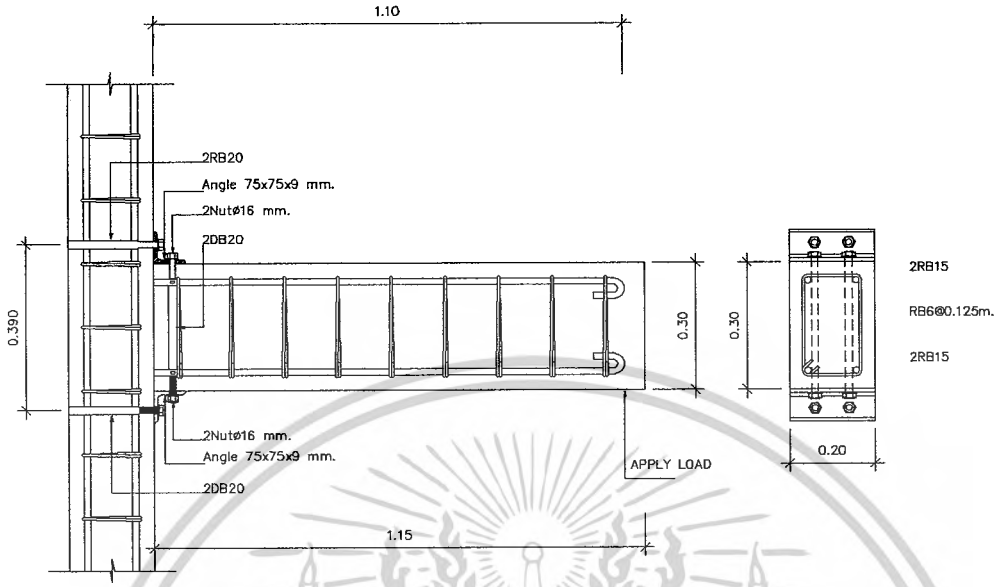
รูปที่ 4.8 แสดงส่วนประกอบของคานที่จะนำมาหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงการต่อเหล็กเกลียวเข้ากับแบบเพื่อหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยการหล่อคานและเสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กนี้ จะใช้คอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวระหว่าง 5 ถึง 10 เซนติเมตร และไม่ใส่สารผสมเพิ่ม โดยจะทำการบ่มไว้เหมือนกันในระยะเวลา 28 วัน โดยจะทำการแกะแบบเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน

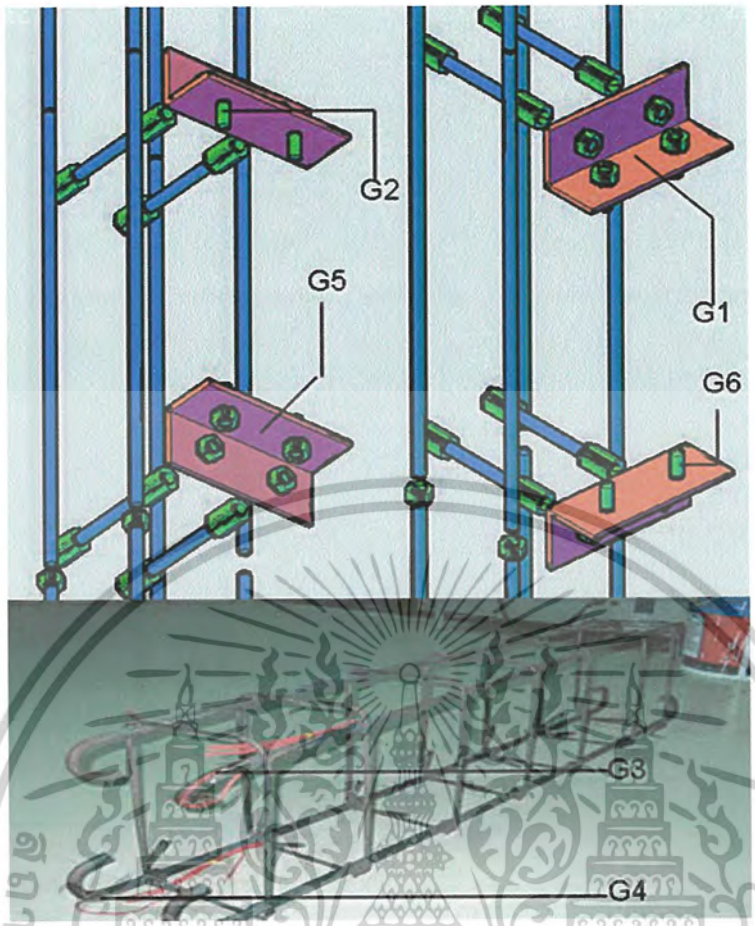
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดเสาและคานระบบสำเร็จรูปที่จะทำการทดสอบ

ตำแหน่งการติด Strain Gage ดังรูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของการติด Strain Gage ของตัวอย่างคานเสาสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวนการติด Strain Gage จะติดทั้งหมด 6 จุดใน 1 ตัวอย่างโดยแยกเป็น 2 ตัวแรกติดที่ปลายเหล็กเสริมของคาน (ด้านที่ติดกับเสา) ส่วน 2 ตัวต่อมาติดที่กลางเหล็กฉากทั้งล่างและบน และอีก 2 ตัวสุดท้ายจะติดที่ส่วนของปลายเหล็กเกลียว โดย Strain Gage ที่ใช้เป็น Strain Gage ยี่ห้อ KYOWA Type : KFG-5-120-C1-11L1M2R มีขนาด 6 มิลลิเมตร ความต้านทาน 119.6 $\pm$0.4 โอห์ม การติด Strain Gage จะต้องขัดทำความสะอาดตำแหน่งที่ติดให้ปราศจากสนิมหรือคราบสกปรกด้วยกระดาษทราย ขีดตำแหน่งติดด้วยเหล็กขีดและนำ Strain Gage ทาด้วยกาวซีเมนต์เฉพาะที่ใช้สำหรับติด Strain Gage ตัว Strain Gage อาจจะต้องติดเทปใสอีกชั้นเพื่อป้องกันสายขาดและรอยขีดข่วนที่อาจจะเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงจุดที่ติด Strain Gage ทั้งหมด 6 จุด ของเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเตรียมการทดสอบ

นำเสาวางเข้ากับแท่นและยึดด้านบนและด้านล่างด้วยแผ่นเหล็กประกับ ด้านบนยึดด้วยแม่แรงเพื่อป้องกันมิให้เสาเกิดการพลิก จากนั้นนำตัวอย่างคานที่ได้ออกแบบประกอบเข้ากันดังรูป 4.12 แล้วไขน็อตเข้ากับเหล็กเกลียว(bolt) จากนั้นอีกด้านหนึ่งให้ทำแท่นวางแล้วให้ติดตั้งเครื่อง Hydraulic Jack พร้อม Load Cell ให้ระดับของ Load Cell อยู่พอดีกับปลายคาน เป็นระยะ 1.10 เมตรจาก ติดตั้ง Load Cell เข้ากับเครื่องแสดงค่าหน่วยแรง (Digital Display) พร้อมทั้งที่ปลายคาน ได้ติดตั้ง Dial Gage เพื่ออ่านค่าการเคลื่อนที่นแนวดิ่งของคานขณะทดสอบ และต่อสาย Strain Gage เข้าสู่เครื่องวัด Data Acquisition Unit เพื่อทำการอ่านค่าและบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงการกระกอบเสาและคาน และการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

4.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ภายหลังจากติดตั้งตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือทดสอบ เริ่มทำการทดสอบโดยค่อยๆเพิ่มแรงกระทำที่ปลาคานด้วย Hydraulic Jack อ่านค่าแรงที่กระทำจาก Load Cell โดยค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละเท่าๆกันทุกครั้ง และหยุดเพื่ออ่านค่าและบันทึกข้อมูลต่างๆที่แรงกระทำขณะนั้น เพิ่มขนาดของแรงที่ปลายคานไปจนกระทั่งเกิดการวิบัติหรือจนกระทั่งเท่ากับแรงที่คาดการณ์ไว้จากการออกแบบ ข้อมูลที่จะต้องทำการบันทึกการทดสอบได้แก่ ขนาดของแรงกระทำ ระยะการเคลื่อนที่ปลายคาน ความเครียดของเหล็กเกลียว ความเครียดของแผ่นเหล็ก และลักษณะการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ค่าต่างๆที่ต้องจดบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

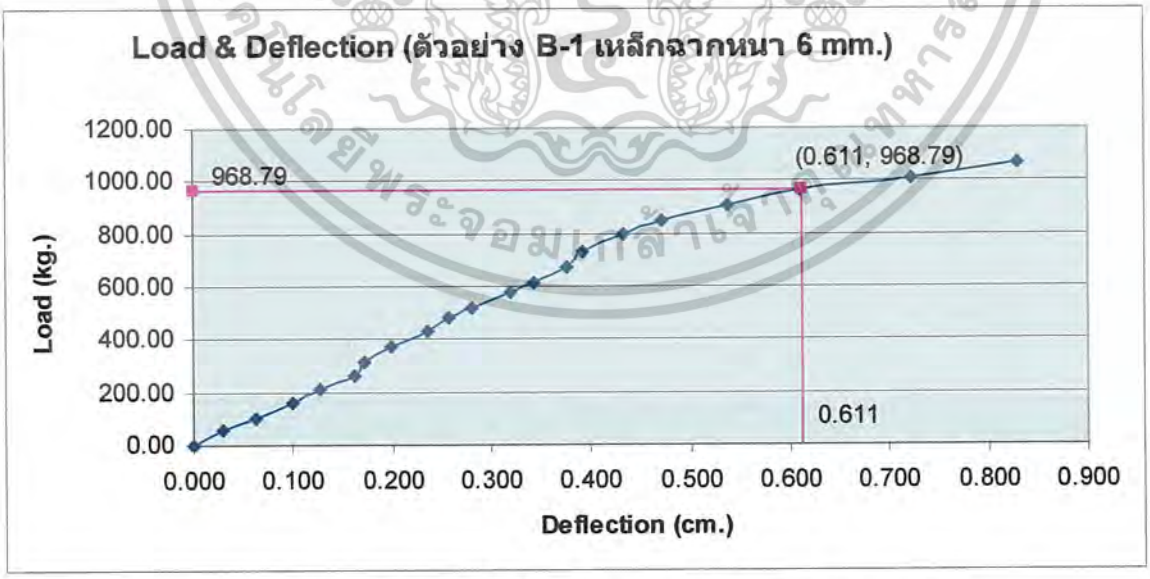
บทที่ 5
วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

