

## เกร็ดความรู้เกี่ยวกับการทำให้คอนกรีตมี โมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น

สิทธิชัย แสงอาทิตย์

รองศาสตราจารย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
กรรมการวิชาการ สาขาโครงสร้างคอนกรีต สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ในงานวิศวกรรมโยธา คอนกรีตถือได้ว่าเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างมากที่สุด ซึ่งจะอยู่ในรูปคอนกรีตเสริมเหล็กและเป็นการใช้วัสดุร่วมกันที่ชาญฉลาดอย่างหนึ่ง ในการเรียนการสอนในวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาสัดส่วนผสมคอนกรีต เช่น คอนกรีตเทคโนโลยีและการทดสอบวัสดุ เป็นต้น ผู้สอนโดยทั่วไปมักจะเน้นไปที่วิธีการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของคอนกรีตสด ความคงทน และกำลังรับแรงกดอัดประลัย (ultimate compressive strength) ของคอนกรีตเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการใช้งานและการตอบสนองของโครงสร้างคอนกรีตต่อแรงกระทำไม่ได้ขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด และเสถียรภาพของโครงสร้างอีกด้วย โดยจะเห็นได้จากการที่มาตรฐานการออกแบบได้กำหนดให้ชิ้นส่วนโครงสร้างต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ไม่เกินค่าที่กำหนดค่าหนึ่ง เช่น ความยาวช่วงของชิ้นส่วน โครงสร้างหารด้วย 360 เป็นต้น ซึ่งในการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังกล่าว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(modulus of elasticity) ซึ่งเป็นสมบัติทางกลของที่บ่งบอกถึงความแกร่งของคอนกรีตจะเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งในการคำนวณ ดังนั้น บทความนี้จะกล่าวถึงเกร็ดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตและการทำให้คอนกรีตมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น ซึ่งมักจะไม่มีกล่าวถึงมากนักในการเรียนการสอนวิชาที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตในระดับปริญญาตรี

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเป็นสมบัติทางกลที่มีสำคัญมากค่าหนึ่งของคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับซีเมนต์เพสต์ (cement paste) ความแข็งแรงของมวลรวม (aggregates) และวิธีการทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบของ American Society for Testing and Materials ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจะหาได้ตามมาตรฐาน ASTM C469 ซึ่งในการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตมาตรฐานจะถูกวัดโดยใช้ compressometer หรือ extensometer ในช่วง gage length ของตัวอย่างทดสอบ ดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยขั้นตอนในการทดสอบเริ่มต้นด้วยการทดสอบหาค่าลึงกอดัดประลัยของตัวอย่างทดสอบในชุดของการหล่อตัวอย่างทดสอบเดียวกันก่อน เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่อไป จากนั้น ทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น โดยการให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบ 2 รอบ โดยรอบแรกจะ

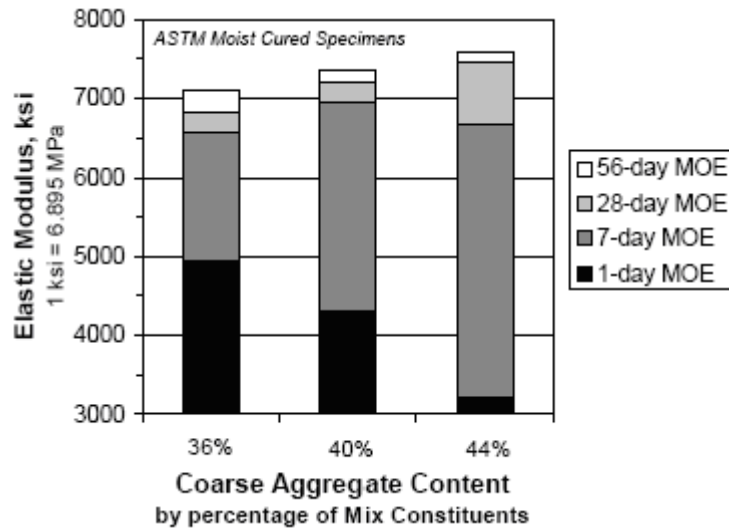
เป็นการทำ preloading ตัวอย่างทดสอบ เพื่อให้ตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือวัดแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีความพร้อมสำหรับการทดสอบ จากนั้น ทำการให้แรงกระทำรอบที่สอง โดยที่ค่าแรงกระทำและค่าการเปลี่ยนรูปร่างในแนวแกนหรือค่าความเครียดในแนวแกน (longitudinal strain) จะถูกบันทึกที่จุดสองจุดต่อไปนี้ 1.) จุดที่การเปลี่ยนรูปร่างในแนวแกนให้ค่า longitudinal strain เท่ากับ  $5(10^{-6})$  mm/mm และ 2.) จุดที่แรงกระทำมีค่า 40% ของแรงกอดัดประลัย สุดท้าย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะคำนวณได้จากแผนภาพหน่วยแรง-ความเครียด (stress-strain diagram) ของจุดทั้งสองที่วัดได้



รูปที่ 1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C469

การทำให้คอนกรีตโดยเฉพาะคอนกรีตกำลังสูงมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงชันนั้นมียหลายวิธี วิธีการหนึ่งในการเพิ่มโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมค่าหนึ่งคือ **การเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบในสัดส่วนผสมรูปที่ 2** แสดงผลของการเพิ่มสัดส่วนของมวลรวมหยาบ (โดยน้ำหนัก) ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีตที่มีสัดส่วนของวัสดุอื่นๆ ที่เหมือนกันแตกต่างกันเฉพาะสัดส่วนของมวลรวมหยาบจากรูป พบว่า สำหรับตัวอย่างทดสอบที่ได้รับการบ่มด้วยความชื้นตามมาตรฐาน ASTM เมื่อปริมาณมวลรวมหยาบเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2% แล้วโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.5% ที่อายุคอนกรีต 28 วันและ 56 วันและคอนกรีตที่มีสัดส่วนของมวลรวมหยาบที่สูงกว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตามช่วงอายุคอนกรีตต่างๆ หลังจากจาก 1 วันสูงกว่าคอนกรีตที่มีสัดส่วนของมวลรวมหยาบที่ต่ำกว่า ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของมวลรวมหยาบ ซึ่งทำให้การพัฒนาพันธะที่ใช้ยึดระหว่างซีเมนต์เพสซ์และมวลรวมหยาบดีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบจะทำให้เกิดผลข้างเคียงที่จะต้องทำการปรับสัดส่วนส่วนผสมอื่นๆ ของคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการนำถูกไปใช้งานได้ (workability) ที่เหมาะสม เช่น การเพิ่มพื้นที่ผิวของมวลรวมหยาบจากการเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบจะทำให้คอนกรีตต้องการซีเมนต์เพสซ์มากขึ้น เพื่อให้ได้ workability เท่าเดิม เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว จากการศึกษาของ Myers และ Carrasquillo [1] พบว่าค่า

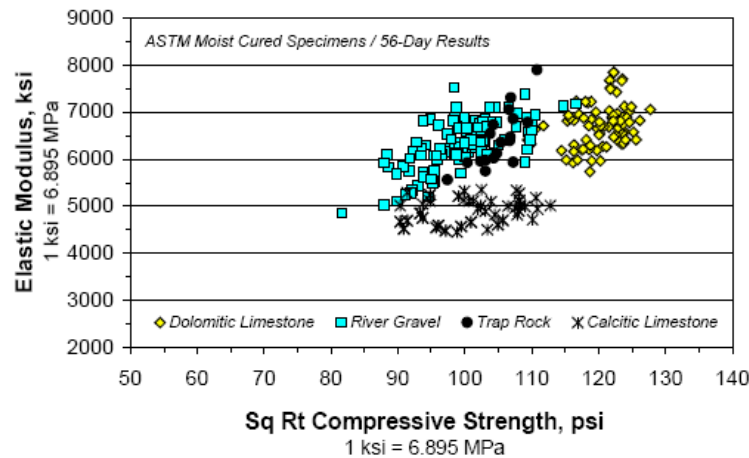
โมดูลัสยืดหยุ่นนอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณของมวลรวมหยาบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมหยาบด้วย การเพิ่มของปริมาณมวลรวมหยาบเกินกว่า 40% ของสัดส่วนผสมจะช่วยทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้การพัฒนาการของกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตต่ออายุของคอนกรีตดีขึ้น และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวม ถึงแม้ว่า ขนาดของมวลรวมที่เล็กลงสำหรับปริมาณมวลรวมค่าๆ หนึ่งจะช่วยลด unit bond stress เนื่องจากการที่พื้นที่ผิวของมวลรวมเพิ่มขึ้น และทำให้กำลังรับแรงกดอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (4 ถึง 5%) ก็ตาม



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นและสัดส่วนของมวลรวมหยาบ  
[ปรับเปลี่ยนจาก 1]

วิธีการที่สองในการเพิ่ม โมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมค่าหนึ่งคือ การเลือกใช้ชนิดมวลรวมที่มาจากแหล่งมวลรวมที่เหมาะสมกับซีเมนต์พิเศษรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ารากที่สองของกำลังรับแรงกดอัดประลัยของคอนกรีตตามชนิดมวลรวมที่มาจากแหล่งมวลรวมประเภทต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าการใช้มวลรวมที่แกร่งกว่าและแน่นกว่าจะช่วยทำให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่มวลรวมดังกล่าวจะทำให้เกิด stress concentration และ microcracks ขึ้นที่ interface ระหว่างมวลรวมและซีเมนต์พิเศษ ซึ่งจะทำให้กำลังรับแรงกดอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าลดลง ดังนั้น วัสดุต่างๆ ที่นำมาผลิตคอนกรีตกำลังสูงจะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมซึ่งกันและกัน เพื่อที่ทำให้การพัฒนาการของสมบัติต่างๆ ทั้งโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังรับแรงกดอัดประลัยของคอนกรีตดีขึ้น นอกจากนี้แล้ว มวลรวมที่ได้จากการบดแตกหรือมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมจะเป็นมวลรวมที่เหมาะสม เนื่องจากจะช่วยให้นิวตันและของซีเมนต์พิเศษยึดติดกันดีขึ้น





รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ารากที่สองของกำลังรับแรงกดอัด  
ประลัยของคอนกรีตตามชนิดมวลรวมที่มาจากแหล่งมวลรวมประเภทต่างๆ [1]

จากบทความข้างต้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีต โดยเฉพาะคอนกรีตกำลังสูง ที่มีสัดส่วนผสมค่าหนึ่งจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบและการใช้ชนิดมวลรวมที่มาจากแหล่งมวลรวมที่เหมาะสมกับซีเมนต์เพสต์และมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมอย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้ว ความเหมาะสมของปริมาณมวลรวมหยาบและชนิดของมวลรวมที่ใช้เพื่อให้ได้สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงกดอัดประลัยของคอนกรีตมีความเหมาะสมที่สุดจะหาได้จากการทดลองผสมตามสัดส่วนผสมต่างๆ ก่อนเท่านั้น

### เอกสารอ้างอิง

1. Myers, J.J. and Carrasquillo, R.L., "Production and Quality Control of High Performance Concrete in Texas Bridge Structures," CTR, University of Texas at Austin, Research Report 580/589-1, 2000.
2. สิทธิชัย แสงอาทิตย์, "เอกสารคำสอนวิชา Material Testings," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552