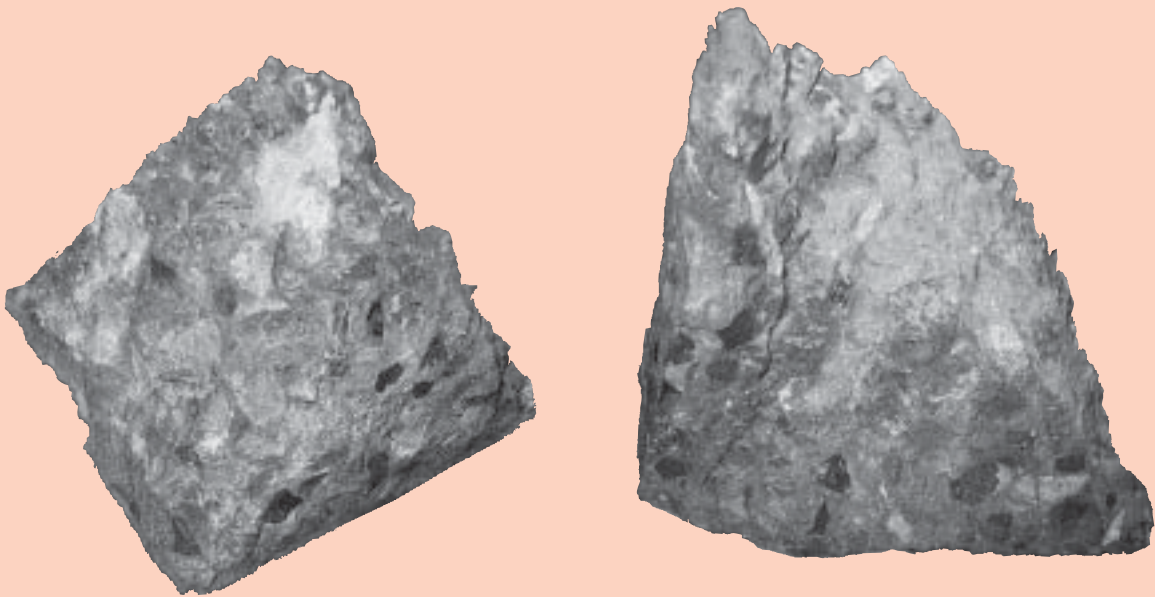


กำลังอัดของคอนกรีต

บทที่

15



รูปที่ 15-1 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงรูปทรงลูกบาศก์ 3

บทคัดย่อ

คุณสมบัติของคอนกรีตสดจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น โดยทั่วไปคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านกำลังของคอนกรีต มักได้รับการพิจารณาว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องกำลังอัดของคอนกรีตเท่านั้น

กำลังอัดของคอนกรีต หมายถึง ความสามารถของคอนกรีตในการต้านทานต่อหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการพังทลาย การพังทลายนี้ ได้แก่ รอยแตกร้าวที่ปรากฏ กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ กำลังของมอร์ตาร์, กำลังของมวลรวมทราย, และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมทราย

การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่าคอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ โดยต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต และความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ นอกจากนี้ความผันแปรของค่ากำลังอัดนี้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย



15.1 บทนำ

คุณสมบัติของคอนกรีตจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วซึ่งมีหลายคุณสมบัติด้วยกัน เช่น กำลัง ความคงทน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เป็นต้น จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การทำให้ได้คอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีคุณสมบัติดีนั้น จะต้องมาจากการเลือกใช้วัสดุและส่วนผสมคอนกรีต ตลอดจนการทำคอนกรีตที่ถูกต้องขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

โดยทั่วไปคุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วในด้านกำลังของคอนกรีตมักได้รับการพิจารณาว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด แม้ว่าในบางครั้งคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความคงทน และความชื้นน้ำ อาจมีความสำคัญมากกว่าก็ตาม โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องกำลังอัดของคอนกรีตเท่านั้น ส่วนคุณสมบัติด้านกำลังอื่น ๆ จะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป

15.2 รรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) หมายถึง ความสามารถของคอนกรีตในการต้านทานต่อหน่วยแรงอัด (Compressive Stress) ที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการพังทลาย (Failure) การพังทลายนี้ ได้แก่ รอยแตกกว้างที่ปรากฏ

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1. กำลังของมอร์ตาร์
2. กำลังของมวลรวมหยาบ
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

1. กำลังของมอร์ตาร์

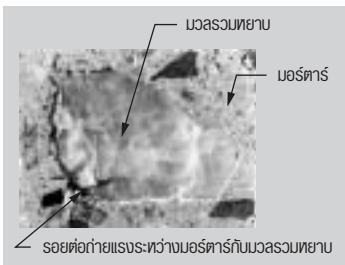
กำลังของมอร์ตาร์มีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ตาร์นี้ขึ้นอยู่กับ ความพรุนภายในเนื้อมอร์ตาร์, อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์, และระดับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Degree of Hydration) แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดผล, ปริมาณ, กำลัง, ลักษณะผิว, ขนาดโตสุด, การดูดซึม, และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดิ่งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังดิ่งต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2. กำลังของมวลรวมหยาบ

