

อิทธิพลและดัชนีวัดผลของวิธีการบ่มที่แตกต่างกันต่อ
กำลังอัดของคอนกรีตทั่วไป

EFFECT AND CURING SENSITIVITY INDEX OF
DIFFERENT CURING METHODS ON COMPRESSIVE STRENGTH
OF NORMAL CONCRETE

สทธิพงษ์ วงศ์สง่า^{1*} สุภาวดี เสริมรัมย์² ชาว์วัตติ ดงกลาง³ นันทเชษฐ์ ชัยทิพย์⁴
และ ประสบโชค เปื่อยหนองแ้ง⁵

^{1*, 2, 3, 4, 5} สาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
จ.นครราชสีมา 30000

Sathitphong Wongsanga^{1*}, Supawadee Sermram², Chaowat Dongklang³, Nantachet Chitip⁴
and Prasobchonk Puaynongkhae⁵

^{1*, 2, 3, 4, 5} Department of Construction Technology, Faculty of Industrial Technology,
NakhonRatchasimaRajabhat University, NakhonRatchasima 30000

*E-mail: w_sathitphong@hotmail.com

Received: 2018-05-30

Revised: 2019-01-30

Accepted: 2019-04-01

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลและดัชนีวัดผลของวิธีการบ่มที่แตกต่างกันต่อกำลังอัดของคอนกรีตทั่วไป โดยออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.67 ซึ่งตัวอย่างในการทดลองได้ถูกบ่มโดยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี ได้แก่ (บ่มน้ำ บ่มกระสอบ บ่มทราย บ่มน้ำยา และบ่มอากาศ) หลังจากนั้นทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

จากผลการทดลองพบว่า การบ่มมีอิทธิพลต่อการพัฒนา กำลังอัดคอนกรีตอย่างมาก โดยสามารถเรียงลำดับวิธีการบ่มที่ให้กำลังอัดสูงสุดไปหาต่ำสุดดังนี้ คือ การบ่มน้ำ การบ่มกระสอบเปียก การบ่มทรายชุ่ม การบ่มน้ำยา และการบ่มอากาศ โดยค่าดัชนีวัดผลวิธีของการบ่ม (Curing Sensitivity Index, CSI) การบ่มน้ำและการบ่มกระสอบเปียกมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่การบ่มอากาศมีค่ามากที่สุด และสามารถหาค่าพารามิเตอร์ตัวคูณของแต่ละวิธีการบ่ม ได้จาก

เส้นสมการลอการิทึม (logarithm) ในรูป $Y = A \ln(x) + B$ โดยมีค่าผันแปรของตัวแปร R-Squared (R^2) สูงอยู่ในช่วง 0.842-0.998 ซึ่งหมายถึงสมการที่ใช้มีความเหมาะสมกับข้อมูล

คำสำคัญ: การบ่ม กำลังอัด ดัชนีวัดผลของการบ่ม พารามิเตอร์ตัวคูณ ลอการิทึม

ABSTRACT

This research was to study the effects and Curing Sensitivity Index (CSI) of different curing methods for compressive strength of normal concrete, which the water-cement ratio was designed to 0.45 0.57 and 0.67. The specimens of experimental were cured by six different curing methods. The curing regime employed were: water-submerged, burlap curing, moist sand curing, spray curing and air curing. After that, it was tested for compressive strength at 7 14 and 28 days.

The results showed that curing influenced the development of compressive strength of concrete. The curing method can be sorted from maximum to the minimum of compressive strength of concrete as follows: water-submerged, burlap curing, moist sand curing, spray curing and air curing. The Curing Sensitivity Index (CSI) of water-submerged and burlap curing were the least, while the air curing method is most valuable. The multiplication parameters of each curing method can be determined. From the equation of the logarithm of $Y = A \ln(x) + B$, the variance of the R-Squared (R^2) variable is high value in the rang 0.842 - 0.998 , which means that the equation used is suitable for the data.

