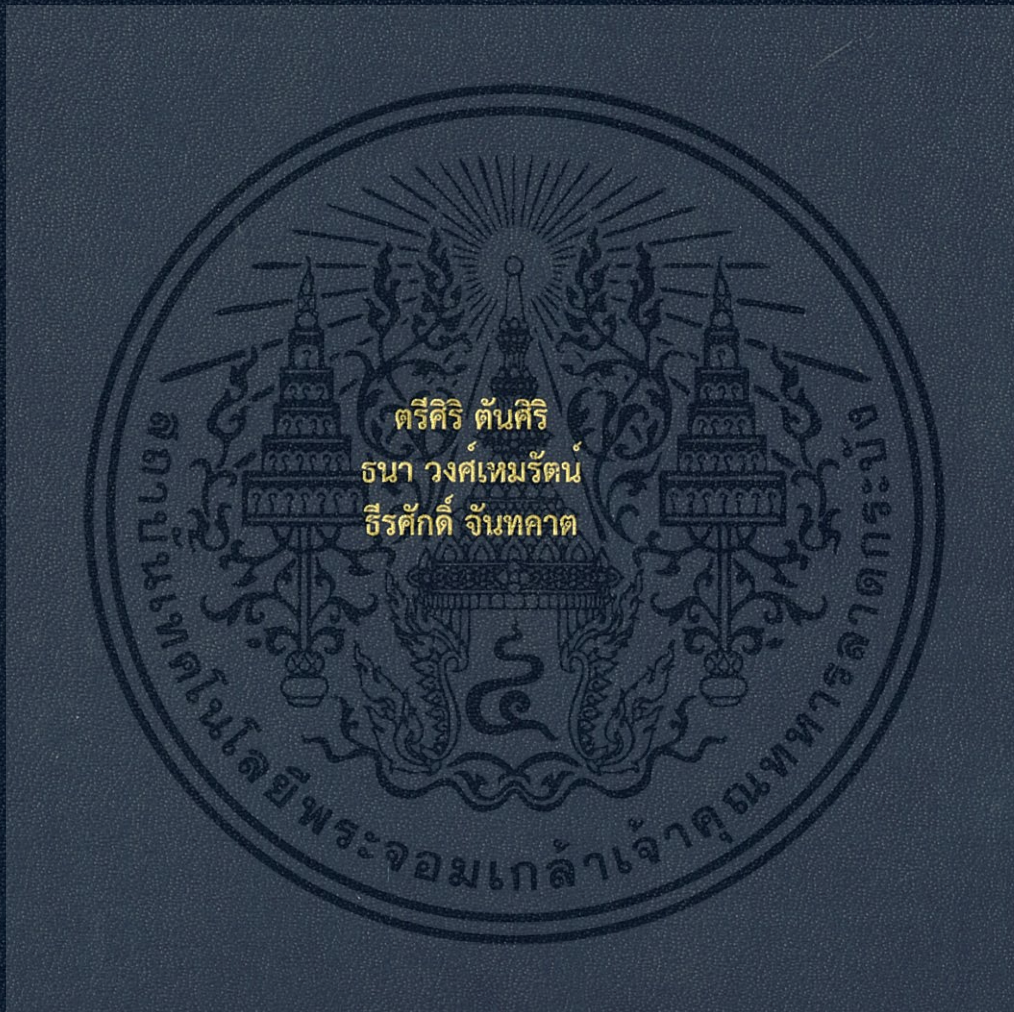


การศึกษาจุดเชื่อมต่อแบบแห้งที่จุดดัดกลับของเสาคานคอนกรีต  
สำเร็จรูปสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก

A STUDY OF DRY JOINT OF PRECAST BEAM-COLUMN  
AT INFLECTION POINT FOR LOW-RISE BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาจุดเชื่อมต่อแบบแห้งที่จุดดัดกลับของเสาคานคอนกรีต  
สำเร็จรูปสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก  
A STUDY OF DRY JOINT OF PRECAST BEAM-COLUMN  
AT INFLECTION POINT FOR LOW-RISE BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF DRY JOINT OF PRECAST BEAM-COLUMN  
AT INFLECTION POINT FOR LOW-RISE BUILDING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาจุดเชื่อมต่อแบบแห้งที่จุดดัดกลับของเสาคานคอนกรีตสำเร็จรูป  
สำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก

A STUDY OF DRY JOINT OF PRECAST BEAM-COLUMN AT  
INFLECTION POINT FOR LOW-RISE BUILDING

นักศึกษา ตรีศิริ ต้นศิริ รหัสประจำตัว 57010490  
ธนา วงศ์เหมรัตน์ รหัสประจำตัว 57010580  
ธีรศักดิ์ จันทาคต รหัสประจำตัว 57010640

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อภิญญาวิทย์ สุจริตพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
อาจารย์ทรงกลด	แซ่อึ้ง	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญฤกษ์	
รศ.สุวัฒน์	ธีรเศรษฐ์	
ดร.อภิญญาวิทย์	สุจริตพงศ์	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.อำพน	จรัสจรุงเกียรติ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่..... ๔/๕/๖๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาจุดเชื่อมต่อแบบแห้งที่จุดตัดกลับของเสาคานคอนกรีต สำเร็จรูปสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก

ตรีศิริ ตันศิริ รหัสประจำตัว 57010490

ธนา วงศ์เหมรัตน์ รหัสประจำตัว 57010580

ธีรศักดิ์ จันทาคต รหัสประจำตัว 57010640

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อภิวุฒิ สุจริตพงศ์

ปีการศึกษา 2560

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปถือเป็นเรื่องปกติที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป ซึ่งสามารถตอบโจทย์เรื่องความเร็วในการก่อสร้างได้ดีว่าการก่อสร้างแบบปกติ โดยการวิจัยนี้จะเน้นในการออกแบบโครงสร้างเสาคานคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อให้มีพฤติกรรมการรับแรงแบบโครงข้อแข็ง เนื่องจากโครงข้อแข็งมีโมเมนต์ที่เกิดที่กึ่งกลางคานน้อยกว่าคานช่วงเดียวทำให้สามารถลดขนาดและปริมาณเหล็กเสริมในโครงสร้างได้ ซึ่งผู้วิจัยใช้วิธีแยกชิ้นส่วนออกโดยมีจุดเชื่อมต่ออยู่ที่บริเวณจุดตัดกลับที่คาน และใช้วิธีเชื่อมรอบในการประกอบโครงสร้าง เราใช้การวิเคราะห์ผ่าน Solid Element ซึ่งสามารถกำหนดชิ้นงานให้มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

จากการศึกษาพบว่าคาน-เสาที่ออกแบบใหม่ให้มีจุดเชื่อมต่ออยู่ที่จุดตัดกลับทั้ง 3 รูปแบบนั้นมีพฤติกรรมการรับแรงเหมือนกับโครงข้อแข็งซึ่งเมื่อเปรียบเทียบโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างโมเดลคาน-เสาที่ออกแบบใหม่กับคานช่วงเดียว พบว่าโมเดลคาน-เสาที่ออกแบบใหม่ให้มีจุดเชื่อมต่ออยู่ที่จุดตัดกลับทั้ง 3 รูปแบบนั้น มีโมเมนต์สูงสุดน้อยกว่าโมเมนต์สูงสุดในคานช่วงเดียว 25 %

# A STUDY OF DRY JOINT OF PRECAST BEAM-COLUMN AT INFLECTION POINT FOR LOW-RISE BUILDING

Treesiri Tansiri Student ID. 57010490

Thana Wonghemrut Student ID. 57010580

Teerasa Jantakat Student ID. 57010640

Advisor Dr. Atavit Sujaritpong

Academic Year 2017

## ABSTRACT

In present, using of precast concrete is usual because it uses less time to construct compare to conventional way. This special research study about designing of precast beam-column to have behavior like frame. Because frame has less moment than simple beam that mean we can reduce size and steel reinforcement of structure. We design by separate frame at inflection point and add dry joint that use welding to connect each other parts. We us solid model to analyze because we can assign condition realistically.

The result reveal that new 3 designs of precast beam-column that have dry joint at inflection point have behavior like normal frame. When we compare moment of new 3 designs of precast beam-column that have dry joint at inflection point and simple beam. They can reduce maximum moment for 25% compare to simple beam

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.อภินันท์ สุจริตพงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งยังจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้คำแนะนำต่างๆ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานอันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงการ รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยชานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณมา ณ ที่นี้

ตรีศิริ ตันศิริ  
ธนา วงศ์เหมรัตน์  
ธีรศักดิ์ จันทาคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และก้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูป.....	3
2.3 รูปแบบต่างๆของระบบโครงสร้างสำเร็จรูป.....	4
2.3.1 ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall).....	4
2.3.1.1 ระบบผนังตามยาว (Long-Wall System).....	5
2.3.1.2 ระบบผนังตามขวาง (Cross-Wall System).....	6
2.3.1.3 ระบบผนัง 2 ทิศทาง (Long-Wall System).....	7
2.3.2 ระบบเสาและคาน (Skeleton Frame or Column and Beam).....	7
2.3.3 ระบบเสาและแผ่นพื้น (Beamless Skeleton).....	8
2.3.4 ระบบกล่อง (Box System).....	9
2.4 จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างชิ้นส่วนเสาคานสำเร็จรูป.....	9
2.4.1 ระบบเสมือนหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน (Equivalent Monolithic System).....	10
2.4.2 ระบบแบบมีจุดเชื่อมต่อ (Jointed Systems).....	16

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การพิจารณารูปแบบเทคโนโลยีการก่อสร้างที่นำมาใช้.....	17
2.5.1 พิจารณาความมั่นคงของอาคาร.....	17
2.5.2 พิจารณาออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป.....	17
2.6 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป (Prefabrication Building Design).....	19
2.6.1 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบ.....	19
2.6.1.1 น้ำหนักบรรทุก.....	19
2.6.1.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง.....	19
2.6.1.3 ระยะเวลา.....	20
2.6.1.4 เสถียรภาพโครงสร้าง.....	20
2.6.2 ขั้นตอนการออกแบบอาคารสำเร็จรูป.....	21
2.6.2.1 รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร.....	21
2.6.2.2 การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....	22
2.6.2.3 การออกแบบจตุรรอยต่อสำเร็จรูป.....	22
2.6.2.4 การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน.....	23
2.6.3 มาตรฐานการออกแบบระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย.....	24
2.7 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของการออกแบบระบบ ก่อสร้างปกติกับระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....	25
2.7.1 ระบบก่อสร้างแบบปกติ.....	25
2.7.2 ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....	25
2.7.3 ระยะเวลาก่อสร้างในแต่ละระบบ.....	27
2.7.4 ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของการออกแบบระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....	27
2.7.4.1 ด้านการออกแบบ.....	27
2.7.4.2 ด้านการก่อสร้าง.....	28
2.8 การต่อโครงสร้างโดยวิธีการเชื่อม.....	29
2.8.1 รูปแบบของการเชื่อมและจุดต่อ.....	29
2.8.2 สัญลักษณ์ของการเชื่อม.....	32
2.8.3 กำลังของรอยเชื่อมฟิลเลต.....	33
2.8.4 รอยเชื่อมรับแรงเฉือนและแรงบิด.....	36

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 จุดดัดกลับ (Inflection Point).....	38
2.9.1 การหาแรงภายในโครงสร้าง.....	38
2.9.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้าง.....	38
2.9.3 จุดดัดกลับ (Inflection Point).....	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 แนวคิดของงานวิจัย.....	40
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	41
3.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม.....	42
3.3.1 วิธีการใช้งานโปรแกรม SAP2000.....	42
3.3.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม AutoCAD Inventor®.....	55
3.3.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม ANSYS.....	62
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	68
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งและคานเดี่ยว โดยโปรแกรม SAP2000.....	68
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบคานเดี่ยว โดยโปรแกรม ANSYS.....	70
4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโครงข้อแข็ง โดยโปรแกรม ANSYS.....	72
4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง โดยโปรแกรม ANSYS.....	74
4.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง โดยโปรแกรม ANSYS.....	77
4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขั้นบันได โดยโปรแกรม ANSYS.....	80
4.7 ตารางสรุปผลการทดลอง.....	83
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	85
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	85
บรรณานุกรม.....	86
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก รายการคำนวณ.....	88
ภาคผนวก ข รายละเอียดโครงสร้าง.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVI อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดอัตราส่วนเหล็กเสริมทางยาว และเหล็กเสริมทางขวาง.....	24
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบต่างๆของการเชื่อมแบบร่อง.....	31
ตารางที่ 2.3 แสดงกำลังรอยเชื่อม (kg/cm).....	34
ตารางที่ 2.4 ขนาดใหญ่สุดและเล็กสุดของรอยเชื่อม.....	35
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบทั้งหมด.....	83
ตารางที่ 6.1 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรูปแบบคานช่วงเดียวที่นำมาสร้างกราฟ.....	93
ตารางที่ 6.2 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรูปแบบโครงข้อแข็งที่นำมาสร้างกราฟ.....	94
ตารางที่ 6.3 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบเส้นตรงที่นำมาสร้างกราฟ.....	95
ตารางที่ 6.4 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบเฉียงที่นำมาสร้างกราฟ.....	97
ตารางที่ 6.5 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบบันไดที่นำมาสร้างกราฟ.....	99

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก.....	4
รูปที่ 2.2 ระบบโครงสร้างแบบ Long-Wall (ระบบผนังตามยาว).....	5
รูปที่ 2.3 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long-Wall ซึ่งใช้คานถ่ายจากพื้นสู่กำแพง.....	5
รูปที่ 2.4 ระบบโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Cross-Wall และแสดงการวางผนังด้านหน้า ให้ซ้อนรับน้ำหนักกันเอง.....	6
รูปที่ 2.5 ระบบโครงสร้างรับแบบ Cross-Wall ซึ่งสามารถวางผนังด้านหน้าได้หลายวิธี.....	6
รูปที่ 2.6 ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักแบบ Two-Way Span System ซึ่งเป็นอาคาร พักอาศัยในประเทศโปแลนด์.....	7
รูปที่ 2.7 ระบบโครงสร้างแบบเสาและคาน.....	8
รูปที่ 2.8 ระบบโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น.....	8
รูปที่ 2.9 ระบบโครงสร้างแบบกล่อง.....	9
รูปที่ 2.10 จุดเชื่อมต่อเสา-คานที่ใช้ระบบ Equivalent Monolithic.....	9
รูปที่ 2.11 จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบมีความเหนียวโดยวิธี Equivalent Monolithic Systems.....	11
รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	12
รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	13
รูปที่ 2.14 การเชื่อมต่อโดยวิธี Equivalent Monolithic Systems ชนิดดึงเหล็กที่หลัง.....	14
รูปที่ 2.15 ระบบคาน Pretensioned ที่ทำการดึงลวดผ่านเสาดด้วยระบบ Debonded.....	15
รูปที่ 2.16 รายละเอียดการเสริมเหล็กของจุดต่อระบบผสม.....	16
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะรอยเชื่อมทั้ง 4 แบบ.....	29
รูปที่ 2.18 แสดงชนิดของจุดต่อ.....	30
รูปที่ 2.19 รอยเชื่อมแบบฟิลเลต.....	30
รูปที่ 2.20 รอยเชื่อมแบบฟิลเลต.....	31
รูปที่ 2.21 ชนิดรอยเชื่อมแบ่งตามตำแหน่งการเชื่อม.....	32
รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์มาตรฐานของรอยเชื่อม.....	32
รูปที่ 2.23 รอยเชื่อมฟิลเลตรับแรงในทิศทางและตั้งฉากกับรอยเชื่อม.....	33
รูปที่ 2.24 รอยเชื่อมฟิลเลตแบบมีการอ้อมปลาย.....	35
รูปที่ 2.25 จุดต่อรอยเชื่อมรับแรงเยื้องศูนย์.....	36

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.26 แรงที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม.....	37
รูปที่ 2.27 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์สำหรับโครงข้อแข็ง.....	38
รูปที่ 2.28 จุดตัดกลับบนคาน.....	39
รูปที่ 3.1 แสดงรูปจุดเชื่อมต่อแบบต่างๆทั้ง 3 แบบที่ทำการออกแบบ.....	41
รูปที่ 3.2 หน้าต่างแสดงรูปแบบการสร้างโมเดลต่างๆ.....	42
รูปที่ 3.3 หน้าต่างแสดงระบบการสร้างเส้นโครงร่าง.....	43
รูปที่ 3.4 หน้าจอการใช้งานของโปรแกรม SAP2000.....	44
รูปที่ 3.5 หน้าต่างของระบบ Grid System Data.....	44
รูปที่ 3.6 หน้าต่างของการเลือกคุณสมบัติของวัสดุ.....	45
รูปที่ 3.7 หน้าต่างของการกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต.....	46
รูปที่ 3.8 หน้าต่างของการกำหนดคุณสมบัติของเหล็ก.....	46
รูปที่ 3.9 หน้าต่างของการกำหนดหน้าตัดของวัสดุ.....	47
รูปที่ 3.10 หน้าต่างของการกำหนดประเภทหน้าตัดของวัสดุ.....	47
รูปที่ 3.11 หน้าต่างของการกำหนดประเภทหน้าตัดของวัสดุ.....	48
รูปที่ 3.12 หน้าต่างของการออกแบบหน้าตัดคาน.....	49
รูปที่ 3.13 หน้าต่างของการออกแบบหน้าตัดเสา.....	49
รูปที่ 3.14 หน้าต่างของการกำหนดโหลดที่กระทำ.....	50
รูปที่ 3.15 หน้าต่างของสร้างการรวมโหลดที่กระทำ.....	50
รูปที่ 3.16 หน้าต่างของการเลือกประเภทของโหลดที่จะนำมารวมกัน.....	51
รูปที่ 3.17 หน้าต่างของการวาดโครงเฟรม.....	51
รูปที่ 3.18 หน้าต่างของการเลือกจุดรองรับของโครงเฟรม (Support).....	52
รูปที่ 3.19 หน้าต่างของการใส่น้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่สม่ำเสมอ (Uniform Distributed Load).....	52
รูปที่ 3.20 หน้าต่างของการตั้งค่าการวิเคราะห์โครงเฟรม.....	53
รูปที่ 3.21 หน้าต่างของการเลือกประเภทของแรงในโครงเฟรม.....	53
รูปที่ 3.22 แสดงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในโครงเฟรม.....	54
รูปที่ 3.23 แสดงรายละเอียดโมเมนต์เพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในคาน.....	54
รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดงการเลือกโหมดการใช้งาน.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.25 แสดงการสเกตซ์ภาพของส่วนคานและเสา.....	56
รูปที่ 3.26 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อวัตถุออกมา.....	56
รูปที่ 3.27 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณคาน.....	57
รูปที่ 3.28 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณเสา.....	58
รูปที่ 3.29 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อการเจาะรูบริเวณคาน.....	58
รูปที่ 3.30 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อการเจาะรูบริเวณเสา.....	59
รูปที่ 3.31 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมบริเวณคาน.....	60
รูปที่ 3.32 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมบริเวณเสา.....	60
รูปที่ 3.33 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณคานออกมา.....	61
รูปที่ 3.34 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณเสาออกมา.....	61
รูปที่ 3.35 แสดงการ Import โมเดลเข้าสู่โปรแกรม ANSYS.....	62
รูปที่ 3.36 แสดงการเลือก Material ให้กับเสาคานคอนกรีต.....	63
รูปที่ 3.37 แสดงการเลือก Material ให้กับเหล็กเสริมในคอนกรีต.....	63
รูปที่ 3.38 แสดงการเลือกวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static Structural.....	64
รูปที่ 3.39 แสดงการใส่จุดรองรับแบบ Fixed-Support.....	65
รูปที่ 3.40 แสดงการใส่โหลดแบบ Uniform Distributed Load.....	65
รูปที่ 3.41 แสดงการวิเคราะห์การโก่งตัวของโครงสร้าง.....	66
รูปที่ 3.42 แสดงการวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้าง.....	67
รูปที่ 4.1 แสดงการคำนวณโมเมนต์ของโครงข้อแข็งปกติจากโปรแกรม SAP2000.....	69
รูปที่ 4.2 แสดงการคำนวณความเค้นของโครงข้อแข็งปกติจากโปรแกรม SAP2000.....	69
รูปที่ 4.3 แสดงการคำนวณโมเมนต์ของคานเดี่ยวจากโปรแกรม SAP2000.....	69
รูปที่ 4.4 แสดงการคำนวณความเค้นของคานเดี่ยวจากโปรแกรม SAP2000.....	70
รูปที่ 4.5 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างแบบคานเดี่ยวจากโปรแกรม ANSYS.....	70
รูปที่ 4.6 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างแบบคานเดี่ยวจากโปรแกรม ANSYS.....	71
รูปที่ 4.7 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างแบบคานเดี่ยวจากโปรแกรม ANSYS.....	71
รูปที่ 4.8 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างแบบคานเดี่ยวจากโปรแกรม Excel.....	71
รูปที่ 4.9 แสดงการโก่งตัวของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS.....	72
รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS.....	73
รูปที่ 4.12 แสดงโมเมนต์ของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม Excel.....	73
รูปที่ 4.13 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS.....	74
รูปที่ 4.14 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง จากโปรแกรม ANSYS.....	74
รูปที่ 4.15 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง จากโปรแกรม ANSYS.....	75
รูปที่ 4.16 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง จากโปรแกรม ANSYS.....	75
รูปที่ 4.17 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของ จุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS.....	75
รูปที่ 4.18 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของ จุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS.....	76
รูปที่ 4.19 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของ จุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS.....	76
รูปที่ 4.20 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม Excel.....	76
รูปที่ 4.21 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS.....	77
รูปที่ 4.22 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง จากโปรแกรม ANSYS.....	77
รูปที่ 4.23 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง จากโปรแกรม ANSYS.....	78
รูปที่ 4.24 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง จากโปรแกรม ANSYS.....	78
รูปที่ 4.25 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของ จุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS.....	78
รูปที่ 4.26 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของ จุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS.....	79
รูปที่ 4.27 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของ จุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญเตเห็นนาเบเซบระเษชนดานการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.28 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม Excel.....	79
รูปที่ 4.29 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS.....	80
รูปที่ 4.30 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันได จากโปรแกรม ANSYS.....	80
รูปที่ 4.31 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันได จากโปรแกรม ANSYS.....	81
รูปที่ 4.32 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันได จากโปรแกรม ANSYS.....	81
รูปที่ 4.33 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของ จุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS.....	81
รูปที่ 4.34 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของ จุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS.....	82
รูปที่ 4.35 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของ จุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS.....	82
รูปที่ 4.36 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม Excel.....	82
รูปที่ 6.1 แปลนพื้นที่ทั่วไป.....	89
รูปที่ 6.2 หน้าตัดพื้นที่ทางด้านข้าง.....	89
รูปที่ 6.3 โครงข้อแข็งที่มีไหลดกระจายอยู่ด้านบน.....	90
รูปที่ 6.4 โครงข้อแข็งที่มี hinge และไหลดกระจายอยู่ด้านบน.....	90
รูปที่ 6.5 รูปตัดส่วนกลางของโครงข้อแข็งที่มี hinge และไหลดกระจายอยู่ด้านบน.....	91
รูปที่ 6.6 รูปตัดส่วนซ้ายของโครงข้อแข็งที่มี hinge และไหลดกระจายอยู่ด้านบน.....	91
รูปที่ 6.7 รูปตัดครึ่งหนึ่งของโครงข้อแข็งที่มี hinge และไหลดกระจายอยู่ด้านบน.....	92
รูปที่ 6.8 แปลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง.....	102
รูปที่ 6.9 แปลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง.....	102
รูปที่ 6.10 แปลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบบันได.....	103
รูปที่ 6.11 แปลนรูปตัดของคานสำเร็จรูป.....	103
รูปที่ 6.12 แปลนรูปตัดของเสาสำเร็จรูป.....	104
รูปที่ 6.13 แปลนรูปตัดของเพลทเหล็ก.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธุรกิจการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันนี้มีการแข่งขันสูงขึ้น ทั้งในเรื่องของ ราคา คุณภาพ และ การบริการ เป็นสาเหตุให้ธุรกิจต่างๆในวงการก่อสร้างหันมาใช้นวัตกรรมการก่อสร้างแบบอื่นๆแทนที่การก่อสร้างหล่อในที่แบบปกติ ซึ่งสามารถตอบโจทย์ธุรกิจของตนเองได้มากกว่า ทั้งในด้านราคา เวลา และ คุณภาพ

ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยได้มีระบบการก่อสร้างมากมายหลายแบบ หนึ่งในนั้นก็คือระบบสำเร็จรูป ซึ่งเป็นการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆของอาคารในโรงงาน และขนส่งเพื่อนำมาติดตั้งที่งานก่อสร้าง โดยจะช่วยลดเวลาในการก่อสร้าง ต้นทุนแรงงาน รวมถึงต้นทุนวัสดุในกรณีที่สั่งผลิตเป็นจำนวนมาก และในด้านของคุณภาพ ก็สามารถเชื่อถือและตรวจสอบได้ เนื่องจากเป็นการผลิตจากโรงงาน

แต่ทว่าในการติดตั้งนั้น ส่วนที่เป็นจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นบริเวณที่จะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เพื่อที่จะให้การถ่ายแรงเป็นไปตามทฤษฎี โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาได้แก่ ความถูกต้องในการติดตั้ง และ ลักษณะของจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน ดังนั้นหากเราสามารถศึกษาและออกแบบ เพื่อให้ได้ลักษณะของรอยต่อที่ถูกต้อง ติดตั้งสะดวก ซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการติดตั้งผิดวิธี สร้างความน่าเชื่อถือในเรื่องของความแข็งแรงของระบบสำเร็จรูปที่ถูกมองว่ามีจุดเชื่อมต่อที่ไม่แข็งแรง เราจึงควรพัฒนาระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปเพื่อตอบโจทย์ธุรกิจก่อสร้างในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน งานวิจัยและเนื้อหาเรื่องระบบการก่อสร้างด้วยคาน-เสาสำเร็จรูปในไทยมีค่อนข้างน้อย จึงทำให้การค้นคว้าหาข้อมูลมีความยากลำบาก จึงต้องค้นคว้าผ่านงานวิจัยต่างประเทศเพิ่มเติมในการทำงานวิจัยครั้งนี้

## 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษารูปแบบจุดเชื่อมต่อของคาน-เสาสำเร็จรูปในปัจจุบัน
2. ออกแบบและประยุกต์จุดเชื่อมต่อคาน-เสาสำเร็จรูป เพื่อให้มีพฤติกรรมเหมือนกับโครงสร้างแบบคานช่วงเดียว
3. เปรียบเทียบโมเมนต์สูงสุดระหว่างโมเดลที่ออกแบบใหม่ทั้ง 3 โมเดลกับโครงสร้างแบบคานช่วงเดียว และเปรียบเทียบโครงสร้างที่ออกแบบใหม่ว่าแตกต่างกันอย่างไร

## 1.3 วิธีการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษารูปแบบจุดเชื่อมต่อของระบบอาคารสำเร็จรูปที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
2. นำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบจุดเชื่อมต่อเสาและคานในแบบต่างๆ
3. จัดทำโมเดลทั้ง 3 รูปแบบของคาน-เสาสำเร็จรูปที่ใช้จุดเชื่อมต่อที่ได้ออกแบบไว้
4. วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ผ่านโปรแกรม SAP2000 และ ANSYS

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาจุดเชื่อมต่อแบบแห้งของโครงสร้างคาน-เสาสำเร็จรูป ของอาคารที่อยู่อาศัยแบบโครงสร้างสำเร็จรูป 2 ชั้น ทั้ง 3 รูปแบบโมเดล ได้แก่ จุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง, จุดเชื่อมต่อแบบเฉียง และ จุดเชื่อมต่อแบบชันบันได
2. ไม่คำนึงถึงแรงกระทำด้านข้าง (แรงลม และ แรงจากแผ่นดินไหว)
3. วิเคราะห์และทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักผ่านโปรแกรม SAP2000 และ ANSYS

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความตื่นตัวของเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปในประเทศไทย
2. ได้รูปแบบตัวอย่างโครงสร้างคาน-เสาสำเร็จรูปที่ใช้จุดเชื่อมต่อที่ทำการวิจัย เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการต่อยอดในอนาคตต่อไป
3. ทราบถึงข้อดีข้อเสียของโครงสร้างสำเร็จรูป การแก้ปัญหาและอุปสรรคของโครงการที่ศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะศึกษาและใช้งานระบบสำเร็จรูปในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 กล่าวนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการพัฒนาประเทศ ดังแสดงให้เห็นในอัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นตามการเติบโตของประเทศในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา โดยประเทศไทยได้มีมาตรการกระตุ้นระบบเศรษฐกิจโดยรัฐบาลซึ่งหลายโครงการเป็นโครงการที่กระตุ้นภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น โครงการบ้านเอื้ออาทร ซึ่งการก่อสร้างมีลักษณะเป็นอาคารคล้ายๆ กันจำนวนมากประกอบกับความต้องการที่จะตอบสนองผู้ที่มีรายได้น้อยถึงปานกลางที่เป็นคนกลุ่มใหญ่ของประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการก่อสร้างจำเป็นต้องมีการเสริมกลยุทธ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารต้นทุนของงานก่อสร้างด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างในปัจจุบัน ในขณะเดียวกันปัญหาการขาดแคลนแรงงานและคุณภาพแรงงานในธุรกิจการก่อสร้าง ทำให้ระบบโครงสร้างสำเร็จรูปได้ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างของโครงการหลายๆ แห่ง เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียวัสดุ รวมถึงความต้องการด้านแรงงาน ทำให้มีการบริหารโครงการที่ดีสามารถควบคุมต้นทุนงานก่อสร้างให้อยู่ในวงเงินที่กำหนดได้ ในส่วนของผู้ประกอบการเอกชนได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการก่อสร้างโครงสร้างจากรูปแบบเดิมที่ใช้วิธีการหล่อในที่เป็นระบบก่อสร้างโดยโครงสร้างสำเร็จรูปมากขึ้น ส่งผลให้ในภาวะปัจจุบันนี้ระบบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปได้รับความนิยมมากขึ้น

### 2.2 ระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูป

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากสำหรับอาคารที่ก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนำมาประกอบกันคือปัญหาความต่อเนื่องในรอยต่อจุดต่างๆ ซึ่งถ้าหากออกแบบรอยต่อให้มีความแข็งแรง เป็นเสมือนโครงสร้างต่อเนื่องเช่นเดียวกับโครงสร้างที่ทำการหล่อคอนกรีตแบบทั่วไปแล้ว จะต้องใช้การหล่อด้วยวิธีการพิเศษ เช่น การเชื่อมเหล็กเข้าด้วยกัน หรือการใช้ลวดอัดแรงดึงยึดชิ้นส่วนเข้าหากันด้วยวิธี Post Tension ซึ่งดูเหมือนว่าจะยิ่งทำให้การทำงานยุ่งยากมากไปกว่าการหล่อโครงสร้างกับที่เสียอีก ดังนั้นโครงสร้างสำเร็จรูปจึงพยายามที่จะหลีกเลี่ยงรอยต่อที่ต้องประสานให้ต่อเนื่องกันมากที่สุด ยกเว้นรอยต่อโครงสร้าง

ที่สำคัญ เช่น ส่วนที่ต้องใช้รับแรงลม เป็นต้น ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วน สำเร็จรูปนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงของชิ้นส่วนในแต่ละชิ้น จะต้องให้แข็งแรงเพียงพอกับสภาพการใช้งานเมื่อ ประกอบเข้าที่แล้ว ตลอดจนจะต้องไม่เสียหายในขณะที่ขนส่งและติดตั้งด้วย

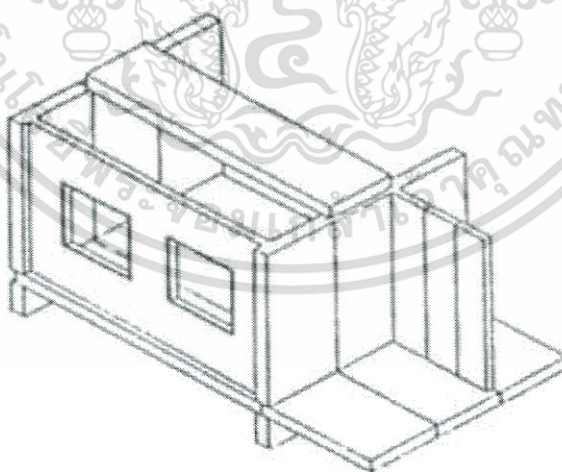
2. การคำนวณถึงระบบโครงสร้าง ซึ่งประกอบกันเป็นอาคารทั้งระบบเพื่อให้สามารถต้านทาน แรงลมตามแนวราบได้

3. การคำนวณถึงความแข็งแรงของรอยต่อต่างๆ ระหว่างชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถถ่ายทอดแรงที่ เกิดขึ้นไปยังส่วนของอาคารที่รับน้ำหนักต่อไปได้ เช่น รอยต่อระหว่างพื้นกับกำแพงจะต้องแข็งแรงพอที่ พื้นจะส่งน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักพื้นจรบนพื้นผ่านไปถึงกำแพงได้

## 2.3 รูปแบบต่างๆของระบบโครงสร้างสำเร็จรูป

### 2.3.1 ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall)

การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นลงสู่แนวผนังรับน้ำหนัก ทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงเป็นประโยชน์ไม่เฉพาะ เพียงการเป็นผนังกันห้องเท่านั้น หากยังจะทำหน้าที่เป็น โครงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อมๆกันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญของ อาคารในการต้านทานแรงลมได้อย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโครงสร้างระบบเสาและคาน

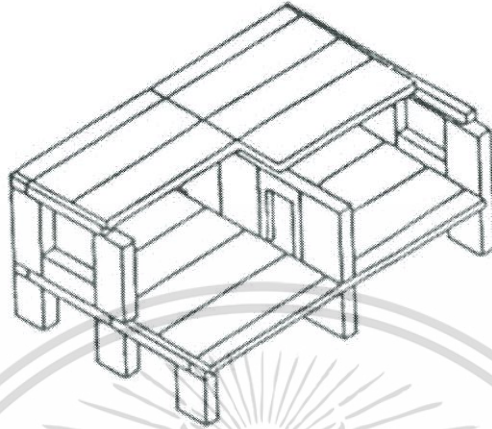


รูปที่ 2.1 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก

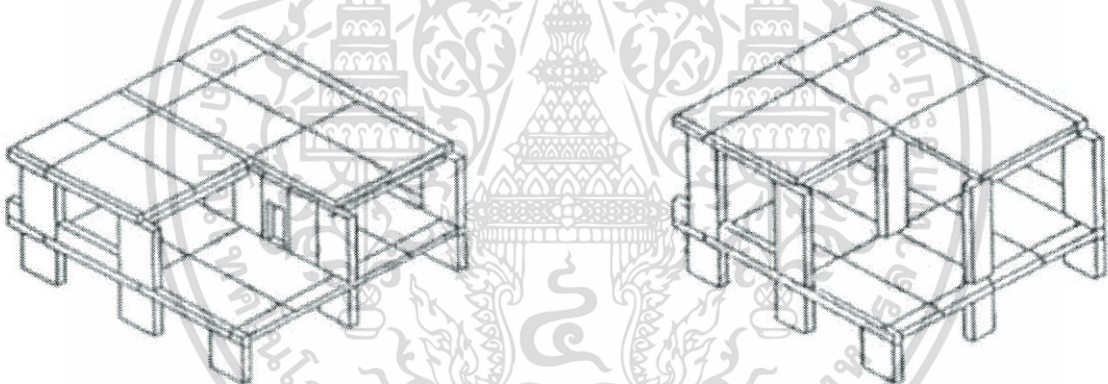
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางผนังระบบผนังรับน้ำหนัก มี 3 วิธี คือ

### 2.3.1.1 ระบบผนังตามยาว (Long-Wall System)



รูปที่ 2.2 ระบบโครงสร้างแบบ Long-Wall (ระบบผนังตามยาว)



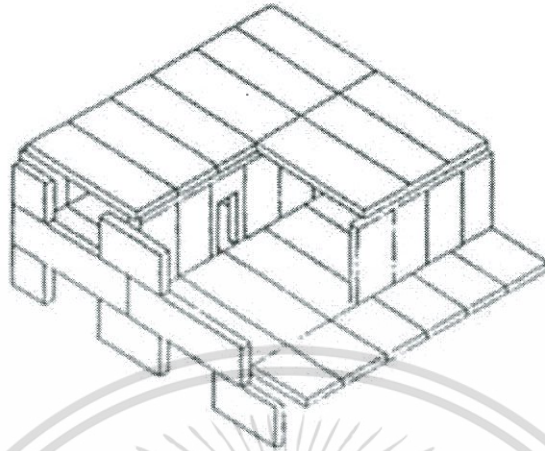
ระบบของ Moscow

ระบบของ Czecho Slovakia

รูปที่ 2.3 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long-Wall ซึ่งใช้คานถ่ายจากพื้นสู่กำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.2 ระบบผนังตามขวาง (Cross-Wall System)



รูปที่ 2.4 ระบบโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Cross-Wall และแสดงการวางผนังด้านหน้าให้ซ้อนรับน้ำหนักกันเอง



ผนังวางอยู่บนพื้น

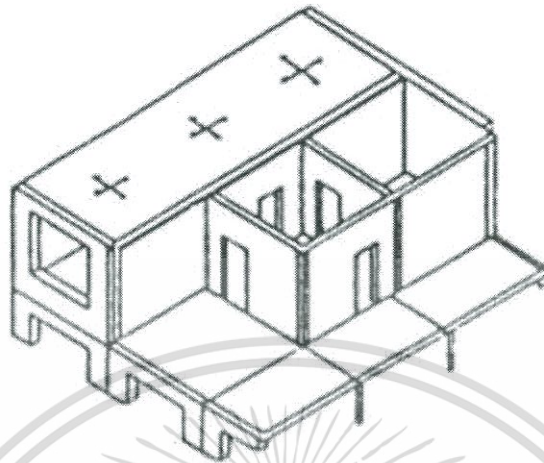
ผนังวางอยู่บนคานเสริมพิเศษ

ผนังเกาะติดอยู่กับด้านข้างของกำแพง

รูปที่ 2.5 ระบบโครงสร้างรับแบบ Cross-Wall ซึ่งสามารถวางผนังด้านหน้าได้หลายวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.3 ระบบผนัง 2 ทิศทาง (Two-Way Span System)

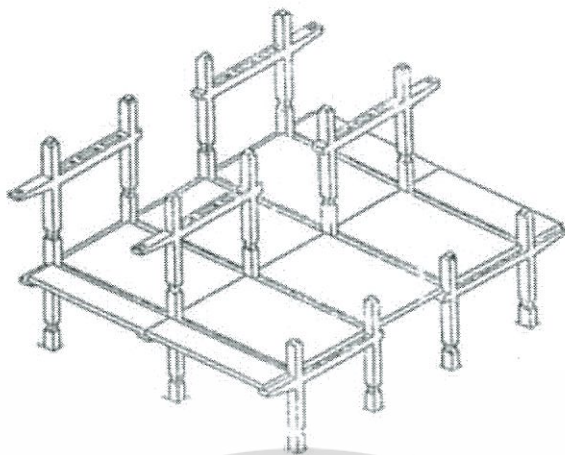


รูปที่ 2.6 ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักแบบ Two-Way Span System ซึ่งเป็นอาคารพักอาศัยในประเทศไทยโปแลนด์

ข้อดีอีกประการหนึ่งนอกจากจะได้ระบบพื้นที่ประหยัดแล้ว ก็คือ ระบบนี้จะสร้างโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของอาคารที่เป็นโครงสร้างในทุกๆ แนวแต่ก็จะมีข้อเสียที่สำคัญก็คือสถาปนิกจะขาดความเป็นอิสระในการออกแบบมากกว่าปกติ เช่น ไม่สามารถจะเปิดห้องติดต่อกันโดยตลอดได้ วิธีการแก้ไขปัญหาก็คือจำเป็นต้องใช้ระบบเสาและคานเข้ามาใช้ประกอบด้วยในส่วนที่ต้องการจะเปิดโล่ง

### 2.3.2 ระบบเสาและคาน (Skeleton Frame or Column and Beam)

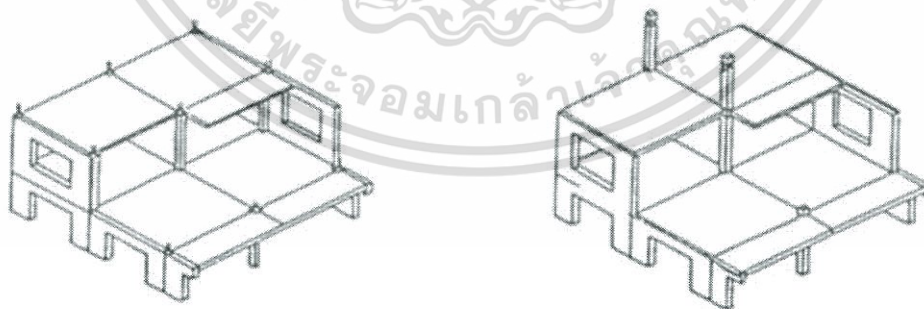
ระบบนี้ก็คือระบบโครงสร้างที่รู้จักกันและใช้กันแพร่หลาย จนเกือบจะเป็นระบบแบบเดียวที่ใช้กันในประเทศไทย แม้กระทั่งในบางอาคารที่สามารถใช้โครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักได้ประหยัดกว่าระบบอื่น เช่น อาคารบ้านแถว ก็ยังคงใช้ระบบเสาและคาน เป็นส่วนใหญ่ ระบบเสาและคานนิยมใช้สำหรับอาคารที่ไม่สามารถใช้ระบบผนังรับน้ำหนักได้ เนื่องจากความจำเป็นทางการใช้สอย ที่ต้องการเปิดเนื้อที่ใช้สอยให้ผ่านถึงกันตลอด เช่น อาคารโรงงานสำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น หลักการของโครงสร้างแบบเสาและคาน ก็คือการรับน้ำหนักจากพื้นลงสู่คาน จากคานส่งน้ำหนักลงสู่เสา



รูปที่ 2.7 ระบบโครงสร้างแบบเสาและคาน

### 2.3.3 ระบบเสาและแผ่นพื้น (Beamless Skeleton)

ระบบโครงสร้างชนิดนี้ แผ่นพื้นจะวางไปบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคาน เช่นเดียวกับโครงสร้างประเภท Flat Slab เสาจะต้องวางห่างกันไม่เกินขนาดของแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่จะวางบนเสาทั้ง 4 ได้ ตามหลักการแล้วแผ่นพื้นที่จะสามารถวางอยู่บนปลายเสาเพียง 4 จุดนั้นต้องการความหนาและปริมาณคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่า แผ่นพื้นชนิดอื่นๆ ทั้งหมด แต่จะได้ในด้านความสะดวกรวดเร็วในการประกอบและติดตั้ง เนื่องจากสามารถตัดองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญไปได้ 1 ส่วน นั่นคือ คาน โดยพื้นจะถูกใช้ให้ทำหน้าที่คาน เพื่อยึดเสาให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้ควรจะมีการคำนวณความต้านทานแรงลมเป็นพิเศษ



ใช้เสาเป็นส่วนรับน้ำหนัก

ใช้เสาและผนังช่วยกันรับน้ำหนัก

รูปที่ 2.8 ระบบโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 ระบบกล่อง (Box System)

ระบบนี้เป็นระบบที่ประเทศไทยได้พัฒนาขึ้นและต่อมาได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการอาคารสงเคราะห์ของรัสเซีย ชั้นส่วนต่างๆ จะถูกประกอบหรือหล่อขึ้นเป็นกล่อง 3 มิติ ขนาดเท่ากับ 1 ห้อง จากนั้นก็จะมีการตกแต่งภายในติดอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ เสร็จเรียบร้อยมาจากโรงงานแล้วจึงนำไปวางประกอบเรียงเป็นชั้นๆ ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างนับว่าเป็นระบบที่สามารถลดแรงงานเวลาที่ต้องใช้ในบริเวณก่อสร้างได้มากที่สุดมากกว่าระบบใดๆ ในปัจจุบัน Box System ถือได้ว่าเป็นระบบที่เข้าถึงระบบงานอุตสาหกรรมขั้นสูงสุดเพราะงานส่วนใหญ่สำเร็จจากโรงงานทั้งสิ้น แม้กระทั่งการปูพรมพื้นระดับรูปภาพที่ผนัง ข้อเสียของระบบนี้คือ แต่ละหน่วยมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักที่มากทำให้การขนส่งยากลำบากและต้องใช้อุปกรณ์ขนย้ายขนาดใหญ่พิเศษ และนำไปใช้ได้กับอาคารบางประเภทเท่านั้น

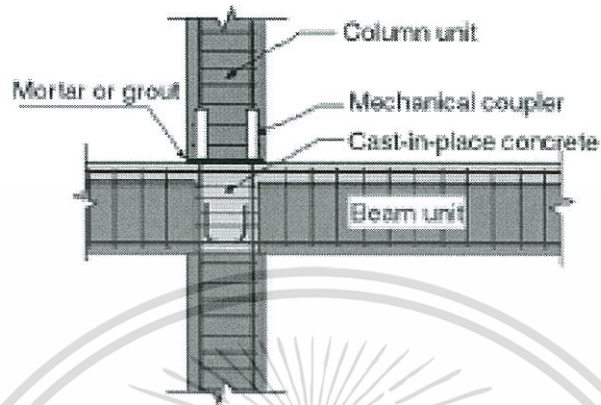


รูปที่ 2.9 ระบบโครงสร้างแบบกล่อง

### 2.4 จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างชั้นส่วนเสาคานสำเร็จรูป

เมื่อก้าวถึงจุดเชื่อมต่อของโครงสร้างอาคารซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างโดยการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป พฤติกรรมของโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นจะขึ้นกับพฤติกรรมของจุดเชื่อมต่อ ซึ่งรูปแบบของจุดเชื่อมต่ออาคารโครงเฟรมต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

### 2.4.1 ระบบเสมือนหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน (Equivalent Monolithic System)



รูปที่ 2.10 จุดเชื่อมต่อเสา-คานที่ใช้ระบบ Equivalent Monolithic

Equivalent Monolithic Systems หรือเป็นการเทในที่ตามรูปที่ 2.10 โดยสามารถแบ่งเป็นลักษณะย่อยได้อีก 2 แบบ คือ จุดเชื่อมต่อแบบแข็งที่มีความเหนียวจำกัด (Connections of Limited Ductility) และจุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียว (Ductile Connections) โดยการออกแบบจุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียวจำกัดนั้นจะออกแบบให้จุดเชื่อมต่อมีความแข็งแรงพอเพื่อให้เกิด Yield เท่านั้น แต่จุดเชื่อมต่อแบบที่มีความเหนียวนั้นเป็นแบบที่ต้องการให้เกิด Plastic Hinge ขึ้นที่บริเวณคานที่ตำแหน่งบริเวณหน้าเสาขณะที่โครงสร้างรับแรงมากๆ และให้บริเวณจุดเชื่อมต่อเกิดเพียง Yield เท่านั้น

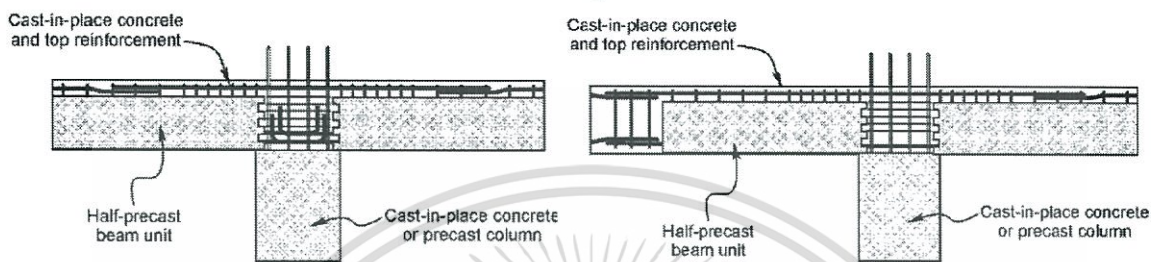
สำหรับโครงสร้างเฟรมต้านแรงดัดที่ใช้วิธีการเชื่อมต่อชิ้นส่วนแบบเสมือนหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน (Equivalent Monolithic Systems) วิธีการที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและนิวซีแลนด์นั้นมีรูปแบบดังนี้

#### 1. รูปแบบจุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระบบ

- 1.1 ชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปจะวางไว้บนแท่นวางของเสาโดยเหล็กกลางของคานนั้นจะยื่นและงอเข้าไปในบริเวณจุดเชื่อมต่อ และทำการเทคอนกรีตในที่บริเวณส่วนบนของคานรวมถึงบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อตามรูปที่ 2.11(ก) หรือจะให้เหล็กกลางของชิ้นส่วนคานเชื่อมต่อกันผ่านบริเวณจุดเชื่อมต่อตามรูปที่ 2.11(ข) ก็สามารถทำได้
- 1.2 เตรียมรูในชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปเพื่อให้เหล็กตามยาวของเสาสามารถสอดผ่านได้ จากนั้นจึงทำการเกรทบริเวณรูที่เหล็กผ่าน จากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อกานบริเวณกึ่งกลางช่วงเสาโดยการเทในที่ดังแสดงในรูปที่ 2.11

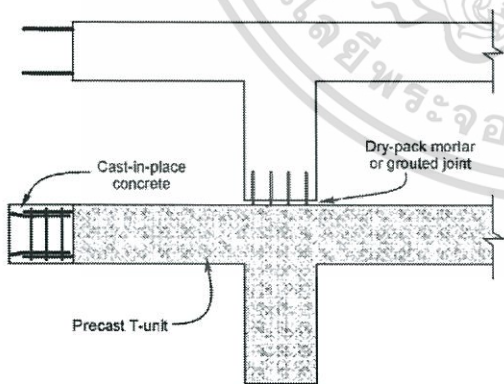
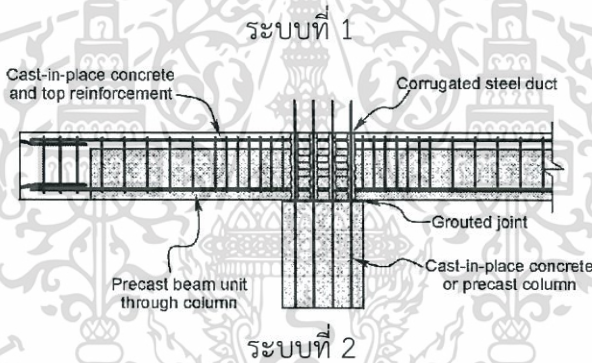
1.3 ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปตัวทีหรือรูปไม้กางเขน เชื่อมต่อในแนวตั้งผ่านทางเหล็กในเสาสื่อและทำการเชื่อมต่อในแนวราบโดยการเทในที่บริเวณกึ่งกลางช่วงเสาสื่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

1.4 ในประเทศนิวซีแลนด์นั้นนิยมใช้คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวยู และใช้วิธีการเทในที่ในการเชื่อมต่อชิ้นส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.11

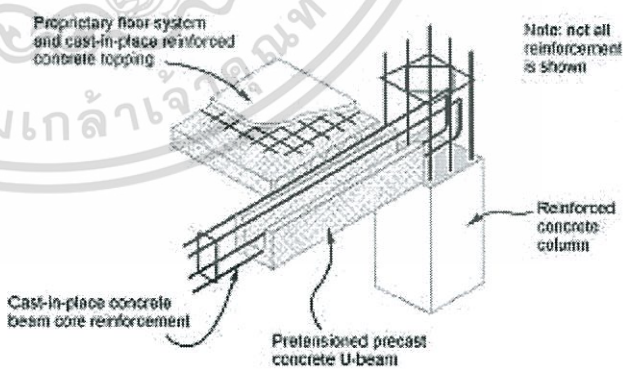


(ก) Approach using hooked bottom bar Anchorage

(ข) Approach using straight bottom bars



ระบบที่ 3

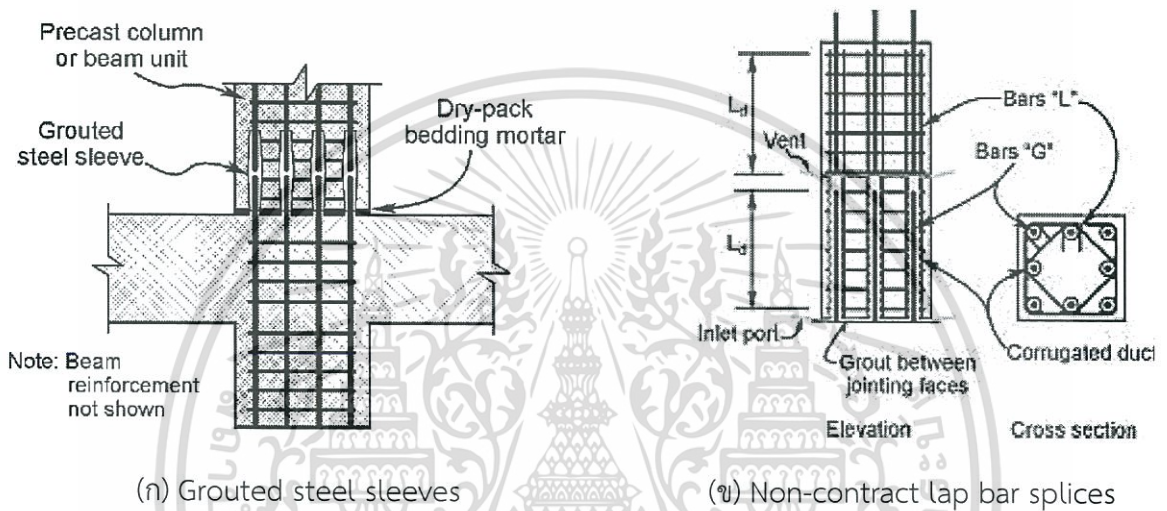


ระบบที่ 4

รูปที่ 2.11 จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบมีความเหนียวโดยวิธี Equivalent Monolithic Systems

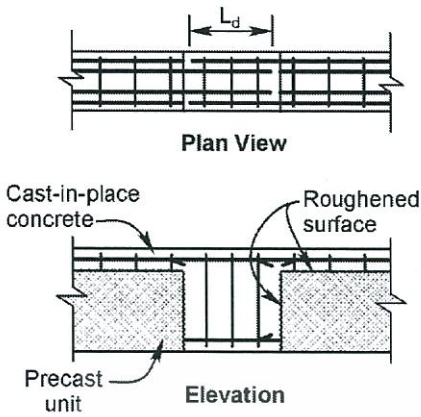
## 2. รูปแบบการเชื่อมต่อเสาและคาน

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้การเชื่อมต่อระบบที่ 2 และ 3 นั้น ตำแหน่งที่เชื่อมต่อชิ้นส่วน เสา นั้นมีทั้งจุดที่อยู่เหนือคานหรือกึ่งกลางความสูงของเสา การเชื่อมต่อนั้นมีทั้งรูปแบบที่มีการฝังท่อเหล็ก สำหรับต่อเหล็กจากนั้นจึงทำการเกรทตามรูป 2.12(ก) และรูปแบบการเชื่อมต่อโดยการใช้เหล็กทาบ ซึ่ง ตามรูปคือ Bar-L ส่วนเหล็กที่ยื่นมาจากส่วนเสาเพื่อสอดเข้าไปยังเสาส่วนที่มาเชื่อมต่อคือ Bar-G ตามรูปที่ 2.12(ข) และทำการเกรทเพื่อปิดช่องว่างอีกทั้งเพื่อให้การถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนสามารถทำได้

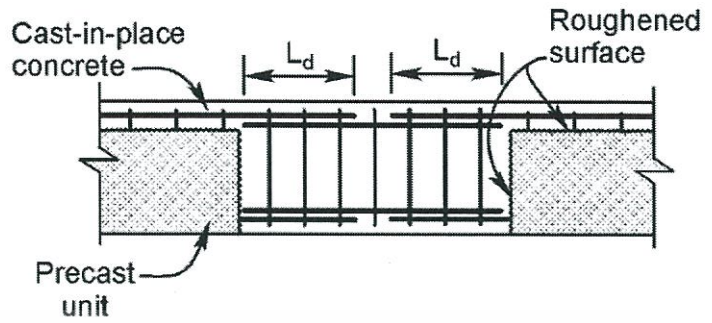


รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

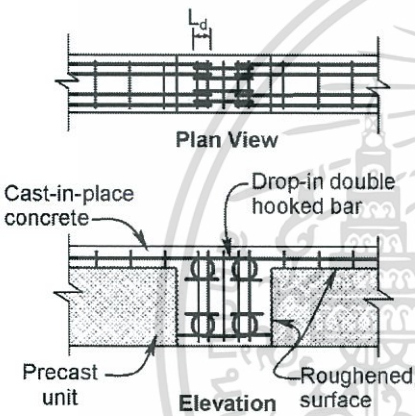
ในส่วนของการเชื่อมต่อบริเวณกึ่งกลางช่วงคานนั้นใช้วิธีการเทในที่ โดยในประเทศ นิวซีแลนด์เป็นที่นิยมมาก โดยส่วนมากจะใช้เหล็กเสริมตรงในการเชื่อมต่อหากความยาวของจุดเชื่อมต่อ เพียงพอตามรูปที่ 2.13(ก) และ (ข) สำหรับจุดเชื่อมต่อที่มีพื้นที่น้อยที่ทำการเทในที่นั้นจะใช้วิธีการ Double Hooked ในการเชื่อมต่อตามรูปที่ 2.13(ค) วิธีการที่ง่ายในการประกอบชิ้นส่วนสำเร็จระหว่าง การก่อสร้างในประเทศญี่ปุ่นนั้นนิยมใช้การเชื่อมเหล็กเสริมให้ติดกันหรือใช้ Coupler ในการเชื่อมต่อ เหล็กเสริมตามรูปที่ 2.13(ง) และ (จ)



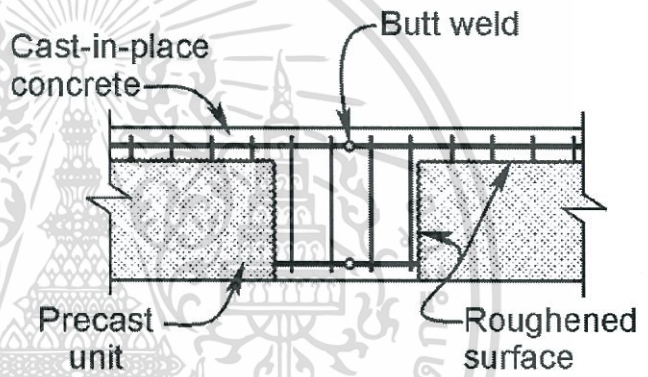
(น) Straight bar laps



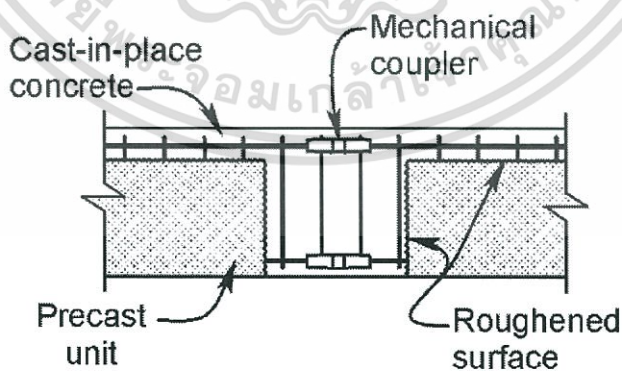
(ข) Double straight bar laps



(ค) Double hooked bar laps



(ง) Welded bars



(จ) Mechanically coupled bars

รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จุดเชื่อมต่อที่มีการใช้ระบบลวดอัดแรงร่วมด้วย

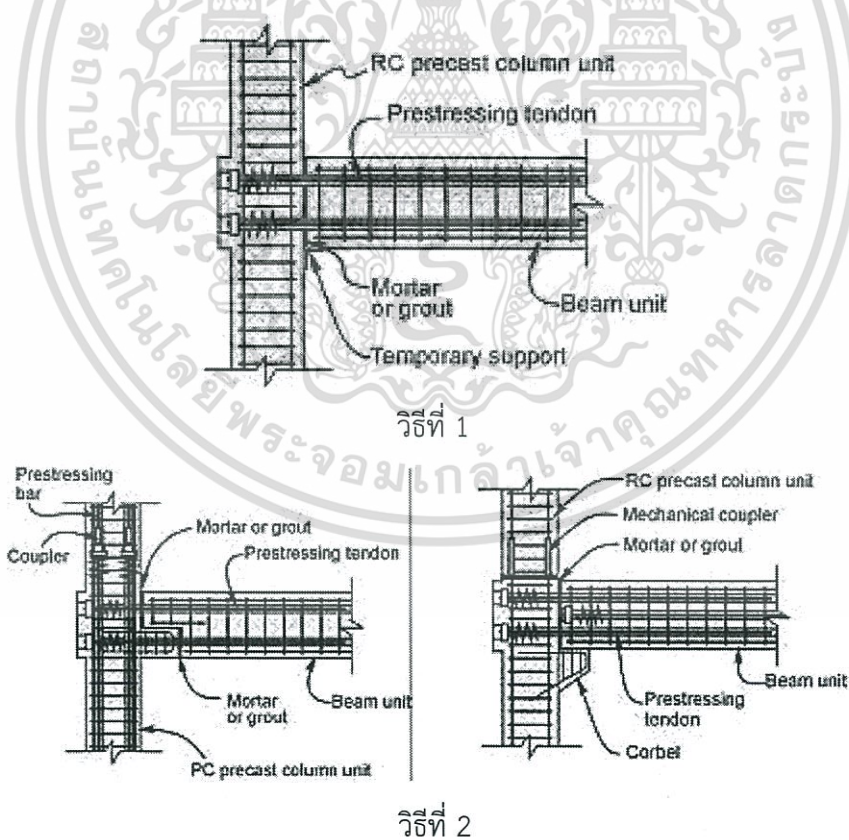
โดยทั่วไปนั้นจุดเชื่อมต่อที่มีการใช้ลวดอัดแรงร่วมด้วยนั้นจะเป็นจุดเชื่อมต่อแบบ Equivalent Monolithic Systems และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดกับคอนกรีต ซึ่งระบบนี้จะทำให้จุดเชื่อมต่อมีความเหนียวและระบบลวดอัดแรงที่ใช้ร่วมในจุดต่อนั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

3.1 การเชื่อมต่อด้วยระบบคานอัดแรงชนิดดึงลวดทีหลัง (Post-Tensioned Beam)

การก่อสร้างโดยระบบนี้เป็นที่นิยมในประเทศญี่ปุ่นและนิวซีแลนด์ตั้งแต่ปี 1960 โดยระบบนี้ได้รับการทดสอบแล้วว่าสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้เป็นอย่างดี ระบบนี้จะมีวิธีหลักๆในการเชื่อมต่ออยู่ 2 วิธี ตามรูปที่ 2.14

วิธีที่ 1 คานคอนกรีตสำเร็จรูปจะวางอยู่บนที่รองรับชั่วคราวของเสาจากนั้นทำการเกรทลวดอัดแรง และสุดท้ายจึงทำการดึงลวดอัดแรงและทำการเกรทลวดอัดแรงเป็นขั้นตอนสุดท้าย

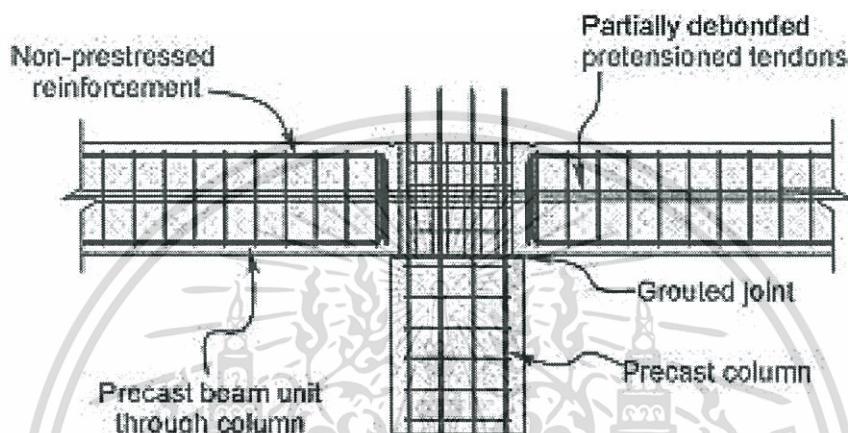
วิธีที่ 2 คานคอนกรีตสำเร็จรูปวางอยู่บนแท่นรองรับของเสา หลังจากนั้นจะเหมือนกันกับวิธีที่ 1



รูปที่ 2.14 การเชื่อมต่อโดยวิธี Equivalent Monolithic Systems ชนิดดึงเหล็กทีหลัง

### 3.2 การเชื่อมต่อด้วยระบบคานอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน (Pretensioned beam)

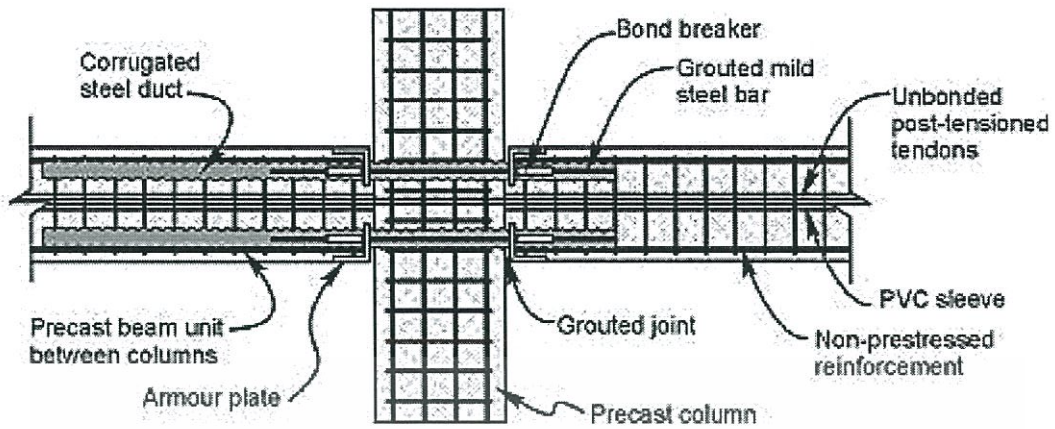
ระบบนี้จะทำการดึงลวดเตรียมไว้ก่อนครั้งละหลายๆช่วงพาด ตามรูปที่ 2.15 โดยการใช้ระบบ Debonded ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดและคอนกรีต จากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อกานกับเสาเข้าด้วยกันตามระบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.15 ระบบคาน Pretensioned ที่ทำการดึงลวดผ่านเสาด้วยระบบ Debonded

ยังมีวิธีการเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดยใช้การดึงเหล็กที่หลังแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดอัดแรงกับคอนกรีต ซึ่งการเชื่อมต่อรูปแบบนี้ทำให้จุดเชื่อมต่อที่ได้เป็นจุดเชื่อมต่อแบบเหนียว แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ระบบจุดเชื่อมต่อผสมที่ร่วมกันระหว่างระบบลวดอัดแรงแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตและเหล็กเสริมตามรูปที่ 2.16

ระบบจุดเชื่อมต่อแบบผสมนี้เป็นที่นิยมใช้ในประทศอังกฤษ วิธีการที่ชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงเชื่อมต่อกับเสานั้นโดยการใช้ระบบลวดอัดแรงดึงเหล็กที่หลังแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยว โดยลวดอัดแรงนั้นจะวิ่งผ่านท่อ PVC ที่จุดกึ่งกลางของคาน ในส่วนของช่องว่างระหว่างคานกับเสานั้นจะทำการเกรทด้วยเส้นใยเสริมแรง และในระหว่างที่เกิดแผ่นดินไหวนั้นจะต้องมั่นใจว่าแรงที่เกิดในลวดอัดแรงจะต้องไม่เกินจุด Proportional limit การเสริมเหล็กธรรมดาบริเวณจุดต่อนั้นจะต้องเตรียมท่อสำหรับสอดเหล็กดังกล่าวผ่านระหว่างคานและเสาโดยท่อที่เตรียมไว้จะต้องมีผิวขรุขระเพื่อที่เวลาทำการเกรทแล้วจะให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับน้ำยาที่เกรทได้ดี ซึ่งเหล็กที่ทำการเสริมเข้าไปนี้จะทำให้การกระจายพลังงานไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆเพื่อไม่ให้เกิดการร้าวของเหล็กหรือแรงอัดที่เกิดมากเกินไป



รูปที่ 2.16 รายละเอียดการเสริมเหล็กของจุดต่อระบบผสม

เมื่อโครงสร้างได้รับแรงกระทำจากแผ่นดินไหวและมีการเสียรูปจนเข้าสู่พฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นแล้วนั้นจะเกิดรอย Crack ที่เปิดออกแต่เนื่องจากมีแรงของลวดอัดแรงดึงไว้เมื่อแรงกระทำลดลงรอย Crack ดังกล่าวก็จะปิดลงทำให้ระบบนี้มีประโยชน์ในการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นในระหว่างที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว

#### 2.4.2 ระบบแบบมีจุดเชื่อมต่อ (Jointed Systems)

ระบบนี้บริเวณจุดเชื่อมต่อจะมีความอ่อนแอกว่าชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันโดยระบบ Jointed System นั้นประสิทธิภาพจะต่างจากระบบการเทในที่ โดยแบ่งย่อยออกได้เป็น จุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียวจำกัด และจุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียว จุดเชื่อมต่อที่มีความเหนียวจำกัดนั้นโดยทั่วไปจะเป็นจุดเชื่อมต่อแบบแห้ง (Dry joint) ที่ใช้วิธีการเชื่อมต่อโดยการเชื่อมหรือเชื่อมต่อชิ้นส่วนโดยน็อต ซึ่งพฤติกรรมของจุดเชื่อมต่อแบบนี้ไม่เหมือนกับจุดเชื่อมต่อของวิธีการเทในที่ ในส่วนของจุดเชื่อมต่อแบบมีความเหนียวการยึดชิ้นส่วนจะใช้การเชื่อมหรือใช้น็อต เช่นเดียวกันแต่จะเพิ่มเติมการใช้การอัดแรงไร้การยึดเหนียว (Unbonded Post-Tensioned Tendons) ซึ่งจุดเชื่อมต่อแบบนี้จะเป็นจุดเชื่อมต่อแบบแห้ง โดยเมื่อชิ้นส่วนเกิดการเสียรูปจนผ่านจุดยึดหยุ่นไปแล้วจะทำให้รอยต่อบริเวณหน้าเสาที่ติดกับคานเกิดการเปิดออก แต่ก็ปิดกลับที่เดิมหลังจากแรงที่กระทำลดลง เนื่องจากลวดอัดแรงทำหน้าที่ดึงชิ้นส่วนให้เชื่อมติดกันนั้นยังคงอยู่ในช่วงยึดหยุ่นอยู่

## 2.5 การพิจารณารูปแบบเทคโนโลยีการก่อสร้างที่นำมาใช้

การพิจารณารูปแบบเทคโนโลยีการก่อสร้างที่นำมาใช้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

### 2.5.1 พิจารณาความมั่นคงของอาคาร

ความแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการออกแบบและการก่อสร้างอาคารสำหรับระบบขึ้นส่วนอาคารสำเร็จรูปความแข็งแรงของอาคารขึ้นอยู่กับรอยต่อ (Joint) ของขึ้นส่วน ซึ่งภายหลังจากการก่อสร้างที่ก่อสร้างแล้ว จุดรอยต่อต่างๆ จะต้องมีความสมบัติแบบเดียวกันกับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่

### 2.5.2 พิจารณาออกแบบขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

การออกแบบขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จะต้องคำนึงถึงแรงที่จะทำให้เกิดการวิบัติหรือความเค้น (Stress) ในระหว่างการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบจุดรอยต่อ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตที่มาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปกับแบบหล่อในขณะถอดแบบหล่อ รวมทั้งน้ำหนักของขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเองในขณะทำการถอดออกจากแบบหล่อ ดังนั้นจึงไม่ควรยกขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยเฉพาะแผ่นผนังจากแนวนอนขึ้นมาโดยตรง ควรจะยกขึ้นมาทั้งแบบหล่อโดยให้แบบหล่อสามารถทำมุมกับแนวนอนได้ประมาณ 70 องศา แล้วจึงยกขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปออกจากแบบหล่อ หรือถ้าไม่สามารถยกแบบหล่อได้ ต้องรอให้คอนกรีตมีกำลังที่สูงตามที่กำหนดไว้ จึงจะยกได้ สำหรับความเค้นที่เกิดขึ้นกับขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในระหว่าง การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบจุดรอยต่อ เกิดเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. ในขณะการขนส่ง แนวและตำแหน่งของขึ้นส่วนสำเร็จรูป ไม่ได้อยู่ในแนวและตำแหน่งประกอบขึ้นเป็นโครงสร้าง เช่น เสาออกแบบเพื่อรับแรงในแนวตั้งตามความยาวของเสา และ แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากแรงลมเมื่อทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ระหว่างการขนส่ง เสดังกล่าวจะทำหน้าที่รับน้ำหนักและความเค้นที่เกิดขึ้นในลักษณะเหมือนคาน

2. ในระหว่างการติดตั้งและการประกอบจุดรอยต่อ การดำเนินงานอาจจะยังไม่สมบูรณ์หรือไม่เต็มระบบโครงสร้าง หรือยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มที่ เช่น การติดตั้งผนังรับแรง ดังนั้นในการติดตั้งจำเป็นต้องทำการค้ำยันให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น

3. พิจารณาจุดรอยต่อของขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จุดรอยต่อของขึ้นส่วนสำเร็จรูป มีความสำคัญมากต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง รูปแบบจุดรอยต่อที่ได้พิจารณานำมาใช้ แบ่งเป็น 2 ประเภท

- 3.1 จุตรอยต่อแบบเปียก (Wet joint) จุตรอยต่อแบบเปียก เป็นจุมรอยต่อที่เกิดจากการ Grout จุตรอยต่อแบบนี้ไม่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันทีต้องรอจนกว่าวัสดุมีความแข็งแรงตามข้อกำหนด จุตรอยต่อแบบนี้ ได้แก่ จุตรอยต่อแบบใช้เหล็ก Dowel
- 3.2 จุตรอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint) จุตรอยต่อแบบแห้ง เป็นจุมรอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของวัสดุที่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันที จุตรอยต่อแบบนี้ ได้แก่ จุตรอยต่อแบบการใช้โบลท์ (Bolting) แบบการเชื่อม (Welding) จุตรอยต่อแบบนี้ หลังจากทำงานเสร็จแล้วจะทำการปิดจุมรอยต่อด้วย Mortar อีพอกซี (Epoxy) วัสดุกันซึม วัสดุกันสนิม อย่างใดอย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

4. พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็น ระยะเวลาที่ผิดจากตำแหน่งที่แบบกำหนดไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงไม่ควรเกิน ค่ากำหนดตามมาตรฐาน PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิบัติงานจริงเกิดขึ้นได้ ดังนี้

- 4.1 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิต (Manufacturing Tolerances) ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติของแบบหล่อ เช่น แบบหล่อบวมหรือยุบ (Swelling and Drying of Formwork) อาจเกิดจากการประกอบแบบหล่อคลาดเคลื่อน หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น การหดตัว (Shrinkage) การล้า (Creep) และอุณหภูมิ
- 4.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดระยะเวลาห่างระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Setting-Out Tolerances) ระยะเวลาที่เกิดขึ้นอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าระยะที่กำหนดไว้
- 4.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการติดตั้ง (Erection Tolerances) ถือเป็นระยะเวลาความคลาดเคลื่อนที่มีโอกาสผันผวนสูงที่สุดเนื่องจากในหน่วยงานก่อสร้าง มีหลายปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของการติดตั้ง เช่น ความเร่งรีบจากการติดตั้ง ประสบการณ์ของทีมติดตั้ง ความพร้อมของเครื่องมือ ฯลฯ ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์และความพร้อมจากหลายๆ ด้านมาเป็นส่วนประกอบในการพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป (Prefabrication Building Design)

การศึกษาการออกแบบอาคารสำเร็จรูป จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หลักเกณฑ์การพิจารณาออกแบบ และขั้นตอนการออกแบบอาคารสำเร็จรูปดังนี้

### 2.6.1 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบ

#### 2.6.1.1 น้ำหนักบรรทุก

ต้องพิจารณาและกำหนดให้ชัดเจนว่า การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องรับแรงกระทำชนิดต่างๆ เท่าใด โดยน้ำหนักและแรงกระทำที่จะต้องคำนึงถึง ได้แก่

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ซึ่งมีน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตเอง และน้ำหนักโครงสร้างอื่นๆ ที่ชิ้นส่วนรองรับอยู่

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดจากการใช้งาน

3. แรงอันเนื่องมาจากลม (Wind Load) ซึ่งมีทั้งในรูปแบบแรงกระทำในแนวราบและแนวตั้ง นอกจากนี้ลมอาจจะทำให้เกิดการสั่น การแกว่งหรือการโยกตัวของโครงสร้างอาคารได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีชั้นความสูงมากๆ

4. แรงอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว ซึ่งจะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานแรงเฉือน แรงตามแนวแกน และโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแผ่นดินไหว

5. แรงการสั่นสะเทือนเนื่องจากอุบัติเหตุ หรือแรงจากสิ่งที่ไม่คาดคิด ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปควรออกแบบให้มีส่วนเผื่อเหลือเผื่อรับแรงที่ไม่คาดคิด หรือแรงจากอุบัติเหตุทั้งขณะก่อสร้างและภายหลังก่อสร้าง

#### 2.6.1.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง

เพื่อให้ได้รูปแบบของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด การออกแบบจะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้

1. พื้นที่ทางเข้าและถนน กรณีพื้นที่ก่อสร้างอาคารมีถนนทางเข้าที่สะดวกกว้างขวาง ก็สามารถเลือกชิ้นส่วนขนาดใหญ่ได้ แต่หากไม่มีที่ว่างเพียงพอ อาจต้องใช้ทาวเวอร์เครนซึ่งจะยกชิ้นส่วนคอนกรีตที่หนักมากได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละอาคาร

2. รูปร่างลักษณะของอาคาร อาคารที่พักอาศัยที่มีกำแพงจำนวนมากจะมีรูปร่างซ้ำๆ กัน จะเหมาะสมกับการใช้โครงสร้างผนังรับแรงที่จะใช้เป็นชิ้นส่วน คอนกรีตสำเร็จรูป เพราะสามารถผลิตซ้ำๆ กันเป็นจำนวนมากจากโรงงาน

3. โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป กรณีที่มีโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อยู่ใกล้หน่วยงานก่อสร้าง ก็จะทำให้ความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง หรือหากสถานที่ก่อสร้างมีพื้นที่ เพียงพอ ในปัจจุบันเทคโนโลยีและเครื่องมืออุปกรณ์ดีขึ้นมาก ทำให้สามารถสร้างโรงงานเฉพาะกิจขึ้นใน หน่วยงานก่อสร้างได้ในเวลาอันรวดเร็ว

4. ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป ขั้นตอนการประกอบติดตั้งขณะก่อสร้างจะเป็นตัว บังคับใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตมีรูปแบบที่ต่างกัน

5. พื้นที่กองเก็บชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป การก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ควรจะมี พื้นที่กองเก็บชิ้นส่วนสำเร็จรูปพอสมควร และจะต้องจัดคิวการขนส่งบรรทุกชิ้นส่วนให้แม่นยำและตรง เวลา ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อนำไปติดตั้ง

6. พื้นที่ทางเข้าที่ต้องการ การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงอย่าง มากกว่าขณะประกอบติดตั้งจะมีพื้นที่พอเพียงที่จะทำงานได้จริง Access Area ไม่ได้หมายถึงเฉพาะที่ดิน หรือถนนรอบอาคารเท่านั้น แต่รวมถึงที่ว่างในอากาศด้วย

### 2.6.1.3 ระยะเวลา

ระยะเวลาเป็นสิ่งสำคัญและมีผลกับต้นทุนของการก่อสร้าง และเมื่อต้องการเร่งงาน ก่อสร้างให้ทัน เวลาที่ยังจะมีผลต่อต้นทุนมากขึ้นด้วย

1. รอบระยะเวลา (Cycle time) รอบระยะเวลาในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปและรอบ ระยะเวลาในการประกอบติดตั้งแต่ละส่วนของอาคาร จะเป็นตัวกำหนดให้ต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตใน รูปแบบใด และใช้เครื่องจักรในการติดตั้งที่มีความสามารถทำงานให้ทันเวลาที่กำหนดไว้

2. ระยะเวลาก่อสร้าง (Total Construction Time) ถ้าพิจารณารอบระยะเวลาของ การผลิตของการขนส่งกับรอบระยะเวลาของการติดตั้ง และการประกอบจตุรรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป รอบระยะเวลาทั้งสองส่วนสามารถที่จะดำเนินการไปพร้อมกันได้ โดยเป็นสิ่งควบคุมระยะเวลาของการ ก่อสร้างแต่ละโครงการว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในการก่อสร้างที่เลือกใช้ทั้งหมด มีความเหมาะสมที่ทำให้สามารถ ก่อสร้างได้ทันเวลาหรือไม่

### 2.6.1.4 เสถียรภาพโครงสร้าง

การเลือกรูปแบบการก่อสร้างอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จะต้อง คำนึงถึงเสถียรภาพของความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

## 2.6.2 ขั้นตอนการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

การออกแบบอาคารสำเร็จรูปนั้นแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณา รูปแบบเทคโนโลยีการก่อสร้าง แต่เป็นการอธิบายถึงรายละเอียดที่มากขึ้น ซึ่งการพิจารณาทั้ง 4 ส่วน มีดังนี้

1. พิจารณารูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร
2. พิจารณาการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป
3. พิจารณาออกแบบจตุรรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป
4. พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการทำงาน

### 2.6.2.1 รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

ความแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นเรื่องสำคัญมากในการออกแบบอาคารสำหรับการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ดังนั้นการออกแบบอาคารคอนกรีตสำเร็จรูปให้แข็งแรง ปลอดภัย ลักษณะสำคัญขึ้นอยู่กับารออกแบบบริเวณจตุรรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วน การทำจตุรรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วน หลังจากก่อสร้างเสร็จแล้ว จะต้องมีความสมบัติแบบเดียวกันกับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่นำมาใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

1. โครงสร้างเสารับโมเมนต์ ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับเสาที่ยึดติดกับฐานราก คานที่ยึดติดกับเสาจะมีลักษณะเป็นจุดหมุน
2. โครงสร้างเฟรมรับโมเมนต์ ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของจุดต่อของเสาและคาน ซึ่งมีความสามารถรับโมเมนต์ด้วย ข้อเสียคือ มีความซับซ้อนในการผลิตและขนส่ง และการติดตั้งทำได้ยาก
3. โครงสร้างผนัง และคอร์รับแรง ความมั่นคงแข็งแรงของระบบนี้จะมีคอร์หรือพื้นผนังเป็นตัวที่ทำให้ระบบนี้มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งสามารถใช้กับอาคารสูงได้ระดับหนึ่ง จตุรรอยต่อระหว่างคาน-คาน เสา-เสา และคาน-เสา การออกแบบจะเป็นจตุรรอยต่อแบบหมุน หลักการออกแบบก่อสร้างสำหรับอาคารลักษณะนี้ ส่วนคอร์มักจะดำเนินการด้วยวิธีหล่อในที่ ส่วน คาน เสา และพื้น หรือพื้นและผนัง จะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป
4. โครงสร้างผนังรับแรงรอบอาคาร ความมั่นคงแข็งแรงขึ้นอยู่กับการประสานกันเป็นกล่องของโครงสร้างโดยให้แรงในแนวตั้งที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแรงในแนวนอน
5. โครงสร้างผนังรับแรง ความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยให้โครงสร้างรับน้ำหนักในแนวตั้งอย่างเดียว ไม่รับแรงดึงในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โดอะแกรมพื้นและหลังคา เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย โดยการใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ระบบพื้นแพลิ่งค์ (Plank) ระบบพื้นฮอลโลว์ คอร์ (Hollow Core) การใช้โครงสร้างระบบนี้จะสามารถสร้างพื้นได้อย่างรวดเร็ว

7. โครงสร้างแบบเซลล์ (Cell Structures) เป็นการออกแบบโครงสร้างผนังและพื้นรวมกันเป็นห้องแล้วนำมาประกอบติดตั้ง โครงสร้างแบบเซลล์อาจเป็นการทำงานสถาปัตยกรรมที่รวมการติดตั้งระบบไฟฟ้าและประปามาเรียบร้อยแล้ว ความมั่นคงแข็งแรงจะอยู่ในรูปของระบบ Shear Wall ลักษณะของ Cell Structures ที่ทำการผลิต ได้แก่ ระฆังแบบคว่ำ แบบตัวยู แบบตัวซี

### 2.6.2.2 การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ในระหว่างการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบจตุรรอยต่อ จะมีความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นส่วนสำเร็จรูป ผู้ออกแบบจะต้องมีการคำนวณและออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

1. ความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต มาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของชิ้นส่วนสำเร็จรูปและแบบหล่อในขณะที่ถอดแบบ รวมทั้งน้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเองในขณะที่ยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปออกจากแบบหล่อ

2. ในขณะที่ขนส่ง แนวและตำแหน่งของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปไม่ได้อยู่ในแนวและตำแหน่งที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้าง เช่น เสาคอกแบบเพื่อรับแรงในแนวตั้งตามความยาวของเสา และแรงเฉือนที่เกิดจากแรงลมเมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ระหว่างการขนส่งดังกล่าวจะทำหน้าที่รับน้ำหนักและความเค้นที่เกิดขึ้นเหมือนคาน

3. ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องการค้ำยันจากชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น เมื่อประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างเสร็จแล้ว แต่ในขณะที่ขนส่งและติดตั้งอาจจะไม่มี

4. ในระหว่างการติดตั้งและการประกอบจตุรรอยต่อ การดำเนินงานอาจจะยังไม่สมบูรณ์หรือไม่เต็มระบบโครงสร้าง หรือยังไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ เช่น การติดตั้งผนัง จะต้องทำการค้ำยันให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น

### 2.6.2.3 การออกแบบจตุรรอยต่อสำเร็จรูป

จตุรรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป สำหรับการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปมีความสำคัญต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร จตุรรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. จตุรรอยต่อแบบเปียก (Wet Joint)
2. จตุรรอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.6.2.4 การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน

เป็นการสมมติหรือคาดคะเนระยะที่จะผิดหรือมีค่าเบี่ยงเบนตามระยะที่กำหนดไว้ในแบบ การปฏิบัติงานจริงค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้มี 3 ประเภท คือ

1. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป
2. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดระยะ ระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป
3. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป

#### 2.6.3 มาตรฐานการออกแบบระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย

ในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมาย หรือมาตรฐาน และวิธีการออกแบบที่ชัดเจน ทำให้วิศวกรยังขาดความรู้ความเข้าใจการออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูป สำหรับมาตรฐานในการออกแบบในประเทศไทย ใช้มาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ที่อ้างอิงมาจาก ACI 318M-14 (2014) Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ได้แก่ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีใช้หน่วยแรงใช้งาน (ว.ส.ท. 1007-34) และ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง (ว.ส.ท. 1008-38) โดยมาตรฐานนี้ได้กำหนดรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ที่ครอบคลุมถึงข้อกำหนดทั่วไป สำหรับวัสดุมวลรวม ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม แบบรายละเอียด การบ่ม การทำเครื่องหมายเพื่อระบุชิ้นส่วน การขนส่ง การเก็บรักษา การต่อเหล็กเสริม และการคำนวณออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปด้วยระบบผนังรับแรง (Bearing Wall) ที่ระบุข้อกำหนดสำหรับเหล็กเสริมต่ำสุด และวิธีการคำนวณออกแบบโดยออกแบบเป็นองค์อาคารรับแรงอัดที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกน หรือแรงดัดร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกน หรือคำนวณออกแบบโดยใช้สูตรสำเร็จสำหรับการออกแบบตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ว.ส.ท. 1007-34) กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้รับน้ำหนักรวมศูนย์โดยประมาณ สามารถคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ( $f_c$ ) โดยใช้สูตรสำเร็จ ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$f_c = 0.225f_c' [1 - (h/40t)^3] \quad (2.1)$$

สำหรับการออกแบบตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 และ ACI 318M-14 สามารถคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกนที่คำนวณออกแบบ  $f P_{nw}$  ดังแสดงในสมการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$\phi P_{nw} = 0.55f'_c A_g \left[ 1 - \left( \frac{kL_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

$$\phi P_{nw} = 0.60f'_c A_g \left[ 1 - \left( \frac{kL_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

โดยที่อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวตั้งและในแนวนอนต่อพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตต่ำที่สุด ดังแสดงในตาราง 2.1 โดยแบบแสดงรายละเอียดต้องแสดงรายละเอียดทั้งหมดของเหล็กเสริม จุดต่อ จุดรองรับ อุปกรณ์ฝังยึด ระยะหุ้มคอนกรีต ช่องเปิด รูปแบบและอุปกรณ์ในการยก การประกอบ และความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดอัตราส่วนเหล็กเสริมทางยาว และเหล็กเสริมทางขวาง

ประเภทกำแพง	ชนิดเหล็กเสริม	ขนาดเหล็กเสริม	$f_y$ (ksc)	อัตราส่วนเหล็กเสริมทางยาว	อัตราส่วนเหล็กเสริมทางขวาง
คอนกรีตหล่อในที่	เหล็กข้ออ้อย	$\leq 16$ mm.	4,000	0.0012	0.0020
		$> 16$ mm.	4,000	0.0015	0.0025
	เหล็กข้ออ้อย	$> 16$ mm.	ทุกชนิด	0.0015	0.0025
	ลวดตะแกรงสำเร็จรูป	$\leq 16$ mm.	ทุกชนิด	0.0012	0.0020
คอนกรีตสำเร็จรูป	เหล็กข้ออ้อย หรือ ลวดตะแกรงสำเร็จรูป	ทุกขนาด	ทุกชนิด	0.0010	0.0010

## 2.7 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของการออกแบบระบบก่อสร้างปกติกับระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป

ความแตกต่างได้เปรียบของการก่อสร้างแต่ละระบบ ซึ่งสาระสำคัญของข้อแตกต่างวิธีการก่อสร้างจะเป็นประเด็นเชิงเทคนิคในการก่อสร้าง ซึ่งหากพิจารณาแล้วพบว่ามีปัจจัยที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

### 2.7.1 ระบบก่อสร้างแบบปกติ

#### ข้อได้เปรียบ

1. เป็นวิธีการที่คุ้นเคย ช่างฝีมือรู้ปัญหาที่เกิดขึ้น
2. การควบคุมงานและการหาช่างฝีมือมาทำงานได้ไ้งานกว่า
3. วิธีการก่อสร้างมีความยืดหยุ่น และดัดแปลงได้ในระดับหนึ่ง

#### ข้อเสียเปรียบ

1. ใช้ไม้แบบในการหล่อชิ้นส่วนโครงสร้างกับที่ ทำให้เกิดการสูญเสียวัสดุไม้แบบ ถึงแม้ว่าจะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 2 ครั้งก็ตาม
2. ใช้แรงงานจำนวนมากในการก่อสร้าง
3. สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย ทำให้การก่อสร้างหยุดลงชั่วคราว
4. การควบคุมสภาพทำได้ยาก มีความคลาดเคลื่อนสูง

### 2.7.2 ระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป

#### ข้อได้เปรียบ

1. ลดปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงาน ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการก่อสร้างระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป เนื่องจากการผลิตขึ้นส่วนจากโรงงานและนำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้าง และการก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถลดงานก่อและฉาบได้ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแรงงานในส่วนนี้ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้เมื่อเทียบกับระบบการก่อสร้างปกติ สามารถก่อสร้างได้อย่างสะดวกเรียบร้อยมากขึ้น เนื่องจากต้องมีการเตรียมการวางแผนตั้งแต่การออกแบบโครงสร้าง และมีการควบคุมการผลิตชิ้นส่วนการก่อสร้างจากโรงงานผลิตชิ้นส่วน
3. ลดมลภาวะเรื่องฝุ่น และเสียงในขณะการก่อสร้าง ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างได้เป็นอย่างดี
4. ลดต้นทุนในการก่อสร้าง เมื่อมีการก่อสร้างรูปแบบอาคารที่ซ้ำกันเป็นจำนวนมาก และจากการออกแบบที่ครอบคลุมทุกขั้นตอนสามารถลดการใช้วัสดุอย่างสิ้นเปลือง และมีการสูญเสียน้อย
5. โครงสร้างของอาคารระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับระบบก่อสร้างปกติ เนื่องจากมีองค์ประกอบของโครงสร้างอาคารสามารถรับแรงได้

#### ข้อเสียเปรียบ

1. ต้องมีการเตรียมงานที่รอบคอบ และครอบคลุมทุกขั้นตอนของการก่อสร้างซึ่งจะทำให้ปริมาณงานในส่วนของการเตรียมงานและจัดทำ Shop Drawing มากขึ้น เมื่อเทียบกับการก่อสร้างระบบปกติ เนื่องจากต้องคำนึงถึง การผลิต การขนส่ง และการติดตั้ง เป็นอย่างมาก
2. การออกแบบในด้านความสวยงามของโครงสร้างอาคารจะทำได้ยากขึ้น เนื่องจากการผลิตระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำเป็นต้องมีการออกแบบชิ้นส่วนที่มีรูปแบบที่ง่ายต่อการผลิต การขนส่ง และการติดตั้ง จึงทำให้เป็นข้อจำกัดในการออกแบบของการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป
3. ข้อจำกัดของขนาดชิ้นส่วนสำเร็จรูป จะขึ้นอยู่กับ การขนส่งและอุปกรณ์การยกติดตั้ง เช่น ขนาดของรถขนส่ง การรับน้ำหนักของถนน และขนาดของรถเครน หากมีการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่จะต้องมีรถขนส่งที่ออกแบบเฉพาะ และมีอุปกรณ์ยกติดตั้งที่มีขนาดพิเศษ และจะทำให้การติดตั้งยากลำบากมากยิ่งขึ้น
4. การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงรูปแบบของชิ้นส่วนที่มีจำนวนมากและขนาดเดียวกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตสูงสุด และลดต้นทุนวัสดุในการทำแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของจุดต่อที่เชื่อมขึ้นส่วนสำเร็จรูปแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งมีความซับซ้อนในการผลิตและการติดตั้งที่ทำได้ยาก
6. การก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป ด้วยทั่วไปแล้วแผ่นพื้นและผนังจะมีรอยต่อ ซึ่งต้องเสี่ยงต่อการรั่วซึมของรอยต่อที่สัมผัสน้ำ
7. มีการลงทุนในระยะแรก เนื่องจากการสร้างโรงงานผลิตขึ้นส่วนสำเร็จรูป

### 2.7.3 ระยะเวลาก่อสร้างในแต่ละระบบ

ระยะเวลาในการก่อสร้าง ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างทั่วไป โดยคิดต่อการก่อสร้าง 1 หลัง เทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป (R.C. Prefabrication System) ทั้งระบบเสาคาน และระบบผนังรับแรง โดยคิดต่อการก่อสร้าง 1 หลัง เช่นกัน เมื่อเปรียบระยะเวลาการก่อสร้างทั้ง 3 ระบบ การก่อสร้างด้วยระบบเสาคานและคาน (Post and Beam System) และระบบผนังรับแรง (Wall Bearing System) ใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าวิธีการก่อสร้างทั่วไป (Conventional System) กล่าวคือมีจำนวนระยะเวลาในการก่อสร้างเพียงแค่ 30 วันต่อการสร้างหนึ่งหลัง ในขณะที่วิธีการก่อสร้างแบบทั่วไปใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 60 วัน ต่อการสร้างหนึ่งหลังซึ่งลดระยะเวลาได้ถึงครึ่งหนึ่ง

### 2.7.4 ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของการออกแบบระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป

#### 2.7.4.1 ด้านการออกแบบ

1. ในระบบการก่อสร้างขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดผนังรับน้ำหนัก ไม่สามารถทុบผนังและต่อเติมได้ จึงไม่เหมาะสมกับความนิยมของคนไทยที่มักเปลี่ยนแปลงแบบบ้านของตนเอง หรือเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอย ฉะนั้นสถาปนิกและวิศวกรควรจะออกแบบบริเวณอาคารส่วนที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เพื่อไว้ด้วย

2. การออกแบบระบบขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สถาปนิกและวิศวกรต้องทำงานประสานกันอย่างใกล้ชิด เพราะความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างต้องสัมพันธ์กับความสวยงาม และประโยชน์ใช้สอย

3. รายละเอียดการออกแบบระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปมีรายละเอียดมากกว่างานออกแบบระบบก่อสร้างปกติเป็นอย่างมาก ซึ่งต้องยอมเสียเวลาในการให้รายละเอียดของแต่ละขึ้นส่วน และการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็น เนื่องจากเป็นส่วนที่สำคัญมากของการก่อสร้างระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป

4. มีความยุ่งยากในการนำแบบก่อสร้างระบบก่อสร้างปกติที่มีอยู่แล้ว มาทำการดัดแปลงเป็นระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป จะทำได้ยาก และยุ่งยาก เนื่องจากต้องคำนึงถึงทุกๆ องค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การออกแบบระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปต้องคำนึงถึงเกณฑ์ในการติดตั้งหรือยกน้ำหนัก
6. การออกแบบระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปต้องมีระยะเผื่อสำหรับความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่เป็นจุดรอยต่อของโครงสร้างอาคาร
7. มีความยืดหยุ่นในการออกแบบที่น้อย เนื่องจากต้องใช้แบบหล่อไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างอิสระเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองแบบหล่อ
8. มีรอยต่อที่สามารถทำให้ง่ายต่อการทำงานในสนาม เพื่อความรวดเร็วและลดความผิดพลาด

#### 2.7.4.2 ด้านการก่อสร้าง

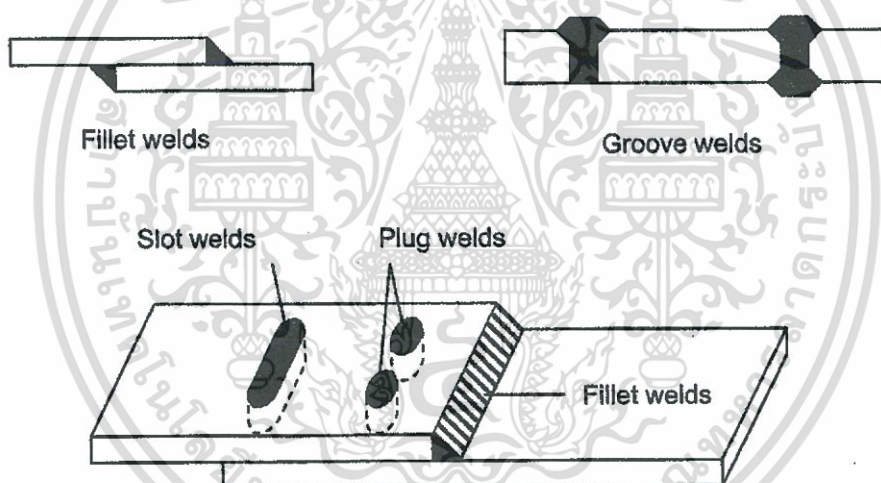
1. อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาก่อสร้าง เนื่องจากปัญหาด้านแรงงานการผลิตและการขนส่ง ซึ่งทำให้ก่อสร้างหยุดชะงัก และเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น
2. ต้องมีการควบคุมในการก่อสร้างระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป ให้ได้มาตรฐานมากกว่าการก่อสร้างระบบทั่วไป
3. ช่างเชื่อมควรเป็นช่างที่มีความชำนาญและประสบการณ์ในการทำงาน และควรผ่านการทดสอบด้านการเชื่อมที่มีมาตรฐาน เนื่องจากรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นสิ่งสำคัญของการก่อสร้างระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูป
4. การขนส่งและการติดตั้งที่ยุ้งยากมากขึ้น เมื่อขึ้นส่วนสำเร็จรูปมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
5. ต้องมีการวางแผนงานสำหรับการขนส่งขึ้นส่วนสำเร็จรูปจากโรงงาน และติดตั้งทันทีโดยไม่ต้องนำแผนไปเก็บไว้ในโกดัง
6. ผู้รับเหมาและลูกจ้างจะคุ้นเคยกับการก่อสร้างระบบปกติมากกว่า ซึ่งทำให้ขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงาน และชำนาญในการติดตั้ง

## 2.8 การต่อโครงสร้างโดยวิธีการเชื่อม

การเชื่อมคือกระบวนการต่อโลหะเข้าด้วยกันโดยการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวจนกลายเป็นสถานะพลาสติกหรือของเหลว ทำให้โลหะที่รอยต่อไหลมารวมกันเป็นเนื้อเดียว แม้ว่าการเชื่อมจะเป็นที่นิยมในงานโครงสร้างเนื่องจากความสะดวกรวดเร็วและหลากหลายกว่าการเชื่อมโดยใช้สลักเกลียว แต่วิศวกรหลายคนคิดว่าการเชื่อมมีข้อเสียเปรียบสองข้อที่สำคัญคือ (1) การเชื่อมจะลดกำลังต้านทานการล้าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว และ (2) ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของการเชื่อมโดยปราศจากการตรวจสอบอย่างเข้มงวดได้

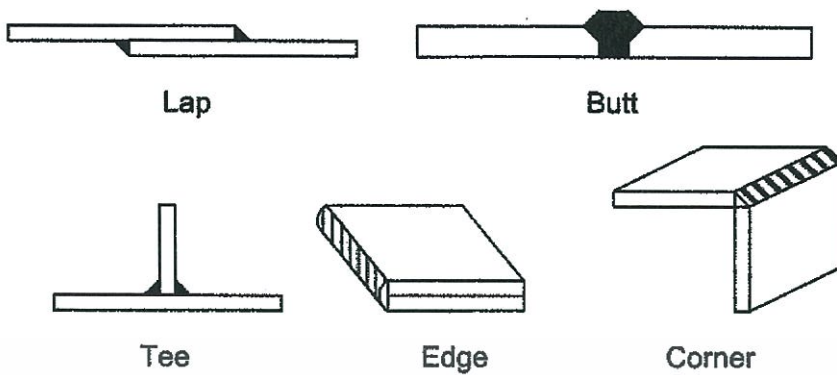
### 2.8.1 รูปแบบของการเชื่อมและจุดต่อ

การเชื่อมที่ใช้เป็นหลักในงานโครงสร้างมีสองประเภทคือ การเชื่อมแบบฟิลเลต (Fillet Welds) และการเชื่อมแบบร่อง (Groove Welds) นอกจากนี้ยังมี แบบอุดรูกลม (Plug) และแบบอุดรูยาว (Slot) ซึ่งจะใช้ในกรณีที่มีการเชื่อมแบบฟิลเลตรับแรงได้ไม่เพียงพอ



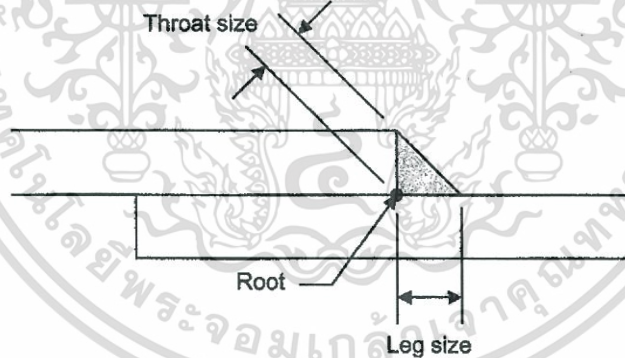
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะรอยเชื่อมทั้ง 4 แบบ

ในจุดต่อเชื่อมนั้นองค์อาคารที่มาต่อกันมีได้หลายรูปแบบ จุดต่อเหล่านี้จึงอาจถูกจัดประเภทออกเป็น จุดต่อทาบ (Lap), จุดต่อชน (Butt), จุดต่อที (Tee), จุดต่อขอบ (Edge) และจุดต่อมุม (Corner) ดังในรูปที่ 2.18



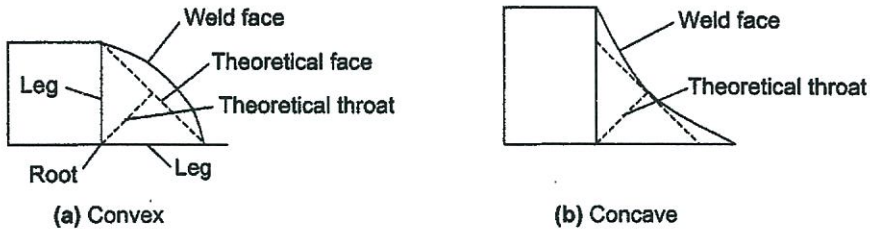
รูปที่ 2.18 แสดงชนิดของจุดต่อ

รอยเชื่อมแบบฟิลเลตจะมีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมต่อเชื่อมผิวของค้ำอาคารที่มาต่อกันเป็นมุมฉาก ในจุดต่อทาบ ตัวที และมุม ดังรูปที่ 2.19 แสดงถึงรูปแบบรอยเชื่อมฟิลเลตในจุดต่อทั่วไป ขนาดรอยเชื่อมที่ระบุจะหมายถึง ขนาดขารอยเชื่อม (Leg Size)



รูปที่ 2.19 รอยเชื่อมแบบฟิลเลต

เนื่องจากผิวของรอยเชื่อมในความเป็นจริงจะนูนออกหรือเว้าเข้าไม่เป็นระนาบเรียบเนื่องจากการหดของโลหะที่เป็นวัสดุเชื่อมดังแสดงในรูป 2.20 โดยรูปแบบที่ควรจะเป็นคือควรจะนูนออก ระยะจากผิวรอยเชื่อมถึงมุมซึ่งเป็นส่วนที่แคบที่สุดเรียกว่า ขนาดคอรอยเชื่อม (Throat Size) เป็นแนวที่จะเกิดการวิบัติทำมุมประมาณ  $45^\circ$  ดังนั้นในการคำนวณกำลังของรอยเชื่อม จะใช้ขนาดของคอ 0.707 เท่าของขนาดขารอยเชื่อมคูณกับความยาวของรอยเชื่อม



รูปที่ 2.20 รอยเชื่อมแบบฟิลเลต

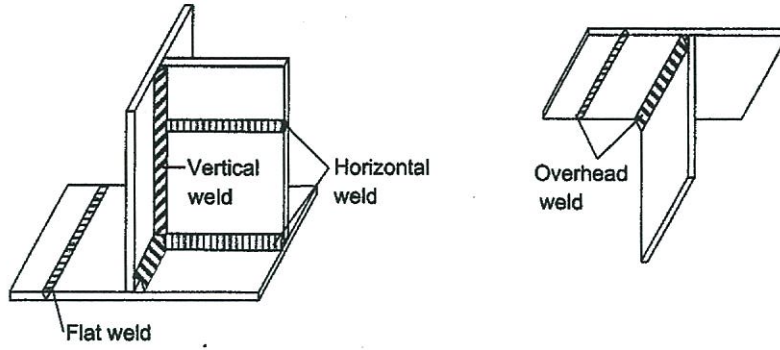
การเชื่อมแบบร่องเกิดขึ้นระหว่างปลายทั้งสองขององค์อาคารที่มาต่อกัน โดยอาจทำได้หลายรูปแบบคือ แบบสี่เหลี่ยม แบบเอียง (Bevel) แบบตัววี แบบตัวเจ และแบบตัวยู ถ้าองค์อาคารมีความหนา ก็จะทำทั้งสองด้านเป็นแบบสี่เหลี่ยมคู้ แบบเอียงคู้ แบบตัววีคู้ แบบตัวเจคู้ และแบบตัวยูคู้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบต่างๆของการเชื่อมแบบร่อง

	แบบเดี่ยว	แบบคู้
ร่องสี่เหลี่ยม		
ร่องเอียง		
ร่องตัววี		
ร่องตัวเจ		
ร่องตัวยู		

รอยเชื่อมยังถูกแบ่งเป็น รอยเชื่อมในแนวราบ (Flat) แนวระดับ (Horizontal) แนวตั้ง (Vertical) และแบบเหนือศรีษะ (Overhead) ดังแสดงในรูปที่ 2.21 แบบแนวราบจะประหยัดที่สุดและแบบเหนือศรีษะจะแพงที่สุด ช่างเชื่อมทั่วไปจะทำการเชื่อมแบบราบได้ดีแต่ต้องใช้ช่างเชื่อมที่เก่งมากๆ เพื่อให้ได้รอยเชื่อมเหนือศรีษะที่ดี

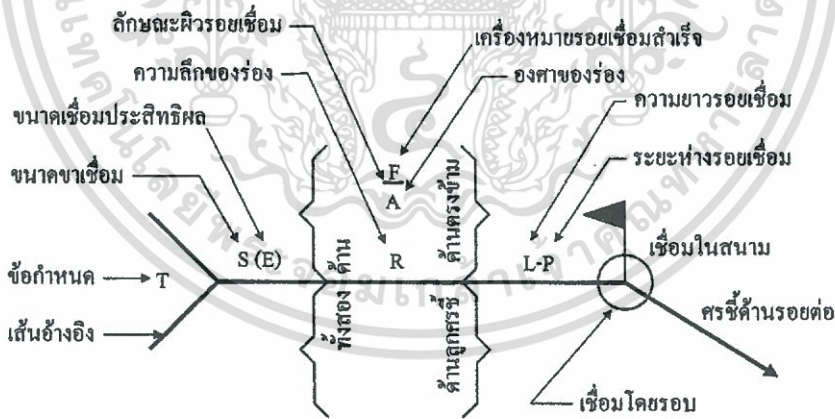
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ชนิดรอยเชื่อมแบ่งตามตำแหน่งการเชื่อม

2.8.2 สัญลักษณ์ของการเชื่อม

สัญลักษณ์ของการเชื่อมตามข้อกำหนดมาตรฐานของ AWS ซึ่งด้วยระบบตัวย่อนี้ข้อมูลจำนวนมากสามารถที่จะถูกแสดงภายในเนื้อที่จำกัดบนแบบแปลนทำให้ไม่จำเป็นต้องวาดภาพรอยต่อและคำอธิบายยาวๆ ดังนั้นทั้งผู้ออกแบบและผู้ที่ทำกรก่อสร้างจึงต้องมีความเข้าใจสัญลักษณ์การเชื่อมเป็นอย่างดีเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตรงกัน สัญลักษณ์การเชื่อมจะมีลักษณะเป็นลูกศรชี้ไปที่รอยเชื่อมในแบบแปลน และมีข้อมูลรายละเอียดของการเชื่อมทั้งรูปแบบ ขนาด ความยาว ตลอดจนชนิดลวดเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์มาตรฐานของรอยเชื่อม

จากรูปที่ 2.22 จะเห็นว่าสัญลักษณ์ค่อนข้างซับซ้อนมีหลายส่วนประกอบ แต่ในการใช้งานจริงอาจไม่จำเป็นต้องระบุทุกส่วนก็ได้

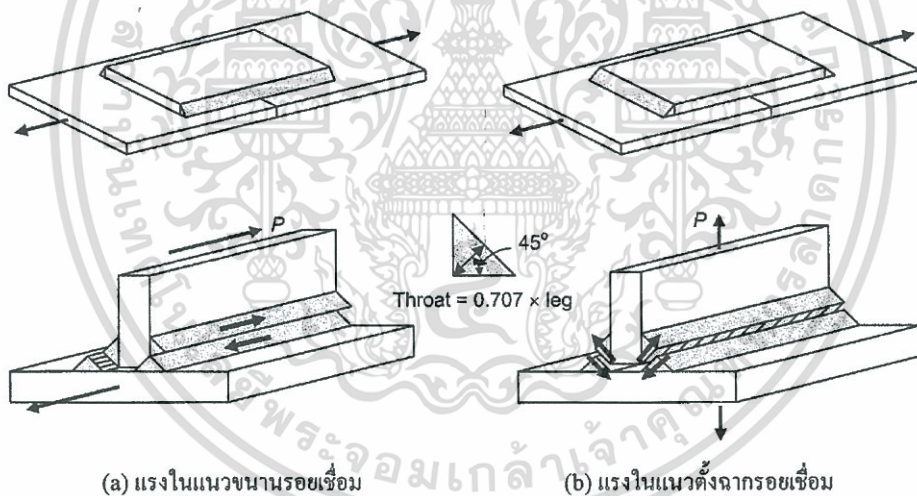
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 กำลังของรอยเชื่อมฟิลเลต

รอยเชื่อมฟิลเลตเป็นรอยเชื่อมที่ผิวซึ่งขนาดและความยาวไม่ถูกกำหนดโดยหน้าตัดเหล็กที่ถูกเชื่อม ดังนั้นผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดเองเพื่อให้มีกำลังเหมาะสมในการรับแรง จากการทดสอบพบว่า รอยเชื่อมฟิลเลตจะมีความแข็งแรงในการรับแรงดึงและแรงอัดมากกว่าแรงเฉือน ดังนั้นจึงใช้กำลังเฉือนบนพื้นที่คอรอยเชื่อมประสิทธิผลดังในรูปที่ 2.18 ในรอยเชื่อมฟิลเลตขาเท่ากันมีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากมีด้านเอียงทำมุม  $45^\circ$  ระยะคอประสิทธิผลคือ

$$\sin 45^\circ \times \text{ขนาดขารอยเชื่อม} = 0.707 \times \text{ขนาดขารอยเชื่อม}$$

กำลังของรอยเชื่อมฟิลเลตจะขึ้นอยู่กับทิศทางการรับแรง จากรูปที่ 2.23 จะมีสองทิศทางคือทิศขนานและทิศตั้งฉากกับแนวรอยเชื่อม เมื่อแรงอยู่ในทิศขนานรอยเชื่อม กำลังของรอยเชื่อมคำนวณได้โดยใช้พื้นที่คอประสิทธิผลคูณกับหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ส่วนในทิศตั้งฉากนั้น จากการทดสอบพบว่า มีกำลังมากกว่าทิศขนานประมาณหนึ่งในสาม แต่ AISC ก็ไม่ได้ยอมให้ใช้กำลังในส่วนที่มากกว่านี้



รูปที่ 2.23 รอยเชื่อมฟิลเลตรับแรงในทิศขนานและตั้งฉากกับรอยเชื่อม

สำหรับการเชื่อมแบบฟิลเลต หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้บนพื้นที่ประสิทธิผลจะเท่ากับ

$$F_v = 0.30 F_u$$

เมื่อ  $F_v$  คือกำลังดึงของรอยเชื่อม ดังนั้นกำลังของรอยเชื่อมฟิลเลตต่อความยาว จะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = F_v (0.707) \text{ (ขนาดขารอยเชื่อม)}$$

ชนิดของลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยประกายไฟฟ้า (Arc Welding) จะถูกเรียกเป็น E60XX E70XX และอื่นๆ ตัวอักษร E ย่อมาจาก Electrode หรือลวดเชื่อม ในขณะที่ตัวเลขสองตัวแรก (ซึ่งอาจเป็น 60 70 80 90 100 หรือ 110) จะแสดงกำลังประลัยของลวดเชื่อมในหน่วย ksi (kip/in.<sup>2</sup>) ตัวเลขสองตัวที่เหลือจะแสดงชนิดของการเคลือบผิวที่ใช้ในลวดเชื่อมบางชนิด

เนื่องจากกำลังเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ออกแบบ ตัวเลขสองตัวสุดท้ายจึงมักถูกละไว้เป็น XX ดังนั้นจึงอาจเรียก E70XX หรือเพียง E70 เฉยๆก็ได้ซึ่งจะหมายถึงลวดเชื่อมที่มีกำลังประลัย 70 ksi หรือ 4,900 kg/cm<sup>2</sup> ในเมืองไทยมีเพียงลวดเชื่อมสองเกรดที่ใช้กันทั่วไปคือ E60 และ E70

ตารางที่ 2.3 แสดงกำลังรอยเชื่อม (kg/cm)

ขนาดรอยเชื่อม (ม.ม.)	E60	E70
3	267	310
5	445	520
6	530	620
8	710	830
10	890	1040
12	1070	1250
16	1425	1660

นอกจากกำลังรอยเชื่อมที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3 ยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับรอยเชื่อมดังนี้

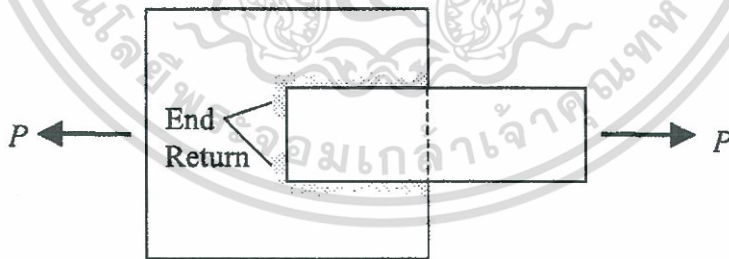
1. ความยาวน้อยสุดของรอยเชื่อมแบบฟิลเลต จะต้องไม่น้อยกว่าสี่เท่าของขนาดขาของรอยเชื่อม
2. ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม สำหรับแผ่นเหล็กที่หนาไม่เกิน 6 ม.ม. รอยเชื่อมจะเท่ากับความหนาแผ่นเหล็ก สำหรับแผ่นเหล็กที่หนากว่า ขนาดของรอยเชื่อมจะเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กลบ 2 ม.ม.
3. ขนาดเล็กสุดของรอยเชื่อม ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ซึ่งจะมีตั้งแต่ขนาด 3 ม.ม. สำหรับเหล็กหนา 6 ม.ม. หรือน้อยกว่าจนถึงขนาด 8 ม.ม. สำหรับแผ่นเหล็กที่หนากว่า 19 ม.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขนาดใหญ่สุดและเล็กสุดของรอยต่อเชื่อม

ความหนาแผ่นเหล็ก (ม.ม.)	ขนาดรอยเชื่อมเล็กสุด (ม.ม.)	ขนาดรอยเชื่อมใหญ่สุด (ม.ม.)
$t \leq 6$	3	$t$
$6 < t \leq 12$	5	$t - 2$
$12 < t \leq 19$	6	$t - 2$
$t \geq 19$	8	$t - 2$

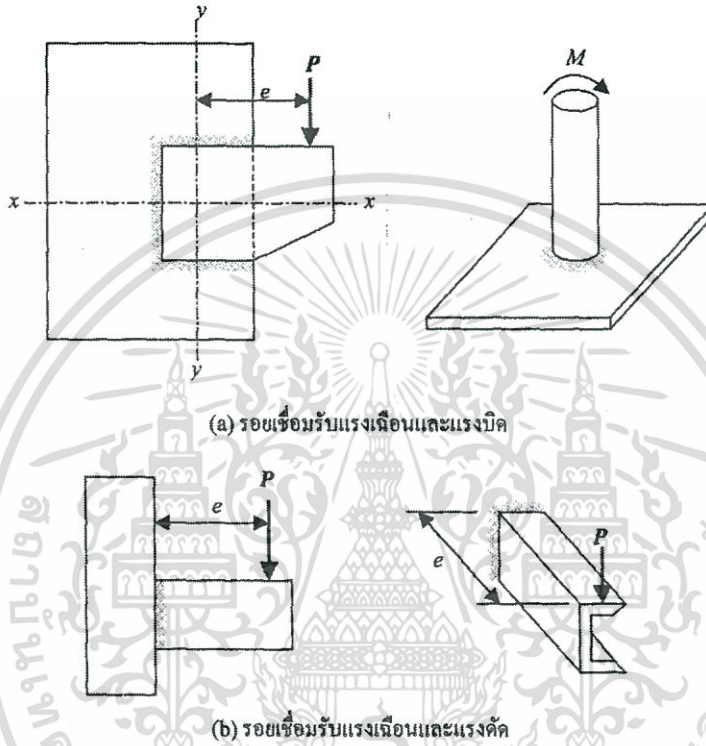
- การเชื่อมแบบฟิลเลตควรมีการอ้อมปลาย (End Return) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ความยาวของการอ้อมปลายไม่ควรน้อยกว่าสองเท่าของขนาดรอยเชื่อม เพื่อช่วยลดหน่วยแรงเกินปกติ (Stress Concentration) ที่จะเกิดขึ้นที่ปลายรอยเชื่อม
- เมื่อใช้การเชื่อมแบบฟิลเลตตามยาว สำหรับการต่อแผ่นเหล็ก หรือเหล็กเส้น ความยาวจะต้องไม่น้อยกว่าระยะตั้งฉากระหว่างแนวเชื่อม สำหรับการต่อปลายนั้น ถ้าไม่มีการออกแบบเพื่อสำหรับโมเมนต์ดัดในแนวขวาง ระยะระหว่างแนวของการเชื่อมแบบฟิลเลตจะห่างได้ไม่เกิน 20 ซม.
- ระยะทาบน้อยที่สุด ต้องไม่เกิน 5 เท่าของความหนาของส่วนที่บางกว่าซึ่งจะนำมาต่อกันและจะต้องไม่น้อยกว่า 25 ม.ม.



