บทที่ 4

โครงสร้างแบบโครงถัก (TRUSS)

4.1 รูปแบบ ลักษณะของโครงสร้าง[1]

โครงสร้างแบบโครงประกอบขึ้นจากท่อนซึ่งรับแรงโดยตรง จัดเป็นโครงประกอบต่อยึดติดเป็นรูปสามเหลี่ยมหลายรูปอยู่ในระนาบเดียวกัน น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายทอดลงบนโครงแบบนี้มักจัดให้ลงตรงจุดที่เป็นมุมของรูปสามเหลี่ยม (Panel point) ตรงปลายที่ท่อนรับน้ำหนักพบกัน แล้วจัดให้ปลายทั้งสองข้างของโครงสร้างแบบโครงนี้พาดบนจุดรองรับ ถ่ายน้ำหนักจากโครงลงทางดิ่งที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งดังกล่าวแล้ว หรือทั้งสองปลายก็ได้ และควรจัดให้เลื่อนตัวทางนอนได้ เพื่อป้องกันแรงที่อาจเกิดขึ้นใหม่เนื่องจากการยืดหดขยายตัวของโครงสร้าง

อันดับของโครงสร้างแบบโครง จัดเรียงตามประสิทธิภาพของการถ่ายทอดน้ำหนักลงบนจุดรองรับ เป็นการประหยัดวัสดุประกอบโครงมากที่สุด เมื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกเท่าๆกัน และพาดช่วงกว้างเท่าๆกัน จัดได้ดังนี้

1) โครงรูปคันธนู (Bowstring truss)
2) โครงรูปจั่วปลายยอด (Pitched truss)
3) โครงรูปแบนตั้ง (Flat truss)

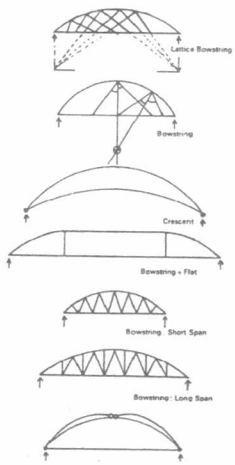
โครงรูปคันธนู (Bowstring truss)

รูปแบบของโครงสร้างแบบนี้จะประหยัดที่สุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างรูปแบบอื่นๆ ในกรณีที่รับน้ำหนักที่ถ่ายลงมาสม่ำเสมอตลอดแนวเป็นปริมาณมาก ความโค้งของชิ้นส่วนโครงสร้างชิ้นบนจะได้จากรูปทรงของเส้นพาราโบลา จะรับน้ำหนักได้เต็มความสามารถของโครงสร้างมากที่สุด เพราะน้ำหนักถ่ายทอดลงท่อนโค้ง และขื่อตัวดึง และตัวยึดอย่างตรงไปตรงมา หน้าตัดของท่อนโค้งจะรับกันอย่างตรงไปตรงมา หน้าตัดของท่อนโค้งจะรับเฉพาะแรงอัดเท่านั้นจะไม่เกิดแรงดัด ไม่ต้องใส่ตัวตั้งเลยเพื่อช่วยในการรับแรงดัด แต่โครงส่วนมากยังรับแรง หรือน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ถ่วงเท่าๆกันตลอดเหมือนดังกล่าว อาจต้องรับน้ำหนักจร น้ำหนักแรงลม น้ำหนักคนขึ้นไปข้างบนจึงต้องใส่ตัวตั้งเข้าไว้เพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

---

[1] เฉลิม สุจริต, วัสดุการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2516), หน้า 27-34.

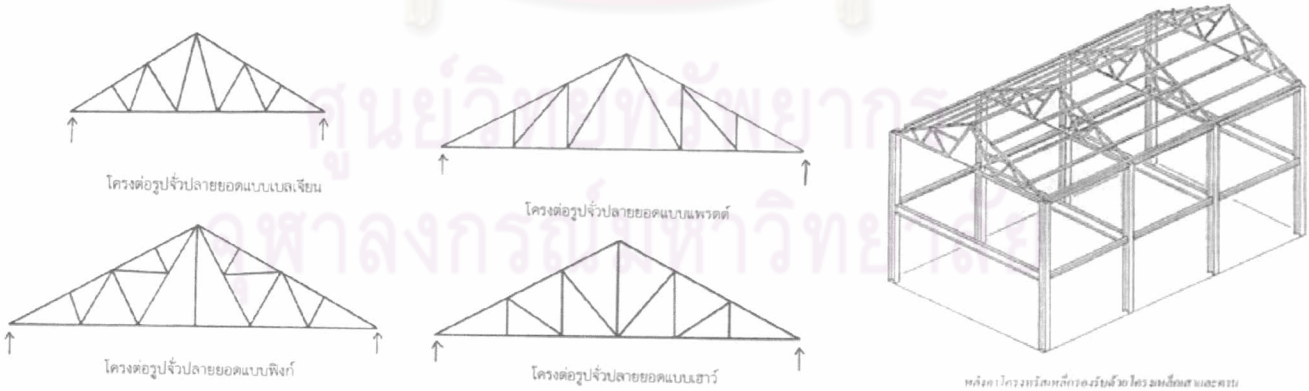
ตามช่วงความกว้างที่เคยทำการก่อสร้างมาแล้ว ความประหยัดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ วิธีการบรรทุกน้ำหนัก ความยาวที่หาได้ การทำรอยต่อและวิธีการประกอบเป็นตัวโครง ช่วงกว้างมากถึง 75.00 เมตร สามารถทำได้โดยใช้วัสดุที่หาง่ายในตลาด อัตราส่วนระหว่างความลึกของโครงกับช่วงยาวของโครงควรอยู่ระหว่าง 1: 6 – 8



ภาพที่ 4.1 แสดงรูปโครงต่อรูปคันธนูแบบวอร์เรน

โครงรูปจั่วปลายยอด (Pitched truss)

โครงแบบนี้มีข้อดี คือ ส่วนหนึ่งของน้ำหนักบรรทุกที่พาดอยู่บนโครง ถ่ายทอดลงบนจุดรองรับโดยตรง เลือกใช้เครื่องมุงหลังคาง่าย ใช้พาดช่วงยาวปานกลาง ท่อนบนของโครงใช้ท่อนรูปตรงธรรมดา วิธีสร้างประกอบง่ายแต่ต้องมีตัวตั้งค้ำยัน การติดตั้งกับโครงรองรับทำได้ง่าย ความกว้างของช่วงพาดได้ถึง 24.00 เมตร ระยะห่างระหว่าง โครงประมาณ 4.50 ถึง 6.00 เมตร อัตราส่วนระหว่างความลึกของโครงกับความยาวช่วง ใช้ประมาณ1 : 5 – 7

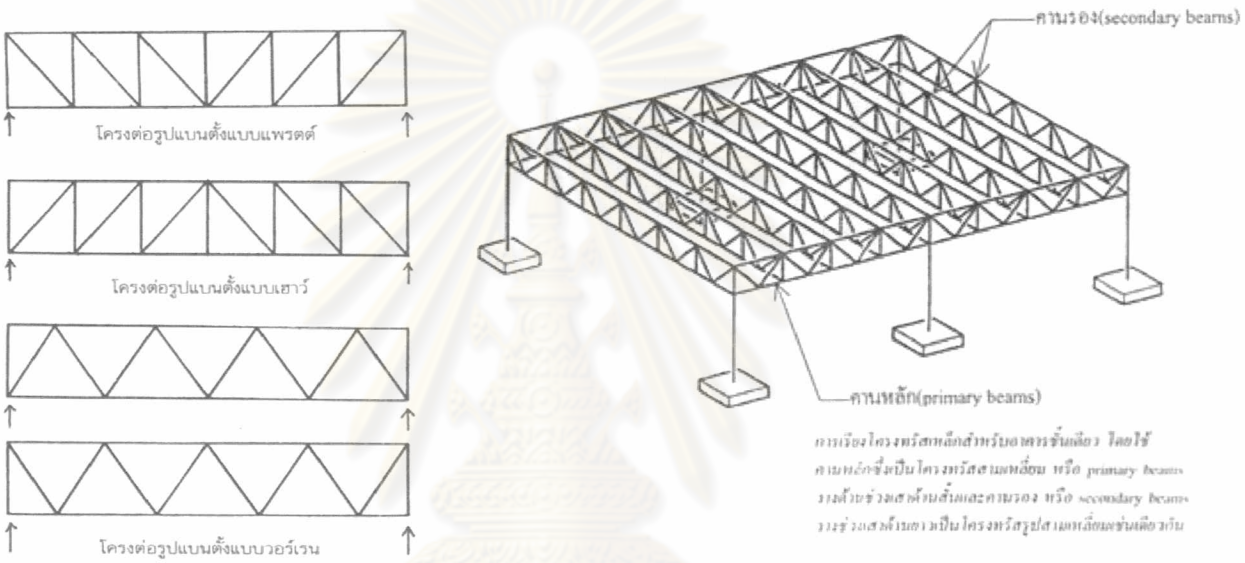


ภาพที่ 4.2 แสดงรูปโครงต่อรูปจั่วปลายยอด

โครงรูปแบนตั้ง (Flat truss)

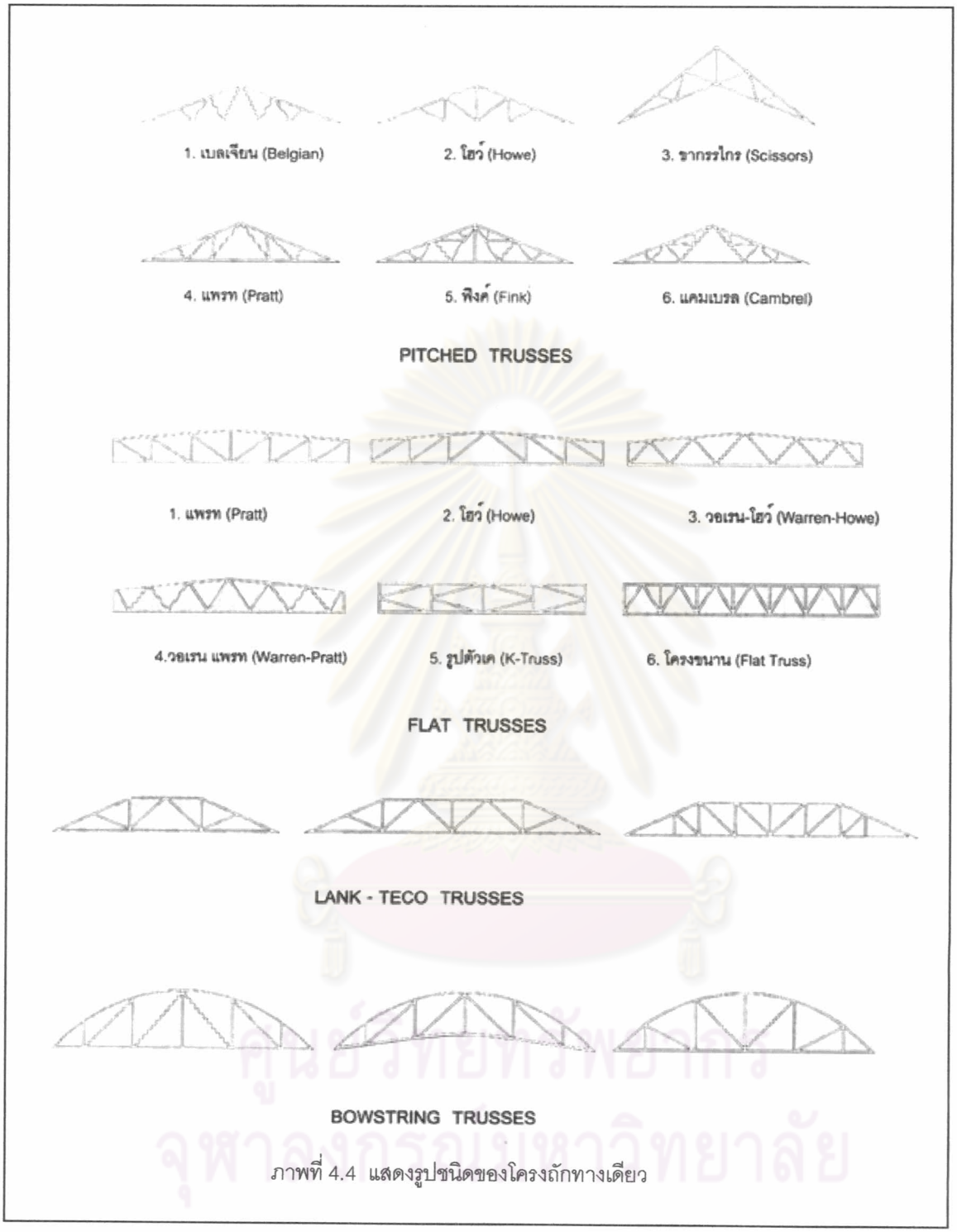
ประสิทธิภาพ และความประหยัดของโครงด้อยกว่าโครงทั้งสองชนิดที่กล่าวแล้ว ข้อดีก็คือเหมาะสำหรับใช้เป็นโครงพื้น โครงหลังคาดาดฟ้าขึ้นไปใช้งานข้างบน การค้ำยันกับเสารองรับทำได้

