

การบูรณะโครงสร้างอาคารเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่

Building Renovation for the Re-use

คำนำ

ตราบดที่ประเทศชาติกำลังพัฒนา ความเจริญเติบโตทางการก่อสร้างนับวันก็จะเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะการท้องเที่ยวก็ดี การอุตสาหกรรมและการส่งสินค้าออกก็ขยายตัวตามกันไป การก่อสร้างอาคารพิเศษ เช่น โรงแรม ศูนย์การค้า ศูนย์กลางการคมนาคม ถนนหนทาง ฯลฯ ก็ต้องขยายตัวตามไปด้วย

จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณที่อยู่อาศัยจากอาคารขนาดเล็กก็กลายมาเป็นขนาดใหญ่และอาคารสูงระฟ้า หากมิได้มีการเตรียมการในเรื่องเทคโนโลยีในการก่อสร้างที่เหมาะสมเพื่อการนี้มารองรับต่อการเพิ่มขยายตัวดังกล่าวแล้ว การพัฒนาประเทศก็คงทำไปไม่ได้ไม่ประสบความสำเร็จ การก่อสร้างที่เป็นระบบอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และการพัฒนาเพื่อการออกแบบและการก่อสร้างที่รวดเร็วทันสมัยจะต้องถูกหยิบยกและดำเนินการให้ทันเวลาและทันสถานการณ์

การก่อสร้างสถาปัตยกรรมในปัจจุบันนี้ต้องการเทคโนโลยีที่เอื้ออำนวยให้มีการประหยัดวัสดุโครงสร้างมากกว่าการประหยัดวัสดุตกแต่งเนื่องจากโครงสร้างมีความต้องการงบประมาณหรือมากกว่าร้อยละ 30 ของงบประมาณในการก่อสร้างอาคารหลังนั้นๆ และ โดยทั่วไปแล้วสถาปนิก วิศวกร มีความประสงค์จะให้โครงสร้างที่สร้างขึ้นใหม่ที่ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอายุการใช้งานอย่างสมบูรณ์ได้ไม่น้อยกว่า 80 - 90 ปี ก่อนที่จะมีการรื้อถอนเพื่อยกเลิกและก่อสร้างอาคารหลังใหม่ที่มีประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากเปลี่ยนยุค หรืออาคารหมดอายุที่จะรองรับการใช้งานได้เต็มที่และเต็มประสิทธิภาพ

การบูรณะอาคารที่ใช้ไปแล้วระยะหนึ่งโดยการสงวนส่วนโครงสร้างที่ยังมีประสิทธิภาพเอาไว้เพื่อยืดอายุการใช้งานต่อไปอีก เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันนี้ แต่มีเงื่อนไขอยู่ว่าวัสดุโครงสร้างที่มีอยู่เดิมจะต้องได้รับการบูรณะและรับรองว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอ และ สอดคล้องกับกฎหมายควบคุมอาคารที่มีอยู่อย่างดี

1. การเปลี่ยนรูปของวัสดุโครงสร้าง

การต้านแรงที่มากระทำจากน้ำหนักบรรทุกนั้น แม้ว่าจะพอเพียงและไม่ทำให้โครงสร้างล้มเหลวลงก็ตาม ชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ จะเปลี่ยนรูปไปเนื่องจากแรงต่าง ๆ ที่มากระทำนั้น เช่น ยาวออก หรือสั้นเข้า เป็นต้น การเปลี่ยนรูปร่างดังกล่าวนี้มีอัตราน้อยมากจนไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารก็จะใหญ่ขึ้น เล็กลง หรือ ยาวออก แปรเปลี่ยนตามไปตลอดเวลา แต่เมื่อน้ำหนักบรรทุกนั้นถูกเคลื่อนย้ายออกไปแล้ว โครงสร้างนั้นก็จะมีขนาดหรือหน้าตัดเท่าเดิมอีก คุณสมบัติที่วัสดุมีการเปลี่ยนรูปและคืนตัวนี้ จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ตามคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุก่อสร้างประเภทใหญ่ ๆ คือ วัสดุที่อ่อนและหลวม (flexibility) เช่น พลาสติก หรือ ยางชนิดต่าง ๆ และที่มีความแข็งเกร็ง (rigidity) เช่น เหล็ก หรือ ไม้ เป็นต้น

ปริมาณการเปลี่ยนรูปของวัสดุนั้น นอกจากจะเป็นไปตามธรรมชาติของวัสดุเอง ระยะเวลาที่ปล่อยให้แข็งตัว (เช่น คอนกรีต) ขนาดของน้ำหนักบรรทุก วิธีการบรรทุก น้ำหนัก และขนาดหน้าตัดหรือความยาวของวัสดุแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการรับน้ำหนัก หรือสภาพแวดล้อมด้วย เช่น อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น

ในโครงสร้างที่ใช้งานทั่วไป ยอมให้มีการเปลี่ยนรูปจากสภาพเดิมได้บ้าง ดังตัวอย่างข้างล่างนี้คือ

ความยาวของโครงชนิดท่อนยอมให้เปลี่ยนได้ในอัตรา 1 ต่อ 300 จากความยาวเดิมเมื่อบรรทุกน้ำหนักจร

การเบนหนีศูนย์ของเสา มักยอมให้เบี่ยงไปได้ไม่เกิน 1 ต่อ 50 ของความสูง และยอมให้โครงสร้างทรุดที่พาดช่วงเพื่อการมุงหลังคาเคลื่อนตัวในแนวนอนได้ไม่เกิน 1 ต่อ 1000 ของความสูงระหว่างพื้นถึงหลังคา เป็นต้น

การเปลี่ยนรูปของวัสดุนั้นอาจจะเกิดขึ้นได้ด้วยน้ำหนักตายของวัสดุเอง จึงควรได้มีการตั้งรและป้องกันไว้ล่วงหน้า หรือ ระหว่างการทำการก่อสร้าง เช่น การยกปลายยื่นของโครงสร้างขึ้นไว้ก่อน หรือ ยกท้องคานที่พาดช่วงยาว (pre-casting camber) ขึ้นไว้ก่อนสัก 0.5 % ถึง 1.0 % แล้วยกตรึงไว้จนกระทั่งคานที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแข็งตัวเต็มที่ก่อน แล้วจึงยอมให้ทำการบรรทุกน้ำหนักต่อไป การปฏิบัติเช่นนี้เป็นการลดอัตราการเปลี่ยนรูปหรือการหย่อนตัวของโครงสร้าง โดยเฉพาะในส่วนที่จะไปรับกวนและส่งผลกระทบไปยัง ประตู หน้าต่าง หรือ ผนังภายในอาคารที่จะติดตั้งตามมาทีหลัง ส่วนของโครงสร้างที่ยื่น (cantilevered) แม้ว่าจะอยู่ในระนาบนอนอยู่แล้ว บางครั้งดูคล้ายลงตัวว่าปลายนอกนั้นหย่อนตัวตกลงเล็กน้อย ในทางปฏิบัติมักนิยมที่จะยกปลายขึ้นก่อนสัก 1 ต่อ 300 ของช่วงยื่น

การสั่นสะเทือนก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ ความมั่นคงของโครงสร้างที่รับแรงสั่นสะเทือนอยู่เนื่อง ๆ ต้องทำการมัดล้ามทแยง (diagonal bracing) ในส่วนของเสาเอก คานเอก และโครงทรัสเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารโครงเหล็กและตั้งอยู่ในบริเวณที่มีลมพัดแรง หรืออยู่ในโซนของแผ่นดินไหว เป็นต้น

เราจึงสรุปได้ว่า การตัดสินใจเลือกรูปหน้าตัดที่ดี รูปด้านที่ดี จะต้องพิจารณาตามกฎหมายเกณฑ์ต่าง ๆ ในประเด็นต่อไปนี้

1. เมื่ออยู่ในภาวะการรับแรงดึง ภาระการออกแบบไม่มีอุปสรรคมากนัก หากว่าวัสดุรับแรงดึงนั้นไม่บางจนขาดเสียก่อน รูปทรงที่ปรากฏก็จะดูคล้ายบางเบา หรือ ผอมบางบ่งบอกระรรมชาติของการทำงานของโครงสร้างที่ตรงไปตรงมา

2. เมื่ออยู่ในภาวะการรับแรงอัด ต้องเลือกรูปหน้าตัดที่สามารถรับแรงโค้ง เตะได้ดี ทำการแผ่กระจายพื้นที่ของรูปหน้าตัดให้เพิ่มความแข็งแรง ความเคร่งและตึง ในแนวนั้นๆ ผนังบางๆของรูปหน้าตัดจะมีกำลังมากขึ้น โดยการออกแบบให้มีการเสริม หน้าตัดกัน โดยการทำรูปมุมฉาก ทำรูปลอนลูกฟูก หรือเสริมให้เป็นรูปโค้ง เพื่อเพิ่มกำลัง และจำกัดไม่ให้มีรูปหน้าตัดที่ปล่อยชาย (free edge) หรือทำการดัดแปลงให้เป็นรูป หน้าตัดชนิดเปิด (opened sections) ด้วยการยึดไว้ทแยงระหว่างองค์ประกอบมุม ขององค์อาคาร เพื่อเอื้ออำนวยให้หน้าตัดในการรับแรงอัดทั้งหมดทำงานร่วมกันได้เป็น อย่างดี