รูปที่ 2.24 รอยเชื่อมฟิลเลตแบบมีการอ้อมปลาย

### 2.8.4 รอยเชื่อมรับแรงเฉือนและแรงบิด

เนื่องจากรอยเชื่อมแบบฟิลเลตมักจะอยู่ภายใต้แรงกระทำเอียงศูนย์จึงทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงบิด หรือ แรงเฉือนและแรงดัดดังรูปที่ 2.25 แสดงความแตกต่างระหว่างสถานการณ์ของทั้งสอง ในรูป (a) จะเป็นหน้าตัดรับแรงเฉือนและแรงบิด ในขณะที่รูป (b) แสดงหน้าตัดรับแรงเฉือนและแรงดัด



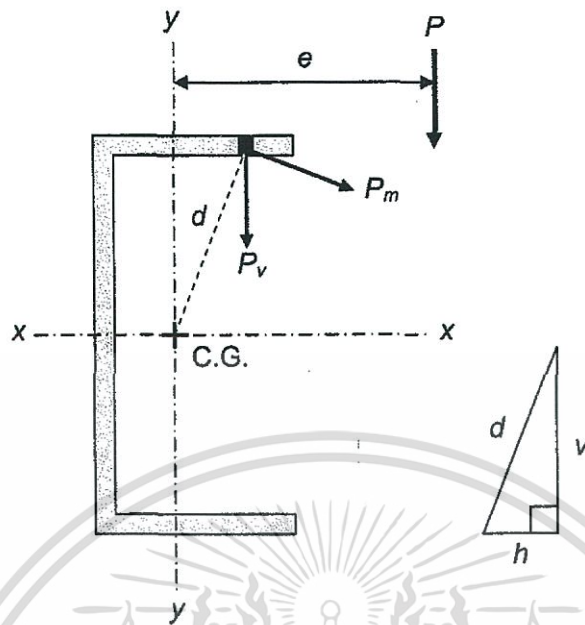
รูปที่ 2.25 จุดต่อรอยเชื่อมรับแรงเอียงศูนย์

พิจารณาการเชื่อมต่อหูข้างในรูปที่ 2.25(a) ชิ้นส่วนที่มาต่อกันจะถูกสมมติให้ไม่มีการเสียรูปทรง ผลจากสมมุติฐานนี้จะทำให้การเสียรูปทรงทั้งหมดเกิดขึ้นในรอยเชื่อม แรงที่เกิดจากการบิดสามารถคำนวณได้จาก

$$f = \frac{Td}{J} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $T = Pe$  คือโมเมนต์บิดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเอียงศูนย์ดังในรูปที่ 2.26 ส่วน  $d$  คือระยะจากศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมถึงจุดที่จะพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แรงที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม

และ  $J$  คือโพลาไรโมเมนต์อินเนอร์เซียของรอยเชื่อม เพื่อความสะดวกจะแตกแรงออกในแนวราบ และแนวตั้ง ในสมการต่อมา  $h$  และ  $v$  จะเป็นระยะในแนวราบและแนวตั้งของระยะ  $d$

$$f_h = \frac{Tv}{J}, \quad f_v = \frac{Th}{J} \quad (2.6)$$

องค์ประกอบของแรงเหล่านี้จะรวมกับหน่วยแรงเฉือนตรงปกติ ซึ่งจะสมมติให้มีค่าเท่ากับแรงปฏิกิริยาหารด้วยความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด

ในการออกแบบมักเริ่มสมมติให้รอยเชื่อมมีขนาด 1 ซม. เพื่อความสะดวกในการพิจารณาหน่วยแรงโดยหน่วยแรงจากการบิด (ก.ก./ซม.<sup>2</sup>) ในสมการ 2.6 จะเท่ากับแรงต่อความยาว (ก.ก./ซม.) โดยใช้ตัวเลขเต็มซึ่งก็คือ  $P_m$  ในรูปที่ 2.26 หน่วยของโพลาไรโมเมนต์อินเนอร์เซียก็จะกลายเป็น (ซม.<sup>3</sup>) คำนวณได้จากผลรวมของโมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน  $x$  และ  $y$

## 2.9 จุดดัดกลับ (Inflection Point)

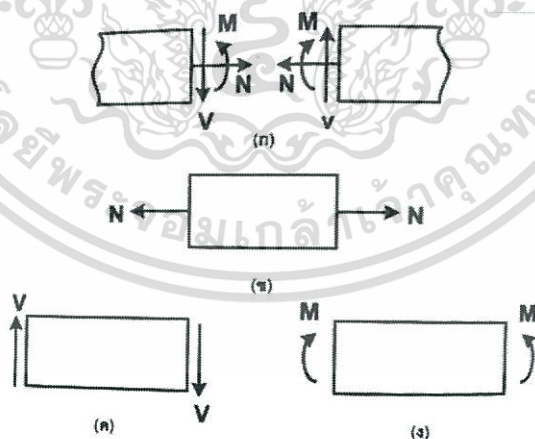
ถ้าจะกล่าวถึงจุดดัดกลับในโครงสร้างโครงข้อแข็ง ต้องพูดถึงการหาแรงภายในของโครงสร้างก่อน

### 2.9.1 การหาแรงภายในโครงสร้าง

จุดประสงค์ในการหาแรงภายในโครงสร้าง คือการหาแรงภายในที่หน้าตัดชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบหาขนาดของหน้าตัดที่สามารถต้านแรงภายในที่หน้าตัดชิ้นส่วนนั้น สำหรับโครงสร้าง 2 มิติ แรงภายในประกอบด้วยแรงตามแนวแกน (Normal Force)  $N$ , แรงเฉือน (Shear Force)  $V$ , และโมเมนต์ (Bending Moment)  $M$

### 2.9.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้าง

1. หาแรงปฏิกิริยาที่ฐานต่างๆก่อนที่จะตัดหน้าตัด
2. แผนภาพฟรีบอดี (Free - Body Diagram) ที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต้องการหาแรงภายใน ตัดหน้าตัดตั้งฉากกับแกนของชิ้นส่วน วาดแผนภาพฟรีบอดี สำหรับโครงสร้างที่ด้านใดด้านหนึ่งของหน้าตัด ใส่แรงภายในที่ต้องการหา  $N$ ,  $V$ ,  $M$  โดยสมมติให้มีทิศทางบวก (อย่าลืมใส่น้ำหนักที่กระทำภายนอกด้วย)
3. ใช้สมการสมดุล 3 สมการหาแรงภายในที่ต้องการ ถ้าผลที่ได้เป็นลบ แสดงว่าค่านั้นมีทิศทางตรงข้ามกับที่เราสมมติในแผนภาพฟรีบอดี



รูปที่ 2.27 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์สำหรับโครงข้อแข็ง

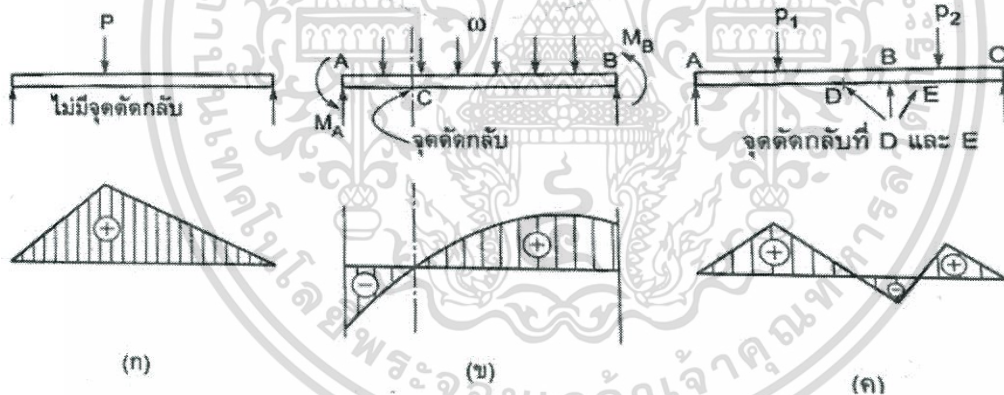
โครงสร้างทั่วไปจะประกอบด้วยองค์อาคารหลายชิ้นส่วนมาต่อกัน ข้อต่ออาจเป็นแบบข้อหมุน หรือ ข้อแข็ง ก็ได้ การออกแบบโครงสร้างจะต้องอาศัยการวาดแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วน ขั้นตอนก็จะไม่แตกต่างไปจากในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งเริ่มต้นด้วยการหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ จากนั้นก็ตัดหน้าตัด หาแรงภายในชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยแรงตามแนวแกน แรงเฉือน และ โมเมนต์ แรงภายในที่ปลายชิ้นส่วนหนึ่ง จะส่งถ่ายไปยังปลายของอีกชิ้นส่วนหนึ่งโดยมีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงก็คือมุมที่ข้อต่อ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสองชิ้นส่วนต่อกันเป็นมุมฉาก แรงตามแนวแกนของชิ้นส่วนหนึ่ง จะกลายเป็นแรงเฉือนในอีกชิ้นส่วนหนึ่ง แต่มุมของข้อต่อจะไม่มีผลต่อการส่งถ่ายโมเมนต์ ดังนั้นข้อควรระวังก็คือ แรงตามแกนที่ไม่มีผลต่อการวาดแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ของชิ้นส่วนหนึ่ง จะมีผลอย่างมากกับอีกชิ้นส่วนที่ต่อกัน

### 2.9.3 จุดดัดกลับ (Inflection Point)

เมื่อค่าโมเมนต์ดัดบนคานเปลี่ยนทิศทางหรือเปลี่ยนเครื่องหมาย ค่าโมเมนต์ดัดที่จุดนั้นจะเป็นศูนย์ เรียกจุดนี้ว่า จุดดัดกลับ ในคานที่มีโมเมนต์ดัดที่มีเครื่องหมายเดียวกันตลอด จะไม่มีจุดดัดกลับ เช่น คานในรูป (ก) แต่คานในรูป (ข) จะมีจุดดัดกลับ 1 จุด เมื่อมีโมเมนต์ดัดเปลี่ยนจากค่าลบเป็นค่าบวกที่จุด C ส่วนคานในรูป (ค) มีจุดดัดกลับ 2 จุด คือจุด D เมื่อมีโมเมนต์ดัดเปลี่ยนจากค่าบวกเป็นค่าลบ และที่จุด E เมื่อโมเมนต์เปลี่ยนจากค่าลบเป็นค่าบวก



รูปที่ 2.28 จุดดัดกลับบนคาน

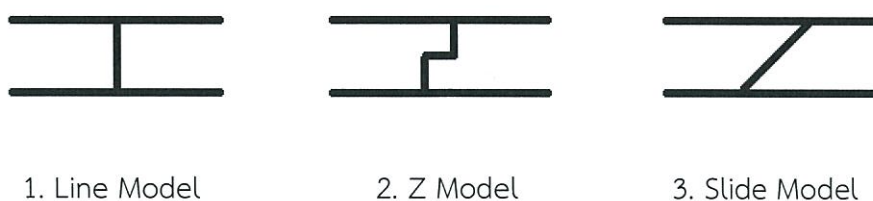
## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แนวคิดของงานวิจัย

อุตสาหกรรมการก่อสร้างในไทยทุกวันนี้ เน้นที่ความรวดเร็วในการก่อสร้าง เนื่องจากถ้าหากยังก่อสร้างเร็ว ยิ่งขายได้เร็ว ทำให้ทางกลุ่มมีความเห็นว่า การวิจัยเรื่องของคนกรีตสำเร็จรูป นั้นมีประโยชน์ในปัจจุบัน เนื่องจากในการก่อสร้างนั้นการใช้คอนกรีตสำเร็จรูป กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมบ้านจัดสรร รวมไปถึงคอนโดขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เพราะการติดตั้งคอนกรีตสำเร็จรูป จะช่วยให้เวลาในการก่อสร้างรวดเร็วขึ้นอย่างมาก หลังจากนั้น เราก็ได้ศึกษาตัวแปรต่างๆในการก่อสร้าง เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยว่า จะมีเทคโนโลยี หรือ นวัตกรรมอะไรที่จะเสริม หรือ กระตุ้นให้การใช้คอนกรีตสำเร็จรูป เป็นที่นิยม หรือ ยอมรับในคนทั่วไปว่าคอนกรีตสำเร็จรูปจะไม่มีปัญหาในการติดตั้ง หรือ หลังจากติดตั้ง

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอความคิดในการพัฒนาจุดเชื่อมต่อรอยเชื่อมของคนกรีตสำเร็จรูปของเสาและคาน ซึ่งอย่างที่ทุกคนทราบดีอยู่แล้วว่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นของคานเดี่ยว นั้นมีค่ามากกว่าแบบโครงข้อแข็ง และในการออกแบบโครงสร้างเราเลือกที่จะออกแบบเป็นคานเดี่ยวมากกว่าเพราะว่าเป็นการออกแบบที่ง่าย แต่ในการออกแบบให้เป็นโครงข้อแข็งทำได้ยากกว่ามาก ซึ่งถ้าเราสามารถที่จะออกแบบโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปของเราที่มีพฤติกรรมแบบโครงข้อแข็งนั้นได้ เราสามารถที่จะลดโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นและสามารถลดขนาดหน้าตัดของคานได้ โดยใช้เรื่องจุดตัดกลับมาเป็นจุดเชื่อมต่อของคนกรีตสำเร็จรูปเสาและคาน โดยเราได้ออกแบบจุดเชื่อมต่อออกเป็น 3 รูปแบบ คือ 1. Line Model 2. Z Model 3. Slide Model สำหรับคานช่วงเดี่ยว และทำการทดสอบโดยวิธี Finite Element เพื่อทำการเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็งปกติว่าสามารถถ่ายแรงได้เหมือนโครงข้อแข็งปกติหรือไม่ และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร



รูปที่ 3.1 รูปจุดเชื่อมต่อแบบต่างๆทั้ง 3 แบบที่ทำการออกแบบ

### 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป มีดังนี้

1. ออกแบบโครงสร้างเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบคานช่วงเดียวโดยเสายาว 2.8 เมตร และคานยาว 6 เมตร และคำนวณโหลดทั้งหมดที่ถ่ายลงคานสำหรับโครงสร้างอาคารบ้าน 2 ชั้น (รายการคำนวณ อยู่ในภาคผนวก ข.)

2. ใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง SAP2000 วิเคราะห์ที่เป็น Line Element เพื่อหาจุดดัดกลับบนคานว่าอยู่ที่ส่วนไหนของคาน

3. ใช้โปรแกรมสเกตช์โมเดล 3 มิติ AutoCAD Inventor® เพื่อสร้างโมเดลคานเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีจุดเชื่อมต่ออยู่ที่จุดดัดกลับ แบบ 3 มิติขึ้นมาโดยสเกตช์ตามที่เราคำนวณไว้ข้างต้น

4. นำโมเดลที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD Inventor® มา Import เข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ANSYS วิเคราะห์เป็น Solid Element ด้วยวิธี Finite Element ทำการวิเคราะห์และศึกษาผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาระยะการโก่งตัวของโมเดล (Deformation) ทั้ง 5 แบบ

4.2 ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตของโมเดล ทั้ง 5 แบบ

4.3 ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อเหล็กเสริมของโมเดล ทั้ง 5 แบบ

4.4 ศึกษาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นของโมเดล ทั้ง 5 แบบ

4.5 ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมของโมเดลจุดเชื่อมต่อ ทั้ง 3 แบบ

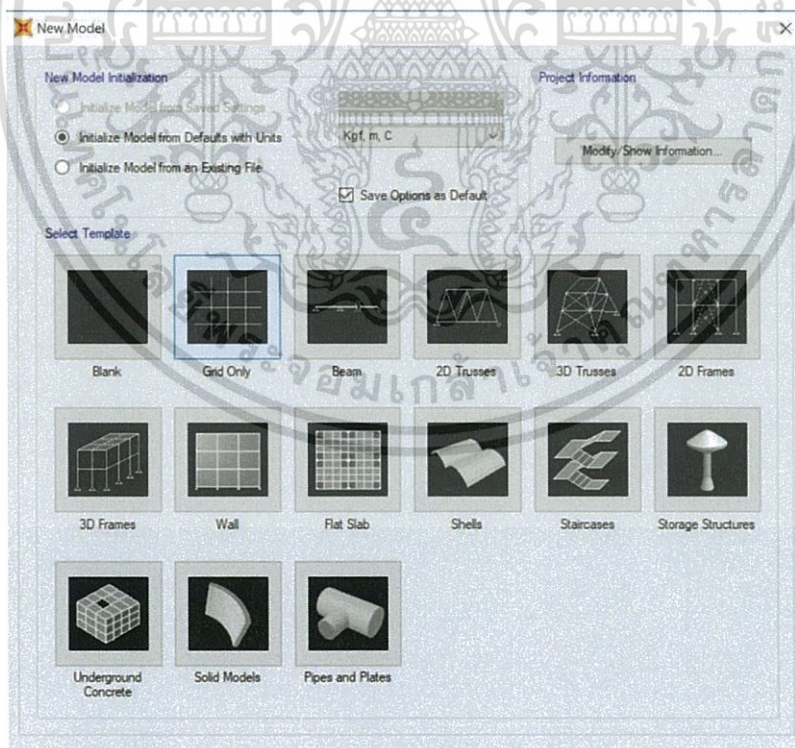
### 3.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม

#### 3.3.1 วิธีการใช้งานโปรแกรม SAP2000

SAP2000 คือโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างซึ่งถือได้ว่าได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุดในโลกโปรแกรมหนึ่ง โปรแกรมมีการพัฒนาต่อเนื่องมายาวนานจนถึงเวอร์ชันล่าสุดคือ SAP2000 V20 โปรแกรมมีความสามารถในการสร้างโมเดลได้หลากหลายรูปแบบทั้งสองมิติ สามมิติ ระบบพิกัดฉาก ระบบพิกัดวงกลม และ ระบบพิกัดกำหนดเอง นอกจากนั้นยังมีฟังก์ชันช่วยในการสร้างโมเดลอีกมากมาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้างโมเดลโครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

การกำหนดคุณสมบัติของอาคารจะมีวัสดุให้เลือกคือ เหล็ก คอนกรีต ไม้ และอลูมิเนียม ถ้าเป็นหน้าตัดเหล็กจะมีตารางหน้าตัดให้เลือกหรือผู้ใช้อาจกำหนดหน้าตัดเอง ส่วนหน้าตัดคอนกรีตจะมีหน้าตัดหลายรูปแบบให้เลือกเพื่อกำหนดขนาดตามต้องการ การกำหนดน้ำหนักบรรทุกจะมีทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใส่ค่าโดยผู้ใช้โดยจะมีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกใช้มากมายเช่น แรงกระทำเป็นจุด แรงกระจายบนคาน แรงกระจายบนพื้น แรงด้านข้างเช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว

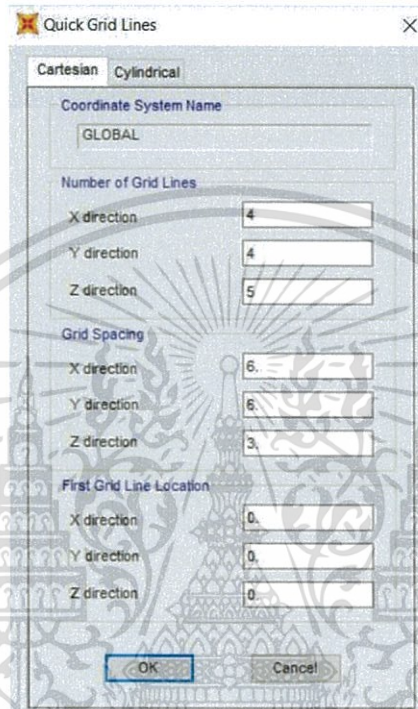
#### ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดรูปแบบในการสร้างโมเดล



รูปที่ 3.2 หน้าต่างแสดงรูปแบบการสร้างโมเดลต่างๆ

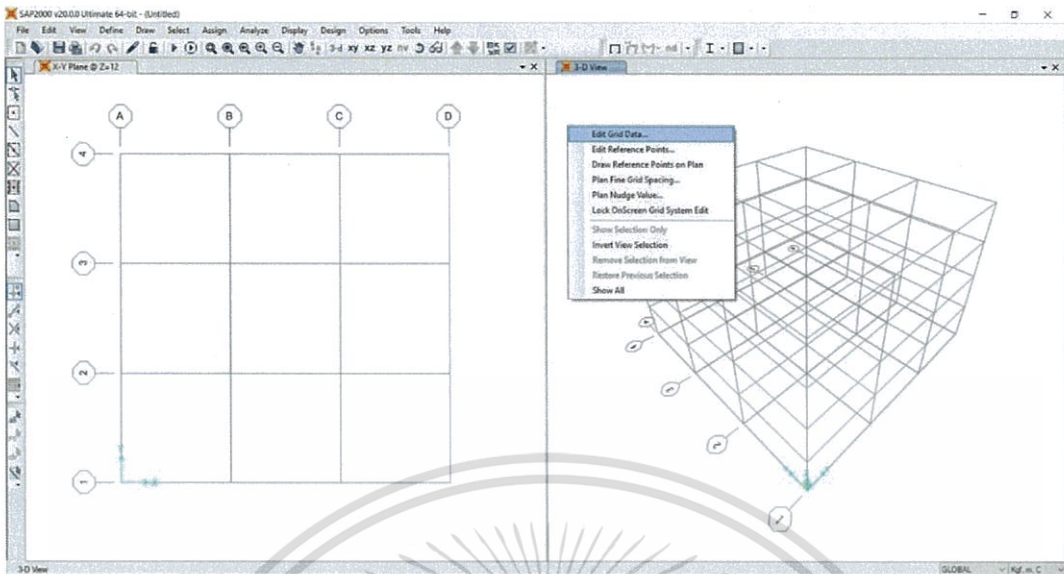
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิกที่ File Menu > New Model หลังจากนั้นจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 3.2 ซึ่งหน่วยที่เราจะกำหนดในการทำแบบจำลองนี้จะเป็นหน่วยของ Kgf,m และเนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองแบบเรขาคณิต ดังนั้นแบบจำลองนี้สมควรที่จะกำหนดหมายเลขของเส้นโครงโดยกำหนดทั้งความสูง และความกว้าง โดยเลือกอยู่ในรูปของ Grid Only แล้วจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 3.3



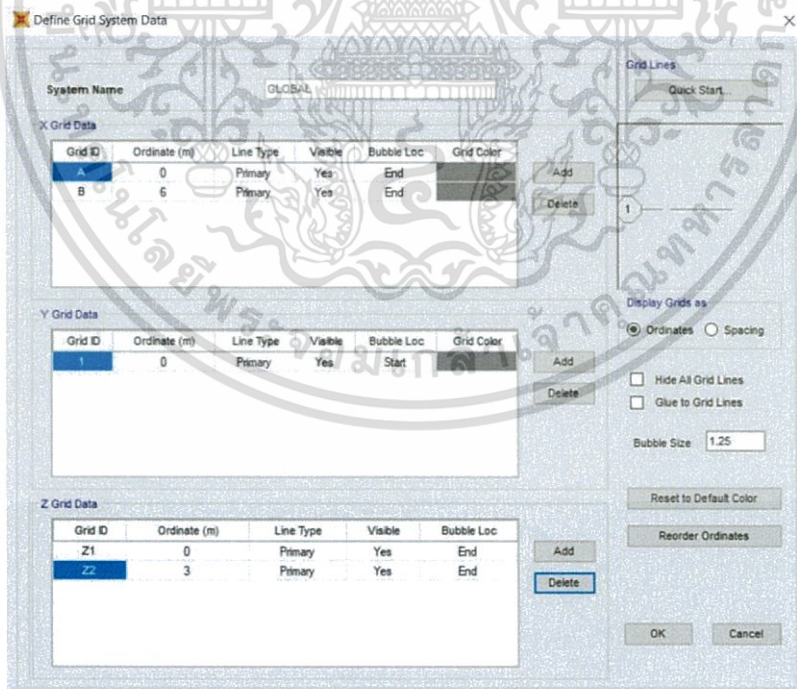
รูปที่ 3.3 หน้าต่างแสดงระบบการสร้างเส้นโครงร่าง

ระบบ Quick Grid Lines ใช้ระบุเจาะจงการสร้างเส้นโครงร่าง ในแกน X,Y และ Z โดยในที่นี้เราสามารถข้ามขั้นตอนนี้ได้เลย เพราะเราสามารถไปตั้งค่าได้จากตัวโปรแกรมด้านในอยู่แล้ว จากนั้นเลือก OK



รูปที่ 3.4 หน้าจอการใช้งานของโปรแกรม SAP2000

ดังในรูปที่ 3.4 จะเห็นเป็นรูปเส้นโครงร่าง ทั้งสองหน้าต่างทั้งในระนาบ XY ทางด้านซ้ายและในรูปแบบ 3D ทางด้านขวา ซึ่งเราต้องกำหนดเส้นโครงร่างของโมเดล โดยคลิกขวาที่พื้นที่ว่างสีขาว เลือก Edit Grid Data > Modify/Show System แล้วจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 3.5

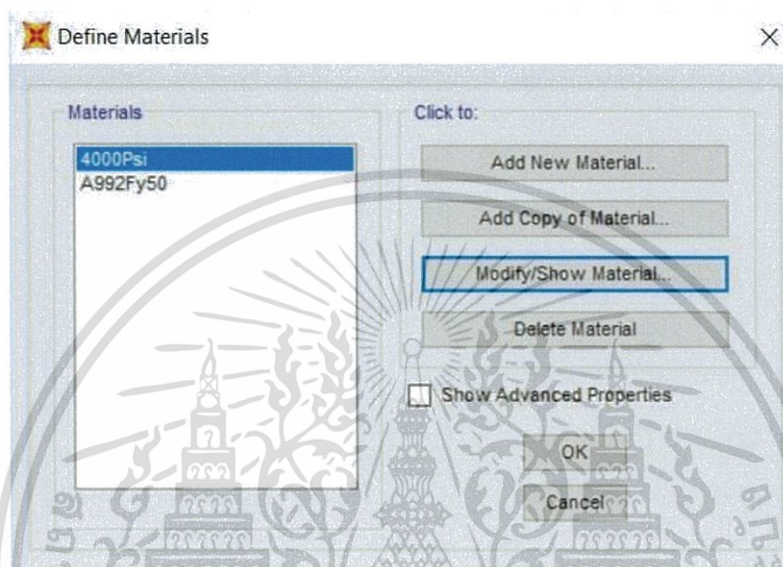


รูปที่ 3.5 หน้าต่างของระบบ Grid System Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะกำหนดระบบ Grid System Data ในแนวแกน X,Y และ Z โดยโมเดลที่เราออกแบบจะ กำหนดให้ความยาวของเส้นโครงร่างในแกน X เท่ากับ 6 เมตร ความยาวของเส้นโครงร่างในแกน Y เท่ากับ 0 เมตร ความยาวของเส้นโครงร่างในแกน Z เท่ากับ 3 เมตร จากนั้นเลือก OK

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดคุณสมบัติและหน้าตัดของวัสดุ



รูปที่ 3.6 หน้าต่างของการเลือกคุณสมบัติของวัสดุ

คลิกที่ Define Menu > Material หลังจากนั้นจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 3.6 ซึ่งในขั้นตอนแรก เราจะกำหนดคุณสมบัติให้กับคอนกรีต เลือก 4000Psi แล้วจากนั้นเลือก Modify/Show Material

**Material Property Data**

General Data  
 Material Name and Display Color: 210KSC  
 Material Type: Concrete  
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass  
 Weight per Unit Volume: 2402.7697  
 Mass per Unit Volume: 245.0143  
 Units: Kgf, m, C

Isotropic Property Data  
 Modulus of Elasticity, E: 2.535E+09  
 Poisson, U: 0.2  
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06  
 Shear Modulus, G: 1.056E+09

Other Properties for Concrete Materials  
 Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 2141404.  
 Expected Concrete Compressive Strength: 2141404.  
 Lightweight Concrete  
 Shear Strength Reduction Factor:   
 Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

รูปที่ 3.7 หน้าต่างของการกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต

ในรูปที่ 3.7 จะแสดงถึงหน้าต่างของการกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งในรูปนี้จะเป็นคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีค่า  $f_c' = 210 \text{ ksc}$

**Material Property Data**

General Data  
 Material Name and Display Color: 2500KSC  
 Material Type: Rebar  
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass  
 Weight per Unit Volume: 7849.0476  
 Mass per Unit Volume: 800.3001  
 Units: Kgf, m, C

Uniaxial Property Data  
 Modulus of Elasticity, E: 2.039E+10  
 Poisson, U: 0.3  
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05  
 Shear Modulus, G: 7.642E+09

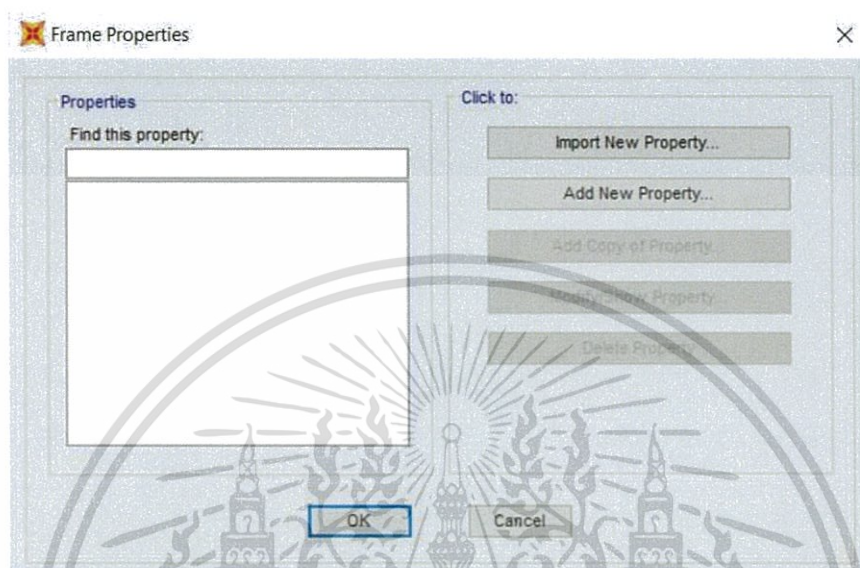
Other Properties for Rebar Materials  
 Minimum Yield Stress, Fy: 25492905.  
 Minimum Tensile Stress, Fu: 46906945.  
 Expected Yield Stress, Fye: 25492905.  
 Expected Tensile Stress, Fue: 46906945.  
 Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

รูปที่ 3.8 หน้าต่างของการกำหนดคุณสมบัติของเหล็ก

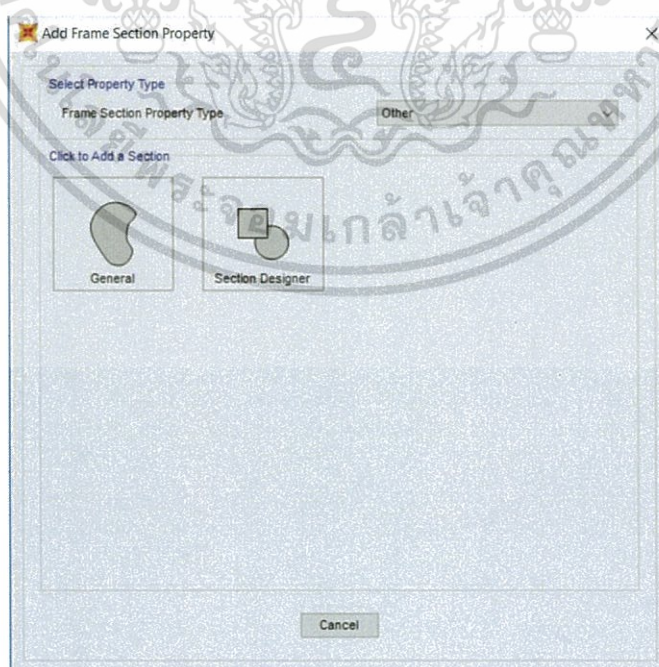
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรากำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตเสร็จ ลำดับต่อไปก็จะมากำหนดคุณสมบัติของเหล็กต่อโดยเลือกที่ A992Fy50 แล้วจากนั้นเลือก Modify/Show Material จะได้หน้าต่างการกำหนดคุณสมบัติของเหล็กในรูปที่ 3.8 จากในรูปจะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของเหล็กที่มีค่า  $f_y = 2500$  ksc



รูปที่ 3.9 หน้าต่างของการกำหนดหน้าตัดของวัสดุ

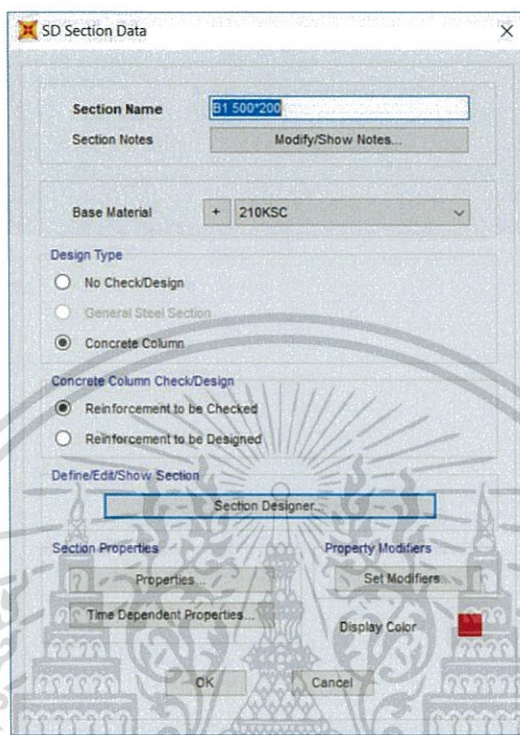
ลำดับต่อไปเราจะกำหนดหน้าตัดของวัสดุโดยคลิกที่ Define Menu > Section Properties > Frame Sections หลังจากนั้นจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 3.9



รูปที่ 3.10 หน้าต่างของการกำหนดประเภทหน้าตัดของวัสดุ

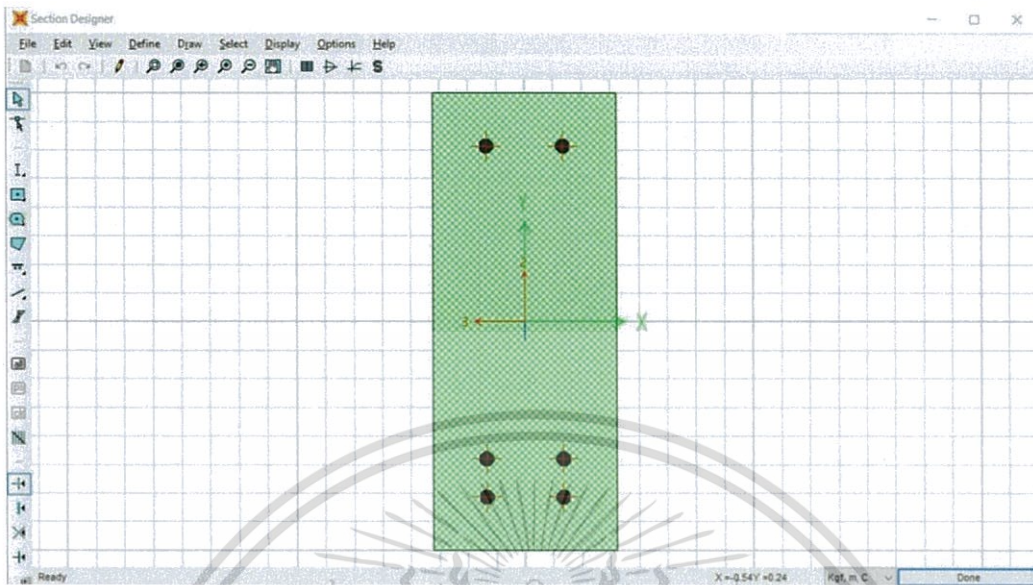
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะต้องสร้างหน้าตัดของวัสดุขึ้นมาใหม่โดยการกดเลือก Add New Property โดยตรงช่อง Frame Section Property Type ให้เลือกเป็น Other จากนั้นคลิกเลือก Section Designer



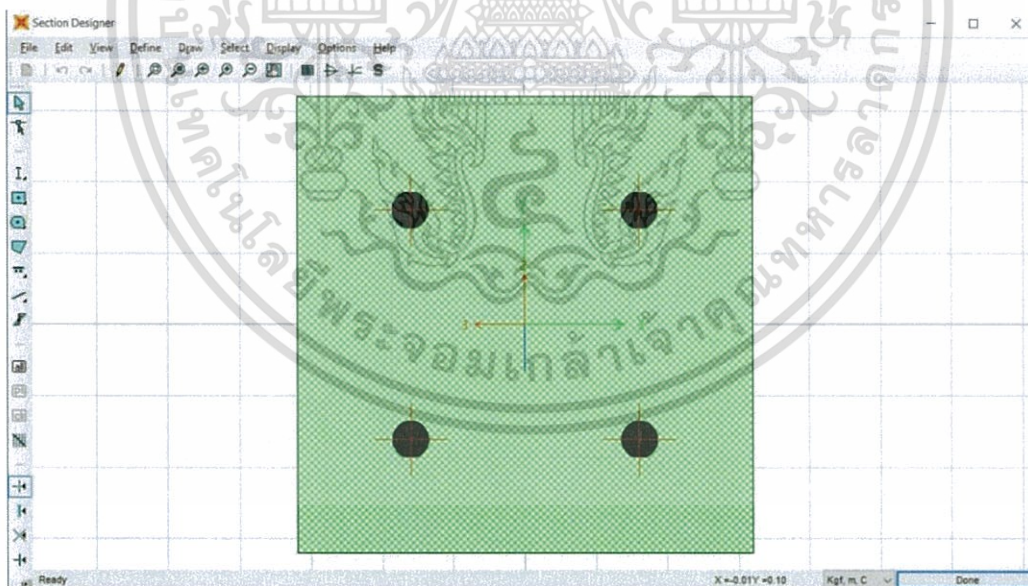
รูปที่ 3.11 หน้าต่างของการกำหนดประเภทหน้าตัดของวัสดุ

ในส่วนของ Design Type ให้เลือกเป็น Concrete Column และในส่วนของ Concrete Column Check/Design ให้เลือกเป็น Reinforcement to be Checked ลำดับต่อไปให้กดที่ Section Designer เพื่อออกแบบหน้าตัดวัสดุคอนกรีต



รูปที่ 3.12 หน้าต่างของการออกแบบหน้าตัดคาน

โดยที่ในรูปนี้เป็นการออกแบบคานที่มีขนาด 50\*20 cm (ดูรายละเอียดได้จาก ภาคผนวก ก.)

