บทที่ 2

ทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุน ระยะเวลา การก่อสร้างที่อยู่อาศัยในระบบเสาและคานโดยใช้ผนังก่ออิฐ-ฉาบปูน กับการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมโดยการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากโรงงานชั่วคราวที่หน้างาน และศึกษาถึงความหมายของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป ระบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการสัมมนาวิชาการกับผู้มีความรู้และเชี่ยวชาญทางด้านระบบการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ทำการเยี่ยมชม ศึกษาดูงานตามโครงการต่าง ๆ ที่ใช้ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในการก่อสร้าง และทำการศึกษาดูงานจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย

การก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้ใช้มานานกว่า 20 ปีแล้วในประเทศไทย หลักการก็คือการนำชิ้นส่วนที่จะใช้เป็นองค์ประกอบอาคาร หรือจะเรียกว่า "วัสดุ" ซึ่งผลิตเป็นรูปร่างเสร็จเรียบร้อยแล้วจากแหล่งผลิต ณ ที่แห่งหนึ่ง ส่งไปประกอบเข้าเป็นอาคาร ณ หน้างานอีกที่หนึ่ง การใช้อิฐมอญ คอนกรีตบล็อกหรือฝาประกนในงานก่อสร้างตามแบบวิธีการหัตกรรมแบบดั้งเดิมก็อยู่ในหลักการนี้ เพียงแต่เพื่อจะทุเลาหรือหลีกเลี่ยงปัญหาของการต้องพึ่งแรงงานเป็นหลัก การนำชิ้นส่วนองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่โดยอาศัยเครื่องทุ่นแรงมาช่วยจึงเบียดแทรกเข้ามาแทน[1]

ระบบการก่อสร้างด้วยวัสดุสำเร็จรูป[2] (Prefabricated Structure) หมายถึงกระบวนการผลิตวัสดุ หรือชิ้นส่วนวัสดุในการก่อสร้าง ภายใต้กระบวนการ

- ผลิตได้เป็นจำนวนมาก (Mass Production)
- มีมาตรฐาน (Standardization)
- ชิ้นส่วนมีความเที่ยงตรงแม่นยำ (Precision Component)

---

[1] ทวี สีบุญเรือง, "ลู่ทางการพัฒนาการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม" เอกสารในการสัมมนา ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] พิชัย โอภานุกิจ, "ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมกับการแก้วิกฤติของประเทศ การก่อสร้างด้วยวัสดุสำเร็จรูป" เอกสารในการสัมมนา ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบการก่อสร้างแบบนี้ วัสดุที่ผลิตออกมาจะมีขนาด และสัดส่วนที่ได้มาตรฐาน สามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วภายใต้การออกแบบและการคำนวณเบื้องต้นตามหลักทางวิศวกรรม

2.1 ระบบการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรม

ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีเป้าหมายหลัก คือ ต้องการให้ผลงานมีคุณภาพดี ก่อสร้างได้รวดเร็วทันเวลาและมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างมาสู่ระบบอุตสาหกรรมคือการผลิตของที่ชนิดเดียวกันซ้ำ ๆ กันมาก ๆ ขึ้นก็จะยิ่งทำให้ต้นทุนต่อชิ้น หรือต่อหน่วยลดลง การผลิตก็คุมคุณภาพได้ดีขึ้น ผลิตได้รวดเร็วขึ้น[3]

กลุ่มประเทศยุโรปตะวันตกได้เป็นผู้ริเริ่มค้นคว้านำเอาการสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรมมาใช้กันในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เนื่องจากประสบปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย การขาดแคลนคนงานประเภทช่างฝีมือ การก่อสร้างอุตสาหกรรมหมายถึง การดำเนินการก่อสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรม โดยนำกรรมวิธีและเทคโนโลยีที่ดีที่สุดมาประยุกต์ให้สนองขบวนการที่ร่วมกันของความต้องการและการออกแบบ ในการผลิตและก่อสร้าง[4]

การก่อสร้างอุตสาหกรรมเป็นการนำเอาวิธีการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมประสานเข้ากับวิธีการออกแบบการผลิต และปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้าง การตลาด การเงินและการบริหารของโครงการในตัวอาคาร ข้อได้เปรียบของการผลิตชิ้นส่วนอาคาร และประกอบในที่ที่ก่อสร้างมีดังนี้

1. สามารถผลิตได้จำนวนมาก
2. มีการควบคุมคุณภาพอย่างเต็มที่
3. ลดเวลาการก่อสร้าง
4. การประกอบชิ้นส่วนมักไม่ขึ้นกับสภาวะอากาศ
5. ต้องการช่างฝีมือในที่ที่ก่อสร้างเป็นจำนวนน้อย[5]

---

[3] ธวัชชัย สุทธิประภา, การสัมมนาเรื่อง โครงสร้างคอนกรีต เทคนิคการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมและระบบ วัสดุกึ่งสำเร็จรูป วิศวกรรมสถานในพระบรมราชูปถัมภ์แห่งประเทศไทย

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

[5] ชวลิต นิตยะ, เอกสารประกอบการสอน เรื่องอาคารสูงเมื่อสัมพันธ์กับชิ้นส่วนประกอบอาคาร, ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ความหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป

การก่อสร้างอาคารคอนกรีตระบบสำเร็จรูป เป็นระบบการก่อสร้างโดยวิธีการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป มีผู้ให้ความหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปไว้ดังนี้

พรีคาสต์คอนกรีต (Precast Concrete) คือ การหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในสถานที่ใด ๆ ก่อน (เช่น โรงงาน บริเวณที่ก่อสร้าง) แล้วจึงนำไปประกอบเป็นโครงสร้าง (Sheppard David. A and William R. Phillips, 1989)

พรีแฟบบริเคชั่น (Prefabrication) คือ อุตสาหกรรมการก่อสร้างอันเป็นวิธีการผลิตชิ้นส่วนประกอบจำนวนมาก (Mass producted Components) เพื่อการก่อสร้างโดยอาศัยเครื่องมือ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ยก สำหรับปฏิบัติงาน (Gmbh, Bauverlag, Wiesbaden and Berlin 1968)

ดังนั้นความหมายของการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปโดยรวม คือ วิธีการก่อสร้างโดยการผลิตส่วนประกอบ (Precast Elements) ของอาคารสำเร็จรูปในโรงงาน แล้วนำมาประกอบติดตั้งเป็นอาคาร โดยอาศัยอุปกรณ์ยกประกอบ[6]

2.3 รูปแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

รูปแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป จัดแบ่งตามลักษณะของการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จ มี 2 ประเภท คือ

2.3.1 โครงสร้างเฟรม (Frame Structure)

2.3.2 โครงสร้างพาเนล (Panel Structure)

---

[6] สิงหราช มีทิพย์, "การประเมินการก่อสร้างที่อยู่อาศัยด้วยบล็อกดินซีเมนต์," (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 7.

จากรูปแบบการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปทั้ง 2 ประเภท สามารถแบ่งเป็นระบบโครงสร้างตามการใช้งานและการก่อสร้างเป็น 3 ระบบ

1.ระบบโครงเฟรม (Frame Structure Systems) เป็นลักษณะโครงสร้างที่รับน้ำหนักลงบนคาน ส่งผ่านน้ำหนักไปยังเสาและลงสู่ฐานรากตามลำดับ ในระบบจะเน้นโครงสร้างคานและเสาเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2.ระบบพาเนล (Panel System) เป็นลักษณะโครงสร้างที่รับน้ำหนักจากแผ่นพื้นส่งผ่านน้ำหนักไปยังแผ่นผนัง และลงสู่ฐานรากตามลำดับ ในโครงสร้างระบบนี้จะเน้นที่โครงสร้างแผ่นพื้นและแผ่นผนังรับแรงเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นหลัก ขนาดของแผ่นพาเนล (Panel) จะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการขนส่งและการติดตั้ง โครงสร้างระบบนี้ ขนาดและน้ำหนักของแผ่นพาเนล (Panel) เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการผลิต การขนส่ง และการติดตั้ง

3.ระบบโมดูลาร์ (Modular System) เป็นลักษณะโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่อง 3 มิติ ในแต่ละโมดูลาร์จะเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพในตัวเอง บางโมดูลาร์อาจจะมีการทำงานสถาปัตยกรรมและงานระบบมาเรียบร้อย แล้วนำมาติดตั้งเป็นระบบโครงสร้างรวมของอาคาร แต่ละโมดูลาร์อาจมีลักษณะ เช่น เป็นรูปตัว U, รูปตัว C, รูประฆัง และรูปกล่องสี่เหลี่ยม ข้อจำกัดในระบบนี้จะอยู่ที่การขนส่งและการติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน และเครื่องจักรที่จะทำการยกติดตั้ง เนื่องจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก

2.4 ระบบโครงสร้างสำหรับชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป

ในกลางศตวรรษที่ 19 ได้มีการทำชิ้นส่วนอาคารมาประกอบกันโดย Joseph Paxton (Crystal Palace, London. 1851) American Trade Catalogs[7] เป็นอาคารโรงงานอุตสาหกรรมต่อมาก็ได้พัฒนาเข้าสู่ระบบการค้า โดยเน้นการประกอบชิ้นส่วนอาคารมาตรฐานโดยใช้ช่างแรงงานฝีมือต่ำ ใช้เวลาน้อยลง เช่น Balloon Frame และอาจารย์ทางด้านสถาปัตยกรรมมหาวิทยาลัย Harvard ชื่อ Walter Gropius เคยกล่าวไว้ในปี ค.ศ.1910 ถึงเรื่องการทำเคหการในระบบอุตสาหกรรมโดยการใช้เครื่องจักรผลิตออกมาเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้มาตรฐาน ขนาดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับขนาดของอาคาร และใช้ชิ้นส่วนที่แตกต่างกันจำนวนน้อยที่สุด โดยให้

---

[7] ขวลิต นิตยะ, เอกสารประกอบการสอน เรื่องอาคารสูงเมื่อสัมพันธ์กับชิ้นส่วนประกอบอาคาร, ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นส่วนซ้ำกันจำนวนมากที่สุดในที่ต่างๆกันบางครั้งการต่อหรือสวมชิ้นส่วนจะต้องมีระยะเผื่อความคลาดเคลื่อนไว้ด้วย เทคนิคของการต่อชิ้นส่วนก็นับว่ามีความสำคัญ และยากที่สุดของระบบการออกแบบอาคาร

ฉะนั้น ในการออกแบบทางด้านโครงสร้างของอาคารที่ประกอบจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.4.1 ความแข็งแรงของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น จะต้องให้แข็งแรงเพียงพอกับสภาพการใช้งานเมื่อประกอบเข้าที่แล้ว ตลอดจนจะต้องไม่เสียหายในขณะขนส่งและติดตั้งด้วย

2.4.2 การคำนวณถึงระบบโครงสร้าง ซึ่งประกอบกันเป็นอาคารทั้งระบบ เพื่อให้สามารถ ต้านทานแรงตามแนวราบ เช่น แรงลมได้

2.4.3 การคำนวณความแข็งแรงของรอยต่อต่าง ๆ ระหว่างชิ้นส่วน เพื่อสามารถให้ถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นไปยังส่วนของอาคารที่จะรับน้ำหนักต่อไปได้ เช่น รอยต่อระหว่างพื้นกับกำแพงจะต้อง แข็งแรงพอที่พื้นจะส่งน้ำหนักตัวมันเอง และน้ำหนักจรดบนพื้นผ่านไปลงบนกำแพงได้

2.4.4 การยกและการติดตั้งชิ้นส่วน เป็นสิ่งสำคัญในการต่อชิ้นส่วนสำเร็จ เทคนิคในการติดตั้ง / ประกอบชิ้นส่วนในบ้านเรานั้นก็ก้าวหน้าทันต่างประเทศ

ระบบอุตสาหกรรมอาคารนี้สามารถจะเกิดขึ้นได้ที่ขั้นตอนใดตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอน ในลำดับการก่อสร้างอาคาร และบทบาทของสถาปนิกก็จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้อง มีความสัมพันธ์อยู่กับการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดนี้ทุกขั้นตอน

2.5 คำจำกัดความของการผลิต

2.5.1วัสดุก่อสร้าง (Building Materials) เหมือนกับผลผลิตอื่น ๆ ในหลายกรณี มีรูปร่างผิดแผกแตกต่างกันออกไป และไม่สัมพันธ์กับประโยชน์ที่ต้องการของอาคารไม่ว่ากรณีใด

2.5.2ชิ้นส่วนย่อย (Parts) เป็นลำดับแรกของผลผลิตที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวมันมีรูปแบบที่แน่นอนในบางกรณีสัมพันธ์กับประโยชน์ที่ต้องการบางอัน แต่ในกรณีอื่นอาจจะดัดแปลงนำไปใช้สำหรับอย่างอื่นก็ได้

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

1.**ระบบ "Model"**

ลักษณะพิเศษของวิธีการนี้โดยทั่ว ๆ ไปเป็นผลผลิตที่มีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างมาตรฐานให้แก่รูปร่างที่ออกแบบไว้ และใช้ความซ้ำของรูปร่างนั้นให้เป็นประโยชน์ มาตรฐานดังกล่าวจะช่วยแบ่งเบากรรมวิธีในการผลิตให้น้อยลงไป

ระบบอาจจะสร้างขึ้นจากชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่, ชิ้นส่วนย่อย (Standardized Site Forming of Materials) ระบบนี้สามารถจะนำมาใช้กับผังอาคารที่มีข้อความซ้ำซากกันในตัวอาคาร เช่น ในกรณีของเคหการ เป็นต้น และมีการผลิตของระบบนี้ออกมาสู่ตลาดในรูปของชนิดแปลนสำเร็จรูป เช่น Housing Trailer (Mobile Home) เป็นต้น

2.**ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "ปิด"**

ในกรณีลำดับขั้นตอนของการผลิตส่วนใหญ่มุ่งไปที่ชิ้นส่วนสำเร็จขนาดใหญ่ และขอบเขตของรูปแบบที่ออกแบบมาสูงมาก หมายความว่าต้องการผลผลิตของอาคารเป็นจำนวนมาก ระบบนี้ออกแบบไว้สำหรับอาคารที่ต้องการประโยชน์ใช้สอยเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง ความประหยัดในด้านเศรษฐกิจของระบบนี้อาจจะเป็นไปได้ ถ้ามีจำนวนการสร้างอาคารที่มากมายจริง ๆ เช่น Housing เป็นหมื่นหน่วยขึ้นไป เป็นต้น ตัวอย่างของระบบนี้ เช่น Housing Concrete Housing เป็นต้น

3.**ระบบชิ้นส่วนสำเร็จแบบ "เปิด"**

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

2.7 **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) อย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการว่างงานทั่วประเทศ (Mass Unemployment) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอังกฤษ ยกตัวอย่างเช่น โรงงานที่เคยผลิตปืนรบ และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ในขณะสงครามได้ถูกดัดแปลงให้กลายเป็นโรงงานผลิต Prefabricated House ของ "Arcon" ทันทีเพื่อสนองความ ขาดแคลนในด้าน Housing ในยุโรปนั้นมีแนววิธีการก่อสร้างใหญ่ ๆ เกิดขึ้น 2 อย่าง คือ

1.1ระบบ "Heavy Weight"

1.2ระบบ "Light Weight"

ระบบ "Heavy Weight" ของประเทศฝรั่งเศสและกลุ่มสแกนดิเนเวีย

ระบบนี้ คือ การใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก กำลังใช้กันอยู่ในประเทศที่มีวัตถุดิบสำหรับการผลิต การใช้คอนกรีตเสริมเหล็กนั้นเดิมมีอยู่แล้วในประเทศฝรั่งเศส แต่วิวัฒนาการสร้างผลิตผลแบบ Battery Production และ Crane Technology ในปี ค.ศ. 1956 ทำให้วิธีการแบบใหม่นี้เป็นไปได้ สามารถที่จะสร้างผลิตผลของชิ้นส่วนใหญ่ ๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และสามารถที่จะยกชิ้นส่วนใหญ่ ๆ ดังกล่าวขึ้นอาคารสูงได้อย่างประหยัด เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ต้นทุนจำนวนมาก จึงมีแนวที่จะผลิต ชิ้นส่วนสำเร็จที่มีผังซ้ำ ๆ กัน (อธิบายไว้แล้วในกรณีของระบบ "Model")

