ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป : การทำรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้าง

บทความนี้เรียบเรียงมาจากหนังสือ เรื่อง Precast Concrete in Architecture แต่งโดย A.E.J. Morris พิมพ์โดย George Godwin Limited (1978)

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์

บทนำ

ผู้เขียนเคยส่งบทความเรื่อง "ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป : เทคนิคการทำรอยต่อ" ลงในวารสาร "หน้าจั่ว" ฉบับที่ 4 ปีการศึกษา 2527 โดยเน้นถึงวิธีการปิดรอยต่อของผนังเพื่อป้องกันสภาพดินฟ้าอากาศ ฉบับนี้จึงขอถือโอกาสเขียนเรื่องผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต่อ โดยจะพูดถึงวิธีการยึดชิ้นส่วนผนังกับโครงสร้างของอาคาร เพื่อให้นักศึกษาฯ และสถาปนิก ซึ่งมีความสนใจที่จะนำเอาระบบผนังสำเร็จรูปมาใช้ในงานออกแบบหรืองานก่อสร้างจริง ได้ศึกษาทำความเข้าใจกับระบบและตัวอย่างการทำรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้างอาคารแบบต่างๆ ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมาก โดยเฉพาะในอาคารสูงหรืออาคารที่ใช้ชิ้นส่วนผนังขนาดใหญ่ ความมั่นคงแข็งแรงของอุปกรณ์ที่ใช้ยึดและกรรมวิธีการทำรอยต่อจะผิดพลาดไม่ได้เลย เพราะแผ่นผนังอาจพังทลายหรือหลุดหล่นตกลงมาเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้ หลายท่านอาจจำได้ว่า ในสมัยแรก ๆ ที่มีการนำเอาผนังกระจก (glass curtain wall) มาใช้กับอาคารสูง ๆ นั้น ได้มีผู้หวั่นวิตกว่าอาจก่อให้เกิดอันตรายหรือสร้างความหวาดเสียวแก่ประชาชนคนเดินถนนได้ ถ้ามีอุบัติเหตุผนังกระจกแตกหรือพังถล่มลงมา หรือแม้แต่การก่อสร้างอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง เมื่อ 2–3 ปีที่ผ่านมาแล้วก็มีผู้หวังดีหลายท่านได้วิพากษ์วิจารณ์กลัวว่าแผ่นหินอ่อนที่ใช้บุผนังอาคารทั้งหลังนั้นอาจหลุดหล่นลงบนศีรษะของผู้โชคร้ายท่านใดก็ได้ ความมั่นคงแข็งแรงของรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้างจึงมีความจำเป็นมาก อนึ่งถึงแม้ว่าวิศวกรโครงสร้างจะมีหน้าที่โดยตรงในการ

ออกแบบและคำนวณเพื่อให้รอยต่อโครงสร้างมีความแข็งแรง สามารถต้านทานแรงกระทำต่างๆ ได้โดยปลอดภัยแล้วก็ตาม แต่สถาปนิกก็ควรมีความรอบรู้ในระบบและวิธีการทำรอยต่อโครงสร้างบ้าง เพื่อสามารถตัดสินใจเลือกหรือนำมาใช้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับรูปแบบหรือความต้องการทางสถาปัตยกรรม การออกแบบส่วนประกอบอาคาร (building component) ก็จะต้องออกแบบรอยต่อต่าง ๆ ควบคู่ตามไปด้วยเสมอ เพื่อให้สามารถประกอบหรือติดตั้งส่วนประกอบนั้นได้ตามรูปแบบและวัตถุประสงค์ที่ต้องการ รายละเอียดการทำรอยต่อแบบต่างๆ จะมีผลกระทบต่อการออกแบบและการเขียนแบบก่อสร้างของสถาปนิกโดยตรง เช่น การวางตำแหน่งชิ้นส่วนผนังบนตารางพิกัด การกำหนดความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบผนัง (wall component) การเตรียมรอยต่อไว้ในโครงสร้างหรือในชิ้นส่วนผนังที่สั่งผลิตจากโรงงาน ลำดับขั้นตอนการประกอบหรือติดตั้งชิ้นส่วน และความงามของรูปด้านที่อาจเกิดขึ้นจากการโชว์รอยต่อต่าง ๆ เป็นต้น

ข้อพิจารณาในการออกแบบรอยต่อผนังกับโครงสร้าง

สำหรับอาคารที่ก่อสร้างในระบบสำเร็จรูป(Prefabrication) หรือระบบอุตสาหกรรม (Industrialized Building) นั้น โดยปกติระบบประสานทางพิกัดจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบและเขียนแบบก่อสร้าง การออกแบบรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้างและการเขียนแบบรายละเอียดต่างๆ ก็จะต้องเป็นไปตามระบบประสานทางพิกัดที่กำหนดขึ้น ตำแหน่ง ขนาดและระยะต่าง ๆ ของรอยต่อก็ต้องประสานสอดคล้องกับตารางพิกัดที่ใช้สำหรับโครงการนั้นๆ ด้วย นอกจากนั้นเรายังมีข้อพิจารณาทั่ว ๆ ไปใช้สำหรับการออกแบบหรือเลือกแบบรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้าง ได้แก่

1. การทำรอยต่อ จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักและต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้โดยปลอดภัย และมีความคงทนถาวร ไม่สึกกร่อนหรือเป็นสนิมผุพังเมื่อใช้ไปนาน ๆ วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมตามกรณีด้วย

2. การวางตำแหน่ง และจำนวนของรอยต่อ นอกจากมีผลต่อการถ่ายน้ำหนักของผนังลงสู่โครงสร้างโดยตรงแล้ว ยังมีผลต่อความยากง่าย หรือความสะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานของช่าง หรืออาจมีผลกระทบต่องานระบบอาคารอื่น ๆ เช่น การเดินท่อต่าง ๆ หรืองานตกแต่งภายในของอาคารด้วย โดยปกติเราจะวางตำแหน่งรอยต่อของผนังในลักษณะสมมาตร (Symmetry) ตามธรรมชาติของการถ่ายแรง และเพื่อความเรียบร้อยสวยงาม

3. กรรมวิธีการทำรอยต่อจะต้องพยายามออกแบบให้ง่ายที่สุด เหมาะกับเทคโนโลยีและความชำนาญของช่าง วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำรอยต่อก็ควรหาได้ง่าย และควรหลีกเลี่ยงการใช้รอยต่อที่ต้องตั้งแบบหล่อเทคอนกรีต หรือมีงานจุกจิกที่ต้องตามเก็บภายหลังมากเกินความจำเป็น เพื่อให้เกิดความประหยัดและความรวดเร็วในการก่อสร้างตามวัตถุประสงค์ของการนำเอาผนังสำเร็จรูปมาใช้

4. การออกแบบและการเขียนแบบรอยต่อจะต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนในการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนผนัง และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและระยะต่าง ๆ ของผนังและโครงสร้างอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การหดตัวของคอนกรีตเมื่อแห้งหรือเมื่อบรรทุกน้ำหนักต่างกัน

5. อุปกรณ์ที่ใช้ยึดผนังควรช่วยให้การติดตั้งผนังสามารถทำได้โดยสะดวกและรวดเร็วขึ้น เช่น ออกแบบให้สามารถปรับระดับ หรือตำแหน่งในแนวตั้งและแนวนอนได้ หรือช่วยแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนในข้อ 4 ได้ด้วย

6. การทำรอยต่อบางแบบอาจต้องเตรียมการไว้ตั้งแต่การผลิตชิ้นส่วนในโรงงาน หรือการตั้งแบบหล่อโครงสร้าง เช่นการฝังแผ่นเหล็กพุก สมอยึด (anchore bolt) หรืออุปกรณ์อย่างอื่น การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ หรือความยุ่งยากในการเตรียมรอยต่อหรืออุปกรณ์นั้น ๆ ในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนในโรงงาน และการหล่อคอนกรีตโครงสร้างด้วย บางครั้งเราต้องเปลี่ยนชนิดของรอยต่อผนัง เพื่อให้การผลิตชิ้นส่วนหรือการหล่อคอนกรีตโครงสร้างสามารถทำได้โดยสะดวกและรวดเร็ว

7. การตรวจสอบ ดูแล บำรุงรักษา หรือการแก้ไขซ่อมแซมในภายหลัง ควรสามารถทำได้โดยง่าย เช่นอาคารสูงโดยทั่วไปจะใช้เครนยกชิ้นส่วนผนังแล้วนำมาติดกับด้านนอกของโครงสร้าง แต่การทำรอยต่อช่างจะยืนปฏิบัติงานอยู่บนพื้นอาคารด้านใน การขันน็อต การทาสีกันสนิมแผ่นเหล็กที่ใช้เป็นตัวยึดผนัง การพ่นคอนกรีตปิดรอยต่อ หรือการเข้าตรวจสอบและเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ยึดภายหลังก็สามารถทำได้ง่ายจากภายในอาคาร ถ้าออกแบบรอยต่อไว้ด้านนอก การปฏิบัติงานเหล่านี้จะต้องมีนั่งร้าน หรือออกแบบพิเศษให้มีทางเดิน หรือเตรียมการอย่างอื่นเผื่อไว้ด้วย แต่สำหรับอาคารที่สูงน้อยชั้น การทำรอยต่อจากภายนอกหรือภายในอาคาร ก็อาจมีข้อได้เปรียบ เสียเปรียบไม่แตกต่างกันมากนัก

การใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและการทำรอยต่อในลักษณะต่าง ๆ

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ พ.ศ. 2493 จนถึงปัจจุบันนั้น เราอาจ

แบ่งตามลักษณะการใช้งานทางสถาปัตยกรรม ออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ (รูปที่ 1)

1. ใช้เป็นแบบถาวรสำหรับผนังหรือโครงสร้าง ค.ส.ล. ซึ่งหล่อในที่

2. ใช้เป็นผนังรับน้ำหนัก หรือส่วนประกอบโครงสร้าง (Structural Component)

3. ใช้เป็นเปลือกหรือผนังภายนอกห่อหุ้มโครงสร้าง (Cladding)

การทำความเข้าใจในเรื่องการทำรอยต่อของผนังกับโครงสร้างนั้น จะขออธิบายไปพร้อม ๆ กับการอธิบายเรื่องลักษณะการใช้งานของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

1. แบบหล่อคอนกรีตสำเร็จรูป (Permanent formwork)

การใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นแบบถาวรสำหรับหล่อผนังหรือโครงสร้างนั้น ใช้ได้ผลดีเฉพาะในบางกรณีเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วไม่เป็นที่นิยมใช้ทั้งในอเมริกาและในยุโรป เพราะการตั้งแบบจะต้องมีความเที่ยงตรงสูงและต้องพิถีพิถันมาก แบบจะต้องยึดให้มั่นคงแข็งแรง เพื่อให้สามารถต้านทานน้ำหนัก แรงสั่นสะเทือน และแรงดันของคอนกรีตในขณะที่เทคอนกรีตได้

จุดประสงค์ของการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นแบบหล่อ ก็เพื่อให้ได้ผนังที่มีผิวตกแต่ง (Finishing) ข้างนอกที่เรียบร้อยและสวยงามตามต้องการ ไม่ต้องใช้ช่างมาบุหรือตกแต่งภายหลัง ซึ่งปกติจะต้องรอให้คอนกรีตแข็งตัวจนสามารถถอดแบบได้แล้ว จึงทำการบุผิวหรือแต่งผิวอีกครั้งหนึ่ง จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งก็คือ ในบางกรณีการใช้คอนกรีตเป็นแบบจะมีความเหมาะสมกว่าวัสดุอื่น เพราะคอนกรีตมีน้ำหนักและความหนามากกว่าวัสดุอย่างอื่น สามารถต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างได้ดีกว่าแบบไม้หรือแบบเหล็ก และสามารถยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกับคอนกรีตซึ่งหล่อทีหลังได้ดี อีกทั้งไม่ต้องยุ่งยากหรือเสียเวลาในการถอดแบบ เช่น การก่อกำแพงกันดินหรือกำแพงใต้น้ำ จึงอาจมีการใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นแบบ ซึ่งมักจะหล่อเป็นชิ้นส่วนโต ๆ มีน้ำหนักและความหนามาก ๆ

การยึดผนังประเภทนี้ให้เกาะอยู่กับกำแพงหรือโครงสร้างหล่อในที่ก็สามารถทำได้ง่าย ๆ คล้าย ๆ กับงานก่อกำแพงที่ใช้อิฐหรือหินเป็นแบบด้านนอก (Masonry Work) แล้วเทคอนกรีตยึดภายใน ซึ่งมีใช้ในงานวัสดุต่อมาตั้งแต่สมัยโบราณ คือมีเดือยหรือสมอ (Anchore) ซึ่งอาจเป็นสลักเกลียวหรือแผ่นเหล็กยึดติดกับผนังที่ทำหน้าที่เป็นแบบไว้ก่อน แล้วยื่นเข้าไปในช่องว่างสำหรับเทคอนกรีต เมื่อเทคอนกรีตและปล่อยให้แข็งตัวแล้ว แบบก็จะถูกยึดติดแน่นกับ

ผนังอย่างถาวร ในบางครั้งก็มีการใช้ Tied rod ดึงแบบคอนกรีตไม่ให้เคลื่อนที่ในขณะที่เทคอนกรีตและทำหน้าที่เป็นตัวยึดไปในตัวด้วยเมื่อคอนกรีตแข็งตัว (รูปที่ 2)

ถ้าผิวด้านหลังของผนังสำเร็จรูปมีความขรุขระหรือมีเงี่ยงมีมุม การยึดเกาะของคอนกรีตก็จะดียิ่งขึ้น บางครั้งก็อาจมีความแข็งแรงเพียงพอโดยไม่จำเป็นต้องใช้สมอ แผ่นเหล็ก หรืออุปกรณ์ใด ๆ ยึดไว้เลยก็ได้

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบถาวรนี้นอกจากจะผลิตเป็นชิ้นส่วนขนาดใหญ่เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวแล้ว ยังมีการทำเป็นชิ้นส่วนพิเศษขนาดเล็กใช้ห่อหุ้มโครงสร้างซึ่งหล่อในที่เพื่อให้ได้ผิว (Finishing) ที่เรียบร้อยตามต้องการ เช่น ใช้หุ้มเป็นคานตัวริม (Edge beam) หรือเป็นผนังปิดขอบพื้นคอนกรีตระหว่างเสาด้านนอก หรือใช้หุ้มเสา หุ้มคาน และขอบนอกของกำแพงรับน้ำหนัก เป็นต้น (รูปที่ 3)

ในสหรัฐอเมริกาและบางประเทศมีการใช้คอนกรีตแผ่นบาง ๆ (Precast shell) เป็นแบบในการหล่อเสา เพื่อควบคุมความประณีตของผิวภายนอกโดยเฉพาะ ก็มีปัญหาบ้างในเรื่องการหดตัวของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวหรือรับแรงกดมาก ๆ (Compression) เปลือก (Precast shell) ที่หุ้มเสาอาจแตกร้าวได้ จึงมีการแก้ปัญหาโดยการแยกรอยต่อของเปลือกคอนกรีตด้วยวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ (Resilient packing) การใช้ผนังคอนกรีตในลักษณะนี้ จะไม่ช่วยในการรับแรงร่วมกับคอนกรีตที่หล่อในที่เหมือนกับในบางกรณี (รูปที่ 4)

รูปที่ 5 แสดงลักษณะการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปร่วมกับงานคอนกรีตหล่อในที่แบบต่าง ๆ

2. ชิ้นส่วนผนังซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบโครงสร้าง

ได้มีการพยายามพัฒนาชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นส่วนประกอบสถาปัตยกรรม ให้ทำหน้าที่ทางโครงสร้างร่วมกันด้วย เพื่อความประหยัด เช่น ระบบผนังรับน้ำหนัก แต่ในระยะต้นปี พ.ศ. 2506 ระบบนี้ไม่ค่อยได้ผลเป็นที่น่าพอใจนัก ในปัจจุบันก็มีการใช้กันกว้างขวางขึ้น ตัวอย่างการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่ได้พัฒนามาแล้วมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น ใช้เป็น

2.1 ชิ้นส่วนผนัง (Wall unit) ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำหนัก

2.2 ชิ้นส่วนผนังใต้หน้าต่าง (Undersil unit) ทำหน้าที่เป็นคาน

2.3 โครงหรือม่านหุ้มอยู่ข้างนอกอาคาร (Structural screen)

2.4 กรอบหน้าต่าง (Mullion unit)

2.5 โครงรูปตัวเอช (H–frame) ตัวที (T–frame)

หรือแบบผสมคานและเสาเข้าด้วยกันแบบอื่น ๆ (รูปที่ 6)

หลักการทั่ว ๆไป สำหรับระบบนี้คือ ให้แรงในแนวราบถ่ายผ่านรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน ซึ่งพิจารณาให้เป็นข้อหมุน (Hinge) และรับแรงตรงศูนย์ (Axial force) เท่านั้น แรงลมที่กระทำบนตัวอาคารจะถูกต้านทานด้วยส่วนอื่นของอาคาร เช่น ใช้ผนังช่องบันไดและช่องลิฟท์ (Core) ที่หล่อกับที่ หรือผนังด้านสกัด (End wall) หรือออกแบบองค์ประกอบพิเศษรับแรงลม เช่น โครงยึดยัน (Wind bracing) แรงหนีศูนย์ (Non – axial forces) ถ่ายผ่านพื้นคอนกรีต หรือคอนกรีตทับหน้า (Topping) ไปยังส่วนที่ออกแบบให้ต้านทานแรงลม (รูปที่ 7, 8) การทำรอยต่อส่วนใหญ่ระหว่างชิ้นส่วนใช้เดือยเสียบในช่องที่เตรียมไว้ (Shear pin dowel rods grouted into sockets) ปรับระดับให้ถาวรแล้วอุดรอยต่อด้วยสารอุดพิเศษ (Dry packed with mortar) หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม (Bedding compound) การทำรอยต่อนี้ต้องใช้ความระมัดระวังและฝีมือที่ดี จุดอ่อนที่เกิดขึ้นจึงอาจลดให้น้อยลงได้โดยการออกแบบให้ผนังมีความสูงหลาย ๆ ชั้น จะได้ลดจำนวนรอยต่อลงได้บ้าง

การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปประเภทนี้จะต้องสนองความต้องการทางด้านโครงสร้างหรือความมั่นคงแข็งแรงได้ เช่น บ่ารองรับ (Supporting zone) สำหรับรับแรงอัดตามมาตรฐานของอังกฤษอย่างน้อย 75 มม. (3″) สำหรับงานเหล็กและงาน ค.ส.ล. หรือ 100 มม. (4″) สำหรับผนังก่ออิฐหรือวัสดุก่ออย่างอื่น ถ้าโครงสร้างมีช่วงพาดยาวมากวิศวกรจะออกแบบให้กว้างกว่านี้

การทำรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมแล้วแต่กรณี เช่น ใช้สลักเกลียวและสารอุดรอยต่อ (Bolting and grouting) เชื่อมเหล็กเสริมเข้าด้วยกัน หรือเชื่อมกับแผ่นเหล็กรับน้ำหนักที่หล่อฝังพิเศษไว้ (Cast in bearing plate) หล่อเหล็กเสริมยึนหรือใช้เทคนิคของ Post–tensioning (Prestressed column, beam, floor) (รูปที่ 9)

2.1 ชิ้นส่วนผนังโครงสร้าง (Structural wall units)

ชิ้นส่วนผนังรับน้ำหนักซึ่งอาจมีช่องหน้าต่างหรือไม่มีก็ได้ ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอังกฤษและสหรัฐอเมริกา หลังจาก ช่วงปี พ.ศ. 2503 ถึง 2513 ผนังอาจสูง 1 ชั้น–3 ชั้นอาคารก็ได้ เช่น St. Katharine Dock House, London พ.ศ. 2507 the Polic Administration Build-

ing Philadelphia พ.ศ. 2505 (รูปที่ 10) และ IBM Research Center at La Gaude, France พ.ศ. 2505 เคยมีการใช้ผนังสูงถึง 4 ชั้น แต่อาจเป็นเพราะมีปัญหาเรื่องการหล่อในแบบ น้ำหนักการขนส่ง และการติดตั้ง จึงไม่นิยม ความสูงปกติของผนังแบบนี้จึงไม่เกิน 3 ชั้น (รูปที่ 10)

การก่อสร้างระบบนี้พัฒนาขึ้นมาจากการใช้ผนังคอนกรีตเป็นแบบถาวรสำหรับเสาหล่อในที่ร่วมกับพื้นคอนกรีตหล่อในที่ ต่อมาจึงยกเลิกคอนกรีตหล่อในที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแทน ปัจจุบันจึงนิยมใช้ร่วมกับงานโครงสร้างพื้นเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตทับหน้า (Topping หรือ Screed) เท่านั้น

2.2 ผนังทำหน้าที่เป็นเสาและคาน (Undersil)

ระบบที่ใช้ชิ้นส่วนคานและเสาแยกออกจากกันมีอยู่มากมายหลายแบบ ดูเหมือนว่าในประเทศอังกฤษนิยมใช้ชิ้นส่วนขนาดเล็กและมีรูปแบบที่ซับซ้อน แต่ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้ชิ้นส่วนขนาดใหญ่ และมีลักษณะเรียบง่ายกว่า (รูปที่ 8)

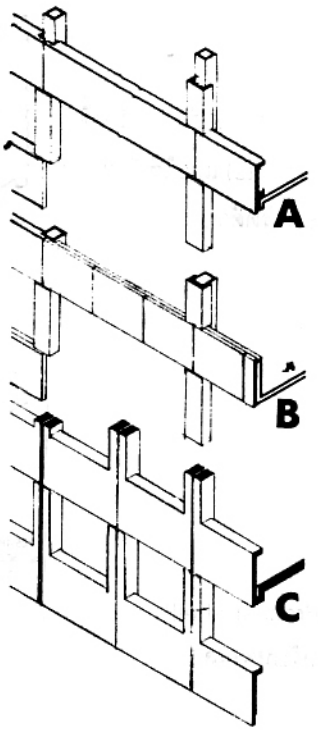
ระบบคานและเสาขนาดเล็กได้พัฒนาในช่วงแรก ๆ ของ พ.ศ. 2503 – 2513 เพื่อสนองความต้องการในการผลิต การขนส่ง และการยกขึ้นติดตั้ง การก่อสร้างแบบนี้ เสาจะห่างกันไม่เกิน 5 เมตร การทำรอยต่อจะทำแบบง่าย ๆ ตรงไปตรงมา ระบบนี้จะเสียเวลาในการประกอบและทำรอยต่อมาก

ระบบคานและเสาขนาดใหญ่ มีหลายแบบ เช่น อาคารสำนักงาน Riverside Park, Weston, Massachusetts (รูปที่ 11) เสามีขนาด 0.60 × 0.40 ม.^{2} ลึก 0.60 – 1.82 ม. คานพาดช่วงริม (Spandrel beam) พาดระหว่างเสาเป็นรูปตัวแอล (L) ช่วงเสา 10.6 ม. คานวางอยู่บนบ่าเสาซึ่งกว้างไม่น้อยกว่า 20 ซม. แล้วยึดด้วยเดือย (Projection dowel bar) ขนาด 2" แล้ว อุดด้วย Non – shrink grout หลังช่วง พ.ศ. 2513 – 2523 ในสหรัฐอเมริกา มีการผลิตระบบเสาและคานที่ใช้พาดช่วงกว้าง ๆ ไว้หลายแบบด้วยกัน เช่น อาคาร Citizens Bank Center in Richardson, Dallas (รูปที่ 12) ออกแบบคานโพสท์เทนชั่นหนัก 60 ตัน ยาวถึง 30.80 ม.

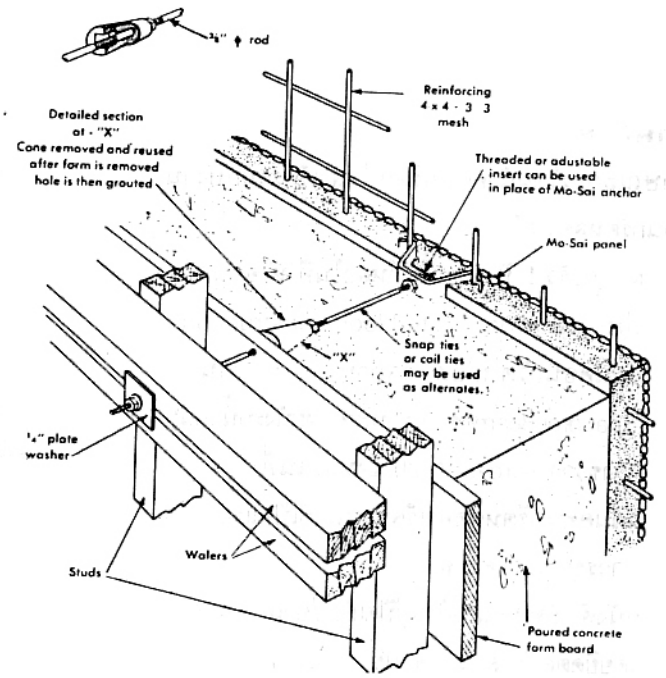
รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างการทำรอยต่อระหว่างคานและเสา ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำรอยต่อระหว่างเสากับคานซึ่งทำหน้าที่เป็นผนังภายนอกด้วย

2.3 ม่านหรือโครงหุ้มอยู่ข้างนอกอาคาร (External structural screens)

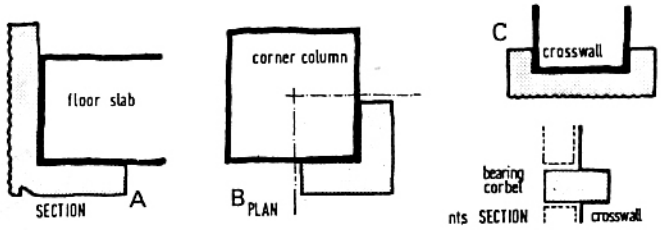
เป็นแนวความคิดในช่วง พ.ศ. 2493 – 2503 ที่ต้องการแสดงสัจจะโชว์โครงสร้างที่ทำหน้าที่



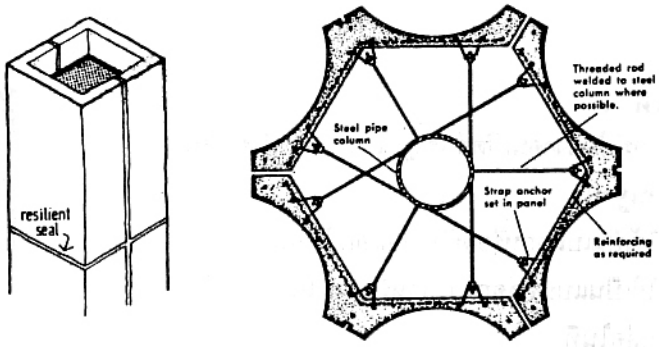
ภาพที่ ๑
แสดงการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในงานสถาปัตยกรรม
แบบพื้นฐาน
(A) ใช้เป็นเปลือกหรือผนังภายนอกหุ้มโครงสร้าง
(B) ใช้เป็นแบบหล่อถาวรสำหรับงานโครงสร้างซึ่งหล่อในที่
(C) ใช้เป็นส่วนประกอบโครงสร้างรับน้ำหนัก



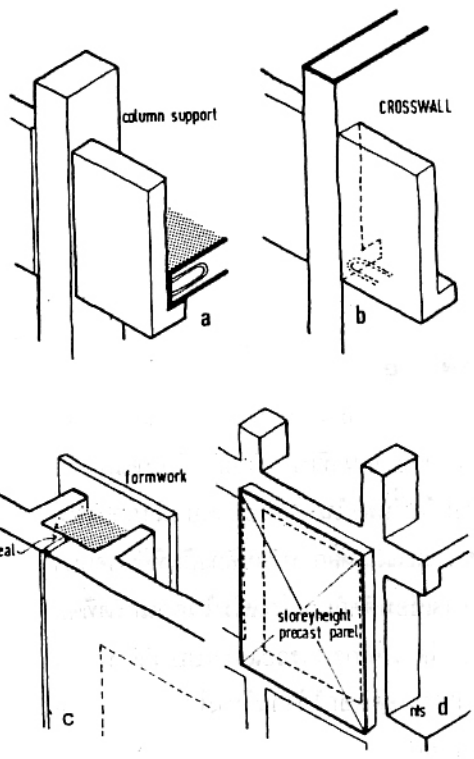
ภาพที่ ๒
วิธีการเพิ่มความแข็งแรงให้ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแบบถาวรยึดติดแน่นกับคอนกรีตที่หล่อในที่ โดยอาศัยผนังภายในที่ขรุขระและแผ่นเหล็ก หรือเหล็กเสริมที่ยื่นออกมาซึ่งอาจเชื่อมติดกับเหล็กเสริมในคอนกรีตที่จะหล่อก็ได้ เหล็กรูปกรวยและแบบไม้ด้านหลังสามารถถอดออกใช้งานใหม่ได้ (Mo-Sai Institute)