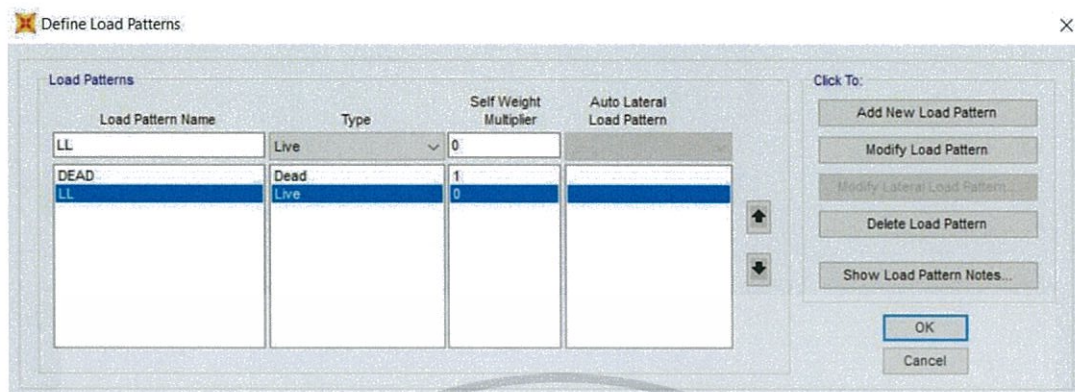


รูปที่ 3.13 หน้าต่างของการออกแบบหน้าตัดเสา

โดยที่ในรูปนี้เป็นการออกแบบเสาที่มีขนาด 20\*20 cm (ดูรายละเอียดได้จาก ภาคผนวก ก.)

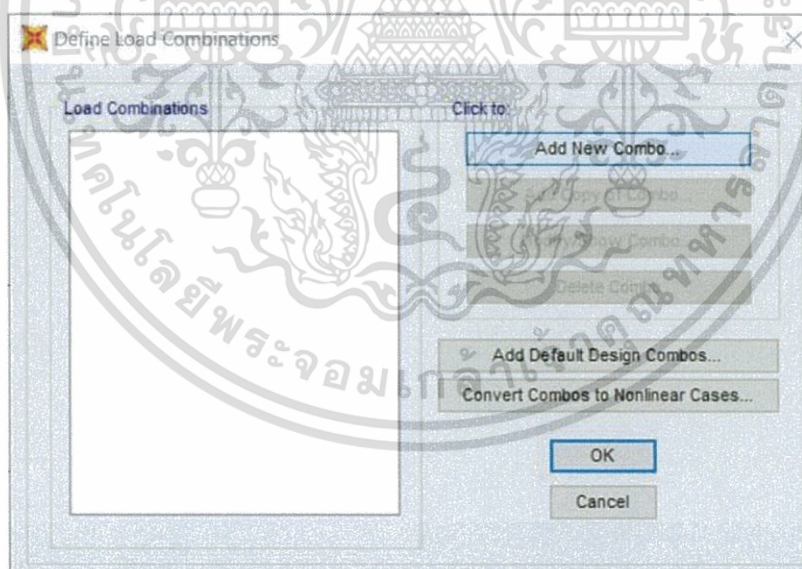
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดโหลดที่กระทำ



รูปที่ 3.14 หน้าต่างของการกำหนดโหลดที่กระทำ

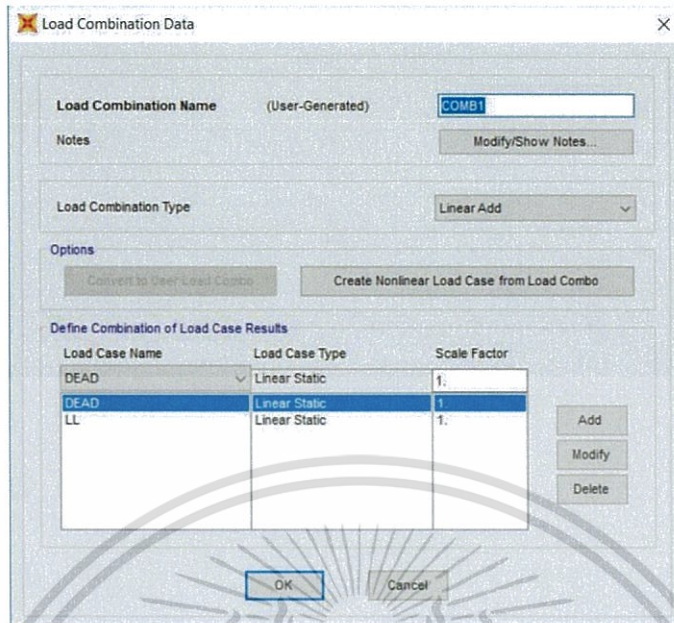
โหลดที่เราใช้นี้จะเป็นโหลดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และโหลดจากน้ำหนักบรรทุกจร โดยมีทิศทางตามแรงโน้มถ่วงของโลก ให้คลิกที่ Define Menu > Load Patterns ซึ่งในกรณีนี้เราจะต้องเพิ่มโหลดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำจร ในช่อง Load Pattern Name พิมพ์คำว่า LL แล้วในช่อง Type ให้เลือกประเภทของโหลดให้เป็น Live แล้วเลือก Add New Load Pattern



รูปที่ 3.15 หน้าต่างของสร้างการรวมโหลดที่กระทำ

หลังจากนั้นเราต้องทำการรวมโหลดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และโหลดจากน้ำหนักบรรทุกจร โดยคลิกที่ Define Menu > Load Combinations จะได้หน้าต่างดังรูป 3.15 ให้กดเลือก Add New Combo เพื่อทำการรวมโหลดทั้ง 2 เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.16 หน้าต่างของการเลือกประเภทของโหลดที่จะนำมารวมกัน

ซึ่งในกรณีนี้เราต้องการรวมโหลดของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกกระทำจร (DL+LL) เราจึงเลือกโหลดที่จะนำมารวมจากช่อง Load Case Name แล้วกด Add จากนั้นกด OK

ขั้นตอนที่ 4 : การวาดและการเพิ่มรายละเอียดของโครงเฟรม

Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	B1 500*200
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0.
Drawing Control Type	None <space bar>

รูปที่ 3.17 หน้าต่างของการวาดโครงเฟรม

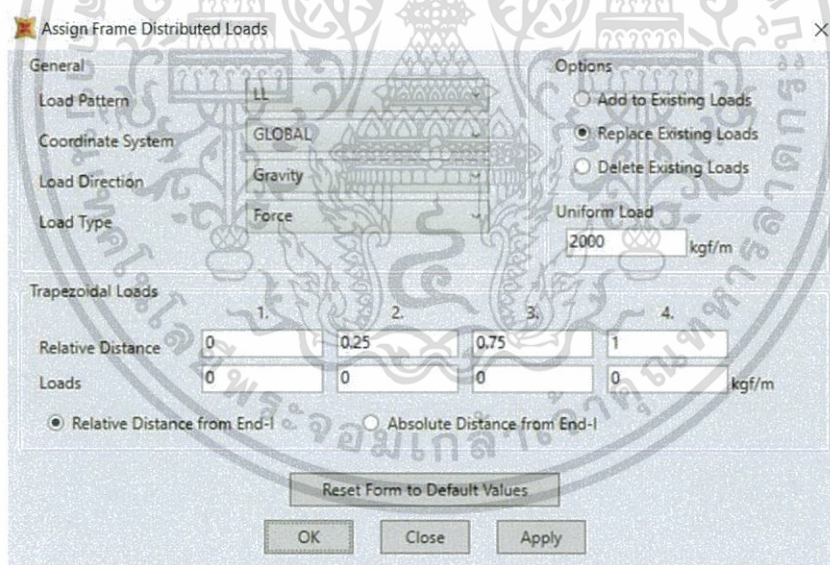
เราจะเริ่มการวาดโครงเฟรมโดยเลือกคำสั่ง Draw Frame/Cable  จากทางด้านซ้ายมือ จากนั้นก็ให้เลือก Section ให้ตรงกับที่กำหนดไว้ ซึ่งในรูปนี้เราเริ่มจากการวาดคานก่อน และเสาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 หน้าต่างของการเลือกจุดรองรับของโครงเฟรม (Support)

จากนั้นเราจะเลือกจุดรองรับของโครงเฟรมให้เหมือนกับที่เราออกแบบไว้ให้เป็นแบบ Fixed-Support โดยเลือกจุดที่เราต้องการจะใส่จุดรองรับซึ่งนั่นก็คือทั้งสองจุดที่ฐานของเสาตัวเอง จากนั้นคลิก Assign Menu > Joint > Restraints เลือกจุดรองรับแบบ Fixed แล้วกด OK

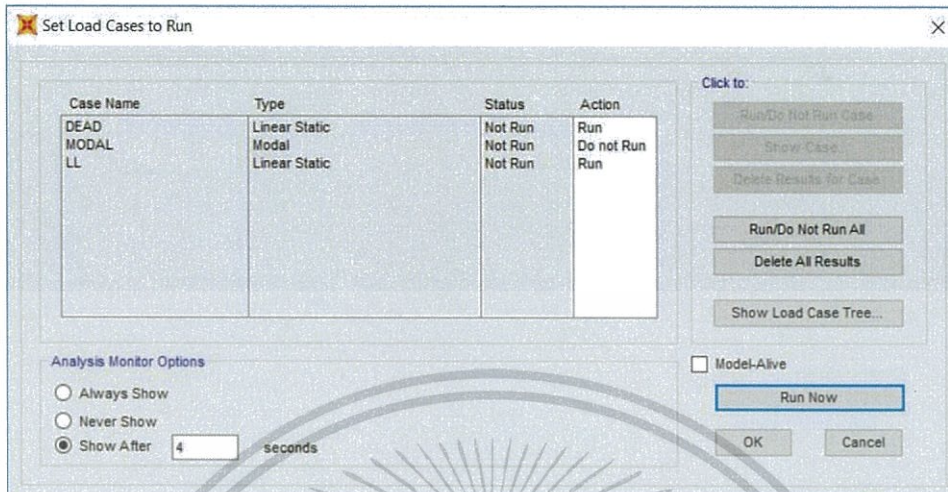


รูปที่ 3.19 หน้าต่างของการใส่น้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่สม่ำเสมอ (Uniform Distributed Load)

เราต้องการที่จะใส่น้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่ลงไปบนคานของโครงเฟรมของเรา ให้เราเลือกที่คานในโครงเฟรมของเราแล้วคลิก Assign Menu > Frame Loads > Distributed เลือก Load Pattern ให้เป็น LL แล้วตรงช่อง Uniform Load ให้ใส่ขนาดของโหลดที่ต้องการซึ่งในรูปนี้ใช้ 2000 kgf/m จากนั้นกด OK

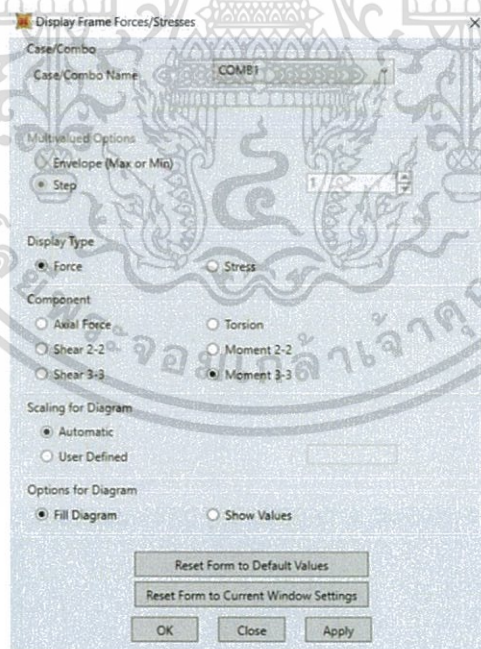
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 5 : การวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.20 หน้าต่างของการตั้งค่าการวิเคราะห์โครงสร้าง

หลังจากที่เราทำตามขั้นตอนข้างต้นเสร็จแล้ว เราก็จะมาทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ โดยคลิกเลือก Analyze Menu > Run Analysis เลือก MODAL แล้วคลิกปุ่ม Run/Do Not Run Case เพราะเราไม่ต้องการวิเคราะห์ฟังก์ชันไดนามิก จากนั้นคลิก Run Now โปรแกรมจะวิเคราะห์ผลลัพธ์ต่าง ๆ ออกมาให้



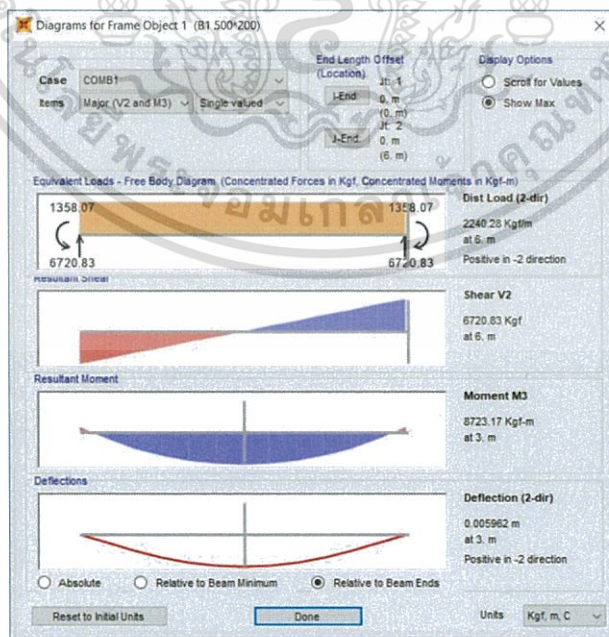
รูปที่ 3.21 หน้าต่างของการเลือกประเภทของแรงในโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้เราต้องการรู้ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคาน ให้เราคลิกที่ Display Menu > Show Forces/Stresses > Frames/Cables/Tendons แล้วตรงช่อง Case/Combo Name เลือก COMB1 จากนั้นตรงช่อง Component เลือก Moment 3-3 จากนั้นกด OK

รูปที่ 3.22 แสดงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในโครงเฟรม

หากต้องการเจาะจงเฉพาะชิ้นส่วนของโครงเฟรม ให้คลิกขวาที่ชิ้นส่วนนั้นๆจะมีหน้าต่างแสดงถึงรายละเอียดของโมเมนต์เพิ่มเติมในชิ้นส่วนโครงเฟรมนั้นๆ ที่ระยะที่ต้องการทราบ

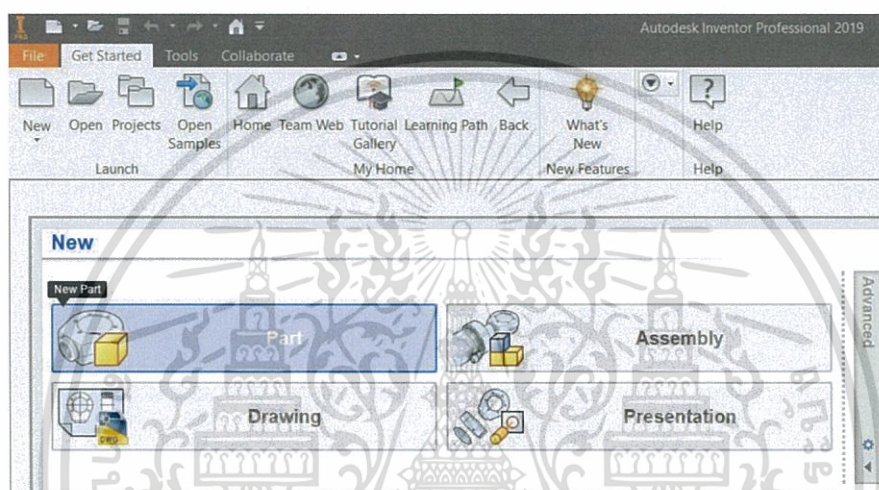


รูปที่ 3.23 แสดงรายละเอียดโมเมนต์เพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม AutoCAD Inventor®

โปรแกรม Autodesk Inventor เป็น โปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล ที่มีความเป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้อย่างง่ายดายมากโปรแกรมหนึ่ง เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่เคยใช้งานโปรแกรมเขียนแบบใด ๆ มาก่อน โดยหน้าจอการใช้งานถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้อย่างง่ายดาย ซึ่งหน้าจอจะใกล้เคียงกับหน้าจอของ Microsoft Office เป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องปรับตัวนาน

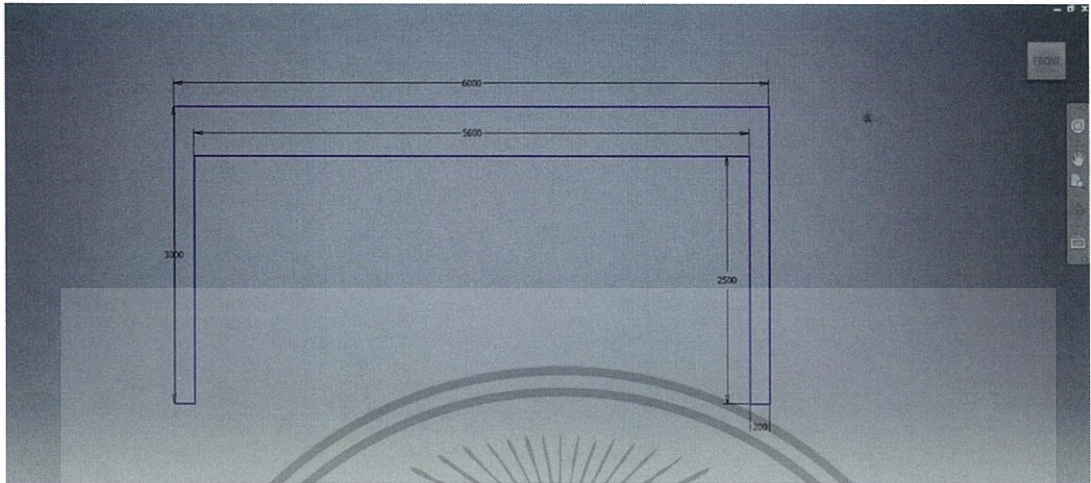


รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดงการเลือกโหมดการใช้งาน

เปิดโปรแกรม Autodesk Inventor ขึ้นมาจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาดังรูป 3.24 ให้กดคลิกที่ Part เพื่อเริ่มการวาดโมเดลแบบ 3 มิติ

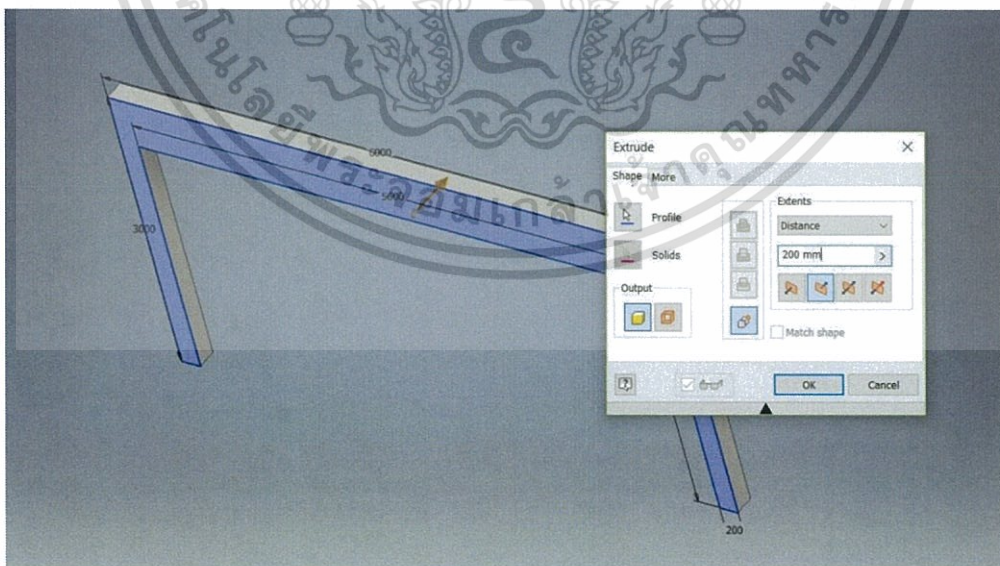
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 1 : การสเก็ตช์ภาพส่วนที่เป็นคานและเสาคอนกรีต



รูปที่ 3.25 แสดงการสเก็ตช์ภาพของส่วนคานและเสา

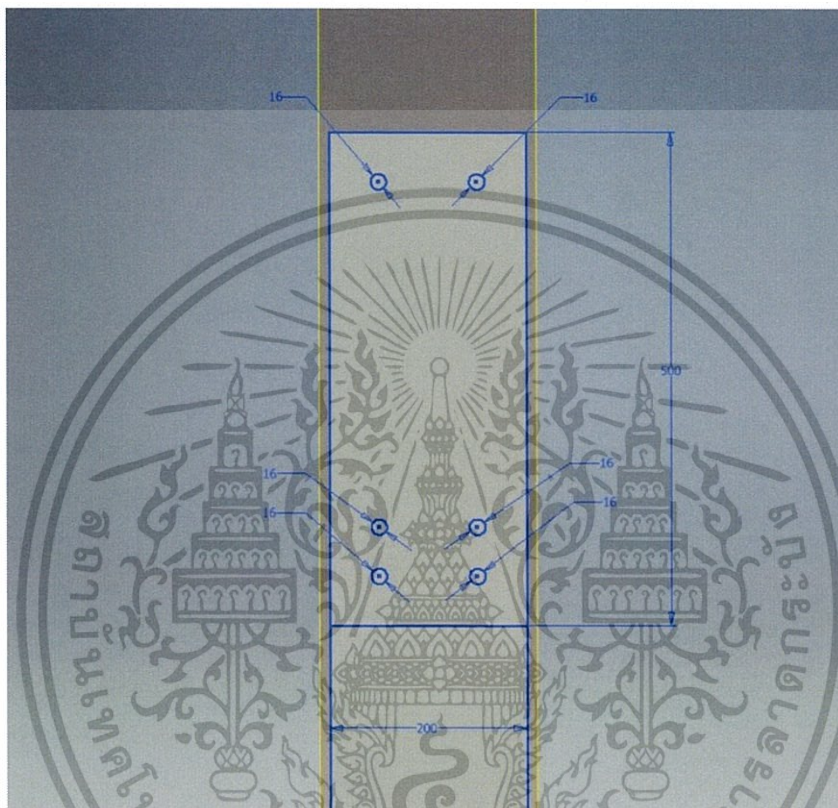
ในขั้นตอนแรกเราต้องทำการสเก็ตช์ภาพส่วนคานและเสา ก่อน โดยใช้คำสั่ง Start 2D Sketch จากนั้นใช้คำสั่ง Sketch Menu > Line เพื่อสเก็ตช์ภาพ 2 มิติ ตามแบบในภาคผนวก ก. พอสเก็ตช์ภาพคานและเสาเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงใช้คำสั่ง 3D Model Menu > Extrude เพื่อยืดเนื้อวัตถุออกมาตามเส้นรอบนอกที่สเก็ตช์ไว้ดังแสดงในรูป 3.25



รูปที่ 3.26 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อวัตถุออกมา

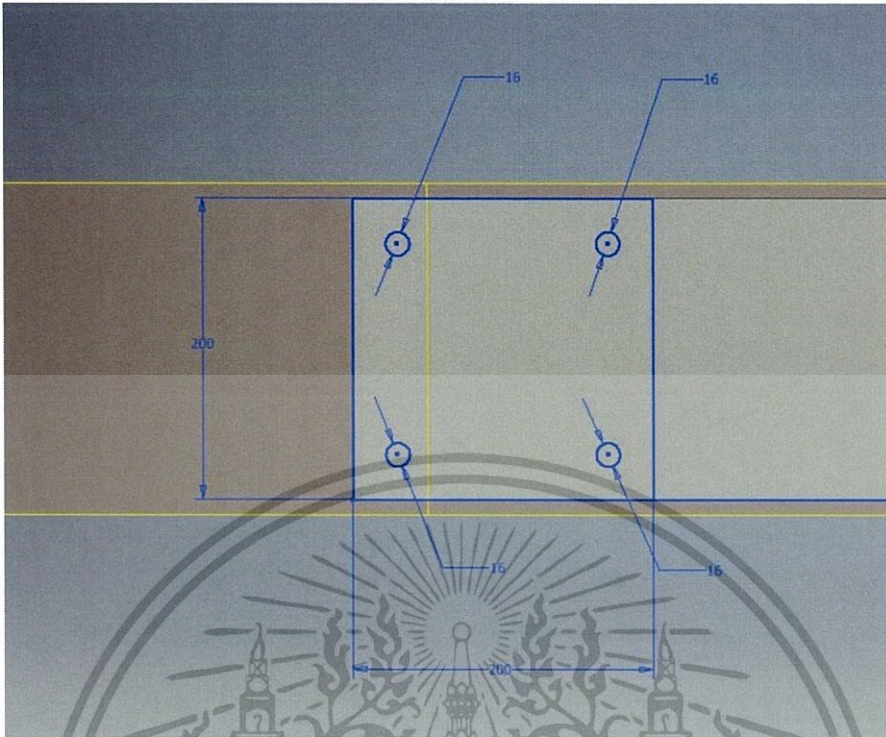
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าการยึดเนื้อวัสดุออกมาเป็นระยะ 200 mm จากนั้นกด OK หลังจากทำการยึดวัสดุแล้ว ลำดับต่อไปเราต้องการที่จะเจาะรูที่เนื้อของวัสดุเพื่อที่จะใส่เหล็กเสริมลงไป ขั้นตอนแรกให้เราเลือกผิวที่เราต้องการจะเจาะรู คลิกขวาแล้วเลือก New Sketch จากนั้นให้สเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณคานตามภาคผนวก ก. ลงไป ดังแสดงในรูป 3.27

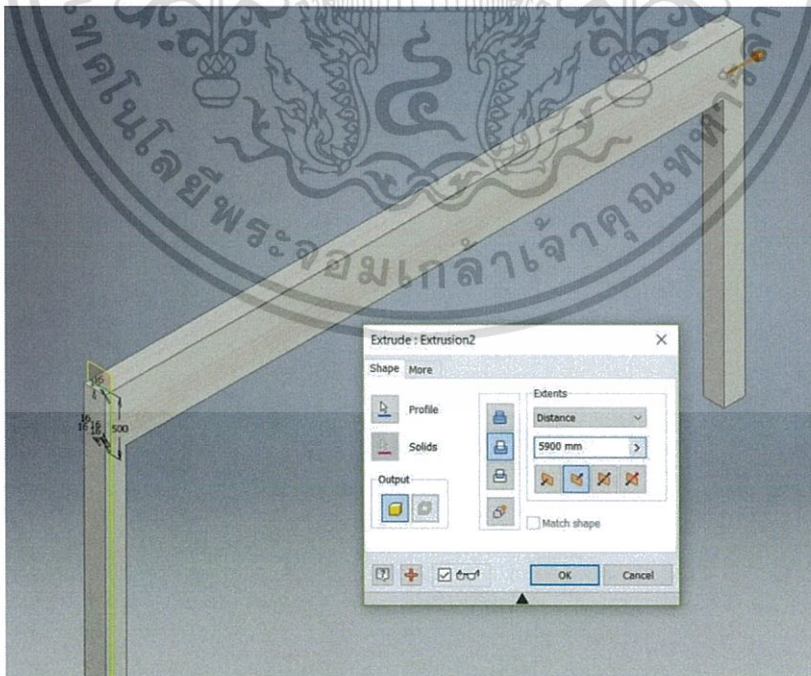


รูปที่ 3.27 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณคาน

ทำซ้ำขั้นตอนอีกสองครั้งสำหรับเหล็กเสริมในเสาทั้งสองด้าน ดังแสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณเสาในรูป 3.28



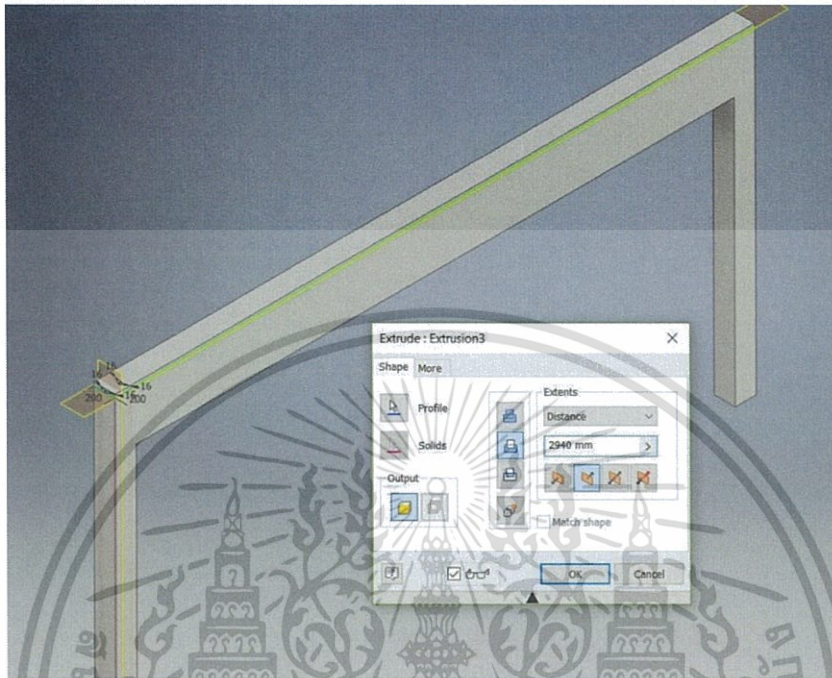
รูปที่ 3.28 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมเพื่อเจาะรูตรงบริเวณเสา  
ทำการเจาะรูด้วยคำสั่ง Extrude เลือกแพทเทิร์นเป็นแบบการเจาะ (Cut) แล้วจากนั้นใส่  
ระยะที่ต้องการลงไป ดังในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อการเจาะรูบริเวณคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

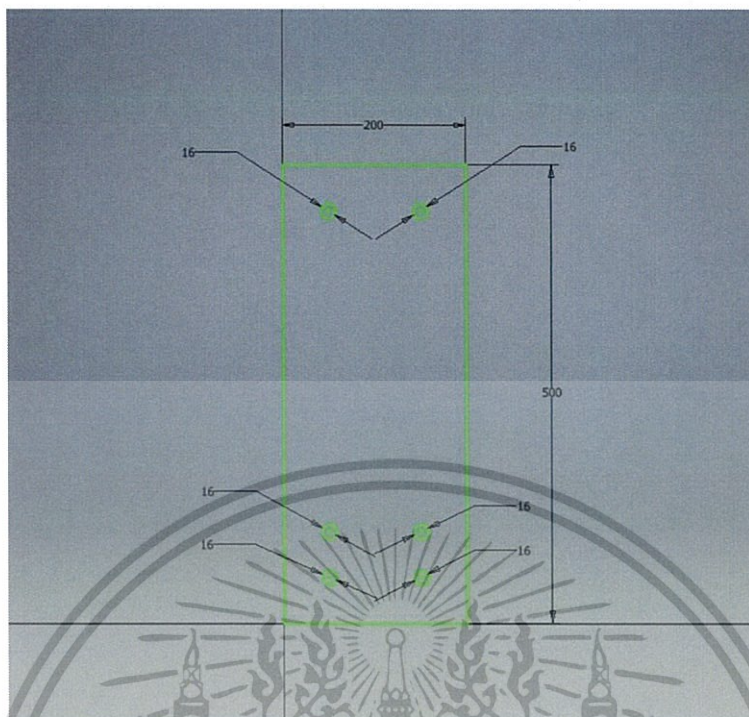
ทำซ้ำขั้นตอนอีกสองครั้งสำหรับเหล็กเสริมในเสาทั้งสองด้าน ดังแสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อการเจาะรูบริเวณเสาในรูป 3.30



รูปที่ 3.30 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อการเจาะรูบริเวณเสา

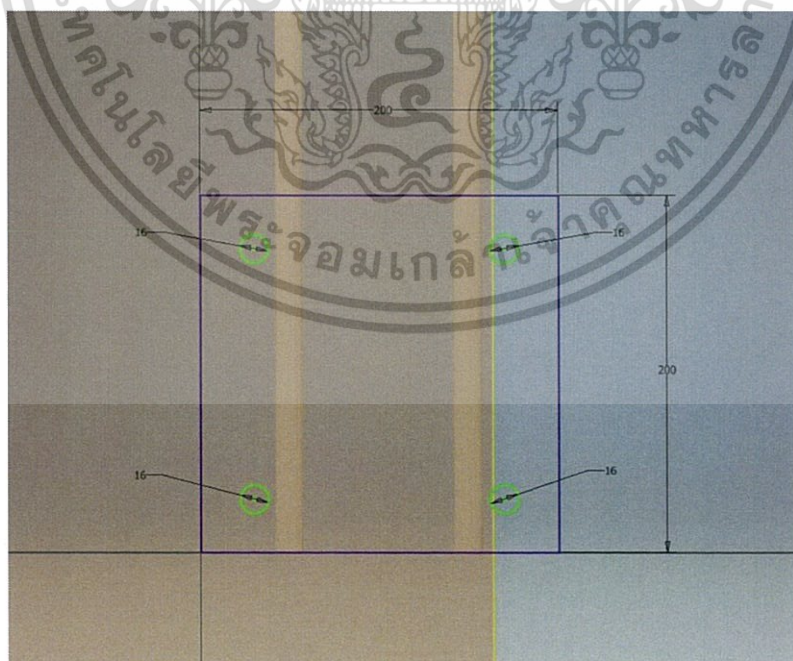
## ขั้นตอนที่ 2 : การสเกตซ์ภาพส่วนที่เป็นเหล็กเสริมในคานและเสาคอนกรีต

หลังจากที่เราทำการเจาะรูคานและเสาคอนกรีตแล้ว ขั้นตอนต่อไปเราก็จะทำการสเกตซ์ส่วนที่เป็นเหล็กเสริม ให้เราไปที่ File Menu > New Part แล้วกด OK จากนั้นเริ่มสเกตซ์ส่วนที่เป็นเหล็กเสริมในคานก่อนแล้วค่อยเป็นเสา ตามลำดับ



รูปที่ 3.31 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมบริเวณคาน

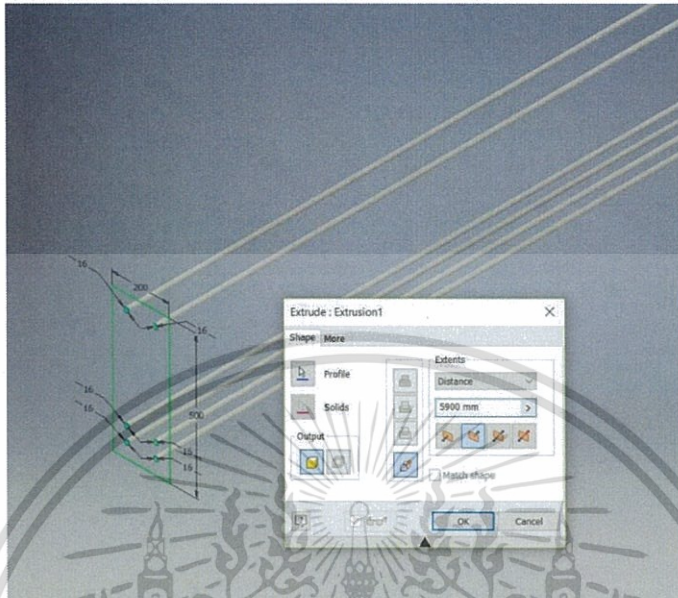
ทำซ้ำขั้นตอนอีกสองครั้งสำหรับเหล็กเสริมในเสาทั้งสองด้าน ดังแสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมบริเวณเสา ในรูป 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงการสเกตซ์ภาพของเหล็กเสริมบริเวณเสา

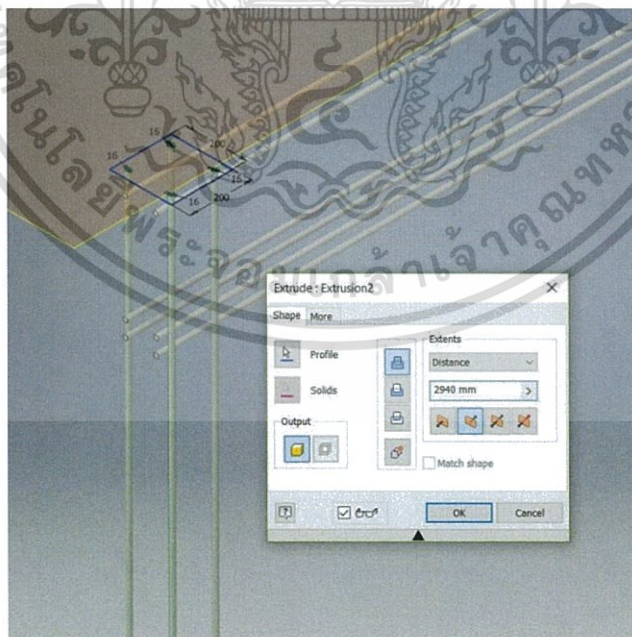
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณคานออกมาตามเส้นรอบนอกที่สกัดซ์ไว้ดังแสดง ในรูป 3.33