ง่ายมาก เพราะท่อนบน และท่อนล่างของโครงอยู่ติดขนานกับตัวเสาแล้ว การเดินท่ออุปกรณ์อาคารขนาดใหญ่ทำได้ตลอดทั่วบริเวณในความลึกของโครง เมื่อโครงมีความลึกมาก ใช้เนื้อที่ในโครงเป็นห้องทำงานได้ แรงเกิดในตัวตั้งค้ำยันของโครงแบบนี้มากกว่าที่เกิดขึ้นในโครงสองชนิดที่กล่าวแล้ว การทำรอยต่อยุ่งยากสิ้นเปลืองมากกว่า ต้องทำความลาดเล็กน้อยพอให้น้ำไหลได้ง่าย ควรใช้ความลาด 1 : 50 เมื่อใช้สร้างเป็นดาดฟ้า ความกว้างของช่วงพาดได้ถึง 24.00 เมตร อัตราส่วนของโครงใช้ความลึกต่อความยาวช่วงประมาณ 1 : 8 – 10



ภาพที่ 4.3 แสดงรูปโครงต่อรูปแบนตั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.4 แสดงรูปชนิดของโครงถักทางเดียว

4.2 การถ่ายแรงภายในโครงสร้าง และพฤติกรรมของโครงสร้างที่เกิดขึ้น

ช่วงหลังคายิ่งกว้างมาก ความลึกของโครงสร้างหลังคาก็ยิ่งมากขึ้น ในกรณีที่ใช้โครงสร้างแบบโครง (Truss) ซึ่งจะเป็นแบบจั่วปลายยอด (Pitch) หรือแบบแบนตั้ง (Flat) ก็ตาม ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปพวกที่ตั้งยึด (Web system) มักใส่เพื่อช่วยในการแบ่งความยาวของท่อนบนรับแรงอัด เพื่อให้

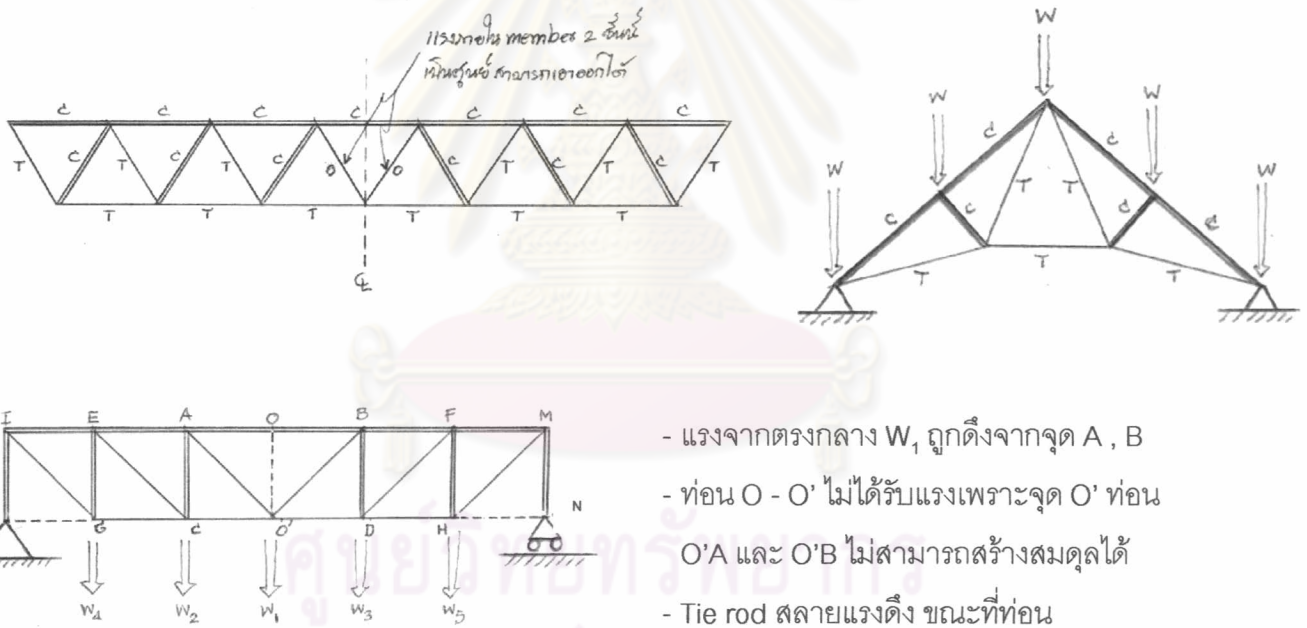
หัวต่อของแผงทั้ง 3 เหลี่ยมเป็นที่วางตัวรับจันทัน (Purlin) และอาจวางตัวดึงกันตก (Sag tie) เพื่อช่วยตัวดึง (tie) ไม่ให้ตกท้องช้าง หรือแอ่นตัวลงมามาก

จะเห็นได้ว่าท่อนบนมักแบ่งเป็นช่วงเท่าๆกัน และความยาวไม่มากเท่าท่อนล่าง (Bottom chord) ซึ่งรับแรงดึง (Tension) อาจใช้หน้าตัดเล็กกว่าได้เพราะไม่เกิดแรงโก่งเดาะ (Buckling) เพราะแรงดึงทำให้ตึงตัวตลอดเวลา

