

ค่าการยุบตัวและกำลังอัดของคอนกรีตผสมมวลรวมใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบ และหินฝุ่นแทนมวลรวมละเอียด

วิศวินทร์ อัครปัญญาธร^{1*}

A.Wissawin@gmail.com^{1*}

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Received: January 16, 2018

Revised: May 15, 2018

Accepted: June 11, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการใช้งานและกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบจากธรรมชาติ (หินปูนย่อย) ในอัตราส่วนร้อยละ 70, 80, 90 และ 100 โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ และหินฝุ่นแทนมวลรวมละเอียดจากธรรมชาติ (ทรายแม่น้ำ) ในอัตราส่วนร้อยละ 70, 80, 90 และ 100 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด เป็นส่วนผสม โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.65 ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 1, 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. สูง 300 มม. ผลการทดสอบพบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการใช้หินฝุ่นแทนทรายธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การใช้เศษคอนกรีตแทนหินธรรมชาติมีแนวโน้มทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณอัตราส่วนเศษคอนกรีตแทนที่หินธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น และหินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติไม่เกินร้อยละ 80 ทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติมากเกินไปกว่าร้อยละ 80 ส่งผลกระทบให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง สำหรับแนวโน้มการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตที่มีหินฝุ่นและเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสม พบว่ามีแนวโน้มการพัฒนา กำลังอัดคล้ายกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายและหินธรรมชาติล้วนเป็นมวลรวม

คำสำคัญ: มวลรวมใช้แล้ว หินฝุ่น กำลังอัด ค่าการยุบตัว

Slump and Compressive Strength of Concrete Containing Recycled Aggregate and Lime Stone Dust

Wissawin Arckarapunyathorn^{1*}
A.Wissawin@gmail.com^{1*}

^{1*} Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

Received: January 16, 2018
Revised: May 15, 2018
Accepted: June 11, 2018

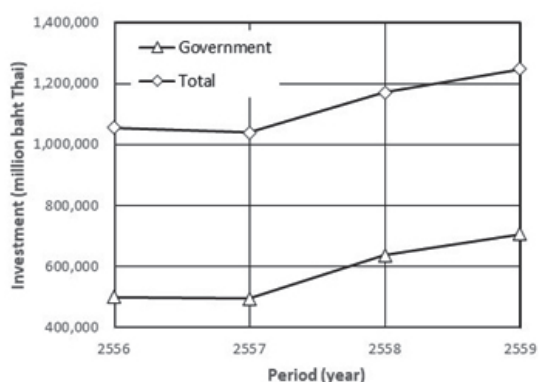
Abstract

This research is to study the workability and compressive strength of concrete containing recycled aggregate and lime stone dust. Recycled aggregate (RCA) is used to replace crushed stone was 70%, 80%, 90% and 100% by volume of total coarse aggregate. Lime stone dust (CD) is used to replace river sand was 70%, 80%, 90% and 100% by volume of total fine aggregate. The water to binder ratio = 0.65 was used. Compressive strength was determined at the ages of 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days by using concrete cylinder (dimension was 150 millimeter in diameter and 300 millimeter in height) for testing. The results show that, workability of concrete was decreasing, when the amount of CD to be increasing, while workability of concrete was slightly increased, when the amount of RCA to be increasing. For the compressive strength of concrete at the ages of 28 days, the tendency was to be decreasing, when the amount of RCA to be increasing. For the amount of CD in concrete lower than 80%, compressive strength was tending to increasing. While the amount of CD in concrete more than 80%, compressive strength was decreased. In addition, the tendency of the compressive strength development of concrete with RCA and CD was similar to conventional concrete (concrete without RCA and CD).

Keywords: recycled concrete, lime stone dust, compressive strength and slump.

1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุอันดับต้นๆ ที่ถูกใช้ในงานด้านการก่อสร้างอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องมาจากราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ การหล่อเป็นรูปร่างได้ตามต้องการสามารถทำได้โดยง่าย เทเข้าแบบง่าย และสามารถใช้ร่วมกันวัสดุอื่นๆ ได้ดี เป็นต้น จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ระหว่างปี พ.ศ.2556 – 2559 มูลค่าการก่อสร้างทั้งหมด (มูลค่าการก่อสร้างภาครัฐและเอกชน) ในประเทศไทยมีอัตราการเติบโตมากขึ้น 6.05% ต่อปี เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2556 ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงถึงความต้องการในการใช้คอนกรีตมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1 มูลค่าการก่อสร้างในประเทศไทย [1]