อนึ่ง การแผ่ขยายพื้นที่รูปหน้าตัดของโครงสร้างนี้ ก็เกิดประโยชน์ในทางการ ใช้สอยในแง่สถาปัตยกรรมขึ้นมาเป็นผลพลอยได้ เช่นสามารถใช้ในการเดินท่ออุปกรณ์ อาคาร เช่นท่ออากาศ ท่อน้ำ ท่อเดินไฟฟ้า และท่อไอโครก เป็นต้น

3. เมื่ออยู่ในภาวะต้องรับแรงดัดและแรงเฉือนร่วมกัน โดยที่ธรรมชาติของการ รับแรงที่กระทำลงตามแนวโน้มถ่วงของโลกนั้น แรงดัดมีความสัมพันธ์กับแรงเฉือนโดยตรง กล่าวคือ แรงดัดจะต้องมีการการกระดานในหน้าตัดวิกฤตเฉพาะที่อยู่ตรงมิตวบนสุดและล่าง สุดของหน้าตัดซึ่งจะมาสัมพันธ์กันตรงแกนสะเทินเพื่อให้เกิดการสมดุลในโครงสร้าง ดังนั้น รูปหน้าตัดที่ลึกมากย่อมแข็งแรงกว่าหน้าตัดที่ตื้นกว่า ส่วนที่เรียกว่า ปีก ของ หน้าตัดนอกจากรับแรงอัดหรือแรงดึงตามโอกาสแล้ว ยังช่วยป้องกันการโก่งเคาะให้อีก ส่วนหนึ่งด้วย ส่วนที่เป็นหลักในการต้านทานการโก่งตัวจึงเป็นส่วน เหว ของตัววัสดุนั่นเอง ส่วนเอนนี้เอง ที่ช่วยรับแรงเฉือนด้วยในจำนวนมากตามสัดส่วนของความกว้างและหนา ของหน้าตัด

รูปร่างและรูปด้านของท่อนรับแรงดัดนั้น จึงถูกกำหนดขึ้นจากภาระการรับแรง ดัดและแรงเฉือนนี้เองเป็นหลักการออกแบบในรายละเอียดสามารถกำหนดให้เป็นเป็น ทรงที่เปิด หรือเป็นรูปทรงที่ปิดซ่อน (compact shape) ก็ได้ ในบางโอกาส การออกแบบ มีความจำเป็นต้องจัดองค์อาคารให้มีรูปทรงที่ประกอบกันเป็นแผง เช่นแผงรับแรงเฉือน (shear panel) เพื่อให้สอดคล้องกับภาระการรับน้ำหนักบรรทุกบนคาน แต่สามารถลด น้ำหนักคานให้เบาลงมาได้บ้างด้วยการขอยหรือฉลุเนื้อแก้มคานออกไปบ้าง ในแพทเทอน ของรูปสามเหลี่ยม หรือรูปอื่นหากมีความจำเป็น (เช่นต้องเจาะช่องประตู หน้าต่าง เป็นต้น) โดยที่หน้าตัดของการรับแรงเฉือนไม่ได้ถูกฉีกร่อนออกไป เราเรียกการเจาะฉลุ ช่องในองค์อาคารนี้ว่า "vierendeel girder" หรือ "คานลูกผสม" นั่นเอง

4. เมื่ออยู่ในภาวะต้องรับแรงบิด ในกรณีนี้องค์อาคารมีภาระเพิ่มขึ้น จากการ ที่มีแรงมากระทำในรัศมี รอบแกนหมุนกลาง (centroid axis) ขององค์อาคารนั้น ภาระ งานโดยทั่วไปก็คือ จะต้องออกแบบให้มีการเพิ่มความหนาขององค์ประกอบของโครงสร้าง นั้นขึ้นมา ในอัตราส่วนทั่วไปแล้ว หากเพิ่มความหนาขึ้นมาอีก หนึ่งเท่าจากเดิม ความ สามารถในการต้านทานแรงบิดจะเพิ่มมากขึ้นถึง 8 เท่า หมายความว่า องค์อาคารไม่ จำเป็นต้องมีหน้าตัดที่ตันไปหมดทุกหน่วยเล็กรอบแกนหมุนกลาง การใช้หน้าตัดกลวง

จึงเป็นโอกาส ในอันที่จะได้มาซึ่งโครงสร้างที่บางเบา แต่สามารถทนต่อแรงบิดได้ดี หากผิวของมันมีความหนาเพียงพอ ดังกล่าวข้างต้น

องค์อาคารที่เป็นการประกอบขึ้นมาจากชิ้นส่วนของโครงสร้างเล็ก ๆ หลาย ๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน และมีรูปหน้าตัดเป็นรูปทรงต่าง ๆ เช่น รูปตัว “H”, “U”, “T”, “O” หรือ “Z” ล้วนแต่เป็นหน้าตัดที่นิยมออกแบบใช้กันอย่างกว้างขวาง และให้ผลทางด้านความแข็งแรงและประหยัดวัสดุโครงสร้างได้ดีทั้งสิ้น หน้าตัดเหล่านี้ต้านทานแรงบิดได้ดี บางครั้งมีการนำมาวางเคียงกันแล้วมัดติดกันแน่นทำให้ได้ปฏิกิริยาของคานคู่แฝด (twin beams action) สามารถต้านแรงบิดได้ดีมาก

2. ความสมบูรณ์ของคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete)

แท่งคอนกรีตที่ใช้กันอยู่ตามปกติในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไปนั้นสามารถรับแรงอัดประลัยได้ประมาณ 140-420 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่รับแรงดึงได้เพียง 1/10 ของแรงอัดนั้นเท่านั้น การนำท่อนเหล็กเข้ามาเสริมในส่วนที่คอนกรีตต้องรับความเค้นดึงด้วยการฝังเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วยการเทหุ้มไปพร้อมกันในขณะที่หล่อให้หุ้มห่อกันสนิท เสมือนว่าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะทำให้มีความสามารถในการรับแรงได้กว้างขวางขึ้น สามารถต้านทานแรงที่มากกระทำชนิดที่สลับซับซ้อน เช่น แรงบิด หรือโมเมนต์ดัดได้ดี

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในการช่วยรับแรงดึงในจุดที่จำเป็นสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงให้คอนกรีตเสริมเหล็กมีศักยภาพเพิ่มขึ้นตามความต้องการทำได้โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของเหล็กเสริมเข้าไปในอัตราและตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้อาคารที่ออกแบบสามารถรองรับน้ำหนักได้ดีกว่าโครงสร้างไม้ สามารถออกแบบเป็นอาคารสาธารณะขนาดใหญ่ได้ดี คานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถพาดช่วงได้ยาวมากขึ้น สามารถทำความเชื่อมโยงให้มีความต่อเนื่องในรอยต่อเพื่อการลดขนาดของโครงสร้างได้ดี การออกแบบและก่อสร้างโครงสร้าง 3 มิติ เช่น โครงสร้างชนิดเปลือกบาง (thin shell) หรือ ไฮเปอร์โบลอยด์ พาราโบลอยด์ (hyperbolic paraboloid) เป็นต้น นอกจากนี้ อาคารประเภทที่ออกแบบเป็นโครงสร้างชนิดแท่งพื้นโค้งสวนทางกันก็ดี หรือ แท่งแผ่นพับหักเป็นลอนก็ดี บางครั้งหากนำเอาเทคนิคของการอัดแรงมาช่วยด้วยแล้วจะสามารถลดขนาดของโครงสร้างได้มาก เช่น จากอัตราส่วนหน้าลึก ต่อ ความยาวของการพาดช่วงอาจจะลดจาก 1/30 มาเป็น 1/120 ก็สามารทำได้ เมื่อหน้าตัดขององค์อาคารลดขนาดลง น้ำหนักอาคารที่เป็นภาระต่อฐานรากก็ลดลงด้วยทำให้การก่อสร้างประหยัดงบประมาณลงได้ วิศวกรเพียงแต่ควบคุมปริมาณเหล็กเสริมและเหล็กลวดอัดแรง อีกทั้งตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนให้พอเพียงเท่านั้น ความทนทานถาวรของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอัตราสูงมาก ตราบเท่าที่สิ่งแวดล้อมและภัยธรรมชาติไม่ได้คุกคามต่อโครงสร้างนั้น หากควบคุมการรับน้ำหนักให้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยเคร่งครัดแล้ว โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 100 ปี

3. กำลังของคอนกรีต

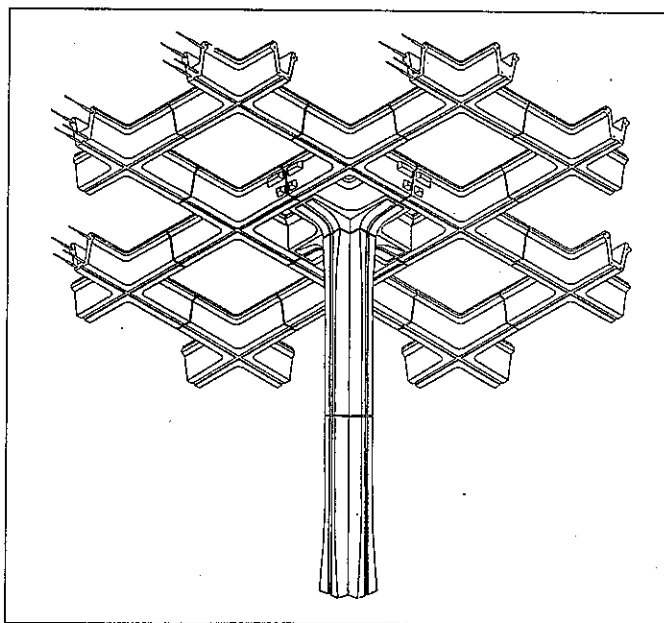
หลังจากการหล่อคอนกรีตจะพบว่ากำลังอัดของคอนกรีต (compressive strength of concrete) จะเพิ่มขึ้นตามเวลา อัตราการเพิ่มกำลังจะมีค่ามากในช่วงแรก หลังจากการเริ่มต้นเทคอนกรีตแล้วค่อยๆ ช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป อัตราเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับวิธีการบ่ม (curing) และชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ ใงานคอนกรีตอัดแรง นั้นต้องการการเพิ่มกำลังของคอนกรีตที่เร็ว ๆ เพื่อที่จะสามารถเร่งงานการอัดแรงให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดพร้อมทำงานแล้ว การผลิตชิ้นงานสามารถทำได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อนซึ่งมักจะทำการบ่มด้วยไอน้ำ หรืออาจใช้ซีเมนต์ประเภทที่สาม ซึ่งเป็นซีเมนต์ชนิดที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ หลังจากเริ่มเทคอนกรีต

กำลังของคอนกรีตในการรับแรงดึง (tensile strength of concrete) จะมีค่าน้อยกว่ากำลังในการรับแรงอัดมาก (ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น) ค่าที่นิยมใช้บอกกำลังของคอนกรีตในการรับแรงดึง คือ ค่าโมดูลัสของการแตกหัก (modulus of rupture) ซึ่งจะได้มาจากการทดสอบคานคอนกรีตไม่เสริมเหล็กขนาด 15 ซม. x 15 ซม. x 75 ซม. ตามมาตรฐานของ ASTM

4. การบ่มณะด้วยการอัดแรงในคอนกรีต

วัสดุโครงสร้างต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดให้รับแรงดึง ชนิดต่าง ๆ นั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกัน บางชนิดสามารถทนแรงดึงได้สูงมาก เช่น ท่อนเหล็กซึ่งสามารถรับแรงดึงได้ถึง 4800 กิโลกรัม ต่อ พื้นที่หน้าตัดรับแรง 1 ตารางเซนติเมตรอย่างปลอดภัย แต่วัสดุบางอย่างรับแรงดึงได้น้อยมากหรือเกือบไม่ได้เลย เช่นคอนกรีตเป็นต้น

เมื่อวัสดุหนึ่งรับแรงดึงอยู่นั้นจะยืดตัวออกไป แต่จะยืดออกในปริมาณมากหรือน้อยเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้น ๆ ที่แตกต่างกันในวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิด รายละเอียดในเรื่องของแรงดึงนั้นจะได้อธิบายในบทที่ 6



รูปที่ 1 การบ่มณะด้วยการอัดแรงในคอนกรีต โดย การร้อยลวดแรงดึงสูงยึดโยงขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

5. หลักการออกแบบคอนกรีตอัดแรงบางส่วน (partially - prestressed concrete)

หลักการออกแบบคอนกรีตอัดแรงในระยะแรก มักจะพิจารณาระดับของแรงอัดแบบเต็ม (full prestressing) ก่อน กล่าวคือ ที่ระดับน้ำหนักบรรทุกทุกปฏิกิริยานั้นหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเป็นเฉพาะหน่วยแรงอัดเท่านั้น ไม่ยอมรับให้มีหน่วยแรงดึงให้เกิดขึ้นเลย นโยบายการอัดแรงแบบนี้ มีข้อเสียคือต้องใช้แรงอัดสูงมากทำให้ขนาดหน้าตัดคานที่จะอัดแรงนั้นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อหน่วยแรงอัดจะไม่ต้องสูงมากเกินไป แรงอัดที่ต้องทำให้สูงมากนั้นอาจก่อให้เกิดการโก่งโค้งขึ้น และในทางกลับกันหากเกิดการโก่งโค้งมากนักอาจเกิดรอยร้าวขึ้นด้านบนก่อนการรับน้ำหนัก ซึ่งรอยร้าวเหล่านี้จะปิดสนิทลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากกระทำตามปกติ แต่หากว่าอยู่ในภาวะที่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไปจนเกินกว่าที่เรียกว่า ช่วง “overloading” แล้ว องค์อาคารจะแตกร้าวทางผิวล่างแทน และที่สุดเมื่อน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ นั้นผ่านเลยไป รอยแตกร้าวที่เห็นก็จะปิดลง ลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกที่สูงมากนั้นได้ผ่านเลยไป เช่นในกรณีของคานรับสะพานที่รองรับน้ำหนักบรรทุกขนาดใหญ่เป็นต้น ซึ่งต่อมาภายหลัง ข้อบังคับการออกแบบได้อนุญาตให้องค์อาคารเกิดหน่วยแรงดึงได้บ้างภายใต้การควบคุม นโยบายนี้เป็นผลทำให้ขนาดของแรงอัดที่จำเป็นนั้นลดลง เราเรียกกรรมวิธีใหม่นี้ว่าเป็น การอัดแรงแบบบางส่วน (partially - prestressing) ทั้งนี้ภารกิจหลักก็คือ ควบคุมไม่ให้เกิดแรงดึงสูงเกินไปที่หน้าตัดล่างของคาน พฤติกรรมการแอ่นตัวก่อนรับแรงกับร้าว และเพื่อให้การแตกร้าวกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอมักจะใช้เหล็กกล้าเสริมช่วยในส่วนที่จะเกิดการแตกร้าวได้อีกด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การอัดแรงบางส่วนนี้เป็นมาตรการกลางระหว่างคอนกรีตอัดแรงเต็มและคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา

เมื่อเป็นเช่นนี้เกิดมีการกำหนดนโยบายใหม่ขึ้น ในอันที่จะลดขนาดแรงอัดลงบ้างเพื่อให้นอกจากจะลดขนาดขององค์อาคารลงได้แล้ว พฤติกรรมการแอ่นตัวทั้งขาขึ้นและขาลงก็จะสอดคล้องกับขนาดน้ำหนักที่จะรับจริง ๆ และข้อบัญญัติจะยอมให้มีการแตกร้าวเกิดขึ้นได้บ้างภายใต้การควบคุมขนาดความกว้างของรอยร้าวร่วมด้วยกับการเสริมเหล็กเสริมช่วย การอัดแรงแบบเพียงเฉพาะส่วนนี้จึงนับว่าเป็นมาตรการกลางระหว่างคอนกรีตอัดแรงเต็มและคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ทำให้ค่าก่อสร้างสำหรับโครงสร้างชนิดนี้ในงานสถาปัตยกรรมนั้นลดลง ในขณะที่ขนาดขององค์อาคารก็ดูไม่ใหญ่เทอะทะจนเกินไปทั้ง ๆ ที่ต้องพาดช่วงยาวก็ตาม เราเรียกการอัดแรงในคอนกรีตชนิดนี้ว่าการอัดแรงเพียงบางส่วนหรือ “partially prestressing”

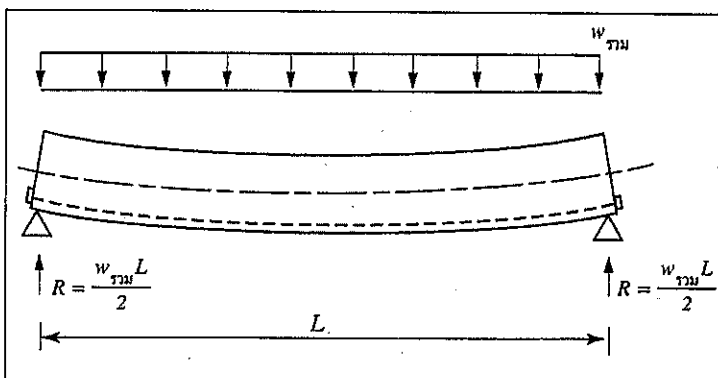
6. พฤติกรรมการดัดและการโก่งตัวของคาน

(การคำนวณเพื่อการเสริมยกเข้าสู่สภาพเดิม)

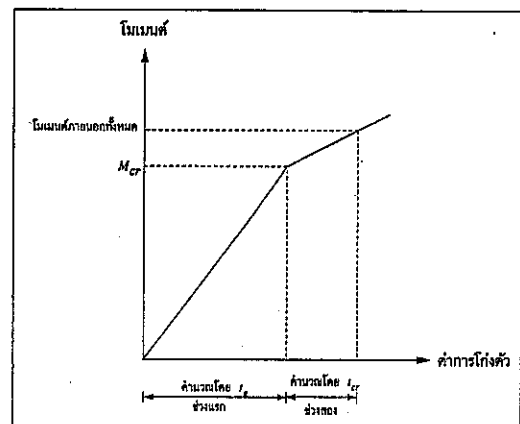
ในการออกแบบและใช้คานคอนกรีตอัดแรงเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกประเภทต่าง ๆ นั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมการดัดและการโก่งตัวของคาน การโก่งตัวของคานนั้นเกิดจากผลของการอัดแรง น้ำหนักของคานเอง น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม และน้ำหนักบรรทุกจรในรูปของแรง แรงที่กระทำต่อคานต่าง ๆ เหล่านี้ ยกเว้นน้ำหนักบรรทุกจรแล้วล้วนแต่เป็นแรงกระทำถาวรที่กระทำต่อคาน ซึ่งทำให้เกิดการคืบในคอนกรีตและมีผลทำให้เกิดการโก่งตัวมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การคลายตัวของเหล็กเสริม

