โครงการพิเศษ

เรื่อง การเลือกแบบของโครงหลังคาโครงถักที่เหมาะสม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ

โดย

นาย สุธี กาญจนกันติกะ

รหัส 291925

ภาควิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

หลักสูตรวิศวกรรมการก่อสร้าง ปีการศึกษา 2533

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

027097

หน้าอนุมัติ

ภาควิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง อนุมัติให้นับรายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

.....

(อ. สุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

กรรมการวัดผล .....

(อ. ดร. ศรีกรชิ หิรัญมาศ)

.....

(ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชยะ)

.....

(อ. อำนวย พานิชกุลพงศ์)

.....

(อ. ศิลปชัย จาบสุวรรณ)

.....

(อ. สุพจน์ ศรีนิล)

.....

(อ. วิบูลย์ วุฒิญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

027097

กรรมการวัดผล .....

(อ. เกษม อนันตกุล)

.....

(อ. ศักดิ์ชัย สถานุพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ : การเลือกแบบของโครงหลังคาโครงถักที่เหมาะสม

ชื่อผู้วิจัย : นาย สุธี กาญจนกันติกะ รหัส 291925

เดือนปีที่วิจัย : มกราคม 2533

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้จะได้กล่าวถึง การเลือกแบบของโครงหลังคาโครงถักที่เหมาะสมกับช่วงห่างระหว่างเสา . โดยได้บรรจุเนื้อหาของโครงหลังคาโครงถักซึ่งมีรูปแบบด้วยกัน 4 แบบคือ Pratt, Howe , Gable Roof Truss-Pratt,Gabel Roof Truss-Howe ซึ่งจะได้กล่าวถึงการออกแบบโครงหลังคาตั้งแต่ตั้งจนถึงการออกแบบเลือกหน้าตัดเพื่อที่จะนำไปใช้ นอกจากนั้นได้กล่าวถึงโปรแกรม MicroFeap P1:Release 3.0 อย่างละเอียดไว้ครบถ้วนทุกประการและยกตัวอย่างประกอบอย่างมากมาย

ในตอนท้ายของรายงานฉบับนี้ได้ทำการสรุปผลการรวบรวมของแต่ละกรณีไว้อย่างสมบูรณ์ตลอดจนเนื้อหาและแนวทางในการเลือกใช้โครงหลังคาถักไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. ศรีกริช ศิริญมาศ และ อ. สุมจน์ ศรีนิล ซึ่งได้ให้ข้อแนะนำอันเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนแก้ไขอุปสรรคทางเทคนิคที่เกิดขึ้น จนงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้วัสดุอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนเครื่องคอมพิวเตอร์ และ Printer พร้อมทั้งกระดาษ

และขอขอบคุณบุคคลที่ได้ให้ความร่วมมือด้วยดีทุกประการตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

งานก่อสร้างในภูมิภาคต่างๆทั่วโลก มักจะสร้างกันมาโดยวิธีและวัสดุที่หาได้ในเขตนั้นๆรูปร่างและวัสดุที่ใช้ในอาคารที่แตกต่างกัน จึงมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

เมื่อสังคมมีการพัฒนาการมากขึ้น ประเภทของอาคารเริ่มเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของสังคม ในสังคมอุตสาหกรรม ความต้องการอาคารสำหรับสำนักงานและโรงงานมีมากกว่าอาคารบ้านพักอาศัย งานอาคารสำนักงานและโรงงานในระยะหลายปีที่ผ่านมาหลังคาของอาคารสำนักงานและโรงงานที่มีช่วงห่างระหว่างเสาที่มีความยาวมากๆและใช้วัสดุมุงที่มีน้ำหนักไม่มากนัก โดยทั่วไปแล้วก็จะสร้างและเมื่อกาลเวลาล่วงเลยมาจนถึงปัจจุบันปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าทำให้ไม้ในเมืองไทยลดน้อยลงเป็นอย่างมาก ทำให้ราคาไม้มีราคาถีบตัวสูงขึ้นเป็นตามลำดับ จนวิศวกรผู้ออกแบบและสถาปนิก หันมานิยมใช้วัสดุเหล็กแทนเนื่องจากมีความคงทนสูงกว่าและสามารถต่อเชื่อมที่จุดต่อได้อย่างมั่นคงและประกอบกับมีอายุการใช้งานสูงค่าดูแลรักษาต่ำทำให้เราต้องหันมาใช้เหล็กเป็นส่วนใหญ่ตราบจนเท่าจนถึงปัจจุบัน

แต่ในระยะภายหลังนี้ความต้องการอาคารที่มีขนาดใหญ่โตขึ้น สูงขึ้นกว้างขึ้นและสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น เริ่มมีการเพิ่มในหลายๆภูมิภาคงานก่อสร้างโครงการมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในระยะเวลาการก่อสร้างสั้นลง และเรียกร้องความละเอียดอ่อนในงานก่อสร้างมากขึ้น เงื่อนไขเหล่านี้จะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงการก่อสร้างต่อไปมากขึ้นเรื่อยๆ

ในงานวิจัยที่ผู้จัดทำได้ทำขึ้นก็เพื่อที่จะเป็นคู่มือหรือเอกสารอ้างอิงให้วิศวกรได้ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารสำนักงานและโรงงานที่ต้องการออกแบบโครงหลังคาโครงถักที่มีช่วงห่างความยาวของ Span ตั้งแต่ความยาว 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50 M. โดยผู้จัดทำได้กำหนดให้โครงหลังคามีระยะห่าง Bay เท่ากับ 6 M. และกำหนดให้ใช้วัสดุมุงหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่โดยมีมุมลาดเอียงเท่ากับ 12.5 องศา โดยผู้จัดทำได้ทำกรณีศึกษาในงานวิจัยถึง 80 ชุด ของโครงหลังคา และเลือกใช้วัสดุในการออกแบบโครงหลังคา 4 ชนิด รวมออกแบบ 320 โครงหลังคาอยู่ด้วยกัน

งานวิจัยที่ผู้จัดทำได้ทำขึ้นนี้คงจะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยที่ได้ทำงานวิจัยชิ้นและหากมีข้อผิดพลาดประการใดใคร่ขออภัยไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

(นาย สุธี กาญจนกันติกะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทนำ.....1

ความเป็นมาและจุดประสงค์.....1

ขอบเขตของงานวิจัย.....1

ประโยชน์ที่จะได้รับ.....2

วิธีการ.....2

บทนำโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง.....3

ลักษณะองค์การของโปรแกรมและการติดตั้ง.....5

การใช้โปรแกรม.....8

โครงข้อหมุน.....29

โครงหลังคาเหล็ก.....45

โครงสร้างส่วนรับแรงดึง.....52

โครงสร้างส่วนรับแรงอัด.....57

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ.....63

สรุปผลการรวบรวมของโครงสร้าง.....93

ข้อสังเกตุและประโยชน์การนำไปใช้ของงานวิจัย.....102

บรรณานุกรม.....105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เมื่อวิศวกรผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในงานออกแบบโครงสร้างโครงหลังคาซึ่งสถาปนิกได้มอบหมายให้วิศวกรเลือกแบบของโครงหลังคาแบบใดแบบหนึ่งให้เหมาะสมแล้ว วิศวกรก็มีหน้าที่จะต้องเลือกแบบโครงหลังคาที่ซึ่งต้องมีหน้าที่ปัจจัยตลอดจนถึงความสามารถของโครงหลังคานั้นให้สามารถเป็นโครงหลังคาที่ปกคลุมป้องกันต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมได้ตลอดจนถึงให้มีความปลอดภัยควบคู่กันไปด้วย ซึ่งแบบของโครงหลังคาที่ให้วิศวกรได้เลือกนั้นก็มีแบบต่างๆมากมาย ให้เลือกซึ่งจะเป็นการไม่สะดวกเลยเมื่อมีตัวเลือกมากมายเช่นนี้ ดังนั้นงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้นนี้ก็จะได้ทำการวิจัยแบบของโครงหลังคาที่กำหนดขึ้นมา 4 แบบด้วยกัน แล้วทำการสรุปว่าแบบใดมีความเหมาะสมหรือสมควรที่จะนำไปใช้กับช่วงห่างระหว่างเสาเท่าใดจึงเหมาะสม และมีความประหยัดมากที่สุด

2)ความเป็นมาและจุดประสงค์

เมื่อกาลเวลาล่วงเลยมาจนถึงปัจจุบันนี้ยังมีข้อมูลที่ไม่กระจ่างชัดว่าโครงหลังคาชนิดใดเลือกใช้วัสดุชนิดใดมีความเหมาะสมของโครงหลังคาแต่ละอย่างมากน้อยต่างกันอย่างใดซึ่งผู้จัดทำได้ทำการวิจัยเพื่อที่จะได้เป็นข้อมูลให้วิศวกรได้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจได้

3) ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จะได้แบบของโครงหลังคาขึ้นมาด้วยกัน 4 แบบคือ Pratt,Howe, Gable Roof Truss-Pratt, Gable Roof Truss-Howe ซึ่งมีช่วงห่างระหว่างเสารองรับเป็น Pin และ Roller ตามลำดับโดยมีช่วงห่างระหว่างเสาตั้งแต่ 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50 M. โดยมีระยะ Bay เท่ากับ 6 M. ระยะห่างจากปลายหลังคาไปยังหัวเสาเท่ากับ 1.5 M. วัสดุมุงเป็นกระเบื้องลอนคู่ความลาดเอียงของโครงหลังคาเท่ากับ 12.5 องศา

งานวิจัยฉบับนี้จะได้ออกแบบโดยการคำนวณจากน้ำหนักของวัสดุมุงหลังคาที่ปกคลุมรวมทั้งแรงลม แล้วคำนวณหาแรงในโครงหลังคาโครงถัก หลังจากนั้นจึงจะออกแบบหน้าตัดแต่ละโครงโดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาปริมาณเชิงวัสดุที่จะต้องนำมาใช้โดยมิได้คำนึงผลที่ไม่สามารถนำมาคำนวณได้ อาทิเช่น ค่าแรงงานในการประกอบโครงหลังคา , การออกแบบหัวเสาที่จะต้องรองรับ ,ตลอดจนผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยที่งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ดังที่ไม่ได้กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประโยชน์ที่จะได้รับ

เพื่อเป็นข้อมูลให้วิศวกรได้เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจที่จะเลือกโครงสร้างโครงถักที่มีความประสงค์ประหยัดหรือเหมาะสมในเชิงวัสดุ

5) วิธีการ

1. กำหนดลักษณะของโครงสร้าง อาทิเช่น ช่วงห่างระหว่างเสา ,ระยะ Bay , ระยะปลายหลังคากับเสาที่รองรับ , จำนวนช่วงระหว่างเสา , มุมความลาดเอียงลาดชัน , กำหนดวัสดุที่มุงใช้ , แรงลมที่กระทำ , วัสดุที่เลือกใช้เป็นโครงหลังคา

2. หาแรงที่กระทำในแต่ละจุดของโครงหลังคาโครงถัก

3. ทำการวิเคราะห์หาแรงแต่ละ Members ว่ามีแรงกระทำเท่าใดใช้ในโปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้าง Misrofeap P1: Release 3.0 เข้าช่วยในการวิเคราะห์

4. ทำการออกแบบหน้าตัดของแต่ละส่วนประกอบ

5. หาปริมาณน้ำหนักของโครงสร้างที่ใช้แต่ละโครงสร้างโครงถัก

6. เลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

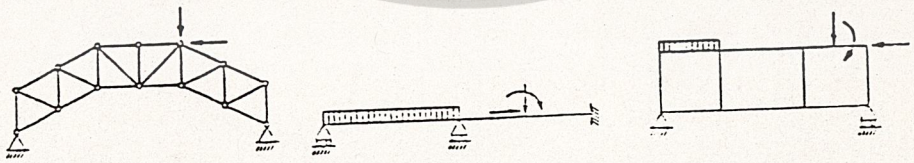
โปรแกรม Microfeap P1:Release 3.0 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง โครงถัก (Truss) 2 มิติ , Frame และ Shear Wall โดยวิธี Finite Element ซึ่ง Version ใหม่ของ P1 : Release 3 ซึ่งได้ทำขึ้นใหม่ในปี ค.ศ. 1987 ถ้าหากคุณมีโปรแกรมใหม่อยู่แล้วคุณก็ควรที่จะอ่านคู่มือฉบับใหม่นี้อีกสักครั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้และถ้าหากคุณมีประสบการณ์ในการใช้มาแล้ว คุณสามารถทำงานได้เลยและหากมีข้อสงสัยก็สามารถใช้คู่มือฉบับนี้แก้ข้อสงสัยได้

1.1 อุปกรณ์ที่ต้องการ

1. Computer IBM-PC/XT/AT หรือ IBM Compatible ซึ่งมีหน่วยความจำอย่างน้อย 256 K bytes
2. 2 Disk Drivers หรือ Hard Disk
3. จอภาพ Monochrome , color Dishplay หรือ hercules adapter
4. เครื่องพิมพ์ Printer

1.2 ความสามารถของ Microfeap P1:Release 3.0

1. วิเคราะห์โครงสร้าง Stable ของโครงถักระนาบเดี่ยวและโครงข้อแข็ง
2. วิเคราะห์โครงสร้าง Stable ของระบบโครงสร้างซึ่งรวมถึงระนาบโครงถักโครงข้อแข็งและ Shear Wall



Plane truss Continuous beam Plane frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ความจุของโปรแกรม

โปรแกรม P1:Release 3.0 มีข้อกำหนดที่จะสามารถใช้ได้ดังนี้คือ

NP = จำนวนของจุด Node

NE = จำนวนของ Element

DM = จำนวนมิติ

ND = จำนวนดีกรีอิสระต่อ 1 Node

สำหรับ ระนาบโครงถัก ND = 2

ระนาบโครงข้อแข็ง = 3

NM = จำนวนชนิดของวัสดุที่ใช้

LS = ผลรวมจำนวนของ Element ซึ่งต้องมีอย่างน้อย 1 ชนิด

ความจุทั้งหมดของโปรแกรมที่จะสามารถใช้ได้โดยไม่เกินข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ

1. NPxND = 2400 (โครงถัก = 1200 Node, คาน = 800 Node)
2. NE = 1600
3. NPx(DM+ND)+6xNM+4xLS = 6000
4. NPx(DM+2XND)+6xNM+4xLS = 8190

1.7 ความจุของ Diskette

Microfeap P1:release 3.0 อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถที่จะบรรจุข้อมูลของโปรเจกที่แตกต่างกันได้หลายๆโปรเจกในแผ่นเดียวกันได้ แต่อย่างไรก็ตามจำนวนของ Files ข้อมูลในแผ่น Floppy Disk ต้องไม่เกินจำนวนของ Files ที่ยอมให้ของระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ใช้

ยกตัวอย่างเช่น IBM-PC (Under Dos 3.1) สามารถบันทึกข้อมูลได้แกะ Files

ดังนั้นผู้ใช้ควรที่จะทำการตรวจสอบแผ่นข้อมูลว่ามีที่ว่างเหลือที่จะสามารถบันทึก Files เพิ่มเติมได้หรือไม่ หากว่าจะทำการบันทึก Files ของโปรเจกอันใหม่ ข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถเรียกข้อมูลกลับมาได้อาจจะเกิดขึ้นในระบบในขณะช่วงที่ให้ Computer ตำนวณอยู่ได้ถ้าหากเกิดขึ้นก็ควรที่จะปิด-เปิดเครื่องใหม่แล้วลบโปรเจกที่ไม่จำเป็นออกในแผ่น Data หรือไม่ก็เปลี่ยนแผ่น Data ที่มีเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลได้ว่างเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microfeap P1:release 3.0 ใช้กับแผ่น diskette ขนาด5.25" แผ่น Disk แผ่นที่ 1 จะบรรจุโปรแกรมปฏิบัติการและ Sub-Programs สำหรับส่วนที่จะบันทึกข้อมูลเข้า ส่วนแผ่น Disk แผ่นที่ 2 จะบรรจุโปรแกรมปฏิบัติการและ Sub-Program สำหรับการคำนวณ , แสดงผลลัพธ์และแสดงรูปกราฟิก

2.1 การจัดองค์กรของโปรแกรมในแผ่น Disk

แผ่นที่ 1 ใช้สำหรับกรอกและบันทึกข้อมูลเข้า

แผ่นที่ 2 ใช้สำหรับการคำนวณวิเคราะห์ , แสดงผลและแสดงกราฟิก

Files ที่บรรจุในแต่ละแผ่น Diskette มีดังต่อไปนี้

Disk 1	disk 2
Autoexec.Bat	head(2).exe
Microfea.exe	Profile.exe
head(2).exe	Pform.exe
Mainimp.exe	Rhsf.exe
input(1).exe	P48.exe
input(2).exe	Stre.exe
Demo.Dat	Prtdis.exe
Utility Files	Prtstre.exe
	Feapplot.exe
	Demo.Dat
	Utility Files.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แผ่นโปรแกรมสนับสนุน

ก่อนที่จะเริ่มต้นโปรแกรม P1:Release 3.0 ผู้ใช้ต้องทำแผ่นสนับสนุนและเก็บต้นฉบับ (Original) ไว้ในที่ปลอดภัย และใช้งานในแผ่นที่ใช้งานเท่านั้น เพื่อที่จะเป็นการป้องกันอันเนื่องมาจากข้อผิดพลาดของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือผู้ใช้ได้อีกประการหนึ่ง ซึ่งแผ่นโปรแกรม P1:Release 3.0 ไม่ได้มีการป้องกันในการ Copy และผู้ใช้สามารถที่จะ Diskcopy โดยใช้คำสั่งใน Dos ได้

โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้ได้

1. ใส่แผ่น Dos 3.1 หรือสูงกว่าใน Drive A: และเปิดสวิตช์
2. กด enter จนขึ้นเครื่องหมาย A> จนปรากฏขึ้น
3. พิมพ์ A> Diskcopy A: B: แล้วกด Enter
4. เอาแผ่น Dos ออกจาก Drive A:
5. ใส่แผ่นโปรแกรมที่คุณต้องการCopy (ต้นฉบับ) ใน Drive A: และแผ่นสำเนาใน Drive B:

2.3 การติดตั้งโปรแกรม P1:Release 3.0 ใน Hard Disk

ถ้าหากผู้ใช้มี Hard Dish ก็ควรจะใส่แผ่นโปรแกรมทั้ง 2 แผ่นลงใน Hard Disk ซึ่งจะทำให้สะดวกที่จะเรียกใช้ไม่ต้องสอดแผ่นโปรแกรมเข้า-ออกให้เสียเวลาและทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโปรเจกใหญ่ๆ

วิธีในการติดตั้งโปรแกรมใน Hard Disk

1. สร้างระบบสำหรับ Microfeap P1:Release 3.0 ใน Hard Disk C: แล้วกรอกตามดังนี้คือ

C> CD\ กด ENTER

C> MD MFEAP-P1 กด ENTER

2. Copy Files ทั้งหมดจากแผ่นโปรแกรมลงสู่ Hard Disk

C> copy A:*.* \MFEAP-P1 กด ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเตรียมแผ่นข้อมูล

แผ่น Diskette จะต้องถูก Formal ก่อนที่จะนำมาเป็นแผ่น DATA โดยทำดังต่อไปนี้คือ

1. ใส่แผ่น DOS ใน DRIVE A: แผ่นที่จะต้องถูก FORMAT ใน DRIVE B:
   A> Formal B: กด ENTER
2. กด N เมื่อที่ออกสู่ระบบ

2.4.2 ระบบของ Hard Disk

จะเป็นการถูกต้องหากได้มีการแบ่งส่วนของ Hard Disk ออกเพื่อที่จะเก็บ DATA ซึ่งสามารถทำโดยสร้างระบบใหม่โดยตั้งชื่อ DATA โดยทำดังต่อไปนี้คือ

C> CD\ กด ENTER

C> MD DATA-P1 กด ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้โปรแกรม Microfeap P1:Release 3.0

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆที่จะใช้โปรแกรม Microfeap P1: Release 3.0 ในคอมพิวเตอร์ IBM-PC/XT/AT บทนี้จะสนับสนุนได้เป็นอย่างดีเมื่อได้อ่านแล้วและเมื่ออ่านเสร็จ คุณควรที่จะดูแผ่นเตรียมข้อมูลใน Appendix A . หากคุณได้พยายามที่จะเข้าใจรูปแบบแล้วจะใช้โปรแกรมได้ง่ายขึ้น

หัวข้อที่จะบรรยายในบทนี้

3.1 เริ่มต้นใช้ P1

3.2 คำสั่งสำหรับการเตรียมข้อมูล

3.3 การแก้ไขปัญหาของโปรแกรม P1

3.4 การแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม P1

3.5 กราฟิก

3.6 ออกจากโปรแกรม P1

3.7 DATA FILES ที่ทำขึ้นจากโปรแกรม P1

3.1 เริ่มต้นใช้โปรแกรม P1

สำหรับ DISKETTE - ใส่แผ่นโปรแกรมแผ่นที่ 1 ใน DRIVE A: และแผ่น DATA ที่ได้รับการ Format แล้วใน Drive B:

- ถ้าหากเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมแล้วก็พิมพ์

A> Autoexec

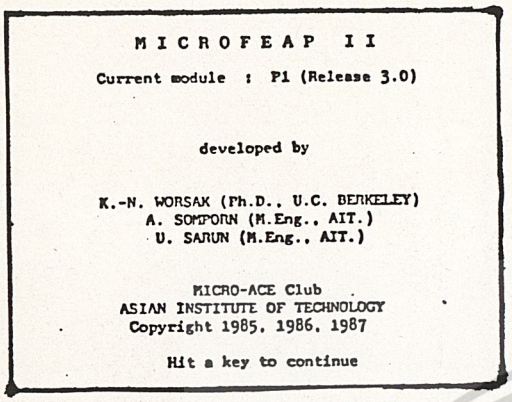
สำหรับ Hard Disk - พิมพ์ดังต่อไปนี้ C>CD\FEAP-P1 กด ENTER

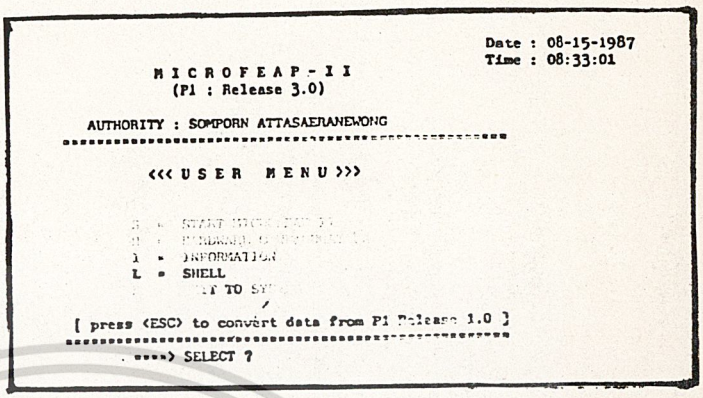
- เมื่อที่บรรจุโปรแกรมในหน่วยความจำ พิมพ์

C> autoexec กด ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะทำงานโดยอัตโนมัติและหลังจากนั้นไม่นานก็จะขึ้นสัญลักษณ์ของ Microfeap P1:Release.3.0 ดังต่อไปนี้





คู่มือบับนี้สามารถให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้ในรายการดังนี้คือ

