https://doi.org/10.64989/rmutsbj.2026.269675

ผลกระทบของระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงต่อกำลังอัดของคอนกรีต

Effect of high-temperature curing duration on the compressive strength of concrete

บัณฑิต สำเนียงเพราะ, ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง*, ณัฐพล อักโข และ เอกรัฐ เศวตวรชิต

Bundit Sumniangpho, Narongchai Wiwattanachang*, Natthaphon Akkho and Ekkarat Sawetworachit

บทคัดย่อ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างสำคัญในงานวิศวกรรมโยธาเนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทาน อย่างไรก็ตาม สมบัติทางกลของคอนกรีตอาจเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในส่วนของมวลรวมหยาบ ซึ่งการใช้หินปูนอาจส่งผลให้กำลังอัดลดลงและเกิดรอยแตกร้าว ขณะที่หินบะซอลต์มีความหนาแน่นสูงและทนต่อความร้อน จึงมีศักยภาพในการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มที่อุณหภูมิสูงต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบ ตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร ถูกทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน ภายใต้การบ่ม 3 เงื่อนไข ได้แก่ การบ่มที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส การบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 6 ชั่วโมง โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.45 และใช้มวลรวมหยาบขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว จากผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูนอย่างต่อเนื่องในทุกช่วงอายุและทุกเงื่อนไขการบ่ม โดยเฉพาะที่อายุ 7 และ 28 วัน ซึ่งมีกำลังอัดสูงกว่าประมาณร้อยละ 10-22 ทั้งนี้ที่อายุ 7 วัน สูงกว่าประมาณร้อยละ 10-18 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15-22 ที่อายุ 28 วัน เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยเร่งปฏิกิริยาการไฮเดรชันของซีเมนต์ และหินบะซอลต์มีความแข็งแรงและทนต่อความร้อน ส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้สูงขึ้น งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบคอนกรีตกำลังสูงระยะต้นภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: คอนกรีต, หินบะซอลต์, การบ่มอุณหภูมิสูง, กำลังอัด, มวลรวมหยาบ

Abstract

Concrete is an important construction material in civil engineering due to its strength and durability. However, its mechanical properties may be altered when exposed to high temperatures, particularly those related to coarse aggregates. The use of limestone aggregate could result in a reduction in compressive strength and the formation of cracks, whereas basalt aggregate with its high density and superior heat resistance, has the potential to enhance concrete strength. This research investigated the effect of high-temperature curing duration on the compressive strength of concrete using basalt as coarse aggregate. Cube-shaped concrete specimens (15×15×15cm) were tested at ages of 1, 3, 7, 14, 28, and 56 days under curing at ambient temperature (25°C) and high-temperature curing at 100°C for 3 and 6 hours, with a controlled water-to-cement ratio of 0.45 and coarse aggregate sizes of 3/4, 1/2, and 3/8 inch. The results showed that basalt aggregate consistently provided higher compressive strength than limestone aggregate under all curing conditions, especially at ages of 7 and 28 days with the compressive strength increased 10-22%, which an increasing of 10-18% and 15-22%, respectively. This enhancement was attributed to accelerated cement hydration at elevated temperatures and the superior strength and thermal resistance of basalt aggregate. The findings indicated that basalt aggregate is suitable for the design of early-age high-strength concrete in high-temperature environments.

Keywords: concrete, basalt, high-temperature curing, compressive strength, coarse aggregate

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Suphanburi Campus, Samchuk District, Suphan Buri 72130, Thailand

* Corresponding author. E-mail: narongchai.w@rmutsb.ac.th

Received: October 28, 2025; Revised: January 16, 2026; Accepted: February 26, 2026

บทนำ

คอนกรีต ประกอบไปด้วยวัสดุหลัก ๆ 4 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และน้ำ หรืออาจเติมน้ำยาผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถเท กำลังอัด และความทนทาน ซึ่งมวลรวมหยาบมีสัดส่วนร้อยละ 70-80 ของส่วนผสมทั้งหมด จึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติทางกล กำลังอัด และความทนทานของคอนกรีต (Sethabut, 2003) โดยทั่วไปนิยมใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบ เนื่องจากมีความพร้อมใช้งานสูง ราคาประหยัด และสามารถให้คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต เช่น ความหนาแน่น ความแข็งแรง และ ความคงตัวของโครงสร้างได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การเลือกใช้หินปูนจึงเหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างที่ไม่ได้เผชิญกับสภาวะความร้อนหรือแรงกระทำสูง อย่างไรก็ตาม การใช้หินปูนในคอนกรีตยังมีข้อจำกัดด้านสมบัติทางกลที่สำคัญ โดยเฉพาะเมื่อโครงสร้างต้องเผชิญกับอุณหภูมิสูงหรือปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง ซึ่งคอนกรีตที่ใช้หินปูนมีแนวโน้มเสื่อมสภาพทางกลเมื่อบ่มหรือใช้งานภายใต้สภาวะความร้อนสูง ส่งผลให้กำลังอัดลดลง เกิดรอยแตกร้าวได้ง่าย และอาจส่งผลต่อความคงตัวและอายุการใช้งานของโครงสร้าง (Tufail et al., 2017) นอกจากนี้ งานวิจัยของ (Yenprasert & Duangchan, 2021) พบว่าการเติมผงอะลูมิเนียมทำให้คอนกรีตเกิดความพรุนและกำลังอัดลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวัสดุผสมและคุณลักษณะของมวลรวมมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เพราะการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของวัสดุภายในเนื้อคอนกรีตสามารถส่งผลต่อความหนาแน่น โครงสร้างภายใน และการกระจายตัวของช่องว่าง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงของคอนกรีต

หินบะซอลต์มีคุณสมบัติ ได้แก่ ความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นดี และความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม ซึ่งทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีต โดยเฉพาะในโครงสร้างที่ต้องการความมั่นคงแข็งแรงสูง งานวิจัยที่ผ่านมาเสนอให้ใช้หินบะซอลต์แทนหินปูน โดยงานวิจัยของ (Kishore et al., 2015) พบว่าการใช้หินบะซอลต์ช่วยปรับปรุงค่ากำลังอัดและความสามารถในการเทคอนกรีต รวมถึงเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีตอย่างชัดเจน นอกจากนี้ (Yazıcıoglu et al., 2018) พบว่าคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบ ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบชนิดหินปูน เนื่องจากหินบะซอลต์สามารถกระจายแรงได้ดีกว่า ลดการเกิดรอยแตกร้าว และรักษาสมบัติทางกลของคอนกรีตได้ดีกว่าโดยเฉพาะเมื่อต้องเผชิญกับอุณหภูมิสูง คุณสมบัติเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาคอนกรีตที่ต้องเผชิญกับแรงกระทำต่อเนื่องและสภาวะความร้อนสูง ทั้งยังช่วยเพิ่มความคงทนและความเสถียรของโครงสร้างในระยะยาว ทำให้คอนกรีตสามารถรักษาความแข็งแรงและสมรรถนะทางกลได้อย่างต่อเนื่องแม้ภายใต้สภาวะที่ท้าทาย

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาผลกระทบของการบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงต่อสมบัติทางกลและความทนทานของคอนกรีต แต่การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบภายใต้กระบวนการบ่มที่อุณหภูมิสูงยังมีข้อมูลจำกัด โดยเฉพาะผลของระยะเวลาการบ่มต่อกำลังอัด การกระจายแรง และโครงสร้างภายใน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาคอนกรีตที่มีความทนทานสูงและรักษาความแข็งแรงได้แม้ในสภาวะที่ต้องเผชิญกับความร้อนสูงและแรงกระทำต่อเนื่อง ดังนั้น การศึกษาผลกระทบของการใช้หินบะซอลต์แทนมวลรวมหยาบธรรมชาติในคอนกรีตจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาคอนกรีตที่ทนความร้อนสูงและรักษาความแข็งแรงได้ดี

งานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในด้านการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่มีหินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบแทนหินปูน ภายใต้เงื่อนไขการบ่มที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดเข้าใจพฤติกรรมของคอนกรีตที่สัมผัสความร้อนสูงและสามารถรักษาความแข็งแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำองค์ความรู้นี้ไปใช้ในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพื่อการสร้างคอนกรีตที่มีความทนทานสูง ปลอดภัยต่อการใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง และสนับสนุนการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธาที่มีความมั่นคงแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มที่อุณหภูมิสูงต่อกำลังอัดของ คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ขนาดต่าง ๆ เป็นมวลรวมหยาบ เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลภายใต้ช่วงเวลาการบ่มที่ต่างกัน และประเมินความเหมาะสมของการใช้หินบะซอลต์ในงานคอนกรีตที่ต้องเผชิญกับสภาวะอุณหภูมิสูง

ขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้ศึกษาคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ 2 ชนิด ได้แก่ หินปูนและหินบะซอลต์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ออกแบบส่วนผสมโดยแทนที่มวลรวมหยาบด้วยขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว ทำการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่างต่อส่วนผสม เพื่อทดสอบความแข็งแรงภายใต้เงื่อนไขการบ่ม 3 เงื่อนไข ได้แก่ การบ่มที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส การบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยเริ่มทำการบ่มที่อุณหภูมิสูงเมื่อคอนกรีตมีอายุ 24 ชั่วโมง ใช้วิธีการต้มในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดและขนาดมวลรวมหยาบ รวมถึงระยะเวลาการบ่มต่อคุณสมบัติทางกลและความแข็งแรงของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบชนิดหินบะซอลต์ เก็บมาจากแหล่งโรงโม่หินบะซอลต์ ตำบลเก่าขาม อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี ดัง (Figure 1)

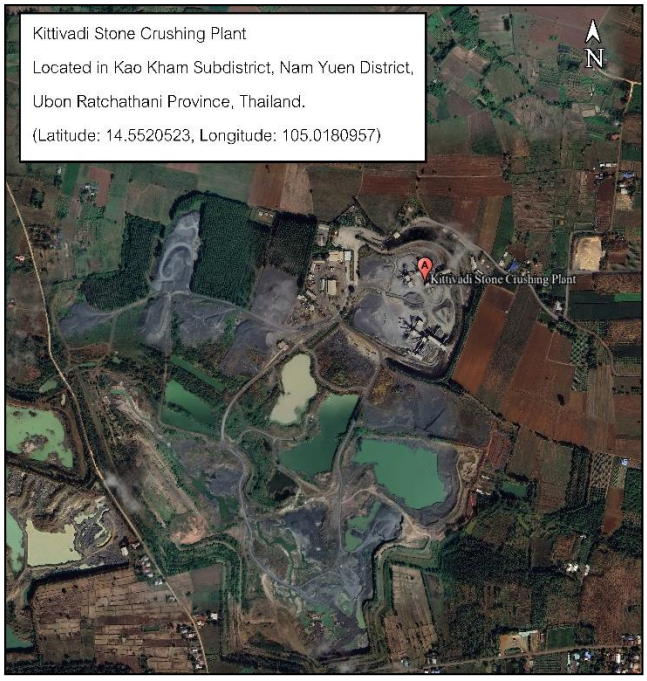

Figure 1 Basalt quarry area located in Kao Kham Subdistrict, Nam Yuen District, Ubon Ratchathani Province. Source: Google Earth (2026)

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวม ได้แก่ การกระจายขนาด ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ค่าการสึกหรอ และค่าหน่วยน้ำหนัก ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM ที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละการทดสอบ รวมถึงการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต การบ่มด้วยแผ่นพลาสติกกันความชื้น และการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่ม 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C39 โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15-2562 (Thai Industrial Standards Institute, 2019)

1.2 มวลรวมละเอียดธรรมชาติ (ทราย) ตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18

1.3 มวลรวมหยาบชนิดหินปูน ตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18 ดัง (Figure 2(a))

1.4 มวลรวมหยาบชนิดหินบะซอลต์ เก็บมาจากแหล่งโรงโม่หินบะซอลต์ ตำบลเก่าขาม อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี ตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18 ดัง (Figure 2(b))

(a) (b)

Figure 2 (a) Coarse aggregate of limestone, and (b) coarse aggregate of basalt.

2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากันที่ 0.45 สำหรับทุกสูตรผสม รวมทั้งหมด 6 สูตร ใช้มวลรวมขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว แต่ละสูตรมี 3 ตัวอย่าง และบ่มภายใต้เงื่อนไข 3 เงื่อนไข ได้แก่ การบ่มที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส การบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน รวมทั้งสิ้น 324 ตัวอย่าง ดัง (Table 1)

Table 1 Number of specimens used for testing.

variable	quantity	remarks
water-cement ratio (w/c)	1	0.45
mix proportion	6	aggregate sizes: 3/4", 1/2", and 3/8"
specimens per mix	3	specimens
curing method	3	N25, H100/3h, H100/6h
curing ages	6	1, 3, 7, 14, 28, and 56 days
total	324	specimens

3. สัดส่วนส่วนผสมของคอนกรีต

การศึกษานี้ส่วนผสมคอนกรีตทุกสูตรถูกออกแบบให้มีสัดส่วนคงที่ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ 550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียด 720 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลรวมหยาบ 815 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำ 248 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.45 ทั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะชนิดและขนาดของมวลรวมหยาบเท่านั้น โดยใช้หินปูน (CAC) และหินบะซอลต์ (BAS) ขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว ตัวอย่างคอนกรีตเป็นลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร และบ่มภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส (N25), อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง (H100/3h) และอุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (H100/6h) โดยสัญลักษณ์ CAC01, CAC02 และ CAC03 แทนตัวอย่างที่ใช้หินปูน ขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว ส่วน BAS01, BAS02 และ BAS03 แทนตัวอย่างที่ใช้หินบะซอลต์ ขนาด 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว ตามลำดับ ดัง (Table 2)

Table 2 Mix proportions of specimens for testing.

specimen ID	cement (kg/m^3)	sand (kg/m^3)	coarse aggregate (kg/m^3)	water (kg/m^3)	w/c ratio	slump (cm)
CAC01	550	720	815	248	0.45	4.40
CAC02	550	720	815	248	0.45	5.30
CAC03	550	720	815	248	0.45	6.00
BAS01	550	720	815	248	0.45	4.00
BAS02	550	720	815	248	0.45	4.50
BAS03	550	720	815	248	0.45	5.20

4. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม

4.1 วิเคราะห์การกระจายขนาดและค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวม วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C136/C136M-14 เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและหาค่าขนาดโดยเฉลี่ยของมวลรวม (ASTM International, 2014b) ผลการทดสอบที่ได้ถูกเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18 (ASTM International, 2018)

4.2 ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128/C128M-15 เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด (ASTM International, 2015b)

4.3 ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127/C127M-15 เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมน้ำ ของมวลรวมหยาบ (ASTM International, 2015a)

4.4 ทดสอบค่าการสึกหรอด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส (Los Angeles Abrasion Test) วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C131/C131M-14 เพื่อประเมินความต้านทานการสึกหรอของมวลรวมหยาบ (ASTM International, 2014a)

4.5 ทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมและปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29/C29M-17 เพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมและปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดมวลรวม (ASTM International, 2017)

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวมใช้ประเมินลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด การกระจายตัว ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การสึกหรอ และปริมาณช่องว่าง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต จากผลการทดสอบพบว่า หินบะซอลต์มีความหนาแน่นสูง ดูดซึมน้ำน้อย และทนการสึกหรอสูงกว่าหินปูน ดัง (Table 3)

Table 3 Properties of aggregates.

property	sand	limestone	basalt
fineness modulus	2.93	3.49	3.51
specific gravity	2.62	2.60	2.69
water absorption (%)	0.80	0.88	0.45
dry unit weight (kg/m^3)	1,600.00		
- 3/4"		1,485.00	1,488.00
- 1/2"		1,440.00	1,449.00
- 3/8"		1,447.00	1,458.00
abrasion (%)	-		
- 3/4"		19.00	13.90
- 1/2"		22.40	15.10
- 3/8"		24.00	17.80

5. ทดสอบหาขนาดคละของหินปูนและขนาดคละของหินบะซอลต์

การทดสอบหาขนาดส่วนคละของหินปูนและหินบะซอลต์โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาดมาตรฐานเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18 เพื่อกำหนดอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด ให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม โดยการกระจายขนาดเม็ดของมวลรวมแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐาน ดัง (Figure 3)

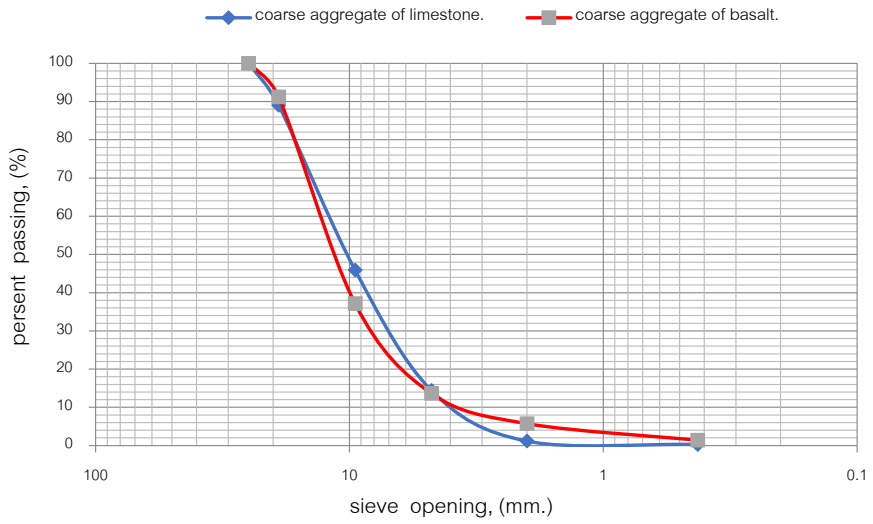

Figure 3 Particle size distribution of coarse aggregate.

6. การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (slump test) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C143/C143M-20 โดยทำการทดสอบทันทีหลังจากผสมวัสดุ เพื่อประเมินความสามารถในการเทของคอนกรีตสด (workability) (ASTM International, 2020b) ดัง (Figure 4)

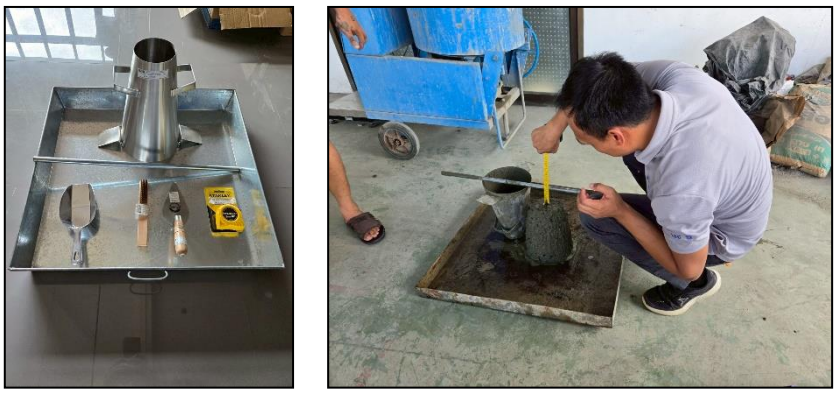

Figure 4 Concrete slump test.

7. การบ่มคอนกรีตก่อนการทดสอบ

หลังจากหล่อตัวอย่างคอนกรีตแล้วและบ่มไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบ จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่

7.1 บ่มในห้องควบคุมอุณหภูมิปกติที่ 25 องศาเซลเซียส

7.2 บ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

7.3 บ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

การบ่มที่อุณหภูมิสูงเริ่มเมื่อคอนกรีตมีอายุ 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการต้มตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นคลุมตัวอย่างคอนกรีตด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM C171/C171M-20 (ASTM International, 2020c) และนำไปบ่มชื้นในสภาพแวดล้อมปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนถึงอายุทดสอบ 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน ก่อนทำการทดสอบกำลังอัด ดัง (Figure 5)

Figure 5 Concrete curing under specified conditions.

8. ทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

ทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร ที่อายุบ่มคอนกรีต 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M-20 (ASTM International, 2020a) ดัง (Figure 6)

Figure 6 Compressive strength test of concrete.

ผลการศึกษา

1. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม

1.1 จาก (Table 3) การทดสอบการกระจายขนาดของมวลรวมหยาบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C136/C136M-14 โดยนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ ASTM C33/C33M-18 พบว่า มวลรวมหยาบทั้งหินปูนและหินบะซอลต์มีการกระจายขนาดอยู่ภายในช่วงที่มาตรฐานกำหนด ค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness modulus) ของมวลรวมหยาบจากหินปูนและหินบะซอลต์มีค่าเท่ากับ 3.49 และ 3.51 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามวลรวมหยาบทั้งสองชนิดมีขนาดคละใกล้เคียงกัน และมีลักษณะค่อนข้างหยาบ ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

1.2 จาก (Table 3) การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C127/C127M-15 พบว่า หินปูนมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.88 ขณะที่หินบะซอลต์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69 และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.45 โดยเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า หินบะซอลต์มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าหินปูนประมาณร้อยละ 3.50 และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าประมาณร้อยละ 48.90 เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า หินบะซอลต์มีความหนาแน่นสูงกว่าและดูดซึมน้ำน้อยกว่าหินปูนอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าเนื้อวัสดุของหินบะซอลต์มีความแน่นและมีรูพรุนต่ำ ส่งผลให้ควบคุมปริมาณน้ำในคอนกรีตได้ดีขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มกำลังและความทนทานของคอนกรีต ทำให้หินบะซอลต์เหมาะสำหรับการใช้งานในคอนกรีตที่ต้องการสมรรถนะสูงมากกว่าหินปูน

1.3 จาก (Table 3) การทดสอบค่าการสึกหรอของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C131/C131M-14 แสดงให้เห็นว่า หินบะซอลต์มีค่าการสึกหรอต่ำกว่าหินปูนในทุกขนาดเม็ด โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.90-17.80 ขณะที่หินปูนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.00-24.00 ค่าการสึกหรอที่ต่ำกว่าสะท้อนถึงโครงสร้างเนื้อวัสดุที่แข็งแรงและทนต่อแรงกระแทกและแรงเสียดสีได้ดีกว่า ส่งผลให้มวลรวมเกิดการแตกหักและสูญเสียมวลน้อยกว่าเมื่อใช้งานจริง คุณสมบัติดังกล่าวช่วยลดการเสื่อมสภาพของคอนกรีตในระยะยาว และเพิ่มความเหมาะสมของหินบะซอลต์สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องรับแรงหรือใช้งานภายใต้สภาวะที่มีการสึกหรอสูง เมื่อเปรียบเทียบกับหินปูน

1.4 จาก (Table 3) ผลการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C29/C29M-17 พบว่า หน่วยน้ำหนักของหินบะซอลต์มีค่าสูงกว่าหินปูนเล็กน้อยในทุกขนาดเม็ด โดยหินปูนมีค่าอยู่ในช่วง 1,440-1,485 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และหินบะซอลต์มีค่าอยู่ในช่วง 1,449-1,488 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าหน่วยน้ำหนักที่สูงกว่าสะท้อนถึงความหนาแน่นและการจัดเรียงตัวของเม็ดมวลรวมที่แน่นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่า คุณสมบัตินี้ส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ช่วยลดปริมาณช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต และเอื้อต่อการพัฒนากำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตในระยะยาว

2. การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

จาก (Table 2) ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) คงที่ที่ 0.45 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากหินปูน (CAC) ให้ค่าการยุบตัวสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ (BAS) เล็กน้อย โดยคอนกรีต CAC มีค่าการยุบตัวอยู่ในช่วง 44-60 มิลลิเมตร ขณะที่คอนกรีต BAS มีค่าอยู่ในช่วง 40-52 มิลลิเมตร ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงคุณสมบัติของมวลรวม โดยหินบะซอลต์เป็นมวลรวมที่มีการดูดซึมน้ำน้อยกว่า มีเนื้อวัสดุที่แน่นและมีรูพรุนน้อย ส่งผลให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตได้ดีขึ้น และทำให้ค่าการยุบตัวลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ยังคงอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน และไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเทและการอัดแน่น เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบกำลังอัดที่สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าการใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบช่วยเพิ่มความหนาแน่น สมรรถนะเชิงกล และความทนทานของคอนกรีตในระยะยาว แม้ว่าค่าการยุบตัวจะต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูนเล็กน้อยก็ตาม

3. ผลของการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยหินบะซอลต์ต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ภายใต้เงื่อนไขการบ่มที่แตกต่างกัน ดัง (Figure 7)

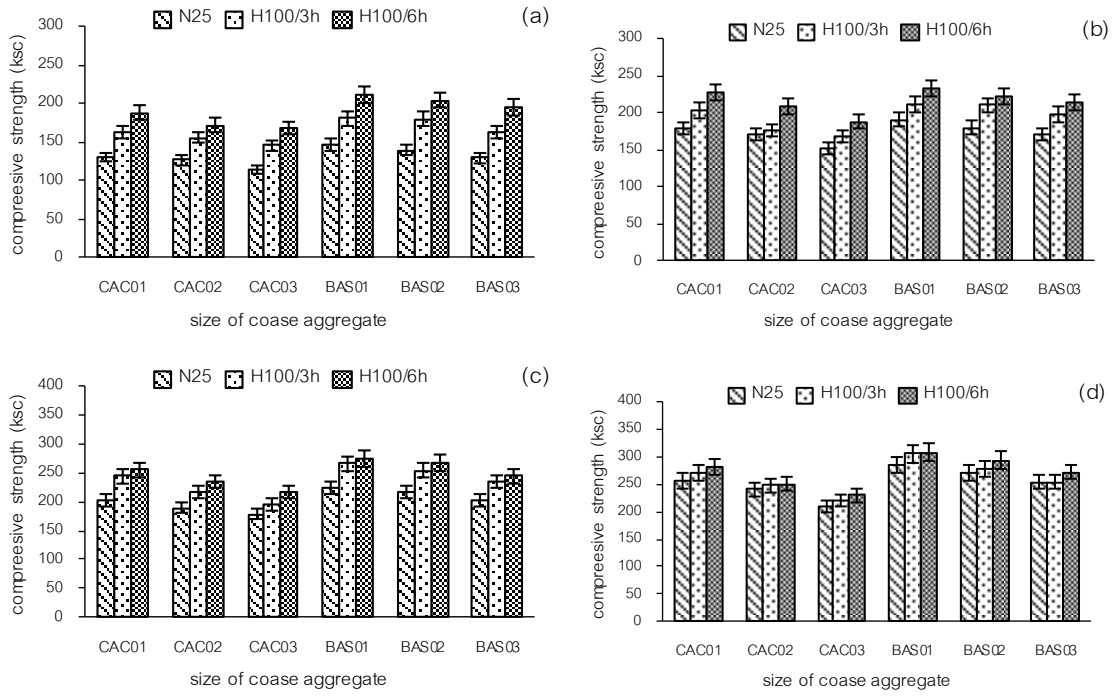

Figure 7 Development of compressive strength of concrete specimens at curing ages of (a) 1 day, (b) 3 days, (c) 7 days, (d) 14 days, (e) 28 days, and (f) 56 days.

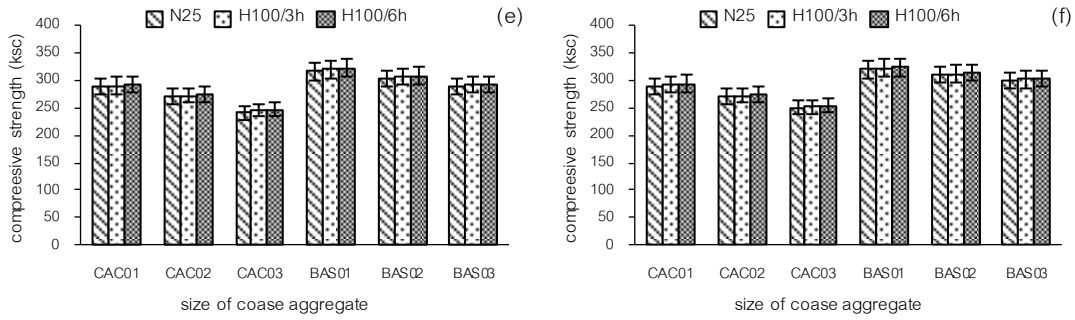

Figure 7 Development of compressive strength of concrete specimens at curing ages of (a) 1 day, (b) 3 days, (c) 7 days, (d) 14 days, (e) 28 days, and (f) 56 days (continue).

จาก (Figure 7) ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบจากหินปูนและหินบะซอลต์ ขนาดต่างกัน 3 ขนาด คือ 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว ที่อายุบ่ม (a) 1 วัน, (b) 3 วัน, (c) 7 วัน, (d) 14 วัน, (e) 28 วัน และ (f) 56 วัน ภายใต้เงื่อนไขการบ่ม 3 แบบ ได้แก่ การบ่มที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส การบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการบ่มที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกันพบว่า กำลังอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มและอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยการบ่มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและระยะเวลาบ่มมีบทบาทสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่น รับแรงได้สูงขึ้น และมีความทนความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์มีค่ากำลังอัดสูงกว่าหินปูนในทุกสภาวะ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพแข็งแรง หนาแน่น และทนทาน สำหรับมวลรวมขนาดใหญ่ (3/4 นิ้ว) ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าขนาดเล็ก (3/8 นิ้ว) เสมอ โดยค่ากำลังอัดสูงสุดเกิดขึ้นกับคอนกรีตหินบะซอลต์ขนาด 3/4 นิ้ว ภายใต้การบ่มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบหินปูนและหินบะซอลต์ ภายใต้เงื่อนไขการบ่มที่แตกต่างกัน ดัง (Figure 8)

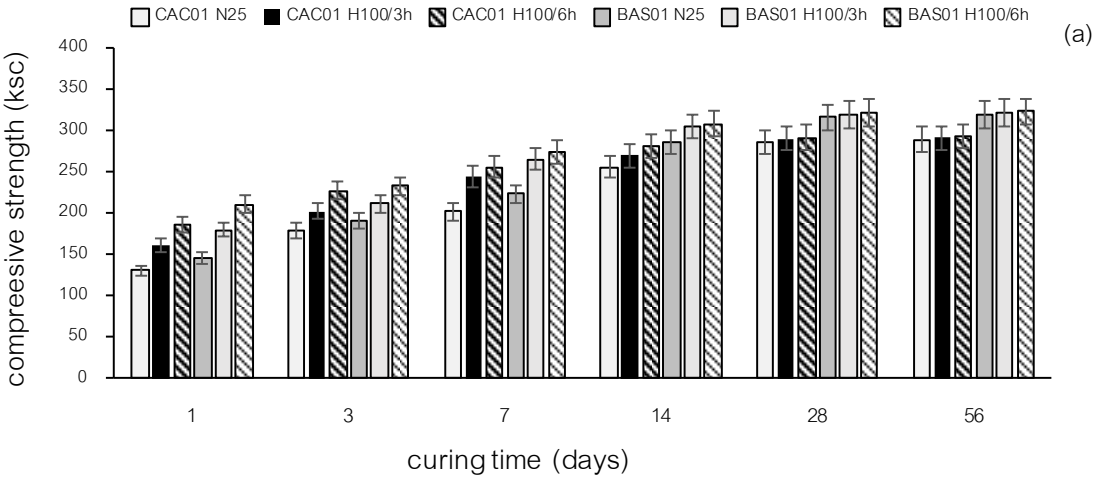

Figure 8 Compressive strength of concrete specimens subjected to various curing conditions with three coarse aggregate sizes: (a) 3/4 inch, (b) 1/2 inch, and (c) 3/8 inch.

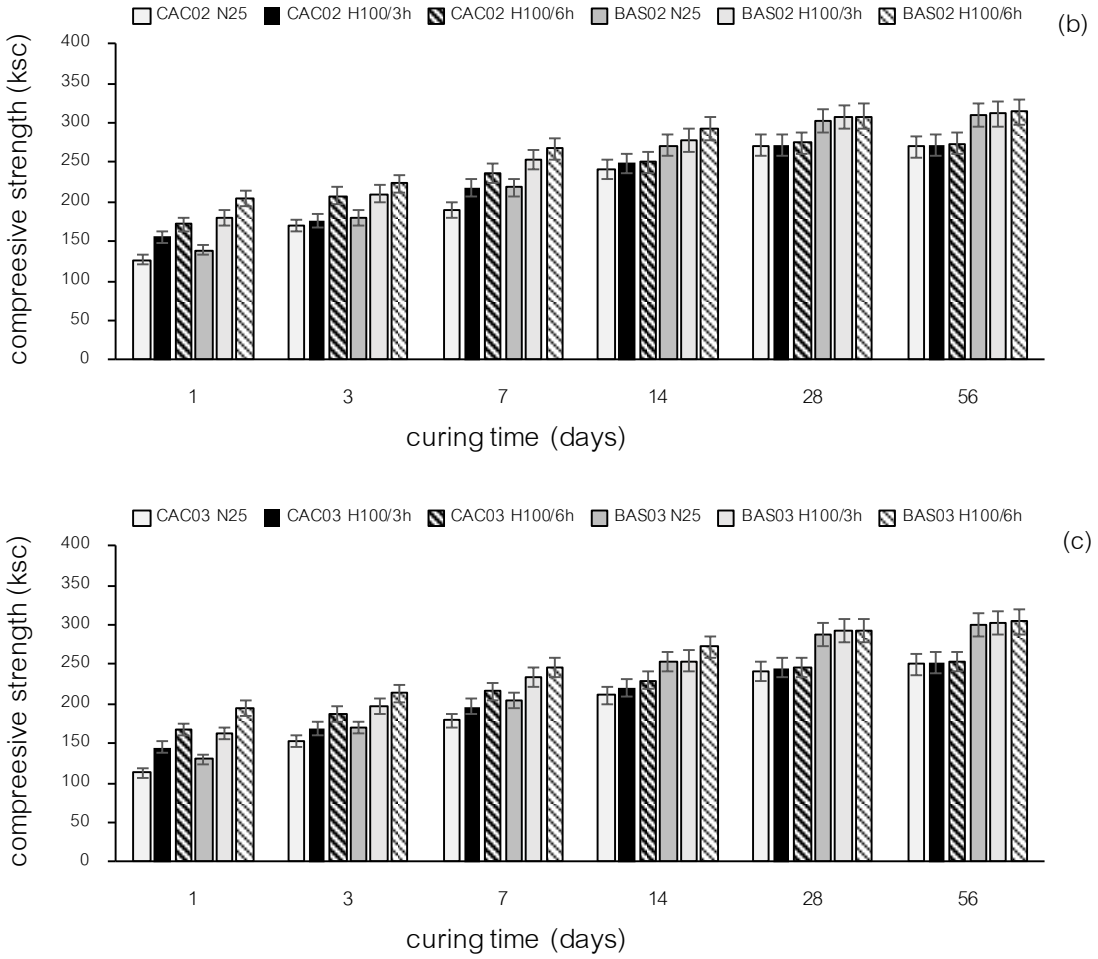

Figure 8 Compressive strength of concrete specimens subjected to various curing conditions with three coarse aggregate sizes: (a) 3/4 inch, (b) 1/2 inch, and (c) 3/8 inch (continue).

จาก (Figure 8) ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่แสดงในกราฟ ขนาดต่างกัน 3 ขนาด คือ (a) 3/4 นิ้ว, (b) 1/2 นิ้ว และ (c) 3/8 นิ้ว พบว่า คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ (BAS) เป็นมวลรวมหยาบให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูน (CAC) อย่างต่อเนื่องในทุกเงื่อนไขการบ่มและทุกช่วงอายุการทดสอบ โดยเฉพาะในช่วงอายุต้น (7 วัน) กำลังอัดของคอนกรีต BAS สูงกว่าคอนกรีต CAC โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-18 และเมื่ออายุ 28 วัน ความแตกต่างเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15-22 ทั้งนี้การบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่งผลให้คอนกรีต BAS มีค่ากำลังอัดสูงสุดประมาณ 324 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่คอนกรีต CAC ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเพียง 265 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความแตกต่างประมาณร้อยละ 22.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความร้อนช่วยเร่งการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีต มีโครงสร้างหนาแน่นและแข็งแรงขึ้น โดยมวลรวมขนาด 3/4 นิ้ว ให้กำลังอัดสูงสุด รองลงมาคือ 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว ทั้งนี้คอนกรีต BAS ที่ใช้มวลรวม 3/4 นิ้ว มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีต CAC ประมาณร้อยละ 18-25 ตลอดช่วงการทดสอบ

อภิปรายผล

จากผลการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบแทนหินปูน พบว่าคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าอย่างต่อเนื่องในทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะในช่วง 7 และ 28 วัน ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูน

ประมาณร้อยละ 10-22 สะท้อนให้เห็นถึงคุณสมบัติทางกายภาพของหินบะซอลต์ที่มีความแข็งแรง ความหนาแน่นสูง และสามารถยึดเกาะกับเนื้อปูนซีเมนต์ได้ดีกว่า ส่งผลให้โครงสร้างคอนกรีตมีความแน่นหนาและรับแรงอัดได้สูงขึ้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ (Al-Baijat, 2008; Kishore et al., 2015) ที่ระบุว่าการใช้หินบะซอลต์ช่วยเพิ่มกำลังอัด และความทนทานของคอนกรีตได้ดีกว่าหินปูน รวมทั้งของ (Jha et al., 2016) ที่พบว่าการใช้หินบะซอลต์ในสัดส่วนร้อยละ 30-50 ของมวลรวมหยาบ สามารถเพิ่มกำลังอัดและลดการซึมน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของเงื่อนไขการบ่ม พบว่า การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดในทุกขนาดมวลรวมและทุกชนิดของหิน เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยเร่งกระบวนการเกิดผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ทำให้เนื้อคอนกรีตมีโครงสร้างหนาแน่นแข็งแรง และพัฒนากำลังอัดได้รวดเร็ว ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ (Tang et al., 2017; Zeyad et al., 2022) ที่รายงานว่าอุณหภูมิสูงไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ช่วยเร่งการเกิด ปฏิกิริยาไฮเดรชันในระยะแรกได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของมวลรวม พบว่า คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ (BAS) ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูน (CAC) ในทุกเงื่อนไขการบ่มและทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะในช่วงอายุ 7 วัน กำลังอัดของคอนกรีต BAS สูงกว่า CAC โดยเฉลี่ยร้อยละ 10-18 และเมื่ออายุ 28 วัน ความแตกต่างเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15-22 ภายใต้การบ่มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คอนกรีต BAS มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 324 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่ CAC อยู่ที่ประมาณ 265 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือสูงกว่าประมาณร้อยละ 22.30 เมื่อเทียบกับคอนกรีตหินปูน ซึ่งยืนยันถึงสมรรถนะของหินบะซอลต์ในฐานะมวลรวมหยาบที่มีความแข็งแรงสูงและมีแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อปูนได้ดี (Al-Baijat, 2008; Kishore et al., 2015) ในด้านผลของขนาดมวลรวม พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาด 3/4 นิ้ว ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด รองลงมาคือขนาด 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว ตามลำดับ เนื่องจากมวลรวมขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวน้อย จึงต้องใช้เนื้อปูนซีเมนต์ในการเคลือบน้อยกว่า ทำให้เหลือปูนซีเมนต์สำหรับสร้างพันธะระหว่างมวลรวมมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีโครงสร้างแน่นและรับแรงได้ดีขึ้น ทั้งนี้คอนกรีต BAS ที่ใช้มวลรวมขนาด 3/4 นิ้ว มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีต CAC ขนาดเดียวกันประมาณร้อยละ 18-25 ตลอดช่วงอายุการบ่ม (Masood et al., 2018; Yazıcıoglu et al., 2018) สำหรับผลของการบ่มที่อุณหภูมิสูง พบว่าการบ่มที่ 100 องศาเซลเซียส ช่วยเร่งการเกิดไฮเดรชันโดยเฉพาะในช่วงอายุต้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิสูงเกินช่วงที่เหมาะสมอาจเกิดการแตกร้าวระดับจุลภาคได้ (Tang et al., 2017) ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส จึงเหมาะสมที่สุดต่อการพัฒนากำลังอัดและความทนทานของคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (Zeyad et al., 2022) ที่รายงานว่าการบ่มไอน้ำที่อุณหภูมิปานกลางช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตได้ดีกว่าการบ่มที่อุณหภูมิสูงเกิน 80 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Masood et al., 2018; Yazıcıoglu et al., 2018) ที่ยืนยันว่าขนาดและลักษณะพื้นผิวของมวลรวมมีผลต่อความหนาแน่นและแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต โดยมวลรวม ที่มีพื้นผิวหยาบและแข็ง เช่น หินบะซอลต์ ช่วยให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและเนื้อปูนมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ (Ubi et al., 2020) พบว่าหินบะซอลต์ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าหินแกรนิตอย่างมีนัยสำคัญ สนับสนุนข้อสรุปของการศึกษานี้ว่าหินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตได้ทั้งในสภาวะบ่มปกติและภายใต้อุณหภูมิสูง ทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ (Rahmouni & Tebbal, 2020) ที่ระบุว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมทนความร้อน เช่น หินบะซอลต์ สามารถคงค่ากำลังไว้ได้ดีภายใต้อุณหภูมิสูง

จากการวิจัยนี้ พบว่าการใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบแทนหินปูนสามารถเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะช่วงอายุ 7 และ 28 วัน การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดในทุกขนาดมวลรวม ขนาดมวลรวมที่ใหญ่ขึ้น เช่น 3/4 นิ้ว ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและเนื้อปูน ส่งผลให้โครงสร้างคอนกรีตแข็งแรงและรับแรงอัดได้ดีขึ้น ผลการทดลองนี้ยืนยันว่า

หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบที่มีสมรรถนะสูง ทั้งในสภาวะบ่มปกติและภายใต้อุณหภูมิสูง โดยสามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญ ลดความพรุนและการซึมน้ำ เพิ่มความหนาแน่นของโครงสร้าง และเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและเนื้อปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้สูงขึ้นและมีความทนทานต่อการแตกร้าว

การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสโดยวิธีการต้ม (boiling method) ให้ผลในการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความร้อนสูงช่วยเร่งกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตาม วิธีการบ่มดังกล่าวมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างจริง ทั้งในด้านความเป็นไปได้ในการควบคุมอุณหภูมิ ความเหมาะสมของสภาพหน้างาน และต้นทุนในการดำเนินการ จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางการศึกษาทางวิชาการเพื่อการเปรียบเทียบสมรรถนะของวัสดุเป็นหลัก ในทางปฏิบัติ แนวคิดของการบ่มที่อุณหภูมิสูงสามารถประยุกต์ใช้ผ่านวิธีการบ่มที่ให้ผลใกล้เคียงและเหมาะสมกับสภาพงานจริงมากกว่า เช่น การบ่มด้วยไอน้ำในอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งสามารถเร่งการพัฒนากำลังอัดในช่วงอายุเริ่มต้นได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การบ่มโดยการควบคุมความชื้นและลดการสูญเสียน้ำจากผิวคอนกรีตยังคงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการพัฒนาคุณสมบัติทางกลและความทนทานของคอนกรีตในระยะยาว ดังนั้น ผลการศึกษาการบ่มด้วยวิธีการต้มจึงสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเชิงเปรียบเทียบเพื่อสนับสนุนการเลือกใช้วัสดุและแนวทางการบ่มที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานก่อสร้างจริงต่อไป

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบพบว่า การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการบ่มในอุณหภูมิห้อง เนื่องจากความร้อนช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดโครงสร้างคอนกรีตที่หนาแน่นมากขึ้น โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าการบ่มเพียง 3 ชั่วโมงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของมวลรวมมีผลต่อกำลังอัด โดยมวลรวมขนาดใหญ่ (3/4 นิ้ว) ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด รองลงมา คือ 1/2 และ 3/8 นิ้ว ตามลำดับ เนื่องจากมวลรวมขนาดใหญ่มี พื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่า ทำให้เนื้อปูนซีเมนต์ที่ใช้เคลือบผิวน้อยกว่า จึงเหลือเนื้อปูนสำหรับสร้างพันธะระหว่างเม็ดมวลรวมมากขึ้น ทำให้โครงสร้างคอนกรีตแข็งแรงและหนาแน่นกว่า ข้อสังเกตนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกขนาดมวลรวมและการควบคุมอุณหภูมิและเวลาการบ่มในการออกแบบคอนกรีตที่มีความแข็งแรงสูง

2. คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ (BAS) ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูน (CAC) อย่างต่อเนื่องในทุกสภาวะการบ่มและทุกช่วงอายุการทดสอบ โดยเฉพาะในช่วงอายุต้นที่ 7 วัน คอนกรีต BAS มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีต CAC ประมาณ 10-18 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุ 28 วัน ความแตกต่างเพิ่มขึ้นเป็น 15-22 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้เงื่อนไขการบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คอนกรีต BAS ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 324 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่คอนกรีต CAC ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเพียง 265 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือมีความแตกต่างประมาณ ร้อยละ 22.30 ผลการทดลองดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า หินบะซอลต์มีสมบัติเชิงกลที่เหนือกว่าหินปูน ทั้งในด้านความแข็งแรง ความหนาแน่น และความทนทานต่อสภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดสูงและความทนทานต่อความร้อน

3. การใช้หินบะซอลต์เป็นมวลรวมหยาบร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อใช้มวลรวมหยาบขนาด 3/4 นิ้ว บ่มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เหมาะสำหรับงานคอนกรีตกำลังสูงและโครงสร้างที่ต้องทนต่อความร้อน เช่น โรงงาน โรงไฟฟ้า เตาเผา หรือโครงสร้างที่เสี่ยงต่อไฟไหม้ การเลือกใช้หินบะซอลต์แทนหินปูนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปต่อยอดในการวิจัยในอนาคต โดยควรศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์ต่อมวลรวมหยาบชนิดหินบะซอลต์และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างภายในของคอนกรีต รวมถึงการประยุกต์ใช้วัสดุเสริมหรือสารผสมเพิ่ม เช่น เถ้าลอย ซิลิกาฟูม และวัสดุเส้นใย เพื่อเพิ่มความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและลดการแตกร้าวในระยะยาว นอกจากนี้ การศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตภายใต้การรับความร้อนซ้ำและสภาวะการใช้งานจริงในระยะยาว จะช่วยสนับสนุนการออกแบบคอนกรีตกำลังสูงที่มีความปลอดภัย ความคงทน และประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการใช้งานในงานวิศวกรรมโยธา

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงโม่หินบะซอลต์ ตำบลเก่าขาม อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี ที่เอื้อเฟื้อหินบะซอลต์คุณภาพดี เพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี สำหรับการสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ทำการทดลองอย่างเต็มที่ ความช่วยเหลือและการสนับสนุนดังกล่าวมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและอาจารย์ที่ให้คำแนะนำทางวิชาการ ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพของงานวิจัยให้ออกมาอย่างครบถ้วนและเชิงวิชาการมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Al-Baijat, H. M. (2008). The use of basalt aggregates in concrete mixes in Jordan. *Jordan Journal of Civil Engineering*, *2*(1), 63-70. https://files01.core.ac.uk/download/pdf/234698246.pdf

ASTM International. (2014a). *ASTM C131/C131M-14: Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine.* ASTM International. https://www.astm.org/c0131_C0131M-14.html

ASTM International. (2014b). *ASTM C136/C136M-14: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.* ASTM International. https://www.astm.org/c0136_C0136M-14.html

ASTM International. (2015a). *ASTM C127/C127M-15: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://www.astm.org/c0127-15.html

ASTM International. (2015b). *ASTM C128/C128M-15: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate.* ASTM International. https://www.astm.org/c0128-15.html

ASTM International. (2017). *ASTM C29/C29M-17: Standard test method for bulk density (“unit weight”) and voids in aggregate.* ASTM International. https://www.astm.org/c0029_C0029M-17.html

ASTM International. (2018). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates.* ASTM International. https://store.astm.org/c0033_c0033m-18.html

ASTM International. (2020a). *ASTM C39/C39M-20: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.* ASTM International. https://www.astm.org/c0039_c0039m-20.html

ASTM International. (2020b). *ASTM C143/C143M-20: Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete.* ASTM International. https://www.astm.org/c0143_C0143M-20.html

ASTM International. (2020c). *ASTM C171/C171M-20: Standard specification for sheet materials for curing concrete.* ASTM International. https://www.astm.org/c0171-20.html

Google Earth. (2026). *Satellite image of basalt quarry area in Kao Kham Subdistrict, Nam Yuen District, Ubon Ratchathani Province*. from https://earth.google.com/

Jha, S., Duggal, P., & Agarwal, C. (2016). To study the durability aspects of concrete using basalt aggregate. *Indian Journal of Science and Technology*, *9*(30), 23-37. https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/99203

Kishore, I. S., Mounika, L., Prasad, C. M., & Krishna, B. H. (2015). Experimental study on the use of basalt aggregate in concrete mixes. *International Journal of Civil Engineering*, *2*(4), 37-40. https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V2I4P107

Masood, A., Shariq, M., Alam, M. M., Ahmad, T., & Beg, A. (2018). Effect of elevated temperature on the residual properties of quartzite, granite and basalt aggregate concrete. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, *99*(3), 485-494. https://doi.org/10.1007/s40030-018-0307-6

Rahmouni, Z. E. A., & Tebbal, N. (2020). Mechanical behavior of high-performance concrete under thermal effect. In *Compressive Strength of Concrete*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.89916

Sethabut, C. (2003). *Concrete technology* (12th eds.). Product and Construction Materials. (in Thai)

Tang, Y., Su, H., Huang, S., Qu, C., & Yang, J. (2017). Effect of curing temperature on the durability of concrete under highly geothermal environment. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2017*(1), 7587853. https://doi.org/10.1155/2017/7587853

Thai Industrial Standards Institute. (2019). *Thai Industrial Standard TIS 15: Portland cement industrial product*. Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. (in Thai)

Tufail, M., Shahzada, K., Gencturk, B., & Wei, J. (2017). Effect of elevated temperature on mechanical properties of limestone, quartzite and granite concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, *11*(1), 17-28. https://doi.org/10.1007/s40069-016-0175-2

Ubi, S. E., Nkra, P. O., Agbor, R. B., Ewa, D. E., & Nuchal, M. (2020). Efficacy of basalt and granite as coarse aggregate in concrete mixture. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, *7*(9), 1-9. https://doi.org/10.29121/ijetmr.v7.i9.2020.769

Yazıcıoglu, S., Tugla, R., Ay, S., & Demirel, B. (2018). Effect of high temperature on compressive strength of concrete prepared using different types of aggregates. In *International Sustainable Buildings Symposium* (pp. 425-434). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63709-9_34

Yenprasert, N., & Duangchan, A. (2021). The study of properties of lightweight concrete containing aluminum powder. *RMUTSB Academic Journal*, *9*(1), 83-91. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/248711 (in Thai)

Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., Adesina, A., de Azevedo, A. R., Amin, M., Hadzima-Nyarko, M., & Agwa, I. S. (2022). Review on effect of steam curing on behavior of concrete. *Cleaner Materials*, *3*, 100042. https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100042