บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พัฒนาการของบริษัทที่ใช้ระบบสำเร็จรูปในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย [1]

การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมโดยแนวทางของประเทศตะวันตกมีลักษณะของการเพิ่มการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของผลผลิต การผลิตด้วยแรงงานฝีมือถูกทดแทนด้วยกระบวนการผลิตคราวละมากๆ ของระบบอุตสาหกรรม มูลเหตุส่วนหนึ่งเป็นเพราะอัตราการเติบโตของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้การบริโภคก็เพิ่มขึ้น อีกทั้งมาตรฐานการดำรงชีวิตของประชาชนก็เปลี่ยนแปลงไปในทางที่สูงขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อความต้องการอาคารที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นโรงงาน โรงเรียน สถานที่ทำงานและที่สำคัญคืออาคารที่อยู่อาศัยซึ่งมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การก่อสร้างอาคารด้วยระบบดั้งเดิมไม่สามารถตอบสนองต่อสภาพสังคมที่เปลี่ยนไปได้อีกแล้วการก่อสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรมจึงเกิดขึ้น เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงในกรรมวิธีการก่อสร้างอาคารเพื่อมุ่งตอบสนองความต้องการทางด้านเศรษฐกิจและสังคมดังกล่าว

ในปี พ.ศ. 2505 บริษัทซีคอนจำกัด (Seacon) ได้ก่อสร้างอาคารพาณิชย์บริเวณเขตผลประโยชน์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งที่บริเวณถนนบรรทัดทองและบริเวณสยามสแควร์ โดยได้พัฒนาระบบกึ่งสำเร็จรูปของตนเองขึ้นมาเรียกว่า ระบบ SEACON โดยมีลักษณะที่โรงงานจะผลิตเสา และคานสำเร็จรูปจากโรงงาน เรียกว่า Built Up Steel Frame นำมาประกอบกันที่หน่วยงานก่อสร้างแล้วจึงทำการเทคอนกรีตหุ้มบริเวณรอยต่อ พร้อมทั้งติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปที่หล่อสำเร็จมาจากโรงงานเช่นกัน ต่อมาในปี พ.ศ. 2509 โดยความร่วมมือของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา บริษัทซีคอนจำกัดได้จัดสร้างหมู่บ้านมิตรภาพขึ้นบริเวณซอยอ่อนนุช ถนนสุขุมวิท 77 ซึ่งถือว่าเป็นบ้านเดี่ยวระบบกึ่งสำเร็จรูปโครงการแรกเลยก็ว่าได้ ในระยะเวลาต่อมา บริษัทสตาร์บล็อกจำกัด ได้พัฒนาเทคโนโลยีของงประเทศนอร์เวย์ ในการใช้ระบบโครงถัก (Truss) มาประกอบเป็นโครงหลังคาถัก (Roof Truss) และตงโครงถัก (Joist Truss) โดยใช้วัสดุเป็นไม้ยางอัดน้ำยากับแผงตะปูเหล็กชุบสังกะสี (Gang nails) ส่วนระบบโครงสร้าง เช่นฐานราก เสา คาน และผนังก่ออิฐยังคงเป็นระบบดั้งเดิม ทั้งนี้เพราะเหตุผลทางการตลาดที่ต้องการให้ลูกค้าสามารถปรับเปลี่ยนแบบบ้านได้ตามความต้องการ

---

[1] ไตรรัตน์ จารุทัศน์, "Industrialized building", **เอกสารประกอบการสอนวิชาระบบการก่อสร้างเชิงอุตสาหกรรม**, (กรุงเทพ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), หน้า 31-32 (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2531 – 2533 อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเพิ่มสูงมาก (GDP ประมาณ13.3% - 11.6%) ทำให้เกิดการก่อสร้างที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก กล่าวคือในปี พ.ศ. 2533 เท่ากับ 102,000 หน่วย และปี พ.ศ. 2534 เท่ากับ 129,000 หน่วย และต่อเนื่องจนขึ้นสูงสุดในที่ปี พ.ศ. 2537 เท่ากับ 171,000 หน่วย ซึ่งในช่วง 4-5 ปีนี้ทำให้การก่อสร้างด้วยระบบอุตสาหกรรมเริ่มมีบทบาทมากขึ้นดังสังเกตจากบริษัทพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ที่ใช้ระบบสำเร็จรูปเกิดขึ้นมากมาย เช่น บริษัทสยามธานีพร็อพเพอร์ตี้จำกัด ได้พัฒนาระบบคอนกรีตอัดแรงขึ้นมาโดยใช้เทคโนโลยีของบริษัทไท-เซพีจำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) และได้ทำการก่อสร้างอาคารชุด 6 ชั้น (1 ชั้น มี 4 หน่วย พื้นที่ประมาณ 60 ตารางเมตรต่อหน่วย) ขึ้นมาภายใต้ชื่อโครงการบ้านสวนธน และด้วยกลยุทธ์ทางการตลาดและการโฆษณาประชาสัมพันธ์จึงทำให้ประชาชนทั่วไปเริ่มรู้จักและยอมรับบ้านระบบสำเร็จรูปมากขึ้น ต่อมาบริษัทโนเบิลดีเวลลอปเมนท์จำกัด ได้พัฒนาระบบที่เรียกว่า โนเบิลสตีลเทค ขึ้นมาโดยนำมาใช้กับโครงการาบ้านเดี่ยวของบริษัท ด้วยรูปแบบที่เน้นความทันสมัย วัสดุที่ใช้จะเป็นวัสดุเบาในการประกอบ เช่นโครงเหล็ก, แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นยิปซั่มบอร์ดเป็นต้น ทำให้ระบบนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับเปลี่ยนแบบ ซึ่งทำให้ลูกค้าของโครงการมีส่วนร่วมกับสถาปนิกของบริษัทสามารถออกแบบบ้านของตนเองได้ โดยสามารถดัดแปลงแบบบ้านได้มากกว่า 900,000 แบบ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2533 โครงการที่อยู่อาศัยจำนวนมหาศาลได้เปิดตัวขึ้นอีกหนึ่งโครงการภายใต้ชื่อ โครงการเมืองทองธานี เป็นโครงการที่ประกอบด้วยอาคารชุดอุตสาหกรรม อาคารชุดพักอาศัย และบ้านเดี่ยว ซึ่งทั้งหมดได้ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบคอนกรีตอัดแรงที่จะทำการหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเช่น เสา คาน ผนัง และพื้น มาจากโรงงานและนำมาประกอบเป็นอาคารที่หน่วยงานก่อสร้างโดยร่วมทุนกับบริษัท BOUGES ของประเทศฝรั่งเศส นอกจากนั้นก็ยังมีบริษัทไรมอนแลนด์จำกัด ได้พัฒนาระบบที่เรียกว่า ระบบไพวาน ซึ่งเป็นระบบผนังรับน้ำหนักจากออสเตรเลียโดยใช้แบบหล่ออลูมิเนียมมาประกอบกันเป็นแบบหล่อ แล้วจึงเทคอนกรีตอัดแรงลงในแบบ ซึ่งแบบหล่อที่ทำขึ้นบริเวณพื้นที่โครงการจะใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นสำเร็จรูป จากนั้นก็จะนำแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ได้นำมาประกอบเป็นอาคารระบบผนังรับน้ำหนัก (Tilt up Precasted) รูปแบบของอาคารมีทั้งบ้านเดี่ยว, ทาวน์เฮาส์และอาคารชุด นอกจากที่กล่าวมาในข้างต้นแล้วก็ยังมีอีกหลายบริษัทที่ได้พัฒนาระบบกึ่งสำเร็จรูปของตนเองขึ้นมาเพื่อรองรับงานก่อสร้างที่เพิ่มมากขึ้น เช่น บริษัทแลนด์แอนด์เฮาส์จำกัด, บริษัทควอลิตี้เฮาส์จำกัด (มหาชน), บริษัทกฤษดามหานครจำกัด (มหาชน), บริษัทพฤกษาเรียลเอสเตทจำกัด, บริษัทเอเซียนพร็อพเพอร์ตี้จำกัด, บริษัทแลนดี้โฮมจำกัด เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดก็ได้ใช้การก่อสร้างในระบบผนังรับน้ำหนักเป็นหลักสำหรับงานก่อสร้างของในโครงการซึ่งส่วนมากจะเป็นอาคารประเภทบ้านเดี่ยวหรือทาวน์เฮาส์ที่มีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น นอกจากที่กล่าวมาแล้วนั้นก็ยังมีโครงการบ้านเอื้ออาทรที่ถือเป็นโครงการ

ขนาดใหญ่อีกโครงการที่ใช้ระบบสำเร็จรูปในการก่อสร้างอาคาร (อาคารพักอาศัยขนาด 5 ชั้น 1 ชั้น มี 9 หน่วย พื้นที่ต่อหน่วยประมาณ 35 ตารางเมตร) ตามนโยบายของรัฐที่สนับสนุนให้ผู้มีรายได้น้อยมีบ้านเป็นของตนเอง

2.2 ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบอุตสาหกรรมและการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป

2.2.1 ความหมายของระบบอุตสาหกรรม

ระบบการก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรม หมายถึง การดำเนินการก่อสร้างอาคารโดยนำกรรมวิธีและเทคโนโลยีที่ดีที่สุดมาประยุกต์ให้ตอบสนองกระบวนการก่อสร้าง ที่สอดคล้องกับความต้องการและการออกแบบในการผลิตและก่อสร้างทั้งนี้หากจะพิจารณาว่าระบบก่อสร้างเป็นแบบอุตสาหกรรมหรือไม่นั้นสามารถพิจารณาได้จากเกณฑ์ 5 ประการดังนี้

1. เป็นกระบวนการผลิตคราวละมากๆ
2. มีมาตรฐานของผลผลิตในขั้นตอนสุดท้าย
3. ใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิต
4. เข้มงวด เอาใจใส่กระบวนการผลิตตั้งแต่การจัดซื้อ การตลาด การออกแบบ จนถึงการผลิต
5. ใช้แรงงานที่มีความชำนาญเฉพาะด้านสำหรับงานบางอย่าง

2.2.2 ความหมายของระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป [2]

ชิ้นส่วนสำเร็จรูป หมายถึง ผลผลิตของส่วนประกอบอาคารที่ผลิตขึ้นสำหรับการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเหล่านี้จะอาศัยมาตราส่วนที่ได้มาตรฐานเดียวกันเพื่อใช้ในการออกแบบ การผลิตจะทำที่โรงงานและจะทำการประกอบติดตั้งที่หน่วยงาน

วัสดุพื้นฐานหลัก 3 อย่าง ในการพัฒนาระบบสำเร็จรูปคือ เหล็ก, คอนกรีตและไม้ นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุอื่นเป็นวัสดุประกอบรอง เช่น พลาสติก, ไฟเบอร์กลาสและกระจกเป็นต้น ถ้าหากจะดูระดับของระบบสำเร็จรูป (Degree of Prefabrication) แล้ว ให้ดูจากสัดส่วนของชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นที่โรงงานเทียบกับคนก่อสร้างอื่นที่ต้องก่อสร้างในหน่วยงานก่อสร้าง

กล่าวโดยสรุปแล้ว ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีความหมายเพียงขั้นตอนการผลิตของส่วนประกอบอาคารที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน ในขณะที่ระบบก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมครอบคลุมกระบวนการการก่อสร้างอาคารทั้งกระบวนการตั้งแต่การออกแบบ การวางแผน การผลิต การจัดการพื้นที่ก่อสร้าง การวางแผนงานและการจัดการทางการเงิน