รูปที่ 3.33 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณคานออกมา

ทำซ้ำขั้นตอนอีกสองครั้งสำหรับเหล็กเสริมในเสาทั้งสองด้าน ดังแสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณเสา ในรูป 3.34



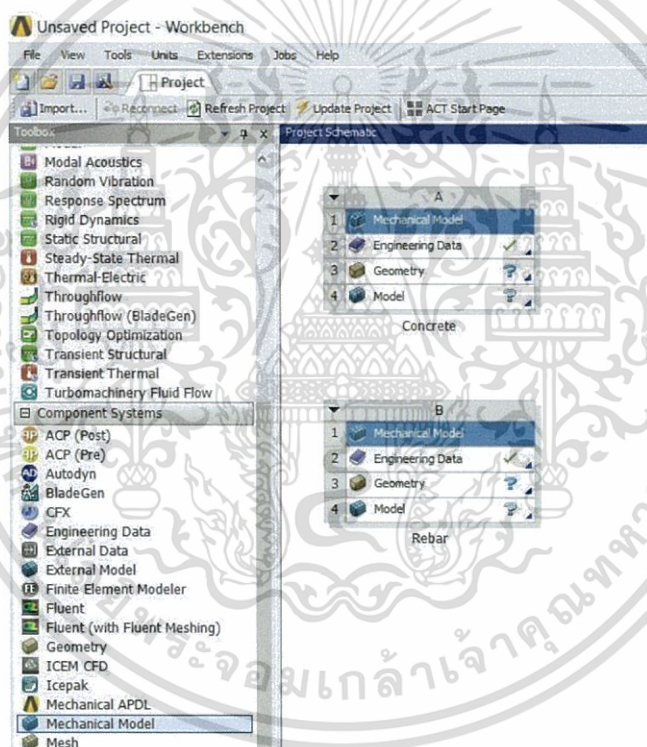
รูปที่ 3.34 แสดงการใช้คำสั่ง Extrude เพื่อยืดเนื้อเหล็กเสริมบริเวณเสาออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม ANSYS

โปรแกรม ANSYS เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยโปรแกรมมีความแม่นยำในการประมวลผล และมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่ทรงประสิทธิภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ทุกศาสตร์ ทางด้านวิศวกรรมทั้ง ด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) ด้านกลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) รวมถึงด้านที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) นอกจากนี้โปรแกรม ANSYS ยังสามารถวิเคราะห์ทุกศาสตร์ร่วมกันได้โดยไม่มีข้อจำกัด ทำให้เป็นโปรแกรมที่นิยมอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม

#### ขั้นตอนที่ 1 : การ Import โมเดลเข้าสู่โปรแกรม ANSYS



รูปที่ 3.35 แสดงการ Import โมเดลเข้าสู่โปรแกรม ANSYS

เปิดโปรแกรม ANSYS Workbench ขึ้นมา ขั้นตอนแรกเราต้องการที่จะ Import ตัวโมเดลของเราเข้าสู่โปรแกรม ให้เราคลิกลากคำสั่ง Mechanical Model ทางด้านซ้ายมือ มาวางไว้ในพื้นที่งานด้านขวา (Project Schematic) 2 ครั้งด้วยกัน สำหรับโมเดลที่เป็นคอนกรีตและเหล็กเสริม จากนั้นให้คลิกขวาที่ Geometry > Import Geometry > Browse จากนั้นคลิกเลือกโมเดลที่เราได้บันทึกเอาไว้แล้วกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2 : การกำหนด Material ให้กับวัสดุ

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2300	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
8	Young's Modulus	3E+10	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.18			
10	Bulk Modulus	1.5625E+10	Pa		
11	Shear Modulus	1.2712E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	0	Pa		
13	Compressive Yield Strength	0	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	5E+06	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	4.1E+07	Pa		

รูปที่ 3.36 แสดงการเลือก Material ให้กับเสาแกนคอนกรีต

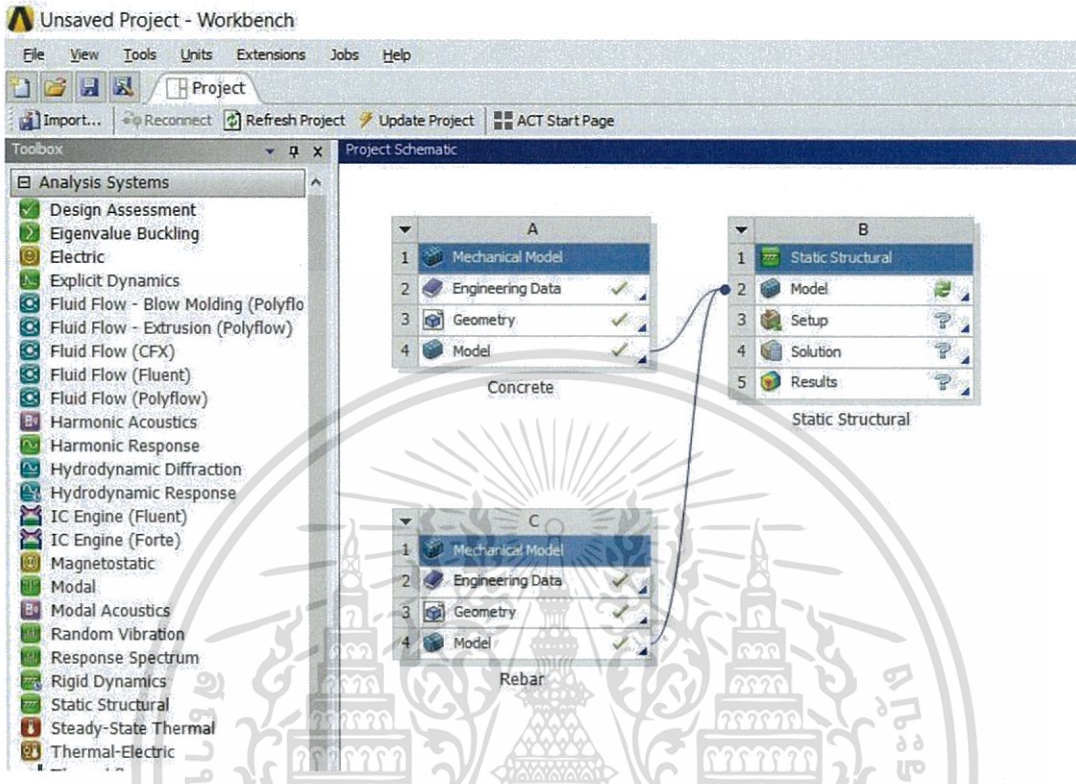
เราจะกำหนด Material ให้กับเสาแกนคอนกรีต ให้เราดับเบิลคลิกที่ Engineering Data ของ โมเดลเสาแกนคอนกรีต จากนั้นคลิกที่ Engineering Data Sources > General Material > Concrete แล้วคลิกที่เครื่องหมายบวก หลังจากนั้นให้ใส่รายละเอียดต่างๆของวัสดุ ดังแสดงในรูป 3.36

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

รูปที่ 3.37 แสดงการเลือก Material ให้กับเหล็กเสริมในคอนกรีต

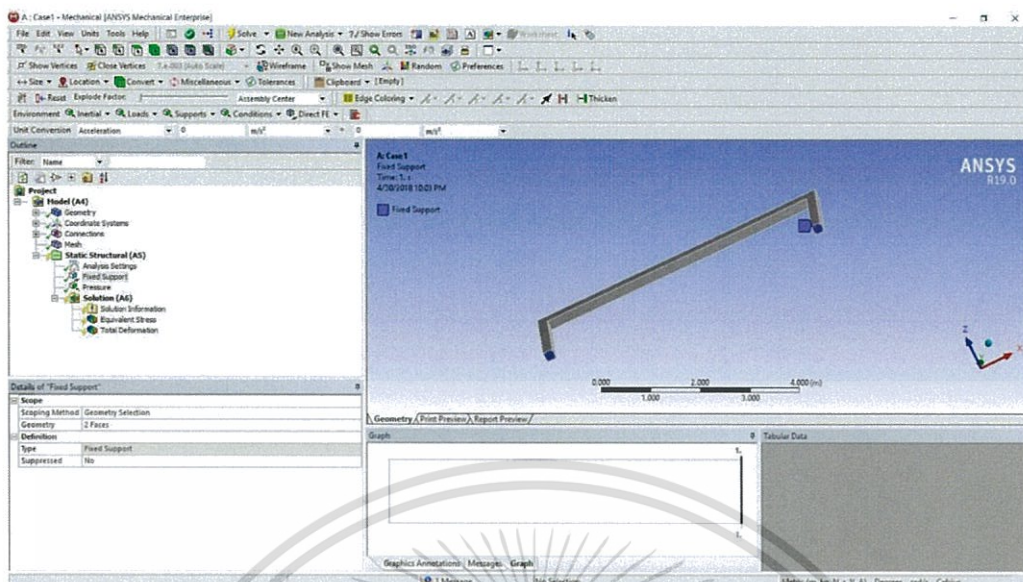
ต่อไปจะเป็นการกำหนด Material ให้กับเหล็กเสริม ให้เราดับเบิลคลิกที่ Engineering Data ของ โมเดลเหล็กเสริม จากนั้นคลิกที่ Structural Steel และใส่รายละเอียดต่างๆของวัสดุ ดังแสดงในรูป 3.37

### ขั้นตอนที่ 3 : การสร้างการวิเคราะห์โมเดลด้วยวิธี Static Structural



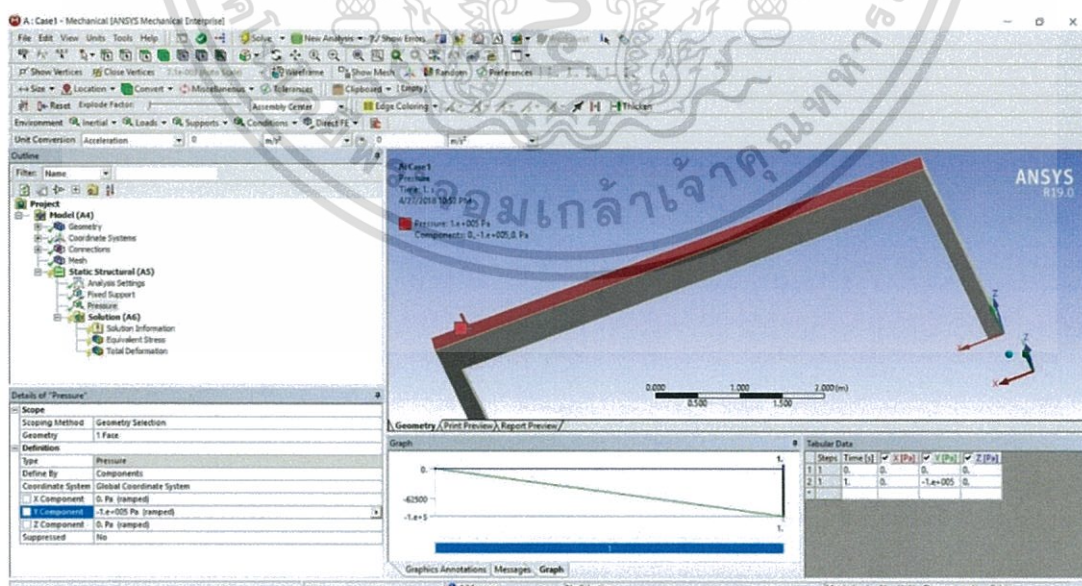
รูปที่ 3.38 แสดงการเลือกวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static Structural

เราจะเลือกการวิเคราะห์โมเดลนี้ด้วยวิธี Static Structural โดยคลิกลากคำสั่ง Static Structural ทางด้านซ้ายมือ มาวางไว้ในพื้นที่งานด้านขวา (Project Schematic) แล้วทำการคลิกลากโมเดลทั้งสองแบบของเราเข้าสู่การวิเคราะห์ โดยคลิกลากที่คำสั่ง Model ของทั้งสองโมเดลลากไปหาคำสั่ง Model ของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static Structural ดังแสดงในรูป 3.38



รูปที่ 3.39 แสดงการใส่จุดรองรับแบบ Fixed-Support

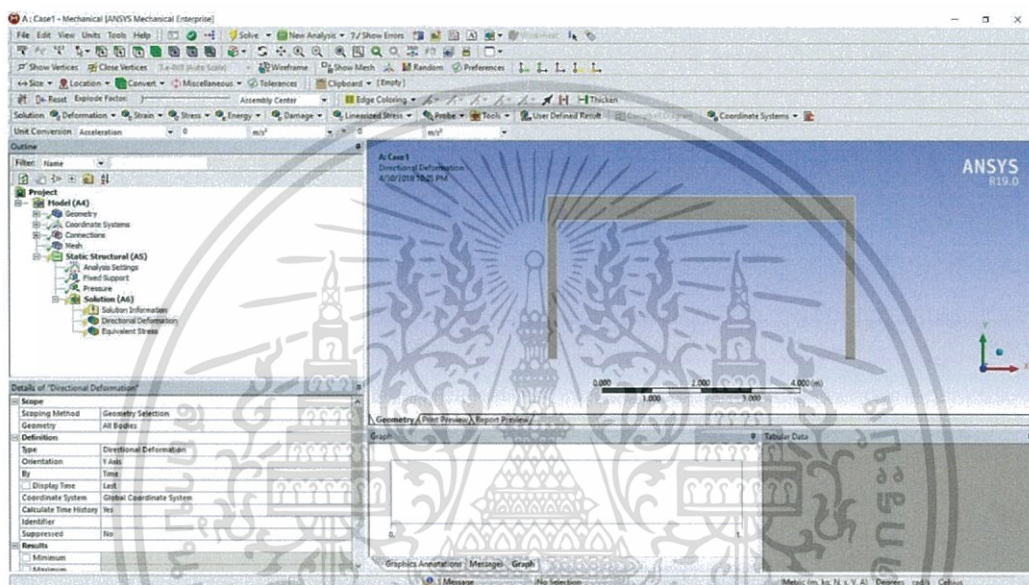
เราจะเข้าสู่การวิเคราะห์โครงสร้าง โดยเริ่มจากการดับเบิลคลิกที่ Model ของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static Structural จากนั้นเราจะต้องใส่จุดรองรับแบบ Fixed-Support ให้กับโครงสร้าง โดยคลิกขวาที่ Static Structural (A5) > Insert > Fixed Support จากนั้นตรงหน้าต่างซ้ายล่าง ตรงช่อง Geometry ให้เราเลือกที่บริเวณพื้นเสาด้านล่างทั้งสองด้านแล้วกด OK ดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.40 แสดงการใส่โหลดแบบ Uniform Distributed Load

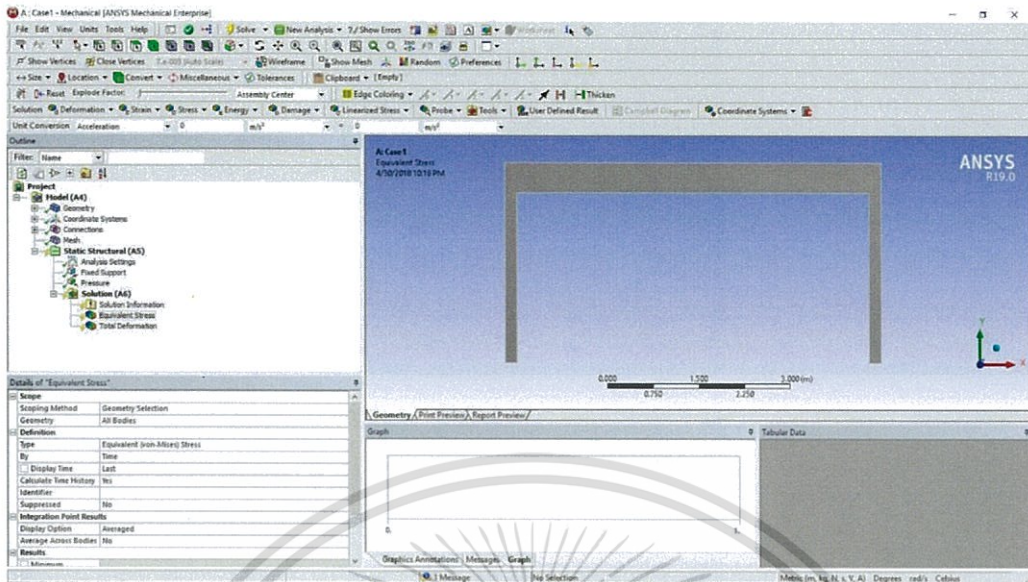
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเราก็จะมาใส่โหลดแบบ Uniform Distributed Load ลงไปบนโครงสร้าง โดยคลิกขวาที่ Static Structural (A5) > Insert > Pressure จากนั้นตรงหน้าต่างซ้ายล่าง ตรงช่อง Geometry ให้เราเลือกที่บริเวณผิวด้านบนบนของโครงสร้าง แล้วกด OK ตรงช่อง Define By ให้เลือกเป็น Components เพื่อกำหนดทิศทางให้กับโหลด ต่อไปก็จะมากำหนดว่าโหลดที่ต้องการเป็นเท่าใด ตรงช่อง Y Component ให้ใส่โหลดที่ต้องการลงไปซึ่งในกรณีนี้เราต้องการใส่โหลด  $-100,000$  Pa ลงไปแล้วกด OK ดังแสดงในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.41 แสดงการวิเคราะห์การโก่งตัวของโครงสร้าง

เราก็จะเริ่มทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยจะเริ่มจากการดูการโก่งตัวของโครงสร้าง (Deformation) ว่าเป็นอย่างไร โดยคลิกขวาที่ Solution (A6) > Deformation > Directional จากนั้นตรงหน้าต่างซ้ายล่าง ตรงช่อง Orientation ให้เลือกเป็น Y Axis



รูปที่ 3.42 แสดงการวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้าง

ต่อไปก็จะเริ่มทำการวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้างว่าเป็นอย่างไร โดยคลิกขวาที่ Solution (A6) > Stress > Equivalent (von-Mises) หลังจากที่ได้เลือกผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่ต้องการแล้วให้กดปุ่ม Solve เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

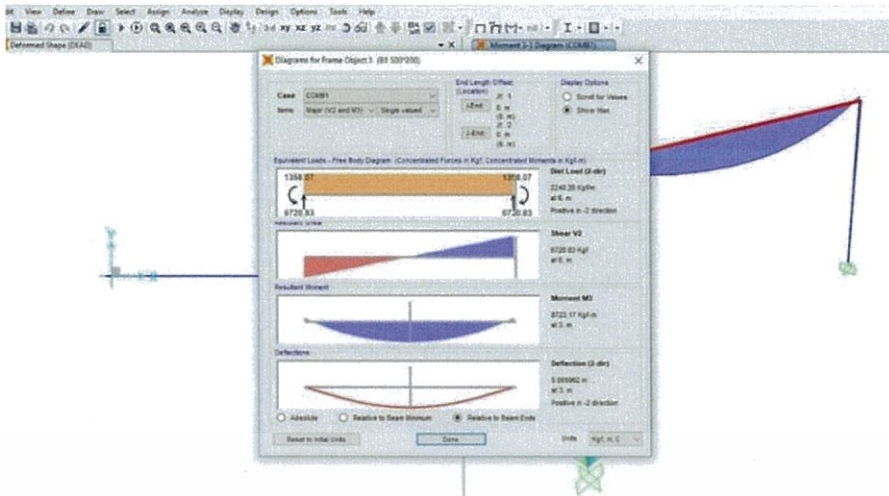
### ผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนแรก คือ ส่วนของผลการทดลอง ส่วนในบทต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง

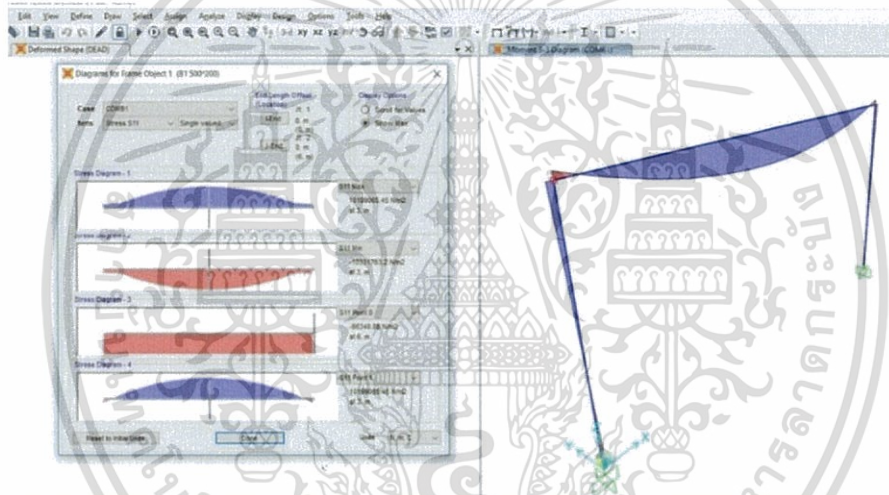
ผลการทดลองได้จากการทำการทดลองจากโปรแกรมต่างๆ เอามาเปรียบเทียบกับ เราจะแบ่งผลการทดลองออกเป็น 7 ส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนแรก คือการวิเคราะห์หาโมเมนต์และความเค้นของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม SAP2000 เพื่อให้เห็นว่าจริงๆแล้ว ถ้าพฤติกรรมของโมเดลเป็นโครงข้อแข็ง จะมีโมเมนต์หรือมีลักษณะเป็นแบบใด ส่วนต่อมา คือการวิเคราะห์โครงสร้างแบบคานช่วงเดียวเพื่อให้เห็นว่า ถ้าพฤติกรรมของโมเดลคล้ายกับคานช่วงเดียวจะมี การโก่งตัว, โมเมนต์ หรือความเค้นเฉือน จะมีลักษณะเป็นแบบใด ส่วนต่อไป จะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดลที่มีรูปแบบจุดเชื่อมต่อเป็นเพลทเหล็กแบบเส้นตรง ตามด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดลที่มีรูปแบบจุดเชื่อมต่อเป็นเพลทเหล็กแบบชั้นบันได และการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดลที่มีรูปแบบจุดเชื่อมต่อเป็นเพลทเหล็กแบบเฉียง โดยทั้ง 3 โมเดลจะแสดงค่าความเค้นของคอนกรีต ค่าความเค้นของเหล็กเสริม ค่าความเค้นเฉือนของเพลทเหล็กทั้ง 3 ด้าน ระยะการโก่งตัว (Deformation) และโมเมนต์ และในหัวข้อสุดท้าย เป็นการสรุปผลทั้งหมดให้อยู่ในตารางเพื่อให้เข้าใจง่าย

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งและคานช่วงเดียว โดยโปรแกรม SAP2000

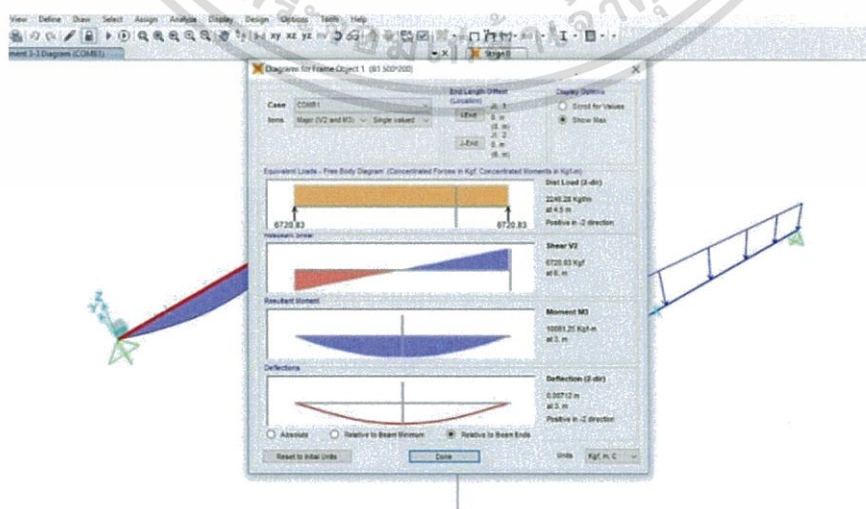
จากการคำนวณ เราจะเห็นว่าโครงข้อแข็งนั้น มีโมเมนต์สูงที่สุดที่จุดกึ่งกลางคาน มีค่า 8,723.17 kgf-m มีค่าการโก่งตัวอยู่ที่กึ่งกลางคานสูงที่สุด ได้แก่ 5.96 mm และ มีความเค้นในโครงสร้างมากที่สุดตรงกึ่งกลางคาน มีค่า 10,199,065.45 N/m<sup>2</sup> ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ และ คานช่วงเดียวมีโมเมนต์ที่กึ่งกลางคานสูงที่สุด มีค่า 10,081.25 kgf-m มีค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานมากที่สุด ได้แก่ 7.12 mm และ มีความเค้นในโครงสร้างที่กึ่งกลางคานมากที่สุด มีค่า 1,209,749.56 kgf/m<sup>2</sup> ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.1 แสดงการคำนวณโมเมนต์ของโครงข้อแข็งปกติจากโปรแกรม SAP2000

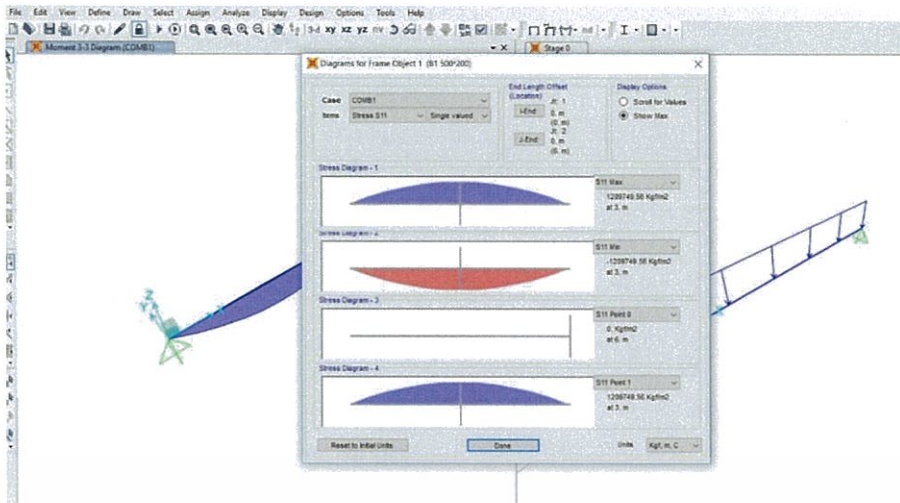


รูปที่ 4.2 แสดงการคำนวณความเค้นของโครงข้อแข็งปกติจากโปรแกรม SAP2000



รูปที่ 4.3 แสดงการคำนวณโมเมนต์ของคานช่วงเดียวจากโปรแกรม SAP2000

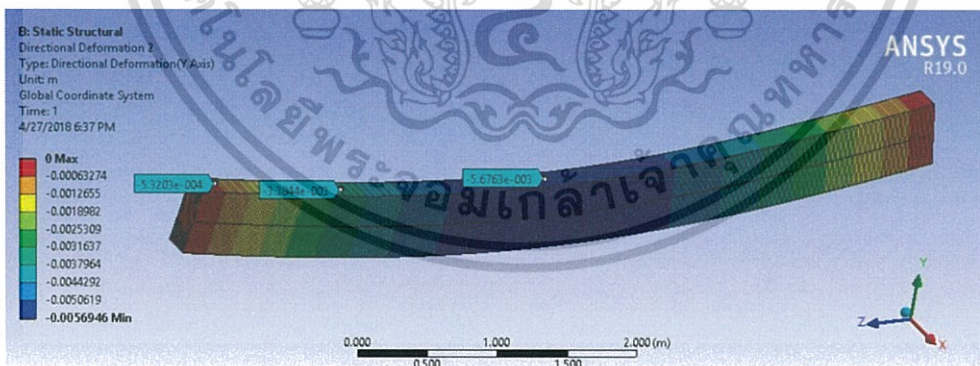
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการคำนวณความเค้นของคานช่วงเดียวจากโปรแกรม SAP2000

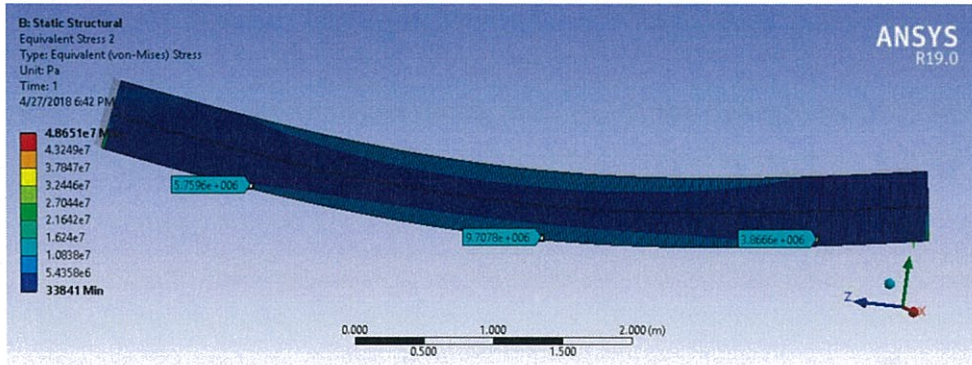
## 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบคานช่วงเดียว โดยโปรแกรม ANSYS

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมเราจะเห็นว่าโครงสร้างแบบคานช่วงเดียว จะมีระยะการโก่งตัว ความเค้นในคอนกรีต ความเค้นในเหล็กและโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคาน โดยมีค่าเท่ากับ  $5.6763 \times 10^{-3}$  m,  $9.7078 \times 10^6$  Pa,  $5.3915 \times 10^7$  Pa,  $8.62 \times 10^4$  N-m ตามลำดับ ตามรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8

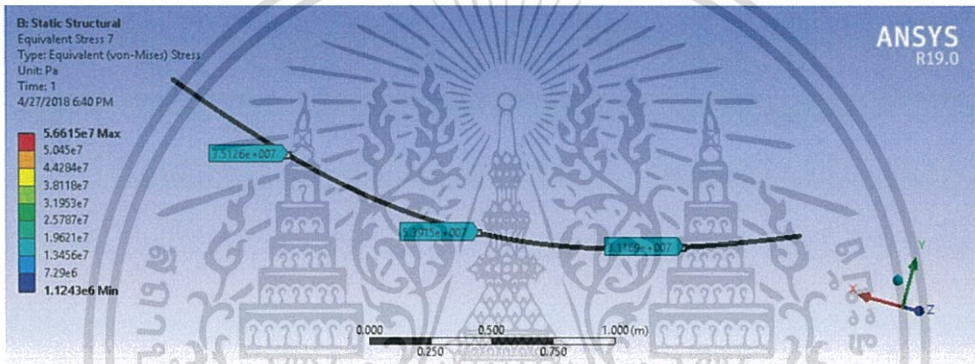


รูปที่ 4.5 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างแบบคานช่วงเดียวจากโปรแกรม ANSYS

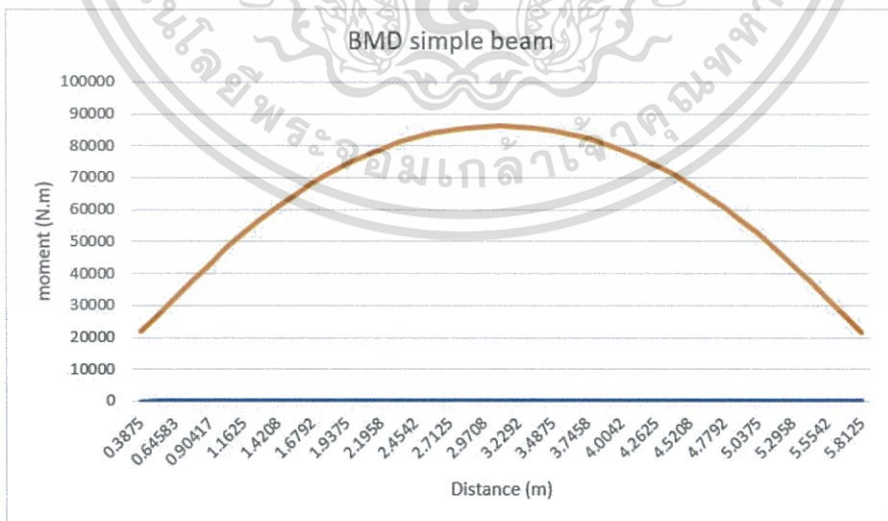
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างแบบคานช่วงเดียวจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.7 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างแบบคานช่วงเดียวจากโปรแกรม ANSYS

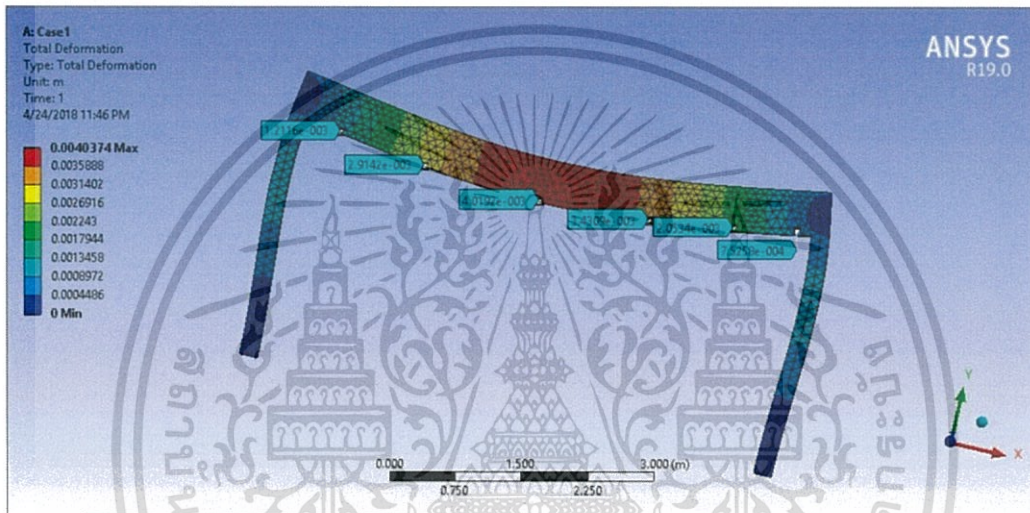


รูปที่ 4.8 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างแบบคานช่วงเดียวจากโปรแกรม Excel

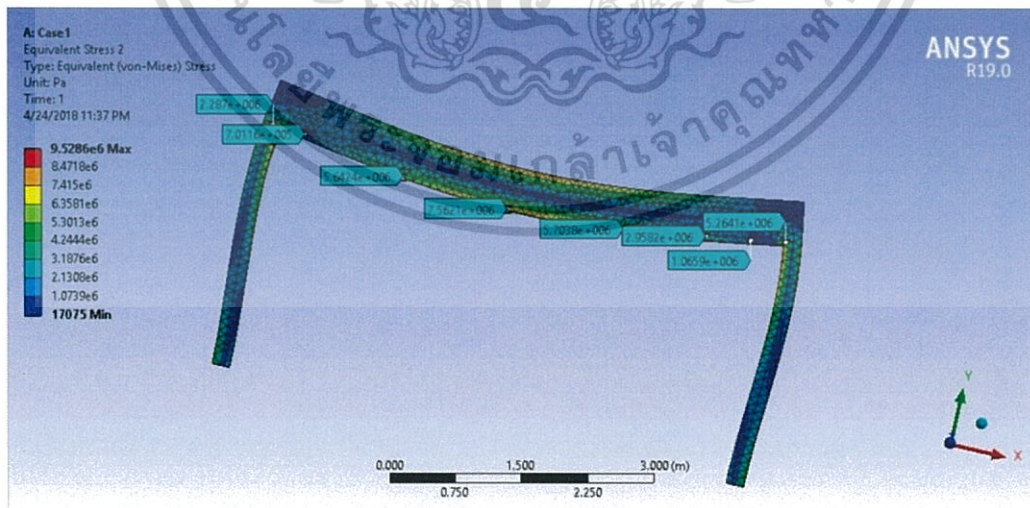
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโครงข้อแข็ง โดยโปรแกรม ANSYS

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมเราจะเห็นว่าโครงสร้างแบบโครงข้อแข็งก็จะมีระยะการโก่งตัวมากที่สุดที่จุดกึ่งกลางคาน โดยมีค่าเท่ากับ  $4.0192 \times 10^{-3}$  m ตามรูปที่ 4.9 ความเค้นในคอนกรีตและความเค้นในเหล็กสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคาน มีค่าเท่ากับ  $7.5621 \times 10^6$  Pa,  $4.6567 \times 10^7$  Pa ตามรูปที่ 4.10, 4.11 มีค่าโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $6.5 \times 10^4$  N-m ตามรูปที่ 4.12

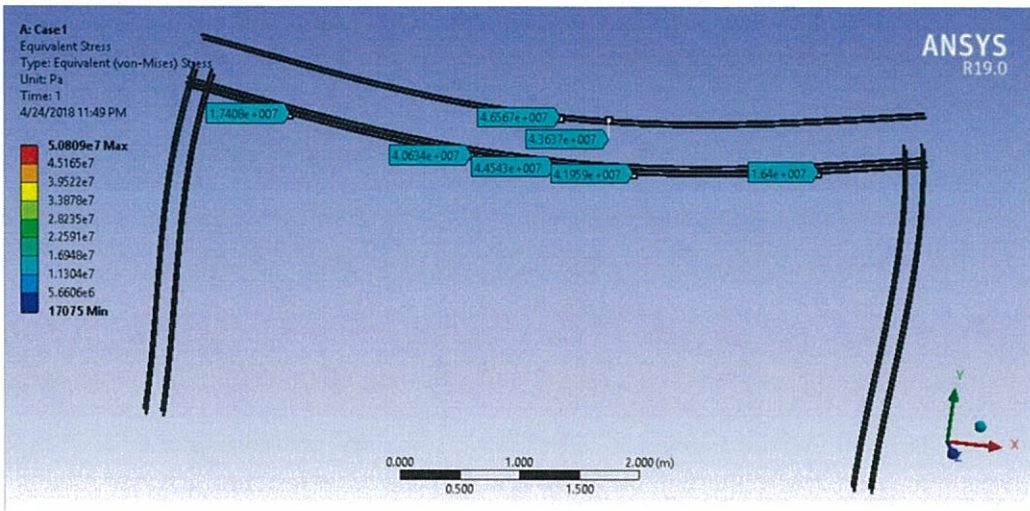


รูปที่ 4.9 แสดงการโก่งตัวของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS

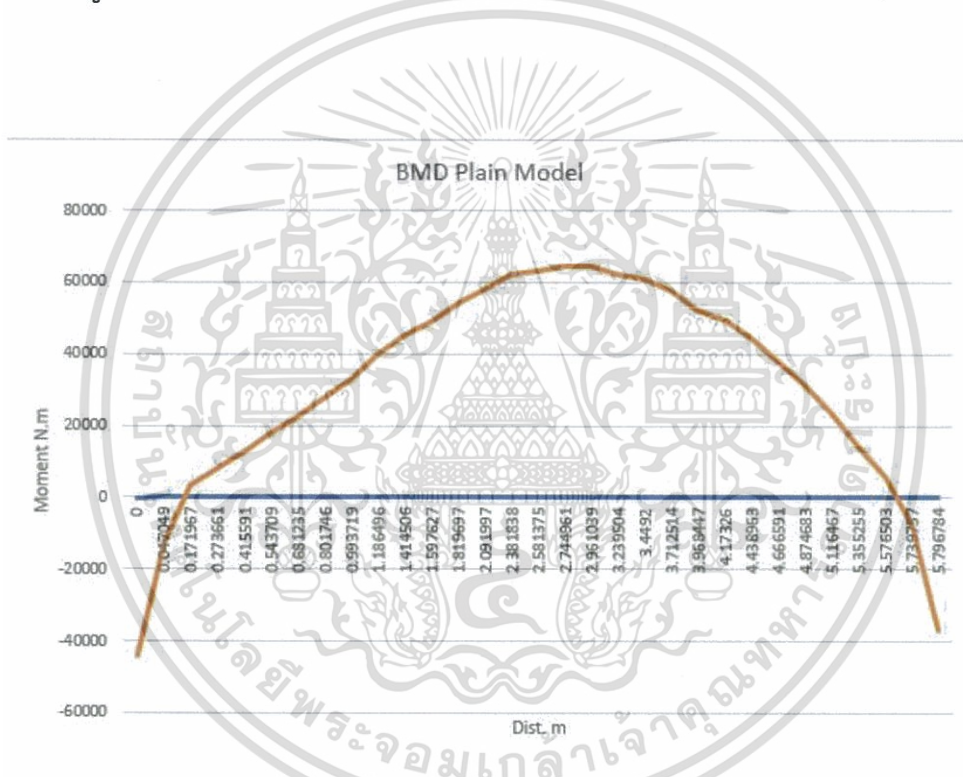


รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม ANSYS

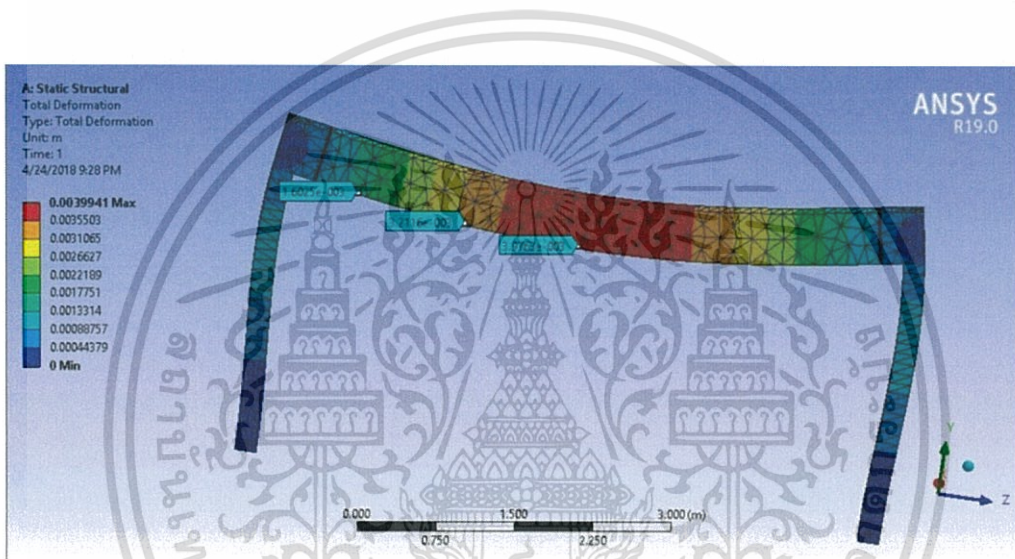


รูปที่ 4.12 แสดงโมเมนต์ของโครงข้อแข็งจากโปรแกรม Excel

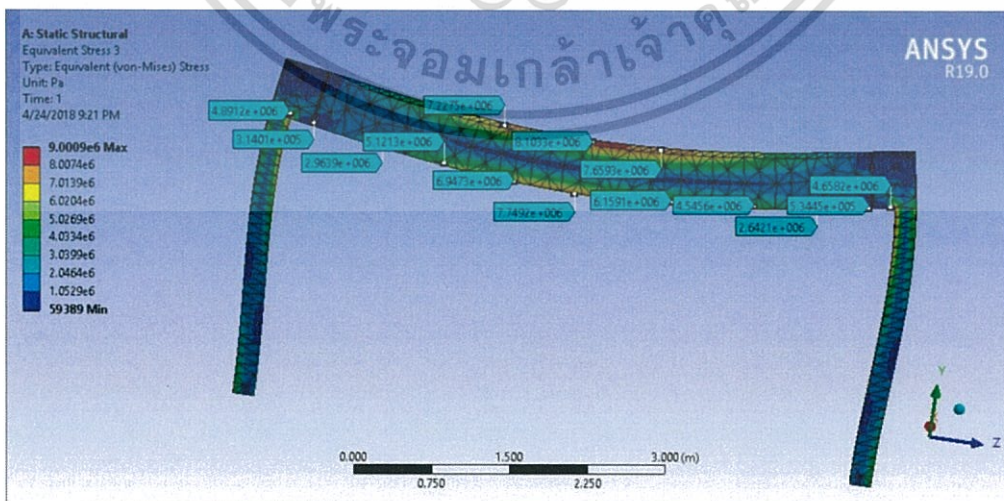
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง โดยโปรแกรม ANSYS

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม จะได้ระยะการแอ่นตัวมากที่สุดที่จุดกลางคาน โดยมีค่า  $3.9763 \times 10^{-3}$  m ตามรูปที่ 4.13 ความเค้นในคอนกรีตและในเหล็กสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $8.1093 \times 10^6$  Pa,  $4.2839 \times 10^7$  Pa ตามรูปที่ 4.14, 4.15 มีค่าโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $6.8 \times 10^4$  N-m ตามรูปที่ 4.20 และแสดงความเค้นเฉือนในเพลทเหล็กด้านต่างๆที่สูงที่สุด ด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างมีค่าเท่ากับ  $2.4309 \times 10^6$  Pa,  $5.5135 \times 10^6$  Pa และ  $2.8444 \times 10^6$  Pa ตามรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19

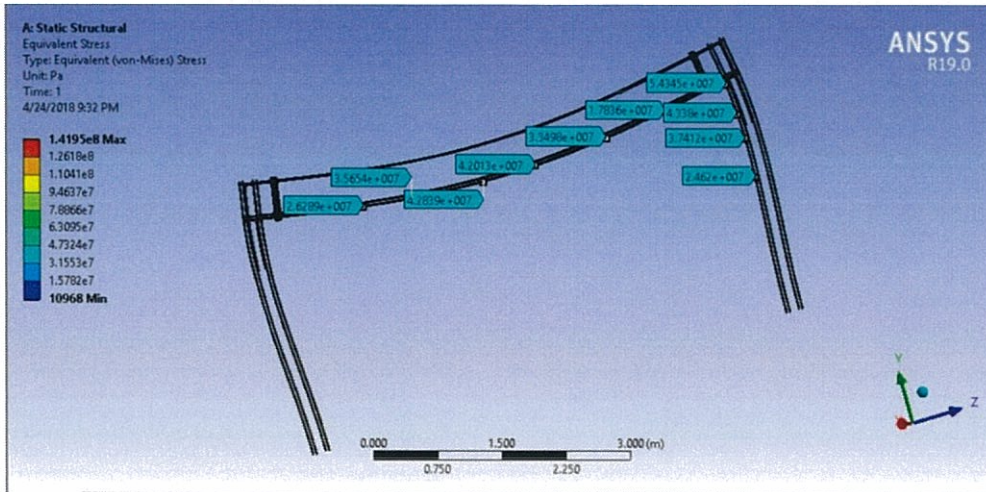


รูปที่ 4.13 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS

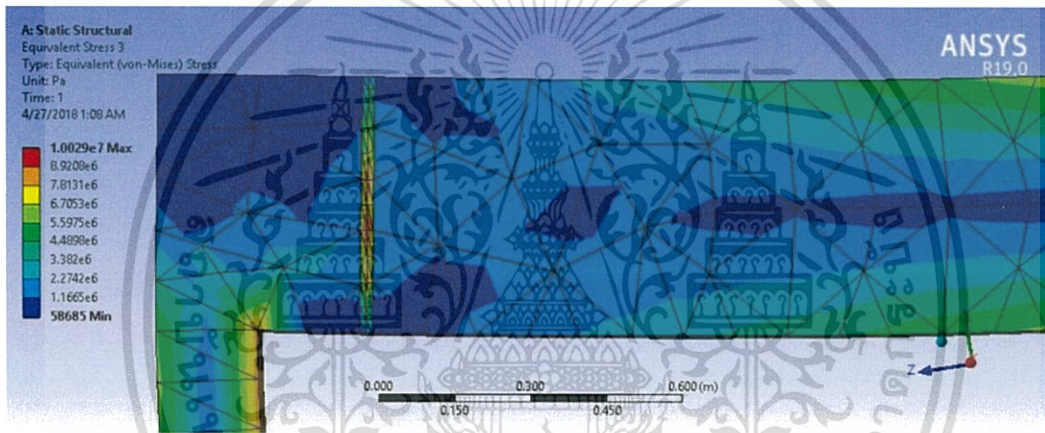


รูปที่ 4.14 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS

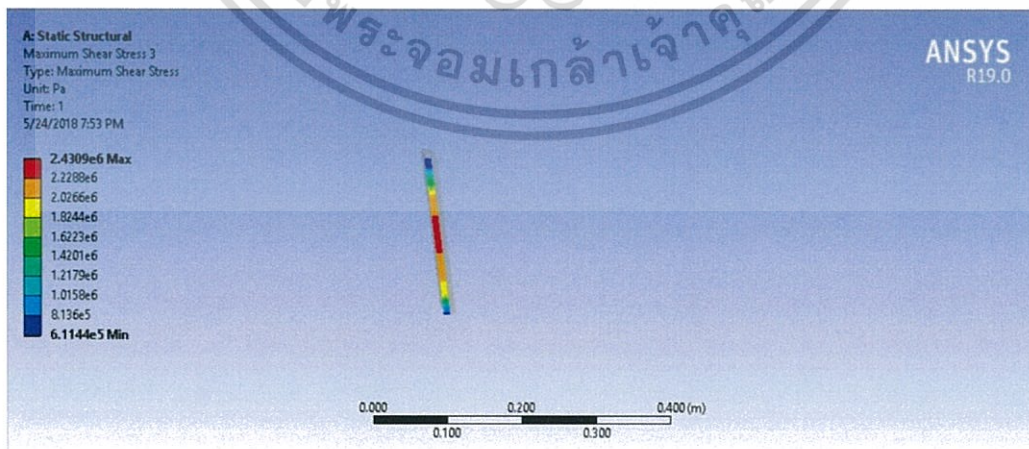
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS



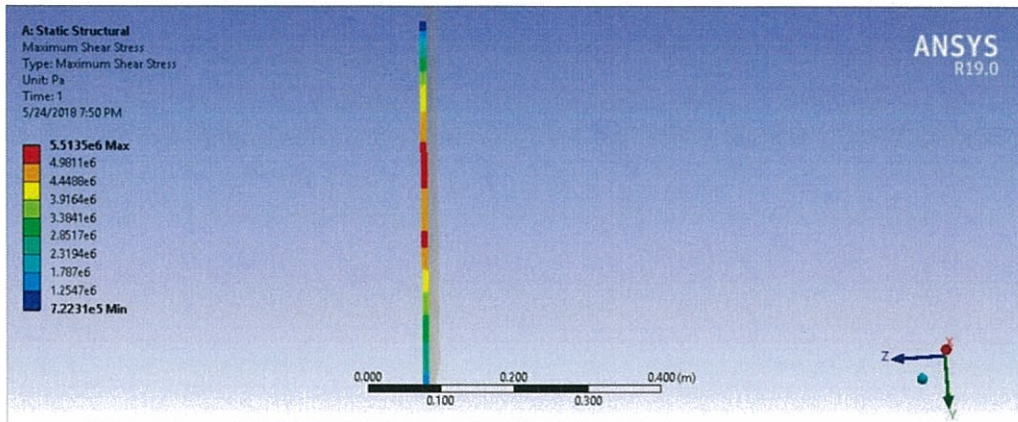
รูปที่ 4.16 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS



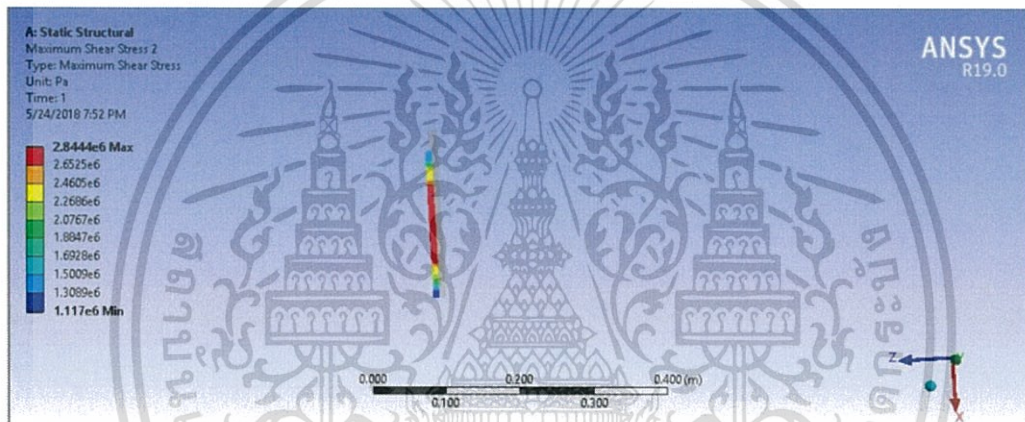
รูปที่ 4.17 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของจุดเชื่อมต่อแบบ

เส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS

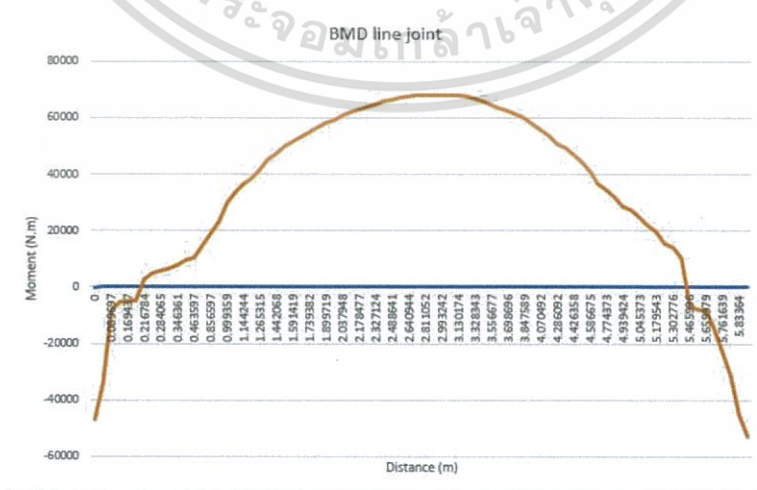
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของจุดเชื่อมต่อแบบ  
 เส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.19 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของจุดเชื่อมต่อแบบ  
 เส้นตรงจากโปรแกรม ANSYS

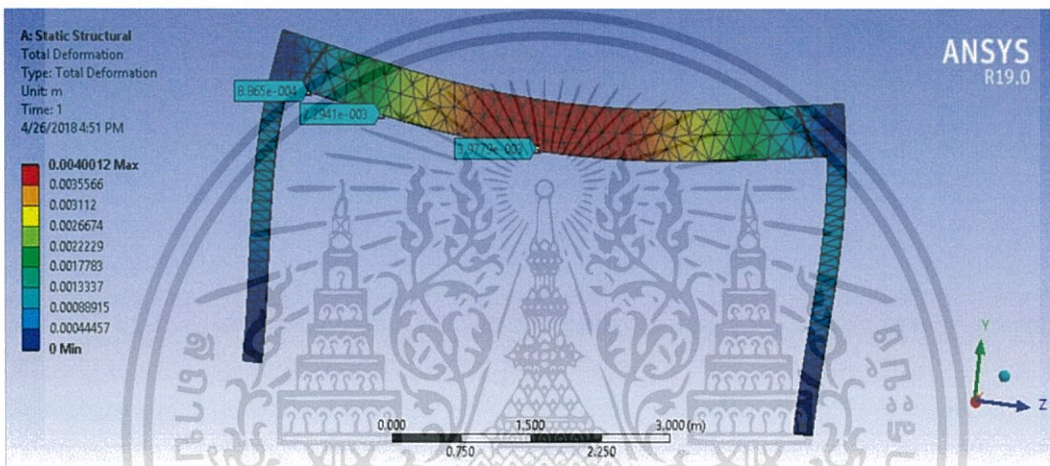


รูปที่ 4.20 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรงจากโปรแกรม Excel

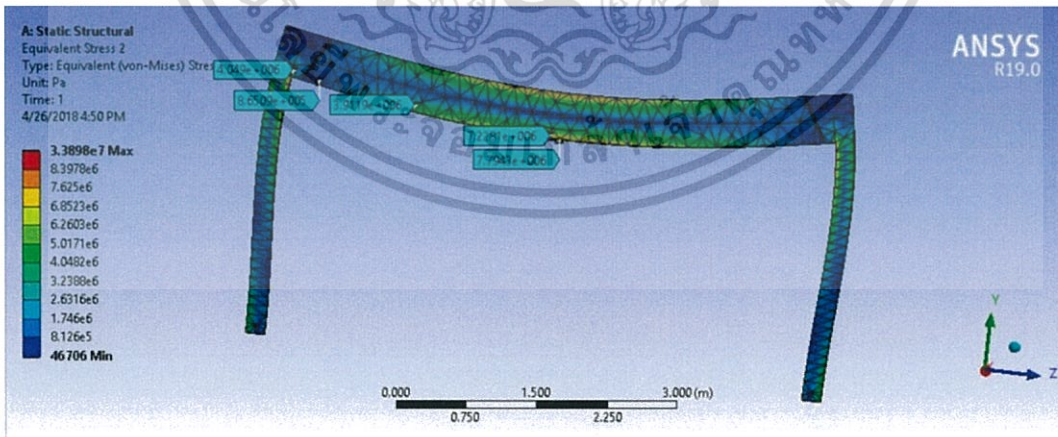
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง โดยโปรแกรม ANSYS

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม จะได้ระยะการแอ่นตัวมากที่สุดที่จุดกลางคาน โดยมีค่าเท่ากับ  $3.9779 \times 10^{-3}$  m ตามรูปที่ 4.21 ความเค้นในคอนกรีตและในเหล็กสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคาน มีค่าเท่ากับ  $7.7943 \times 10^6$  Pa,  $4.3646 \times 10^7$  Pa ตามรูปที่ 4.22, 4.23 มีค่าโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $6.55 \times 10^4$  N-m ตามรูปที่ 4.28 และแสดงความเค้นเฉือนในเพลทเหล็กด้านต่างๆ ที่สูงที่สุด ด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างมีค่าเท่ากับ  $3.8386 \times 10^6$  Pa,  $6.9852 \times 10^6$  Pa และ  $3.8386 \times 10^6$  Pa ตามรูป 4.25, 4.26 และ 4.27

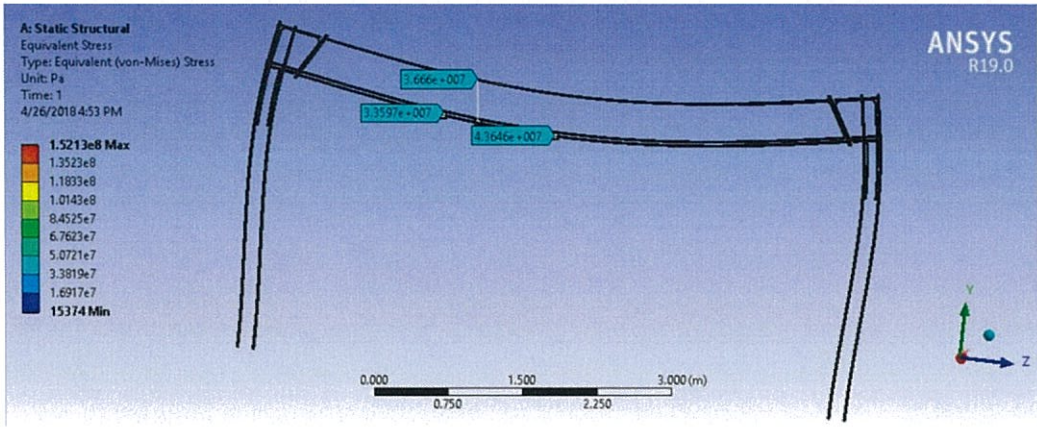


รูปที่ 4.21 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.22 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS

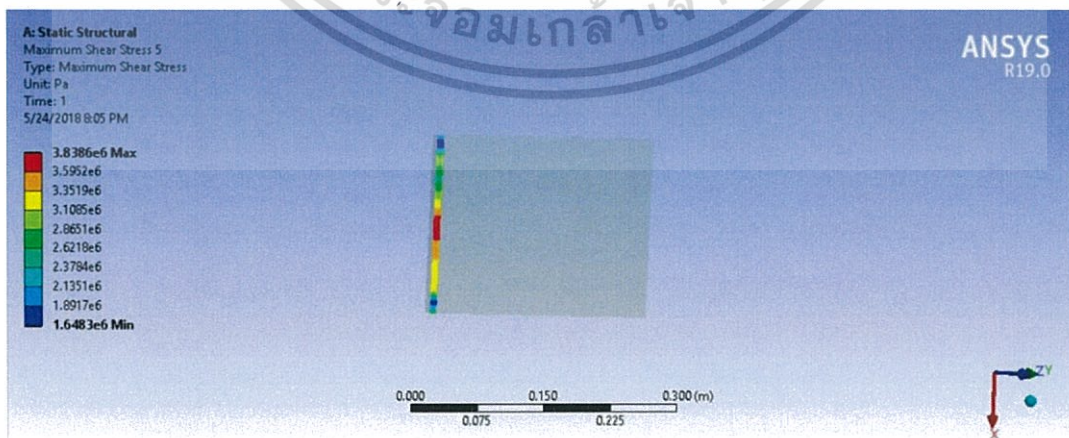
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS



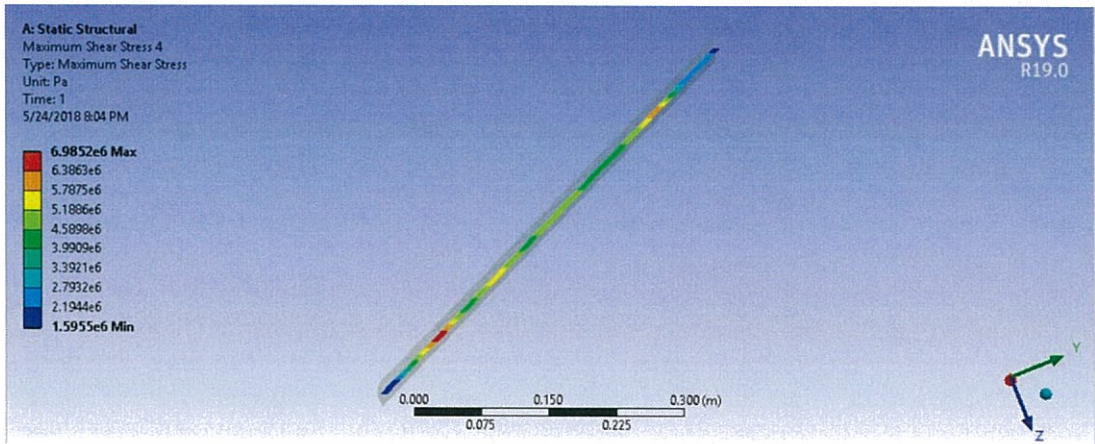
รูปที่ 4.24 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS



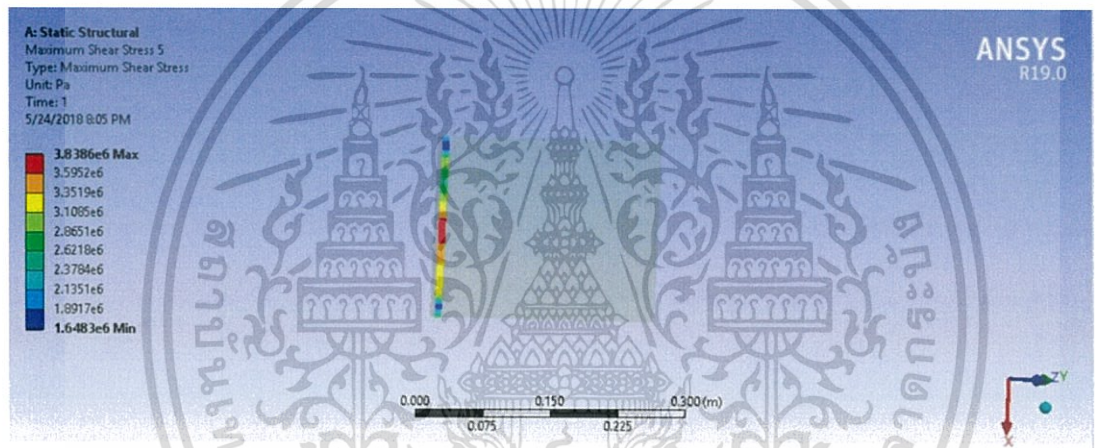
รูปที่ 4.25 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง

จากโปรแกรม ANSYS

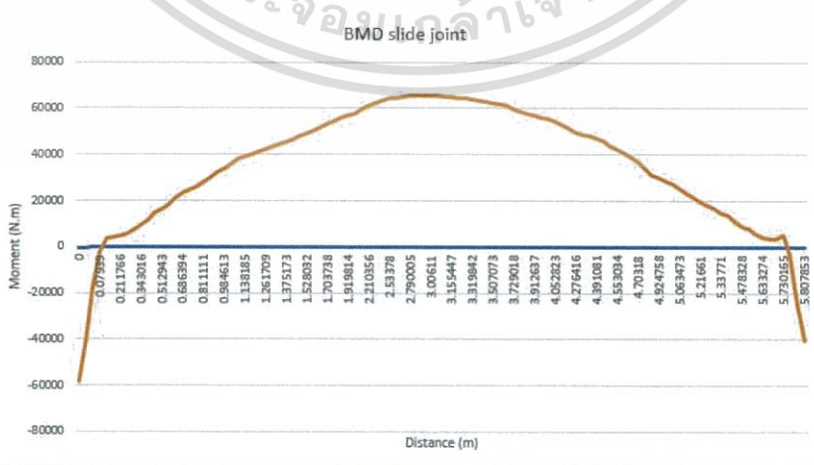
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.27 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม ANSYS

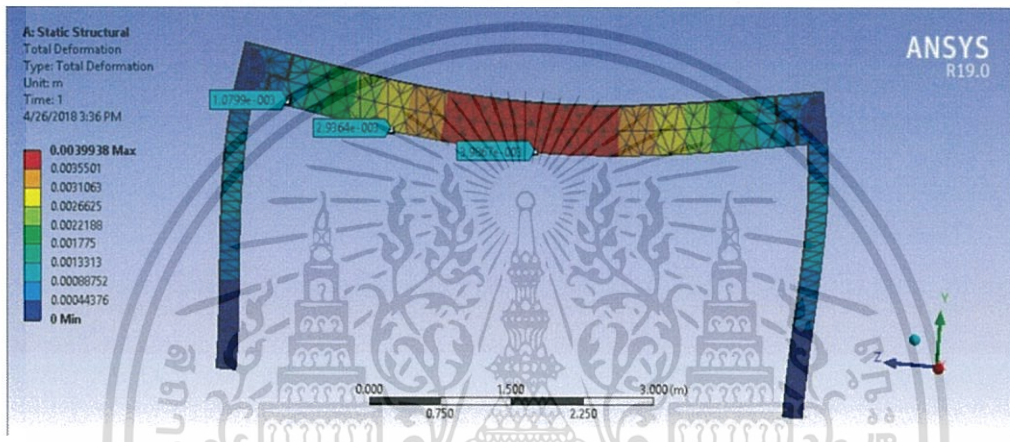


รูปที่ 4.28 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบเฉียงจากโปรแกรม Excel

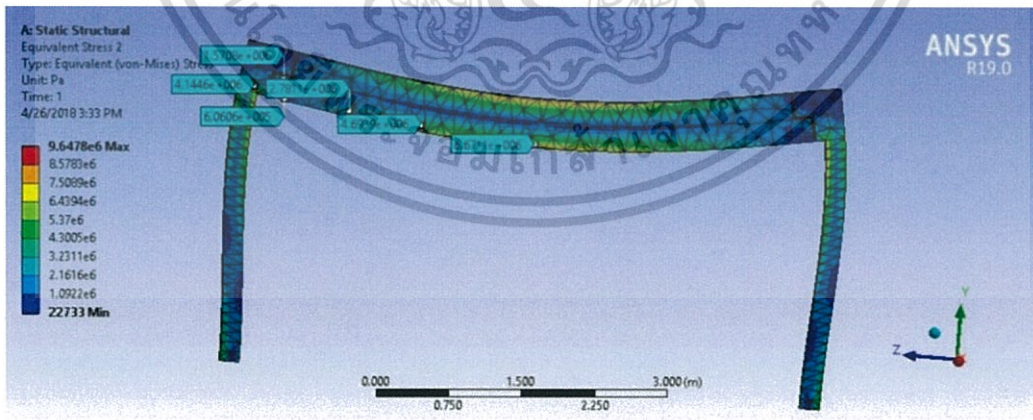
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขันขันได้ โดยโปรแกรม ANSYS

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม จะได้ระยะการแอ่นตัวมากที่สุดที่จุดกลางคาน โดยมีค่าเท่ากับ  $3.9867 \times 10^{-3}$  m ตามรูปที่ 4.29 ความเค้นในคอนกรีตและในเหล็กสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $6.6711 \times 10^6$  Pa,  $4.3377 \times 10^7$  Pa ตามรูปที่ 4.30, 4.31 มีค่าโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ  $6.55 \times 10^4$  N-m ตามรูปที่ 4.36 และแสดงความเค้นเฉือนในเพลทเหล็กด้านต่างๆที่สูงที่สุด ด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างค่าเท่ากับ  $4.4115 \times 10^6$  Pa,  $8.3619 \times 10^6$  Pa และ  $6.1333 \times 10^6$  Pa ตามรูป 4.33, 4.34 และ 4.35

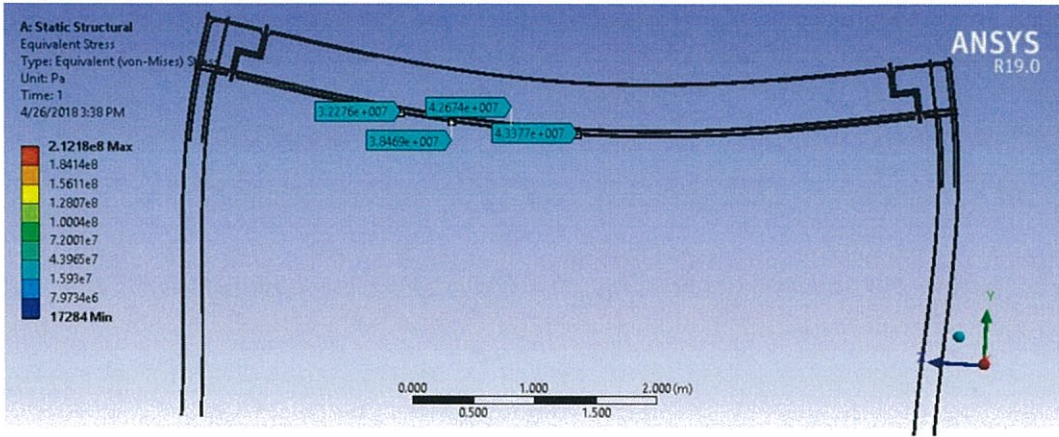


รูปที่ 4.29 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขันขันได้จากโปรแกรม ANSYS

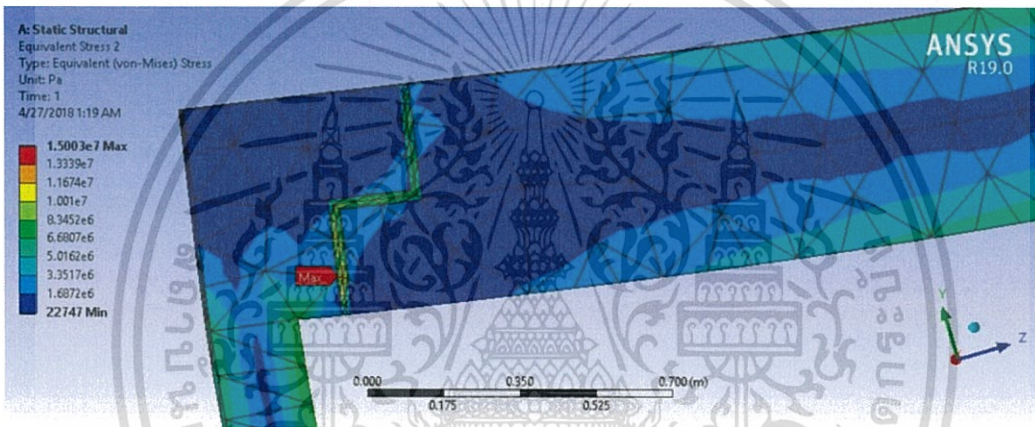


รูปที่ 4.30 แสดงความเค้นในคอนกรีตของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขันขันได้จากโปรแกรม ANSYS

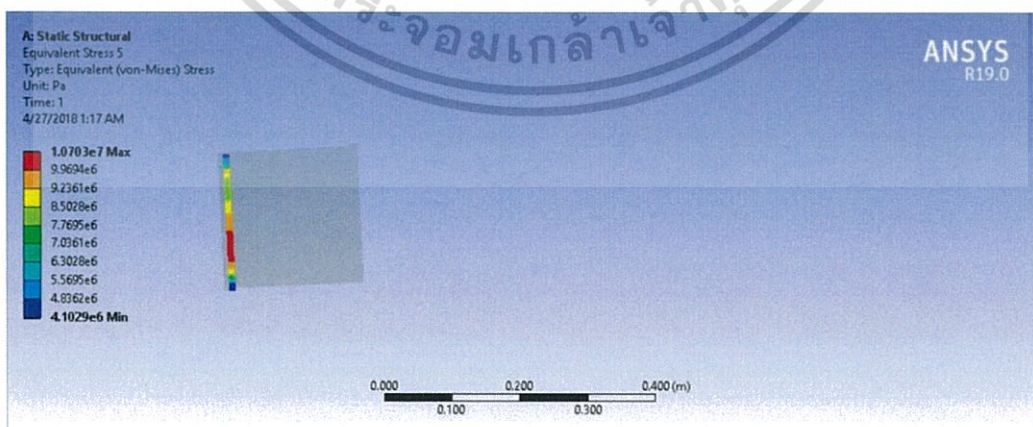
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงความเค้นในเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขันบ้นได้จากโปรแกรม ANSYS

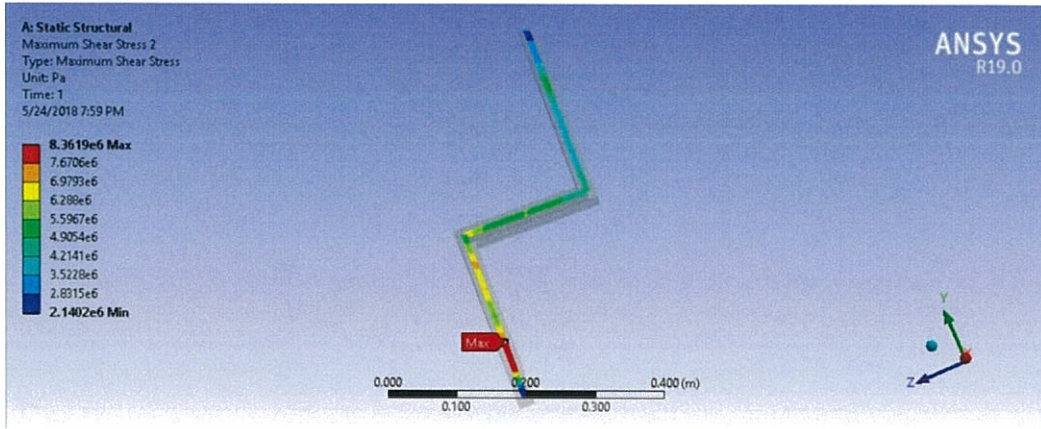


รูปที่ 4.32 แสดงความเค้นในเพลทเหล็กของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบขันบ้นได้จากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.33 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านบนของจุดเชื่อมต่อแบบขันบ้นได้จากโปรแกรม ANSYS

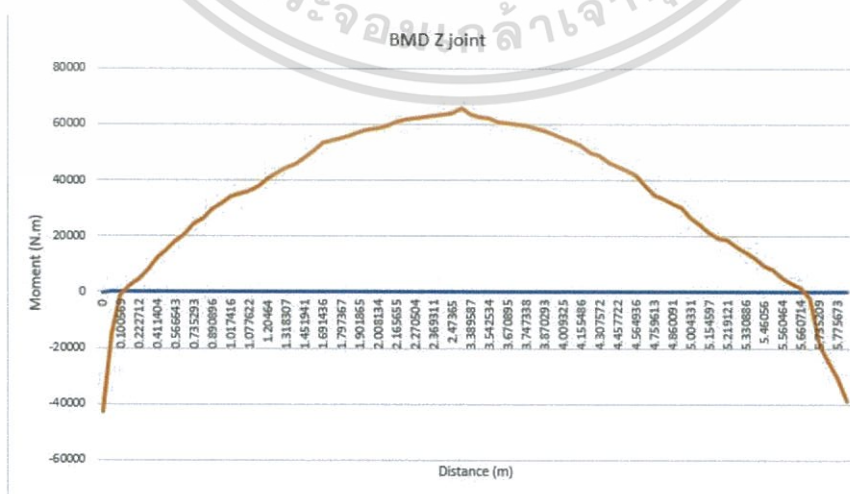
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านข้างของจุดเชื่อมต่อแบบ  
 ชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.35 แสดงความเค้นเฉือนของรอยเชื่อมบริเวณจุดเชื่อมต่อด้านล่างของจุดเชื่อมต่อแบบ  
 ชั้นบันไดจากโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.36 แสดงโมเมนต์ของโครงสร้างจุดเชื่อมต่อแบบชั้นบันไดจากโปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ตารางสรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบทั้งหมด เรานำมาอยู่ในตารางเพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น และคิดเป็นหน่วยที่เราคุ้นชินกัน แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบทั้งหมด

Model Result list	SAP2000		ANSYS				
	Frame	Simple beam	Plain frame	Line joint	Slide joint	Z joint	Simple beam
Maximum Concrete Stress (ksc)	102	120.9	78	77.9	78	78	102.6
Maximum Bar Stress (ksc)	-	-	445	447	443	447	540
Deformation (mm)	5.96	7.12	4	3.98	3.98	4	5.67
Maximum Moment (kg-m)	8723	10081	6500	6550	6550	6550	8620
Maximum Shear stress at Welding point (ksc)	-	-	-	70	69.8	83.6	-

