

บทที่ 2

วรรณคดีวิจารณ์

2.1 ท้าวไป

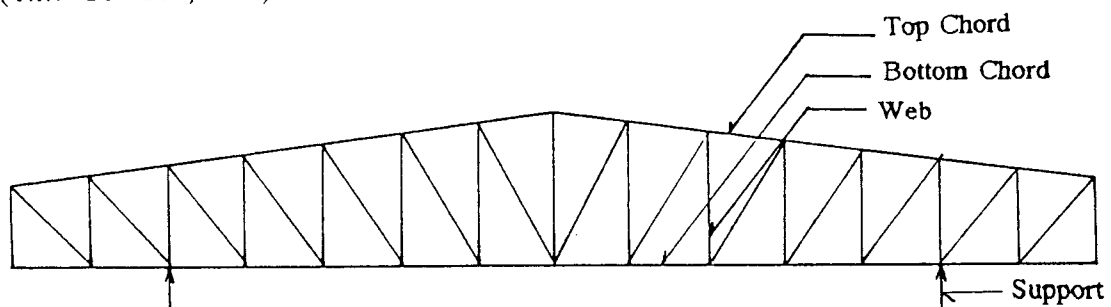
โครงข้อหมุน หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากท่อนหรือแท่ง (Bars) ซึ่งรับแรง โดยตรงต่อยึดติดกันเป็นรูปสามเหลี่ยม และประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างและรับแรง หรือน้ำหนักได้ตามต้องการ

โครงข้อหมุนมีลักษณะทางทฤษฎี ดังนี้

1. ชิ้นส่วนแต่ละท่อนหรือแท่งที่นำมาประกอบกัน ต้องเป็นท่อนตรงตลอด (Straight)
2. จุดต่อหรือข้อต่อ (Joint) ของชิ้นส่วนต่างๆ ถือว่าเป็นแบบหมุดยึดท่อน (Pin) ซึ่งหมุนได้ และไม่มีแรงบิด นั่นคือผลรวมของโมเมนต์คด (Bending Moment) ที่ข้อต่อเป็นศูนย์
3. แรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำ ต้องกระทำที่จุดต่อเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม สิ่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้นเป็นลักษณะเฉพาะในทางทฤษฎีเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้มีความง่ายต่อการคำนวณในทางปฏิบัติจริงๆ ชิ้นส่วนแต่ละท่อนที่นำมาประกอบกันเป็นโครงข้อหมุนอาจจะไม่เป็นท่อนตรงตลอด อาจคดหรือแอ่นเล็กน้อยตามธรรมชาติ ส่วนรอยต่ออาจใช้สลักเกลียว (Bolt) ยึดสองตัวหรือมากกว่าก็ได้ และทำเป็นโครงเหล็กก็อาจนำมาเชื่อมกันตรงข้อต่อ ซึ่งทำให้รอยต่อไม่เป็นแบบหมุดยึดท่อนดังกล่าว อีกทั้งแรงหรือน้ำหนักบรรทุกก็อาจกระทำในช่วงระหว่างรอยต่อทั้งสอง เช่น การวางแป เป็นต้น

ชิ้นส่วนต่างๆ ที่นำมาประกอบรวมกันเป็นโครงข้อหมุน จะมีชื่อเรียกต่างๆ กันคือ ส่วนที่อยู่ด้านบนของโครงเรียกว่า จันทัน (Top or Upper Chord) ส่วนที่อยู่ด้านล่างของโครงเรียกว่า ข้อ (Bottom or Lower Chord) ส่วนที่ยึดอยู่ภายในระหว่างคอร์ดบนกับคอร์ดล่างเรียกว่า เวก (Web) ซึ่งอาจอยู่ในแนวทแยง (Diagonal) หรืออยู่ในแนวตั้ง (Vertical) ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (วินิต ช่อวิเชียร, 2528)

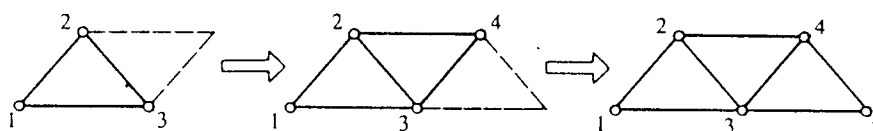


รูปที่ 2.1 แสดงส่วนต่างๆ ของโครงข้อหมุน

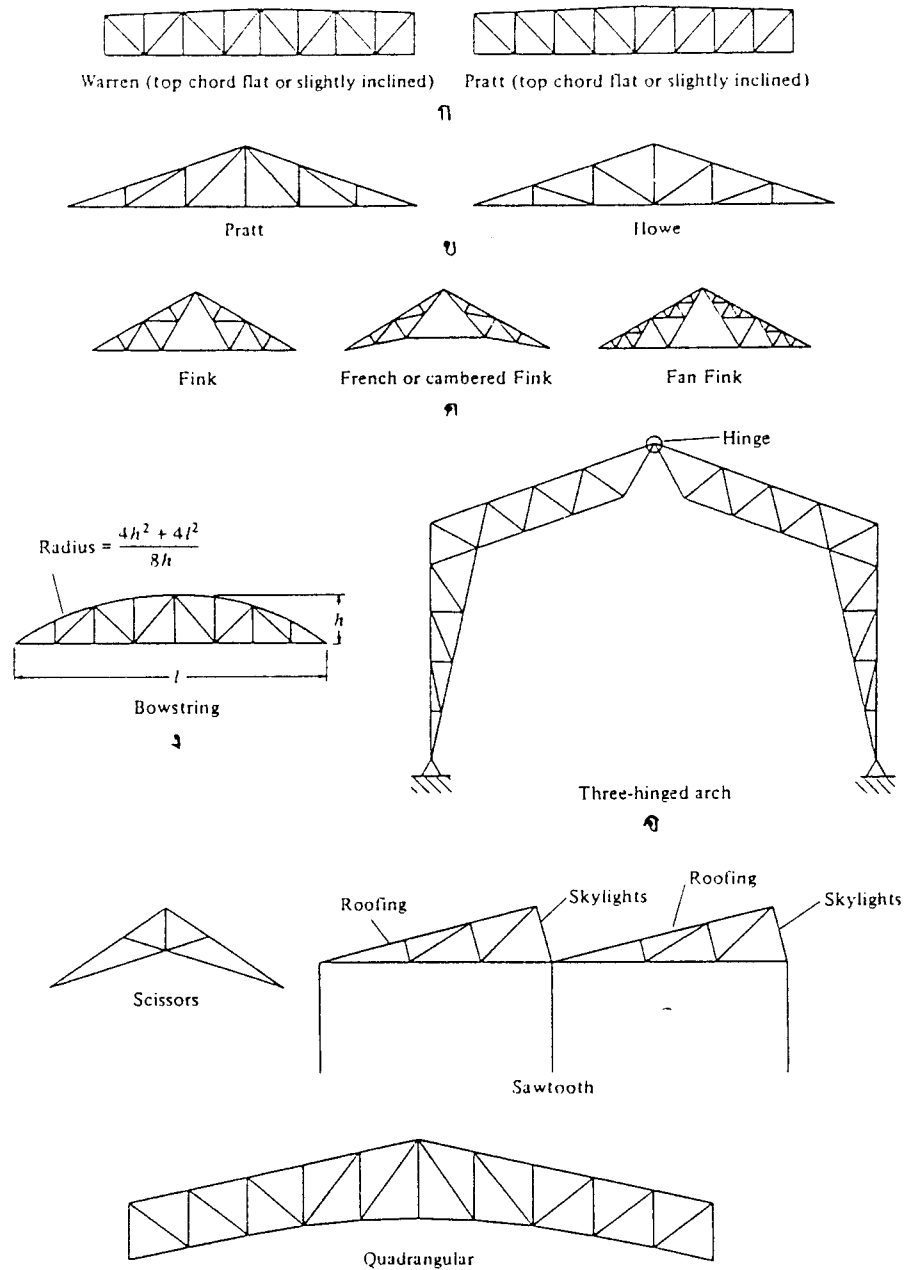
2.2 ประเภทของโครงข้อหมุน

(Tartaglione, 1991) กล่าวว่าโครงข้อหมุนในแบบต่างๆ สามารถแยกออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะของรูปร่างของโครงข้อหมุน หรือตามประเภทของการนำไปใช้งาน โดยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.2.1 Simple Truss เป็นโครงข้อหมุนซึ่งเกิดจากการนำชิ้นส่วนมาประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยที่ข้อต่อไม่มีความฝืด และสามารถประกอบกันเป็นโครงข้อหมุนขนาดใหญ่ได้ด้วยการต่อชนิดส่วนใหม่อีก 2 ชิ้นเข้ากับโครงเก่าให้เป็นรูปสามเหลี่ยม ดังเช่นรูปที่ 2.2 โครงข้อหมุนประเภทนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบการใช้งานตามสถาปนิกหรือวิศวกรผู้คิดขึ้นมา และได้ตั้งชื่อตามผู้ที่คิดค้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3

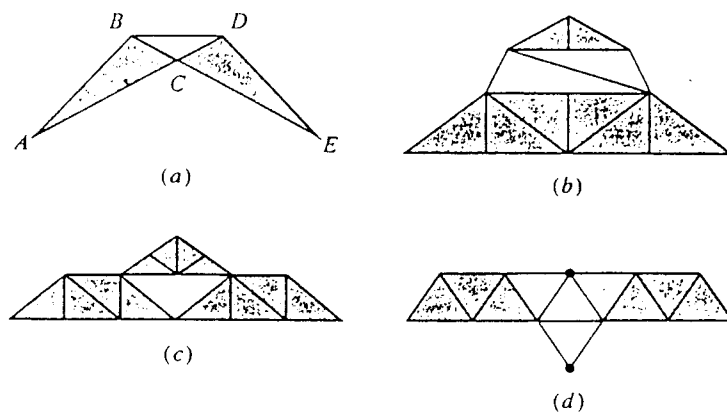


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเบื้องต้นของโครงข้อหมุน



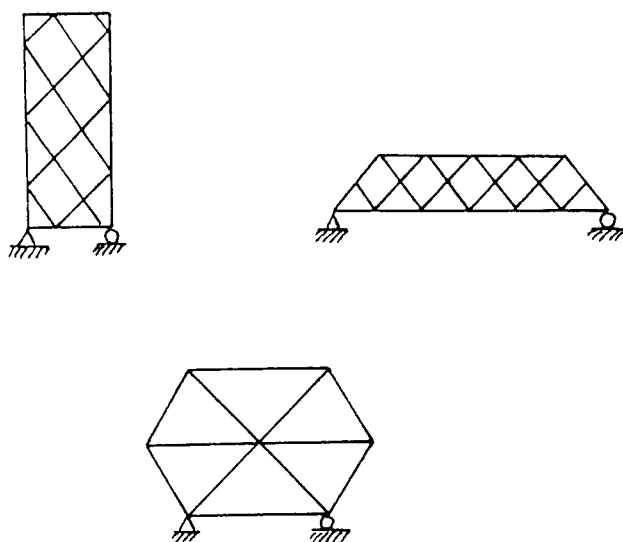
รูปที่ 2.3 แสดงโครงข้อหมุนแบบ Simple

2.2.2 Compound Truss เป็นโครงข้อหมุนที่เกิดจากการเอาโครงข้อหมุนแบบ Simple สองโครงหรือมากกว่านั้นมาเชื่อมต่อกันอย่างมั่นคงและแข็งแรง การเชื่อมต่อดังกล่าวจะต้องใช้ส่วนยึดต่อ (links) 3 ชิ้นที่ไม่ขนานกัน และไม่พบกันที่จุดๆ หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโครงข้อหมุนแบบ Compound

2.2.3 Complex Truss เป็นโครงข้อหมุนที่ไม่อยู่ในลักษณะแบบ Simple Truss หรือ Compound Truss ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงข้อหมุนแบบ Complex

2.2.4 Roof Truss เป็นโครงข้อหมุนประเภทที่ใช้ทำหลังคาของโครงสร้างประเภทต่างๆ สามารถแบ่งรูปแบบตามสภาพการใช้งานและความเหมาะสมในด้านความประหยัดดังนี้ (McCormac, 1981)

1. โครงข้อหมุนแบบ Warren และ Pratt เป็นโครงหลังคาที่มีรูปร่างค่อนข้างจะแบนราบ หรือมีความลาดชันน้อย แสดงในรูปที่ 2.3ก ความลาดชันจะอยู่ในช่วง $3/4$ ถึง $1\ 1/4$ นิ้วต่อฟุต และเป็นโครงข้อหมุนที่มีความเหมาะสมในแง่ความประหยัดที่มีความยาวอยู่ในช่วง 40-125 ฟุต แต่โครงหลังคาแบบ Warren จะมีความประหยัดน้อยกว่าแบบ Pratt อยู่เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ในรูปแบบทั้งสองนี้จะใช้งานได้ดีในช่วงความยาวไม่มากเกินไปกว่า 30 หรือ 40 ฟุต เพราะจะมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำฝน

2. โครงข้อหมุนแบบ Howe และ Pratt เป็นโครงหลังคาที่มีความลาดชันปานกลาง แสดงในรูปที่ 2.3ข โดยจะอยู่ระหว่างโครงหลังคาแบบ 2.1ก กับแบบ 2.1ค ช่วงความยาวที่ประหยัดที่สุดจะอยู่ในช่วง 90 หรือ 100 ฟุต

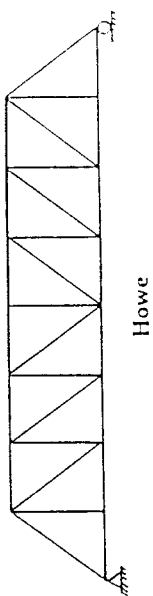
3. โครงข้อหมุนแบบ Fink เป็นโครงข้อหมุนที่ใช้ในช่วงความลาดชันสูงได้ดี แสดงในรูปที่ 2.3ค ในบางครั้งในแบบ Howe กับแบบ Pratt อาจจะนำมาใช้ในช่วงความลาดชันสูงเช่นนี้ได้ แต่จะมีความประหยัดน้อยกว่า โครงข้อหมุนแบบ Fink นี้อาจจะแปลงออกมาเป็นแบบผสม (Compound) หรือแบบ Fan Fink เพื่อต้องการรับโครงหลังคาที่มีช่วงความยาวมากขึ้น

4. โครงข้อหมุนแบบ Bowstring แสดงในรูปที่ 2.3ง จะเป็นแบบที่ได้รับการยอมรับมากกว่าแบบอื่น ในรูปแบบของโครงหลังคาโค้งสามารถใช้งานได้ดีในช่วงความยาวมากกว่า 120 ฟุต โครงหลังคาคงกล่าวเหมาะสำหรับทำเป็นโรงรถ ซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงงานขนาดเล็ก

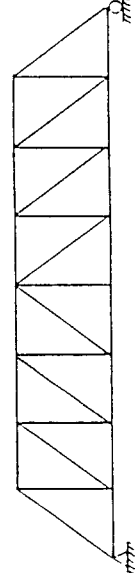
5. โครงข้อหมุนแบบ Three-hinged Arch แสดงในรูปที่ 2.3จ เป็นโครงข้อหมุนที่ใช้ได้ดีในช่วงมากกว่า 100 ฟุตขึ้นไป มีจุดยึดหมุนสามจุด จึงเป็นโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนต มีความง่ายในการวิเคราะห์

6. โครงข้อหมุนแบบ Scissor เป็นแบบที่ใช้งานในช่วงความยาวสั้น ส่วนในแบบ Sawtooth เป็นแบบที่ให้แสงสว่างได้ดีโดยการหันช่องแสงไปทางทิศเหนือ แต่จะมีเสาเกาะอยู่ข้าง ในแบบ Quadrangular จะเป็นแบบที่ใช้งานในช่วงความยาวมากกว่า 100 ฟุตขึ้นไป

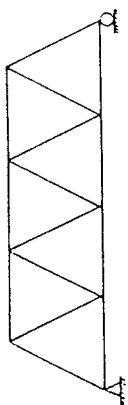
2.2.5 Bridge Truss (วินิต ช่อวิเชียร, 2528) ได้กล่าวไว้ว่า แบบต่างๆ ของโครงสะพานที่นิยมใช้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะมีอยู่ 4 แบบที่สำคัญ ส่วนแบบอื่นๆ ทางโครงสะพานได้ดัดแปลงมาจากแม่แบบทั้ง 4 แบบนี้ทั้งสิ้น โครงสะพานแบบแพรตต์ (Pratt) เป็นที่นิยมใช้มาก่อนแบบอื่นๆ แต่ปัจจุบันนิยมใช้สะพานแบบวอเรนชนิดที่มีส่วนตั้งด้วย (Warren with Vertical) ทั้งนี้เพราะการต่อต้องใช้หมุดยึด (Pin Connection) โครงสะพานแบบโฮว์ (Howe) ก็เป็นส่วนที่นิยมใช้กันมาก่อน โดยทำเป็นโครงสะพานไม้หรือร่วมกับเหล็กโครงสะพานแบบวอเรน (Warren) แท้ๆ ใช้กันมากในงานสะพานรถไฟ หรือสะพานถนนช่วงแคบชั่วคราว โครงสะพานแบบวอเรนชนิดที่มี



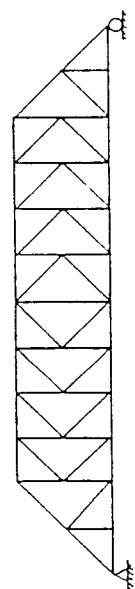
Pratt



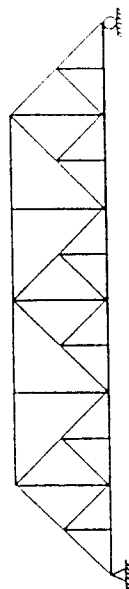
Howe



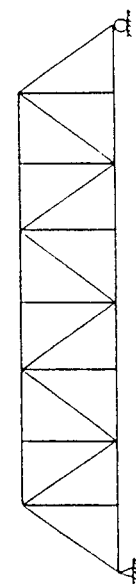
Warren



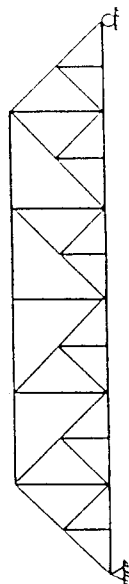
K-Truss



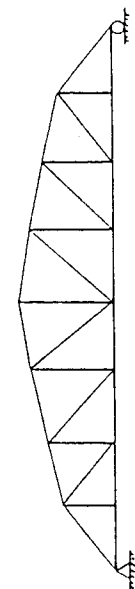
Sub-Divided Warren



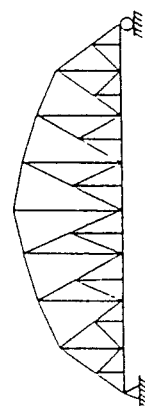
Warren with Vertical



Baltimore



Parker



Pettit of Pennsylvania

รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบโครงสะพานแบบต่างๆ

ส่วนนี้ยังเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน สำหรับสะพานที่ต่อด้วยหมุดยึด (Rivet Joint) โครงสะพานแบบต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นแบบที่คอร์ดบนและคอร์ดล่างขนานกัน ซึ่งเหมาะสำหรับช่วงยาวตั้งแต่ 60 ถึง 70 เมตร ถ้าช่วงยาวมากกว่านี้ก็นิยมใช้โครงสะพานแบบที่มีคอร์ดไม่ขนานกัน ซึ่งจะช่วยลดน้ำหนักของตัวโครงสร้างสะพานได้ เช่น โครงสะพานแบบปากเกอร์ (Parker) ใช้ได้กับช่วงยาวถึง 120 เมตร ความลึกระหว่างคอร์ดของโครงสะพานจะเพิ่มมากขึ้นตามความยาวของช่วงสะพานทำให้ระยะของช่วง (Panel) ยาวขึ้น และน้ำหนักของระบบพื้นมากขึ้น ฉะนั้นจึงนิยมใช้โครงสะพานแบบแบ่งชิ้นส่วน (Subdivided Warren) ทั้งนี้เพื่อลดน้ำหนักของระบบพื้นให้น้อยลง และอยู่ในพิสัยกำหนด โครงสะพานแบบบัลติมอร์ (Baltimore) นิยมใช้ในสะพานที่มีช่วงปานกลาง โครงสะพานแบบวอเรนที่แบ่งชิ้นส่วน (Subdivided) เหมาะสำหรับใช้ในช่วงสะพานปานกลาง ระยะของช่วงสั้นๆ โครงสะพานแบบเพตตีที่มีคอร์ดไม่ขนานกันและแบ่งชิ้นส่วน เรียกชื่อใหม่ว่าแบบเพตตี (Petit) หรือแบบเพนซิลวาเนีย (Pennsylvania) เหมาะสำหรับโครงสะพานช่วงยาวที่มีความลึกระหว่างคอร์ดมาก โครงสะพานแบบ เค (K Truss) เป็นโครงสะพานแบบแบ่งชิ้นส่วนแบบใหม่ มีทั้งชนิดที่คอร์ดของโครงสะพานขนานกันและไม่ขนานกัน แต่ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก

2.3 การวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อหมุน

2.3.1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุน

ในโครงสร้างหรือโครงข้อหมุนสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบดีเทอร์มิเนท (Determinate) และแบบอินดีเทอร์มิเนท (Indeterminate) ในแบบดีเทอร์มิเนทนั้นสามารถวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาแรงทั้งภายในและภายนอกได้โดยการใช้สมการของการสมดุล ส่วนในแบบอินดีเทอร์มิเนทจะไม่สามารถวิเคราะห์เพื่อหาแรงปฏิกิริยาทั้งภายในและภายนอก โดยการใช้สมการของการสมดุลได้ตามลำพัง สมการความสัมพันธ์ที่จะบอกได้ว่าโครงข้อหมุนนั้นเป็นแบบดีเทอร์มิเนทคือ

$$n = 2j - R$$

n = จำนวนของชิ้นส่วน

j = จำนวนจุดต่อ

R = จำนวนแรงปฏิกิริยา

โครงข้อหมุนใดที่มีจำนวนชิ้นส่วนมากกว่า $(2j - R)$ แสดงว่าโครงข้อหมุนนั้นเป็นแบบอินดีเทอร์มิเนท ถ้าโครงข้อหมุนใดที่มีจำนวนชิ้นส่วนน้อยกว่า $(2j - R)$ แสดงว่าโครงข้อหมุนนั้นไม่มีเสถียรภาพในการรับน้ำหนัก (Unstable) (วินิต ช่อวิเชียร, 2528)

สมมุติฐานและหลักการคำนวณหาแรงภายในโครงข้อหมุน (Norris, 1976) ได้กล่าวว่าในการคำนวณหาแรงภายในโครงข้อหมุนได้มีการตั้งสมมุติฐานไว้ดังนี้

1. จุดต่อของโครงข้อหมุน จะต่อชิ้นส่วนเข้าด้วยกันโดยไม่มีแรงเสียดทาน
2. น้ำหนักที่มากกระทำหรือแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะกระทำที่จุดต่อเท่านั้น
3. เส้นที่ลากผ่านศูนย์ถ่วงของแต่ละชิ้นส่วน จะต้องพบกันที่จุดต่อเสมอ และชิ้นส่วนทุกชิ้น

อยู่ในแนวเส้นตรง

4. น้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วนมีค่าน้อยจนละทิ้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับแรงอื่นๆ ที่มากกระทำ ส่วนหลักการสำคัญที่ใช้ในการคำนวณหาแรงภายในโครงข้อหมุนสามารถสรุปได้ดังนี้ (วินิต ช่อวิเชียร, 2528)

