

แบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงหลังคาเหล็ก  
เมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน  
RESEARCHING OF STEEL TRUSS MODEL BEHAVIOR  
WHEN TAKING OF HEAT EFFECT



โดย  
นายวิหวัศ ณ สงขลา  
นายเอกภพ โกจันทร์

เลขหม.....  
เลขทะเบียน... 36777  
วัน, เดือน, ปี... 28 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RESEARCHING OF STEEL TRUSS MODEL BEHAVIOR  
WHEN TAKING OF HEAT EFFECT**



**Mr.WITTAWAT NA SONGKHLA  
Mr.EKKAPOP KOCHANTUK**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER, FACULTY OF ENGINEER  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRANANG**

**1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ แบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงหลังคาเหล็ก  
เมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน

นักศึกษา นายวิฑูรย์ ฒ สงขลา รหัสประจำตัว 39014482  
นายเอกภพ โกจันทร์ก รหัสประจำตัว 39014680

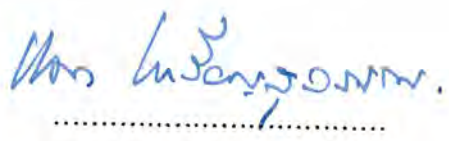
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์  
อาจารย์ สกฤต ห่อวโนทยาน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์	
อาจารย์ สกฤต ห่อวโนทยาน	
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิต	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	แบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงหลังคาเหล็ก เมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน RESEARCHING OF STEEL TRUSS MODEL BEHAVIOR WHEN TAKING OF HEAT EFFECT
นักศึกษา	นายวิทวัส ณ สงขลา นายเอกภพ โกจันทิก
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ อาจารย์สฤต ห่อวโนทยาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2542

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมของโครงหลังคาเหล็ก เมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อนจากความร้อนโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งนำมาเผาในเตาเผาและเพิ่มอุณหภูมิขึ้นตามมาตรฐานของ ASTM E119 เพื่อดูพฤติกรรมของแต่ละชิ้นส่วนในโครงสร้าง และทำการตรวจสอบหาชิ้นส่วนวิกฤติในแต่ละแบบของโครงสร้าง และนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขโดยใช้วิธีเพิ่มขนาดหน้าตัด จะเป็นผลให้มีค่าส่วนปลอดภัยเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันมีวิธีการป้องกันโครงสร้างเหล็กเมื่อถูกเพลิงไหม้ได้หลายวิธี ซึ่งในการนำเสนอวิธีนี้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : RESEARCHING OF STEEL TRUSS MODEL BEHAVIOR  
WHEN TAKING OF HEAT EFFECT

Name : Mr.WITTAWAT NA SONGKHLA  
Mr.EKKAPOP KOCHANTUK

Field : CONSTRUCTION ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : Mr.SUWAT TIRASED  
Mr.SAKUL HOVANOTAYAN

## ABSTRACT

This thesis is studying for behavior of steel truss when taking of heat effect by using model to burn in furnace and increase temperature with standard of ASTM E 119. In order to study behavior in each members and analyze to find critical member for develop by increase section area. As a result, value of safty factors are increase. At present have many method to protect steel structure from fire hazard with high cost. In this presentation can decrease construction cost.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ คุณความดีขอมอบให้แก่บุคคลผู้มีความอนุเคราะห์ ตลอดจนแนะนำในด้านต่าง ๆ ต่อผู้จัดทำดังต่อไปนี้

อาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ และอาจารย์ สกฤต ห่อว โนทยาน อาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำแนะนำในการค้นคว้า คุณทองหล่อ เจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติงานเซรามิกซ์ ที่กรุณาช่วยเหลือและดูแลความปลอดภัยในการใช้เตาเผา คุณมณฑาเจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติการของภาคเครื่องกล ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาวิธีการใช้เครื่องเชื่อม คุณฉอ้อน เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในความสะดวกในการปฏิบัติงาน ตลอดจนเพื่อนๆผู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านต่างๆ และที่ขาดไม่ได้คือบุพการีที่ให้ความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้ในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นายวิทวัส ณ สงขลา

นายเอกภพ โกจันทิก

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน	ก
	ปกในภาษาอังกฤษ	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูปภาพ	ฎ
1	บทนำ	
	1.1. บทนำ	1
	1.2. ความเป็นมาของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
	1.4. ภูมิหลังการศึกษา	2
	1.5. ขอบเขตของการศึกษา	4
2	ลักษณะและพฤติกรรมของเพลิงไหม้โครงหลังคาเหล็ก	
	2.1. บทนำ	5
	2.2. ลักษณะและพฤติกรรมของเพลิงไหม้	5
	2.3. ขบวนการเกิดเพลิงไหม้	8
	2.4. ปริมาณของไฟ	11
	2.5. พื้นที่ของช่องเปิด	11
	2.6. เส้นโค้งมาตรฐานไฟและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ	12
	2.7. แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.8. เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา	12
	2.9. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ	13
	2.10 อิทธิพลของไฟที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุพื้นฐาน	14
3	วิธีการสร้างแบบจำลอง	
	3.1. บทนำ	20
	3.2. ทฤษฎีความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์	20
	3.3. การหาขนาดหน้าตัดเหล็กในแบบจำลอง	23
	3.4. การกำหนดค่าแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง	24
4	วิธีการดำเนินการทดลอง	
	4.1. บทนำ	26
	4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
	4.3. สถานที่ดำเนินการทดลอง	26
	4.4. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	27
	4.5. วิธีการทดสอบ	27
5	ผลการทดลอง	
	5.1. บทนำ	30
	5.2. จุดกำหนดในตารางแสดงผลการทดลอง	
	5.2.1. จุดกำหนดโครงหลังคาแบบ 3 ระบาย	30
	5.2.2. จุดกำหนดโครงหลังคาแบบระบายเดียว	31
	5.3. การกำหนดชิ้นส่วนโครงหลังคา	32
	5.4. ผลการทดลอง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
6	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	68
	บรรณานุกรม	71
	ภาคผนวก ก.	73
	ภาคผนวก ข.	77
	ภาคผนวก ค.	90
	ภาคผนวก ง.	103
	ภาคผนวก จ.	119
	ภาคผนวก ซ.	121



# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงสมบัติของเชื้อเพลิงพื้นฐานที่จะให้ความร้อน	7
2.2.	แสดงสีของเหล็กออกไซด์ที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ	18
5.1.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1	32
5.1.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2	32
5.1.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	33
5.2.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1	35
5.2.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2	36
5.2.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	37
5.3.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบระบายเดี่ยว ตัวอย่างที่ 1	38
5.3.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบระบายเดี่ยว ตัวอย่างที่ 2	38
5.3.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบHowe แบบระบายเดี่ยว ตัวอย่างที่ 3	38
5.4.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบระบายเดี่ยว ตัวอย่างที่ 1	41
5.4.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบระบายเดี่ยว ตัวอย่างที่ 2	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.4.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3	43
5.5.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 1	44
5.5.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 2	44
5.5.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 3	45
5.6.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 1	47
5.6.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 2	48
5.6.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 3	49
5.7.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1	50
5.7.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2	50
5.7.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของ โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3	50
5.8.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1	52
5.8.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.8.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1	54
5.9.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	55
5.9.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	55
5.9.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	56
5.10.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	58
5.10.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	59
5.10.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบHowe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	60
5.11.(ก)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	61
5.11.(ข)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	61
5.11.(ค)	แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของโครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	62
5.12.(ก)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	64
5.12.(ข)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	65
5.12.(ค)	แสดงค่า Strain โครงหลังคาแบบPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ง.1.(ก)	แสดงหน่วยแรงอัดที่ยอมรับให้	104
ผ.ง.1.(ข)	แสดงหน่วยแรงอัดที่ยอมรับให้	105
ผ.ง.2.(ก)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	106
ผ.ง.2.(ข)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	107
ผ.ง.2.(ค)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	108
ผ.ง.2.(ง)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	109
ผ.ง.2.(จ)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	110
ผ.ง.2.(ฉ)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Howe	111
ผ.ง.3.(ก)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	112
ผ.ง.3.(ข)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	113
ผ.ง.3.(ค)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	114
ผ.ง.3.(ง)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	115
ผ.ง.3.(จ)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	116
ผ.ง.3.(ฉ)	แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงหลังคาแบบ Pratt	117
ผ.จ.1.	แสดงตารางการให้ความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E119	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
1.1.	แสดงระดับความแม่นยำและอัตราค่าใช้จ่ายในการทดสอบ	3
2.1.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง	8
2.2	แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาตามมาตรฐานของ ASTM E 119	13
2.3.	แสดงการแปลงความรุนแรงของไฟเสมือน	14
2.4.	แสดงกำลังของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ	18
2.5.	แสดงกำลังคลาก กำลังประลัย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าพิกัดเส้นตรงของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ	19
3.1.	แสดงความคล้อยคดของเรขาคณิตของเข็มนาฬิกา	21
3.2.	แสดงการเปรียบเทียบแรงในแบบจริงและในแบบจำลอง	23
4.1	แสดงขนาดแบบจำลองของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว	27
4.2.	แสดงขนาดแบบจำลองของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระนาบเดียว	27
4.3.	แสดงขนาดแบบจำลองของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ	28
4.4.	แสดงขนาดแบบจำลองของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบ	28
5.1.	แสดงการกำหนดจุดบนโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ	29
5.2.	แสดงการกำหนดจุดบนโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบ	30
5.3.	แสดงการกำหนดจุดบนโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว	31
5.4.	แสดงการกำหนดจุดบนโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระนาบเดียว	31
5.5.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 1	33
5.5.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 2	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
5.5.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	34
5.6.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1	35
5.6.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2	36
5.6.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	37
5.7.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1	39
5.7.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2	39
5.7.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3	40
5.8.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1	41
5.8.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2	42
5.8.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3	43
5.9.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1	45
5.9.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2	46
5.9.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
5.10.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1	47
5.10.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2	48
5.10.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3	49
5.11.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 1	51
5.11.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 2	51
5.11.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 3	51
5.12.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 1	52
5.12.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 2	53
5.12.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบระบายที่เดียว ตัวอย่างที่ 3	54
5.13.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบายภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	56
5.13.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบายภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	57
5.13.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบายภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	57
5.14.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบายภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
5.14.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	59
5.14.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	60
5.15.(ก)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	62
5.15.(ข)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	63
5.15.(ค)	แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆ ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	63
5.16.(ก)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1	64
5.16.(ข)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2	65
5.16.(ค)	แสดงกราฟค่า Strain ของโครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3	66
ผ.ข.1.	แสดงการใส่ค่าในโปรแกรม คอมพิวเตอร์	77
ผ.ข.2.(ก)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	77
ผ.ข.2.(ข)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	78
ผ.ข.2.(ค)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	78
ผ.ข.3.(ก)	แสดงการกำหนดจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	79
ผ.ข.3.(ข)	แสดงการกำหนดจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	79
ผ.ข.4.	แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดรองรับในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	80
ผ.ข.5.(ก)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	80
ผ.ข.5.(ข)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	81
ผ.ข.5.(ค)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปลูกภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
ผ.ข.5.(ง)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	82
ผ.ข.5.(จ)	แสดงการต่อเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	82
ผ.ข.6.(ก)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	83
ผ.ข.6.(ข)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	83
ผ.ข.6.(ค)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	84
ผ.ข.6.(ง)	แสดงการใส่ค่าเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	84
ผ.ข.6.(จ)	แสดงการเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	85
ผ.ข.7.(ก)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	85
ผ.ข.7.(ข)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	86
ผ.ข.7.(ค)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe	86
ผ.ข.8.(ก)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	87
ผ.ข.8.(ข)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	87
ผ.ข.8.(ค)	แสดงผลการวิเคราะห์ ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt	88
ผ.ค.1.	แสดงการใส่ค่าในโปรแกรม คอมพิวเตอร์	90
ผ.ค.2.(ก)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	90
ผ.ค.2.(ข)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	91
ผ.ค.2.(ค)	แสดงการใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	91
ผ.ค.3.(ก)	แสดงการกำหนดจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	92
ผ.ค.3.(ข)	แสดงการกำหนดจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	92
ผ.ค.4	แสดงการกำหนดจุดรองรับในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	93
ผ.ค.5.(ก)	แสดงการกำหนดจุดรองรับในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระนาบริม	93
ผ.ค.5.(ข)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Howe	94
ผ.ค.5.(ค)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Howe	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
ผ.ค.5.(ค)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Howe	95
ผ.ค.5.(ง)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Howe	95
ผ.ค.5.(จ)	แสดงการเชื่อมต่อชิ้นส่วนของ โครงแบบ Howe	95
ผ.ค.6.(ก)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Pratt	96
ผ.ค.6.(ข)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Pratt	96
ผ.ค.6.(ค)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Pratt	97
ผ.ค.6.(ง)	แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อ โครงแบบ Pratt	97
ผ.ค.6.(จ)	แสดงการเชื่อมต่อชิ้นส่วนของ โครงแบบ Pratt	98
ผ.ค.7.(ก)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe ระนาบริม	98
ผ.ค.7.(ข)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe ระนาบริม	99
ผ.ค.7.(ค)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe ระนาบริม	99
ผ.ค.8.(ก)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt ระนาบริม	100
ผ.ค.8.(ข)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt ระนาบริม	100
ผ.ค.8.(ค)	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt ระนาบริม	101
ผ.ง.1.	แสดง โครงหลังคาแบบ Howe	103
ผ.ง.2.	แสดง โครงหลังคาแบบ Pratt	103
ผ.ช.1.	แสดงรอยเชื่อม Fixed Support	121
ผ.ช.2.	แสดง Free Support	121
ผ.ช.3.	แสดงการติดตั้งแรงลมสมมติ	122
ผ.ช.4.	แสดงการติดตั้งน้ำหนักบรรทุก	122
ผ.ช.5.	แสดงเตาที่ใช้ในการทดลองเผา	123
ผ.ช.6.	แสดงลักษณะการวิบัติของ โครงหลังคา	123
ผ.ช.7.	แสดงการวิบัติของ โครงหลังคาแบบ Howe	124
ผ.ช.8.	แสดงการวิบัติของ โครงหลังคาแบบ Pratt	124
ผ.ช.9.	แสดงการเตรียมการทดสอบ โครงหลังคาแบบองค์ประกอบเดี่ยว	125
ผ.ช.10.	แสดงการวิบัติของ โครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว แบบ Howe	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	ชื่อรูปภาพ	หน้า
ผ.ช.11.	แสดงจุดวิบัติของโครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว แบบ Howe	126
ผ.ช.12.	แสดงการวิบัติของโครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว แบบ Pratt	126
ผ.ช.13.	แสดงจุดวิบัติของโครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว แบบ Pratt	127
ผ.ช.14.	แสดงการวิบัติของโครงประกอบแบบ Howe	127
ผ.ช.15.	แสดงจุดวิบัติของโครงประกอบแบบ Howe	128
ผ.ช.16.	แสดงการวิบัติของโครงประกอบแบบ Pratt	128
ผ.ช.17.	แสดงจุดวิบัติของโครงประกอบแบบ Pratt	129
ผ.ช.18.	แสดงการวิบัติของโครงประกอบแบบ Howe ที่ได้ทำการพัฒนาแล้ว	129
ผ.ช.19.	แสดงการวิบัติของโครงประกอบแบบ Pratt ที่ได้ทำการพัฒนาแล้ว	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้สถิติเพลิงไหม้ได้เกิดเพิ่มขึ้นมากกับ โครงสร้างของอาคาร โครงสร้างเหล็ก เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีความรุนแรงมากน้อยแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นกับตัวประกอบหลายอย่าง เพลิงดำไหม้ซึ่งนานมากเท่าไรก็ยิ่งจะทวีความรุนแรงและเพิ่มความเสียหายให้กับ โครงสร้างมากยิ่งขึ้นเท่านั้น ไม่เพียงแต่สร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างแต่ยังทำให้เกิดความเสียหาย แก่ทรัพย์สิน และยังอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตมนุษย์อีกด้วย ดังนั้นวิศวกรจึงได้เริ่มตระหนักถึงผลกระทบของเพลิงไหม้ที่มีอิทธิพลต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างกันมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากข้อกำหนดที่แน่นอนหรือตำราที่เขียนเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยตรงได้ยาก เนื่องจากไฟถือว่าเป็นแรงกระทำ อย่างหนึ่งที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง ทั้งนี้ เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้มีแรงเกิดขึ้น กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีการยึดรั้ง และส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งในด้าน กำลัง ความแข็ง และเสถียรภาพได้

### 1.2. ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากโดยธรรมชาติของ โครงหลังคาเหล็กเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดการสูญเสีย ค่าความแข็งแรงและเกิดการเสียรูปไป วิธีที่จะทำให้ผู้ศึกษาเข้าใจได้ดีขึ้นควรมีการทดลองให้เห็นจริง การทดลองทางโครงสร้างนั้นไม่อาจใช้โครงสร้างที่มีขนาดเท่าขนาดจริงมาทำการทดสอบได้โดย สะดวก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงและบางครั้งมีขนาดใหญ่มากเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้แบบ จำลองโครงหลังคาเหล็กเพื่อทำการทดสอบ โดยขนาดของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกในการ ทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อนเนื่องจากอัคคีภัย และนำไป ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณา ตลอดจนเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 1 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.3.1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของโครงหลังคาเหล็ก เมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน

1.3.2. เพื่อตรวจสอบว่าชิ้นส่วนใดเป็นชิ้นส่วนวิกฤติของโครงหลังคาเหล็กเมื่อได้รับผลกระทบ

1.3.3. เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาถึงความสามารถในการทนความร้อนของโครงหลังคาเหล็กตลอดจนเสนอแนวทางแก้ไขเพื่อให้สามารถทนความร้อนได้เพิ่มขึ้น

### 1.4. ภูมิหลังการศึกษาการสูญเสียความแข็งแรงและการเสียรูปของโครงหลังคาเหล็กเมื่อได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน

งานค้นคว้าเกี่ยวกับไฟและการทดสอบการทนไฟของวัสดุที่มาประกอบเป็นโครงสร้างมีมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 ทั้งนี้เนื่องจากได้ตระหนักถึงความเสียหายและการพังทลายของอาคารที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง การทดสอบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับไฟส่วนใหญ่จะเน้นในด้านความต้านทาน ความทนทาน พฤติกรรมการรับกำลัง และความแข็งแรงของโครงสร้าง ที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าอ้างอิง สรุปได้ดังนี้

ในปี ค.ศ.1920 INGBERG[1] ศึกษาพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารจริงๆ และได้สรุปเป็นแนวความคิดไว้ว่า “แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ” ซึ่งสถาบันมาตรฐาน ASTM ได้นำแนวความคิดดังกล่าวมาใช้พัฒนาเป็นโศกมาตรฐานในการทดสอบไฟขึ้น เพื่อออกแบบการเกิดเพลิงไหม้จริงมีข้อสำคัญอยู่ 2 ข้อดังนี้

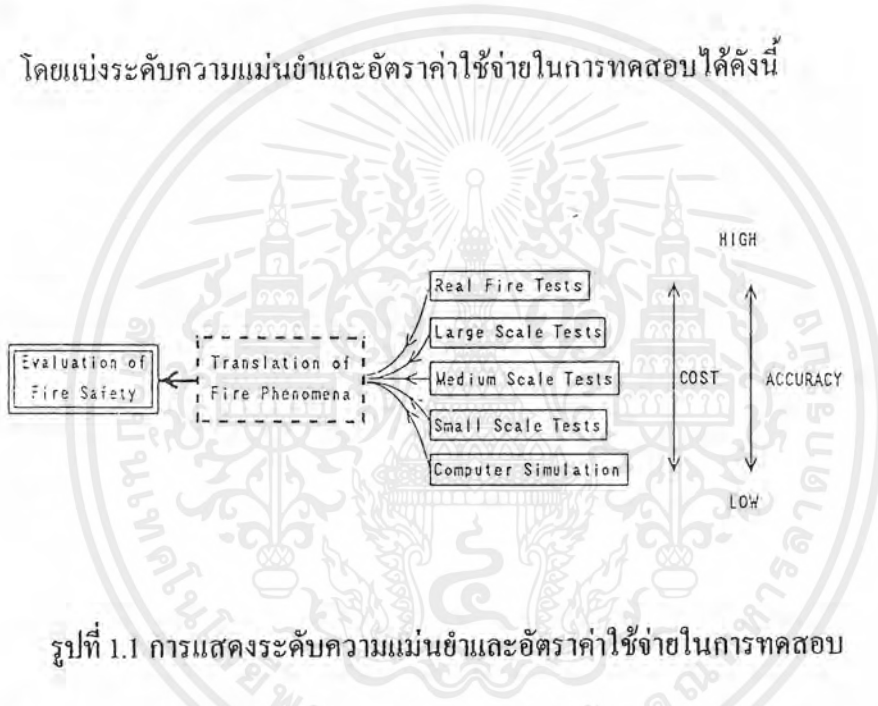
1. ความทนทานของชิ้นส่วนขึ้นอยู่กับความรุนแรงของไฟ(Fire Severity) เพียงอย่างเดียว
2. ความรุนแรงของไฟขึ้นอยู่กับความเข้มของไฟ(Fire Load Density) เพียงอย่างเดียว

I. NAKAYA, M. YOSHIDA, T. GOTOH, Y. HIRANO, S. KOSE, Y. KITAGAWA, Y. MIMURA และ S. KOIZUMI จากสถาบันค้นคว้างานอาคาร กระทรวงการก่อสร้าง ของประเทศญี่ปุ่น (Building Research Institute, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan) และ K. SUZUKI และ K. INOUE จากสำนักงานสร้างบ้าน กระทรวงการก่อสร้าง ของประเทศญี่ปุ่น[2] ได้ทำการศึกษาและเขียนผลงานออกมาในเรื่องมาตรฐานการทดสอบวัสดุทนไฟในประเทศญี่ปุ่น ตามมาตรฐาน ISO โดยแบ่งระดับการทดสอบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Real fire test ใช้บ้านขนาดเท่าของจริงมาทำการทดสอบและใช้ความรุนแรงของไฟเต็มสเกล ซึ่งการทดสอบนี้จะทำทุกๆ 2 – 3 ปี
2. Large scale test ใช้แบบห้องจำลองเท่าขนาดจริง
3. Medium scale test ใช้แบบจำลองขนาดปานกลางในการทดสอบ
4. Small scale test ใช้ชิ้นวัสดุขนาดเล็กมาทดสอบ ซึ่งคล้ายกับมาตรฐานการทดสอบของ ISO
5. Computer simulation ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผล

โดยแบ่งระดับความแม่นยำและอัตราค่าใช้จ่ายในการทดสอบได้ดังนี้



รูปที่ 1.1 การแสดงระดับความแม่นยำและอัตราค่าใช้จ่ายในการทดสอบ

ในปี พ.ศ. 2530 ดร. มานะ มหาสุวีระชัย [3] กองวิศวกรรมโยธา กรมโยธาธิการ ได้เขียนบทความเรื่อง “ พฤติกรรมและการทดสอบอาคารคอนกรีตเมื่อถูกเพลิงไหม้” โดยได้เขียนถึงอิทธิพลของไฟต่อวัสดุพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยเหล็กและคอนกรีต และยังกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของทฤษฎีโครงสร้าง ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึงอยู่ 3 ข้อใหญ่คือ กำลังของโครงสร้าง, ความแข็งแรงของโครงสร้างและ เสถียรภาพของโครงสร้าง

ในปี พ.ศ. 2539 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย[4] ได้นำบทความเกี่ยวกับการทดสอบอัตราการทนไฟของวัสดุก่อสร้างและมาตรการป้องกันภัยพิบัติจากเพลิงไหม้ โดยในบทความนั้นได้พยายามเสนอแนะให้สถาปนิกและวิศวกรได้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่แท้จริงของวัสดุก่อสร้างเกี่ยวกับการติดไฟ การไหม้ไฟและการทนไฟ เพื่อที่จะได้สามารถเลือกใช้ให้สอดคล้องกับการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา3และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอยอาคาร อีกทั้งยังเสนอแนะวิธีและมาตรฐานการทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจและความเชื่อถือทาง  
โครงสร้างมากยิ่งขึ้น

### 1.5. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.5.1. ศึกษาทฤษฎีความคล้ายคลึงเพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองโครงหลังคาเหล็ก
- 1.5.2. ศึกษาแนวโน้มของโครงหลังคาเหล็กเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้แบบจำลอง
- 1.5.3. ศึกษาความสามารถในการทนความร้อนของโครงหลังคาเหล็ก โดยใช้แบบจำลอง
- 1.5.4. ศึกษาคุณสมบัติของเหล็กgrupพรรณ
- 1.5.5. เสนอแนวทางการแก้ไขเพื่อความสามารถในการทนความร้อนของโครงหลังคาเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ลักษณะและพฤติกรรมของเพลิงไหม้โครงหลังคาเหล็ก

### 2.1 กล่าวนำ

เพลิงไหม้เป็นอันตรายร้ายแรงอย่างหนึ่งทำให้เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์ ธรรมชาติของเพลิงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความร้อน แต่เพลิงที่เกิดขึ้นในอาคารส่วนใหญ่เกิดจากแหล่งเชื้อเพลิงที่ติดไฟเล็ก ๆ แล้วย่อย ๆ เพิ่มตัวขึ้นเรื่อย ๆ แหล่งเชื้อเพลิงหรือที่ให้ความร้อนต่าง ๆ นั้นบางอย่างอาจจะเป็นเปลวไฟจากไม้ขีดไฟ ความร้อนจากเตาเผาในโรงงาน หรืออาจจะเป็นเพลิงที่เกิดจากการช็อตของไฟฟ้าก็เป็นได้ เป็นต้น อัตราการเพิ่มตัวของไฟโดยทั่ว ๆ ไปแล้วขึ้นกับความสัมพัทธ์ระหว่าง อัตราความร้อนที่เรป้อนเข้าไปนั่นคือ สิ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ทั้งหมดที่มีอยู่ภายในอาคาร กับ อัตราของความร้อนที่กระจายออกมา ถ้าความร้อนที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากกว่าความร้อนที่กระจายออกมาแล้วอัตราการเพิ่มตัวของเพลิงก็จะเพิ่มมากขึ้นได้

### 2.2 ลักษณะและพฤติกรรมของเพลิงไหม้[1,5,6]

เพลิงไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงรวมตัวกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น เชื้อเพลิงต้องอยู่ในรูปของก๊าซหรือไอ จึงจะผสมกับออกซิเจน และอุณหภูมิต้องสูงถึงระดับที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาถูกไขขึ้น ความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในอาคารจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสองปัจจัย คือ เชื้อเพลิงหรือสิ่งที่สามารถติดไฟได้ที่มีอยู่ภายในอาคาร และพื้นที่ของช่องเปิดภายในอาคาร ปัจจัยดังกล่าวสามารถแปรเปลี่ยนได้และไม่สามารถที่จะกำหนดให้ตายตัว ดังนั้นการที่จะกำหนดค่าความรุนแรงของไฟจะต้องทราบข้อมูลความสัมพัทธ์อุณหภูมิกับเวลา

ความรุนแรงของไฟ คือ พลังงานความร้อนที่สามารถทำลายคุณสมบัติในด้านการต้านไฟและความทนทานไฟของวัสดุ ส่วนพลังงานความร้อนคือ พื้นที่ใต้เส้นโค้งความสัมพัทธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ เนื่องจากเส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ นั้นจะมีลักษณะแบบหนึ่งที่แตกต่างกันจากเส้นมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTM ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของมาตรฐานได้ โดยการกำหนดให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งมาตรฐานมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นคั่งจริงๆ นั่นคือ อาศัยหลักการของพลังงาน ASTM E 119 ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกันกับปริมาณไฟที่เกิดขึ้นจริงในอาคาร โดยมีความเข้มเท่ากับ 10 ปอนด์/ตร. ฟุต/ชม.

เชื้อเพลิง (Fuel) คือ สารใดๆ ที่จ่ายอิเล็กตรอนให้ออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เชื้อเพลิงอาจจะมีรูปเป็นธาตุ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน แมกนีเซียม หรืออยู่ในรูปสารประกอบ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) มีเทน(CH<sub>4</sub>) หรือสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ไม้ ยาง หรือส่วนผสมของทั้งสองชนิด เป็นต้น

จุดวาบไฟ (Flash Point) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเหลวจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอหรือก๊าซ เมื่อของเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นไปจนถึงจุดวาบไฟ จะทำให้มีไอระเหยออกมาอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการจุดไฟให้เกิดขึ้น (โดยการเกิดประกายไฟหรือจุดไฟโดยตรงก็ตาม) ก็จะทำให้มีไฟเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไฟเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้เรียกว่า จุดติดไฟ (Fire Point หรือ Ignition) และเมื่อของเหลวได้รับความร้อนต่อไปจนถึงเดือดและกลายเป็นไอ อุณหภูมิต่ำสุดที่ของเหลวเดือดเรียกว่า จุดเดือด (Boiling Point) และความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะเป็นไอหรือก๊าซ เข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วน และพร้อมที่จะถูกไหม้ได้ เราเรียกว่า ความร้อนถึงจุดวาบไฟ

เชื้อเพลิง	จุดวาบไฟ
น้ำมันเบนซิน	-45 องศาฟาเรนไฮท์
น้ำมันก๊าด	100 องศาฟาเรนไฮท์
น้ำมันหมู	395 องศาฟาเรนไฮท์
กระดาษ	250 – 300 องศาฟาเรนไฮท์
ไม้	350 – 400 องศาฟาเรนไฮท์

จุดติดไฟอัตโนมัติ (Autoignition Point) เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ส่วนผสมของไอระเหยจะติดไฟได้เอง โดยไม่อาศัยประกายไฟหรือเปลวไฟจากภายนอก และถูกไหม้ต่อไปโดยไม่ต้องมีความร้อนจากที่อื่นเพิ่มเติม การลามของเพลิงจากห้องที่ติดไฟไปยังบริเวณอื่น มักเป็นการพาความร้อนจากช่องเปิดต่างๆ รวมทั้งช่องว่างบริเวณประตูหน้าต่างหรือเป็นไปโดยการนำความร้อนผ่านผนังกันห้อง การออกแบบที่ดีสำหรับการป้องกันการขยายตัวของไฟ คือการแบ่งอาคาร(Compartmentation) ด้วยผนังกันไฟที่มีอัตรากันไฟขนาดหนึ่ง นอกจากนี้ การออกแบบหลังคาให้มีการจำกัดการขยายตัวของคานไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 6 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจัดให้มีช่องระบายควัน โดยเฉพาะสำหรับ โถงสูง และการเลือกใช้เพดานที่ไม่ติดไฟล้วนเป็นมาตรฐานการประกอบที่ดี

ศักยภาพของเชื้อเพลิง (Fuel Load) เป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพให้ไฟเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ในบริเวณ หรือห้องหนึ่งๆ ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย ในอาคาร ความรู้เรื่องศักยภาพของเชื้อเพลิงที่มีอยู่เป็นสิ่งจำเป็น เราอาจจะแบ่งประเภทของเชื้อเพลิงออกเป็น 2 ประเภทได้คือ ประเภทมีเส้นใยและประเภทปิโตรเคมี โดยสมมติว่าวัสดุในกลุ่มเส้นใยมีศักยภาพในการให้ความร้อนเท่ากับไม้ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ส่วนวัสดุในกลุ่มปิโตรเคมีจะมีศักยภาพในการให้ความร้อนเป็นสองเท่าของวัสดุในกลุ่มเส้นใย

ในการวิเคราะห์ศักยภาพของเชื้อเพลิงได้มีการกำหนดให้ใช้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงในหน่วยที่เทียบเท่ากับน้ำหนักของไม้เป็น กก./ตร.ม. ที่มีเชื้อเพลิงกองรวมอยู่ การประเมินพลังงานความร้อนที่วัสดุเชื้อเพลิงจะสร้างขึ้นมาได้ กระทำได้โดยการนำไปเทียบเคียงกับพลังงานความร้อนที่ให้ออกมาเมื่อมีไม้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ดังในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นค่าตัวเลขโดยประมาณเท่านั้น ตัวเลขเหล่านี้ใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบฉีดน้ำอัตโนมัติได้ดี

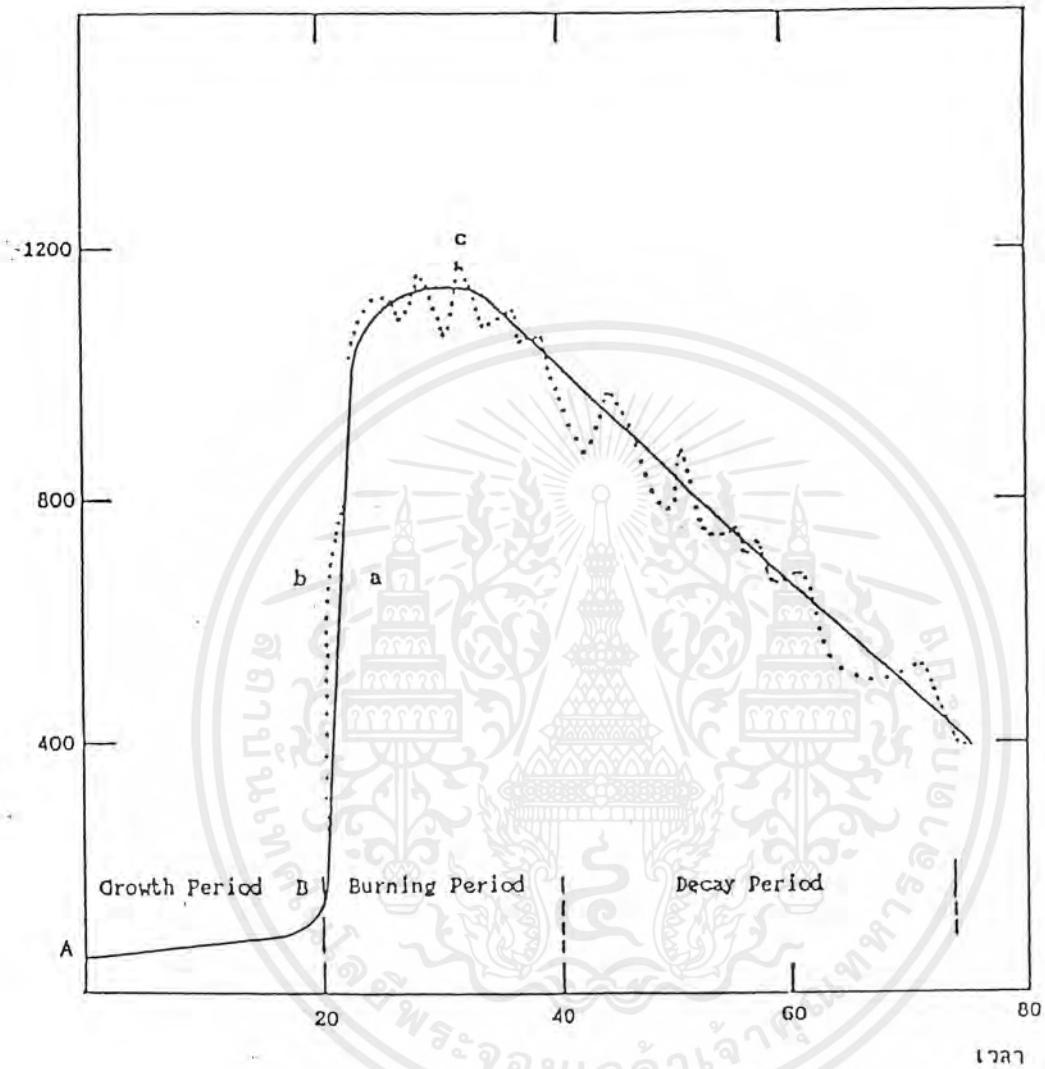
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (กก. / ตร.ม.)	ศักยภาพที่จะให้ความร้อน ( $10^6$ กิโลจูล / กก.)
ความหนาแน่น น้อยกว่า 200	18.6
ความหนาแน่น น้อยกว่า 250	17.7
ความหนาแน่น มากกว่า 250	16.7

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของเชื้อเพลิงพื้นฐานที่จะให้ความร้อน (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2538)

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีให้อย่างต่อเนื่อง เพราะว่าเพลิงจะถูกตามต่อไปไม่ได้ ถ้าไม่มีเชื้อเพลิงให้ ถ้าเชื้อเพลิงเป็นของแข็งหรือของเหลว เพลิงจะไหม้เฉพาะผิวชั้นนอกและผิวชั้นในถัดไปก็พร้อมที่จะระเหยเป็นไอสำหรับการเผาไหม้ในลำดับต่อไปเป็นชั้นๆไป เช่นนี้ ความรวดเร็วของการลุกไหม้ขึ้นอยู่กับความอัดแน่นของเชื้อเพลิง อธิบายว่า ถ้าเราเผากระดาษ 100 แผ่นที่มีรวมกันหลวมๆ พบว่าการลุกไหม้จะเร็วกว่าการเผาหนังสือเย็บเล่มหนา 100 แผ่น และขยะมูลฝอยที่กระจัดกระจายอยู่ตามพื้น ขอม้ไหม้ไฟไหม้เร็วกว่ากองขยะที่กองอัดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง

### 2.3 ขบวนการเกิดเพลิงไหม้[1,5,6]

การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นของไฟจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากถ้าสภาวะแวดล้อมเอื้ออำนวย เพลิงที่ไหม้ในอาคารภายในที่จำกัด เช่น ห้องทำงาน ห้องพักอาศัย ห้องเรียนหรือที่อื่น ๆ ไฟจะสามารถกระจายลุกลามไปได้อย่างรวดเร็วหรือ ไม่นั้นขึ้นกับว่าภายในห้องนั้นมีสิ่งติดไฟได้สะสมอยู่เป็นปริมาณมากน้อยเท่าไร และมีการถ่ายเทของอากาศได้ดีเพียงใด ดังนั้น จะเห็นว่าวัสดุอื่นหรือสิ่งอื่น ๆ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 8 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดไฟหรือติดไฟได้ยากนั้นจึงอาจติดไฟได้ด้วยและจะเกิดขึ้นภายในเวลาเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น ซึ่ง อุณหภูมิในตอนนั้นจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมาก

จากรูปที่ 2.1 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของไฟในรูปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ เวลาภายในห้องหนึ่ง ๆ ซึ่งมีเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งและมีการถ่ายเทอากาศแบบหนึ่ง เดี๋ยวกราฟ a เป็นกราฟ ของข้อมูลจริง ๆ ที่เก็บมาได้ ส่วนกราฟ b เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกราฟ a ช่วง A - B เป็นช่วงก่อนที่ จะเกิดเพลิงไหม้หมดทั้งห้องและเราเรียกช่วงนี้ว่า “ช่วงเริ่มก่อตัวของไฟ” (Growth period) ที่จุด b ช่วง เผาไหม้ (Burning period) จะเริ่มต้นขึ้น นั่นหมายความว่า ภายในห้องนั้น ได้เกิดเพลิงลุกไหม้จนทั่วหมด แล้ว ช่วงนี้ถือว่าการเพิ่มอุณหภูมิของไฟได้เกิดขึ้นเต็มที่ อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ว่าจะ เกิดในอัตราที่ลดลงเมื่อใกล้ถึงจุด c ซึ่งเป็นจุดที่ความร้อนได้จากสิ่งที่ถูกเผาไหม้ไปกับความร้อนที่สูญเสีย ไปกับกำแพงและสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันพอดี อุณหภูมิจะเริ่มลดลงเลขจุด c ไปถือว่าเป็นช่วงของการ สลายตัว (Decay period) แม้ว่าอุณหภูมิจะเริ่มลดลงแต่อุณหภูมิในช่วงนี้ยังสูงมากอยู่ซึ่งอาจจะทำให้เกิด การพังทลายของโครงสร้างได้ถ้าไหม้เป็นเวลานาน ๆ ติดต่อกันหลายชั่วโมง ในระหว่างที่ลุกไหม้ในช่วง ของการเผาไหม้หรือช่วงการสลายนั้น อาจจะมีการส่งผ่านความร้อนหรือการกระจายของไฟจากห้องหนึ่ง ไปยังอีกห้องหนึ่งก็ได้ หรืออาจจะมีการแผ่เปลวไฟความร้อนไปยังตึกข้างเคียงอีกด้วย

### 2.3.1 ช่วงการก่อตัวของไฟ (Growth Period)[1,5,6]

อุณหภูมิในช่วงนี้ค่อนข้างต่ำอยู่ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีผลทำไคน้ก เวลาของช่วงนี้จะสำคัญ กว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากว่าถ้าเวลาของช่วงนี้นานก็จะยังมีเวลาที่เหลือหนีออกจากห้อง หรือตัวตึก ได้อย่างปลอดภัยและยังสามารถดับไฟได้ทันช่วงที่อีกด้วย เวลาของช่วงนี้จะนานเท่าไคนั้น ขึ้นกับชนิดและขนาดของเชื้อเพลิง ถ้าเชื้อเพลิงติดไฟได้ไวความร้อนที่ออกมาจะมาก ทำให้เวลาของ ช่วงนี้ก็จะน้อยตามไปด้วย พื้นที่ผิวของกำแพง เพดาน ก็มีผลกระทบเช่นเดียวกัน ถ้าพื้นที่ผิวใหญ่กว้าง มากก็จะทำให้ช่วงการก่อตัวของไฟเกิดได้เร็วเพราะว่าความร้อนสามารถส่งผ่านหรือเคลื่อนตัวได้อย่าง ต่อเนื่อง นอกเหนือจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่นอีกที่มีผลกระทบต่อเวลาของช่วงการก่อตัวของไฟอีกก็คือ ระยะห่างของสิ่งที่ติดไฟภายในห้อง ขนาดและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดไฟ ขนาดและตำแหน่งของช่อง เปิดภายในห้อง ทิศทางและความเร็วของลม ขนาดและรูปร่างของห้อง และปริมาณและขนาดของเชื้อ เพลิงภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ช่วงการเผาไหม้และช่วงการสลายตัว (Burning and Decay period)[1,5,6]

ระหว่างที่มีเพลิงกำลัง ไหม้อยู่ภายในห้องนั้น ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซที่มาจากสิ่งที่ติดไฟจะมีการเคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและออกไปทางส่วนบนของช่องเปิดหรือทางหน้าต่าง ส่วนอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทางส่วนล่างของช่องเปิดและเข้าร่วมในการเผาไหม้ต่อไป เหตุการณ์นี้ก็เนื่องมาจากการเกิดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในและอากาศเย็นภายนอกนั่นเอง ตัวการที่มีส่วนช่วยให้ช่วงนี้เกิด ได้ดีก็คือปริมาณของเชื้อเพลิงและขนาดของช่องเปิดภายในห้องนั้น ถ้าช่องเปิดภายในมีขนาดใหญ่อัตราการเผาไหม้ก็จะยิ่งสูง แต่ความจริงแล้วพื้นที่ผิวของสิ่งๆที่ติดไฟก็จะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ด้วย สิ่งๆที่ติดไฟภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นพวกเครื่องเฟอร์นิเจอร์ซึ่งในแต่ละห้องก็จะมีจำนวนแตกต่างกันไปและเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยอย่างไรก็ตามภายในอาคารหลาย ๆ แห่งจะมีพื้นที่ผิวของเฟอร์นิเจอร์อยู่อย่างเพียงพอ สรุปแล้วอัตราการถ่ายเทของอากาศภายในห้องจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ที่มีผลมากกว่าตัวการอื่น ๆ

ดังนั้น จะเห็นว่าจากขบวนการของการเพิ่มอุณหภูมิของไฟ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเพลิงไหม้ การกระจายของไฟ ช่วงเวลาเกิดเพลิงไหม้ ความรุนแรงของไฟ และอื่น ๆ อีกนั้นจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันหลายอย่างซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะเพลิงที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีดังนี้

- ก. ปริมาณของไฟ (Fire Load)
- ข. ตำแหน่งที่อยู่ของปริมาณไฟ
- ค. ชนิด รูปร่าง และขนาดของเชื้อเพลิงหรือสิ่งๆที่ติดไฟ
- ง. พื้นที่ของช่องเปิดหรือหน้าต่าง
- จ. อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์
- ฉ. ขนาดของห้อง
- ช. การนำความร้อนของโครงสร้าง
- ซ. ระดับการแผ่กระจายของไฟ

จากการสำรวจศึกษาและวิจัยพบว่า ตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้น ตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลทำให้เส้นกราฟของไฟมีลักษณะต่าง ๆ กันไป ก็คือ ปริมาณของไฟ และพื้นที่ของช่องเปิด

## 2.4 ปริมาณของไฟ (Fire Load)[1,5,6]

ปริมาณของไฟนิยามว่าเป็น ปริมาณความร้อนที่วัดได้จากวัสดุซึ่งติดไฟได้ในห้อง ๑ ห้อง หรืออาจจะนิยามปริมาณไฟว่าเป็น ปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย ถ้าพูดถึงความหนาแน่นของปริมาณไฟนั้นก็คือ วัสดุภายในปริมาตรปีคนั้นเอง ปกติแล้วค่าปริมาณไฟจะคิดต่อพื้นที่ผิวของห้อง

ในประเทศต่าง ๆ ได้มีการสำรวจเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของเพลิงในอาคารกันอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปแล้วปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำหนักของไม้ที่ให้ความร้อนออกมาเท่า ๆ กันกับปริมาณความร้อนของวัสดุนั้นเอง ปริมาณไฟสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการกระจายของวัสดุในอาคารหรือตำแหน่งของวัสดุ ชนิดของห้องภายในอาคารและอื่น ๆ อีก จากข้อมูลที่เก็บมาจากหลาย ๆ อาคารก็ได้มีการลงความเห็นกันว่าค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของค่าปริมาณไฟในอาคารควรจะมีค่าไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง ซึ่งค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กำหนดมาตรฐานไฟเพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

## 2.5 พื้นที่ของช่องเปิด (Opening Area)[1,5,6]

พื้นที่ของช่องเปิดมีอิทธิพลอย่างมากต่อการลุกลามไหม้ของเพลิง ถ้าพื้นที่ของช่องเปิดมีมากก็จะทำให้อากาศร้อนภายในลอยตัวออกไปแล้วอากาศเย็นก็จะเข้ามาแทนที่ ทำให้เพลิงมีการลุกลามไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และยังสามารถกระจายไปยังห้องข้างเคียงหรือตึกข้างเคียงได้ง่าย พื้นที่ของช่องเปิดในที่นี้ไม่ใช่หมายถึงพื้นที่ของหน้าต่างและประตูเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังรวมถึงพื้นที่ที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกภายในห้องได้อีกด้วย

จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้วนั้น ก็จะสามารถเขียนแบบพฤติกรรมของเพลิงที่เกิดขึ้นจริงได้โดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์เวลากับอุณหภูมิ เมื่อสามารถเขียนแบบไฟได้แล้วก็สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานไฟเพื่อใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมต่าง ๆ ของวัสดุซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2.6 เส้นโค้งมาตรฐานไฟและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ [1,5,6]

(Standard Fire Curve and Basic Theory of Fire Severity)

การที่จะทราบว่าองค์อาคารที่ถูกเพลิงไหม้ไปแล้วนั้นจะมีพฤติกรรมอย่างไร จะสามารถต้านทานไฟได้มากน้อยเพียงใดนั้นก็จะต้องมาจากการทดสอบทั้งสิ้น จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคาร ได้มีการค้นคว้าเพื่อหามาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ ดังนั้น จึงได้มีการค้นคว้ากันหลาย ๆ ประเทศ สถาบันต่าง ๆ อาทิเช่น ASTM ISO และอื่น ๆ อีก ได้มีการแนะนำมาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ทดสอบโดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (Temperature – Time Relation) เพื่อเขียนแบบเพลิงที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคาร นักวิจัยชาวอเมริกันชื่อ INGBERG ได้เสนอแนวความคิดในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานไฟโดยเรียกว่า “แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ (Fire load concept)”

## 2.7 แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ[1,5,6]

แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟมีข้อสมมติฐานที่สำคัญดังนี้คือ

- ก. ความทนทานขององค์อาคาร ขึ้นกับ “ความรุนแรงของไฟ” เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ความรุนแรงของไฟสำหรับอาคารหรือเตาไฟที่ใช้ในการทดสอบซึ่งลอกเลียนแบบไฟจริง ๆ นั่นก็คือพื้นที่ใต้เส้นกราฟอุณหภูมิกับเวลานั้นเอง
- ข. ความรุนแรงของไฟ ขึ้นกับ ความเข้มของปริมาณไฟเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ข้อสมมติฐานดังกล่าวนี้ง่ายและไม่ถูกต้องเท่าไรนัก เนื่องจากความรุนแรงของไฟไม่ได้ขึ้นกับความเข้มของปริมาณแต่เพียงอย่างเดียว จริง ๆ แล้วยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของช่องเปิดชนิดและน้ำหนักของเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางความร้อนของกำแพง เพดาน เป็นต้น แม้กระนั้นก็ตามก็ถือว่าตัวประกอบเหล่านี้มีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มของปริมาณไฟ จนถึงบัดนี้ก็ยังไม่มีแนวความคิดอื่นที่สามารถเขียนไฟให้ใกล้เคียงได้เท่านี้ ดังนั้น แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟนี้จึงยังคงเป็นที่ใช้กันอยู่และยังใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาด้วย

## 2.8 เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา (Standard Temperature - Time Curve)[1,5,6]

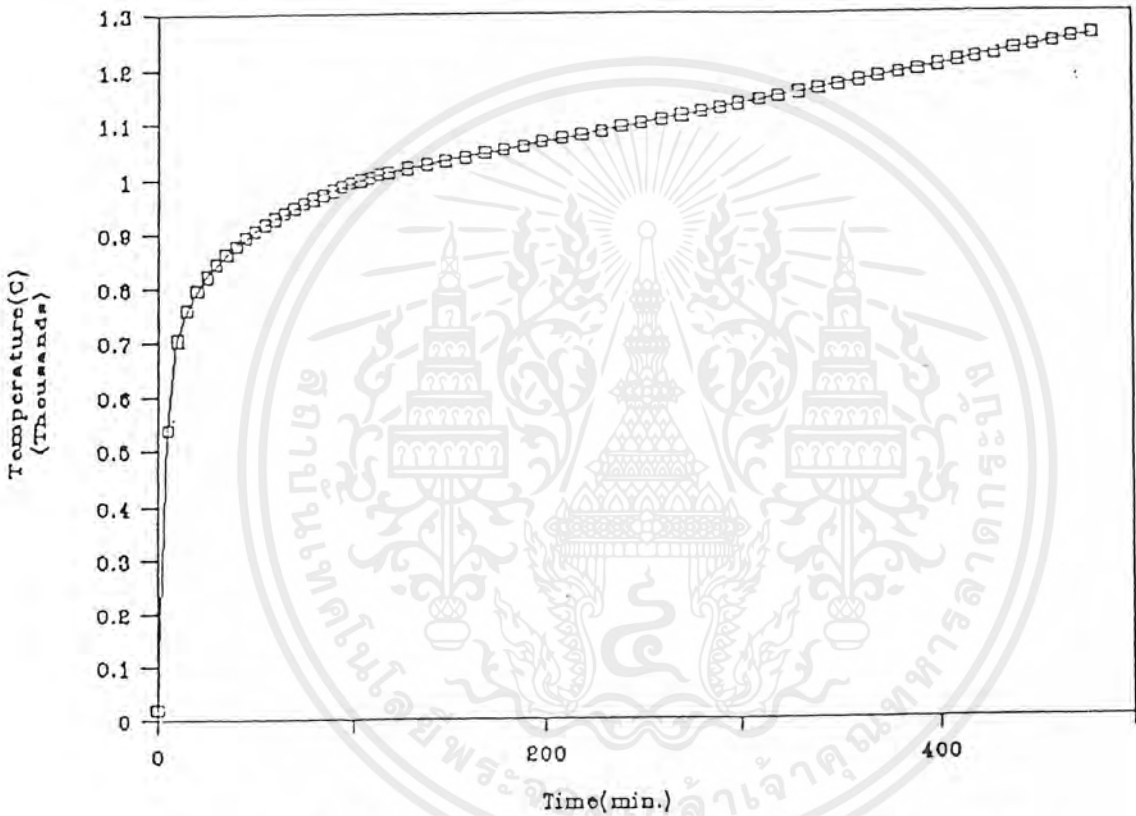
ASTM E 119 ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกันกับเพลิงที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคาร โดยมีค่าความเข้มเท่ากับ 10 ปอนด์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>12</sup>ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อหนึ่งชั่วโมง ISO ก็ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันมาก เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM แสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 ข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ง.

## 2.9. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ (Basic Theory of Fire Severity) [1,5,6]

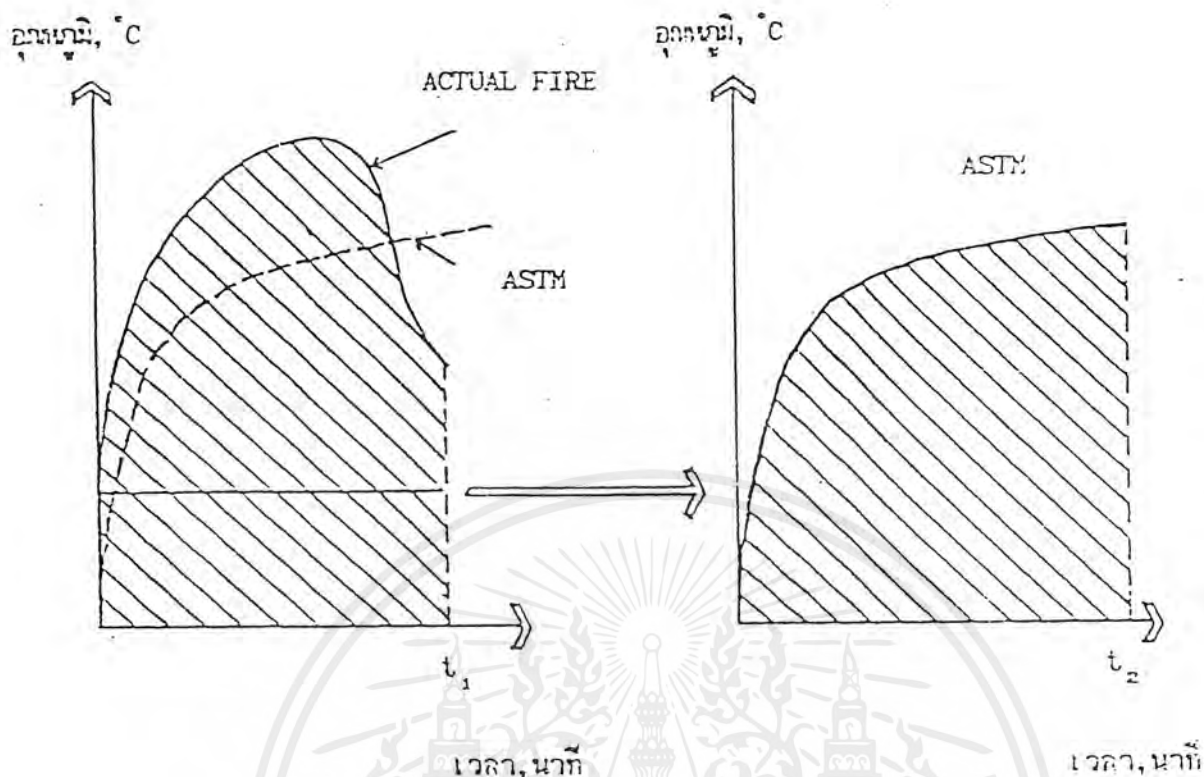
ความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบที่สำคัญสองตัว คือ เชื้อเพลิงหรือสิ่งซึ่งคิดไฟที่มีอยู่ในอาคารและพื้นที่ของช่องเปิดภายใน



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตรฐานไฟ ASTM

อาคาร แต่ตัวประกอบทั้งสองนั้นสามารถแปรเปลี่ยนได้และไม่สามารถที่จะกำหนดให้ตายตัวได้ว่าในอาคารแบบนั้น ๆ จะมีค่าเป็นเท่าไร ดังนั้นการที่จะกำหนดค่ารุนแรงของไฟจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิของไฟที่เวลาต่าง ๆ นั่นก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง

ความรุนแรงของไฟจริง ๆ แล้วยังคือ พลังงานความร้อนที่สามารถทำลายคุณสมบัติในการต้านทานไฟและความทนทานไฟของวัสดุ พลังงานความร้อนในที่นี้ก็คือ พื้นที่ใต้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟที่ว่า ความรุนแรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 13 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการแปลงความรุนแรงไฟเสมือน

แรงของไฟก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลา เนื่องจากเส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้นจะมีลักษณะแบบหนึ่งที่แตกต่างกันจากเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของมาตรฐานได้โดยการกำหนดให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งมาตรฐานมีค่าเท่ากับเส้นโค้งของไฟจริง ๆ นั่นก็คือ อาศัยหลักการของพลังงานนั่นเอง ยกตัวอย่างการแปลงดังรูปที่ 2.3 รูปทางซ้ายมือ แสดงถึงลักษณะของไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ ซึ่งมีช่วงเวลากการเผาไหม้เป็น  $t_1$  และจากรูปทางขวามือจะแสดงความรุนแรงของไฟเสมือนภายใต้เส้นโค้งมาตรฐานของ ASTM ซึ่งจะใช้เวลาในการเผาไหม้นานกว่าเป็นเวลา  $t_2$

## 2.10. อิทธิพลของไฟที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุพื้นฐานที่เป็นส่วนประกอบของโครงหลังคาเหล็ก[1,5,6]

วัสดุพื้นฐานที่นำมาประกอบเป็นโครงสร้างของโครงหลังคาเหล็ก วัสดุดังกล่าวเมื่อเวลาถูกไฟไหม้หรือถูกความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คุณสมบัติทางกายภาพ อาทิ กำลังความแข็งแรง

หรือค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น การนำความร้อน การขยายตัว การคืบตัวและอื่นๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างเป็นอย่างมาก

เนื่องจากประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือกำลังของโครงสร้าง และความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาอันดับแรก ทั้งนี้เพราะโครงสร้างอาจจะเกิดการวิบัติขึ้นได้จากคุณสมบัติทั้งสองนี้ ดังนั้นควรจะทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานและอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติของเหล็ก ดังจะกล่าวต่อไป

### 2.10.1. คุณสมบัติทางเคมีของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ [1,5,6]

เหล็กบริสุทธิ์ มีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 แบบ ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ทำให้เกิดฟอร์มที่เรียกว่า เหล็กแอลฟา เหล็กเบต้า เหล็กแกมมา และเหล็กเดลต้า ใน 4 ฟอร์มนี้ เหล็กแอลฟา เบต้า และเดลต้า มีโครงสร้างที่เหมือนกัน คือเป็นแบบ body centered cubic ส่วนแกมมา จะมีโครงสร้างเป็น face center cubic ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เหล็กบริสุทธิ์ มีอีกรูป 2 แบบ คือ bcc และ fcc

การเปลี่ยนโครงสร้างจาก แอลฟา ไป เบต้า ที่ 768 องศาเซลเซียส นั้นไม่ได้เป็นโครงสร้างผลึก แต่เป็นการเปลี่ยนจากเหล็กแอลฟา ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กไปเป็นเหล็กเบต้า ซึ่งไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กเท่านั้น

เนื่องจากเหล็กบริสุทธิ์มีกำลังต้านทานที่จะนำไปใช้ในงานวิศวกรรมได้ จึงมีการเติมธาตุอื่นลงไป ซึ่งเราเรียกว่า ธาตุผสม (Alloying Element) เข้าไปในเนื้อเหล็กเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการตามนิยามของเหล็กกล้า ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่างเหล็กและคาร์บอน

โดยทั่วไปแล้วเหล็กกล้าจะอยู่ในรูปของสารผสมระหว่าง เหล็ก คาร์บอน ธาตุผสม และสารมลทิน ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนของเหล็กกล้านั้นจะมีตั้งแต่ 0.05 ถึง 1.4% โดยน้ำหนัก เมื่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนสูงขึ้น กำลัง (Strength) และความแข็งแรง (Hardness) ของเหล็กกล้าจะเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวหยุ่น (Toughness) ของเหล็กกล้านั้นจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 15 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon Steel)
2. เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel)

ธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าประเภทนี้ได้แก่ ซิลิกอน และแมงกานีส ส่วนกำมะถัน และ ฟอสฟอรัส จะอยู่ในรูปของสารมลทิน เราแบ่งชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนตามเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ที่มีอยู่ในเนื้อเหล็ก ได้ดังนี้

Mild Steel (low carbon steel)	มากกว่า 0.25%C
Medium Carbon Steel	0.25 – 0.45%C
High Carbon Steel	0.45 – 1.40%C

เมื่อเติมคาร์บอนเข้าไปในเหล็กบริสุทธิ์ คาร์บอนจะแทรกเข้าไปในเนื้อเหล็กกลายเป็น สารละลายของแข็ง (Solid Solution) ภาค (Phase) ที่ได้นี้เรียกว่า แฟร์ไรต์ (Ferrite) ปริมาณของคาร์บอน จะละลายอยู่ในแฟร์ไรต์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิ 723 องศาเซลเซียส คาร์บอน จะละลายได้มากที่สุดในแฟร์ไรต์ 0.025% ส่วนที่อุณหภูมิห้อง แฟร์ไรต์จะมีคาร์บอนละลายอยู่เพียง 0.008% เท่านั้น

เมื่อปริมาณคาร์บอนมีมากกว่าพิกัดที่สามารถละลายได้ในแฟร์ไรต์ คาร์บอนก็จะรวม ตัวกับเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบทางเคมีขึ้นมาคือ  $F_3C$  ซึ่งมีคาร์บอนผสมอยู่ 6.67% เราเรียกเหล็ก คาร์บอนนี้ว่า ซีเมนไทต์ (Cementite)

วิภาคอีกตัวหนึ่งในเหล็กกล้าก็คือ เพิร์ลไลต์ (Pearlite) เป็นจุลโครงสร้างผสม ประกอบด้วยแถบของแฟร์ไรต์กับซีเมนไทต์

เมื่อเผาเหล็กกล้าถึงอุณหภูมิสูง จนโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจาก Body Center Cubic (bcc) มาเป็น Face Center Cubic (fcc) ภาคใหม่นี้จะละลายคาร์บอนได้มาก และที่อุณหภูมิ 1130 องศา เซลเซียส จะละลายคาร์บอนได้ถึง 2% หมายความว่า ที่อุณหภูมิสูง  $Fe_3C$  ที่เคยมีอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 16 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สลายตัวเป็น Fe กับ C และตัว C ที่ได้จะละลายแทรกเข้าไปอยู่ในเนื้อเหล็ก fcc จุดโครงสร้างใหม่นี้เราเรียกว่า ออสเตนไนต์ (Austenite)

เหล็กกล้าที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.8% จะมีจุดโครงสร้างเป็นเฟอไรต์ ทีเดียวเราเรียกเหล็กประเภทนี้ว่า Eutectoid steels สำหรับเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.8% เรียกว่า Hypoeutectoid Steels และเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.8% เรียกว่า Hypereutectoid Steels

ในเหล็กมีส่วนประกอบทางเคมีคือ เหล็ก คาร์บอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่ผิว (Scale) ที่อุณหภูมิการเผา 500 องศาเซลเซียส สีของเหล็กเปลี่ยนเป็นสีเงิน มีริ้วสีเงินเล็กๆ ซึ่งเกิดจากสีของ Fe ที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส สีของเหล็กเปลี่ยนเป็นสีดำ เกิดจาก  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  และการเผาไหม้ของคาร์บอน และที่อุณหภูมิการเผา 900 องศาเซลเซียส เกิดตะกรันที่ผิวเหล็กเสริม

คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าคาร์บอนจะเกิดขึ้นโดยตรงกับประเภทและปริมาณของโครงสร้างภายในเนื้อเหล็กนั้นเพอร์ไรต์มีกำลัง และความแข็งแรงไม่สูงนัก แต่มีความเหนียว ซีเมนไทต์ มีความแข็งแรงสูง เพราะ เฟอไรต์มีกำลังสูงและสามารถยึดตัวได้ดีมากภายใต้แรงดันและทำให้ออสเตนไนต์มีกำลังต่ำ สามารถรีดให้เข้ารูปได้ง่าย เป็นต้น ส่วนประเภทและปริมาณของจุดโครงสร้างจะขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้านั้นๆ

### 2.10.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ [1,5,6]

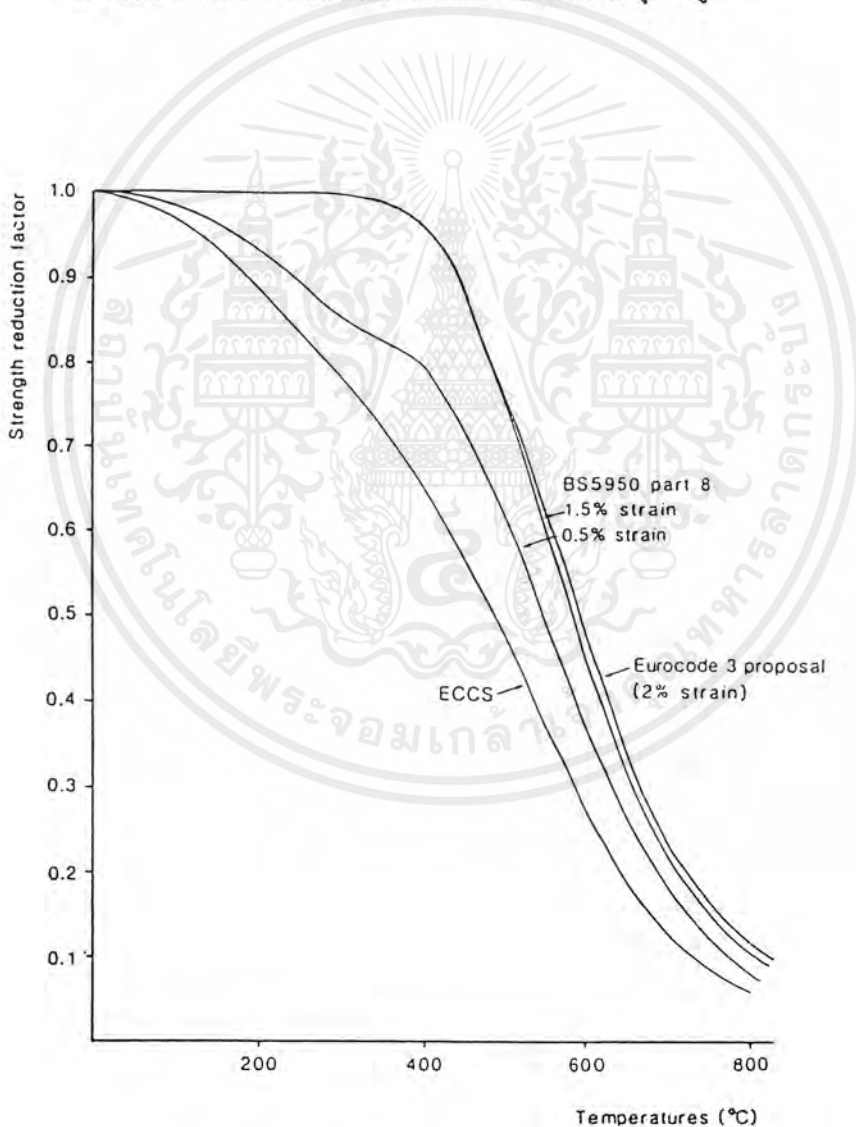
เหล็กเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ค่ากำลังรับแรงดึงจะลดลง ค่ากำลังคลาก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของทั้งเหล็กเสริมและลวดอัดแรงจะมีค่าลดลง ที่อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส กำลังคลากจะมีค่าลดลงประมาณ 50 % ดังแสดงในรูป 2.4. และในรูป 2.5.

36777

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 17 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

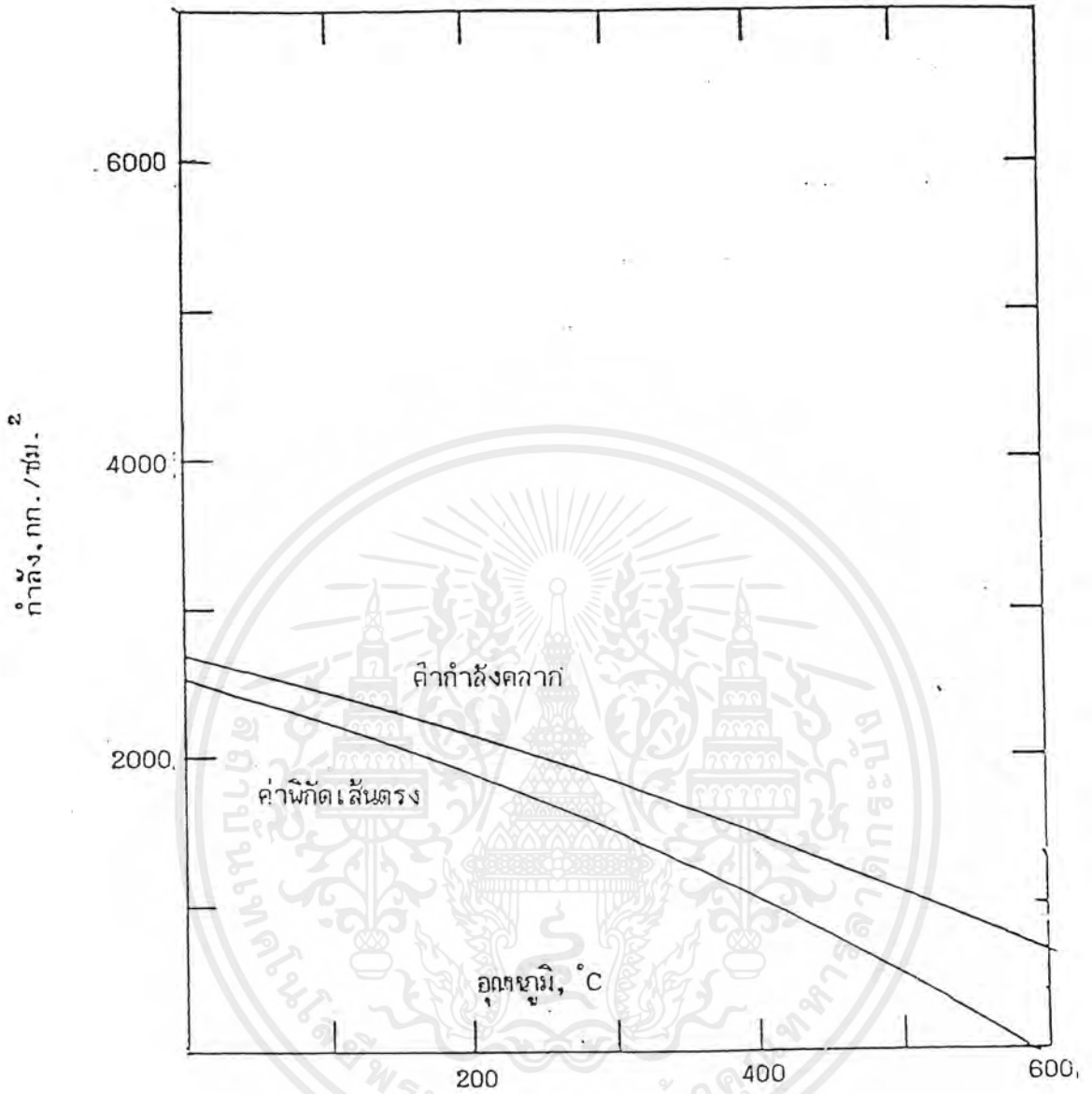
อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	สี
600	ส้ม (Orange)
700	แดง (Scarlet)
800	แดงม่วง (Violet Red)
900	แดงม่วงเข้ม (Deep Violet Red)
1,000	เทา (Gray)

ตารางที่ 2.2. แสดงสีของเหล็กออกไซด์เปลี่ยนตามอุณหภูมิ



รูปที่ 2.4. แสดงค่ากำลังของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5. แสดงกำลังคลาก กำลังประลัย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าพิกัดเส้นตรงของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการสร้างแบบจำลอง

#### 3.1. คำนำ

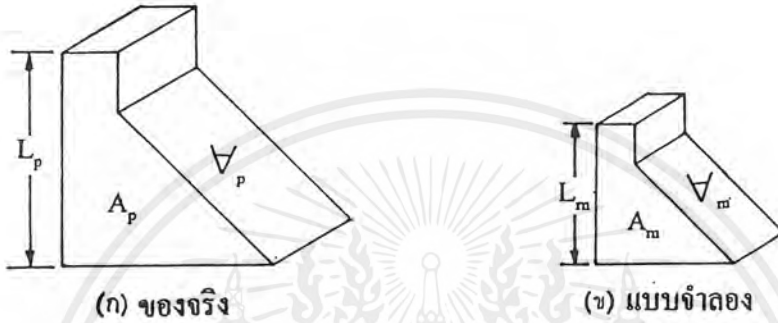
ในการทดสอบโครงหลังคาเหล็กเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้การทดสอบโดยใช้แบบจำลอง ถึงแม้ว่าจะได้ค่าความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าการทดสอบโดยใช้ขนาดจริงก็ตาม สาเหตุที่จะต้องใช้แบบจำลองคือ ขีดจำกัดค่าต่างไม่ว่าจะเป็น ขนาดของเตาที่ใช้ในการทดสอบ ข้อจำกัดเรื่องสถานที่ หรือแม้กระทั่งค่าใช้จ่าย ทำให้ต้องทำการศึกษาและให้ความสำคัญในเรื่องของแบบจำลองที่จะสร้างขึ้นมา และต้องคำนึงถึงค่าแรงที่กระทำต่อโครงหลังคาในแต่ละแบบที่จะต้องเป็นสัดส่วนที่ถูกต้องและสามารถทำการตรวจสอบได้ ค่าคุณสมบัติต่างๆของเหล็ก ซึ่งจะแสดงในต่อไป