Keywords: Curing, Compressive strength, Curing sensitivity index, Multiple parameter, Logarithm

บทนำ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปนิยมใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก และเป็นวัสดุที่ใช้งานมาอย่างยาวนานในการก่อสร้าง ซึ่งในปัจจุบันยังคงพบปัญหาหลาย ๆ ด้านในด้านคุณสมบัติทางกล และด้านความคงทน และปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาดังกล่าว อาจเกิดจากการบ่มคอนกรีตที่ไม่ดีเพียงพอ ทำให้การพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตไม่สมบูรณ์เกิดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแห้ง ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในกำลังอัด และมีอายุการใช้งานลดลง ซึ่งในการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตต้องการน้ำสำหรับทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตจึงพยายามที่จะให้น้ำให้เพียงพอกับการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์เท่านั้น แต่ถ้ามีน้ำในส่วนผสม

มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตเกิดช่องว่างในโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์มากและกำลังอัดจะลดลง และถ้าผสมน้ำน้อยเกินไป หรืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า 0.45 ถึง 0.50 คอนกรีตจะใช้น้ำจนแห้งเรียกว่า “การแห้งตัว” (self-desiccation) ดังนั้นจึงต้องมีการบ่มคอนกรีตเพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนากำลังของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ โดยการป้องกันการสูญเสียน้ำเพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนากำลังของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างเต็มที่เมื่อคอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวแล้ว (Chindaprasirt&Jaturapitukkul,2008) โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Wood,1992) พบว่าการบ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 20 ปี ซึ่งสอดคล้องกับ (Neville, 2011) ที่กล่าวว่า การบ่มคือกระบวนการที่ทำให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างสมบูรณ์ และควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และจากงานวิจัยของ (Rasheed, 2017) พบว่าวิธีการบ่มด้วยน้ำมีกำลังรับแรงอัดความหนาแน่นสูงสุดโดยมีการดูดซึมน้ำต่ำสุดรองลงมาคือ การบ่มหุ้มด้วยพลาสติก และการบ่มอากาศ และยังพบอีกว่าผลการทดลองที่ดีที่สุดคือการบ่มด้วยน้ำที่อุณหภูมิการบ่ม 60 องศาเซลเซียส สำหรับงานวิจัยของ (Ogah, 2016) ได้ศึกษาผลกระทบของวิธีการบ่มต่อกำลังอัดคอนกรีตที่ 28 วัน ได้แก่ การบ่มน้ำบ่มกระสอบ และบ่มหุ้มด้วยพลาสติก พบว่ามีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 29.7 26.8 และ 24.7 N/mm² ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตอย่างมาก ซึ่งการบ่มที่สามารถพัฒนาได้สูงสุดจะเป็นการบ่มที่ต้องให้ความชื้นต่อตัวอย่างการทดสอบอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นมาตรฐาน ACI 308 ได้กำหนดมาตรฐานในการบ่มน้ำของคอนกรีตอย่างน้อยเป็นเวลา 7 วัน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 ควรบ่มขึ้นคอนกรีตอย่างน้อยเป็นเวลา 3 วัน และคอนกรีตประเภทที่ 5 ควรบ่มขึ้นอย่างน้อยเป็นเวลา 14 วัน แม้ในการทำงานจะมีการกำหนดมาตรฐานในการบ่มแล้ว แต่ในงานก่อสร้างจริงพบว่าการบ่มคอนกรีตก็ยังไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ เช่น ปัญหาสภาพอากาศที่เป็นเมืองร้อน การควบคุมงานที่สภาพแตกต่างจากห้องปฏิบัติการซึ่งทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลและดัชนีวัดผลของวิธีการบ่มที่แตกต่างกันต่อกำลังของคอนกรีตทั่วไปและสร้างสมการตัวคูณของวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการบ่มที่วิธีแตกต่างกันต่อกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 7 14 และ 28 วัน
2. เพื่อหาดัชนีวัดผลของการบ่มแต่ละวิธีโดยเทียบกับกำลังอัดที่ออกแบบ 28 วัน
3. เพื่อสร้างสมการตัวคูณของวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน

ขอบเขตของงานวิจัย

1. คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดเป็นคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 14 และ 28 วัน ออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.67 และวิธีบ่มคอนกรีตแตกต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ บ่มน้ำ บ่มกระสอบเปียก บ่มทรายเปียก บ่มน้ำยา และการบ่มอากาศ

2. การบ่มตัวอย่างคอนกรีต แบ่งวิธีการบ่มแตกต่างกัน 5 วิธี ตลอดอายุการทดสอบ ดังนี้

2.1 การบ่มน้ำ โดยการแช่น้ำในบ่อน้ำประปาตลอดอายุการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

2.2 การบ่มกระสอบเปียก โดยการบ่มกระสอบป่านคลุมตัวอย่างคอนกรีตรัดน้ำ

ช่วงเช้า และช่วงเย็น

2.3 การบ่มทรายชุ่ม โดยคลุมทรายให้ทั่วผิวหน้าคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร รดน้ำให้ชุ่มช่วงเช้าและช่วงเย็น

2.4 การบ่มน้ำยาน้ำยาบ่มคอนกรีตชนิด Sodium Silicate มีคุณภาพตามข้อกำหนดของ มอก. 841 หรือ ASTM C 309 เป็นสารที่เคลือบบนผิวคอนกรีตซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบางสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีตโดยพ่นเคลือบผิวหน้าคอนกรีต 2 ชั้น

2.5 การบ่มอากาศ โดยให้ตัวอย่างคอนกรีตเก็บไว้ในที่ร่ม และสัมผัสอากาศโดยไม่มีการบ่มใด ๆ

3. การทดสอบใช้มาตรฐานดังนี้

3.1 การทดสอบขนาดผลมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C33

3.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทราย ตามมาตรฐาน ASTM C128

3.3 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหิน ตามมาตรฐาน ASTM C127

3.4 การทดสอบหาค่าการยุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143

3.5 ทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ตามมาตรฐาน BS1881:PART4

วิธีการ

ประกอบไปด้วยวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ 3.15

1.2 มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำธรรมชาติเป็นทรายหยาบความถ่วงจำเพาะ 2.60

1.3 มวลรวมหยาบใช้หินปูนย่อยขนาดโตสุด 20 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะ 2.70

1.4 ใช้น้ำประปาเป็นส่วนผสมคอนกรีต

2. การออกแบบส่วนผสมในการทดลอง

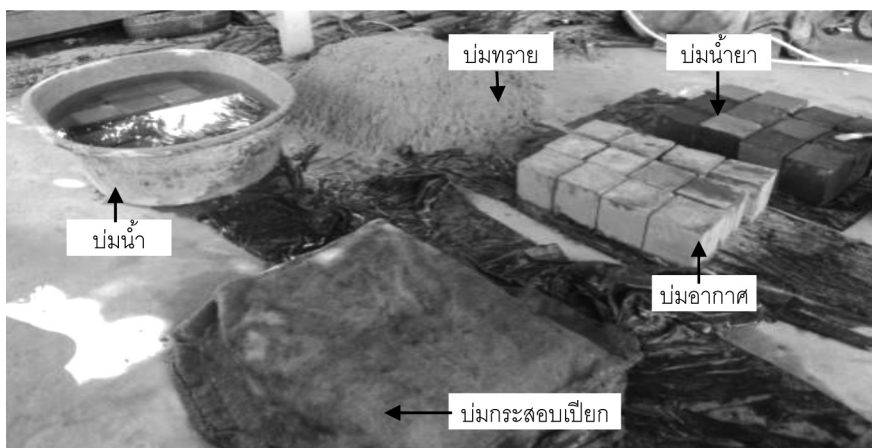
การออกแบบส่วนผสมสำหรับทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตของงานวิจัยครั้งนี้

3. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตในภาทดลอง ตามมาตรฐาน BS1881 โดยใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ (Cube) ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 ดังแสดงในภาพที่ 1 ทำการถอดแบบตัวอย่างทดสอบเมื่อครบอายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ การบ่มน้ำ การบ่มกระสอบเปียก การบ่มทราย การบ่มน้ำยา และการบ่มอากาศ แล้วนำมาทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน BS 1881 เมื่อบ่มครบอายุ 7 14 และ 28 วัน โดยมีจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 1 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ (Cube)
ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และทดสอบค่าการยุบตัว(Slump Test)



ภาพที่ 2 การบ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน 5 วิธี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบกำลังอัด

ในตารางที่ 3 แสดงผลค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.67 ที่วิธีการบ่มแตกต่างกัน 5 วิธี โดยผลจากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการบ่มแตกต่างกัน สำหรับอายุ 7 14 และ 28 วัน ที่การออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.45, 0.57 และ 0.67 ตามลำดับ

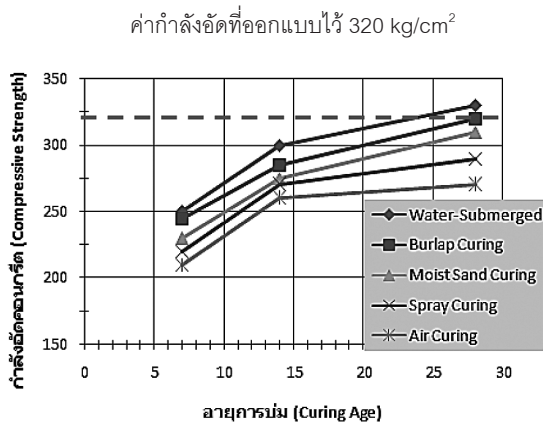
ตารางที่ 3 จำนวนตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และวิธีการบ่มต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำต่อปูน ซีเมนต์ (w/c)	ค่ากำลังอัด ที่ออกแบบไว้ (kg/cm ²)	อายุ (day)	ผลการทดสอบกำลังอัด(kg/cm ²)				
			บ่มน้ำ Water- Submerged	บ่มกระสอบ เปียก Burlap Curing	บ่มทรายชุ่ม Moist Sand Curing	บ่มน้ำยา Spray Curing	บ่มอากาศ Air Curing
0.45	320	7	250	245	230	220	210
0.45		14	300	285	275	270	260
0.45		28	330	320	310	290	270
0.57	240	7	200	200	185	195	185
0.57		14	242	230	230	220	210
0.57		28	250	240	235	225	215
0.67	180	7	155	150	145	140	130
0.67		14	181	175	170	160	150
0.67		28	195	190	180	170	160

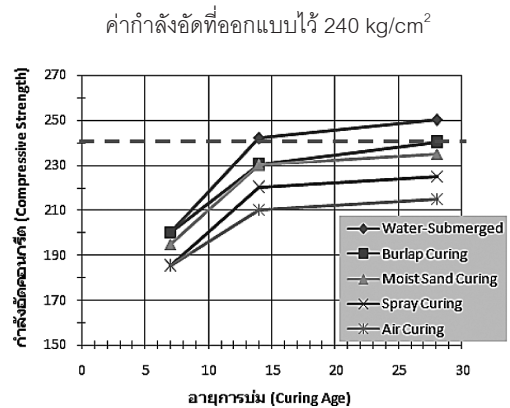
พบว่า การบ่มสามารถพัฒนากำลังอัดคอนกรีตให้สูงขึ้นทุกวิธีการบ่ม โดยสามารถเรียงลำดับการพัฒนาที่กำลังอัดที่ประสิทธิภาพสูงสุดดังนี้ 1. การบ่มน้ำ (Water-Submerged) 2. การบ่มกระสอบเปียก (Burlap Curing) 3. การบ่มทรายชุ่ม (Moist Sand Curing) 4. การบ่มน้ำยา (Spray Curing) และต่ำสุดคือ 5.การบ่มอากาศ (Air Curing) โดยการออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.45 มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7-28 วัน อยู่ในช่วง 250-330 kg/cm², 245-320 kg/cm², 230-310 kg/cm², 220-290 kg/cm² และ 210-270 kg/cm² ตามลำดับ ซึ่งการออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.57 มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7-28 วัน ในช่วง 200-250 kg/cm², 200-240 kg/cm², 185-235 kg/cm², 195-225 kg/cm²

และ 185-215 kg/cm² ตามลำดับ และการออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.67 ที่อายุ 7-28 วัน มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตอยู่ในช่วง 155-195 kg/cm², 150-190 kg/cm², 145-180 kg/cm², 140-170 kg/cm² และ 130-160 kg/cm² ตามลำดับ

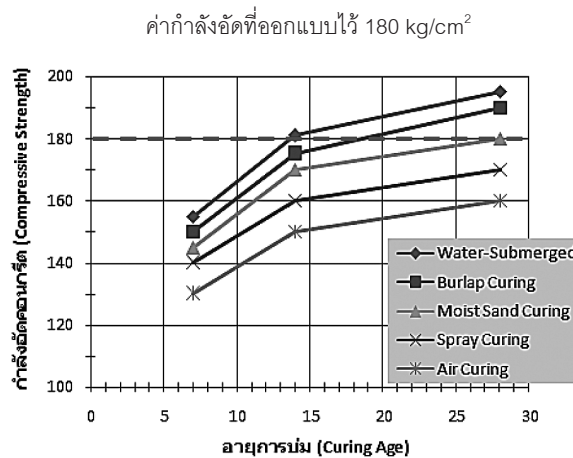
โดยเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟดัง รูปที่ 1(a)-3(a) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังอัดและอายุการทดสอบ 7 14 และ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันสำหรับการออกแบบ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.67 พบว่าทุกวิธีการบ่มสามารถพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตให้สูงขึ้นตามอายุของการบ่มจริง และค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าลดลงตาม อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในรูปที่ 1(a) 2(a) และ 3(a) เป็นการออกแบบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 320 kg/cm² 240 kg/cm² และ 180 kg/cm² ตามลำดับที่อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ w/c = 0.45 0.57 และ 0.67 ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 1(a) การบ่มที่สามารถพัฒนากำลังอัดได้ใกล้เคียงหรือมากกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไว้ คือ การบ่มน้ำ และการบ่มด้วยกระสอบเปียกที่อายุ 28 วันและในรูปที่ 2(a) และ 3(a) มีการพัฒนากำลังอัดเช่นเดียวกันคือ การบ่มน้ำที่อายุ 14 กับ 28 วัน และการบ่มกระสอบเปียกที่อายุ 28 วัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีการพัฒนาเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการบ่มที่สูงขึ้น นั้นเป็นเพราะปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นในก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการบ่มจะเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์หากมีความชื้นที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยการบ่มที่ให้กำลังอัดมากที่สุดคือ การบ่มน้ำ (Water-Submerged) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rasheed, 2017) และ (Ogah, 2016) เนื่องจากเป็นวิธีบ่มที่ให้ความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และการบ่มอากาศ (Air Curing) สามารถพัฒนากำลังอัดต่ำที่สุดซึ่งเป็นวิธีการบ่มที่ให้ความชื้นกับก้อนตัวอย่างน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ และจากการทดลองแสดงให้เห็นอีกว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงตามการออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น



(1a) $w/c = 0.45$



(1b) $w/c = 0.57$



(1c) $w/c = 0.67$

รูปที่ 1a-1c กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของคอนกรีต
ที่วิธีการบ่มแตกต่างกันที่ Water-Cement Ratio (w/c) เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.62

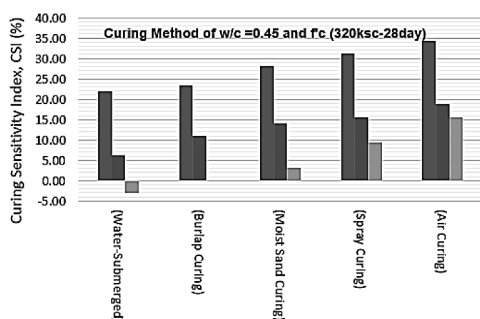
2. ดัชนีวัดผลของการบ่ม (Curing Sensitivity Index, CSI)

เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของแต่ละวิธีการบ่มที่มีผลต่อกำลังอัดคอนกรีต โดยจากผลการทดสอบกำลังอัดที่ได้จากตารางที่ 3 สามารถนำมาคำนวณดัชนีวัดผลของแต่ละการบ่ม (CSI) ได้ โดยเทียบกับค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้ออกแบบไว้ที่ 28 วัน เท่ากับ 180 240 และ 320 kg/cm^2 ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยถ้าดัชนีวัดผลของการบ่ม (CSI) ของคอนกรีตมีค่าสูงหมายความว่า การบ่มมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมาก ซึ่งการอธิบายผลดัชนีวัดผลของการบ่ม (CSI) วิธีต่าง ๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

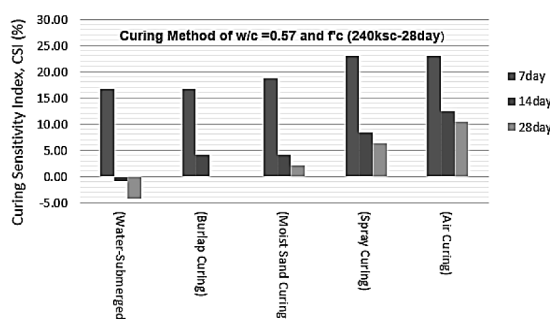
$$CSI (ci) = \left(\frac{f'c(design) - f'c(ci)}{f'c(design)} \right) \times 100 \quad \dots (1)$$

เมื่อ $CSI_{(ci)}$	คือ ร้อยละดัชนีวัดผลการบ่ม (%) ที่การบ่มใด ๆ
$f'c(design)$	คือ กำลังอัดของคอนกรีต (kg/cm^2) ที่ออกแบบไว้ 28 วัน
$f'c(ci)$	คือ กำลังอัดของคอนกรีต (kg/cm^2) ที่การบ่มใด ๆ ได้แก่ บ่มน้ำ บ่มกระสอบเปียก บ่มทราย บ่มน้ำยา และบ่มอากาศ

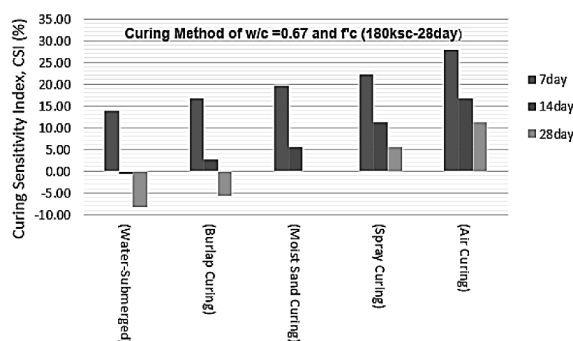
จากรูปที่ 2a – 2c แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวัดผลของการบ่ม (CSI) กับวิธีการบ่มแบบต่าง ๆ พบว่าวิธีการบ่มที่มีดัชนีวัดผล (CSI) น้อยที่สุดคือ การบ่มน้ำ การบ่มกระสอบเปียก และการบ่มทรายชุ่มที่อายุ 28 วัน โดยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.67 การบ่มน้ำมีค่าดัชนีวัดผลร้อยละ -3.125 -4.167 และ -8.33 ตามลำดับ ส่วนการบ่มกระสอบเปียกมีค่าดัชนีวัดผลร้อยละ 0.00 0.00 และ -5.55 ตามลำดับ ส่วนการบ่มทรายชุ่มมีค่าดัชนีวัดผลร้อยละ 0.00 ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.67 ส่วนการบ่มด้วยวิธีอื่นๆ มีค่ากำลังอัดคอนกรีตต่ำกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้ที่ 28 วัน ดังนั้นจึงต้องมีการบ่ม และให้ตัวอย่างคอนกรีตมีการพัฒนา กำลังอัดโดยปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้จะให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงตรงตาม ที่ออกแบบไว้ และมีค่าดัชนีวัดผลการบ่มน้อยที่สุด



(2a) w/c = 0.45



(2b) w/c = 0.57

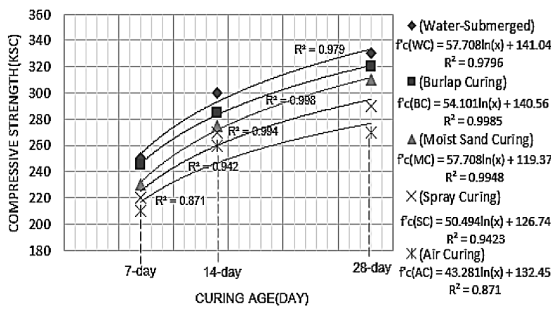


(2c) w/c = 0.67

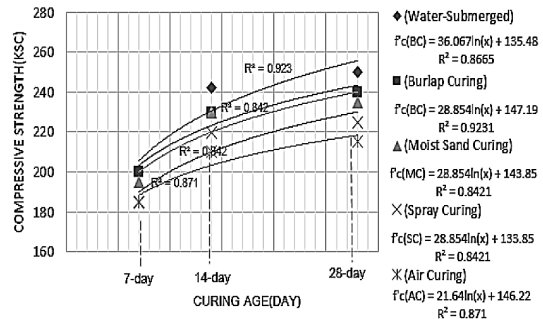
รูปที่ 2a-2c ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวัดผลของการบ่ม (CSI) กับวิธีการบ่มแบบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 0.57 และ 0.67

3. ค่าพารามิเตอร์ตัวคุณสำหรับแต่ละวิธีการบ่ม

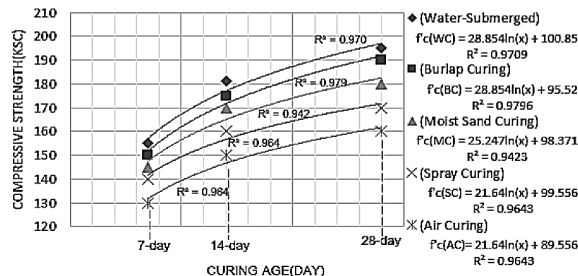
จากการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่วิธีการบ่มต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าการบ่มและวิธีการบ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตอย่างมาก ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงต้องการอธิบายถึงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ตัวคุณของการบ่มในแต่ละวิธี โดยคิดจากสมการของการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 ถึง 28 วัน ซึ่งจะแสดงในรูปแบบสมการลอการิทึม (logarithm) ในรูป $Y = A \ln(x) + B$ เมื่อ Y คือ ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่การบ่มใด ๆ A, B คือ ค่าคงที่ และ (x) คือ อายุของการบ่มในช่วง 7-28 วัน โดยสมการที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าผันแปรของตัวแปร R-Squared (R^2) สuggest หมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับข้อมูล) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3a-3c กราฟพารามิเตอร์ตัวคุณระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับอายุการบ่มที่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.62



(3a) w/c = 0.45



(3b) w/c = 0.57



(3c) w/c = 0.67

รูปที่ 3a-3c กราฟพารามิเตอร์ตัวคูณระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับอายุการบ่ม ที่ Water-Cement Ratio (w/c) เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.62

จากการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่วิธีการบ่มต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าการบ่มและวิธีการบ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตอย่างมาก ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงต้องการอธิบายถึงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ตัวคูณของการบ่มในแต่ละวิธี โดยคิดจากสมการของการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 ถึง 28 วัน ซึ่งจะแสดงในรูปแบบสมการลอการิทึม (logarithm) ในรูป $Y = A \ln(x) + B$ เมื่อ Y คือ ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่การบ่มใด ๆ A, B คือ ค่าคงที่ และ (x) คือ อายุของการบ่มในช่วง 7-28 วัน โดยสมการที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าผันแปรของตัวแปร R-Squared (R^2) สูงหมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับข้อมูล) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3a-3c กราฟพารามิเตอร์ตัวคูณระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับอายุการบ่มที่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 0.57 และ 0.62

ตัวอย่าง ดังต่อไปนี้เป็นคำนวณสมการกำลังอัดจากค่าพารามิเตอร์ตัวคูณของวิธีการบ่มน้ำ ที่ออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.45 ที่อายุ 28 วัน โดยมีค่าสมการกำลังอัด ในรูปแบบเส้นโค้งลอการิทึม (logarithm) เท่ากับ $f_c(w/c) = 57.708 \ln(28) + 140.04$

โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.979 ซึ่งสามารถคำนวณค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้เท่ากับ 332.33 kg/cm^2 . ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 โดยวิธีการบ่มน้ำที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 320 kg/cm^2 ในตารางที่ 3 เป็นต้น

สรุปผล

1. จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการบ่มมีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตทุกอัตราส่วนผสม โดยสามารถเรียงลำดับการพัฒนากำลังอัดที่ประสิทธิภาพสูงสุดได้ดังนี้ 1. การบ่มน้ำ (Water-Submerged) 2. การบ่มกระสอบเปียก (Burlap Curing) 3. การบ่มทรายชุ่ม (Moist Sand Curing) 4. การบ่มน้ำยา (Spray Curing) และต่ำสุดคือ 5. การบ่มอากาศ (Air Curing)

2. ค่าดัชนีวัดผล (CSI) ของการบ่มโดยเทียบกับค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้ออกแบบไว้ที่ 28 วัน พบว่าการบ่มน้ำ และการบ่มกระสอบเปียก มีผลกระทบต่อกำลังอัดน้อยที่สุด โดยมีค่ากำลังอัดใกล้เคียงและสูงกว่ากับค่ากำลังอัดที่ได้ออกแบบไว้ ทุกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ส่วนการบ่มด้วยวิธีอื่น ๆ มีค่ากำลังอัดคอนกรีตต่ำกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้ที่ 28 วัน จึงควรมีการบ่มอีกต่อไปเพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กำลังอัดใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบไว้และมีค่าดัชนีวัดผลการบ่มน้อยที่สุด

3. สำหรับค่าพารามิเตอร์ตัวคูณของแต่ละวิธีการบ่มหาได้จากเส้นสมการ ลอการิทึม (logarithm) ในรูปแบบสมการ $Y = A \ln(x) + B$ เนื่องจากสมการที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าผันแปรของตัวแปร R-Squared (R^2) สูงหมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับข้อมูล)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้างสาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ สำหรับการทํารายการครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- American Concrete Institute, Committee 308. (2000). **Standard Practice for Curing Concrete. ACI 308-92.** Detroit: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute, Committee 211. (2000). **Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.** Michigan: ACI Manual of Concrete Practice, Part.

- American Society for Testing and Material, ASTM C 143 (2001). **Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete**, Annual Book of ASTM Standards. 4(2), 89-91.
- British Standard Institute, BS 1881: Part 108. (1997). **Method of Making Test Cube from Fresh Concrete**. London.
- Chindaprasirt, P. & Jaturapitukkul, C. (2008). **Cement Pozzolan and Concrete**. 5th Edition. Thailand Concrete Association. (in Thai)
- Neville A.M. (2011). **Properties of Concrete**. 5th Edition. London. Pearson Education.
- Obam & Ogah. (2016). Effect of Curing Methods on the Compressive Strength of Concrete.
- Rasheed. (2017). EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND CONDITIONS ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE CONTAINING SUPPLEMENTARY POZZOLANIC MATERIALS. **Journal of Engineering and Sustainable Development**. 21(01), 1-12.
- Wood, S.L. (1991). Evaluation of the Long-Term Properties of Concrete. **ACI Materials Journal**. 88(26), 630-643.

.....