

คอนกรีตกำลังสูงสำหรับอาคาร

คอนกรีตกำลังสูงแม้จะเป็นที่รู้จักกันมานาน แต่การใช้งานส่วนมากจะเน้นเฉพาะคุณสมบัติด้านความคงทนเป็นหลัก ยังมีน้อยที่จะเน้นคุณสมบัติด้านกำลังในโครงสร้างอาคาร ทั้งนี้เพราะก่อนหน้านี้ มีขีดจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการควบคุมคุณภาพในหน่วยงานก่อสร้าง ความสม่ำเสมอของคุณภาพในการผลิตมาตรฐานการออกแบบที่ยังครอบคลุมไม่ถึง และการศึกษาวิจัยที่ยังมีน้อยเกินไป อย่างไรก็ตาม ขีดจำกัดเหล่านี้เริ่มจะคลี่คลายลงไปได้มาก กล่าวคือในแง่ของการผลิตได้มีสารเคมีผสมเพิ่มแบบใหม่ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพ ให้ความไหลลื่นได้ดีมีความสามารถเทได้สูง และสามารถลดน้ำได้มากพิเศษ ในแง่ของมาตรฐานการออกแบบได้เริ่มมีรายละเอียดการศึกษาต่างๆ เพิ่มมากขึ้นตามลำดับทั้งในอเมริกาและยุโรป โดยเฉพาะในอเมริกา มาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา (ACI) ได้ เริ่มปรับปรุงมาตรฐานเพื่อการออกแบบให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของคอนกรีตกำลังสูง ในการศึกษาวิจัยได้มีการตื่นตัวและศึกษากันอย่างกว้างขวางในหลายสถาบันทั่วโลก

การศึกษาเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้กับโครงสร้างอาคารเน้นพฤติกรรมทางโครงสร้างรับแรงอัด แรงดัด และแรงเฉือน ทั้งที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง นอกจากนี้ยังเสนอแนวทางการประยุกต์คอนกรีตกำลังสูงในงานก่อสร้างอาคารให้ประหยัดและรวดเร็ว โดยทั่วไปถือว่า คอนกรีตที่มีกำลังเกินกว่า 5.50 เมกะพาสคัล เป็นคอนกรีตกำลังสูง จากการศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้วัสดุดิบทุกอย่างในประเทศ ทั้งมวลรวม หิน-ทราย ซีเมนต์ ใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่ผลิตด้วยขบวนการพิเศษจากต่างประเทศ แต่ยังคงใช้วัสดุอื่นในประเทศ จะสามารถผลิตคอนกรีตได้สูงถึง 11.0-12.0 เมกะพาสคัล ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะควบคุมกำลังคอนกรีตอยู่ในช่วง 8.0-9.0 เมกะพาสคัล คอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตในประเทศ จะเน้นการลดน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้เหลือสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.28-0.36 โดยใช้สารเคมีผสมเพิ่มให้เกิดความไหลลื่นสูง (Super-plasticizer) และอาจใช้ซิลิกา ฟุม (Silica Fume) หรือ ไมโครซิลิกา (Microsilica) เป็นวัสดุที่ใช้ผสมในคอนกรีตสำหรับเพิ่มกำลังคอนกรีตเสริมเหล็ก ผสมด้วย เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะ ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีของซิลิกาเพิ่มเติมอีกทางหนึ่ง คอนกรีตที่ผลิตด้วยกระบวนการนี้นอกจากจะให้กำลังสูงแล้ว ยังคงให้ความไหลลื่นดี มีความสามารถไหลเทได้สูง

ข้อควรพิจารณาเป็นพิเศษในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง คือ ปริมาณซีเมนต์และลักษณะของมวลรวม กล่าวคือปริมาณของซีเมนต์จะไม่น้อยกว่า 450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ไม่ควรเกิน 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินที่ดีจะต้องมีรูปร่างป้อมๆ มีแฉกมนน้อย จะต้องหลีกเลี่ยงทรงแบน เป็นผอย เกล็ด แผ่น ขึ้นบาง หรือสะเก็ด ทรายแม่น้ำจะทำให้การไหลลื่นของคอนกรีตได้ดีกว่าทรายจากโรงโม่แต่มีฝุ่นน้อย อย่างไรก็ตามขนาดผลรวมของหิน-ทราย จะต้องพยายามควบคุมให้อยู่ประมาณกลางกราฟตามระบุใน ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates) สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป

การประยุกต์ทางโครงสร้าง

คุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงจะเป็นประโยชน์สูงสุดหากจะประยุกต์ใช้กำลังอัดให้สอดคล้องกับพฤติกรรมทางโครงสร้าง ข้อดีของคอนกรีตที่มีกำลังสูงคือ นอกจากจะให้กำลังอัดสูงแล้วยังคงให้ค่าแรงดึง และแรงเฉือน และโมดูลัสยืดหยุ่นสูงตามด้วย อีกทั้งยังให้ผลดีต่อการคืบตัว การหดตัวและการกันซึมด้วย ดังนั้นจึงใช้ประยุกต์กับโครงสร้างอาคารได้แก่ เสา คอนกรีตอัดแรง ส่วนที่ต้องการความทนทานสูง

โครงสร้างรับแรงอัด

โครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตกำลังสูง พบว่าจะให้กำลังสูงตามสัดส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้น และสามารถคำนวณออกแบบได้อย่างปลอดภัยด้วยมาตรฐานการออกแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะค่ากำลังประลัยของเสา ที่ได้จากการทดสอบให้ค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณตามมาตรฐานคือ หน่วยแรงอัดที่ใช้ $0.85 (f_c')$; กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) นั้น ทดสอบแล้วพบว่าสูงกว่า $0.90 (f_c')$; กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ส่วนปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในมาตรฐานคือสูงสุดที่ 8% ยังคงเหมาะสมกับเสาที่เป็นคอนกรีตกำลังสูง แต่หากจะให้เสามีความเหนียวทางโครงสร้างเพิ่มขึ้นอาจจะต้องควบคุมปริมาณเหล็กปลอกให้พอเพียง กล่าวคือควรจะให้ใกล้เคียงกับที่กำหนดสำหรับเสาปลอกเกลียวตาม มาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา การทดสอบยังพบว่าเสาปลอกเกลียวให้ความเหนียวทางโครงสร้างเพิ่มขึ้นอาจจะต้องควบคุมปริมาณเหล็กปลอกให้พอเพียง กล่าวคือควรจะให้ใกล้เคียงกับที่กำหนดสำหรับเสาปลอกเกลียวตาม มาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา การทดสอบยังพบอีกว่าเสาปลอกเกลียวให้ความเหนียวทางโครงสร้างสูงกว่าปลอกเดี่ยวระยะห่างของเหล็กปลอกไม่ควรห่างเกิน 7.5 ซม. และเหล็กเสริมควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 16 มม. ยังไม่มีรายงานยืนยัน เสาที่มีหน้าตัดรูปกล่อง หรือหน้าตัดที่มีปีกคريب เช่น รูป I มีแนวโน้มให้กำลังประลัย และความเหนียวทางโครงสร้างต่ำกว่าการคาดคะเนตามมาตรฐานดังที่กล่าวข้างต้น

โครงสร้างรับแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็ก

เมื่อใช้คอนกรีตกำลังสูงจะทำให้หน้าตัดลดลงจากกำลังอัดที่สูง โมดูลัสยืดหยุ่นที่สูง และโมดูลัสแตกร้าวที่เพิ่มมากขึ้น แต่คอนกรีตกำลังสูงแม้จะมีค่าถึง 3-4 เท่าของคอนกรีตธรรมดาก็ตาม หากปริมาณเหล็กเสริม สำหรับเสริมในคานคดเดิม จะทำให้กำลังดัดประลัยเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การทำให้คอนกรีตในคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังสูงจะทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของกำลังที่สูงขึ้น ดังนั้นถ้ายึดเกณฑ์การเสริมเหล็กสูงสุดที่ 75% ของปริมาณเหล็กที่ภาวะสมดุลตามมาตรฐานการออกแบบของมาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกาแล้ว จะสามารถเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมได้มากขึ้น และจะส่งผลให้กำลังประลัยสูงขึ้นตามลำดับ แต่การแอมัวตัวซึ่งจะมีผลจากโมดูลัสแตกร้าว และหน้าตัดประสิทธิผลหลังการแตกร้าว ซึ่งจะเป็นสัดส่วนตามรากที่สองของกำลังอัดซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะหน้าตัดและสัดส่วนความลึกต่อช่วงความยาว ดังนั้น ถ้าพิจารณาสัดส่วนโครงสร้างตามที่กำหนดในมาตรฐานปัจจุบัน

โดยในทางปฏิบัติอาจคำนวณให้มีหน้าตัดคานคอนกรีตขนาดใหญ่กว่าค่าที่คำนวณแบบประหยัดแต่จะช่วยควบคุมการแตกร้าวได้ดีกว่าจากการใช้งานจริง

โครงสร้างรับแรงดัดคอนกรีตอัดแรง

คอนกรีตกำลังสูงสามารถเพิ่มการอัดแรงได้มาก 2-3 เท่า ของการอัดแรงในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงทั่วไป ทั้งนี้เพราะคอนกรีตกำลังสูงเอื้อให้มิกำลังดึงสูงตามความสามารถในการเพิ่มแรงอัดในคานคอนกรีตอัดแรงนี้จะทำให้กำลังของคานเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของแรงอัดที่ใช้ โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่ทำด้วยกำลังสูงที่ยังสามารถควบคุมการแตกร้าวในระหว่างการใช้งานได้ดีกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพราะหน้าตัดปราศจากการแตกร้าว คานคอนกรีตอัดแรงที่ใช้คอนกรีตกำลังสูงจะให้ความเหนียวทางโครงสร้างสูงเช่นเดียวกับคอนกรีตอัดแรงที่ใช้คอนกรีตที่มีกำลังตามปกติ และความเหนียวทางโครงสร้างลดลงถ้าใช้ปริมาณการอัดแรงมากเกินไป คอนกรีตกำลังสูงจะให้ผลดีอย่างมากต่อการสูญเสียแรงอัดจากการคืบคัว และการหดตัวจากคอนกรีต กล่าวคือจะมี 20-30 % ของการสูญเสียอัดเกิดจากในคอนกรีตอัดแรงที่ใช้คอนกรีตกำลังปกติ

พฤติกรรมการรับแรงเฉือน

การศึกษาทั้งในคานคอนกรีตเสริมเหล็กและในคานคอนกรีตอัดแรงพบว่าให้ผลทางบวกในทั้งสองกรณี ทั้งนี้เพราะพฤติกรรมการวิบัติจากแรงเฉือนจะเกี่ยวข้องโดยตรงจากกำลังดึงในคอนกรีต จากการทดลองทั้งที่เกี่ยวข้องกับแรงโมดูลัสแตกร้าว และจากแรงเฉือนทแยงในคานโดยตรงจะพบว่าค่าแรงเฉือนที่หน้าตัดคานแบกรับจะให้ค่าสูงกว่าที่คำนวณ หรือคาดคะเนตาม มาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา ในอัตรา 6-20 % อีกทั้งการวิเคราะห์ หรือคำนวณออกแบบหาปริมาณเหล็กปลอกตามวิธีการของ วิเคราะห์โครงถัก (Truss Analogy Method) ตามที่ใช้ใน มาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา นั้น ให้ค่าความปลอดภัยสูงกว่าในทุกกรณีของการทดสอบ

การใช้คอนกรีตกำลังสูงเพื่อความคงทน

ความคงทนของโครงสร้างได้รับความสนใจและให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เช่น พื้นที่โรงงานจะต้องป้องกันการสึกหรอจากการครูด ชีตที่ผิว หรือโครงสร้างที่มีผิวสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง เช่น กรด ต่าง ความเค็ม หรือมลภาวะ คอนกรีตกำลังสูงมีคุณสมบัติในการทึบน้ำ กันซึม ช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือออกซิเจนเข้าสู่เหล็กเสริมภายในได้ อีกทั้งยังมีผิวแข็งทนทานต่อการสึกหรอได้ดี การคำนวณออกแบบเพื่อการประยุกต์ใช้ในแง่ที่จะต้องพิจารณาค่าโมดูลัสแตกร้าว เป็นเกณฑ์ และถ้าจะให้มีความสามารถในการทึบน้ำ จะต้องไม่ให้น้ำตดเกิดแรงดึงเกินโมดูลัสแตกร้าว การประยุกต์ใช้งานในแง่นี้ หลายประเทศใช้การศึกษานี้มาเป็นแนวทางในการยืดอายุการใช้งานโครงสร้างและประหยัดงบประมาณการซ่อมบำรุง เพียงให้ความสนใจในการเลือกวัสดุ ควบคุมคุณภาพให้ได้ตามกำหนด ซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การประยุกต์ในการก่อสร้าง

คอนกรีตกำลังสูงอาจพิจารณาเพื่อประโยชน์ในการก่อสร้างได้หลายภาวะ ที่พอจะเห็นได้ตรงด้วยการทำชิ้นส่วนโครงสร้างให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้น้ำหนักของโครงสร้างเบาลง น้ำหนักของอาคารรวมจะลดลง และประหยัดได้ทั้งวัสดุฐานราก และวัสดุประกอบอื่นๆ ผลที่ได้จากข้อดีส่วนนี้อาจสามารถเพิ่มจำนวนชั้นของอาคาร ให้ความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ดีขึ้น

การประยุกต์ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนสำเร็จรูป ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งชิ้นส่วนทางโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนอาคาร การใช้คอนกรีตกำลังสูงในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปเหล่านี้ จะสามารถลดหน้าตัดและขนาดให้เล็กลง ยังผลให้ประหยัดค่าขนส่งจากโรงงานไปยังหน่วยงานก่อสร้าง อีกทั้งจะประหยัดและเอื้ออำนวยให้เพิ่มความปลอดภัยในการยกขึ้นประกอบติดตั้งอีกด้วย การประยุกต์ในแง่นี้ได้รับความนิยมมากในประเทศที่มีค่าแรงสูง และเหมาะสมสำหรับอาคารสูง ที่สำคัญคือต้องออกแบบรอยเชื่อมต่อแต่ละชิ้นส่วนเข้ากับโครงสร้างให้เกิดความแข็งแรงและง่ายต่อการติดตั้ง

การพิจารณาการบริหารแบบหล่อคอนกรีตโดยให้ถอดแบบได้เร็ว ให้มีการใช้ซ้ำได้มากครั้ง จะประหยัดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างในภาพรวมได้ ดังตัวอย่างเช่น การก่อสร้างที่กำหนดกำลังของคอนกรีตที่ 2.50 เมกะพาสคัล จะถอดห้องแบบคานหรือพื้นได้เมื่อกำลังของคอนกรีตที่พัฒนาได้ไม่น้อยกว่า 1.80 เมกะพาสคัล ซึ่งจะต้องใช้เวลาเกินกว่า 14 วัน แต่ถ้าจะพิจารณาใช้คอนกรีตที่มีกำลังสูง 5.50 เมกะพาสคัล จะสามารถให้กำลังที่ 30 ชั่วโมง ประมาณ 2.10 - 2.70 เมกะพาสคัล ดังนั้น จะสามารถทำการถอดแบบหล่อแบบได้ภายใน 48 ชั่วโมง หรือ 2 วัน ซึ่งยังผลให้สามารถใช้แบบหล่อได้ถึง 7 ครั้ง ในเวลาที่เท่ากัน แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับระบบการวางแผนการก่อสร้างอีกด้วย สำหรับ คอนกรีตที่กำลัง 2.50 เมกะพาสคัล เมื่อเพิ่มเป็น 5.50 เมกะพาสคัล จะใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มเพียงไม่เกิน 20 %

นอกจากนี้ คอนกรีตกำลังสูงยังอาจพิจารณาในงานก่อสร้างที่ต้องการกำลังใช้งานสูงที่ใช้เวลาสั้น เช่น การซ่อมพื้นถนน หรือพื้นสะพานที่มีอาจปิดการจราจรได้นาน โดยเฉพาะถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง ดังตัวอย่างเช่น ถ้าจะกำหนดให้กำลังของคอนกรีตที่เปิดให้มีการสัญจร 2.70 เมกะพาสคัล คอนกรีตกำลังสูงที่มีกำลังระหว่าง 6.00 - 7.00 เมกะพาสคัล จะสามารถพัฒนากำลังที่กำหนดภายใน 24-30 ชั่วโมง ดังนั้นการซ่อมคอนกรีตด้วยวิธีนี้ อาจใช้เวลาสูงสุด 36 ชั่วโมง จากเริ่มปิดการจราจร สกัคของเก่าทิ้ง หล่อคอนกรีตใหม่ และบ่มให้ได้กำลังจนเปิดการจราจรได้ ดังนั้น จะสามารถทำงานในวันหยุด หรือวันเสาร์ อาทิตย์ ที่สามารถปิดช่องทางวิ่งได้ช่องหนึ่งเพื่อการซ่อมแซม

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา คอนกรีตกำลังสูงไม่ได้เป็นเรื่องยากอีกต่อไป ทั้งในแง่ของการผลิตและการใช้งาน เพียงเลือกวัสดุให้เหมาะสม คำนวณส่วนผสมให้สอดคล้องกับการใช้งาน และเลือกสารเคมีผสมเพิ่มเติม มีระบบงานประกันคุณภาพ เป็นต้น

การประยุกต์กับอาคาร หรือชิ้นส่วนโครงสร้างจะให้ผลดีทั้งที่รับแรงอัด แรงดัด และแรงเฉือน อีกทั้งให้ความเหนียวทางโครงสร้างสูง และที่นิยมและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปจะประยุกต์ ในชิ้นส่วนที่เป็นเสา คานคองกรีตเสริมเหล็ก คานคองกรีตอัดแรง พื้นโรงงาน หรือส่วนที่ต้องการทึบน้ำ

ประโยชน์ต่อการก่อสร้างมีหลายรายการ ได้แก่ การลดน้ำหนักของอาคาร สำหรับอาคารที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ทั้งที่เป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง และชิ้นส่วนประกอบอาคาร การใช้ซ้ำของแบบหล่อคองกรีต การลดระยะเวลาการก่อสร้าง เช่น การลดเวลาการซ่อมแซมพื้นถนนหรือสะพานที่มีการจราจรคับคั่ง

ในการผลิตคองกรีตให้มีคุณภาพต้องอาศัยการวิเคราะห์ทดสอบอย่างต่อเนื่อง จึงจะได้คองกรีตที่มีคุณภาพซึ่ง กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ คุณสมบัติวัสดุ คุณสมบัติวัสดุก่อสร้างได้แก่ คองกรีต ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ผู้สนใจสามารถติดต่อสอบถามและขอรับบริการได้ที่ กลุ่มวัสดุก่อสร้าง กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

เอกสารอ้างอิง

ASTM C33 / C33M - 18 Standard Specification for Concrete Aggregates

: <https://www.astm.org> › Standards & Publications

Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement1

: <http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-596.pdf>

ASTM C109 / C109M - 16a Standard Test Method for Compressive

: <https://www.astm.org> › Standards & Publications

Standard Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units

: <https://www.astm.org> › Standards & Publications

Zia, P. “Review of ACI Code for Design with High strength Concrete” Concrete International, ACI, Aug.1983

Limsuwan, E. “Strength and Behavior of Axially Loaded Columns of Very High Strength Concrete” Paper presented to Polymer Concrete Congress, Nihon University, 1981

เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, การใช้คอนกรีตกำลังสูงกับการก่อสร้างอาคาร, เทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรม เอกสารประกอบการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2532, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 545-549, พ.ศ. 2523

ผู้เรียบเรียง

นายณัฐเขต หมูทอง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ
กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี