

การศึกษาพฤติกรรมของมอร์ตาร์ที่ผสมวัสดุเหลือใช้ จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

A Study of the Behavior of Mortar Using Waste Materials from the Asphalt Concrete Production Process

ฤทธิรงค์ คงปฏิธานนท์¹, นันทวัฒน์ ขมหวาน^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: fengnwk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐาน ในกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตผสมร้อนทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้ประเภทฝุ่นจำนวนมากที่มีความละเอียดสูงฟุ้งกระจายได้ง่ายส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบทางเดินหายใจของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อเป็นการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นและเป็นการนำวัสดุเหลือใช้น่ากลับมาใช้ในงานวิศวกรรมให้เกิดประโยชน์ลดการผลิตวัสดุจากธรรมชาติส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ศึกษาการไหลแผ่ กำลังอัด และการหดตัวของมอร์ตาร์ผสมวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์มอร์ตาร์ ในส่วนแรกใช้ฝุ่นเพิ่มในสัดส่วนของซีเมนต์เพสต์ที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกำลังอัดทดสอบที่อายุ 7 วัน ส่วนที่สองใช้ฝุ่นแทนที่ซีเมนต์มอร์ตาร์ในสัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแทนที่ฝุ่นต่อน้ำหนักซีเมนต์ กำลังอัดทดสอบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ใช้ฝุ่นแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วน 0, 10, 20, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแทนที่ฝุ่นต่อน้ำหนักซีเมนต์ในการหดตัวของมอร์ตาร์ทดสอบที่อายุ 1, 2, 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยผลที่ได้รับสามารถนำวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมาทดแทนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตในงานวิศวกรรมก่อสร้าง

คำสำคัญ: ฝุ่น, กำลังอัด, การไหลแผ่, การหดตัวของมอร์ตาร์

Abstract

The asphaltic concrete production industry, which serves infrastructure engineering works, generates a large amount of fine dust waste during the hot-mix asphalt concrete manufacturing process. This fine dust easily becomes airborne, causing environmental pollution and respiratory problems for residents living nearby. To mitigate these impacts and promote the beneficial reuse of waste materials in engineering applications, thereby reducing the extraction of natural resources and lowering carbon dioxide emissions into the atmosphere, this research aims to study the flow spread, compressive strength, and drying shrinkage of mortar mixed with waste materials from the asphaltic concrete production process. The study consists of two parts: cement paste and cement mortar. In the first part, dust was added to the cement

paste at replacement levels of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% by weight, with compressive strength tested at 7 days. In the second part, dust was used to replace cement in mortar at replacement levels of 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight, with compressive strength tested at 7, 14, and 28 days, respectively. For the drying shrinkage test, dust was used to replace cement at 0%, 10%, 20%, 30%, and 50% by weight, with shrinkage measured at 1, 2, 3, 7, 14, and 28 days, respectively. The results demonstrate the potential for using waste material from the asphaltic concrete production process to partially replace cement in appropriate proportions, providing a guideline for designing concrete mixtures for construction engineering applications.

Keywords: Dust, Compressive Strength, Workability, Drying Shrinkage

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุต่าง ๆ มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรมคอนกรีตมากขึ้น เช่น แก้วลอย แก้วเคลือบ แก้วชานอ้อย และวัสดุพอลิโพรไพลีน อื่น ๆ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะโลกร้อนและการอนุรักษ์พลังงาน ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตหลายแห่ง ซึ่งใช้หินหลายขนาดมาผสมและเผาที่อุณหภูมิ 150-170 องศาเซลเซียส ก่อนเติมน้ำมันมะตอย ส่งผลให้เกิดฝุ่นหินขนาดเล็ก (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ซึ่งไม่สามารถผสมกับยางมะตอยได้ หินที่ใช้หลักในกระบวนการนี้คือหินปูน (limestone) ซึ่งเป็นหินตะกอนที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ (CaCO_3) เกิดจากการทับถมของคาร์บอนเนตจากแหล่งธรรมชาติ เช่น ปะการังและซากสัตว์ทะเล หินปูนมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับกรด เนื้อแน่นละเอียด และมีสีหลากหลาย เช่น ขาว เทา ชมพู หรือดำ มักพบเป็นภูเขาหินปูนที่มียอดแหลมและละลายน้ำได้ดี แหล่งสำคัญในไทย ได้แก่ จังหวัดสระบุรี เพชรบุรี กระบี่ นครศรีธรรมราช พังงา และราชบุรี ประโยชน์ของหินปูน ได้แก่ ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ทำถนน ทางรถไฟ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว แคลเซียมคาร์ไบด์ วัสดุทนไฟ ปุ๋ย และสีผสม [1] ในประเทศที่กำลังพัฒนาจำเป็นต้องพัฒนาด้านโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งการขนส่งสินค้าหรือการเดินทางก็เป็นสิ่งหนึ่งในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ ถนนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและถนนคอนกรีตเป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งนำมาซึ่งการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดฝุ่นละเอียดที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมากหลายร้อยล้านตันต่อปี ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากฝุ่นมีขนาดเล็กมากฟุ้งใน