องค์ประกอบในคอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ มวลรวมละเอียด (ทราย) และมวลรวมหยาบ (หิน) ในปัจจุบันประเทศไทยใช้มวลรวม (มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ) เป็นส่วนผสมหลักในคอนกรีต เนื่องจากมีปริมาณ 70-80% ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมดในคอนกรีต [2] โดยมวลรวมเหล่านี้ที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อมีการนำมาใช้ประโยชน์ก็ย่อมมีปริมาณที่ลดลง และมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นในอนาคตเนื่องจากมีอุปสงค์มากกว่าอุปทาน

มวลรวมหยาบที่ใช้สำหรับเป็นส่วนผสมของคอนกรีตในประเทศไทยนิยมใช้หินปูนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากประเทศไทยมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ ทั้งนี้การนำหินปูนมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตจะต้องระเบิดภูเขาและเข้าสู่กระบวนการโม่หินก่อนนำไปใช้งาน ในขณะที่การนำมวลรวมละเอียด (ทราย) มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต จะต้องดูทรายจากแม่น้ำ หรือจากพื้นดินเสียก่อน จึงนำมาใช้งานต่อไปได้ จากกระบวนการการผลิตมวลรวมเหล่านี้จะเห็นได้ว่าเป็นการทำลายธรรมชาติ และทำให้ทรัพยากรที่มีอยู่ลดน้อยลง โดยเฉพาะกระบวนการผลิตทรายอาจเป็นผลทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นที่ใกล้เคียงได้

หินฝุ่นเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีประโยชน์น้อยและมีปริมาณมาก โดยหินฝุ่นเป็นผลพลอยได้ในขั้นตอนการโม่หินจากกระบวนการผลิตหิน ซึ่งเศษหินฝุ่นที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีขนาดเล็กมาก และจะไม่ผ่านตะแกรงร่อนแต่จะปลิวออกมาตกกองทับถมอยู่ใต้เครื่องโม่ ซึ่งโดยปกติจะต้องขนออกไปทิ้ง จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณีพบว่ามีการผลิตย่อยหินในประเทศไทยประมาณ 90,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นว่าเป็นการทำลายธรรมชาติ และทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งอย่างมากมาย อีกทั้งการเกิดเศษหินฝุ่นจำนวนมากจะทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก หินฝุ่นมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับทราย และมีราคาเพียง 1/8 ของทราย [3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าหินฝุ่นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมคอนกรีตได้ โดยการนำหินฝุ่นมาใช้เป็นส่วนผสมแทนที่ทรายบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ [3-7]

นอกจากนี้ยังมีเศษวัสดุเหลือใช้อีกชนิดหนึ่ง นั่นคือมวลรวมที่ใช้แล้วจากเศษคอนกรีตสับเนื่องมาจากความต้องการในการก่อสร้างอาคารที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในอดีตถูกรื้อถอน เพื่อสร้างใหม่ ซึ่งในกระบวนการรื้อถอนนี้ ทำให้ได้เศษวัสดุคอนกรีตเหลือทิ้งที่ไม่สามารถนำใช้งานได้ จนเป็นเหตุทำให้ต้องนำไปถมที่ หรือนำไปทิ้งเท่านั้น ต่อมาได้มีการทำวิจัยเพื่อนำเศษวัสดุเหลือทิ้งชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง โดยนำเศษวัสดุคอนกรีตเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตแทนที่มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดเพื่อทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติ แต่ผลที่ได้ส่วนใหญ่กลับไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ [8-11]

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ 2 ประเด็นคือ (1) การศึกษาโดยนำมวลรวมใช้แล้วมาแทนที่มวลรวมหยาบให้กำลังอัดที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณที่ใช้ทดแทน (2) การศึกษาโดยการนำหินปูนมาแทนที่มวลรวมละเอียดให้กำลังอัดที่มากกว่าหรือน้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม จะเห็นได้ว่าการนำเศษคอนกรีตที่ใช้แล้วมาแทนที่มวลรวมหยาบในส่วนผสมของคอนกรีตยังไม่สามารถให้คุณภาพด้านกำลังอัดที่เทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมได้ อีกทั้งการใช้เศษคอนกรีตที่ใช้แล้วร่วมกับหินปูนเพื่อแทนที่มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดยังไม่มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทั้งสองชนิดมาใช้แทนที่มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดในส่วนผสมของคอนกรีต ให้มีคุณภาพเทียบเท่าหรือมากกว่าคอนกรีตที่ผสมโดยมวลรวมธรรมชาติ (คอนกรีตควบคุม)

2. วิธีการวิจัย

2.1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC)
- มวลรวมละเอียดจากธรรมชาติ (Sand: NFA) คือ ทรายแม่น้ำผ่านตะแกรงเบอร์ 4
- มวลรวมหยาบจากธรรมชาติ (Crushed stone: NCA) คือ หินปูนย่อยขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ $\frac{3}{4}$ และค้ำตะแกรงเบอร์ 4
- มวลรวมละเอียดจากหินฝุ่น (หินปูน) (Lime stone dust: CD) ได้จากพื้นที่บ้านรางกระต่ายในจังหวัดกาญจนบุรี และนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4
- มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ใช้แล้ว (Recycled Concrete: RCA) ได้มาจากการย่อยเสาะต่อม่อคอนกรีตที่มีกำลังอัดอยู่ในช่วง 400-500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ $\frac{3}{4}$ และค้ำตะแกรงเบอร์ 4)

มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตจะอยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ตามมาตรฐาน ASTM C127 [12] และ ASTM C128 [13] ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1. (Portland.Cement.Type.1) ทราย (NFA) หิน (NCA) หินฝุ่น (CD) และเศษคอนกรีต (RCA) ที่ใช้ในการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต เท่ากับ 3.15, 2.63, 2.61, 2.70 และ 2.45 ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวม ได้ถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 1

2.2. ส่วนผสมของคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้วิธีกำหนดปริมาตรของมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ โดยกำหนดช่วงกำลังอัดที่อายุ 28 วันให้อยู่ในระหว่าง 200-250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่าการออกแบบส่วนผสม

ของคอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ใช้เท่ากับ 0.65 (ใช้ตามตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากมาตรฐาน ACI 211.1-91 [14]) โดยใช้สัดส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (s/a) ร้อยละ 45 โดยปริมาตร และใช้สัดส่วนของมวลรวมต่อคอนกรีต (Vagg). ร้อยละ 65. โดยปริมาตร (หมายความว่า 1,000 ลิตร จะประกอบด้วย 650 ลิตร สำหรับมวลรวม และ 350 ลิตร สำหรับซีเมนต์เฟส) ทั้งนี้การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตในข้างต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้คงที่ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบกันได้อย่างชัดเจนว่าสัดส่วนผสมของคอนกรีตต่างๆ ให้ผลที่ดีหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตารางที่ 2 แสดงสัดส่วนผสมของคอนกรีต โดยคอนกรีตควบคุม (ROCO) ใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจากหินและทรายธรรมชาติ (หินปูนย่อยและทรายแม่น้ำ) ในขณะที่สัดส่วนผสมคอนกรีตอื่นๆ ใช้มวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตและมวลรวมละเอียดจากหินฝุ่นแทนที่มวลรวมธรรมชาติร้อยละ 100, 90, 80 และ 70 โดยปริมาตร โดยสัญลักษณ์ R คือ เศษคอนกรีต และสัญลักษณ์ C คือ หินฝุ่น เช่น ROCO หมายความว่า คอนกรีตที่ใช้หินและทรายเป็นมวลรวม และ R100C100 หมายถึง คอนกรีตที่ใช้คอนกรีตย่อยและหินฝุ่นแทนหินและทรายทั้งหมด



(ก) ทรายและหินฝุ่น



(ข) มวลรวมที่ใช้แล้วและหินธรรมชาติ

รูปที่ 2 มวลรวมที่ได้จากหินฝุ่น มวลรวมที่ใช้แล้ว และมวลรวมธรรมชาติ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวม

Properties	NCA	RCA	NFA	CD
Bulk Specific Gravity (SSD)	2.61	2.45	2.63	2.70
Apparent Specific Gravity	2.64	2.67	2.67	2.83
Water Absorption (%)	0.75	5.71	0.94	2.84
Fineness Modulus	6.49	6.60	2.57	3.25
Maximum Size (mm.)	19	19	4.75	4.75
Unit Weight (kg/m ³)	1,597	1,444	1,745	1,893
Void Content (%)	39.71	40.82	31.97	12.83

การผสมคอนกรีตเริ่มจากการใส่มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด เติมน้ำและเครื่องผสมคอนกรีตประมาณ 3 นาที เพื่อให้มวลรวมเข้ากัน จากนั้นค่อยใส่ปูนซีเมนต์ แล้วเติมน้ำและเครื่องผสมคอนกรีตอีกครั้งประมาณ 3 นาที เพื่อให้เม็ดปูนซีเมนต์กระจายตัวทั่วส่วนผสม แล้วใส่น้ำ และเติมน้ำและเครื่องผสมคอนกรีต อีกอย่างน้อยประมาณ 3 นาที หรือจนกว่าส่วนผสมจะเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นก็นำคอนกรีตที่ได้ไปทำการทดสอบและเก็บตัวอย่างในรูปแบบต่างๆ

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 ค่ายุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต ทำตามมาตรฐาน ASTM.C143/C143M [15] โดยผสมคอนกรีตที่ต้องการทดสอบหาค่าการยุบตัว จำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.3.2 กำลังอัดของคอนกรีต

ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน

3. ผลการวิจัย

3.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ค่าการยุบตัวของคอนกรีตควบคุมมีค่าเท่ากับ 16 เซนติเมตร สำหรับส่วนผสมคอนกรีตที่มีหินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้ว พบว่าค่ายุบตัวลดลง 45.63% – 59.38% (มีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.7 เซนติเมตร) เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการใช้หินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้วทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 2 Mix Proportion (kg/m³)

NO.	Cement	NFA	NCA	CD	RCA	Water
R0C0	362	769	933	0	0	235
R100C100	362	0	0	790	876	235
R100C90	362	77	0	711	876	235
R100C80	362	154	0	632	876	235
R100C70	362	231	0	553	876	235
R90C100	362	0	93	790	788	235
R90C90	362	77	93	711	788	235
R90C80	362	154	93	632	788	235
R90C70	362	231	93	553	788	235
R80C100	362	0	187	790	701	235
R80C90	362	77	187	711	701	235
R80C80	362	154	187	632	701	235
R80C70	362	231	187	553	701	235
R70C100	362	0	280	790	613	235
R70C90	362	77	280	711	613	235
R70C80	362	154	280	632	613	235
R70C70	362	231	280	553	613	235

ตารางที่ 3 กำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของคอนกรีต

Concrete	Compressive Strength (ksc)					
	Normalized Compressive Strength (%)					
	1 day	3 day	7 day	14 day	21 day	28 day
R0C0	172.15	225.98	255.65	286.21	306.71	325.03
	100	100	100	100	100	100
R100C100	147.11	192.08	215.78	257.36	280.55	275.70
	85.45	85	84.40	89.92	91.47	84.82
R90C100	140.01	160.69	231.29	231.91	250.22	271.41
	81.33	71.1	90.47	81.02	81.58	83.50
R80C100	189.63	216.58	248.31	287.27	292.26	312.06
	*110.15	95.84	97.13	*100.37	95.28	96.01
R70C100	167.50	217.50	231.93	277.22	293.34	307.15
	97.30	96.24	90.72	96.86	95.64	94.50
R100C90	179.31	232.09	245.09	273.83	278.17	288.67
	*104.16	*102.70	95.87	95.67	90.69	88.81
R90C90	131.74	193.26	205.14	243.67	286.97	296.13
	76.52	85.52	80.24	85.14	93.56	91.10
R80C90	181.09	233.21	285.22	291.73	335.90	356.76
	*105.19	*103.20	*111.56	*101.92	*109.52	*109.76
R100C80	173.66	220.93	250.84	258.76	259.96	300.13
	*100.87	97.76	98.12	90.41	84.75	92.34
R90C80	169.45	188.77	237.03	299.04	310.53	338.43
	98.43	83.53	92.72	*104.48	*101.24	*104.12
R80C80	189.72	233.12	248.75	286.21	307.40	353.13
	*110.20	*103.16	97.30	*100.00	*100.22	*108.64
R100C70	180.79	221.87	268.18	270.46	275.58	295.58
	*105.01	98.18	*104.90	94.50	89.85	90.94
R90C70	165.72	209.38	249.92	275.85	306.46	309.78
	96.26	92.65	97.75	96.38	99.91	95.30
R80C70	169.45	228.75	232.06	257.38	289.98	343.05
	98.43	*101.22	90.77	89.92	94.54	*105.54
R70C70	158.45	221.58	252.55	301.24	318.59	346.05
	92.04	98.05	98.79	*105.25	*103.87	*106.47

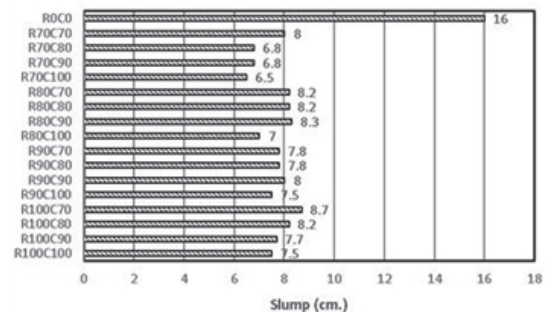
หมายเหตุ: ส่วนที่มีเครื่องหมาย * มีค่าร้อยละกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตปกติ

จากรูปที่ 4 พบว่า การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต ทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงและลดลงตามปริมาณอัตราส่วนของหินฝุ่นที่แทนที่ทรายธรรมชาติที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะรูปร่างของหินฝุ่นจะมีความเป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบมากกว่าทรายธรรมชาติที่มีลักษณะรูปร่างกลมและมน [16] ทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคมีค่าเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งจากรูปที่ 5 และ 6 จะพบว่าขนาดอนุภาคของหินฝุ่นในส่วนละเอียดมีค่ามากกว่าทรายธรรมชาติและมากกว่าเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M [17] อีกด้วยเป็นเหตุทำให้น้ำอิสระในระบบลดลงเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมละเอียดเพิ่มมากขึ้น (น้ำที่โดนจับที่ผิวเพิ่มมากขึ้น) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bongkodsupapa et al. [18] และ Junruchai et al. [16] ในขณะที่ใช้ปริมาณอัตราส่วนของคอนกรีตที่ใช้แล้วแทนที่หินธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้น พบว่ามีแนวโน้มทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากขนาดอนุภาคของคอนกรีตที่ใช้แล้วมีขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่กว่าหินธรรมชาติอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8

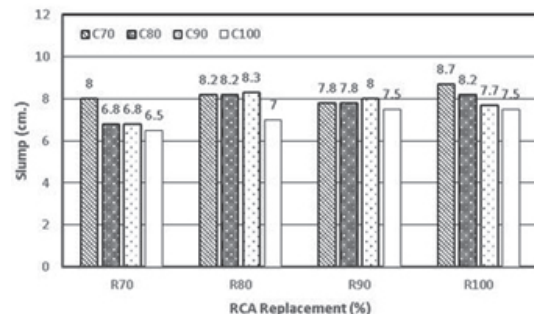
3.2 กำลังอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตและร้อยละกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม (Normalized Compressive Strength) ดังแสดงในตารางที่ 3 จากการทดสอบพบว่าคอนกรีตควบคุม (R0C0) ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน มีกำลังอัดเท่ากับ 172.15, 225.98, 255.65, 286.21, 306.71 และ 325.03 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ สำหรับสัดส่วนของคอนกรีตที่มีหินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้ว R100C100, R90C100, R70C100, R90C90 และ R90C70 ให้กำลังอัด

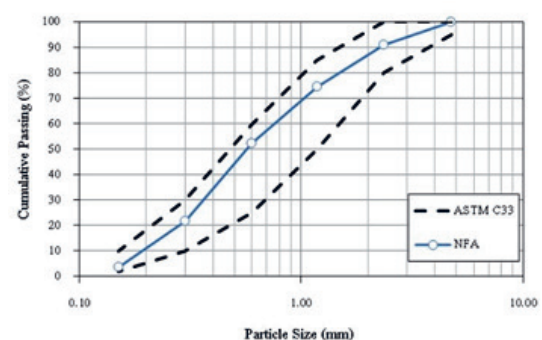
ที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกช่วงอายุการบ่มคิดเป็นร้อยละ 71.1% – 99.91% ของคอนกรีตควบคุม ในขณะที่สัดส่วนของคอนกรีตที่มีหินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้ว R80C90 และ R70C80 ให้กำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุมทุกช่วงอายุการบ่ม คิดเป็นร้อยละ 101.92% – 118.15% ของคอนกรีตควบคุม



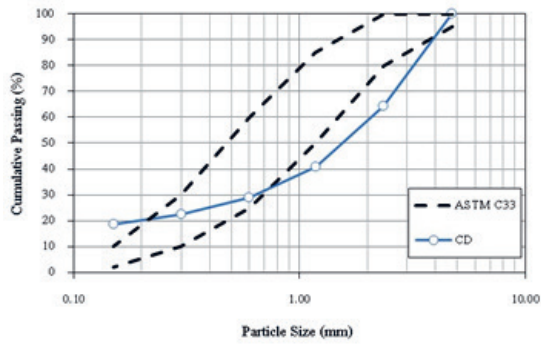
รูปที่ 3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต



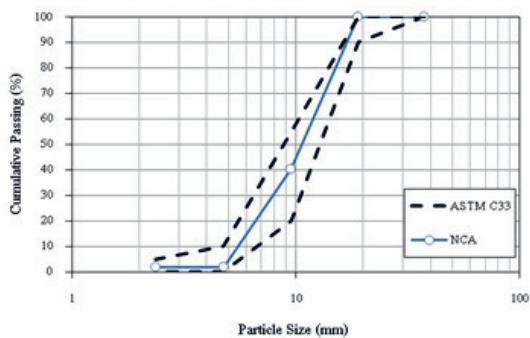
รูปที่ 4 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่มีหินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้วเป็นส่วนผสม



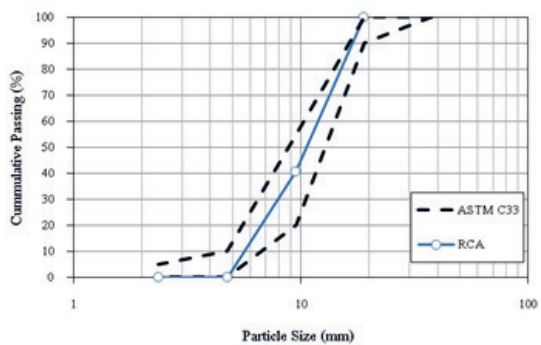
รูปที่ 5 ขนาดละเอียดของทรายธรรมชาติ



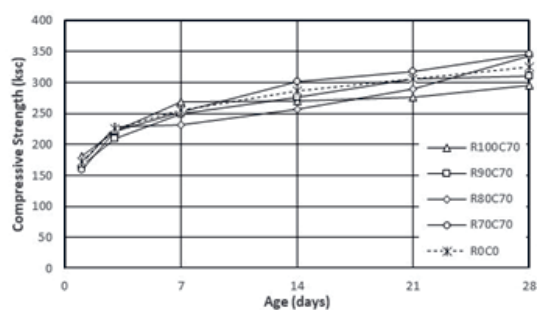
รูปที่ 6 ขนาดคละของหินฝุ่น



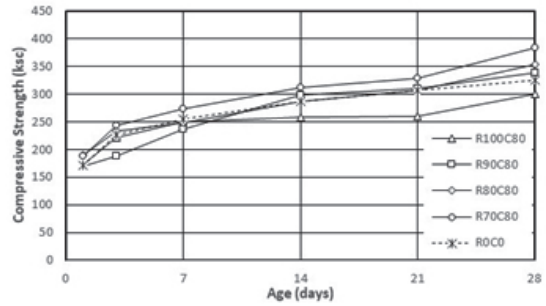
รูปที่ 7 ขนาดคละของหินธรรมชาติ



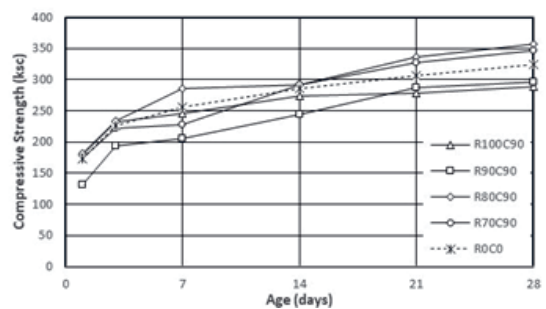
รูปที่ 8 ขนาดคละของหินย่อย
จากเศษคอนกรีตที่ใช้แล้ว



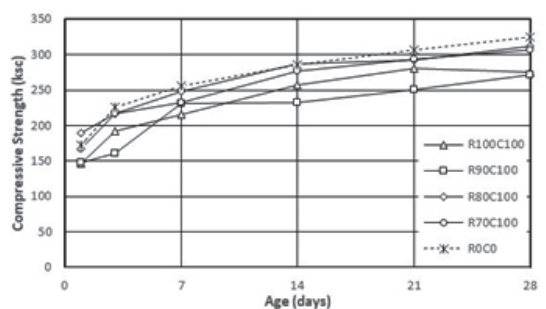
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุ
ของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนที่ทราย 70%



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุ
ของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนที่ทราย 80%



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุ
ของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนที่ทราย 90%



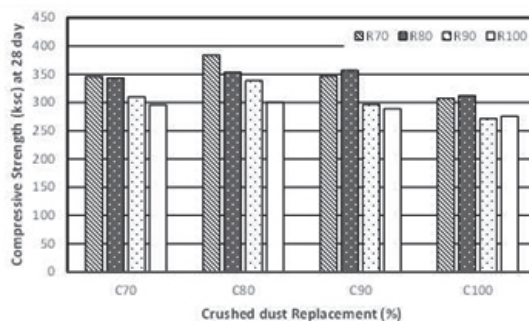
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุ
ของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนที่ทราย 100%

เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้ว R80C90, R70C90, R90C80, R80C80, R70C80, R80C70 และ R70C70 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 356.76, 346.57, 338.43, 353.13, 384.02, 343.05 และ 346.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ หรือคิดเป็น 109.76%, 106.62%,

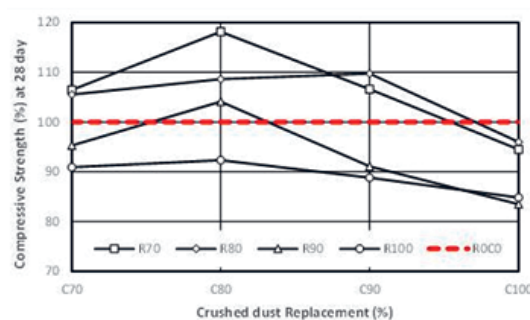
104.12%, 108.64%, 118.15%, 105.54% และ 106.47% ของคอนกรีตควบคุม อย่างไรก็ตามแม้ว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่า คอนกรีตควบคุม แต่ก็ลดลงไม่เกิน 10% ของ คอนกรีตควบคุม ยกเว้นสัดส่วนผสม R100C100, R90C100 และ R100C90 ที่ให้กำลังอัดลดลงมากกว่า 10% ของคอนกรีตควบคุมขึ้นไป สำหรับ แนวโน้มการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตที่มี หินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้วเป็นส่วนผสม พบว่า มีแนวโน้มการพัฒนา กำลังอัดที่คล้ายกับคอนกรีต ควบคุมที่ใช้ทรายและหินธรรมชาติล้วนเป็น มวลรวม ดังแสดงในรูปที่ 9 – 12 นั้นแสดงว่าการใช้ หินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้วเป็นมวลรวมของ คอนกรีตไม่ได้มีผลกระทบต่อแนวโน้มการพัฒนา กำลังของคอนกรีตอย่างมีนัยยะสำคัญ

จากรูปที่ 13 เมื่อพิจารณาถึงการ ใช้ คอนกรีตที่ใช้แล้วแทนที่หินธรรมชาติในคอนกรีต โดยพิจารณา กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผล ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง ซึ่งผล การศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. [8], Poon et al. [9] และ Tangchirapat et al. [11] จากผลการทดสอบอัตราส่วนช่องว่าง ระหว่างมวลรวมใช้แล้วและหินธรรมชาติ พบว่า อัตราส่วนช่องว่างของหินใช้แล้วมีค่าที่สูงกว่า หินธรรมชาติเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 1 อีกทั้งผลการทดสอบความต้านทานการแตกหัก (Crushing Value) ของคอนกรีตที่ใช้แล้วและ หินธรรมชาติ พบว่าคอนกรีตที่ใช้แล้วมีค่าความ ต้านทานการแตกหักเท่ากับ 21.9% ในขณะที่ ค่าความต้านทานการแตกหักของหินธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 18.8% นั้นแสดงให้เห็นว่ามวล รวมหยาบที่ได้จากคอนกรีตที่ใช้แล้วมีความ แข็งแรงที่น้อยกว่าหินธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเนื่อง มาจากคอนกรีตที่ใช้แล้วมีมอร์ตาร์เกาะติดอยู่ ที่ผิว ซึ่งมีความแข็งแรงที่น้อยกว่าหินธรรมชาติ

และด้วยสาเหตุนี้จึงส่งผลกระทบทำให้ค่ากำลังอัด มีค่าลดลง



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับ ร้อยละการแทนที่ของหินฝุ่นและคอนกรีต ที่ใช้แล้วในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ของหินฝุ่นและคอนกรีต ที่ใช้แล้วในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 14 เมื่อพิจารณากำลังอัดของ คอนกรีตที่อายุ 28 วัน จะเห็นว่าการใช้หินฝุ่น แทนที่ทรายธรรมชาติไม่เกินร้อยละ 80 ทำให้ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ใน ขณะที่การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติมากกว่า ร้อยละ 80 จะส่งผลกระทบทำให้ค่ากำลังอัด ของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Komenthammasopon [6] สำหรับ สัดส่วนผสมที่ดีที่สุดคือคอนกรีต R70C80 โดยมี ค่าร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 118.15% ของคอนกรีตควบคุม สำหรับสัดส่วน ที่มีค่าร้อยละกำลังอัดรองลงมาได้แก่ R80C90,

R80C80, R70C90, R70C70, R80C70 และ R90C80 โดยมีค่าเท่ากับ 109.76%, 108.64%, 106.62%, 106.47%, 105.54% และ 104.12% ของคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนดังกล่าวสามารถพัฒนากำลังอัดจนมีกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะรูปร่างของหินฝุ่นที่มีความเป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวและแรงเสียดทานระหว่างวัสดุที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับทรายธรรมชาติ อีกทั้งขนาดอนุภาคของหินฝุ่นในส่วนละเอียดมีค่ามากกว่าทรายธรรมชาติ ซึ่งสามารถช่วยลดช่องว่างในคอนกรีตได้ และทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่สูงขึ้น [16]

4. สรุป

จากผลการทดสอบที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

- 1) การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต ทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงและลดลงตามปริมาณอัตราส่วนของหินฝุ่นที่แทนที่ทรายธรรมชาติที่มากขึ้น
- 2) การใช้คอนกรีตที่ใช้แล้วแทนที่หินธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต มีแนวโน้มทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
- 3) กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นและคอนกรีตที่ใช้แล้ว R80C90, R70C90, R90C80, R80C80, R70C80, R80C70 และ R70C70 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ก็ลดลงไม่เกิน 10% ของคอนกรีตควบคุม ยกเว้นสัดส่วนผสม R100C100, R90C100 และ R100C90 ที่ให้กำลังอัดลดลงมากกว่า 10% ของคอนกรีตควบคุมขึ้นไป

4) แนวโน้มการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่มีหินฝุ่นเป็นส่วนผสม พบว่ามีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดที่คล้ายกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายเป็นมวลรวม

5) เมื่อพิจารณาถึงการใช้คอนกรีตที่ใช้แล้วแทนที่หินธรรมชาติในคอนกรีต โดยพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณอัตราส่วนของคอนกรีตที่ใช้แล้วที่แทนที่หินธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น

6) เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จะเห็นว่าการใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติไม่เกินร้อยละ 80 ทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 80 จะส่งผลกระทบทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง

7) สัดส่วนผสมที่ดีที่สุดคือคอนกรีต R70C80 โดยมีค่าร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 118.15% ของคอนกรีตควบคุม สำหรับสัดส่วนที่มีค่าร้อยละกำลังอัดรองลงมา ได้แก่ R80C90, R80C80, R70C90, R70C70, R80C70 และ R90C80 โดยมีค่าเท่ากับ 109.76%, 108.64%, 106.62%, 106.47%, 105.54% และ 104.12% ของคอนกรีตควบคุม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนดังกล่าวสามารถพัฒนากำลังอัดจนมีกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนงบประมาณแผ่นดิน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of The National Economic and Social Development Board. [Internet]. 2016 [cited 2016 Aug 15]. Available from: <http://www.cit.or.th> (in Thai)
- [2] Setthabut C. Concrete technology. Bangkok: 1997. (in Thai)
- [3] Chaisakulkiet U, Malai A. Strength development of mortar mixed with fly ash and crushed stone. The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok. 2016;26(1):13-18. (in Thai)
- [4] Thapprom T. The study of compressive strength of concrete by using silt stone instead of sand for fine aggregate. A case study on silt stone from Narathiwat stone mine. Princess of Naradhiwas University Journal. 2009;1(2):28-41. (in Thai)
- [5] Komenthammasopon S. The investigation of compressive strength of concrete in case study using granite dust from Thai crushing plant as replacement for sand. Princess of Naradhiwas University Journal. 2012;4(3):44-53. (in Thai)
- [6] Komenthammasopon S. The investigation of compressive strength of concrete in case study using sieved granite dust from Thai crushing plant as replacement for sand. Princess of Naradhiwas University Journal. 2013;5(1):49-60. (in Thai)
- [7] Kingkaew R, Chaijit P, Chotchuay V, Chaihan J. The substitution of s and by stonedust in ready mixed concrete. Journal of Southern Technology. 2015;8(2):55-61. (in Thai)
- [8] Chen HJ, Yen T, Chen KH. Use of building rubbles as recycled aggregates. Cement and Concrete Research. 2003;33:125-132.
- [9] Poon CS, Shui ZH, Lam L, Fok H, Kou SC. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. Cement and Concrete Research. 2004;34:31-36.
- [10] Tipyota N. Compressive strength of recycle concrete produced from burnt waste concrete. The 10th National Convention on Civil Engineering; 2005 May. (in Thai)
- [11] Tangchirapat W, Buranasing R, Jaturapitakkul C, Chidaprasit P. Use of rice husk-bark ash in concrete containing recycled concrete aggregates. Engineering Journal of Research and Development. 2008;19(2):60-67. (in Thai)
- [12] American Society for testing and Materials. Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate. ASTM C127-15. 2015.

- [13] American Society for testing and Materials. Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate. ASTM C128-15. 2015.
- [14] American Concrete Institute. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. ACI 211.1-91. 1991.
- [15] American Society for testing and Materials. Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete. ASTM C143/C143M-12. 2012.
- [16] Junruchai P, Somna R, Supromwan J. Compressive strength and drying shrinkage of concrete using quarry dust to replace sand. The 21st National Convention on Civil Engineering; 2016 June 728-732. (in Thai)
- [17] American Society for testing and Materials. Standard specification for concrete aggregates. ASTM C33/C33M-13. 2013.
- [18] Bongkodsupapa K, Pajitvijarn C, Duangkaeoand C, Sinthaworn S, Teerajetkul W. Experimental investigation of the effect of aggregate type Cal properties of concrete. The 21st National Convention on Civil Engineering; 2016 June 761-767. (in Thai)