#### 3.2. ทฤษฎีความคลึงทางชลศาสตร์[7,8,9,10]

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางงานโครงสร้าง อาจประสบปัญหาในการอธิบายพฤติกรรมของโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโครงการใหญ่ๆ ซึ่งจะต้องลงทุนเป็นจำนวนมากในการก่อสร้าง ดังนั้นในขั้นต้นวิศวกรผู้ออกแบบหรือผู้ศึกษามักจะพยายามหาทฤษฎีต่างๆ มาวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งถ้าเป็นปัญหาที่ไม่ยุ่งยากนัก ก็สามารถใช้ทฤษฎีต่างๆ วิเคราะห์ได้ทันที แต่ในบางปัญหาที่ซับซ้อนเนื่องจากมีตัวแปรต่างๆมาเกี่ยวข้องจำนวนมาก ก็ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมได้ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลอง (Model) ประกอบการตัดสินใจเพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแบบจำลองจะมีขนาดเล็กและราคาถูกของจริง (prototype) มาก ประกอบกับกับสามารถทดลองวิเคราะห์ได้ในเงื่อนไขหรือเหตุการณ์ต่างๆที่คาดว่าหากมีการสร้างจริง ก็มีโอกาสดังปัญหานั้นๆได้ ทำให้คุ้มค่าต่อผลที่ได้รับ อย่างไรก็ตาม สำหรับแบบจำลองนี้จะต้องมีสภาพที่คล้ายคลึงกับของจริงจึงสามารถอธิบายปรากฏการณ์จริงได้ ซึ่งความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ (hydraulic model) ที่ต้องคำนึงถึงมี 3 ประการคือ

### 3.2.1. ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต (Geometric similitude)[7,8,9,10]

ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต คือ แบบจำลองและของจริงต้องมีรูปร่าง (Shape) และอัตราส่วนของความยาวแต่ละด้านในลักษณะเดียวกัน เช่น เขื่อนคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิตของเขื่อนคอนกรีต

อัตราส่วนความยาว  $L_m / L_p = L_r$  (3.1)

เมื่อ  $L_m$  คือ ความยาวของแบบจำลอง (model)  
 $L_p$  คือ ความยาวของของจริง (prototype)  
 $L_r$  คือ อัตราส่วนหรือมาตราส่วนความยาว (scale ratio)

อัตราส่วนพื้นที่  $A_m / A_p = L_m / L_p = (L_r)^2$  (3.2)

อัตราส่วนปริมาตร  $V_m / V_p = L_m / L_p = (L_r)^3$  (3.3)

### 3.2.2. ความคล้ายคลึงเชิงจลศาสตร์ (Kinematics similitude) [7,8,9,10]

ประกอบด้วย

- (1) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหลในแบบจำลองและของจริงต้องเหมือนกัน เช่น มีเส้นแนวทางการไหลเหมือนกัน มีการหมุนหรือไม่หมุนเหมือนกัน เป็นต้น
- (2) อัตราส่วนความเร็ว ความเร่ง และอัตราการไหลที่คล้ายคลึงกัน

$$\begin{aligned} \text{ความเร็ว} \quad V_m / V_p &= (L_m T_m^{-1}) / (L_p T_p^{-1}) \\ &= L_r T_r^{-1} = V_r \end{aligned} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $V_r$  คืออัตราส่วนความเร็ว (velocity ratio) และ  $T_r$  คืออัตราส่วนเวลา (time ratio)

$$\begin{aligned} \text{ความเร่ง} \quad a_m / a_p &= (L_m T_m^{-2}) / (L_p T_p^{-2}) \\ &= L_r T_r^{-2} = a_r \end{aligned} \quad (3.5)$$

เมื่อ  $a_r$  คืออัตราส่วนความเร่ง (acceleration)

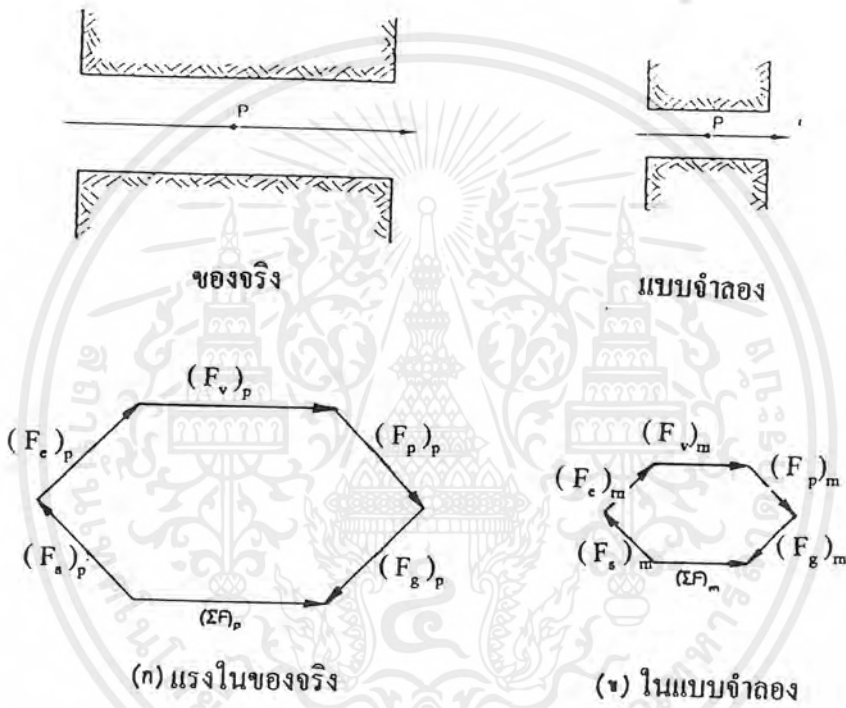
### 3.2.3. ความคล้ายคลึงเชิงพลศาสตร์ (Dynamic similitude)[7,8,9,10]

หมายถึง ความคล้ายคลึงของแรงที่กระทำในแบบจำลองและของจริงต้องมีอัตราส่วนที่คล้ายกัน ซึ่งแรงต่างๆนี้ประกอบด้วย

1. แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force),  $F_g$
2. แรงเนื่องจากความดัน (pressure force),  $F_p$
3. แรงเนื่องจากความหนืด (viscous force),  $F_v$
4. แรงเนื่องจากความยืดหยุ่น (elastic force),  $F_e$
5. แรงเนื่องจากความตึงผิว (surface tension force),  $F_s$

เมื่อพิจารณาอนุภาคของไหลในสนามการไหลที่มีแรงต่างกันไป กระทำดังรูปที่ 3.2 จะพบว่าแรงรวม (resultant force ;  $\sum F$ ) ที่จุด P เท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงต่างๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงเฉื่อย (inertia force ;  $F_i$ ) ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\sum F = F_g + F_p + F_v + F_c + F_s = F_i \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบแรงในของจริงและในแบบจำลอง

ความคล้ายคลึงเชิงพลศาสตร์ที่จุด P เกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนแรงเฉื่อยของแบบจำลองและของจริงเท่ากับอัตราส่วนของแรงต่างๆ ในระบบ คือ

$$\begin{aligned} (F_g)_m / (F_g)_p &= (F_p)_m / (F_p)_p = (F_v)_m / (F_v)_p \\ &= (F_c)_m / (F_c)_p = (F_s)_m / (F_s)_p = (F_a)_m / (F_a)_p \end{aligned} \quad (3.7)$$

### 3.3. การหาขนาดหน้าตัดเหล็กในแบบจำลอง[11]

ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบนี้ ได้มีการกำหนดอัตราส่วนเป็น 1 : 5

∴ ค่า  $L_r$  ที่ได้จึงเท่ากับ 1/5

สำหรับในกรณีในแบบจำลองนี้ใช้เหล็กที่มีขนาด 40 x 40 x 4 ซึ่งจะมีความหนาตัดเหล็กเท่ากับ 3.08 ตารางเซนติเมตร จากทฤษฎีความคล้ายคลึง

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนพื้นที่} \quad A_m / A_p &= (L_r)^2 \\ \therefore A_m &= A_p / L_r^2 \end{aligned}$$

จึงจะได้ว่า เหล็กที่ใช้ในแบบจำลองมีขนาดหน้าตัด 8 x 8 x 0.8 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.1232 ตารางเซนติเมตร

### 3.4. การกำหนดค่าแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง[11]

จากการที่ทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ดังนั้นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจึงมีค่าเท่ากันทั้งในแบบจำลองและแบบจริง หรือถ้าใช้วัสดุต่างชนิดกันก็จะทำให้วัสดุทั้งสองมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่เท่ากัน แต่ก็ยังคงค่า Poisson's ratio ให้เท่ากัน คือ

$$\begin{aligned} E_p &= E_m \\ \sigma_p / E_p &= \sigma_m / E_m \\ \sigma_p &= \sigma_m \\ \text{หรือ} \quad \sigma_p / \sigma_m &= 1 \\ \text{และ} \quad F_p / F_m &= L^2 \end{aligned}$$

จากบทความข้างต้นจะทำให้เราทราบได้ว่า ถ้าเราใช้วัสดุชนิดเดียวกันทั้งในแบบจำลองและแบบจริง ก็จะมีผลทำให้ค่านำหนักบรรทุกในแบบจริงต่อแบบจำลองเป็น 1 : 25

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินการทดลอง

#### 4.1. กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ และวิธีการทดสอบ ซึ่งการทดสอบในโครงการนี้จะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของแบบจำลองโครงหลังคาเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อนเมื่อมีโครงหลังคา 3 ระบายเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงหลังคาเมื่อมีการค้ำยัน และทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของแบบจำลองโครงหลังคาเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อนเมื่อมีโครงหลังคา 1 ระบายเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงหลังคาเมื่อไม่มีการค้ำยัน

#### 4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง
2. เครื่องเชื่อม
3. เหล็กแผ่นหนา 0.8 มม. , 1.2 มม.

#### 4.3. สถานที่ดำเนินการทดลอง

1. อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. โรงปฏิบัติงานเซรามิกส์ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 2555 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4. การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบทำการเชื่อมแบบจำลอง โดยในการศึกษาใช้แบบจำลอง โครงหลังคาเป็นแบบ Howell และแบบ Pratt ซึ่งจำลองมาจากแบบ โครงหลังคาจริงที่มีความยาว 4.2 เมตร ระยะห่างที่รองรับ 2.8 เมตร สูง 1.2 เมตร ระยะห่างระหว่าง โครงหลังคา 2 เมตร ซึ่งแบบจำลอง โครงหลังคาเมื่อจำลองตามอัตราส่วน 1 : 5 จะมีขนาดยาว 0.84 เมตร กว้าง 0.80 เมตร สูง 0.24 เมตร ระยะห่างระหว่าง โครงหลังคา 0.40 เมตร โดยขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนทำตามอัตราส่วน 1 : 5 ซึ่งรายการคำนวณ ออกแบบขนาดหน้าตัดของ โครงหลังคาแสดงในภาคผนวก ค.

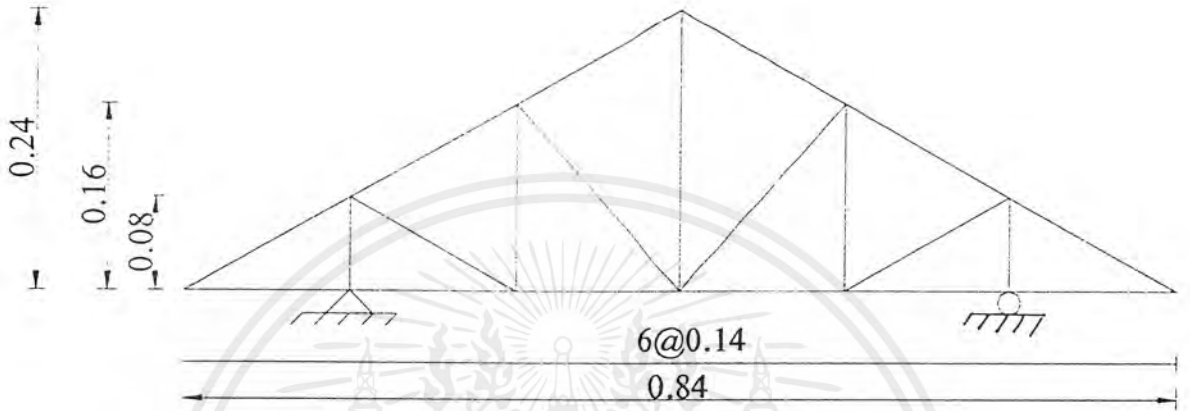
#### 4.5. วิธีปฏิบัติการทดสอบ

การทดสอบสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนหลักคือ

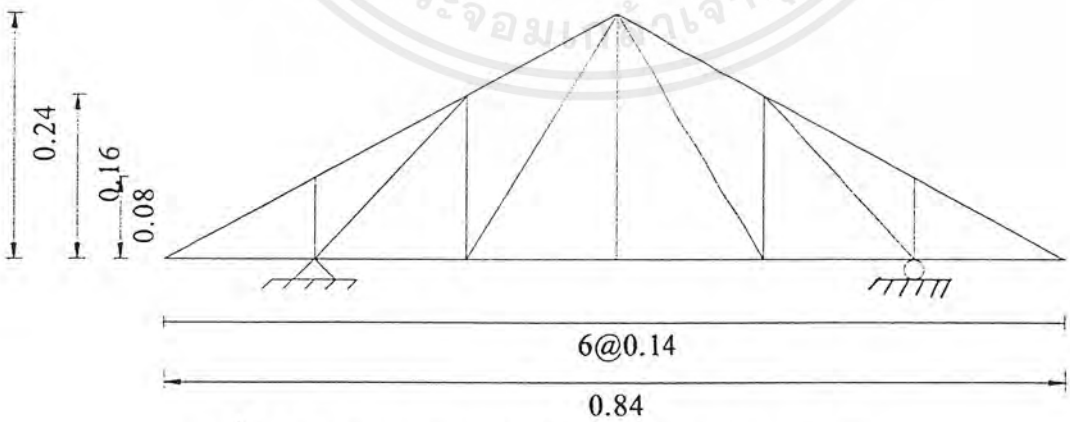
1. การทดสอบแบบจำลอง โครงหลังคา 3 ระบาย
2. การทดสอบแบบจำลอง โครงหลังคา 3 ระบาย โดยมี การค้ำยันระหว่าง ระบาย

วิธีทำการทดสอบมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมมาทำการติดน้ำหนักบรรทุก ซึ่งรายการคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบน โครงหลังคาและแบบจำลองดังแสดงในภาคผนวก ค.
2. ทำการให้ความร้อนกับแบบจำลอง โครงหลังคา โดยมีอัตราการให้ความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E119 โดยที่ใช้ขนาดของตัวแบบจำลองเป็นอัตราส่วน 1 : 5 เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของเตาเผา
3. วัดค่าการแอ่นตัวของแบบจำลองของ โครงหลังคา
4. วิเคราะห์หาจุดวิกฤตของ โครงหลังคา
5. ทำการปรับปรุงเพื่อให้ โครงหลังคาสามารถต้านทาน ไฟได้มากขึ้น

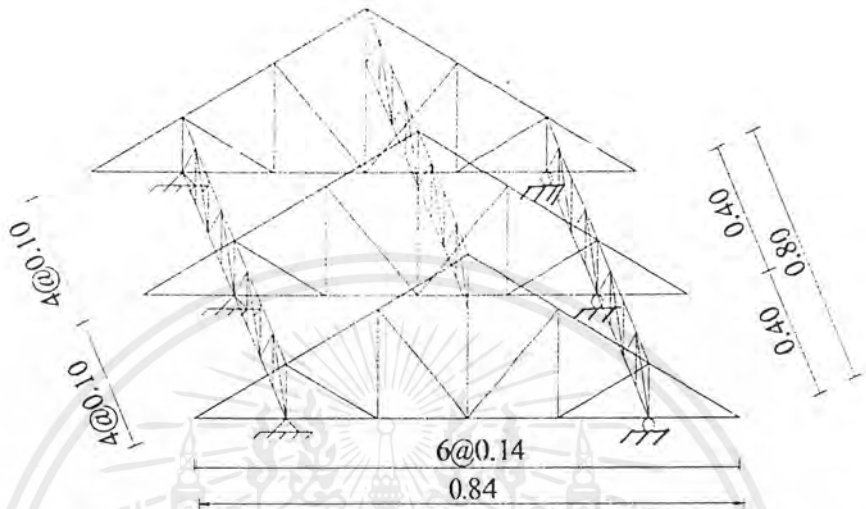


รูปที่ 4.1. แสดงขนาดของแบบจำลองโครงหลังคาแบบ Howe  
แบบระนาบเดียว

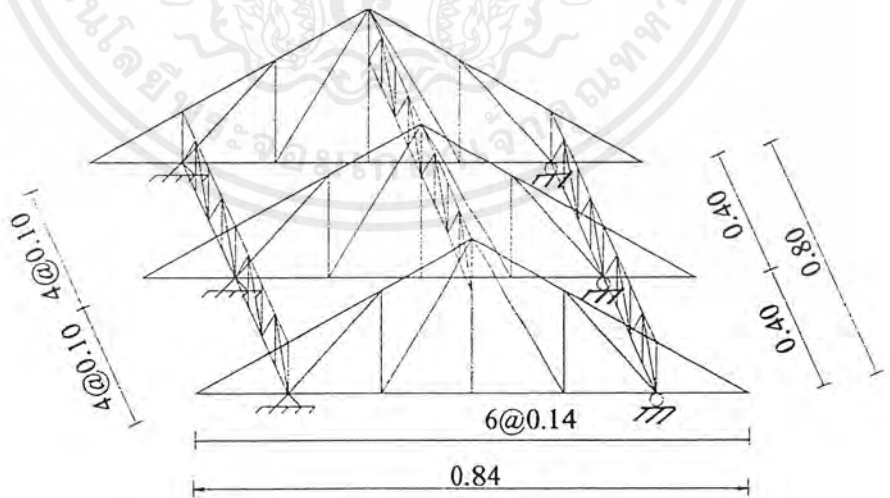


รูปที่ 4.2. แสดงขนาดของแบบจำลองโครงหลังคาแบบ Pratt  
แบบระนาบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3. แสดงขนาดของแบบจำลองโครงหลังคา แบบ Howe  
แบบ 3 ระนาบ



รูปที่ 4.4. แสดงขนาดของแบบจำลองโครงหลังคา แบบ Pratt

แบบ 3 ระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

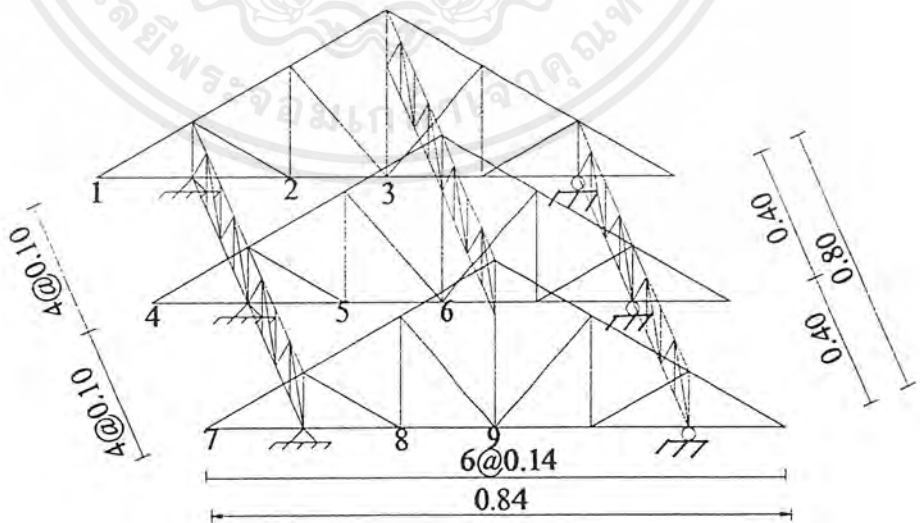
### ผลการทดสอบ

#### 5.1. กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบ ความสามารถในการต้านทานความร้อนของแบบจำลองโครงหลังคา แบบ Pratt และแบบ Howe แบบที่มีการประกอบเป็นระนาบประกอบ 3 ระนาบ, แบบระนาบเดี่ยว, ซึ่งจุดที่กำหนดต่าง ๆ ในตารางแสดงผลการอ้างอิงจากจุดที่กำหนดในหัวข้อ 5.2.

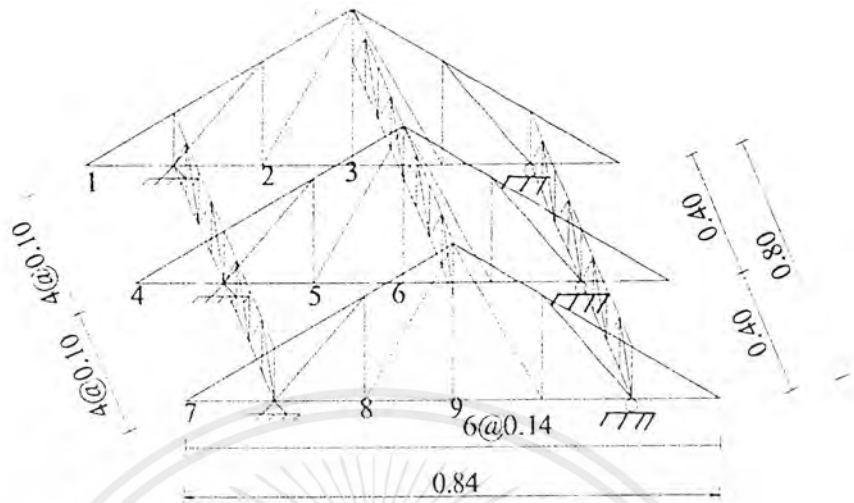
#### 5.2. จุดกำหนดในตารางแสดงผลการทดลอง

##### 5.2.1. การจุดกำหนดโครงหลังคาแบบ 3 ระนาบ



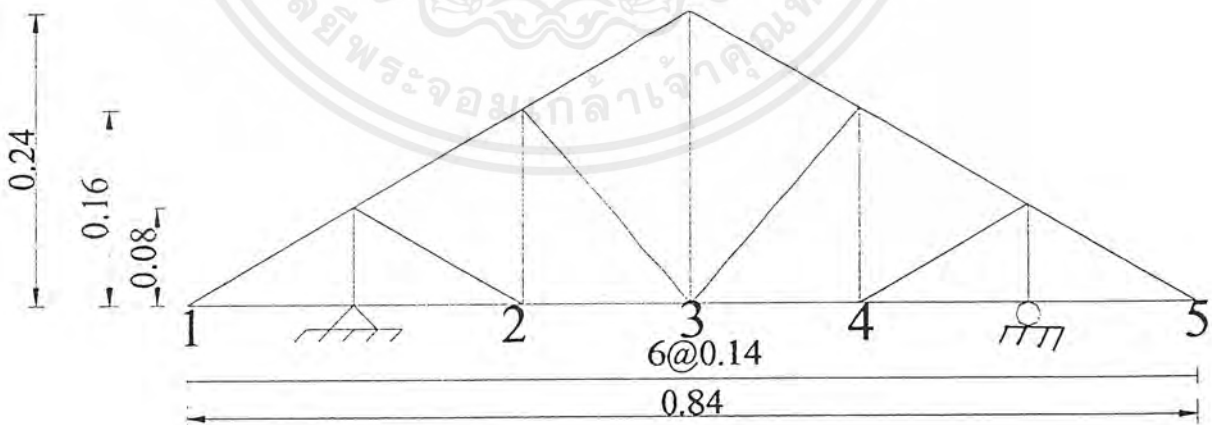
รูปที่ 5.1. การกำหนดจุดบนโครง Howe แบบ 3 ระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



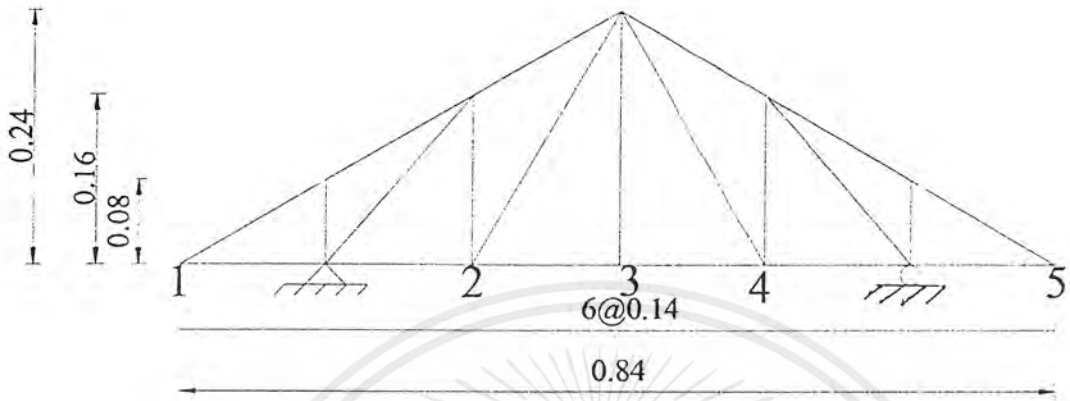
รูปที่ 5.2. การกำหนดจุดบนโครง Pratt แบบ 3 ระนาบ

### 5.2.2. การจุดกำหนดโครงหลังคาแบบระนาบเดียว



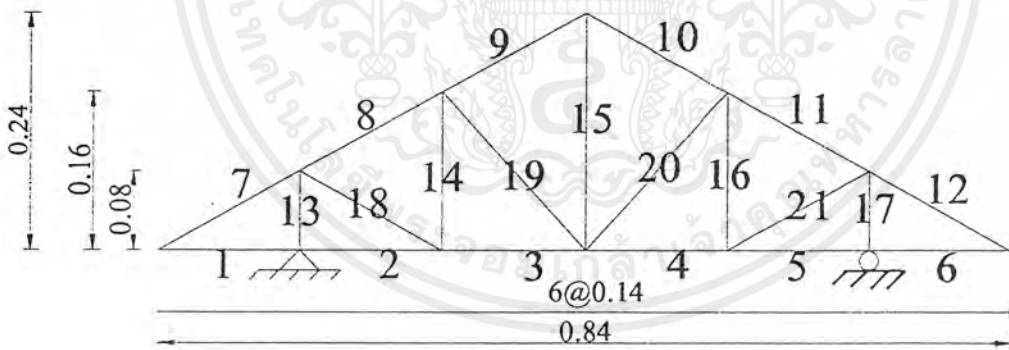
รูปที่ 5.3. การกำหนดจุดบนโครง Howe แบบระนาบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3. การกำหนดจุดบนโครง Howe แบบระนาบเดียว

### 5.3. การกำหนดชิ้นส่วนโครงหลังคา



รูปที่ 5.4. แสดงการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ 3 ระนาบและระนาบเดียว

### 5.4. ผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองการบันทึกรวบรวมค่า Deflection ของจุด 1 – 9 สำหรับโครงหลังคาแบบ 3 ระนาบ และ Deflection ของจุด 1 – 5 สำหรับแบบระนาบเดียว และทำการบันทึกค่า Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

	จุดหมุมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.5	1.1	2	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพั้งที่จุดหมุมิ 890 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13 4. ค่า Deflection ในช่องทำยเป็นค่า ก่อนที่ โครงหลังคาจะพั้ง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0.1	0.5	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.4	1.3	2.2	3.5	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.4	1.5	2.3	3.8	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.6	1.8	3.4	6	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0.2	0.4	0.8	1.8	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0.6	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.1	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง	แดง	

ตารางที่ 5.1(ก).แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

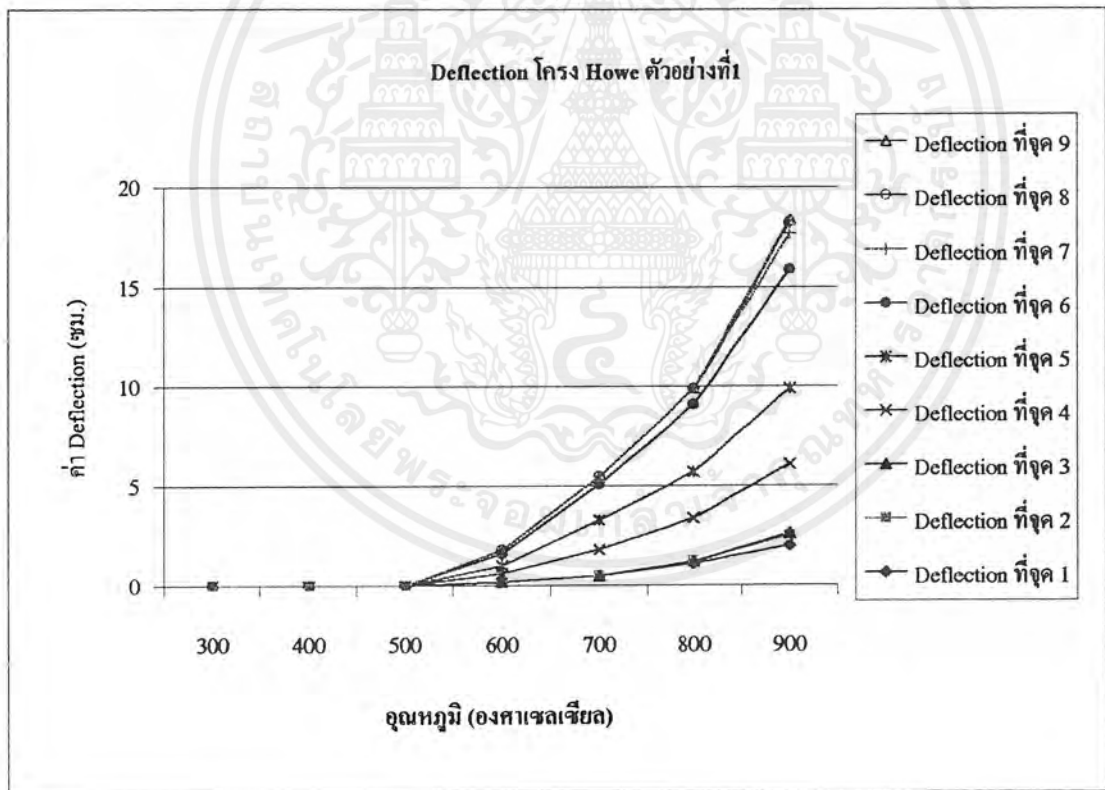
	จุดหมุมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.4	1	1.4	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพั้งที่จุดหมุมิ 905 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13 4. ค่า Deflection ในช่องทำยเป็นค่า ก่อนที่ โครงหลังคาจะพั้ง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.5	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.5	1.2	3.6	8.5	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.3	0.9	2.5	6	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.5	1.6	3.8	8.4	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0.1	0.4	0.9	1.6	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.2	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้ม	แดง	แดง	

ตารางที่ 5.1(ข).แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

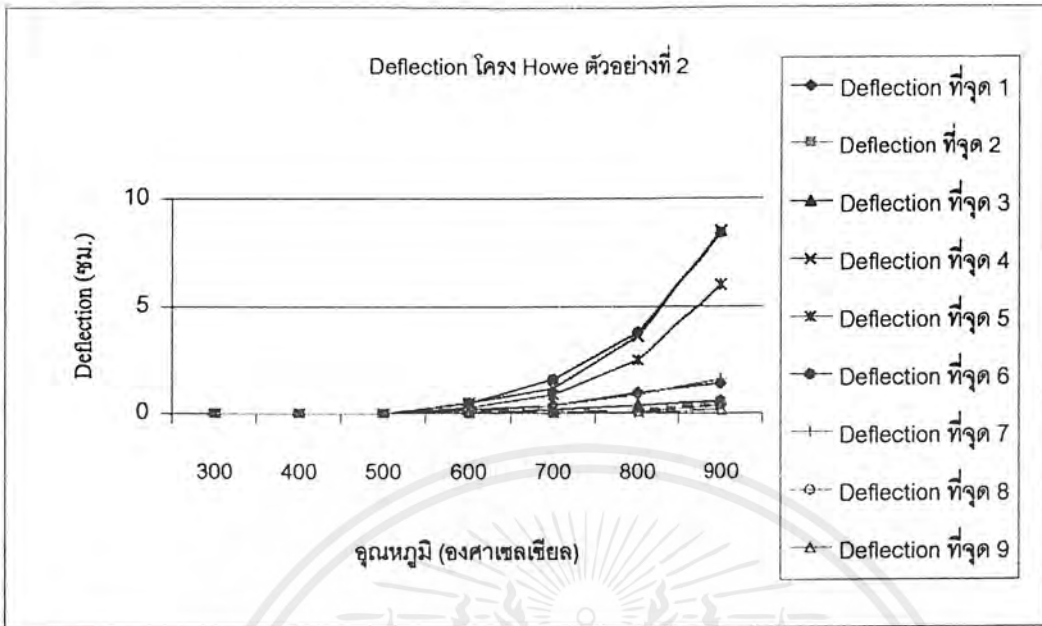
ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.6	1.4	2.3	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพังที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13 4. ค่า Deflection ในช่องทำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.2	0.8	1.6	3.7	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.3	0.9	1.9	5.6	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.5	1.3	2.4	6.2	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0.1	0.4	1.1	1.8	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0.1	0.2	0.6	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.2	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง	

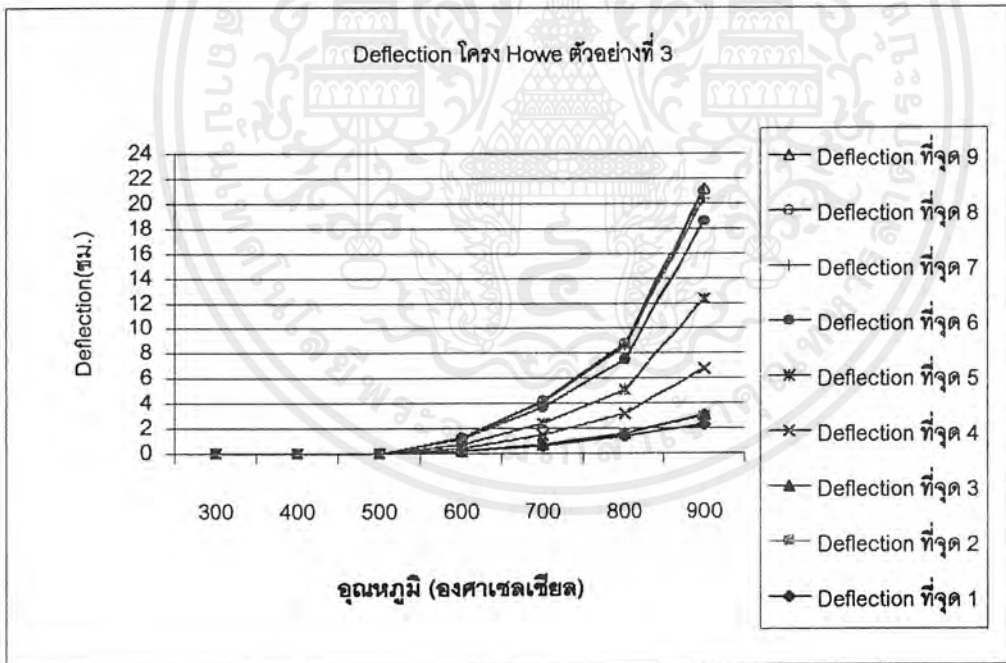
ตารางที่ 5.1(ค) แสดงค่า Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.5(ก) แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 5.5.(ข) แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

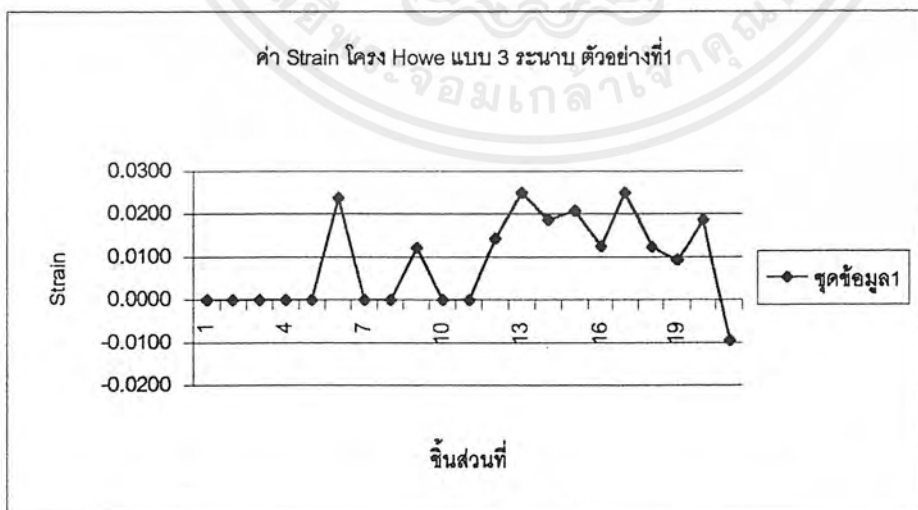


รูปที่ 5.5.(ค) แสดงกราฟ Deflection ที่จุดต่างๆของแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 1