อากาศได้ง่าย ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ มีผลกระทบต่อระบบการหายใจของผู้คน

งานวิจัยของ มนตรี และคณะ [2] ศึกษาผลของวัสดุประสานต่อพฤติกรรมการแตกร้าวของคอนกรีตกำลังสูงที่ถูกยึดรั้งการหดตัว โดยใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์ 30 เปอร์เซ็นต์ และผงหินปูนแทนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแตกร้าว ได้แก่ ชนิดวัสดุประสาน การหดตัวแบบอิสระ อัตราการหดตัว และการคืบตัวแบบดึง พบว่าการใช้เถ้าลอยและผงหินปูนช่วยลดการหดตัว ส่งผลให้คอนกรีตแตกร้าวช้าลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน และมีการคืบตัวแบบดึงต่ำกว่าเช่นกัน จากงานวิจัยของ Louise และคณะ [3] ศึกษาการวัดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2\text{-e}$) ที่เกิดจากกิจกรรมทั้งหมดที่จำเป็นในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตคอนกรีต และการก่อสร้างคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตรในเขตมหานครเมลเบิร์น โดยเปรียบเทียบปริมาณการปล่อย $\text{CO}_2\text{-e}$ ที่เกิดจากคอนกรีตที่มีสารยึดเกาะซีโอไฟลิเมอร์ และคอนกรีต OPC 100% ปริมาณการปล่อย CO_2 ของคอนกรีตซีโอไฟลิเมอร์น้อยกว่าคอนกรีตที่มีสารยึดเกาะ OPC 100% ประมาณ 9% ซึ่งน้อยกว่าที่คาดไว้ในการศึกษาครั้งก่อนๆ มาก ปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอนกรีตซีโอไฟลิเมอร์ปล่อย CO_2 สูงกว่าที่คาดไว้ ได้แก่ การขุด การบำบัด และการขนส่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตสารกระตุ้นต่างสำหรับซีโอไฟลิเมอร์ การใช้พลังงานจำนวนมากระหว่างการผลิตสารกระตุ้นต่าง และความจำเป็นในการบ่มคอนกรีตซีโอไฟลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่เหมาะสม จากงานวิจัยของ Naraindas และคณะ [4] พบว่าเถ้าจากเปลือกมะพร้าวสามารถผสมในคอนกรีตเพื่อลดคาร์บอนในคอนกรีตได้ โดยสามารถลดคาร์บอนที่อยู่ในคอนกรีตได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยคร่าวๆ ทุก 1 ตัน ของปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนสู่บรรยากาศราวๆ 1 ตัน แต่จากกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในปัจจุบัน ก๊าซคาร์บอนที่ถูกปล่อยจะอยู่ประมาณ 800 กิโลกรัมต่อปูนซีเมนต์ 1 ตัน ถ้านำปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมาทดแทนได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 1 ตันซีเมนต์จะทำให้ลดการปล่อยคาร์บอนได้ถึง 200 กิโลกรัมต่อการผลิตซีเมนต์ 1 ตัน จากบทความวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เกี่ยวกับการนำเถ้าจากหินมาทดแทนปูนซีเมนต์นั้น ยังไม่มีบทความวิจัยเชิงลึกในปูนจากแอสฟัลต์มาใช้ในซีเมนต์มอร์ตาร์โดยเฉพาะ เช่นบทความวิจัยของ Mashaly และคณะ [11] ประเทศอียิปต์ การใช้ตะกอนหินแกรนิต 10–20 เปอร์เซ็นต์ ในซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีต ช่วยปรับปรุงการดูดซึมน้ำและความทนทาน โดยมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อย แต่ยังผ่านมาตรฐานที่กำหนด เหมาะสมสำหรับการผลิตวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ

การศึกษานี้มุ่งศึกษาเชิงลึกของกำลังรับแรงอัดและการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ที่ผสมปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. ทดสอบหาอัตราส่วนผสมของปูนในซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสม
2. ทดสอบหาอัตราส่วนผสมของปูนในมอร์ตาร์ที่เหมาะสม
3. ทดสอบหาอัตราส่วนผสมของปูนในมอร์ตาร์ที่เหมาะสมต่อการหดตัวแบบแห้ง

4. ทดสอบเชิงลึกหาค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคู่มือหรือมาตรฐานวัสดุทดแทนปูน ใช้ในวงการอุตสาหกรรม โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 109 [5] การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C 596 [6] นำมาเปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ที่ผสมปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตกับมอร์ตาร์ควบคุม

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 วัสดุประสาน

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (ประเภท GU) โดยค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [7] โดยใช้ขวดแก้วเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier) สำหรับการทดลองทั้งหมด โดยค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 3.01

2.2.2 มวลรวมและวัสดุรีไซเคิล

ทรายแม่น้ำสำหรับใช้ในการทดลองแบ่งเป็น 2 เกรด ที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C778 [8] ทรายหยาบผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 ค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 (20-30 Sand) ความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.59 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.26 และทรายหยาบผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 (Graded Sand) ความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.58 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.85

ปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต จากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต บริษัท รุ่งสินคอน (2500) จำกัด ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [7] โดยใช้ขวดแก้วเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier) สำหรับการทดลองทั้งหมด โดยค่าความถ่วงจำเพาะของปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 2.75

2.2 การเตรียมตัวอย่างและอัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการทดสอบกำลังอัดเพื่อหาแนวโน้ม สำหรับการนำมาเป็นส่วนผสมซึ่งผู้วิจัยใช้เป็น ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) ประกอบด้วย ซีเมนต์ผสมกับน้ำ และผสมปูนเหลื้ใช้เพิ่มต่อน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วน 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผสมโดยใช้เครื่องผสมมอร์ตาร์ หม้อผสม และใบกวนมาตรฐาน ASTM C305 [10] อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.55 แสดงในตารางที่ 1 โดยที่ผสมปูนเหลื้ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้น และกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนที่สองอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ประกอบด้วย 2 ส่วน การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ อัตราส่วนผสมใช้การแทนที่ปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตต่อน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วน 0 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผสมโดยใช้เครื่องผสมมอร์ตาร์ หม้อผสม และใบกวน มาตรฐาน ASTM C305 [10] อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.70 0.78 0.88 1.00 1.17 และ 1.40 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 2 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ อัตราส่วนผสมใช้การแทนที่ปูนเหลื้ใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตต่อน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วน 0 10 20 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.58 0.64 0.72 0.83 0.97 และ 1.16 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งอัตราส่วนผสมทั้ง 2 ส่วน พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่ใช้สูงขึ้น เป็นผลจากความต้งการนำที่สูงขึ้นเมื่อผสมปูนเหลื้ใช้ต่อน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วนที่สูงขึ้น

ความชื้น แสดงในรูปที่ 1 โดยการควบคุมอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์

ซีเมนต์เพสต์	ส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ (กรัม)			W/C
	ปูนซีเมนต์	น้ำ	ฝุ่น	
CP-P-0	1200	660	0	0.55
CP-P-5	1200	660	60	0.55
CP-P-10	1200	660	120	0.55
CP-P-15	1200	660	180	0.55
CP-P-20	1200	660	240	0.55
CP-P-25	1200	660	300	0.55



รูปที่ 1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

ซีเมนต์มอร์ตาร์	ส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ (กรัม)				W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ฝุ่น	
CM-P-0	1100	3025	770	0	0.70
CM-P-10	990	3025	770	110	0.78
CM-P-20	880	3025	770	220	0.88
CM-P-30	770	3025	770	330	1.00
CM-P-40	660	3025	770	440	1.17
CM-P-50	550	3025	770	550	1.40