ภาพที่ 3
แสดงการใช้แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เป็นชิ้นส่วนปิดมุม (Corner Units) และใช้เป็นแบบถาวรสำหรับหล่อคอนกรีตด้วย



ภาพที่ 4
ตัวอย่างคอนกรีต (Precast shell) ใช้เป็นแบบถาวรสำหรับหล่อเสา



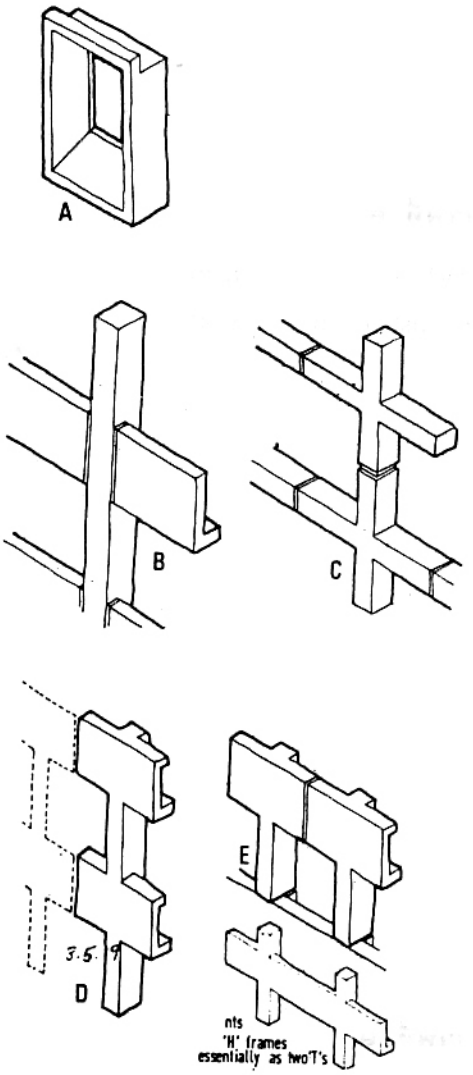
ภาพที่ 5
ลักษณะการใช้ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จร่วมกับงานคอนกรีตหล่อในที่

(a) ผนังรูปตัว L ปิดขอบพื้นที่หล่อในที่ หรือพื้นองค์ประกอบ (Composite Floor Construction)

(b) แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทำหน้าที่เป็นคาน (Spandrel Beam) พาดช่วงระหว่างผนังรับน้ำหนักทางขวาง (Cross Wall) ซึ่งหล่อในที่

(c) แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทำหน้าที่เป็นแบบหล่อถาวรของเสา ค.ส.ล.

(d) ผนังสำเร็จรูปขนาดใหญ่ปิดเต็มช่องเสาและคานโดยยึดติดกับเสาและคานซึ่งหล่อในที่



ภาพที่ 6

แสดงการใช้ส่วนประกอบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จพื้นฐาน 6 วิธี

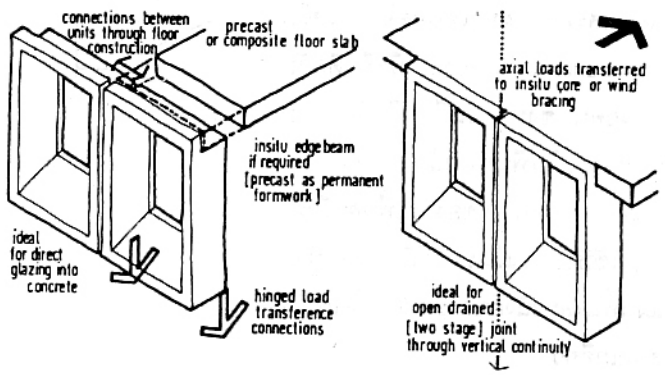
(A) ใช้เป็นหน่วยผนัง ซึ่งอาจมีช่องหน้าต่างด้วยก็ได้

(B) ใช้เป็นคานใต้หน้าต่าง (Undersil)

(C) ใช้เป็นโครงหรือม่านหุ้มอยู่ข้างนอก

(D) ใช้เป็นกรอบหน้าต่าง (Mullion Unit) 1 หรือ 2 ชั้น

(E) โครงรูปตัว H หรือตัว T หรือแบบรวมเสาและคานเข้าด้วยกัน

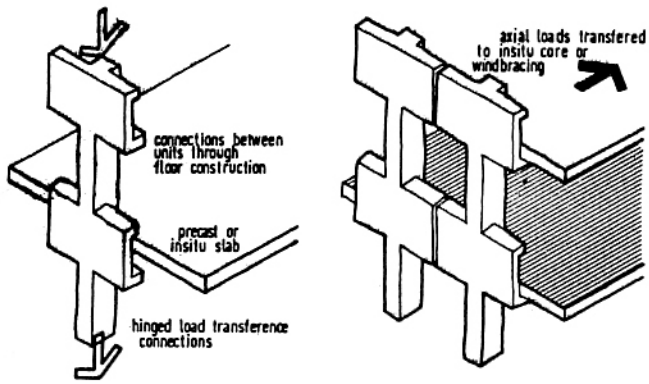


ภาพที่ 7

หลักการ โครงสร้างเบื้องต้นของหน่วยผนังที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักด้วย

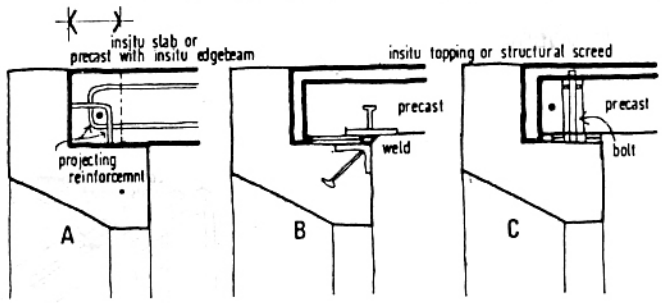
ภาพที่ ๘

City Wall House, Southampton. Hampshire; หลักการของโครงสร้าง



ภาพที่ ๙

แผนภาพแสดงรอยต่อระหว่างส่วนประกอบผนังโครงสร้างกับแผ่นพื้น (A) ยื่นเหล็กเสริมจากผนังเพื่อยึดติดกับเหล็กเสริมของแผ่นพื้น ค.ส.ล.หรือยึดติดกับคานขอบ ซึ่งหล่อในที่ หรือยึดติดกับเหล็กเสริมในพื้นทับหน้า (Structural Screed Topping) ของแผ่นพื้นสำเร็จรูป (B) ใช้วิธีเชื่อมแผ่นเหล็กที่ฝังยึดติดอยู่กับแผ่นพื้นและผนังสำเร็จรูป (C) ยึดโดยใช้สลักเกลียว



เป็นม่านอยู่ภายนอก ผนังอยู่ถัดเข้าไปอีกชั้นหนึ่ง งานชิ้นแรกในระบบนี้ออกแบบ โดย Skidmore, Owings and Merril (SOM) New York) ซึ่งมีอิทธิพลต่องานรุ่นหลังของสถาปนิกอเมริกาและยุโรปที่สนใจในระบบสำเร็จรูป ตัวอย่างงานที่สำคัญ ๆ เช่น John Hancock Building (รูปที่ 14) Kansas City; Heinz Building (รูปที่ 15) Hayes Park, Middlesex; Banqur Lambert in Brussels พ.ศ. 2501 – 2511

การออกแบบโครงสร้างส่วนใหญ่ที่ทำ ๆ กันคือ ชิ้นส่วนรูปโครงกากะบาด ทำหน้าที่ทั้งคานและเสาร่วมกัน ปกติชิ้นส่วนทางตั้งจะออกแบบรอยต่อให้เป็น Pin joint column ต่อกันที่ตรงกลางของชั้นอาคาร ชิ้นส่วนทางราบจะอยู่ในแนวเดียวกับพื้นของชั้นต่าง ๆ ยึดติดกับพื้นหรือโครงสร้างที่ยื่นออกมาข้างนอกอาคาร โครงสร้างพื้นจึงทำหน้าที่รับแรงและน้ำหนักต่าง ๆ ของโครงข้างนอกทั้งหมด

โครงสร้างระบบนี้ ถ้าใช้กับอาคารที่จอดรถก็สามารถออกแบบให้โครงข้างนอกเป็นผนังไปในตัวด้วย ปัญหาเรื่องหน้าต่าง หรือผนังกระจกก็หมดไป แต่ถ้าเป็นอาคารสำนักงาน อาจมีปัญหาเรื่องปริมาณของแสงตามธรรมชาติ อาจไม่เพียงพอ หรือไม่คงที่ ผนังจึงมักจะเป็นผนังกระจกถอยร่นอยู่ด้านหลัง โครงข้างนอกก็อาจออกแบบให้เป็นแผงกันแดดได้ด้วย เพื่อให้คุณภาพของแสงที่เข้าไปในอาคารมีคุณภาพดีและคงที่มากยิ่งขึ้น

2.4 กรอบหน้าต่าง (Mullion units)

ระบบนี้เป็นที่สนใจกันขึ้นเมื่อ Minoru Yamasaki ได้นำมาใช้กับอาคาร College of Education Building at Detroit พ.ศ. 2503 และ City Wall House Southampton (สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. 2510) (รูปที่ 16) เป็นตัวอย่างที่ดี สำหรับระบบนี้ คือ ออกแบบชิ้นส่วนเหมือนกับรวมเสาและผนังใต้หน้าต่าง เข้าเป็นชิ้นเดียวกัน โดยมีรอยต่อตรงกลางหน้าต่าง ทำหน้าที่เป็นผนังรับน้ำหนัก ถ่ายน้ำหนักทั้งหมดลงมายังคานใหญ่ชั้นที่ 2 รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนผนังกับคานใหญ่เป็นเพียงเดือยเหล็ก ϕ 1" (25 มม.) ซึ่งฝังอยู่ในคานและเตรียมช่องชิ้นส่วนผนังไว้ก่อน เมื่อใส่เข้าที่แล้ว ใช้สารอุด (Grout) ระบบนี้ได้รับการยกย่องว่าจะมีรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนน้อยที่สุด ทำให้ประหยัดค่ายาแนวรอยต่อลงได้มาก

2.5 โครงรูปตัวเอช (H) และรูปตัวที (T)

ใน พ.ศ. 2502 โครงรูปตัวเอช (H–Frame) ได้พัฒนาขึ้นมา เช่นงานของ Jan Bobrowski and Partners จุดประสงค์หลักก็เพื่อลดปัญหาที่การทำรอยต่อเสากับคานในที่ก่อสร้าง จึงได้

พัฒนาระบบและรอยต่อใช้กันต่อมาในระยะหลัง เช่น อาคาร Geography Building, Portsmouth Polytechnic, Hamshire (รูปที่ 17) ส่วนโครงรูปตัวที (T–Frame) ก็ได้นำมาใช้แก้ปัญหาการทำรอยต่อระหว่างคานกับเสา ตัวอย่างอาคารที่ใช้ระบบนี้ เช่น Motion Picture Association of America Building, Washington DC. (รูปที่ 18)

3. เปลือกหุ้มโครงสร้างภายนอก (Cladding fixing to a structural frame)

ระบบนี้จะออกแบบให้ผนังเป็นชิ้นส่วนที่แยกออกต่างหากจากโครงสร้าง ทำให้มีอิสระในการออกแบบรูปด้านได้หลายแบบ ถึงแม้ว่าโครงอาคารจะเหมือนกันหรือไม่ก็ตาม ผนังเป็นเพียงเปลือกที่หุ้มโครงสร้างด้วยตัวต่อ (Connector) ซึ่งเราเรียกว่า ระบบ Curtain wall นั่นเอง ระบบนี้ใช้ได้กว้างขวางทั้งโครงสร้างค.ส.ล.หล่อในที่โครงสร้างสำเร็จรูปหรือโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จึงนิยมใช้กันทั่วไป ผู้ผลิตก็สามารถผลิตชิ้นส่วนผนังออกขายได้ง่ายกว่าระบบอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่ออกแบบใช้เฉพาะเป็นกรณี ๆ ไป ทำให้มีความอิสระในการใช้งานมากขึ้น

การผลิตจะมีอยู่ 2 แบบ คือ

3.1 เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กใช้ปะหน้าหรือยึดติดกับงานวัสดุก่อหรือคอนกรีตหล่อในที่แบบนี้ปัจจุบันไม่ค่อยพบเห็นทั้งในยุโรปและอเมริกา

3.2 เป็นชิ้นส่วนขนาดใหญ่ (Cladding panel) ส่วนมากสูง 1 ชั้นอาคาร ยึดติดกับโครงสร้างหลักของอาคารโดยตรง (คานและเสา)

วัสดุที่ใช้เป็นตัวยึด (Fixing) หรือตัวต่อ (Connector) จะต้องทนทานต่อการสึกกร่อนได้ และสามารถรับน้ำหนักได้ตลอดไป การสึกกร่อนอาจเกิดจากการเป็นสนิมหรือปฏิกิริยาทางเคมีอื่น ๆ (Oxidation, Galvanic or Bimetallic Contact) และการเสื่อมสภาพของวัสดุของโลหะแอลลอยด์บางชนิด เช่น แมงกานีส บรอนซ์ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลายาวนาน ปัญหาเรื่องการเกิดสนิมอาจป้องกันได้โดยการเลือกใช้วัสดุ Non–ferrous metal และ Stainless steel

ในประเทศอังกฤษ โค้ดได้แนะนำให้ใช้ Phosphor bronze, Aluminimum bronze และ Silicon aluminium bronze สำหรับตัวต่อที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักทางดิ่ง (Loadbearing fixings) โลหะเหล่านี้เมื่อผสมกับทองแดง โค้ดแนะนำให้ใช้สำหรับตัวต่อที่ทำหน้าที่ดึงหรือรั้งผนังให้อยู่กับที่ (Restraint fixings) หรือรับแรงทางแนวราบ (รูปที่ 19)

การสึกกร่อนที่เกิดจากโลหะต่างชนิดกันสัมผัสกัน และมีความชื้น เช่น วัสดุประเภททองแดงและโลหะผสมทองแดง เมื่อใช้กับวัสดุที่มีเหล็ก (Ferrous material) หรือสังกะสี (Zince) จะเสี่ยงกับการสึกกร่อนมาก ตารางในรูปที่ 20 แสดงความเป็นไปได้ในการใช้โลหะ 2 ชนิดร่วมกัน (Bimetallic combination) ในอเมริกานิยมใช้เหล็กคาร์บอน (Carbon steel) และเหล็กอ่อน (Malleable iron) หุ้มด้วยคอนกรีตหรือชุบกันสนิม (Galvanising) แต่วัสดุเหล่านี้มีการใช้เพียงบางท้องถิ่นในอังกฤษ เพราะอาจเกิดความผิดพลาดในการชุบกันสนิมได้ จึงต้องตรวจสอบและซ่อมแซมเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลังด้วย

ในสหรัฐอเมริกา The Prestressed Concrete Institute ผู้พิมพ์ Architectural Precast Concrete พ.ศ. 2516 ได้เขียนไว้ในหัวข้อ "Protection of Connections" ว่า ข้อกำหนดในการป้องกันสภาพดินฟ้าอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ยึดต้องมีการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความชื้นหรือการสึกกร่อนจากสภาพแวดล้อม การป้องกันอาจทำได้โดย

1) เคลือบด้วยสี (Zince–rich paint)

2) ชุบด้วยสังกะสี (Zince metallising)

3) Hot–dip galvanising หรือ Cadmium plating

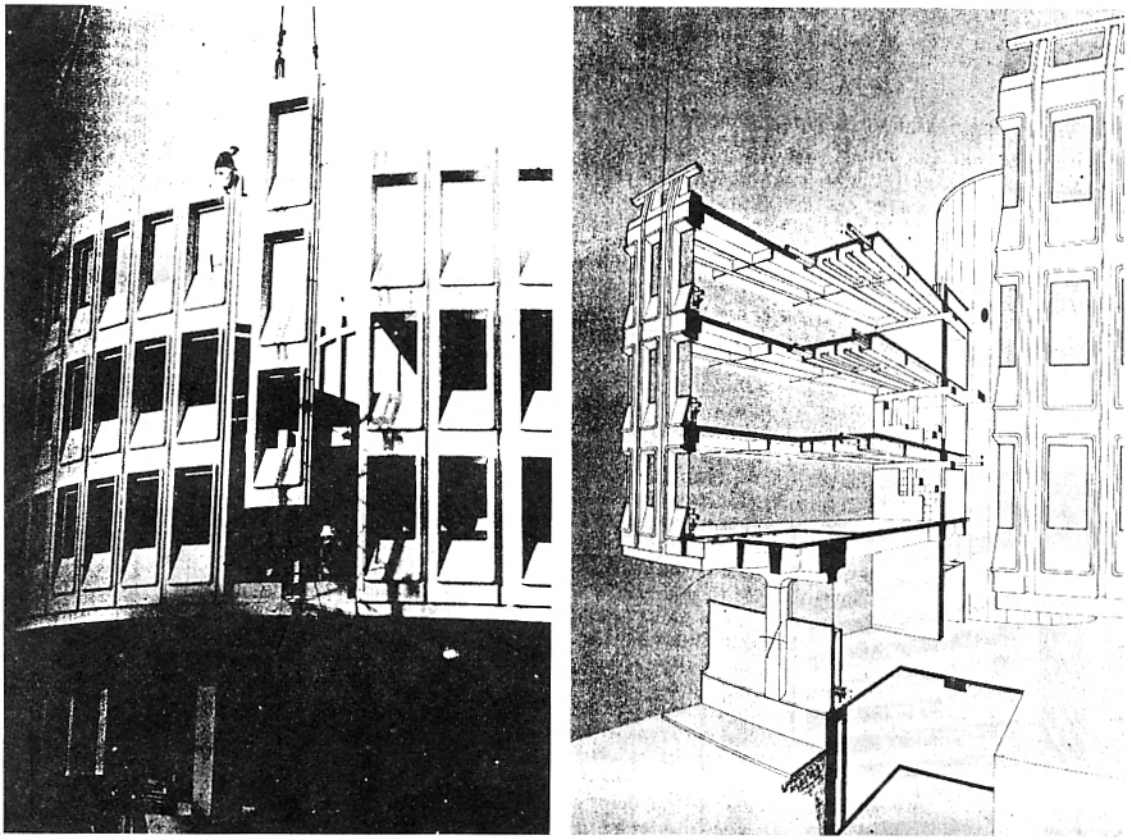
4) ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)

ราคาค่าก่อสร้างจะแพงขึ้นตามลำดับเช่นกัน ในอังกฤษโดยทั่วไปจะยอมรับเฉพาะลำดับที่ 4 ซึ่งแพงที่สุด การเชื่อมตัวยึดระหว่างผนังกับโครงสร้าง เป็นวิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปในสหรัฐอเมริกา แต่ในอังกฤษจะให้ใช้ได้เพียงบางกรณีหรือเป็นข้อยกเว้นเท่านั้น PCI ได้แนะนำไว้ว่า "ถ้ามีการเชื่อมในระหว่างการติดตั้ง รอยเชื่อมต้องทำให้สะอาดและทาด้วย Zince–rich paint ในที่ซึ่งการทำรอยต่อต้องการกันสนิมหรือป้องกันการสึกกร่อนจากสภาพดินฟ้าอากาศแต่ไม่สามารถทาสีได้หลังการติดตั้งแล้ว ควรทำการทาสีกันสนิมหรือป้องกันก่อนการติดตั้ง และให้ยึดด้วยสลักเกลียวภายหลัง"

ปูนก่อ (Mortar) ที่ใช้ในการทำรอยต่อ ควรมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน ต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 48 ชั่วโมง (Cure) จึงให้รับแรงกดหรือน้ำหนักต่าง ๆ ได้ สารอุดอื่น ๆ เช่น อีพอกซี (Epoxy) สารโพลิเอสเตอร์ (Polyester resin–based compound) สามารถใช้ได้ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

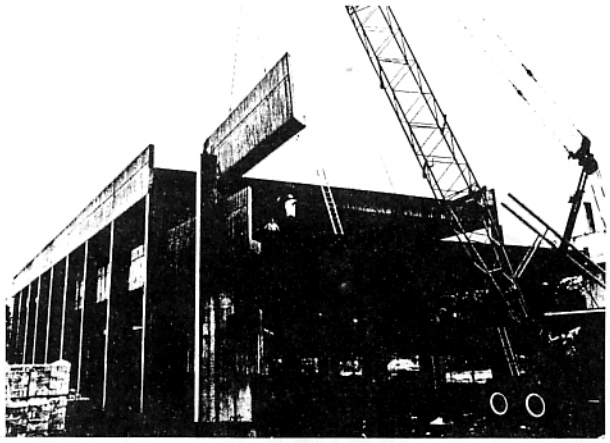
หลักการในการยึดชิ้นส่วนผนัง น้ำหนักของผนัง ควรถ่ายลงสู่ตัวต่อหรือตัวรองรับ (Bearing support) เพียงระดับเดียวเท่านั้น ปกติจะอยู่ใกล้หรืออยู่ที่ข้างล่างหรือข้างบนของชิ้นส่วนผนัง แต่อาจทำตัวรองรับที่ระดับกลางของแผ่นผนังก็ได้ การถ่ายน้ำหนักลงบนตัวโครงสร้างทางแนวนอน (เช่นคาน) โดยตรง เป็นสิ่งที่ควรจะกระทำ เพื่อให้มีพื้นที่รับแรงกด (Bearing surface) จากน้ำหนักมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้ามีชิ้นส่วนผนังหลายชิ้นส่วนกดทับต่อเนื่องอยู่ข้างบน ควรแยกผนังออกจากกัน ไม่ให้ต่อเนื่องทุก ๆ ชั้นเท่า ๆ กัน การยึดชิ้นส่วนผนังควรมีตำแหน่งที่สมมาตร (Symmetry) รอบ ๆ ขอบ รอยต่อที่รับแรงในแนวราบหรือรั้งให้อยู่กับที่ (Restraint Fixings) ควรอยู่ที่มุมของชิ้นส่วน การออกแบบหรือการปฏิบัติรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนผนังและโครงสร้างต้องคำนึงถึงความเรียบง่าย และเป็นมาตรฐานเดียวกันเป็นหลักการสำคัญ (รูปที่ 21)

ในประเทศอังกฤษผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมักใช้กับโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ ขนาดและระยะต่าง ๆ ขององค์ประกอบอาคารอาจไม่แน่นอนมีการยืดหด ซึ่งเป็นผลจากความชื้นและอุณหภูมิที่ต่างกัน การหดตัวของคอนกรีตเมื่อแห้ง (Dry shrinkage) และการยืดหดตัวโครงสร้างหรือการเปลี่ยนรูปเมื่อรับแรงกระทำ (Elastic deformation and creep of concrete under load) Bristish Standard Code of Practice CP 297 แนะนำไว้ว่า ปัญหาที่ร้ายแรงที่สุดคือถ้าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งในโครงสร้าง (Dry shrinking) ของอาคารบวกกับการขยายตัวของแผ่นผนัง (Thermal expansion) แรงที่เกิดขึ้นบนผนังหรือที่รองรับ (Support) อาจมีค่ามากพอที่จะทำให้ผนังแตกร้าวหรือตัวรองรับ (ตัวต่อ) เคลื่อนที่หรือบิดเบี้ยวได้ ความยืดหดที่เกิดจากแรงอัดของเสาไม่ค่อยมีผลเสียหายให้เห็นได้ชัดเจน แต่ความยืดหดที่เกิดจากการโก่ง (Deflection) ของคาน หรือขอบพื้นอาจมีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อช่วงพาดกว้างมาก ๆ รวมทั้งการหดตัวของโครงสร้างทั้งหมด (Creep) เมื่อรับน้ำหนัก อาจถ่ายแรงกดถาวรไปสู่แผ่นผนังที่ยึดติดกับโครงสร้าง ทำให้เกิดการโก่งตัวหรือแตกร้าวของผนังได้เช่นกัน การป้องกันการทรุดตัวที่ต่างกันระหว่างผนังและโครงสร้าง จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบตัวต่อที่รับแรงในแนวราบ (Restraint fixing) ให้ผนังมีความอิสระสามารถเคลื่อนตัวได้ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน และต้องทำรอยต่อรับแรงอัดระหว่างผนังในระดับพื้นอาคารทุก ๆ ชั้น (รูปที่ 21) แต่ BS CP 297 ได้ระบุไว้ว่าสำหรับอาคารโครงเหล็ก จากประสบการณ์ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงของขนาดและระยะต่าง ๆ ของผนังและโครงสร้างไม่ต่างกันมากนัก



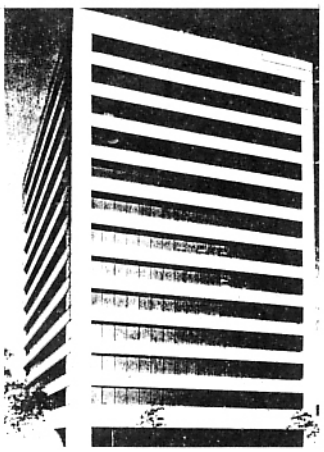
ภาพที่ 10

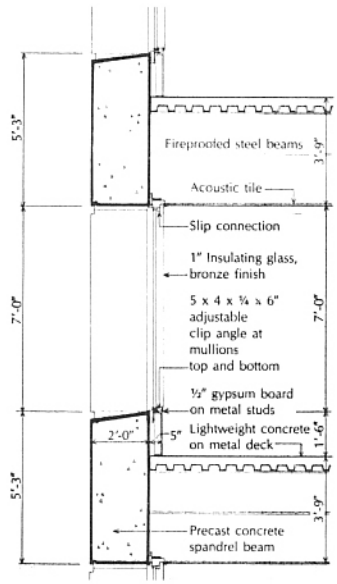
อาคาร Police Administration Building, Philadelphia แสดงตัวอย่างชิ้นส่วนผนังทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักพื้นข้างบนทั้ง 3 ชั้น ถ่ายลงสู่โครงสร้างชั้นที่ 2 ซึ่งยื่นออกมารับผนัง

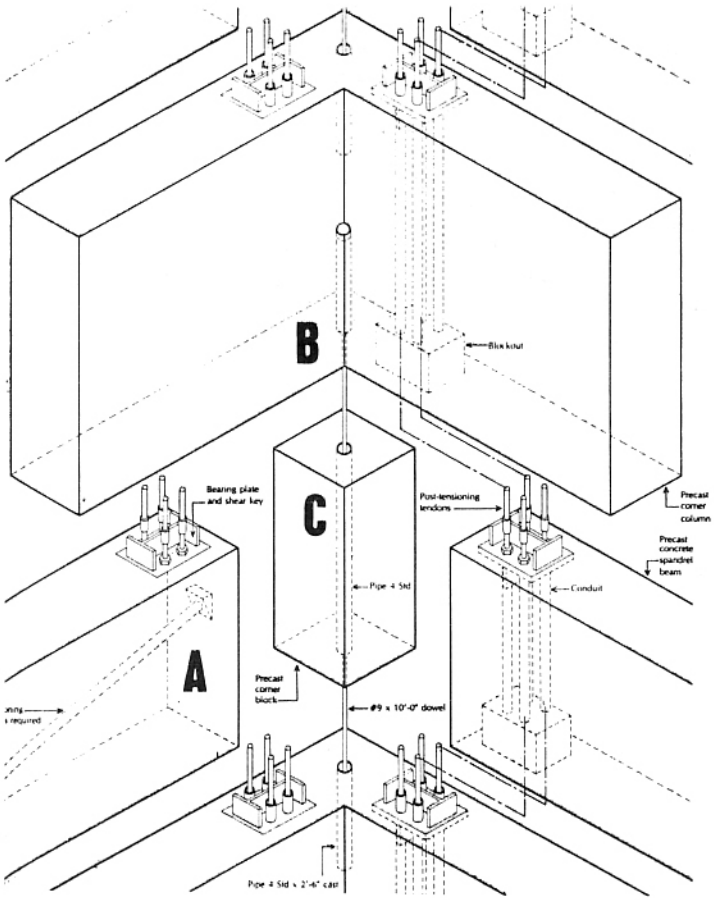


ภาพที่ 11

Riverside Park Offices.

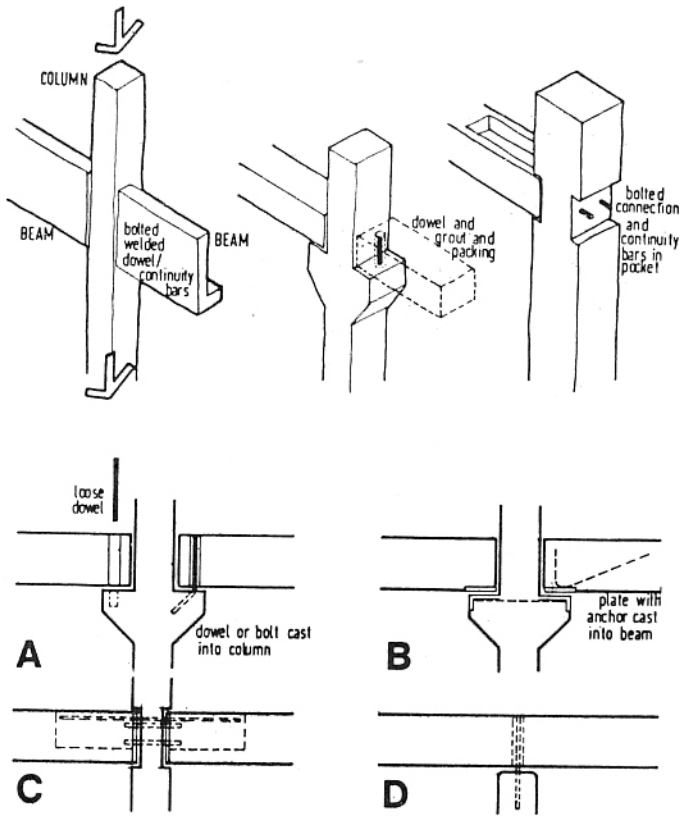






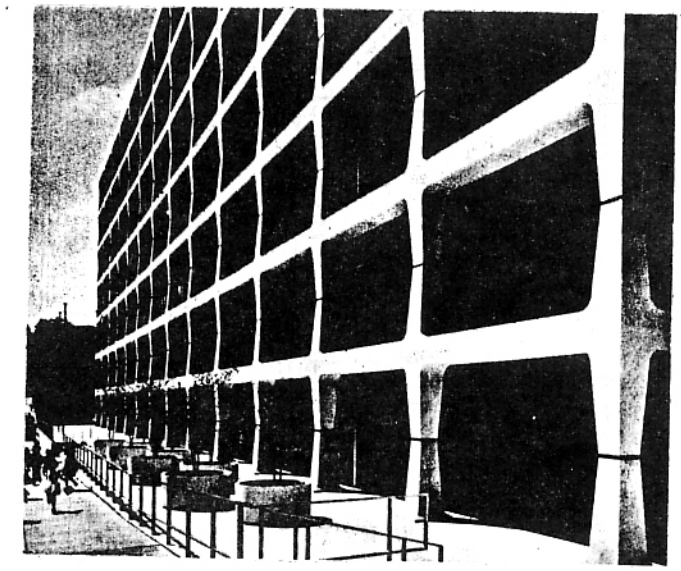
ภาพที่ 12

Citizens Bank Center, Texas.



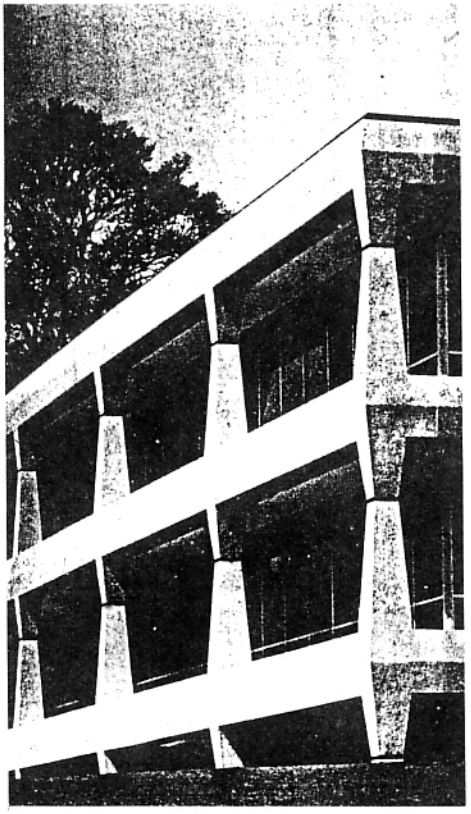
ภาพที่ 13

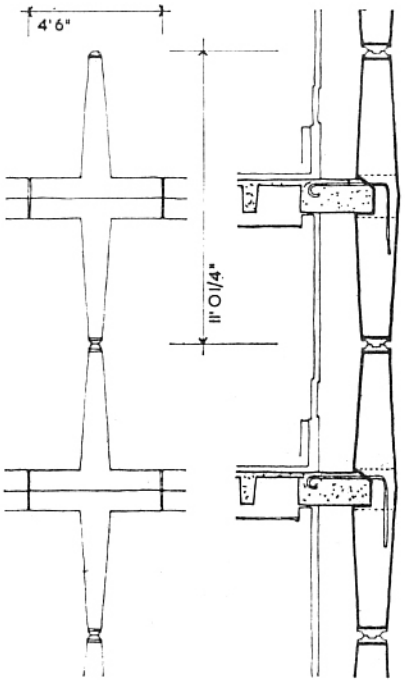
แสดงแบบทั่ว ๆ ไปที่นิยมใช้ในการทำรอยต่อเสากับคาน (A) วางอยู่บนบายืนแล้วยึดด้วยสลักเกลียว หรือเดือย และอุดรอยต่อ (B) วางคานบนบ่าแล้วเชื่อมแผ่นเหล็กเข้าด้วยกัน (C) บากเสาลึกเข้าไปแล้วร้อยด้วยสลักเกลียว หรือใช้วิธีเชื่อมแผ่นเหล็กที่ฝังอยู่ในคานและเสา (C) คานต่อเนื่องวางอยู่บนเสาโดยการใช้เดือย



ภาพที่ 14

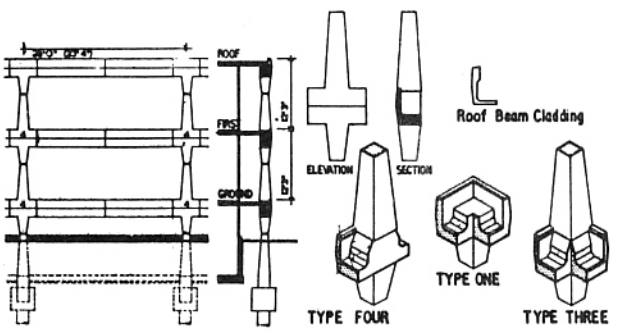
John Hancock Building, Kansas City;

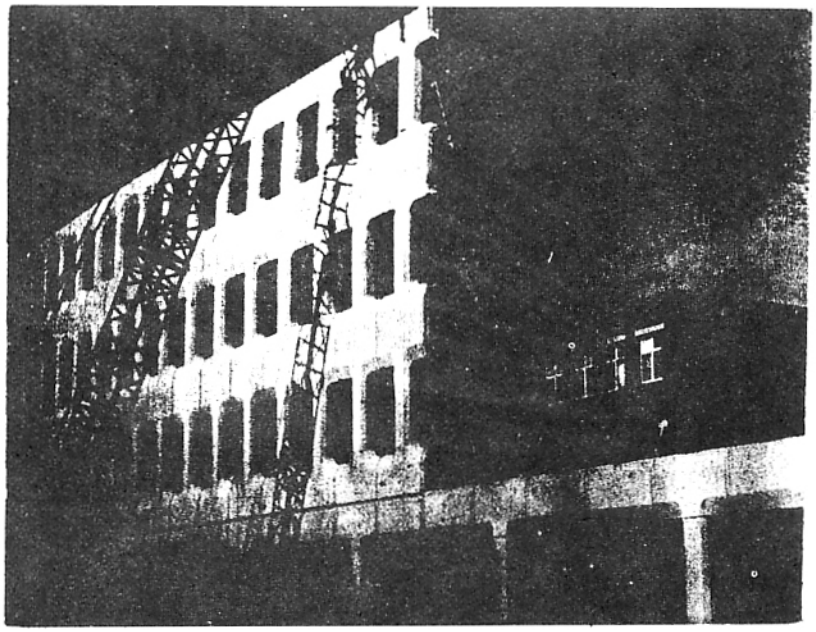




ภาพที่ 15

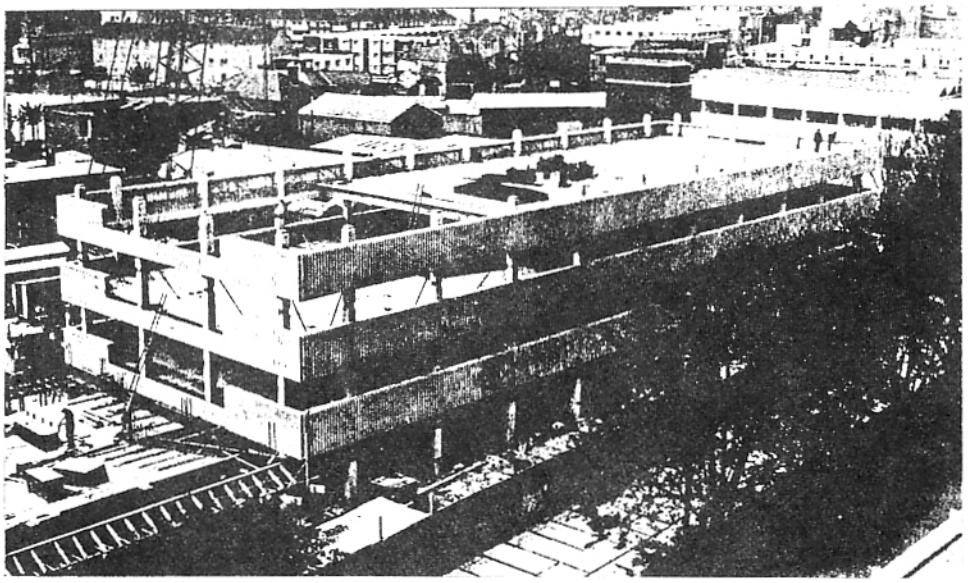
Heinz Building; Typical constructional details: ตัวอย่างการทำรอยต่อของโครงรูปกากบาดของ Liscarton House, Stone Street, London.





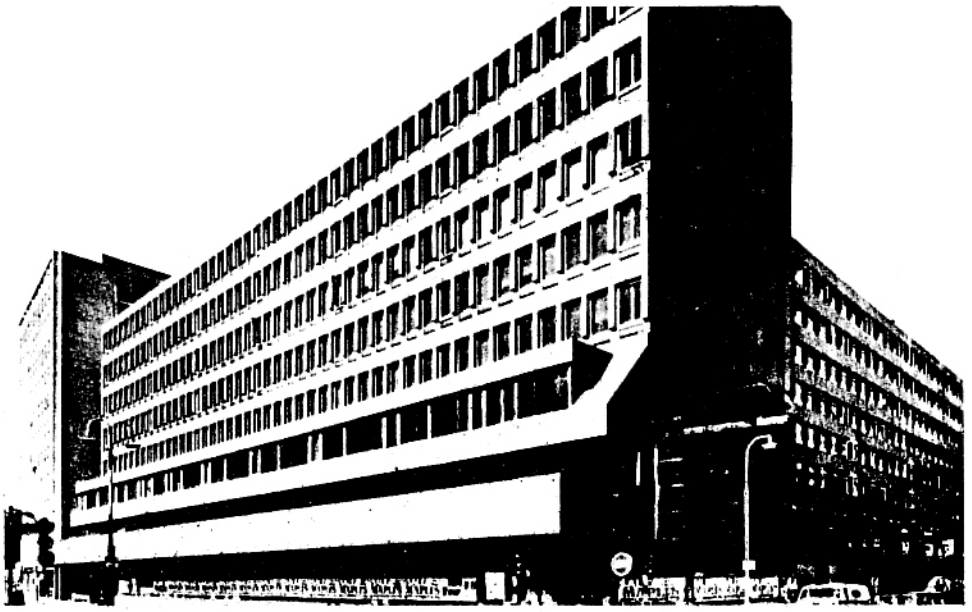
ภาพที่ 16

City Wall House, Southampton ตัวอย่าง
การใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นกรอบหน้าต่าง



ภาพที่ 17

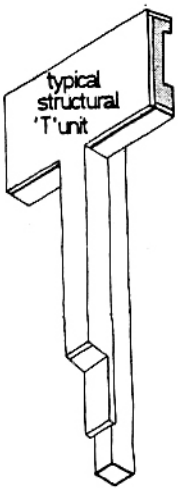
Geography Building, Hampshire.
ตัวอย่างโครงรูปตัว H

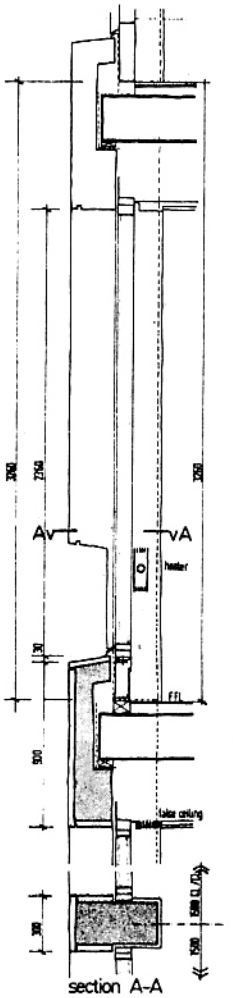


ภาพที่ 18

The New Maples Building, Tottenham Court

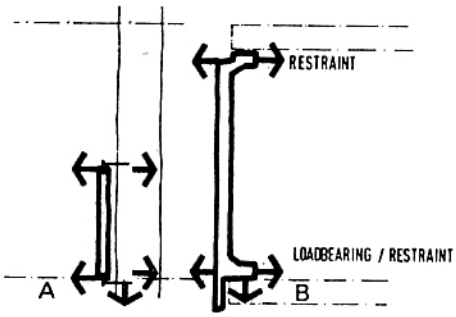
ตัวอย่างการใช้โครงรูปตัวที ซึ่งบุด้วยหินแกรนิต





ภาพที่ 19

แผนภาพแสดงความแตกต่างระหว่างการยึดรั้งผนังเพื่อรับน้ำหนักในแนวดิ่ง (Load Bearing) และต้านแรงกระทำในแนวราบ (Restraint) ที่ขอบบนและขอบล่างของผนัง (A) ชิ้นส่วนผนังขนาดเล็ก (B) ผนังขนาดใหญ่สูง 1 ชั้น



ภาพที่ 20

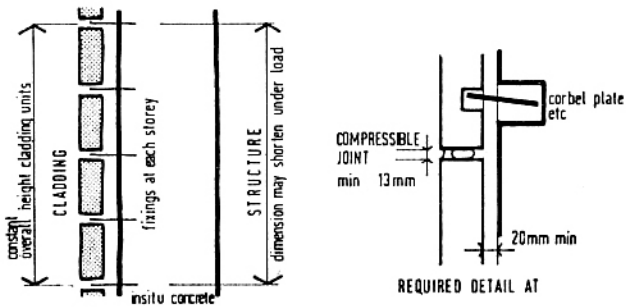
ตารางสัมพันธ์ แสดงความเหมาะสมของการใช้โลหะ 2 ชนิดร่วมกันในการทำรอยต่อ (จาก Fixings For Building, พิมพ์โดย Harris and Edgar Ltd.)

	Metals	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Copper				▨	■	▨	■	■
2	Phosphor bronze				▨	■	▨	■	■
3	Aluminium bronze				▨	■	▨	■	■
4	Stainless steel	▨	▨	▨		■	▨	■	■
5	Mild steel	■	■	■	■		■	■	
6	Manganese bronze	▨	▨	▨	▨	■		■	■
7	Aluminium	■	■	■	■	■	■		■
8	Cast iron	■	■	■	■		■	■	

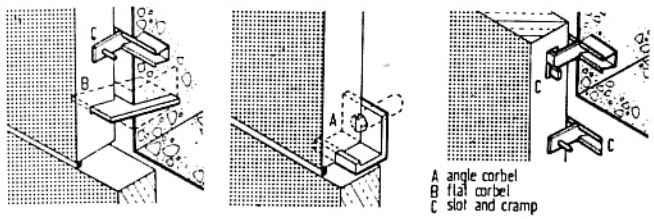
- ▭ - โลหะที่สามารถใช้ร่วมกันได้ในทุกสภาพ
- ▨ - โลหะที่ใช้ร่วมกันได้เฉพาะในสภาพที่แห้ง เช่น หล่อคอนกรีตหุ้มหรือมีการป้องกันความชื้น (D.P.C.)
- ■ - โลหะที่ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้

ภาพที่ 21

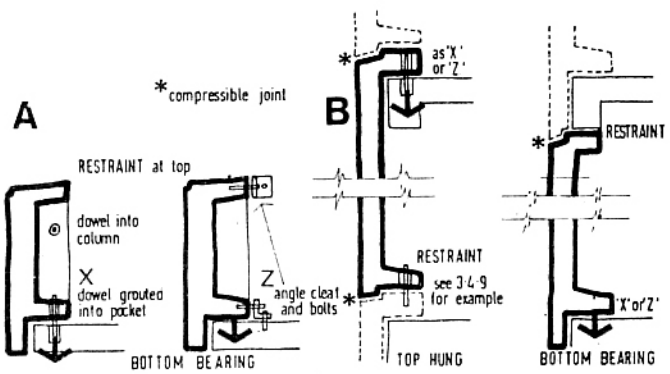
แผนภาพแสดงการทรุดตัวหรือหดตัวที่ต่างกัน ระหว่างโครงสร้างคอนกรีตที่หล่อในที่กับผนังที่หุ้มอยู่ภายนอก จึงต้องออกแบบรอยต่อรับแรงอัด สำหรับผนังภายนอก (Cladding) ไว้ทุก ๆ ชั้นอาคาร



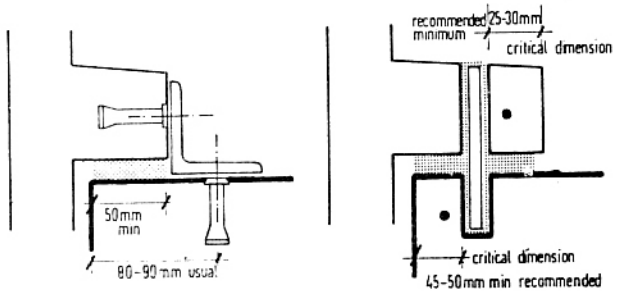
ภาพที่ 22
แสดงวิธีการยึดผนังซึ่งใช้ในงานวัสดุก่อทั่ว ๆ ไป



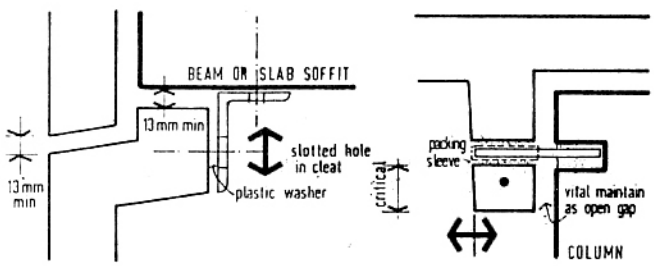
ภาพที่ 23
แผนภาพแสดงการยึดรั้งผนังติดกับโครงสร้าง เพื่อต้านทานน้ำหนักและแรงกระทำใน แนวราบ (Load Bearing/Restraint Fixings) สำหรับผนังขนาดใหญ่
(A) ผนังใต้หน้าต่างพาดเต็มช่วงเสา
(B) ผนังสูง 1 ชั้น ยึดได้ 2 วิธี คือ ยึดขอบด้านล่าง หรือยึดแขวนไว้ที่ขอบบน



ภาพที่ 24
แสดงวิธีการยึด 2 วิธีเบื้องต้น สำหรับต้านทานการเคลื่อนไหวทางด้านข้างโดยใช้ฉากโลหะ (Metal Angle Cleat) และเดือยโลหะ



ภาพที่ 25
การออกแบบรอยต่อให้ผนังภายนอก (Cladding Panel) เคลื่อนขยับตัวทางด้านข้างได้ในการยึดรั้งที่ขอบบนของผนัง (Restraint Fixings) โดยการเจาะรูยาวที่เหล็กฉากให้สลักเกลียวเคลื่อนขึ้นลงในแนวดิ่งได้ และใช้ปลอกเหล็กสวมเดือยไว้หลวม ๆ ทางด้านข้างของผนังที่ติดกับเสาทำให้สามารถขยับตัวในแนวราบได้



โดยปกติไม่มีความจำเป็นต้องทำรอยต่อเป็นพิเศษแต่อย่างไร

3.1 การยึดแผ่นคอนกรีตปะหน้า (Facing slab fixings)

ใช้ตัวยึด (Cramp) เดือย (Dowel) เจาะรูหรือช่อง (Slots) แผ่นโลหะยื่นเป็นบ่ารับ (Corbel plate) สำหรับยึดผนังคอนกรีตขนาดเล็ก ติดกับผนังหรือโครงสร้างที่อยู่ด้านหลัง อุปกรณ์สำหรับยึดเหล่านี้ จะติดอยู่รอบ ๆ ขอบของแผ่นคอนกรีตและมักออกแบบให้ขยับตัวปรับแนวได้เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อน ควรเว้นช่องว่างระหว่างผนังด้านหลังกับแผ่นคอนกรีตไว้อย่างน้อยที่สุด 20 มม. (รูปที่ 22)

3.2 การยึดผนังคอนกรีตขนาดใหญ่ (Largesize cladding panel fixings)

การยึดผนังคอนกรีตที่มีความสูง 1 ชั้นอาคาร หรือชั้นส่วนใต้หน้าต่างที่มีความยาว 1 ช่วงเสา ได้พัฒนาระหว่าง พ.ศ. 2503–2513 ในปัจจุบันนี้ก็มีแบบมาตรฐานแสดงรายละเอียดวิธีการยึดไว้ในตำราการเขียนแบบต่าง ๆ แคตตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต หรือเอกสารเผยแพร่ทางวิชาการสามารถค้นคว้าศึกษาได้

การยึดแผ่นผนังเพื่อต้านทานน้ำหนักทางดิ่ง (Loadbearing fixings) ในประเทศอังกฤษนิยมออกแบบให้ด้านหลังของผนังมีบ่าหรือส่วนที่ยื่นออกมา (Nib) เพื่อวางอยู่บนขอบพื้นหรือขอบคานให้มีเนื้อที่รองรับ (Bearing surface) มากที่สุด BS CP 297 แนะนำให้ส่วนที่วางทับกัน (Bearing) อย่างน้อยที่สุด 50 มม. แต่ถ้ามีการเจาะรูฝังเดือย สำหรับการยึดรั้งทางแนวราบด้วย (Restraint fixings) จะต้องเพิ่มความยาวส่วนที่ยื่นให้มากขึ้น แผ่นผนังใต้หน้าต่างจะทำส่วนยื่น (Nib) ไว้ใกล้ๆขอบด้านล่าง ส่วนผนังที่สูง 1 ชั้น อาจทำส่วนยื่นที่ขอบด้านล่างหรือขอบบนก็ได้ เมื่อยึดผนังเข้าที่เสร็จแล้วจะใช้ Mortar หรือสารอื่นที่เหมาะสมอุดด้านล่าง (Bed joint) เพื่อให้น้ำหนักผนังถ่ายลงสู่พื้นหรือคานด้านล่างได้เต็มที่ (รูปที่ 23)

การยึดชั้นส่วนผนังทางด้านข้างเพื่อถ่ายน้ำหนักสู่เสาทั้งสองข้างไม่นิยมทำกัน เพราะราคาแพงและยุ่งยากกว่า เมื่อเทียบกับวิธีการที่กล่าวมาแล้ว

การยึดเพื่อรับแรงในแนวดิ่ง (Loadbering fixings) โดยปกติจะออกแบบให้สามารถรับแรงทางด้านข้างได้ด้วย คือ ใช้โลหะมุมฉาก (Metal angle cleat bolted to cast in socket) หรืออาจใช้เดือยโลหะ แล้วอุดสารยาแนวภายหลังก็ได้ ระยะวิกฤติต่าง ๆ ก็ได้แสดงไว้แล้ว (รูปที่ 24)

การยึดเพื่อรับแรงในแนวระนาบ (Restraint fixings) โดยปกติจะใช้ Bolted angle cleat Grouted dowel rod ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว วิธีแรกให้ความอิสระในการเคลื่อนที่ของผนังทางด้านข้าง (Lateral movement) ได้ดีเมื่อมีการยืดหดหรือเคลื่อนตัวที่เกิดจากอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยการเจาะช่องให้ยาวเพื่อให้ขยับตัวได้ การขันสลักเกลียว (Cleat bolt) ต้องให้มีความแน่นพอเหมาะด้วย รอยต่อแบบใช้เดือยสามารถให้ความอิสระในการขยับตัวของผนังได้โดยการใช้ปลอกหลวม ๆ (Loose sleeve) สวมเดือยไว้ก่อนที่จะอุดรอยต่อ (Grouting) สารยาแนวที่รับแรงอัดได้ดี เช่น Compressible grommet จำเป็นต้องใช้เพื่อแยกรอยต่อของแผ่นผนังกับตัวโครงสร้างอาคารออกจากกัน (รูปที่ 25)

รูปที่ 26–32 แสดงตัวอย่างการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นเปลือกหุ้มโครงสร้าง (Cladding) และรายละเอียดการยึดติดกับโครงสร้าง

บทสรุป

จากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และวิธีการทำรอยต่อระหว่างผนังกับโครงสร้าง ในประเทศอุตสาหกรรมได้รับการพัฒนาและนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในอาคารพักอาศัยขนาดเล็กและอาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารสูง ซึ่งปัจจุบันมีใช้กันอยู่หลายระบบหลายแบบด้วยกัน แต่ในประเทศไทยการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปยังค่อนข้างอยู่ในวงจำกัด อาจเป็นเพราะว่า อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่เรานิยมใช้ผนังกระจก (Glass curtain wall) กันมาก หรือถ้าต้องการผนังคอนกรีตก็จะเลี่ยงไปใช้เทคนิคการก่อสร้างอย่างอื่นแทน เช่น Slip form หรือ Table form ซึ่งสามารถสร้างได้รวดเร็วเช่นกัน

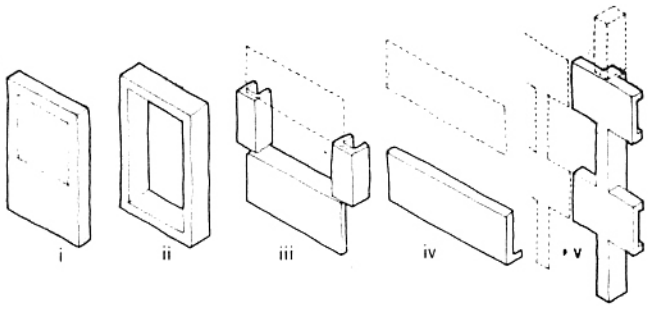
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นใช้ในประเทศส่วนใหญ่จะมีรูปแบบและวิธีการทำรอยต่อแบบเรียบง่าย ตรงไปตรงมา เพื่อความประหยัดและความสะดวกในการผลิตชิ้นส่วนและการประกอบติดตั้ง เนื่องจากเรายังมีข้อจำกัดในเรื่องของเทคโนโลยีการผลิตวัสดุและวิธีการก่อสร้าง เครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัยก็มีราคาแพง มีปัญหาเรื่องมาตรฐานของช่าง และก็ยังขาดความคุ้นเคยในระบบก่อสร้างแบบใหม่นี้ ระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันส่วนใหญ่มี 2 ลักษณะ คือ ใช้ชิ้นส่วนผนังเรียบบรรจุอยู่ในช่องเสาและคาน โดยมีรอยต่อยึดผนังติดกับเสาหรือคาน หรือติดกับขอบพื้น ค.ส.ล. ของแต่ละชั้น อย่างหนึ่ง กับอีกอย่างหนึ่งคือ ออกแบบให้ชิ้นส่วนผนังหุ้มปิดคานขอบ (Edge beam และ Spandrel beam) (รูปที่ 35) หรือขอบพื้นไร้คาน หรืออาจปิดหุ้มโครงสร้างทั้งหมดเลยก็ได้ (Cladding)

