การพัฒนากำลังมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่น

อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ* และ อรรถพล มาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-1867-7542 อีเมล: udomvit.k@rmutr.ac.th
รับเมื่อ 20 มีนาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 15 กรกฎาคม 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 28 ตุลาคม 2558
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้หินฝุ่นแทนทรายในงานมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหิน เพื่อพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์โดยการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และหินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 80, 90, 100 โดยน้ำหนักแล้วจึงทดสอบกำลังอัดที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 21 และ 28 วัน ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ดังกล่าวพบว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่นและเถ้าถ่านหินจะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม กำลังอัดของมอร์ต้าร์จะลดลงตามสัดส่วนเถ้าถ่านหิน โดยค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงที่สุด จึงเป็นแนวทางได้ว่าการใส่เถ้าถ่านหินและหินฝุ่นแทนทรายในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์

คำสำคัญ: กำลังอัด หินฝุ่น เถ้าถ่านหิน มอร์ต้าร์

การอ้างอิงบทความ: อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ อรรถพล มาลัย, "การพัฒนากำลังมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่น," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1, หน้า 13–18, ม.ค.–เม.ย. 2559. DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.07.013

Strength Development of Mortar Mixed with Fly Ash and Crushed Stone

Udomvit Chaisakulkiet* and Attapole Malai
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-1867-7542, E-mail: udomvit.k@rmutr.ac.th
Received 20 March 2015; Accepted 15 July 2015; Published online: 28 October 2015
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aims to study the use of crushed stone to replace sand mixed with mortar and fly ash. The purpose is to improve the compressive strength of the mortar specimens determined at age of 1, 3, 7 and 28 days. The percentage replacement level of cement by fly ash was formed at 0, 10, 20 and 30 percent whereas a particular replacement of sand by crushed stone was at 80, 90 and 100 percent by weight. As results, mortar mixed with crush stone and fly ash exhibited higher compressive strength than that of controlled mortar. However, the compressive strength of mortar tends to decrease with the increasing fly ash contents. The optimal compressive strength of mortar specimens was reported after 28 days, with compressive strength of 467 kgf/cm^2 while the controlled mortar yielded lower compressive strength of 210 kgf/cm^2. Therefore, the use of fly ash and crushed stone instead of sand at appropriate amount proves to increase the compressive strength of mortar.

Keywords: Compressive Strength, Crushed Stone, Fly Ash, Mortar

Please cite this article as: U. Chaisakulkiet and A. Malai, "Strength Development of Mortar Mixed with Fly Ash and Crushed Stone," *The Journal of KMUTNB.*, Vol. 26, No. 1, pp. 13–18, Jan.–Apr. 2016 (in Thai). DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.07.013

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การก่อสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ คอนกรีตยังเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง ความต้องการใช้คอนกรีตจึงมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต [1] โดยเมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่าซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ ผสมกับ ทราย เรียกว่า มอร์ต้าร์ (Mortar)
- มอร์ต้าร์ ผสมกับ หิน หรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อมีการนำมาใช้มากทำให้จำนวนลดลงตามกาลเวลา และมีราคาสูงขึ้นเมื่อนำไปใช้งาน

ประเทศไทยนิยมใช้หินปูนในงานก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ การจะนำหินที่อยู่ตามธรรมชาติมาใช้นั้น จะต้องผ่านการแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งต้องทำการระเบิดภูเขาหินปูน แล้วเข้าสู่กระบวนการโม่หิน ทำการโม่หินจนมีขนาดที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ขั้นตอนการโม่หินนี้จะมีเศษฝุ่นหินที่เล็กมากจะไม่ผ่านตะแกรงร่อนแต่ปลิวออกมาตกกองทับถมอยู่ด้านใต้เครื่องโม่ ซึ่งหินฝุ่นนี้ถือว่าเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ ต้องขนออกไปทิ้ง ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก

ขณะเดียวกันได้มีการนำเถ้าถ่านหินและวัสดุปอซโซลานมาใช้ในงานมอร์ต้าร์และคอนกรีตอย่างแพร่หลาย [2]–[4] และมีงานวิจัยออกมาอย่างต่อเนื่องจากหลายสถาบันว่าเถ้าถ่านหินสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีตได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและทราย พบว่าหินฝุ่นและทรายมีขนาดใกล้เคียงกัน คณะผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดลองใช้หินฝุ่นผสมแทนทรายในงานคอนกรีตมาบ้างแล้ว และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรจะนำเถ้าถ่านหินและหินฝุ่นที่เหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดในงานคอนกรีต จึงได้คิดหัวข้องานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าถ่านหินและหินฝุ่นมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนและแทนทรายบางส่วนในการผสมคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ได้จากการใช้เถ้าถ่านหินและหินฝุ่นแทนที่นั้น ยังคงมีคุณภาพเทียบเท่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์และทรายในการผสม เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตลงอีกด้วย

2. องค์ประกอบที่สำคัญของการพัฒนามอร์ต้าร์

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีใช้กันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต วัสดุผสม เช่น ทราย ในปัจจุบันประสบปัญหาด้านราคาแพงเนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้แล้วหมดไป และการดูดทรายมาใช้จากแม่น้ำ หรือจากพื้นดินก่อให้เกิดปัญหาด้านสภาวะแวดล้อม อาจทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นที่ใกล้เคียงได้ หินได้จากการระเบิดภูเขาแล้วนำมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กลง เพื่อนำมาใช้งานก่อสร้างโดยวิธีการบดย่อยหินนี้จะก่อให้เกิดหินฝุ่น ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีประโยชน์น้อยและมีปริมาณมาก โดยพบอยู่ตามโรงโม่หินทั่วไปในประเทศไทย

เถ้าถ่านหิน ได้มาจากการเผาถ่านหินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งทราบกันอยู่แล้วว่าเถ้าถ่านหินนี้มีอยู่อย่างมากมายมหาศาลเช่นเดียวกัน ปริมาณการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ประโยชน์มีการเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การนำเถ้าถ่านหินไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ เป็นวิธีการที่สามารถลดการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ทุก ๆ ตันที่ผลิตปูนซีเมนต์ สามารถประหยัดเงินที่ใช้ผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ประมาณ 106 บาทต่อตัน ศักยภาพของการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ในประเทศไทย [5] ในโครงการสำคัญ ๆ มีอยู่มากมายด้วยกัน การใช้เถ้าถ่านหินเป็นส่วนผสมในงานปูนก่อและปูนฉาบ และ

ในงานท่อคอนกรีต การใช้เถ้าถ่านหิน เป็นส่วนผสมทำให้คอนกรีตมีการซึมผ่านของน้ำต่ำ ทนต่อสภาพการกัดกร่อนเนื่องจากกรดอ่อนและซัลเฟตจากอุตสาหกรรมได้ดี ช่วยลดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตทำให้ลดรอยแตกร้าวเล็กๆ ที่มักเกิดบริเวณผิวด้านในของท่อคอนกรีต การใช้เถ้าถ่านหิน [6] จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเทคอนกรีตในงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป เหมาะสำหรับแบบหล่อที่มีรูปทรงซับซ้อนหรือมีการเสริมเหล็กหนาแน่นได้ง่ายยิ่งขึ้น

หินฝุ่น จะมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับทรายมาก หินฝุ่นจึงน่าที่จะมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับทรายเมื่อนำมาใช้ผสมในงานคอนกรีต และอีกทั้งหินฝุ่นยังมีราคาถูกกว่าทรายถึงแปดเท่า การทดลองหล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีตทดสอบหากำลังอัดในขั้นต้นพบว่าได้ค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปได้ และเมื่อได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญในด้านของคอนกรีตเทคโนโลยีจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแล้วก็มีความเห็นว่าถ้าเพิ่มเถ้าถ่านหินมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตด้วย อาจจะสามารถพัฒนาให้เป็นคอนกรีตกำลังสูงได้ เนื่องจากส่วนผสมของคอนกรีตปกตินั้นมีปูนซีเมนต์+ทราย+หิน+น้ำ โดยที่มีน้ำเป็นตัวประสานทำปฏิกิริยาให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวแทรกเข้าไปในเม็ดทราย ส่วนทรายไปแทรกในหินอีกทีหนึ่ง ซึ่งหากนำหินฝุ่นมาใช้แทนทรายแล้ว หินฝุ่นจะไปแทรกในหิน และยังได้เถ้าถ่านหินซึ่งมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ไปแทรกในช่องว่างของปูนซีเมนต์อีกทีหนึ่ง จะทำให้เนื้อของคอนกรีตที่ได้มีความแน่นมากขึ้น และสามารถนำไปพัฒนาเป็นคอนกรีตสำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูงๆ ได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ปูนซีเมนต์ (ใช้สัญลักษณ์ PC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.1.2 มวลรวมละเอียด เป็นทรายหยาบที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.60 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.90 มีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 [7]