เมื่อกำหนดกำลังของมอร์ตาร์ ความสามารถต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของมวลรวมหยาบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ



รูปที่ 15-2 กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ กำลังของมอร์ตาร์, กำลังของมวลรวมหยาบ, แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

คอนกรีตโดยทั่วไปกำลังของมวลรวมหยาบจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ตาร์ ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวม จึงเป็นตัวควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีต

กรณีคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งมีกำลังของมอร์ตาร์สูงมาก กำลังของมวลรวมหยาบจะเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้มวลรวมหยาบขนาดใหญ่ขึ้น เพราะจะก่อให้เกิดน้ำได้มวลรวมหยาบมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบลดลง

ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมหยาบในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้มวลรวมหยาบที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

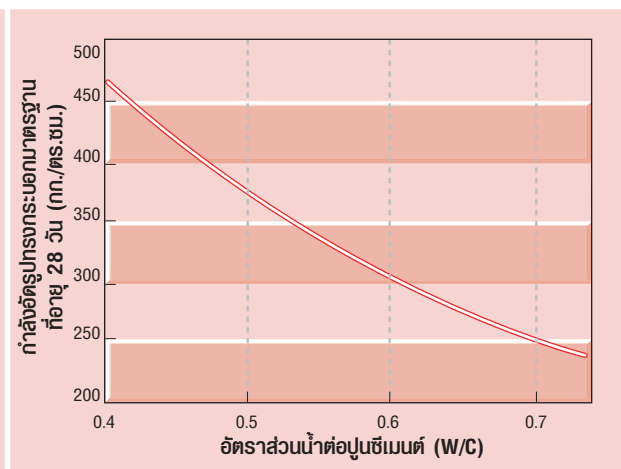
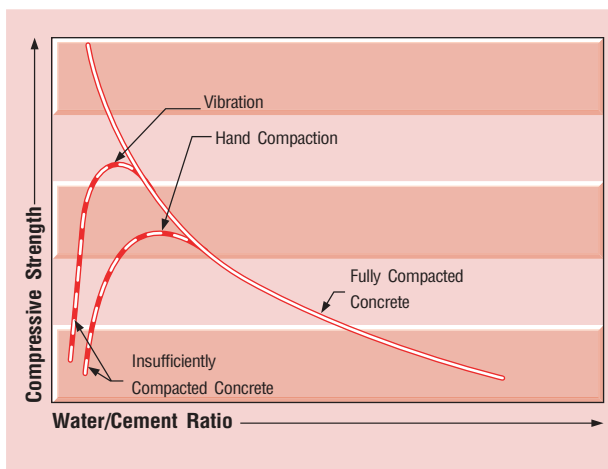
แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางในการหล่อและทิศทางในการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดึงมากกว่ากำลังอัด ด้วยเหตุผลที่ว่าจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบต่ำลง

15.3 หลักการและเหตุผลทางทฤษฎีที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

● อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to Cement Ratio)

กำลังของคอนกรีตที่แต่ละอายุที่บ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิตามที่กำหนด ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และระดับของการอัดแน่นคอนกรีต



ก) ผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และการอัดแน่นที่มีต่อกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 15-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) และกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



Duff Abrams (พ.ศ. 2461) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีต พบว่า เมื่อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์ (มีช่องว่างอากาศ หรือ Air Voids ประมาณ 1%) กำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำมากเกินไป (อาจมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมากกว่า 530 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้เนื่องจากการอัดแน่นคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ทำได้ยากขึ้น และปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังอาจมีสาเหตุจากการหดตัวที่สูงจนเกิดการแตกร้าวขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมลดลง กำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงด้วย

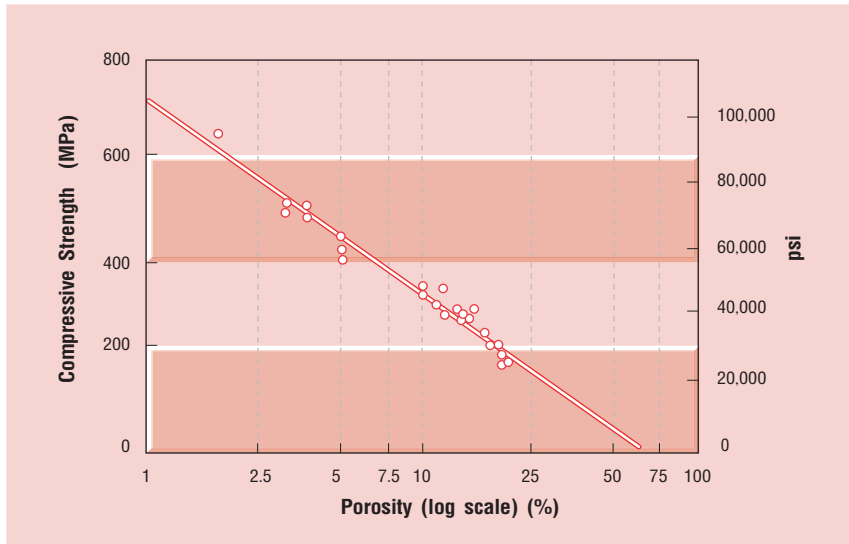
โดยทั่วไป อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตกำลังสูง มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 - 0.40