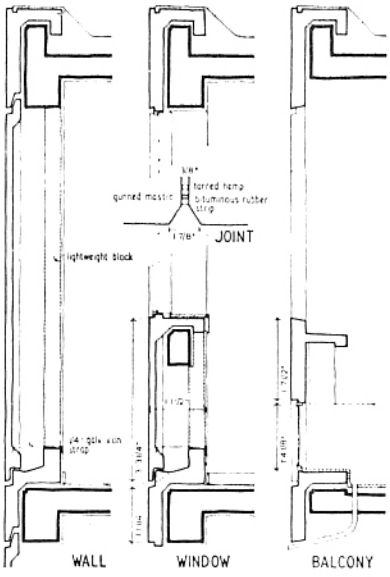
ลักษณะหลังนี้ การทำรอยต่อจะให้ผนังห้อยแขวนอยู่ภายนอกของโครงสร้าง โดยถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นหรือคานตัวริม วิธีการยึดผนังติดกับโครงสร้างที่นิยมทำกันในบ้านเราก็มี 2 แบบ คือ แบบที่มีเหล็กเสริมหรือแผ่นเหล็กยื่นออกมาจากผนังเพื่อใช้เชื่อมหรือทาบต่อกับเหล็กเสริมหรือแผ่นเหล็กที่ฝังเตรียมไว้ในโครงสร้าง แล้วหล่อคอนกรีตปิดรอยต่อหรืออุดด้วยซีเมนต์ชนิดพิเศษ (Grouting) ภายหลัง ตัวอย่างการทำรอยต่อแบบนี้ได้แก่ระบบของ SEACON (รูปที่ 33–34) และการก่อสร้างอาคารสถานีผลิตของการไฟฟ้านครหลวง ส่วนอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้มากเช่นกันสำหรับอาคารขนาดใหญ่ คือใช้แผ่นเหล็กหรือเหล็กฉากเป็นตัวต่อ (Connector) ส่วนใหญ่จะฝังแผ่นเหล็กเตรียมไว้ในชิ้นส่วนผนังและในโครงสร้างอาคารซึ่งหล่อในที่ ตามจุดที่กำหนดไว้ก่อน เมื่อยกผนังขึ้นติดตั้งได้ที่แล้วจึงเชื่อมแผ่นเหล็กให้ติดกัน ตัวอย่างการทำรอยต่อแบบนี้ เช่นอาคารมหาทุนพลาซ่า (Bigbell) (รูปที่ 36–42) และศูนย์การค้านิวเวิลด์สรรพสินค้า เป็นต้น การเชื่อมแผ่นเหล็กเป็นวิธีการทำรอยต่อที่ประหยัดสำหรับบ้านเรา แต่จากการสังเกตในสถานที่ก่อสร้างจริง พบว่าส่วนใหญ่ การทำรอยต่อยังมีความคลาดเคลื่อนสูง ขาดความประณีตเรียบร้อย การยกชิ้นส่วนผนังขึ้นติดตั้งให้เข้าที่ก่อนจะทำการเชื่อมต่อกันได้นั้น ไม่ค่อยสะดวกและเสียเวลาค่อนข้างมาก โดยเฉพาะชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เพราะไม่ได้ออกแบบบ่ารองรับชั่วคราว (Erection seat) หรือร่องบังคับตำแหน่งและระนาบของผนังไว้เลย จะเห็นว่าในต่างประเทศบางระบบเขาจะออกแบบผนังให้วางอยู่ในร่องเพื่อบังคับ หรือปรับตำแหน่งได้ง่าย หรืออาจออกแบบผนังให้มีรูปตัดเป็นบึกเป็นตะขอ หรือเป็นบ่ายื่นออกมาวางหรือแขวนห้อยอยู่กับขอบคานหรือพื้นเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง เมื่อปรับตำแหน่งและระดับของผนังได้ถูกต้องแน่นอนแล้ว จึงทำการเชื่อมหรือขันน็อตยึดให้แข็งแรงถาวรต่อไป อนึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวยึดก็จะมีการออกแบบให้เหมาะสมกับงาน เช่นสามารถปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในระนาบต่าง ๆ ได้ ความสะดวกในการติดตั้งและความประณีตเรียบร้อยของงานจึงมีมาตรฐานสูงกว่าบ้านเรามาก ในด้านความแข็งแรงหรือความปลอดภัยก็เช่นเดียวกัน อุปกรณ์ที่ใช้ยึดผนังกับโครงสร้างมีการควบคุมให้ใช้โลหะที่ไม่เป็นสนิมหรือเกิดการสึกกร่อนในภายหลัง ถ้าใช้แผ่นเหล็กก็จำเป็นต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหรือใช้กรรมวิธีที่ป้องกันสนิมได้แน่นอน ซึ่งต่างกับในประเทศของเรา ข้อกำหนดซึ่งจะใช้เป็นแนวทางปฏิบัติหรือเทศบัญญัติต่าง ๆ ก็ยังไม่มีรายละเอียดกำหนดไว้ ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงานจึงต้องปฏิบัติหน้าที่ด้วยความระมัดระวัง

เป็นพิเศษ โดยเฉพาะการใช้ผนังสำเร็จรูปกับอาคารสูงหรือการใช้ชิ้นส่วนขนาดใหญ่ในการก่อสร้าง กลุ่มผู้ออกแบบจะต้องประสานงานกันอย่างใกล้ชิด และจะต้องพิจารณาในทุกแง่ทุกมุม มิใช่มุ่งหวังเพียงแค่ออกแบบผนังยึดติดกับโครงสร้างให้แข็งแรง ไม่ร่วงหล่นลงมาเท่านั้น แต่จะต้องคำนึงถึงความสะดวก ความรวดเร็ว และความประหยัดในการทำรอยต่อหรือการติดตั้งชิ้นส่วนผนังด้วย ผลงานก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมแบบนี้ จึงจะสามารถตอบสนองความต้องการของสังคมได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

ภาพที่ 26

การใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเบื้องต้นเป็นผนังหุ้มภายนอกของอาคาร (I) ผนังสูง ๑ ชั้น (II) ผนังทำหน้าที่เป็นหน่วยของหน้าต่าง (Window-Wall Unit) (III) ผนังใต้หน้าต่าง และใช้หุ้มเสาด้านนอก (IV) ผนังใต้หน้าต่าง (Mullion Wall Unit) เพียงอย่างเดียว (V) ใช้เป็นกรอบหน้าต่าง (Mullion Wall Unit)

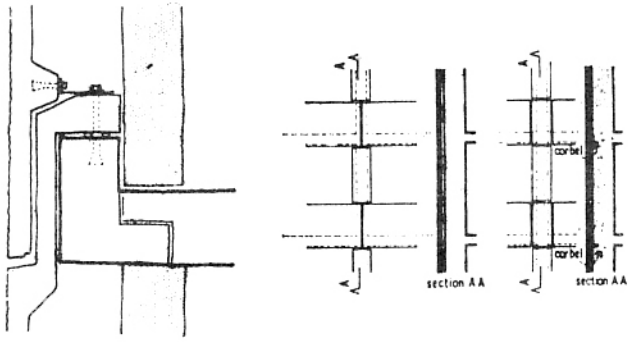




ภาพที่ 27

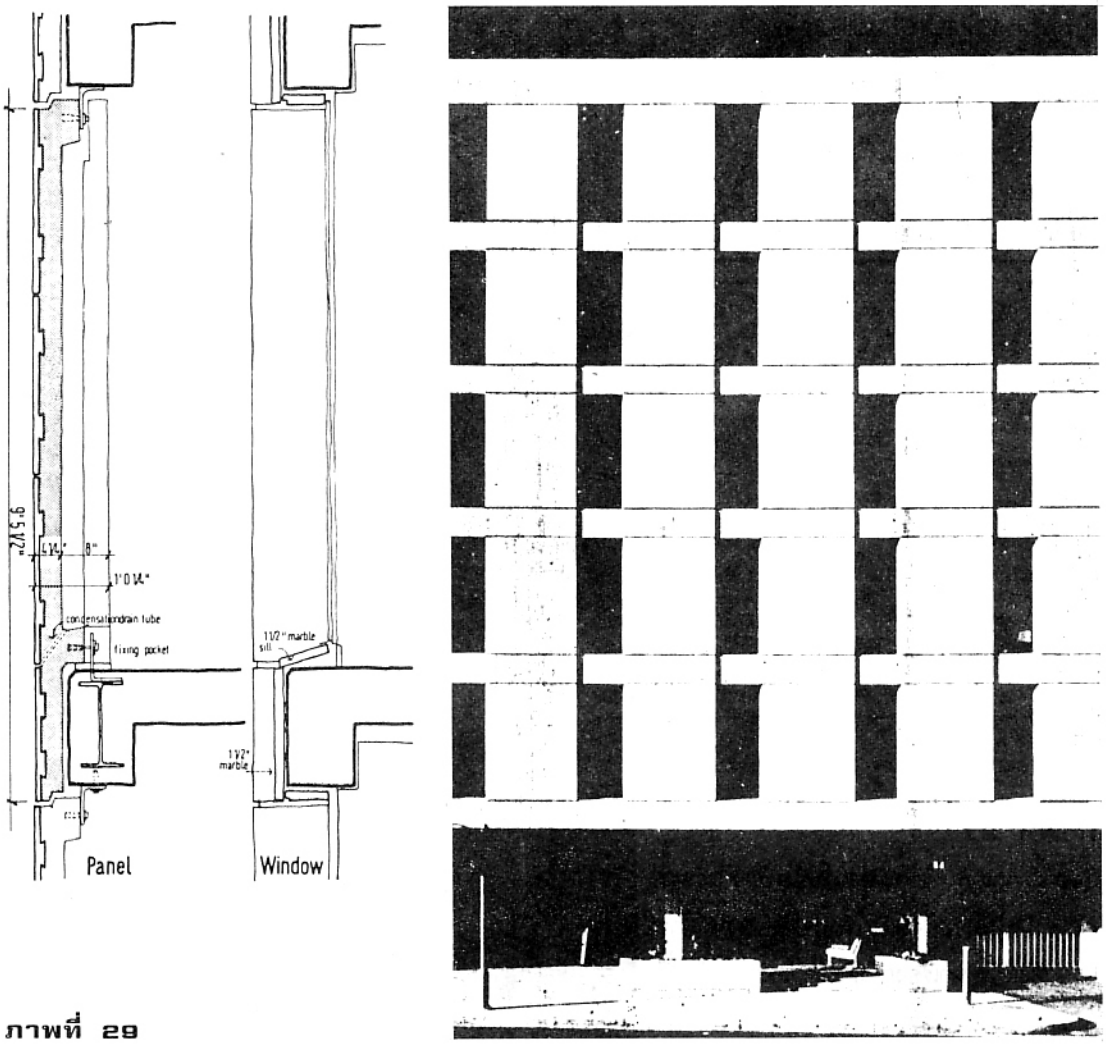
Roehampton ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นผนังหุ้มคานซึ่งหล่อในที่รูปตัดของชิ้นส่วนจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการติดตั้ง และการกันน้ำฝนเข้าทางรอยต่อด้วย





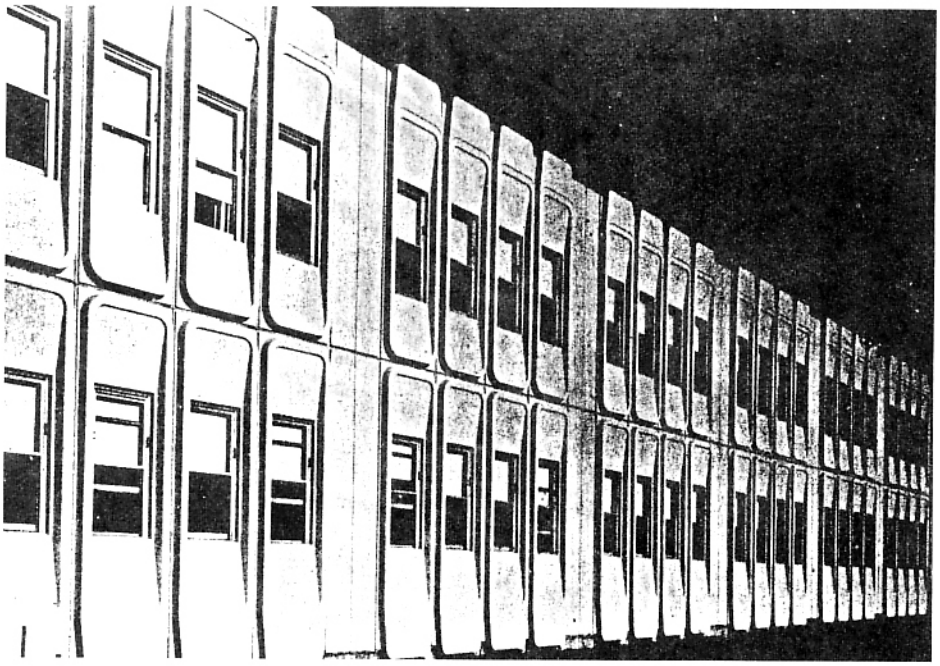
ภาพที่ 28

แสดงการยึดที่รวมรอยต่อแบบแขวนข้างบน (Top Hung) และยึดข้างล่างเข้าด้วยกันของอาคาร Hide Tower Flats, Victoria, London.



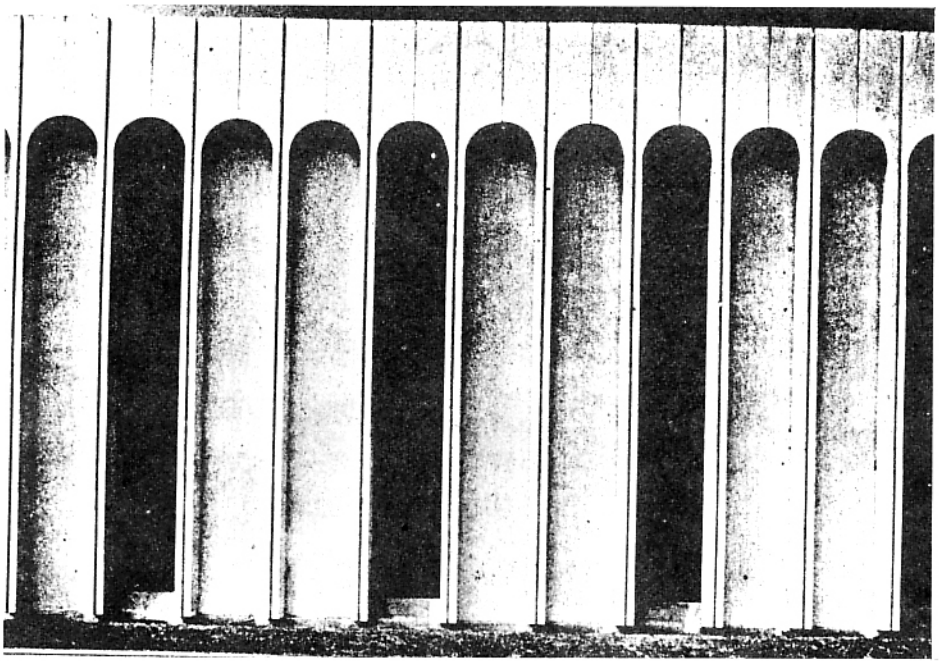
ภาพที่ 29

Office Building, 134-138 Borough High Street; details of the stone-faced cladding panels through the storey-height units and through the window openings.



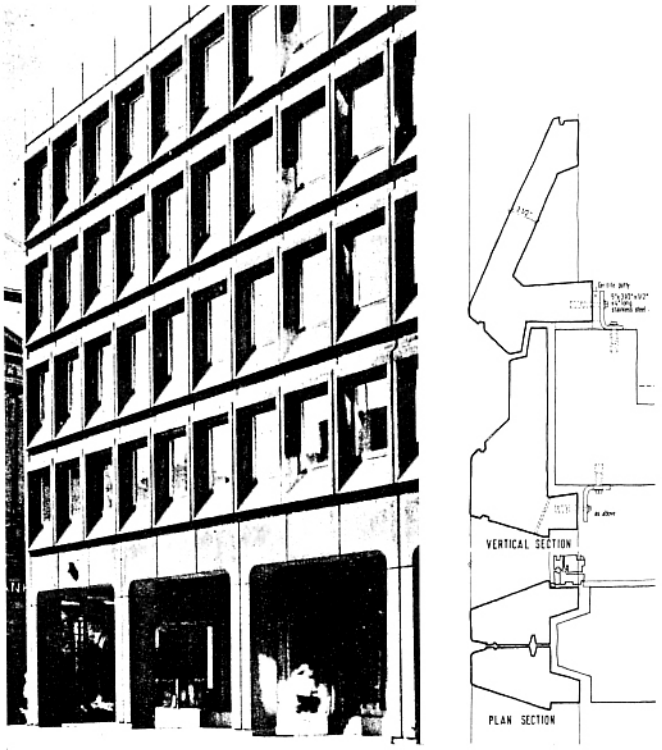
ภาพที่ 30

College of Engineering Building.

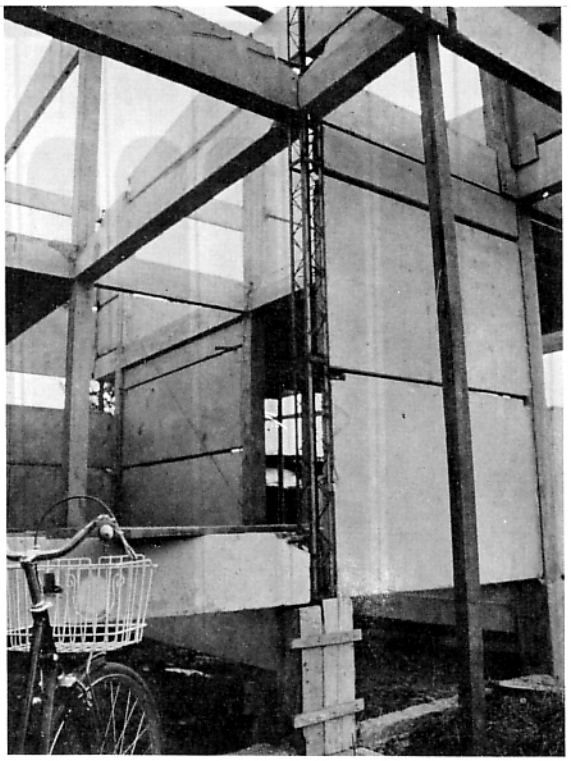


ภาพที่ 31

Gulf Research Centre, Houston.



ภาพที่ 32
National Westminster Bank,
Colemore Row, Birmingham

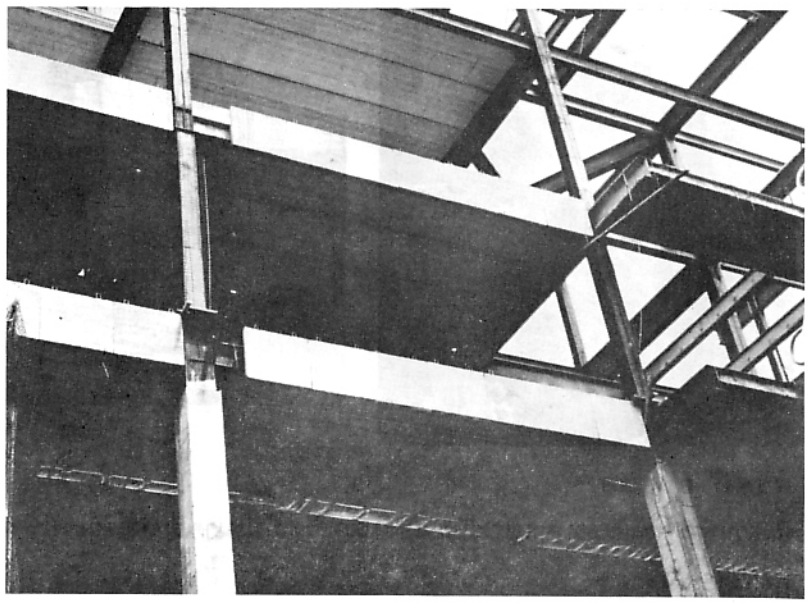


ภาพที่ 33
ผนังสำเร็จรูประบบ Seacon



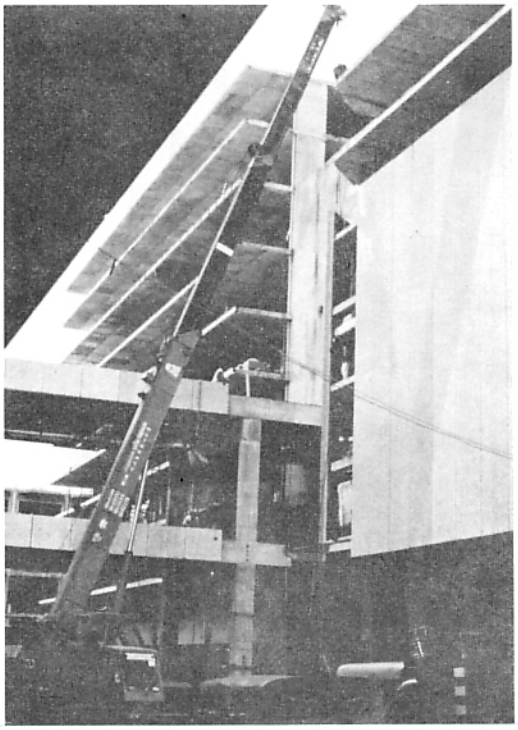
ภาพที่ 34

ผนังสำเร็จรูประบบ Seacon ทำรอยต่อโดยการเชื่อมยึดติดกับเสาเหล็กแล้วเทคอนกรีตปิดทีหลัง



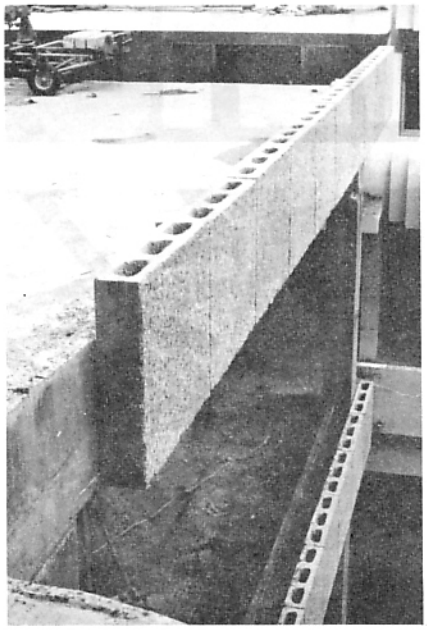
ภาพที่ 35

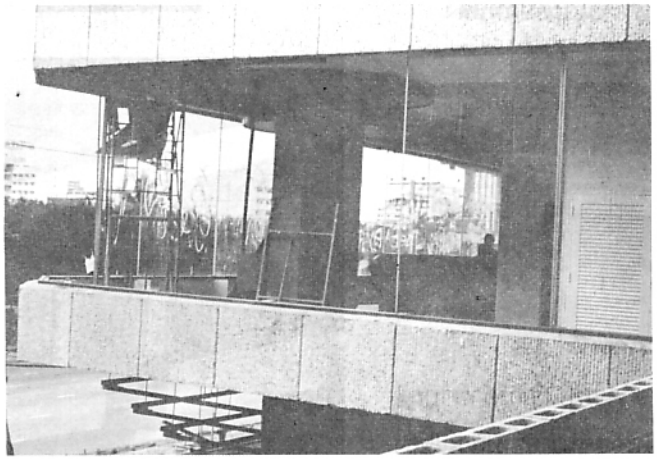
อาคารศูนย์การค้ามาบุญครองเซ็นเตอร์ บริเวณช่องเปิดภายในอาคาร แสดงตัวอย่างการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปคาน (edge beam)



ภาพที่ 36

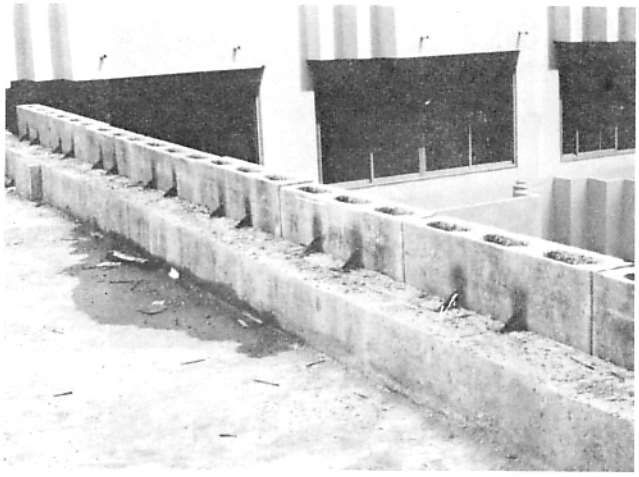
ตัวอย่างการใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขนาดใหญ่สูงหลายชั้นปิดหุ้มข้างนอก (cladding) อาคารมหาทุนพลาซา



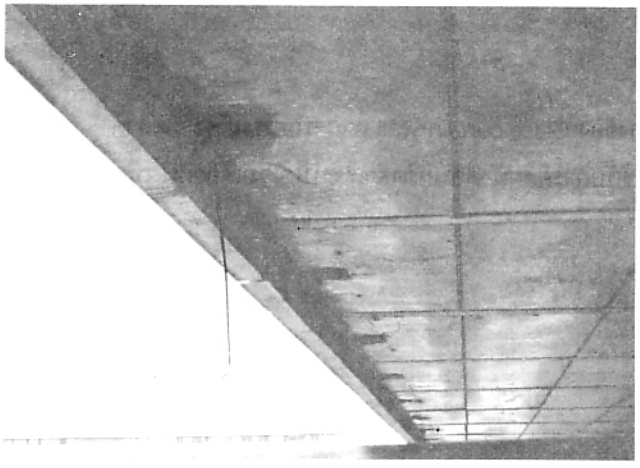


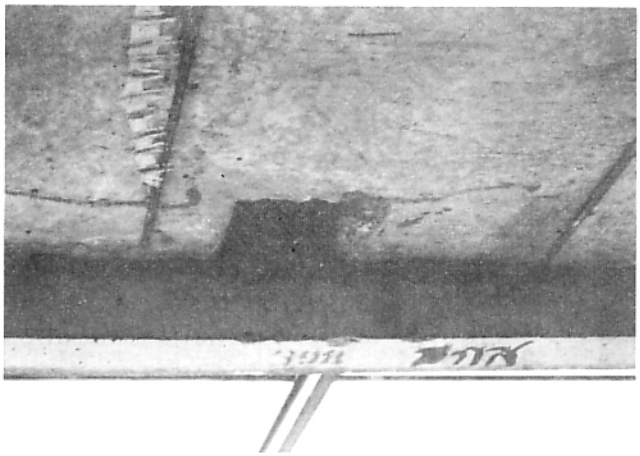
ภาพที่ 37, 38

ชิ้นส่วนทำหน้าที่ปิดขอบคานและเป็นผนังกันตก ถึงแม้มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงใช้ความหนาเท่าเดิม อาคารมหาทุนพลาซา

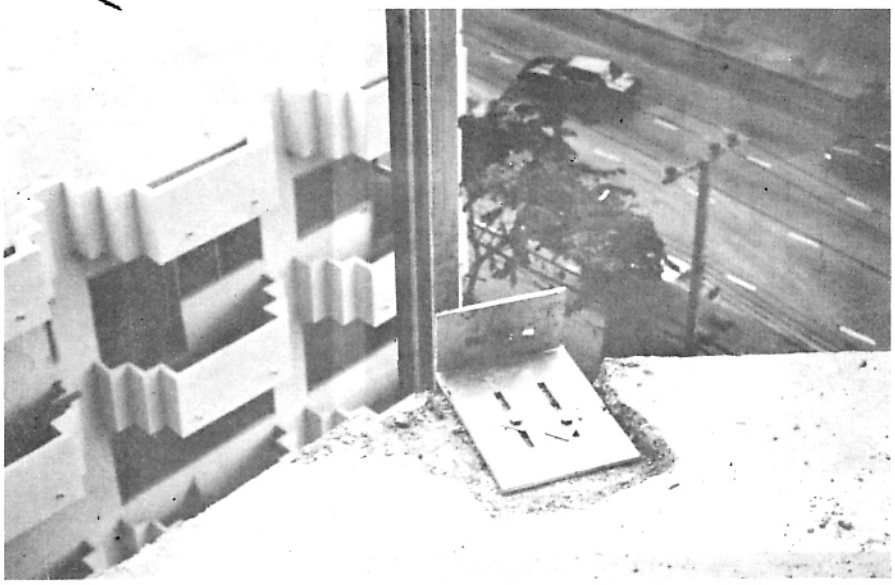






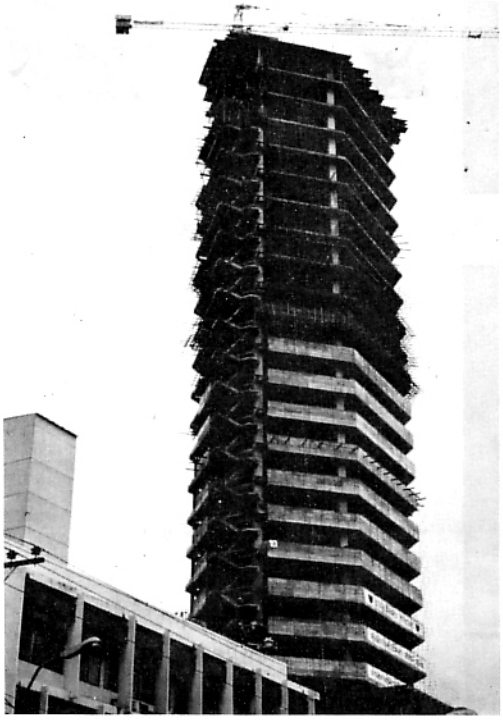


ภาพที่ 39 - 42
วิธีการยึดผนังติดกับโครงสร้าง โดยใช้วิธีการเชื่อมแผ่นเหล็ก อาคารมหาทุนพลาซา



ภาพที่ 43

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวยึดโครงสร้างของ Glass curtain wall สามารถปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งได้ ซึ่งอาจนำมาใช้กับการยึดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปได้เช่นเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 44

อาคารสูง ถ้ามีการนำเอาผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมาใช้จะก่อสร้างได้รวดเร็วขึ้น