1. แรงหรือน้ำหนักภายนอกและแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนโครงข้อหมุน ต้องอยู่ในสถานะสมดุล

2. แรงดึงหรือแรงอัดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงข้อหมุน จะต้องพบกันที่จุดต่อ ซึ่งอาจเป็นจุดที่มีแรงหรือน้ำหนักภายนอกกระทำอยู่ด้วย เมื่อแรงต่างๆ เหล่านี้ที่มาพบกันที่จุดหนึ่งๆ จะต้องอยู่ในสถานะสมดุล

3. ชิ้นส่วนใดๆ สามารถแทนได้ด้วยแรง 2 แรง ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน และกระทำที่ปลายทั้งสองของชิ้นส่วนนั้น

4. ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข้อหมุนที่นำมาพิจารณา จะต้องอยู่ในสถานะสมดุล ด้วยแรงหรือน้ำหนักบรรทุกภายนอกที่กระทำ ณ จุดต่อ

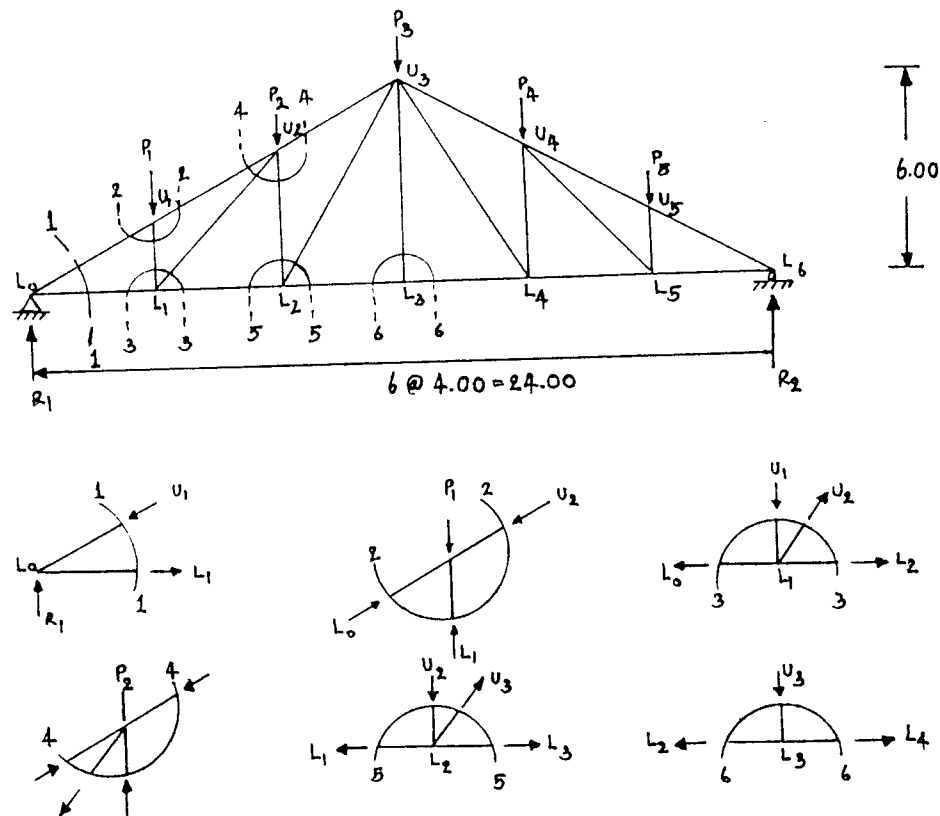
การวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนสามารถแบ่งวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การวิเคราะห์โครงข้อหมุนที่เป็นแบบดีเทอร์มิเนท (Determinate)

การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบนี้สามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงสถิตศาสตร์ คือ มีจำนวนแรงที่ไม่รู้ค่าเท่ากับจำนวนสมการของความสมดุล (เชิงสถิต) ของแรงพอดี ในการวิเคราะห์โครงข้อหมุนดังกล่าว แบ่งออกได้ดังนี้

ก. วิธีตัดครุโปรบข้อต่อ (Method of Joint) มีขั้นตอนโดยเริ่มจากการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับโดยใช้สมการของการสมดุล แล้วพิจารณาตัดครุโปรบจุดต่อแต่ละจุดด้วยการใช้สมการสมดุล ($\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$) ในการพิจารณาควรเริ่มจากจุดต่อที่ไม่รู้ค่า 2 ตัวด้านซ้ายมือก่อน แล้วจึง

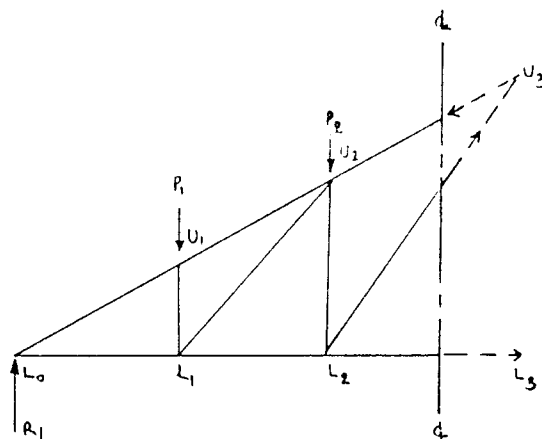
พิจารณาต่อไปเขียนขนาดและทิศทางของแรงลงบนชิ้นส่วน โดยที่แรงมีทิศทางเข้าสู่จุดต่อเป็นแรงอัด มีเครื่องหมายเป็นลบ แรงที่พุ่งออกเป็นแรงดึง มีเครื่องหมายเป็นบวก ดังแสดงในรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงแรงปฏิกิริยาและแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน ด้วยวิธีตัดรูปรอบข้อต่อ

ข. วิธีตัดรูปตัด (Method Section)

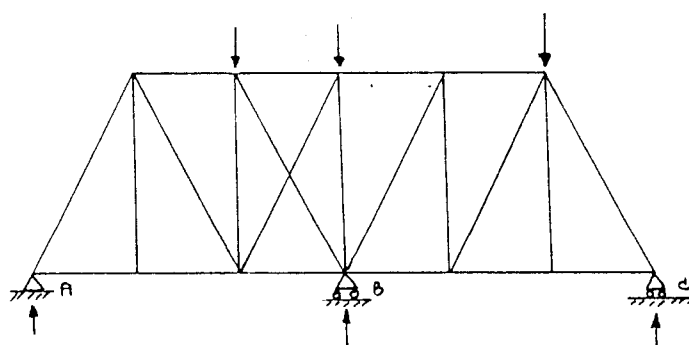
เป็นวิธีการคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน โดยสมมติว่าโครงข้อหมุนนั้น ถูกตัดด้วยระนาบใดระนาบหนึ่ง ผ่านชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหน้าตัดโครงข้อหมุนจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนอยู่ในสภาวะสมดุลด้วยแรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกและแรงภายใน ระนาบที่เลือกตัดผ่านจะต้องเลือกตัดผ่านชิ้นส่วนที่ยังไม่รู้ค่าแรงภายในไม่เกิน 3 ชิ้น เพราะสมการสมดุลมีเพียง 3 สมการ คือ $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M = 0$ เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการตัดรูปเพื่อใช้ในการคำนวณด้วยวิธีตัดรูปโครงข้อหมุน

2. การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบอินดีเทอร์มิเนท (Indeterminate)

เป็นโครงสร้างที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการใช้สมการของการสมดุลตามลำพัง เพราะมีจำนวนแรงปฏิกิริยาทั้งภายในหรือภายนอกมากกว่าจำนวนสมการของการสมดุล อย่างเช่น ดังรูปที่ 2.9



จำนวนแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับเกินมา = 1

จำนวนชิ้นส่วนเกินมา = 1

รูปที่ 2.9 แสดงโครงข้อหมุนแบบอินดีเทอร์มิเนท ทั้งภายในและภายนอก

ในการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบนี้ จะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์หลายขั้นตอน และหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธี Superposition หรือเรียกอีกอย่างว่าวิธี Consistent Deformation วิธี Least Work ส่วนการโค้งตัวของโครงข้อหมุนหาได้ด้วยวิธี Vertical Work วิธีของ Castigliano และวิธีของ

Williot - Mohr เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์ต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าการแก้สมการหลายชั้น (Simultaneous) ทั้งนั้น ยิ่งถ้าโครงข้อหมุนนั้นๆ มีคิริของอินดีเทอร์มิเนทสูงๆ หรือมีแรงภายนอกกระทำหลายๆ จุดแล้ว การแก้สมการดังกล่าวก็ยิ่งจะมีความยุ่งยากมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การทำงานลดขั้นตอนและการแก้สมการง่ายขึ้น จึงอาศัยวิธีของเมทริกซ์ (Matrix) และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย ในการวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์นี้ ก็สามารถวิเคราะห์โครงข้อหมุนได้ในแบบ Force Method หรือแบบ Flexibility กับแบบ Displacement Method หรือ Stiffness Method นั่นเอง

2.3.2 การออกแบบโครงข้อหมุน

ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่า โครงข้อหมุนนั้นเป็นโครงสร้างที่รับแรงกระทำได้เฉพาะในแนวแกนหรือในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน ดังนั้นจึงมีแรงกระทำที่เป็นแรงดึงและแรงอัดเท่านั้น

1. การออกแบบรับแรงดึง

จากข้อกำหนดของ AISC (American Institute of Steel Construction) หัวข้อ 1.5.1.1 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

$$F_t = 0.6F_y \text{ ยกเว้นที่รูหมุด (Pin Hole)}$$

$$F_t = 0.45F_y \text{ สำหรับที่รูหมุด, ตาไก่ (Eye Bars)}$$

และเพื่อป้องกันการตกท้องช้าง (Sag) การสั่นสะเทือน (Vibration) หรือการแกว่งทางด้านข้าง (Lateral Movement) ขององค์อาคารคึงอัตราส่วนความขลุ (Slenderness Ratio, L/r) จะต้องถูกจำกัดตามข้อกำหนดของ AISC หัวข้อ 1.8.4 (รังมี นันทสาร, 2533)

$$\text{องค์อาคารหลัก (Main Member)} \quad L/r < 240$$

$$\text{องค์อาคารรอง (Secondary Member)} \quad L/r < 300$$

เมื่อ

$$L = \text{ความยาวขององค์อาคารคึง}$$

$$r = \text{รัศมีจเรชันของพื้นที่หน้าตัด}$$

2. การออกแบบรับแรงอัด

(รังมี นันทสาร, 2533) ได้กล่าวว่า หน่วยแรงอัดที่ยอมให้โดยข้อกำหนดของ AISC หัวข้อ 1.5.1.3 จะแยกออกได้ 2 ลักษณะ คือในองค์อาคารรับแรงอัดหลักและองค์อาคารรับแรงอัดรอง

ในองค์อาคารรับแรงอัดหลัก ถ้าอัตราส่วนความขลุ (KL/r) มีค่าน้อยกว่า λ_c แล้ว

$$F_a = \frac{F_y \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{\lambda_c} \right)^2 \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{\lambda_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{\lambda_c} \right)^3} \quad (2.1)$$

แต่ถ้าอัตราส่วนความขลุค (KL/r) มีค่ามากกว่า λ_c แล้ว

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23 (KL/r)^2} = \frac{10.51 \times 10^6}{(KL/r)^2} \quad (2.2)$$

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

สำหรับองค์อาคารอัด อัตราส่วนความขลุค (Slenderness Ratio, L/r) จะต้องไม่เกินข้อจำกัดดังนี้

$$L/r < 200$$

เมื่อ

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้, กก./ตร.ซม.

F_y = หน่วยแรงคลากต่ำสุด, กก./ตร.ซม.

E = โมดูลัสความยืดหยุ่น = 2.04×10^6 , กก./ตร.ซม.

K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล = 1 (Hinge)

L = ความยาวขององค์อาคารอัด

r = รัศมีจําเริญของหน้าตัด

ในองค์อาคารรับแรงอัดรองและค้ำยันที่มีอัตราส่วนความขลุค (KL/r) เกินกว่า 120 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้มีค่า

$$F_a = \frac{F_a \text{ (จากสมการ 2.1 หรือ 2.2)}}{1.6 - \left(\frac{L}{200r} \right)}$$

3. ค่าการโก่งตัว

ค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ตามข้อกำหนดของ AISC คือ

$$\Delta < \frac{L}{360}$$

L = ความยาวของโครงข้อหมุน ($\zeta - \zeta$)

2.4 โปรแกรม Microfeap II P1-Module Release 3.2

โปรแกรม Microfeap II P1-Module Release 3.2 ได้ถูกผลิตและพัฒนาโดยสถาบัน Asian Institute of Technology เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างมากโปรแกรมหนึ่ง เพราะมีความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ หรือเป็นระนาบประเภทโครงข้อหมุน (Truss) โครงข้อแข็ง (Frame) ผนัง (Wall)

โปรแกรมดังกล่าวนี้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. An IBM-PC/XT/AT System ที่มี Memory อย่างน้อย 256 K
2. Disk Drive หรือ Hard Disk
3. จอภาพ CGA, EGA, VGA
4. เครื่องพิมพ์ Dot Matrix
5. ใช้กับ Dos Version 3.1 ขึ้นไป

วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม Microfeap II P1-Module Release 3.2 นี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์โดยไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีขั้นตอนการจำลองโครงสร้างดังนี้

1. จำลองโครงสร้างขึ้นมา และเลือกที่จะวิเคราะห์โครงสร้างนั้นเป็นแบบโครงข้อหมุน, โครงข้อแข็งหรือแบบผนัง ซึ่งการเลือกชนิดที่ถูกต้องจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องตามทฤษฎีมากยิ่งขึ้น
2. กำหนดโครงข่ายของระบบโครงสร้างเป็นพิกัดหรือตำแหน่ง พร้อมทั้งการเชื่อมโยงของชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นมาเป็นโครงสร้างไปยังพิกัดต่างๆ ที่กำหนดขึ้น
3. กำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันเป็นโครงสร้าง
4. กำหนดสภาพของจุดรองรับว่าเป็นแบบใด
5. กำหนดชนิดน้ำหนักที่กระทำ และทิศทางบนโครงสร้างในแต่ละกรณี
6. วิเคราะห์ผลและแสดงผลที่ได้ พร้อมทั้งจะนำไปออกแบบ