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 (ขบวนการสำหรับเคหะสงเคราะห์ในสหรัฐอเมริกา) 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

2.8 **ระบบโครงสร้างแบบต่าง ๆ**

ในปัจจุบันได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์วิธีการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม หรือระบบ สำเร็จรูปไว้ในประเทศต่าง ๆ มากกว่า 1,000 ระบบขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศยุโรปทางตะวันออก และประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ระบบเหล่านี้อาจแยกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ คือ ระบบแผ่นรับน้ำหนัก, ระบบเสาและคาน, ระบบเสาและแผ่นพื้น, ระบบกล่อง

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

ระบบนี้เริ่มเกิดขึ้นแล้วในประเทศไทย แต่ได้ใช้กันกว้างขวางในยุโรปในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย วิธีการก่อสร้างนั้นผนังสำเร็จรูปขนาดเท่าความสูงของชั้นจะถูกนำมาติดตั้งบนแผ่นพื้นสำเร็จรูป หลังจากนั้นก็จะนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนังเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป

ผนังและพื้นในระบบนี้สามารถผลิตได้ง่าย ๆ โดยการหล่อกับแบบที่วางนอนกับพื้น ในวิธีการหล่อแบบนี้สามารถจะปรับความหนาของแผ่นได้โดยสะดวกในแบบหล่อชุดเดียวกัน การผลิตผนังอีกแบบหนึ่งก็คือ การหล่อแผ่นในทางแนวตั้งที่เรียกว่า Battery Caseing ในวิธีนี้แบบสำหรับหล่อจะวางตั้ง และมีแผ่นเหล็กกั้นเป็นช่อง ๆ ตามความหนาของผนังที่ต้องการ การเทคอนกรีตครั้งหนึ่งจะได้แผ่นผนังครั้งละจำนวนมาก ๆ

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

ในขั้นการผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นในระบบนี้ นับเป็นระบบโครงสร้างที่สามารถผลิต ชิ้นส่วนได้ง่ายที่สุดมากกว่าระบบอื่น ๆ ทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปหลังจากการผลิตก็คือ การประกอบและติดตั้งแผ่นผนังเหล่านี้เข้าที่ ซึ่งนับรวมตั้งแต่การขนส่งชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจากโรงงานไปถึงบริเวณการก่อสร้าง การยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นไปติดตั้งให้ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทั้งในแนวราบและแนวดิ่งเหล่านี้ เป็นขั้นตอนที่มีปัญหามากในเวลาต่อมา จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญและมีความประณีตในการทำงาน

การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นลงที่แนวผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะเพียงการเป็นผนังกั้นห้องเท่านั้น หากยังจะทำ หน้าที่เป็นโครงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อม ๆ กันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังจะทำหน้าที่โครงสร้างอย่างสำคัญในอาคารเพื่อต้านทานแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโครงสร้างแบบเสาและคานอีกด้วย

ระบบการวางผนังรับน้ำหนักมี 3 วิธี คือ ระบบการวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางแนวเดียวกับความยาวของอาคาร เรียกว่า Long-wall system (ระบบผนังตามยาว), ระบบ

โครงสร้างอย่างสำคัญในอาคารเพื่อต้านทานแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโครงสร้างแบบเสาและคานอีกด้วย

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)

1. แนวกำแพงรับน้ำหนัก

2. ทิศทางที่พื้นวางพาดอยู่

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

มีข้อดีอยู่ที่สามารถเปิดช่องโล่งได้ตลอดในแนวตามความยาวของอาคาร เพราะไม่จำเป็นต้องมีผนังในแนวขวางมากั้นแต่อย่างใด จึงสามารถนำไปใช้กับอาคารประเภทสำนักงานหรือห้องเรียนได้ แต่ความกว้างของห้องอาจถูกจำกัดด้วยความยาวของแผ่นพื้นที่อาจไม่สามารถพาดยาวได้ถึงระยะห่างของผนังที่จะรับน้ำหนักได้ ยกเว้นต้องออกแบบแผ่นพื้นเป็นพิเศษสำหรับวางพาดได้ระยะห่างมาก ๆ การแก้ไขปัญหานี้อาจทำได้โดยวางพาดลงกำแพงรับน้ำหนักแบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) แล้วให้แผ่นพื้นที่วางพาดลงคานแทนที่จะพาดลงผนังห้องโดยตรง ซึ่งจะทำให้ระบบยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักผสมเสาและคาน ชิ้นส่วนแทนที่จะมีส่วนสำคัญเพียงผนังกับพื้นก็จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นคานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอีก

Cross-wall system (ระบบผนังตามขวาง) ระบบผนังรับน้ำหนักในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมวางแผงผนังรับน้ำหนักขวางกับความยาวของตัวอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคาร

ประเภทที่อยู่อาศัยซึ่งจำเป็นต้องมีผนังทางด้านขวาทึบตลอด เพื่อเป็นผนังกั้นระหว่างแต่ละหน่วยของที่พักอาศัยอยู่แล้ว ผนังทึบนี้สามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ดีกว่าผนังที่มีช่องหน้าต่างเปิด อย่างเช่น ผนังรับน้ำหนักในระบบ Long-wall (ระบบผนังตามยาว) ส่วนระบบ Cross-wall (ระบบผนังตามขวาง) นั้นผนังด้านหน้าจะไม่มีส่วนในการช่วยรับน้ำหนักจากพื้นเลย ดังนั้นจึงสามารถเปิดด้านหน้าให้โล่งได้ตลอดหรือใช้เป็นหน้าต่างขนาดใหญ่ได้ตลอดด้านหน้าและด้านหลังของห้อง หรือหากต้องการผนังที่มีความหนาและน้ำหนักมากทางด้านหน้าก็อาจใช้วิธีให้ผนังด้านหน้าวางซ้อนกันขึ้นไปเพื่อผนังรับน้ำหนักส่วนนี้ โดยในแบบ a ผนังด้านหน้าจะวางอยู่บนแผ่นพื้นโดยมีผนังด้านชั้นล่างลงไปเป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก ในแบบ bจะใช้คานทับหลังวางบนผนังด้านตลอดช่องเปิดเพื่อใช้คานนี้เป็นตัวรับน้ำหนักผนังด้านหน้า แล้วส่งน้ำหนักผ่านลงชั้นล่าง ๆ 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 ระบบนี้จะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของอาคารที่เป็นโครงสร้างในทุก ๆ แนว แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญก็คือ สถาปนิกจะขาดความเป็นอิสระในการออกแบบเป็นอย่างมาก เช่น ไม่สามารถจะเปิดห้องติดต่อกันโดยตลอดได้ วิธีการแก้ไขปัญหาก็คือจำเป็นจะต้องใช้ระบบเสาและคานเข้ามาใช้ประกอบด้วยในส่วนที่ต้องการจะเปิดโล่ง หรือโดยการใช้ผนังแบบที่เป็นกรอบกลวง

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

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

หลักการของโครงสร้างแบบเสาและคานก็คือ การรับน้ำหนักจากพื้นที่ส่งคาน, จากคานส่งน้ำหนักลงเสาลงโครงสร้างเสา และคานแบบสำเร็จรูป นอกจากจะแตกต่างจากโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตกับที่ในกรณีที่เสาและคานเป็นแบบหล่อสำเร็จรูป แล้วนำมาประกอบกันแล้วยังมีความแตกต่างจากระบบหล่อกับที่อีกประการหนึ่ง คือ โครงสร้างเสา-คานสำเร็จรูปมักจะมีแนวคานสำเร็จรูปอยู่เพียงในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น ไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับการหล่อกับที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดข้อยุ่งยากในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอันมาก ดังนั้นในระบบสำเร็จรูปจะมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวหนึ่งซึ่งไม่มีคานยึดนั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง

วิธีการต่อชิ้นส่วนของเสาและคอนกรีตเข้าด้วยกันมีความยาวจนกว่าระบบแผ่นพื้นรับ น้ำหนักเป็นอันมาก วิธีการต่อรอบต่อระหว่างเสากับคานหลายวิธีก็ได้มาจากการเลียนแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก จนมีผู้กล่าวว่าผู้ที่จะออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบเสาและคานได้ดีควรจะเป็นผู้ที่เข้าใจและศึกษารอยต่อของโครงสร้างไม้มาเป็นอย่างดีก่อน

3.**ระบบเสาและแผ่นพื้น** (Beamless Skeleton)

ระบบโครงสร้างชนิดนี้แผ่นพื้นที่จะวางไปบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคาน เช่นเดียวกับโครงสร้างประเภท Flst Slab (พื้นเรียบไร้คาน) เสาจะต้องวางห่างกันไม่เกินขนาดของแผ่นพื้นที่สำเร็จรูปที่จะวางบนเสาทั้ง 4 ได้ ตามหลักการแล้วแผ่นพื้นที่จะสามารถวางอยู่บนปลายของเสาเพียง 4 จุดนั้น จะต้องการความหนาและปริมาณเหล็กในคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่าแผ่นพื้นชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด แต่จะได้ประโยชน์ในด้านความสะดวกรวดเร็วในการประกอบและติดตั้ง เนื่องจากสามารถตัดองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญไปได้ 1 ส่วนนั่นก็คือ คาน โดยพื้นที่จะถูกใช้ให้ทำหน้าที่แทนคานเพื่อยึดเสาให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้ควรที่จะมีการคำนวณต้านทางแรงลมเป็นพิเศษ หรือต้องการวางแผนให้มีผนังคอนกรีตเพื่อรับแรงลมรวมอยู่ในโครงสร้างด้วย

ตัวอย่างของโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้นที่นำไปใช้ ได้แก่ โครงการ Wierzbon ในประเทศโปแลนด์ ส่วนในประเทศรัสเซียได้มีการนำระบบเสาและแผ่นพื้นประกอบกับระบบผนังรับน้ำหนักแบบ Long-wall ซึ่งจะทำให้ได้อาคารที่มีช่องเปิดโล่งโดยตลอดได้

4. **ระบบกล่อง** (Box System)

ระบบนี้เป็นระบบที่ประเทศรัสเซียได้พัฒนาขึ้น และต่อมาได้ใช้กันอย่างแพร่หลายใน โครงการอาคารสงเคราะห์ของรัสเซียเอง ชิ้นส่วนต่าง ๆ จะถูกประกอบหรือหล่อขึ้นเป็นกล่อง 3 มิติขนาดเท่ากับห้อง 1 ห้อง จากนั้นจะมีการตกแต่งภายใน, ติดอุปกรณ์ไฟฟ้า, ประปา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่าง ๆ เสร็จ เรียบร้อยมาจากโรงงาน แล้วจึงนำไปวางประกอบเรียงกันเป็นชั้น ๆ ในบริเวณการก่อสร้าง นับว่าเป็นระบบที่สามารถลดแรงงานและเวลาที่ต้องใช้บริเวณก่อสร้างได้มากที่สุดมากกว่าระบบใด ๆ 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 วัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็น โครงสร้างหลักมักจะเป็นไม้เพื่อต้องการลดน้ำหนักให้เบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและที่เลือกใช้โครงเป็นเหล็กหรือคอนกรีตก็มีทำกันแต่เป็นส่วนน้อย

2. ประเภทขนาดหนักประเภทกลุ่ม ได้แก่ เอาโครงสำเร็จ 1 หน่วย ดังกล่าวมาประกอบต่อร่วมกันเข้าหลาย ๆ หน่วย อาจเรียงกันเป็นแถวทางนอน เป็นอาคารประเภทเรือนแถว หรือเรียงต่อซ้อนกันทางตั้งขึ้นไปหลาย ๆ ชั้น วิธีซ้อนต่อกันอาจจัดเรียงต่อแบบสลับช่องเหมือนตาหมากฮอส์ เพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างหน่วย ทำให้ได้หน่วยเพิ่มพิเศษขึ้นจากการใช้ผนังเพดานร่วมของหน่วยข้างเคียงเป็นการประหยัดวัสดุไปในตัว หรืออาจจัดวางให้แต่ละหน่วยเรียงชิดกันเลยทั้งทางดิ่งและทางนอน

ตัวอย่างอาคารหลังแรกที่ใช้แบบ Box System คือ โรงแรมฮิลตัน สร้างที่เมือง San Antonio, Texas ซึ่งได้ออกแบบกำหนดให้ห้องพักแขกเป็น 1 หน่วย ใช้โครงกล่องเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้แต่ละกล่องสามารถรับน้ำหนักการตั้งซ้อนกันได้

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

2.9 ขั้นตอนการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

การออกแบบอาคารสำเร็จรูปนั้นแบ่งพิจารณาออกเป็น 4 ส่วน[9] คือ

1.พิจารณารูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

2.พิจารณาการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

3.พิจารณาออกแบบจุดรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป

4.พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการทำงาน

1. รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

ความแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นเรื่องสำคัญมากในการออกแบบอาคารสำหรับการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ดังนั้นการออกแบบอาคารคอนกรีตสำเร็จรูปให้แข็งแรงปลอดภัย ลักษณะสำคัญขึ้นอยู่กับการออกแบบจุดรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วน การทำจุดรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วนหลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้ว มีคุณสมบัติแบบเดียวกับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ ให้มีอยู่ในการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป (จุดรอยต่อระบบสำเร็จรูปต้องมีความแข็งแรงไม่น้อยกว่าจุดรอยต่อของระบบหล่อในที่) รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่นำมาใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

1.1 โครงสร้างเสารับโมเมนต์ (Columns Fixed to the Foundation) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับเสาที่ยึดติดกับฐานราก คานที่ยึดติดกับเสาจะมีลักษณะเป็นจุดหมุน (hinge)

1.2 โครงสร้างเฟรมรับโมเมนต์ (Frames with Moment Connections) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของจุดต่อของเสาและคาน ซึ่งมีความสามารถรับโมเมนต์ด้วย ข้อเสีย มีความซับซ้อนในการผลิตและขนส่ง และการติดตั้งกระทำได้ยาก

1.3 โครงสร้างผนังและ CORE รับแรง (Shear Walls and Cores) ความมั่นคงแข็งแรงของระบบนี้จะมีคอร์หรือแผ่นผนังเป็นตัวที่ทำให้ระบบนี้มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งสามารถ

---

[9] จาตุรนต์ วัฒนผาสุข, "รายงานการวิจัย: ระบบการก่อสร้างโดยวิธี Prefabrication ใน กทม," ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528. หน้า 84-88.