S = เริ่มใช้งานโปรแกรม

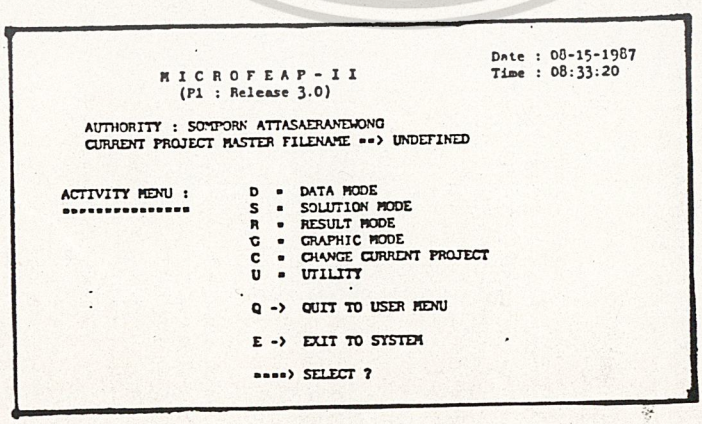
H = เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทำการกำหนดติดตั้งอุปกรณ์ทางด้าน Hardware ให้เหมาะสมและให้แน่ใจได้ว่าทำการกำหนดแผ่น DATA DISK ใน DRIVE ที่ถูกต้องอย่างเหมาะสม

I = รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมว่ามีคีย์อักขระมากน้อยเพียงใด

L = SHELL

E = ออกสู่ระบบจัดการ

และเมื่อกดปุ่ม "S" ก็จะเข้าสู่รายการ " ACTIVITY" ให้ปรากฏดังนี้



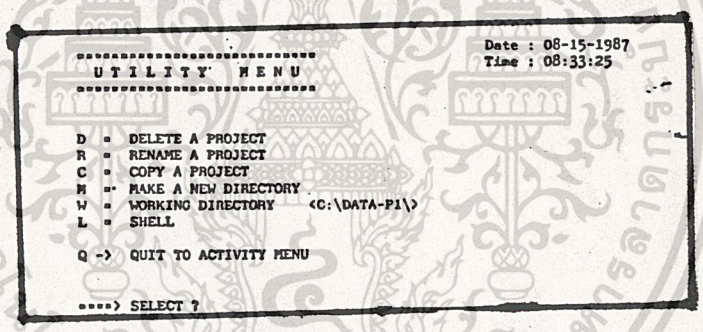
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
027097

จาก ACTIVITY MENU ผู้ใช้จะเห็นคำว่า AUTHORITY'S NAME เป็น (เป็นชื่อที่ได้บันทึกขึ้นในชื่อของเจ้าของโปรแกรม) CURRENT PROJECT MASTER NAME เป็นชื่อโปรแกรมปัจจุบันที่ได้ทำอยู่ คำว่า "Undefined" แสดงว่าไม่มี Files ในแผ่น Data Diskette และใน Activity Menu จะมีตัวเลือก "D","S","R" และ "G" ซึ่งจะได้อธิบายในแต่ละรายละเอียดในภายหลัง

ในที่นี้จะได้อธิบาย Activity Menu ใน Mode "C" และ"U"ดังนี้คือ

C : อนุญาติให้ผู้ใช้เปลี่ยนโปรเจกปัจจุบันไปสู่โปรเจกอื่นที่ได้ทำมาแล้วโดยกรอก ชื่อให้ตรงกันกับโปรเจกที่ได้เลือกไว้แล้วและเมื่อทำแล้วชื่อโปรเจกปัจจุบันจะถูกแทนที่โดยอีกโปรแกรมหนึ่ง

U : เป็นโปรแกรมเลือกใช้ เมื่อเลือกโปรแกรมนี้ในรายการใช้จะปรากฏให้เห็นในจอภาพมอนิเตอร์ดังต่อไปนี้



D : อนุญาติให้ผู้ใช้ลบชื่อโปรเจกที่ไม่ต้องการได้

R : อนุาติให้ผู้ใช้เปลี่ยนชื่อใหม่ของโปรเจกได้

C : อนุญาติให้ผู้ใช้ทำสำเนาและทำโปรเจกสำรองได้

M : อนุญาติให้ผู้ใช้สร้างระบบข้อมูลขึ้นมาใหม่โดยทำชื่อระบบในการ Format

กด Format : Directory\Sub-dir\sub-dir2...

L : อนุญาติให้ผู้ใช้กลับสู่คำสั่ง Dos ได้และโปรแกรมยังคงเก็บไว้ในหน่วยความจำ และเมื่อต้องการกลับมาสู่โปรแกรมใหม่ ก็พิมพ์คำว่า " EXIT "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คำสั่งในการเตรียมข้อมูล

เมื่อผู้ใช้เลือกปุ่ม " D " ใน Activity Menu โปรแกรมจะเข้าสู่ Data Mode ซึ่งจะปรากฏบนจอภาพดังต่อไปนี้

```
                                                    Date : 08-15-1987
      D A T A      M O D E                          Time : 08:33:26

      PROGRAM DISK-P1 : 2D TRUSS / BEAM / WALL

CURRENT PROJECT MASTER FILENAME ==> UNDEFINED

OPTIONS :     C = CONTINUE CURRENT PROJECT
              N = NEW PROJECT CREATED
              E = EDIT EXISTING PROJECT

              Q -> QUIT TO ACTIVITY MENU
```

C = อนุญาติให้ผู้ใช้ดำเนินการในข้อมูลที่กำหนดไว้แล้วของโปรเจกในปัจจุบัน ซึ่งหมายถึง ข้อมูลทั้งหมดจะต้องถูกกรอกใส่ไว้และถูก Save ใส่ในแผ่นข้อมูลปัจจุบัน ผู้ใช้สามารถเลือกที่จะแสดงผลลัพธ์ , เขียนใส่ข้อมูล , หรือพิมพ์ออก

N = เหมือนกับตัวเลือก " c " แต่ผู้ใช้จะมีโปรเจกที่ได้ทำขึ้นมาก่อนล่วงหน้าเพื่อที่จะเรียกข้อมูลที่ได้บันทึกไว้แล้วมาใช้ได้อีก

เมื่อเลือกกดตัวเลือก "N" แล้วโปรแกรมจะให้ผู้ใช้ใส่ชื่อโปรเจก, หัวข้อโปรเจก, หน่วยแรง, หน่วยของความยาว, ชื่อวิศวกร, วันเวลาปัจจุบันซึ่งจะแสดงในรูปที่ 3.60 ,ข้อมูลหน่วยแรงและความยาวและควรที่จะมีหน่วยที่เป็นหน่วยที่สอดคล้องกัน เช่น KG-M,LB-FT เป็นต้น

เมื่อผู้ใช้ใส่วันเวลาเรียบร้อยแล้วก็กด ENTER ปรแกรมก็จะปรากฏในรูปที่ 3.6 B

```
AUTHORITY  :  SOMPORN ATTASAERANEWONG                    [P1]

MASTER FILENAME :

PROJECT TITLE :

FORCE UNIT    :

LENGTH UNIT   :

ENGINEER      :

CURRENT DATE  : 07-27-1987        CURRENT TIME : 17:37:49
(mm-dd-yy)                        (hh:mm:ss)

MAX. NO.OF CHARACTERS FOR :
     Filename  = 8,  Title = 40,  Engineer = 20
     Force unit = 3   (Ex.-> Kg, Ton, N, KN, lb,...etc.)
     Length unit = 2  (Ex.-> mm, cm, m, in, ft,...etc.)
       [ Filename should conform to DOS conventions ]
```

```
                                                    Date : 08-15-1987
                                                    Time : 08:33:38
TYPICAL STRUCTURAL SYSTEMS INCLUDED IN P1-MODULE :

     1. 2D-TRUSS SYSTEM

     2. 2D-FRAME SYSTEM

     3. 2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM


     **** SELECT (1-3) ****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้สามารถเลือกระบบของโครงสร้าง, ขนาดของมิติ, จำนวนจุดต่อของแต่ละชิ้นส่วนประกอบและจำนวนของ Degree-of-freedom ต่อจุด เมื่อกรอกเรียบร้อยแล้วก็จะไปสู่ Data Menu ในรูปที่ 3.7

```
                                          Date : 08-15-1987
     <<< D A T A    M E N U >>>           Time : 08:33:42

N  =  NODE DATA.............[0 NODES]
E  =  ELEMENT DATA..........[0 ELEMENTS]
L  =  LOAD DATA.............[0 CASES]

Q ->  QUIT TO ACTIVITY MENU
```

มีตัวเลือกให้เลือก 3 ตัวเลือกคือ "N","E","L" ใน Data Menu จะต้องสมบูรณ์ก่อนที่จะไปสู่ Solution Mode ใน Activity Menu ซึ่งควรจะสังเกตว่าโปรแกรมจะอนุญาติให้ผู้ใช้เคลื่อนย้ายข้อมูลของโปรเจกปัจจุบันไปสู่โปรเจกอื่นได้ของระบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะเขียนข้อมูลได้โดยการเลือกปุ่ม "T"

3.2.1 Node Data (ตัวเลือก "N")

เมื่อผู้ใช้เลือกตัวเลือก "N" Node Data จะปรากฏขึ้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.8

```
                                          Date : 08-15-1987
     <<<< NODE DATA >>>>                  Time : 08:33:43

N  =  NO.OF NODES.........[0 NODES]
C  =  COORDINATE DATA
B  =  BOUNDARY DATA
O  =  OUTPUT

Q ->  QUIT TO DATA MENU


====> SELECT ?
```

จำนวนของ Node จะต้องถูกเจาะจงก่อนที่จะเลือกตัวเลือก"C","B" หรือตัวเลือก "O" แล้วใส่พิกัดของ Node และเงื่อนไขของจุดรองรับซึ่งโปรแกรมจะให้ผู้ใช้ได้เขียนหรือแสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        Date : 08-15-1987
                                        Time : 08:33:50

          OPTIONS

     *** COORDINATE DATA ***

     E = EDIT
     O = OUTPUT ON SCREEN

     Q -> QUIT

     ====> SELECT ?
```

เมื่อที่จะเขียนนิกัดข้อมูลผู้ใช้สามารถใช้คำสั่งดังในรูปที่ 3.10

```
>COORDINATE DATA (cm)

    1. PRESS <RETURN> AFTER ENTERING EACH DATA TO MOVE CURSOR FORWARD
    2. INPUT </> TO DUPLICATE CORRESPONDING DATA
    3. INPUT <NODE # ZERO> TO TERMINATE THIS INPUT

-------------------------------------------------------------------
                 NODE      1-COOR      2-COOR      NODAL GEN.
PREVIOUS ENTRY :   0          0           0           0
>CURRENT ENTRY :
```

Node : จำนวนจุดซึ่งจะเป็นนิกัดที่จะใส่

1-Coor , 2-Coor : ระบบนิกัดจะนิจารณาตามกฎมือขวา

โดย 1-Coor หมายถึง แกน X

2-Coor หมายถึง แกน Y

Node Gen : การเพิ่มขึ้นของจุดนิกัดซึ่งจะเป็นการง่ายในการที่จะใส่จุดนิกัดได้อย่างอัตโนมัติ ถ้าอนุกรมของจุด (N1,N1+NG,N1+2NG,.....,N2) ซึ่งจะเป็นอนุกรมเส้นตรง

เพื่อความเข้าใจขอยกตัวอย่างประกอบดังต่อไปนี้

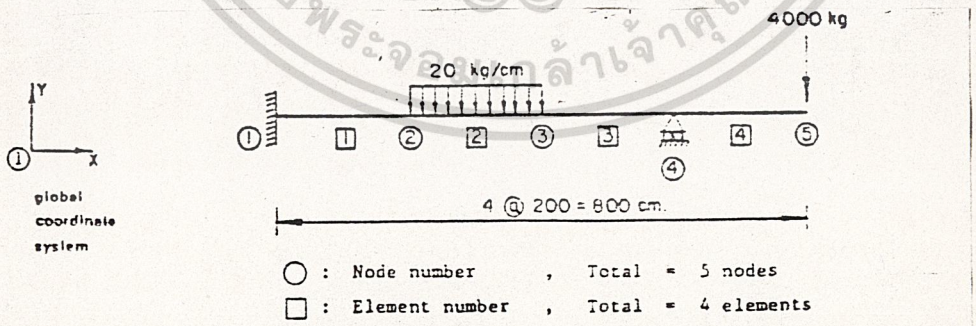


Fig. 3.11: An illustrated example

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยัดข้อมูลสามารถที่จะบรรจุได้ 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. ใส่ข้อมูลอย่างอิสระ

Node	1-Coor	2-Coor	Nodal Gen
1	0	0	0
2	200	0	0
3	400	0	0
4	600	0	0
5	800	0	0

2. โดยวิธีใช้ Node Generation

Node	1-coor	2-Coor	Node Gen
1	0	0	1
5	800	0	0

การกำหนดลักษณะของจุดรองรับซึ่งผู้ใช้สามารถใช้คำสั่งที่แสดงในรูป 3.12

```
>BOUNDARY DATA

   1. PRESS <RETURN> AFTER ENTERING EACH DATA TO MOVE CURSOR FORWARD
   2. INPUT </> TO DUPLICATE CORRESPONDING DATA
   3. INPUT <NODE # ZERO> TO TERMINATE THIS INPUT

-------------------------------------------------------------------
                NODE    1-BOUN    2-BOUN    3-BOUN    NODAL GEN.
PREVIOUS ENTRY :  0       F         F         F         0
>CURRENT ENTRY :
-------------------------------------------------------------------
```

1-boun , 2-boun , 3-boun สภานภาพของการจับยึดและปล่อยอิสระของแต่ละ Degree Of Freedom และหากจุดใดไม่ใส่สถานภาพก็จะแสดงว่าไม่มีการจับยึดในแนวแกนนั้น โดยทั่วไปสถานภาพทุก Node จะเป็นอิสระ

L = จับยึดแน่น

F = ปล่อยอิสระ

Support (Frame)	1-Boun (U_x)	2-Boun (U_y)	3-Boun (θ_z)
	lock	lock	lock
	lock	lock	free
	free	lock	free

Fig. 3.13: Boundary conditions of frame's supports

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใส่ข้อมูลของจุดไว้เรียบร้อยสมบูรณ์แล้วผู้ใช้ก็สามารถที่จะออกได้โดยการกดปุ่ม "Q"

3.2.2 ข้อมูลของส่วนประกอบ (ตัวเลือก "E")

เมื่อผู้ใช้ได้เลือกตัวเลือก "E" ใน Data Menu แล้วก็จะปรากฏบนจอภาพให้เห็นได้ดังในรูปที่ 3.14

```
                                                Date : 08-15-1987
                                                Time : 08:34:03
     <<<< ELEMENT DATA >>>>

N  =  NO.OF ELEMENTS.....[0 ELEMENTS]
S  =  NO.OF MATERIAL SETS.....[0 SETS]
E  =  ELEMENT CONNECTIVITY
H  =  HINGE CODE
M  =  MATERIAL PROPERTY
O  =  OUTPUT

Q ->  QUIT TO DATA MENU

----> SELECT ?
```

N = จำนวนรวมของชิ้นส่วนประกอบซึ่งจะต้องถูกกำหนดก่อนที่จะใส่ข้อมูลของจุดของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ

S = จำนวนรวมของชนิดวัสดุซึ่งจะต้องถูกกำหนดก่อนที่จะใส่ข้อมูลคุณสมบัติ

เพื่อที่จะเชื่อมการต่อกับจุดต่างๆของแต่ละ Element ผู้ใช้ควรที่จะเลือกกดปุ่ม "E" และทำตามคำสั่งที่กำหนดไว้ในจอภาพ ซึ่งจุดต่อของแต่ละจุดของ Element จะหมายถึง การจัดจุดกำหนดของแต่ละชิ้นส่วน ยกตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนของจุดต่อคานจะถูกกำหนดโดยจุดที่ 1 (1-Node) และจุดสุดท้าย (2-Node) จนถึงแต่ละชิ้นส่วนในแนวแกนซึ่งจะใส่ในจอภาพของแต่ละ Element ในจุดต่อดังแสดงในภาพที่ 3.15

```
                                                Date : 08-15-1987
>ELEMENT CONNECTIVITY                           Time : 08:34:16

  1. PRESS <RETURN> AFTER ENTERING EACH DATA TO MOVE CURSOR FORWARD
  2. INPUT (/) TO DUPLICATE CORRESPONDING DATA
  3. INPUT <ELEM # ZERO> TO TERMINATE THIS INPUT

-------------------------------------------------------------------
                ELEM     1-NODE     2-NODE     NODAL GEN.
PREVIOUS ENTRY :  0        0          0          0
>CURRENT ENTRY :
-------------------------------------------------------------------
```

Elem หมายถึง ลำดับของ Element

1-Node , 2-Node หมายถึง ลำดับของจุดต่อหัวท้ายของแต่ละ Element

จุดต่อของแต่ละ Element จะต่อเป็นแบบ Element Node ซึ่งข้อมูลจะสามารถถูกกรอกเข้าใน Element โดยชิ้นส่วนอิสระโดยตามลำดับสำหรับอนุกรมของ Node จะเป็นไปตามลำดับ คือ (I,J),(I+NG,J+G),(I+2NG,+2NG).....ข้อมูลของส่วนของ Element ที่อยู่ระหว่างจุดกำหนดหัวและท้ายสามารถที่จะบวกแบบ Generate จากจุดเริ่มต้น N1 โดยเพิ่มขึ้นที่ละ NG ของแต่ละ Element ซึ่ง Element สุดท้ายจะเป็นผลบวกของ (N1+nNG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างในรูปที่ 3.11 ข้อมูลของจุดต่อชิ้นส่วน Element ที่จะบันทึกข้อมูลได้ 2 อย่างดังรูปข้างล่าง

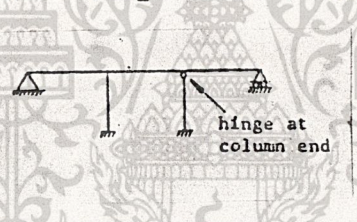
1. Individual Element Input

Elem	1-Node	2-Node	Nodal Gen
1	1	2	0
2	2	3	0
3	3	4	0
4	4	5	0

2. Use Of Nodal eneration

Elem	1-Node	2-Node	Nodal Gen
1	1	2	1
4	4	5	0

ในบางกรณี ส่วนของตานจะมีช่วงที่เป็น Hinge (ซึ่ง Moment เท่ากับ 0) และที่ปลายข้างหนึ่งหรือปลายทั้งสองของตาน ที่เป็น Hinge จะไม่หมายความว่าเป็น Hinge Supprot ผู้ใช้จะต้องเจาะจงลงใน Hinge Code ในโปรแกรมโดยเลือกตัวเลือก "H" ซึ่งในรายการ Hinge Code จะแสดงบนจอภาพดังต่อไปนี้




```
                                          Date : 08-15-1987
>HINGE DATA                               Time : 08:34:19

   CODE :    S = START HINGE
             E = END HINGE
             B = BOTH HINGE
             N = NONE HINGE   (DEFUALT)
             Q -> QUIT

-------------------------------------------------------------
HINGE CODE   :

ELEMENT LIST :


-------------------------------------------------------------
EXAMPLES OF ELEMENT LIST :
    1) 1 3 5 6 7 8 9     =   1 3 5 6 7 8 9
    2) 1/3 11/17/2       =   1 2 3 11 13 15 17    [1/3 = 1/3/1]
    3) 1 2 4 17/11/-2    =   1 2 4 11 13 15 17
    4) A                 =   ALL ELEMENTS
```

ถ้าหากเลือก Hinge ทุกๆชิ้นส่วนจะมีเงื่อนไขของ Hinge ซึ่งจะสามารถเจาะจงโดยตัวเลือกรายการ Element ที่ส่วนล่างของรูปที่ 3.16

ถ้าชิ้นส่วนเป็นของโครงสร้างถักหรือตานต่อเนื่องตัวเลือกนี้สามารถละไว้ได้เลย

รายการข้อมูลชิ้นส่วนในรูปที่ 3.4 ลำดับชุดของวัสดุที่กำหนดไว้ผู้ใช้ต้องทำข้อมูลวัสดุให้สมบูรณ์ก่อนที่จะใส่ในข้อมูลชิ้นส่วน รายละเอียดของข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุเป็นสิ่งที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญสำหรับระบบโครงสร้างทั้ง 3 ชนิดของโปรแกรม P1 ดังแสดงในรูปที่ 3.17a,b,c และ d

```
>MATERIAL PROPERTY                                    Date : 08-15-1987
                                                      Time : 08:34:27
        -> INPUT </> TO COPY EACH DATA FROM PREVIOUS ENTRY
        -> INPUT SET # ZERO TO QUIT

            << 2D-TRUSS SYSTEM >>          (0 SETS DEFINED)
          [Unit -> E : kg/cm^2,  A : cm^2]
-------------------------------------------------------------------
          SET  E-MODULUS AXIAL-AREA
PREVIOUS:   0      0         0
>CURRENT:

>ELEMENT LIST :

-------------------------------------------------------------------
EXAMPLES OF ELEMENT LIST :
    1) 1 3 5 6 7 8 9      =  1 3 5 6 7 8 9
    2) 1/3 11/17/2        =  1 2 3 11 13 15 17   [1/3 = 1/3/1]
    3) 1 2 4 17/11/-2     =  1 2 4 11 13 15 17
    4) A                  =  ALL ELEMENTS
```

Fig. 3.17a: Material property data for truss elements

3.17 a ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างถัก

```
>MATERIAL PROPERTY                                    Date : 08-15-1987
                                                      Time : 08:34:28
        -> INPUT </> TO COPY EACH DATA FROM PREVIOUS ENTRY
        -> INPUT SET # ZERO TO QUIT

            << 2D-FRAME SYSTEM >>          (0 SETS DEFINED)
          [Unit -> E : kg/cm^2,  A : cm^2,  I : cm^4]
-------------------------------------------------------------------
          SET  E-MODULUS AXIAL-AREA    INERTIA
PREVIOUS:   0      0         0          0
>CURRENT:

>ELEMENT LIST :

-------------------------------------------------------------------
EXAMPLES OF ELEMENT LIST :
    1) 1 3 5 6 7 8 9      =  1 3 5 6 7 8 9
    2) 1/3 11/17/2        =  1 2 3 11 13 15 17   [1/3 = 1/3/1]
    3) 1 2 4 17/11/-2     =  1 2 4 11 13 15 17
    4) A                  =  ALL ELEMENTS
```

Fig. 3.17b: Material property data for beam-column and wall element

3.17 b ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุสำหรับคาน-เสาและผนัง

```
>MATERIAL PROPERTY                                    Date : 08-15-1987
                                                      Time : 08:34:29
        -> INPUT </> TO COPY EACH DATA FROM PREVIOUS ENTRY
        -> INPUT SET # ZERO TO QUIT

      << 2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM >>      (0 SETS DEFINED)
    [Unit -> E,G : kg/cm^2;  A : cm^2;  I : cm^4;  T,2-LNZ : cm]
-------------------------------------------------------------------
          SET  E-MODULUS AXIAL-AREA    INERTIA  G-MODULUS
PREVIOUS:   0      0         0          0        0
>CURRENT:

>ELEMENT LIST :

-------------------------------------------------------------------
EXAMPLES OF ELEMENT LIST :
    1) 1 3 5 6 7 8 9      =  1 3 5 6 7 8 9
    2) 1/3 11/17/2        =  1 2 3 11 13 15 17   [1/3 = 1/3/1]
    3) 1 2 4 17/11/-2     =  1 2 4 11 13 15 17
    4) A                  =  ALL ELEMENTS
```

Fig. 3.17c: Material property data for wall elements

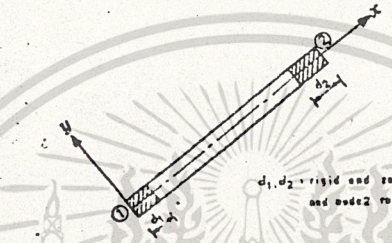
3.17 c ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุสำหรับผนัง

```
>MATERIAL PROPERTY                                    Date : 08-15-1987
                                                      Time : 08:34:40
        -> INPUT </> TO COPY EACH DATA FROM PREVIOUS ENTRY
        -> INPUT SET # ZERO TO QUIT

      << 2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM >>      (0 SETS DEFINED)
    [Unit -> E,G : kg/cm^2;  A : cm^2;  I : cm^4;  T,2-LNZ : cm]
-------------------------------------------------------------------
          SET  E-MODULUS AXIAL-AREA    INERTIA  G-MODULUS   1-LNZ   2-LNZ
PREVIOUS:   0      0         0          0        0         0       0
>CURRENT:

>ELEMENT LIST :

-------------------------------------------------------------------
EXAMPLES OF ELEMENT LIST :
    1) 1 3 5 6 7 8 9      =  1 3 5 6 7 8 9
    2) 1/3 11/17/2        =  1 2 3 11 13 15 17   [1/3 = 1/3/1]
    3) 1 2 4 17/11/-2     =  1 2 4 11 13 15 17
    4) A                  =  ALL ELEMENTS
```

3.17 d ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุสำหรับชิ้นส่วนคาน-เสาที่มีการยึดแน่นที่ปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อชิ้นส่วนประกอบของคานถูกวิเคราะห์โดยพิจารณาผลกระทบของความกว้างที่จำกัด การต่อจุดที่ปลายหรือที่ส่วนปลายของระนาบ โครงสร้างลักษมาตรฐาน/โครงข้อแข็ง/ระบบผนังใน P1-Module สามารถที่จะนำมาใช้งานได้ซึ่งระบบนี้มีตัวเลือกให้ ซึ่งรวมถึงคานที่มีการลดส่วนที่ยึดแน่นที่ปลายทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 3.17 E ในกรณีที่ผู้ใช้สามารถที่จะเจาะจงขนาดของส่วนที่ยึดแน่นที่ปลายทั้งสองได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 D



เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลของ Element Data อย่างสมบูรณ์แล้วสามารถที่จะกลับไปสู่ Data Menu โดยการกดปุ่ม "Q" หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกบันทึกไว้อย่างปลอดภัยในแผ่น Data

3.2.3 ข้อมูลแรงที่กระทำ (ตัวเลือก "L")

เมื่อผู้ใช้เลือกกดปุ่ม "L" ใน Data Menu จอภาพก็จะแสดงรายการกรณีของแรงที่จะกระทำเพื่อที่จะให้ใส่ข้อมูลและลบข้อมูลกรณีที่ไม่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 3.18

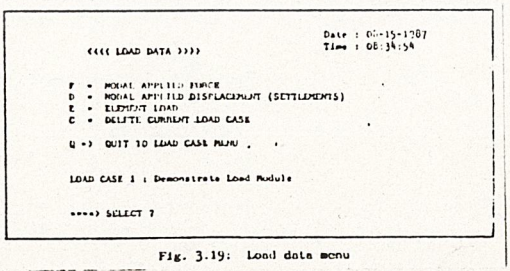


Fig. 3.19: Load data menu

ถ้าผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูลแรงที่กระทำใหม่ ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม "E" ซึ่งโปรแกรมจะขอให้ใส่จำนวนของกรณีแรงที่กระทำ แล้วก็จะนำไปสู่รายการข้อมูลแรงกระทำและหัวข้อของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีแรงกระทำจะแสดงบนจอภาพในรูปที่ 3.19

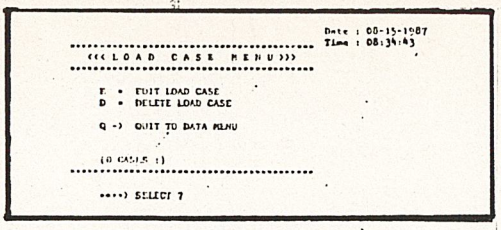


Fig. 3.19: Load case selection menu

3.2.3.1 แรงที่กระทำเป็นจุด / การเคลื่อนที่

3.2.3.2 น้ำหนักของ Element

3.2.3.1 Nodal Force /Displacement (ตัวเลือก "F"/"D")

ข้อมูลที่จะใส่เข้ามีความจำเป็นสำหรับจุดที่ไม่มีแรงกระทำหรือจุดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (กรุดตัว) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าแรงที่กระทำจะต้องไม่เป็นแรงที่กระทำในแนวแกนที่ Degree-Of-Freedom ได้ถูก Lock ไว้ หรือเคลื่อนที่ได้หรือกรุดตัวโปรแกรมจะยอมรับเฉพาะค่าของแรงหรือการเคลื่อนที่ซึ่งเหมาะสมกับเงื่อนไขการยึดแน่นหรือปล่อยเป็นอิสระของ Node ของข้อมูล ข้อมูลที่ใส่เข้าจะต้องเป็นไปตามทิศทางและพิกัดของระบบซึ่งจะแสดงในจอภาพให้เลือกซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.20a และ 3.20b

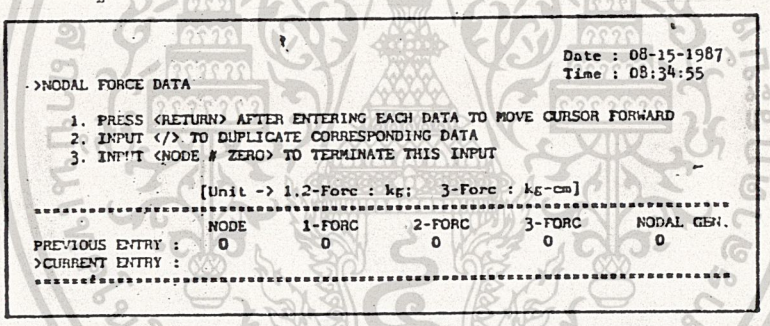


Fig. 3.20a: Nodal forces data for 2D-frame system

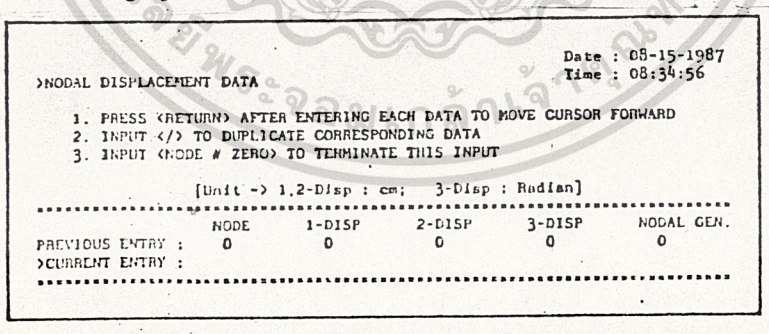


Fig. 3.20b: Nodal displacement data for 2D-frame system

ถ้าไม่มีการกำหนดแรงหรือการเคลื่อนที่ในปัญหา ส่วนของข้อมูลที่จะเข้าสามารถละเว้นได้ วิธีที่จะGeneration ต้องเป็นไปตามกฎที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องพิกัดและลักษณะของจุดรองรับ

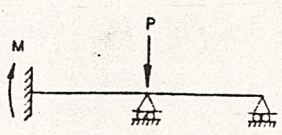


Fig. 3.20c: Forces prescribe to the locked d.o.f.'s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

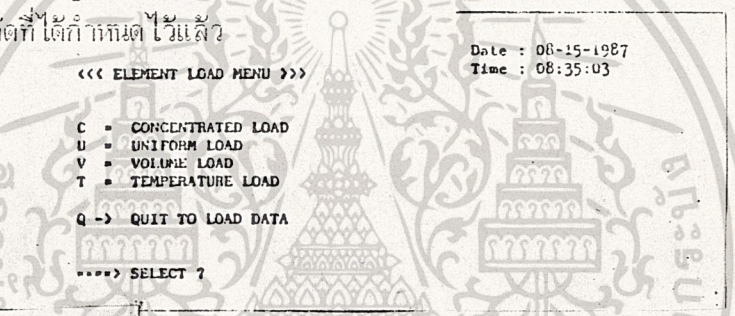
จากตัวอย่างในรูป 3.11 ข้อมูลแรงที่กระทำที่จุดสามารถใส่ได้ตามนี้คือ

Node	1-Force	2-Force	3-Force
5	0	-4000	0

เมื่อผู้ใช้พยายามที่จะกำหนดแรงที่กระทำที่จุดซึ่งได้ถูก Lock ไว้ในแนวแกน แล้วโปรแกรมจะไม่ยอมรับข้อมูล ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วผู้ใช้ควรจะเก็บแรงที่กระทำนั้นไว้ในใจซึ่งจุดที่แรงที่กระทำจะสามารถนำมาใช้ได้ แล้วนำไปรวมกับผลลัพธ์ที่ได้จากผลการวิเคราะห์จาก Program

3.2.3.2 น้ำหนักของ Element (ตัวเลือก "E")

มี 4 แบบของการใส่น้ำหนักที่กระทำได้ต่อ Element ซึ่งสามารถเลือกได้ดังในรูป 3.21 ข้อมูลที่จะใส่ซึ่งจะมีความสำคัญต่อ Element มากและเครื่องหมายทิศทางต้องเป็นไปตามนิยัตที่ได้กำหนดไว้แล้ว



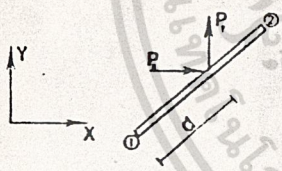


Fig. 3.22a: Concentrated load

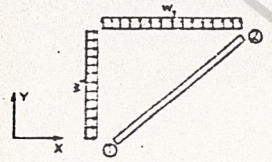
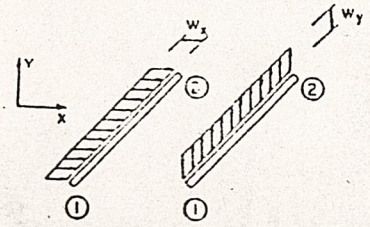


Fig. 3.22b: Uniform load



$\rho_x = \frac{W_x}{A}$ $\rho_y = \frac{W_y}{A}$

ρ_x, ρ_y = Input density in X and Y direction respectively

Fig. 3.22c: Volume load

C: น้ำหนักกระทำเป็นจุด ซึ่งค่าของแรงจะต้องกระจายตามทิศทางตามแกน X แกน Y โดยมีการกำหนดจุดห่างจากปลายเริ่มต้นของจุด Node ของ Element ตามแนวแกนดังแสดงในรูปที่ 3.22a

U: น้ำหนักแผ่กระจาย ซึ่งจะต้องกระจายอยู่ในรูปตามแนวแกนทางแกน X แกน Y ดังแสดงในรูป 3.22b

V: น้ำหนักปริมาตร ซึ่งต้องแสดงตามทิศทางนิยัต ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างโดยสามารถคิดน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองได้ ซึ่งโดยใส่ความหนาแน่นของวัสดุดังกล่าวลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T: น้ำหนักกระทำเนื่องจากอุณหภูมิในทิศทางพิกัด ค่าของความเครียดในแนวแกนและความโค้งงออันเนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ต้องใส่ในข้อมูลด้วยในรายการแจกแจง Element ดังแสดงในรูป 3.22 d การประเมินความเครียดในแนวแกนและความโค้งงอเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีสูตรดังนี้คือ

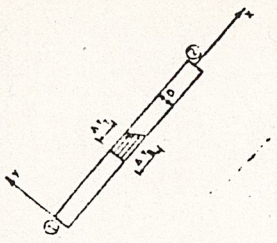


Fig. 3.22d: Temperature load

Axial strain : $\varepsilon = \frac{\alpha}{2}(\Delta T_B + \Delta T_T)$

Curvature : $\kappa = \frac{\alpha}{D}(\Delta T_B - \Delta T_T)$

เมื่อ ΔT_T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของส่วนบนวัสดุ

ΔT_B = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของส่วนล่างวัสดุ

D = ความลึกของชิ้นส่วน

α = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

เมื่อใส่แรงที่กระทำในส่วนที่สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถที่จะออกจากส่วนนี้ได้โดยกดปุ่ม "Q" โปรแกรมก็จะแสดงรายการของ Files ของแต่ละกรณีของแรงต่างๆที่กระทำ ดังแสดงในรูปที่ 3.23

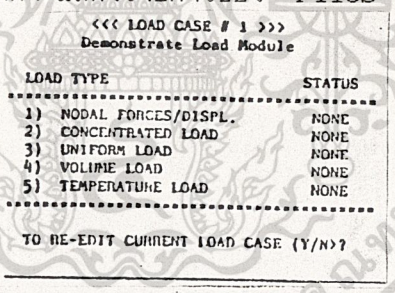


Fig. 3.23: Directory of load data for each load case

จากรายการของแรงที่กระทำซึ่งแสดงในรูปที่ 3.18 ผู้ใช้สามารถที่จะกดปุ่ม "Q" เมื่อที่จะกลับไปสู่ Data Menu และผู้ใช้จะเห็นจำนวนกรณีของแรงที่กระทำปรากฏอยู่ซึ่งจะแทรกอยู่ในวงเล็บ ถ้าหากผู้ใช้มีความประสงค์ที่จะออกจาก Data Mode ก็โดยการกดปุ่ม "Q" อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงโปรแกรมปัจจุบันซึ่งจะแสดงดังในรูปที่ 3.24 และถ้าหากกดปุ่ม "N" โปรแกรมก็จะหาค่าได้ถ้าเผื่อว่าขนาดของปัญหาไม่เกินขนาดความจุของโปรแกรมแล้วโปรแกรมจะกลับไปสู่ Activity Menu และเมื่อโปรแกรมหาค่าไม่ได้ก็จะแสดงผลลัพธ์แสดงบนจอภาพให้ได้รับทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณ P1

หลังจากที่ได้ใส่ข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว การคำนวณของระบบจะถูกแสดงโดยกดปุ่ม "S" ใน Activity Menu ซึ่งจะมี 2 ตัวเลือกให้เลือก เพื่อที่ให้ผู้ใช้ได้รับการคำนวณของระบบซึ่งจะแสดงในรูป 3.25

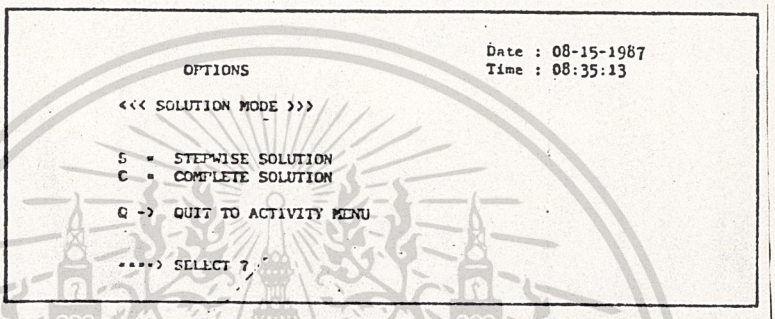


Fig. 3.25: Solution mode of MICROFEAP-II (P1)

3.3.1 คำนวณแบบสมบูรณ์

เมื่อได้เลือกตัวเลือก "C" แล้วก็จะปรากฏบนจอภาพให้เห็นดังรูป 3.26

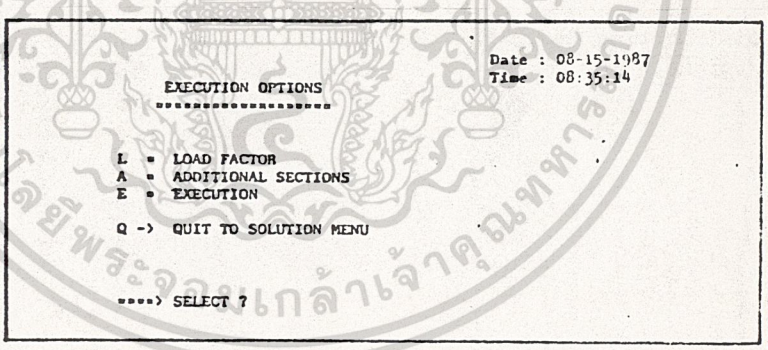


Fig. 3.26: Complete solution menu

L : อนุญาตให้ผู้ใช้ได้เจาะจงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงกระทำของแต่ละกรณี (ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1.0) เมื่อมีกรณีของแรงที่กระทำมากๆ แต่ผู้ใช้ต้องการผลลัพธ์ของกรณีน้ำหนักที่ได้เจาะจงไว้โดยเฉพาะแล้ว ก็จะต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของกรณีอื่นๆที่ไม่ต้องการให้เท่ากับ 0 ด้วยยกเว้นในกรณีที่ต้องการ

A :

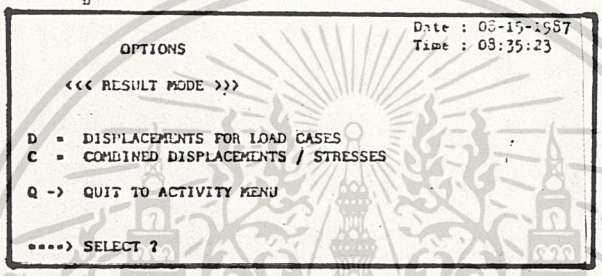
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E : เริ่มต้นดำเนินการ

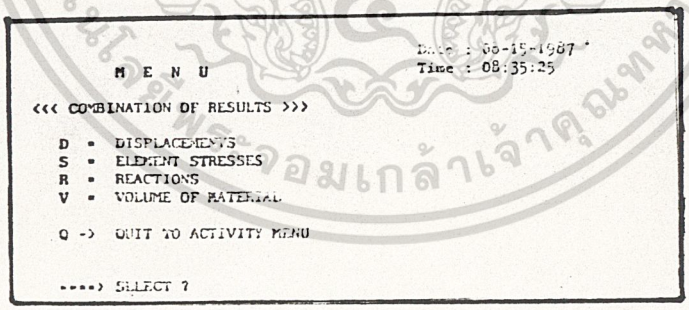
เมื่อกดปุ่ม "E" โปรแกรมก็จะจัดตามระบบ Stiffness และ Load Vectors , Execute The Block Profile Solver ,และสุดท้ายก็จะได้ผลการเคลื่อนที่และผลความเค้นของแรงกระทำแต่ละกรณี ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในแผ่น Data Diskette

3.4 การแสดงผลลัพธ์ของ P1

ผลลัพธ์ของโปรแกรมปัจจุบันสามารถที่จะแสดงโดยการกดปุ่ม "R" โดยในตัวเลือกของ Activity Menu ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ของจุด Nodal ของแต่ละกรณีแรงกระทำ,การเคลื่อนที่โดยรวมจุดของ Nodal และความเค้นของแต่ละส่วนประกอบสำหรับการรวมของแรงกระทำที่มีปัจจัย เนื่องจากได้ถูกเจาะจงก่อนที่จะถึงส่วนของการคำนวณ ซึ่งจะแสดงตามรายการตามรูปที่ 3.28



ถ้าผู้ใช้เลือกโดยกดปุ่ม "C" รายการแสดงผลลัพธ์จะถูกแสดงบนจอภาพดังแสดงในรูป 3.29 โปรแกรมยอมให้ผู้ใช้จะแสดงผลทางจอภาพหรือพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ก็ได้ นอกเหนือจากนั้นแล้วผลลัพธ์ที่จุดรองรับที่อันเนื่องมาจากการรวมแรงกระทำและปริมาณของชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในโปรแกรมปัจจุบันก็สามารถถูกเลือกได้เช่นเดียวกัน ผลลัพธ์สามารถแสดงบนจอภาพและส่งออกไปสู่เครื่องพิมพ์ได้



ผลลัพธ์ของโปรแกรมอื่นๆที่ได้ทำไว้ก่อนหน้านี้สามารถที่จะเรียกกลับได้โดยการเรียกชื่อ Project Master Name ในตัวเลือกที่แสดงในหมวด Activity Menu (ตัวเลือก "C") หรือในหมวด Data Menu (ตัวเลือก "E")

ผู้ใช้ควรจะตระหนักไว้ว่าค่าปริมาณของแต่ละชนิดวัสดุ (ตัวเลือก "V") จะสามารถรายงานโดยโปรแกรมอาจจะประมาณเกินไป (ยกเว้นในกรณีของโครงสร้างตานต่อเนื่อง) ซึ่งจะถูกคำนวณโดยจากการหาพื้นที่หน้าตัดและความยาวของแต่ละ Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคำนึงถึงศูนย์กลางทางรูปร่าง ในกรณีที่ส่วนที่บกพร่องของตานและเสาในจุดตัดกันจะไม่ได้รับส่วนที่เหลื่อมกันอยู่

โปรแกรม P1:Release 3.0 จะแสดงรายละเอียดของรูปตัดและทิศทางที่จะแสดงออกจากผลสัมฐ์ของ Element มาตรฐานในส่วนต่อไปนี้

โครงข้อหมุน

การเคลื่อนที่ : 2 ทิศทางการเคลื่อนที่

ความเค้น : แรงกระทำตามแนวแกนและความเค้นตามแนวแกนที่ปลาย (แรงดึงมีเครื่องหมายเป็นบวก)

แรงสัมฐ์ที่จุดรองรับ: แรงสัมฐ์ 2 แกน,R1 และ R2 ซึ่งจะเป็นไปตามทิศทาง

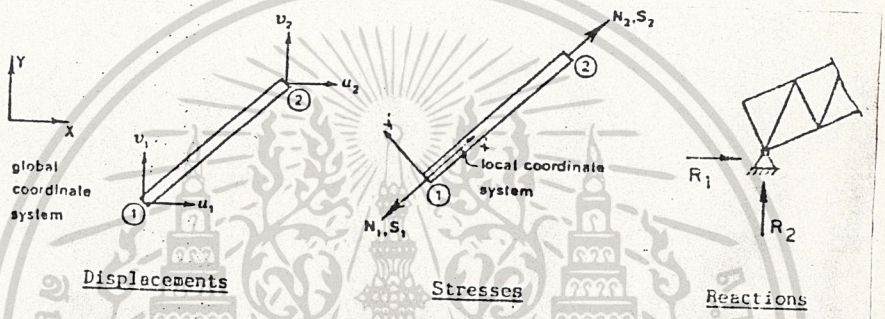


Fig. 3.30a: Positive sign convention of 2D truss element

คาน

แรงเคลื่อนที่ : 3 ทิศทางการเคลื่อนที่ (เคลื่อนที่ 2 ทิศทาง หมุนรอบแกน 1 ทิศทาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางตามแนวแกน

ความเค้น : แรงตามแนวแกน , แรงเฉือนและโมเมนต์ที่ปลายทั้งสองและส่วนที่นอกเหนือจากนี้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางตามแนวแกน

แรงสัมฐ์ที่จุดรองรับ : แรงสัมฐ์ 3 แกน R1,R2และR3 ซึ่งจะเป็นไปตามทิศทาง

คานที่มีปลายยึดแน่น

การเคลื่อนที่ : แสดงที่จุดแต่ละจุด

ความเค้น : ที่ปลายทั้งสองที่ไม่ถูกยึดแน่น

แรงสัมฐ์ที่จุดรองรับ : เหมือนคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

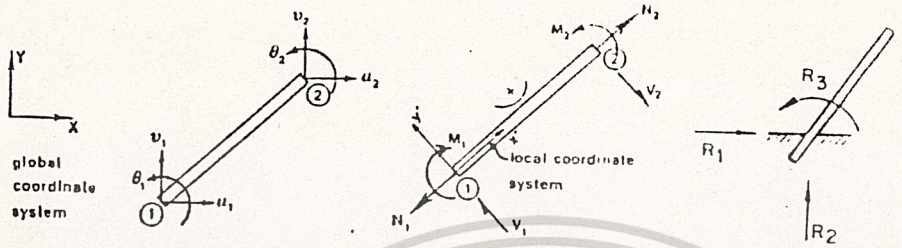


Fig. 3.30b: Positive sign convention of 2D beam-column element

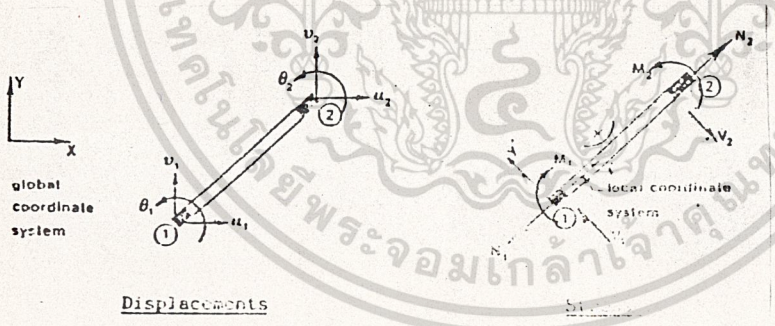


Fig. 3.30c: Position sign convention of 2D beam-column element with rigid end zone reduction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของกราฟิกหลังจากที่ผ่าน Activity Menu โดยกดปุ่ม "G" แล้ว โปรแกรมจะจัดขอบเขตของเส้นตาม Geometry ซึ่งจะแสดงในรูป 3.31

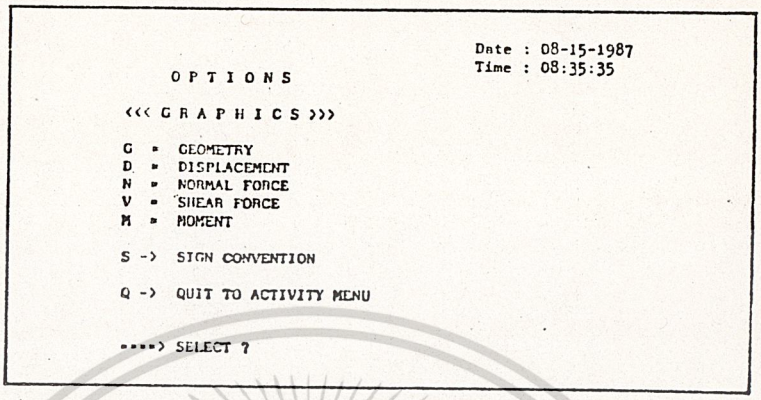


Fig. 3.31: Graphical menu of MICROFEAP-II (P1:Release 3.0)

ผู้ใช้ควรจะกำหนดจำนวนอย่างเพียงพอของส่วนของแต่ละ Element ที่นอกเหนือที่ถูกกระทำด้วยแรงกระทำ (Concentrated Load , Uniform Load และ Volume Load)

โปรแกรม Microfeap P1:Release 3.0 ให้ผู้ใช้สามารถที่จะขยายส่วนต่างๆของโครงสร้างในจุดที่ผู้ใช้ต้องการจะดูรายละเอียดได้โดยใช้คำสั่ง Window ในรูป 3.32

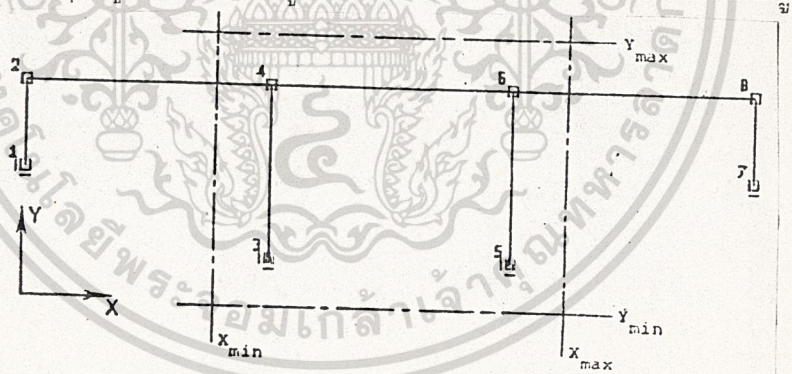


Fig. 3.32: Plot of part of structure

สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้จะแสดงถึงสภาพของแต่ละจุดรองรับ

: X- displacement is prevented

: Y- displacement is prevented

: Z- rotation is prevented

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ออกไปสู่ระบบ

เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "E" ใน User Menu ในรูป 3.2 หรือที่ Activity Menu ในรูป 3.3 ถ้าผู้ใช้กดปุ่ม "E" จาก Activity Menu โปรแกรมจะรายงานเวลาที่ใช้ในช่วงการทำงานแต่ละขั้นตอนอย่างสมบูรณ์ของโปรเจกปัจจุบันก่อนที่จะออกไปสู่ระบบในรูปที่3.33

MASTER FILENAME : 7-ST

LATEST TIMING REPORT OF THE CURRENT PROJECT

MODULE	DATE	STARTING	FINISHING	ELAPSING
INPUT	07-09-1987	21:26:45	21:27:46	00:01:01
STIFFNESS	07-27-1987	18:08:31	18:08:47	00:00:16
FORCES	07-27-1987	18:08:50	18:08:56	00:00:06
SOLVER	07-27-1987	18:08:59	18:09:56	00:00:57
STRESS	07-27-1987	18:10:00	18:10:16	00:00:16

TOTAL CPU TIME = 00:01:35

SELECT H = HARD COPY
E = EXIT TO SYSTEM

Fig. 3.33: Timing report of the current project

3.7 Data Files Generated By P1

Files ข้อมูลสำหรับโปรแกรมเมื่อทำงานจะถูกสร้างโดยอัตโนมัติโดยโปรแกรมภายใต้ชื่อ Master Files ในส่วนขยายของชื่อ Files และข้อมูล File จะแบ่งออกเป็น 2 พวกจาก Input และ solution จำนวน Data File ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของโปรเจกและส่วนต่อไปนี้จะแสดงให้เห็น Files ที่ถูกสร้างจากชื่อโปรเจกชื่อ"XXX"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source	Name of data files	What's inside
INPUT	1. xxx.DIR	Directory of all data files for the current project.
	2. xxx.CON	Control parameters of a project.
	3. xxx.COO	Coordinate data.
	4. xxx.ELE	Element connectivity data, material set no. + hinge code and no. of additional sections per element.
	5. xxx.BOU	Boundary data.
	6. xxx.LC*n*	Directory of data files for load case #*n*.
	7. xxx.F*n*	Nodal force/settlement data for load case #*n*.
	8. xxx.P*n*	Element concentrated load data for load case #*n*.
	9. xxx.U*n*	Element uniform load data for load case #*n*.
	10. xxx.V*n*	Element volume load data for load case #*n*.
	11. xxx.T*n*	Element temperature load data for load case #*n*.
SOLUTION	1. xxx.D*n*	Nodal displacement result for load case #*n*.
	2. xxx.DCO	Nodal combined displacement result. It will be generated if more than one load case is used or the specified load factor not equal to 1.0.
	3. xxx.S*i*	Combined stress result for stress block #*i*. No. of stress blocks depends on no. of elements and no. of additional sections defined per element.
	4. xxx.RLA	Support reaction [illegible] for individual material set.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงข้อหมุน (Truss)

ในโครงข้อหมุน หน่วยแรงในองค์อาคารได้แก่ แรงตามแนวแกนองค์อาคารประเภทนี้จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าองค์อาคารที่ต้องรับโมเมนต์ดัดด้วย เช่น คาน ประกอบกับมีรูปร่างง่ายและสามารถประกอบได้ง่าย จึงทำให้โครงข้อหมุนเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในงานโครงสร้างเหล็ก

โครงข้อหมุนสามารถแบ่งเป็นแบบใหญ่ ๆ ได้ตามการจัดวางขององค์อาคาร คือเป็นแบบดิเทอร์มิเนท แบบสถิตย์ (statically determinate) และแบบอินดีเทอร์มิเนทแบบสถิตย์ (statically indeterminate) การคำนวณหาหน่วยแรงในองค์อาคารทำได้โดยง่ายในโครงข้อหมุนแบบดิเทอร์มิเนทแบบสถิตย์ (statically determinate) ในบทนี้จะอธิบายลักษณะพฤติกรรมพื้นฐานของโครงข้อหมุน 2 ชนิด ที่สำคัญที่สุดในแบบดิเทอร์มิเนทแบบสถิตย์แบบคอร์ดขนาด (parallel chord truss) และแบบจั่ว (gabled truss)

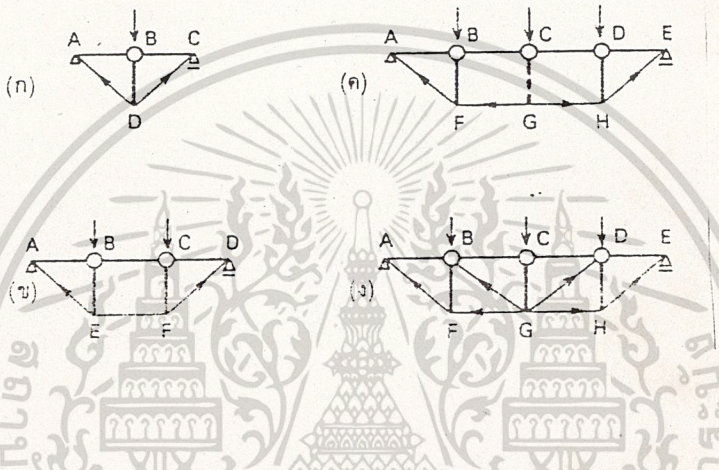
1) โครงข้อหมุนแบบคอร์ดขนาน (Parallel chord truss)

(1) โครงข้อหมุนแพรท ในโครงข้อหมุนแพรท องค์อาคารที่เป็นคอร์ดบน (upper chord) และตั้ง (post) เป็นองค์อาคารที่รับแรงอัด ส่วนคอร์ดล่าง (lower chord) และตัวแนวทะแยง (diagonal) เป็นองค์อาคารที่รับแรงดึง เมื่อมีแรงกระทำต่อโครงข้อหมุนแพรทแบบ 2 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) สภาพความสมดุลย์เกิดขึ้นโดยแรงอัดในองค์อาคารตั้งที่จุด D ถ่ายแรงผ่านตัวทะแยงไปยังจุด A และ C และแรงปฏิกิริยาซึ่งเป็นแรงอัดที่เกิดขึ้นจะถูกต้านโดยคอร์ดบน (upper chord) ในโครงข้อหมุนแพรท แบบ 3 ช่วง ก็จะเกิดสภาพสมดุลย์แบบเดียวกัน ดังแสดงในรูป (ข)

ในโครงข้อหมุน แบบ 4 ช่วง ดังแสดงในรูป (ค) องค์อาคารตั้งที่ตรงกลางจะแขวนอยู่เฉย ๆ โดยไม่ได้ทำหน้าที่รับแรงใด ๆ ถึงแม้ว่าการจัดองค์อาคารจะเหมือนกับในรูป (ก) และ (ข) แรงดึงในคอร์ดล่าง GF และ GH จะไม่ต่อเข้าด้วยกันกับส่วนของแรงในแนวดิ่งในชิ้นส่วนแนวตั้ง CG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโครงสร้างจะไม่สามารถต้านทานแรงได้ ดังนั้นในพื้นที่ช่วง BDHF จึงต้องการองค์อาคารมาเสริมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ถ้าส่วน BCD ถูกแทนที่ด้วยองค์อาคารที่แสดงในรูป (ก) สภาพสมดุลย์ของแรงจะเกิดขึ้นและเกิดความมั่นคงขึ้น ดังแสดงในรูป (ง)



รูปที่ 1 การสมดุลย์ของแรงของโครงข้อหมุนแพรท

ดังนั้นระบบของโครงข้อหมุนแพรท จึงเกิดความสมดุลย์ด้วยการประกอบกันระหว่างองค์อาคารรับแรงดึงและแรงอัด นอกเหนือไปจากความสวยงามของรูปร่าง

(2) โครงข้อหมุนโฮว์ (Howe truss) และโครงข้อหมุนวอร์เรน (Warren truss) พิจารณาโครงข้อหมุนที่มีฐานอยู่ที่คอร์ดล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2 แทนที่จะอยู่ที่คอร์ดบน เหมือนกับโครงข้อหมุนแพรทที่กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 2 แสดงโครงข้อหมุนที่ไม่มีความมั่นคง ระนาบ BDHF จะเปลี่ยนรูปไปดังเส้นประในรูปได้ง่าย จึงจำเป็นต้องหาวิธีป้องกันองค์อาคาร GC ไม่ให้เคลื่อนที่ในแนวดิ่งซึ่งทำได้โดยใส่องค์อาคารในแนวทะแยง BG และ GD ซึ่งสามารถป้องกันจุดต่อ G ในคอร์ดบนไม่ให้มีการเคลื่อนที่ต่ำลงมาได้ โครงข้อหมุนจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 องค์อาคารแนวทะแยงมุมจะรับแรงอัด เนื่องจากมีหน้าที่ค้ำยันจุดต่อที่คอร์ดบนไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการนี้สามารถนำไปใช้กับโครงข้อหมุนที่มีหลาย ๆ ช่วง ลักษณะเช่นเดียวกับการออกแบบโครงข้อหมุนแพรท ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 โครงสร้างชนิดนี้เราเรียกว่าโครงข้อหมุนโฮว์ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างที่เห็นได้ชัดจากโครงข้อหมุนแพรทก็คือ ในโครงข้อหมุนแพรท องค์อาคารตั้งรับแรงอัดและองค์อาคารทะแยงรับแรงดึง ส่วนในโครงข้อหมุนโฮว์ องค์อาคารตั้งรับแรงดึงและองค์อาคารทะแยงรับแรงอัด

เมื่อประกอบองค์อาคารของโครงอาคารเข้าเป็นโครงข้อหมุน จะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการโค้งงอขององค์อาคารรับแรงอัด ในทางพื้นฐานแล้วองค์อาคารรับแรงอัดควรจะสั้น จึงไม่ควรที่จะให้องค์อาคารทะแยงรับแรงอัด เพราะองค์อาคารทะแยงมีความยาวกว่าองค์อาคารตั้ง ด้วยเหตุผลนี้โครงข้อหมุนโฮว์จึงมักไม่นิยมใช้ในโครงเหล็ก แต่จะเป็นชนิดที่เหมาะสำหรับทำโครงไม้

พิจารณาโครงข้อหมุนที่ไม่มั่นคงในรูปที่ 2 วิธีอื่นที่จะป้องกันจุดต่อ G จากการเคลื่อนที่ลง คือการใส่องค์อาคารทะแยง FC และ CH ซึ่งเป็นการเสริมความมั่นคงให้กับโครงข้อหมุนได้ หลักการนี้แสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากองค์อาคารทะแยง FC และ CH รับแรงดึง ดังนั้นส่วนค้ำยัน GC จึงเป็นองค์อาคารรับแรงอัด โครงข้อหมุนชนิดนี้เรียกว่าโครงข้อหมุนวอร์เรน

ในโครงข้อหมุนแพรท ความคิดพื้นฐานก็คือ การจัดจุดต่อในคอร์ดล่างด้วยองค์อาคารทะแยง แต่ในโครงข้อหมุนโฮว์ การค้ำยันจุดต่อในคอร์ดบนทำด้วยองค์อาคารทะแยง ในโครงข้อหมุนวอร์เรน องค์อาคารทะแยงจะถูกจัดสลับให้ทำหน้าที่ค้ำยันและยึดจุดต่อของคอร์ดบนและคอร์ดล่าง รูปที่ 6 และ 7 แสดงตัวอย่างของโครงข้อหมุนวอร์เรนแบบหลายช่วง สังเกตว่าทั้งแบบมีฐานที่คอร์ดบนและแบบมีฐานที่คอร์ดล่างนั้น หน่วยแรงในองค์อาคารตั้งและทะแยงจะตรงกันข้าม ถ้านับจากจุดตรงกลางออกไป

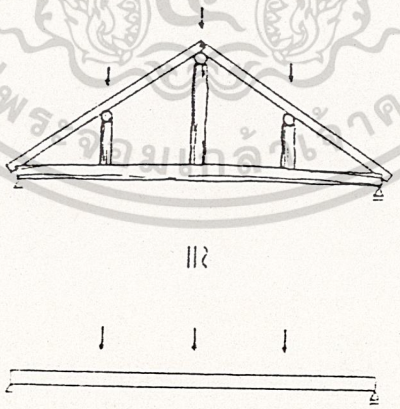
ถ้าออกแบบโครงข้อหมุนโดยไม่มีแรงแนวดิ่งกระทำที่จุด A,B และ C ผ่านองค์อาคารตั้ง (ดูรูปที่ 8 (ก)) จะไม่เกิดหน่วยแรงขึ้นในองค์อาคารตั้ง ดังนั้นจึงสามารถเอาองค์อาคารตั้งนี้ออกได้ โครงข้อหมุนประเภทนี้เรียกว่าโครงข้อหมุนวอร์เรนแบบง่าย (ดังแสดงในรูป (ข)) โครงข้อหมุนลักษณะนี้มีจำนวนองค์อาคารที่ต้องนำมาต่อที่จุดต่อเดียวกันน้อยกว่า จึงมีข้อได้เปรียบในด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทาจุดต่อของโครงสร้างและนาไปใช้ในโครงสร้างของสะพานด้วย ด้วยเหตุว่าโครงข้อหมุนวอร์เรนแบบนี้ มีองค์อาคารคอร์ดบนเป็นตัวรับแรงอัด ดังนั้นจะต้องเอาใจใส่ต่อองค์อาคารเหล่านี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการโค้งงอโดยการเสริมความแข็งแรงให้

2) โครงข้อหมุนรูปจั่ว (Gabled truss)

สาหรับโครงหลังคาของอาคารโครงเหล็กทั่วไป มักจะใช้โครงข้อหมุนรูปจั่วมากกว่าใช้โครงข้อหมุนชนิดคอร์ดขนาน หลังคาบ้านของชาวญี่ปุ่นทั่ว ๆ ไป ถึงแม้จะเป็นหลังคารูปจั่วแต่ไม่ใช่เป็นโครงข้อหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 9) น้าหนักของหลังคาจะถ่ายผ่านองค์อาคารตั้ง (post) ไปยังคาน ซึ่งทาหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงดัน ส่วนองค์อาคารตั้งทาหน้าที่เพียงเป็นตัวช่วยกระจายน้าหนัก ตรงข้ามกับโครงข้อหมุนซึ่งตั้งอยู่ได้จากการสมดุลย์ของแรงตามแนวแกน หลังคาโครงข้อหมุนของญี่ปุ่นมีโครงสร้างคล้ายกับคาน เพราะมีการรับแรงดัด



รูปที่ 9 การก่อสร้างส่วนหลังคาของญี่ปุ่นสมัยเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจาพวกโครงข้อหมุนรูปจั่วแล้ว ชนิดที่ใช้กันมากที่สุดคือ โครงข้อหมุนคิงก์ (King post truss) และโครงข้อหมุนฟิงค์ (Fing truss) ดังแสดงในรูปที่ 10 พร้อมกับโครงข้อหมุนที่จัดเป็นจาพวกเดียวกัน โครงข้อหมุนรูปจั่วประกอบด้วยองค์อาคาร 2 ชนิด คือ องค์อาคารรับแรงดึง และองค์อาคารรับแรงอัด เช่นเดียวกับโครงข้อหมุนแบบคอร์ดขนาน

พิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงข้อหมุนคิงก์ (ดูรูปที่ 11) สามเหลี่ยม ABC ในพื้นที่แลเงาในรูปอาจจะถือว่าเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของโครงข้อหมุนคิงก์นี้ ABC ถูกยึดไว้ด้วยองค์อาคาร CD ถ้าเอาองค์อาคาร CD ออก (รูป ก) ส่วน ABC จะเกิดการหมุนรอบจุด B และเปลี่ยนรูปไปดังแสดงในรูป (ข) และพังทลายเหตุการณ์นี้จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดึงในชิ้นส่วน CD เป็นตัวยึดส่วน ABC ไว้ ดังนั้นองค์อาคารตั้ง CD ในโครงข้อหมุนคิงก์จึงเป็นองค์อาคารรับแรงดึง

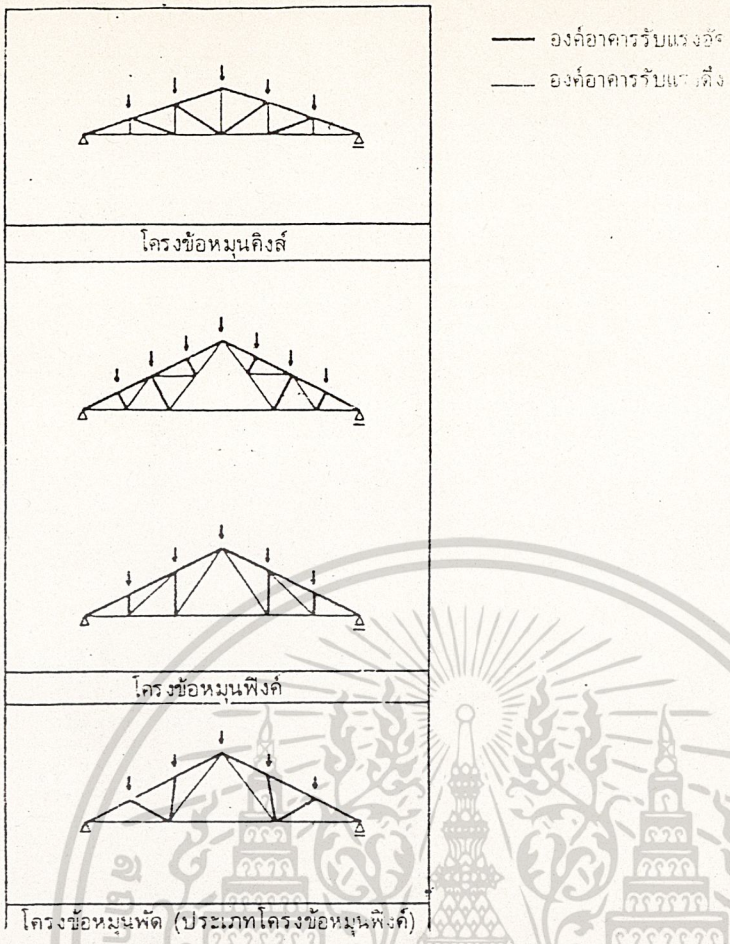
พิจารณาส่วน ABC จะเห็นได้จากรูปที่ 12 ว่าเกิดแรงอัดขึ้นในองค์อาคารทะแยง BC ในโครงข้อหมุน ส่วน ADE รับน้ำหนัก P ที่จุด D และรับแรงดึง T จากองค์อาคารตั้งองค์อาคารทะแยง DE ของโครงข้อหมุนคิงก์จะเป็นองค์อาคารรับแรงอัด หน่วยแรงที่กระจายไปยังองค์อาคารต่าง ๆ ของโครงข้อหมุนนี้ได้รวมไว้ดังแสดงในรูปที่ 10

สาหรับโครงข้อหมุนฟิงค์ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 13 (ก) ระบบพื้นฐานของโครงข้อหมุนฟิงค์ประกอบด้วย องค์อาคารสามเหลี่ยมหัวคว่า

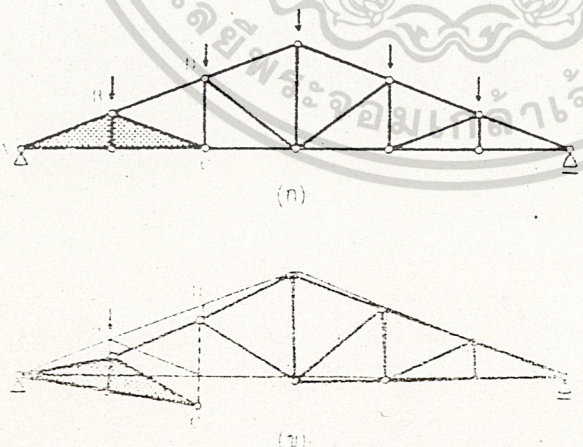
โครงข้อหมุนฟิงก์คล้ายกับโครงข้อหมุนแพรท (Pratt truss) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าองค์อาคาร BG และ CF เป็นส่วนที่รับแรงอัดและองค์อาคารทะแยง AG และ AF เป็นองค์อาคารรับแรงดึง ผังของแรงตามแนวแกนเขียนได้ดังแสดงในรูป (ข)

ข้อสาคัญที่ควรกล่าวถึงก็คือ ถึงแม้ว่าโครงสร้าง 2 ชิ้น มีลักษณะคล้ายกันในด้านการจัดวางชิ้นส่วนต่าง ๆ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนชนิดเดียวกันจะเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

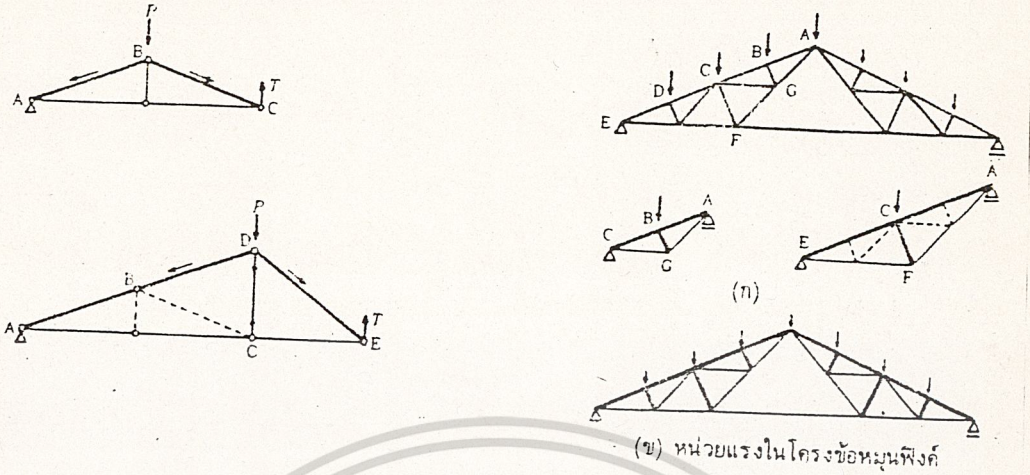


รูปที่ 10 ตัวอย่างของโครงข้อหมุนรูปจั่ว



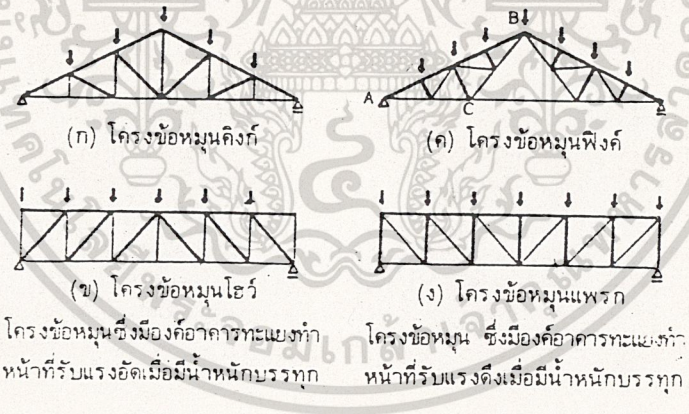
รูปที่ **11** หน้าที่ขององค์อาคารตั้งในโครงข้อหมุนคิงส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 หน้าที่ของชิ้นส่วนทะแยงของโครงข้อหมุนคิงก์

รูปที่ 13 การถ่ายแรงโครงข้อหมุนฟิงค์

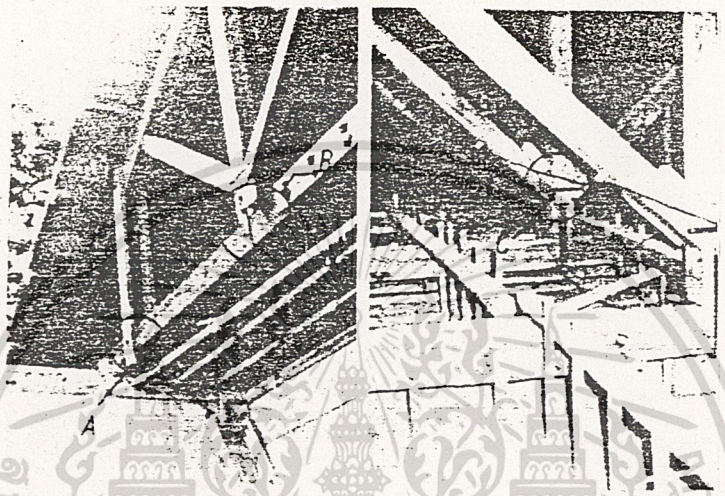


รูปที่ 14 จำพวกโครงข้อหมุนรูปจั่วและโครงข้อหมุนชนิดคอร์ดขนาน

ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 14 เห็นได้ว่าการจัดวางองค์อาคารของโครงข้อหมุนคิงก์ (ก) และ โครงข้อหมุนแพรท (ง) คล้ายกัน และส่วน ABC ของโครงข้อหมุนฟิงค์คล้ายกับโครงข้อหมุนคิงก์ แต่ถ้ามีน้ำหนักกระทำดังในรูป องค์อาคารทะแยงของโครงข้อหมุนคิงก์จะทำหน้าที่รับแรงอัด ส่วนองค์อาคารทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

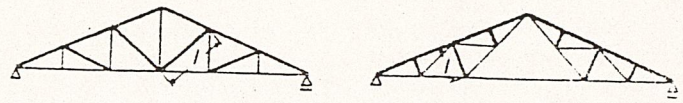
แยงของโครงข้อหมุนแพรททำหน้าที่รับแรงดึง เมื่อพิจารณาถึงหน้าที่ขององค์อาคารทะแยงแล้ว โครงข้อหมุนคิงก์สามารถจัดได้เป็นจำพวกเดียวกับโครงข้อหมุนโฮว์ และโครงข้อหมุนฟิงค์สามารถจัดเป็นจำพวกเดียวกับโครงข้อหมุนแพรท



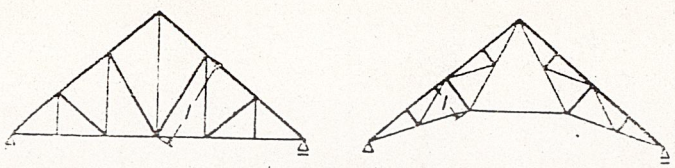
รูปที่ 15 ตัวอย่างของโครงข้อหมุนคิงก์ที่ทำด้วยไม้

โครงข้อหมุนคิงก์และโฮว์ มักถูกใช้กับอาคารที่ทำด้วยไม้ รูปที่ 15 แสดงโครงข้อหมุนคิงก์ทำด้วยไม้ ซึ่งรองรับหลังคาของอาคารอิฐของมหาวิทยาลัยเกียวโต เนื่องจากองค์อาคารตั้งรับแรงดึงเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำ ดังนั้นจึงใส่แผ่นโลหะเสริมกำลังที่ปลายล่าง B เพื่อต้านแรงดึง ขณะที่องค์อาคารตั้ง A ทั้ง 2 ข้างใช้ในการยึดรั้งองค์อาคารในคอร์ดล่างโดยใช้การต่อแบบใช้สลักเกลียว ขณะที่ทำบากฉลามหรือเดือยที่จุดต่อ C ขององค์อาคารทะแยงและองค์อาคารตั้งทำหน้าที่ถ่ายแรงอย่างราบรื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เมื่อหลังคามีความชันน้อย



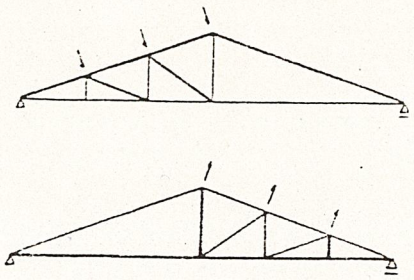
(ข) เมื่อหลังคามีความชันมาก

รูปที่ 16 เปรียบเทียบความยาวขององค์อาคารรับแรงอัดระหว่างโครงข้อหมุนคิงก์ และ โครงข้อหมุนพิงค์ (มีแรงกระทำตามแนวดิ่ง)

ในทางปฏิบัติ โครงข้อหมุนคิงก์ เป็นที่นิยมใช้เหมือนกับโครงข้อหมุนพิงค์ ในอาคารที่ใช้โครงเหล็ก เหตุผลหนึ่งก็คือหลังคาของอาคารนั้นมีความชันไม่มาก ดังนั้นจึงไม่มีความแตกต่างกันมากระหว่างองค์อาคารรับแรงอัดในโครงข้อหมุนคิงก์และโครงข้อหมุนพิงก์ดังแสดงในรูปที่ 16 แต่ความแตกต่างนี้จะมากขึ้น เมื่อความชันของหลังคามากขึ้น ในโครงข้อหมุนคิงก์ องค์อาคารทะแยงบริเวณตรงกลางจะมีความยาวมากในขณะที่ต้องรับแรงอัดมากที่สุด แต่ในโครงข้อหมุนพิงค์องค์อาคารที่รับแรงอัดสามารถทำให้สั้นได้ถึงแม้ว่าหลังคาจะชันมากก็ตาม การเลือกใช้โครงข้อหมุนพิงค์จึงดีกว่า เพราะสามารถใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเด่นขององค์อาคารเหล็กได้มากที่สุด

เราได้กล่าวถึงหน่วยแรงในองค์อาคารต่าง ๆ ของโครงข้อหมุน เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวดิ่งแล้ว โครงเหล็กประเภทโครงข้อหมุนมักจะถูกใช้ในโครงสร้างที่มีช่วงยาวมาก ในกรณีเช่นนี้แรงที่กระทำกับโครงข้อหมุนจะเป็นแรงในแนวดิ่งจริง ๆ แต่เมื่อมีแรงจากลมหรือแผ่นดินไหวกระทำ แรงอัดอาจเกิดในองค์อาคารที่ออกแบบให้รับแรงดึงในช่วงเวลาสั้น ๆ (รูปที่ 17) ดังนั้นในการออกแบบควรพิจารณาถึงแรงเหล่านี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 หน่วยแรงในองค์อาคารของโครงข้อหมุน เมื่อถูกกระทำโดยแรงที่ไม่ใช่แรงตามแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข้อหมุน

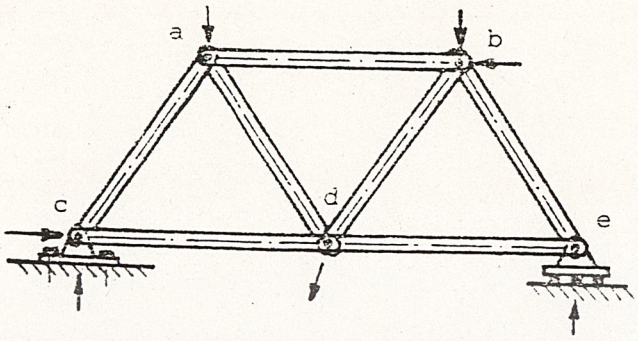
โครงข้อหมุน (Truss) คือ โครงสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนซึ่งต่อกันและจัดไว้ในลักษณะที่ทำให้ชิ้นส่วนเหล่านั้นรับแรงตามแนวแกนเป็นส่วนใหญ่ ถ้าทุกชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนและแรงภายนอกที่กระทำอยู่ในพื้นเดียวกัน เราเรียกโครงข้อหมุนนี้ว่าโครงข้อหมุนในพื้นเรียบ (Plane truss) โครงข้อหมุนในสามมิติ เรียกว่า โครงข้อหมุนในที่ว่าง (space truss) ในหนังสือเล่มนี้เราจะพิจารณาแต่งโครงข้อหมุนในพื้นเรียบเท่านั้น

รูปทรงพื้นฐานของโครงข้อหมุนเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งประกอบจากชิ้นส่วนที่ต่อกันที่ปลายโดยหมุดเรียบ (smooth pins) เป็นโครงที่มั่นคงที่สามารถรับแรงได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 (ก)

ในการวิเคราะห์โครงข้อหมุน มีข้อสมมุติดังนี้

1. ชิ้นส่วนเชื่อมต่อกันที่ปลายด้วยหมุดเรียบ
2. น้ำหนักบรรทุกและแรงปฏิกิริยากระทำเฉพาะที่ข้อต่อ
3. ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นอยู่ในแนวเส้นตรง
4. แกนกลางของแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกัน พบกันที่จุดกึ่งกลางของหมุดพอดี
5. น้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วนมีค่าน้อยจนละทิ้งได้ เมื่อเทียบกับแรงอื่น ๆ ที่กระทำ

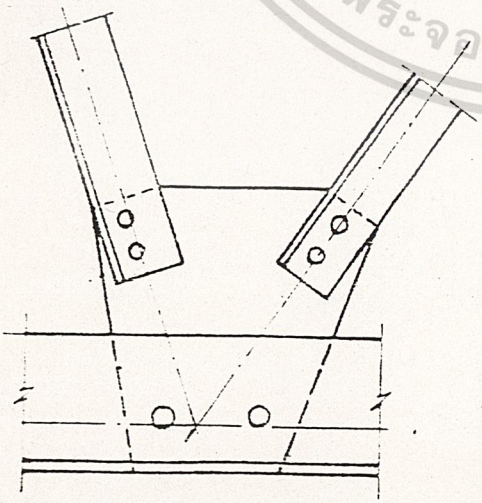
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



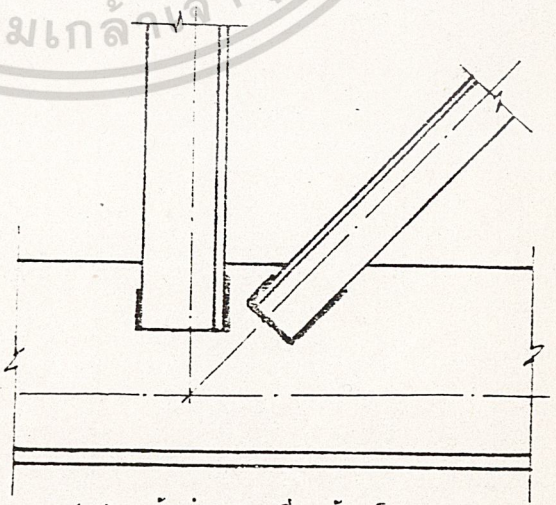
(ก)
โครงข้อหมุน

(ข)
ส่วนอิสระ

ข้อสมมุติข้อแรกมักไม่ถูกต้องสมบูรณ์สำหรับโครงข้อหมุนจริง ๆ ซึ่งมักมีชิ้นส่วนเชื่อมต่อกันโดยหมุดอัด (rivets) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 (ก) หรือโดยการเชื่อมด้วยโลหะ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข) อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนของตครงข้อหมุนมักยาวเรียว โมเมนต์ในชิ้นส่วนจึงมีขนาดเล็ก และข้อสมมุติว่าข้อต่อเป็นแบบหมุดจึงให้ผลที่ยอมรับได้



(ก) ข้อต่อแบบหมุดอัด



(ข) ข้อต่อแบบเชื่อมด้วยโลหะ

รูปที่ 2

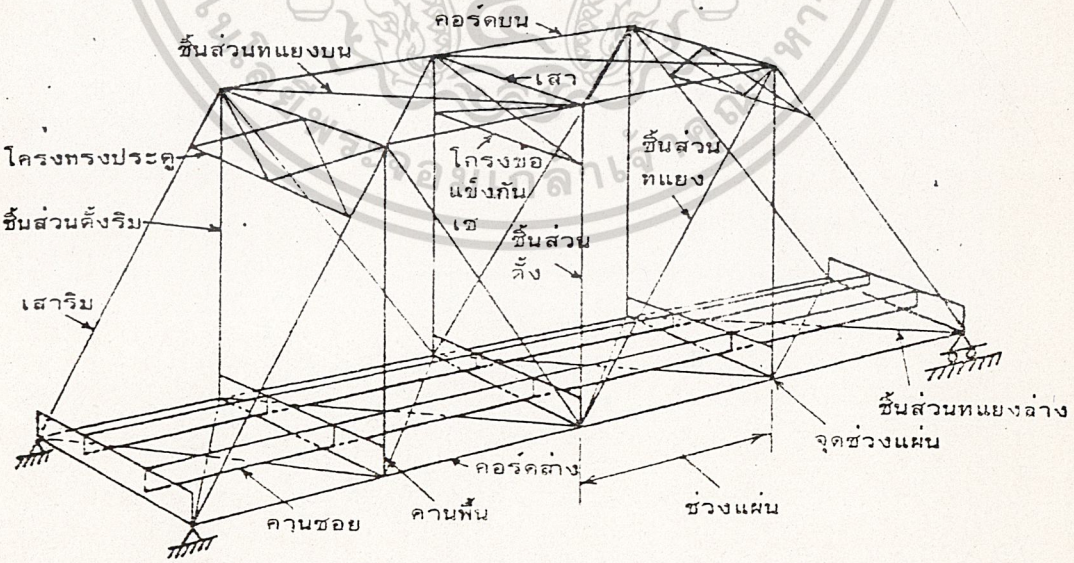
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างส่วนอิสระของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนแสดงไว้ในรูปที่ 1 (ข) เนื่องจากปลายของชิ้นส่วนถูกยึดไว้ด้วยหมุดจึงไม่มีโมเมนต์กระทำปลาย ดังนั้น เพื่อความสมดุล ปลายชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนจึงถูกกระทำด้วยแรงซึ่งรวมกันแล้วเป็นแรงสอนแรงซึ่งอยู่ในแนวแกนของชิ้นส่วน มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้าม แรงในแนวแกนอาจเป็นแรงดึง (ค่าบวก) หรือ แรงอัด (ค่าลบ)

การวิเคราะห์โครงข้อหมุนโดยสมบูรณ์ หมายถึง การหาแรงภายในตามแนวแกนของทุกชิ้นส่วน

โครงข้อหมุนเป็นโครงสร้างที่มีประโยชน์ ใช้เป็นโครงสะพาน โครงหลังคา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีช่วงยาวมาก ๆ ซึ่งถ้าใช้คานจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เราอาจใช้โครงข้อหมุนเป็นเสายาว ๆ ก็ได้

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสะพานโครงข้อหมุนแบบลอดผ่าน (through trussed bridge) ถ้าโครงข้อหมุนอยู่ใต้พื้นสะพาน เรียกว่าสะพานดาดฟ้า (deck bridge) ถ้ารถวิ่งระหว่างส่วนบนและล่างของโครงข้อหมุน เรียกว่าสะพานแบบกึ่งลอดผ่าน (half-through)



รูปที่ 3 โครงข้อหมุนสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

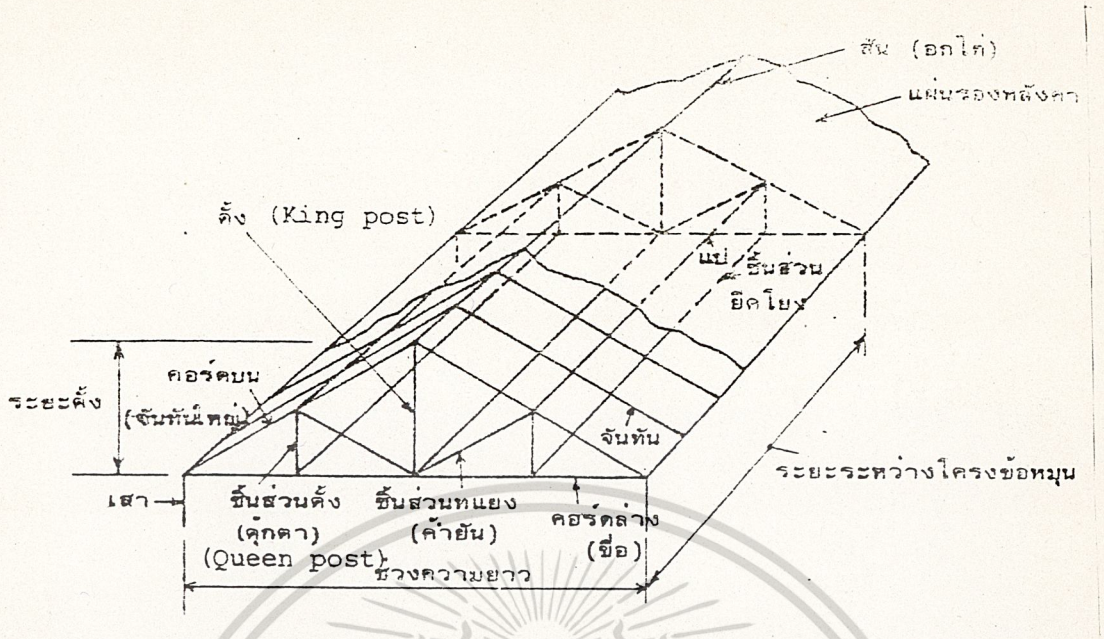
ในรูปที่ 3 ผิวถนนหรือผิวทางจะอยู่บนคานซอย (Stringers) สั้น ๆ ตามแนวยาว ซึ่งวางพาดแบบเรียบง่ายอยู่บนคานพื้น (floor beams) ซึ่งถูกรองรับโดยโครงข้อหมุนหลักสองโครงอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกบนสะพานถูกถ่ายทอดไปยังโครงข้อหมุนโดยอาศัยผิวถนน คานซอยและคานพื้น

ชิ้นส่วนโครงข้อหมุนด้านบนซึ่งขนานกับคาน เรียกว่าคอร์ดบน (top chords) และชิ้นส่วนด้านล่างเรียกว่าคอร์ดล่าง (bottom chords) ชิ้นส่วนที่ต่อคอร์ดบนและล่าง เป็นระบบซี่ (web system) เรียกว่า ชิ้นส่วนตั้ง (verticals) และชิ้นส่วนทแยง (diagonals) ชิ้นส่วนทแยงที่ปลายเรียกว่า เสาริม (end posts) และชิ้นส่วนตั้งด้านข้างเรียกว่า ชิ้นส่วนตั้งริม (hip veticals) จุดที่ชิ้นส่วนซี่ (web members) ต่อกับคอร์ดเรียกว่าจุดช่วงแผ่น (panel point) และระยะระหว่างจุดช่วงแผ่นสองจุดที่อยู่เคียงข้างกัน บนคอร์ดเดียวกันเรียกว่าระยะช่วงแผ่น (panel length)

เสาขวาง (Cross struts) ที่เชื่อมต่อจุดช่วงแผ่นบนที่อยู่ตรงข้ามกันและชิ้นส่วนทแยงบน (top diagonals) ซึ่งเชื่อมโยงเสาขวางที่อยู่เคียงข้างกัน ประกอบกันเป็นระบบด้านข้างของคอร์ดบน (top-chord lateral system) ระบบด้านข้างของคอร์ดล่าง (bottom-chord lateral system) ประกอบด้วยคานพื้น และชิ้นส่วนทแยงด้านล่างซึ่งเชื่อมคานพื้นที่อยู่เคียงข้างกัน

โครงข้อหมุนหลักทั้งสองยังถูกยึดโยงขวาง (cross-braced) ที่แต่ละจุดช่วงแผ่นของคอร์ดบนด้วยโครงข้อแข็งกันเซ (sway frames) โครงข้อแข็งในพื้นเรียบของเสาริมแต่ละคู่ เรียกว่า โครงข้อแข็งทรงประตู (portal frame)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 โครงข้อหมุนหลังคา

ตัวอย่างระบบโครงข้อหมุนที่ใช้เป็นหลังคาแสดงไว้ในรูปที่ 4 โครงข้อหมุนหลังคาและเสารวมกันเรียกว่า โครงขวาง (bent) แป (Purlin) หมายถึงคานตามยาวซึ่งวางอยู่บนคอร์ดบนและควรอยู่ที่ข้อต่อของโครงข้อหมุน แผ่นคลุมหลังคา (roof covering) อาจวางอยู่บนแปโดยตรงถ้าระยะระหว่างโครงข้อหมุน (bay Length) มีช่วงสั้น ๆ แต่อาจวางอยู่บนไม้ระแนง (batter) หรือแผ่นรองหลังคา (sheathings) ซึ่งวางอยู่บนแปหรือจันทัน (rafters) ถ้ามีจันทัน คือ คานเอียงซึ่งวางพาดอยู่ระหว่างสัน (ridge) และชายคา (eave) ของหลังคา และถูกรองรับโดยแป

สำหรับโครงหลังคาที่สมมาตร (symmetrical) อัตราส่วนระหว่างระยะตั้ง (rise) และช่วงความยาว (span) (ระยะระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของที่รองรับ) เรียกว่าความชันของหลังคา (pitch)

โครงข้อหมุนหลังคาประกอบด้วยคอร์ดบนและล่างและชิ้นส่วนซี่ แม้ว่าจันทันจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางด้านข้างของโครงข้อหมุน แต่ก็จำเป็นต้องใช้ชิ้นส่วนยึดโยง (bracing members) มาเสริม โดยยึดโยงระหว่างโครงข้อหมุนตามแนวยาวหรือทแยงในพื้นของคอร์ดบนหรือล่างหรือทั้งคู่ น้ำหนักบรรทุกจากผิวหลังคาจะถูกถ่ายทอดผ่านแผ่นคลุมหลังคา ระแนง จันทัน แป ไปสู่โครงข้อหมุน

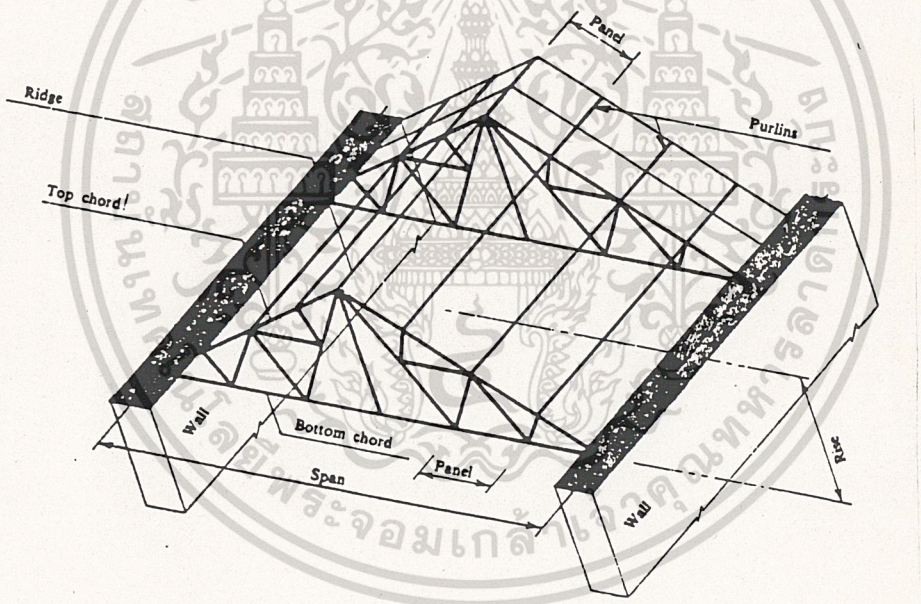
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโครงข้อหมุนแบบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสะพาน แสดงไว้ในรูปที่ 5 และที่ใช้เป็นโครงหลังคา แสดงไว้ในรูปที่ 6 แบบที่นิยมใช้ได้แก่แบบแพร็ท (pratt) แบบเฮาหรือโฮ (Howe) และแบบวอร์เร็น (Warren) ในโครงข้อหมุนแบบแพร็ท ชิ้นส่วนทแยง ยกเว้นตัวริมจะรับแรงดึงและชิ้นส่วนตั้งยกเว้นตัวริมจะรับแรงอัดเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ ตรงกันข้ามในโครงข้อหมุนแบบโฮ ชิ้นส่วนทแยงจะรับแรงอัด และชิ้นส่วนตั้งรับแรงดึงและถ้าโครงข้อหมุนในรูปที่ 5 และ 6 รับน้ำหนักบรรทุกคงที่คอร์ดบนจะรับแรงอัดและคอร์ดล่างจะรับแรงดึง (คล้ายกับส่วนบนและล่างของคานแบบเรียบง่าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงหลังคาเหล็ก

โครงหลังคาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ต้องออกแบบเสมอ เต็มโครงหลังคาเหล็กใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม หรือยิมเนเซียม ซึ่งไม่ต้องการให้มีเสาอยู่กลางอาคาร แต่ในปัจจุบันโครงหลังคาสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยก็นิยมใช้โครงเหล็ก เพราะนอกจากจะทำรอยต่อง่ายแล้วยังหมดปัญหาเรื่องปลวกอีกด้วย ฐานรองที่ปลายทั้งสองของโครงหลังคาอาจเป็นผนังกำแพงคอนกรีตเสาหรือคานก็ได้ โดยยึดปลายหนึ่งให้อยู่กับที่ (fix) และอีกปลายหนึ่งให้เคลื่อนที่ได้ (free) เพื่อการขยายหรือหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่วนต่าง ๆ ของโครงหลังคาได้แสดงไว้ ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนต่าง ๆ ของโครงหลังคา

แรงที่กระทำภายในส่วนต่าง ๆ ของโครงหลังคา โดยทั่วไปจะเป็นแรงดึงและแรงอัดซึ่งเป็นแรงในแนวแกนเท่านั้น เนื่องจากสมมุติให้รอยต่อแต่ละจุดเป็นแบบยึดหมุน แต่ในบางส่วนก็จะรับโมเมนต์บ้างเหมือนกัน เช่นในกรณีที่มิได้วางแบตรงจุดต่อของโครง การต่อส่วนต่าง ๆ ของโครงหลังคาก็มีทั้งการต่อโดยใช้หมุดย้ำและสลักเกลียว หรือโดยการเชื่อม การเลือกแบบของโครงหลังคาและหน้าตัดของส่วนต่าง ๆ ว่าจะเป็นแบบใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักของวัสดุมุงหลังคา ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องรับ และระยะห่างระหว่างแป

น้ำหนักของแป ขึ้นอยู่กับระยะห่างของแป น้ำหนักบรรทุกที่ต้องรับ และระยะห่างระหว่างโครง ปกติประมาณ 9-10 กก./ม.^{2} เมื่อระยะห่างระหว่างโครงน้อยกว่า 5 เมตร และประมาณ 20 กก./ม^3 เมื่อช่วงห่างมากกว่า 7 เมตร

น้ำหนักของโครงหลังคา ขึ้นอยู่กับความชันและช่วงความยาวของโครง

Grinter เสนอว่า ถ้าโครงมีช่วงยาว 40 ฟุต และมีความชัน (pitch) 1/3-1/4 ให้สมมุติน้ำหนักประมาณ 2-3.5 ปอนด์/ตร.ฟุต (ถ้าโครงต่อด้วยการเชื่อม น้ำหนักอาจลดลงบ้างแต่ถ้าโครงต่อโดยใช้หมุดย้ำและแผ่นประกับ น้ำหนักจะเพิ่มอีกประมาณ 15%)

เมื่อโครงมีช่วงยาวกว่า 40 ฟุต ให้เพิ่มน้ำหนักอีก 0.5 ปอนด์/ตร.ฟุต ทุกความยาวที่เพิ่ม 10 ฟุต จนกระทั่งถึง 80 ฟุต

สำหรับโครงแบน (Flat roof) ให้เพิ่มน้ำหนักอีก 0.5-1 ปอนด์/ตร.ฟุต แต่สำหรับโครงชันมาก (Steep roof) ให้ลดน้ำหนักลง 0.5-1 ปอนด์/ตร.ฟุต

อย่างไรก็ดี Grinter ได้เสนอสูตรคำนวณน้ำหนักของโครงดังนี้

$W = 0.5 + 0.05L$ ปอนด์/ตร.ฟุต

ในเมื่อ L เป็นช่วงความยาวของโครงที่มีความชัน 1/4 หน่วยเป็นฟุต

น้ำหนักของค้ำยันทางยาวและด้านทะแยง ประมาณ 0.5-1.5 ปอนด์/ตร.ฟุต แต่อาจลดได้บ้างเป็นโครงขนาดเล็ก เนื่องจากอาจไม่จำเป็นต้องมีค้ำยันในแนวทะแยง

เมื่อต้องการแปลงเป็นระบบเมตริกใช้ 1 เมตร = 3.281 ฟุต และ 1 ปอนด์/ตร.ฟุต = 4.883 กก/ตร. เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงลม แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างขึ้นอยู่กับแรงดันของลมที่เกิดจากความเร็วลมมีทั้งแรงดันด้านเหนือลม (Pressure) และแรงดูดด้านใต้ลม (Suction) คณะอนุกรรมการของ ASCE แห่งสหรัฐอเมริกา พบว่า

แรงดันด้านเหนือลม $P = 0.002V^2$ ปอนด์/ตร.ฟุต

แรงดูดด้านใต้ลม $P = 0.0013V^3$ ปอนด์/ตร.ฟุต

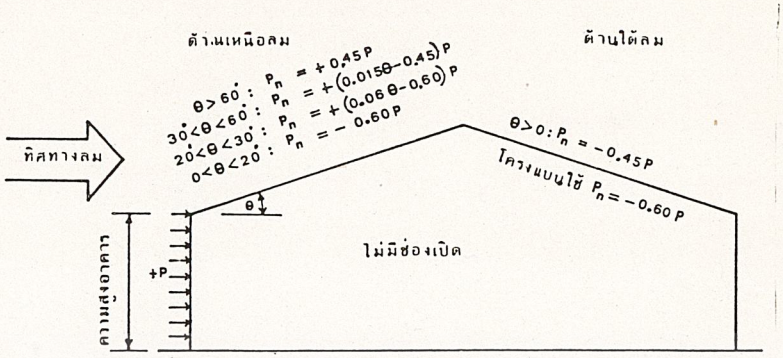
เมื่อ V เป็นความเร็วลม หน่วยเป็น ไมล์/ชม.

ดังนั้น แรงลมทั้งหมด (แรงดัน + แรงดูด) $P = (0.002 + 0.0013)V^2 = 0.0033V^2$ ปอนด์/ตร.ฟุต ถ้า V = 77.8 ไมล์/ชม. จะได้ P = 20 ปอนด์/ตร.ฟุต ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ทั่วไปเมื่อโครงสร้างสูงไม่เกิน 300 ฟุต ถ้าโครงสร้างสูงขึ้นทุก ๆ 100 ฟุต ค่า P จะเพิ่มขึ้นอีกทีละ 2.5 ปอนด์/ตร.ฟุต นั่นคือ P = 37.5 ปอนด์/ตร.ฟุต เมื่อโครงสร้างสูง 1000 ฟุต

คณะอนุกรรมการของ ASCE แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้วิธีการหาแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคาโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น แรงลมกระทำภายนอกอาคาร และแรงลมกระทำภายในอาคาร ดังต่อไปนี้

แรงลมกระทำภายนอกอาคาร แรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคามีทั้งแรงดันและแรงดูดทั้งทางด้านเหนือลมและด้านใต้ลม ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมลาดเอียงของหลังคา ในกรณีหลังคาเป็นโครงจั่ว คณะอนุกรรมการของ ASCE ได้ให้ค่าแรงดันที่กระทำต่อหลังคาเป็นบวก และค่าแรงดูดที่กระทำออกจากหลังคาเป็นลบ สำหรับกรณีที่แรงลมกระทำเท่ากับ 20 ปอนด์ ต่อ ตร.ฟุต แต่ค่าที่ให้ไว้ในรูปที่ 15.2 ได้ดัดแปลงเพื่อให้สามารถใช้ได้กับขนาดของแรงลมทุกค่าที่มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อ ตร.ฟุต หรือ กก.ต่อ ตร.เมตร เช่น $\theta = 20^\circ$ และ P = 20 ปอนด์ต่อ ตร.ฟุต จะได้แรงดูดด้านเหนือลมเท่ากับ 12 ปอนด์ต่อตร.ฟุต และแรงดูดด้านใต้ลมเท่ากับ 9 ปอนด์ต่อตร.ฟุต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2

แรงลมกระทำภายในอาคาร เมื่ออาคารมีช่องเปิดของหน้าต่างประตู เท่ากับร้อยละ n ของเนื้อที่ผนังทั้งหมด จะเกิดแรงดันที่กระทำต่อหลังคาเป็นบวกและแรงดูดที่กระทำออกจากหลังคาเป็นลบ ดังสมการต่อไปนี้

แรงดันภายในอาคาร $Pn = (+0.225+0.0125\ n)\ P \leqslant 0.6P$

แรงดูดภายในอาคาร $Pn = (-0.225-0.0075n)P \leqslant -0.45P$

เมื่อ $n = \frac{\text{เนื้อที่ช่องเปิดของหน้าต่างประตู}}{\text{เนื้อที่ผนังทั้งหมด}} \times 100\%$ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 30% ถ้า n 30% ให้ใช้ค่าสูงสุดตามที่กำหนดข้างต้น

อย่างไรก็ดี เมื่อต้องการหาแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคา อาจใช้สูตรสำเร็จต่อไปนี้ ซึ่งคิดเฉพาะแรงดันด้านเหนือลมเพียงอย่างเดียว และใช้ค่าแรงลมทั้งหมด (ทั้งแรงดัน + แรงดูด) เช่น P = 20 ปอนด์/ตร.ฟุต หรือ P = 50 กก./ม.^{2} ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร สำหรับอาคารสูงไม่เกิน 10 เมตร เป็นตัวแทนลงในสูตรซึ่งเป็นค่าปลอดภัยสำหรับการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ (1) $P_n = P (2 \sin \theta)/(1+ \sin^2 \theta)$ Duchemin Formula

(2) $P_n = P \sin^{1.84} \theta \cos^{-1} \theta$ Hutton Fromula

(3) $P_n = P\theta/45$ Ketchum or Straight-line Formula

ในเมื่อ เป็นมุมลาดของหลังคา หน่วยเป็นองศา

สูตร Duchemin ได้รับความนิยมและเชื่อถือมาก ส่วนอีกสองสูตรให้ค่าสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมุม ไม่เกิน 35 องศา

การจัดน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงหลังคา ประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักจรและแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับหลังคา ซึ่งต้องพิจารณาจัดน้ำหนักบรรทุกให้กระทำต่อโครงหลังคาดังนี้

(1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร

(2) น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร + แรงลมที่อาจพัดมาจากทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดในโครงหลังคา จึงพิจารณาให้น้ำหนักบรรทุกคงที่รวมกับน้ำหนักบรรรทุกจร กระทำทีหนึ่ง และพิจารณาให้แรงลมกระทำอีกทีหนึ่ง จากนั้นจึงนำผลที่ได้มารวมพิจารณาหาแรงภายในที่เกิดขึ้นมากที่สุด เพื่อนำไปออกแบบส่วนโครงสร้างต่อไป

สำหรับการพิจารณารวมผลของการกระทำของแรงลม มาตรฐาน AISC กำหนดให้เพิ่มค่าหน่วยแรงที่ยอมให้อีกหนึ่งในสาม เนื่องจากเป็นการกระทำของแรงชั่วคราว ดังนั้นจึงใช้ค่าสามในสี่ของข้อ (2) เปรียบเทียบกับค่าใช้ข้อ (2) เพื่อหาแรงภายในที่เกิดมากที่สุดในแต่ละส่วนของโครงสร้าง

การวิเคราะห์แรงภายในโครงหลังคา

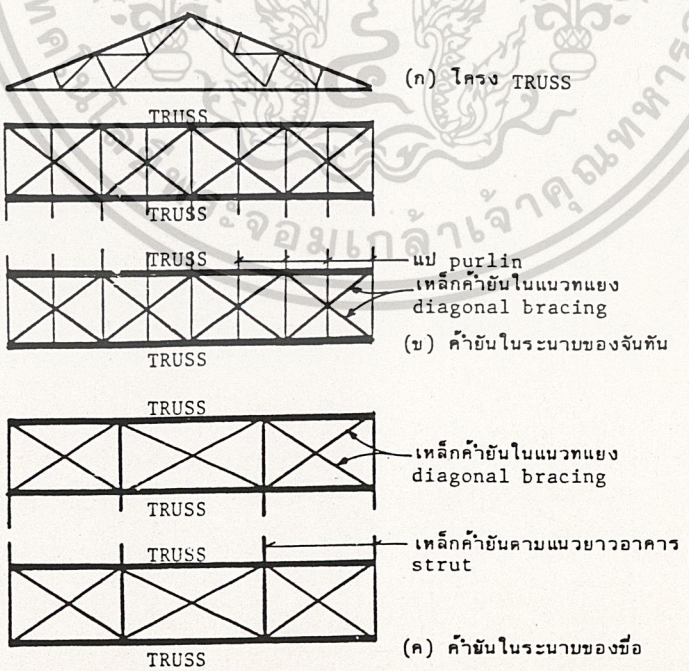
อาจใช้วิธีคำนวณโดยตรงหรือวิธีเขียนรูป เพื่อหาแรงภายในโครงหลังคาก็ได้ หรืออาจใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงภายใน ตามตารางที่ 21 ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ได้ โดยที่แรงภายในที่แท้จริงมีค่าเท่ากับผลคูณของน้ำหนักที่กระทำต่อช่วง (P) กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงภายในที่หาได้ในแต่ละกรณี

การค้ำยันและยึดโยงโครงหลังคา

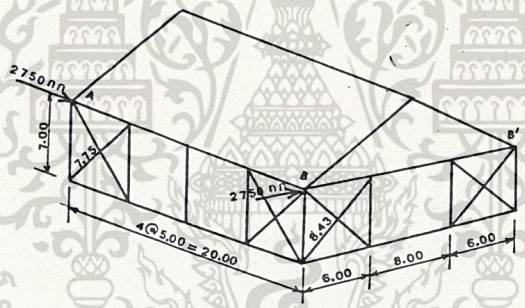
เพื่อให้โครงหลังคาที่ออกแบบทำหน้าที่ร่วมกันรับน้ำหนักบรรทุกเสมือนหนึ่งเป็นส่วนเดียวกันทั้งหมด จึงควรยึดโยงโครงหลังคาในระนาบของจันทันและขื่อ โดยอาจใช้เหล็กฉากยึดทะแยงไขว้กันที่ช่วงปลายอาคารทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 15.3 และอาจยึดทะแยงช่วงเว้นช่วงถัดมา นอกจากนี้ก็อาจยึดทะแยงจากจันทันของโครงหนึ่งไปยังขื่อของอีกโครงหนึ่งก็ได้ การยึดโยงดังกล่าวนอกจากจะช่วยในขณะที่ยกโครงตั้งขึ้นให้เข้าที่แล้ว ยังช่วยกันการบิดเบี้ยวของโครงเมื่อมีแรงลมปะทะในแนวทะแยงอีกด้วย



รูปที่ 15.3 การค้ำยันในโครงหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้ายันทางด้านข้างตามแนวยาวของอาคารทั้งที่ส่วนบนและส่วนล่างของโครง คือ ที่สันหลังคา ที่ปลายทั้งสองข้างของโครง และที่ระนาบของขื่ออีกอย่างน้อยหนึ่งแห่ง จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากแรงลมที่อาจปะทะทางด้านหน้าหรือด้านหลังของอาคาร หากใช้ผนังหรือกำแพงเป็นฐานรองโครงหลังคา ก็ไม่จำเป็นต้องทำค้ายันที่ปลายทางด้านข้างตามแนวยาวของผนังที่รองรับ แต่ในกรณีที่ใช้เสาเป็นฐานรองรับ นอกจากต้องทำค้ายันดังกล่าวแล้วควรพิจารณาทำค้ายันด้านข้างในระนาบของเสา เพื่อช่วยลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในเสา เมื่อมีแรงลมปะทะตามแนวยาวของอาคาร เมื่อแรงลมด่อนข้างแรงก็ควรทำค้ายันทางข้างทุกช่วง แล้วถ่ายน้ำหนักให้กับผนังที่รองรับในแนวขวางทั้งสองด้าน หรือพิจารณาทำค้ายันในแนวขวางทั้งสองด้าน



รูปที่ 4 การทำค้ายันด้านข้างและด้านขวาง

จากรูปที่ 4 สมมุติมีแรงลมกระทำตามแนว AB เท่ากับ 2750 กก. และทำค้ายันทางด้านข้างด้วยการยึดทะแยงไขว้ที่ช่วงปลายทั้งสอง ในการพิจารณาหาแรงกระทำต่อตัวยึดทะแยง ให้พิจารณาเฉพาะส่วนที่ต้องรับแรงดึงเท่านั้นส่วนเหล็กอีกชิ้นหนึ่งให้พิจารณารับแรงดึงเมื่อแรงลมปะทะในทิศตรงกันข้าม ฉะนั้นเหล็กที่ใช้ค้ายันจะรับแรงดึงเท่ากับ (2750/2) (7.75/5) หรือ 2131 กก. และแรงอัดในอะเส (AB) เท่ากับ 2750 กก. ทำนองเดียวกันหากพิจารณาแรงลมกระทำตามแนว BB' ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2750 กก. ตัวค้ายันด้านขวางแต่ละตัวจะรับแรงดึงเท่ากับ (2750/2) (8.43/6) หรือ 1932 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างส่วนรับแรงดึง

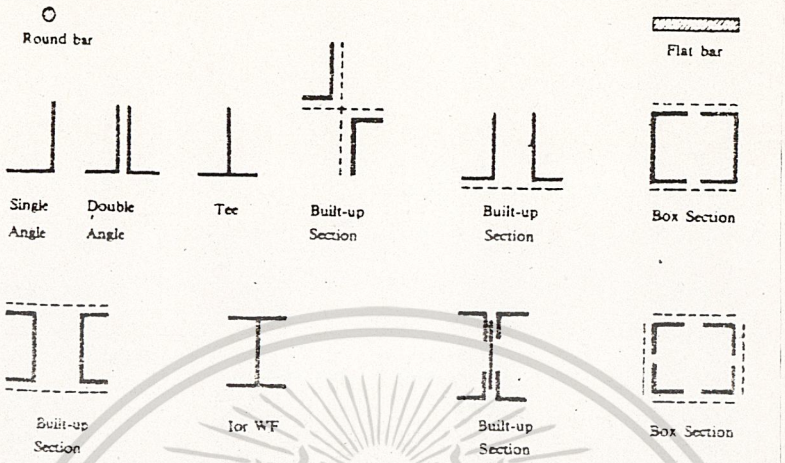
1. โครงสร้างส่วนรับแรงดึง (Tension members)

พบทั่วไปในโครงสร้างสะพาน หลังคา หอสูง ค้ำยัน และในกรณีที่ใช้เป็นเหล็กยึด (tie rod) การออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนั้นง่ายมาก ทั้งนี้ เนื่องจากว่าไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งงอ (buckling) เนื้อที่หน้าตัดสุทธิของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงได้จากการหารแรงดึงด้วยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนด จากนั้นก็เลือกรูปหน้าตัดให้ได้เนื้อที่ตามต้องการ

2. รูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

การเลือกชนิดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการต่อปลายมากกว่าอย่างอื่น แบบง่ายที่สุดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงก็คือรูปแท่งเหล็กกลม (bars and rods) แต่มันไม่สะดวกต่อการต่อกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ปกติแล้วแท่งเหล็กกลมนี้จะใช้เป็นตัวยึด (bracing) หรือใช้ในโครงสร้างขนาดย่อม (light structures) รับแรงดึงต่ำ โครงสร้างส่วนรับแรงดึงที่นิยมใช้มากก็คือเหล็กฉาก (angle) ซึ่งอาจจะใช้เป็นเหล็กฉากเดี่ยว (single angle) หรือเหล็กฉากคู่ (double angles) แบบอื่น ๆ ของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงที่นิยมใช้ได้แก่ เหล็กรูปตัดแบบตัว T, ตัว [ตัว WF หรือหน้าตัดที่ประกอบขึ้นจากรูปตัดแบบที่กล่าวแล้ว (built-up section) ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงและง่ายต่อการต่อปลาย แบบอื่นของโครงสร้างประเภทนี้ก็จะเป็นท่อน เหล็กแบน (plate หรือ flat bar) ซึ่งใช้กับโครงสร้างของเสาไฟแรงสูง, เสาสัญญาณไฟ, foot bridges.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 รูปตัดแบบต่าง ๆ ของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

การต่อปลายและแบบที่ใช้ต่อโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนของโครงสร้างที่ใช้เป็นสาคัญ การต่อปลายของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงที่สาคัญจะมีอยู่ 2 แบบ คือ การต่อโดยการเชื่อม และการต่อโดยการใช้หมุดย้าหรือสลักเกลียว การออกแบบการต่อปลายของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงมีลักษณะที่สาคัญซึ่งจะกล่าวต่อไป

3. การคานวณโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

ในกรณีที่แรงดึงกระทาอยู่ในแนวเดียวกับศูนย์ถ่วงของโครงสร้างส่วนนั้น เนื้อที่หน้าตัดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงคานวณได้จาก

$$\text{เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ } (A_{net}) = \frac{\text{แรงดึงทั้งหมด } (P)}{\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ } (F_t)}$$

การออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนี้ ทาได้โดยคานวณหาเนื้อที่หน้าตัดโดยประมาณเสียก่อนจากสูตรข้างบนนี้ จากนั้นก็เลือกหน้าตัดของเหล็ก

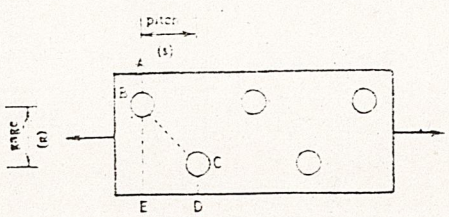
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปพรรณที่มีอยู่ ในตารางภาคผนวกให้เหมาะสมกับงาน ตลอดจนแบบการต่อปลายโครงสร้าง (โดยการเชื่อมหรือใช้หมุดย้ำ) ต่อไปก็ต้องตรวจสอบดูว่าค่าของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นเกินกว่ามาตรฐานกำหนดหรือไม่ ซึ่งจะได้จากการหารแรงดึงด้วยเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริง ๆ มากกว่าที่กำหนดให้ก็เลือกรูปตัดที่ใหญ่กว่าถัดไป สำหรับเหล็กรูปตัดฉากเดี่ยวเนื้อที่หน้าตัดสุทธิของขาที่ไม่มีการต่อปลาย อนุญาตให้ใช้ได้เพียงครึ่งเดียว

4. หน้าตัดสุทธิ (Net Section)

คำว่า "เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ" (Net scoss-sectional area) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า "หน้าตัดสุทธิ" หมายถึงเนื้อที่หน้าตัดของส่วนโครงสร้างในแนวที่ตั้งฉากกับน้ำหนักหรือแรงกระทำซึ่งได้จากการลบเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross cross-sectional area) ด้วยเนื้อที่ส่วนที่เป็นรูเจาะสำหรับหมุดย้ำหรือสลักเกลียว สำหรับรูเจาะของหมุดย้ำหรือสลักเกลียวนั้น จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของหมุดย้ำหรือสลักเกลียวประมาณ 3 มิลลิเมตร เนื้อที่ของรูเจาะที่จะเอามาลบนี้มีค่าเท่ากับ เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะคูณด้วยความหนาของรูปตัดที่รูเจาะ

ในกรณีที่มีหมุดย้ำหรือสลักเกลียวมากกว่าหนึ่งแถวในโครงสร้างส่วนหนึ่ง ๆ การจัดจะพยายามจัดให้ได้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้ส่วนโครงสร้างนั้นรับแรงหรือน้ำหนักได้มากที่สุดสำหรับการจัดนี้จะสังเกตได้จากรูปที่ 3 ปัญหาที่สำคัญก็คือการขาดหรือชำรุดของแผ่นโลหะและการคิดหน้าตัดสุทธิ ลักษณะการขาดหรือชำรุดตามแนว ABCD จะเกิดขึ้นได้ถ้าหากระยะห่างระหว่างรูเจาะ s มีค่าน้อย



รูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน AISC ได้กำหนดวิธีการหาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิไว้ดังนี้

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ มีค่าเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กคูณด้วยความกว้างสุทธิ (net width)

เมื่อส่วนโครงสร้างรับแรงดึงตามแนวเยื้อง (zigzag) ความกว้างสุทธิจะได้จากความกว้างทั้งหมดของแผ่นเหล็กลบด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนวเยื้อง (zigzag) พิจารณา แล้วบวกด้วยผลบวกของ s^2 หาร $4g$ ทั้งหมดที่มีในแนวเยื้องนั้น

ซึ่ง s เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูในแนวขนานกับแรง เรียกว่าระยะเกลียว (pitch)

g เป็นระยะห่างของรูเจาะสองรูในแนวตั้งฉากกับแรง เรียกว่า gage

การหาความกว้างสุทธินี้จะต้องหาหลาย ๆ แนวแล้วนำค่าที่น้อยที่สุดมาใช้ อย่างไรก็ตาม ความกว้างสุทธิที่คำนวณได้ตามแนวตั้งฉากกับแรงหรือในแนวเยื้อง (zigzag) ที่ผ่านรูเจาะ จะต้องไม่เกินกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างทั้งหมดในแนวตั้งฉากกับแรง

5. มาตรฐานกำหนด

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Allowable Tensile Stress)

สำหรับโครงสร้างอาคาร มาตรฐาน AISC ได้กำหนดว่า

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิ $F_t = 0.6 F_y$ แต่ต้องไม่เกินกว่า 0.5 เท่าของกำลังดึงที่น้อยที่สุดของโลหะ (minimum tensile strength)

สำหรับหน้าตัดสุทธิของ pin holes, pin-connected plates หรือ built-up members

ค่า $F_t = 0.45 F_y$

ในที่นี้ F_y เป็นกำลังจุดคลากของเหล็ก (yield strength of steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหรับโครงสร้างสะพาน มาตรฐานกาหนด AASHO และ AREA ได้กาหนดว่า

$$F_t = 0.55\ F_y$$

อัตราส่วนความชะลูด

อัตราส่วนความชะลูดมีความสาคัญสาหรับโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงด้วย เมื่อโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงมีรูปร่างเรียวหรือชะลูด ก็จะหย่อนตกท้องช้าง เนื่องจากน้าหนักของส่วนโครงสร้างเอง หรือเกิดการแกว่งหรือโก่งทางด้านข้าง (Lateral deflection) หรือสั่น (vibration) เนื่องจากแรงลม ดังนั้น มาตรฐาน AISC จึงกาหนดว่า

ค่า $\frac{KL}{r} \leq 240$ สาหรับโครงสร้างหลัก (ยกเว้นท่อนเหล็กกลม rod)

และ $\frac{KL}{r} \leq 300$ สาหรับโครงสร้างรอง (secondary member)

ในเมื่อ K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (มีค่าเท่ากับหนึ่งสาหรับโครงสร้างส่วนรับแรงดึง)

L = ช่วงความยาวของส่วนรับแรงดึง ซม.

r = รัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด (= I/A) ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}

A = เนื้อที่หน้าตัด ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างส่วนรับแรงอัด

1. โครงสร้างส่วนรับแรงอัด (Compression members)

เป็นโครงสร้างที่จะต้องออกแบบให้ต้านทานต่อแรงอัดในแนวแกน ชนิดของโครงสร้างที่รับแรงอัดที่เห็นได้ง่ายคือเสา (column) ของอาคารแบบอื่น ๆ ก็ได้แก่ จันทันเอก (top chord) ของโครงหลังคาหรือโครงสะพาน ค้ำยันส่วนของปีกคานที่รับแรงอัดของคานเหล็กรูป (rolled beam) หรือของคานประกอบ (built-up beam)

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัดคือ

1. แรงดึงจะพยายามดึงโครงสร้างให้อยู่ในแนวตรงเสมอแต่แรงอัดจะพยายามทำให้โครงสร้างนั้นแอ่นหรือโก่ง

2. รูเจาะของหมุดย้ำหรือสลักเกลียวในโครงสร้างที่รับแรงดึงจะลดเนื้อที่หน้าตัดในการรับแรง แต่ในโครงสร้างที่รับแรงอัด ตัวหมุดย้ำหรือสลักเกลียวนั้นสมมุติว่าแทนที่รูเจาะเต็มทั้งหมด และเนื้อที่หน้าตัดเต็มทั้งหมดซึ่งเท่ากับความหนาคูณด้วยความกว้าง โดยมิต้องหักเนื้อที่ของรูเจาะก็จะใช้คำนวณในการรับน้ำหนัก

โครงสร้างที่รับแรงอัดจะมีแนวโน้มที่จะแอ่น หรือโก่ง ถึงแม้ว่าแรงอัดนั้นจะอยู่ในแนวแกนก็ตาม การโก่งงอที่เกิดขึ้นในเสานั้นเรียกว่า การโก่งเดาะ (buckling) ซึ่งอาจจะเกิดจากความโค้งแรกเริ่ม (initial curvature) หรือชนิดของการยึดปลาย เป็นต้นว่า ปลายยึดอิสระ (free) ปลายยึดหมุน (hinged) หรือปลายยึดแน่น (fixed) หรือเนื่องจากการเยื้องศูนย์ของแรงอัด ในทุกกรณีที่กล่าวนั้นทำให้การคำนวณของโครงสร้างที่รับแรงอัดไม่เหมือนกัน

2. รูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

ในทางทฤษฎีแล้วสามารถเลือกใช้รูปตัดเพื่อรับแรงอัดเป็นแบบใดก็ได้ เพียงแต่คำนวณให้รับน้ำหนักปลอดภัยเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วการเลือกจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

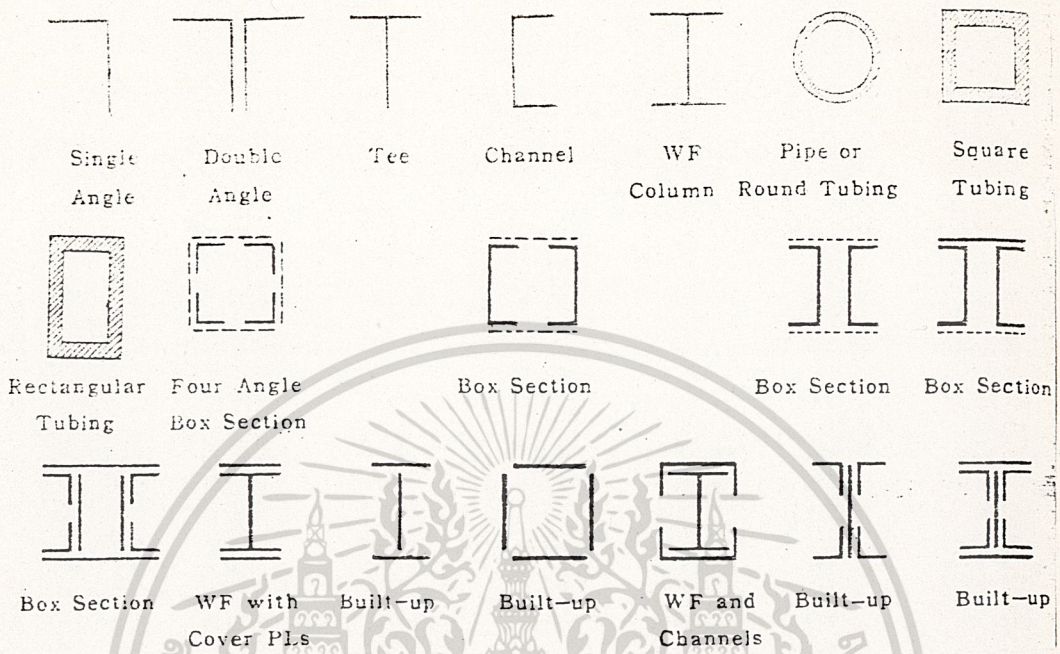
คำนึงถึงรูปหน้าตัดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด ปัญหาของการต่อปลาย และการใช้งานในโครงสร้างแบบต่าง ๆ ของส่วนที่รับแรงอัด

หน้าตัดของโครงสร้างที่รับแรงอัดโดยมากจะเหมือนกับของโครงสร้างที่รับแรงดึง แต่มีข้อยกเว้นบางอย่างคือ กำลังของโครงสร้างที่รับแรงอัดนั้นจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับอัตราส่วนความชะลูด (อัตราส่วนของความยาวประสิทธิผลต่อรัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด) และต้องการรูปตัดที่สติฟ (Stiff) เหล็กรูปที่เป็นท่อน เหล็กกลม หรือแผ่นเหล็กแบน นั้นโดยมากจะไม่ค่อยใช้รับแรงอัด ทั้งนี้เพราะความชะลูด (slender) มีค่ามาก นอกเสียจากว่าความยาวที่ใช้นั้นไม่มากและรับแรงอัดน้อย ๆ

รูปตัดฉากเดี่ยว (Single-angle) ใช้เป็นค้ำยันและรับแรงอัดในโครงสร้างแบบโครงหลังคา (truss) ขนาดย่อม ๆ แบบนี้ไม่ค่อยประหยัดเพราะรัศมีของไจเรชั่นน้อย และ การต่อกับแผ่นเหล็กประกับอาจจะทำให้เกิดแรงดัด เนื่องจากการเยื้องศูนย์ขึ้นได้

รูปตัดฉากคู่ (Double-angle) ซึ่งต่อโดยการจับขามาชนกัน (back to back) และมีแผ่นเหล็กประกับอยู่ตรงกลางจะใช้ทั่วไปในโครงหลังคา และใช้เป็นค้ำยันต้านแรงลมในตานประกอบของโครงสะพาน ปกติแล้วจะใช้เหล็กฉากชนิดขายาวไม่เท่ากัน (unequal-leg angle) โดยที่เอาขาด้านยาวมาประกบกัน เพื่อที่จะให้ได้รัศมีไจเรชั่นในแนวแกนทั้งสอง (x และ y) เท่า ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.3 แบบหน้าตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

สำหรับรูปตัดแบบตัวที (Tee) ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงหลังคาที่มีการต่อด้วยการเชื่อม ส่วนเหล็กรูปแบบเหล็กราง (hannnel) นั้นไม่ค่อยนิยม เพราะว่ารัศมีของไจเรชั่นน้อย มาก แต่ถ้าจะใช้ก็จะต้องมีการยึดทางด้านข้าง (lateral support) เหล็กรูปแบบ WF เป็นแบบทั่วไปสำหรับใช้เป็นเสา และโครงสร้างที่รับแรงอัดในงานสะพาน ทั้งนี้ เพราะรัศมีไจเรชั่นในแกนทั้งสองเกือบเท่ากัน

รูปตัดแบบท่อกลมกลวง (pipe) ใช้เป็นเสารับน้ำหนักของหลังคาทางเดินเท้าหรือโรงรถในบ้านเรือทั่วไป เหมาะสำหรับในกรณีที่รับน้ำหนักน้อยหรือปานกลาง รูปตัดแบบนี้มีข้อดี คือ รัศมีไจเรชั่นจะเท่ากันทุกแกน สำหรับหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยวจัตุรัส และสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีภายในกลวงนั้น แต่ก่อนไม่ค่อยนิยมใช้ ทั้งนี้เพราะมีปัญหาในการต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว แต่ในปัจจุบันนิยมใช้มากขึ้น เพราะใช้การต่อปลายโดยการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างที่รับแรงอัดในโครงสร้างขนาดใหญ่ ปกติจะได้จากการนำหน้าตัดแบบต่าง ๆ มาประกอบรวมกัน (built-up) เพื่อใช้รับแรงที่มีค่ามาก และสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงยาวการต่อปลายจะกระทำที่ด้านเปิด (open side) โดยมีแผ่นยึด (lacing) เป็นตัวยึดเพื่อทำให้รูปตัดที่ประกอบรวมกันนั้นถูกตรึงเสมือนเป็นอันเดียวกัน แบบต่าง ๆ ของหน้าตัดที่ได้จากการประกอบ (built-up sections) ได้แสดงไว้ ในรูปที่ 3 เส้นประจะแสดงถึงแผ่นยึด (lacing) เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกัน เส้นเต็ม (solid line) แสดงถึงส่วนที่ต่อเนื่องตลอดความยาว รูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กฉาก 4 อันนั้น จะทำให้มีรัศมีไจเรชั่นมากที่สุด และใช้งานก่อสร้างหอสูงและรับล้อเลื่อนไฟฟ้าในโรงงาน รูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กราง (channel) 2 ชิ้น ใช้เป็นเสารับน้ำหนักอาคาร หรือเป็นส่วนของแผ่นตั้งในโครงเหล็กขนาดใหญ่ หน้าตัดที่ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงสร้างสะพานจะประกอบด้วยเหล็กราง 1 คู่ และมีแผ่นปะ (cover plate) อยู่ข้างบน มีแผ่นยึด (lacing) อยู่ด้านล่าง รูปหน้าตัดแบบอื่นก็ได้จากการประกอบรูป WF กับแผ่นปะ (cover plate) หรือเหล็กร่าง (channel) เป็นการเพิ่มเนื้อที่ที่ปีกคาน (flange) เพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

3. สูตรคำนวณของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

สูตรของมาตรฐาน AISC เป็นสูตรที่อ้างอิงการค้นคว้าล่าสุดเกี่ยวกับพฤติกรรมภาพของเสาเหล็ก สูตรนี้ได้คำนึงถึง หน่วยแรงอัดที่ค้างเหลืออยู่ (residual stress) ชนิดของการยึดปลาย และคุณภาพของเหล็ก การใช้สูตรของ AISC นี้ จะทำให้ออกแบบได้ประหยัดกว่าการใช้สูตรอื่น ๆ ที่กล่าวแล้ว ทั้งนี้เพราะสูตรที่กล่าวแล้วจะ overdesign สำหรับค่าอัตราส่วนความชะลูดต่ำ ๆ แต่สูตรของ AISC จะใช้เสมอสำหรับทุกค่าของอัตราส่วนของความชะลูด

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_a = \frac{\left[1-\frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3(KL/r)}{8C_c}-\frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \quad \text{ถ้า } \left(\frac{KL}{r}\right) < C_c$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad \text{ถ้า } \left(\frac{KL}{r}\right) > C_c$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = ช่วงความยาวอิสระของเสาที่ไม่มีสิ่งยึดทางข้าง ซม.

r = รัศมีไจเรชั่น (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ ซม.

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก กก. ต่อ ซม.^{2}

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก กก. ต่อ ซม.^{2}

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (ดูตารางที่ 9.1)

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ กก. ต่อ ซม.^{2}

สำหรับค้ำยัน (bracing) และ ส่วนโค้งสร้างรอง (secondary member) ที่มีอัตราส่วนความชะลูดเกินกว่า 120*

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F'a = \frac{Fa \text{ (จาก (ก) หรือ (ข))}}{1.6 - \frac{L}{200\,r}} \qquad \text{(ค)}$$

นอกจากนี้ มาตรฐาน AISC ยังกำหนดอัตราส่วนความชะลูดของส่วนโค้งสร้างหลักที่รับแรงอัดจะต้องไม่เกิน 200 และสำหรับค้ำยันและส่วนโครงสร้างรอง จะต้องไม่เกิน 300

ตารางที่ 13 ในภาคผนวกท้ายเล่มให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสาเหล็กชนิด A 36 ซึ่งคำนวณตามมาตรฐาน AISC

4. ช่วงความยาวประสิทธิผล (effective column length)

ค่าของ KL ในข้อกำหนดของ AISC นั้นคือ ช่วงความยาวประสิทธิผลของเสา (effective length of column) ที่จะเกิดการโก่งงอ เป็นระยะระหว่างจุดดัดกลับ (inflection point) ของเสา ระยะนี้มีค่าแปรเปลี่ยนต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบและชนิดของการยึดปลาย (end restraint)

---

* ในกรณีนี้ K มีค่าเท่ากับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิธีคำนวณและออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

การคำนวณและออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด ในกรณีที่แรงอัดกระทำในแนวแกนของรูปตัด มีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. สมมุติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ โดยกำหนดอย่าให้มากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดในสูตรคำนวณของเสา (Column Formula)

2. หารน้ำหนักที่กระทำด้วยหน่วยแรงอัดที่สมมุติขึ้นจากข้อ 1 จะได้ค่าเนื้อที่หน้าตัดของเสาที่ต้องการโดยประมาณ

3. เลือกหน้าตัดของเหล็กรูป ให้มีเนื้อที่หน้าตัดอย่างน้อยเท่ากับเนื้อที่ที่หาได้จากข้อ 2 จากตารางของเหล็กรูปก็จะได้ค่ารัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุดของหน้าตัดนี้

4. คำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่มากที่สุดของหน้าตัดนี้ โดยใช้สูตรคำนวณของเสา และค่ารัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุดที่หาได้จากข้อ 3

5. ถ้าหากค่าหน่วยแรงที่อัดที่ยอมให้ ที่คำนวณได้จากข้อ 4 ไม่มากเกินกว่าค่าจริง (ซึ่งได้จากการหารน้ำหนักหรือแรงที่กระทำด้วยเนื้อที่ทั้งหมด) ประมาณ 2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเลือกหน้าตัดได้เหมาะสมแล้ว

6. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้มากกว่าค่าของหน่วยแรงอัดจริง ๆ ประมาณ 5% แสดงหน้าตัดที่หาได้นั้นใหญ่เกินกว่าความต้องการ จำเป็นจะต้องลดขนาดลง

7. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าของหน่วยแรงอัดจริง ๆ แสดงว่าขนาดของหน้าตัดที่หาได้นั้นเล็กกว่าที่ต้องการจริง จะต้องเลือกขนาดให้ใหญ่กว่านี้ หรืออาจใช้เนื้อที่หน้าตัดเท่าเดิม แต่เพิ่มระยะห่างระหว่างรูปตัดที่นำมาประกอบกันให้มากขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มรัศมีไจเรชั่นซึ่งจะทำให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 5 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....4 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 5 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....6 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รับข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 5 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 4 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	100	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 100*6*4/3 = 800 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.28 = 116 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 10 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....6 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 10 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....8 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Spna 5 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 6 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของต้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	100	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 100*6*4/4 = 600 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*0.85 = 77.3 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 10 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 6 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	100	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 100*6*6.5/3 = 800 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.717 = 154.61Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 10 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 8 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	100	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 100*6*6.5/5 = 780 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.28 = 116 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา ๑๒ เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....๑๐ ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่)..... 12.5

น้ำหนักจร.....30

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา ๑๒ เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....12 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่)..... 12.5

น้ำหนักจร.....30

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 15 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 8 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	100	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 100*6*9/6 = 900 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.54 = 138 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 15 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 10 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	20	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	7	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	7.5	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	47	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	97	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	110	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 110*6*9/7 = 848 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.28 = 116 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 20 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....12 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 20 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....14 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C

น้ำหนักที่กระทำ

Span 20 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 10 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	12	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	57	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	107	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	110	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 110*6*11.5/7 = 1084 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.71 = 154.6 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 20 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 12 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	12	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	57	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	107	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	110	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 110*6*11.5/8 = 948.75 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.47 = 132.5 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 25 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....14 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 25 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....16 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	17	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	62	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	112	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	115	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 115*6*14/8 = 1207.5 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.84 = 165.6Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 25 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 16 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	17	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	62	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	30	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	112	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	115	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 115*6*14/9 = 1073.33 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา 50*12.5/45 =	13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.610 = 144.9Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 30 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....16 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 30 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....18 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 30 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 16 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	22	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	67	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	117	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	110	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 120*6*16.5/9 = 1320 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.93 = 173.94Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 30 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 18 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	22	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	10	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	67	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	117	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	120	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 120*6*16.5/10 = 1188 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.71 = 154.61Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 35 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....20 ช่วง

ระยะ BAY .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5 kg/m^2

น้ำหนักจร.....50 ก

แรงลม.....50 ก

ช่วงห่างระหว่างเสา 35 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....22 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5 kg/m^2

น้ำหนักจร.....50 ก

แรงลม.....50 ก

เมื่อได้รูปข้อมูลช่างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 35 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 20 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	25	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	12	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	72	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	122	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	125	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 125*6*19/11 = 1295 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา 50*12.5/45 =	13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.80 = 162.34Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 35 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 22 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	25	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	12	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	72	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	122	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	125	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 125*6*19/12 = 1187.5 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.63 = 147.58Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 40 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....24 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 40 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....26 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รับข้อมูลช่างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 40 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 24 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	15	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	77	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	127	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	130	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 130*6*21.5/13 = 1290 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.71 = 154.6 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 40 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 26 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	22.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	15	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	77	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	127	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	130	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 130*6*21.5/14 = 1197.8 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด		50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 =	13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ		15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.58 = 142.7 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 45 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....28 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 45 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....30 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รู้ข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 45 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 28 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	27.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	15	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	82	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	132	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	135	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 135*6*24/15 = 1296 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.65 = 148.5 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 45 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 30 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	27.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	15	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	82	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	132	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	135	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 135*6*24/16 = 1215 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.54 = 138.6 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

การกำหนดลักษณะของโครงสร้างมีดังต่อไปนี้คือ

ช่วงห่างระหว่างเสา 50 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....32 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา .....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

ช่วงห่างระหว่างเสา 50 เมตร

จำนวนช่วงห่างระหว่างลูกตั้ง.....34 ช่วง

ระยะ .....6 เมตร

ระยะห่างระหว่างปลายหลังคากับหัวเสา.....1.5 เมตร

มุมความลาดเอียงของหลังคา.....12.5 องศา

วัสดุมุงหลังคา (กระเบื้องลอนคู่).....12.5

น้ำหนักจร.....50

แรงลม.....50

เมื่อได้รับข้อมูลข้างต้นแล้วก็จะนำไปหาแรงกระทำในแต่ละจุดของหลังคา (ที่แป)โดยแยกแรงกระทำออกเป็นแรงที่กระทำตามแนวแกนX และแกนY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 50 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 32 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	27.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	20	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	87	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	137	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	140	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 140*6*26.5/17 = 1309.41 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.61 = 145 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่กระทำ

Span 50 M. ช่วงห่างระหว่างเสา 34 ช่วง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักแผ่นคลุมหลังคา	12.5	Kg/M^2
น้ำหนักของแป	27.5	Kg/M^2
น้ำหนักของโครงหลังคา	27	Kg/M^2
น้ำหนักของค้ำยัน	20	Kg/M^2
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	87	Kg/M^2

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร	50	Kg/M^2
รวมน้ำหนัก (Dead Load + Live Load)	137	Kg/M^2
น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	140	Kg/M^2

รวมน้ำหนักที่กระทำในแต่ละ Node ที่กระทำในแนวดิ่ง 140*6*26.5/18 = 1236.66 Kg

แรงลม

แรงลมที่ ก.ท.ม. กำหนด	50	Kg/M^2
แรงลมที่กระทำในแนวตั้งฉากกับหลังคา	50*12.5/45 = 13.88	Kg/M^2
แรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	15	Kg/M^2

รวมแรงลมที่กระทำในแต่ละ Node ในแนวตั้งฉากกับแนวหลังคา 15*6*1.51 = 136.5 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Span 5 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 4	60.3	69.5	176.1	60.8
Howe	@ 4	53.9	62.3	172.1	54.4
GRT-Pratt	@ 4	100.0	110.9	197.5	99.6
GRT-Howe	@ 4	92.7	109.2	174.3	89.6
Pratt	@ 6	59.1	79.9	198.7	56.6
Howe	@ 6	56.9	58.2	186.1	48.3
GRT-Pratt	@ 6	139.2	148.8	195.8	139.3
GRT-Howe	@ 6	126.1	127.2	207.4	116.7

GRT = Gable Roof Truss

Span 10 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 6	233.0	304.0	512.0	262.7
Howe	@ 6	186.0	188.2	332.0	198.7
GRT-Pratt	@ 6	357.3	406.5	358.1	387.2
GRT-Hoew	@ 6	294.7	300.3	343.2	316.4
Pratt	@ 8	215.0	193.0	370.0	201.2
Howe	@ 8	196.9	201.2	325.2	174.6
GRT-Pratt	@ 8	405.3	400.9	468.2	445.6
GRT-Howe	@ 8	339.8	302.5	410.2	305.7

GRT = Gable Roof Truss

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นใช้ได้โดยที่ต้องอยู่ภายในขอบเขตข้างต้นแล้วเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการรวบรวมของโครงสร้างถักช่วงห่างเสา 15,20 เมตร

Span 15 M.	Structural Steel Sections (Kg)			
	Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt @ 10	468.5	491.0	757.0	534.5
Howe @ 10	313.0	376.0	531.0	395.7
GRT-Pratt @ 10	692.8	749.5	757.7	616.6
GRT-Howe @ 10	564.7	650.6	820.4	630.9
Pratt @ 12	586.0	578.3	732.0	600.1
Howe @ 12	483.0	485.4	556.0	542.0
CRT-Pratt @ 12	775.2	888.5	913.3	881.6
GRT-Howe @ 12	645.4	682.0	839.7	734.2

Grt = Gable Roof Truss

Span 20 M.	Structural Steel Sections (Kg)			
	Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt @ 12	967.0	934.0	1284.0	1154.4
Howe @ 12	896.0	864.0	926.0	925.5
GRT-Pratt @ 12	1276.1	1371.6	1810.9	1389.4
GRT-Pratt @ 12	1103.2	1102.4	1327.0	1103.9
Pratt @ 14	—	—	—	—
Howe @ 14	900.0	869.0	928.0	924.2
GRT-Pratt @ 14	1376.8	1329.5	1679.4	1392.2
GRT-Howe @ 14	1196.1	1137.7	1363.3	1145.1

Grt = Gable Roof Truss

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นนี้ใช้ได้โดยที่ต้องอยู่ภายในขอบเขตข้างต้นแล้วเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Span 25 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 14	2068.0	1878.0	2265.0	2324.4
Howe	@ 14	1474.0	1468.0	1537.0	1625.7
GRT-Pratt	@ 14	2135.0	2306.9	2839.7	2327.7
GRT-Howe	@ 14	1836.9	1826.9	2162.6	1816.0
Pratt	@ 16	1535.0	1749.0	2066.0	1826.9
Howe	@ 16	1460.0	1444.0	1578.0	1440.2
GRT-Pratt	@ 16	2087.9	2283.5	2819.6	2387.2
GRT-Howe	@ 16	1784.0	1953.2	2220.5	1829.0

GRT = Gable Roof Truss

Span 30 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 16	2236.0	2749.0	3142.0	3308.8
Howe	@ 16	2327.0	2350.0	2622.0	2380.3
GRT-Pratt	@ 16	2370.3	2493.3	3098.6	3146.8
GRT-Howe	@ 16	1950.2	2006.3	2163.1	2110.0
Pratt	@ 18	2401.0	2758.0	3507.0	3110.0
Howe	@ 18	2433.0	2422.0	2910.0	2470.6
GRT-Pratt	@ 18	3021.0	3341.2	3817.2	3905.4
GRT-Howe	@ 18	2854.4	2808.0	2222.0	2728.8

GRT = Gable Roof Truss

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นนี้ใช้ได้โดยที่ต้องอยู่ภายในขอบเขตข้างต้นแล้วเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการรวบรวมของโครงสร้างหลังคาช่วงห่างเสา 35,40 เมตร

Span 35 M.	Structural Steel Sections (Kg)			
	Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt @ 20	6428.7	5727.5	—	7499.6
Howe @ 20	—	—	—	—
GRT-Pratt @ 20	3748.0	5462.0	5254.0	4403.7
GRT-Howe @ 20	3757.0	4483.0	4323.0	3838.6
Pratt @ 22	4200.0	3758.7	4912.5	4688.7
Howe @ 22	3527.0	3335.0	3827.0	3310.6
GRT-Pratt @ 22	3863.0	3981.0	4997.5	4550.2
GRT-Howe @ 22	4049.0	3773.0	9387.5	3824.6

GRT = Gable Roof Truss

Span 40 M.	Structural Steel Sections (Kg)			
	Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt @ 24	7153.0	7173.0	7878.0	7134.0
Howe @ 24	6328.0	6338.0	6466.0	5835.6
GRT-Pratt @ 24	6380.0	5828.0	7216.0	6667.3
GRT-Howe @ 24	5278.0	5416.0	5915.0	5427.2
Pratt @ 26	4430.0	5099.0	6635.0	5521.9
Howe @ 26	4506.0	4503.0	6217.0	6455.7
GRT-Pratt @ 26	7087.0	7032.0	8355.0	7097.5
GRT-Howe @ 26	6199.0	5876.0	6019.0	5766.2

GRT = Gable Roof Truss

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นนี้ใช้ได้โดยต้องอยู่ภายในขอบเขตแล้ว เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Span 45 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 28	7122.0	9212.0	10095.0	8643.5
Howe	@ 28	7343.0	6727.0	7617.0	7217.8
GRT-Pratt	@ 28	8762.0	8761.0	11082.0	9762.7
GRT-Howe	@ 28	7382.0	7468.0	7635.0	7488.9
Pratt	@ 30	7304.0	8087.0	9645.0	9060.2
Howe	@ 30	6542.0	6961.0	7167.0	6665.3
GRT-Pratt	@ 30	6256.0	7578.0	9459.0	8238.8
GRT-Howe	@ 30	6855.0	6725.0	9342.0	6800.0

GRT = Gable Roof Truss

Span 50 M.		Structural Steel Sections (Kg)			
		Circular	Rectangular	Channel	Angle
Pratt	@ 32	10073.0	9760.0	15606.0	12353.8
Howe	@ 32	9158.0	9943.0	13149.0	9626.4
GRT-Pratt	@ 32	10171.8	11452.0	15014.0	11335.7
GRT-Howe	@ 32	9018.7	10568.0	11043.0	10362.7
Pratt	@ 34	10715.0	11784.0	15171.0	12453.2
Howe	@ 34	9290.0	9537.0	13253.0	9846.1
GRT-Pratt	@ 34	10327.6	11873.0	15327.0	11742.0
GRT-Howe	@ 34	8119.9	9619.0	9460.0	9142.5

GRT = Gable Roof Truss

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นนี้ใช้ได้โดยที่ต้องอยู่ภายในขอบเขตแล้วเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Result	Span =	5 M.

Pattern Of Structure	Howe	@ = 6
Weight Of Structure	48.3 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	L 40*40*3	
Lower Chord	L 40*40*3	
Vertical	L 40*40*3	
Diagonal	L 40*40*3	

Result	Span =	10 M.

Pattern Of Structure	Howe	@ = 8
Weight Of Structure	174.6 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	L 45*45*5	
Lower Chord	L 60*60*5	
Vertical	L 40*40*5	
Diagonal	L 50*50*5	

Result	Span =	15 M.

Pattern Of Structure	Howe	@ = 10
Weight Of Structure	313 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	o 32	t = 2.6
Lower Chord	o 80	t = 3.2
Vertical	o 50	t = 2.9
Diagonal	o 65	t = 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Result	Span =	20 M.

Pattern Of Structure	Howe	@ = 12
Weight Of Structure	864.4 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	125*75*3.2	
Lower Chord	125*75*4	
Vertical	75*45*3.2	
Diagonal	125*75*3.2	

Result	Span =	25 M.

Pattern Of Structure	Howe	@ = 16
Weight Of Structure	1440.2 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	2 L 70*70*6	
Lower Chord	2 L 90*90*6	
Vertical	2 L 45*45*5	
Diagonal	2 L 65*65*6	

Result	Span =	30 M.

Pattern Of Structure	GRT-Howe	@ = 16
Weight Of Structure	1950 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	o 174 t = 5	
Lower Chord	o 200 t = 5	
Vertical	o 100 t = 4.5	
Diagonal	o 100 t = 3.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Result	Span =	35 M.
Pattern Of Structure	Howe	@ = 22
Weight Of Structure	3310 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	2 L 75*75*9	
Lower Chord	2 L 90*90*10	
Vertical	2 L 60*60*5	
Diagonal	2 L 90*90*6	

Result	Span =	40 M.
Pattern Of Structure	Pratt	@ = 26
Weight Of Structure	4430 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	o 200 t = 5	
Lower Chord	o 200 t = 6	
Vertical	o 100 t = 3.6	
Diagonal	o 100 t = 4.5	

Result	Span =	45 M.
Pattern Of Structure	GRT-Pratt	@ = 30
Weight Of Structure	6256 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	o 225 t = 6	
Lower Chord	o 225 t = 6	
Vertical	o 100 t = 3.36	
Diagonal	o 150 t = 4.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Result	Span =	50 M.

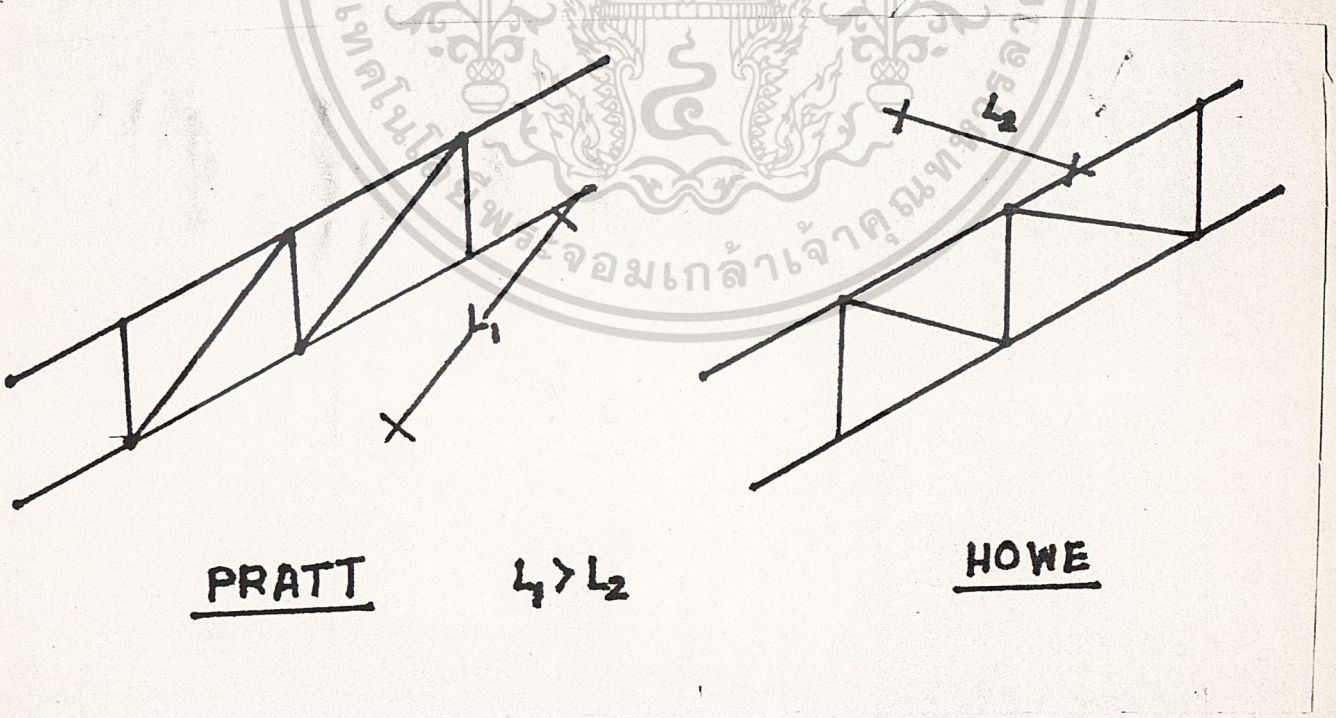
Pattern Of Structure	GRT-Howe	@ = 34
Weight Of Structure	8119.9 Kg	
Detail Of Each Members		
Upper Chord	o 267.4 t = 8	
Lower Chord	o 267.4 t = 8	
Vertical	o 150 t = 4.5	
Diagonal	o 100 t = 4.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตและประโยชน์การนำไปใช้จากงานวิจัย

1). หากพิจารณาถึงลักษณะของโครงหลังคาโครงถักโดยส่วนในของงานวิจัยฉบับนี้แล้วสมารถที่จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะด้วยกันดังต่อไปนี้คือ Pratt , Howe ซึ่งลักษณะของโครงหลังคาโครงถักแบบ Pratt นั้นจะมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ ส่วนที่เป็นจันทัน (Upper Chord) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงอัด และส่วนที่เป็นขื่อ (Lower Chord) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงดึง และส่วนที่เป็นลูกตั้ง (Vertical) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงอัด และส่วนที่เป็นตัวทะแยง (Diagonal) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงดึงเป็นเสียส่วนใหญ่ และโครงหลังคาโครงถักแบบ Howe นั้นจะมีลักษณะของโครงหลังโครงถักมีดังต่อไปนี้คือ ส่วนที่เป็นจันทัน (Upper Chord) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงอัด และส่วนที่เป็นขื่อ (Lower Chord) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงดึงและส่วนที่เป็นลูกตั้ง (Vertical) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงดึงและส่วนที่เป็นตัวทะแยง (Diagonal) จะเป็นส่วนที่จะต้องรับแรงอัด

2). เมื่อพิจารณาถึงส่วนของโครงหลังโครงถักในส่วนที่เป็นตัวทะแยง (Diagonal) แล้ว ในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งเป็นโครงหลังโครงถักที่มีความลาดชันนั้นก็จะแสดงให้เห็นว่า ความยาวรวมของตัวทะแยง (Diagonal) ของโครงหลังคาโครงถักแบบ Pratt นั้นมีความยาวรวมของของตัวทะแยงที่มากกว่าความยาวรวมของตัวทะแยง (Diagonal) ของโครงหลังคาโครงถักแบบ Howe ดังแสดงให้เห็นดังรูปข้างใต้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3). โครงหลังคาโครงถักแบบ Prall นั้นชิ้นส่วนที่เป็นตัวทะแยง (Diagonal) ซึ่งจะต้องรับแรงดึงที่มีความยาวที่มากกว่าตัวทะแยง (Diagonal) ของโครงหลังโครงถักแบบ Howe ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมทางด้านโครงสร้างและการออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนที่ต้องรับรับแรงดึงเพราะความยาวที่เพิ่มขึ้นนั้นจะไม่ค่อยมีผลต่อการออกแบบให้มีการเลือกหน้าตัดขนาดให้ใหญ่ขึ้นแต่ประการใดอันเนื่องมาจากความยาวที่เพิ่มขึ้นของ (Diagonal) แต่ถ้าหากเป็นชิ้นส่วนที่จะต้องรับแรงอัดเสียแล้วความยาวที่เพิ่มมากขึ้นนั้นจะมีผลอย่างมากต่อการออกแบบและในขณะเดียวกัน โครงหลังคาโครงถักแบบ Howe ซึ่งชิ้นส่วนตัวทะแยง (Diagonal) นั้นมีความยาวน้อยกว่าแบบ Prall จะต้องออกแบบเป็นชิ้นส่วนที่จะต้องรับแรงอัด ซึ่งทำให้ได้หน้าตัดที่ไม่ใหญ่จนเกินไปเพราะมีความยาวที่น้อยกว่า แต่หากว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีความยาวมากกว่าที่ต้องรับแรงอัดเสียแล้วก็จะทำให้ต้องเลือกหน้าตัดที่ใหญ่กว่า

4). จากรายงานจะแสดงให้เห็นว่าโครงหลังคาโครงถักที่มีการแบ่งช่วงระหว่างลูกตั้ง (Vertical) ที่มากขึ้นจะทำให้แรงกระทำในแต่ละส่วนของโครงหลังคาครงถักมีค่าของแรงในแต่ละชิ้นส่วนมีค่าลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกขนาดของหน้าตัดที่จะมีขนาดเล็กลงไปด้วย แต่ก็มีบ้างที่บางครั้งหรือบางกรณีเช่นว่ามีโครงหลังคาโครงถักที่มีการแบ่งช่วงระหว่างลูกตั้ง (Vertical) ให้มากขึ้นและแรงในแต่ละส่วนของโครงหลังโครงถักก็มีค่าลดลงเช่นกัน แต่เมื่อผลหลังจากการออกแบบออกมาแล้วกลับทำให้โครงหลังโครงถักนั้นมีน้ำหนักรวมทั้งโครงหลังคามีค่ามากกว่าโครงหลังคาที่มีการแบ่งช่วงระหว่างลูกตั้งที่น้อยกว่า ก็เพราะว่าการเลือกโครงหลังคาที่มีการแบ่งช่วงระหว่างลูกตั้งมากขึ้นลดแรงในแต่ละชิ้นส่วนของโครงหลังคาได้ก็จริง แต่ความยาวรวมของโครงหลังคาย่อมมากขึ้น แต่การลดลงของแรงในแต่ละชิ้นส่วนของโครงหลังคาได้ก็ใช่ว่าจะเป็นการลดขนาดหน้าตัดไปได้เสียทุกกรณีไป เพราะว่าแรงที่ลดลงไม่มากพอที่จะเป็นการลดขนาดหน้าตัดไปได้เสียทุกกรณีไป เพราะว่าที่ลดลงไม่มากพอที่จะเป็นการลดขนาดหน้าตัดได้ เพราะว่าหน้าตัดของวัสดุจะมีขนาดที่กำหนดให้โดยมีขนาดแบ่งเป็นช่วงๆดังแสดงผลในผลงานวิจัยของช่วงห่างระหว่างเสา 15 , 20 เมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5). หากพิจารณาถึงลักษณะของโครงหลังคาโครงถักของงานวิจัยฉบับนี้แล้วจะสามารถแบ่งลักษณะของโครงหลังคาออกเป็น 2 พวกใหญ่ด้วยกันคือ พวกที่ 1. ได้แก่ Pratt , Howe และพวกที่ 2. ได้แก่ Gable roof Truss-Pratt และ Gable Roof Truss-Howe ซึ่งลักษณะของพวกที่ 2. นี้เป็นแบบที่ได้รับความนิยมได้รับการออกแบบโครงหลังคาแบบนี้เป็นจำนวนมากซึ่งย่อมแสดงให้เห็นว่าพวกที่ 2. นี้ย่อมมีความประหยัดมากกว่าพวกแรก (แต่ก็ใช่ว่าพวกแรกจะไม่ได้รับความนิยมหรือไม่มีวิศวกรเลือกใช้เลยไม่ก็ยังพอเห็นได้บ้าง) แต่จากผลงานวิจัยในฉบับนี้ก็แสดงให้เห็นว่าลักษณะของพวกที่ 1. นั้นมีความประหยัดมากกว่าดังแสดงให้เห็นปรากฏในงานวิจัยฉบับนี้อาจเป็นเพราะว่างานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดให้ความยาวของลูกตั้ง (Vertical) มีค่ามากเกินไปซึ่งมีค่าเท่ากับ L/15 โดยที่ L เท่ากับ ระยะห่างระหว่างเสา ซึ่งค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าที่ทำให้ความยาวของลูกตั้งมีความยาวที่มากเกินความจำเป็น ซึ่งค่าที่ควรนำมาใช้ควรที่จะมีค่าความยาวของลูกตั้งน้อยกว่านี้ก็อาจจะทำให้โครงหลังคาพวกที่ 2. มีความประหยัดมากขึ้นก็ได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

   สนั่น เจริญเผ่า วินิต ช่อวิเชียร

2. การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

   ดร. เจษฎา เกษมเศรษฐ์

3. การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก

   ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์

   ทักษิณ เทพชาตรี

4. ทฤษฎีโครงสร้าง

   ดร. นิพนธ์ เธียรศิริพิพัฒน์

5. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

   ทักษิณ เทพชาตรี

6. ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาและวิศวกร

   ซีกรุ๊ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้