อัดแรงก็มีผลต่อแรงดึงในเหล็กเสริม ทำให้ลดแรงพยุลงไปอีก การโค้งตัวในระยะยาวจึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้น้ำหนักภายนอกจะมีค่าคงที่ก็ตาม การคำนวณการโค้งตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาวไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำ เพราะการคืบของคอนกรีตและการคลายตัวของเหล็กเสริมอัดแรงทำให้สูญเสียแรงอัดซึ่งสามารถจะคำนวณได้เพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น

วิธีที่จะคำนวณการโค้งตัวที่เกิดขึ้นระยะยาวนั้น สามารถทำได้โดยประมาณด้วยการใช้ตัวคูณซึ่งได้พิจารณาผลของการคืบ การคลายแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงและตัวแปรค่าอื่น ๆ ไว้แล้วที่ระยะเวลายาวเป็นช่วงหน้า ค่าตัวคูณนี้ได้แสดงไว้ใน PCI design handbook ค่าตัวคูณนั้นจะขึ้นอยู่กักับชนิดของแรงที่กระทำให้เกิดการโค้งตัวและขึ้นอยู่กักับว่าเป็นช่วงติดตั้งหรือช่วงรับน้ำหนักบรรทุกภายนอก ที่ต้องพิจารณาช่วงติดตั้งด้วยก็เพราะว่าหลังจากถ่ายแรงแล้วแต่ยังไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกภายนอกนั้นอาจใช้เวลาเป็นเดือน การโค้งตัวจึงเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ค่าตัวคูณยังขึ้นอยู่กักับว่าพื้นที่ที่อยู่เหนือคานหล่อนั้นเป็นเนื้อเดียวกับคานหรือไม่ เพราะพื้นส่วนนี้จะช่วยในการรับแรงด้วยในลักษณะคอมโพสิต การคำนวณจะต้องแยกค่าการโค้งตัวจากแรงที่กระทำแต่ละอย่างออก แล้วคูณด้วยค่าตัวคูณจำเพาะ หลังจากนั้นจึงนำค่าทั้งหมดมารวมกัน



รูปที่ 2 การโค้งตัวของคานคอนกรีตอัดแรง



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวและโมเมนต์ของคานคอนกรีต

7. ความประหยัดของการใช้ ระบบพื้นแบนอัดแรงที่หลังเข้ามาช่วยในการบูรณะอาคาร

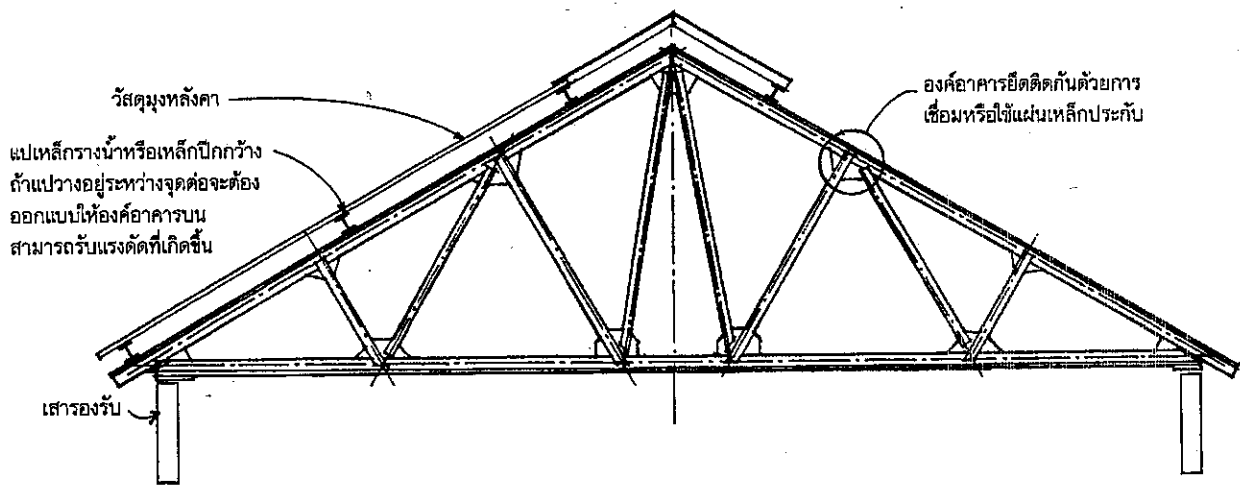
ในทางตรง หากความยาวช่วงเสาและรูปแบบของอาคารมีความเหมาะสม ระบบพื้นแบนอัดแรงที่หลังที่ออกแบบอย่างถูกต้อง จะมีราคาประหยัดกว่าระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาถึงร้อยละ 10 เมื่อคิดค่าใ้ห้ทั้งหมด ทั้งนี้ไม่คิดรวมถึงผลที่ได้จากเวลาก่อสร้างที่สั้นลง ในทางอ้อมนั้น เนื่องจากการไม่แบบที่สลับซับซ้อน เพราะมีท้องแบนเรียบ การผลิตก็ไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองมาก การหมุนเวียนใช้ไม้แบบทำได้รวดเร็ว คือประมาณ 4 - 5 วันหลังจากเทคอนกรีตเท่านั้น

ความประหยัดในแง่วัสดุก่อสร้างที่จำเป็นน้อยจำนวนลง อันเนื่องมาจากความสูงของแต่ละชั้นกะทัดรัดขึ้นประการหนึ่ง และการที่สามารถจะประหยัดค่าใ้ห้การก่อสร้าง (overhead) เนื่องจากการก่อสร้างได้เร็วขึ้นล้วนแต่เป็นข้อได้เปรียบของโครงสร้างชนิดนี้

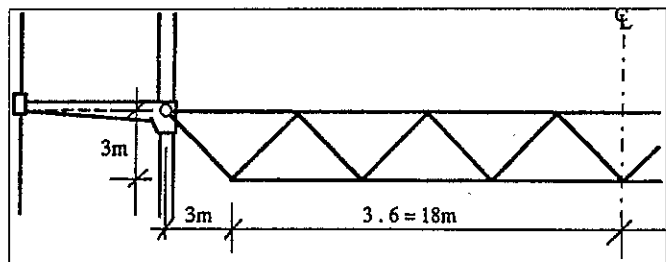
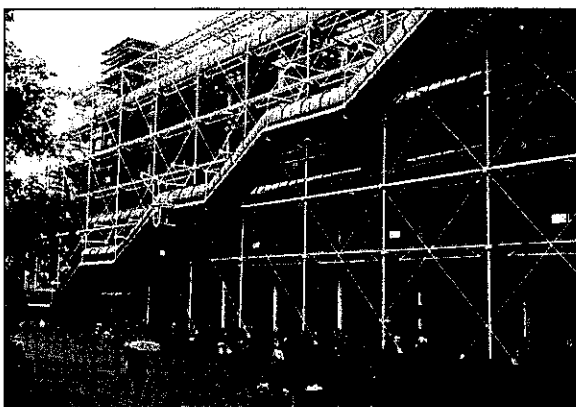
ตัวอย่างเช่นอาคารโรงแรมหลังหนึ่งที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จที่จังหวัดเชียงใหม่เป็นอาคารสูง 16 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยชั้นละประมาณ 1100 ตารางเมตร สามารถทำ การก่อสร้างโดยใช้ระบบหมุนเวียนเฉลี่ยชั้นต่อชั้น (cycling time) ใช้เวลาเพียง 7 วันเท่านั้น

ในทางตรงสามารถจะกล่าวได้ว่าระบบพื้นชนิด “post-tensioned” สามารถเอื้ออำนวยให้การก่อสร้างลดงบประมาณลงได้ ทั้งค่าวัสดุและค่าแรงรวมกันไม่น้อยกว่า 15%