3.1.3 เถ้าถ่านหิน (FA) หรือเถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash) เกิดจากการเผาถ่าน สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวดักจับ (Electrostatic Precipitator) จะรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป

3.1.4 ฝุ่นหินปูน (LSD) หมายถึงหินชั้นหรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนใหญ่ และพบว่า CCE ของหินปูนในประเทศไทยประมาณ 75–99%

ส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าถ่านหินและแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของมอร์ต้าร์

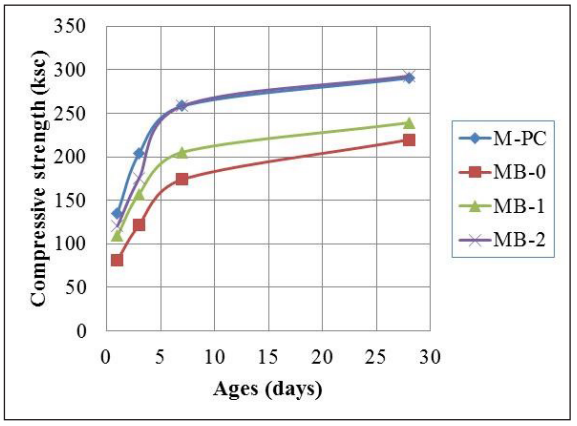
ชนิด	วัสดุ (กรัม)					ค่าการไหลแผ่ (%)
	ปูนซีเมนต์	เถ้าถ่านหิน	ทราย	หินฝุ่น	น้ำ	
M-PC	500	-	1375	-	360	105
MB-0	450	50	1375		470	113
MB-1	400	100	1375		370	108
MB-2	350	150	1375		375	109
MBC-0	450	50	275	1100	455	111
MBC-1	400	100	137.5	1237.5	365	106
MBC-2	350	150	-	1375	365	105

หมายเหตุ: MP-C หมายถึง มอร์ต้าร์ควบคุม, MB-0, MB-1, MB-2 หมายถึง มอร์ต้าร์แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ และ MBC-0, MBC-1, MBC-2 หมายถึง มอร์ต้าร์แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในปริมาณร้อยละ 80, 90 และ 100

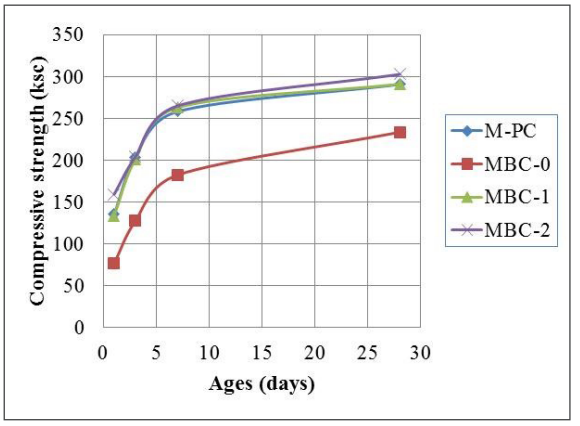
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าร์ประกอบด้วย

3.2.1 ทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [8] โดยควบคุมค่าการไหลแผ่ (Flow Table) ที่ร้อยละ 110 ± 5 ดังแสดงในตารางที่ 1

3.2.2 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109 [9] หลังจากหล่อมอร์ต้าร์