ตารางที่ 4 ตารางสรุปการทดสอบของซีเมนต์เพสต์

ลำดับ	รายการทดสอบ	มาตรฐาน (ASTM)	จำนวนตัวอย่าง (ชุด)	ผลการทดสอบเฉลี่ย (ksc)					
				จำนวนวันทดสอบ					
				1	2	3	7	14	28
1	กำลังอัด	C 109	-	-	-	-	-	-	-
	CP-P-0	C 109	3	-	-	-	377.5	-	-
	CP-P-5	C 109	3	-	-	-	326.2	-	-
	CP-P-10	C 109	3	-	-	-	318.2	-	-
	CP-P-15	C 109	3	-	-	-	321.6	-	-
	CP-P-20	C 109	3	-	-	-	329.5	-	-
	CP-P-25	C 109	3	-	-	-	359.9	-	-

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมการทดสอบการหดตัวของมอร์ตาร์

ซีเมนต์มอร์ตาร์	ส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ (กรัม)				W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ฝุ่น	
S-P-0	588	1176	340	0	0.58
S-P-10	529	1176	340	59	0.64
S-P-20	470	1176	340	118	0.72
S-P-30	411	1176	340	177	0.83
S-P-50	294	1176	340	294	1.16

ตารางที่ 5 ตารางสรุปการทดสอบของมอร์ตาร์

ลำดับ	รายการทดสอบ	มาตรฐาน (ASTM)	จำนวนตัวอย่าง (ชุด)	ผลการทดสอบเฉลี่ย (ksc, μm)					
				จำนวนวันทดสอบ					
				1	2	3	7	14	28
1	กำลังอัด	C109	-	-	-	-	-	-	-
	CM-P-0	C109	3	-	-	-	196	207	248
	CM-P-10	C109	3	-	-	-	172	204	177
	CM-P-20	C109	3	-	-	-	123	139	151
	CM-P-30	C109	3	-	-	-	93	107	114
	CM-P-40	C109	3	-	-	-	99	102	106
	CM-P-50	C109	3	-	-	-	70	72	75
2	การหดตัวแบบแห้ง	C596	-	-	-	-	-	-	-
	S-P-0	C596	3	0	-15	-28	-29	-46	-49
	S-P-10	C596	3	0	-19	-20	-30	-43	-59
	S-P-20	C596	3	0	-23	-32	-43	-48	-51
	S-P-30	C596	3	0	-17	-22	-38	-50	-63
	S-P-50	C596	3	0	-9	-27	-26	-25	-38

2.2.3 วิธีการทดสอบ

2.2.3.1 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

กำลังอัดของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 [5] ใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ซึ่งก่อนเข้าแบบจะทดสอบการไหลแผ่ (Flow table) ของตัวอย่างควบคุมให้อยู่ในร้อยละ 110 $\pm$ 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [9] โดยทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน แต่ละอายุทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ 3 ตัวอย่าง โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์พิจารณาจากตัวอย่างที่มีกำลังอัดแตกต่างจากค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดไม่เกิน 8.7 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวอย่างหลังการถอดแบบใช้การบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น แสดงในรูปที่ 1 โดยการควบคุมอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์

2.2.3.2 การทดสอบการหดตัวของมอร์ตาร์

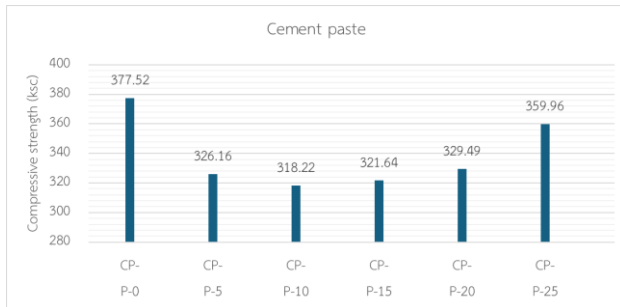
การหดตัวของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C596 [6] ใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 2.5x2.5x28.5 เซนติเมตร ซึ่งก่อนเข้าแบบจะทดสอบการไหลแผ่ (Flow table) ของตัวอย่างควบคุมให้อยู่ในร้อยละ 110 $\pm$ 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [9] โดยทดสอบการหดตัวของมอร์ตาร์ที่อายุ 1, 2, 3, 7, 14 และ 28 วัน แต่ละอายุทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหลังการถอดแบบใช้การบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิและ

3. ผลการทดสอบ

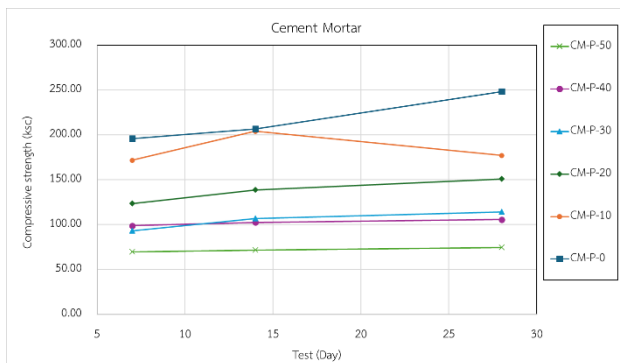
3.1 กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์

กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7 วัน ตามอัตราส่วนผสมที่ใช้ CP-P-0, CP-P-5, CP-P-10, CP-P-15, CP-P-20 และ CP-P-25 โดยกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบเท่ากับ 377.52, 326.16, 318.22, 321.64, 329.49 และ 359.96 กก/ซม² ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 2

ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมปูนบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การแทนที่ในส่วนผสมของมอร์ตาร์ CM-P-0, CM-P-10, CM-P-20, CM-P-30, CM-P-40 และ CM-P-50 พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างต่อเนื่องที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ผลของกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7 วัน



รูปที่ 3 กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

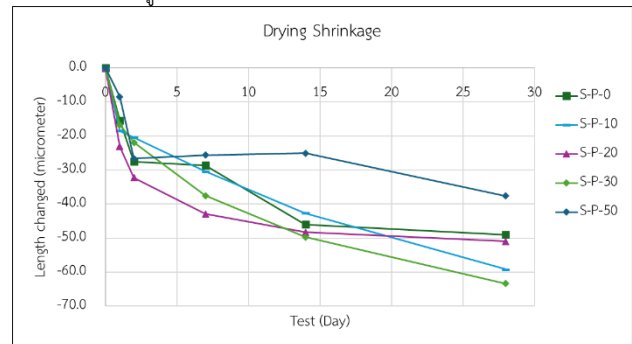
จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่ากำลังของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7 วัน CP-P-0, CP-P-5, CP-P-10, CP-P-15, CP-P-20 และ CP-P-25 โดยที่ CP-P-0 เป็นตัวควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังอัดเมื่อเทียบกับตัวควบคุมเท่ากับ 13.60, 15.71, 14.80, 12.72 และ 4.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า CP-P-25 ได้กำลังอัดสูงใกล้เคียงตัวควบคุม โดยกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมปูนลดลงเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม แต่ในกลุ่มกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมปูนเพิ่มขึ้นตามปริมาณจะลดต่ำลงโดยต่ำที่สุดที่อัตราส่วนผสมที่ใช้ CP-P-10 แล้วเพิ่มขึ้นจนสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมที่ใช้ CP-P-25 ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณปูนโดยใช้ปริมาณน้ำเท่าเดิม เป็นผลให้กำลังอัดสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณปูนผสมในซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 3 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมปูนบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การแทนที่ในส่วนผสมของมอร์ตาร์ CM-P-0, CM-P-10, CM-P-20, CM-P-30, CM-P-40 และ CM-P-50 พบว่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 195.95, 171.80, 123.44, 93.16, 98.88 และ 69.65 กก/ซม² โดยที่ CM-P-0 เป็นตัวควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังอัดเมื่อเทียบกับตัวควบคุมเท่ากับ 12.32, 37.00, 52.46, 49.54 และ 64.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กำลังอัดที่อายุ 14 วัน เท่ากับ 206.67, 204.01, 138.78, 106.91, 102.37 และ 71.64 กก/ซม² โดยที่ CM-P-0 เป็นตัวควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังอัดเมื่อเทียบกับตัวควบคุมเท่ากับ 1.29, 32.85, 48.27, 50.47 และ 65.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 248.41, 177.20, 151.00, 114.18, 105.64 และ 74.60 กก/ซม² โดยที่ CM-P-0 เป็นตัวควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังอัดเมื่อเทียบกับตัวควบคุมเท่ากับ 28.67, 39.22, 54.04, 57.47 และ 69.97

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดที่ผสมปูนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม เบื้องต้นคาดว่าเกิดจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่สูงขึ้น ทำให้กำลังอัดลดลง และยังต้องพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของปูนเพิ่มเติมร่วมด้วย