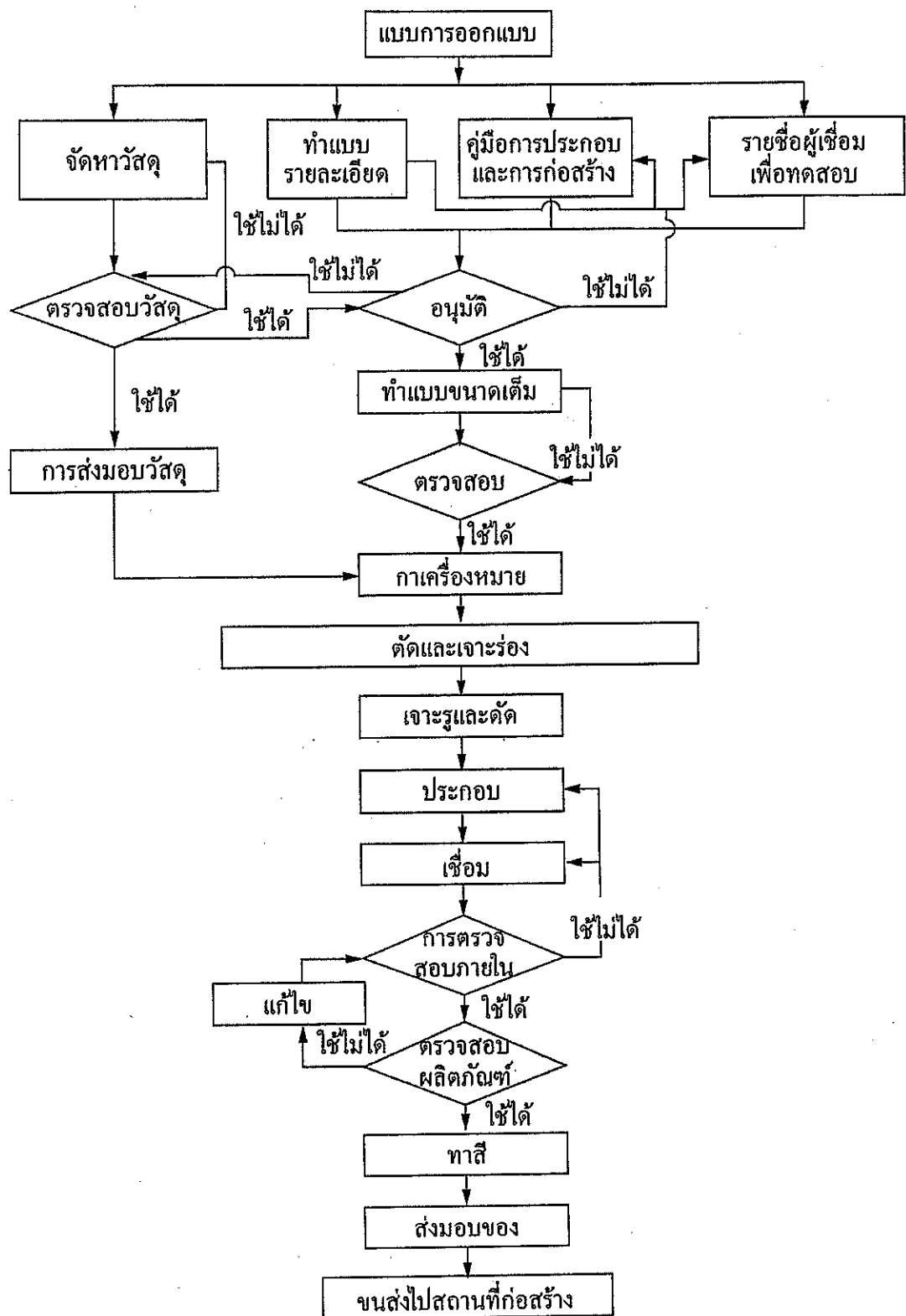
ระบบพื้น “post-tensioned slab” สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรมในแง่โครงสร้าง ความประหยัดทั้งเวลาและงบประมาณของการก่อสร้าง แต่การออกแบบนั้นหากจะให้ได้ผลเต็มเม็ดเต็มหน่วยก็จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่น ๆ อีกในอันที่จะได้รับประสิทธิผลเต็มที่ตามความคาดหวัง ในประเด็นของความคล่องตัวของการใช้พื้นที่ที่ดี การลดความสูงรวมของอาคารที่ดี ในเวลาเดียวกันให้ความคล่องตัวในการติดตั้งงานระบบ ส่วนทางด้านโครงสร้างนั้นระบบพื้น “post-tensioned slab” มีคุณสมบัติที่มีความเหนียว (ductility) และทนต่อการแตกร้าวเนื่องจากมีการเอนตัวตามน้ำหนักน้อยและสามารถคืนตัวได้เมื่อออกจากสภาพการรับน้ำหนัก



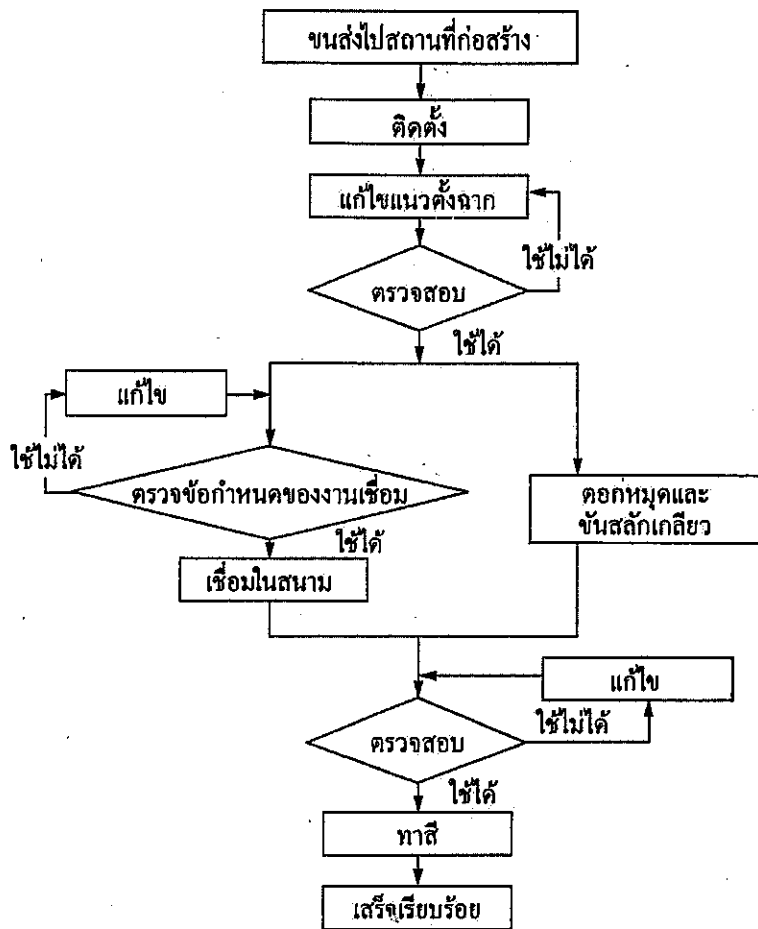
รูปที่ 4 โครงทรัส (truss) ชนิดสองมิติอย่างง่ายที่เข้ามาแทนที่ช่วยประหยัดวัสดุคอนกรีตสำหรับโครงสร้างหลังคา



รูปที่ 5 โครงสร้างทรัสสองมิติผาดช่วงยาวในอาคาร สาธารณะขนาดใหญ่ (ปอมปิดูเซนเตอร์, ปารีส)



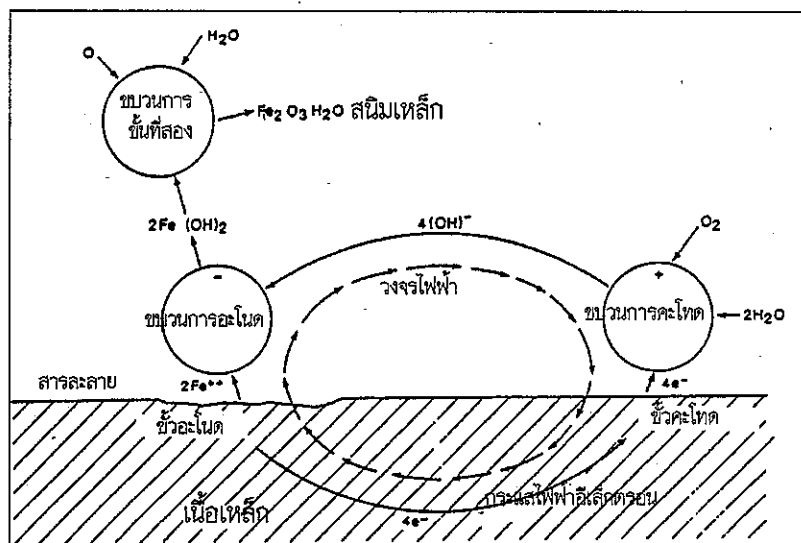
รูปที่ 6 ขั้นตอนการผลิตโครงสร้างเหล็กก่อนนำไปยังหน่วยงานก่อสร้าง



รูปที่ 7 ขั้นตอนการปฏิบัติการในสนามหน่วยก่อสร้าง

8. ข้อเสียของการใช้เหล็กเป็นวัสดุโครงสร้าง

เมื่อเหล็กรีด (rolled steel) ถูกผลิตขึ้นในโรงงาน ผิวของเหล็กจะถูกเคลือบไว้ด้วยผงของออกไซด์ขนาดใหญ่อยู่กระจายทั่วทั้งไปปกคลุมผิวเหล็กที่รีดแล้วเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน แต่จากการตรวจสอบอย่างละเอียดจะพบว่า มีรอยแตก (cracking) หรือการหลุดลอกของสารที่เคลือบไว้ในระดับหนึ่งเสมอ เมื่อมีน้ำและออกซิเจนที่อยู่รอบๆ ผิวของเหล็กนั้นซึมเข้ามาสัมผัสก็จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคเล็กๆ ของเหล็กที่แตกตัวอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือองค์ประกอบทางไฟฟ้าขนาดเล็กเรียกว่า "ไอออนของเหล็ก" มีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า Fe^{++} ดังในรูปที่ 4.5 ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นบริเวณที่อยู่ระหว่างชั้นบางๆ ของออกไซด์ที่เคลือบเอาไว้และมีร่องรอยหลุดลอกออกไปก่อนในชั้นแรก จากนั้นจะลุกลามออกไปเป็นบริเวณกว้างในเวลาอันรวดเร็ว