ใช้กับอาคารสูงได้ระดับหนึ่ง จุดรอยต่อระหว่าง คาน-คาน เสา-เสา และ คาน-เสา การออกแบบจะเป็นจุดรอยต่อแบบหมุน (hinge)

หลักการออกแบบก่อสร้าง

- ส่วน CORE จะดำเนินการหล่อในที่
- ส่วน คาน, เสา และพื้น หรือ พื้นและผนัง จะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป

1.4 โครงสร้างผนังรับแรงรอบอาคาร (Load Bearing Facades and Façade Tube) ความมั่นคงแข็งแรงขึ้นอยู่กับการประสานกันเป็นกล่องของโครงสร้าง โดยให้แรงในแนวดิ่งเท่ากับหรือมากกว่าแรงในแนวนอน

1.5 โครงสร้างผนังรับแรง (Bearing wall Structures) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยให้โครงสร้างรับน้ำหนักในแนวตั้งอย่างเดียว ไม่รับแรงดึงในแนวนอน

1.6 ไดอะแกรมพื้นและหลังคา (Floor and Roof Diaphragms) เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย โดยการใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ระบบพื้นแพล็งค์ (Plank) ระบบพื้นฮอลโลว์ คอร์ (Hollow Core) การใช้โครงสร้างระบบนี้จะสามารถสร้างพื้นได้อย่างรวดเร็ว

1.7 โครงสร้างแบบเซลล์ (Cell Structures) เป็นการออกแบบโครงสร้างผนังและพื้นรวมกันเป็นห้องแล้วนำมาประกอบติดตั้ง โครงสร้างแบบเซลล์อาจจะทำงาน สถาปัตยกรรม ติดตั้งระบบไฟฟ้าและประปามาเรียบร้อยแล้ว ความมั่นคงแข็งแรงจะอยู่ในรูปของระบบ Sear Wall ลักษณะของ Cell Structures ที่ทำการผลิต ได้แก่ ระฆังแบบคว่ำ (Bell type) แบบตัวยู (U type) แบบตัวซี (C type)

2. การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ในระหว่างการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบจุดรอยต่อ จะมีความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนสำเร็จรูป ผู้ออกแบบจะต้องมีการคำนวณและออกแบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

ความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต มาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของชิ้นส่วนสำเร็จรูปและแบบหล่อในขณะถอดแบบ รวมทั้งน้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเองในขณะที่ยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากแบบหล่อ

สำหรับความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนสำเร็จรูปในระหว่างการขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบจุดรอยต่อ เนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- ในขณะขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูป แนวและตำแหน่งไม่ได้อยู่ในแนวที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างอาคาร เช่น เสาออกแบบเพื่อให้รับแรงในแนวดิ่งตามความยาวของเสา และแรงเฉือนที่

เกิดจากลมเมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ระหว่างการขนส่งและติดตั้ง เสาดังกล่าวจะทำหน้าที่รับน้ำหนักและความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นเหมือนคาน

- ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ต้องการค้ำยันจากชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น เมื่อประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างเสร็จแล้ว แต่ในขณะขนส่งและติดตั้งอาจจะไม่มี

- ในระหว่างการติดตั้ง และการประกอบจุดรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป อาจจะยังไม่สมบูรณ์หรือยังไม่เต็มระบบโครงสร้าง ดังนั้น ในระหว่างการขนส่งและการติดตั้ง จะต้องทำการ ค้ำยันให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น

3. การออกแบบจุดรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป

จุดรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป สำหรับการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปมีความสำคัญต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร จุดรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

3.1 จุดรอยต่อแบบเปียก (Wet Joint) เป็นลักษณะของจุดรอยต่อที่เกิดขึ้นจากการเกร๊าท์ จุดรอยต่อนี้จะไม่สามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ในทันที ต้องรอจนกว่าวัสดุมีความแข็งแรงตามข้อกำหนด จุดรอยต่อแบบนี้ ได้แก่ จุดรอยต่อแบบการใช้เหล็กโดเวล-เกร๊าท์, แบบ Dry Packed

3.2 จุดรอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint) เป็นลักษณะของจุดรอยต่อที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อของวัสดุที่สามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ทันที จุดรอยต่อแบบนี้ได้แก่ แบบการใช้โบลท์ (Bolting) แบบการเชื่อม (Welding) จุดรอยต่อแบบนี้ หลังจากทำงานเสร็จแล้ว จะทำการปิดรอยต่อด้วย มอร์ตาร์ อีพอกซี่ วัสดุกันซึม วัสดุกันสนิม อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ

3.3 จุดรอยต่อแบบภายหลัง (Post – Tensioned) เป็นลักษณะของจุดรอยต่อที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแต่ละชิ้น หรือระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะใช้เทนดอน (Tendon) เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายของเทนดอนไว้ที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดึงจะกระทำหลังจากหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสร็จแล้ว

4. การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน

เป็นการสมมติหรือคาดคะเนระยะที่จะผิดจากระยะที่แบบกำหนดขึ้น การปฏิบัติงานจริง ค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้มีดังนี้

4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Manufacturing Tolerances) ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติแบบหล่อ เช่น แบบหล่อบวมหรือยุบ (Swelling and Drying of Formwork) อาจเกิดจากการประกอบแบบหล่อคลาดเคลื่อน หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น Shrinkage Creep และอุณหภูมิ ค่า

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ หรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของ PCI

4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดระยะ ระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Setting-out Tolerances) อาจจะเป็นค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าระยะที่กำหนดไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ หรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของ PCI

4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Erection Tolerances) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้หรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของ PCI

2.10 การวางแผนการบริหารการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป

เมื่อทราบถึงรูปแบบ หลักเกณฑ์ และขั้นตอนการออกแบบอาคารคอนกรีตระบบสำเร็จรูปแล้ว การวางแผนงานการก่อสร้างก็เป็นสิ่งสำคัญ ที่จะช่วยให้การก่อสร้างประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่ต้องการ อาจกล่าวถึงการวางแผนงานได้ดังต่อไปนี้

[10]ก่อนที่จะดำเนินการก่อสร้างนั้น การวางแผนถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพราะถ้าแผนงานวางไว้ไม่ละเอียดรอบคอบและรัดกุมเพียงพอแล้ว จะก่อให้เกิดปัญหานานาประการตามมาได้ การวางแผนงานจึงเป็นการขจัดปัญหาต่าง ๆ ไว้ตั้งแต่ต้น และถ้างานก่อสร้างสามารถดำเนินไปตามแผนที่วางไว้แล้ว ก็จะยิ่งเป็นคุณประโยชน์ต่อผู้ดำเนินงานมากขึ้นอีกด้วย จึงควรได้มีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ไว้ให้พร้อมและให้มากที่สุด เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาและตัดสินใจเพื่อที่จะกำหนดเป็นแผนงานขึ้น

[11]การวางแผนเป็นกระบวนการของการใช้ความคิดและการตัดสินใจ โดยกำหนดวัตถุประสงค์ที่จะทำ แล้วหาขั้นตอนการปฏิบัติ และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรทางการบริหาร อันประกอบด้วย คน เงิน วัสดุ และการจัดการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้หลาย ๆ วิธี แล้วตัดสินใจเลือกขั้นตอนและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด

---

[10] ไตรรัตน์ จารุทัศน์, "ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรม สำหรับที่พักอาศัยของผู้มีรายได้ปานกลาง เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล." (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535), หน้า

[11] อัศวิน พิชญโยธิน, "การวางแผน" เอกสารประกอบการสอน วิชาบริหารงานก่อสร้าง. ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

ดังนั้นในการก่อสร้าง ซึ่งมีสภาพการทำงานที่ประกอบด้วยงานหลายอย่าง มีการใช้วัสดุ แรงงาน เครื่องจักร และทรัพยากรหลายประเภท เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการใช้ทรัพยากร จึงต้องมีการวางแผนงานการก่อสร้างที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะใช้วิธีการวางแผนแบบตารางเวลา (Barchart) วิธีหาแนววิกฤติ (Critical Path Method หรือ CPM) วิธีการตรวจสอบและประเมินผลงาน (Program Evaluation and Review Technique หรือ PERT) วิธีเส้นสมดุลยภาพ (Line of Balance) วิธีแผนผังลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Diagrams) เป็นต้น

2.11 พัฒนาการของบริษัทที่ใช้ระบบสำเร็จรูปในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย[12]

ปี พ.ศ. 2505 บริษัท ซีคอน จำกัด (SEACON) ได้ก่อสร้างอาคารพาณิชย์ บริเวณเขตหาผลประโยชน์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งที่บริเวณถนนบรรทัดทองและบริเวณสยามสแควร์โดยได้พัฒนาระบบกึ่งสำเร็จรูปของตนเอง เรียกว่าระบบ SEACON โดยมีลักษณะที่โรงงานจะผลิตเสาและคานสำเร็จจากโรงงานเรียกว่า Built Up Steel Frame นำมาประกอบที่หน่วยงานแล้วเทคอนกรีตหุ้ม พร้อมทั้งติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปที่หล่อสำเร็จจากโรงงานเช่นกัน ในปี พ.ศ. 2509 โดยความร่วมมือของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา บริษัท ซีคอน จำกัด ได้จัดสร้างหมู่บ้านมิตรภาพขึ้นในบริเวณซอยอ่อนนุช ถนนสุขุมวิท 77 ซึ่งเป็นบ้านเดี่ยวระบบกึ่งสำเร็จรูปโครงการแรก

ในระยะเวลาต่อมาไม่นาน บริษัท สตาร์บล็อค จำกัด ได้พัฒนาเทคโนโลยีของประเทศนอร์เวย์ในการใช้ระบบโครงถัก (Truss) มาประกอบเป็นโครงหลังคาถัก (Roof Truss) และตงโครงถัก (Joist Truss) โดยใช้วัสดุเป็นไม้ยางอัดน้ำยากับแผงตะปูเหล็กชุบสังกะสี (Gang nails) ส่วนระบบโครงสร้าง เช่น ฐานราก เสา คาน ผนังก่ออิฐ ยังคงเป็นระบบดั้งเดิม ทั้งนี้เพราะเหตุผลทางการตลาดที่ต้องการให้ลูกค้าสามารถปรับเปลี่ยนแบบบ้านได้ตามต้องการ

ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2533 อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศเพิ่มสูงมาก GDP (ประมาณ 13.3% - 11.6%) ทำให้เกิดการก่อสร้างที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก กล่าวคือ ในปี 2533 เท่ากับ 102,000 หน่วย พ.ศ. 2534 เท่ากับ 129,000 หน่วย และต่อเนื่องจนถึงสูงสุดในปี พ.ศ. 2537 เท่ากับ 171,000 หน่วย ในช่วง 4-5 ปีนี้ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมเริ่มมีบทบาทมากขึ้น ดังจะสังเกตได้จากบริษัทพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ที่ใช้ระบบสำเร็จรูปเกิดขึ้น

---

[12] ไตรรัตน์ จารุทัศน์, "ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมกับการพัฒนาที่อยู่อาศัย" เอกสารในการสัมมนาเรื่อง : ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมกับการพัฒนาที่อยู่อาศัย เสนอที่งานจุฬาวิชาการครั้งที่ 13 ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 8 ธันวาคม 2545. หน้า 61-62 (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

มากมาย เช่น บริษัท สยามธานีพร็อพเพอร์ตี้ จำกัด ได้พัฒนาระบบคอนกรีตอัดแรงของบริษัท ไท-เซพี จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) ได้ทำการก่อสร้างอาคารชุด 6 ชั้น แต่ละชั้นมี 4 ยูนิต มีพื้นที่ประมาณ 60 ตารางเมตรต่อยูนิต ภายใต้ชื่อโครงการบ้านสวนธน ด้วยกลยุทธทางการตลาดและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ ทำให้ประชาชนทั่วไปเริ่มรู้จักและยอมรับระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในการก่อสร้างมากขึ้น

บริษัท โนเบิล ดีเวลลอปเมนท์ จำกัด ได้พัฒนาระบบ โนเบิลสตีลเทค ขึ้นโดยนำมาใช้กับโครงการบ้านเดี่ยวของบริษัทด้วยรูปแบบที่เน้นความทันสมัย วัสดุที่ใช้จะใช้วัสดุเบาในการประกอบ เช่น โครงเหล็กแผ่นอลูมิเนียม แผ่นยิปซัมบอร์ด เป็นต้น ทำให้ระบบนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับเปลี่ยนแบบ ลูกค้าสามารถร่วมกับสถาปนิกของบริษัทออกแบบบ้านของตนเองได้ โดยสามารถดัดแปลงเป็นแบบบ้านได้กว่า 900,000 แบบ

โครงการเมืองทองธานี ได้เปิดตัวโครงการที่อยู่อาศัยจำนวนมากในช่วงปี พ.ศ. 2533 โครงการประกอบไปด้วย อาคารชุดอุตสาหกรรม อาคารชุดพักอาศัย และบ้านเดี่ยว ซึ่งทั้งหมดได้ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ระบบคอนกรีตอัดแรง หล่อเป็นชิ้นส่วนของ เสา คาน ผนัง พื้น มาประกอบเป็นอาคาร โดยร่วมทุนกับบริษัท BOUGES ของประเทศฝรั่งเศส

บริษัท ไรมอนแลนด์ จำกัด ได้พัฒนาระบบไพวานซึ่งเป็นระบบผนังรับน้ำหนักจากประเทศออสเตรเลีย โดยใช้แบบหล่ออลูมิเนียมประกอบกันแล้วเทคอนกรีตอัดแรงแผ่นผนังกับพื้นที่โครงการ แล้วยกประกอบเป็นผนังรับน้ำหนักของอาคาร (Tilt up Precasted) รูปแบบการก่อสร้างมีทั้งบ้านเดี่ยว ทาวน์เฮ้าส์ อาคารชุด

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายบริษัทที่ได้พัฒนาระบบกึ่งสำเร็จรูปของตนเองขึ้นมา เพื่อรองรับงานก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น เช่น บริษัท แลนด์ แอนด์ เฮ้าส์ จำกัด(มหาชน), บริษัท ควอลิตี้เฮ้าส์ จำกัด(มหาชน), บริษัท กฤษดามหานคร จำกัด(มหาชน), บริษัท พฤกษาเรียลเอสเตท จำกัด, บริษัท เอเชียน พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด, บริษัทแลนดี้โฮม จำกัด เป็นต้น

2.12 พัฒนาการของบริษัทผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทยนั้น จะครอบคลุมตั้งแต่ เสา คาน พื้น ผนัง เป็นหลัก ส่วนของเสา คาน และพื้นมักใช้ คอนกรีตอัดแรงในการผลิต ส่วนผนังมีวัสดุทั้งที่เป็นชิ้นเล็กและชิ้นใหญ่ เช่น ก้อนคอนกรีตบล็อคมวลเบาของ Q-CON และ Supper Block ซึ่งนอกจากจะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ช่วยลดเวลาในการก่อสร้างแล้ว

ยังมีคุณสมบัติ ประหยัดพลังงาน เป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอกอีกด้วย บริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปเหล่านี้ เช่น บริษัท พรีแฟ็บ เทคโนโลยี จำกัด, บริษัท ซีแพค จำกัด, บริษัท S.P.A. จำกัด, บริษัท ซูศิลป จำกัด, บริษัท PRO BUILDER จำกัด เป็นต้น

2.13 รูปแบบของระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ทำการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกโครงการ ซื่อตรงรังสิต คลอง 3 จังหวัดปทุมธานี เป็นกรณีศึกษา โดยเป็นการเปรียบเทียบระยะเวลา และต้นทุนการก่อสร้างระหว่างระบบก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และการก่อสร้างที่อยู่อาศัยโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนัก ซึ่งได้นำแบบบ้านแบบเดียวกับมาทำก่อสร้างในโครงการเดียวกัน และระยะเวลาเดียวกัน เพื่อที่จะได้ผลการเปรียบเทียบที่ใกล้เคียงความจริงที่สุด

[13]ระบบพิกัดหรือระบบ Modular ที่ลงตัวกับระยะ 30 ซม. (Modular & Coordination = 30 ซม.) โดยใช้ระยะการวัดแบบ การวัดด้านในจากผนังถึงผนัง จากขอบถึงขอบ เพื่อให้ได้ Space ภายในที่เหมาะสม ลงตัวสำหรับการใช้งานมากที่สุด (ชนินทร์ แซ่เตียว, 2546)

ระบบการก่อสร้างแบบนี้ จะมีข้อดีที่การทำให้วัสดุที่ผลิตออกมามีขนาดที่เท่ากัน มีมาตรฐาน มีการยึดติดตั้งด้วยความน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นมากที่สุด (ยึดเท่าที่จำเป็นจริงๆ) ทำให้เป็นระบบที่เหมาะสมกับการทำอาคารที่อยู่อาศัย

ระบบการรับน้ำหนักหลักของการก่อสร้างระบบ Pre-fab คือการใช้ผนังรับน้ำหนัก ระบบ Wall bearing ที่มีการหล่อเสร็จแล้วยกมาติดตั้งในพื้นที่โครงการ โดยระบบ Wall bearing ที่ใช้ได้มาจากหลักการ 2 อย่างคือ

1. Rigid on Ground
2. Rigid on Frame

หลักการที่สำคัญคือ อาคารจะสามารถคงรูปอยู่ได้ ต้องมีความ Rigid คือมีความแข็งเกร็ง ที่รอยต่อต่างๆ ความแข็งแรง หรือแข็งเกร็งที่เกิดขึ้นในระบบ Pre-fab มีสิ่งสำคัญที่ต้อง

---

[13] พิชัย โอภานุกิจ, "ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมกับการแก้วิกฤติของประเทศ การก่อสร้างด้วยวัสดุสำเร็จรูป" เอกสารในการสัมมนา เรื่อง : ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมกับการพัฒนาที่อยู่อาศัย เสนอที่งานจุฬาวิชาการครั้งที่ 13 ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

คำนึงถึงสิ่งแรก คือ คอนกรีต และ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างที่สร้างขึ้นมา

ในเรื่อง คอนกรีตเราต้องคำนึงถึงองค์ประกอบ ชนิด วัสดุผสม และสัดส่วนที่เหมาะสม ความเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสม ดังนั้น จึงนิยมใช้ คอนกรีตผสมเสร็จมากกว่าการใช้คอนกรีต ที่ได้จากการผสมในพื้นที่ โดยเฉพาะในโครงการเล็กๆ ที่ผลิตชิ้นส่วนวัสดุขึ้นใช้เองในโครงการจำนวนไม่มาก จะเป็นการสะดวก และคุ้มทุนมากกว่าการสร้าง ไซโล เพื่อเก็บซีเมนต์เองในพื้นที่โรงงาน เหมือนโรงงานขนาดใหญ่ ที่ทำในระบบอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงเรื่อง การ set ตัวของคอนกรีต ต้องมีระยะเวลาที่เหมาะสม และรวดเร็ว จึงจะเป็นการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมที่แท้จริง เพื่อสามารถนำแบบมาใช้ได้ต่ออย่างรวดเร็ว

เรื่องอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง น้ำ และ ซีเมนต์ จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่จะเกิดขึ้นตามต้องการที่ได้มีการออกแบบไว้ ดังนั้น การใช้คอนกรีตผสมเสร็จ จะมีส่วนดีในการที่สามารถควบคุมสัดส่วนมาตรฐานของส่วนผสม และน้ำในตัวคอนกรีตได้ตามต้องการ

ระบบ Wall bearing เป็นระบบที่เหมาะกับอาคารพักอาศัย เนื่องจากความสะดวกสบาย และการได้รูปลักษณ์ที่สวยงามตามความต้องการ แต่มีปัญหาที่สำคัญอยู่ 1 อย่าง คือการทำงานในระบบเสาและคาน จะมีปัญหาในส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างวัสดุ โดยเฉพาะในส่วนรอยต่อระหว่างระบบเสาและคาน และรอยต่อระหว่างวัสดุสำเร็จที่มีการหล่อมาก่อน และนำมาติดตั้ง เมื่อมีการ GROUTING แล้วอาจเกิดการแตกร้าวขึ้นมาได้ในส่วนที่เป็นรอยต่อนั้น การแตกร้าวนี้เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก จากความแตกต่างในการยืดหดตัวของวัสดุ เพราะแม้แต่ปูนซีเมนต์ ถุงเดียวกัน ยังมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ไม่เหมือนกันตลอดทั้งถุง

การใช้งานระบบเสาและคาน และระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จะมีผลต่อขนาดของชิ้นส่วน ถ้าใช้ระบบเสาและคาน จะทำให้ชิ้นส่วนที่ใช้มีขนาดเล็กลงได้

ชิ้นส่วนของระบบโครงสร้างแบบ Precast Concrete สามารถที่จะทำให้เป็น Free Standing คือสามารถยืนตัว คงตัวรับแรงได้โดยตัวเอง วิธีการคือ การวางชิ้นส่วนติดต่อกันให้มีชิ้นส่วนเพิ่มเติมที่สามารถช่วยในการคงตัวอยู่ได้ และสามารถช่วยในการรับแรง และถ่ายเทแรงที่จะเกิดขึ้นได้มาก

การเพิ่มชิ้นส่วนที่ช่วยในการคงรูป จะมีผลในการรับแรง แต่ยังคงไม่สามารถทำให้ระบบรับแรงบางชนิดได้ เช่น แรงจากลม อาจทำให้ระบบเกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลไปได้ เราสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มชิ้นส่วนที่จะทำหน้าที่เสมือนเป็นน้ำหนักกดทับกับระบบโดยรวม ให้คงที่อยู่ได้เมื่อมีการรับแรงที่จะทำให้เกิดการเลื่อนไถล เช่นแรงจากลมเป็นต้น

นอกจากจะกระทำตัวดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว เราสามารถเพิ่มความสามารถให้วัสดุได้โดยการ เพิ่มรายละเอียดในการรับแรงลงไปในชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น การเพิ่ม Shear key เข้าไปในชิ้นส่วนโครงสร้าง ซึ่งนอกจากจะช่วยในด้านการรับแรงแล้ว ยังมีผลในด้านการช่วยการยึดต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างอีกด้วย

Shear Key คือส่วนประกอบในชิ้นส่วนโครงสร้างที่ทำโดยการเพิ่ม รอยหยักเข้าไปในชิ้นส่วนโครงสร้าง บริเวณขอบรอยต่อของโครงสร้าง ซึ่งจะมีผลในด้านการเพิ่มแรงเสียดทานและแรงยึดให้กับชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งสองชิ้น และช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างนั้นๆ ด้วย เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างพื้น ผนัง เป็นต้น

การยึดติดกันระหว่างชิ้นส่วนของ นายพิชัย โอภานุกิจ ระบบที่คิดค้นขึ้นมาคือระบบการยึดติดด้วยห่วงเหล็กที่ทำการฝังเข้าไปในชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละชิ้น ในช่องที่ได้มีการเตรียมไว้ก่อนตั้งแต่ในขั้นตอนการหล่อวัสดุแล้ว ห่วงเหล่านี้จะมีการเชื่อมต่อกันผ่านเส้นเหล็กเส้นขนาด 6 mm. ที่จะทำหน้าที่ในการร้อยผ่านห่วงเหล่านี้ รวมถึงการทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรับแรงทำให้เมื่อมีการเทปูน Grouting ลงในช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนนี้แล้ว จะทำให้มีการทำหน้าที่เสมือนเป็นเสาเอ็นของโครงสร้างไปในตัว

ในการยึดต่อนี้ Shear Key จะมีการทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการเพิ่มจุดยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับชิ้นวัสดุสำเร็จรูปทำให้มีการยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงมากกว่าเดิมมากขึ้น

Tolerance (Margin) เป็นระยะที่เผื่อสำหรับค่าผิดพลาด ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการหล่อชิ้นส่วนวัสดุ การติดตั้ง หรือการก่อสร้างต่างๆซึ่งเกิดขึ้นได้เสมอ เป็นระยะในระบบพิกัดที่กำหนดขึ้นเพื่อแก้ปัญหาในจุดนี้ อาจทำได้โดยการทำระยะให้สั้นกว่าระยะจริงตามแบบก่อสร้างประมาณ 2 ซม. เป็นต้น เป็นระยะที่จำเป็นมากโดยเฉพาะในการก่อสร้างด้วยวัสดุสำเร็จรูปที่วัสดุต้องมีการต่อกันได้อย่างลงตัว ถ้าเกิดการผิดพลาดขึ้น ชิ้นส่วนนั้นก็ไม่สามารถติดตั้งได้ หรือทำให้ต้องเสียเวลาในการแก้ไขเป็นเวลานาน จุดนี้เป็นสิ่งที่ทำให้การทำงานระบบการก่อสร้างด้วย

ชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแต่ละโครงการมีความแตกต่างกัน เป็นการออกแบบระบบของ จุดเชื่อมต่อ หรือเป็น Joint Design

Air-Prevent เป็นระบบการป้องกันน้ำในงานคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งน้ำระเหยออกไป จะมีผลต่อการรับแรงของวัสดุประเภทคอนกรีต การป้องกันทำได้โดยเช่น การใช้แผ่นพลาสติกคลุมรอบเสาป้องกันน้ำระเหย แทนการรดด้วยน้ำ และการคลุมด้วยกระสอบป่านรดน้ำให้เป็นการคลุม หรือรัดด้วยพลาสติกนอกจากจะทำให้เกิดการบ่มจากการระเหยตัวของน้ำที่ลดลง ยังช่วยในการเก็บกักความร้อนที่เกิดจากการบ่ม เป็นการช่วยลดระยะเวลาในการบ่มขึ้นอีก จากการที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนมากด้วย

การเจาะช่องเปิด เช่น การทำหน้าต่าง หรือประตู โดยปกติ เมื่อมีการเว้นช่องว่างในชิ้นส่วนโครงสร้างแล้ว สิ่งต่อไปคือ การติดตั้งวงกบหน้าต่าง ซึ่งทำให้ต้องมีการติดตั้งพุกไม้ หรือทำส่วน Tolerance เผื่อสำหรับการติดตั้ง แล้วค่อยฉาบปูนทรายลงไปอีกครั้งในภายหลัง แต่ในระบบการออกแบบของ นายพิชัย โอภานุกิจ ระบบที่มีการใช้ คือการทำช่องเปิดโดยการฝังวงกลอลูมิเนียมเข้าไปก่อนตั้งแต่ในขั้นตอนการหล่อแบบ ทำให้วงกบเหล่านั้นกลายเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นส่วนวัสดุสำเร็จไปจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการติดตั้ง และปัญหาการแตกร้าวมากเท่าในชิ้นส่วนที่แยกการติดตั้ง

การทำชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถทำได้หลายขนาด และหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการ การสร้างผนังผืนหนึ่งอาจจะได้มาจากชิ้นส่วนใหญ่ เพียงอันเดียว หรือประกอบขึ้นมาจากชิ้นส่วนเล็กๆ หลายๆ ชิ้นก็ได้

ข้อดีของชิ้นส่วนขนาดใหญ่ คือ ความสามารถในการติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว ควบคุมการรับแรงได้มาก ชิ้นส่วนมีความแข็งแรงสูง ไม่มีปัญหาที่ต้องคำนึงถึงรอยต่อมาก เนื่องจากมีรอยต่อน้อย แต่มีข้อเสียในการผลิตที่ต้องมีการทำ แบบหล่อเฉพาะ ไม่คล่องตัวสำหรับการนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง น้ำหนักมาก มีปัญหาในด้านการขนส่ง จากกฎหมาย และการแตกร้าวเสียหายได้ง่าย เมื่อมีข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจะเสียเวลาในการแก้ไข และผลิตได้ยากกว่าชิ้นส่วนเล็กๆ

ข้อดีของชิ้นส่วนขนาดเล็กคือ การขนส่งสะดวก เก็บรายละเอียดได้มาก ปรับเปลี่ยนใช้งานได้มาก และสามารถนำไปใช้ในโครงการที่แตกต่างกันได้หลากหลาย ขึ้นกับความต้องการของผู้ออกแบบ เป็นระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรมที่แท้จริง แต่มีข้อเสียที่จะต้อง

คำนึงถึงรอยต่อซึ่งจะมีเป็นจำนวนมาก ตกแต่งได้ยาก ทำให้ต้องเสียเวลาในการจัดการกับรอยต่อต่างๆเหล่านี้ รวมถึงปัญหาในการควบคุมการรับแรงให้ได้ตามความต้องการ และความสามารถในการคงตัวอยู่ได้เมื่ออยู่ในสภาวะการรับแรงแล้ว

จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญ คือ ระบบของพิกัดการออกแบบ ว่าขนาดใดจึงจะเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแบบอุตสาหกรรม ซึ่งในระบบที่ นายพิชัย โอภานุกิจ ใช้ คือระบบพิกัดที่ระยะ 30 ซม. เป็นระบบย่อยที่สุดสำหรับการออกแบบชิ้นส่วน โดยเพิ่มขนาดขึ้นไปจากพิกัดนี้ เป็นเท่า 2 เท่า 3 เท่า ระบบจึงเป็นพิกัดที่ลงตัวเสมอ

การขนส่งชิ้นส่วนที่มีการผลิตเรียบร้อยแล้วมีสำคัญตั้งแต่การยกชิ้นส่วนที่มีการหล่อ หรือผลิตในแนวนอนขึ้นตั้ง ซึ่งเป็นปัญหาในชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เช่น ผืนผนัง ที่ต้องมีการคำนวณในส่วนที่มีความบาง หรือมีขนาดเล็ก เช่นตามมุมช่องเปิดต่างๆ ต้องมีการเสริมเหล็กทะแยงพิเศษป้องกันการหักที่อาจจะเกิดขึ้น เหล็กนี้นอกจากจะป้องกันการหักที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการยกชิ้นส่วนขึ้น ยังช่วยป้องกันการแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นที่มุมช่องเปิดต่างๆ เมื่อมีการใช้งานไปแล้ว

เมื่อมีการยกแบบขึ้นตั้งได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำแบบไปแยกเก็บในส่วนที่เก็บไว้หรือจัดขนส่งขึ้นรถเพื่อนำไปติดตั้งในพื้นที่โครงการ ซึ่งมีความสำคัญมาก ในเรื่องลำดับขั้นตอนเพราะจะต้องมีการเรียงตามลำดับของการติดตั้ง ไม่ใช่เรียงตามลำดับของประเภทการผลิต ลำดับจะมีต้องผลชัดเจน เมื่อต้องมีการขนส่งขึ้นรถ และนำไปติดตั้งในพื้นที่โครงการ วัสดุที่ต้องติดตั้งหลังสุดจะต้องนำขึ้นรถก่อน วัสดุที่ต้องติดตั้งก่อนต้องนำขึ้นรถทีหลังสุด ถ้าไม่มีการคำนวณหรือจัดเรียงลำดับอย่างดี จะเกิดปัญหาในด้านการติดตั้งตามมามาก เพราะวัสดุบางชิ้นจะไม่สามารถติดตั้งได้ถ้าอีกชิ้นยังไม่ได้ติดตั้ง เป็นต้น

การวางผังโรงงานตามสายการผลิต มีความสำคัญมากในการทำงานอย่างเป็นระบบ และมีลำดับขั้นตอน ต้องคำนึงว่าจุดใดต้องใช้เพื่อการใด ส่วนไหนต้องทำก่อน ส่วนไหนต้องทำทีหลัง ส่วนไหนต้องการเครื่องมือพิเศษชนิดใด ส่วนไหนต้องมีการติดต่อกับภายนอก เช่น ส่วนผลิตต้องสามารถให้รถขนแบบ รถเทปูนเข้าถึงได้ ต้องมีเครื่องยก และกระบะเทปูนเตรียมการไว้ ส่วนที่เก็บชิ้นส่วนต้องสามารถขนถ่ายจากส่วนผลิตมาได้อย่างสะดวก ไม่กีดขวางกระบวนการผลิตที่จะดำเนินต่อไป และต้องมีส่วนที่เชื่อมต่อกับส่วนการขนส่งออกภายนอกได้ง่าย เป็นต้น

การนำชิ้นส่วนไปติดตั้ง นอกจากรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้มีการกล่าวไปแล้วข้างต้น สิ่งต่อไปที่ต้องมีการคำนึงถึง คือการติดตั้งชิ้นส่วนชิ้นนั้น ว่าจะกระทำได้อย่างไร เช่น

การออกแบบหล่อให้มีท่อที่เมื่อถอดออกมาเมื่อแบบแห้งตัวแล้ว จะเกิดเป็นช่องเผื่อไว้สำหรับการใส่เหล็กยึดชิ้นส่วน และกรอกปูนทราย เป็นการเตรียมการสำหรับการช่วยลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการไม่ได้มาตรฐานของมือมนุษย์ลงให้ได้มากที่สุด