5.1. ผลการทดสอบของตัวอย่าง B-1 (เหล็กฉากหนา 6 มิลลิเมตร)

5.1.1 ความสัมพันธ์ของระยะเคลื่อนที่ปลายคาน

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการเคลื่อนที่ปลายคาน (Deflection) ของตัวอย่างทดสอบนั้น จากกราฟจะเห็นได้ว่า กราฟช่วงแรกนั้นกราฟจะเป็นเส้นตรง ในส่วนนี้หมายถึงวัตถุยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ซึ่งในช่วงนี้ถ้าเรานำแรงที่กระทำออก วัตถุจะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้โดยไม่มีการวิบัติแต่อย่างใด ส่วนในกราฟช่วงที่ 2 นั้นจะเป็นลักษณะเส้นโค้งพาราโบลาคว่ำ ซึ่งในช่วงนี้ได้ผ่านช่วง Elastic มาแล้ว ในส่วนนี้วัตถุจะเริ่มคราก หรือเริ่มเกิดการวิบัติ โดยเมื่อนำแรงกระทำออก วัตถุจะไม่กลับสู่สภาพเดิมแล้ว

เมื่อออกแรงกระทำเรื่อยๆ จะทำให้วัตถุเกิดการขยาย-หดตัวตามสภาวะแรงที่ได้รับ จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ปลายคานขึ้น ซึ่งหากมีค่ามากเกินไป ก็จะไม่ปลอดภัยสำหรับอาคารที่ต้องรับน้ำหนักมากหรือต้องการความแข็งแรงของโครงสร้างสูง จึงได้มีมาตรฐานกำหนดระยะการเคลื่อนที่ปลายคาน หรือระยะการโก่งตัวที่ยอมให้สำหรับคานยื่นและคานช่วงเดี่ยว



กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของคาน B-1

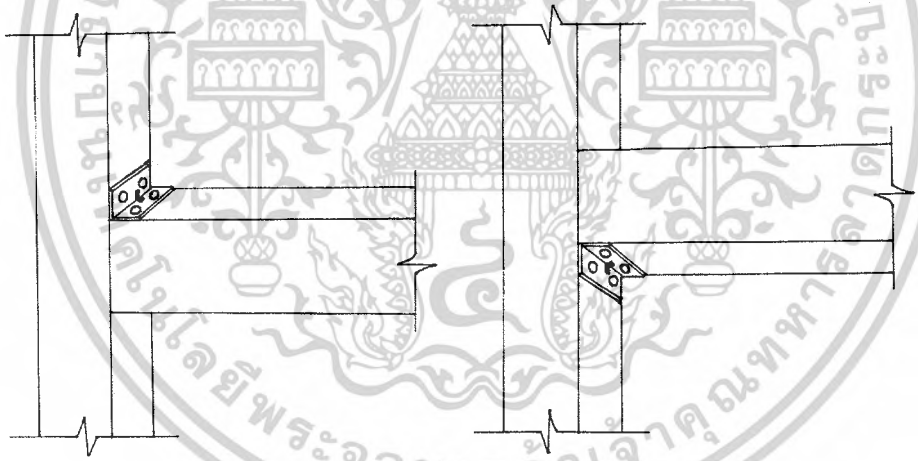
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้กำหนดระยะการเกิดการเคลื่อนที่ปลายคานที่ยอมให้สำหรับคานยื่น โดยต้องไม่เกิน L/180 โดยจากตัวอย่าง B-1 จุดที่ทำการวัดระยะการเคลื่อนที่ปลายคาน คือที่ระยะ 1.10 เมตร ดังนั้น ระยะการเกิดการเคลื่อนที่ปลายคานที่ยอมให้ตามมาตรฐานคือ 110/180 = 0.611 ซม. โดยจากกราฟเมื่อลากจากเส้นจากแกน X ที่ระยะ 0.611 ซม. ไปตัดกับเส้นกราฟ จะอ่านค่า Load ได้เท่ากับ 968.79 kg. ซึ่งเป็นค่า Load สุดท้ายที่รับได้ตามมาตรฐาน

5.1.2 วิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนต่างๆของข้อต่อเสา-คาน

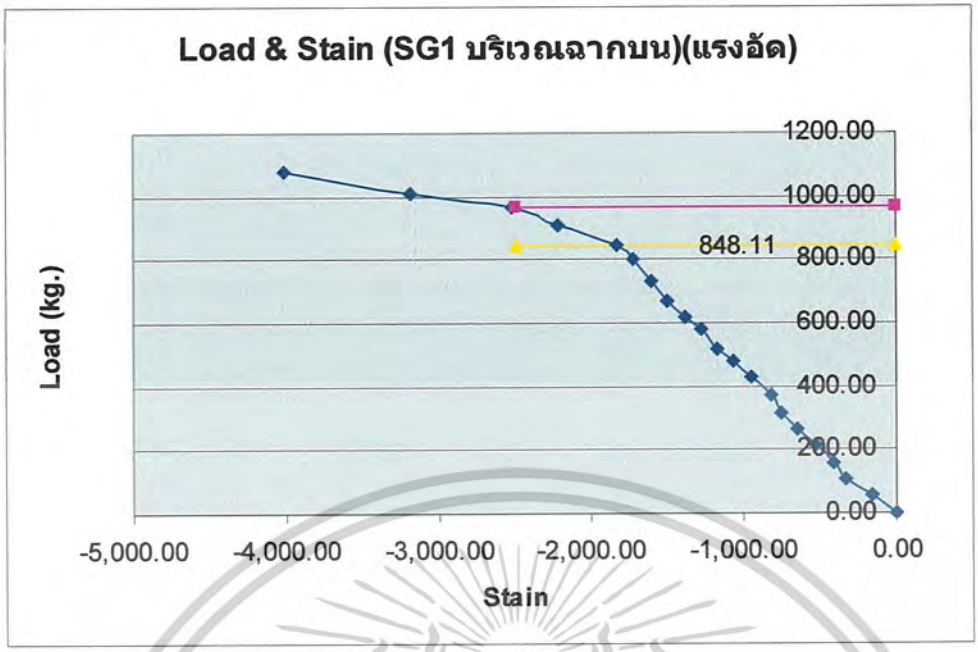
หลังจากที่เราทราบค่าแนวโน้มในการเกิด Deflection หรือการเคลื่อนที่ปลายคานอย่างคร่าวๆ ของตัวอย่าง B-1 แล้ว คราวนี้เราจะทำการวิเคราะห์ถึงส่วนประกอบของข้อต่อคาน-เสาโดยละเอียดว่ามีพฤติกรรมอย่างไรบ้าง โดยการใช้ Stain Gage ติดที่ส่วนต่างๆ เพื่อหาค่า Stain ที่เกิดขึ้นบนผิวของวัตถุนั้น จากนั้นนำค่า Stain ที่ได้ มาพล็อตหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Stain ได้ผลดังนี้

5.1.2.1 พฤติกรรมของเหล็กฉาก

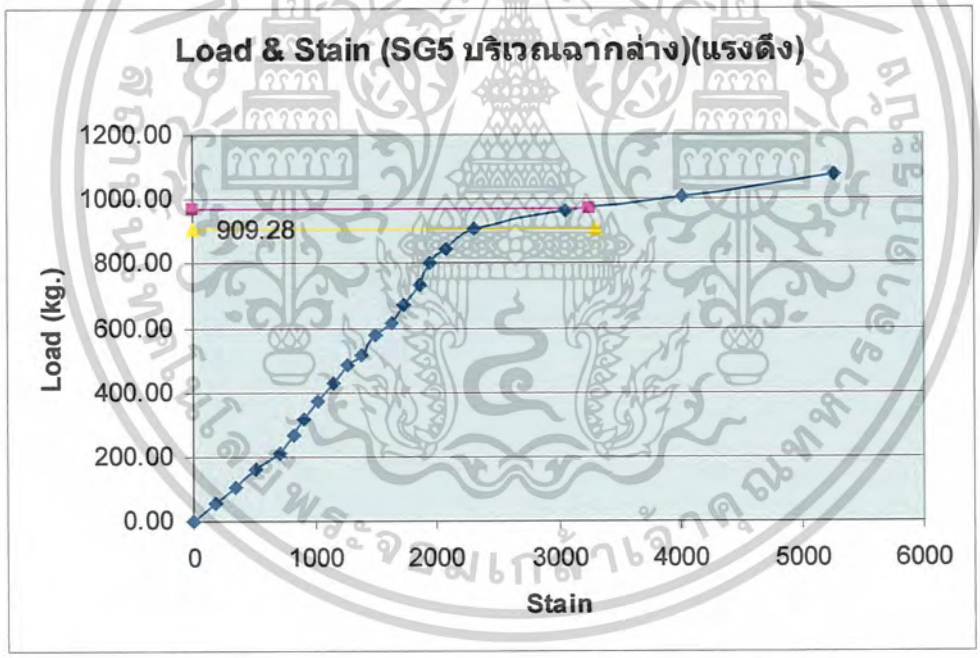


รูปที่ 5.1 จุดที่ติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากตัวบนและตัวล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.2 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากบน ของตัวอย่าง B-1



กราฟที่ 5.3 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากล่าง ของตัวอย่าง B-1