เมื่อช่วงมากกว่า 30.00 เมตร โครงหลังคาอาจต้องเป็นรูปโครงคันธนู หรือรูปโค้งพระจันทร์เสี้ยว (Crescent) ซึ่งอาจเป็นแบบมีจุดขยับตัว 2 จุด หรือโค้งมีจุดขยับตัว 3 จุด

ในโครงต่อรูปแบนตั้ง (Flat truss) เนื่องจากแรงเฉือน (Shearing force) ทำให้เกิดแรงดึงในทิศทางทแยงเอียงลงจากปลายโครง และพุ่งเข้าหาจุดกึ่งกลางความยาวช่วง ดังนั้น ตัวค้ำ ตัวยึด (Bracing bars) ซึ่งอาจจะใช้ต้านแรงเฉือนดังกล่าวนี้ ก็ควรใช้วัสดุให้เหมาะกับแรงที่เกิดเป็นแรงดึงหรือแรงอัดก็ได้ แล้วแต่กรณี

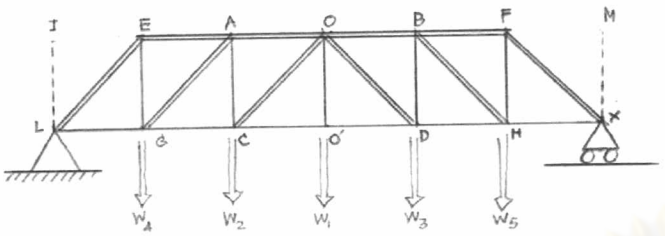
การถ่ายแรงภายในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของโครงสร้าง สามารถดูได้จากภาพประกอบต่อไปนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงรูปการถ่ายแรงภายในโครงสร้าง

- แรงจากตรงกลาง W_1 ถูกดึงจากจุด A , B
- ท่อน O - O' ไม่ได้รับแรงเพราะจุด O' ท่อน O'A และ O'B ไม่สามารถสร้างสมดุลได้
- Tie rod สลายแรงดึง ขณะที่ท่อน Compression AC และ BD สลายแรงทางดิ่งที่ A และ B

- ท่อน CE ถ่ายน้ำหนัก W_2 ไปยังจุด E และทำให้ท่อน CO รับแรงดึง
- ท่อน Compression EA สลายแรงดันที่ E และถ่ายแรงสู่จุด E
- ระบบถ่ายน้ำหนักนี้ต่อเนื่องไปจนกระทั่งท่อน IL และ MN รับน้ำหนักของ Truss ทั้งหมดไปยังจุด L และ N



ภาพที่ 4.6 แสดงรูปการถ่ายแรงภายในโครงสร้าง

- W_1 ถูกรับโดย O - O'
- O ถ่ายแรงไปยังจุด C,D ด้วย Compression
- จุด C,D ถ่ายแรงไปยัง A,B ด้วย Tension
- จุด A,B ถ่ายแรงไปยัง G,H ด้วย Compression
- ถ่ายต่อไปเรื่อยๆ ถึงจุด L , X
- ท่อน IL , MX , IE และ FM ไม่จำเป็นต้องมี

4.3 ชิ้นส่วน และรอยต่อของโครงสร้าง[2] จะประกอบด้วย

1) *โครงถัก* (truss) เหล็กรูปพรรณโครงสร้างแทบทุกชนิดสามารถนำมาประกอบเป็นโครงถักได้ เช่น เหล็กตัดมาตรฐาน (เหล็กปีกกว้าง คานรูปตัวไอ เหล็กรูปรางน้ำ ฯลฯ) ใช้กับโครงถักขนาดใหญ่ที่รับน้ำหนักมาก ส่วนเหล็กฉาก เหล็กท่อ และเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold formed steel) รูปตัดที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด มักนิยมใช้ทำเป็นโครงหลังคาสำหรับอาคารขนาดกลาง หรืออาคารทั่วๆไปมากกว่า
2) *โครงยึดรั้ง* (Bracing) สำหรับโครงสร้างที่พาดช่วง หรือโครงสร้างที่ประกอบจากรูปตัดเหล็กขนาดเล็ก จำเป็นต้องใช้โครงยึดยัน (Bracing) เพื่อช่วยให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ การยึดยันโครงสร้างมีหลายรูปแบบ เช่น
   2.1) *โครงยึดยันทางราบ* (Horizontal bracing) ปกติจะวางอยู่ในตำแหน่งสันหลังคา (อกไก่) และในแนวเสาแถวนอก (เหนือคานอะเส ทั้ง 2 ด้าน) ช่วยยึดโครงถักแต่ละตัวซึ่งกันและกันไม่ให้พลิกคว่ำเมื่อมีแรงกระทำทางด้านข้าง สำหรับโครงหลังคาที่พาดช่วงกว้างมากๆ อาจมีโครงยึดยันทางแนวราบเพิ่มมากกว่าสองตำแหน่งที่กล่าวมาแล้วก็ได้ โครงยึดยันแต่ละตัวมักออกแบบให้เป็นโครงถักแบน (Flat truss) โดยมีขนาดเหล็กเล็กกว่า เนื่องจากไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุก แต่หน้าที่ยึดยันให้โครงหลังคามีเสถียรภาพเท่านั้น

---

[2] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, การก่อสร้างด้วยเหล็ก (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ อี. ที. พับลิชชิ่ง, 2542), หน้า 137-142.