● อัตราส่วน Gel/Space Ratio และความพรุน (Porosity)

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่ได้เป็นตัวกำหนดกำลังอย่างถูกต้องมากเพียงพอ ทั้งนี้เพราะกำลังของคอนกรีตที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชัน, คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์, อุณหภูมิในขณะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน, ปริมาณอากาศในคอนกรีต, การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำประสิทธิผลต่อปูนซีเมนต์, การเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการยึด, ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม, และคุณสมบัติของรอยต่อถ่ายแรงระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ (หรือซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม)

ความพรุน (Porosity) ขององค์ประกอบของคอนกรีตทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์, มวลรวม, และรอยต่อถ่ายแรงระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม (Transition Zone) คือ ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตกำลังสูงมากที่สุด กล่าวคือ กำลังของคอนกรีตมีผลกระทบมาจากปริมาตรช่องว่างทั้งหมดในคอนกรีต ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ ได้แก่ ช่องว่างอากาศขนาดใหญ่ที่ถูกกักในคอนกรีต (Entrapped Air Voids), โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores), โพรงเจล (Gel Pores), และอากาศที่ถูกกักกระจายในคอนกรีต (Entrained Air)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเข้มข้นของผลผลิตของแข็งจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ในช่องว่างในคอนกรีต หรืออัตราส่วน Gel/Space Ratio หรือใช้ในรูปแบบของความพรุน (Porosity) จึงน่าจะถูกต้องในทางทฤษฎีมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ แต่เพราะมีความซับซ้อนมากกว่า การประยุกต์ใช้งานจริงจึงยังคงนิยมใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและการควบคุมการผลิตคอนกรีตให้มียังกำลังอัดและคุณสมบัติอื่น ๆ ตามต้องการ



รูปที่ 15-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของซีเมนต์เพสต์

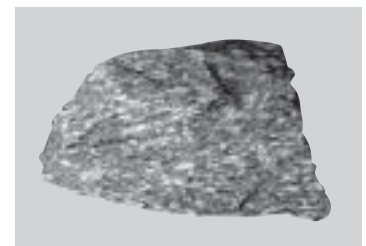
15.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่สำคัญ ได้แก่

1. คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

1.1 ปูนซีเมนต์ : เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วย กล่าวคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

1.2 มวลรวม : มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นกรณีคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีกำลังของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าคอนกรีตทั่วไปมวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่ากรวดซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่าเทียมกัน ดังนั้นคอนกรีตโดยทั่วไปที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดผลของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดผลไม่เหมาะสม กล่าวคือ มีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนผลที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่าเทียมกัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน



ก) หินย่อย



ข) กรวด

รูปที่ 15-5 โดยทั่วไปคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบ จะให้กำลังอัดสูงกว่าที่ใช้กรวดซึ่งมีผิวเรียบ



- 1.3 **น้ำ** : มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใสและปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น
- 1.4 **สารผสมเพิ่ม** : ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำ และสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อควบคุมให้มีค่ายุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตโดยทั่วไปที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้การใช้แร่ผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตแตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มชนิดนั้น ๆ เช่น ซิลิกาฟุ่ม จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้นไป จึงนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

2. ส่วนผสมคอนกรีต

มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า

3. การทำคอนกรีต

- 3.1 **การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต** : หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้
- 3.2 **การผสมคอนกรีต** : การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึงจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้
- 3.3 **การลำเลียง, การเท, และการอัดแน่นคอนกรีต** : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูพรองขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้

4. การบ่มคอนกรีต

- 4.1 **ความชื้น** : จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทรายใดที่ยังคงมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะมีกำลังเพิ่มอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที ในทางปฏิบัติเราควรจะบ่มคอนกรีตให้นานที่สุด ส่วนการบ่มในห้องปฏิบัติการ มักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

4.2 อุณหภูมิ : ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนา
กำลังเร็วกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

4.3 เวลาที่ใช้ในการบ่ม : ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้สั้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่ง
นานเท่าใด ก็จะได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

5. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำในรูปของ
การชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก่อนตัวอย่าง โดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทน
ของคอนกรีตที่หล่อเป็นโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบ
ตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

5.1 รูปร่างและขนาดของตัวอย่างคอนกรีต : การใช้แท่งคอนกรีตที่ต่างรูปร่าง
หรือต่างขนาดกัน จะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่างกัน
ด้วย ดังแสดงใน ตารางที่ 15-1



รูปที่ 15-6 การบ่มคอนกรีตเป็นอีก
หนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังอัดของ
คอนกรีต

ขนาด (เซนติเมตร)	กำลังอัดสัมพัทธ์ %
7.5	106
10	104
15	100
20	95
25	92



ขนาด (เซนติเมตร)		กำลังอัดสัมพัทธ์ %
เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง	
5.0	10	109
7.5	15	106
15	30	100
20	40	97
30	60	91
45	90	87
60	120	84
90	180	82

ก) ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ข) ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 15-1 ผลของรูปร่างและขนาดของตัวอย่างคอนกรีตที่มีต่อกำลังอัด

นอกจากนี้ อัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
ทดสอบคอนกรีต จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน ดังแสดงใน ตาราง
ที่ 15-2

5.2 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต : ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการอัดแน่นด้วยวิธี
การกระทุ้งด้วยเหล็ก จะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าวิธีการใช้เครื่องจีเซี่ย

5.3 ความชื้นในตัวอย่างคอนกรีต : ในขณะที่จะทำการทดสอบ ถ้าหากแท่ง
ทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า

5.4 อัตราการกด : ในการทดสอบกำลังอัด ถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้กำลัง
อัดของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามมาตรฐานที่กำหนด
ไว้ ตารางที่ 15-3 แสดงผลของอัตราการกดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตต่อ
กำลังอัด

อัตราส่วนความสูงต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ ของกำลังอัด
มาตรฐาน	
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

ตารางที่ 15-2 ค่าปรับแก้ของกำลังอัด
เนื่องจากผลของอัตราส่วนความสูงต่อ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
คอนกรีตรูปทรงกระบอก

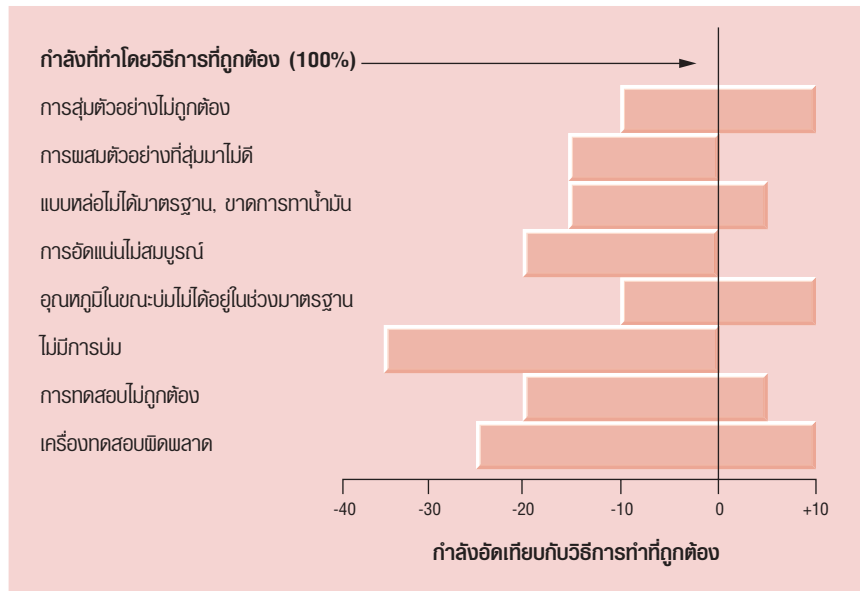


อัตราการกด	เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัด
มาตรฐาน	
2 นาที	100
10 นาที	95
30 นาที	92
1 ชั่วโมง	90
4 ชั่วโมง	88
100 วัน	78
1 ปี	77
3 ปี	73
30 ปี	69

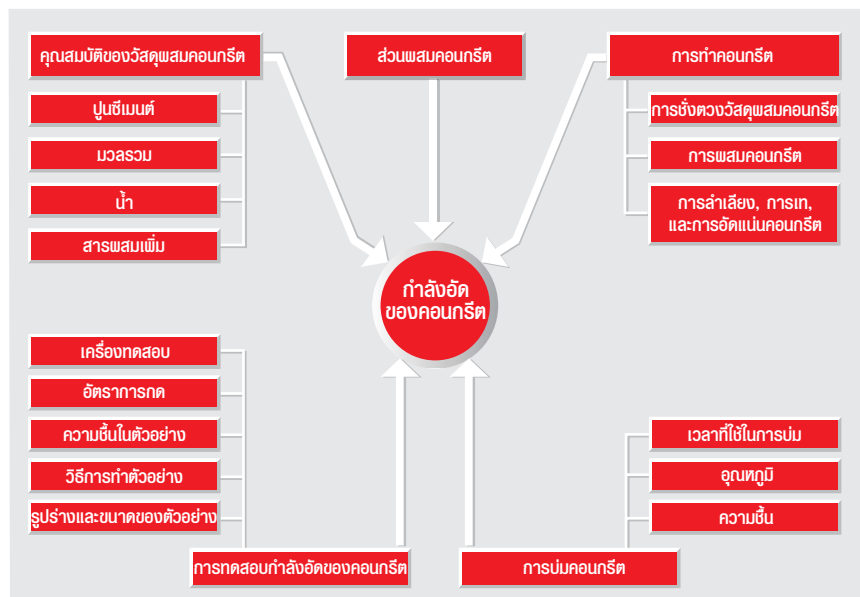
ตารางที่ 15-3 ผลของอัตราการกดตัวอย่างคอนกรีตที่มีต่อกำลังอัด

5.5 เครื่องทดสอบ : หน้าหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง จึงจะให้กำลังอัดที่ถูกต้อง ซึ่งจะเกิดได้ดังนี้

- ก้อนตัวอย่างต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
- แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต



รูปที่ 15-7 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผันแปรเนื่องจากการทำและการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 15-8 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

15.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต รูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานที่หล่อขึ้นมาเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรง คือ

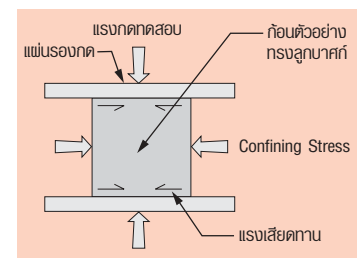
1. รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของอังกฤษ [BS EN 12390-1, BS EN 12390-2, BS EN 12390-3, BS EN 12390-4] ขนาดที่ใช้คือขนาด 15 เซนติเมตร
2. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา [ASTM C 39, ASTM C 192] ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่าของรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

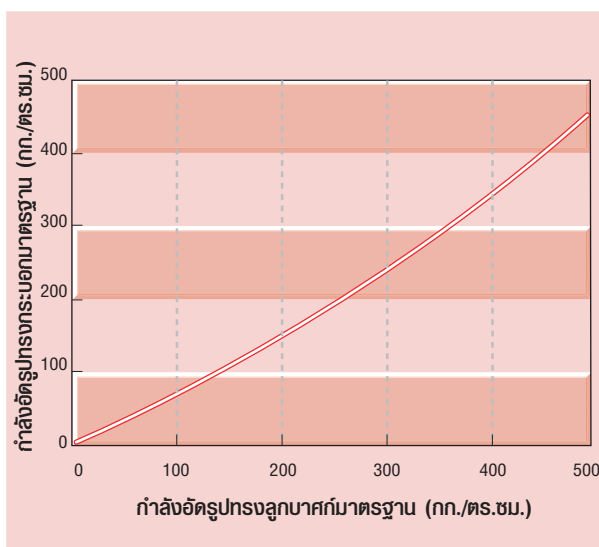
1. แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง
2. องค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีตของ วสท. ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดัง **รูปที่ 15-10**

นอกจากนี้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213 ได้เสนอชั้นคุณภาพคอนกรีต และกำลังอัดของ 2 รูปทรงไว้ ดัง **ตารางที่ 15-4**



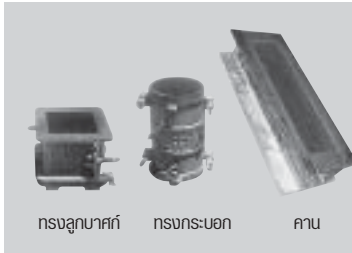
รูปที่ 15-9 แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์กับแผ่นรองกด ซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้าง (Confining Stress)



รูปที่ 15-10 การแปลงค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน เป็นกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

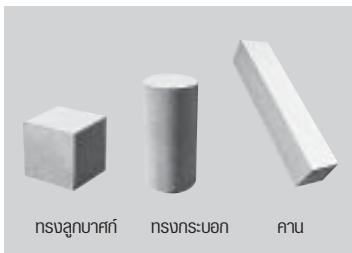
ชั้นคุณภาพ	การต้านแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	รูปทรงลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร	รูปทรงกระบอก φ 15 x 30 เซนติเมตร
C 10/8	100	80
C 12.5/10	125	100
C 15/12	150	120
C 20/15	200	150
C 25/20	250	200
C 30/25	300	250
C 35/30	350	300
C 40/35	400	350
C 45/40	450	400

ตารางที่ 15-4 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ตาม มอก. 213



ทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก คาน

ก) แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต



ทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก คาน

ข) ก้อนตัวอย่างคอนกรีต

รูปที่ 15-11 แบบหล่อและก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์, รูปทรงกระบอก, และรูปคาน

15.6 การทำตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้

โดยทั่วไป ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
3. ตัวอย่างคอนกรีตรูปคานขนาด 15 X 15 X 60 เซนติเมตร

(วิธีการทำตัวอย่างรูปคานและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป)

15.6.1 การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดรูปร่างและขนาดของตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 1

Testing hardened concrete

Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดการทำและการบ่มตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 2

Testing hardened concrete

Making and curing specimens for strength tests

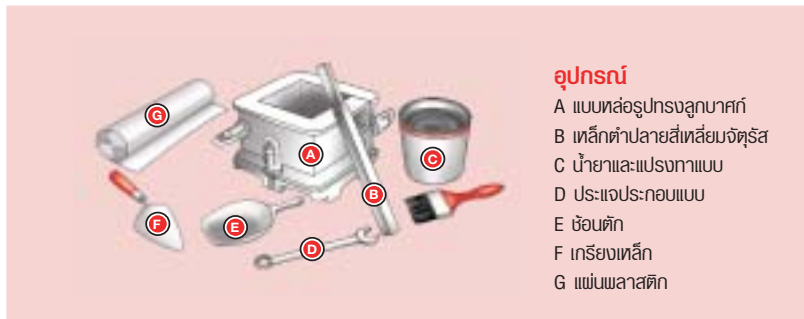
- ขอบข่าย

ส่วนหนึ่งของทั้งสองมาตรฐานนี้ ได้กำหนดรูปร่าง ขนาด และค่าคลาดเคลื่อนของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่หล่อในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์และกำหนดวิธีการทำตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลัง โดยครอบคลุมการจัดเตรียมและการใส่คอนกรีตสดในแบบหล่อ, การอัดแน่นคอนกรีต, การปรับระดับผิว, และการบ่มตัวอย่างทดสอบ

- อุปกรณ์

1. แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. เหล็กดำ หนาตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3. น้ำยาและแปรงทาแบบ
4. ประแจประกอบแบบ

5. ช้อนตัก
6. เกรียงเหล็ก
7. แผ่นพลาสติก



อุปกรณ์

- A แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์
- B เหล็กดำปลายสีเหลี่ยมจัตุรัส
- C น้ำยาและแปรังกาแบบ
- D ประแจประกอบแบบ
- E ช้อนตัก
- F เกรียงเหล็ก
- G แผ่นพลาสติก

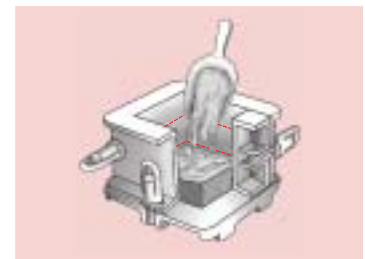
รูปที่ 15-12 อุปกรณ์ทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

● วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน โดยประมาณ แต่ละชั้น ต่ำด้วยเหล็กต๋า 35 ที
3. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมไว้ เพื่อป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 16 - 24 ชั่วโมง (ระยะเวลาถอดแบบหล่อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการก่อตัวของคอนกรีต) หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น
5. จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไป จะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน (อายุคอนกรีตที่จะทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานคอนกรีตเป็นสำคัญ) เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้งซึ่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป



ก) ทำความสะอาดแบบหล่อ และทาน้ำมันภายในแบบให้ทั่ว



ข) ตักคอนกรีตใส่แบบ 3 ชั้น ให้มีปริมาตรแต่ละชั้นเท่า ๆ กัน



ค) แต่ละชั้นต๋า 35 ครั้ง



ง) ปาดผิวหน้าให้เรียบ



จ) คลุมด้วยแผ่นพลาสติกไว้เพื่อบ่มคอนกรีตในช่วงที่กำลังแข็งตัว



ฉ) ถอดแบบออก เขียนรายละเอียดของก้อนปูน แล้วนำไปบ่มในน้ำ

รูปที่ 15-13 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์



ก) ทำความสะอาดแบบหล่อ และทำนํ้ายาทาแบบให้ทั่ว



ข) ตักคอนกรีตใส่แบบ 3 ชั้น ให้มีปริมาณแต่ละชั้นเท่า ๆ กันแต่ละชั้นตํ่า 25 ครั้ง



ค) ปาดผิวหน้าให้เรียบ



ง) คลุมด้วยแผ่นพลาสติกไว้ เพื่อบ่มคอนกรีตในช่วงที่กำลังแข็งตัว



จ) ถอดแบบออก เขียนรายละเอียดของก้อนปูน แล้วนำไปบ่มในนํ้า

รูปที่ 15-15 วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

15.6.2 การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

- มาตรฐานที่ใช้
ASTM C 192
Standard Practice for
Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

● ขอบข่าย
ส่วนหนึ่งของข้อปฏิบัตินี้ครอบคลุมวิธีการทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมวัสดุและสภาพการทดสอบที่ถูกต้อง

- อุปกรณ์
 1. แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
 2. เหล็กตํ่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร ปลายกลมมน
 3. นํ้ายาและแปรงทาแบบ
 4. ประแจประกอบแบบ
 5. ช้อนตัก
 6. เครื่องเหล็ก
 7. แผ่นพลาสติก



รูปที่ 15-14 อุปกรณ์ทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

- วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต
 1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต แล้วทํานํ้ามันที่ผิวภายในทุกด้าน
 2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน โดยประมาณ แต่ละชั้นตํ่าด้วยเหล็กตํ่า 25 ที
 3. เมื่อตํ่าชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
 4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมไว้ เพื่อป้องกันนํ้าระเหยออก ทิ้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 16 - 24 ชั่วโมง (ระยะเวลาถอด

แบบหล่อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการก่อตัวของคอนกรีต) หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลข ตัวอย่าง เป็นต้น

- จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไป จะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน (อายุคอนกรีตที่จะทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานคอนกรีตเป็นสำคัญ) เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนัก ทำการ Cap ก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านด้วยก้ามะถันเสียก่อนวัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป

- **วัตถุประสงค์ของการ Cap ตัวอย่างรูปทรงกระบอก**

1. เพื่อให้ผิวทั้ง 2 ด้าน ของตัวอย่างเรียบ
2. เพื่อให้แนวแกนของแท่งตัวอย่างตั้งได้ฉากกับแนวราบ หลังจาก Cap เสร็จเรียบร้อย และก้ามะถันแห้งดีแล้ว ก็สามารถนำก้อนตัวอย่างเข้าทดสอบได้

15.6.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

- **มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์**

BS EN 12390 Part 3

Testing hardened concrete

Compressive strength of test specimens

- **มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างรูปทรงกระบอก**

ASTM C 39

Standard Test Method for

Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

- **ข้อบ่งชี้**

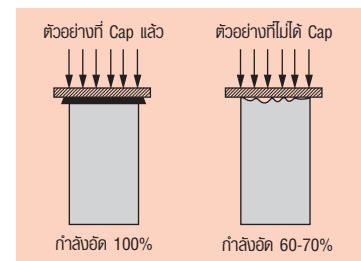
วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมการหาล้างอัดของตัวอย่างคอนกรีต

- **วิธีการทดสอบ**

1. นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
2. เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4 - 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
3. กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
4. นำค่าน้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดเฉลี่ย

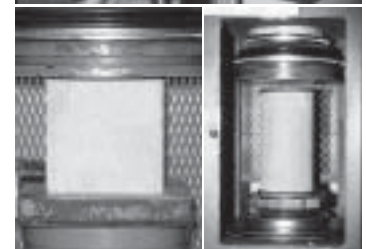


ก) ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่ Cap แล้ว



ข) การเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างก้อนตัวอย่างที่ Cap และไม่ Cap หัว

รูปที่ 15-16 ตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ Cap แล้ว



รูปที่ 15-17 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



● การคำนวณ

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²)

15.7 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้างก็คือ เพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่มวลที่เกิดจากการผสมของวัสดุจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสม และแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ วัสดุผสม, ส่วนผสม, การผสม, การลำเลียง, การเท, การอัดแน่น, การแต่งผิวหน้า, และการบ่ม นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้วคุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้

เนื่องจากวิธีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัตินั้น ๆ อีกด้วย เช่น การสุ่มตัวอย่างคอนกรีตสด, การทำตัวอย่าง, การบ่มตัวอย่าง, และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน และความผันแปรของค่ากำลังอัดนี้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการกำหนดขอบเขตและการควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีต และการทดสอบคอนกรีตด้วย

● ความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัสดุผสม กระบวนการผลิต และกระบวนการทดสอบ ซึ่งเมื่อสรุปจะได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต มีค่าผันแปรอันเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการดังสรุปไว้ใน ตารางที่ 15-5 ได้แก่

1. ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต (หรือความผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต)
2. ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ (หรือความผันแปรเนื่องจากการทดสอบ)

ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต	ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ
<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ - ความผันแปรของคุณภาพวัสดุและส่วนผสมคอนกรีต 	<ul style="list-style-type: none"> - วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม - วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ถูกต้อง - วิธีการบ่มไม่ถูกต้อง - วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี

ตารางที่ 15-5 สรุปความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



ก) การวัดขนาดของแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์



ข) การตรวจสอบมุมฉากของแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์



ค) การวัดขนาดของแบบหล่อรูปทรงกระบอก

รูปที่ 15-18 การตรวจสอบรูปร่างและขนาดของแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตว่าได้มาตรฐานหรือไม่ เพื่อลดความผันแปรของกำลังอัดที่เกิดจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ

● การประเมินผล

1. การประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต : ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับระดับการควบคุม สรุปได้ดัง ตารางที่ 15-6
2. การประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ : ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรกับระดับการควบคุม สรุปได้ดัง ตารางที่ 15-7

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมกระบวนการผลิต
น้อยกว่า 28	ดีเลิศ
28 - < 35	ดีมาก
35 - < 42	ดี
42 - < 49	พอใช้
มากกว่า 49	ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 15-6 เกณฑ์ในการประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต

สัมประสิทธิ์ความผันแปร (กก./ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ
น้อยกว่า 3.0	ดีเลิศ
3.0 - < 4.0	ดีมาก
4.0 - < 5.0	ดี
5.0 - < 6.0	พอใช้
มากกว่า 6.0	ต้องปรับปรุง

โรงงาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ ตร.ซม.)	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%)
A	42	7.0
B	33	5.0
C	55	3.0

ก) ตัวอย่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร

โรงงาน	ระดับการควบคุมกระบวนการผลิต	ระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ
A	พอใช้	ต้องปรับปรุง
B	ดีมาก	พอใช้
C	ต้องปรับปรุง	ดีมาก

ข) ตัวอย่างการประเมินผลในรูปของระดับการควบคุมกระบวนการผลิตและระดับการควบคุมกระบวนการควบคุมคุณภาพ

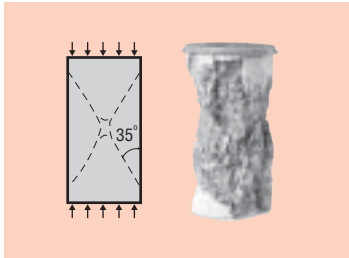
ตารางที่ 15-7 เกณฑ์ในการประเมินผลความผันแปรเนื่องจากกระบวนการควบคุมคุณภาพ

ตารางที่ 15-8 ตัวอย่างการประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตของโรงงานผลิตคอนกรีตทั้ง 3 แห่ง

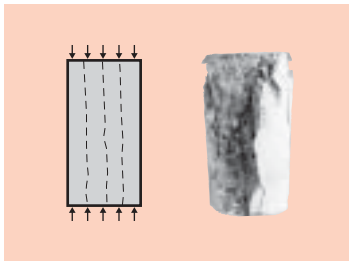
15.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 15-19 ก) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ $45^\circ - \phi/2$ เมื่อ ϕ เป็นมุมของความเสียดทานภายในของคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ 20° ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเอียงประมาณ 35° ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง อาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ดังรูปที่ 15-19 ข) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดัง รูปที่ 15-19 ค)

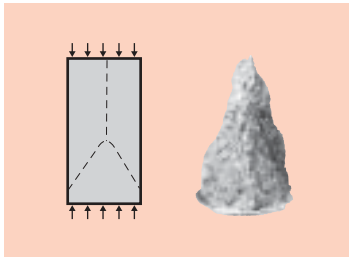
ส่วนลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องจะแตกเป็นรูปปริมาตร ดังแสดงใน รูปที่ 15-20



ก) Shear or Cone Failure

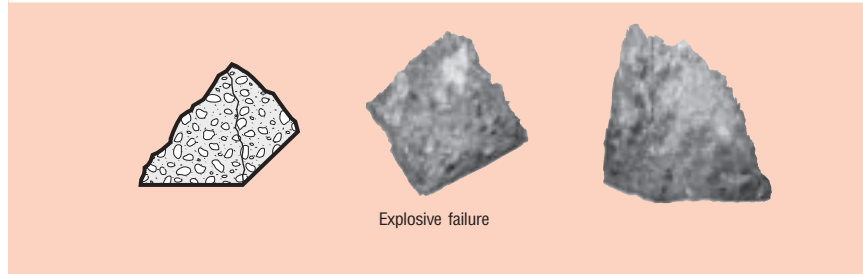


ข) Splitting or Columnar Failure



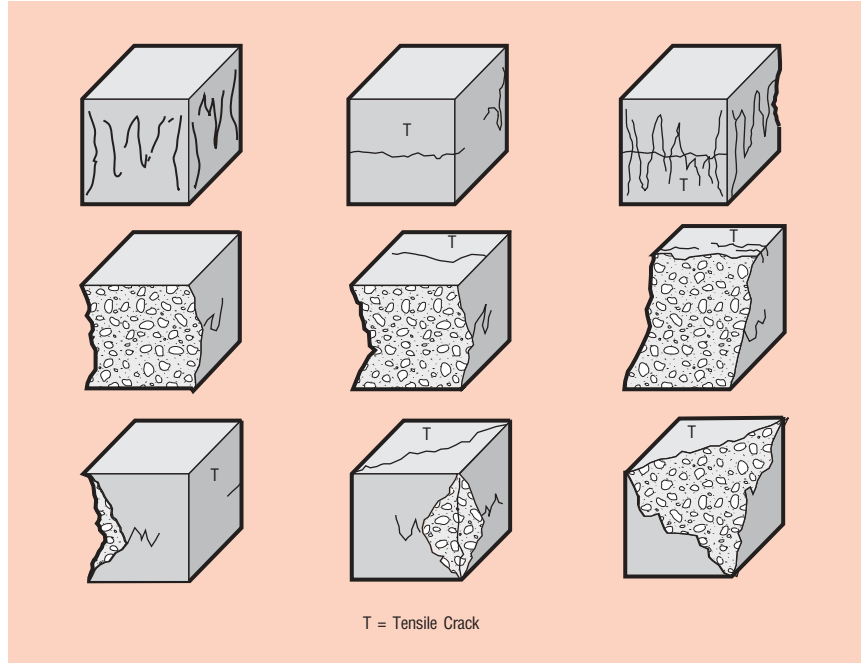
ค) Combination Shear and Splitting Failure

รูปที่ 15-19 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก



Explosive failure

ก) ลักษณะการแตกที่ถูกต้อง



T = Tensile Crack

ข) ลักษณะการแตกที่ไม่ถูกต้อง

รูปที่ 15-20 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

มาตรฐานอ้างอิง

- มอก. 213-2520 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ
- มอก. 409-2525 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
- E.I.T.Standard 1014-46 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ASTM C 39 : 2004 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C 192 : 2002 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- BS EN 12390-1 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds
- BS EN 12390-2 : 2000 : Testing hardened concrete---Part 2: Making and curing specimens for strength tests
- BS EN 12390-3 : 2002 : Testing hardened concrete---Part 3: Compressive strength of test specimens
- BS EN 12390-4 : 2002 : Testing hardened concrete---Part 4: Compressive strength---Specification for testing machines

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร์, “คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- 2 บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, “คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต”, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, 2543.
- 3 อิทธิพร ศิริสวัสดิ์ และคณะนักวิจัย, “เทคนิคและวิธีการทำคอนกรีตกำลังอัดสูงที่อายุ 1 วัน”, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์), โครงการแข่งขันทำคอนกรีตกำลังอัดสูง คอนกรีตพลังช้าง, 2546.
- 4 เอกสารวิชาการของคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2545.
- 5 A. M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1999.