---

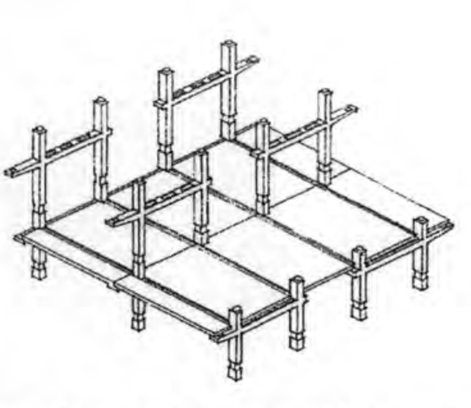
[2] เรื่องเดียวกัน, หน้า 28

2.2.3 ประเภทระบบการก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรม

การแบ่งประเภทของระบบการก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรมนี้สามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะด้วยกัน คือ แบ่งตามชนิดของโครงสร้าง, แบ่งโดยกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป, แบ่งตามลักษณะของวัสดุก่อสร้างและแบ่งตามระบบชิ้นส่วนที่จะนำมาประกอบกัน ซึ่งสามารถกล่าวโดยละเอียดดังนี้ คือ

2.2.3.1 แบ่งตามชนิดของโครงสร้างสามารถแบ่งย่อยได้ 3 แบบ คือ

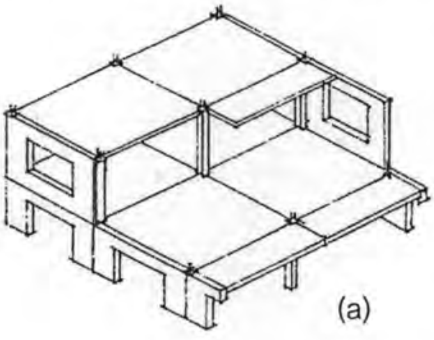
1. ระบบชิ้นส่วนประกอบ (Component System) หรือ (Frame Structure System) เป็นระบบโครงสร้างที่พื้นรับน้ำหนักถ่ายลงบนคานผ่านน้ำหนักไปยังเสาและลงสู่ฐานรากตามลำดับ ในระบบนี้โครงสร้างพื้น, คาน, และเสาจะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตแยกออกจากกันเป็นชิ้นๆ แล้วนำมาประกอบกันที่หน่วยงานก่อสร้าง การก่อสร้างระบบเสาคานสำเร็จรูปจะมีความแตกต่างจากระบบเสาคานของการก่อสร้างแบบหล่อกับที่ (Skeleton Frame or Column and Beam) ประการหนึ่งคือ โครงสร้างระบบ เสา-คาน สำเร็จรูปจะมีแนวคานสำเร็จรูปอยู่เพียงแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้นจะไม่มีคานวิ่งรดรอบเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับระบบการหล่อกับที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้งบริเวณจุดตัดของคานทั้งสี่ด้าน ดังนั้นในระบบสำเร็จรูปจะมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้นส่วนในอีกแนวหนึ่งซึ่งไม่มีคานจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือแผ่นผนังสำเร็จรูป วิธีการต่อของรอยต่อระหว่างเสากับคานหลายวิธีก็ได้มาจากการเลียนแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็กจนมีผู้กล่าวว่าผู้ที่จะออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบเสาและคานได้ดีควรจะเป็นผู้ที่เข้าใจและศึกษารอยต่อของโครงสร้างไม้หรือเหล็กมาก่อน

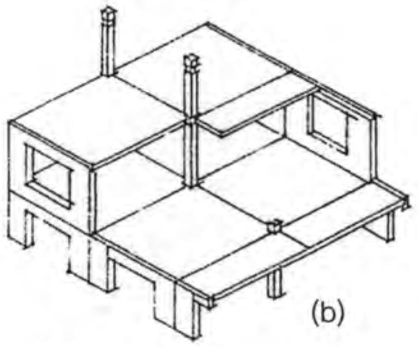


รูปภาพ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบเสาและคานที่ใช้ในโครงการ Muranow ประเทศโปรแลนด์

โครงสร้างอีกแบบหนึ่งที่มีลักษณะแบบชิ้นส่วนประกอบก็คือ โครงสร้างที่เรียกว่า ระบบเสาและแผ่นพื้น (Beamless Skeleton) ระบบโครงสร้างชนิดนี้แผ่นพื้นจะวางบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคานมารองรับ มีลักษณะเหมือนกับกับโครงสร้างประเภท Flat Slab โดยตามหลักการแล้วแผ่นพื้น

สำเร็จรูปจะวางอยู่บนปลายของเสาเพียง 4 จุดเท่านั้น ดังนั้นแผ่นพื้นสำเร็จรูปจึงต้องการความหนาและปริมาณเหล็กในคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่าแผ่นนั้นชนิดอื่นๆ ประโยชน์ที่ได้จากระบบนี้คือความสะดวกรวดเร็วในการประกอบและติดตั้งเนื่องจากสามารถลดองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญไปได้หนึ่งส่วน นั่นคือ "คาน" ซึ่งพื้นสำเร็จรูปจะถูกใช้ให้ทำหน้าที่แทนคานเพื่อยึดเสาให้เป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้จึงมีการคำนวณเรื่องการรับแรงของแรงลมเป็นพิเศษ หรือในกรณีที่ต้องการให้แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถรับแรงลมได้รวมอยู่ในโครงสร้างด้วย


(a)


(b)

รูปภาพ 2.2 แสดงโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้น

(a) แสดงโครงสร้างแบบใช้เสาเป็นส่วนรับน้ำหนักจากพื้นสำเร็จรูป

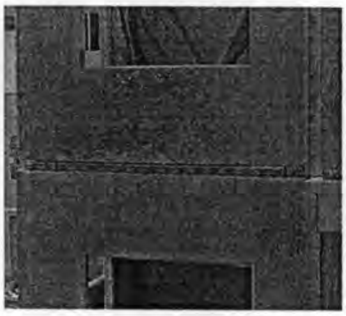
(b) แสดงโครงสร้างแบบใช้เสาและผนังช่วยกันรับน้ำหนักจากพื้นสำเร็จรูป

2. ระบบแผ่นระนาบ 2 มิติ (Panel System) เป็นระบบโครงสร้างที่แผ่นพื้นรับน้ำหนักจะถ่ายน้ำหนักลงบนแผ่นผนัง และส่งผ่านลงสู่ฐานรากตามลำดับ โครงสร้างระบบนี้จะเน้นแผ่นพื้นและผนังรับแรงเป็นโครงสร้างหลัก การออกแบบขนาดแผ่นผนังรับแรงจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรที่จะใช้ในการยกติดตั้ง และความสะดวกในการขนส่งเป็นสำคัญ ชิ้นส่วนสำเร็จรูปแผ่นระนาบ 2 มิติ (Panel System) จะถูกผลิตมาจากโรงงาน เช่น แผ่นผนังแผ่นพื้น และจึงนำมาติดตั้งและประกอบเข้าด้วยกันที่หน่วยงานก่อสร้าง งานลักษณะนี้มีมานานแล้วโดยเฉพาะบ้านพักอาศัยที่เป็นโครงสร้างไม้ แต่ระบบสมัยใหม่ได้ทำให้มีรายละเอียดมนการก่อสร้างมากขึ้น เช่น การติดตั้งประตู-หน้าต่าง การตกแต่งวัสดุปิดผิวซึ่งก็จะทำการผลิตพร้อมประกอบมาจากโรงงานเลยระบบการก่อสร้างด้วยแผ่นระนาบ 2 มิติ (Panel System) นี้สามารถปรับเปลี่ยนการวางผังและรายละเอียดในการออกแบบได้หลากหลาย มีความยืดหยุ่นพอสมควรในการปรับขนาดของและผังอาคาร

พอถึงจุดหนึ่งที่นักออกแบบให้ความสนใจเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน ระบบแผ่นระนาบ 2 มิติ (Panel System) ก็ถูกพัฒนาเป็นระบบแผ่นโครงสร้างแบบมีฉนวน (Structural Insulated Panels) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของระบบ Panelized Construction ที่มีการประกอบฉนวนป้องกันอุณหภูมิเข้ากับแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยทั่วไปจะเป็นฉนวนชนิดแข็ง เช่น โฟมโพลียูริเทน (Polyurethane Foam) ใส่ไว้ตรงกลางแผ่นและคลุมด้วยวัสดุปิดผิวซึ่งเป็นวัสดุหลักของแผ่นชิ้นส่วน

สำเร็จรูป โดยไม่จำเป็นต้องใช้หมุดยึดกับฉนวน เพราะถือเป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนสำเร็จรูปชิ้นเดียวกัน วัสดุปิดผิวภายนอกสมารถใช้วัสดุชนิดต่างๆ ได้หลากหลายตามความต้องการของการใช้งาน เช่น แผ่นไม้, แผ่นยิปซั่มบอร์ด, แผ่นเหล็ก, แผ่นซีเมนต์บอร์ด, คอนกรีต หรือแม้กระทั่งการทำวัสดุพื้นผิว (Texture) อย่างกรวดล้าง หรือทรายล้างก็สามารถที่จะทำได้

(a)



(b)

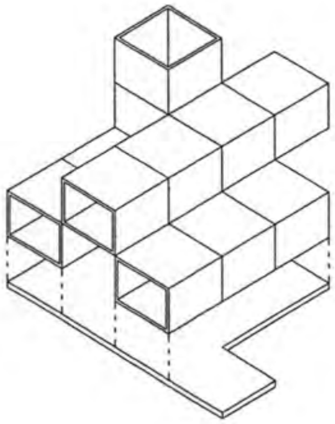
รูปภาพ 2.3 แสดงโครงสร้างระบบแผ่นระนาบ 2 มิติ (Panel System)

(a) แสดงรูปด้านของบ้านเดี่ยวโครงการซื่อตรงรังสิตคลอง 3

(b) แสดงรูปด้านของบ้านเดี่ยวโครงการซื่อตรงรังสิตคลอง 3

3. ระบบปริมาตร 3 มิติ (Modular System หรือ Volumetric System) เป็นระบบก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปลักษณะ 3 มิติ มีลักษณะเป็นห้องหรือหน่วยสำเร็จรูป (Pod) และนำแต่ละหน่วยมาประกอบเข้าด้วยกัน ระบบนี้สามารถควบคุมวัสดุปิดผิวภายในหน่วยให้เรียบร้อยก่อนออกจากโรงงาน ทำให้ลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ก่อสร้างได้มากขึ้น เพิ่มความรวดเร็วในงานก่อสร้าง สภาพการทำงานที่หน่วยงานสะดวกขึ้น ตลอดจนเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพของขั้นตอนการทำงานได้ดี ระบบการก่อสร้างเชิงปริมาตร (Modular System หรือ Volumetric System) นี้จะเหมาะกับพื้นที่ที่เป็นส่วนบริการของบ้านพักอาศัย เช่น ห้องครัว, ห้องน้ำ อย่างไรก็ตามระบบนี้อาจไม่เหมาะกับบ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยภายในไม่มากนัก

ข้อเสียของระบบนี้ คือ ข้อจำกัดของขนาดและน้ำหนักของหน่วยสำเร็จรูปจะต้องไม่เกินขีดจำกัดของเครื่องจักรที่จะใช้ในการขนส่งและติดตั้งรวมถึงการรับน้ำหนักบรรทุกและความกว้างของถนนด้วย อีกทั้งควรที่จะผลิตขนาดเดียวกันเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้ประสิทธิ์ภาพในการผลิตสูงสุด ซึ่งก็เป็นข้อจำกัดในการออกแบบและวางผังอาคารอีกทั้งยังต้องเตรียมการสำหรับงานระบบของช่องท่อต่างๆ ไว้ด้วย ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะกับอาคารที่มีรูปแบบซ้ำๆ กัน เช่น โรงแรม อาคารชุด หรืออาพาร์ตเม้นต์ เป็นต้น และประเด็นหนึ่งที่สำคัญคือ หน่วยสำเร็จรูปนี้จะต้องแข็งแรงและแน่นหนาพอที่จะทนต่อการขนย้ายเพื่อไปติดตั้งโดยเครน (Tower crane) ได้ด้วย



รูปภาพ 2.4 แสดงโครงสร้างระบบแผ่นระบบปริมาตร 3 มิติ (Modular System หรือ Volumetric System)

2.2.3.2 แบ่งโดยกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถแบ่งย่อยได้ 2 แบบ คือ

1. กระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) กระบวนการผลิตขึ้นโดยจะไม่อาศัยน้ำเป็นส่วนประกอบในกระบวนการของการผลิต ชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบแห้ง (Dry Process) โดยทั่วไปมักจะมีลักษณะแบบโครงเคร่าและคลุมด้วยวัสดุปิดผิวประเภทต่างๆ ได้ตามต้องการ การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปด้วยระบบนี้สามารถผลิตได้ทั้งแบบ Heavyweight system และ Lightweight System

2. กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process) หมายถึงกระบวนการผลิตขึ้นโดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบในกระบวนการของการผลิต ชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบเปียก (Wet Process) สามารถเป็นได้ทั้งแบบ Heavyweight system และ Lightweight System แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตแบบเปียกจะใช้ซีเมนต์เป็นส่วนประกอบในกระบวนการของการผลิต ซึ่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะมีลักษณะแบบผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing) ที่พบเห็นกันทั่วไปในระบบอุตสาหกรรมการก่อสร้างของบ้านเรา

2.2.3.3 แบ่งตามลักษณะของวัสดุก่อสร้าง [3] การแบ่งในลักษณะนี้จะใช้น้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นเกณฑ์ โดยสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบหนัก (Heavyweight System) น้ำหนักของชิ้นส่วนระบบนี้จะมีน้ำหนักตั้งแต่ 1,000 กก./ลบ.ม. ขึ้นไป วัสดุที่ใช้กับระบบนี้โดยทั่วไปจะเป็นคอนกรีตหรืออิฐเป็นวัสดุหลัก

2. ระบบเบา (Lightweight System) น้ำหนักของชิ้นส่วนระบบนี้จะมีน้ำหนักน้อยกว่า 1,000 กก./ลบ.ม. วัสดุที่ใช้กับระบบนี้โดยทั่วไปจะเป็นไม้, พลาสติก, อลูมิเนียม, หรือชิ้นส่วนที่มีโครงเคร่า (Steal Frames) และหุ้มด้วยวัสดุปิดผิว เป็นต้น

การลงทุนสำหรับระบบหนักจะสูงกว่าระบบเบา เพราะระบบหนักจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการผลิต การขนส่ง และการประกอบติดตั้ง

---

[3] เรื่องเดียวกัน, หน้า 28-29.

2.2.3.4 แบ่งตามระบบชิ้นส่วนที่จะนำมาประกอบกันสามารถแบ่งย่อยได้ 2 แบบ คือ

1. ระบบปิด (Closed System) การผลิตในระบบนี้คือการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับโครงการใดโครงการหนึ่งหรือประโยชน์ใช้สอยโดยเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง ขนาด (Dimension) ของชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบนี้จะไม่สัมพันธ์กับขนาด (Dimension) ของชิ้นส่วนอื่นๆ ที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด ดังนั้นความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบปิด (Closed System) จึงเหมาะกับโครงการที่จะต้องอาศัยการผลิตของจำนวนหน่วยที่มากพอที่จะคุ้มกับการลงทุนในการทำชิ้นส่วนต้นแบบ

2. ระบบเปิด (Open System) การผลิตในระบบนี้คือการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยคำนึงถึงขนาด (Dimension) ของชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้สัมพันธ์กับขนาด (Dimension) ของชิ้นส่วนอื่นๆ ที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบระบบเปิด (Open System) บางชิ้นสามารถใช้ชิ้นส่วนอื่นๆ ที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดเข้ามาผสมได้ ระบบนี้จึงเหมาะกับอาคารแบบมาตรฐานทั่วๆ ดังนั้นความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบนี้จึงไม่ต้องกังวลในเรื่องจำนวนหน่วยของโครงการมากนัก หากแต่ต้องคำนึงถึงขนาด (Dimension) ของชิ้นส่วนที่จะผลิตเป็นสำคัญ

2.3 หลักการออกแบบอาคารระบบสำเร็จรูป

2.3.1 <u>การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Structure of Panel System)</u>

ระบบนี้ได้ใช้กันมานานและกว้างขวางสำหรับการก่อสร้างอาคารพักอาศัยในประเทศแถบยุโรป ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศเข้ามาใช้อย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้างและบางส่วนก็ได้พัฒนาระบบขึ้นใช้เอง วิธีการก่อสร้างระบบผนังรับน้ำหนักสำเร็จรูปนั้น โดยหลักการผนังสำเร็จรูปขนาดเท่าความสูงของชั้นที่ผลิตขึ้นจากกรงงานจะถูกนำมาติดตั้งบนพื้นสำเร็จรูป หลังจากนั้นก็จะนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปของชั้นต่อไปมาวางบนผนัง เช่นนี้เรื่อยๆ ไป

ผนังและพื้นในระบบนี้มีสมารถทำการผลิตได้ 2 แบบ แบบแรกคือการหล่อกับแบบที่วางนอนกับพื้นในวิธีการหล่อแบบนี้ สามารถจะปรับความหนาของแผ่นได้ในแบบหล่อชุดเดียวกัน ส่วนแบบที่สองคือ การหล่อแผ่นผนังในทางแนวตั้งที่เรียกว่า Battery Caseing ในวิธีนี้แบบสำหรับแบบหล่อจะวางตั้ง และมีแผ่นเหล็กกั้นเป็นช่องๆ ตามความหนาของผนังที่ต้องการ การเทคอนกรีตครั้งหนึ่งจะได้แผ่นผนังครั้งละจำนวนมากๆ แผ่นผนังและพื้นเหล่านี้จะเสริมเหล็กตะแกรง 2 ชั้น สามารถฝังท่อเดินไฟฟ้า, ท่อน้ำ ไว้ก่อนที่จะทำเทคอนกรีตได้ แล้วแต่การออกแบบ ผิวคอนกรีตจะออกมาเรียบโดยไม่ต้องฉาบปูนอีกครั้ง เมื่อเทคอนกรีตแล้วจะต้องทิ้งระยะบ่มคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ระยะเวลาที่ต้องรอก่อนที่จะสามารถถอดคอนกรีตออกมาจากแบบนี้สามารถเร่งให้เร็วขึ้นได้โดยวิธีการอบด้วย

ไอน้ำซึ่งหลังจาก 24 ชม. แล้วก็สามารถถอดออกจากแบบได้ สำหรับผนังที่จะต้องเจาะช่องประตูหน้าต่างก็จะใช้การกั้นแบบเป็นช่องเปิดไว้ในตำแหน่งที่ต้องการตามการออกแบบได้

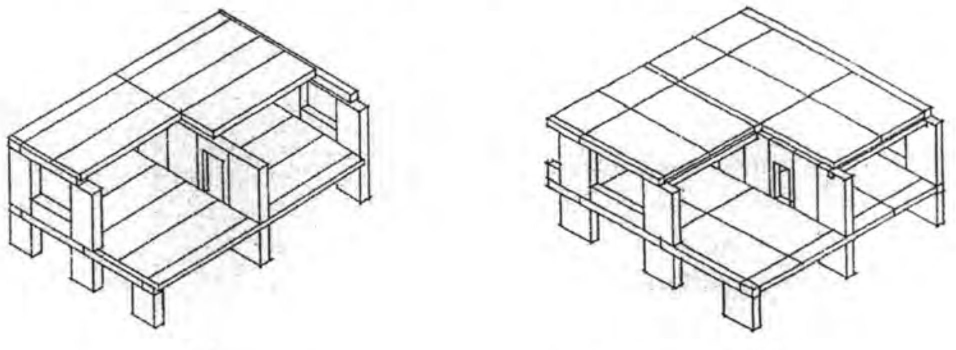
ขั้นการผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นในระบบนี้นับเป็นระบบโครงสร้างที่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ง่ายกว่าระบบอื่นๆ ขั้นตอนต่อไปหลังจากการผลิตก็คือการประกอบและติดตั้งแผ่นผนังเหล่านี้เข้าที่ซึ่งนับรวมตั้งแต่การขนส่งชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจากโรงงานไปถึงบริเวณหน่วยงานก่อสร้าง การยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นไปติดตั้งให้ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทั้งในแนวราบและแนวดิ่งล้วนเป็นขั้นตอนที่มีปัญหามาก จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ และมีความประณีตในการทำงาน การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นมาลงที่แนวผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะเพียงการทำหน้าที่กั้นห้องเท่านั้น หากยังจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อมๆ กันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังยังทำหน้าที่ทางโครงสร้างอย่างสำคัญในอาคารคือการต้านทานแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าโครงสร้างแบบเสาและคานอีกด้วย

ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างอาคารแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนักสามารถแบ่งได้ 3 วิธีดังต่อไปนี้

1. การวางแนวผนังแบบตามยาว (Long-Wall System) คือ การวางวางแนวผนังรับน้ำหนักที่จะต้องรับน้ำหนักจากพื้นชั้นบนไปในทิศทางแนวเดียวกันกับความยาวของอาคารระบบนี้สังเกตได้โดยดูทิศทางของแผ่นพื้นจะวางพาดน้ำหนักมาลงผนังส่วนที่เป็นผนังด้านหน้าและผนังด้านหลังของอาคาร อาคารที่ใช้ระบบนี้ว่าจะต้องมีช่องเปิดที่จะเป็นหน้าต่างของห้องเล็กกว่าปกติ เนื่องจากผนังส่วนที่เป็นหน้าต่างที่จะต้องใช้เป็นผนังรับน้ำหนักของพื้นที่ต้องนำมาพาดวางลงไว้ด้วย จึงไม่เหมาะสำหรับอาคารที่พักอาศัยที่ไม่สามารถเจาะช่องเปิดทางด้านข้างของอาคารได้และมีความจำเป็นต้องเจาะช่องเปิดทางด้านหน้าและด้านหลังของอาคาร พฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักของผนังสำเร็จรูปแบบตามยาว (Long-Wall System) จะมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ การถ่ายน้ำหนักของผนังลงสู่พื้นและถ่ายจากพื้นสู่แผ่นผนังรับน้ำหนักชั้นถัดลงไปเรื่อยๆ กับอีกแบบหนึ่งคือ การถ่ายน้ำหนักของผนังลงสู่พื้นและถ่ายจากพื้นไปสู่คานและจากคานไปสู่ผนังรับน้ำหนักของชั้นถัดลงไป

ข้อดีของระบบนี้อยู่ที่สามารถเปิดช่องโล่งได้ตลอดในแนวตามความยาวของอาคารเพราะไม่จำเป็นต้องมีผนังในแนวขวางมากั้นแต่อย่างใดจึงสามารถนำไปใช้กับอาคารประเภทสำนักงานหรือห้องเรียนได้ แต่ความกว้างของห้องอาจถูกจำกัดด้วยความยาวของแผ่นพื้นที่อาจไม่สามารถพาดยาวได้ถึงระยะห่างของผนังที่จะรับน้ำหนักได้ยกเว้นต้องออกแบบแผ่นพื้นเป็นพิเศษสำหรับวางพาดได้ระยะห่างมากๆ การแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยวางคานพาดลงกำแพงรับน้ำหนักแบบตามยาว (Long-Wall System) แล้วให้แผ่นพื้นวางพาดลงบนคานแทนที่จะพาดลงผนังห้องโดยตรงซึ่งจะทำให้ระบบมี

ความยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปแทนที่จะมีเพียงผนังกับพื้นก็จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นคานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอีกจึงเป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักและคาน



(a) (b)

รูปภาพ 2.5 แสดงการวางผนังและพื้นสำเร็จรูปของโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนักแบบตามยาว (Long-Wall System)

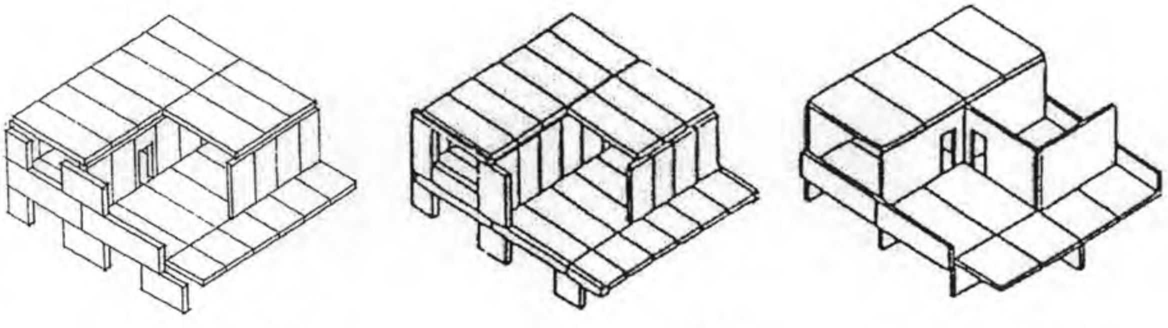
(a) แสดงโครงสร้างการถ่ายน้ำหนักของพื้นลงบนผนัง

(b) แสดงโครงสร้างการถ่ายน้ำหนักของพื้นลงบนคาน

2. การวางแนวผนังแบบตามขวาง (Cross-Wall System) คือ การวางแนวผนังรับน้ำหนักที่จะต้องรับน้ำหนักจากพื้นชั้นบนในทิศทางที่ขวางกับแนวความยาวของอาคาร ในปัจจุบันการออกแบบอาคารส่วนใหญ่นิยมวางแนวผนังรับน้ำหนักขวางกับความยาวของตัวอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารประเภทที่พักอาศัยซึ่งจำเป็นต้องมีผนังทางด้านขวางทึบตลอด เพื่อใช้เป็นผนังกั้นระหว่างแต่ละหน่วยของที่พักอาศัยอยู่แล้ว ดังนั้นผนังทึบในส่วนนี้จึงสามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ดีกว่าผนังที่จะต้องมีช่องเปิดทางด้านหน้าและด้านหลังอย่างเช่นผนังรับน้ำหนักในระบบ Long-Wall

ระบบผนังรับน้ำหนักแบบตามขวาง (Cross-Wall System) นี้ผนังด้านหน้าและด้านหลังจะไม่มีส่วนในการช่วยรับน้ำหนักจากพื้นเลย ดังนั้นจึงสามารถเปิดให้โล่งได้ตลอดแนวหรือใช้เป็นหน้าต่างขนาดใหญ่ได้ตลอดด้านหน้าและด้านหลังของห้อง พฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักของผนังสำเร็จรูปแบบตามขวาง (Cross-Wall System) จะมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ เหมือนกับการวางผนังแบบตามยาว (Long-Wall System) คือ การถ่ายน้ำหนักของผนังลงสู่พื้นและถ่ายจากพื้นสู่แผ่นผนังรับน้ำหนักชั้นถัดลงไปเรื่อยๆ กับอีกแบบหนึ่งคือ การถ่ายน้ำหนักของผนังลงสู่พื้นและถ่ายจากพื้นไปสู่คานและจากคานไปสู่ผนังรับน้ำหนักของชั้นถัดลงไป

ข้อดีของระบบนี้คือผนังที่จะต้องรับน้ำหนักของอาคารจะอยู่ในแนวขวางของอาคารที่สามารถใช้เป็นผนังแบ่งห้องหรือหน่วยอาคารสำหรับอาคารประเภทอาพาร์ตเม้นต์หรือโรงแรมอยู่แล้ว จึงเหมาะสมที่จะเจาะช่องเปิดในแนวตามยาวของอาคารที่จะใช้เป็นทางเข้าหลักของห้องพัก



(a) (b) (c)

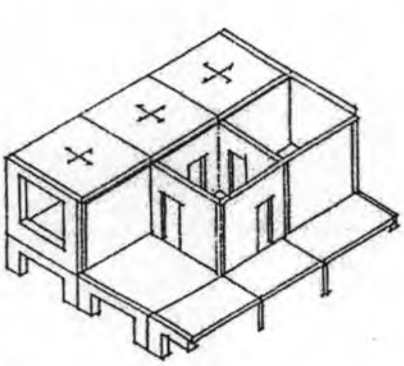
รูปภาพ 2.6 แสดงการวางผนังและพื้นสำเร็จรูปของโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนักแบบตามขวาง (Cross-Wall System)

(a) แสดงโครงสร้างการถ่ายน้ำหนักของพื้นลงบนผนัง

(b) แสดงโครงสร้างการถ่ายน้ำหนักของพื้นลงบนคาน

(c) แสดงโครงสร้างของวิธีประกอบผนังแบบตามยาว Long-wallเข้ากับผนังแบบตามขวาง Cross-Wall ที่ใช้เป็นผนังโครงสร้างรับน้ำหนักอยู่แล้ว

3. การวางแนวผนังแบบสองทาง (Two-Way Span System) คือ การวางแนวผนังรับน้ำหนักที่จะต้องรับน้ำหนักจากพื้นชั้นบนให้สามารถรับน้ำหนักจากพื้นได้ทั้ง 2 แนว ทั้งในแนวยาวของอาคาร (Long-Wall System) และแนวขวางอาคาร (Cross-Wall System) หมายความว่าผนังทั้ง 2 แนวของอาคาร จะถูกใช้เป็นผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ในกรณีนี้พื้นสำเร็จรูปของอาคารจะถูกออกแบบให้แบ่งน้ำหนักไปลงที่ผนังทั้ง 4 ด้าน แทนที่จะเป็นเพียง 2 ด้านเหมือนระบบตามขวาง (Cross-Wall System) และ ระบบตามยาว (Long-Wall System) พื้นในระบบผนังรับแรงแบบสองทาง (Two-Way Span System) นี้ จะมีราคาถูกกว่าพื้นที่ใช้ใน 2 ระบบเดิมที่กล่าวมาแล้วข้าวต้น และจะประหยัดที่สุดหากขนาดของแผ่นพื้นสำเร็จรูปถูกออกแบบให้เป็นสีเหลี่ยมจัตุรัส



รูปภาพ 2.7 แสดงการวางผนังและพื้นสำเร็จรูปของโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนักแบบสองทาง (Two-Way Span System)

ความแตกต่างของการถ่ายน้ำหนักแบบตามยาว (Long-Wall System), แบบตามขวาง (Cross-Wall System) และแบบสองทาง (Two-Way Span System) คือแนวของผนังที่จะใช้สำหรับรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารที่จะมีผลต่อการเจาะช่องเปิดและแนวการวางระบบแผ่นพื้นสำเร็จรูป

2.3.2 <u>เกณฑ์การออกแบบอาคารและชิ้นส่วนสำเร็จรูป</u>

2.3.2.1 น้ำหนักบรรทุก การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องพิจารณาและกำหนดให้ชัดเจนว่าอาคารจะต้องรับแรงกระทำชนิดใดบ้าง แรงกระทำต่างๆ ที่เกิดจะขึ้นกับอาคารมีผลต่อน้ำหนักบรรทุกของอาคารทั้งสิ้น น้ำหนักบรรทุกของอาคารมีด้วยกันหลายประเภทได้แก่

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) หมายถึงน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเองและน้ำหนักของโครงสร้างอื่นๆ ที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นรองรับอยู่

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) หมายถึงน้ำหนักที่เกิดจากการใช้งานทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เป็นน้ำหนักที่ไม่แน่นอนหรือคงที่ เช่น น้ำหนักของผู้อยู่อาศัยหรือเครื่องเรือนต่างๆ

3. น้ำหนักอันเนื่องมาจากแรงลม (Wind Load) หมายถึงน้ำหนักที่เกิดจากแรงกระทำของลมภายนอกอาคารซึ่งจะทำให้เกิดการสั่น การแกว่งหรือการโยกตัวของโครงสร้างอาคารมีทั้งแบบแนวราบและแนวดิ่ง

4. น้ำหนักอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว (Earthquake) หมายถึงน้ำหนักที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกใต้ชั้นผิวดินและทำให้อาคารเกิดความสั่นสะเทือน ปัจจุบันสถาปนิกและวิศวกรไทยส่วนมากมักไม่ค่อยคำนึงถึงแรงจากแผ่นดินไหว แต่ในอนาคตอันใกล้จะมีกฎกระทรวงบังคับให้อาคารซึ่งก่อสร้างในจังหวัดซึ่งเคยมีประวัติได้รับความสั่นสะเทือนรับจากแผ่นดินไหวต้องออกแบบอาคารให้รับแรงจากแผ่นดินไหวด้วยได้แก่จังหวัด กาญจนบุรี, เชียงราย, แม่ฮ่องสอน, เชียงใหม่, พะเยา, ลำพูน, ตาก, น่าน, แพร่, และลำปาง

5. น้ำหนักอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือน เป็นแรงที่เกิดจากอุบัติเหตุ หรือแรงจากสิ่งไม่คาดคิด (Vibration, Accident, Unforeseen) หมายถึงน้ำหนักที่เกิดจากการสั่นสะเทือน จากอุบัติเหตุ หรือจากสิ่งไม่คาดคิด ซึ่งผู้ออกแบบควรออกแบบเผื่อให้ชิ้นส่วนคอนกรีตสามารถรับแรงที่ไม่คาดคิดหรือแรงจากอุบัติเหตุทั้งขณะก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้างได้ด้วยเช่น แก๊สระเบิด, รถชนผนังอาคารหรือเครื่องบินชนอาคารเป็นต้น

2.3.2.2 เครื่องจักร เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญต่อระบบของการก่อสร้าง เครื่องจักรไม่ได้หมายถึงรถเครน (Mobile crane) หรือ A- Frame เครน เพียงอย่างเดียว แต่หมายรวมถึงองค์ประกอบอื่นๆ ที่ช่วยสนับสนุนการก่อสร้างให้บรรลุเป้าหมายซึ่งสามารถแยกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. เครื่องจักรกล (Equipment Available) เครื่องจักรกลที่จะใช้ของแต่ละหน่วยงานก่อสร้างจะเป็นตัวแปรสำคัญของขั้นตอนการออกแบบที่จะกำหนดขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป รวม

ไปถึงกำหนดวิธีการและขั้นตอนการประกอบติดตั้ง อย่างไรก็ตามปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเครื่องจักรกลก้าวหน้าขึ้นมาก ทำให้สามารถผลิตเครื่องจักรที่มีคุณภาพที่สามารถตอบสนองต่อการก่อสร้างอาคารในระบบสำเร็จรูปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. น้ำหนักที่มากที่สุดของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Maximum Weight of Concrete) น้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่หนักมากที่สุดจะเป็นตัวพิจารณาในการต้องเลือกใช้เครื่องจักรกลที่จะใช้ในโรงงานและในหน่วยงาน รวมทั้งวิธีการประกอบและติดตั้งด้วย

3. ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของชิ้นส่วนคอนกรีต (Maximum Size of Element) ในการออกแบบขนาดชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใหญ่ที่สุดจะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการผลิต การขนส่งและการประกอบติดตั้งด้วย เพราะการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตตามถนนหลวงจะถูกจำกัดความกว้างของตัวรถบรรทุกไม่เกิน 2.50 เมตร และสูงไม่เกิน 4.00 เมตร ฉะนั้นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีขนาดกว้างและความยาวเกิน 2.50 เมตร จะต้องขนส่งในลักษณะตั้งหรือเอียง เพื่อไม่ให้ความสูงของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเกินกำหนดตามที่กฎหมายกำหนด ยกเว้นแต่จะมีการขออนุญาตเป็นกรณีพิเศษ

4. ขั้นตอนการประกอบติดตั้ง (Sequence of Election) ขั้นตอนหรือความสามารถที่จะประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะอีกเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้รูปแบบของชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีรูปร่างลักษณะที่แตกกันไป และยังมีผลกับความรวดเร็วในการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปด้วย

5. พื้นที่ทางเข้าที่ต้องการ (Acess Area Required) การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องคำนึงถึงอย่างมากว่า ขณะประกอบติดตั้งจะมีพื้นที่พอเพียงที่จะทำงานได้จริง (Acess Area) หรือไม่ พื้นที่ทำงานไม่ได้หมายถึงเฉพาะที่ดินหรือถนนรอบอาคารเท่านั้น แต่รวมความถึงที่ว่างของความสูงในอากาศด้วย เช่น ต้องคำนึงถึงว่าในแต่ละขั้นตอนขณะประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเครื่องจักรที่ใช้ยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะต้องสามารถหิ้วชิ้นส่วนสำเร็จรูปไปวางลงตามตำแหน่งที่ต้องการได้โดยไม่ถูกกีดขวางจากส่วนอื่นๆ ของอาคาร

2.3.2.3 เสถียรภาพของโครงสร้าง การเลือกรูปแบบการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพและความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวดังนี้

1. ระหว่างการก่อสร้าง (Construction Period) โครงสร้างที่ออกแบบและขั้นตอนการติดตั้งและประกอบรอยต่อจะต้องทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพเพียงพอไม่ล้มลงหรือพังทลายโดยง่ายทั้งนี้อาจใช้อุปกรณ์ค้ำยันช่วยค้ำไว้ชั่วคราวขณะก่อสร้าง

2. ในระยะยาว (Longterm Condition) ในระยะยาวแล้วโครงสร้างจะต้องมีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศความสั่นสะเทือนจากแรงต่างๆ เพียงพอที่จะไม่พังทลายตลอดอายุของอาคารนั้น

3. การดัดแปลงในภายหลัง (Later Modifiacation) อาคารคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปจะมีขีดจำกัดและยุ่งยากในการดัดแปลงอาคาร (หลังจากการก่อสร้างอาคารแล้วเสร็จ)

หรือไม่สามารถจะทำได้ อย่างไรก็ตามหากมีการดัดแปลงใดๆ การออกแบบโครงสร้างโดยเฉพาะรอยต่อจะต้องมีกำลังสำรองไว้พอสมควรที่จะไม่ทำให้โครงสร้างพังทลายเสียหายอย่างร้ายแรงหากมีการดัดโครงสร้างโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ และหากเป็นไปได้ควรมีการวางแผนไว้ล้วงหน้าว่าหากจะต้องการดัดแปลงอาคารในภายหลังจะสามารถทำได้กรณีใดบ้างและทำอย่างไร ตัวอย่างเช่น กรณีทาวน์เฮาส์อาจเผื่อให้สามารถเจาะผนังรับแรง (Bearing Wall) ในตำแหน่งที่กำหนดไว้เพื่อให้สามารถเดินทะลุจากห้องหนึ่งไปอีกห้องหนึ่งได้

4. กลไกการพังทลายที่เป็นไปได้ (Possible Failure Mechanism) การออกแบบโครงสร้างควรคำนึงด้วยว่ากลไกการพังทลายจะเป็นอย่างไรหากชิ้นส่วนสำเร็จรูปชิ้นส่วนใดชิ้นหนึ่งแตกหักหรือเสียหายไป การออกแบบที่ดีจะต้องให้โครงสร้างมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังทลายได้น้อยที่สุดหรือพังทลายแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้อยู่อาศัย นอกจากนี้ จะต้องพิจารณาด้วยว่าในระหว่างการก่อสร้างจะมีโอกาสเกิดการพังทลายด้วยกลไกอย่างใดได้บ้าง เพื่อจะได้ป้องกันมิให้เกิดกลไกการพังทลายเช่นนั้น

5. การพังทลายอย่างต่อเนื่อง (Progressive Failure) การออกแบบโครงสร้างชนิดนี้จะต้องป้องกันมิให้โครงสร้างเกิดการพังทลายอย่างต่อเนื่องจะเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ เช่น ถังแก๊สระเบิด หรือรถบรรทุกพุ่งชนชั้นล่างของอาคาร เป็นต้น

2.3.3 <u>ขั้นตอนและสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป</u>

สำหรับอาคารที่จะใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น วิธีการและระบบก่อสร้างจะมีความแตกต่างจากอาคารที่ใช้การก่อสร้างด้วยระบบธรรมดาทั่วไป ดังนั้นเงื่อนไขที่จะต้องพิจารณาสำหรับอาคารที่จะทำการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นจึงมีความแตกต่างจากอาคารที่ทำการก่อสร้างแบบทั่วไปซึ่งสามารถจะแยกเป็นหัวข้อย่อยๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.3.3.1 รูปแบบและประเภทของอาคาร

การก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นระบบการก่อสร้างที่สามารถนำไปใช้ได้กับอาคารหลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาคารขนาดเล็ก เช่นบ้านพักอาศัยหรือทาวน์เฮาส์, อาคารขนาดกลาง เช่นแฟลตหรืออาพาร์ตเม้นต์, อาคารสูง เช่นคอนโดมิเนียมเป็นต้น อีกทั้งยังเป็นระบบที่เหมาะสมกับสำหรับการก่อสร้างอาคารที่ต้องการความรวดเร็วเป็นหลักอย่างอาคารประเภทที่มีผลเชิงพาณิชย์ เช่น ออฟฟิต หรือโรงงานเป็นต้น โดยภาพรวมเมื่อมองจากภายนอกการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีคุณภาพไม่แตกต่างไปจากระบบดั้งเดิม (Conventional) มากนัก แต่ก็ต้องยอมรับว่าทั้งสองระบบมีข้อเด่นข้อด้อยและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน อย่างกรณีเมื่อนำระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปไปทำการก่อสร้างอาคารประเภททาวน์เฮาส์ ก็จะมีข้อจำกัดบางจุดที่หลายคนมองข้าม คือการเดินท่องานระบบสุขาภิบาลในตำแหน่งชิ้นส่วนของผนังกั้นห้องน้ำระหว่างหน่วยอาคาร

เนื่องจากผังอาคารแบบทาวน์เฮาส์จะมีลักษณะเป็นส่วนกลับของผังห้องที่ติดกัน ดังนั้นจึงทำให้ห้องน้ำของทั้งหน่วยอาคารจะอยู่ติดกันและใช้ผนังกั้นห้อง (ห้องน้ำ) ระหว่างทั้ง 2 หน่วยอาคารร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปมักจะฝังท่อเพื่อจะเดินงานระบบต่างๆ ไว้แล้ว (เช่น งานไฟฟ้า, ประปา) หรือไม่ก็จะฝังบล็อกทำแนวเอาไว้แล้วมาทำการเดินงานระบบอีกทีในช่วงหลังจากการติดตั้งแล้วเสร็จ (เช่น งานประปา) ดังนั้นตรงจุดนี้จึงจะมีปัญหาเกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปที่จะใช้กั้นห้องน้ำของทั้ง 2 หน่วยอาคาร (ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความหนา 0.10 ม.) มีความหนาไม่พอที่จะฝังบล็อกของงานระบบสุขาภิบาลของทั้ง 2 หน่วยอาคารได้ ดังนั้นตรงจุดนี้จึงไม่สามรรถผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ต้องฝังบล็อกของระบบสุขาภิบาลของทั้ง 2 หน่วยอาคารได้ และก็ต้องมาเดินลอยแล้วใช้การก่อปิด (ระบบ Conventional) เข้ามาเสริม จากลักษณะของปัญหาที่กล่าวมาก็แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปก็จะมีข้อจำกัดและเงื่อนไขเฉพาะสำหรับแต่ละประเภทอาคารที่แตกต่างกันไป

2.3.3.2 ระบบโครงสร้างและความมั่นคงของอาคาร เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาสำหรับการออกแบบ หลักๆ ก็จะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมเป็นหลักซึ่งสามารถจะแบ่งเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. โครงสร้างเสารับโมเมนต์ (Columns Fixed to the Foundation) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งหมด จะขึ้นอยู่กับเสาที่ยึดติดกับฐานรากคานที่ยึดติดกับเสาจะมีลักษณะเป็นแบบจุดหมุน (hinge)

2. โครงสร้างเฟรมรับโมเมนต์ (Frames with Moment Connections) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของจุดต่อของเสาและคานซึ่งมีความสามารถรับโมเมนต์ด้วย ข้อเสียคือมีความซับซ้อนในการผลิต, การขนส่ง และการติดตั้งที่จะทำได้ยาก

3. โครงสร้างผนังและคอรับแรง (Shear Walls and Cores) ความมั่นคงแข็งแรงของระบบนี้จะมีคอร์ (Core) หรือแผ่นผนังเป็นตัวที่ทำให้ระบบนี้มีความมั่นคงแข็งแรงซึ่งสามารถจะใช้กับอาคารสูงได้ระดับหนึ่ง รอยต่อจะอยู่ในตำแหน่งระหว่าง คาน – คาน, เสา – เสา และคาน – เสา การออกแบบรอยต่อเหล่านี้มักจะออกแบบให้เป็นรอยต่อแบบจุดหมุน (Hinge)

4. โครงสร้างผนังรับแรงรอบอาคาร (Load Bearing Facades and Façade Tube) โครงสร้างแบบนี้ความมั่นคงแข็งแรงจะขึ้นอยู่กับการประสานกันเป็นกล่องของโครงสร้างโดยให้แรงในแนวดิ่งเท่ากับหรือมากกว่าแรงในแนวนอน

5. โครงสร้างผนังรับแรง (Bearing Wall Structures) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งจะต้องควบคุมให้โครงสร้างนั้นรับน้ำหนักในแนวตั้งอย่างเดียวไม่รับแรงดึงในแนวนอน

6. ไดอะแกรมพื้นและหลังคา (Floor and Roof Diaphragms) เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทยโดยการใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น พื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ(Plank) ระบบพื้นฮอลโลว์คอร์ (Hollow Core) การใช้โครงสร้างระบบนี้จะช่วยงานก่อสร้างในส่วนของพื้นนั้นทำได้อย่างรวดเร็ว

7. โครงสร้างแบบเซลล์ (Cell Structures) เป็นการออกแบบโครงสร้างผนังและพื้นรวมกันเป็นห้องแล้วนำมาประกอบติดตั้ง โครงสร้างแบบเซลล์อาจจะทำการติดตั้งระบบไฟฟ้าและประปามาเรียบร้อยแล้วก็ได้ ความมั่นคงแข็งแรงขอระบบจะอยู่ในรูปของระบบ Shear Wall ลักษณะของ Cell Structures ที่ทำการผลิต ได้แก่ แบบระฆังคว่ำ (Bell type) แบบตัวยู (U type) แบบตัวซี (C type)

2.3.3.3 แรงในส่วนต่างๆ ของอาคารและชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ในระหว่างการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบรอยต่อจะมีความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนสำเร็จรูป ผู้ออกแบบจะต้องมีการคำนวณและออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของชิ้นส่วนสำเร็จรูปและแบบหล่อในขณะถอดแบบหล่อ รวมทั้งน้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเองในขณะที่กำลังถอดหรือยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากแบบหล่อ ดังนั้นไม่ควรยกชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดยเฉพาะการยกผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากแนวนอนขึ้นมาโดยตรงแต่ควรจะยกขึ้นมาทั้งแบบหล่อโดยให้แบบหล่อทำมุมกับแนวนอนได้ประมาณ 70 องศา แล้วจึงทำการถอดหรือยกชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปออกจากแบบหล่อ หรือถ้าไม่สามารถยกแบบหล่อได้ก็ต้องรอให้คอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ผู้ออกแบบกำหนดจึงจะยกได้

สำหรับความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนสำเร็จรูปในระหว่าง การขนส่ง การติดตั้ง และการประกอบรอยต่อมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. ในขณะขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปแนวและตำแหน่งของชิ้นส่วนสำเร็จรูปไม่ได้อยู่ในแนวและตำแหน่งที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างอาคาร เช่น เสาออกแบบเพื่อให้รับแรงในแนวดิ่งตามความยาวของเสาและแรงเฉือนที่เกิดจากแรงลมเมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ระหว่างการขนส่งและติดตั้งเสาดังกล่าวต้องทำหน้าที่รับน้ำหนักและความเค้นที่เกิดขึ้นเหมือนคาน

2. ชิ้นส่วนสำเร็จรูปต้องการค้ำยันจากชิ้นส่วนโครงสร้างอื่นเมื่อประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างเสร็จแล้วแต่ในขณะขนส่งและติดตั้งอาจไม่มี

3. ในระหว่างการติดตั้งและการประกอบรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปอาจจะยังไม่สมบูรณ์ ยังไม่เต็มระบบโครงสร้างหรือยังไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ ดังนั้นในระหว่างการขนส่งและการติดตั้งจะต้องทำการค้ำยันให้ถูกต้องเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง

2.3.3.4 รอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Joints) เป็นอีกสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวมีความเปราะบางมาก

ในหลายๆ ด้าน เช่นทางด้านวิศวกรรมเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตบริเวณแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูป อีกทั้งยังเป็นจุดที่มีความความเสี่ยงต่อการรั่วซึมของน้ำภายนอกเข้าสู่ในตัวอาคารอีกด้วย

เดิมทีเดียวในระยะต้นๆ ของการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูปผู้ออกแบบมักจะพยายามเลียนแบบการก่อสร้างในระบบก่อสร้างในที่โดยพยายามที่อุดรอยต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ให้แน่นหนาดูกลมกลืนไปกับวัสดุก่อสร้างซึ่งเป็นที่มาของรอยต่อแบบปิด (Closed Joints) แต่จากประสบการณ์ของผู้ผลิตและผู้ออกแบบ ซึ่งพบว่ารอยต่อปิดนี้กันความชื้นจากข้างนอกได้ก็จริง แต่มักก็กันความชื้นภายในอาคารไม่ให้ออกไปด้วยเหมือนกัน โดยเฉพาะในประเทศที่อยู่ในเขตหนาวในฤดูหนาวอาคารบ้านเรือนมักจะมีปัญหาของการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำ กลายเป็นละอองไอน้ำจับตัวอยู่ตามผนังอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างภายนอกและภายในอาคาร และความชื้นที่มีประจำในบ้านในระหว่างการเตรียมอาหาร, อาบน้ำ (ซึ่งปัญหาความชื้นนี้ในบ้านเราก็เกิดขึ้นเหมือนกัน โดยเฉพาะในฤดูฝน) จึงมีการค้นคว้าออกแบบรอยต่อขึ้นในแนวใหม่ เรียกว่า รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints) ซึ่งอนุญาตให้ความชื้นถ่ายเทออกจากภายในอาคารไปสู่ภายนอกได้ แต่ยังคงคุณสมบัติทางด้านอื่นๆ ของรอยต่อแบบปิดไว้เท่าที่จะทำได้ โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งวิธีการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากสภาพดินฟ้าอากาศซึ่งสามารถจัดกลุ่มการแบ่งประเภทออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

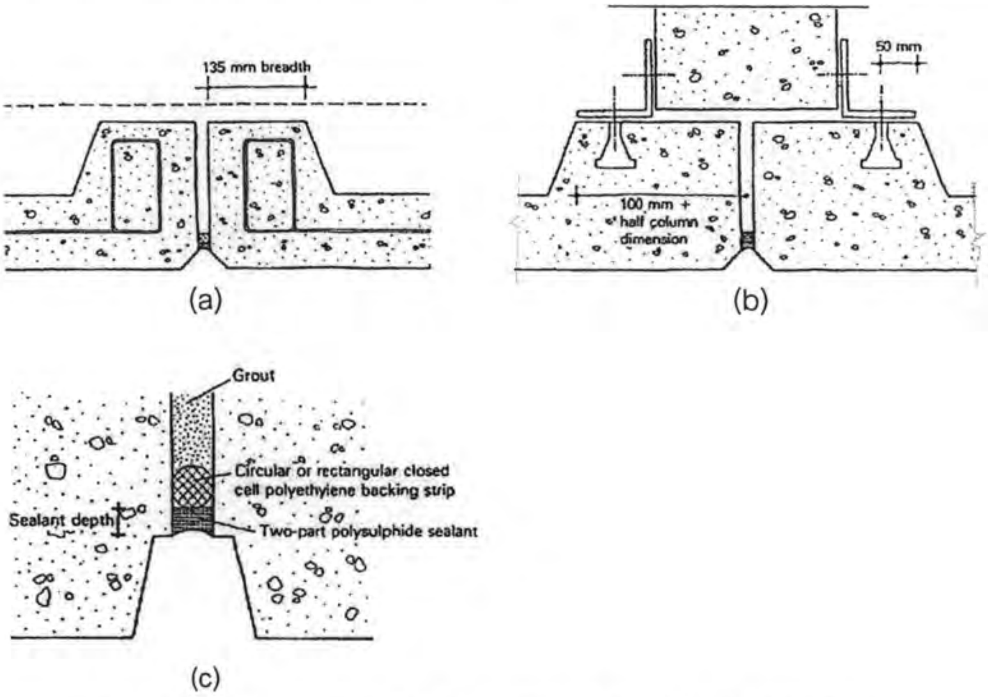
1. รอยต่อระบบแห้ง (Dry Joints) เป็นรอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมต่อวัสดุที่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันที รอยต่อแบบนี้ได้แก่ รอยต่อแบบการใช่โบลท์ (Bolting), แบบการเชื่อม (Welding) รอยต่อแบบนี้หลังจากทำงานเสร็จแล้วก็จะทำการปิดรอยต่อด้วยวัสดุประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane), อีพอกซี่ (Epoxy), วัสดุกันซึมหรือวัสดุกันสนิมอย่างใดอย่างหนึ่งอีกทีขึ้นอยู่กับการออกแบบ ซึ่งสามารถแยกย่อยได้อีก 4 วิธีดังต่อไปนี้ [4]

1.1 รอยต่อแบบปิด (Closed Joints) วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนพิกัด 2 ชิ้นส่วน ก็คือการที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองตัวอย่างการเก็บรอยต่อด้วยวิธีนี้ก็คือ การใช้วัสดุประเภทโพลียูลีเทน (Polyurethane) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของชิ้นงาน อีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัด (Profile) ที่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้สนิท เช่น การเซาะร่องและการไสพื้นไม้ อย่างไรก็ดีรอยต่อแบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะเป็นชิ้นที่ออกแบบมาพิเศษ มีลักษณะของตัวเองและต้องประกอบเข้ากับ "ส่วนรับ" ของอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ทำให้ขาดความคล่องตัวไม่สามารถใช้แทนชิ้นส่วนอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ เนื่องจากครึ่งหนึ่งของรอยต่อออกแบบมาเป็น "ตัวผู้" และอีกครึ่งหนึ่งออกแบบมาเป็น "ตัวเมีย" ทำให้การประกอบติดตั้งต้องเป็นไปตามลักษณะของรอยต่อ คือ เรียงไป

---

[4] ตรึงใจ บูรณสมภพ, **การออกแบบอาคารเพื่อการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรม**, หน้าจั่ว วสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, ฉบับที่ 4 (2527), หน้า 258.

ตามขวามือโดยตลอดหรือซ้ายมือโดยตลอด เป็นต้น เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้จำนวนชิ้นส่วนต้องมีชนิดเพิ่มขึ้น เป็นภาระต่อหน่วยผลิตและหน่วยวางแผนก่อสร้าง



รูปภาพ 2.8 แสดงตัวอย่างรอยต่อแบบปิด (Closed joints) ระบบแห้ง (Dry joints)

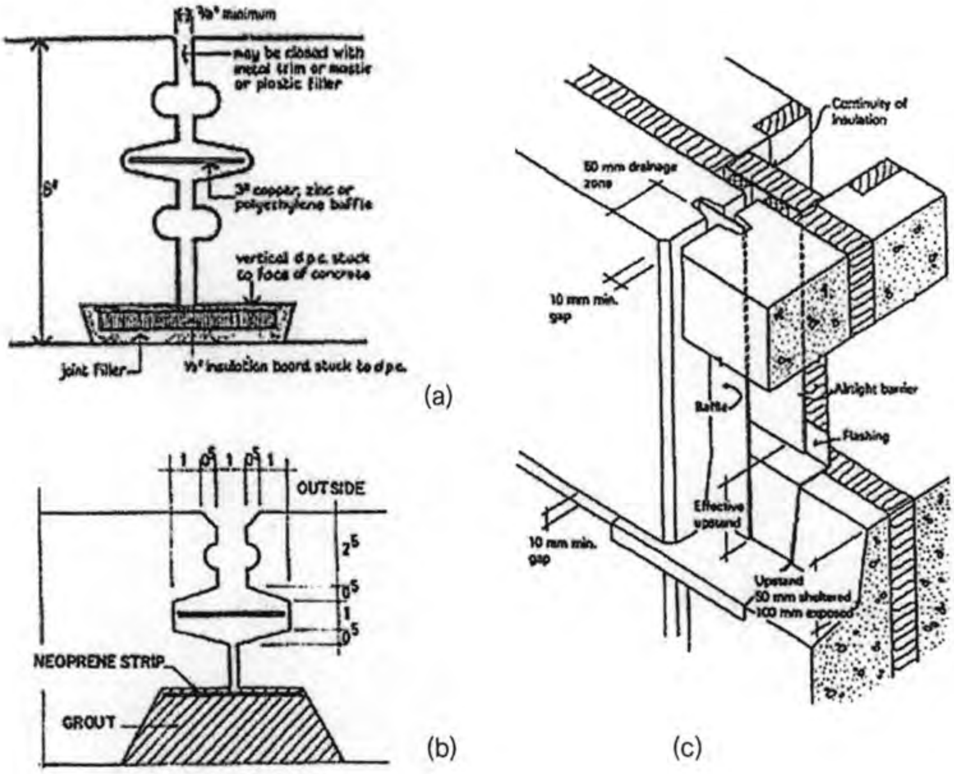
(a) รอยต่อระหว่างผนังกับผนัง

(b) รอยต่อระหว่างผนังกับเสา

(c) ตัวอย่างการใช้พลาสติกสังเคราะห์ (Polyethylene) กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว (Sealants)

1.2 รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints) รอยต่อชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ (Large Precast Concrete Panels) แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน

ลักษณะตัวอย่างประกอบของรอยต่อของโครงสร้างชนิดต่างๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรปถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้ใช้กับลักษณะภูมิประเทศของท้องถิ่นนั้นๆ กฎบัญญัติ Building Lode ที่บังคับ ดังนั้น การที่แสดงไว้ให้ดูในที่นี้ ก็เพื่อเป็นตัวอย่างช่วยประกอบการออกแบบรอยต่อภายในประเทศไทย ซึ่งต้องมีการดัดแปลงแก้ไขให้เข้ากับวัสดุ เทคนิคการก่อสร้าง, อุปกรณ์, เครื่องมือตลอดจนฝีมือของช่างก่อสร้างของบ้านเรา การยกตัวอย่างรอยต่อจะแบ่งตามประเภทของการใช้งานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อที่ใช้กับ Framed Structures กับรอยต่อที่ใช้กับ Panel Structures



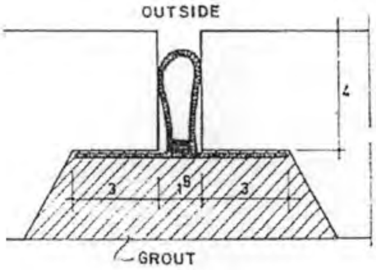
รูปภาพ 2.9 แสดงตัวอย่างรอยต่อแบบเปิด (Open – drained joints)

(a) แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station

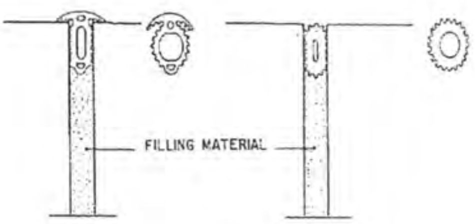
(b) ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints

(c) รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง

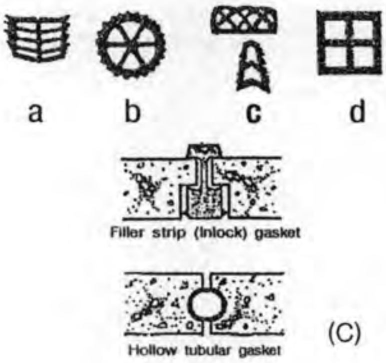
1.3 รอยต่อแบบใช้ปะเก็น (Gasket-Sealed Joints) รอยต่อแบบนี้เกิดมาจากความก้าวหน้าทางวัสดุเคมีที่สามารถผลิตและพัฒนาสารประกอบประเภทยางสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างได้ผลดี โดยเฉพาะวัสดุที่เรียกว่า "นีโอพรีน" (Neoprene) สามารถนำเอามาเป็นปะเก็น (Gasket) รูปร่างต่างๆ กัน ใช้ในงานทำรอยต่อได้ดี ปะเก็นสามารถหล่อฝังในผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตที่เตรียมไว้ก่อน แล้วใช้แรงดันอัดให้ชิ้นส่วนผนังติดกับปะเก็นแนบสนิท แล้วยึดผนังติดกับโครงสร้างให้แน่นต่อกันไปเรื่อยๆ ก็ได้ หรืออาจเว้นช่องว่างระหว่างผนังแล้วค่อยอัดปะเก็นเข้าไปภายหลังจากที่ติดตั้งผนังเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ได้ ขนาดของรอยต่อวิธีการติดตั้งและคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆ มีความแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และบริษัทที่ผลิตจำหน่ายการใช้งานจึงต้องศึกษารายละเอียดและรับคำปรึกษาจากบริษัทผู้ผลิต



(A)



(B)



(C)

รูปภาพ 2.10 แสดงรอยต่อแบบใช้ปะเก็น (Gasket-Sealed Joints) ในลักษณะต่างๆ

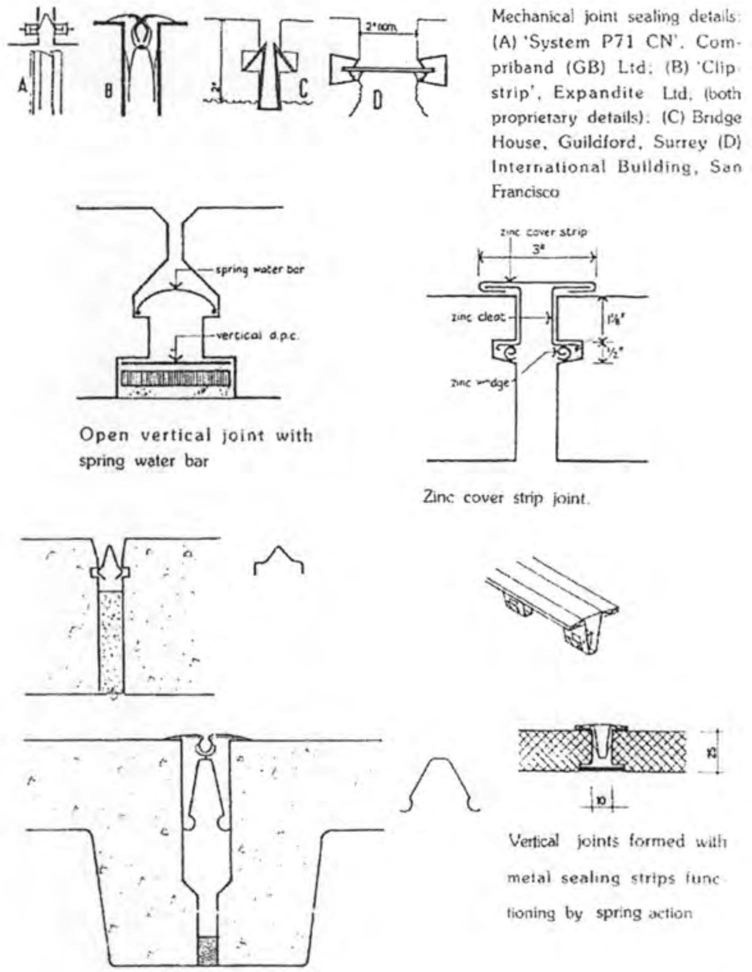
(A) แสดงลักษณะรอยต่อแบบใช้ปะเก็น (Gasket-Sealed Joints)

(B) แสดงลักษณะรอยต่อแบบใช้ปะเก็น (Gasket-Sealed Joints)

(C) แสดงรูปแบบของปะเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป:

(a) Neoferma' neoprene gasket by Colebrand Ltd. London; (b) Schlegel gasket, Schlegel (UK) Ltd; (c) two Bostik 'Profile Seals', Bostik Ltd; (d) 'Servicore' rectangular section, Service Division of W.R. Grace Ltd.

1.4 รอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints) รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อพิเศษที่ออกแบบหรือผลิตขึ้นใช้กับอาคารเฉพาะกรณี สถาปนิกมักจะใช้เพื่อเน้นรอยต่อให้อาคารมีรูปด้านที่สวยงามหรือแปลกตาเป็นพิเศษ หรือใช้กับรอยต่อของผนังในเขตที่มีการทรุดตัวของอาคารหรือการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง รอยต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย อาจเป็นเพราะราคาแพงหรืออาจเป็นเพราะรอยต่อจะเด่นแลเห็นชัดเจนมาก ยากในการควบคุมรูปด้านถ้าไม่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้าให้ดีพอ ทั่วๆ ไปมักใช้โลหะที่สามารถบีบให้หดตัวและขยายตัวได้เหมือนกับสปริง ใส่อยู่ในช่องรอยต่อ (Spring Water Bar) หรือเป็นครอบรอยต่อที่ยึดติดกับผิวหรือแกนที่สอดอยู่ในช่องรอยต่อ (Fixed Cover-Strip) คล้ายๆ กับงานปิดรอยต่อของวงกบหน้าต่างอลูมิเนียม การออกแบบทำได้หลายแบบ การติดตั้งก็คล้ายๆ กับรอยต่อประเภทใช้ปะเก็น คือกดอัดเข้าไปในช่องรอยต่อเมื่อติดตั้งผนังเสร็จแล้วหรืออาจติดตั้งตามลำดับขั้นตอนไปพร้อมๆ กับการติดตั้งผนังก็ได้



รูปภาพ 2.11 แสดงตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically - Sealed Joints)

2. รอยต่อระบบเปียก (Wet Joints) เป็นรอยต่อที่เกิดจากการเกร๊าท์ (Grout) ด้วยวัสดุประเภทที่มีส่วนผสมของน้ำ เช่น คอนกรีตหรือปูนทราย (Mortar) เป็นต้น ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนี้ ได้แก่ การใช้ปูนก่อ (Mortar) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของชิ้นงาน รอยต่อแบบนี้จะไม่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันทีจะต้องรอจนกว่าวัสดุที่ใช้ในการเกร๊าท์จะมีความแข็งแรงตามข้อกำหนดรอยต่อแบบนี้ได้แก่รอยต่อแบบการใช้เหล็กโดเวล (Dowel) เข้ามาช่วยเสริมในตำแหน่งที่ต้องทำการเกร๊าท์ (Grout) ลักษณะของรอยต่อแบบเปียก (Wet joints) ตามมาตรฐานของเดนมาร์ค (Danish Standard System) มีวิธีการและมีข้อกำหนดที่สำคัญ 2 ประการคือ

2.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเทคนิค กรรมวิธีของการติดตั้งและการออกแบบรอยต่อโครงสร้างต้องสอดคล้องกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นดังนี้

2.1.1 กรรมวิธีที่จะอุดรอยต่อด้วยปูนเหลวจะต้องทำได้ง่าย ในแง่ของการออกแบบจะต้องมีที่ว่างมากพอเพื่อที่จะให้การสอดแทรกของตัวปูนเหลวสามารถเกาะตัวอยู่ได้รอบเหล็ก

2.1.2 ในส่วนของการติดตั้งจะต้องปรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องทั้งแนวดิ่งและแนวนอน ภายหลังการอุดปูนเหลวจะต้องหลีกเลี่ยงกรเขยื้อนของชิ้นส่วน เพราะจะเป็นอันตรายต่อปูนเหลวของรอยต่อ

2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับดินฟ้าอากาศ การรมวิธีการติดตั้งและออกแบบรอยต่อโครงสร้างควรจะต้องสัมพันธ์กันเกี่ยวกับเรื่องต่อไปนี้

2.2.2 การแข็งตัวของน้ำในอนาคต หรือปูนเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองหนาว เพราะน้ำจะไปทำลายคุณสมบัติของคอนกรีตให้ลดลง

2.2.3 แสงแดดและลม จะทำให้น้ำในคอนกรีตระเหยออกเร็วเกินไปก่อนที่จะได้รับการบ่มที่ดี ดังนั้นควรหาวิธีป้องกันทุกๆ จุดของรอยต่อ

2.3.4 <u>ขั้นตอนและสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับการออกแบบรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป</u>

ในการออกแบบรอยต่อโดยทั่วไปมีวิธีการและสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญหลายประการด้วยกัน เพื่อให้รอยต่อนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะกับชิ้นส่วนประกอบอาคาร (ชิ้นส่วนสำเร็จรูป) และลักษณะและประเภทของอาคารนั้นๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.3.4.1 คุณสมบัติรอยต่อส่วนประกอบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป

รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและควรใส่ใจเป็นพิเศษสำหรับการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เพราะรอยต่อของส่วนประกอบอาคารไม่ว่าจะเป็นรอยต่อแบบเปียก (Wet Joints) หรือ รอยต่อแบบแห้ง (Dry Joints) ก็จะต้องกระทำที่หน่วยงานก่อสร้าง อีกทั้งคุณสมบัติของคอนกรีตบริเวณรอยต่อก็ไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกับชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน ดังนั้นจึงทำให้คุณสมบัติของการรับแรงแตกต่างจากชิ้นส่วนสำเร็จที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของระหว่างส่วนประกอบอาคารที่ใช้เป็นโครงสร้างของอาคาร ซึ่งสามารถแยกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ต้องสามารถถ่ายน้ำหนักคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักจร (Live Load) ได้อย่างปลอดภัยตามที่ได้ออกแบบไว้ และมีองค์ประกอบของความปลอดภัย (Factor of Safe) ที่เหมาะสม (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ)

2. สามารถรับหรือถ่ายน้ำหนักได้โดยที่ต้องไม่มีการเคลื่อนที่ (Displacement) หรือบิดตัว (Rotation) และบริเวณรอบต่อนั้นๆ ไม่ควรมีหน่วยแรงประจำ (High Local Stresses) สูงเกินไป

3. ถ้าบริเวณก่อสร้างอยู่ในบริเวณที่มีการทำเหมืองใต้ดิน ขุดน้ำบาดาลมากๆ หรือในสภาพดินตามลุ่มแม่น้ำ (อย่างบริเวณกรุงเทพ) หรือพื้นที่บริเวณที่อาจเกิดแผ่นดินไหว รอยต่อนั้นต้องสามารถรับหน่วยแรง (Stresses) ต่างๆ ที่อาจเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการทรุดตัวสัมพันธ์ (Differentiate Settlement) หรือการทรุดตัว (Settling) ได้

4. ต้องช่วยรับค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ที่อาจจะมีขึ้นในชิ้นส่วนประกอบของระบบที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตหรือติดตั้ง รอยต่อนั้นๆ ควรจะสามารถรองรับค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่ส่วนสัดของชิ้นส่วนส่วนประกอบนั้นไม่เกินไปจากค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ (Maximum Manufacturer Tolerance)

5. ต้องง่ายต่อการประกอบ และการติดตั้ง อีกทั้งควรที่จะสามารถดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงได้บ้างในส่วนของขั้นตอนการติดตั้ง และไม่ควรต้องใช้การค้ำยันชั่วคราวมากนักในระหว่างการทำงาน

6. ง่ายต่อการตรวจสอบและการปรับปรุงแก้ไข

7. ต้องทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้น้ำฝน ลม และไอความร้อนนอกอาคารเข้ามายังตัวอาคารอีกทั้งอาจจะต้องช่วยในการลดความดังของเสียงอีกด้วย (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ)

8. ต้องดูเรียบร้อยและกลมกลืนเข้ากับชิ้นส่วนประกอบของระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของคณะผู้ออกแบบ

2.3.4.2 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ตามพื้นฐานของการประกอบรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างอาคารที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป รอยต่อต้องสามารถส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างได้ตามที่ออกแบบ ซึ่งแรงดังกล่าวสามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. แรงอัด (Compression) การส่งผ่านแรงอัดระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบดังต่อไปนี้

1.1 การส่งผ่านแรงโดยตรง (Direct Contact) เป็นการถ่ายแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่สัมผัสกันโดยตรงโดยจะไม่มีวัสดุใส่กั้นระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป เหมาะกับลักษณะของชิ้นส่วนที่มีแรงอัดหรือแรงกดไม่มากนัก

1.2 การส่งผ่านแรงโดยผ่านวัสดุ (Transfer of Forces trough Joint Materials) เป็นการส่งผ่านแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะมีวัสดุมารองระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปและจะไม่ทำให้ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสียหาย

2. แรงอัดแรงดึง (Tensile Forces) การส่งแรงผ่านแรงดึงระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบดังต่อไปนี้

2.2 การทาบเหล็ก (Lapping of Reinforcement Bars) เป็นลักษณะที่ใช้กันมาก โดยวิธีการจะเป็นการเว้นส่วนที่ต้องการจะทาบของเหล็กโครงสร้างที่ใช้รับแรงดึงไว้ก่อนในขั้นตอนแรกและจากนั้นจึงทำหล่อคอนกรีตภายหลังหลังจากติดตั้งแล้วเสร็จ จำนวนและปริมาณจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ

2.3 การใช้โบลท์ (Bolting) สามารถใช้ส่งผ่านแรงทั้งแรงดึงหรือแรงเฉือน ลักษณะของโบลท์มีลักษณะเป็น แบบเกลียว หรือแบบสมอ เป็นต้น

2.4 การเชื่อม (Welding)ลักษณะเหมือนการทาบเหล็กแต่ใช้ระยะทาบน้อยลงโดยใช้รอยเชื่อมแทน

2.5 การรับแรงดึงภายหลัง (Post-Tensioned) เป็นลักษณะรอยต่อที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแต่ละชิ้นหรือระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะใช้เทนดอน (Tendon) เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายของเทนดอนไว้ที่ปลายทั้งสองด้านของชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดึงจะกระทำหลังจากหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสร็จแล้วหรือหลังจากติดตั้งชิ่นส่วนสำเร็จรูปเสร็จแล้ว

3. แรงเฉือน (Shear Force) การส่งผ่านแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบดังต่อไปนี้

3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ (Friction Bond)

3.2 เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Shear Key)

3.3 การใช้โบลท์ (Bolting)

3.4 การเชื่อม (Welding)

2.3.4.3 การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน

การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงเป็นการสมมุติหรือคาดเดาระยะที่อาจจะผิดไปจากระยะที่แบบกำหนดไว้ ค่าความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงก็ไม่ควรเกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน PCI (Precast / Prestressed Concrete Institute) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิบัติงานจริงอาจเกิดได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Manufacturing Tolerances) ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติแบบหล่อ เช่น แบบหล่อบวมหรือยุบ (Swelling and Drying of Framework) อาจเกิดจากการประกอบแบบหล่อคลาดเคลื่อน หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น การหดตัว (Shrinkage) การล้า (Creep) และอุณหภูมิ (Temperature)

2. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดระยะระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Setting-out Tolerance) อาจจะเป็นค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้

3. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Erection Tolerance)

2.4 วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป [5]

วัสดุที่ใช้สำหรับการก่อสร้างของระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ไม้ (Timber), เหล็ก (Steel), และคอนกรีต (Concrete) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ที่หลากหลาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 <u>การก่อสร้างด้วยไม้ (Timber Construction)</u>

การก่อสร้างด้วยไม้ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายทั้งระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบระนาบ และลักษณะ 3 มิติ วิธีการธรรมดาที่สุดที่เห็นกันทั่งไปได้แก่ โครงเดค่าที่ปิดด้วัยแผ่นไม้ทั้งสองด้าน หรืออาจจะมีการใส่ฉนววนกันความร้อนภายในโครงเคร่านั้น ลักษณะพื้นฐานของทั้วสองแบบนี้ถูกนำไปใช้เป็นแผ่นผนังสำเรจรูปทั้งชนิดธรรมดาและชนิดแบบมีฉนวนกันความร้อน รวมทั้งนำไปใช้ผลิตองค์ประกอบของพื้นและหลังคาอีกด้วย ระบบของ SIP (Structure Insulated Panel) ได้นำมาใช้กับแอผ่นไม้สำเร็ฆรูป คือการให้แผ่นยึดติดกันด้วยโฟมชนิดแข็ง เพื่อใช้เป็นวัสดุประกอบทางโครงสร้างอาคาร

2.4.2 <u>การก่อสร้างด้วยเหล็ก (Steel Construction)</u>

เหล็กก็เป็นอีกวัสดุหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป โดยเฉพาะเหล็กชนิดที่เรียกว่าเหล็กไล้ท์เกท (Light Gauge Galvanised Steel) ที่มักจะใช้สำหรับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ใช้ระบบสำเร็จรูป รูปแบบของการก่อสร้างด้วยเหล็กสามารถใช้ตั้งแต่เสาเข็มไปจนถึงการนำมาประกอบกันเป็นรูปทรง 3 มิติ สำหรับการใส่ฉนวนกันควมร้อนมักจะยึดติดที่ผิวภายนอกของแผ่นผนัง หรือการติดตั้งระหว่างแผ่นเช่นเดียวกับการก่อสร้างด้วยไม้ การใส่ฉนวนทีด้สนนอกของแผ่นจะช่วยลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้ามาได้ดีโดยไม่ต้องเพิ่มความหนาให้กับผนัง

2.4.3 <u>การก่อสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete Construction)</u>

โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการผลิตแบบอุตสาหกรรมได้ถูกใช้ในหน่วยงานก่สอร้าง (Construction Site) มาเป็นระยะเวลานานแล้ว ดังจะเห็นได้จากการใช้เครื่องมือก่อสร้างต่างๆ การทำแม่แบบเพื่อปรับปรุงประสิทธุภาพ, สร้างคุณภาพและความเที่ยงตรง การทำงานก่อสร้างในส่วนที่มีรูปแบบซ้ำๆ กันรวมทั้งเทคนิคของขบวนการผลิตโครงสร้างหลักของอาคารท่ทำด้วยคอนกรีต ก็ได้ใช้การก่อสร้าง

---

[5] ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.), **"โครงการจัดทำแบบมาตรฐานอาคาร 2 ชั้น ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป"**, รายงายผลการศึกษาฉบับที่ 2 เสนอการเคหะแห่งชาติ (กคช.) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ กันยายน 2548, หน้า12-13 (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

ในระบบนี้ ตัวอย่างเช่นการใช้แบบหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเหล็กหรืออลูมิเนียมที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาหล่อผนัง, พื้น, หรือหลังคาคอนกรีต โดยที่จะต้องมีการเดินท่อร้อยสายไฟล ฉนวนกันความร้อน (สำหรับผนังหรือหลังคาภายนอก) ก่อนที่จะเทคอนกรีตลงในแบบหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป ข้อดีของระบบนี้คือ มีความเที่ยงตรงในเรื่องของขนาด ช่วยลดปริมาณของขยะ และเป็นวัสดุที่จัดหาง่ายในท้องตลาด

2.4.4 องค์ประกอบที่ผลิตจากโรงงานและส่วนประกอบย่อยอื่นๆ

นอกจากวัสดุหลักทั้ง 3 ชนิดแล้ว ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสมัยใหม่ได้มีองค์ประกอบสำเร็จรูปและส่วนประกอบย่อยต่างๆ เข้ามาใช้งานมากขึ้น บางอย่างก็มีการกันอยู่ทั่วไปมานานแล้ว เช่น ชิ้นส่วนของบันไดที่ทำจากเหล็กหรือไม้ จันทันที่เป็นโครงถักเหล็กสำเร็จรูป ตลอดจนการนำวัสดุใหม่ๆ เข้ามาใช้ เช่น ห้องน้ำสำเร็จรูปหรือห้องครัวสำเร็จรูปที่ทำจากไฟเบอร์กลาส รวมไปถึงชิ้นส่วนที่ซับซ้อนอีกหลายส่วนที่กำลังจะถูกนำมาใช้มากขึ้นตั้งแต่องค์ประกอบของระบบฐานรากไปจนถึงระบบหลังคา

ระบบฐานราก (Foundation System) ระบบฐานรากก็เป็นระบบหนึ่งของโครงสร้างสำเร็จรูปที่เริ่มมีการพัฒนามาใช้กันมากขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้ที่มากขึ้น และความเที่ยงตรงของชิ้นส่วนที่ผลิตจากโรงงาน ระบบฐานรากสำเร็จรูปที่ใช้กันอยู่มีมากมาย เช่น ระบบ Tee Beam และระบบ Post-Tensioned Modular (ที่พัฒนาโดย Bullivants and Van Elle's Smart Foot) ที่ลักษณะของคานสำเร็จรูปรับน้ำหนักโดยตรงในชั้นใต้ดิน การใช้เสาเข็มและคานสำเร็จรูปประกอบกันจะช่วยให้การก่อสร้างฐานรากมีความแม่นยำที่จะติดตั้งตั้งได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในพื้นที่โครงการที่สภาพดินมีปัญหาและสกปรก ระบบฐานรากสำเร็จรูปจะช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ระบบหลังคา (Roof System) ระบบหลังคาสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะถูกผลิตขึ้นจากโรงงานตั้งแต่โครงสร้าง แผ่นมุงหลังคาที่มีฉนวนกันความร้อนประกอบมาด้วย รวมทั้งชิ้นส่วนรอยต่อต่างๆ ตั้งแต่จุดสูงสุดถึงจุดรองรับล่างสุด ใช้ขนย้ายและติดตั้งโดยเครน (Crane) ตามความเหมาะสม