รูปที่ 8 กระบวนการของการกัดกร่อนโลหะเหล็ก

การกัดกร่อนของโลหะใด ๆ เป็นขบวนการที่ผิวของโลหะเหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical phenomenon) ส่งผลให้ผิวของโลหะนั้นหลุดลอกหายไปทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง และหากมีสิ่งรบกวนภายนอกบางอย่างมาใหม่ช่วยทำปฏิกิริยาอีกด้วยแล้ว ก็จะเลวร้ายลงไปมากและเร็วขึ้นอีก สิ่งรบกวนเหล่านี้ก็คือ อุณหภูมิที่เพิ่มหรือลดลงเป็นจังหวะ สารเคมีที่มีสภาพเป็นกรด และ กระแสไฟฟ้าที่รั่วและพาดผ่านผิวเหล็ก เป็นต้น ขบวนการนี้ทำให้ผิวของโลหะหลุดลอกหายไป เหมือนผิวของโลหะถูกกัดกร่อน

ผลการทำปฏิกิริยาทางเคมีนี้ก่อให้เกิดเป็น “เฟรซไฮดรอกไซด์” ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปเมื่อการผุกร่อนมีมากขึ้น แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะต้องมีน้ำและออกซิเจนประกอบด้วยเสมอ ถ้าขาดตัวหนึ่งตัวใดปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดขึ้น เหล็กก็เลยไม่ผุกร่อน

9. วิธีป้องกันการผุกร่อนของเหล็กกล้า

โดยทั่วไปวิธีการป้องกันการผุกร่อนของเหล็กกล้าในงานก่อสร้างมีดังต่อไปนี้

9.1 วิธีป้องกันการผุกร่อนชนิดปฐมภูมิ

วิธีการเช่นนี้มีราคาแพง เป็นการเลือกการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการผุกร่อนในตัวที่สูงกว่าวัสดุชนิดอื่น เช่นการใช้เหล็กสแตนเลส (stainless steel) หรือเหล็กทนสภาพภูมิอากาศได้ดี (weathering steel)

9.2 วิธีป้องกันการผุกร่อนชนิดทุติยภูมิ อันได้แก่

(ก.)วิธีเคลือบชุบ (coating method) โดยกรรมวิธีนี้ สารที่ทำการเคลือบชุบไว้จะทำหน้าที่ป้องกันน้ำและออกซิเจนไม่ให้มาสัมผัสกับผิวของโลหะ แบ่งออกเป็นหลายวิธีย่อยได้ดังต่อไปนี้คือ การชุบด้วยน้ำมัน ชุบด้วยโลหะ หรือการคาดหุ้ม (lining) ด้วยยาง พลาสติก หรือการบุ(กระเบื้อง) ซึ่งนับว่าเป็นการตกแต่งผิวของวัสดุไปในตัว

(ข.)วิธีทางไฟฟ้า (electrical method) วิธีนี้สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดีมาก มักจะใช้สำหรับโครงสร้างที่ไม่สามารถทำการซ่อมแซมได้ตลอดอายุการใช้งาน เช่น เสาเข็มเหล็ก ใช้ภาษาเรียกทางเทคนิคว่า ชนิดแคโทด (cathodic protection) และ ชนิดอะโนด (anodic protection)

(ค.)การทาสีที่ผิว (painting) การทาสีเป็นกรรมวิธีป้องกันการสึกกร่อนที่ง่ายวิธีหนึ่ง สีที่เคลือบไว้จะทำหน้าที่คุ้มครอง ปกป้องและหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าออกไป เป็นการยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างได้ดีอีกวิธีหนึ่ง สามารถทำได้ในวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

- การใช้แปรงทาหรือลูกกลิ้ง เหมาะสำหรับสีที่แห้งช้า สีน้ำมัน หรือน้ำมันชักเงา (oil vanish)

- การใช้สีพ่นเย็น เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ใช้ได้กับสีเกือบทุกชนิด จะทำให้ได้ผิวสีที่เรียบและสม่ำเสมอ การพ่นนั้นเป็นการอัดละอองอากาศเข้าไปทำให้สีแตกเป็นฝอยละเอียดก่อน แล้วพ่นลงไปบนผิวที่ต้องการ

- การพ่นสีโดยไม่ใช้อากาศ (airless spray painting) วิธีการนี้ จะใช้หัวพ่นชนิดพิเศษที่ทำให้สีแตกตัวออกอย่างรวดเร็ว และไม่ฝุ้งฝอยอากาศ มีทั้งวิธีการพ่นชนิดพ่นร้อน หรือ พ่นเย็น ด้วยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพจะทำให้สีกระเด็นกลับน้อย

ไม่เลอะเทอะ จึงสิ้นเปลืองปริมาณสีน้อย

ขั้นตอนที่ดีในกรรมวิธีการทาสี

ปกติจะทาสีเป็นชั้น ๆ เพื่อความปรารถนาดีและหวังผลในการป้องกันการผุกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ จะทาสีมากกว่าหนึ่งชั้น นอกจากนี้ยังจะทำให้ผิววัสดุที่งดงาม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สีที่เคลือบทาโลหะจะมีหลายชั้น และแต่ละชั้นจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น สีชั้นแรก (primer coat) จะใช้ป้องกันการผุกร่อน ส่วนสีชั้นนอกต่อ ๆ ไปจะทำให้วัสดุทนทานต่อสิ่ง หรือสภาพแวดล้อมภายนอก ส่วนสีชั้นกลางจะทำหน้าที่ยึดโยงสีทั้งสองเอาไว้ด้วยกัน จึงจะสังเกตเห็นได้ว่ามักจะทาเป็นสามชั้นเป็นอย่างน้อยเสมอ

10. ความเจริญเติบโตทางการก่อสร้าง

ตลาดในประเทศชาติกำลังพัฒนา ความเจริญเติบโตทางการก่อสร้างนับวันก็จะเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะการท่องเที่ยวที่ดี การอุตสาหกรรมและการส่งสินค้าออกก็ขยายตัวตามกันไป การก่อสร้างอาคารพิเศษ เช่น โรงแรม ศูนย์การค้า ศูนย์กลางการคมนาคม ถนนหนทาง ฯลฯ ก็ต้องขยายตัวตามไปด้วย

จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณที่อยู่อาศัย จากอาคารขนาดเล็กก็กลายมาเป็นขนาดใหญ่และอาคารสูงระฟ้า หากมิได้มีการเตรียมการในเรื่องเทคโนโลยีในการก่อสร้างที่เหมาะสมเพื่อการนี้มารองรับต่อการเพิ่มขยายตัวดังกล่าวแล้ว การพัฒนาประเทศก็คงทำไปไม่ได้ไม่ประสบความสำเร็จ การก่อสร้างที่เป็นระบบอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และการพัฒนาเพื่อการออกแบบและการก่อสร้างที่รวดเร็วทันสมัยจะต้องถูกหีบยกและดำเนินการให้ทันเวลาและทันสถานการณ์

11. สถาปัตยกรรมจุลศาสตร์ยืดอายุการใช้งานชะลอการบูรณะโครงสร้าง

สถาปัตยกรรมจุลศาสตร์ (kinetic architecture) คือแนวทางใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ที่นำเอาเทคโนโลยีทางพลังงาน เครื่องจักรกล และระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรม (สำเร็จรูป) มาประยุกต์ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่งานสถาปัตยกรรม เชื้ออำนวยต่อประโยชน์ใช้สอยอื่นที่จำเป็น อีกทั้งยังสามารถเปลี่ยนการใช้สอยทางสถาปัตยกรรมกลับไปมาได้ตามโอกาสที่ต้องการ โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่อื่น

สำหรับระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรม (สำเร็จรูป) ที่เป็นองค์ประกอบรวมหนึ่งในงานสถาปัตยกรรมชนิดนี้ ได้กล่าวมาแล้วในตำราเรื่อง “คอนกรีตอัดแรงสำหรับอาคารในระบบอุตสาหกรรม” 1 และ “โครงสร้างต้านทานแรงอัดและยุทธวิธีในงานออกแบบสถาปัตยกรรม” 2 โดยผู้เขียน ในส่วนของการนำเอาเทคโนโลยีทางพลังงานมาประยุกต์นั้น ในปัจจุบันนี้กำลังเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากได้เข้ามาสู่ยุคที่มีวิกฤตการณ์ทางด้านการขาดแคลนพลังงาน ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงไม่เพียงแต่นำเอาความรู้ทางด้านจุลศาสตร์ พลศาสตร์ เคมี และ ทางความแข็งแรง (stiffness & rigidity) ของวัสดุใหม่ ๆ มาใช้เท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงการใชพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างยิ่งอีกประการหนึ่งด้วย

ในช่วงเวลาสี่ทศวรรษที่ผ่านมา (1960 - 2003) สถาปัตยกรรมได้มีการพัฒนาการขึ้นมามากมายทั้งทางด้านแนวความคิดและวัสดุอีกทั้งระบบการก่อสร้าง คำนิยามแห่งความหมายและทิศทางของงานสถาปัตยกรรมก็เป็นเรื่องยากที่จะกำหนดให้ไปในทิศทางเดียวกันได้ แต่สิ่งหนึ่งที่ยังคงเป็นปรัชญาแห่งความคิดสร้างสรรค์ที่ไม่มีวันตายก็คือการแสดงออกซึ่งสัจจะธรรมของโครงสร้างและหน้าที่ใช้สอย (structure and function) อันมีความหมายว่า ความพึงพอใจในทางสถาปัตยกรรมทั้งมวลจะต้องเกิดจากความสามารถตอบสนองต่อความจำเป็นในหน้าที่ใช้สอย ทั้งนี้ต้องไม่ละทิ้งความสามารถในการรองรับน้ำหนักของโครงสร้างจนก่อให้เกิดการลิดรอนซึ่งอายุการใช้งานของโครงสร้างนั่นเอง อุดมการณ์ทั้งสองในหัวข้อหลักนี้จะอยู่คู่ฟ้า จนก่อให้เกิดลักษณะเด่นที่เรียกว่า สไตส์สากล (the international style) ขึ้นมาในงานสถาปัตยกรรมสมัยใหม่อย่างที่ได้เคยไม่ได้

การออกแบบโครงสร้างสมัยใหม่ที่ดีที่แสดงความบริสุทธิ์ใจในการใช้รูปทรงทางเรขาคณิตที่ตรงไปตรงมา อีกทั้งยังทำให้สามารถมองเข้าไปเห็นถึงกระดูกและผิวหนังข้างใน (skin and skeleton) ตามทัศนคติของ มีส วาน เดอ โรห์ ที่พยายามเน้นการใช้โครงสร้างเหล็กหุ้มห่อภายนอกด้วยกระจก เป็นงานที่ดูออกจะครอบครองใจของสถาปนิกรุ่นใหม่มากกว่าแนวความคิดอื่น

ตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 เป็นต้นมา สถาปนิกหลายกลุ่มได้พยายามแสวงหาวิธีทำโครงสร้างให้เป็นนามธรรมยิ่งขึ้นด้วยการปรับสัดส่วน ขนาดขององค์ประกอบย่อยขององค์อาคาร และลดการใช้รายละเอียดลงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะเดียวกันก็มีอีกบางกลุ่มที่พยายามทำโครงสร้างให้แสดงออกถึงความซับซ้อนที่ยืดหยุ่นได้ นอกจากนั้นก็มีสถาปนิกที่ยึดรูปแบบของเครื่องจักรกลและลักษณะการต่อตัวของของเล่นเด็กเข้ามาประยุกต์ บางก็ได้อิทธิพลหรือการบันดลใจจากการติดตัวหรือการลอบตัวขึ้นของการเล่นกีฬาโยมมาสติก โดยไม่พยายามที่จะอธิบายถึงเหตุผลและที่มาของมันเท่าใดนัก

แต่สิ่งที่แฝงอยู่เป็นแนวร่วมในความคิดก็คือ รูปแบบของโครงสร้างต่าง ๆ ที่เลือกจะสื่อความหมายถึงลักษณะเฉพาะของอาคารชนิดนั้น ๆ ที่จึงใจออกแบบได้ นอกเหนือไปจากการสนองประโยชน์ใช้สอยได้โดยตรงแล้วก็ตาม เมื่อหมดปัญหาการใช้ที่โล่งกว้างในการใช้สอยไปแล้ว ก็จะเหลือปัญหาที่ต้องคิดออกแบบน้อยลง เขาเพียงแค่สรรหาวัสดุที่ห่อหุ้มภายนอกด้วยวัสดุและรูปทรงที่แปลก ๆ แหวกแนวออกไป แต่แล้วการใช้รูปทรงแปลก ๆ มากเกินไปก็ก่อให้เกิดความสับสน หรือนำเบื่อหน่ายเพราะมีความจำเจซ้ำซากและมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวค่อนข้างน้อย เช่นรูปแบบของอาคารศูนย์การค้า และอาคารชุปเปอร์มาร์เก็ต ที่เกือบจะมีรูปแบบและขนาดที่เหมือนกันหมดนั่นเอง

การอภิปรายถกเถียงกันถึงความตั้งใจในการแก้ปัญหาของวิศวกรโครงสร้างที่มักประสบความสำเร็จมากกว่ารูปลักษณะของประติมากรที่ต้องการจะแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมชิ้นนั้น ๆ ว่าเป็นประติมาศิลป์ได้หรือไม่ เพราะมีการเปรียบเทียบว่าประติมากรต้องการพรสวรรค์และไม่สามารถที่จะลอกเลียนกันได้ แต่โครงสร้างนั้นดูไม่ออกชัดเจน ดูไม่ออกว่าหนาหรือบางเกินไป แข็งแรงเกินไปหรือไม่ ถอดออกเพื่อเปลี่ยนหรือต่อเติมอีกได้ไหม แต่มีสิ่งหนึ่งที่ได้เปรียบก็คือ โครงสร้างสามารถแสดง

ความเชื่อมโยง และสร้างความต่อเนื่อง เชื่อมโยงให้หน้าต่าง หลังคา ราวลูกกลมมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันได้ ตรงนี้เองที่เอกภาพได้เกิดขึ้นกับการออกแบบโครงสร้าง และสามารถทำได้ไม่แพ้งานออกแบบที่เป็นคล้ายประติมากรรมแต่อย่างใด

อาจกล่าวได้ว่า สถาปัตยกรรมจุลศาสตร์นั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาวะความจำเป็นในการใช้งานในเฉพาะโอกาสที่จำเป็น ทำให้เกิดความประหยัด และ มีการสืกร่อนต่ำกว่าอาคารถาวรในระบบเดิม (ขอใช้คำว่า สถาปัตยกรรมสถิต หรือ “static architecture”) ที่คุ้นเคยกันอยู่แล้ว สถาปนิกที่มีชื่อเสียง ชื่อว่า “Mies Van Der Roeh” ก็เป็นหนึ่งที่มีส่วนนำเสนอแนวความคิดใหม่นี้เข้าสู่การออกแบบสถาปัตยกรรมในยุคที่เข้าได้มีความเข้าใจลึกซึ้งถึงการใช้วัสดุที่แข็งและเหนียวแต่น้ำหนักเบาเช่น เหล็กและโลหะผสมนาาชนิดเข้ามามีบทบาทในงานก่อสร้าง

รูปแบบและเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมจุลศาสตร์

1. มีโครงสร้างที่สามารถพับเก็บหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างตัวเองได้เมื่อจำเป็น ลักษณะเฉพาะจะเป็นโครงสร้างสำเร็จรูปขนาดย่อมที่สามารถพับเก็บได้ เพื่อสะดวกในการขนย้าย และสามารถที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้
2. มีส่วนประกอบที่เป็นกลไก ที่สามารถสั่งการตามรายการที่วางไว้ หรือถูกสั่งด้วยสัญญาณและสวิตช์เปิด ให้สถาปัตยกรรมนั้นเปลี่ยนรูปไป หรือเปลี่ยนแปลงตัวเองให้เหมาะสมกับการใช้งาน หรือปรับตามสภาวะดินฟ้าอากาศ
3. นอกจากเปลี่ยนรูปทรงทางโครงสร้างได้แล้ว ยังสามารถ เพิ่มต่อเติมเข้าไปได้ (deformable & incremental) และ
4. สามารถทำการถอดประกอบองค์อาคารบางชิ้น และ สามารถเคลื่อนที่ได้ (mobile and disposable)

12. สถาปนิกจะต้องปรับตัวอย่างไรในวันนี้

การศึกษาและทำความเข้าใจในธรรมชาติของวัสดุก่อสร้างที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานทางอุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับระบบโครงสร้างแต่ละชนิดเป็นสิ่งที่สำคัญมากกว่าความสวยงามในการมองเห็นเท่านั้น สถาปนิกต้องเข้าใจขั้นตอนในการก่อสร้างอาคารที่ตนทำการออกแบบอย่างทะลุปรุโปร่ง ตลอดจนเข้าใจถึงการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการขนส่งและการก่อสร้างเป็นอย่างดี การวางแผนอาคารตามตารางพิกัดการออกแบบแผนผังพื้นนั้นว่าเป็นขั้นตอนแรกก็จริง การจำแนกแจกแจงประสานกันในทางตั้งเพื่อกำหนดรูปทางตั้งของอาคารก็ต้องคิดขนานกันไปเป็นคู่ควบกัน โดยการใช้ตารางพิกัด (modular grid) เข้าช่วย และที่สำคัญที่สุดก็คือการออกแบบจะต้องลงมือกระทำร่วมกันระหว่าง สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง และช่างเขียนแบบพร้อมกัน เมื่อแบบขั้นสุดท้ายจะสำเร็จลงนั้นจะไม่มีองค์การผู้ออกแบบและผลิตแบบฝ่ายใดเลยที่ไม่เข้าถึงหรือยังกำกวมอยู่ในใจ

โครงสร้างเหล็กสมัยใหม่จะไม่มีข้อจำกัดทางระนาบเข้ามายุ่งเกี่ยวและพัวพันความตึงตัวของท่อนเหล็กหรือเส้นลวดซึ่งในทิศทางใด ๆ สามารถทำให้เกิดความเชื่อมโยงหรือคะแนนต่อการดึงรั้งไปสู่ความสมดุลในโครงสร้างทั้งระบบได้ บ่อยครั้งที่แบบรูปของโครงสร้างถูกกำหนดมาในรูปของการติดตั้งโครงสร้างยึดยัน (bracing) ตามระนาบเอียง (inclined plane) ซึ่งมีได้แยกแยะลงไปเลยว่าเป็นส่วนองค์ประกอบอาคารส่วนใด ไม่

ว่าจะเป็น ส่วนของพื้น ผนัง หรือ หลังคา ฯลฯ

ผู้มีหน้าที่ต้องคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างจะต้องวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารให้ลึกซึ้ง และที่สุดจะพบว่าสูตรคำนวณที่อิงวิชาการของสถิตยศาสตร์ทุกสูตร มิได้เพื่อความแม่นยำได้ของความยืดหยุ่น อีกทั้งความทนทานถาวรของโครงสร้างเอาไว้ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคาดการณ์และใช้วิจารณญาณเอาเองโดยอาศัยประสบการณ์ที่มี มาร่วมด้วย แล้วทำการกำหนดและตัดสินใจในที่สุด ซึ่งต้องทำการอย่างรัดกุมและไม่มี ความวิตกกังวลใด ๆ วิชาการของสถิตยศาสตร์จึงเป็นแต่เพียงหนึ่งของเครื่องมือที่จะยืนยันและสนับสนุนการออกแบบเท่านั้น ในเรื่องนี้สามารถกล่าวได้อย่างตรงไปตรงมา หากว่าวิศวกรโครงสร้างผูกตนเองเอาไว้กับสูตรคำนวณมากเกินไปจะต้องหลงทางในที่สุด เนื่องจากเห็นได้ชัดเจนว่า แรงชนิดต่าง ๆ ที่ถ่ายลงมาจากคานตัวหนึ่งลงไปยังเสาจะมีค่า คงที่เสมอ ไม่ว่าจะออกแบบด้วยการนำเอาเสาคลาสสิกใด ๆ ที่มีแป้นหัวเสาเป็นรูปแบบ ดอริก (Doric order) ในสถาปัตยกรรมยุคศตวรรษที่ 5 ก่อนคริสตกาลก็ดี หรือจะเป็นการนำเอาเสาเหล็กที่มี ส วาน เดอ โรห์ ออกแบบไว้ที่ อาคาร “Crown Hall” ที่นครชิคาโก เมื่อปี ค.ศ. 1952 ชนิดใดชนิดหนึ่งมาใช้ก็ตาม

บทสรุป

จากบทวิเคราะห์ข้างบนสามารถให้ข้อสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. แม้การก่อสร้างจะเจริญเติบโตขึ้นไปอย่างไม่หยุดยั้งก็ตาม การควบคุมงบประมาณให้จำกัดลงก็ดำเนินไปอย่างไม่หยุดยั้งยังผลให้ต้องคิดประหยัดงบประมาณลง ด้วยการนำโครงสร้างที่ยังไม่ชำรุดกลับมาใช้ใหม่
2. ในบรรดาเทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมที่เจริญรุดหน้า การนำเอาโครงสร้างเหล็กเข้ามาเสริมแทนโครงสร้างคอนกรีตนับว่าเป็นวิธีที่แยบยลและนับวันจะมีมากขึ้น ๆ
3. เหล็กมวลแรงดึงสูงสามารถเข้ามารับบทบาทได้ดีกว่าเหล็กรีดร้อนธรรมดา เนื่องจากทนแรงดึงได้สูงมากกว่า ในการนี้การผูกยึดโยงในรูปของการทำการอัดแรงในคอนกรีตนับว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในปัจจุบันนี้
4. คุณสมบัติที่ดีของเหล็กที่ไม่สามารถต้านทานสนิมได้นั้นย่อมจะทำการพัฒนาและแก้ไขได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและความสลับซับซ้อนของกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ แต่ควรอยู่ในดุลยวินิฉของสถาปนิกและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง
5. มีแนวโน้มว่าการแก้ไขโครงสร้างที่เผชิญปัญหานั้นจะเป็นวิธีการที่น่าสนใจที่สุดของการก่อสร้างให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมเดิม (the built environment) ในอีกหลายทศวรรษหน้านี

บรรณานุกรม

- [1] เรืองศักดิ์ กันตบุตร, “ระบบประสานทางพิคัดในงานก่อสร้าง,” พ.ศ. 2520
- [2] วินิต ช่อวิเชียร, “การออกแบบโครงสร้างเหล็ก” (มาตรฐาน AISC / ASD / LRFD) พิมพ์ครั้งแรก พ.ศ. 2539
- [3] สมลักษณ์ อัครเหม, “เทคโนโลยีอาคาร 8,” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2537
- [4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก,” พ.ศ. 2534
- [5] สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, “คอนกรีตเสริมเหล็ก,” พิมพ์ครั้งที่ 7 พ.ศ. 2530
- [6] นเรศ พันธราทร, “Design of Pre-stressed Concrete,” พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2542
- [7] ประทีป มาลากุล, “ประวัติสถาปัตยกรรมสมัยใหม่,” พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2542
- [8] ดร.สุจิตร์ คุณธนกุลวงศ์ - ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, “การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก” พ.ศ. 2542
- [9] จิตพัฒน์ ประทานทรัพย์, “โปรแกรมสำหรับการวางแผนงาน TIME LINE,” พ.ศ. 2521
- [10] สมชาย ศรีสมพงษ์, “โครงสร้างต้านทานแรงอัดและยุทธวิธีในงานออกแบบสถาปัตยกรรม,” พ.ศ. 2547
- [11] สมชาย ศรีสมพงษ์, “คอนกรีตอัดแรงสำหรับอาคารระบบอุตสาหกรรม,” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2544
- [12] Francis D. K. Ching & Cassandra A., “Building Construction Illustrated,” Delmar Inc., 1995
- [13] Broms, B.B., “Crack Width and Crack Spacing in Reinforced Concrete Members,” J.ACI.Proc.Vol. 62, No.10, 1965
- [14] Y.Besser, V. Proskurnin, “Erection of Prefabricated Reinforced-Concrete Structures,” MIR PUBLISHERS, Moscow 1971 (in English)
- [15] Suzuki, K., Ohno, Y. and Srisompong, S., “Experimental Study on Internal Cracking of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Part 1: Examination of Double Injection Technique,” Proc.AIJ.1985
- [16] Suzuki, K., Ohno, Y. and Srisompong, S., “Experimental Study on Internal Cracking of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Part 2: Internal Cracking Characteristics,” Proc.AIJ.1985
- [17] Suzuki, K., Ohno, Y., Srisompong, S and Yokotani, T., “Influences of Type of Prestressing Steel and Loading Condition upon Internal Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams,” Review of the 39th General Meeting, Cement Association of Japan, 1985
- [18] Srisompong, S., “Investigation of Internal Cracking in Partially Prestressed Concrete Flexural Members,” Ph.D.thesis submitted to the Graduate School, Faculty of Engineering, Osaka University, Japan, 1985

- [19] Sandaker B. Normann & Eggen A. Petter, "The Structural Basis of Architecture," Watson-Guption / New York 1992
- [20] Architectural Institute of Japan (AIJ), "Standard Handbook I" 1978 (in Japanese)
- [21] Architectural Institute of Japan (AIJ), "Standard Handbook II" 1978 (in Japanese)
- [22] Goto, Y., "Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars," J. ACI, Proc. Vol 68, No. 4, Apr. 1971
- [23] Beeby, A. W., "Concrete in the Oceans," Report No. 7 Cement & Concrete Association. 1978
- [24] Lutz, L. A. and Gergely, P., "Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete," J. ACI, No. 62-64, Nov. 1967
- [25] Goto, Y., and Otsuka, K., "Experimental Studies on Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars," Proc. JSCE No. 294, Feb. 1980 (in Japanese)
- [26] Beeby, A. W., "Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete and Its Relations to Cracking," The Structural Engineer (London), No. 3, Vol. 56 A, Mar. 1978
- [27] Sandaker B. Normann & Eggen A. Petter, "The Structural Basis of Architecture," Watson-Guption / New York 1992
- [28] Architectural Institute of Japan (AIJ), "Standard Handbook I," 1978 (in Japanese)
- [29] Architectural Institute of Japan (AIJ), "Standard Handbook II," 1978 (in Japanese)

1. สมชาย ศรีสมพงษ์, "คอนกรีตอัดแรงสำหรับอาคารในระบบอุตสาหกรรม," คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬ. 2543
2. สมชาย ศรีสมพงษ์, "แรงอัดที่กระทำบนโครงสร้างสถาปัตยกรรมและยุทธวิธีในงานออกแบบ," คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬ. 2547