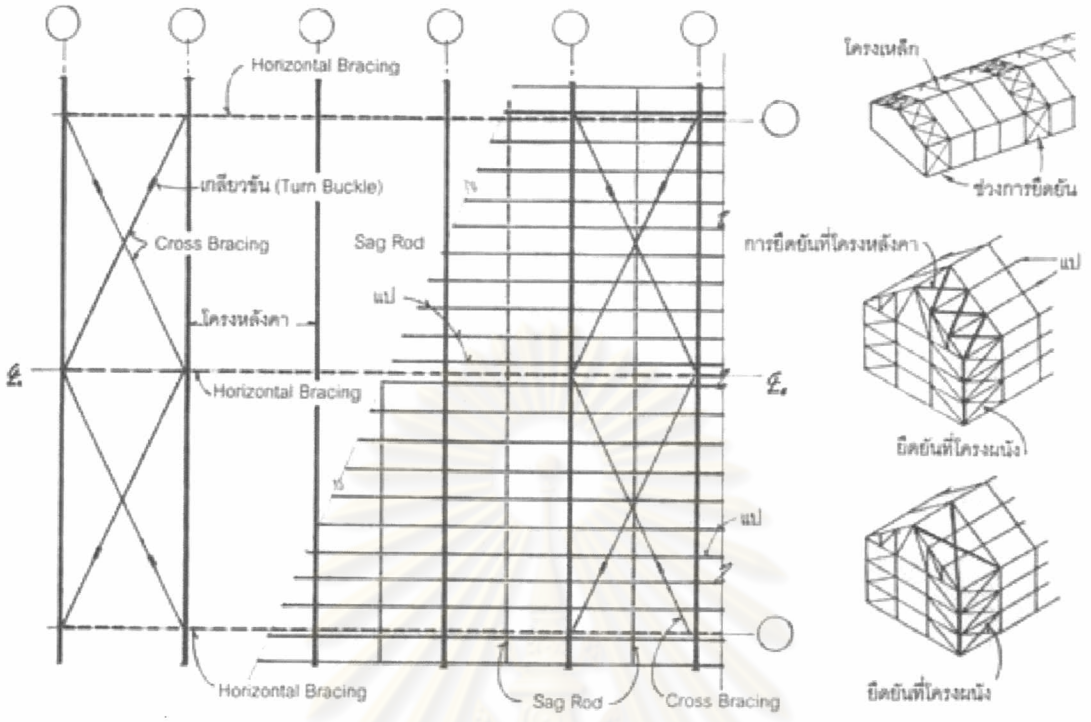
2.2) *โครงยึดยันรูปกากบาท* (Cross bracing) นิยมใช้เหล็กฉาก หรือ เหล็กเส้นซึ่งมีเกลียวขัน (Turn buckles) ยึดโครงถักเข้าด้วยกันเป็นรูปกากบาท ตำแหน่งของโครงยึดยันรูปกากบาทจะวางในลักษณะสมมาตรทั้ง 2 ทิศทาง เพื่อสร้างเสถียรภาพ

3) *แป* (Purlin) ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายแบบ เช่น

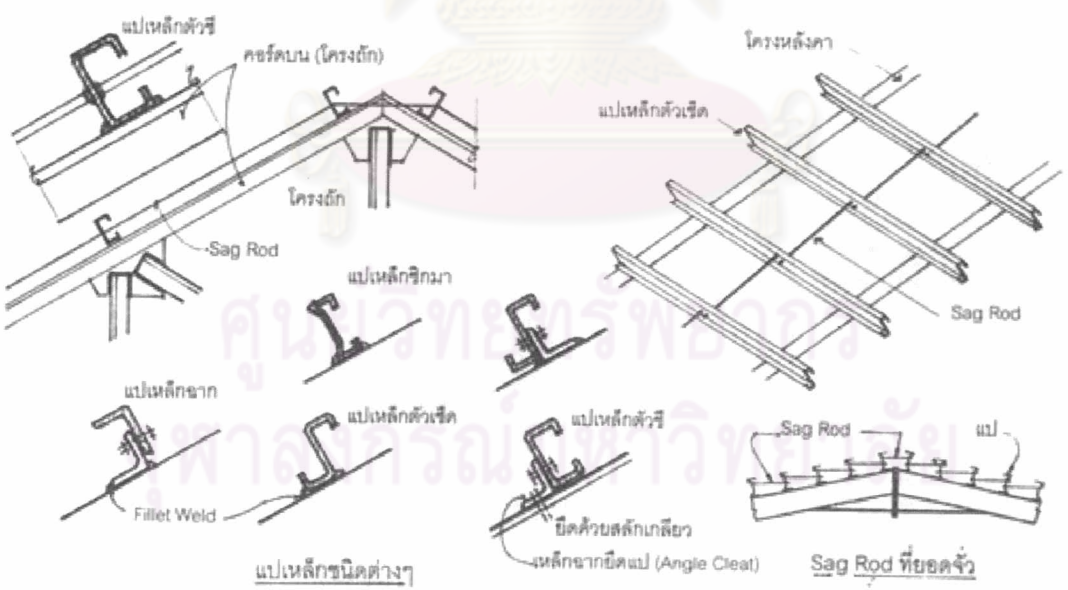
- แปเหล็ก อาจใช้เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กฉาก เหล็กรูปตัวซี รูปตัวแซ็ด หรือท่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า พาดช่วงประมาณ 3.00 ถึง 6.00 เมตร
- แปเหล็กถัก (Open web joist) ใช้พาดช่วงได้กว้างขึ้น

4) *ตัวยึดระหว่างแป* (Sag rod) ใช้ต้านทานแรงบิดที่เกิดขึ้นในแป นิยมใช้เหล็กเส้นร้อยยึดระหว่างแป (เชื่อม หรือใช้น๊อตขันเกลียวที่ปลาย) วางในแนวเดียวกันยาวต่อเนื่องจากแปตัวล่างสุดไปถึงสันหลังคาทั้ง 2 ด้าน แล้วยึดรวมเข้าด้วยกัน คือ ยึดแขวนแปทั้งสองด้านของจั่วในลักษณะสมดุล เพื่อไม่ให้แปพลิก แอ่น หรือโก่งทางด้านข้าง จำเป็นในกรณีที่แปมีขนาดเล็ก แต่ใช้ช่วงพาดกว้าง (โครงถักมีระยะห่างมาก) หรือ ในกรณีที่หลังคามีความชันมากแปเหล็กไลท์เกจจะปิดตัวและเสียรูปได้ง่าย เพราะมีรูปตัดที่บอบบาง และแนวแรงกระทำเยื้องศูนย์ ระบบโครงหลังคาแต่ละหลังอาจมีองค์ประกอบต่างๆครบถ้วน หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดและความสูงของโครงสร้าง ขนาดเหล็กที่ใช้ หรือ การออกแบบของวิศวกรโครงสร้าง ในโครงถักพาดช่วงกว้างมากๆ การแอ่นตัวของโครงสร้างเหล็กจะมีความแตกต่างกันมาก คือ ระดับหลังโครงหลังคาแต่ละตัวจะสูงไม่เท่ากัน การยึดแปติดกับหลังโครงถักแต่ละตัวจึงไม่ควรใช้วิธีการเชื่อมแปเหล็กติดโดยตรง ควรมีเหล็กฉาก (Angle clip) หรือยึดตัวแปเพื่อปรับระดับแปให้สูงเท่าๆกันก่อนการยึดถาวร ก็จะช่วยไม่ให้มีปัญหาในการมุงกระเบื้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

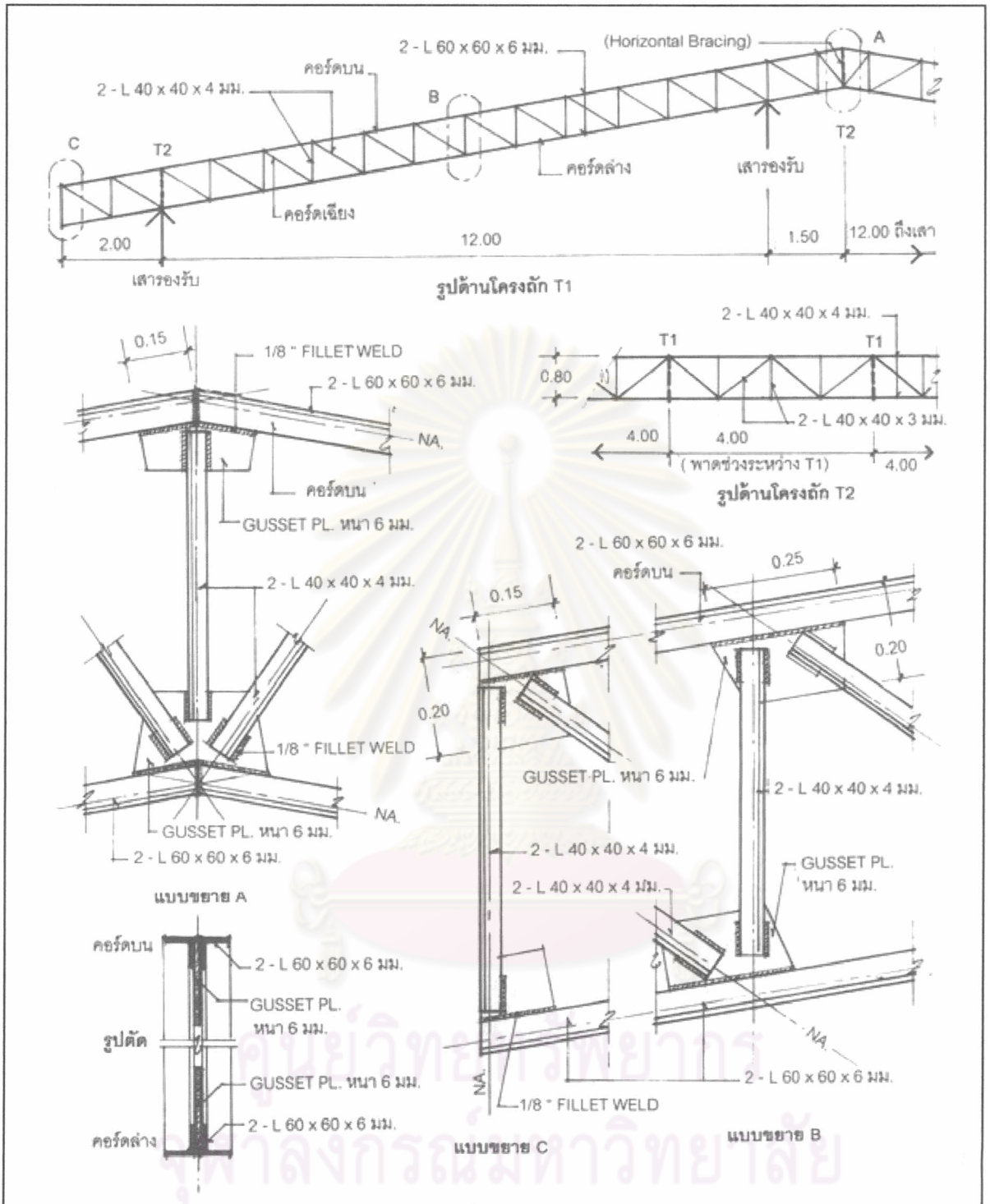


รูปที่ 4.16 ตัวอย่างผังโครงหลังคา แสดงตำแหน่งของการยึดยันรูปกากบาท (Cross Bracing) และ ตัวยึดแป (Sag Rod)



การยึดแปติดกับโครงหลังคา และ ตัวยึดแป (Sag rod) ช่วยไม่ให้แปบิด หรือโก่ง

ภาพที่ 4.7 แสดงการติดตั้งแปโครงสร้างเหล็ก

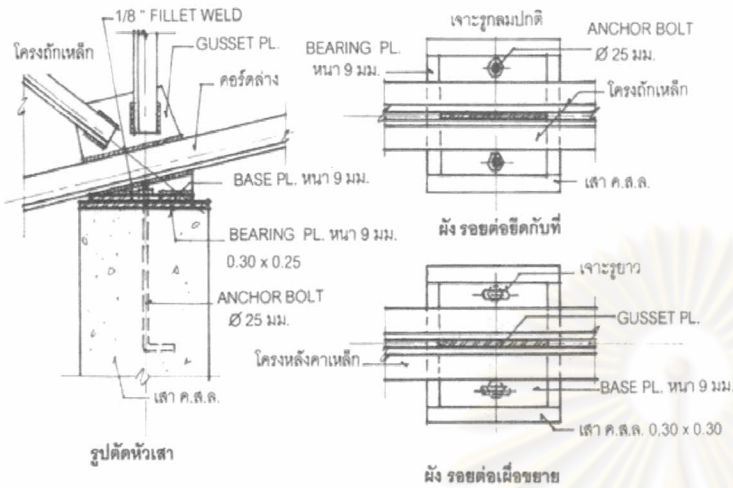


ภาพที่ 4.8 แสดงตัวอย่างเหล็กที่ใช้กับอาคารขนาดกลาง

รอยต่อระหว่างโครงหลังคากับเสา

โครงหลังคาเหล็กปกติจะวางอยู่บนหัวเสา หรือหลังคาน (ค.ส.ล. หรือเหล็ก) การทำรอยต่อจะใช้แผ่นเหล็กช่วยกระจายแรง (Bearing plate) ลงบนเสา หรือคาน โดยยึดติดกับโครงสร้างคอนกรีตด้วยสลักเกลียว (Anchor bolt) โครงถักที่จะวางบนแผ่นเหล็ก อาจมีแผ่น

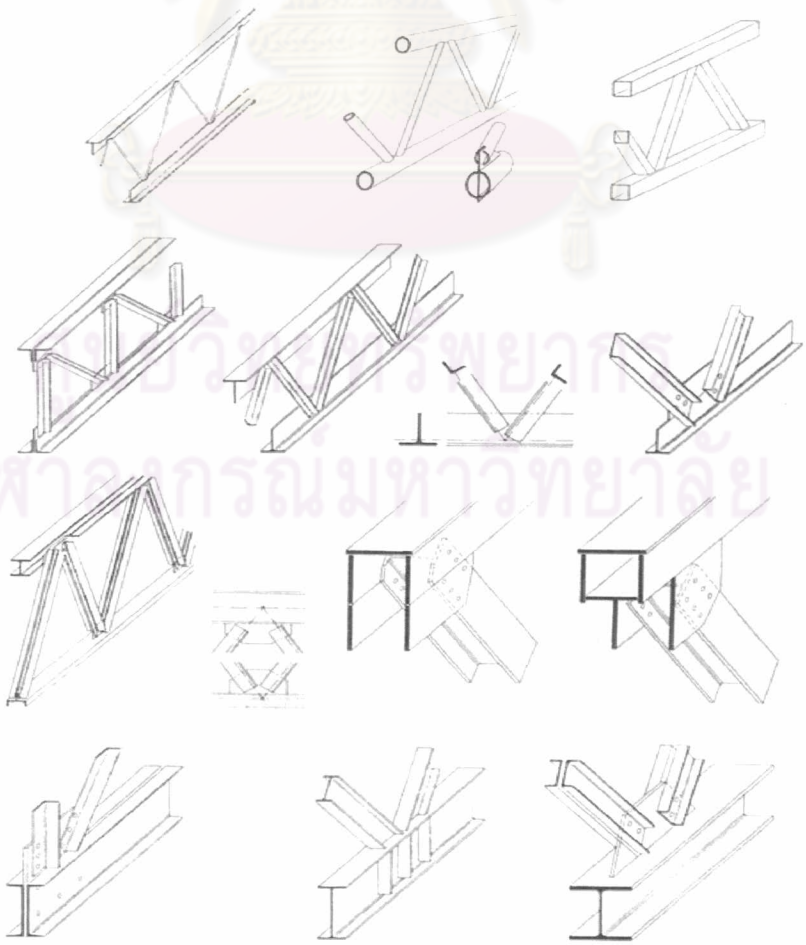
เหล็กอีกแผ่นเชื่อมติดกับโครงถักมาก่อน แล้วค่อยเชื่อม หรือ ยึดติดกันด้วยสลักเกลียวให้แข็งแรง ก็ได้



ภาพที่ 4.9 แสดงตัวอย่างรอยต่อแบบยึดแน่นกับแบบขยับตัวได้

ในกรณีที่โครงหลังคากว้างมาก วิศวกรมักออกแบบให้ปลายของโครงหลังคาด้านหนึ่งยึดติดกับที่(Fixed end) ปลายอีกด้านหนึ่งอิสระ (Free end) เพื่อให้ขยับตัวได้เมื่อโครงสร้างเหล็กมีการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ ที่จุดรองรับทั้งสองข้างจึงอาจมีรายละเอียดการทำรอยต่อที่แตกต่างกันตามการออกแบบของวิศวกร

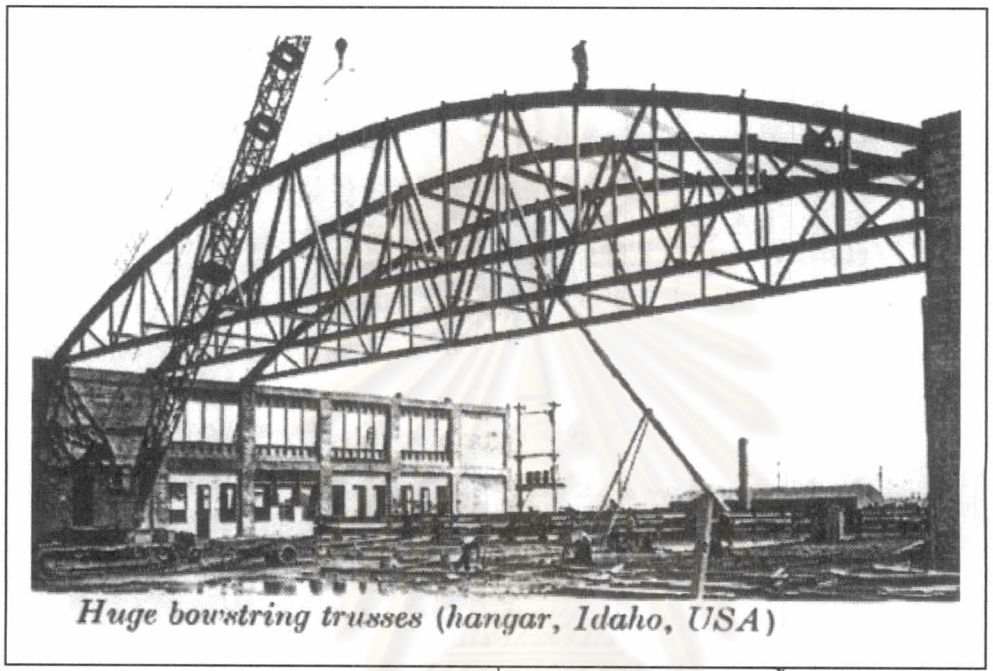
อาคารบางหลังโครงหลังคาอาจวางอยู่บนบ่ายื่นด้านข้างของเสา หรือ ของคานแทนที่จะวางไว้บนหัวเสา หรือ บนหลังคานตามปกติ ในทางปฏิบัติ การทำ



ภาพที่ 4.10 แสดงตัวอย่างการนำเหล็กชนิดตั้งมา ประกอบเป็นโครงถักทางเดียว

4.4 กรรมวิธีการติดตั้ง ก่อสร้าง

สำหรับการติดตั้งโครงถัก (Truss) เนื่องจากตัวโครงประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยจนมีขนาดใหญ่ การติดตั้งส่วนมากจะใช้เครน หรือ รถเครน ยกชิ้นส่วนที่ประกอบเสร็จแล้ว ยกขึ้นไปวางบน Support ที่เตรียมไว้

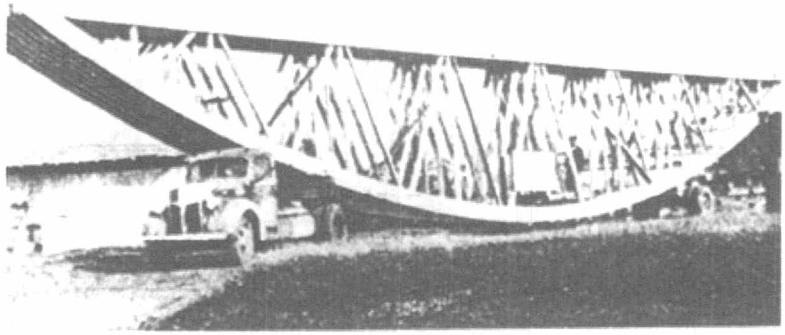


ภาพที่ 4.11 แสดงการยกโครงถักขึ้นจุดรองรับด้วยเครน

4.5 การขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้าง

ในการขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างมี 2 ลักษณะคือ

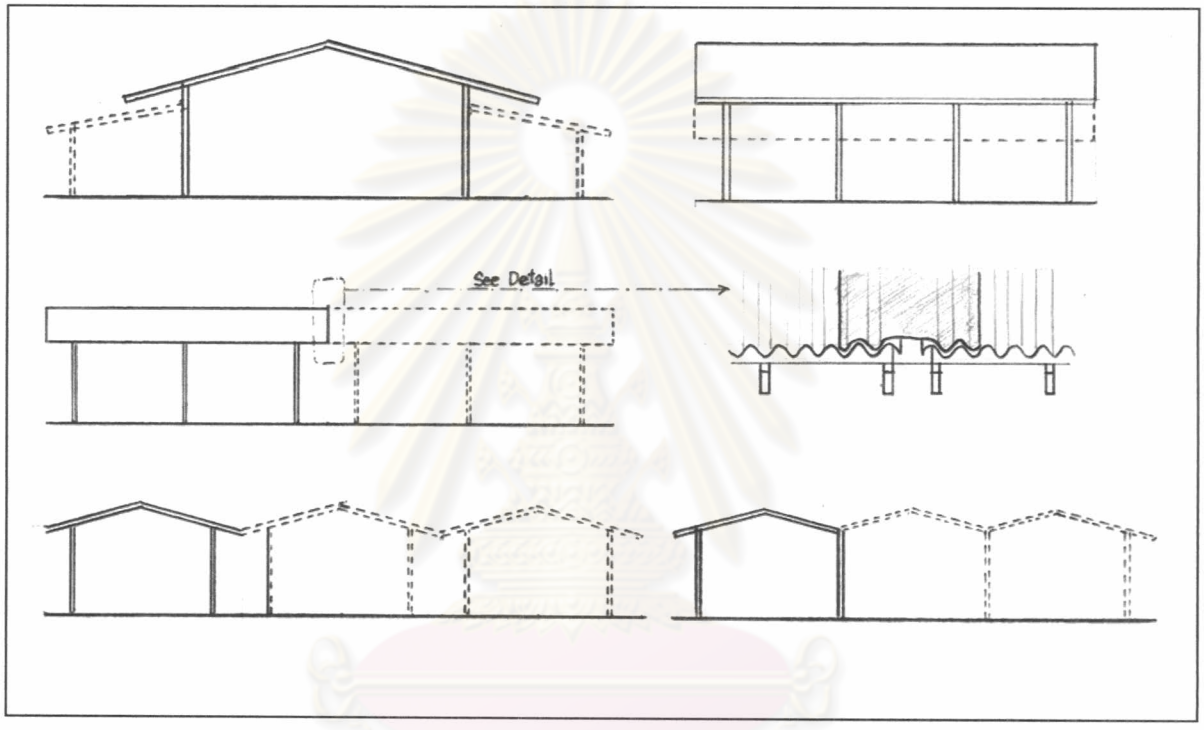
- ขนส่งเป็นชิ้นส่วนย่อยๆขนาดเล็ก แล้วนำมาประกอบ ในพื้นที่ก่อสร้าง
- ขนส่งโครงที่ประกอบเสร็จแล้ว โดยถ้าใช้วิธีการขนส่งแบบนี้ จะต้องคำนึงถึงสภาพที่ตั้งของโครงการว่า รถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ต้องการรัศมีในการเลี้ยวมากนั่น สามารถเข้าถึงได้หรือไม่



ภาพที่ 4.12 แสดงการขนย้ายโครงถักด้วยรถบรรทุก

4.6 การต่อเติมโครงสร้างในภายหลัง

โครงสร้างแบบโครงถัก(Truss) เป็นโครงสร้างหลังคาช่วงพาดกว้างที่สามารถทำการต่อเติมขยายขนาดพื้นที่ปกคลุมได้ง่ายที่สุด เนื่องจากโครงหลังคามีการถ่ายแรงไม่ซับซ้อนมาก และตัวโครงไม่ได้ทำหน้าที่รับแรงในลักษณะที่เป็นแผง เหมือนกับโครงสร้างจำพวก Space frame ทำให้โครงสร้างแบบโครงถัก(Truss) สามารถต่อเติม ขยายได้ โดยไม่เกิดการถ่ายแรง(แรงดัด,แรงบิด) ต่อเนื่องระหว่างโครงสร้างเก่า กับส่วนที่เพิ่มเติมเข้าไป



ภาพที่ 4.13 แสดงแนวทางที่สามารถต่อเติมโครงสร้างโครงในภายหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย