

การเลือก การทดสอบ และความสัมพันธ์ของกำลังอัดของคอนกรีต รูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

ศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โดยทั่วไปการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กใช้กำลังอัดของคอนกรีตเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ โดยมีสมมุติฐานว่าคอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลักโดยไม่สามารถรับแรงดึง ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตในเรื่องของการรับแรงอัด นอกจากนี้การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเป็นสิ่งที่กระทำได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบอื่นๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมใช้กัน คือ ตัวอย่างรูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ซึ่งทดสอบให้ตัวอย่างรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 4 นาทีต่อตัวอย่าง กำลังอัดที่คอนกรีตรับได้อาจอยู่ในช่วง 100 ถึง 400 กก/ซม² สำหรับคอนกรีตกำลังธรรมดาหรือมีค่ามากกว่า 1000 กก/ซม² ในกรณีที่เป็นคอนกรีตกำลังสูงมาก

การทดสอบกำลังอัดเป็นเรื่องสำคัญมากเพราะเป็นการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้งาน รูปทรงของคอนกรีตที่นิยมใช้ในการทดสอบเพื่อหาลำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมกันมี 2 แบบ คือ รูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก สำหรับในประเทศไทยพบว่านิยมใช้ทั้ง 2 ประเภท เนื่องมาจากอิทธิพลของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากประเทศอังกฤษในระยะแรกที่ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ และในระยะหลังที่บัณฑิตส่วนใหญ่จบการศึกษาจากสหรัฐอเมริกา แคนาดา และออสเตรเลีย ที่ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

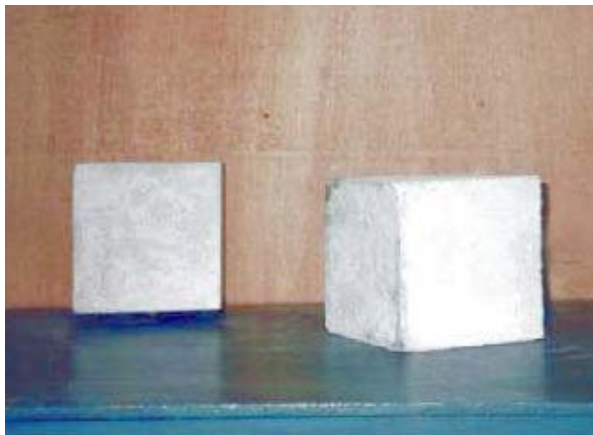
ก่อนอื่นต้องขอแนะนำถึงการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 2 ประเภท ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งขนาด วิธีการเตรียมการ ตลอดจนให้ผลของกำลังอัดที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คอนกรีตรูปลูกบาศก์

แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบาศก์เป็นแบบเหล็กขนาด 15 ซม. ทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว ผิวเรียบ และสามารถป้องกันไม่ให้น้ำปูนรั่วออกจากแบบในระหว่างที่เทหรือมีคอนกรีตอยู่ในแบบ ก่อนการหล่อคอนกรีตจะใช้น้ำมันทาบางๆ ที่ด้านในของแบบหล่อเพื่อให้สามารถถอดแบบได้ง่ายขึ้น การทาน้ำมันมากเกินไปจะทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำมันส่วนเกินทำให้มีปัญหาเรื่องการแข็งตัวและลดกำลังของคอนกรีต

การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ใช้มาตรฐาน BS 1881 Part 108 [1] โดยใช้คอนกรีตสดลงในแบบมาตรฐานขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.³ จำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นให้เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบโต๊ะหรือกระทิ้งด้วยเหล็กกระทิ้งอย่างน้อย 35 ครั้ง เหล็กกระทิ้งมีน้ำหนัก 1.8 กก. ยาว 38 ซม. หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2.5 ซม. กระทิ้งคอนกรีตอย่างเต็มที่จะทำให้เป็นตัวแทนของคอนกรีตที่หล่อในอาคารต่างๆ ซึ่งได้รับการกระทิ้งหรือเขย่าให้แน่นอย่างเต็มที่เช่นเดียวกัน แต่การกระทิ้งจะต้องไม่มากจนทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว ภายหลังจากกระทิ้งเรียบร้อยแล้วจึงปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทิ้งคอนกรีตไว้ 24 ± 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 15 ถึง 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 จากนั้นถอดแบบออกและนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 18 ถึง 22 องศาเซลเซียส การทดสอบนิยมนำเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วันซึ่งมักเป็นอายุที่ใช้ในการออกแบบ แต่ทั้งนี้ยังสามารถทำการทดสอบที่อายุอื่นเช่นที่ 3, 7, 14 และ 90 วัน ก็ได้ หากทำการออกแบบกำลังของคอนกรีตที่ใช้งานตามอายุดังกล่าว

การทดสอบกำลังอัดใช้คอนกรีตที่ผ่านการบ่มและอยู่ในสภาพเปียก โดยใช้หน้าที่เรียบของคอนกรีต 2 ด้านตรงกันข้ามเป็นด้านรับแรง (ดูรูปที่ 1) ดังนั้นผิวหน้าด้านที่ปาดให้เรียบจะตั้งฉากกับแกนของแรงกด การให้น้ำหนักกระทำแก่คอนกรีตใช้อัตราคงที่ที่ทำให้เกิดความเค้นเท่ากับ 0.40 เมกะปาสกาลต่อวินาที จนกระทั่งคอนกรีตวิบัติและไม่สามารถรับแรงที่สูงขึ้นได้ต่อไปอีก การให้อัตราคงต่อคอนกรีตที่เร็วมากจะทำให้กำลังที่ทดสอบได้สูงกว่าความเป็นจริง และในทางกลับกัน การให้อัตราคงที่ช้ามากจะทำให้กำลังที่ทดสอบได้ต่ำกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 1 คอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่ใช้ทดสอบกำลังอัด โดยเลือกด้านที่เรียบ 2 ด้านตรงข้ามกันมาทดสอบ

คอนกรีตรูปทรงกระบอก

แบบหล่อมาตรฐานสำหรับเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 15 ซม. สูง 30 ซม. ทำจากเหล็กมีความแข็งแรงผิวด้านในเรียบ สามารถคงรูปทรงกระบอกและสามารถป้องกันน้ำปูนหรือคอนกรีตไม่ให้รั่วออกมาจากแบบหล่อได้

มาตรฐาน ASTM C192 [2] ได้กำหนดให้หล่อคอนกรีตลงแบบมาตรฐานเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรคอนกรีตเท่าๆกัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้งด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 61 ซม. โดยชั้นที่ 2 และ 3 ต้องกระทุ้งให้ทะลุลงไปยังชั้นที่ต่ำกว่าประมาณ 2.5 ซม. เพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง เมื่อครบทั้ง 3 ชั้นแล้วจึงทำการปาดผิวหน้าของคอนกรีตให้เรียบ และทิ้งคอนกรีตไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 16 ถึง 27 องศาเซลเซียส โดยไม่รบกวนจนคอนกรีตแข็งตัว การถอดแบบจะทำเมื่อคอนกรีตมีอายุ 24 ± 8 ชั่วโมงและนำไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบกำลังตามอายุที่กำหนด

เนื่องจากการหล่อคอนกรีตแบบนี้ผิวด้านบนของคอนกรีตจะไม่เรียบพอ ASTM C617 [3] ระบุให้ผิวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. ซึ่งอาจทำได้โดยการขัดผิวให้เรียบแต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและใช้เวลามาก ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบหัว (capping) คอนกรีตซึ่งมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ชั้นเททับบนหัวคอนกรีตตอนเทเสร็จใหม่ๆ การใช้กัมมะถันและ ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การทดสอบคอนกรีตโดยไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้กำลังที่ทดสอบมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่เรียบหรือเอียงเพียง 0.25 มม. อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึงร้อยละ 33 และจะลดลงมากกว่านี้เมื่อเป็นคอนกรีตกำลังสูง กำลังของวัสดุที่ใช้เคลือบหัวคอนกรีตควรเท่ากับหรือใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทดสอบ ผิวเคลือบหัวคอนกรีตควรบางประมาณ 1.5 ถึง 3 มม. ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัด นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบคอนกรีตแข็งตัว เช่น ถ้าวัสดุเคลือบผิวเป็นกัมมะถันควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างต่ำ 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่ จะแตกเสียหายก่อนทำให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

โดยทั่วไปนิยมใช้กัมมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กรณีที่คอนกรีตมีกำลังสูงมากจะใช้การขัดผิวหน้าให้เรียบ กัมมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าไม่ควรนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง เพราะจะมีเศษคอนกรีต ผุ่น และทรายปนกลับมาทำให้คุณภาพของกัมมะถันลดลง นอกจากนี้กัมมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มหลายครั้งจะมีกำลังต่ำลง ดังนั้นจึงควรตรวจสอบว่ากัมมะถันที่ใช้ไม่มีปัญหาดังกล่าว

รายละเอียดของการเคลือบหัวคอนกรีตมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C617 [3] ในการเคลือบด้วยกัมมะถันจะใช้แบบเหล็กผิวเรียบและแท่นสำหรับตั้งคอนกรีตให้ตรงดังแสดงในรูปที่ 2 การเคลือบหัวทำโดยการเทกัมมะถันเหลวซึ่งต้มที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ลงบนแบบเหล็กที่ทาน้ำมันเครื่องบางๆเพื่อป้องกันกัมมะถันติดผิวหน้าแบบเหล็กจากนั้นจึงคว่ำหัวคอนกรีตที่ต้องการเคลือบลงบนกัมมะถันเหลวและให้ตั้งฉากกับผิวหน้าของแบบเหล็ก หลังจากนั้นรอให้กัมมะถันแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 นาที สามารถดึงคอนกรีตที่มีกัมมะถันเคลือบหัวออกมาจากแบบ ส่วนการเคลือบโดยใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงจะใช้แผ่นแก้วทาดด้วยน้ำมันบาง ๆ กดปูนปลาสเตอร์ลงให้เรียบบนผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการเคลือบหัว และเมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวจะสามารถเอาแผ่นแก้วออกได้

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกในการทดสอบกำลังอัดมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กนิยมใช้มาตรฐานตามแบบอเมริกันหรือของ ว.ส.ท. เป็นหลัก แม้ว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกจะเป็นที่นิยมและใช้เป็นมาตรฐานในการคำนวณและออกแบบก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติพบว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีข้อดีหลายอย่าง เช่น คอนกรีตรูปทรงกระบอกใช้คอนกรีตน้อยกว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกจึงมีน้ำหนักเบา (คอนกรีตรูปทรงกระบอกหนักประมาณ 8-8.5 กิโลกรัม ขณะที่คอนกรีตรูปทรงกระบอกหนักประมาณ 12.5-13 กิโลกรัม) สามารถเก็บและปมในน้ำโดยใช้พื้นที่การปมที่น้อยกว่ากรณีของคอนกรีตรูปทรงกระบอก นอกจากนี้ในการทดสอบกำลังอัดยังสามารถใช้วิธีด้านที่เรียบทำการทดสอบได้ทันที แต่ถ้าเป็นคอนกรีตรูปทรงกระบอกต้องหล่อหัวเคลือบหน้าคอนกรีตให้เรียบก่อนทำการทดสอบ ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงขึ้น



รูปที่ 2 อุปกรณ์เคลือบผิวหน้าคอนกรีต และคอนกรีตที่เคลือบผิวแล้ว

อย่างไรก็ตามคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีข้อดีที่มากกว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกหลายประการ เช่น การหล่อและการทดสอบในแนวตั้งเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการเทและรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตในงานจริงโดยทั่วไป ดังนั้นจึงถือว่ามีค่าความเหมือนจริงมากกว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ทิศทางการเทและการทดสอบคอนกรีตจะตั้งฉากกัน นอกจากนี้คอนกรีตรูปทรงกระบอกยังมีผลกระทบจากขนาดของหินน้อยกว่าและการกระจายของหน่วยแรงสม่ำเสมอมากกว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอก เนื่องจากมีผลกระทบของการยึดที่ปลายด้านบนและด้านล่างของคอนกรีตในระหว่างการทดสอบน้อยกว่า

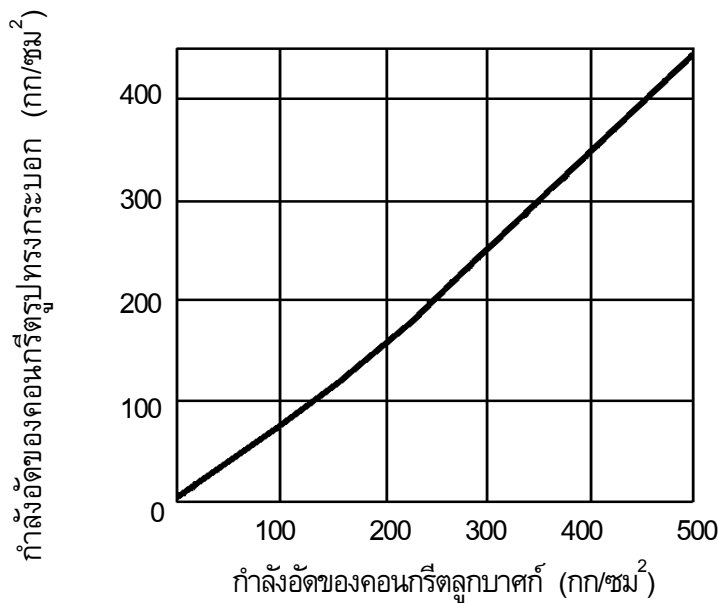
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปทรงกระบอก

คอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปทรงกระบอกให้กำลังอัด (ความเค้น) ต่างกัน กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของรูปทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3 และเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นอัตราส่วนระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกต่อรูปทรงกระบอกมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม กำลังอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมเหมือนกัน ทดสอบที่อายุเดียวกัน จะพบว่ากำลังอัดที่ได้จากรูปทรงกระบอกจะมีค่าสูงกว่ารูปทรงกระบอกเสมอ

ดังนั้นการเลือกใช้ตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบให้ยึดหลักตามมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ เช่น การออกแบบตามมาตรฐานอังกฤษควรใช้คอนกรีตรูปลูกบาศก์ในการทดสอบกำลังอัด และหากใช้ตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือมาตรฐานอเมริกันในการออกแบบ ก็ควรใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอก เป็นต้น และสิ่งที่ควรระมัดระวังก็คือ การเลือกใช้ตัวอย่างในการออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกแต่มีการเก็บตัวอย่างที่ทดสอบเป็นรูปลูกบาศก์ ซึ่งผลที่ได้หากไม่ทำการแปลงผลกำลังอัดที่ทดสอบในรูปลูกบาศก์ให้กลับมาเป็นกำลังอัดในรูปลูกบาศก์ จะทำให้กำลังอัดที่ได้มีค่าต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้เห็นภาพดังกล่าวขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

งานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้นหลังหนึ่ง วิศวกรได้ออกแบบโดยใช้ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง, มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 [4] โดยกำหนดให้ใช้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 เท่ากับ 300 กก/ซม² ซึ่งในงานก่อสร้างดังกล่าว ผู้รับเหมาได้เก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 15 ซม. และทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วันได้เท่ากับ 310 กก/ซม²

หากดูผลทดสอบกำลังอัดจะพบว่าผลการทดสอบดังกล่าวน่าจะผ่านได้เพราะมีผลการทดสอบที่อายุ 28 วันที่สูงกว่า 300 กก/ซม² แต่เนื่องจากการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008 ต้องใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ซึ่งเมื่อแปลงค่าตามเส้นกราฟในรูปที่ 3 แล้วจะพบว่ามีกำลังอัดเท่ากับ 260 กก/ซม² ซึ่งยังต่ำกว่า 300 กก/ซม² ที่ต้องการพอสมควร



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปลูกบาศก์

บรรณานุกรม

1. British Standard Institute, BS 1881: Part 108, Method of Making Test Cube from Fresh Concrete, London, 1983.
2. American Society for Testing and Materials, ASTM C192/C192 M-00: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 120-127.
3. American Society for Testing and Materials, ASTM C617-98: Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 305-309.
4. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง, มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2538
5. คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ในคณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, มาตรฐาน ว.ส.ท. 1014-40, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2540