บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม

ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีเป้าหมายหลัก คือ ต้องการให้ผลงานมีคุณภาพดี ก่อสร้างได้รวดเร็วทันเวลาและมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างมาสู่ระบบอุตสาหกรรมคือการผลิตของที่ชนิดเดียวกันซ้ำๆ กันมากๆ ขึ้นก็จะยิ่งทำให้ต้นทุนต่อชิ้น หรือต่อหน่วยลดลง การผลิตก็คุมคุณภาพได้ดีขึ้น ผลิตได้รวดเร็วขึ้น[1]

กลุ่มประเทศยุโรปตะวันตกได้เป็นผู้ริเริ่มค้นคว้านำเอาการสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรมมาใช้กันในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เนื่องจากประสบปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย การขาดแคลนคนงานประเภทช่างฝีมือ การก่อสร้างอุตสาหกรรมหมายถึง การดำเนินการก่อสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรม โดยนำกรรมวิธีและเทคโนโลยีที่ดีที่สุดมาประยุกต์ให้สนองขบวนการที่ร่วมกันของความต้องการและการออกแบบ ในการผลิตและก่อสร้าง[2]

การก่อสร้างอุตสาหกรรมเป็นการนำเอาวิธีการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมประสานเข้ากับวิธีการออกแบบการผลิต และปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้าง การตลาด การเงินและการบริหารของโครงการในตัวอาคาร ข้อได้เปรียบของการผลิตชิ้นส่วนอาคาร และประกอบในที่ที่ก่อสร้างมีดังนี้

1. สามารถผลิตได้จำนวนมาก
2. มีการควบคุมคุณภาพอย่างเต็มที่
3. ลดเวลาการก่อสร้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[1]ธวัชชัย สุทธิประภา, การสัมมนาเรื่อง โครงสร้างคอนกรีต เทคนิคการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรม และระบบ วัสดุกึ่งสำเร็จรูป วิศวกรรมสถานในพระบรมราชูปถัมภ์แห่งประเทศไทย

[2]สุเชษฐ ชาวเรือ, อ้างถึง Royal Institute British Architect , The Industrialization of Building, (Welwyn Garden, Hertfordshire: Broadwater Press, 1965), หน้า 20

4. การประกอบชิ้นส่วนมักไม่ขึ้นกับสภาวะอากาศ

5. ต้องการช่างฝีมือในที่ที่ก่อสร้างเป็นจำนวนน้อย[3]

2. ระบบโครงสร้างสำหรับชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป

ในกลางศตวรรษที่ 19 ได้มีการทำชิ้นส่วนอาคารมาประกอบกันโดย Joseph Paxton (Crystal Palace, London, 1851) American Trade Catalogs[4] เป็นอาคารโรงงานอุตสาหกรรม ต่อมาก็ได้พัฒนาเข้าสู่ระบบการค้า โดยเน้นการประกอบชิ้นส่วนอาคารมาตรฐานโดยใช้ช่างแรงงานฝีมือต่ำ ใช้เวลาน้อยลง เช่น Balloon Frame และอาจารย์ทางด้านสถาปัตยกรรมมหาวิทยาลัย Harvard ชื่อ Walter Gropius เคยกล่าวไว้ในปี ค.ศ.1910 ถึงเรื่องการทำเคหการในระบบอุตสาหกรรมโดยการใช้เครื่องจักรผลิตออกมาเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้มาตรฐาน ขนาดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับขนาดของอาคาร และใช้ชิ้นส่วนที่แตกต่างกันจำนวนน้อยที่สุด โดยให้ชิ้นส่วนซ้ำกันจำนวนมากที่สุดในที่ต่างๆ กัน บางครั้งการต่อหรือสวมชิ้นส่วนจะต้องมีระยะเผื่อความคลาดเคลื่อนไว้ด้วย เทคนิคของการต่อชิ้นส่วนก็นับว่ามีความสำคัญ และยากที่สุดของระบบการออกแบบอาคาร

ฉะนั้น ในการออกแบบทางด้านโครงสร้างของอาคารที่ประกอบจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น จะต้องให้แข็งแรงเพียงพอกับสภาพการใช้งานเมื่อประกอบเข้าที่แล้ว ตลอดจนจะต้องไม่เสียหายในขณะขนส่งและติดตั้งด้วย

2. การคำนวณถึงระบบโครงสร้าง ซึ่งประกอบกันเป็นอาคารทั้งระบบ เพื่อให้สามารถต้านทางแรงตามแนวราบ เช่น แรงลมได้

3. การคำนวณความแข็งแรงของรอยต่อต่างๆ ระหว่างชิ้นส่วน เพื่อสามารถให้ถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นไปยังส่วนของอาคารที่จะรับน้ำหนักต่อไปได้ เช่น รอยต่อระหว่างพื้นกับกำแพงจะต้องแข็งแรงพอที่พื้นจะส่งน้ำหนักตัวมันเอง และน้ำหนักจรบนพื้นผ่านไปลงบนกำแพงได้

---

[3]ชวลิต นิตยะ, เอกสารประกอบการสอน เรื่องอาคารสูงเมื่อสัมพันธ์กับชิ้นส่วนประกอบอาคาร, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[4]เรื่องเดียวกัน.

4. การยกและการติดตั้งชิ้นส่วน เป็นสิ่งสำคัญในการต่อชิ้นส่วนสำเร็จ เทคนิคในการติดตั้ง / ประกอบชิ้นส่วนในบ้านเรานั้นก็ก้าวหน้าทันต่างประเทศ

ระบบอุตสาหกรรมอาคารนี้สามารถจะเกิดขึ้นได้ที่ขั้นตอนใดตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอน ในลำดับการก่อสร้างอาคาร และบทบาทของสถาปนิกก็จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้อง มีความสัมพันธ์อยู่กับการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดนี้ทุกขั้นตอน

3. ลำดับขั้นตอนของการใช้ระบบอุตสาหกรรม

อาคาร คือ ศูนย์รวมของกรรมวิธีมากมายหลายอย่างมารวมกัน บางชิ้นบางส่วนของกรรมวิธีเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในโรงงานก็ได้ แต่บางอันก็เกิดขึ้นที่ก่อสร้างอาคารเอง กรรมวิธีต่างๆ เหล่านี้เราสามารถจะจัดเรียบเรียงเข้าให้เป็นไปตามลำดับก็ได้ กรรมวิธีแต่ละอันนี้ได้เปลี่ยนวัตถุดิบให้กลายเป็นชิ้นส่วนสำเร็จที่ซับซ้อนตามลำดับขั้นวิธีการทำงานต่างๆ เหล่านี้ทำให้เราสามารถจะแจงลักษณะพิเศษตามชนิดของชิ้นส่วนสำเร็จ และกรรมวิธีออกมาเป็นลำดับตามหน้าที่ประโยชน์ใช้สอย เพราะเหตุที่ว่าสิ่งเหล่านี้มีผลสะท้อนโดยตรงกับตัวอาคาร จึงควรที่จะมีการจำกัดความหมายในการพิจารณาวัตถุดิบของวัสดุก่อสร้างขั้นพื้นฐานให้เข้าใจที่จุดเริ่มต้นก่อนลงมือก่อสร้าง จนกระทั่งก่อสร้างตัวอาคารเสร็จ

4. คำจำกัดความของการผลิต

1. วัสดุก่อสร้าง (Building Materials) เหมือนกับผลผลิตอื่นๆ ในหลายกรณี มีรูปร่างผิดแผกแตกต่างกันออกไป และไม่สัมพันธ์กับประโยชน์ที่ต้องการของอาคารไม่ว่ากรณีใด

2. ชิ้นส่วนย่อย (Parts) เป็นลำดับแรกของผลผลิตที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวมันมีรูปแบบที่แน่นอน ในบางกรณีสัมพันธ์กับประโยชน์ที่ต้องการบางอัน แต่ในกรณีอื่นอาจจะดัดแปลงนำไปใช้สำหรับอย่างอื่นก็ได้

3. ชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่ (Component) คือ การนำชิ้นส่วนหรือวัสดุก่อสร้างหลายๆ อันมารวมกันกลายเป็นผลผลิตซึ่งมีประโยชน์ใช้สอยเฉพาะตัวที่แน่นอน ขอบเขตของประโยชน์ใช้สอยจะเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับสภาพความต้องการของโปรแกรมโครงสร้างอาคาร

สภาพเศรษฐกิจของผลผลิต และสภาพธรรมชาติของโครงสร้าง สภาพของมันอาจจะเป็นเพียงชิ้นง่ายๆ จนกระทั่งไปถึงขั้นของที่ยุ่งยากสลับซับซ้อน และมีรูปแตกต่างกันออกไปหลายชนิด เช่น จากชิ้นชุดหน้าต่างสำเร็จรูปจนถึงหน่วยแก่นของอาคาร เป็นต้น

4. ตัวอาคาร (Building) เป็นที่รวมสรุปของวัสดุ , ชิ้นส่วนต่าง ๆ และประกอบเข้าไว้ด้วยกันจะกลายเป็นรูปร่างตามผังที่กำหนดไว้ให้ ซึ่งแสดงแทนกับประโยชน์ใช้สอยของตัวอาคาร

5. ระบบหล่อก่อน (Precast System) ระบบนี้ใช้การผลิตชิ้นส่วนจากโรงงาน แล้วนำไปประกอบเชื่อมยึดเป็นโครงอาคาร ณ ที่ก่อสร้าง

6. ระบบหล่อในที่ (Cast-Insitu System) ระบบนี้อาศัยการประกอบชุดแบบสำเร็จรูป (Prefabrication on Formwork) แล้วเทคอนกรีตในที่ และถอดแบบออกได้ทันทีหลังคอนกรีตแข็งตัว หรือใช้แผ่นโฟม, ตาข่าย FU-Mesh Panel เป็นแบบแล้วฉีดปูน-ทราย พ่นทับผนังทั้ง 2 ด้าน[5]

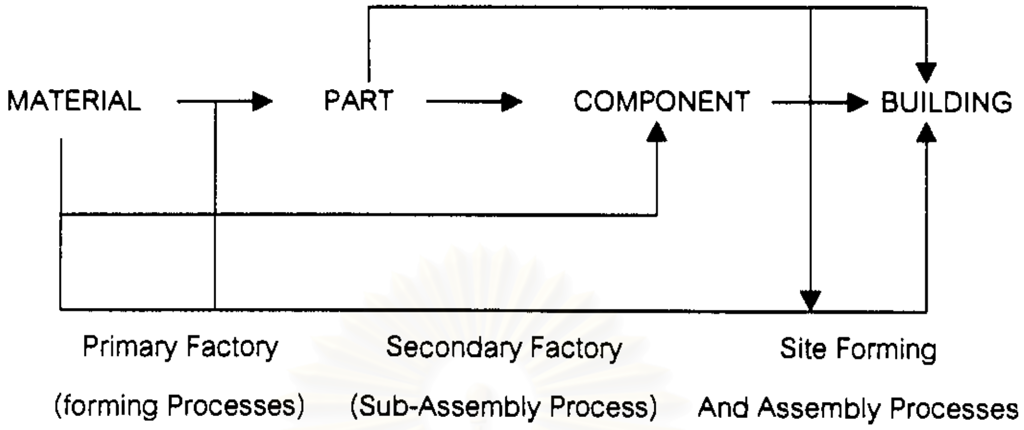
5. กรรมวิธีการผลิต

จะเห็นได้ชัดว่ากรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วน ได้เกี่ยวเชื่อมโยงกับผลผลิตต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว แต่ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นตามลำดับขั้น คุณค่าของผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่โดยตรงกับกรรมวิธีโดยเฉพาะที่ใช้ในการผลิต ดังจะแสดงให้เห็นตามผังของงานในกรรมวิธีของการก่อสร้างอาคารทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[5]ประพัฒน์ ตันติประภา, เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรนักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ เรื่องงานก่อสร้าง บริษัท เงินทุนหลักทรัพย์ จี เอฟ จำกัด (มหาชน) 2539



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการผลิต

6. ระบบที่สำคัญ ๆ ของกรรมวิธีในการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรม

กรรมวิธีในการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ คือ

1. ระบบ "Model"
2. ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "ปิด"
3. ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "เปิด"

มีอาคารอยู่มากมายหลายหลังประกอบขึ้นโดยผสมผสานระบบทั้ง 3 เหล่านี้ แต่ในที่นี้เราจะแยกระบบออกแต่ละอัน โดยยึดถือวิธีการที่ว่าอาคารใดใช้วิธีการแบบไหนเป็นส่วนใหญ่ เราก็จะเรียกชื่อตามวิธีการนั้น

1. **ระบบ "Model"**

ลักษณะพิเศษของวิธีการนี้โดยทั่วๆ ไปเป็นผลผลิตที่มีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างมาตรฐานให้แก่รูปร่างที่ออกแบบไว้ และใช้ความซ้ำซากของรูปร่างนั้นให้เป็นประโยชน์ มาตรฐานดังกล่าวจะช่วยแบ่งเบากรรมวิธีในการผลิตให้น้อยลงไป

ระบบอาจจะสร้างขึ้นจากชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่, ชิ้นส่วนย่อย และ/หรือ Standardized Site Forming of Materials

ระบบนี้สามารถจะนำมาใช้กับผังอาคารที่มีข้อความซ้ำซากกันในตัวอาคาร เช่น ในกรณีของเคหการ เป็นต้น และมีการผลิตของระบบนี้ออกมาสู่ตลาดในรูปของชนิดแปลนสำเร็จรูป เช่น Housing Trailer (Mobile Home) เป็นต้น

2. **ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "ปิด"**

ในกรณีลำดับขั้นตอนของการผลิตส่วนใหญ่มุ่งไปที่ชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่ และขอบเขตของรูปแบบที่ออกแบบมาสูงมาก หมายความว่าต้องการผลผลิตของอาคารเป็นจำนวนมาก ระบบนี้ออกแบบไว้สำหรับอาคารที่ต้องการประโยชน์ใช้สอยเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง ความประหยัดในด้านเศรษฐกิจของระบบนี้อาจจะเป็นไปได้ ถ้ามีจำนวนการสร้างอาคารที่มากมายจริงๆ เช่น Housing เป็นหมื่นหน่วยขึ้นไป เป็นต้น ตัวอย่างของระบบนี้ เช่น Housing Concrete Housing เป็นต้น

3. **ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "เปิด"**

ความหมายของ "เปิด" ในกรณีนี้หมายถึง การใช้ชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่ ซึ่งมีการผลิตออกจำหน่ายอยู่เรียบร้อยแล้วในท้องตลาด (ตลาดเปิด) และมิได้ออกแบบเฉพาะเจาะจงไว้สำหรับที่จะใช้กับระบบอันใดอันหนึ่งของอาคาร แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องให้ชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่อันนั้นใช้ได้กับระบบที่มีรูปทรงเรขาคณิตแบบธรรมดาปกติ

7. ระบบอื่น ๆ

1. ระบบ Versatile Site Forming
2. ระบบ "ชิ้นส่วนย่อย"

ทั้งสองระบบนี้ คือ วิธีการก่อสร้างที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน แต่สามารถนำมาปรับปรุงเข้าระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรมได้

ส่วนเรื่องระบบของ "ชิ้นส่วนย่อย" ได้ถูกนำมาใช้ในกรณีของการก่อสร้างราคาถูก ต้องการความรวดเร็วสูง มีความต่อเนื่องน้อย

ประสบการณ์ในขณะสิ้นสุดสงครามของยุโรป

เกิดความจำเป็นอย่างยิ่ง 3 ประการ ที่เป็นสาเหตุให้กรรมวิธีในการก่อสร้างอาคารต้องเปลี่ยนโฉมหน้าไป คือ

1. ความขาดแคลนอาคารอันเนื่องมาแต่ความเสียหายจากสงครามโลก (High Demands)

2. ความขาดแคลนคนงานประเภทช่างฝีมือดี (Skilled Building Labor) คนงานไม่มีโอกาสทำงานหรือฝึกงานในด้านนี้มาเลยเป็นเวลาถึง 5 ปี (Low Resource)

3. ความจำเป็นในการลดอุตสาหกรรมการผลิตอาวุธในสงคราม (War Industries) อย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการว่างงานทั่วประเทศ (Mass Unemployment) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอังกฤษ ยกตัวอย่างเช่น โรงงานที่เคยผลิตปืนรบ และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่างๆ ในขณะสงครามได้ถูกดัดแปลงให้กลายเป็นโรงงานผลิต Prefabricated House ของ "Arcon" ทันทีเพื่อสนองความขาดแคลนในด้าน Housing ในยุโรปนั้นมีแนววิธีการก่อสร้างใหญ่ ๆ เกิดขึ้น 2 อย่าง คือ

3.1 ระบบ "Heavy Weight"

3.2 ระบบ "Light Weight"

ระบบ "Heavy Weight" ของประเทศฝรั่งเศสและกลุ่มสแกนดิเนเวีย

ระบบนี้ คือ การใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก กำลังใช้กันอยู่ในประเทศที่มีวัตถุดิบสำหรับการผลิต การใช้คอนกรีตเสริมเหล็กนั้นเดิมมีอยู่แล้วในประเทศฝรั่งเศส แต่วิวัฒนาการสร้างผลิตผลแบบ Battery Production และ Crane Technology ในปี ค.ศ.1956 ทำให้วิธีการแบบใหม่นี้เป็นไปได้ สามารถที่จะสร้างผลิตผลของชิ้นส่วนใหญ่ๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และสามารถที่จะยกชิ้นส่วนใหญ่ๆ ดังกล่าวขึ้นอาคารสูงได้อย่างประหยัด เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ต้นทุนจำนวนมาก จึงมีแนวที่จะผลิตชิ้นส่วนสำเร็จที่มีผังซ้ำๆ กัน (อธิบายไว้แล้วในกรณีของระบบ "Model")

การพัฒนาในประเทศรัสเซีย

ในรัสเซียสภาวะของตลาดทำให้การเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคนิคดีขึ้น เนื่องมาจากตลาดเป็นแบบตลาดปิด ("Captive" Market) การลงทุนอย่างมหาศาลในโรงงานของรัฐ ทำให้มีผลผลิตต่อเนื่องกันออกมาในรูปของกล่องคอนกรีตขนาดใหญ่ ทำให้เกิดผลผลิตของอาคารอยู่

อาศัยจำนวนมาก แต่เนื่องจากสภาพดังที่กล่าวในปัจจุบันระบบเหล่านี้ไม่สามารถจะนำมาใช้กับสภาพของเศรษฐกิจของประเทศเสรี และเศรษฐกิจแบบผสมได้เลย

ระบบ Light Weight ของประเทศอังกฤษ

ส่วนใหญ่ของระบบนี้ยึดถือการใช้โครงเหล็ก (Steal Frames) กับผนังที่มิได้รับน้ำหนักเป็นส่วนใหญ่ (Non-Structural Infill Panels) ไม่มีวัสดุส่วนไหนแสดงออกมาว่าเป็นอาคาร Heavy Weight Concrete เลย ระบบนี้จัดอยู่ใน "Closed System of Components" หมายความถึง Components ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับกฎการออกแบบของระบบ ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีความคล่องตัวและไม่มีขอบเขตจำกัดในการออกแบบก็ตาม

การพัฒนาของประเทศอเมริกา

ความกดดันภายหลังสงครามมิได้มีผลสะท้อนในสหรัฐอเมริกา และไม่มีไปจนถึงการพัฒนาเรื่อง Housing (ขบวนการสำหรับเคหสงเคราะห์ในสหรัฐอเมริกา) และ Schools (SCSD) เมื่อไม่ช้านานมานี้ ทำให้มีข้อแตกต่างไปจากอุตสาหกรรมการก่อสร้างของยุโรป 3 ข้อ ต่อไปนี้คือ

1. ตลาดมีสภาพเป็นตลาดเสรี และไม่ใช่เศรษฐกิจผสมอย่างยุโรป
2. ความเข้มข้นของตลาดมิได้คงอยู่เป็นระดับชาติ
3. ความนิยมในเรื่องการใช้ "ไม้" (Timber) เป็นวัสดุหลักยังคงอยู่ ในบางกรณียังมีส่วนคล้ายกับประสบการณ์ของยุโรป คือ ได้นำวิธีของระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบปิดมาใช้ในอาคารประเภทโรงเรียน และใช้ระบบ "Model" (แทนที่จะเป็น Heavy Weight) อันเป็นผลเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี

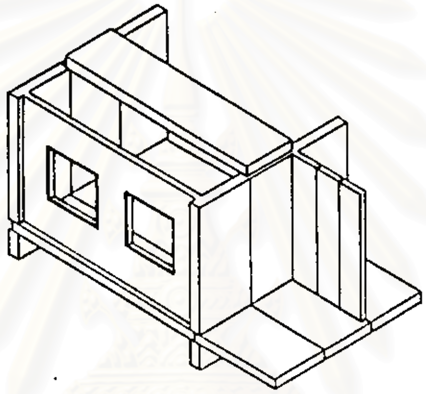
8. ระบบโครงสร้างแบบต่าง ๆ

ในปัจจุบันได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์วิธีการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม หรือระบบสำเร็จรูปไว้ในประเทศต่างๆ มากกว่า 1,000 ระบบขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศยุโรปทางตะวันออก และประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ระบบเหล่านี้อาจแยกออกเป็น

ประเภทใหญ่ๆ ได้ คือ ระบบแผ่นรับน้ำหนัก, ระบบเสาและคาน ,ระบบเสาและแผ่นพื้น, ระบบกล่อง

1. **ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก** (Load Bearing Structure of Panel System)

ระบบนี้เริ่มเกิดขึ้นแล้วในประเทศไทย แต่ได้ใช้กันกว้างขวางในยุโรปในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย วิธีการก่อสร้างนั้นผนังสำเร็จรูปขนาดเท่าความสูงของชั้นจะถูกนำมาติดตั้งบนแผ่นพื้นสำเร็จรูป หลังจากนั้นก็จะนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนังเช่นนี้เรื่อยๆ ไป



รูปที่ 2.1 ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก ซึ่งวัดขนาดของชิ้นส่วนตามหลักการประสานทางพิกัด

ผนังและพื้นในระบบนี้สามารถผลิตได้ง่ายๆ โดยการหล่อกับแบบที่วางนอนกับพื้น ในวิธีการหล่อแบบนี้สามารถจะปรับความหนาของแผ่นได้โดยสะดวกในแบบหล่อชุดเดียวกัน การผลิตผนังอีกแบบหนึ่งก็คือ การหล่อแผ่นในทางแนวตั้งที่เรียกว่า Battery Caseing ในวิธีนี้แบบสำหรับหล่อจะวางตั้ง และมีแผ่นเหล็กกั้นเป็นช่องๆ ตามความหนาของผนังที่ต้องการ การเทคอนกรีตครั้งหนึ่งจะได้แผ่นผนังครั้งละจำนวนมากๆ

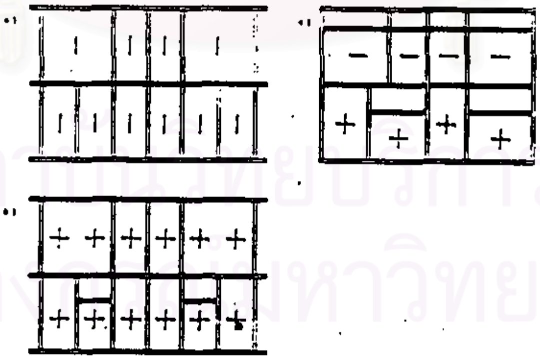
แผ่นพื้นเหล่านี้จะเสริมเหล็กตะแกรง 2 ชั้น, มีการฝังท่อเดินไฟฟ้า, ท่อน้ำไว้เสร็จก่อนที่จะเทคอนกรีต ผิวคอนกรีตจะออกมาเรียบโดยไม่ต้องฉาบปูนอีกครั้ง เมื่อเทคอนกรีตจะต้องทิ้งระยะบ่มคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ระยะเวลาที่ต้องรอก่อนที่จะสามารถถอนคอนกรีตออกจากแบบนี้สามารถเร่งให้เร็วได้โดยวิธีการอบด้วยไอน้ำ ซึ่งหลังจาก 24 ชั่วโมงแล้วก็สามารถถอดออกจากแบบได้ สำหรับผนังที่จะต้องเจาะช่องประตูหน้าต่างก็เพียงกั้นแบบเป็นช่องเปิดไว้เท่านั้นในแบบชุดเดิม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขั้นการผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นในระบบนี้ นับเป็นระบบโครงสร้างที่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ง่ายที่สุดมากกว่าระบบอื่นๆ ทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปหลังจากการผลิตก็คือ การประกอบและติดตั้งแผ่นผนังเหล่านี้เข้าที่ ซึ่งนับรวมตั้งแต่การขนส่งชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจากโรงงานไปถึงบริเวณการก่อสร้าง การยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นไปติดตั้งให้ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทั้งในแนวราบและแนวดิ่งเหล่านี้ เป็นขั้นตอนที่มีปัญหามากในเวลาต่อมา จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญและมีความประณีตในการทำงาน

การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นลงที่แนวผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะเพียงการเป็นผนังกั้นห้องเท่านั้น หากยังจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อมๆ กันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังจะทำหน้าที่โครงสร้างอย่างสำคัญในอาคารเพื่อต้านทานแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโครงสร้าแบบเสาและคานอีกด้วย

ระบบการวางผนังรับน้ำหนักมี 3 วิธี คือ ระบบการวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางแนวเดียวกับความยาวของอาคาร เรียกว่า Long-wall system (ระบบผนังตามยาว), ระบบวางแผนผนังรับน้ำหนักให้ขวางกับความยาวของอาคาร เรียกว่า Cross-wall system (ระบบผนังตามขวาง) และระบบที่วางรับน้ำหนักให้รับน้ำหนักจากพื้นทั้ง 2 แนว เรียกว่า Two-way span system (ระบบผนังสองทิศทาง) ดูรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการจัดวางผนังเพื่อรับน้ำหนักของพื้น

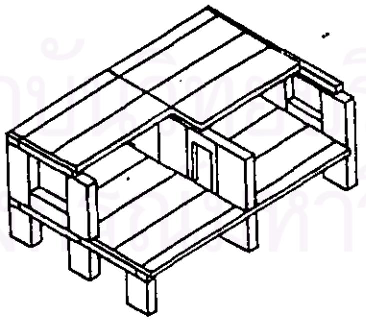
(a) Long-wall system (b) Two way system (c) Cross-wall

1. แนวกำแพงรับน้ำหนัก

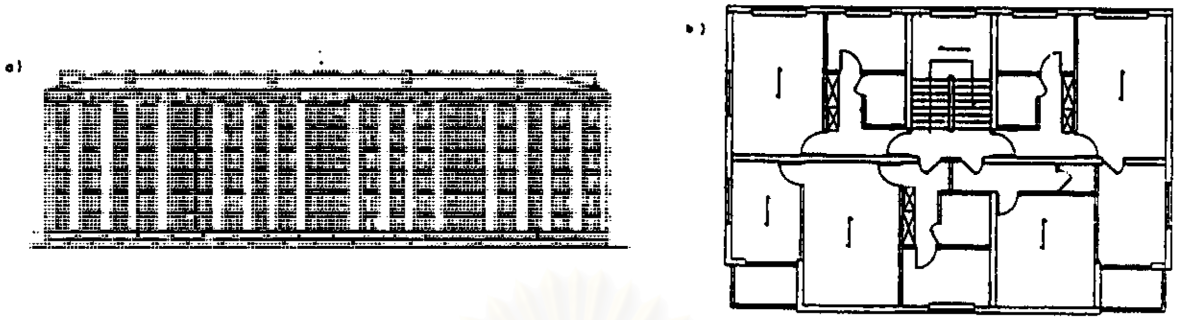
2. ทิศทางที่พื้นวางพาดอยู่

Long-wall system (ระบบผนังตามยาว) ระบบนี้สังเกตได้โดยดูทิศทางของแผ่นพื้นจะวางพาดน้ำหนักมาลงผนังส่วนที่เป็นผนังด้านหน้า และผนังด้านหลังของอาคาร (ดูรูปที่ 2.3 และ 2.4) ระบบนี้มีใช้อยู่บ้างในประเทศโปแลนด์ และประเทศในกลุ่มยุโรปตะวันออก อาคารที่ใช้ระบบนี้จะต้องมีช่องเปิดที่จะเป็นหน้าต่างของห้องเล็กกว่าปกติ เนื่องจากผนังส่วนที่เป็นหน้าต่างที่จะต้องใช้เป็นผนังที่รับน้ำหนักของพื้นที่ต้องนำมาพาดวางลงไว้ด้วย จึงไม่เหมาะสมสำหรับอาคารที่พักอาศัยโดยเฉพาะที่พักอาศัยในประเทศเขตร้อน เช่น ประเทศไทยที่ต้องการช่องเปิดด้านหน้าและหลังของห้องเพื่อให้อากาศได้พัดถ่ายเทความร้อนระบบ

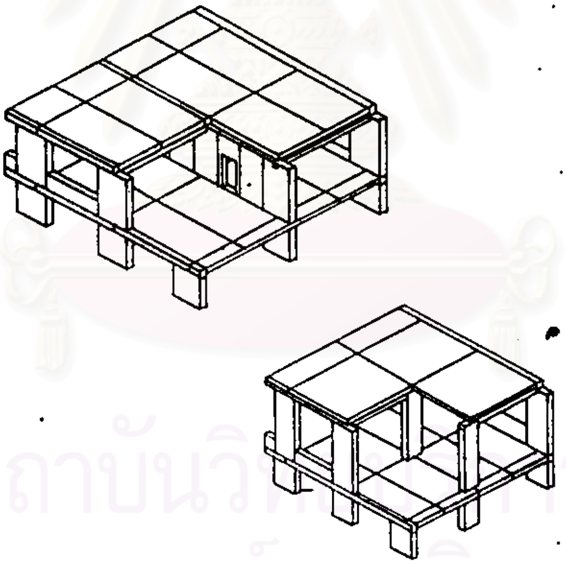
มีข้อดีอยู่ที่สามารถเปิดช่องโล่งได้ตลอดในแนวตามความยาวของอาคาร เพราะไม่จำเป็นต้องมีผนังในแนวขวางมากั้นแต่อย่างใด จึงสามารถนำไปใช้กับอาคารประเภทสำนักงานหรือห้องเรียนได้ แต่ความกว้างของห้องอาจถูกจำกัดด้วยความยาวของแผ่นพื้นที่อาจไม่สามารถพาดยาวได้ถึงระยะห่างของผนังที่จะรับน้ำหนักได้ ยกเว้นต้องออกแบบแผ่นพื้นเป็นพิเศษสำหรับวางพาดได้ระยะห่างมากๆ การแก้ไขปัญหานี้อาจทำได้โดยวางพาดลงกำแพงรับน้ำหนักแบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) แล้วให้แผ่นพื้นที่วางพาดลงคานแทนที่จะพาดลงผนังห้องโดยตรงดังเช่นในรูปที่ 2.7a และ 2.7b ซึ่งจะทำให้ระบบยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักผสมเสาและคาน ชิ้นส่วนแทนที่จะมีส่วนสำคัญเพียงผนังกับพื้นก็จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นคานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอีก



รูปที่ 2.3 แสดงระบบโครงสร้างแบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอาคารที่อยู่อาศัยในกรุงวอร์ซอร์ ซึ่งวางโครงสร้างแบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว)



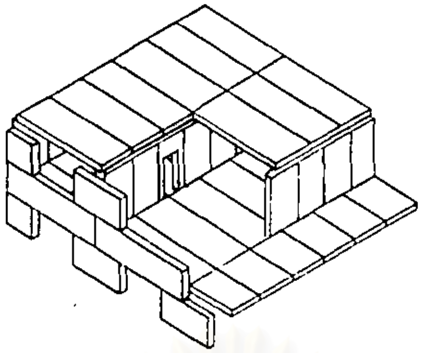
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.5 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) ซึ่งใช้คานถ่ายน้ำหนักจากพื้นมาสู่กำแพง

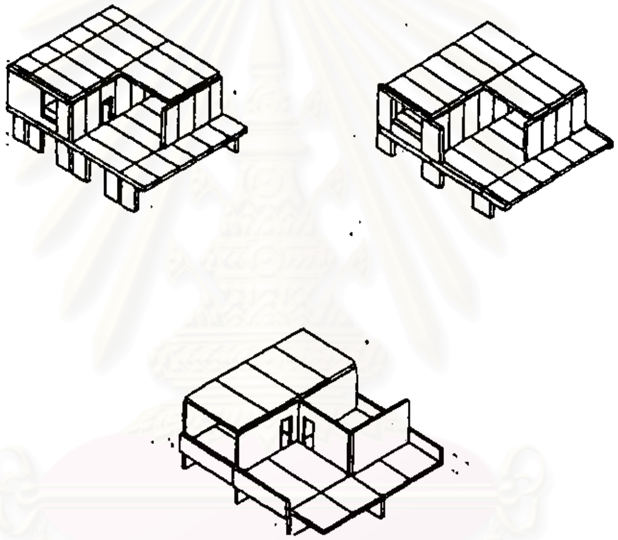
(a) ระบบของ Moscow (b) ระบบของ Czecho slovakian

Cross-wall system (ระบบผนังตามขวาง) ระบบผนังรับน้ำหนักในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมวางแผงผนังรับน้ำหนักขวางกับความยาวของตัวอาคาร (รูปที่ 2.6) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารประเภทที่อยู่อาศัยซึ่งจำเป็นต้องมีผนังทางด้านขวาทึบตลอด เพื่อเป็นผนังกั้นระหว่างแต่ละหน่วยของที่พักอาศัยอยู่แล้ว ผนังทึบนี้สามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ดีกว่าผนังที่มีช่องหน้าต่างเปิด อย่างเช่น ผนังรับน้ำหนักในระบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) ส่วนระบบ Cross-wall (ระบบผนังตามขวาง)นั้นผนังด้านหน้าจะไม่มีส่วนในการช่วยรับน้ำหนักจากพื้นเลย ดังนั้นจึงสามารถเปิดด้านหน้าให้โล่งได้ตลอดหรือใช้เป็นหน้าต่างขนาดใหญ่ได้ตลอดด้านหน้าและด้านหลังของห้อง หรือหากต้องการผนังที่มีความหนาและน้ำหนักมากทางด้านหน้าก็อาจใช้วิธีให้ผนังด้านหน้าวางซ้อนกันขึ้นไปเพื่อผนังรับน้ำหนักส่วนนี้ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7-a , b และ c โดยในแบบ a ผนังด้านหน้าจะวางอยู่บนแผ่นพื้นโดยมีผนังด้านชั้นล่างลงไปเป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก ในแบบ b จะใช้คานทับหลังวางบนผนังด้านตลอดช่องเปิดเพื่อใช้คานนี้เป็นตัวรับน้ำหนักผนังด้านหน้า แล้วส่งน้ำหนักผ่านลงชั้นล่างๆ ถัดไปตามลำดับ ในแบบ c ใช้วิธีประกอบด้านหน้าเข้ากับกำแพง Cross-wall (ระบบผนังตามขวาง) ที่ใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักอยู่แล้วโดยตรง Two-way span (ช่วงพาดตามสองทิศทาง) ระบบนี้เป็นระยะที่ให้น้ำหนักของพื้นลงสู่ผนังทั้ง 2 แนว คือทั้งในแนว cross-wall (ผนังตามขวาง) และ Long-wall (ผนังตามยาว) นั่นคือ ผนังทั้ง 2 แนวจะถูกใช้เป็นผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ในกรณีนี้พื้นจะออกแบบให้แบ่งน้ำหนักไปลงผนังทั้ง 4 ด้าน แทนที่จะเป็นเพียง 2 ด้าน เช่น ระบบตามขวาง หรือ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) พื้นในระบบ Two-way (สองทิศทาง) นี้จะมีราคาถูกกว่าพื้นที่ใช้ในระบบทั้ง 2 ระบบเดิมที่กล่าวมาแล้ว และประหยัดที่สุดหากขนาดของพื้นจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ข้อดีอีกประการหนึ่งนอกจากจะได้ระบบพื้นที่ประหยัดแล้วก็คือ ระบบนี้จะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของอาคารที่เป็นโครงสร้างในทุกๆ แนว แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญก็คือ สถาปนิกจะขาดความเป็นอิสระในการออกแบบเป็นอย่างมาก เช่น ไม่สามารถจะเปิดห้องติดต่อกันโดยตลอดได้ วิธีการแก้ไขปัญหาก็คือจำเป็นจะต้องใช้ระบบเสาและคานเข้ามาใช้ประกอบด้วยในส่วนที่ต้องการจะเปิดโล่ง หรือโดยการใช้ผนังแบบที่เป็นกรอบกลวงดังในรูปที่ 2.10



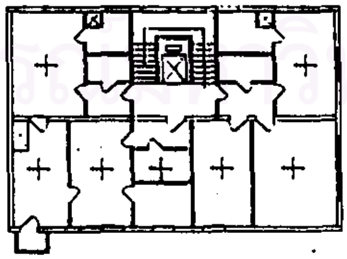
รูปที่ 2.6 ระบบ Cross-wall และแสดงการวางผนังด้านหน้าให้ซ้อนรับน้ำหนักกันเอง



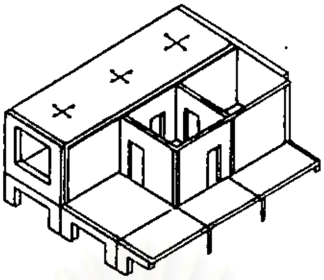
รูปที่ 2.7 ในระบบ Cross-wall สามารถวางผนังด้านหน้าได้หลายวิธี

(a) ผนังวางอยู่บนพื้น (b) ผนังวางอยู่บนด่านเสริมพิเศษ (c) ผนังเกาะติดอยู่กับด้านข้างของกำแพง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



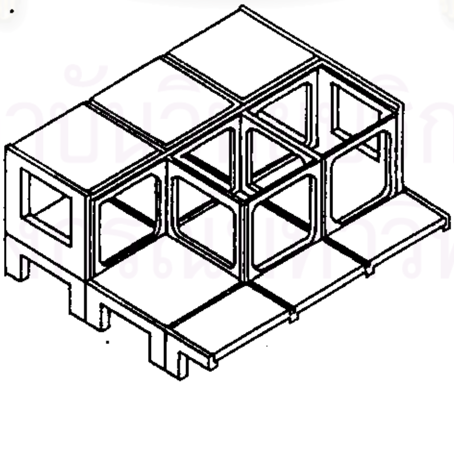
รูปที่ 2.8 แสดงการวางผนังรับน้ำหนัก แบบ Two-way span



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างอาคารที่พักอาศัยมาตรฐานของประเทศโปแลนด์
ที่ใช้โครงสร้างแบบ Two-way span (ช่วงพาดสองทิศทาง)

2. **ระบบเสาและคาน** (Skeleton Frame or Column and Beam)

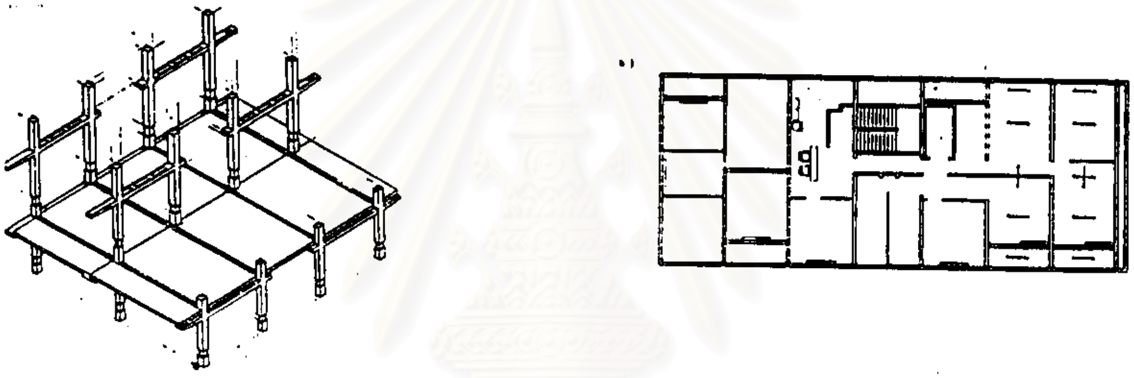
ระบบนี้ก็คือระบบโครงสร้างที่รู้จักกันและใช้กันแพร่หลายจนเกือบจะเป็นระบบแบบเดียวที่ใช้กันในประเทศไทย แม้กระทั่งในอาคารที่สามารถใช้โครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักได้อย่างประหยัดกว่าระบบอื่น เช่น อาคารบ้านแถว ก็ยังคงใช้ระบบเสาคานเป็นส่วนใหญ่ ระบบเสาและคานนิยมใช้สำหรับอาคารที่ไม่สามารถใช้ระบบผนังรับน้ำหนักได้ เนื่องจากความจำเป็นทางด้านการใช้สอยที่ต้องการเปิดเนื้อที่ให้ผ่านถึงกันได้ตลอด เช่น อาคาร, โรงงาน, สำนักงาน, โรงเรียน เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ระบบกรอบกลวง (Ring-Frame)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการของโครงสร้างแบบเสาและคานก็คือ การรับน้ำหนักจากพื้นที่ส่งคาน, จากคานส่งน้ำหนักลงเสาลงโครงสร้างเสา และคานแบบลำเร็จรูป นอกจากจะแตกต่างจากโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตกับที่ในกรณีที่เสาและคานเป็นแบบหล่อลำเร็จรูป แล้วนำมาประกอบกันแล้วยังมีความแตกต่างจากระบบหล่อกับที่อีกประการหนึ่ง คือ โครงสร้างเสา-คานสำเร็จรูปมักจะมีแนวคานสำเร็จรูปอยู่เพียงในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น ไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับการหล่อกับที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดข้อยุ่งยากในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอันมาก ดังนั้นในระบบสำเร็จรูปจะมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวหนึ่งซึ่งไม่มีคานยึดนั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง (ดูรูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างแบบเสาและคานที่ใช้ในโครงการ Muranow ประเทศโปแลนด์
(a) โครงสร้างที่ประกอบแล้ว (b) แบบแปลนของอาคาร

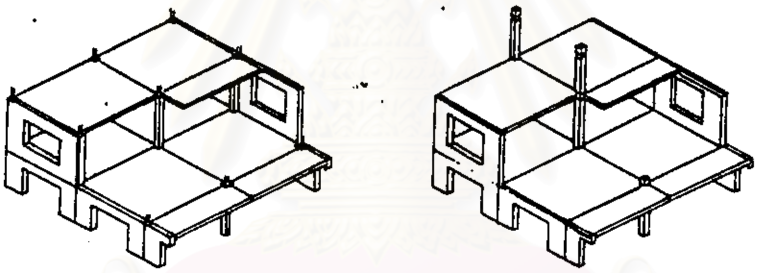
วิธีการต่อชิ้นส่วนของเสาและคอนกรีตเข้าด้วยกันมีความยาวจนกว่าระบบแผ่นพื้นรับน้ำหนักเป็นอันมาก วิธีการต่อรอยต่อระหว่างเสากับคานหลายวิธีก็ได้มาจากการเลียนแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก จนมีผู้กล่าวว่าผู้ที่จะออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบเสาและคานได้ดีควรจะเป็นผู้ที่เข้าใจและศึกษารอยต่อของโครงสร้างไม้มาเป็นอย่างดีก่อน

3. **ระบบเสาและแผ่นพื้น** (Beamless Skeleton)

ระบบโครงสร้างชนิดนี้แผ่นพื้นที่จะวางไปบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคานเช่นเดียวกับโครงสร้างประเภท Fist Slab (พื้นเรียบไร้คาน) เสาจะต้องวางห่างกันไม่เกินขนาดของแผ่นพื้นที่สำเร็จรูปที่จะวางบนเสาทั้ง 4 ได้ ตามหลักการแล้วแผ่นพื้นที่จะสามารถวางอยู่บนปลายของเสา

เพียง 4 จุดนั้น จะต้องการความหนาและปริมาณเหล็กในคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่าแผนนั้นชนิดอื่นๆ ทั้งหมด แต่จะได้ประโยชน์ในด้านความสะดวกรวดเร็วในการประกอบและติดตั้ง เนื่องจากสามารถตัดองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญไปได้ 1 ส่วนนั่นก็คือ คาน โดยพื้นที่จะถูกใช้ให้ทำหน้าที่แทนคานเพื่อยึดเสาให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้ควรที่จะมีการคำนวณด้านทางแรงลมเป็นพิเศษ หรือต้องการวางแผนให้มีผนังคอนกรีตเพื่อรับแรงลมรวมอยู่ในโครงสร้างด้วย

ตัวอย่างของโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้นที่นำไปใช้ ได้แก่ โครงการ Wierzbon ในประเทศโปแลนด์ (รูป 2.12a) ส่วนในประเทศรัสเซียได้มีการนำระบบเสาและแผ่นพื้นประกอบกับระบบผนังรับน้ำหนักแบบ Long-wall (รูป 2.12b) ซึ่งจะทำให้ได้อาคารที่มีช่องเปิดโล่งโดยตลอดได้



รูปที่ 2.12 โครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น

(a) ใช้เสาเป็นส่วนรับน้ำหนักทั้งหมด (b) ใช้เสาและผนังช่วยกันรับน้ำหนัก

4. **ระบบกล่อง (Box System)**

ระบบนี้เป็นระบบที่ประเทศรัสเซียได้พัฒนาขึ้น และต่อมาได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการอาคารสงเคราะห์ของรัสเซียเอง ชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกประกอบหรือหล่อขึ้นเป็นกล่อง 3 มิติ ขนาดเท่ากับห้อง 1 ห้อง จากนั้นจะมีการตกแต่งภายใน, ติดอุปกรณ์ไฟฟ้า, ประปาต่างๆ เสร็จเรียบร้อยมาจากโรงงาน แล้วจึงนำไปวางประกอบเรียงกันเป็นชั้นๆ ในบริเวณการก่อสร้าง นับว่าเป็นระบบที่สามารถลดแรงงานและเวลาที่ต้องใช้บริเวณก่อสร้างได้มากที่สุด มากกว่าระบบใดๆ ในปัจจุบัน

ระบบกล่องในปัจจุบันจะมีน้ำหนักตั้งแต่ 12 ถึง 16 ตัน และมีขนาดพื้นที่ห้องประมาณ 3.50 – 10.00 เมตร และแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย คือ

1. ประเภทขนาดเบาหรือประเภทเดี่ยว ส่วนมากใช้กับอาคารบ้านพักอาศัยที่ประกอบด้วยห้องนอน น้ำส้วม รับแขก ครัว รวมอยู่ในโครงรูปกล่อง 1 หรือ 2 หน่วยต่อกันทุกส่วน หรือทั้งหลังทำสำเร็จรูปจากโรงงาน งานที่ที่ปลูกสร้างก็มีเพียงเตรียมเสาไว้สำหรับรองรับเมื่อยกส่วนสำเร็จรูปดังกล่าวเข้าที่ ติดตั้งท่อส้วม ท่อน้ำใช้ ไฟฟ้า เท่านั้นก็เข้าอยู่อาศัยได้ทันที วัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักมักจะเป็นไม้เพื่อต้องการลดน้ำหนักให้เบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และที่เลือกใช้โครงเป็นเหล็กหรือคอนกรีตก็มีทำกันแต่เป็นส่วนน้อย

2. ประเภทขนาดหนักประเภทกลุ่ม ได้แก่ เอาโครงสำเร็จ 1 หน่วยดังกล่าวมาประกอบต่อร่วมกันเข้าหลายๆ หน่วย อาจเรียงกันเป็นแถวทางนอน เป็นอาคารประเภทเรือนแถว หรือเรียงต่อซ้อนกันทางตั้งขึ้นไปหลาย ๆ ชั้น วิธีซ้อนต่อกันอาจจัดเรียงต่อแบบสลับช่องเหมือนตาหมากฮอส เพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างหน่วย ทำให้ได้หน่วยเพิ่มพิเศษขึ้นจากการใช้ผนังเพดานร่วมของหน่วยข้างเคียงเป็นการประหยัดวัสดุไปในตัว หรืออาจจัดวางให้แต่ละหน่วยเรียงชิดกันเลยทั้งทางดิ่งและทางนอน ดังตัวอย่างอาคารหลังแรกที่ใช้แบบ Box System คือ โรงแรมฮิลตัน สร้างที่เมือง San Antonio , Texas ซึ่งได้ออกแบบกำหนดให้ห้องพักแขกเป็น 1 หน่วย ใช้โครงกล่องเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้แต่ละกล่องสามารถรับน้ำหนักการตั้งซ้อนกันได้

Box System ถือว่าเป็นระบบที่เข้าถึงระดับงานอุตสาหกรรมขั้นสูงสุด เพราะงานส่วนใหญ่ทำสำเร็จจากโรงงานทั้งสิ้น แม้กระทั่งการปูพรมพื้น, ประดับรูปภาพที่ผนัง ฯลฯ ข้อเสียของระบบนี้อยู่ตรงที่แต่ละหน่วยมีขนาดใหญ่ หนัก ทำให้ขนส่งลำบากต้องใช้อุปกรณ์ขนยกขนาดใหญ่พิเศษ และนำมาใช้ได้กับอาคารบางประเภทเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย