อิทธิพลของเม็ดดินเหนียวขยายตัวเบาต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง

Influence of Lightweight Expanded Clay Aggregate on Properties of High Workability Concrete

ปานปรียา ขาวเถิน[1], นิบัสซัม เดะแอ[2] และ มงคล นามลักษณ์[3*]

Panpreeya Kawturn[1], Nibussum De-Ae[2] and Mongkhon Narmluk[3*]

*[12*3]ภาควิชครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140*

*[12*3]Department of Civil Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140*

Received : 2020-07-09 Revised : 2020-07-17 Accepted : 2020-08-20

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของเม็ดดินเหนียวขยายตัวเบาที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง ในการทดลองมวลรวมหยาบธรรมชาติ (หินปูนบดย่อย) ถูกแทนที่ด้วยเม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา (LECA) ในอัตราร้อยละ 16 32 และ 47 (โดยน้ำหนัก) ในขณะที่คอนกรีตควบคุมใช้หินปูนบดย่อยเป็นมวลรวมหยาบเพียงอย่างเดียว สมบัติของคอนกรีตที่ศึกษาประกอบด้วย ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสด ค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และการหดตัวแบบออโตจีนัส ของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ผลการวิจัยพบว่า การแทนที่หินปูนบดย่อยด้วย LECA ทำให้ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดลดลง คอนกรีตซึ่งมีอัตราการแทนที่ของ LECA ร้อยละ 32 ให้ค่าการไหลแผ่และกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันสูงสุด การแทนที่ในอัตราร้อยละ 47 โดยน้ำหนักทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำสุด ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม ร้อยละ 18.7 การหดตัวแบบออโตจีนัสในช่วง 28 วันแรก ของการแทนที่ในอัตราร้อยละ 32 และ 47 (โดยน้ำหนัก) มีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุม

คำสำคัญ : คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง, คอนกรีตมวลเบา, เม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา, กำลังรับแรงอัด, การหดตัว

Abstract

This research aimed to study the influence of lightweight expanded clay aggregate (LECA) on properties of high workability concrete. In the experiment, natural coarse aggregate (crushed limestone) was replaced by the LECA at the ratio of 16, 32, and 47 percent by weight, while the control concrete mixture used the crushed limestone as coarse aggregate. The investigated concrete properties included slump flow of fresh concrete, density, compressive strength, and autogenous shrinkage of hardened concrete. The results revealed that the replacement of crushed limestone by LECA increases the slump flow spread and decreases the density and the compressive strength of concrete. The concrete with 32% LECA replacement obtained the maximum slump flow spread and compressive strength at 28 days. The concrete with 47% LECA replacement obtained the density 18.7% lower than that of the control mixture. The autogenous shrinkage at 28 days of 32% and 47% LECA replacement were higher than that of the control mixture.

*มงคล นามลักษณ์

E-mail : *mongkhon.nar@kmutt.ac.th*

Keywords : High workability concrete, Lightweight concrete, Lightweight expanded clay aggregate, Compressive strength, Shrinkage

1. บทนำ

คอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูง (High workability concrete) คือ คอนกรีตที่มีความเหลวสูง กล่าวคือ มีค่าการยุบตัว (slump) มากกว่า 200 มิลลิเมตร [1] ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตที่มีแบบหล่อซับซ้อน หรือมีเหล็กเสริมหนาแน่น ซึ่งยากต่อเทด้วยคอนกรีตปกติ และเนื่องจากมีค่ายุบตัวสูงมาก การทดสอบความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตประเภทนี้ จึงนิยมใช้การทดสอบค่าการไหลแผ่ (slump flow) [2] โดยทั่วไปการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูง จะใช้วัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์) และสารลดน้ำ (superplasticizer) ในปริมาณมากกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่ปริมาณมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างจากคอนกรีตปกติ (2100-2500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์) [3]

คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete) คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 300-2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การทำคอนกรีตมวลเบาสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการใช้มวลรวมเบา (Lightweight aggregate) แทนที่มวลรวมปกติ ซึ่งมวลรวมเบาอาจได้มาจากธรรมชาติ (Natural lightweight aggregate) หรือมวลรวมเบาที่ประดิษฐ์ขึ้น (Artificial lightweight aggregate) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบานี้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1200-2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 17 เมกะปาสคาล [4] จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรับน้ำหนัก

เม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา (Lightweight Expanded Clay Aggregate, LECA) คือ มวลรวมน้ำหนักเบาชนิดหนึ่งที่ประดิษฐ์ขึ้นจากการนำดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง ปั้นขึ้นรูปเป็นเม็ดรูปทรงกลมหรือทรงรี แล้วนำไปเผาด้วยความร้อนในช่วง 1,100-1,300 องศาเซลเซียส ซึ่งในระหว่างการเผา จะเกิดฟองแก๊สขึ้นภายในเม็ดดินเหนียว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ในดินเหนียว ส่งผลให้เม็ดดินเหนียวเกิดการขยายตัวขึ้น จะได้เม็ดเซรามิกสีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลอมแดง ที่มีความแข็งและมีความพรุนภายใน น้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำได้มาก และไม่เกิดความเสียหายเมื่อสัมผัสกับน้ำ [5]

งานวิจัยในอดีตได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ LECA เป็นมวลรวมหยาบ เช่น Jozˊwiak-Niedzˊwiedzka [6] และ Shebannavar และคณะ [7] รายงานว่าการใช้ LECA เป็นมวลรวมหยาบ ในช่วงร้อยละ 50-100 ทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ (ค่าการยุบตัว) สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมปกติ Maghsoudi และคณะ [8] รายงานว่าคอนกรีตซึ่งใช้ LECA ขนาด 4.75-9.5 mm เป็นมวลรวมหยาบในปริมาณ 175 $\mathrm{kg/m^3}$ มีค่าความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วง 1,890-1,870 $\mathrm{kg/m^3}$ Lakshmi และคณะ [9] ได้ศึกษาการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วย LECA ในช่วงร้อยละ 45-70 และพบว่าค่าความหนาแน่นของคอนกรีตต่ำลง ร้อยละ 9.71-19.0 ตามลำดับ Sivakumar และ Kameshwari [10] รายงานว่าการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย LECA ขนาด 10 มิลลิเมตร ในช่วงร้อยละ 5-35 ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 0.15-45.9 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Salem และคณะ [11] ที่รายงายว่าการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย LECA ขนาด 4-16 mm ร้อยละ 100 ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 7.25-38.71 Cui และคณะ [12] อธิบายสาเหตุที่ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง ว่าเกิดจาก LECA มีความแข็งแกร่งน้อยกว่ามวลรวมหยาบปกติ จึงทำให้เกิดจุดอ่อนในเนื้อคอนกรีต

สำหรับในประเทศไทย จิรัฐติ์ บรรจงศิริ [13] ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์ที่ผลิตจาก LECA เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวม

หยาบหินธรรมชาติ โดยออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว (Slump) อยู่ในช่วง 3-18 cm และ LECA ที่ใช้มีขนาดโตสุดไม่เกิน 19.0 mm ผลการศึกษา พบว่า ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวม LECA แปรผันอยู่ในช่วง 1,748-1,973 kg/m^3 และกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่ากำลังอัดของคอนกรีตทำด้วยมวลรวมหยาบหินธรรมชาติ อยู่ในช่วง ร้อยละ 1.0-44.3 ตามลำดับ จากข้อมูลที่กล่าวมาจะเห็นว่า คอนกรีตที่ศึกษาในงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตที่มีความสามารถเทปกติ การศึกษาในประเทศไทยยังมีน้อย และยังไม่มีการศึกษาสมบัติด้านการหดตัวของคอนกรีต

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูงให้มีน้ำหนักเบาโดยการแทนที่มวลรวมธรรมชาติ (หินปูนบดย่อย) ด้วย LECA ซึ่งนอกจากจะศึกษาผลกระทบของการใช้ LECA ที่มีต่อกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตแล้ว ยังศึกษาพฤติกรรมการหดตัวแบบออโตจีนัสช่วงต้นของคอนกรีตด้วย ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป ที่นอกจากจะทำให้ได้ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตน้ำหนักเบาแล้ว คอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูง ยังสามารถไหลเข้าแบบได้ง่าย ช่วยลดแรงงานและเวลาในการทำให้คอนกรีตแน่น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มกำลังการผลิตแผ่นคอนกรีตในโรงงานอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15-2555 [14]

2.1.2 มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำล้างสะอาด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.63 และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.5

2.1.3 มวลรวมหยาบ ใช้หินปูนบดย่อยขนาดอนุภาคโตสุด เท่ากับ 3/8 นิ้ว (9.5 mm) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.70 และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.58

2.1.4 เม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา (LECA) ได้มาจากบริษัทไซมีส อีโคไลท์ จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็น LECA รูปทรงกลมรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคละ อยู่ระหว่าง 2-8 mm มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.16 และมีค่าการดูดซึมน้ำในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับร้อยละ 14.09 ลักษณะทางกายภาพของอนุภาคแสดงในรูปที่ 1

2.1.5 สารลดน้ำ (Superplasticizer) ประเภท F ซึ่งเป็นสารลดน้ำระดับสูง (High Range Water Reducing Admixtures) จากบริษัท ซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด

2.1.6 ผงแคลเซียมคาร์บอเนต จากบริษัท ไทยโพลีเคมีคอล จำกัด ซึ่งมีความละเอียดสูง (ผ่านตะแกรง 325 ร้อยละ 99.85)

2.1.7 น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาดในการผสมคอนกรีต

2.2 ตัวแปรการทดลองและอัตราส่วนผสมคอนกรีต

ตัวแปรต้นในการวิจัย คือ อัตราการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ (หินปูนย่อย) ด้วย LECA ซึ่งกำหนดให้แปรผัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 16 32 และ 47 (โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ) หรือคิดเป็นร้อยละ 30 50 และ 67 (โดยปริมาตรมวลรวมหยาบ) โดยมีเหตุผลสำคัญ 2 ประการ คือ 1) ต้องการใช้ LECA แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติในปริมาณสูงกว่างานวิจัย [10] และ 2) จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า อัตราการแทนที่สูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดการลอยแยกตัวของ LECA จากมอร์ตาร์ คือ ร้อยละ 47 (โดยน้ำหนัก) ตัวแปรตามในงานวิจัยนี้ คือ ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสด (Slump flow) ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต รายละเอียดของอัตราส่วนผสมของคอนกรีต ได้แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุผงประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผงแคลเซียมคาร์บอเนต รวมกันเท่ากัน 500 kg/m^3 ซึ่งปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน และผงแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุเติมแทรกและช่วยเพิ่มปริมาตรซีเมนต์เพสต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (water to powder ratio, w/p) มีค่าคงที่เท่ากับ 0.39 (โดยน้ำหนัก) และใช้สารลดน้ำในปริมาณคงที่ เท่ากับร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักวัสดุผง



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของ LECA ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

กลุ่มตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์	ผงแคลเซียมคาร์บอเนต	เม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา (LECA)	หินปูนย่อย	ทราย	น้ำ	สารลดน้ำ
Control	450	50	-	720	880	195	3
LECA16	450	50	112.6	607.4	880	195	3
LECA32	450	50	225.3	494.7	880	195	3
LECA47	450	50	337.9	382.1	880	195	3

2.3 การผสมคอนกรีตและการเตรียมตัวอย่าง

การผสมคอนกรีตมีขั้นตอนดังนี้ 1) ผสมสารลดน้ำ (Superplasticizer) กับน้ำที่ต้องในการผสมทั้งหมด และแบ่งเป็น 5 ส่วน 2) ใส่มวลรวมหยาบ (หินปูนย่อย) ในเครื่องผสม พร้อมน้ำ 1 ส่วน แล้วเดินเครื่องผสม 5 นาที 3) เติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พร้อมน้ำ 2 ส่วน แล้วเดินเครื่องผสม 10 นาที 4) เติมมวลรวมละเอียด (ทราย) พร้อมน้ำ 1 ส่วน แล้วเดินเครื่องผสม 5 นาที 5) ใส่ผงแคลเซียมคาร์บอเนต พร้อมน้ำ 1 แล้วเดินเครื่องผสม 3 นาที และ 6) ใส่ LECA ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วเดินเครื่องผสม 5 นาที เมื่อผสมคอนกรีตจนเข้ากันดีแล้ว นำคอนกรีตที่ไปทดสอบค่าการไหลแผ่ และเทลงในแบบหล่อสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและการหดตัวโดยไม่ทำการจี้เขย่าหรือกระทุ้ง



รูปที่ 2 การทดสอบค่าการไหลแผ่

2.4 วิธีการทดสอบ

2.4.1 การทดสอบค่าการไหลแผ่ (Slump flow) ของคอนกรีต ได้ทำตามแนวทางของ ASTM C1611 [15] โดยกรวยสำหรับการทดสอบค่ายุบตัว (slump cone) วางบนแผ่นเหล็ก จากนั้นเทคอนกรีตจนเต็มโดยไม่ต้องจี้เขย่าหรือกระทุ้งให้แน่น แล้วยกกรวยทดสอบขึ้นในแนวดิ่ง ปล่อยให้คอนกรีตไหลแผ่อิสระด้วยน้ำหนักตนเองจนหยุดนิ่ง (ดังรูปที่ 2) จึงวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่ออกใน 2 แนวที่ตั้งฉากกัน เพื่อหาค่าการไหลแผ่เฉลี่ย

2.4.2 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ได้ทำตามมาตรฐาน BS EN 12390-3:2009 [16] โดยใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบขนาด15x15x15 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำ และทำการทดสอบเมื่อตัวอย่างทดสอบมีอายุ 3 7 14 และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดที่รายงานในบทความนี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่าง สำหรับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่แสดงในงานวิจัยนี้คำนวณได้จากน้ำหนักและปริมาตรจริงของ

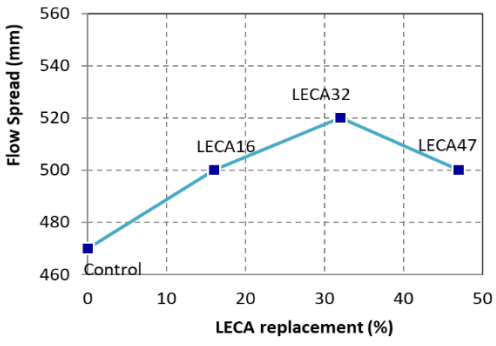
ก้อนตัวอย่างก่อนที่บันทึกไว้การทดสอบกำลังรับแรงอัด

2.4.3 การวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต ได้ทำตามมาตรฐาน ASTM C157 [17] โดยใช้แท่งตัวอย่างขนาด 7.5x7.5x28.5 cm จำนวน 3 แท่งต่อหนึ่งชุดทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ย หลังจากการเทคอนกรีตสดลงในแบบหล่อ ได้ปกป้องผิวหน้าคอนกรีตด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำจนกระทั่งถึงเวลาถอดแบบ ที่อายุ 24 ชั่วโมง จากนั้นแท่งตัวอย่างจะถูกห่อหุ้มทันทีด้วยพลาสติกแผ่นบาง 3 ชั้น และเทปกาวอะลูมิเนียม 2 ชั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น [18] ส่วนเครื่องมือวัดค่าการหดตัวได้ใช้เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวแบบดิจิทัล (Digital Length Comparator) ซึ่งมีความแม่นยำในการวัดได้ถึง 0.001 mm

3. ผลการทดลอง

3.1 ค่าการไหลแผ่

จากภาพที่ 3 แสดงผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสด จากรูปจะเห็นว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ (หินปูนบดย่อย) ด้วย LECA ร้อยละ 16 32 และ 47 (LECA16 LECA32 และ LECA47) มีค่าการไหลแผ่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [6-7] ที่กล่าวว่ามวลรวมที่มีอนุภาคมนกลมจะทำให้มีความสามารถทำงานได้สูงขึ้น และคอนกรีต LECA32 มีค่าการไหลแผ่สูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการมีอัตราส่วนปริมาตรมวลรวมต่อปริมาตรเพสต์ที่เหมาะสมจึงทำให้เกิดการไหลแผ่ได้มาก



รูปที่ 3 ผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต

3.2 กำลังรับแรงอัด

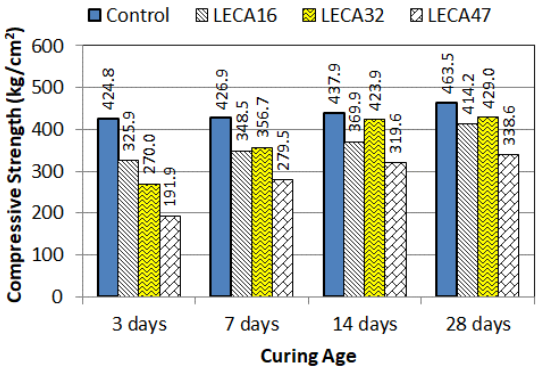
จากภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ LECA เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม เมื่อพิจารณาที่อายุ 3 วัน พบว่า คอนกรีต LECA16 LECA32 และ LECA47 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 325.9 270 และ 191.9 kg/cm^2 คิดเป็นร้อยละ 76.7 63.5 และ 45.2 ของคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ LECA ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง เนื่องจาก LECA มีความแข็งแกร่งน้อยกว่ามวลรวมธรรมชาติ จึงทำให้เกิดจุดอ่อนในเนื้อคอนกรีต [12]

เมื่อพิจารณาที่อายุ 7 14 และ 28 วัน พบว่า คอนกรีต LECA16 LECA32 และ LECA47 ยังคงให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่คอนกรีต LECA32 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีต LECA16 และ LECA47 ตัวอย่างเช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต LECA16 LECA32 และ LECA47 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 414.2 429 และ 338.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 89.4 92.6 และ 73.0 ของคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าการไหลแผ่ ซึ่งคอนกรีต LECA32 มีค่าการไหลแผ่มากที่สุด นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่าเนื้อคอนกรีต LECA32 มีการกระจายเม็ดมวลรวมสม่ำเสมอมากกว่าคอนกรีตกลุ่มอื่น บ่งชี้ว่าการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วย LECA ร้อยละ 32 (โดยน้ำหนัก) เป็นปริมาณที่เหมาะสม ทำให้มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาลักษณะของการวิบัติของก้อนคอนกรีต LECA32 พบว่าระนาบของการแตกร้าววิ่งผ่านเม็ด LECA ดังภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์มีความแข็งแกร่งมากกว่า LECA นอกจากนี้ ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าคอนกรีต LECA47 ที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้ มีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 338.6 kg/cm^3 หรือ 33.2 MN ซึ่งมากกว่า 17 MN สามารถใช้ได้ในงานคอนกรีตโครงสร้างอาคารพักอาศัยทั่วไป [4] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต จะเห็นว่าในงานวิจัยนี้มีการลดลงของค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 7-27 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีต

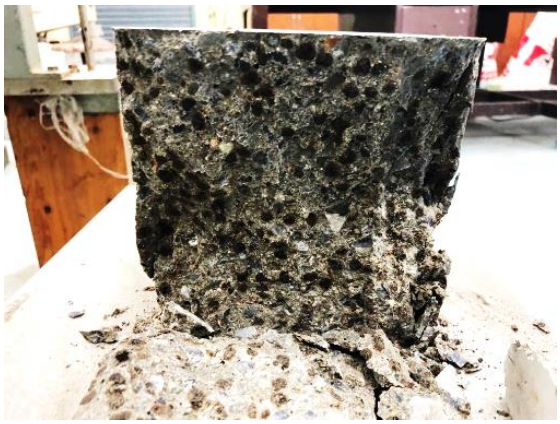
ควบคุม ซึ่งต่ำกว่างานวิจัย [10] แม้ว่างานวิจัยนี้มีการแทนที่ด้วย LECA ในอัตราสูงกว่า

3.3 ความหนาแน่น

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตผสม LECA เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม โดยภาพรวมจะเห็นว่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าต่ำลง เมื่ออัตราการแทนที่ด้วย LECA เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตควบคุม (Control) มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2,310 kg/m^3 ส่วนคอนกรีต LECA16 LECA32 และ LECA47 มีค่าความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 2,186 2,103 และ 1,879 kg/m^3 หรือคิดเป็นร้อยละ 95 91 และ 81 ของคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ

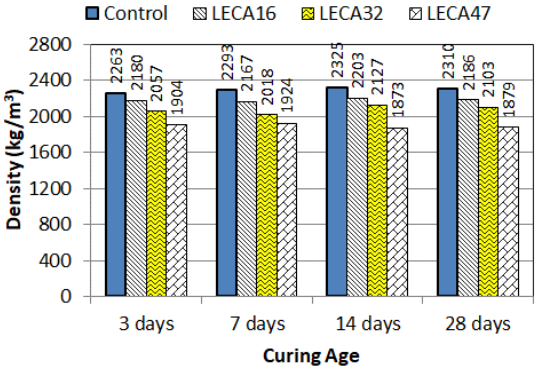


รูปที่ 4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

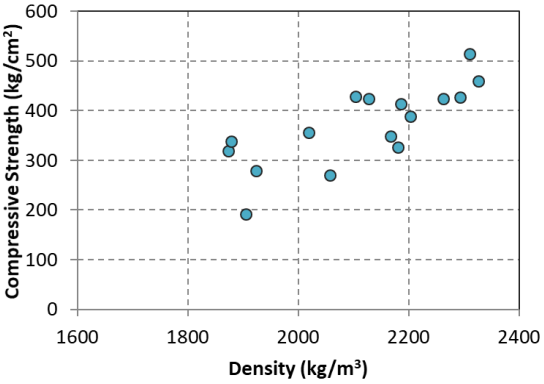


รูปที่ 5 ลักษณะการวิบัติของคอนกรีต LECA32

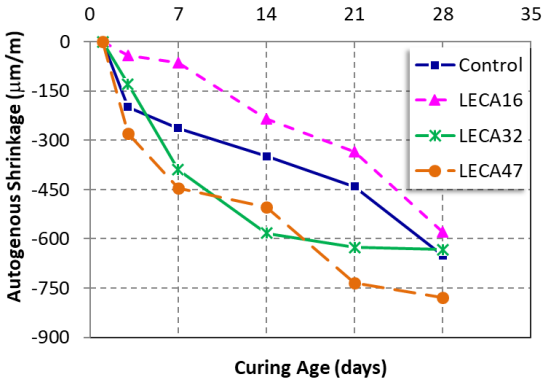
เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ที่เสนอแนะโดยงานวิจัยในอดีต [4] จะเห็นว่ามีเพียงคอนกรีต LECA47 ที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้ ที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นคอนกรีตมวลเบา (ต่ำกว่า 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งหากนำไปใช้ในงานโครงสร้าง จะทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลงได้ ร้อยละ 18.7 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหินปูนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการแทนที่ ร้อยละ 16 และ 32 โดยน้ำหนัก ยังไม่มากเพียงพอที่จะทำให้คอนกรีตมีค่าความหนาแน่นลดลงเป็นคอนกรีตมวลเบา เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังแสดงรูปที่ 7 จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความหนาแน่นของคอนกรีต กล่าวคือ ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามค่าความหนาแน่นของคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ahmad และคณะ [2]



รูปที่ 6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต

3.4 การหดตัวแบบออโตจีนัส

จากรูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต จากรูปจะเห็นว่าคอนกรีตทุกส่วนผสมมีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นตามเวลา คอนกรีต LECA16 มีค่าการหดตัวต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม ตลอดช่วงอายุการทดสอบ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการที่น้ำภายใน LECA กระจายตัวออกมา ทำให้ความชื้นภายในคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม ดังนั้นจึงทำให้การหดตัวลดลง [19] แต่เมื่ออัตราการแทนที่เพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 32 และ 47 (LECA32, LECA47) ทำให้ค่าการหดตัวสูงกว่าคอนกรีตควบคุม ในช่วง 28 วันแรก ผลการทดลองข้างต้นแตกต่างการคาดการณ์ ที่คาดว่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตจะลดลงอย่างต่อเนื่อง

เมื่ออัตราการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย LECA สูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น การที่ LECA มีความแข็งของอนุภาคน้อยกว่าหินปูน ดังนั้นเมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น จึงทำให้โครงสร้างของมวลรวมมีความต้านทานต่อการหดตัวของคอนกรีตน้อยลง [19] นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่า LECA ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ยังไม่อิ่มตัวโดยสมบูรณ์และเกิดการดูดกลืนน้ำจากซีเมนต์เพสต์ ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ในเพสต์ต่ำลง และส่งผลให้เกิดการหดตัวแบบออโตจีนัสสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเห็นชัดเจนขึ้น เมื่ออัตราการแทนที่ด้วย LECA สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในระยะยาว (หลัง 28 วัน) คอนกรีตควบคุม (Control) และคอนกรีต LECA16 มีแนวโน้มเกิดการหดตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่คอนกรีต LECA32 และ LECA47 มีอัตราการหดตัวต่ำลง ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าคอนกรีตควบคุม (Control) และคอนกรีต LECA16 จะมีค่าการหดตัวสูงกว่าในระยะยาว

4. บทสรุป

จากข้อมูลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1 ค่าการไหลแผ่ (slump flow) ของคอนกรีตสูงขึ้น เมื่อแทนที่หินปูนบดย่อยด้วย LECA และการแทนที่ร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการไหลแผ่สูงสุด

4.2 ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่หินปูนบดย่อยด้วย LECA และการแทนที่ในอัตราร้อยละ 47 โดยน้ำหนักเท่านั้น ที่ทำให้ได้คอนกรีตมวลเบา ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ 18.7

4.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำลง เมื่อแทนที่หินปูนบดย่อยด้วย LECA การแทนที่ร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด และการแทนที่ร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด (338.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) แต่สามารถใช้ในงานโครงสร้างได้

4.4 การหดตัวแบบออโตจีนัสในช่วง 28 วันแรก มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเมื่อแทนที่หินปูนบดย่อยด้วย LECAร้อยละ 16 แต่จะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุมเมื่อหินปูนบดย่อยด้วย LECA ร้อยละ 32 และ 47

4.5 LECA มีประโยชน์ทั้งในด้านการทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาและทำให้ความสามารถทำงานได้สูงขึ้น ทั้งนี้ต้องใช้ในปริมาณเหมาะสม และควรหลีกเลี่ยงการใช้ในงานที่ไม่ต้องการให้เกิดการหดตัวสูงในช่วง 3 สัปดาห์แรก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ไซมิส อีโคไลท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดดินเหนียวขยายตัวเบา และบริษัทซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารสดน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] M.F.M. Zain, Md. Safiuddin, and K.M. Yusof. "A study on the properties of freshly mixed high-performance concrete". Cement and Concrete Research, 29(9), pp. 1427-1432, 1999.

[2] M.R. Ahmad, B. Chen, and S.F. Ali Shah. "Investigate the influence of expanded clay aggregate and silica fume on the properties of lightweight concrete". Construction and Building Materials, 220, pp. 253-266, 2019.

[3] J. Newman and B.S. Choo. Advanced Concrete Technology: Processes. Butterworth-Heinemann-An imprint of Elsevier Linacre House, 2003, pp. 2/3-2/25.

[4] K.H. Yang, G.H. Kim, and Y.H. Choi. "An initial trial mixture proportioning procedure for structural lightweight aggregate concrete". Construction and Building Materials, 55, pp. 431-439, 2014.

[5] A.M. Rashad. "Lightweight expanded clay aggregate as a building material-An overview". Construction and Building Materials, 170, pp. 757-775, 2018.

[6] D. Joz?wiak-Niedz?wiedzka. "Scaling resistance of high-performance concretes containing a small portion of pre-wetted lightweight fine aggregate". Cement and Concrete Composites, 27, pp.709-715, 2005.

[7] D. Shebannavar Hanamanth, P. Maneeth, and S. Brijbhushan. "Comparative study of LECA as a complete replacement of coarse aggregate by ACI method with equivalent likeness of strength of IS method". Int. Res. J. Eng. Tech., 2(8), pp. 589-594, 2015.

[8] A.A. Maghsoudi, Sh. Mohamadpour, and M. Maghsoudi. "Mix design and mechanical properties of self-compacting light weight concrete". Int. J. Civ. Eng. 9(3), pp.230-236, 2011.

[9] Lakshmi P. Pavithra, A. Kaethika, and K. Mahendran. "Experimental investigation on flexural properties of lightweight concrete using steel scraps". SSRG Int. J. Civ. Eng., pp.566-570, 2017.

[10] S. Sivakumar, and B. Kameshwari. "Influence of fly ash, bottom ash, and light expanded clay aggregate on concrete". Adv. Mater. Sci. Eng., pp.1-9, 2015.

[11] N. Salem, M. Ltifi, and H. Hassis. "Characterization of lightweight aggregates manufactured from Tunisian clay". J. Sci. Res., 7, pp.43-51, 2014.

[12] H.Z. Cui, T.Y. Lo, S.A. Memon, and W. Xu. "Effect of lightweight aggregates on the mechanical properties and brittleness of lightweight aggregate concrete". Construction and Building Materials, 35, pp.149-158, 2012.

[13] จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ, "การศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากมวลรวมหยาบประดิษฐ์", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ ระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 11, พ.ศ.2557, หน้า 2077-2085.

[14] Thai Industrial Standard Institute. "TIS 15 : 2555 Thai standard for Portland Cement : Part I specification". TISI,2012.

[15] ASTM C1611 / C1611M - 18. "Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete". ASTM International, 2018.

[16] British Standard Institute. "BS EN 12390-3: Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens". BSI, 2009.

[17] ASTM C157 / C157M-17. "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete". ASTM International, 2017.

[18] ชนานนท์ สิงห์คศิริ และ มงคล นามลักษณ์, "ผลกระทบของระยะเวลาบดเถ้าแกลบที่มีต่อการหดตัวแบบออโตจีนัสและกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ",วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 25, พ.ศ.2561, หน้า 232-241.

[19] J.A. Bogas, R. Nogueira, and N.G. Almeida. "Influence of mineral additions and different compositional parameters on the shrinkage of structural expanded clay lightweight concrete". Materials & Design, 56, pp. 1039-1048, 2014.