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				
4				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12 คือ Upper chord
5				
6	84	86	0.0238	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.6	0.0122	
10				
11				
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8.2	0.0250	
14	16	16.3	0.0188	
15	24	24.5	0.0208	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.2	0.0250	
18	16.1	16.3	0.0124	
19	21.3	21.5	0.0094	
20	16.1	16.4	0.0186	
21	21.3	21.1	-0.0094	

ตารางที่ 5.2.(ก) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1



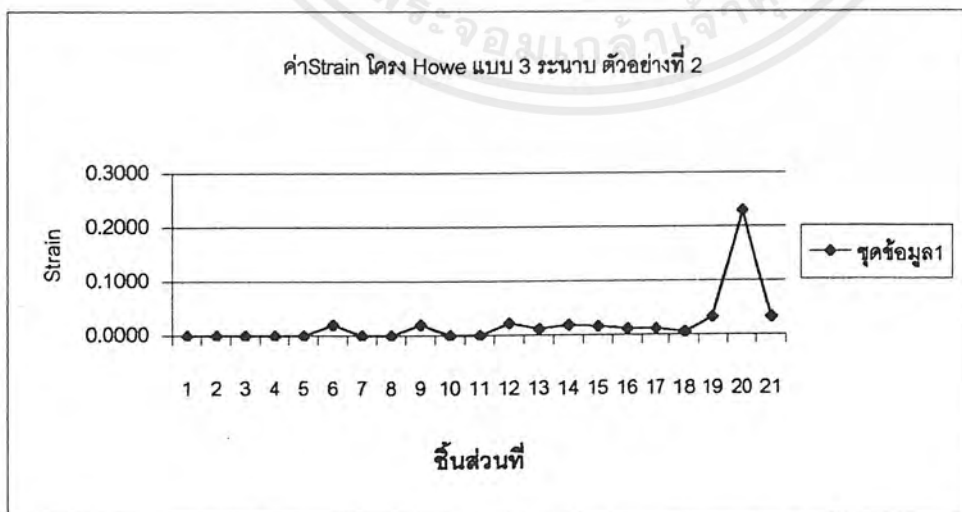
รูปที่ 5.6.(ก) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 2

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.7	0.0202	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ค้าง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวแขง
9	49	50	0.0204	
10				
11				
12	49	50.1	0.0224	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16.3	0.0188	
15	24	24.4	0.0167	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.1	0.0125	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	22	0.0329	
20	16.1	19.8	0.2298	
21	21.3	22	0.0329	

ตารางที่ 5.2.(ข) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2



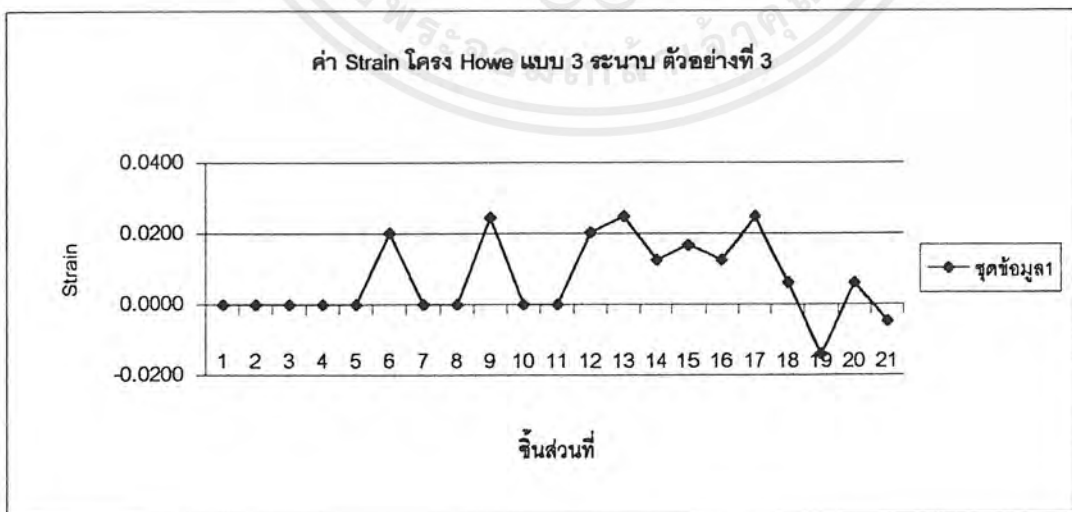
รูปที่ 5.6.(ข) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 3

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเสาค (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.7	0.0202	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ค้วทแขง
9	49	50.2	0.0245	
10				
11				
12	49	50	0.0204	
13	8	8.2	0.0250	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.4	0.0167	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.2	0.0250	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	21	-0.0141	
20	16.1	16.2	0.0062	
21	21.3	21.2	-0.0047	

ตารางที่ 5.2.(ค) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.6.(ค) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.6	1.4	2.3	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 890
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.1	องศาเซลเซียส
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0.1	0.2	0.6	3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.8	4. ค่า Deflection ในช่องท้าวเป็นค่า
ตีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ล้า	ล้า	ล้าเข้ม	แดง	ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง

ตารางที่ 5.3.(ก) แสดงค่า Deflection โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

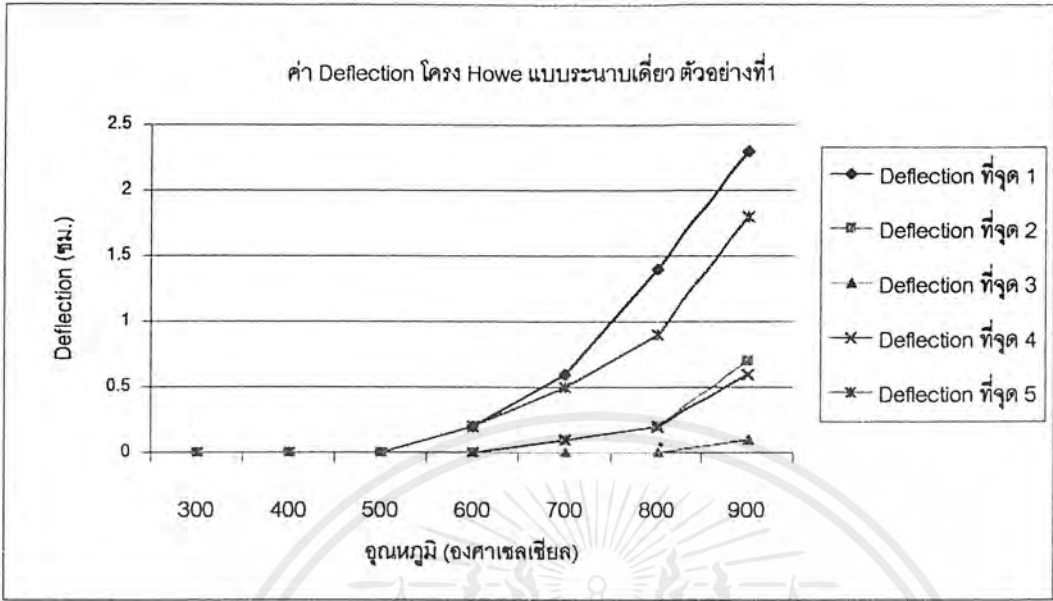
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.6	1.4	1.9	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 900
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.2	องศาเซลเซียส
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0.1	0.2	0.6	3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.9	4. ค่า Deflection ในช่องท้าวเป็นค่า
ตีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ล้า	ล้า	ล้าเข้ม	แดง	ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง

ตารางที่ 5.3.(ข) แสดงค่า Deflection โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

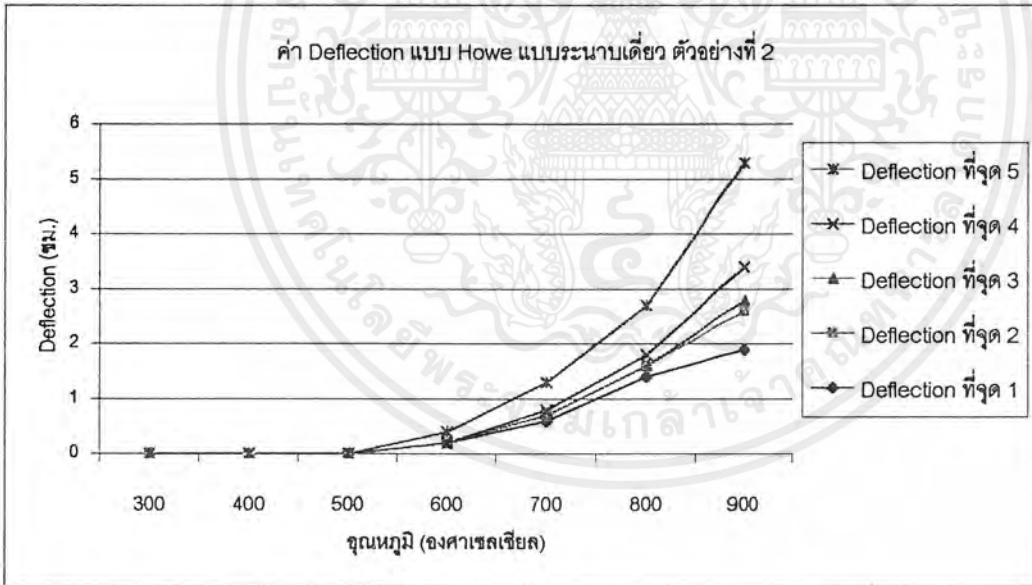
ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0.2	0.5	1.3	2.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.6	2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 906
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.1	องศาเซลเซียส
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 13
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.2	0.4	0.8	1.8	4. ค่า Deflection ในช่องท้าวเป็นค่า
ตีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ล้า	ล้า	ล้าเข้ม	แดง	ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง

ตารางที่ 5.3.(ค) แสดงค่า Deflection โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.7.(ก) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 5.7.(ข) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2



ความยาวชิ้นส่วนแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.9	0.0107	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.7	0.0143	
10				
11				
12	49	49.8	0.0163	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.6	0.0250	
16	16	16.3	0.0188	
17	8	8.3	0.0375	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	21.5	0.0094	
20	16.1	16.3	0.0124	
21	21.3	21.4	0.0047	

ตารางที่ 5.4.(ก) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

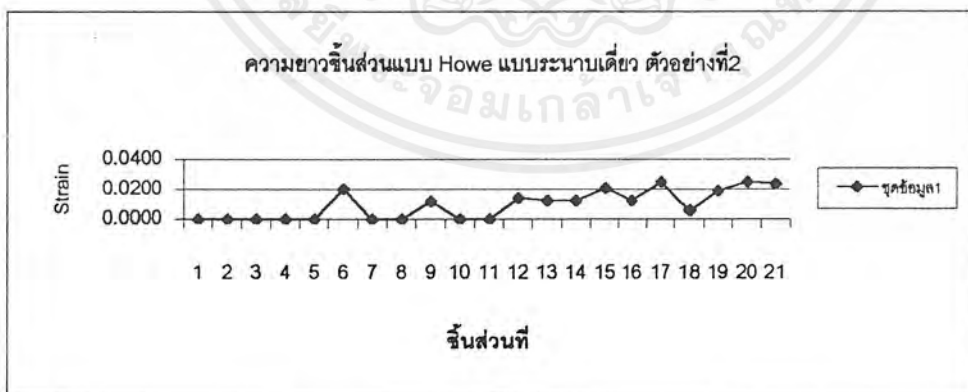


รูปที่ 5.8.(ก) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

ความยาวชิ้นส่วนแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเสาค (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.7	0.0202	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ตั๊ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.6	0.0122	
10				
11				
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.5	0.0208	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.2	0.0250	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	21.7	0.0188	
20	16.1	16.5	0.0248	
21	21.3	21.8	0.0235	

ตารางที่ 5.4.(ข) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

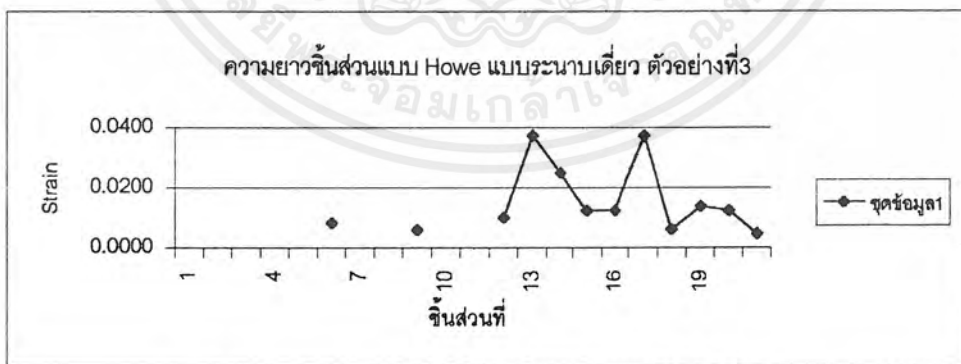


รูปที่ 5.8.(ข) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

ความยาวชิ้นส่วนแบบ Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.7	0.0083	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.3	0.0061	
10				
11				
12	49	49.5	0.0102	
13	8	8.3	0.0375	
14	16	16.4	0.0250	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.3	0.0375	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	21.6	0.0141	
20	16.1	16.3	0.0124	
21	21.3	21.4	0.0047	

ตารางที่ 5.4.(ข) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.8.(ค) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาที่จุดหมุน 885 องศาเซลเซียส 3. ชั้นตัววิกฤติ คือ ชั้นที่ 18 4. ค่า Deflection ในช่องก้ำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0.3	0.9	2	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.2	0.5	1.6	3	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.4	1.8	3.5	7.7	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.6	2.1	5.8	13	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.9	
ที่เหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เต็ม	เต็มเข้ม	แดง		

ตาราง 5.5.(ก) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

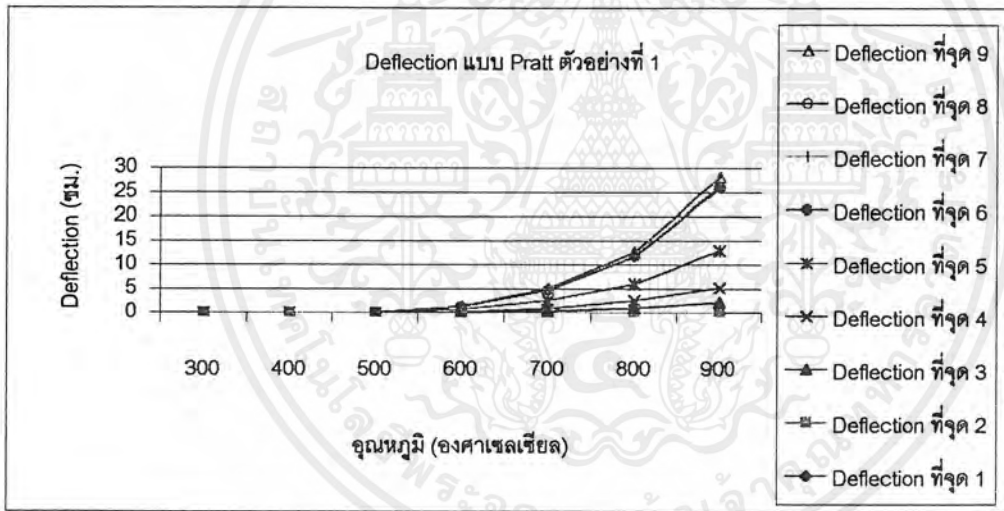
	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาที่จุดหมุน 870 องศาเซลเซียส 3. ชั้นตัววิกฤติ คือ ชั้นที่ 18 4. ค่า Deflection ในช่องก้ำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0.3	0.9	1.6	3.1	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.4	0.9	1.7	3.3	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.6	1.7	3.8	8	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.8	2.1	4.5	10	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0.2	0.6	1.6	2.5	
ที่เหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เต็ม	เต็มเข้ม	แดง		

ตาราง 5.5.(ข) ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

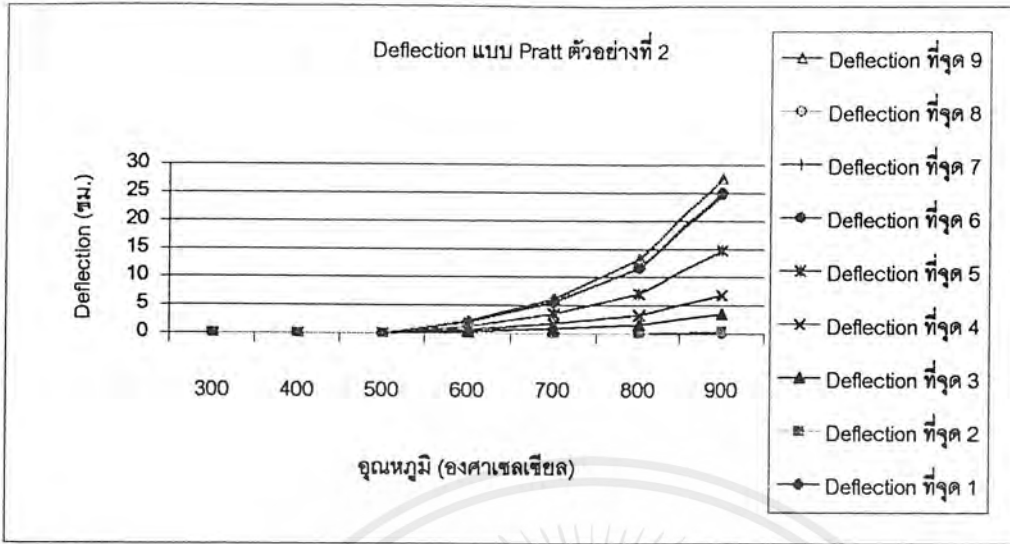
ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาที่อุณหภูมิ 880 องศาเซลเซียส 3. ชั้นตัวนวิกฤติ คือ ชั้นที่ 18 4. ค่า Deflection ในช่องทำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0.2	0.8	1.6	2.8	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.2	0.8	1.7	3.1	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.5	1.3	3.9	7.5	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.8	2.2	4.6	9.4	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0.1	0.6	1.3	2.7	
ทีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เริ่ม	เริ่มเข้ม	แดง		

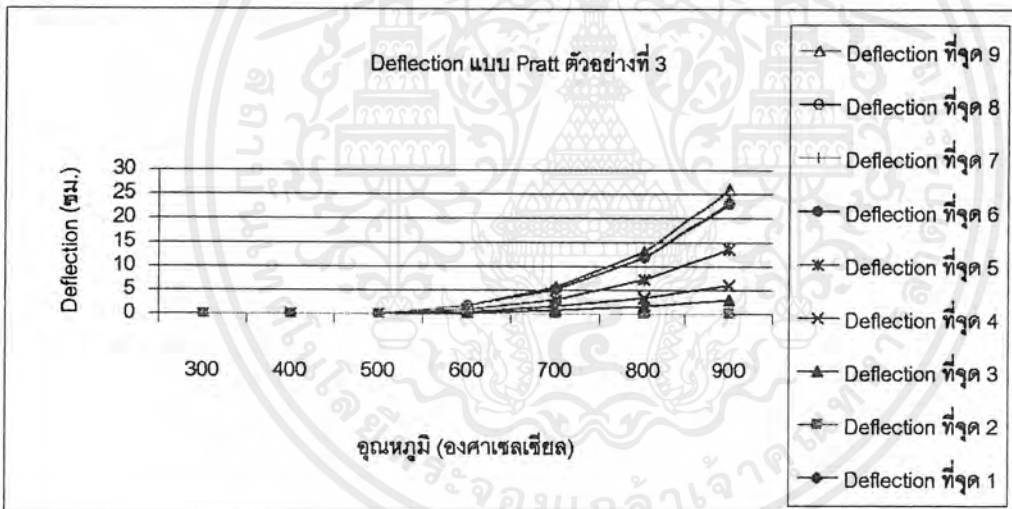
ตาราง 5.5.(ค)ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3



รูป 5.9.(ก) แสดงกราฟ Deflection โครงแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1



รูป 5.9.(ข) แสดงกราฟ Deflection โครงแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

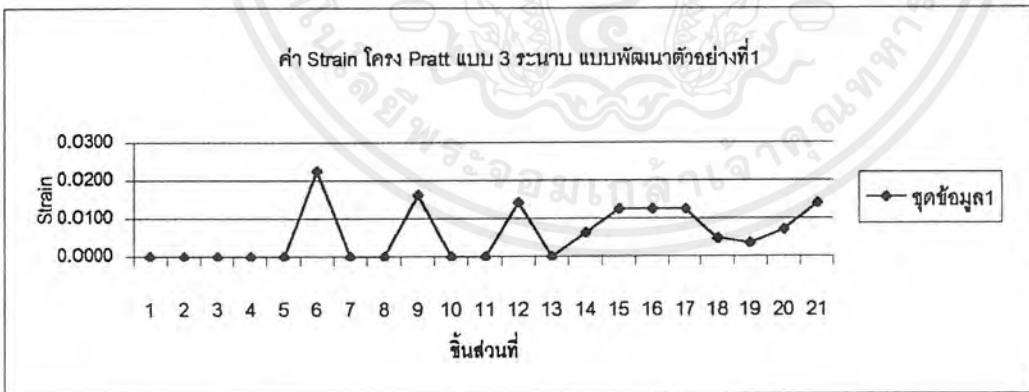


รูป 5.9.(ค) แสดงกราฟ Deflection โครงแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Pratt ตัวอย่างที่ 1

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.9	0.0226	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.8	0.0163	
10				
11				
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8		
14	16	16.1	0.0063	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.4	0.0047	
19	27.8	27.9	0.0036	
20	27.8	28	0.0072	
21	21.3	21.6	0.0141	

ตารางที่ 5.6.(ก) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

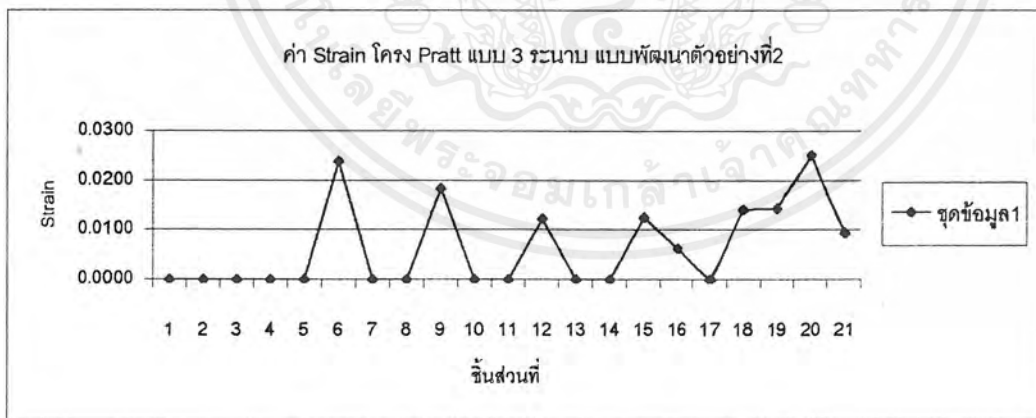


รูปที่ 5.10.(ก) กราฟแสดงค่า Strain โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Pratt ตัวอย่างที่ 2

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	86	0.0238	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คัง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.9	0.0184	
10				
11				
12	49	49.6	0.0122	
13	8	8		
14	16	16		
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8		
18	21.3	21.6	0.0141	
19	27.8	28.2	0.0144	
20	27.8	28.5	0.0252	
21	21.3	21.5	0.0094	

ตารางที่ 5.6.(ข) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

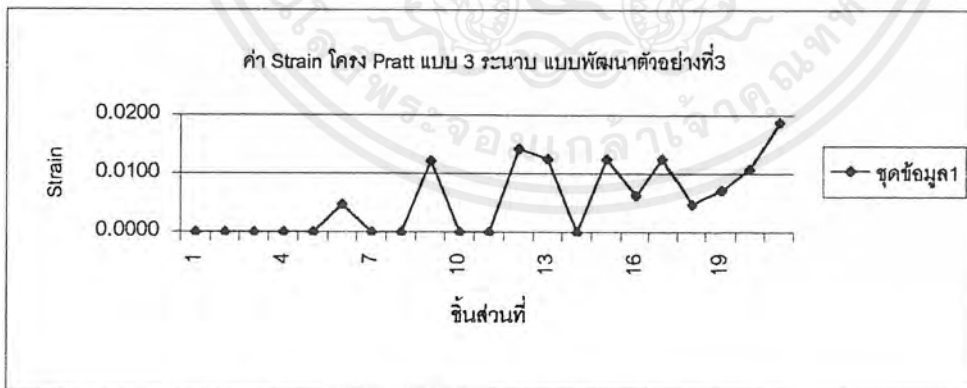


รูปที่ 5.10.(ข) กราฟแสดงค่า Strain โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Pratt ตัวอย่างที่ 3

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1			0.0000	1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2			0.0000	
3			0.0000	2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4			0.0000	คือ Upper chord
5			0.0000	
6	84	84.4	0.0048	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ค้าง
7			0.0000	
8			0.0000	4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.6	0.0122	
10			0.0000	
11			0.0000	
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16	0.0000	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.4	0.0047	
19	27.8	28	0.0072	
20	27.8	28.1	0.0108	
21	21.3	21.7	0.0188	

ตารางที่ 5.6.(ค) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่3



รูปที่ 5.10.(ค) กราฟแสดงค่า Strain โครง Prattแบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Deflection แบบ Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 880 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 18 4. ค่า Deflection ในช่องทำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพังก
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0.1	0.3	1.1	2.8	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0	0	0	0.1	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง		

ตาราง 5.7.(ก) แสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

ค่า Deflection แบบ Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 890 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 18 4. ค่า Deflection ในช่องทำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพังก
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0.1	0.4	0.9	2.6	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0	0	0	0	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง		

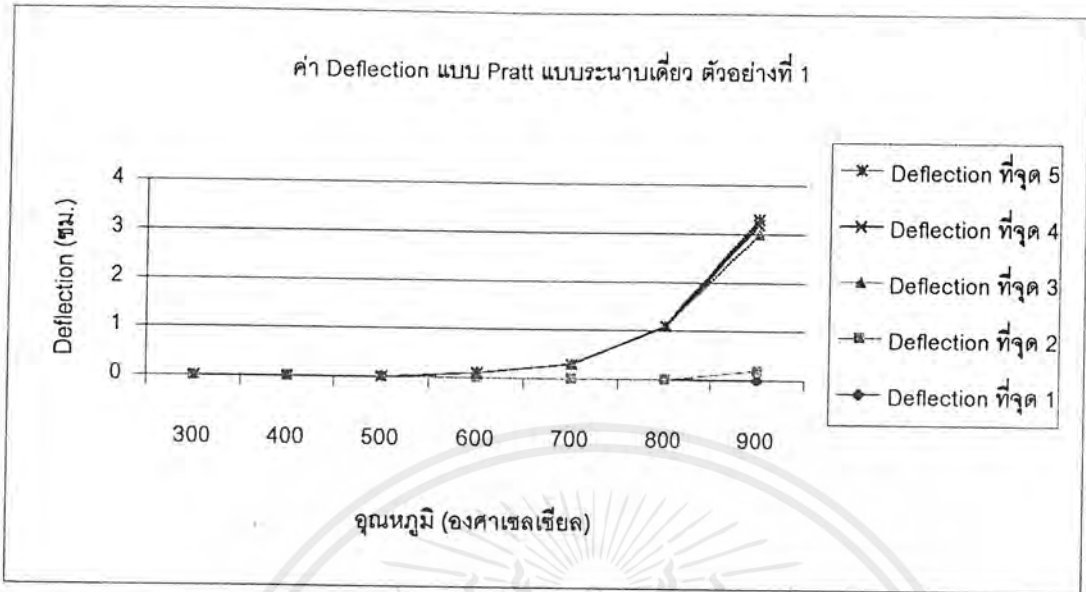
ตาราง 5.7.(ข) แสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

ค่า Deflection แบบ Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

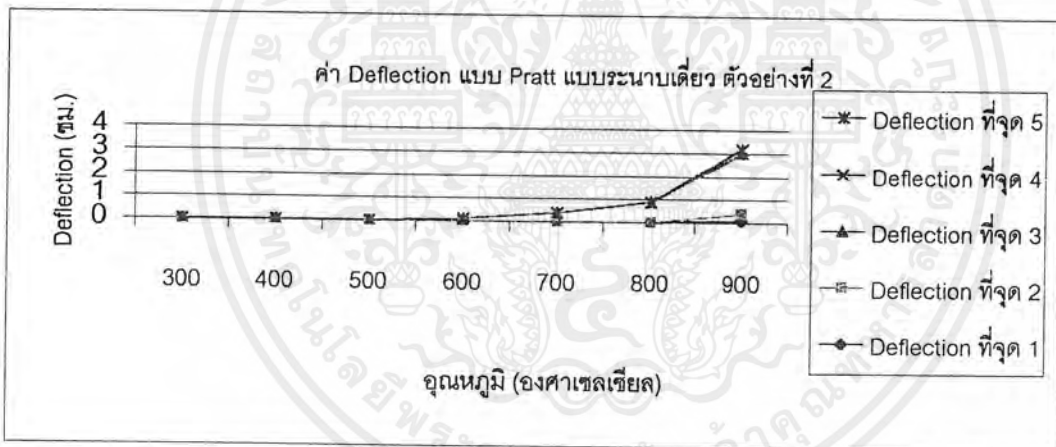
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0.2	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาพังกที่อุณหภูมิ 886 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้น 18 4. ค่า Deflection ในช่องทำเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพังก
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0.1	0.3	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0.1	0.5	1.3	3.1	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0	0	0	0.1	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง		

ตาราง 5.7.(ค) แสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

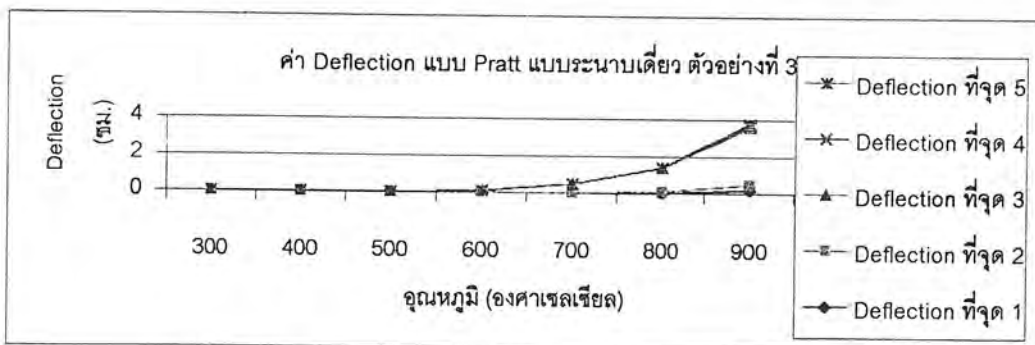
ค่า Deflection แบบ Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 5.11.(ก) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 5.11.(ข) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 2

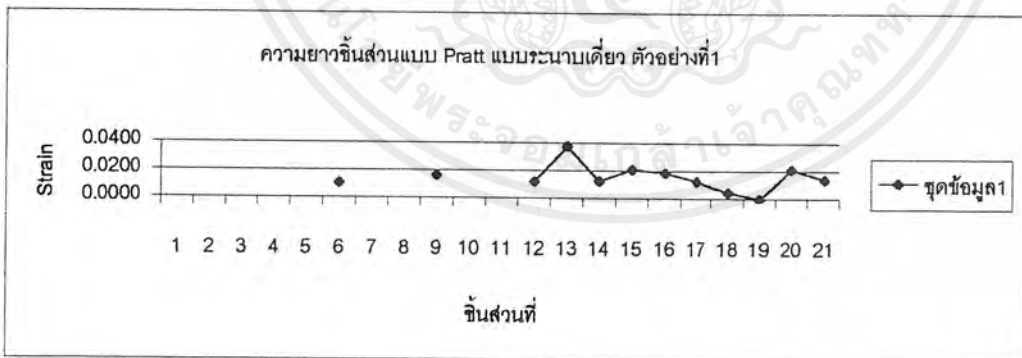


รูปที่ 5.11.(ค) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 3

ความยาวชิ้นส่วนแบบ Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเหา (cm.	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.9	0.0107	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ตัง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ค่าวขง
9	49	49.8	0.0163	
10				
11				
12	49	49.6	0.0122	
13	8	8.3	0.0375	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.5	0.0208	
16	16	16.3	0.0188	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.4	0.0047	
19	27.8	27.8	0.0000	
20	27.8	28.4	0.0216	
21	21.3	21.6	0.0141	

ตารางที่ 5.8.(ก) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

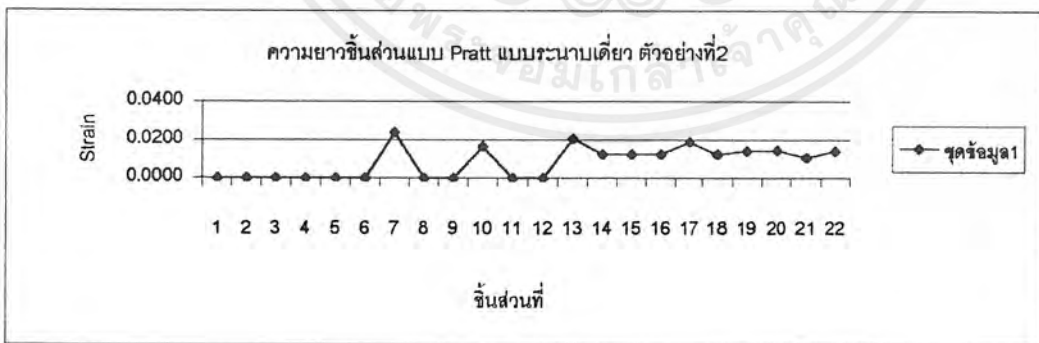


รูปที่ 5.12.(ก) กราฟแสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่ 1

ความยาวชิ้นส่วนแบบ Howle แบบระนาบเดี่ยว ตัวอย่างที่ 2

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเสก (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	86	0.0238	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ค้าง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ค้ำทแยง
9	49	49.8	0.0163	
10				
11				
12	49	50	0.0204	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.3	0.0188	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.6	0.0141	
19	27.8	28.2	0.0144	
20	27.8	28.1	0.0108	
21	21.3	21.6	0.0141	

ตารางที่ 5.8.(ข) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดี่ยว ตัวอย่างที่ 2

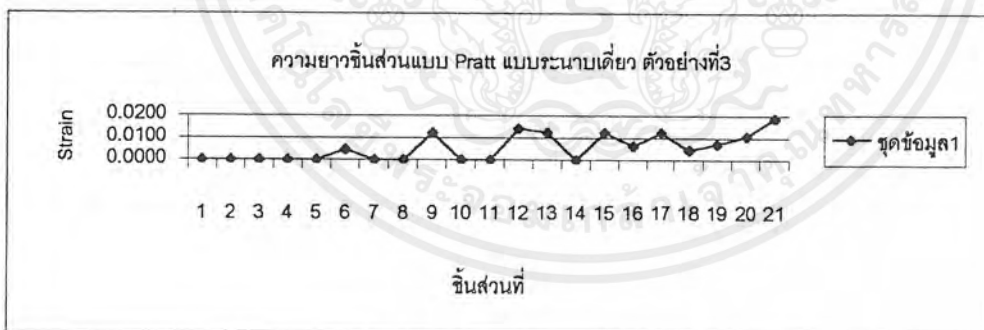


รูปที่ 5.12.(ข) กราฟแสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดี่ยว ตัวอย่างที่ 2

ความยาวชิ้นส่วนแบบ Howie แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่3

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.4	0.0048	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ค้าง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ คิวทแยง
9	49	49.6	0.0122	
10				
11				
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16	0.0000	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.4	0.0047	
19	27.8	28	0.0072	
20	27.8	28.1	0.0108	
21	21.3	21.7	0.0188	

ตารางที่ 5.8.(ค) แสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่3



รูปที่ 5.12.(ค) กราฟแสดงค่า Strain โครง Pratt แบบระนาบเดียว ตัวอย่างที่3

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1 แบบพัฒนา ตัวอย่างที่ 1

	จุดทงุมิ (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาที่จุดทงุมิ 920 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ 4. ค่า Deflection ในช่องท้ายเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.2	0.8	2.4	4.7	7	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.3	0.9	3.1	5.1	7.9	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.3	1.1	3.2	5.4	8.2	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0.4	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	แดง	แดง	แดงเข้ม	

ตาราง 5.9.(ก) แสดงค่า Deflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ภาคพัฒนา

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2 แบบพัฒนา

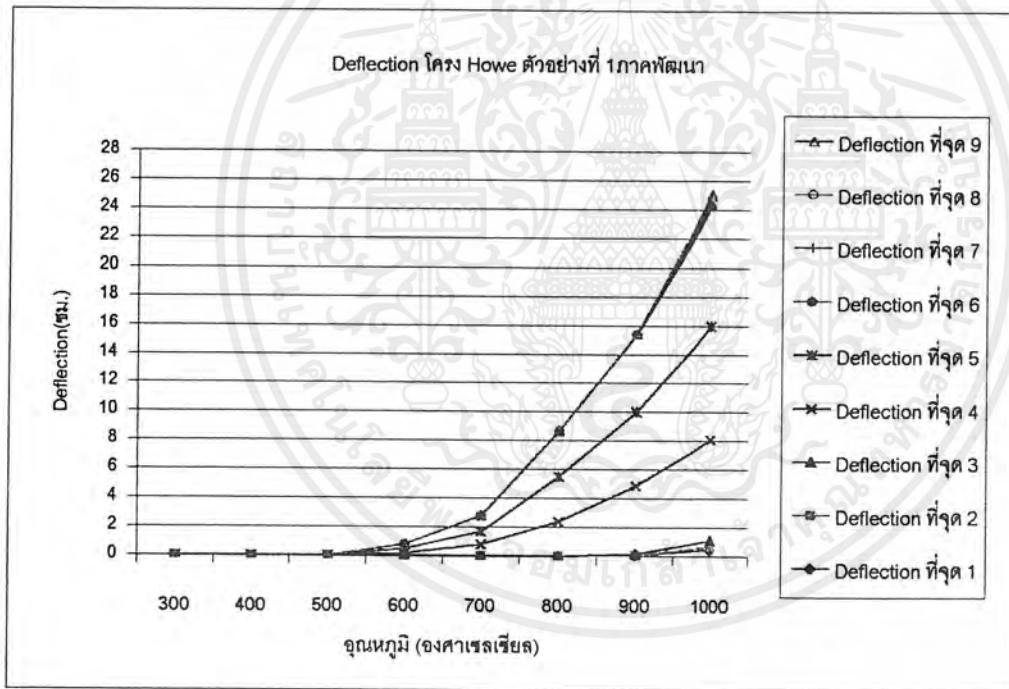
	จุดทงุมิ (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาที่จุดทงุมิ 922 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ 4. ค่า Deflection ในช่องท้ายเป็นค่า ก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.3	1.4	2.7	4	6.4	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.3	1.3	2.6	3.6	6.7	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.4	1.4	2.8	3.8	7.2	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
สีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ส้ม	ส้มเข้ม	ส้มเข้ม	แดง	แดงเข้ม	

ตาราง 5.9.(ข) แสดงค่า Deflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

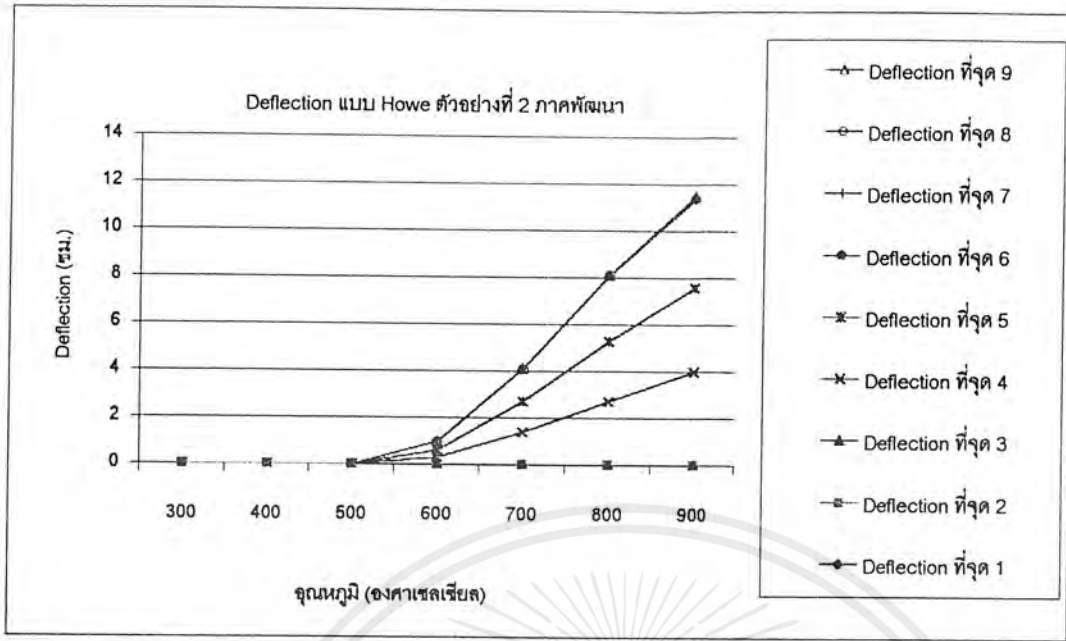
ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ ตัวอย่างที่ 3 แบบพัฒนา

	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ	
	300	400	500	600	700	800	900	1000		
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาทั้งที่จุดหมุนมี 916 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ 4. ค่า Deflection ในช่องท้ายเป็นค่าก่อนที่โครงหลังคาจะพัง
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0.3	1.4	2.9	3.7	6.8		
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.3	1.4	3	4.3	7.2		
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.4	1.6	3.1	5.1	8		
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
ทีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ห้ม	ห้มเข้ม	ห้มเข้ม	แดง			

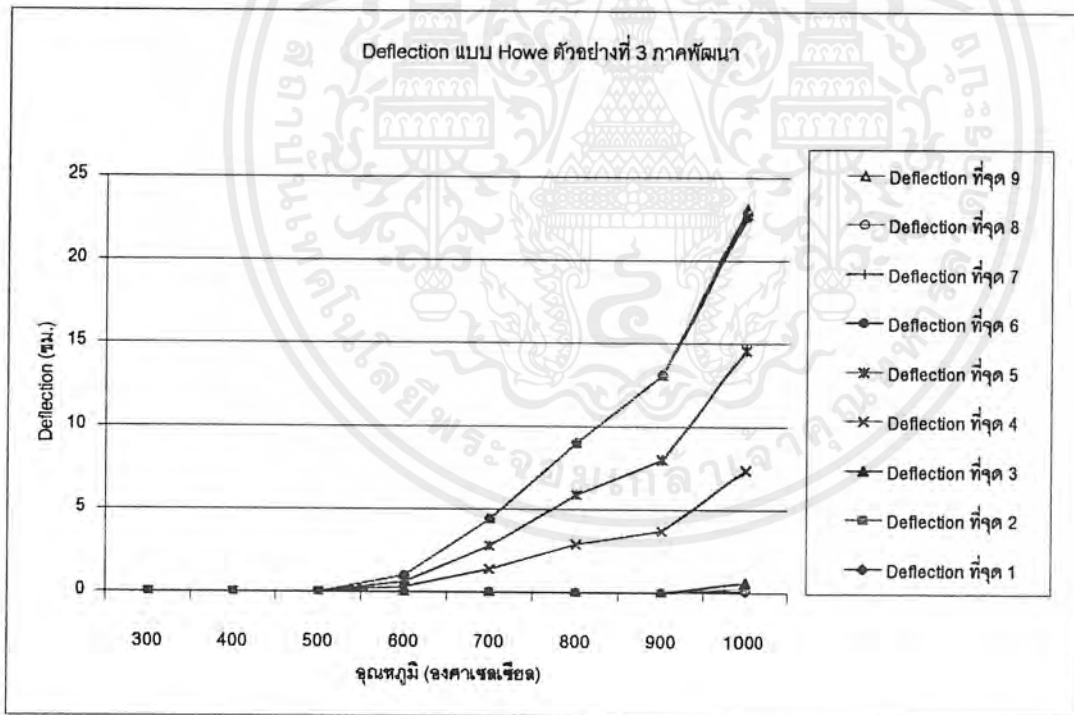
ตาราง 5.9.(ค) แสดงค่า Deflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนา ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.13.(ก) แสดงกราฟ ค่า Deflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 5.13.(ข) แสดงกราฟ ค่าDeflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่2

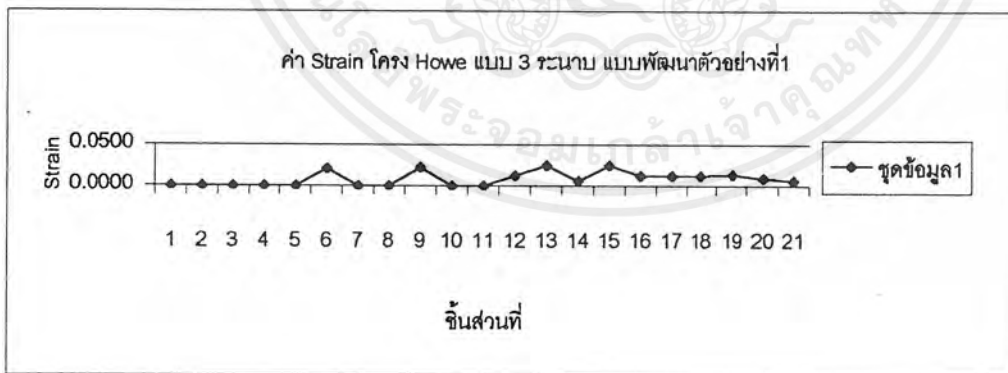


รูปที่ 5.13.(ค) แสดงกราฟ ค่าDeflection โครงแบบ Howe แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่3

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 1 แบบพัฒนา

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.8	0.0214	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ตัง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวขนง
9	49	50.1	0.0224	
10				
11				
12	49	49.6	0.0122	
13	8	8.2	0.0250	
14	16	16.1	0.0063	
15	24	24.6	0.0250	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.1	0.0125	
18	16.1	16.3	0.0124	
19	21.3	21.6	0.0141	
20	21.3	21.5	0.0094	
21	16.1	16.2	0.0062	

ตาราง 5.10.(ก) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1

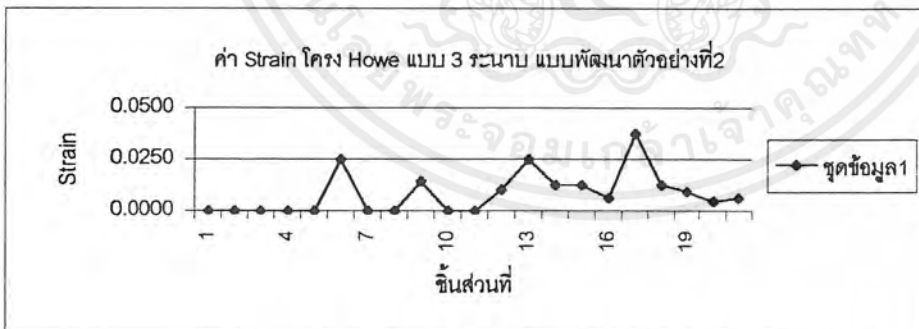


รูปที่ 5.14.(ก) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 2 แบบพัฒนา

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	86.1	0.0250	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ตัวทแยง
9	49	49.7	0.0143	
10				
11				
12	49	49.5	0.0102	
13	8	8.2	0.0250	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8.3	0.0375	
18	16.1	16.3	0.0124	
19	21.3	21.5	0.0094	
20	21.3	21.4	0.0047	
21	16.1	16.2	0.0062	

ตาราง 5.10.(ข) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

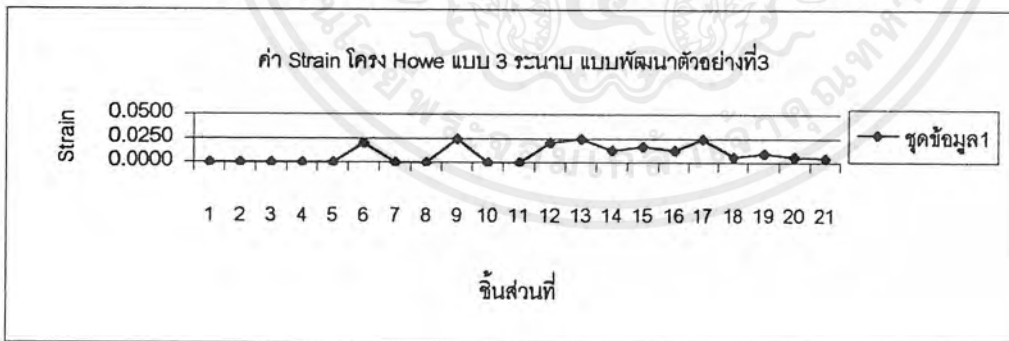


รูปที่ 5.14.(ข) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

ความยาวชิ้นส่วน โครงแบบ Howe ตัวอย่างที่ 3 แบบพัฒนา

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	85.7	0.0202	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ ค้ำ
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ ค้ำทแยง
9	49	50.2	0.0245	
10				
11				
12	49	50	0.0204	
13	8	8.2	0.0250	
14	16	16.2	0.0125	
15	24	24.4	0.0167	
16	16	16.2	0.0125	
17	8	8.2	0.0250	
18	16.1	16.2	0.0062	
19	21.3	21.5	0.0094	
20	16.1	16.2	0.0062	
21	21.3	21.4	0.0047	

ตาราง 5.10.(ค) แสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.14.(ค) กราฟแสดงค่า Strain โครง Howe แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 1 แบบพัฒนา

	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาหังที่จุดหมุน 937 องศาเซลเซียส 3. ชั้นตัวนวิฤติ คือ ชั้นที่ 18
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0.2	0.6	1.1	2.1	3.5	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.2	0.8	1.4	2.6	4.5	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	
ตีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ตี	ตีเข็ม	แดง	แดงเข็ม	แดงเข็ม	

ตารางที่ 5.11.(ก) แสดงค่า Depletion โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1

ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 2 แบบพัฒนา

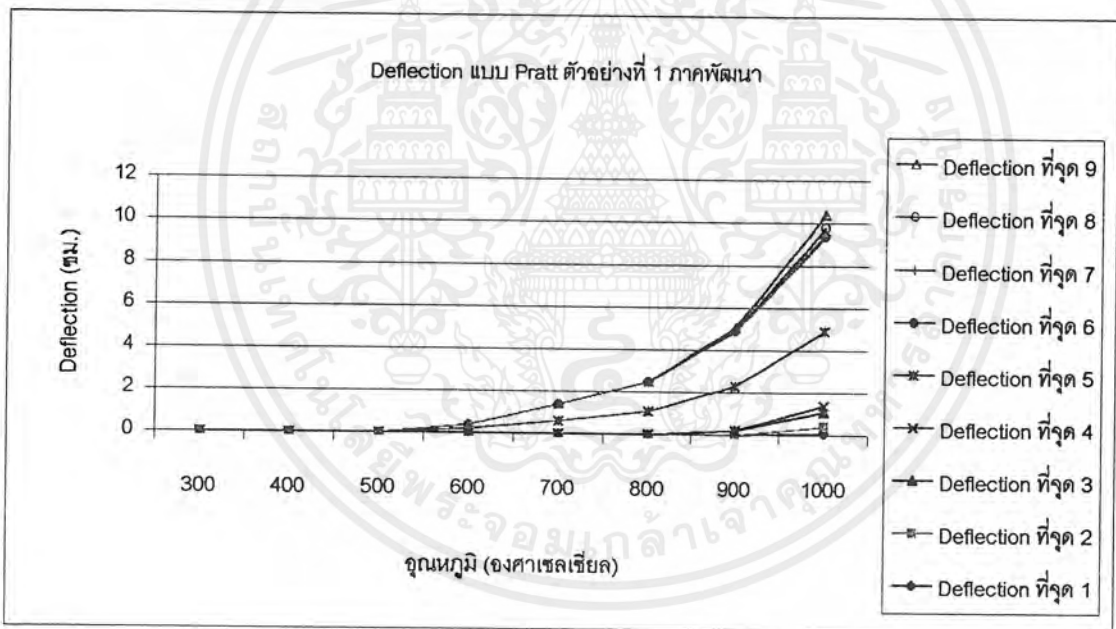
	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาหังที่จุดหมุน 990 องศาเซลเซียส 3. ชั้นตัวนวิฤติ คือ ชั้นที่ 18
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0	0.1	0.4	1	3.6	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0	0.2	0.6	2.1	5	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	
ตีเหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ตี	ตีเข็ม	แดง	แดง	แดงเข็ม	

ตารางที่ 5.11.(ข) แสดงค่า Depletion โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

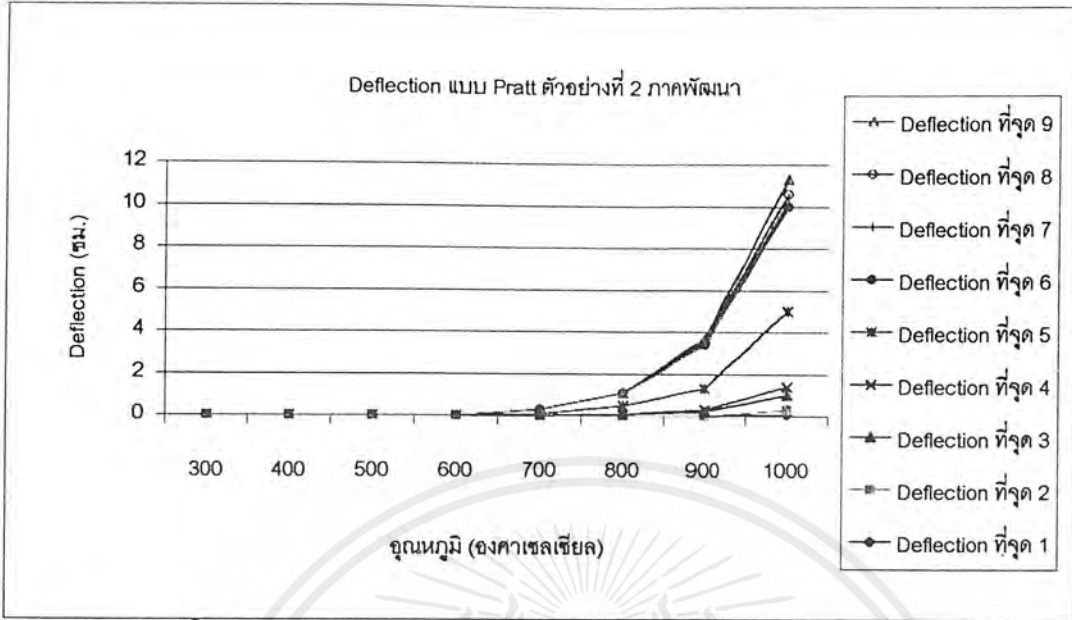
ค่า Deflection โครงหลังคาแบบ Pratt แบบ 3 ระบาย ตัวอย่างที่ 3 แบบพัฒนา

	จุดหมุน (องศาเซลเซียส)								หมายเหตุ
	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Deflection ที่จุด 1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1. ค่า Deflection หน่วย เซนติเมตร 2. โครงหลังคาตั้งที่จุดหมุน 965 องศาเซลเซียส 3. ชั้นส่วนวิกฤติ คือ ชั้นที่ 18
Deflection ที่จุด 2	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	
Deflection ที่จุด 3	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	
Deflection ที่จุด 4	0	0	0	0	0	0	0	0.4	
Deflection ที่จุด 5	0	0	0	0	0	0.2	1	4	
Deflection ที่จุด 6	0	0	0	0.1	0.4	0.9	1.5	4.8	
Deflection ที่จุด 7	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
Deflection ที่จุด 8	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
Deflection ที่จุด 9	0	0	0	0	0	0	0.2	1	
ที่เหล็ก	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เต็ม	เต็มเข้ม	แดง	แดง	แดงเข้ม	

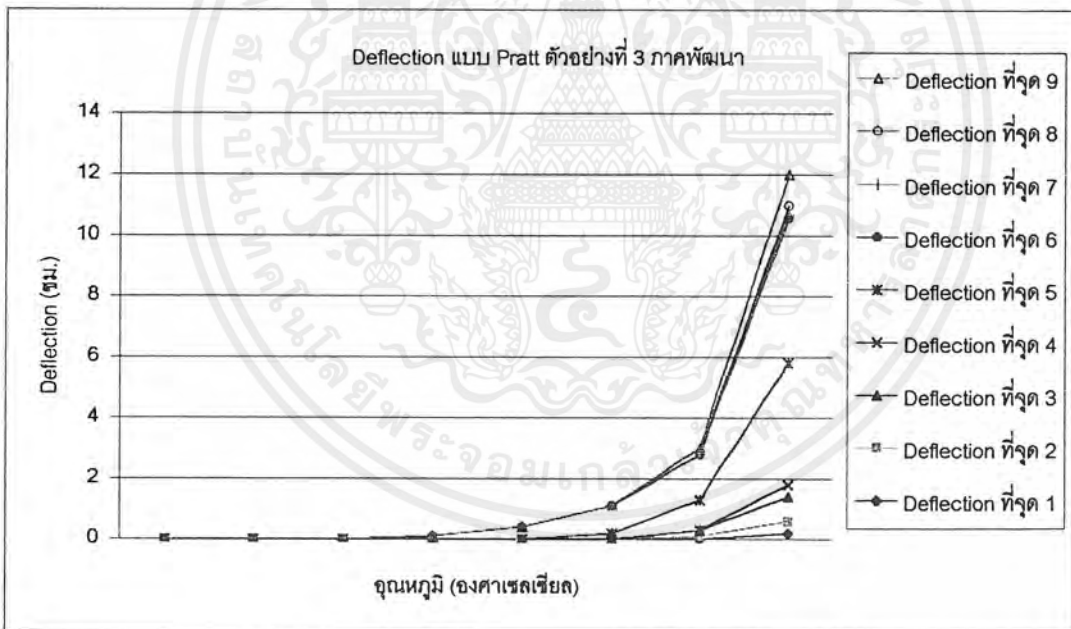
ตารางที่ 5.11.(ค) แสดงค่า Depletion โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.15. (ก) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 5.15. (ข) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

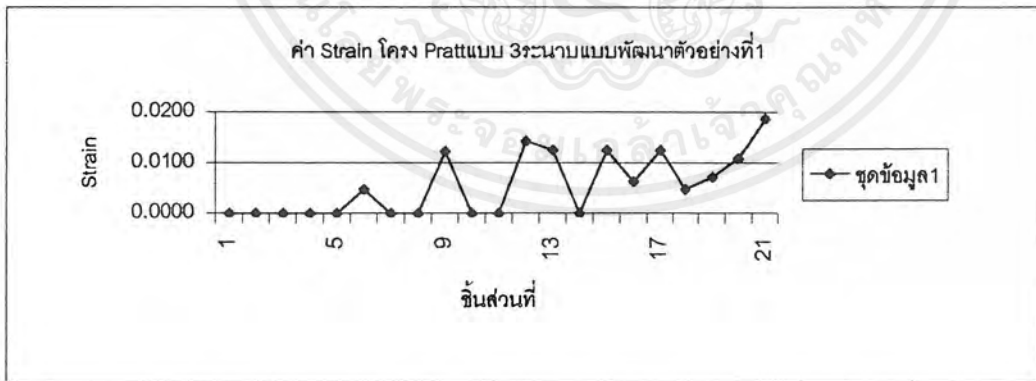


รูปที่ 5.15. (ค) กราฟแสดงค่า Deflection โครง Pratt แบบ 3 ระบาย ภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3

ค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบ แบบพัฒนาตัวอย่างที่ 1

Member	ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.4	0.0048	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คั้ง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ คัทแยง
9	49	49.6	0.0122	
10				
11				
12	49	49.7	0.0143	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16	0.0000	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8.1	0.0125	
18	21.3	21.4	0.0047	
19	27.8	28	0.0072	
20	27.8	28.1	0.0108	
21	21.3	21.7	0.0188	

ตาราง 5.12.(ก) แสดงค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนาตัวอย่างที่ 1

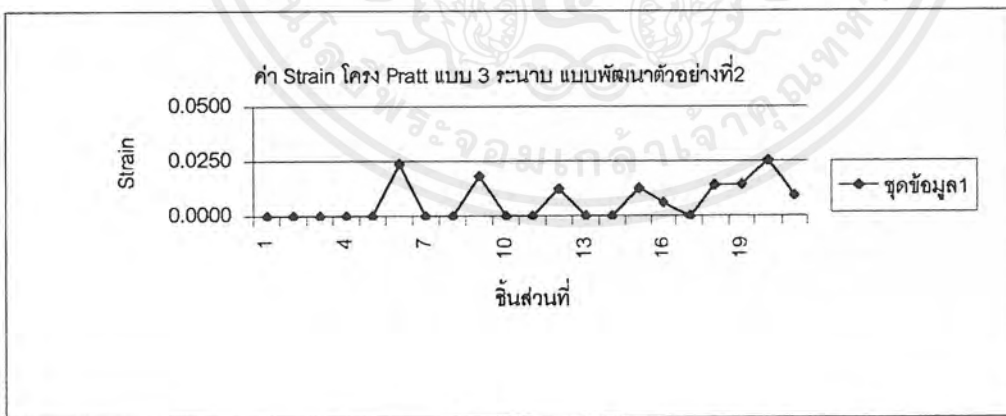


รูปที่ 5.16 (ก) กราฟแสดงค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 1

ค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบ แบบพัฒนาตัวอย่างที่2

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการเผา (cm.)	Strin	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	86	0.0238	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คัง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ คัทวแขง
9	49	49.9	0.0184	
10				
11				
12	49	49.6	0.0122	
13	8	8	0.0000	
14	16	16	0.0000	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.1	0.0063	
17	8	8	0.0000	
18	21.3	21.6	0.0141	
19	27.8	28.2	0.0144	
20	27.8	28.5	0.0252	
21	21.3	21.5	0.0094	

ตาราง 4.12.(ข) แสดงค่า Strain โคจรPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนาตัวอย่างที่2

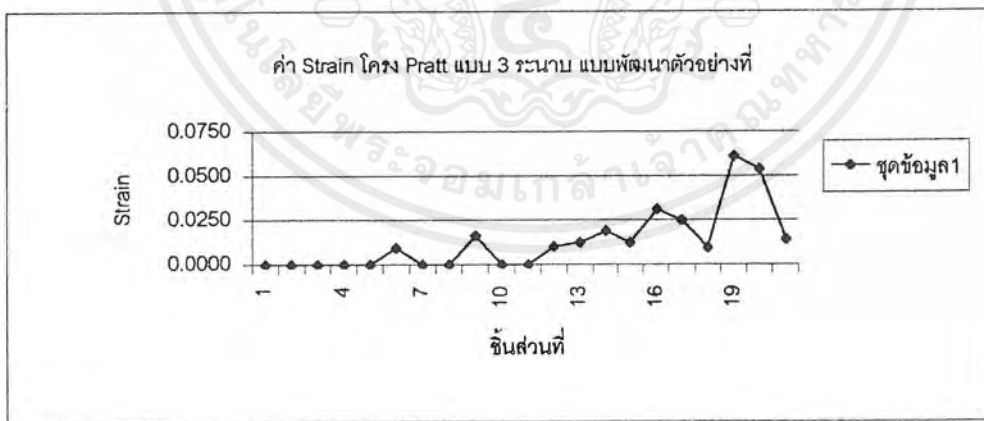


รูปที่ 5.16 (ข) กราฟแสดงค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 2

ค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบ แบบพัฒนาตัวอย่างที่ 3

Member	ความยาวของชิ้นส่วน ( cm.)	ความยาวของชิ้นประกอบหลังการผา (cm.)	Strain	หมายเหตุ
1				1. ชิ้นส่วนที่ 1-6 คือ Lower chord
2				
3				2. ชิ้นส่วนที่ 6-9 และ 10-12
4				คือ Upper chord
5				
6	84	84.8	0.0095	3. ชิ้นส่วนที่ 13-17 คือ คัง
7				
8				4. ชิ้นส่วนที่ 18-21 คือ คัทแขง
9	49	49.8	0.0163	
10				
11				
12	49	49.5	0.0102	
13	8	8.1	0.0125	
14	16	16.3	0.0188	
15	24	24.3	0.0125	
16	16	16.5	0.0313	
17	8	8.2	0.0250	
18	21.3	21.5	0.0094	
19	27.8	29.5	0.0612	
20	27.8	29.3	0.0540	
21	21.3	21.6	0.0141	

ตาราง 4.12.(ค) แสดงค่า Strain โคจรPratt แบบ 3 ระนาบ ภาคพัฒนาตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 5.16 (ค) กราฟแสดงค่า Strain โคจร Pratt แบบ 3 ระนาบภาคพัฒนา ตัวอย่างที่ 3

## บทที่ 6

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบเผาโครงหลังคาเหล็กทั้งสองแบบได้ผลการทดสอบดังนี้

โครงหลังคาแบบ Howe		
ลักษณะ โครงหลังคา	อุณหภูมิที่พัง ( $^{\circ}\text{C}$ )	ชิ้นส่วนวิกฤติ
โครงประกอบ	890	13
โครงประกอบ	905	13
โครงประกอบ	900	13
โครงเดี่ยว	890	13
โครงเดี่ยว	900	13
โครงเดี่ยว	906	13

และ

โครงหลังคาแบบ Pratt		
ลักษณะ โครงหลังคา	อุณหภูมิที่พัง ( $^{\circ}\text{C}$ )	ชิ้นส่วนวิกฤติ
โครงประกอบ	885	18
โครงประกอบ	870	18
โครงประกอบ	880	18
โครงเดี่ยว	880	18
โครงเดี่ยว	890	18
โครงเดี่ยว	886	18

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิการพังของทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยโครงหลังคาประเภท Howe จะมีอุณหภูมิการพังสูงกว่าเล็กน้อยคือประมาณ 20 องศาเซลเซียส โดยรูปแบบการพังของโครงหลังคาแบบ Howe จะมีการพังที่ส่วนคั้งที่ชิ้นส่วนที่ 13 ก่อน และจะเป็ผลทำให้ชิ้นส่วนที่ 18 กลายเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดแทน แต่เนื่องจากการถ่ายเทค่าความแ้่งแรงในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าค่าความแ้่งแรงที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสจะลดลงเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 10 % ซึ่งจะเป็นผลทำให้ชิ้นส่วนที่ 18 ไม่สามารถรับแรงอัดได้จึงทำให้โครงหลังคาไปในที่สุด

ส่วนในแบบ Pratt อุณหภูมิการพองประมาณ 885-890 องศาเซลเซียส โดยรูปแบบการพองของโครงหลังคาประเภทนี้จะเริ่มพองที่ชิ้นส่วนที่ 18 ซึ่งเป็นส่วนที่รับแรงอัดก่อน และเมื่อชิ้นส่วนที่ 18 พองแล้วก็จะทำให้ชิ้นส่วนที่ 13 ซึ่งเดิมรับแรงดึงกลายเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดแทนโดยในตอนนี้ชิ้นส่วนที่ 13 จะมีลักษณะคล้ายกับชิ้นส่วนที่ 13 ของแบบHowe ในที่สุด

จะเห็นได้ว่า ถ้าเราทำการออกแบบให้โครงหลังคามีสันที่รับแรงอัดมีความยาวมาก จะทำให้ได้ค่าความชะงืดมาก ก็จะมีผลทำให้มีค่าแรงที่ยอมให้น้อยและจะทำให้สามารถทนไฟได้น้อยไปด้วยตามกราฟรูปที่ 2.4

สำหรับการปรับปรุงโครงหลังคาที่จะนำเสนอก็คือ เพิ่มขนาดหน้าตัดให้แก่ส่วนรับแรงอัดเพื่อเหตุผล 2 ประการคือ

1. เป็นการลดค่าแรงอัดที่กระทำต่อส่วนรับแรงอัด ซึ่งเป็นข้อดีของเหล็กที่สามารถรับแรงดึงได้ดีกว่า
2. เป็นการลดค่าความชะงืดลง ทำให้มีค่าแรงอัดที่ยอมให้สูงขึ้นกว่าเดิม

สำหรับผลการทดสอบหลังจากทำการปรับปรุง โครงหลังคาโดยการเพิ่มขนาดหน้าตัดให้กับส่วนรับแรงอัดนั้น ได้ผลดังนี้

โครงหลังคาแบบ Howe		
ลักษณะโครงหลังคา	อุณหภูมิที่พอง (°C)	ชิ้นส่วนวิกฤติ
โครงประกอบ	925	13
โครงประกอบ	922	13
โครงประกอบ	940	13

โครงหลังคาแบบ Pratt		
ลักษณะ โครงหลังคา	อุณหภูมิที่พัง (°C).	ชิ้นส่วนวิกฤติ
โครงประกอบ	937	14
โครงประกอบ	990	14
โครงประกอบ	940	14

ในการทดสอบหลังจากการปรับปรุงโครงหลังคาแล้วจะเป็นผลให้ โครงหลังคาสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนลักษณะการพังนั้นจะแตกต่างไปจากเดิมเล็กน้อยในส่วนของแบบ Pratt นั้นจะไปพังที่ชิ้นส่วนที่ 14 ซึ่งเป็นชิ้นรับแรงอัดก่อน ส่วนในเรื่องของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้ จะเห็นได้ว่าไม่มีค่าความแน่นอนมากนัก อันเนื่องมาจากสาเหตุที่ว่า “เหล็กจะเริ่มสูญเสียค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300°C และจะลดลงเป็นอัตราที่ สม่ำเสมอจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 800 °C ค่าความแข็งแรงที่เหล็กจะค่อนข้างน้อยมาก ดังนั้นการลดค่าความแข็งแรงลงจะเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ไม่สม่ำเสมอ จนกระทั่งละลายที่อุณหภูมิ 1500 °C ” ( R.M. Lawson , Fire resistance and protection of structural steelwork) จากบทความข้างต้นนี้ทำให้เข้าใจได้ว่า จะมีการให้นิยามไว้แค่ที่อุณหภูมิไม่เกิน 800 °C แต่ในการทดสอบซึ่งได้อุณหภูมิเกิน 800 °C จึงทำให้ได้ค่าอุณหภูมิการพังที่ไม่แน่นอนนัก อันเนื่องมาจากขีดจำกัดต่าง ๆ คือ ขนาดหน้าตัดเหล็กที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบต้องการขนาดหน้าตัดที่เล็กกว่าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำให้ได้ค่าความปลอดภัยสูง(Safety Factor) เกินกว่าที่กำหนดมาก

แต่อย่างไรก็ตามในการนำเสนอแนววิธีการปรับปรุงนี้ ยังจะพอแสดงให้เห็นถึงแนวทางที่น่าสนใจอยู่บ้าง คือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้ ซึ่งแนวทางนี้ทางฝ่ายผู้ทำการค้นคว้าได้เสนอว่า เหมาะสำหรับการใช้ในโครงหลังคาของโรงงานเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะหลังคาของโรงงานนั้นจะเป็นการสิ้นเปลืองมากถ้าใช้การป้องกันในแบบอื่น อีกทั้งในกรณีที่เป็นโรงงานในแบบที่มีหลังคาสูงก็จะทำให้เวลาเกิดเพลิงไหม้นั้น จะใช้เวลานานในการทำเหล็กมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงขีดจำกัด อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มเวลาในการให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ที่ประสบภัยจากเพลิงไหม้ได้อีกด้วย

## บรรณานุกรม

1. บัณฑิต เกษรมาลา, กำลังที่แปรเปลี่ยนตามเวลาของคอนกรีตหลังจากถูกไฟไหม้ที่ระดับความรุนแรงปานกลาง, วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2531
2. Chapman And Hall, Test Qualify For Construction Materials And Structures Proceeding Of International RILEM/ILAC Symposion, page 147-152
3. ดร. มานะ มหาสุวีระชัย กองวิศวกรรมโยธา กรมโยธาธิการ, พฤติกรรมและการตรวจสอบอาคารคอนกรีตเมื่อถูกไฟไหม้, วิศวกรรมสาร เล่มที่ 5 ประจำปี 2530, หน้า 63-66
4. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การทดสอบวัสดุทนไฟของวัสดุก่อสร้างและมาตรการป้องกันภัยพิบัติจากเพลิงไหม้, ว.ส.ท. เทคโนโลยี ปีที่ 49 เล่มที่ 1 มกราคม 2539, หน้า 41-52
5. คณัฏ ธานี, เทอดพงษ์ สมภักดี และ สิริชัย มาลีพัตร, การศึกษากำลังของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ.2539, หน้า 1-16
6. กองบังคับการตำรวจดับเพลิง, การป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2541
7. สมาน เจริญกิจพุดผล และ มนตรี พิรุณเกษร, การวิเคราะห์มิติและความคล้ายคลึง, กลศาสตร์ของไหลฉบับเสริมประสบการณ์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน) พ.ศ. 2521 หน้า 303-329.
8. กิรติ ลีจันกฤต, การวิเคราะห์มิติเชิงหน่วยและความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์, ชลศาสตร์(ระบบ SI), บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), พ.ศ.2538, หน้า 313-337.
9. พงษ์เจต พรหมวงศ์, การถ่ายเทความร้อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ.2534
10. Robert W.Fox, Alan T.McDonald, School of Mechanical Engineering Purdue University, Dimensional Analysis And Similitude, Introduction to Fluid Mechanics Fourth Edition, page 271-296
11. Dieterich J.Schuring, Scale Models In Engineering Fundamental And Applications, Calspan Corporation, Buffalo, New York., page 212-224
12. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิตช่อวิเชียร, ตารางหน่วยแรงอัดที่ขอมให้, การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก, พ.ศ.2539, หน้า 312.

13. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิตช่อวิเชียร, ตารางคุณสมบัติของเหล็กฉากแบบขาเท่ากัน. การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก, พ.ศ.2539, หน้า 305





ภาคผนวก ก.

**รายการคำนวณนำนักกระทำบนโครงหลังคา  
และนำนักที่กระทำบนแบบจำลอง**

## รายการคำนวณน้ำหนักที่กระทำบนโครงหลังคา

น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนักเครื่องมุง ( กระเบื้อง )	= 13.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
น้ำหนักแปเหล็ก	= 10.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
น้ำหนักโครงหลังคา	= 15.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
น้ำหนักค้ำยัน	= 8.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
น้ำหนักบรรทุกจร	= 50.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
รวม	= 96.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

แรงลมกระทำตั้งฉากกับโครงหลังคา

$$P_n = P\theta / 45 \quad (\text{ผ.ก.1})$$

ซึ่ง  $P_n$  = แรงลมตั้งฉากกับแนวหลังคา หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ( $\text{kg/m}^2$ )

$P$  = แรงลมในแนวราบ หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ( $\text{kg/m}^2$ )

$\theta$  = เป็นมุมลาดของหลังคา หน่วยเป็นองศา

ดังนั้นแรงลมกระทำตั้งฉากกับโครงหลังคา ( $P_n$ ) (Ketchum อ้างถึงใน วินิต ช่อวิเชียร, สนั่น เจริญเผ่า ,2539)

$$= (50 \times 30) / 45$$

$$= 33.33 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

โดยแรงลมในแนวราบ ( $P$ ) (พรบ.ควบคุมอาคาร, 2522) มีค่าเท่ากับ  $50 \text{ กก.ม}^2$

เมื่อแตกแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคาเข้าในแกนค้ำจะได้

$$= 33.33 \times \text{Cos } 30^\circ$$

$$= 28.9 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

เมื่อแตกแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคาเข้าในแกนราบจะได้

$$= 33.33 \times \text{Sin } 30^\circ$$

$$= 16.6 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กกลางของ โครงหลังคาระนาบกลางคั้ันที่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 2 \times 0.7) + (28.9 \times 2 \times 0.81)$$

$$= 181.9 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กริมของ โครงหลังคาระนาบกลางแลลจุดค้กกลางของ โครงหลังคาระนาบริมคั้ันที่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 2 \times 0.35) + (28.9 \times 1 \times 0.81)$$

$$= 90.9 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กริมของ โครงหลังคาระนาบริมคั้ันที่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 1 \times 0.35) + (28.9 \times 1 \times 0.41)$$

$$= 45.48 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กของ โครงหลังคาระนาบกลาง

$$= (96.5 \times 2 \times 0.7) + (28.9 \times 2 \times 0.41)$$

$$= 158.44 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กของ โครงหลังคาระนาบริม

$$= (96.5 \times 1 \times 0.7) + (28.9 \times 1 \times 0.41)$$

$$= 79.22 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กกลางของ โครงหลังคาระนาบกลางคั้ันที่ไม่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 2 \times 0.70)$$

$$= 135 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กริมของ โครงหลังคาระนาบกลางแลลจุดค้กกลางของ โครงหลังคาระนาบริมคั้ันที่ไม่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 2 \times 0.35)$$

$$= 67.5 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวคั้งที่จุดค้กริมของ โครงหลังคาระนาบริมคั้ันที่ไม่มีแรงแทมกระทำ

$$= (96.5 \times 1 \times 0.35)$$

$$= 33.75 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวราบที่จุดค้กกลางแ่เนื่องจากแรงแทมของ โครงหลังคาระนาบกลาง

$$= (16.6 \times 2 \times 0.7)$$

$$= 26.8 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้แรงแทกระทำในแแนวราบแ่เนื่องจากแรงแทมที่จุดค้กริม โครงหลังคาระนาบกลางแลลจุดค้กกลางของ โครงหลังคาระนาบริม

$$= (16.6 \times 1 \times 0.7)$$

$$= 13.39 \text{ กิโลอกรัม}$$

คังนั้นแรงกระทำในแนวราบเนื่องจากแรงลมที่จุดต่อริม โครงหลังคากระนาบริม

$$= (16.6 \times 1 \times 0.35)$$

$$= 6.7 \text{ กิโลกรัม}$$

เนื่องจากอัตราส่วนของแบบจำลองเป็น 1 : 5 คังนั้นน้ำหนักที่กระทำกับแบบจำลองจึงเป็น 1 : 25 เพื่อให้ค่าความเค้น (Stress) ของแบบจำลองเท่ากับค่าความเค้น (Stress) ของโครงหลังคาตาม ทฤษฎีคังได้กล่าวไว้ว่า





ภาคผนวก ข.

รายการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการวิเคราะห์หาค่าแรงในชิ้นส่วนโครงหลังคา

บทนำ

เนื้อหาในส่วนภาคผนวก ข. นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคา ซึ่งจะ  
ใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ โดยใช้การวิเคราะห์ ในระบบ 2 มิติ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหน้าตัด  
เหล็กซึ่งแสดงในภาคผนวก ง.

ข้อมูลในการคำนวณโดยโปรแกรม คอมพิวเตอร์

- ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณแรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe และ Pratt  
โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Type

Structure Type

2-D Frame

3-D Frame

2-D Truss

3-D Truss

Project

new project: bracing1

Engineer

OK Cancel

รูปที่ ผ.ข.1. แสดงการใส่ค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Loads

Label temp

Type

Point Load

Distributed Load

Moment Load

Left Triangle

Right Triangle

Temperature

Member Thickness 4 m

Delta temp top 1000

Delta temp bottom 1000

Orientation

Local

Global

Projection

Direction

X

Y

Z

Add

Delete

Modify

Label	O-D-T	Param1	Param2	Param3
temp	L-Y-T	4	1000	1000
wind X r..	L-Y-P	-135	0	-
wind X r..	L-Y-P	-270	0	-
wind X r..	L-Y-P	-540	0	-
wind X r..	L-Y-P	-135	1	-
wind X r..	L-Y-P	-270	1	-

OK Cancel

รูปที่ ผ.ข. 2(ก) แสดงการใส่ค่านำหน้าบรรทุกทุกใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อ 77 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Loads** [X]

Label:

Type:
 

- Point Load
- Distributed Load
- Moment Load
- Left Triangle
- Right Triangle
- Temperature

Member Thickness:  m

Delta temp top:

Delta temp bottom:

Orientation:
 

- Local
- Global
- Projection

Direction:
 

- X
- Y
- Z

Label	O-D-T	Param1	Param2	Param3
wind X r..	L-Y-P	-135	0	-
wind X r..	L-Y-P	-270	0	-
wind X r..	L-Y-P	-540	0	-
wind X r..	L-Y-P	-135	1	-
wind X r..	L-Y-P	-270	1	-
wind X r..	L-Y-P	-540	1	-

รูปที่ ผ.ข. 2(ข) แสดงการใส่ค่านำหนักบรรทุกทุกใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

**Joint Loads** [X]

Load case:

Joint List:
 

- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19

Joint	Fx	Fy
13	0	-700.001
19	0	-700.001
20	0	-1400
21	0	-1400
22	0	-1400
23	0	-1400
24	0	-1400

รูปที่ ผ.ข. 2(ค) แสดงการใส่ค่านำหนักบรรทุกทุกใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

**Joints** [X]

Label:   Show Tag

X m:  Y m:  Z m:

Label	X	Y	Tag
13	0	0	-
14	0.7	0	-
15	1.4	0	-
16	2.1	0	-
17	2.8	0	-
18	3.5	0	-
19	4.2	0	-
20	0.7	0.4	-

รูปที่ ผ.ข.3(ก) แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

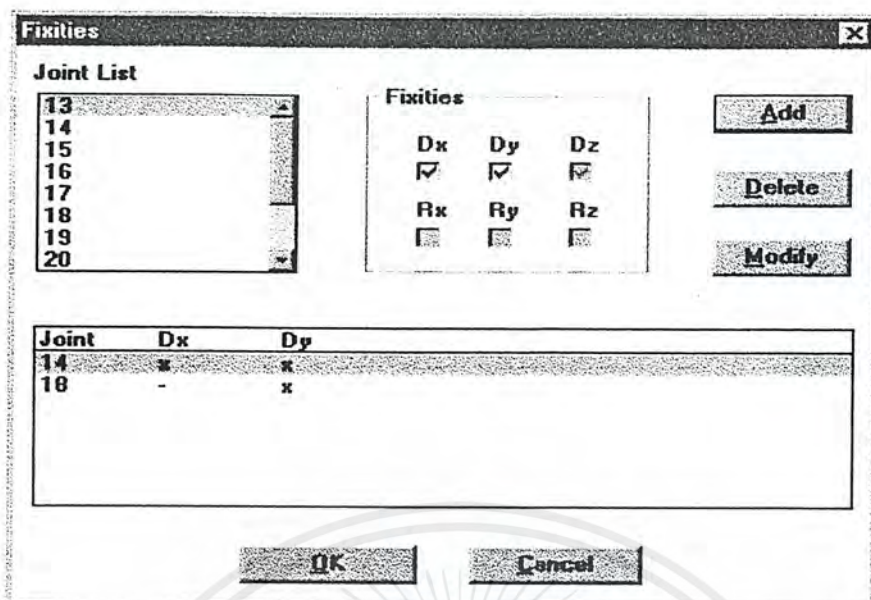
**Joints** [X]

Label:   Show Tag

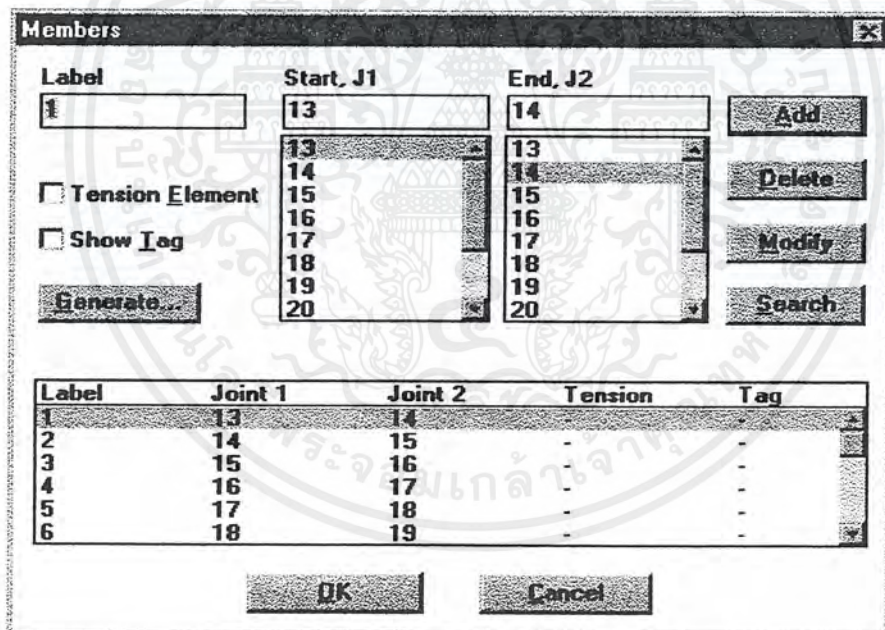
X m:  Y m:  Z m:

Label	X	Y	Tag
17	2.8	0	-
18	3.5	0	-
19	4.2	0	-
20	0.7	0.4	-
21	1.4	0.8	-
22	2.1	1.2	-
23	2.8	0.8	-
24	3.5	0.4	-

รูปที่ ผ.ข.3(ข) แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ ผ.ข.4 แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดรองรับในโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ ผ.ข.5(ก) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
7	13	20	-	-
8	20	21	-	-
9	21	22	-	-
10	22	23	-	-
11	23	24	-	-
12	24	19	-	-

รูปที่ ผ.ข.5(ข) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe

**Members** [X]

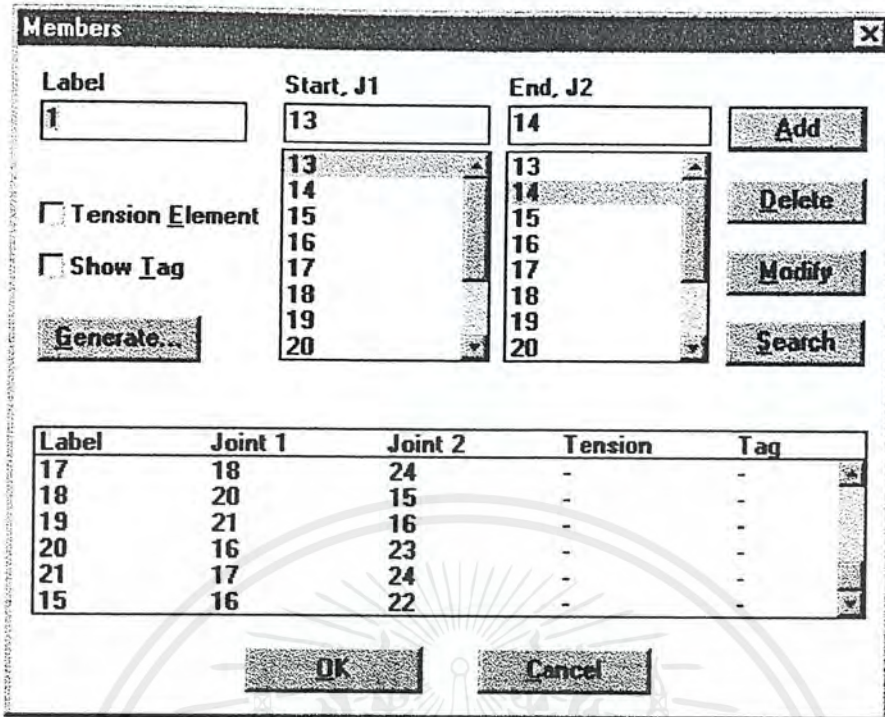
Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

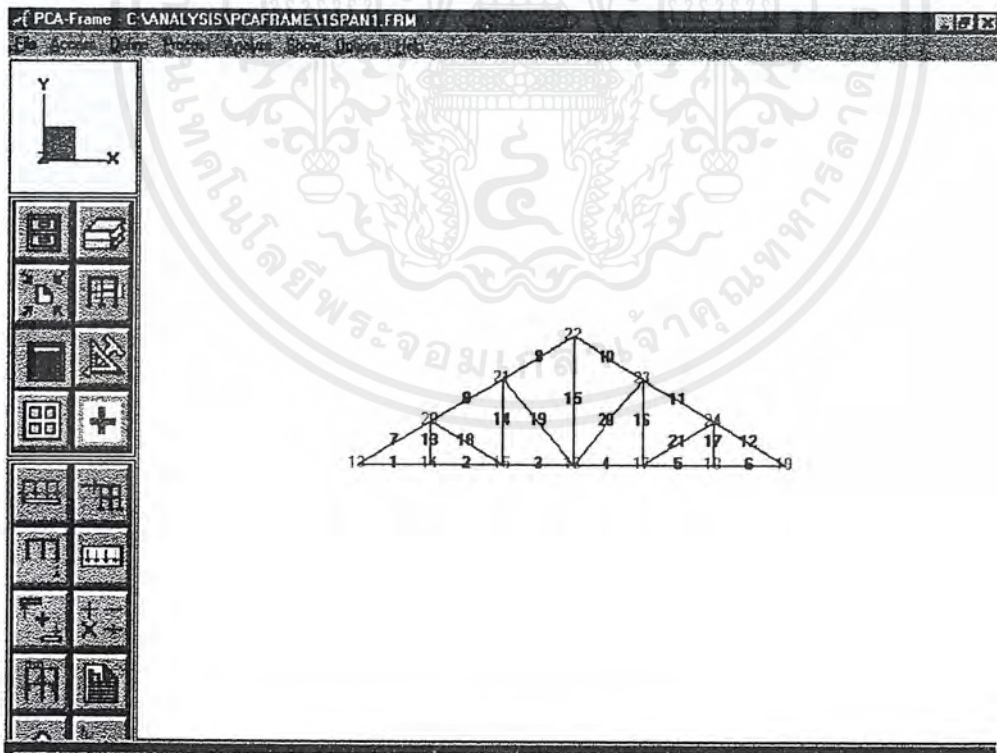
Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
13	14	20	-	-
14	15	21	-	-
16	17	23	-	-
17	18	24	-	-
18	20	15	-	-
19	21	16	-	-

รูปที่ ผ.ข.5(ค) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 81 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.5(ง) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe



รูปที่ ผ.ข.5(จ) แสดงการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 82 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
1	13	14	-	-
2	14	15	-	-
3	15	16	-	-
4	16	17	-	-
5	17	18	-	-
6	18	19	-	-

รูปที่ ผ.ข.6 (ก) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
7	13	20	-	-
8	20	21	-	-
9	21	22	-	-
10	22	23	-	-
11	23	24	-	-
12	24	19	-	-

รูปที่ ผ.ข.6 (ข) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt

**Members** [X]

Label:

Start, J1:  End, J2:

Tension Element

Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
13	14	20	-	-
14	15	21	-	-
16	17	23	-	-
17	18	24	-	-
18	14	21	-	-
19	15	22	-	-

รูปที่ ผ.ข.6 (ค) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt

**Members** [X]

Label:

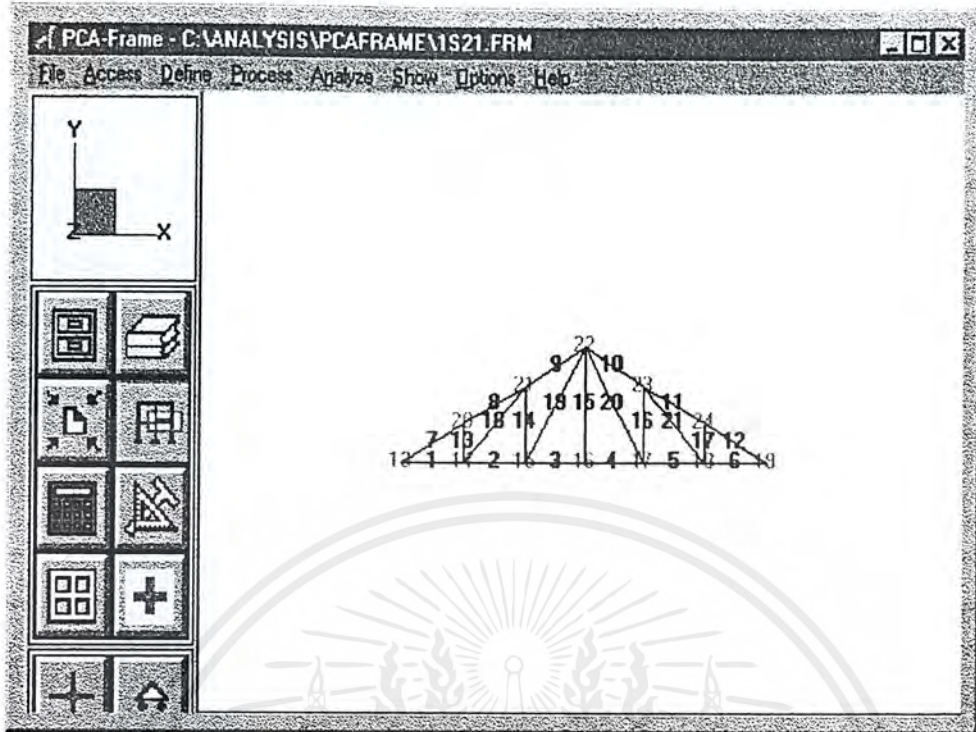
Start, J1:  End, J2:

Tension Element

Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
17	18	24	-	-
18	14	21	-	-
19	15	22	-	-
20	22	17	-	-
21	23	18	-	-
15	16	22	-	-

รูปที่ ผ.ข.6 (ง) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt



รูปที่ ผ.ข.6 (จ) แสดงการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt

ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe

Joint Results				
Combination		wind Right+dead		
Options		End Forces		Format 12.4e right
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)	
1	13	1.7692e+003	0.0000e+000	
1	14	-1.7692e+003	0.0000e+000	
2	14	9.6546e+002	0.0000e+000	
2	15	-9.6546e+002	0.0000e+000	
3	15	-1.8665e+003	0.0000e+000	
3	16	1.8665e+003	0.0000e+000	
4	16	-1.5295e+003	0.0000e+000	
4	17	1.5295e+003	0.0000e+000	
5	17	1.2250e+003	0.0000e+000	
5	18	-1.2250e+003	0.0000e+000	
6	18	1.2250e+003	0.0000e+000	
6	19	-1.2250e+003	0.0000e+000	
7	13	-1.8834e+003	2.7000e+002	
7	20	1.8834e+003	-9.8559e-011	
8	20	1.6869e+003	5.4000e+002	

รูปที่ ผ.ข.7(ก). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของ โครงหลังคาแบบ Howe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 85 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
		Format 12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
8	20	1.6869e+003	5.4000e+002
8	21	-1.6869e+003	-9.7915e-011
9	21	1.7243e+003	5.4000e+002
9	22	-1.7243e+003	2.7000e+002
10	22	1.8786e+003	1.4071e-011
10	23	-1.8786e+003	-1.4071e-011
11	23	1.7617e+003	1.2732e-010
11	24	-1.7617e+003	-1.2732e-010
12	24	-1.4109e+003	2.8225e-010
12	19	1.4109e+003	-2.8225e-010
13	14	5.2585e+003	0.0000e+000
13	20	-5.2585e+003	0.0000e+000
14	15	1.6183e+003	0.0000e+000
14	21	-1.6183e+003	0.0000e+000
16	17	1.5740e+003	0.0000e+000

รูปที่ผ.ข.7(จ). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของ โครงหลังคาแบบ Howe

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
		Format 12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
14	21	-1.6183e+003	0.0000e+000
16	17	1.5740e+003	0.0000e+000
16	23	-1.5740e+003	0.0000e+000
17	18	4.5481e+003	0.0000e+000
17	24	-4.5481e+003	0.0000e+000
18	20	-3.2617e+003	-8.4647e-011
18	15	3.2617e+003	3.5321e-011
19	21	3.5759e+002	2.1512e-011
19	16	-3.5759e+002	-2.1595e-011
20	16	-1.5416e+002	2.1116e-011
20	23	1.5416e+002	-2.1116e-011
21	17	-3.1726e+003	-1.0534e-010
21	24	3.1726e+003	1.0534e-010
15	16	-1.5309e+002	0.0000e+000
15	22	1.5309e+002	0.0000e+000

รูปที่ผ.ข.7(ค). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของ โครงหลังคาแบบ Howe

ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Pratt

Joint Results				
Combination		wind Right+dead		
Options		End Forces		
				Format 12.4e right
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)	
1	13	1.7692e+003	0.0000e+000	
1	14	-1.7692e+003	0.0000e+000	
2	14	-1.8665e+003	0.0000e+000	
2	15	1.8665e+003	0.0000e+000	
3	15	-1.6311e+003	0.0000e+000	
3	16	1.6311e+003	0.0000e+000	
4	16	-1.6311e+003	0.0000e+000	
4	17	1.6311e+003	0.0000e+000	
5	17	-1.5295e+003	0.0000e+000	
5	18	1.5295e+003	0.0000e+000	
6	18	1.2250e+003	0.0000e+000	
6	19	-1.2250e+003	0.0000e+000	
7	13	-1.8834e+003	2.7000e+002	
7	20	1.8834e+003	2.1160e-010	
8	20	-1.5748e+003	5.4000e+002	

รูปที่ผ.ข.8(ก). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt

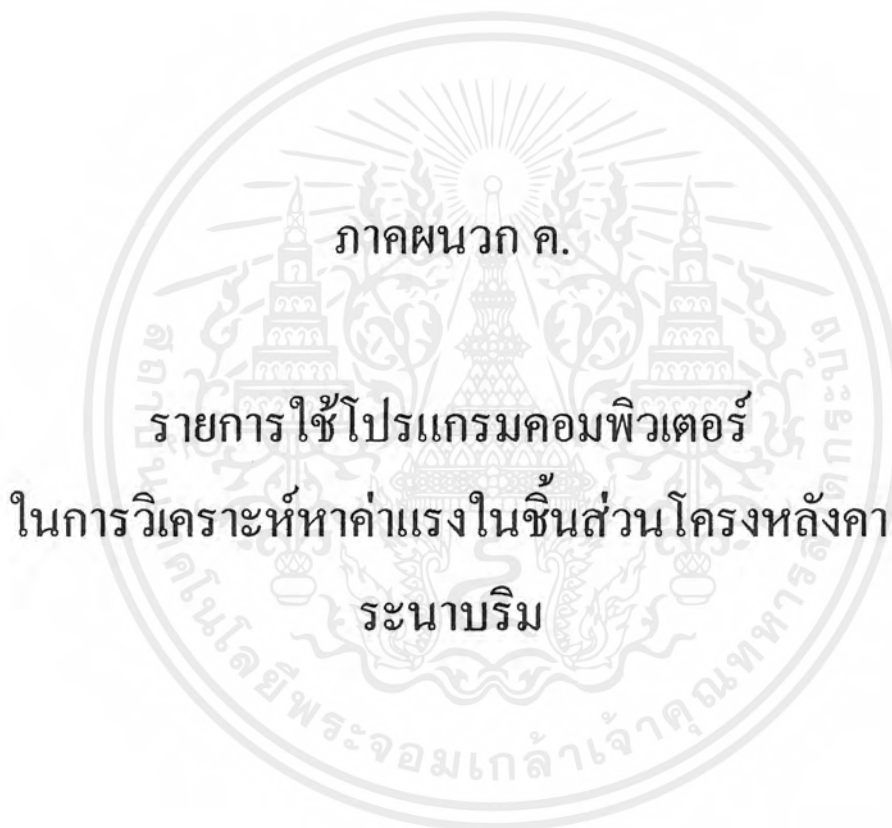
Joint Results				
Combination		wind Right+dead		
Options		End Forces		
				Format 12.4e right
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)	
8	20	-1.5748e+003	5.4000e+002	
8	21	1.5748e+003	1.3157e-011	
9	21	1.9955e+003	5.4000e+002	
9	22	-1.9955e+003	2.7000e+002	
10	22	1.7617e+003	-7.0573e-011	
10	23	-1.7617e+003	7.0573e-011	
11	23	-1.4109e+003	2.5287e-010	
11	24	1.4109e+003	-2.5287e-010	
12	24	-1.4109e+003	2.1211e-010	
12	19	1.4109e+003	-2.1211e-010	
13	14	2.0219e+003	0.0000e+000	
13	20	-2.0219e+003	0.0000e+000	
14	15	4.0367e+002	0.0000e+000	
14	21	-4.0367e+002	0.0000e+000	
16	17	-1.7402e+002	0.0000e+000	

รูปที่ผ.ข.8(ข). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	Format 12.4e right
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
14	21	-4.0367e+002	0.0000e+000
16	17	-1.7402e+002	0.0000e+000
16	23	1.7402e+002	0.0000e+000
17	18	1.4000e+003	0.0000e+000
17	24	-1.4000e+003	0.0000e+000
18	14	4.3006e+003	-3.1887e-011
18	21	-4.3006e+003	-4.3049e-011
19	15	-4.6733e+002	-1.8794e-014
19	22	4.6733e+002	1.8794e-014
20	22	2.0147e+002	8.4539e-014
20	17	-2.0147e+002	-8.4539e-014
21	23	4.1830e+003	-3.1601e-011
21	18	-4.1830e+003	3.1601e-011
15	16	-7.4245e-012	0.0000e+000
15	22	7.4245e-012	0.0000e+000

รูปที่ผ.๘(ค). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt





## บทนำ

เนื้อหาในส่วนภาคผนวก ข. นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคา ซึ่งจะ  
ใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ โดยใช้การวิเคราะห์ ในระบบ 2 มิติ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหน้าตัด  
เหล็กซึ่งแสดงในภาคผนวก ง.

### ข้อมูลในการคำนวณโดยโปรแกรม คอมพิวเตอร์

- ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณแรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe และ Pratt  
โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

The 'Type' dialog box contains the following elements:

- Structure Type:** Radio buttons for 2-D Frame, 3-D Frame, 2-D Truss (selected), and 3-D Truss.
- Project:** Text input field containing 'new project bracing1'.
- Engineer:** Text input field.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons.

รูปที่ ผ.ค.1. แสดงการใส่ค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

The 'Loads' dialog box contains the following elements:

- Label:** Text input field containing 'temp'.
- Type:** Radio buttons for Point Load, Distributed Load, Moment Load, Left Triangle, Right Triangle, and Temperature (selected).
- Member Thickness:** Text input field containing '4' with unit 'm'.
- Delta temp top:** Text input field containing '1000'.
- Delta temp bottom:** Text input field containing '1000'.
- Orientation:** Radio buttons for Local (selected), Global, and Projection.
- Direction:** Radio buttons for X (selected), Y, and Z.
- Buttons:** 'Add', 'Delete', and 'Modify' buttons.
- Table:** A table listing existing loads with columns: Label, O-D-T, Param1, Param2, and Param3.

Label	O-D-T	Param1	Param2	Param3
temp	L-X-T	4	1000	1000
wind X r..	L-Y-P	-135	0	-
wind X r..	L-Y-P	-270	0	-
wind X r..	L-Y-P	-540	0	-
wind X r..	L-Y-P	-135	1	-
wind X r..	L-Y-P	-270	1	-

รูปที่ ผ.ค. 2(ก) แสดงการใส่ค่านำหนักบรรทุกทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังการระนาบริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 90% ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Loads** [X]

Label:

Type:
   
 Point Load
   
 Distributed Load
   
 Moment Load
   
 Left Triangle
   
 Right Triangle
   
 Temperature

Member Thickness:  m

Delta temp top:

Delta temp bottom:

Orientation:
   
 Local
   
 Global
   
 Projection

Direction:
   
 X
   
 Y
   
 Z

Label	D-D-T	Param1	Param2	Param3
wind X r..	L-Y-P	-135	0	-
wind X r..	L-Y-P	-270	0	-
wind X r..	L-Y-P	-540	0	-
wind X r..	L-Y-P	-135	1	-
wind X r..	L-Y-P	-270	1	-
wind X r..	L-Y-P	-540	1	-

รูปที่ ผ.ค. 2(ข) แสดงการใส่ค่านำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังการระบุปริมาณ

**Joint Loads** [X]

Load case:

Joint List:
   
13
   
14
   
15
   
16
   
17
   
18
   
19

Joint	Fx	Fy
13	0	-350
19	0	-350
20	0	-700
21	0	-700
22	0	-700
23	0	-700
24	0	-700

รูปที่ ผ.ค. 2(ค) แสดงการใส่ค่านำหนักบรรทุกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังการระบุปริมาณ

**Joints** [X]

Label   Show Tag

X m  Y m  Z m

Label	X	Y	Tag
13	0	0	-
14	0.7	0	-
15	1.4	0	-
16	2.1	0	-
17	2.8	0	-
18	3.5	0	-
19	4.2	0	-
20	0.7	0.4	-

รูปที่ ผ.ค.3(ก) แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดต่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังการระนาบริม

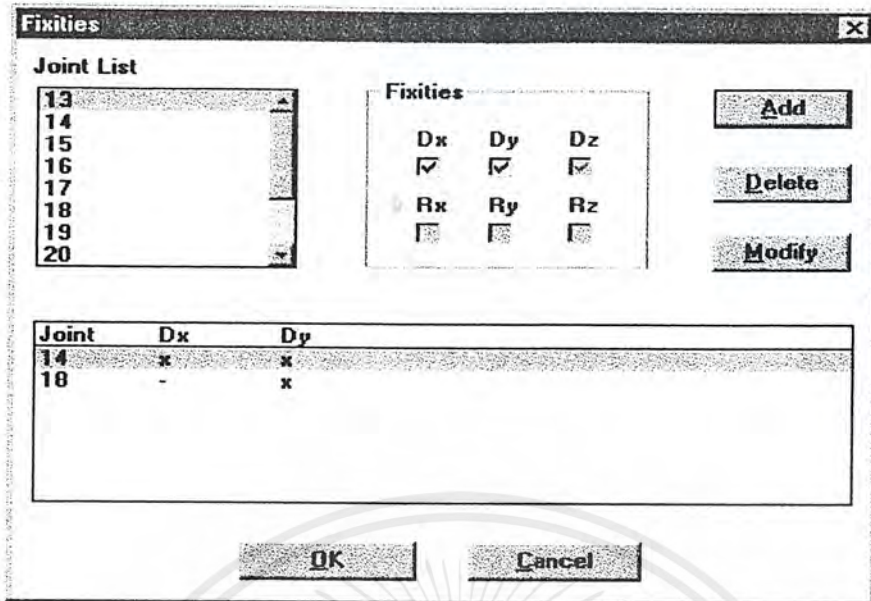
**Joints** [X]

Label   Show Tag

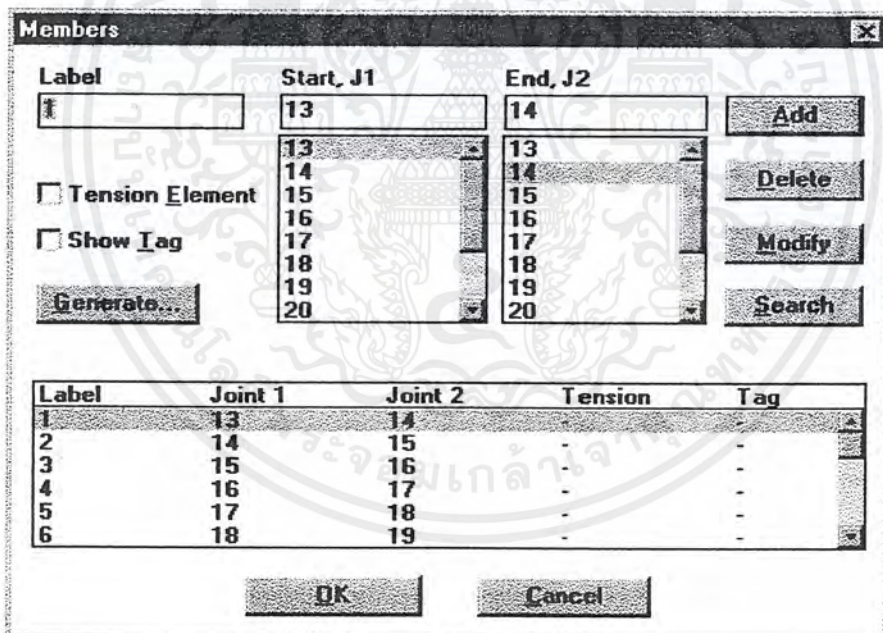
X m  Y m  Z m

Label	X	Y	Tag
17	2.8	0	-
18	3.5	0	-
19	4.2	0	-
20	0.7	0.4	-
21	1.4	0.8	-
22	2.1	1.2	-
23	2.8	0.8	-
24	3.5	0.4	-

รูปที่ ผ.ค.3(ข) แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดต่อในโปรแกรม คอมพิวเตอร์ หลังการระนาบริม



รูปที่ ผ.ค.4 แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดรองรับในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังการระนาบริม



รูปที่ ผ.ค.5(ก) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Howe หลังการระนาบริม

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
7	13	20	-	-
8	20	21	-	-
9	21	22	-	-
10	22	23	-	-
11	23	24	-	-
12	24	19	-	-

รูปที่ ผ.ค.5(ข) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe หลังคาระนาบริม

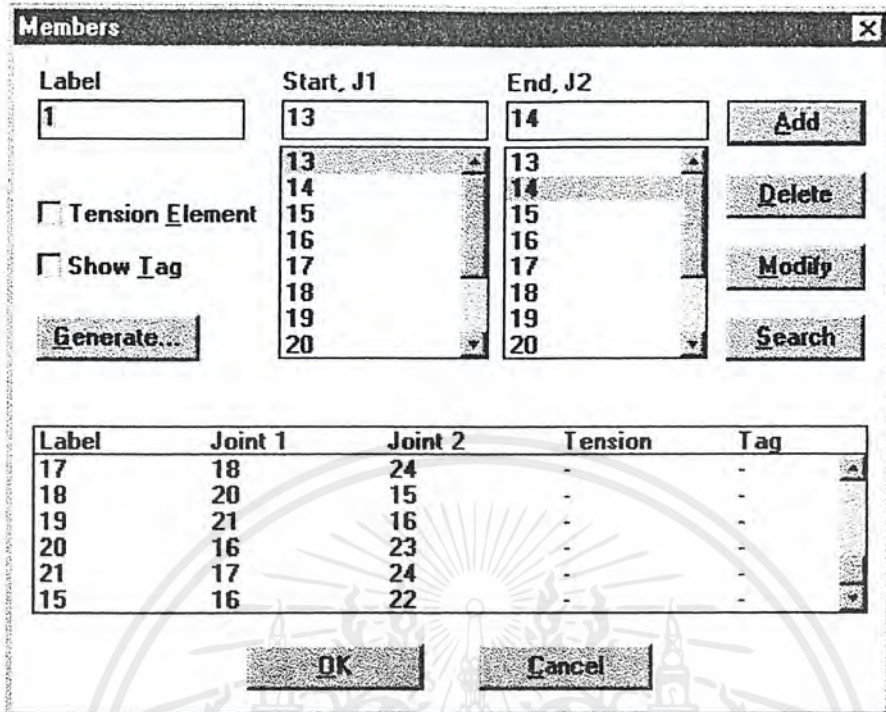
**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

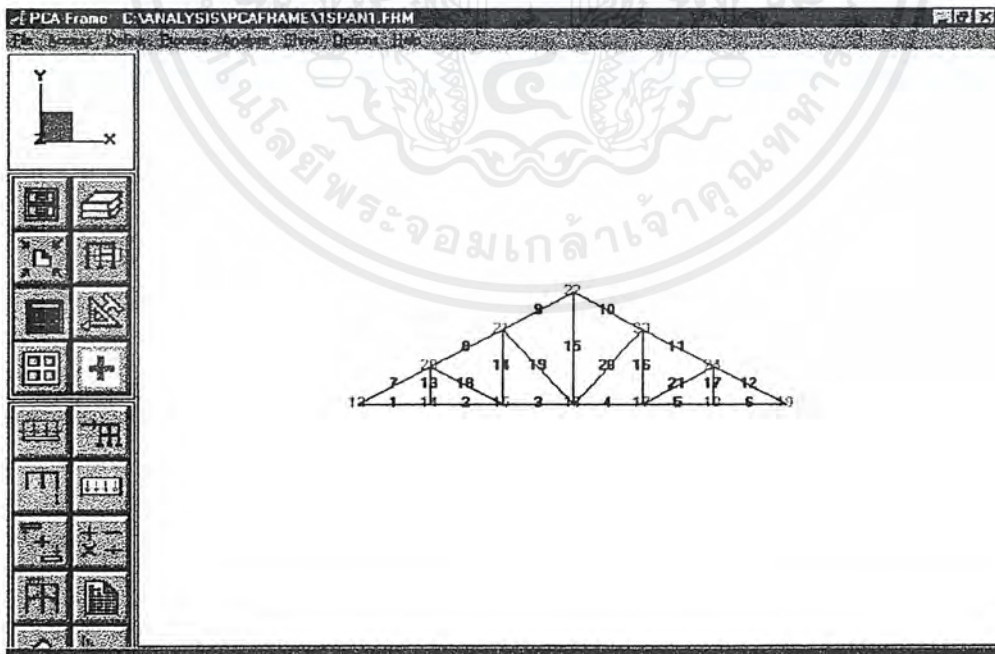
Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
13	14	20	-	-
14	15	21	-	-
16	17	23	-	-
17	18	24	-	-
18	20	15	-	-
19	21	16	-	-

รูปที่ ผ.ค.5(ค) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe หลังคาระนาบริม



รูปที่ ผ.ค.5(ง) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe หลังคากระดานขลิบ



รูปที่ ผ.ค.5(จ) แสดงการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe หลังคากระดานขลิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 95 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
1	13	14	-	-
2	14	15	-	-
3	15	16	-	-
4	16	17	-	-
5	17	18	-	-
6	18	19	-	-

รูปที่ ผ.ค.6 (ก) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt หลังการระนาบรีม

**Members** [X]

Label:  Start, J1:  End, J2:

Tension Element  Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
7	13	20	-	-
8	20	21	-	-
9	21	22	-	-
10	22	23	-	-
11	23	24	-	-
12	24	19	-	-

รูปที่ ผ.ค.6 (ข) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt หลังการระนาบรีม

**Members** [X]

Label:

Start, J1:

End, J2:

Tension Element

Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
13	14	20	-	-
14	15	21	-	-
16	17	23	-	-
17	18	24	-	-
18	14	21	-	-
19	15	22	-	-

รูปที่ ผ.ศ.6 (ค) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt หลังคาระนาบริม

**Members** [X]

Label:

Start, J1:

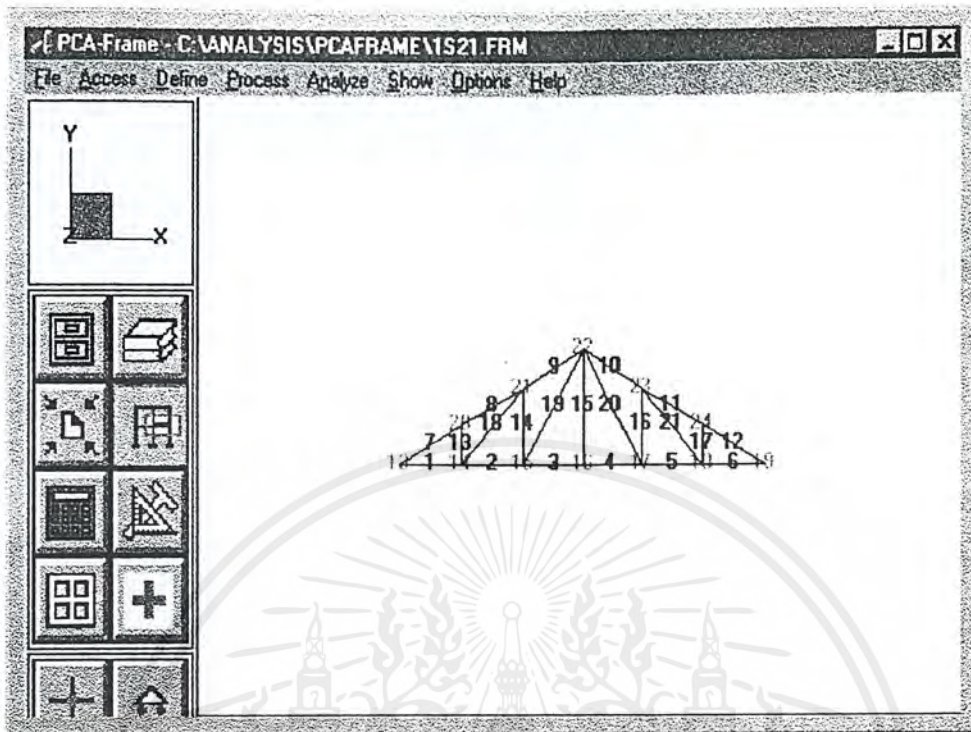
End, J2:

Tension Element

Show Tag

Label	Joint 1	Joint 2	Tension	Tag
17	18	24	-	-
18	14	21	-	-
19	15	22	-	-
20	22	17	-	-
21	23	18	-	-
15	16	22	-	-

รูปที่ ผ.ศ.6 (ง) แสดงการใส่ค่าการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt หลังคาระนาบริม



รูปที่ ผ.ค.6 (จ) แสดงการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน โครงหลังคาแบบ Pratt

ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Howe

Joint Results				
Combination		wind Right+dead		
Options		End Forces		
		Format 12.4e right		
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)	
1	13	8.8460e+002	0.0000e+000	
1	14	-8.8460e+002	0.0000e+000	
2	14	4.8273e+002	0.0000e+000	
2	15	-4.8273e+002	0.0000e+000	
3	15	-9.3327e+002	0.0000e+000	
3	16	9.3327e+002	0.0000e+000	
4	16	-7.6477e+002	0.0000e+000	
4	17	7.6477e+002	0.0000e+000	
5	17	6.1250e+002	0.0000e+000	
5	18	-6.1250e+002	0.0000e+000	
6	18	6.1250e+002	0.0000e+000	
6	19	-6.1250e+002	0.0000e+000	
7	13	-9.4170e+002	1.3500e+002	
7	20	9.4170e+002	-1.1305e+010	
8	20	8.4346e+002	2.7000e+002	

รูปที่ ผ.ค.7(ก). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Howe หลังการระนาบริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 98 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
		Format 12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
8	20	8.4346e+002	2.7000e+002
8	21	-8.4346e+002	8.4088e-011
9	21	8.6214e+002	2.7000e+002
9	22	-8.6214e+002	1.3500e+002
10	22	9.3929e+002	2.1146e-010
10	23	-9.3929e+002	-2.1146e-010
11	23	8.8083e+002	7.7561e-010
11	24	-8.8083e+002	-2.8223e-010
12	24	-7.0545e+002	-5.9263e-010
12	19	7.0545e+002	-2.2528e-010
13	14	2.6293e+003	0.0000e+000
13	20	-2.6293e+003	0.0000e+000
14	15	8.0914e+002	0.0000e+000
14	21	-8.0914e+002	0.0000e+000
16	17	7.8701e+002	0.0000e+000

รูปที่ผ.ค.7(ข). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของ โครงหลังคาแบบ Howe หลังคากระดานขมิ

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
		Format 12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
14	21	-8.0914e+002	0.0000e+000
16	17	7.8701e+002	0.0000e+000
16	23	-7.8701e+002	0.0000e+000
17	18	2.2740e+003	0.0000e+000
17	24	-2.2740e+003	0.0000e+000
18	20	-1.6309e+003	2.1246e-011
18	15	1.6309e+003	2.8106e-011
19	21	1.7879e+002	-6.4277e-011
19	16	-1.7879e+002	-2.1282e-011
20	16	-7.7080e+001	1.2832e-010
20	23	7.7080e+001	-5.3433e-011
21	17	-1.5863e+003	-3.0323e-010
21	24	1.5863e+003	5.6223e-011
15	16	-7.6547e+001	0.0000e+000
15	22	7.6547e+001	0.0000e+000

รูปที่ผ.ค.7(ค). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของ โครงหลังคาแบบ Howe หลังคากระดานขมิ

ผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนโครงหลังคาแบบ Pratt

Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
Format		12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
1	13	8.8460e+002	0.0000e+000
1	14	-8.8460e+002	0.0000e+000
2	14	-9.3327e+002	0.0000e+000
2	15	9.3327e+002	0.0000e+000
3	15	-8.1553e+002	0.0000e+000
3	16	8.1553e+002	0.0000e+000
4	16	-8.1553e+002	0.0000e+000
4	17	8.1553e+002	0.0000e+000
5	17	-7.6477e+002	0.0000e+000
5	18	7.6477e+002	0.0000e+000
6	18	6.1250e+002	0.0000e+000
6	19	-6.1250e+002	0.0000e+000
7	13	-9.4170e+002	1.3500e+002
7	20	9.4170e+002	-1.1293e-010
8	20	-7.8741e+002	2.7000e+002

รูปที่ผ.ค.8(ก). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt หลังการระนาบปริม

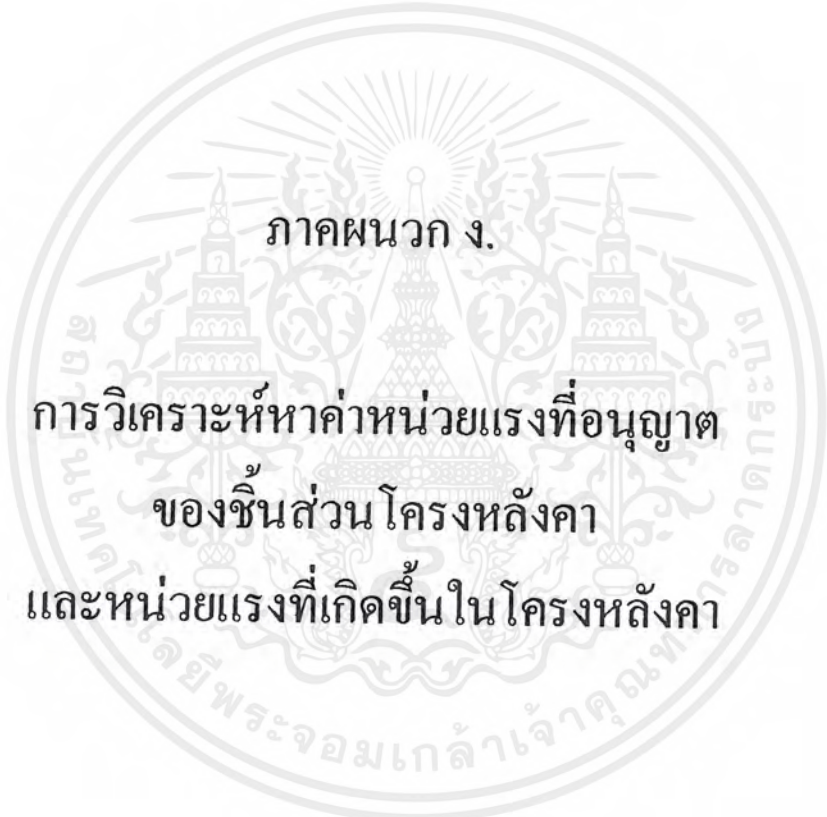
Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
Format		12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
8	20	-7.8741e+002	2.7000e+002
8	21	7.8741e+002	1.3476e-011
9	21	9.9775e+002	2.7000e+002
9	22	-9.9775e+002	1.3500e+002
10	22	8.8083e+002	9.8977e-011
10	23	-8.8083e+002	-9.8977e-011
11	23	-7.0545e+002	3.6398e-013
11	24	7.0545e+002	-3.6398e-013
12	24	-7.0545e+002	-1.5540e-010
12	19	7.0545e+002	1.5540e-010
13	14	1.0110e+003	0.0000e+000
13	20	-1.0110e+003	0.0000e+000
14	15	2.0183e+002	0.0000e+000
14	21	-2.0183e+002	0.0000e+000
16	17	-8.7012e+001	0.0000e+000

รูปที่ผ.ค.8(ข). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt หลังการระนาบปริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

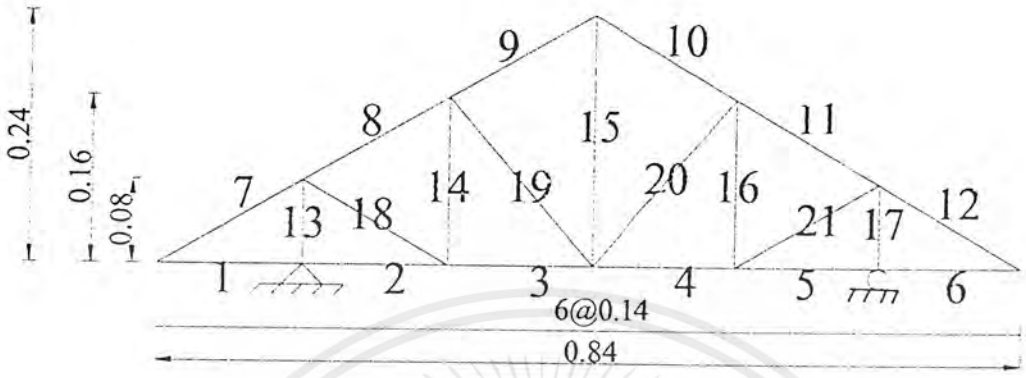
Joint Results			
Combination		wind Right+dead	
Options		End Forces	
		Format 12.4e right	
Members	Joints	Fx(N)	Fy(N)
14	21	-2.0183e+002	0.0000e+000
16	17	-8.7012e+001	0.0000e+000
16	23	8.7012e+001	0.0000e+000
17	18	7.0000e+002	0.0000e+000
17	24	-7.0000e+002	0.0000e+000
18	14	2.1503e+003	-1.0813e-011
18	21	-2.1503e+003	1.0813e-011
19	15	-2.3366e+002	-8.1622e-012
19	22	2.3366e+002	8.1622e-012
20	22	1.0073e+002	-2.4594e-011
20	17	-1.0073e+002	2.4594e-011
21	23	2.0915e+003	-6.4229e-011
21	18	-2.0915e+003	6.4229e-011
15	16	2.1651e-011	0.0000e+000
15	22	-2.1651e-011	0.0000e+000

รูปที่ผ.ค.8(ค). แสดงผลการวิเคราะห์แรงในชิ้นส่วนของโครงหลังคาแบบ Pratt หลังคากระนาบริม

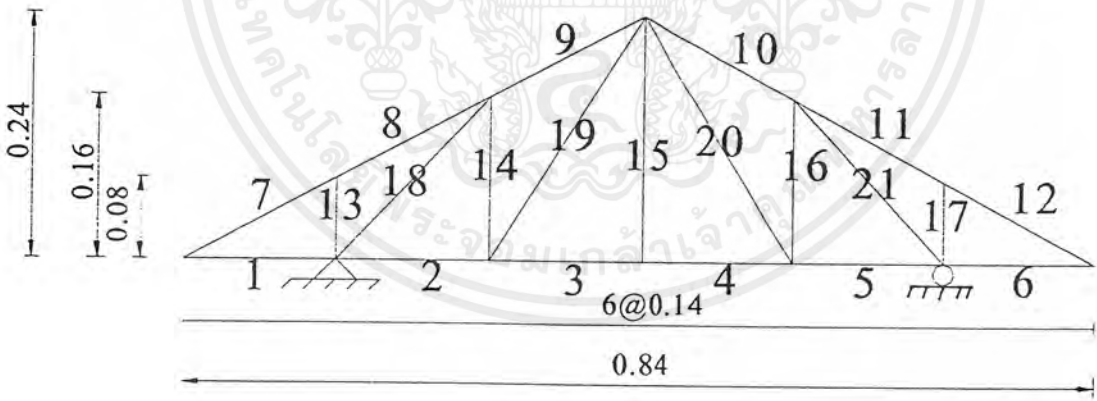


ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงที่อนุญาต  
ของชิ้นส่วน โครงหลังคา  
และหน่วยแรงที่เกิดขึ้นใน โครงหลังคา



รูป ผ.ง.1. แสดง โครงหลังคาแบบ Howe



รูป ผ.ง.2. แสดง โครงหลังคาแบบ Pratt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

Main and Secondary Member							
Kl/r not over 120							
Kl/r	Fa kg/cm <sup>2</sup>	Kl/r	Fa kg/cm <sup>2</sup>	Kl/r	Fa kg/cm <sup>2</sup>	Kl/r	Fa kg/cm <sup>2</sup>
1	1509.3	31	1391.3	61	1214.3	91	987.8
2	1506.5	32	1386.3	62	1207.5	92	979.4
3	1503.6	33	1381.2	63	1200.7	93	971
4	1500.6	34	1376	64	1193.8	94	962.5
5	1497.5	35	1370.8	65	1186.9	95	954
6	1494.4	36	1365.5	66	1179.9	96	945.4
7	1491.1	37	1360.2	67	1172.8	97	936.8
8	1487.8	38	1354.8	68	1165.7	98	928.1
9	1484.4	39	1349.3	69	1158.6	99	919.4
10	1481	40	1343.8	70	1151.4	100	910.6
11	1477.4	41	1338.2	71	1144.1	101	901.7
12	1473.8	42	1332.6	72	1136.8	102	892.8
13	1470.1	43	1326.9	73	1129.4	103	883.8
14	1466.3	44	1321.1	74	1122	104	874.8
15	1462.5	45	1315.3	75	1114.5	105	865.7
16	1458.6	46	1309.4	76	1107	106	856.6
17	1454.6	47	1303.5	77	1099.4	107	847.4
18	1450.5	48	1297.5	78	1091.8	108	838.2
19	1446.4	49	1291.4	79	1084.1	109	828.9
20	1442.2	50	1285.3	80	1076.4	110	819.5
21	1437.9	51	1279.1	81	1068.6	111	810.1
22	1433.5	52	1272.9	82	1060.7	112	800.6
23	1429.1	53	1266.6	83	1053.8	113	791.1
24	1424.6	54	1260.3	84	1044.9	114	781.5
25	1420.1	55	1253.9	85	1036.9	115	771.8
26	1415.4	56	1247.4	86	1028.8	116	762.1
27	1410.7	57	1240.9	87	1020.7	117	752.3
28	1406	58	1234.3	88	1012.6	118	742.5
29	1401.2	59	1227.7	89	1004.4	119	732.6
30	1396.3	60	1221	90	996.1	120	722.6

กำลังจุดกลางของเหล็ก 2520 กก./ ซม.<sup>2</sup> โมดูลัสยืดหยุ่น 2.04 x 10<sup>6</sup> กก./ ซม.<sup>2</sup> Cc = 126.4

ตารางที่ ผ.จ.1(ก) แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

Main and Secondary Member Kl / r 121 to 200				Secondary Members l/r 121 to 200			
Kl / r	Fa	Kl / r	Fa	Kl / r	Fa	Kl / r	Fa
	kg / cm <sup>2</sup>		kg / cm <sup>2</sup>		kg / cm <sup>2</sup>		kg / cm <sup>2</sup>
121	712.6	161	405.3	121	716.2	161	509.8
122	702.5	162	400.3	122	709.6	162	506.7
123	692.4	163	395.4	123	703.0	163	503.7
124	682.2	164	390.6	124	696.1	164	500.7
125	671.9	165	385.9	125	689.1	165	497.9
126	661.6	166	381.2	126	682.0	166	495.1
127	651.3	167	376.7	127	675.0	167	492.4
128	641.2	168	372.2	128	667.9	168	489.0
129	631.3	169	367.8	129	661.0	169	487.2
130	621.6	170	353.5	130	654.3	170	484.6
131	612.1	171	359.2	131	647.8	171	482.2
132	602.9	172	355.1	132	641.4	172	479.8
133	593.9	173	351.0	133	635.1	173	477.5
134	585.0	174	347.0	134	629.1	174	475.3
135	576.4	175	343.0	135	623.1	175	473.1
136	568.0	176	339.1	136	617.3	176	471.0
137	559.7	177	335.3	137	611.7	177	469.0
138	551.6	178	331.5	138	606.2	178	467.0
139	543.7	179	327.9	139	600.8	179	465.0
140	536.0	180	324.2	140	595.5	180	463.2
141	528.4	181	320.7	141	590.4	181	461.4
142	521.0	182	317.1	142	585.4	182	459.6
143	513.7	183	313.7	143	580.5	183	457.9
144	506.6	184	310.3	144	575.7	184	456.3
145	499.6	185	307.0	145	571.0	185	454.7
146	492.8	186	303.6	146	566.4	186	453.2
147	486.1	187	300.4	147	562.0	187	451.7
148	479.6	188	297.2	148	557.7	188	450.3
149	473.2	189	294.1	149	553.4	189	449.0
150	466.9	190	291.0	150	549.3	190	447.7
151	460.7	191	288.0	151	545.2	191	446.4
152	454.7	192	285.0	152	541.3	192	445.3
153	448.7	193	282.0	153	537.4	193	444.1
154	442.9	194	279.1	154	533.7	194	443.0
155	437.2	195	276.3	155	530.0	195	442.0
156	431.7	196	273.6	156	526.4	196	441.0
157	426.2	197	270.7	157	522.9	197	440.1
158	420.8	198	268.0	158	519.5	198	439.3
159	415.5	199	265.3	159	516.2	199	438.5
160	410.3	200	262.6	160	512.9	200	437.7

กำลังจุดคานงของเหล็ก 2520 กก./ ซม.<sup>2</sup> โมดูลัสยืดหยุ่น 2.04 x 10<sup>6</sup> กก./ ซม.<sup>2</sup> Cc = 126.4

ตารางที่ ผ.ง.1(ข) แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีเฉจรัศ (ซม <sup>4</sup> )	KI/r	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก.ซม <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ ต่อหน่วยแรงในชิ้นส่วน
1	176.92	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	28.72	43.20
2	96.55	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	15.67	79.17
5	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
6	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
8	169.69	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	27.55	42.83
9	172.43	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	27.99	42.15
10	187.86	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	30.50	38.69
11	176.17	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	28.60	41.26
13	525.85	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	170.73	7.48
14	161.83	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	52.54	16.90
16	157.4	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	51.10	17.37
17	454.81	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	147.67	8.65
19	35.76	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	11.61	49.03

หมายเหตุ

- 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กกล้าที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ อ้างอิงจากตาราง ผ.ค.1
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = แรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนพัฒนาใช้หน้าตัด ขนาด L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมชิ้นส่วนที่เป็นคั้งของ โครงกลาง

ตารางที่ ผ.ง.2(ก) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัด โครงหลังคาแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างแบบ Howe ระบายริมน

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีจเรซัน (ซม.)	KU/r	หน่วยแรงอัดที่ยอมรับได้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม. <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมรับได้ต่อหน่วยแรงในชิ้นส่วน
1	88.46	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	14.36	86.41
2	48.27	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	7.84	158.35
5	61.25	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	9.94	124.79
6	61.25	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	9.94	124.79
8	84.34	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	13.69	86.18
9	86.21	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	14.00	84.31
10	93.93	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	15.25	77.38
11	88.08	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	14.30	82.52
13	262.93	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	85.37	14.96
14	80.91	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	26.27	33.79
16	78.7	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	25.55	34.74
17	227.4	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	73.83	17.30
19	17.88	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	5.81	98.05

หมายเหตุ

- 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมรับได้ อ้างอิงจากตาราง ผ.ค.1
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = แรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนพัฒนาใช้หน้าตัด ขนาด L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมชิ้นส่วนที่เป็นดิ่งของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.2(ข) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงสร้างหลังคาแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe ภาคพัฒนาสะพานกลาง

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีจอร์จัน (ซม <sup>4</sup> )	KU/r	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (กก.ซม <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ ต่อหน่วยแรงในชิ้นส่วน
1	176.92	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	28.72	43.20
2	96.55	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	15.67	79.17
5	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
6	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
8	169.69	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	27.55	42.83
9	172.43	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	27.99	42.15
10	187.86	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	30.50	38.69
11	176.17	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	28.60	41.26
13	525.85	อัด	5.64	40	0.96	41.67	1277.36	93.24	13.70
14	161.83	อัด	5.64	80	0.96	83.33	887.76	28.69	30.94
16	157.4	อัด	5.64	80	0.96	83.33	887.76	27.91	31.81
17	454.81	อัด	5.64	40	0.96	41.67	1277.36	80.64	15.84
19	35.76	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	11.61	49.03

หมายเหตุ

- 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ อ้างอิงจากราย ม.ค.1
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = แรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนพัฒนาใช้หน้าตัด ขนาด L -40 x 40 x 6 มม. เสริมชิ้นส่วนที่เป็นดิ่งของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.2(ค) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัด โครงหลังคานแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีเฉื่อย (ซม <sup>4</sup> )	K/I <sub>r</sub>	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก.ซม <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมให้ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมให้ ต่อแรงในชิ้นส่วน
3	186.65	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	49.90
4	152.95	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	60.90
7	188.34	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	49.45
12	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	66.01
15	15.31	ดึง	3.08	120	0.78	153.85	1512.00	4656.96	304.18
18	326.17	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	14.28
20	15.42	ดึง	3.08	106	0.78	135.90	1512.00	4656.96	302.01
21	317.26	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	14.68

หมายเหตุ

- 1) กำหนดค่าของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กมากที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าแรงดึงที่ยอมให้ ใช้ค่าที่น้อยกว่าของ
  - ก)  $0.6 \times f_y \times$  พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
  - ข)  $0.5 \times f_u \times$  พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
- 4) เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ทำให้ค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ =  $0.6 \times f_y$
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L -40 x 40 x 6 มม. เสิร์บบริเวณคั้งของ โครงคาน

ตารางที่ ผ.ง.2(ง) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe ระนาบริม

จันทัน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวจันทัน (ซม.)	รัศมีเดาะจันทัน (ซม.)	K/Lr	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมให้ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมให้ ต่อแรงในจันทัน
3	93.33	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	99.80
4	76.48	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	121.78
7	94.17	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	98.91
12	70.55	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	132.02
15	7.65	ดึง	3.08	120	0.78	153.85	1512.00	4656.96	608.75
18	163.09	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	28.55
20	7.70	ดึง	3.08	106	0.78	135.90	1512.00	4656.96	604.80
21	158.63	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	29.36

หมายเหตุ

- 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าแรงดึงที่ยอมให้ ใช้ค่าน้อยกว่าของ
  - ก)  $0.6 \times fy \times$  พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
  - ข)  $0.5 \times fu \times$  พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
- 4) เนื่องจากกระเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ทำให้ค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้  $= 0.6 \times fy$
- 5) ขนาดหน้าตัดจันทันส่วนภาคพัฒนาใช้ L -40 x 40 x 6 มม. เติมบริเวณตั้งของ โครงคาน

ตารางที่ ผ.ง.2(จ) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัด โครงหลังคาแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Howe ภาคพัฒนาระนาบกลาง

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีไจเรชั่น (ซม.)	K/r	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมให้ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมให้ ต่อแรงในชิ้นส่วน
3	186.65	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	49.90
4	152.95	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512.00	9313.92	60.90
7	188.34	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	49.45
12	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512.00	9313.92	66.01
15	15.31	ดึง	5.64	120	0.96	125.00	1512.00	8527.68	557.00
18	326.17	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	14.28
20	15.42	ดึง	3.08	106	0.78	135.90	1512.00	4656.96	302.01
21	317.26	ดึง	3.08	81	0.78	103.85	1512.00	4656.96	14.68

หมายเหตุ 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง

2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.

3) ค่าแรงดึงที่ยอมให้ ไร้ค่าที่น้อยกว่าของ

ก)  $0.6 \times f_y$  x พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

ข)  $0.5 \times f_u$  x พื้นที่หน้าตัดสุทธิ

4) เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

ทำให้ค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ =  $0.6 \times f_y$

5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L -40 x 40 x 6 มม. เสิร์มบริเวณคั้งของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.2(ด) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัด โครงหลังคานแบบ Howe[13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีไจเรชัน (ซม <sup>4</sup> )	KI/r	หน่วยแรงอัดที่ยอมรับได้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม. <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมรับได้
1	176.92	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	28.72	43.20
6	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
9	199.55	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	32.39	36.42
10	176.17	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	28.60	41.26
13	202.19	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	65.65	19.46
14	403.67	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	131.06	6.77
17	140.00	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	45.45	28.10
18	430.06	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	139.63	4.08
20	20.18	อัด	3.08	139	0.78	178.21	330.74	6.55	50.48
21	418.3	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	135.81	4.19

หมายเหตุ

- 1) ค่าขนาดหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นเหล็กขนาดเล็กที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจากภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมรับได้อ้างอิงจากตาราง ผ.ค.1.
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = ค่าแรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทะแยงของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.3(ก) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt [13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt ระนาบริม

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีไจเรชั่น (ซม <sup>4</sup> )	KI/r	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม. <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ ต่อหน่วยแรงในชิ้นส่วน
1	88.46	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	14.36	86.41
6	61.25	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	9.94	124.79
9	99.76	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	16.19	72.86
10	88.08	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	14.30	82.52
13	101.1	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	32.82	38.91
14	20.18	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	6.55	135.50
17	70.00	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	22.73	56.20
18	215.03	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	69.81	8.15
20	10.07	อัด	3.08	139	0.78	178.21	330.74	3.27	101.16
21	209.15	อัด	3.08	106	0.78	135.90	569.20	67.91	8.38

หมายเหตุ

- 1) ค่าขนาดหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นเหล็กขนาดเล็กที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจากภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้อ้างอิงจากตาราง ผ.ค.1.
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = ค่าแรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทะเลแยกของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.3(ข) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt [13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt ภาคพัฒนาระบบกลาง

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีโรตารี (ซม.)	KI/r	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก.ซม <sup>2</sup> )	หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก.ซม <sup>2</sup> )	อัตราส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้
1	176.92	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	28.72	43.20
6	122.50	อัด	6.16	70	1.21	57.85	1240.84	19.89	62.40
9	199.55	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	32.39	36.42
10	176.17	อัด	6.16	81	1.21	66.94	1179.90	28.60	41.26
13	202.19	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	65.65	19.46
14	403.67	อัด	3.08	80	0.78	102.56	887.76	131.06	6.77
17	140.00	อัด	3.08	40	0.78	51.28	1277.36	45.45	28.10
18	430.06	อัด	5.64	106	0.96	110.42	569.20	76.25	7.46
20	20.18	อัด	5.64	139	0.96	144.79	330.74	3.58	92.44
21	418.3	อัด	5.64	106	0.96	110.42	569.20	74.17	7.67

หมายเหตุ

- 1) ค่าขนาดหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นเหล็กขนาดเล็กที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจากภาคผนวก ข.
- 3) ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้อ้างอิงจากตาราง ผ.ค.1.
- 4) ค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัด = ค่าแรงภายในหน้าตัด / ขนาดพื้นที่หน้าตัด
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทะแยงของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.3(ค) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt [13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงงานหน้าตัดโครงสร้างแบบ Pratt

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีไอเริ่ม (ซม.)	K/Lr	หน่วยแรงดึงที่ยอมรับ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมรับ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมรับให้ ต่อแรงในชิ้นส่วน
2	186.65	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	49.90
3	163.11	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	57.10
4	163.11	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	57.10
5	152.95	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	60.90
7	188.34	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	49.45
8	157.48	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	59.14
11	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	66.01
12	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	66.01
15	0	ดึง	3.08	120	0.78	153.85	1512	4656.96	ไม่มีแรงกระทำในชิ้นส่วน
16	17.4	ดึง	3.08	80	0.78	102.56	1512	4656.96	267.64
19	46.73	ดึง	3.08	139	0.78	178.21	1512	4656.96	99.66

หมายเหตุ

- 1) กำหนดัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าแรงดึงที่ยอมรับให้ ใช้ค่าที่น้อยกว่าของ
  - ก)  $0.6 \times fy \times$  พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
  - ข)  $0.5 \times fu \times$  พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
- 4) เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ทำให้คำนวณแรงดึงที่ยอมรับให้  $= 0.6 \times fy$
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทะเลของโครงสร้าง

ตารางที่ ผ.ง.3(ง) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงงานในหน้าตัดโครงสร้างแบบ Pratt [13]

ตารางคำนวณค่าหน่วยแรงภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt ระบุหน่วยปริมาตร

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีจอร์จัน (ซม. <sup>4</sup> )	KI/r	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก.ซม. <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมให้ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมให้ ต่อแรงในชิ้นส่วน
2	93.33	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	99.80
3	81.55	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	114.21
4	81.55	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	114.21
5	76.48	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	121.78
7	94.17	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	98.91
8	78.74	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	118.29
11	70.55	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	132.02
12	70.55	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	132.02
15	0	ดึง	3.08	120	0.78	153.85	1512	4656.96	ไม่มีแรงกระทำในชิ้นส่วน
16	8.7	ดึง	3.08	80	0.78	102.56	1512	4656.96	535.28
19	23.37	ดึง	3.08	139	0.78	178.21	1512	4656.96	199.27

หมายเหตุ

- 1) ค่าหน้าตัดของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าแรงดึงที่ยอมให้ ใช้ค่าที่น้อยกว่าของ
  - ก)  $0.6 \times f_y \times$  พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
  - ข)  $0.5 \times f_u \times$  พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
- 4) เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ทำให้ค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้  $= 0.6 \times f_y$
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทะแยงของโครงสร้าง

ตารางที่ ม.จ.3(9) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยแรงในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt[13]


ตารางคำนวณค่าหน่วยรวมภายในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt ภาคพัฒนาระบบกลาง

ชิ้นส่วน	แรงในหน้าตัด (กก.)	ประเภทของแรง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความยาวชิ้นส่วน (ซม.)	รัศมีไจเรชั่น (ซม <sup>4</sup> )	K/I <sup>r</sup>	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก.ซม <sup>2</sup> )	แรงดึงที่ยอมให้ (กก.)	อัตราส่วนแรงที่ยอมให้ ต่อแรงในชิ้นส่วน
2	186.65	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	49.90
3	163.11	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	57.10
4	163.11	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	57.10
5	152.95	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	60.90
7	188.34	ดึง	6.16	70	1.21	57.85	1512	9313.92	49.45
8	157.48	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	59.14
11	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	66.01
12	141.09	ดึง	6.16	81	1.21	66.94	1512	9313.92	66.01
15	0	ดึง	3.08	120	0.78	153.85	1512	4656.96	ไม่มีแรงกระทำในชิ้นส่วน
16	17.4	ดึง	3.08	80	0.78	102.56	1512	4656.96	267.64
19	46.73	ดึง	5.64	139	0.96	144.79	1512	8527.68	182.49

หมายเหตุ

- 1) กำหนดค่าของเหล็กใช้ L - 40 x 40 x 4 มม. เพราะว่าเป็นขนาดเหล็กฉากที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานก่อสร้าง
- 2) ค่าแรงภายในหน้าตัดอ้างอิงจาก ภาคผนวก ข.
- 3) ค่าแรงดึงที่ยอมให้ ใช้ค่าที่น้อยกว่าของ
  - ก)  $0.6 \times fy$  x พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
  - ข)  $0.5 \times fy$  x พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
- 4) เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อเป็นการเชื่อมทำให้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ทำให้ค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ =  $0.6 \times fy$
- 5) ขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนภาคพัฒนาใช้ L - 40 x 40 x 6 มม. เสริมบริเวณชิ้นส่วนทาบของโครงกลาง

ตารางที่ ผ.ง.3(ธ) แสดงตารางคำนวณค่าหน่วยรวมในหน้าตัดโครงสร้างคานแบบ Pratt [13]



ภาคผนวก จ.

## การให้ความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E119

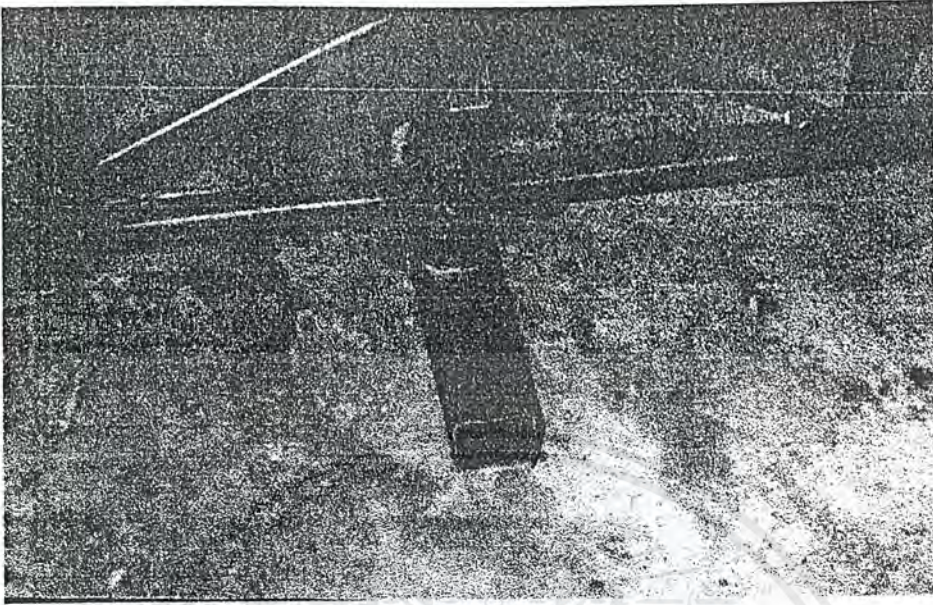
การให้ความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E119

Time h : min	Temperature ( celcius degree )	Time h : min	Temperature ( celcius degree )
0:00	20	3:10	1059
0:05	538	3:20	1066
0:10	704	3:30	1072
0:15	760	3:40	1079
0:20	795	3:50	1086
0:25	821	4:00	1093
0:30	843	4:10	1100
0:35	862	4:20	1107
0:40	878	4:30	1114
0:45	892	4:40	1121
0:50	905	4:50	1128
0:55	916	5:00	1135
1:00	927	5:10	1142
1:05	937	5:20	1149
1:10	946	5:30	1156
1:15	955	5:40	1163
1:20	963	5:50	1170
1:25	971	6:00	1177
1:30	978	6:10	1184
1:35	985	6:20	1191
1:40	991	6:30	1198
1:45	996	6:40	1204
1:50	1001	6:50	1211
1:55	1006	7:00	1218
2:00	1010	7:10	1225
2:10	1017	7:20	1232
2:20	1024	7:30	1239
2:30	1031	7:40	1246
2:40	1038	7:50	1253
2:50	1045	8:00	1260
3:00	1052		

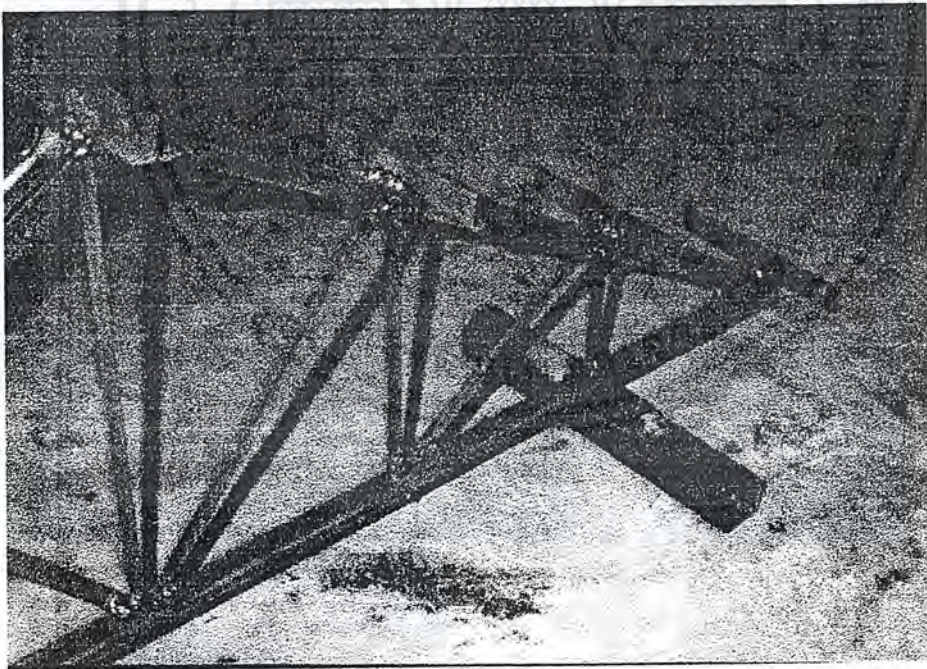
ตารางที่ ผ.จ.1. การให้ความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



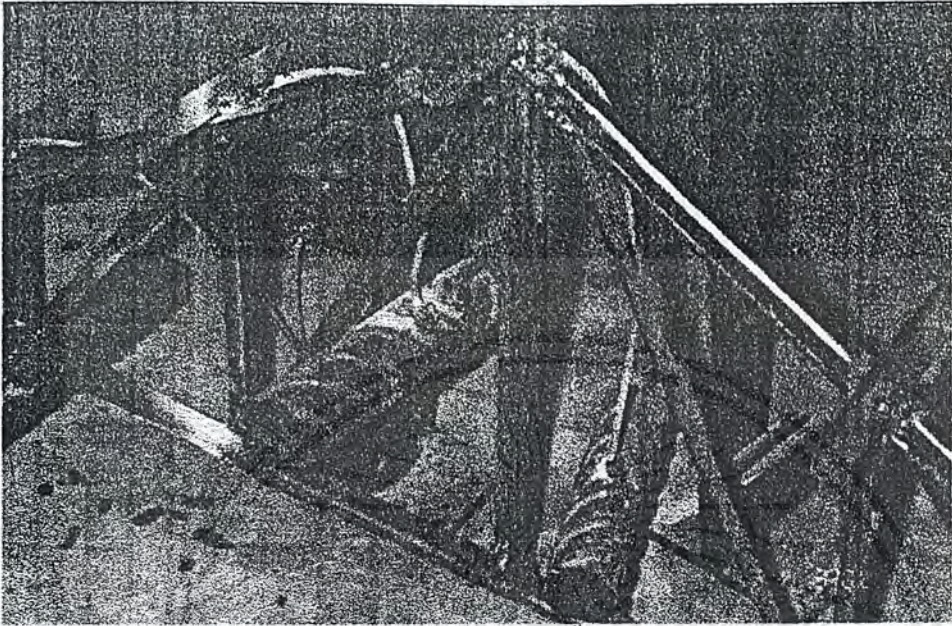


รูป ผ.ช.1. แสดงรอยต่อเชื่อม Fixed Support

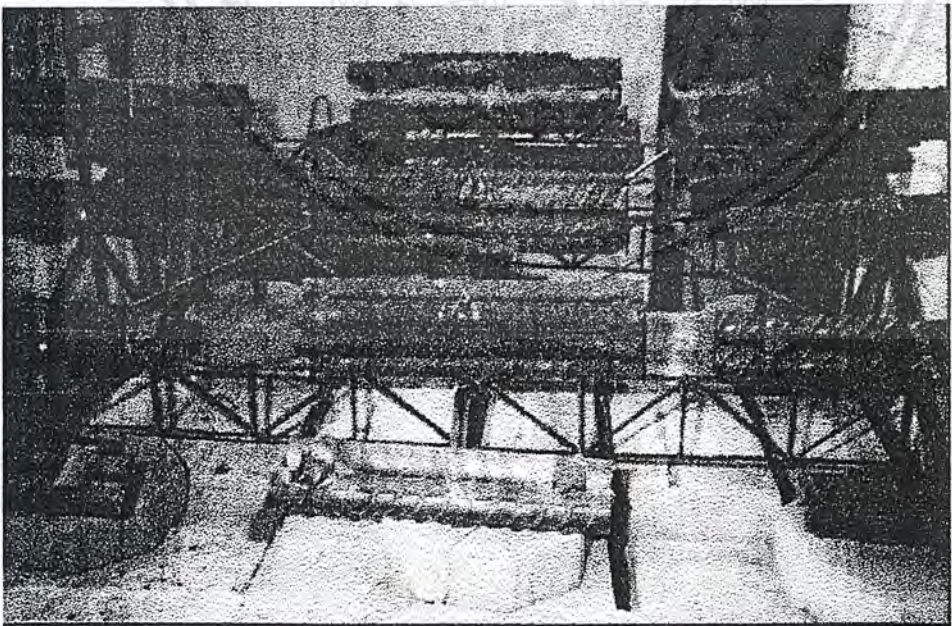


รูป ผ.ช.2. แสดง Free Support

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

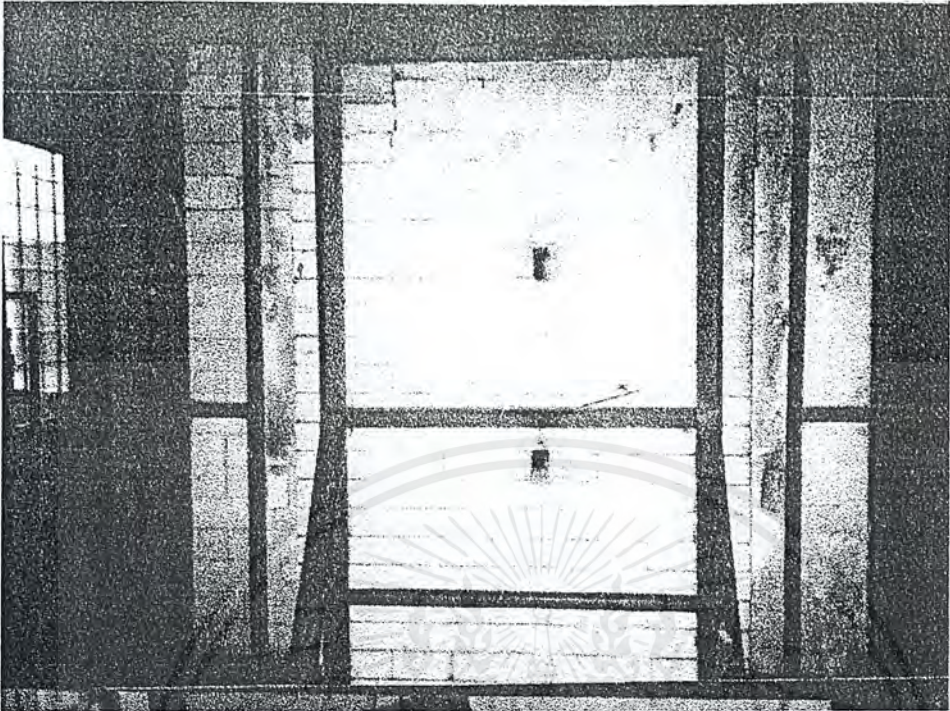


รูป ผ.ช.3. แสดงการติดตั้งแรงลมสมมติ

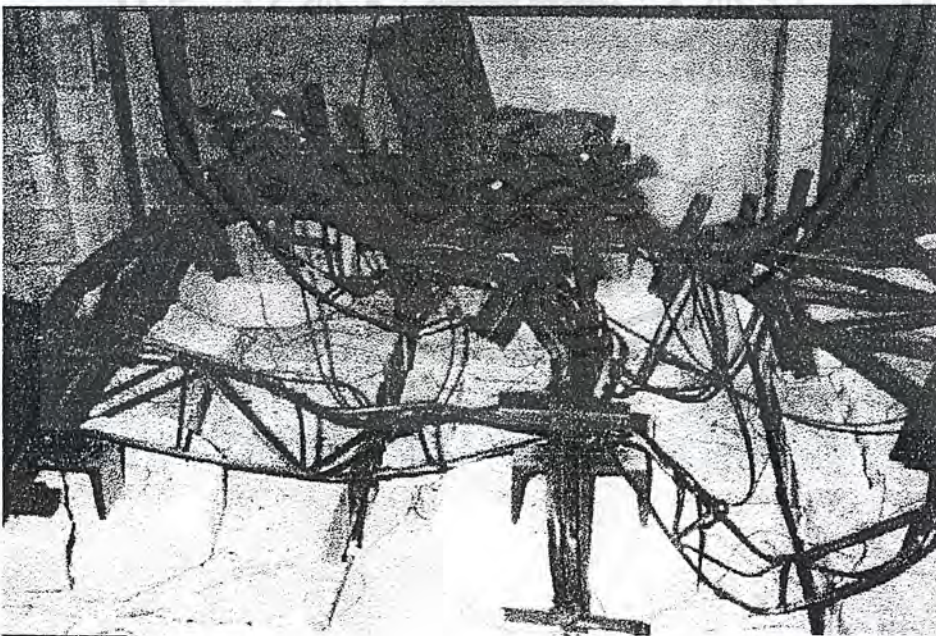


รูป ผ.ช.4. แสดงการติดตั้งน้ำหนักบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

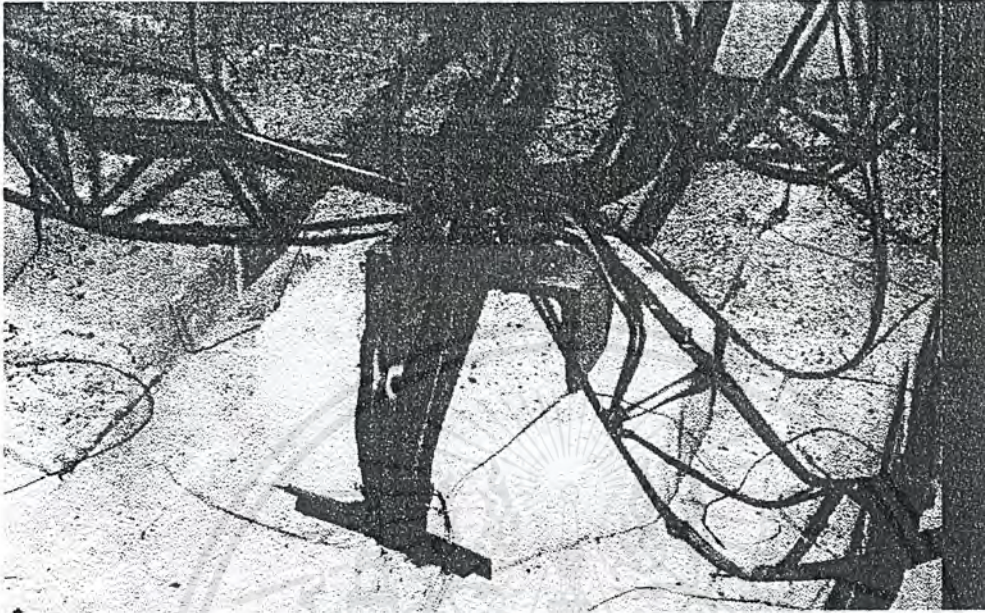


รูป ผ.ช.5. แสดงเตาที่ไฟ.ช.ใช้ในการทดสอบเผา

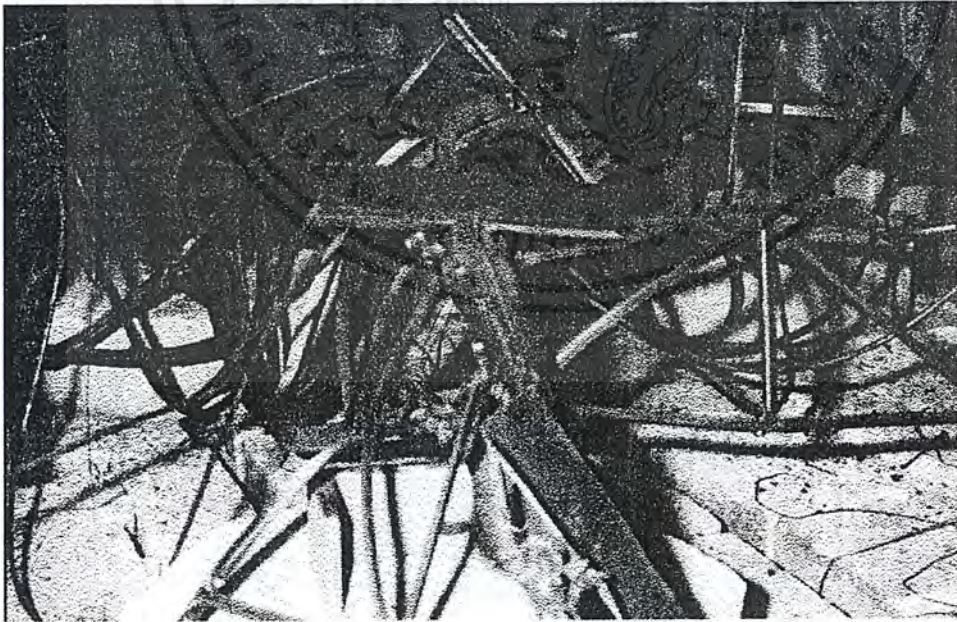


รูป ผ.ช.6. แสดงลักษณะการวิบัติของโครงหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

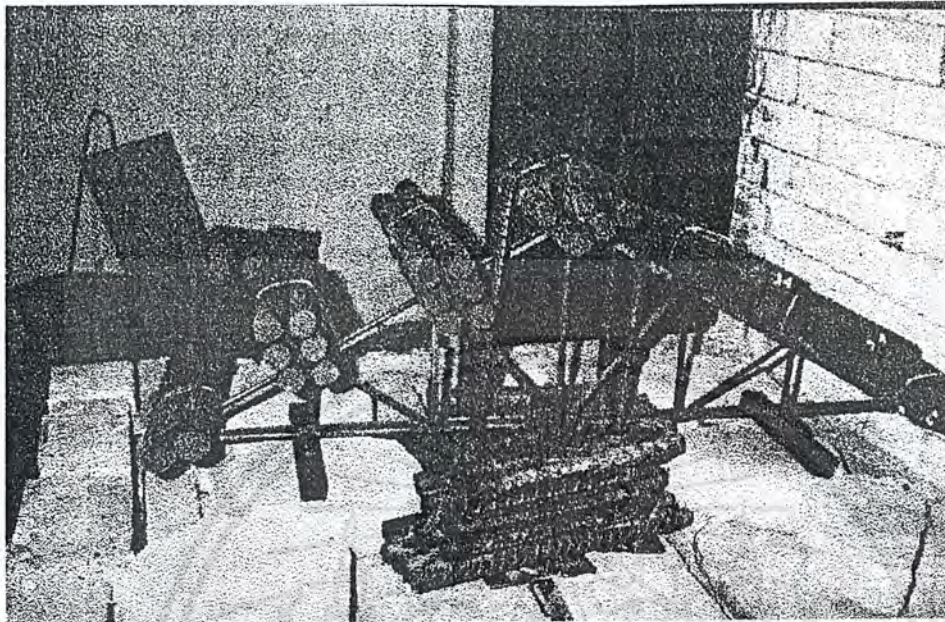


รูป ผ.ช.7. แสดงการวิบัติของโครงหลังคาแบบ Howe

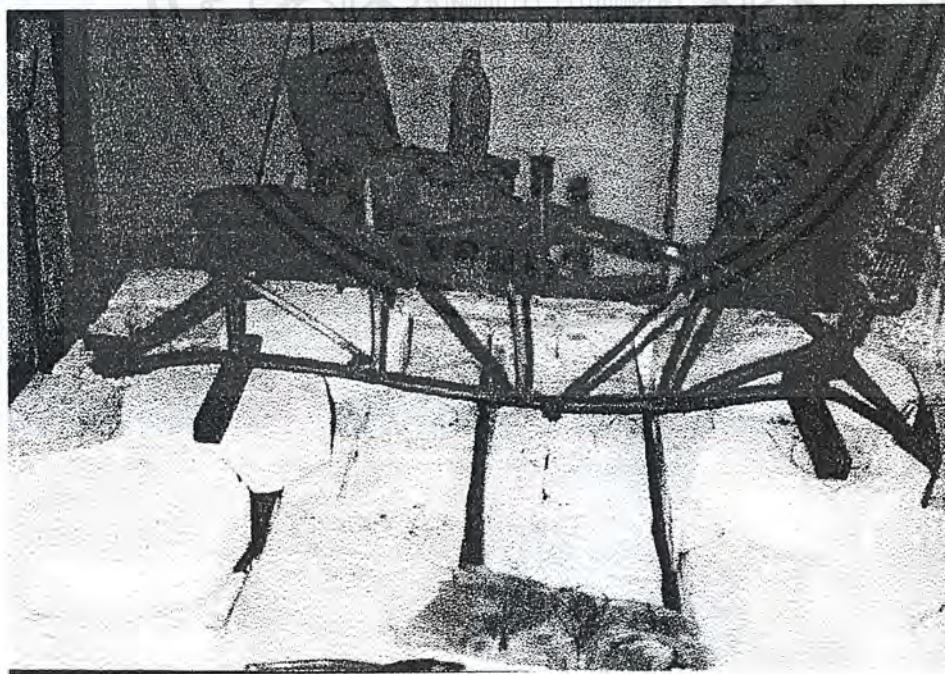


รูป ผ.ช.8. แสดงการวิบัติของโครงหลังคาแบบ Pratt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



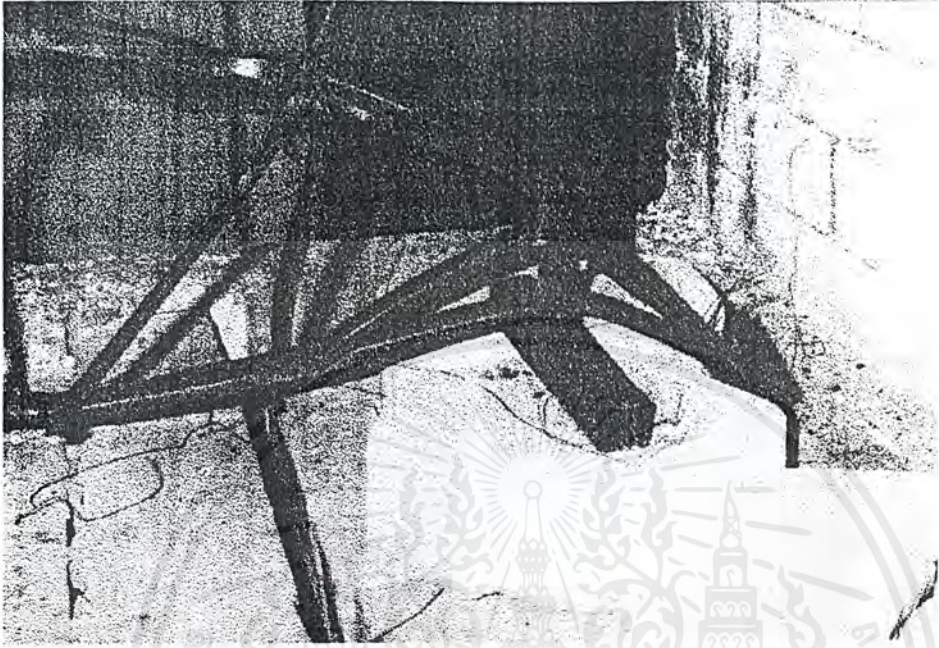
รูป ผ.ช.9. แสดงการเตรียมการทดสอบโครงหลังคาแบบ  
องค์ประกอบเดียว



รูป ผ.ช.10. แสดงการวิบัติของโครงหลังคาองค์ประกอบเดียว

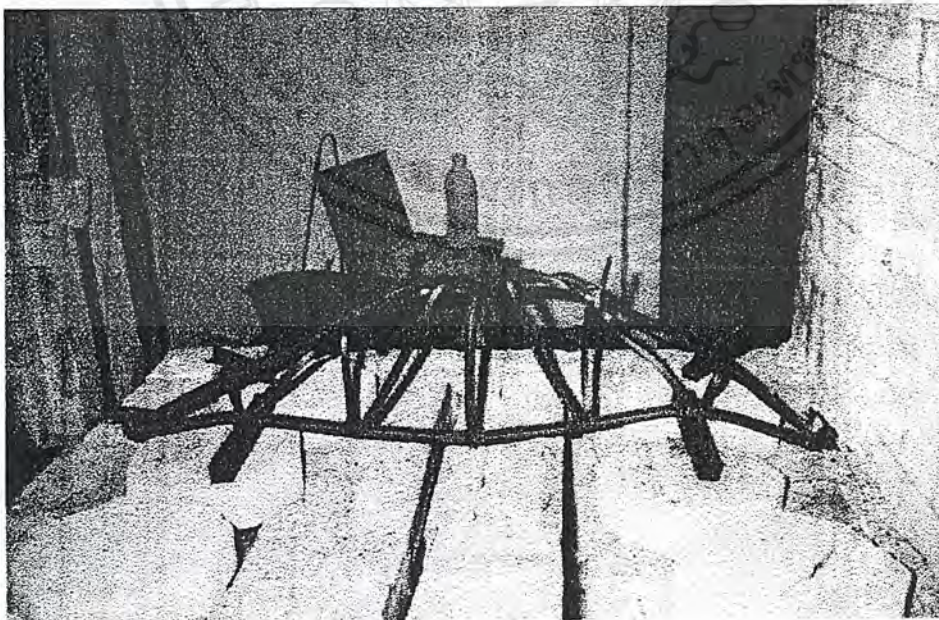
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Howe



รูปผ.ช.11. แสดงจุดวิบัติของ โครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว

แบบ Howe



รูปผ.ช.12. แสดงการวิบัติของ โครงหลังคาองค์ประกอบเดี่ยว

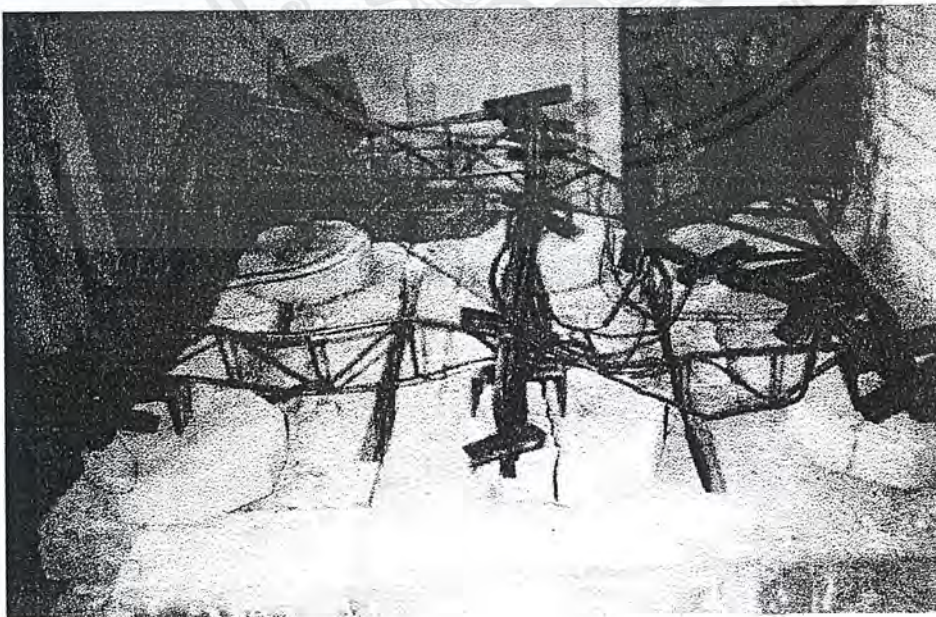
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Pratt



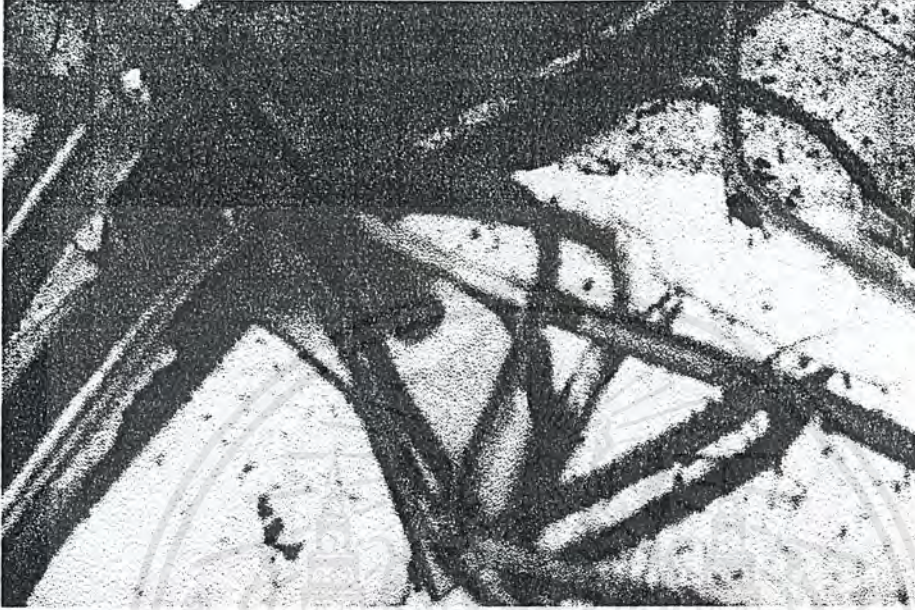
รูป ผ.ช.13. แสดงจุดวิบัติของโครงหลังคาองค์ประกอบเดียว

แบบ Pratt

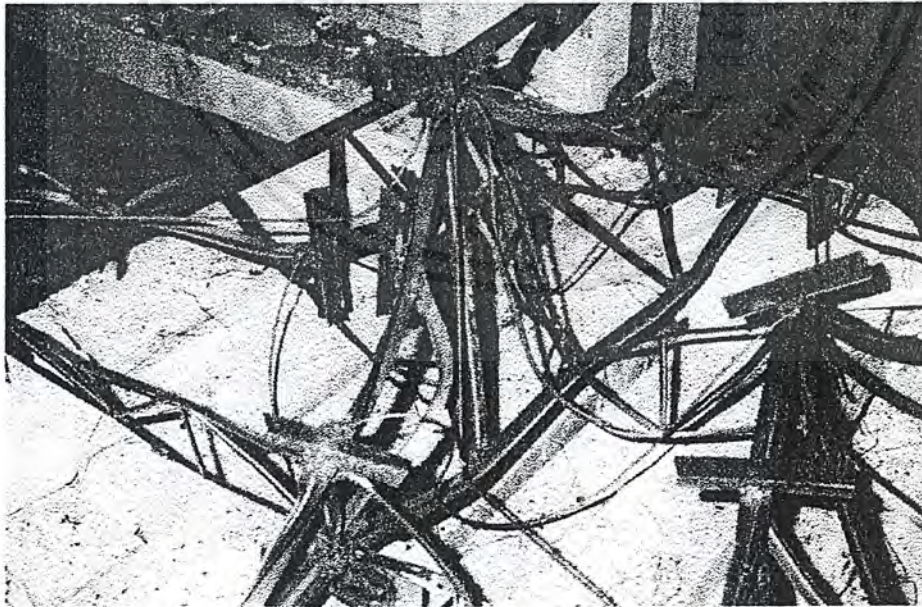


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ผ.ช.14. แสดงการวิบัติของ โครงประกอบแบบ Howe

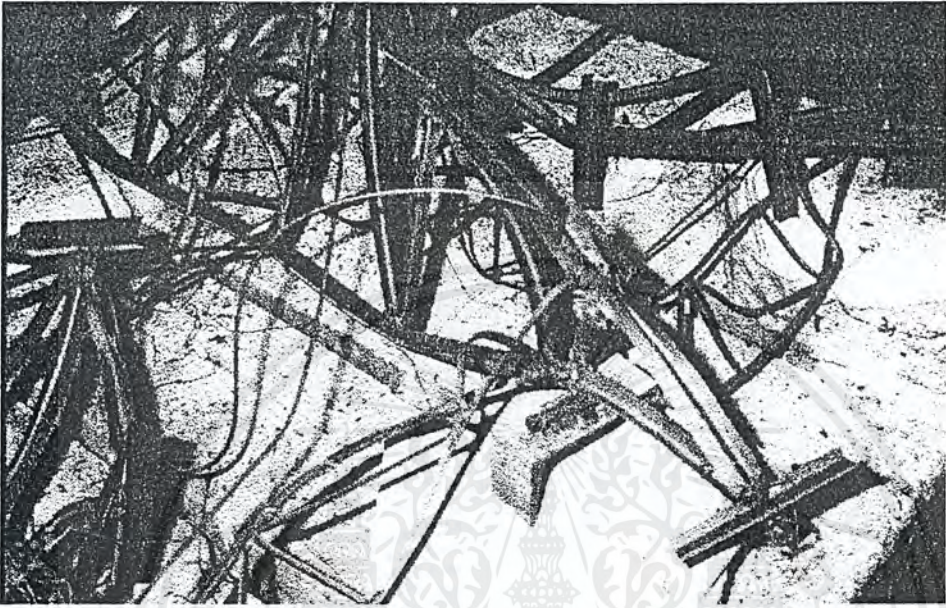


รูป ผ.ช.15. แสดงจุดวิบัติของ โครงประกอบแบบ Howe

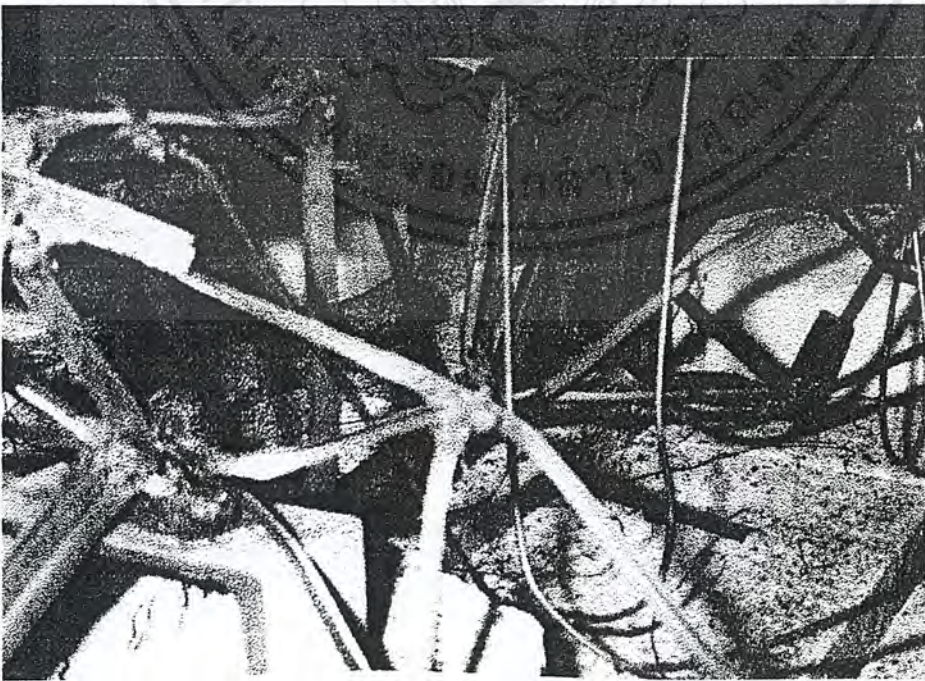


รูป ผ.ช.16. แสดงการวิบัติของ โครงประกอบแบบ Pratt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

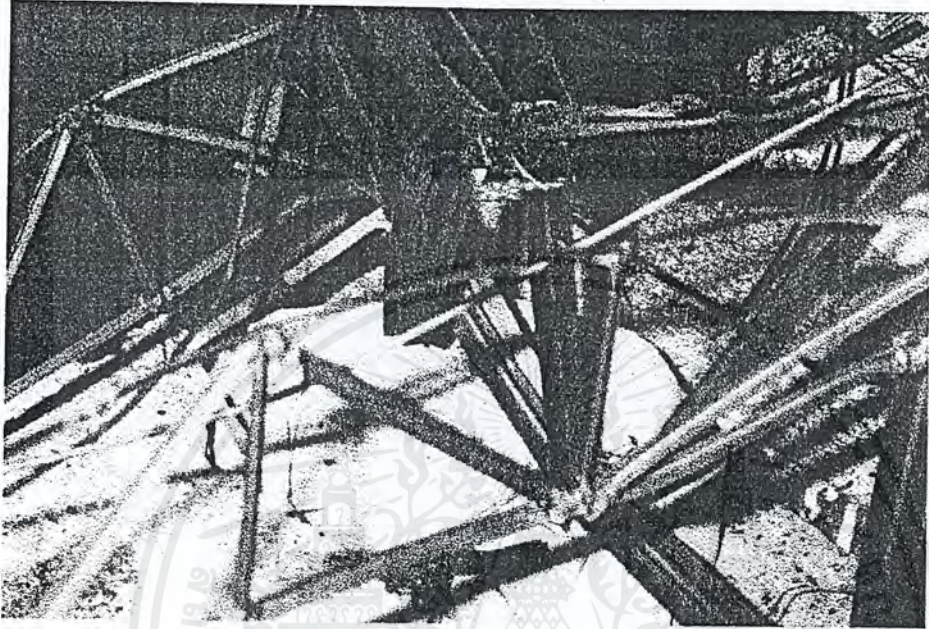


รูป ผ.ช.17. แสดงจุดวิบัติของโครงประกอบแบบ Pratt



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ศ.ช.18. แสดงการวิบัติของ โครงประกอบแบบ Howe  
ที่ได้ทำการพัฒนาแล้ว



รูป ศ.ช.19. แสดงการวิบัติของ โครงประกอบแบบ Pratt  
ที่ได้มีการพัฒนาแล้ว