จากตารางจะเห็นได้ว่า พฤติกรรมของโมเดลที่มีจุดเชื่อมต่อรูปแบบต่างๆ มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่คล้ายกัน โดยการวิเคราะห์ของโปรแกรม ANSYS ไม่ว่าจะเป็น ความเค้นในคอนกรีต, ความเค้นในเหล็กเสริม, ระยะการแอ่นตัว, โมเมนต์ที่มากที่สุด และความเค้นเฉือนที่มากที่สุด ในจุดเชื่อมต่อ และเมื่อวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ANSYS พบว่า โมเดลทั้ง 3 รูปแบบ มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบโครงข้อแข็งรูปแบบต่าง ๆ นั้น พบว่าโมเดลแบบโครงข้อแข็งที่มีจุดเชื่อมต่อที่บริเวณจุดดัดกลับทั้ง 3 แบบ มีพฤติกรรมและคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมือนกันทั้ง 3 รูปแบบ มีเพียงความต่างของความเค้นในรอยเชื่อมที่บริเวณจุดดัดกลับที่มีค่าต่างกัน โดยรูปแบบชั้นบันได (Z Model) มีความเค้นสูงสุด ตามมาด้วยแบบเฉียง (Slide Model) และแบบเส้นตรง (Line Model) แสดงให้เห็นว่าความเค้นในรอยเชื่อมจะเพิ่มขึ้นเมื่อรอยเชื่อมอยู่ห่างจากบริเวณจุดดัดกลับ แต่ทั้งนี้ค่าความเค้นที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้โครงสร้างเกิดการพิบัติแต่อย่างใด

นอกจากนี้โมเดลโครงข้อแข็งที่มีจุดเชื่อมต่อบริเวณจุดดัดกลับทั้ง 3 รูปแบบจะแสดงพฤติกรรมเหมือนกันแล้ว ทั้ง 3 รูปแบบยังมีพฤติกรรมเหมือนกับโครงข้อแข็งแบบปกติ แสดงให้เห็นว่าการใส่ Hinge ที่ตำแหน่งจุดดัดกลับยังทำให้โครงสร้างสามารถคงพฤติกรรมการถ่ายแรงได้เป็นปกติเหมือนโครงข้อแข็งทั่วไป และในส่วนของ การเปรียบเทียบโมเมนต์ระหว่างโมเดลที่มีรอยเชื่อมบริเวณจุดดัดกลับ กับ คานช่วงเดียว พบว่าโมเมนต์สูงสุดในคานลดลงถึง 25% ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการลดหน้าตัดคาน หรือ เหล็กเสริมในคานได้ ทั้งนี้ถึงแม้โครงสร้างจะมีพฤติกรรมเหมือนโครงข้อแข็งปกติ แต่ควรวิจัยด้านอื่นๆเพิ่มเติม จึงจะสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างนี้มีประโยชน์ และเหมาะสมกับการใช้งานจริง

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปเป็นหัวข้อตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. คาน-เสาสำเร็จรูปที่มีจุดเชื่อมต่อที่จุดดัดกลับทั้ง 3 รูปแบบ มีพฤติกรรมเหมือนกับโครงข้อแข็ง
2. เมื่อเปรียบเทียบโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นใน คาน-เสาสำเร็จรูปที่มีจุดเชื่อมต่อที่จุดดัดกลับทั้ง 3 รูปแบบ เทียบกับคานช่วงเดียว พบว่าโมเดลที่ออกแบบใหม่ทั้ง 3 รูปแบบมีโมเมนต์สูงสุดใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่าโมเมนต์สูงสุดในคานช่วงเดียวถึง 25%

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบผ่านโปรแกรมทั้งแบบ Solid Element และ Line Element พบว่าโมเดลทั้ง 2 รูปแบบ มีพฤติกรรมและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนกัน แต่ค่าต่างๆจากการวิเคราะห์มีความต่างกัน ประมาณ 20% อาจเกิดจาก Line Element ไม่สามารถออกแบบโมเดลอย่างละเอียดได้ จึงเสนอแนะว่า ควรทดสอบในรูปแบบอื่น ๆ อีกเพื่อหาค่าอ้างอิงที่ถูกต้องได้ เช่น การทดสอบจริง เป็นต้น

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ Solid Element (ANSYS Program) นั้นจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีมาตรฐานสูง ถึง สูงมากในการวิเคราะห์ ทางผู้วิจัยไม่มีทรัพยากรที่ตรงตามมาตรฐานทำให้วิเคราะห์ได้ไม่ละเอียด ใช้เวลานาน และ ศึกษาได้น้อยรูปแบบ

## 5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ

การวิจัยนี้เป็นแค่การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของโครงข้อแข็งที่มีจุดเชื่อมต่อที่บริเวณจุดตัดกลับ และพบว่ามีพฤติกรรมเดียวกับโครงข้อแข็ง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดหน้าตัดของโครงสร้างได้ ทำให้การวิจัยนี้สามารถเป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัยด้านอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นพฤติกรรมโครงข้อแข็งแบบต่อเนื่อง การรับแรงด้านข้าง การผลิต/ติดตั้ง เพื่อที่จะสรุปข้อดีข้อเสียทั้งหมดของโครงสร้างรูปแบบนี้ได้

## บรรณานุกรม

- [1]. จารุวัฒน์ ถาวรไพศาลชีวะ (2550). พฤติกรรมและประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อแบบเพลทเหล็กสำหรับรอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2]. จิราชัย เลหาสมพลเลิศ (2551). พฤติกรรมของรอยต่อคานคอนกรีตสำเร็จรูปปรับโมเมนต์ตัด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3]. วินิต ช่อวิเชียร (2560). การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4]. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ (2555). ทฤษฎีโครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5]. ANSYS (2007). ANSYS Multiphysics. Version 11.0 SPI, ANSYS Inc., Canonsburg(PA)
- [6]. Helmut Wilden and Precast/Prestressed concrete Institute (2010). PCI DESIGN HANDBOOK 7<sup>th</sup> EDITION PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE. Chicago: Precast/Prestressed concrete Institute



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

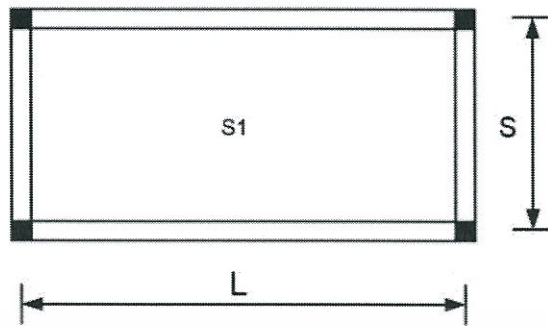


ภาคผนวก ก

รายการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคิดโหลดลงคาน



รูปที่ 6.1 แพลนพื้นสมมติ

$$S = 6 \text{ m.} \quad S/L \text{ (m)} = 1$$

$$L = 6 \text{ m.} \quad S/L > 0.5 = 2\text{-way slab}$$

$$S/L < 0.5 = 1\text{-way slab}$$



รูปที่ 6.2 หน้าตัดพื้นทางด้านข้าง

กำหนดให้ พื้นหน้า 10 cm.

$$DL = 0.1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$LL = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$1.4DL + 1.7LL = 591 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{คานด้านสั้นรับโหลด } W_s = (W \times S) / 3 = 1182 \text{ kg/m}$$

$$\text{คานด้านยาวรับโหลด } W_L = [(W \times S) / 3] \times [(3 - m^2) / 2] = 1182 \text{ kg/m}$$

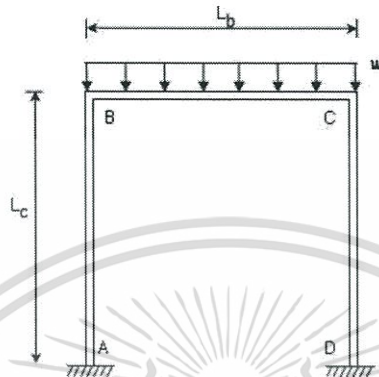
∴ ด้านสั้นกับยาวเท่ากัน คานทั้ง 2 ด้านจึงรับโหลดเท่ากัน

แต่เนื่องจากเราสมมติคานรับโหลด 2 ฝั่ง =  $1182 + 1182 = 2364 \text{ kg/m}$  **Ans**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเปรียบเทียบ ระหว่าง โครงข้อแข็ง กับ โครงข้อแข็งที่มี hinge

### 1. โครงข้อแข็ง



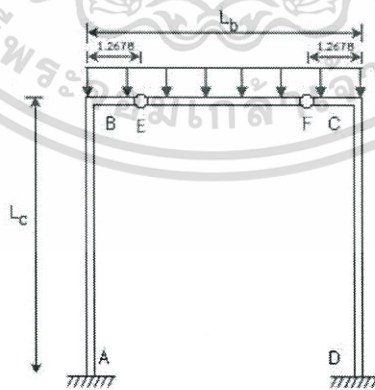
รูปที่ 6.3 โครงข้อแข็งที่มีโหนดกระจายอยู่ด้านบน

สมมติให้  $w = 1 \text{ N/m}$

Moment ที่จุดกึ่งกลางคาน  $= \omega L_b^2 / 24 = 1.5 \text{ N-m}$

และจุดตัดกลับ  $= 0.2113L_b = 1.2678 \text{ m}$

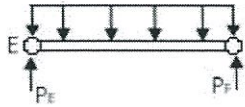
### 2. โครงข้อแข็งที่มี hinge



รูปที่ 6.4 โครงข้อแข็งที่มี hinge และโหนดกระจายอยู่ด้านบน

สมมติให้  $w = 1 \text{ N/m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 รูปตัดส่วนกลางของโครงข้อแข็งที่มี hinge และโหนดกระจายอยู่ด้านบน

$$\sum M_E = 0; \quad \frac{1 \times (3.4644)^2}{2} = P_F \times 3.4644$$

$$\frac{3.4644}{2} = P_F$$

$$\sum F_y = 0; \quad P_E = \frac{3.4644}{2}$$

รูปที่ 6.6 รูปตัดส่วนซ้ายของโครงข้อแข็งที่มี hinge และโหนดกระจายอยู่ด้านบน

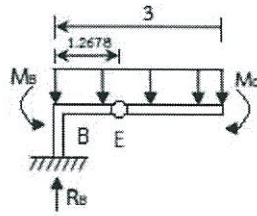
$$\sum M_B = 0; \quad \frac{1 \times (1.2678)^2}{2} + \frac{3.4644 \times 1.2678}{2} = M_B$$

$$M_B = 3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sum F_y = 0; \quad R_B = 1.2678 + \frac{3.4644}{2}$$

$$R_B = 3 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 รูปตัดครึ่งหนึ่งของโครงข้อแข็งที่มี hinge และโหลดกระจายอยู่ด้านบน

$$\sum M_{at\ center} = 0; \quad M_c + (3 \times 3) = \frac{3^2}{2} + 3$$

$$M_c = 3 + \frac{9}{2} - 9$$

$$M_c = -1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

∴ โครงข้อแข็ง และ โครงข้อแข็งที่มี hinge มีโมเมนต์ที่ตรงกึ่งกลางเท่ากัน

### ค่าโมเมนต์ที่นำมาวาดกราฟในบทที่ 4

ตารางที่ 6.1 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรูปแบบคานช่วงเดี่ยวที่นำมาสร้างกราฟ

No	Length [m]	stress	moment	No	Length [m]	stress	moment
1	0	4.87E+07	4.09E+05	26	3.2292	1.02E+07	8.61E+04
2	0.12917	2.65E+06	2.23E+04	27	3.3583	1.02E+07	8.56E+04
3	0.25833	2.27E+06	1.91E+04	28	3.4875	1.01E+07	8.49E+04
4	0.3875	2.59E+06	2.18E+04	29	3.6167	9.97E+06	8.38E+04
5	0.51667	3.18E+06	2.67E+04	30	3.7458	9.81E+06	8.25E+04
6	0.64583	3.84E+06	3.23E+04	31	3.875	9.62E+06	8.08E+04
7	0.775	4.50E+06	3.78E+04	32	4.0042	9.39E+06	7.89E+04
8	0.90417	5.12E+06	4.30E+04	33	4.1333	9.12E+06	7.66E+04
9	1.0333	5.71E+06	4.80E+04	34	4.2625	8.82E+06	7.41E+04
10	1.1625	6.26E+06	5.26E+04	35	4.3917	8.48E+06	7.12E+04
11	1.2917	6.78E+06	5.69E+04	36	4.5208	8.10E+06	6.81E+04
12	1.4208	7.26E+06	6.10E+04	37	4.65	7.69E+06	6.46E+04
13	1.55	7.70E+06	6.47E+04	38	4.7792	7.25E+06	6.09E+04
14	1.6792	8.11E+06	6.81E+04	39	4.9083	6.77E+06	5.69E+04
15	1.8083	8.48E+06	7.13E+04	40	5.0375	6.25E+06	5.25E+04
16	1.9375	8.82E+06	7.41E+04	41	5.1667	5.70E+06	4.79E+04
17	2.0667	9.12E+06	7.67E+04	42	5.2958	5.11E+06	4.29E+04
18	2.1958	9.39E+06	7.89E+04	43	5.425	4.48E+06	3.77E+04
19	2.325	9.62E+06	8.08E+04	44	5.5542	3.83E+06	3.22E+04
20	2.4542	9.82E+06	8.25E+04	45	5.6833	3.17E+06	2.66E+04
21	2.5833	9.98E+06	8.38E+04	46	5.8125	2.58E+06	2.17E+04
22	2.7125	1.01E+07	8.49E+04	47	5.9417	2.25E+06	1.89E+04
23	2.8417	1.02E+07	8.56E+04	48	6.0708	2.59E+06	2.18E+04
24	2.9708	1.02E+07	8.61E+04	49	6.2	4.71E+07	3.96E+05
25	3.1	1.03E+07	8.62E+04				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรูปแบบโครงข้อแข็งที่นำมาสร้างกราฟ

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
0	0.198206	5.25E+06	4.41E+04	5.116467	5.314673	2.81E+06	2.36E+04
0.047049	0.245255	1.53E+06	1.29E+04	5.355255	5.553461	1.72E+06	1.44E+04
0.171967	0.370173	4.16E+05	3.50E+03	5.576503	5.774709	6.70E+05	5.63E+03
0.273661	0.471867	9.18E+05	7.72E+03	5.739757	5.937963	9.03E+05	7.59E+03
0.415591	0.613797	1.56E+06	1.31E+04	5.796784	5.99499	4.38E+06	3.68E+04
0.543709	0.741915	2.13E+06	1.79E+04				
0.681235	0.879441	2.70E+06	2.27E+04				
0.801746	0.999952	3.33E+06	2.80E+04				
0.993719	1.191925	3.96E+06	3.32E+04				
1.186496	1.384702	4.74E+06	3.98E+04				
1.414506	1.612712	5.42E+06	4.56E+04				
1.597627	1.795833	5.82E+06	4.89E+04				
1.819697	2.017903	6.41E+06	5.39E+04				
2.091997	2.290203	6.91E+06	5.81E+04				
2.381838	2.580044	7.38E+06	6.20E+04				
2.581375	2.779581	7.54E+06	6.33E+04				
2.744961	2.943167	7.70E+06	6.47E+04				
2.961039	3.159245	7.66E+06	6.44E+04				
3.239504	3.43771	7.41E+06	6.22E+04				
3.4492	3.647406	7.22E+06	6.07E+04				
3.712514	3.91072	6.87E+06	5.77E+04				
3.968447	4.166653	6.22E+06	5.23E+04				
4.17326	4.371466	5.88E+06	4.94E+04				
4.438963	4.637169	5.30E+06	4.45E+04				
4.666591	4.864797	4.54E+06	3.82E+04				
4.874683	5.072889	3.69E+06	3.10E+04				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบเส้นตรงที่นำมาสร้างกราฟ

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
0	-2.925875	5.57E+06	4.68E+04	1.817236	1.108639	6.73E+06	5.65E+04
0.037369	-2.888506	4.01E+06	3.37E+04	1.899719	1.026156	6.93E+06	5.82E+04
0.089697	-2.836178	1.01E+06	8.45E+03	1.95857	0.967305	7.05E+06	5.93E+04
0.137057	-2.788818	6.50E+05	5.47E+03	2.037948	0.887927	7.22E+06	6.07E+04
0.169437	-2.756438	5.63E+05	4.73E+03	2.112742	0.813133	7.37E+06	6.19E+04
0.189371	-2.736504	5.97E+05	5.02E+03	2.178477	0.747398	7.49E+06	6.29E+04
0.216784	-2.709091	3.08E+05	2.59E+03	2.247492	0.678383	7.60E+06	6.38E+04
0.249183	-2.676692	5.59E+05	4.69E+03	2.327124	0.598751	7.71E+06	6.48E+04
0.284065	-2.64181	7.00E+05	5.88E+03	2.41263	0.513245	7.82E+06	6.57E+04
0.303999	-2.621876	7.73E+05	6.49E+03	2.488641	0.437234	7.90E+06	6.64E+04
0.346361	-2.579514	9.50E+05	7.98E+03	2.563749	0.362126	7.97E+06	6.70E+04
0.398732	-2.527143	1.13E+06	9.53E+03	2.640944	0.284931	8.03E+06	6.75E+04
0.463597	-2.462278	1.22E+06	1.02E+04	2.723384	0.202491	8.07E+06	6.78E+04
0.776737	-2.149138	1.76E+06	1.48E+04	2.811052	0.114823	8.10E+06	6.81E+04
0.856597	-2.069278	2.25E+06	1.89E+04	2.898641	0.027234	8.10E+06	6.81E+04
0.921993	-2.003882	2.76E+06	2.32E+04	2.993242	0.067367	8.10E+06	6.81E+04
0.999359	-1.926516	3.54E+06	2.97E+04	3.077518	0.151643	8.10E+06	6.80E+04
1.058098	-1.867777	4.02E+06	3.38E+04	3.130174	0.204299	8.07E+06	6.78E+04
1.144244	-1.781631	4.35E+06	3.66E+04	3.207379	0.281504	8.03E+06	6.75E+04
1.199749	-1.726126	4.57E+06	3.84E+04	3.328343	0.402468	7.93E+06	6.66E+04
1.265315	-1.66056	4.90E+06	4.12E+04	3.438297	0.512422	7.82E+06	6.57E+04
1.365135	-1.56074	5.35E+06	4.49E+04	3.556677	0.630802	7.67E+06	6.45E+04
1.442068	-1.483807	5.63E+06	4.73E+04	3.634033	0.708158	7.55E+06	6.35E+04
1.531028	-1.394847	5.93E+06	4.98E+04	3.698696	0.772821	7.44E+06	6.25E+04
1.591419	-1.334456	6.12E+06	5.14E+04	3.778074	0.852199	7.29E+06	6.13E+04
1.661484	-1.264391	6.31E+06	5.30E+04	3.847589	0.921714	7.16E+06	6.01E+04
1.739382	-1.186493	6.52E+06	5.48E+04	3.978884	1.053009	6.86E+06	5.77E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dist		Stress	Moment
4.070492	1.144617	6.63E+06	5.57E+04
4.161357	1.235482	6.40E+06	5.38E+04
4.286092	1.360217	6.03E+06	5.06E+04
4.336016	1.410141	5.87E+06	4.93E+04
4.426358	1.500483	5.57E+06	4.68E+04
4.504917	1.579042	5.28E+06	4.44E+04
4.586675	1.6608	4.89E+06	4.11E+04
4.702099	1.776224	4.37E+06	3.68E+04
4.774373	1.848498	4.10E+06	3.45E+04
4.853424	1.927549	3.78E+06	3.18E+04
4.939424	2.013549	3.41E+06	2.86E+04
4.974999	2.049124	3.26E+06	2.74E+04
5.045373	2.119498	2.95E+06	2.47E+04
5.122035	2.19616	2.58E+06	2.17E+04
5.179543	2.253668	2.32E+06	1.95E+04
5.273871	2.347996	1.85E+06	1.55E+04
5.302776	2.376901	1.69E+06	1.42E+04
5.382324	2.456449	1.25E+06	1.05E+04
5.465996	2.540121	7.95E+05	6.68E+03
5.55547	2.629595	9.36E+05	7.86E+03
5.659979	2.734104	9.83E+05	8.26E+03
5.729389	2.803514	1.69E+06	1.42E+04
5.761639	2.835764	2.72E+06	2.29E+04
5.808834	2.882959	3.69E+06	3.10E+04
5.83364	2.907765	5.38E+06	4.52E+04
5.846031	2.920156	6.27E+06	5.27E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบเฉียงที่นำมาสร้างกราฟ

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
0	-2.91368	6.97E+06	5.85E+04	1.261709	-1.65197	5.04E+06	4.23E+04
0.024563	-2.88912	4.73E+06	3.97E+04	1.305551	-1.60813	5.18E+06	4.35E+04
0.053955	-2.85973	2.20E+06	1.85E+04	1.336126	-1.57756	5.27E+06	4.43E+04
0.07939	-2.83429	2.39E+05	2.01E+03	1.375173	-1.53851	5.40E+06	4.53E+04
0.119333	-2.79435	4.50E+05	3.78E+03	1.411362	-1.50232	5.52E+06	4.64E+04
0.169973	-2.74371	4.81E+05	4.04E+03	1.473994	-1.43969	5.71E+06	4.80E+04
0.211766	-2.70192	5.31E+05	4.46E+03	1.528032	-1.38565	5.86E+06	4.93E+04
0.241935	-2.67175	6.57E+05	5.52E+03	1.579139	-1.33454	6.00E+06	5.04E+04
0.29053	-2.62315	8.63E+05	7.25E+03	1.635935	-1.27775	6.14E+06	5.16E+04
0.343016	-2.57067	1.10E+06	9.25E+03	1.703738	-1.20994	6.33E+06	5.32E+04
0.407097	-2.50659	1.40E+06	1.17E+04	1.761171	-1.15251	6.48E+06	5.44E+04
0.47313	-2.44055	1.75E+06	1.47E+04	1.866541	-1.04714	6.69E+06	5.62E+04
0.512943	-2.40074	1.97E+06	1.65E+04	1.919814	-0.99387	6.80E+06	5.71E+04
0.55662	-2.35706	2.17E+06	1.82E+04	1.964337	-0.94935	6.88E+06	5.78E+04
0.634115	-2.27957	2.53E+06	2.13E+04	2.094719	-0.81896	7.12E+06	5.99E+04
0.686394	-2.22729	2.77E+06	2.33E+04	2.210356	-0.70333	7.30E+06	6.13E+04
0.722204	-2.19148	2.94E+06	2.47E+04	2.310867	-0.60282	7.43E+06	6.24E+04
0.748288	-2.16539	3.06E+06	2.57E+04	2.436735	-0.47695	7.57E+06	6.36E+04
0.811111	-2.10257	3.36E+06	2.82E+04	2.53378	-0.3799	7.65E+06	6.43E+04
0.867091	-2.04659	3.59E+06	3.01E+04	2.606713	-0.30697	7.70E+06	6.47E+04
0.933651	-1.98003	3.85E+06	3.24E+04	2.689447	-0.22424	7.75E+06	6.51E+04
0.984613	-1.92907	4.05E+06	3.40E+04	2.790005	-0.12368	7.77E+06	6.53E+04
1.04899	-1.86469	4.30E+06	3.61E+04	2.842399	-0.07128	7.78E+06	6.54E+04
1.108421	-1.80526	4.54E+06	3.82E+04	2.890153	-0.02353	7.79E+06	6.55E+04
1.138185	-1.7755	4.67E+06	3.92E+04	3.00611	0.092428	7.79E+06	6.54E+04
1.181285	-1.7324	4.79E+06	4.03E+04	3.056212	0.14253	7.78E+06	6.53E+04
1.221526	-1.69216	4.91E+06	4.13E+04	3.105425	0.191743	7.77E+06	6.53E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
3.155447	0.241765	7.74E+06	6.51E+04	4.874789	1.961107	3.74E+06	3.14E+04
3.217763	0.304081	7.70E+06	6.47E+04	4.924758	2.011076	3.55E+06	2.99E+04
3.275517	0.361835	7.66E+06	6.44E+04	4.964579	2.050897	3.41E+06	2.86E+04
3.319842	0.40616	7.63E+06	6.41E+04	5.00567	2.091988	3.25E+06	2.73E+04
3.396881	0.483199	7.56E+06	6.36E+04	5.063473	2.149791	2.99E+06	2.51E+04
3.453347	0.539665	7.51E+06	6.31E+04	5.111052	2.19737	2.78E+06	2.33E+04
3.507073	0.593391	7.44E+06	6.25E+04	5.152232	2.23855	2.59E+06	2.18E+04
3.576407	0.662725	7.35E+06	6.18E+04	5.21661	2.302928	2.31E+06	1.94E+04
3.641662	0.72798	7.27E+06	6.11E+04	5.259151	2.345469	2.12E+06	1.78E+04
3.729018	0.815336	7.13E+06	6.00E+04	5.292632	2.37895	1.98E+06	1.66E+04
3.811825	0.898143	6.98E+06	5.87E+04	5.33771	2.424028	1.76E+06	1.48E+04
3.871856	0.958174	6.87E+06	5.77E+04	5.368696	2.455014	1.60E+06	1.35E+04
3.912637	0.998955	6.79E+06	5.71E+04	5.431891	2.518209	1.28E+06	1.08E+04
3.957786	1.044104	6.70E+06	5.63E+04	5.478328	2.564646	1.08E+06	9.05E+03
3.995838	1.082156	6.62E+06	5.56E+04	5.51191	2.598228	9.28E+05	7.80E+03
4.052823	1.139141	6.51E+06	5.47E+04	5.577834	2.664152	6.54E+05	5.50E+03
4.127813	1.214131	6.32E+06	5.31E+04	5.633274	2.719592	4.70E+05	3.95E+03
4.211216	1.297534	6.10E+06	5.12E+04	5.661679	2.747997	4.37E+05	3.67E+03
4.276416	1.362734	5.92E+06	4.98E+04	5.691399	2.777717	4.13E+05	3.47E+03
4.324338	1.410656	5.80E+06	4.87E+04	5.752138	2.838456	3.94E+05	3.31E+03
4.359448	1.445766	5.70E+06	4.79E+04	5.788408	2.874726	2.93E+06	2.46E+04
4.391081	1.477399	5.61E+06	4.72E+04	5.807853	2.894171	4.81E+06	4.05E+04
4.437981	1.524299	5.46E+06	4.59E+04				
4.499439	1.585757	5.25E+06	4.41E+04				
4.553034	1.639352	5.04E+06	4.24E+04				
4.603264	1.689582	4.85E+06	4.07E+04				
4.648259	1.734577	4.65E+06	3.91E+04				
4.70318	1.789498	4.42E+06	3.71E+04				
4.791316	1.877634	4.05E+06	3.40E+04				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ค่าโมเมนต์ของโครงสร้างรอยเชื่อมรูปแบบบันไดที่นำมาสร้างกราฟ

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
0	-2.89961	5.08E+06	4.27E+04	1.829589	-1.07002	6.64E+06	5.58E+04
0.060807	-2.8388	1.75E+06	1.47E+04	1.901865	-0.99774	6.81E+06	5.73E+04
0.100569	-2.79904	1.59E+05	1.34E+03	1.954821	-0.94479	6.91E+06	5.81E+04
0.168066	-2.73154	3.10E+05	2.60E+03	2.008134	-0.89148	7.00E+06	5.88E+04
0.222712	-2.6769	5.56E+05	4.67E+03	2.060556	-0.83905	7.09E+06	5.96E+04
0.309422	-2.59019	9.71E+05	8.16E+03	2.165655	-0.73395	7.26E+06	6.10E+04
0.411404	-2.48821	1.46E+06	1.23E+04	2.23741	-0.6622	7.37E+06	6.19E+04
0.492869	-2.40674	1.83E+06	1.54E+04	2.270504	-0.62911	7.40E+06	6.22E+04
0.566643	-2.33297	2.16E+06	1.82E+04	2.323064	-0.57655	7.46E+06	6.27E+04
0.627567	-2.27204	2.44E+06	2.05E+04	2.369311	-0.5303	7.51E+06	6.31E+04
0.735293	-2.16432	2.93E+06	2.46E+04	2.421732	-0.47788	7.57E+06	6.36E+04
0.782932	-2.11668	3.13E+06	2.63E+04	2.47365	-0.42596	7.62E+06	6.40E+04
0.890896	-2.00871	3.56E+06	2.99E+04	2.53294	-0.36667	7.68E+06	6.45E+04
0.943996	-1.95561	3.78E+06	3.17E+04	2.592095	-0.30751	7.71E+06	6.48E+04
1.017416	-1.88219	4.07E+06	3.42E+04	2.736031	-0.16358	7.78E+06	6.53E+04
1.050916	-1.84869	4.18E+06	3.51E+04	2.813341	-0.08627	7.80E+06	6.55E+04
1.077622	-1.82199	4.28E+06	3.60E+04	2.879062	-0.02055	7.80E+06	6.55E+04
1.130997	-1.76861	4.49E+06	3.78E+04	2.950402	0.050793	7.80E+06	6.55E+04
1.20464	-1.69497	4.82E+06	4.05E+04	3.00247	0.102861	7.79E+06	6.54E+04
1.264668	-1.63494	5.09E+06	4.28E+04	3.054517	0.154908	7.78E+06	6.53E+04
1.318307	-1.5813	5.29E+06	4.45E+04	3.119446	0.219837	7.75E+06	6.51E+04
1.37862	-1.52099	5.47E+06	4.59E+04	3.203329	0.30372	7.71E+06	6.48E+04
1.451941	-1.44767	5.69E+06	4.78E+04	3.293908	0.394299	7.64E+06	6.42E+04
1.57895	-1.32066	6.04E+06	5.08E+04	3.389587	0.489978	7.55E+06	6.34E+04
1.691436	-1.20817	6.33E+06	5.32E+04	3.465357	0.565748	7.48E+06	6.28E+04
1.744226	-1.15538	6.45E+06	5.42E+04	3.542534	0.642925	7.38E+06	6.21E+04
1.797367	-1.10224	6.57E+06	5.52E+04	3.63883	0.739221	7.25E+06	6.09E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dist		Stress	Moment	Dist		Stress	Moment
3.670895	0.771286	7.20E+06	6.05E+04	5.46056	2.560951	1.11E+06	9.36E+03
3.722116	0.822507	7.12E+06	5.98E+04	5.491786	2.592177	9.61E+05	8.08E+03
3.747338	0.847729	7.08E+06	5.95E+04	5.560464	2.660855	6.23E+05	5.24E+03
3.806428	0.906819	6.98E+06	5.86E+04	5.610785	2.711176	3.78E+05	3.18E+03
3.870293	0.970684	6.86E+06	5.77E+04	5.660714	2.761105	1.91E+05	1.60E+03
3.934063	1.034454	6.72E+06	5.65E+04	5.704016	2.804407	2.35E+05	1.97E+03
4.009325	1.109716	6.55E+06	5.51E+04	5.735209	2.8356	2.23E+06	1.87E+04
4.086031	1.186422	6.38E+06	5.36E+04	5.760141	2.860532	2.91E+06	2.45E+04
4.155486	1.255877	6.22E+06	5.23E+04	5.775673	2.876064	3.63E+06	3.05E+04
4.256923	1.357314	5.94E+06	4.99E+04	5.792573	2.892964	4.63E+06	3.89E+04
4.307572	1.407963	5.79E+06	4.87E+04				
4.414283	1.514674	5.49E+06	4.61E+04				
4.457722	1.558113	5.36E+06	4.51E+04				
4.5082	1.608591	5.20E+06	4.37E+04				
4.564936	1.665327	4.96E+06	4.16E+04				
4.658624	1.759015	4.53E+06	3.81E+04				
4.759613	1.860004	4.14E+06	3.48E+04				
4.803599	1.90399	3.98E+06	3.35E+04				
4.860091	1.960482	3.75E+06	3.16E+04				
4.898506	1.998897	3.60E+06	3.02E+04				
5.004331	2.104722	3.17E+06	2.67E+04				
5.07949	2.179881	2.88E+06	2.42E+04				
5.154597	2.254988	2.53E+06	2.12E+04				
5.198462	2.298853	2.31E+06	1.94E+04				
5.219121	2.319512	2.22E+06	1.86E+04				
5.280885	2.381276	1.94E+06	1.63E+04				
5.330886	2.431277	1.72E+06	1.44E+04				
5.386742	2.487133	1.47E+06	1.23E+04				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

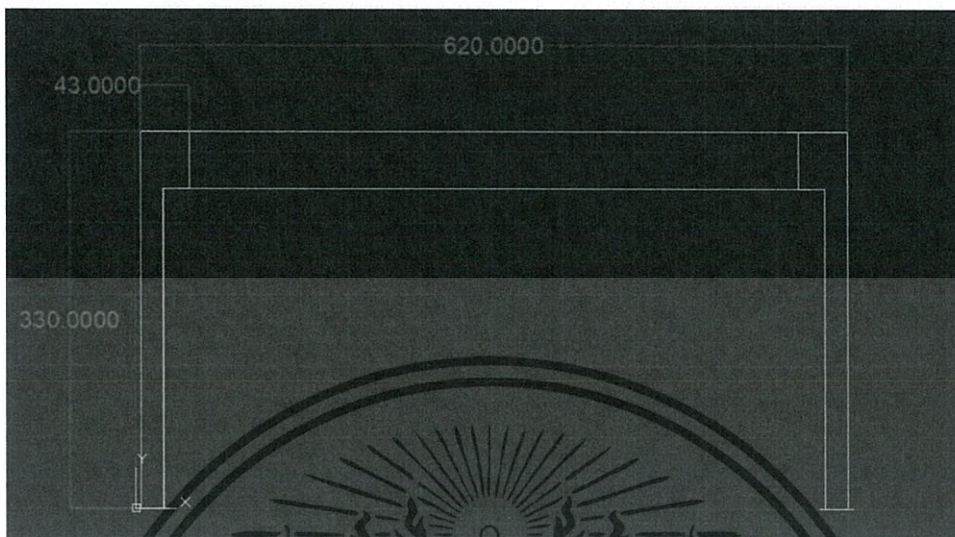


ภาคผนวก ข

รายละเอียดโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายละเอียดของโครงสร้าง

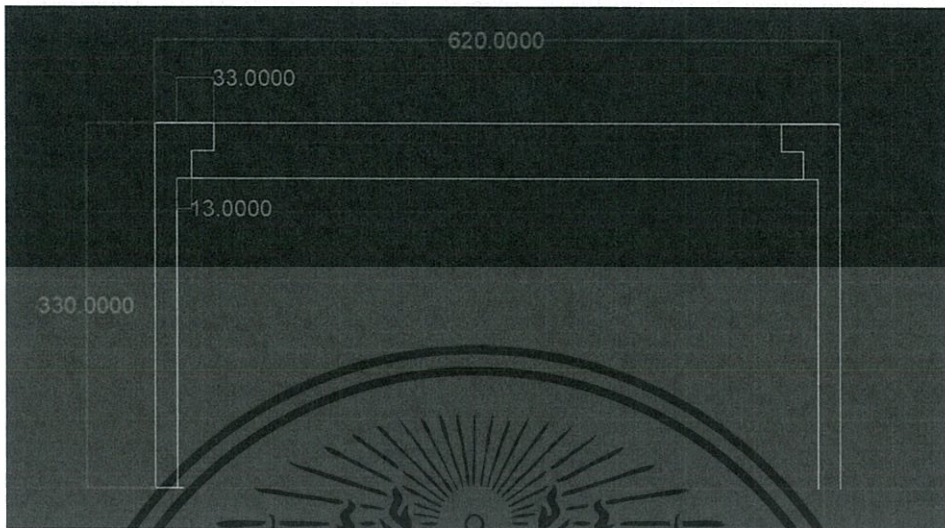


รูปที่ 6.8 แพลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบเส้นตรง

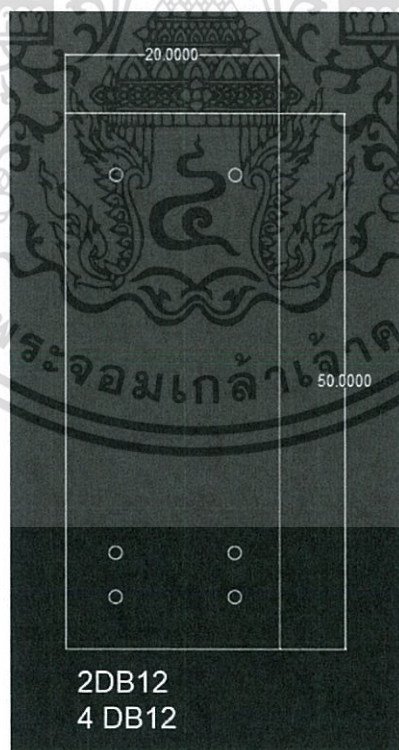


รูปที่ 6.9 แพลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

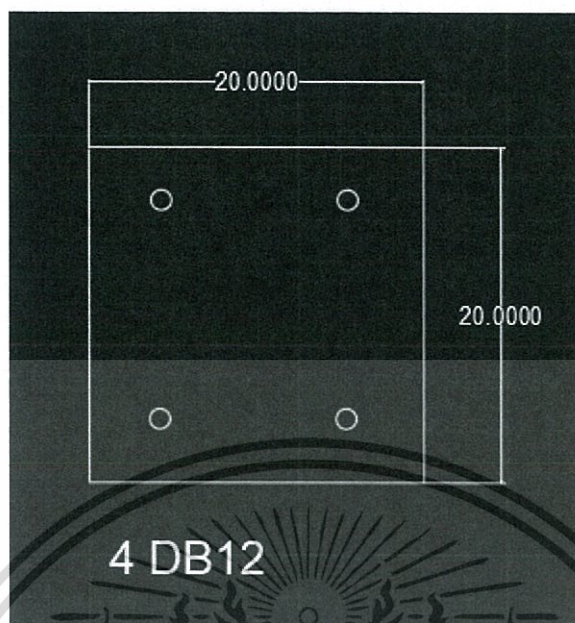


รูปที่ 6.10 แพลนโครงสร้างที่มีจุดเชื่อมต่อแบบบันได

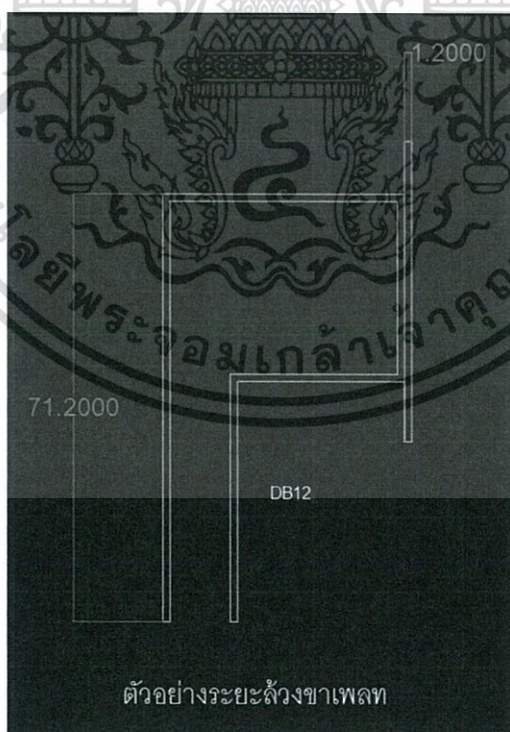


รูปที่ 6.11 แพลนรูปตัดของคานสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 แพลนรูปตัดของเสาสำเร็จรูป



รูปที่ 6.13 แพลนรูปตัดของเพลาเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้