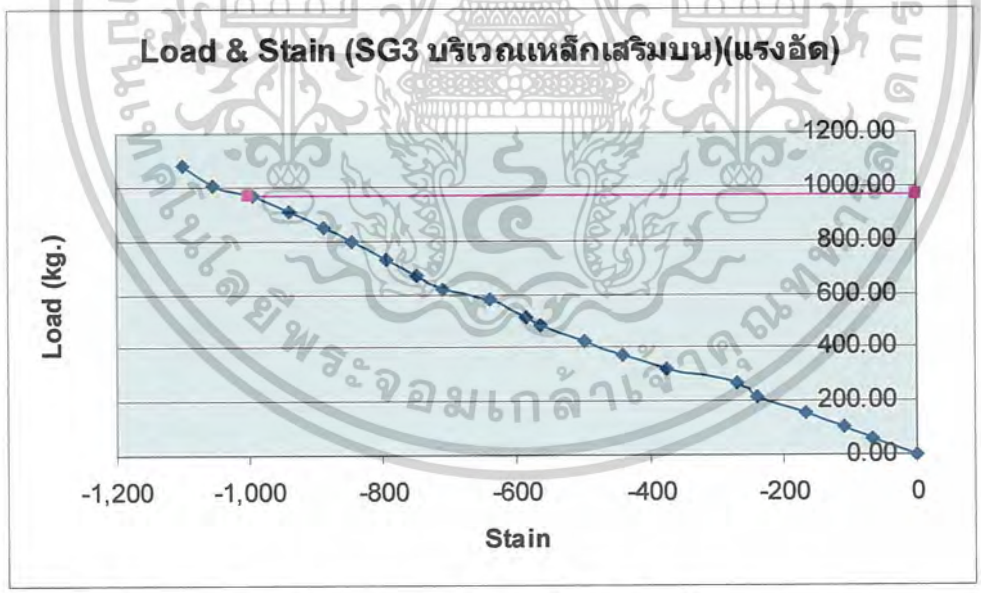
จากกราฟที่ 5.2 และ 5.3 เราจะลากเส้นจากแกน Y มาตัดกับเส้นกราฟ โดยเส้นสีชมพูคือค่าของ Load ซึ่งเป็นจุดที่ยอมให้ของ Deflection ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD มีค่า เท่ากับ 968.79 kg. จะเห็นได้ว่า ช่วงจุดตัดจะอยู่ในช่วงกราฟที่เป็นเส้นโค้ง ซึ่งตามทฤษฎีวัตถุจะเริ่มวิบัติแล้ว เราจึงใช้จุดสุดท้ายก่อนที่จะเข้าสู่เส้นโค้งในการคำนวณค่าโมเมนต์สูงสุดที่รับได้ของข้อต่อเสา-คานนี้ โดยจากกราฟที่ 5.2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายก่อนพ้นช่วง Elastic มีค่า Load กระทำเท่ากับ 848.11 kg. ส่วนกราฟที่ 5.3 จุดสุดท้ายก่อนพ้นช่วง Elastic มีค่า Load กระทำเท่ากับ 909.28 kg. ซึ่งเราจะใช้ค่าน้อยสำหรับค่าโมเมนต์สูงสุดที่รับได้ของเหล็กฉาก นั่นคือคือ 848.11 kg.

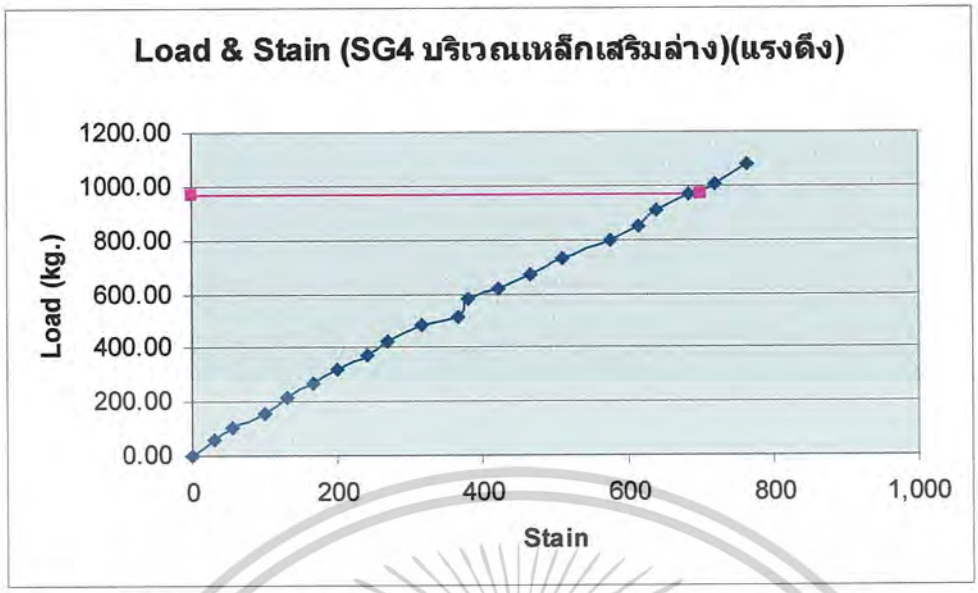
5.1.2.2 พฤติกรรมของเหล็กเสริมในคาน

รูปที่ 5.2 จุดที่ติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมในคาน



กราฟที่ 5.4 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมตัวบนในคาน ของตัวอย่าง B-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



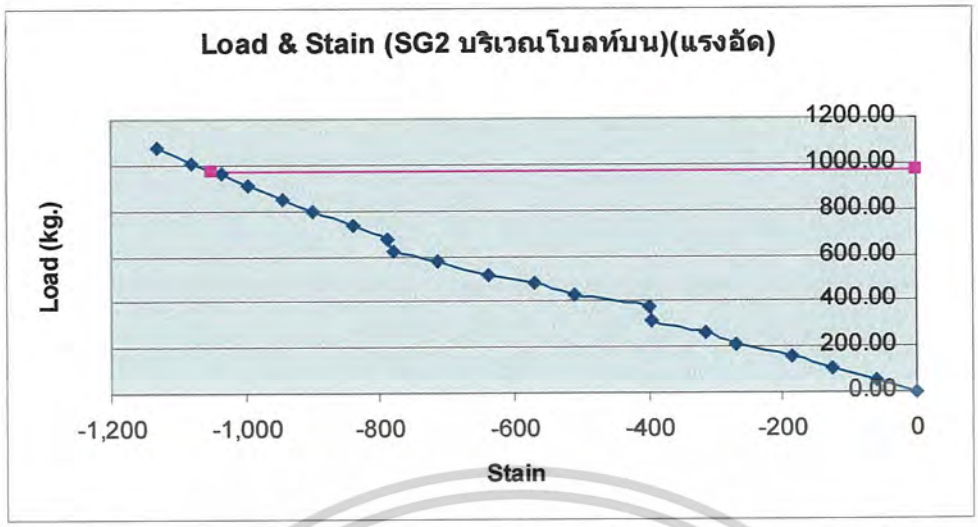
กราฟที่ 5.5 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมตัวล่างในคาน ของตัวอย่าง B-1

จากกราฟที่ 5.4 และ 5.5 โดยเส้นสีชมพูคือค่าของ Load ซึ่งเป็นจุดที่ยอมให้ของ Deflection ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD มีค่า Load เท่ากับ 968.79 kg. จากแนวโน้มของกราฟ กราฟยังคงเป็นเส้นตรงตลอดค่าของแรงกระทำที่ได้ทดลอง นั่นคือยังไม่พ้นช่วงยืดหยุ่น(Elastic) นั่นเอง จึงสามารถสรุปได้ว่า เหล็กเสริมในคานไม่เกิดการวิบัติ

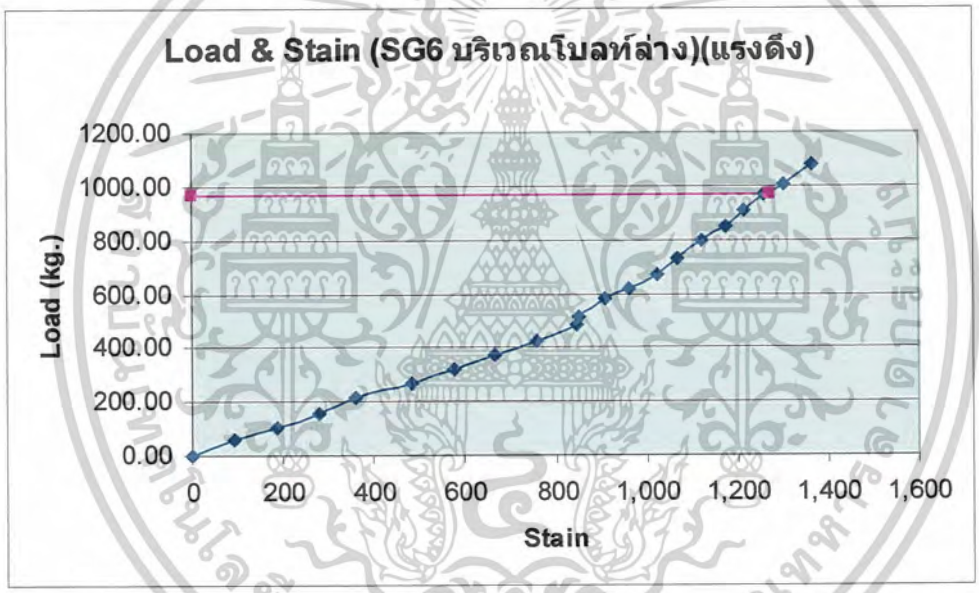
5.1.2.3 พฤติกรรมของโบลท์ที่ใช้ยึดประสาน

รูปที่ 5.3 จุดที่ติด Stain Gage บริเวณโบลท์ด้านบนและด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.6 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่าง B-1

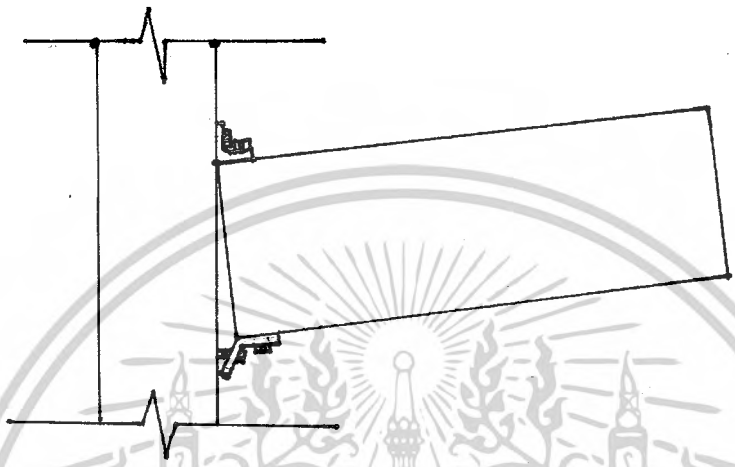


กราฟที่ 5.7 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กโบลท์ด้านล่างของคาน ของตัวอย่าง B-1

จากกราฟที่ 5.6 และ 5.7 โดยเส้นสีชมพูคือค่าของ Load ซึ่งเป็นจุดที่ยอมให้ของ Deflection ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD มีค่า Load เท่ากับ 968.79 kg. จากแนวโน้มของกราฟ กราฟยังคงเป็นเส้นตรงตลอดค่าของแรงกระทำที่ได้ทดลอง นั่นคือยังไม่พ้นช่วงยืดหยุ่น(Elastic) นั่นเอง จึงสามารถสรุปได้ว่า โบลท์ที่ใช้ในการยึดประสานไม่เกิดการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบข้อต่อคาน-เสาตัวอย่าง B-1 พบว่า จุดที่มีการวิบัติมีเพียงแค่ 2 จุด ซึ่งได้แก่ บริเวณเหล็กฉากตัวล่างและตัวบน ซึ่งสามารถรับ Load ได้ก่อนพ้นช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ได้เท่ากับ 848.11 kg. ซึ่งพฤติกรรมที่เกิดขึ้น คือ เหล็กฉากตัวล่างมีการยืดตัวออกอย่างมาก ในขณะเดียวกับเหล็กฉากตัวบนก็โดนบีบให้หดตัวลง โดยพฤติกรรมแบบนี้ เราสามารถเรียกได้ว่า เกิดการวิบัติแบบ Prying Action ซึ่งลักษณะการวิบัติจะเป็นดังรูป



รูปที่ 5.4 การวิบัติแบบ Prying Action

สำหรับการวิบัติที่จุดอื่นๆ

- ตัวเสา ไม่เกิดการวิบัติ
- ตัวคาน ไม่เกิดการวิบัติ

5.1.3 สำหรับการนำไปใช้งานแบบคานยื่น (cantilever beam)

ค่า Load ที่กระทำสุดท้ายก่อนพ้นช่วงอิลาสติก เท่ากับ 848.11 (ออกแรงกระทำที่ระยะ 1.10 เมตร)

ดังนั้นโมเมนต์ดัดที่ได้จะเท่ากับ M_n = (848.11)(1.1) = 932.92 kg-m

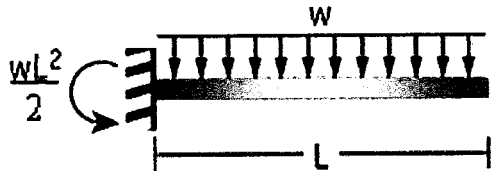
จาก $M_u = \phi M_n$

$= (0.9)(932.92)$

$= 839.62$ kg-m

$\therefore$ กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของคาน B-1 เท่ากับ 839.62 kg-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$M_u = \frac{WL^2}{2}$$

$$932.92 = \frac{WL^2}{2}$$

$$W = \frac{1865.84}{L^2}$$

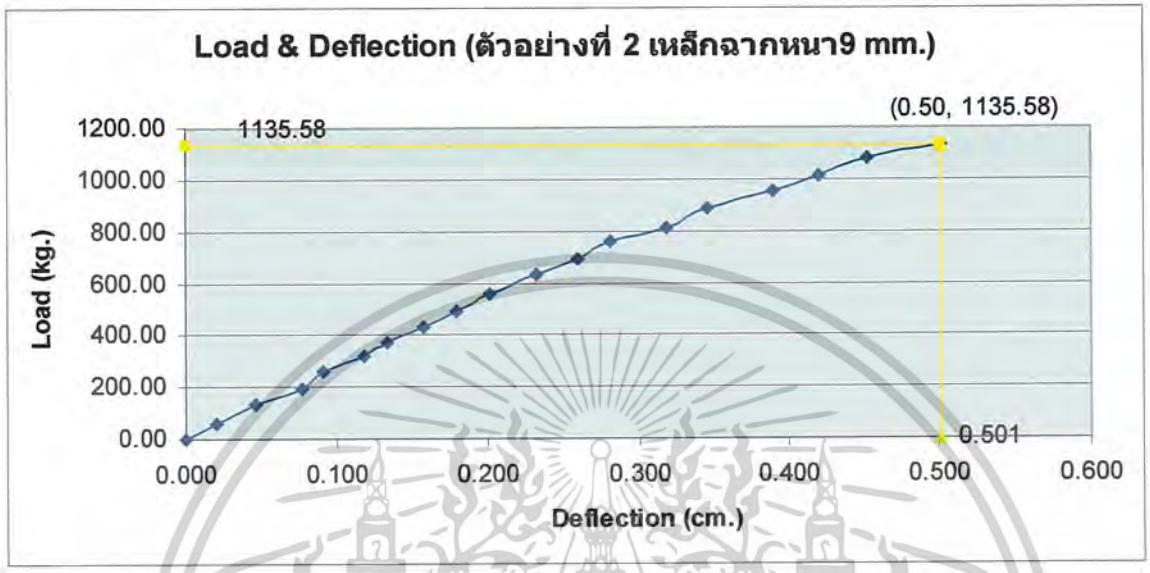
จากสมการข้างต้น เราจะสามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุก W ที่ความยาวช่วงคาน L ต่างๆ ได้ดังตาราง

L (m)	W (kg/m)
1	1865.84
2	466.46
3	207.31
4	116.61
5	74.63
6	51.82
7	38.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดสอบของตัวอย่าง B-2 (เหล็กฉากหนา 9 มิลลิเมตร)

5.2.1 ความสัมพันธ์ของระยะเคลื่อนที่ปลายคาน



กราฟที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของคาน B-2

โดยตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้กำหนดระยะการเกิดการเคลื่อนที่ปลายคานที่ยอมให้สำหรับคานยื่น โดยต้องไม่เกิน L/180 โดยจากตัวอย่าง B-2 จุดที่ทำการวัดระยะการเคลื่อนที่ปลายคาน คือที่ระยะ 1.10 เมตร ดังนั้น ระยะการเกิดการเคลื่อนที่ปลายคานที่ยอมให้ตามมาตรฐานคือ 110/180 = 0.611 ซม.

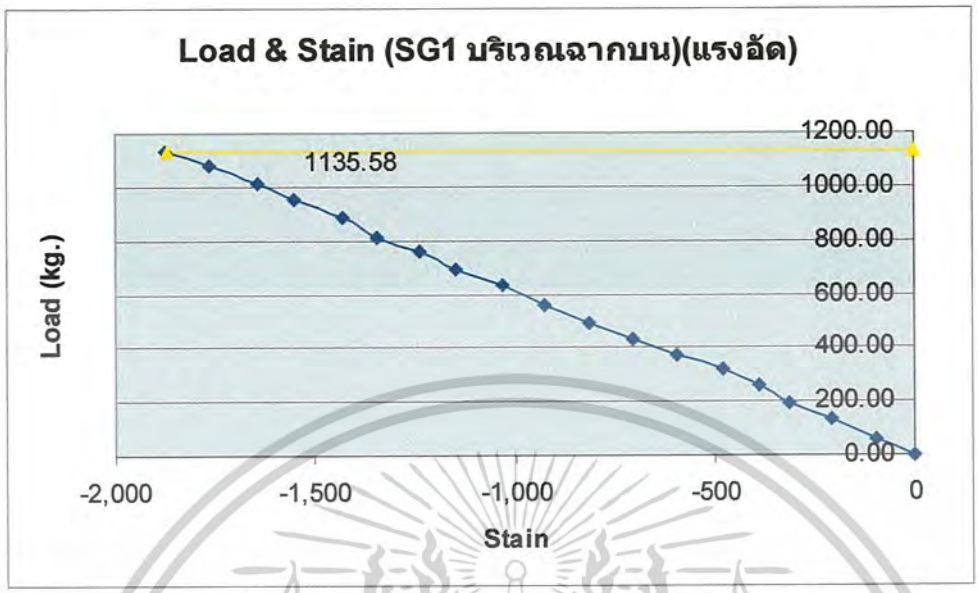
จากตัวอย่างที่ 2 เมื่อให้ค่าแรงไปได้ประมาณ 1135.58 kg. เสาเกิดการโก่งตัว เราจึงทำการหยุดการทดสอบ

5.2.2 วิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนต่างๆของข้อต่อเสา-คาน

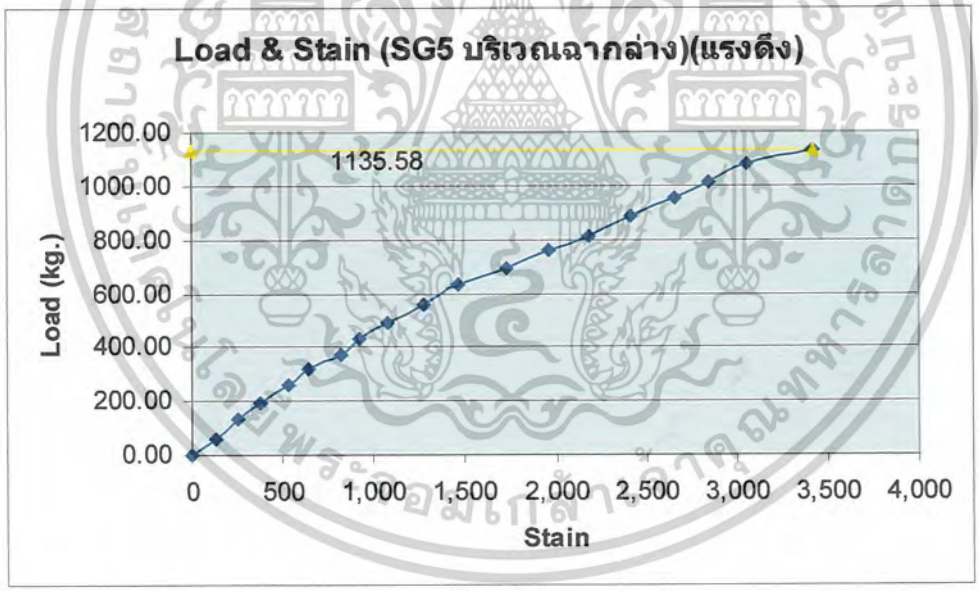
หลังจากที่เราทราบค่าแนวโน้มในการเกิด Deflection หรือการเคลื่อนที่ปลายคานอย่างคร่าวๆ ของตัวอย่าง B-1 แล้ว คราวนี้เราจะทำการวิเคราะห์ถึงส่วนประกอบของข้อต่อคาน-เสาโดยละเอียดว่ามีพฤติกรรมอย่างไรบ้าง โดยการใช้ Stain Gage ติดที่ส่วนต่างๆ เพื่อหาค่า Stain ที่เกิดขึ้นบนผิวของวัตถุนั้น จากนั้นนำค่า Stain ที่ได้ มาพล็อตหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Stain ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.1 พฤติกรรมของเหล็กฉาก



กราฟที่ 5.9 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากบน ของตัวอย่าง B-2



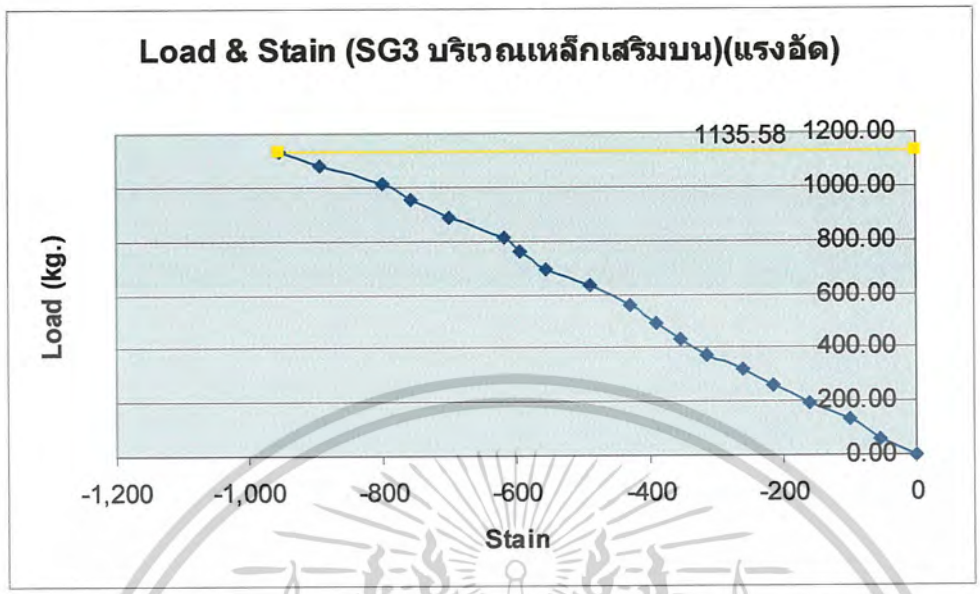
กราฟที่ 5.10 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กฉากล่าง ของตัวอย่าง B-2

จากกราฟที่ 5.9 และ 5.10 เราจะลากเส้นจากแกน Y มาตัดกับเส้นกราฟ เส้นสีเหลือง คือ ค่า Load สุดท้ายที่ทำการทดสอบ (เสาเกิดการโก่งตัว) มีค่าเท่ากับ 1135.58 kg.

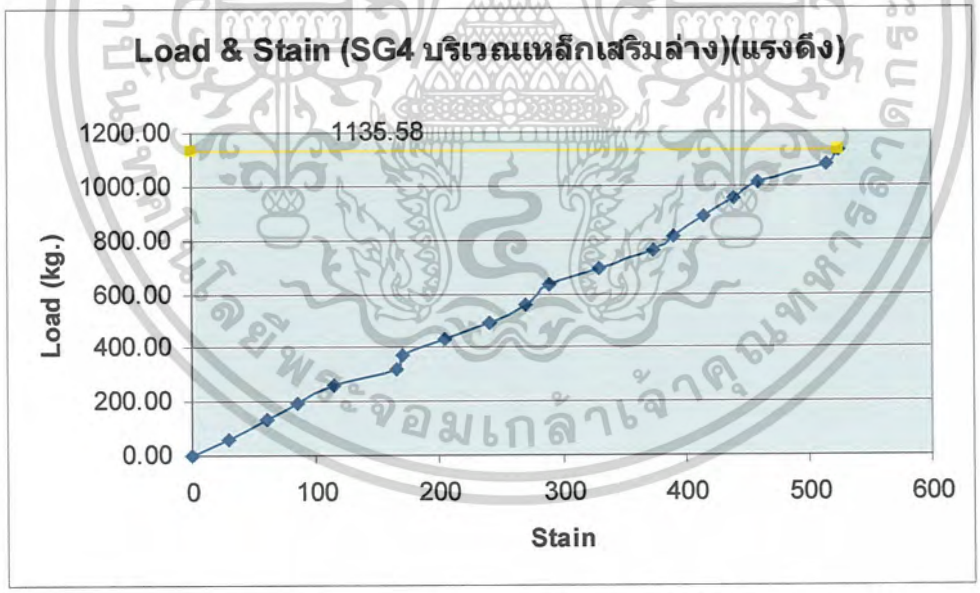
จะเห็นได้ว่า ตลอดช่วงของกราฟที่เราใส่ Load ทดสอบ กราฟยังคงเป็นเส้นตรงตลอดค่าของแรงกระทำที่ได้ทดลอง นั่นคือยังไม่พ้นช่วงยืดหยุ่น(Elastic) นั่นเอง จึงสามารถสรุปได้ว่า เหล็กฉากของตัวอย่างนี้ไม่เกิดการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 พฤติกรรมของเหล็กเสริมในคาน



กราฟที่ 5.11 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมตัวบนในคาน ของตัวอย่าง B-2



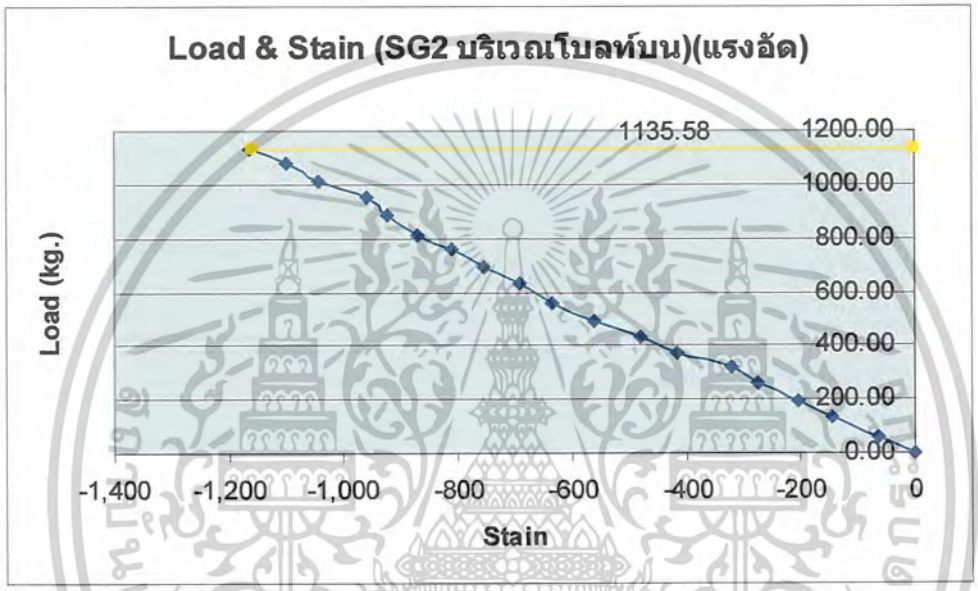
กราฟที่ 5.12 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กเสริมตัวล่างในคาน ของตัวอย่าง B-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 5.11 และ 5.12 เราจะลากเส้นจากแกน Y มาตัดกับเส้นกราฟ เส้นสีเหลือง คือ ค่า Load สุดท้ายที่ทำการทดสอบ (เสาเกิดการโก่งตัว) มีค่าเท่ากับ 1135.58 kg.

จะเห็นได้ว่า ตลอดช่วงของกราฟที่เราใส่ Load ทดสอบ กราฟยังคงเป็นเส้นตรงตลอดค่าของแรงกระทำที่ได้ทดลอง นั่นคือยังไม่พ้นช่วงยืดหยุ่น(Elastic) นั่นเอง จึงสามารถสรุปได้ว่า เหล็กเสริมในคานของตัวอย่างนี้ไม่เกิดการวิบัติ

5.2.2.3 พฤติกรรมของโบลท์ที่ใช้ยึดประสาน



กราฟที่ 5.13 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่าง B-2

กราฟที่ 5.14 แสดงผลการติด Stain Gage บริเวณเหล็กโบลท์ด้านบนของคาน ของตัวอย่าง B-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 5.13 และ 5.14 เราจะลากเส้นจากแกน Y มาตัดกับเส้นกราฟ เส้นสีเหลือง คือ ค่า Load สุดท้ายที่ทำการทดสอบ (เสาเกิดการโก่งตัว) มีค่าเท่ากับ 1135.58 kg.

จะเห็นได้ว่า ตลอดช่วงของกราฟที่เราใส่ Load ทดสอบ กราฟยังคงเป็นเส้นตรงตลอดค่าของแรงกระทำที่ได้ทดลอง นั่นคือยังไม่พ้นช่วงยืดหยุ่น(Elastic) นั่นเอง จึงสามารถสรุปได้ว่า โบลท์ที่เป็นตัวยึดประสานของตัวอย่างนี้ไม่เกิดการวิบัติ

จากการทดสอบข้อต่อคาน-เสาตัวอย่าง B-2 พบว่า ไม่พบจุดที่มีการวิบัติบนข้อต่อ แต่เมื่อออกแรงกระทำไปจนถึงค่าสุดท้ายที่ทำการบันทึกคือ 1135.58 kg. เสาเกิดการโก่งตัว เราจึงหยุดการทดสอบ

5.2.3 สำหรับการนำไปใช้งานแบบคานยื่น (cantilever beam)

ค่า Load ที่กระทำสุดท้ายก่อนพ้นช่วงอิลาสติก เท่ากับ 1080.53 (ออกแรงกระทำที่ระยะ 1.10 เมตร)

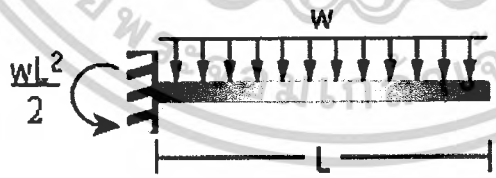
ดังนั้นโมเมนต์ดัดที่ได้จะเท่ากับ M_n = (1080.53)(1.1) = 1188.58 kg-m

จาก $M_u = \phi M_n$

$= (0.9)(1188.58)$

$= 1069.72$ kg-m

$\therefore$ กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของคาน B-2 เท่ากับ 1,069.72 kg-m



$$M_u = \frac{WL^2}{2}$$

$$1069.72 = \frac{WL^2}{2}$$

$$W = \frac{2139.44}{L^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น เราจะสามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุก W ที่ความยาวช่วงคาน L ต่างๆได้ดังตาราง

L (m)	W (kg/m)
1	2139.44
2	534.86
3	237.71
4	133.71
5	85.57
6	59.42
7	43.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผลการทดสอบคานทั้ง 2 ตัวอย่าง

จากการทดสอบข้อต่อของเสา-คานตัวอย่างทั้ง 2 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างแรกใช้เหล็กฉากที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร และตัวอย่างที่ 2 ใช้เหล็กฉากที่ความหนา 9 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

5.3.1 เปรียบเทียบการเกิด Deflection กับทฤษฎีของคานแบบหล่อในที่ (Fixed)

จากทฤษฎีการเกิด Deflection ของคานยื่น เราสามารถหาระยะการเกิด Deflection สำหรับคานยื่นตามทฤษฎีได้จากสูตร

$$\text{Deflection ตามทฤษฎี} = \frac{PL^3}{3EI}$$

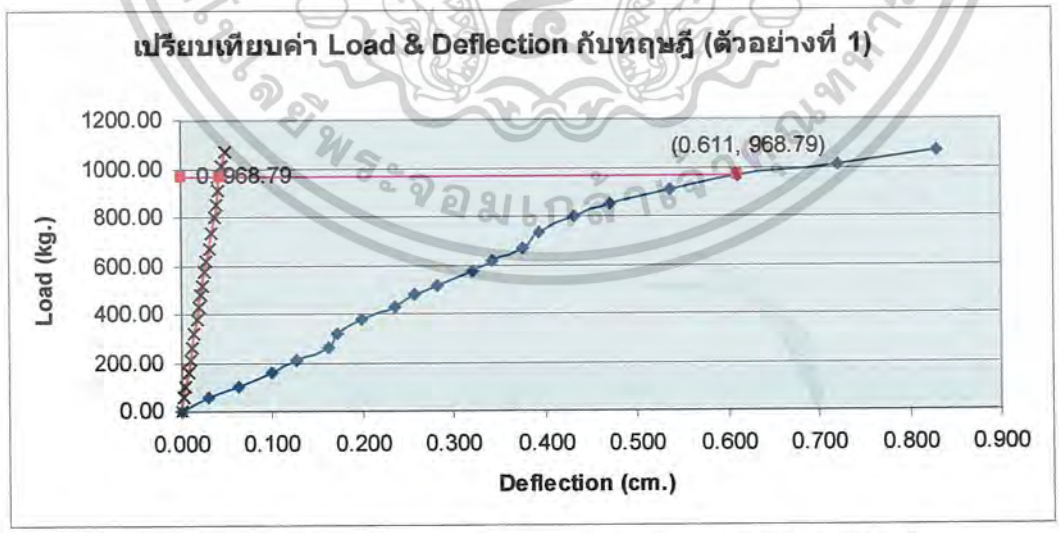
โดย P = แรงกระทำแบบ point load ที่ปลายคาน

L = ความยาวคาน หรือตำแหน่งที่ออกแรงกระทำ

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของคาน

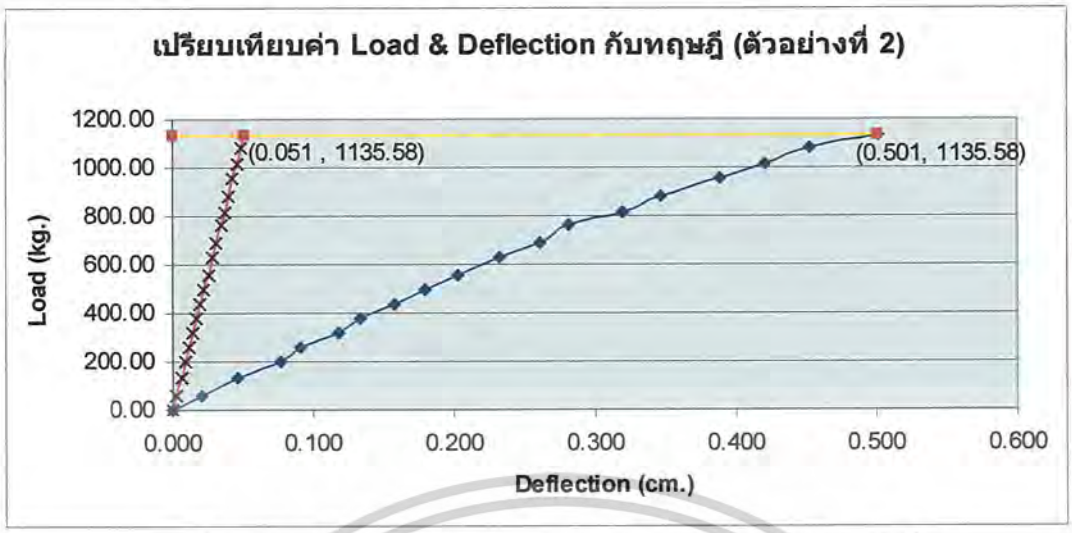
I = Moment Inertia ของคาน

จากสูตรเราจะสามารถพล็อตกราฟการเกิด Deflection ของตัวอย่าง B-2 เทียบกับทางทฤษฎีได้ดังนี้



กราฟที่ 5.15 การเปรียบเทียบค่า Load & Deflection กับทฤษฎี สำหรับตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.16 การเปรียบเทียบค่า Load & Deflection กับทฤษฎี สำหรับตัวอย่างที่ 2

โดยจากกราฟที่ 5.15 และ 5.16 จะเห็นได้ว่า ค่า Deflection จากทฤษฎีแบบ Fixed กับตัวอย่างข้อต่อเสา-คานที่เราได้ทำการทดลอง พบว่า ค่าที่ได้นั้นต่างกันมาก (เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อต่อเสาคานที่เราออกแบบนั้น เป็นแบบ Semi-Fixed

โดยหากเราเทียบกับค่ามาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ที่ได้กำหนดไว้ว่า ค่าการเกิด Deflection ที่ยอมให้สำหรับคานยื่น เท่ากับ L/180 นั้น รูปแบบของข้อต่อเสา-คานที่เราได้ทำการออกแบบนั้นก็อยู่ในค่ารับได้ แต่เมื่อเทียบกับทางทฤษฎีของคาน Fixed แล้ว พบว่ายังต่างกันมาก ดังนั้นสำหรับข้อต่อเสา-คานแบบน็อตและโบลท์ในการทดลองนี้ "ไม่ควรที่จะนำไปออกแบบคานยื่น" เนื่องจากค่า Load ที่รับได้ยังมีค่าที่น้อย และค่า Deflection นั้นมากเกินไป

สำหรับการนำไปใช้งานแบบ Simple Beam นั้น สำหรับในตัวอย่างการทดลองนั้นสามารถนำไปใช้ได้ แต่ต้องคำนึงถึงค่าแรงเฉือนในโบลท์ และที่เหล็กฉากประกอบการออกแบบด้วย เนื่องจากในโครงสร้าง Simple Beam มีการรับค่าแรงเฉือนที่ค่อนข้างมาก

แต่เนื่องจากการทดสอบในครั้งนี้ ทางกลุ่มผู้ทำการวิจัยโครงงานพิเศษได้เสนอแนวคิดที่จะออกแบบข้อต่อเสา-คานในแบบน็อตและโบลท์ในรูปแบบใหม่ ดังนั้นตัวอย่างในโครงงานพิเศษนี้ จึงเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในพัฒนา การออกแบบเสา-คาน แบบน็อตและโบลท์ต่อไป

5.3.2 โมเมนต์สูงสุดที่รับได้

ค่าโมเมนต์ดัดของเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบเป็นดังนี้

- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของเสา เท่ากับ 792.79 kg-m
- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของคาน เท่ากับ 1,280.95 kg-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าโมเมนต์ดัดของข้อต่อเสา-คานของตัวอย่างทั้งสองตัวอย่าง

- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของข้อต่อเสา-คาน B-1 เท่ากับ 839.62 kg-m
- กำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน M_u ของข้อต่อเสา-คาน B-1 เท่ากับ 1,069.72 kg-m

นั่นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความหนาของเหล็กฉาก มีผลทำให้กำลังรับโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้น โดยการวิบัติที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการวิบัติแบบ Prying Action ซึ่งเกิดขึ้นที่เหล็กฉาก โดยส่วนประกอบอื่นๆ ไม่เกิดการวิบัติแต่อย่างใด

สำหรับการแก้ไข ไม่ให้เกิดการวิบัติแบบ Prying Action ก็สามารถทำได้ โดยการเพิ่มความหนาของเหล็กฉากหรือใช้ความหนาของเหล็กฉากที่เหมาะสม

5.3.3 การวิบัติที่เกิดขึ้น

จากการทดสอบครั้งนี้ เราพบการวิบัติของตัวอย่างทั้งสอง โดยการวิบัติสามารถสรุปได้ดังนี้

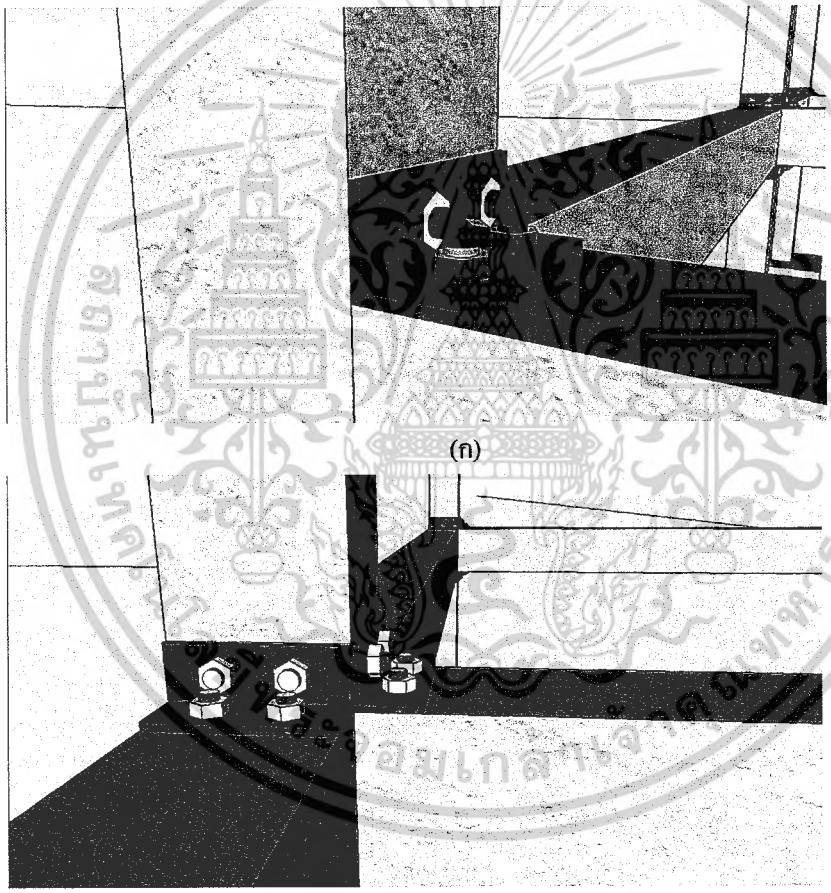
- ตัวอย่าง B-1 เกิดการวิบัติแบบ Prying Action ในขณะที่ตัวเสาและตัวคานไม่เกิดการวิบัติ
- ตัวอย่าง B-2 เกิดการวิบัติแบบ Prying Action ในขณะที่ตัวเสาเกิดการโก่งเล็กน้อย และตัวคานด้านที่ติดกับเสาเกิดการกระเทาะออกเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 การติดตั้งและโมเดลโครงสร้างตัวอย่าง

ในการติดตั้งจะมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีความชำนาญการและความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากโครงสร้างนั้นมีน้ำหนักที่มากต้องใช้เครื่องทุ่นแรงขนาดใหญ่ในการยก เช่น Mobile Crane หรือ Tower Crane ประแจสำหรับขันน็อต ซึ่งในขณะที่ทำการติดตั้งนั้นต้องทำการเล็งตำแหน่งที่จะทำการเชื่อมต่อโครงสร้างให้ตรง เพื่อที่จะได้ใส่เหล็กฉากและขันน็อตได้ โดยการขันน็อตต้องให้แรงดึงของน็อตในแต่ละตัวเท่ากัน เพื่อป้องกันมิให้คานเกิดการเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง



(ก)

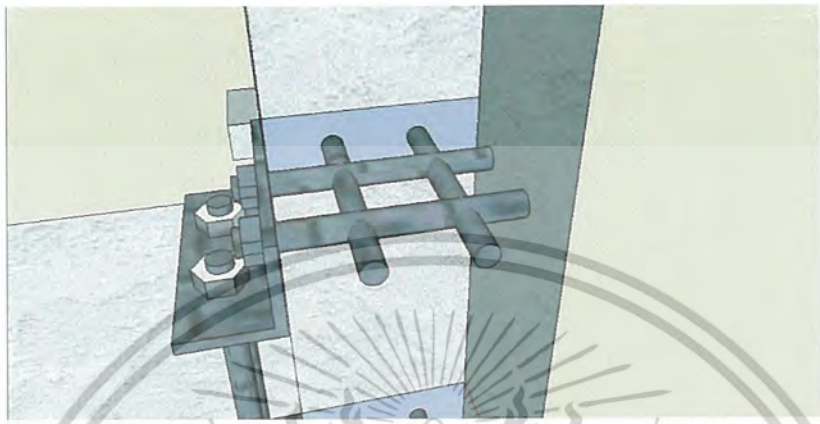
(ข)

รูปที่ 6.1 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะของเหล็กฉากและ Bolts เมื่อนำไปติดตั้งในโครงสร้างสำเร็จรูป

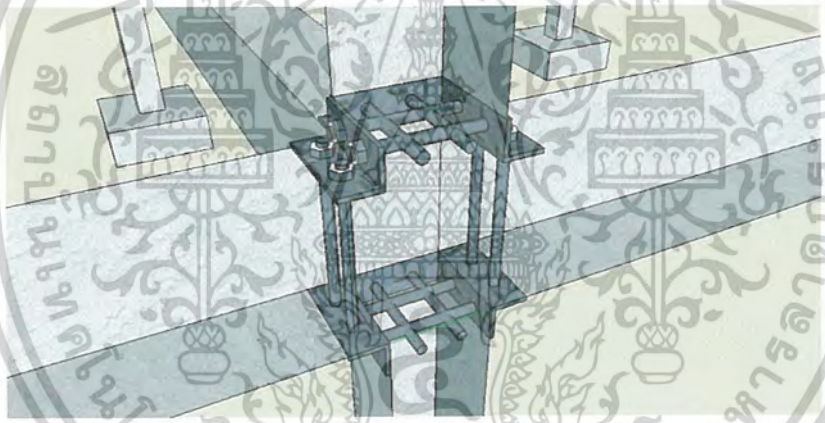
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 การติดตั้งคาน-เสา โดยที่คานมีมากกว่าสองทิศทาง

จากตัวอย่างที่ได้ทดสอบไปนั้น เป็นเพียงแค่การต่อคานแบบหนึ่งทิศทาง ส่วนในการนำไปใช้งานจริงนั้น หากมีการต่อมากกว่า 1 ทิศทาง ลักษณะของข้อต่ออาจออกแบบให้มีลักษณะดังนี้



(ก)



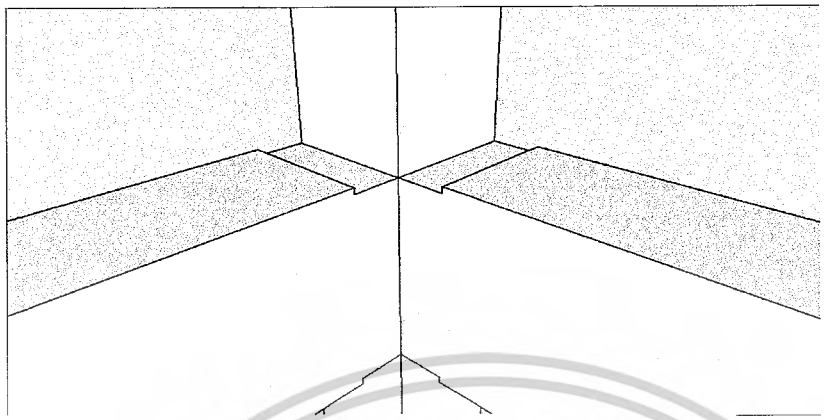
(ข)

รูปที่ 6.2 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะของโบลท์ในการต่อแบบ สองและสามทิศทาง

จากรูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของโบลท์ภายในตัวเสา ที่มีการต่อแบบหลายทิศทาง โดยการออกแบบโบลท์อาจจะทำออกมาในลักษณะของเหล็กรูปพรรณที่เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อ

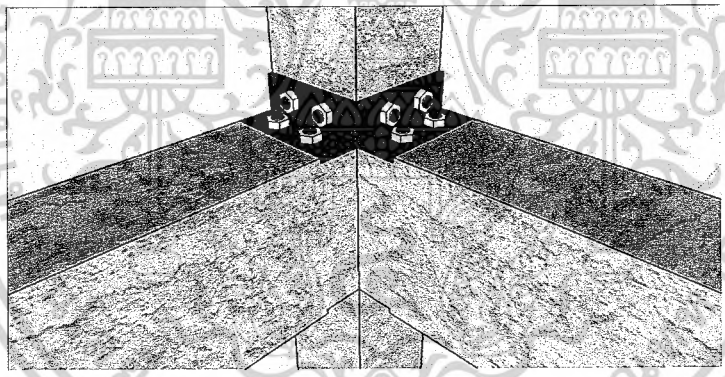
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 การลดระดับผิวคานเพื่อให้เหล็กฉากเป็นระดับเดียวกับคาน

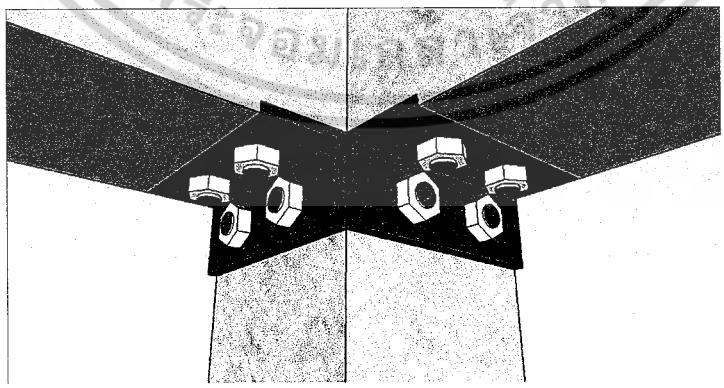


รูปที่ 6.3 การลดระดับผิวคาน

ในการออกแบบ เราอาจจะทำการบากตัวคาน ในบริเวณที่จะติดตั้งเหล็กฉาก เพื่อให้ในการติดตั้งนั้นตัวเหล็กฉากจะได้เป็นระดับเดียวกันกับคาน เพื่อที่จะสามารถติดตั้งแผ่นพื้นได้โดยง่าย และช่วยลดความลำบากในการทำงานชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องกับบริเวณดังกล่าว



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.4 แสดงการติดตั้งเหล็กฉากที่ทำการลดระดับของคานเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 กระบวนการผลิต

ขั้นตอนในการผลิตนั้น จะเริ่มจากการคำนวณการรับกำลังของโครงสร้าง ว่าจะได้ขนาดหน้าตัดของคานขนาดเท่าไหร่ ขนาดหน้าตัดเสาที่ต้องรับแรง และคำนวณหาระยะซึ่งจะใช้ในการระบุตำแหน่งของเหล็ก Dowel ที่ Staff เกลียวซึ่งเราจะนำมาทำเป็น Bolt ของโครงสร้างโดยเทียบกับขนาดเหล็กฉากที่นำมาใช้ จากนั้นเราจะทำการสร้างแบบหล่อ Concrete ขึ้นมา โดยเจาะรูที่แบบเพื่อให้เกลียวที่ทำการ Staff เอาไว้โผล่พ้นจาก Concrete ที่เราจะทำการเททั้ง 2 ด้าน ดูรูปประกอบในบทที่ 4