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย

ในแบบหล่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก ต่อจากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำจนถึงเวลาทดสอบ โดยทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบความสามารถรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์อันเป็นจุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ไม่มีส่วนผสมเถ้าถ่านหิน (Controlled Mortar หรือ M-PC หรือ มอร์ต้าร์ควบคุม) จากรูปที่ 1 พบว่า มอร์ต้าร์ M-PC มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ทั้งหมดช่วงอายุ 1–7 วัน กล่าวคือ ในช่วงอายุการบ่มก่อน 28 วัน มอร์ต้าร์ที่ไม่ผสมเถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์จะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เถ้าถ่านหินแทนที่ร้อยละ 30, 20, 10 ตามลำดับ เนื่องจากเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประเภทปอซโซลานจึงจะช่วยพัฒนากำลังมอร์ต้าร์ได้ในระยะยาว จะเห็นได้จากของกราฟมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหินทุกสัดส่วน จะมีแนวโน้มเพิ่มกำลังขึ้นอีกต่อไปในระยะเวลานาน

จากรูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย ร้อยละ 100, 90, และ 80 ตามลำดับ พบว่ามอร์ต้าร์ MBC-2, MBC-1 หรือกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 100 และ 90 สูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุม และในช่วงอายุการบ่ม 28 วัน มอร์ต้าร์ MBC-2 มีความสามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ MBC-1, M-PC และ MB-02 การใช้หินฝุ่นแทนทราย ร้อยละ 100 โดยไม่ผสมทรายเลยจะเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุด

นอกจากนั้น ผลการทดสอบพบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มที่ยาวนานขึ้น มอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นในปริมาณสูงจะมีค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุม

5. สรุป

จากการศึกษาผลกระทบกำลังอัดมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่นแทนทราย จะพบว่าเมื่อใช้หินฝุ่นแทนที่ในปริมาณสูงยิ่งมีผลแปรผันให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์สูงตามเนื่องจากหินฝุ่นเกิดจากเศษหินย่อย ซึ่งมีความแข็งกว่าทรายมาก และเมื่อนำหินฝุ่นมาผสมทรายบางส่วนจะทำให้ขนาดคละของมวลรวมละเอียดดีขึ้น หากแต่เมื่อการผสมเถ้าถ่านหินแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงไป เถ้าถ่านหินเป็นสารจำพวกปอซโซลาน จึงจะช่วยพัฒนากำลังอัดได้ในระยะเวลานานเกินกว่า 28 วัน

ในการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปแนวทางในการพัฒนากำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่นแทนทราย

ได้ว่าที่อัตราส่วนหินฝุ่นแทนทราย ร้อยละ 100 และไม่ผสมเถ้าถ่านหินเลย จะเร่งกำลังอัดสูงสุดในช่วงอายุการบ่มสั้นๆ ไม่เกิน 3 วัน ส่วนในระยะเวลายาวเกินกว่า 3 วัน อัตราส่วนของหินฝุ่นแทนทรายทั้งหมดผสมกับเถ้าถ่านหินแทนซีเมนต์ ร้อยละ10 มีแนวโน้มดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ โดยได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินงาน ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ผู้จัดทำจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Setthabut, *Concrete Technology*, 5th ed. Bangkok, 1997, pp. 25–30.

[2] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, "Chloride penetration and corrosion resistance of ground fly ash blended cement mortar," *Int. J. Mater. Res.*, vol. 102, no. 3, pp. 335–339, 2011.

[3] P. Chindaprasirt and S. Rukzon, "Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 8, pp. 1601–1606, 2008.

[4] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, "Use of bagasse ash in high-strength concrete," *Mater. Des.*, vol. 34, pp. 45–50, 2012.

[5] C. Jaturapitakul, N. Makaratat, and T. Laosamatikul, "The Use of Calcium Carbide Residue and Plam Oil Ash in Concrete Work," Document in The best future engineering seminar, Bangkok, 2002, pp. 191–199.

[6] S. Sa-ardkitinun, P. Wattanachai, and J. Kasemset, "The Design of High Compressive Concrete mixed with Mae-Mo Fly Ash in sort-out and unsort-out type following the ACI Standard," Document in 9th Thailand Civil Engineering Seminar, Phetchaburi, 2004, pp. MAT106–MAT112.

[7] *Standard Specification Concrete Aggregates*, ASTM C33, 2005.

[8] *Standard Specification for Flow Table for use in Tests Hydraulic Cement*, ASTM C203, 2005.

[9] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or [50 mm] Cube Specimens)*, ASTM C109, 2005.