3.2 การหดตัวแบบแห้งมอร์ตาร์

มอร์ตาร์ที่ผสมปูน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่อายุ 1, 2, 4, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลของการทดสอบการหดตัวแบบแห้งที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การหดตัวแบบแห้งที่อายุ 1, 2, 3, 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมปูนบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การแทนที่ในส่วนผสมของมอร์ตาร์ S-P-0, S-P-10, S-P-20, S-P-30 และ S-P-50 พบว่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ที่ผสมปูนให้ผลลัพธ์ที่แสดงให้เห็นถึงการหดตัวที่น้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยที่ S-P-50 การเปลี่ยนแปลงความยาวมีผลน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมในทุกช่วงเวลาการทดสอบอย่างชัดเจน ซึ่ง S-P-10, S-P-20 และ S-P-30 ที่อายุ 28 วันการเปลี่ยนแปลงความยาวให้ผลที่มากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ให้ผลลัพธ์ที่แปรปรวนที่อายุ 1, 2, 7 และ 14 วัน การเปลี่ยนแปลงความยาวให้ผลที่มากกว่าและน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อาจเป็นผลจากขนาดของปูนที่ยังไม่ได้คัดแยกอย่างละเอียด ทำให้ผลการทดสอบที่ได้จะเห็นว่าที่แปรปรวนไม่เป็นไปตามทฤษฎี และอาจเกิดจากกระบวนการผสมและกระบวนการในการทิ้งมอร์ตาร์

4. สรุปผลการทดสอบ

กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมปูนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเพิ่มเติมน้ำหนักซีเมนต์ กำลังอัดที่ได้ในอัตราส่วนผสม CM-P-25 ที่อายุ 7 วัน ได้กำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยใช้ปริมาณน้ำเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม

กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้การแทนที่ปูนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเติมน้ำหนักซีเมนต์ กำลังอัดที่ได้ในอัตราส่วนผสม CM-P-10 ที่อายุ 14 วัน ได้กำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยใช้ปริมาณน้ำเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม

การหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้การแทนที่ปูนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเติมน้ำหนักซีเมนต์ การหดตัวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณปูนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้ปริมาณน้ำเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม

5. อภิปรายผล

การใช้ปูนที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ให้กำลังอัดใกล้เคียงซีเมนต์เพสต์ควบคุม

การใช้ปูนระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้กำลังอัดใกล้เคียงมอร์ตาร์ควบคุม

การแทนที่ฝุ่นช่วยลดการหดตัวแบบแห้งในหลายสูตร โดยเฉพาะ 50 เปอร์เซ็นต์ สมมติฐานว่าฝุ่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ อาจจะเข้าไปอุดรูพรุนหรือลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีบางประเภท ทำให้การหดตัวแบบแห้งน้อยลงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม

6. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

บ่งชี้ว่าฝุ่นสามารถนำมาแทนซีเมนต์ได้บางส่วน ช่วยลดการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นการช่วยลดการปล่อย CO₂ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากการศึกษาเบื้องต้น สามารถนำไปใช้เป็นมอร์ตาร์ ในงานก่อฉาบ และส่วนของงานก่อสร้างที่ไม่เน้นกำลังรับแรงสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนพื้นที่ในการทำการวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และได้รับความอนุเคราะห์ฝุ่นในกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตจาก บริษัท รุ่งสินคอน (2500) จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชูเกียรติ ชูสกุล. คอนกรีตผสมฝุ่นหินจากโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต. 2563. 1-71
- [2] มนตรี คงสุข, สรัณกร เหมะวิบูลย์, สนธยา ทองอรุณศรี, และสมนึก ตั้งเต็มสิริกุล. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 588-598
- [3] Louise K. Turner, Frank G. Collins. Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between

geopolymer and OPC cement concrete, Construction and Building Materials. Volume 43. 2013. 125-130

[4] Naraindas Bheel, Santosh Kumar Mahro & Adeyemi Adesina. Influence of coconut shell ash on workability, mechanical properties and embodied carbon of concrete. Environmental Science and Pollution Research. Volume 28. 2021. 5682-5692

[5] International, A. (2009). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM C109.

[6] International, A. (2017). Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement. ASTM C596

[7] International, A. (2023). Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. ASTM C188.

[8] International, A. (2006). Standard Specification for Standard Sand. ASTM C778.

[9] International, A. (2008). Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. ASTM C230.

[10] International, A. (2006). Standard Practice for Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. ASTM C305.

[11] Ahmed O. Mashaly, Basel N. Shalaby, Mohammed A. Rashwan. Performance of mortar and concrete incorporating granite sludge as cement replacement. Construction and Building Materials. Volume 169. 2018. 800-818