ข้อควรระวังในการสร้างแบบหล่อ Concrete และการเท Concrete คือ

1. ควรเข้าแบบหล่อให้สนิทไม่ให้มีรูเพื่อน้ำปูนจะได้ไม่ไหลอันจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นส่วน
2. การติดตั้งเหล็กที่ใช้เป็น Bolt ควรพิจารณาถึงขนาดของเหล็กฉากที่นำมาใช้กับโครงสร้างเพื่อที่จะได้วัดขนาดและมาคำนวนหาระยะการวางตัวของ Bolt เพื่อให้เข้ากันได้สนิทพอดี
3. ควรมีการป้องกันเกลียวที่ได้ทำการ Staff ไว้ในขณะเท Concrete เพื่อที่จะได้ไม่เกิดความเสียหายของเกลียวขณะเท Concrete โดยหาอะไรมาพันเอาไว้เช่น เทปกาว ฯลฯ
4. ก่อนทำการเท Concrete ควรคำนวณหาระยะที่จะใช้ในการยกชิ้นส่วน และออกแบบให้มีจุดที่จะทำการยกชิ้นส่วน เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย เช่น ฝังเหล็ก รูปตัวยู เอาไว้เพื่อยกชิ้นส่วน
5. ทำการเก็บตัวอย่าง Concrete ที่ทำการเทโดยให้มีสภาพการบ่ม Concrete เช่นเดียวกับชิ้นส่วนจริง จะได้สามารถนำมาอ้างอิงกับชิ้นส่วนได้
6. ก่อนทำการเคลื่อนย้ายควร Check กำลังของ Concrete โดยนำลูกปูนที่ได้เก็บตัวอย่างเอาไว้มาทำการทดสอบกำลัง เพื่อที่จะได้ทราบกำลังของวัสดุ

6.3 ข้อดีข้อเสียของระบบสำเร็จรูป

ข้อดีของระบบสำเร็จรูป

ข้อดีหรือประโยชน์ที่ผู้ซื้อบ้านที่ก่อสร้างโดยระบบสำเร็จรูปได้รับก็คือ ซื้อบ้านได้ราคาที่ถูกลง เพราะการก่อสร้างระบบนี้จะมีต้นทุนต่อตารางเมตรที่ต่ำกว่าการก่อสร้างระบบปกติ ด้วยระยะเวลาการสร้างเสร็จที่เร็วจากเดิม สามารถควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างได้ จากการผลิตในแต่ละชิ้นส่วน และมีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมงานก่อสร้างเป็นสัดส่วน ทำให้ควบคุมการสร้างให้เป็นไปตามกำหนดเวลาได้ นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาการหยุดชะงักของงานอันเนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศไม่อำนวย

ข้อเสียของระบบสำเร็จรูป

สำหรับข้อเสียของบ้านที่ก่อสร้างโดยระบบนี้ ก็คือ การต่อเติมบ้านในภายหลังทำได้ยาก เพราะหากทำการใด ๆ โดยไม่ใช้ผู้เชี่ยวชาญจะเกิดปัญหารอยร้าว และแตก ในส่วนที่เป็นวัสดุสำเร็จรูปได้ รวมทั้งอาจมีผลกระทบกับโครงสร้างของอาคารได้ ดังนั้นหากบ้านที่สร้างใช้ระบบสำเร็จรูปเมื่อต้องการต่อเติมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรึกษาวิศวกรหรือเจ้าของโครงการ

นอกจากนี้ ยังพบว่าบ้านสำเร็จรูปมีข้อจำกัดเรื่องรูปแบบบ้าน ที่ไม่สามารถพัฒนาให้มีความหลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากยังติดข้อจำกัดเรื่องขนาดและแบบของแผ่นสำเร็จรูปที่นำมาใช้ จึงทำให้ปัจจุบันมีการนำมาปรับใช้เฉพาะบางส่วนเท่านั้น ยังไม่เป็นบ้านสำเร็จรูป 100% เช่นในต่างประเทศ

6.4 เปรียบเทียบระหว่างระบบสำเร็จรูป และระบบก่อสร้างแบบเดิม

- ราคาการก่อสร้าง

	ระบบสำเร็จรูป	ระบบการก่อสร้างแบบเดิม
1. ราคาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้	ใกล้เคียงกัน	
2. ราคาค่าแรง	ระบบสำเร็จรูปถูกกว่า	
3. ค่าขนส่งและติดตั้ง	ใกล้เคียงกัน	

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบราคาการก่อสร้าง

- ระยะเวลาในการก่อสร้าง

	ระบบสำเร็จรูป	ระบบการก่อสร้างแบบเดิม
1. งานติดตั้งไม้แบบและค้ำยัน	ไม่มี	มี
2. งานผูกเหล็ก	ไม่มี	มี
3. งานเท่คอนกรีตและควบคุมคุณภาพ	ไม่มี	มี
4. งานบ่มคอนกรีต	ไม่มี	มี
5. งานถอดไม้แบบและค้ำยัน	ไม่มี	มี

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบเวลาในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางเปรียบเทียบข้างต้น จะเห็นได้ว่า ข้อได้เปรียบของระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปคือ ระยะเวลาการก่อสร้างที่รวดเร็วกว่าระบบการก่อสร้างแบบเดิมอย่างมากและยังสามารถควบคุมคุณภาพได้ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างนั้นใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ธวัชชัย สุธิประภา เทคนิคการก่อสร้างในระบบอุสาหกรรมและระบบวัสดุสำเร็จรูป , การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรม ประจำปี พ.ศ. 2540 หน้า 94-100
- สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร , การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก พ.ศ.2539
- วินิต ช่อวิเชียร ,การออกแบบโครงสร้างเหล็ก (มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD) (STRUCTURAL STEEL DESIGN) ปี พ.ศ. 2550
- รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ,คอนกรีตเสริมเหล็ก ทฤษฎีกำลัง ปี พ.ศ. 2544
- Shepp A Daivd and William R. Phillips , Plant-Cast and Prestressed Concrete , Newyork : McGraw-Hill , 1989
- Waddcl , Joseph J.1 , Precast Concrete : Handing and Erection , 3rd Ed. Michican , 1984
- David , William and Phillip , 1989 Pant-Cast and Prestressed Concrete : McGraw-Hill
- Gmbh , Bauverlag , Wiesbader and Berlin , 1968 Precast Concrete 3rd Ed. Michican

Peterson and J.L , 1962 PCI Manual for Structural Design of Avchitectural Precast Concrete 2nd Ed. Netherland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่บันทึกของคานตัวอย่าง B-1 (ข้อต่อเป็นเหล็กฉากหนา 6 มิลลิเมตร)

Load (kg)	Displacement(mm)	mm.	S1	S5	S2	S6	S3	S4	Load (kN)
0.00	0.000	33.000	0	0	0	0	0	0	56.42
56.07	0.285	33.285	-155	185	-60	95	-65	30	56.97
104.99	0.624	33.624	-325	340	-125	185	-110	55	57.45
159.02	0.995	33.995	-415	520	-185	280	-165	100	57.98
213.05	1.260	34.260	-525	710	-270	360	-240	130	58.51
265.04	1.610	34.610	-640	830	-315	485	-270	165	59.02
317.02	1.725	34.725	-750	905	-395	575	-375	199	59.53
375.13	1.990	34.990	-815	1025	-400	665	-440	240	60.10
428.13	2.365	35.365	-945	1155	-510	760	-500	269	60.62
482.16	2.570	35.570	-1065	1270	-570	845	-565	315	61.15
517.84	2.810	35.810	-1170	1395	-640	850	-585	365	61.50
577.98	3.195	36.195	-1280	1510	-715	910	-640	380	62.09
617.74	3.420	36.420	-1390	1630	-780	960	-710	420	62.48
670.74	3.755	36.755	-1500	1740	-790	1025	-750	465	63.00
732.93	3.915	36.915	-1610	1870	-840	1070	-795	510	63.61
800.20	4.320	37.320	-1725	1950	-900	1120	-845	575	64.27
848.11	4.715	37.715	-1840	2090	-945	1175	-890	615	64.74
909.28	5.370	38.370	-2210	2320	-995	1215	-940	640	65.34
965.34	6.015	39.015	-2525	3065	-1035	1260	-995	685	65.89
1009.17	7.220	40.220	-3186	4010	-1080	1305	-1055	720	66.32
1077.47	8.300	41.300	-4011	5265	-1130	1365	-1100	765	66.99

ข้อมูลที่บันทึกของคานตัวอย่าง B-2 (ข้อต่อเป็นเหล็กฉากหนา 9 มิลลิเมตร)

Load (kg)	Displacement(mm)	mm.	S1	S5	S2	S6	S3	S4	Load (kN)
0.00	0.000	35.000	0	0	0	0	0	0	48.21
62.18	0.210	35.210	-95	135	-65	70	-55	30	48.82
130.48	0.465	35.465	-205	260	-145	135	-100	60	49.49
196.74	0.770	35.770	-310	380	-205	225	-160	85	50.14
260.96	0.910	35.910	-390	530	-275	290	-215	115	50.77
317.02	1.185	36.185	-480	640	-320	365	-260	165	51.32
374.11	1.335	36.335	-595	820	-415	440	-315	170	51.88
435.27	1.575	36.575	-705	915	-480	540	-355	205	52.48
495.41	1.800	36.800	-815	1070	-560	580	-390	240	53.07
557.59	2.025	37.025	-925	1270	-635	655	-430	270	53.68
632.01	2.320	37.320	-1035	1465	-690	725	-490	290	54.41
691.13	2.595	37.595	-1150	1725	-755	810	-555	330	54.99
761.47	2.805	37.805	-1240	1960	-810	910	-595	375	55.68
815.49	3.190	38.190	-1345	2180	-870	970	-620	390	56.21
883.79	3.455	38.455	-1430	2415	-925	1065	-700	415	56.88
952.09	3.885	38.885	-1550	2660	-960	1165	-760	440	57.55
1012.23	4.200	39.200	-1640	2845	-1045	1230	-800	460	58.14
1080.53	4.520	39.520	-1765	3055	-1100	1300	-895	515	58.81
1135.58	5.015	40.015	-1875	3420	-1165	1375	-955	525	59.35
1201.83	6.220	41.220	-2325	4015	-1230	1420	-1015	540	60.00
1274.21	7.005	42.005	-2785	4510	-1300	1535	-1060	575	60.71
1339.45	7.530	42.530	-3405	5205	-1375	1620	-1125	625	61.35
1398.57	8.645	43.645	-4055	5400	-1450	1695	-1195	650	61.93