

การศึกษากำลังอัดและการขยายตัวของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน

A Study of Compressive Strength and Expansion of Mortar Mixed with Palm Oil Fuel Ash

วีระชาติ ตั้งจิรภัทร ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล

Weerachart Tangchirapat Chai Jaturapitakkul and Kriwood Kiattikomol

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

โทร.02-4709137 โทรสาร 02-4279063 E-mail: chai.jat@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังอัดและการขยายตัวของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ใช้กากของผลปาล์มเผาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า นำเถ้าปาล์มน้ำมันมาปรับปรุงคุณภาพโดยการบดจนอนุภาคมีปริมาณข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 17.1 (ละเอียดปานกลาง) และร้อยละ 1.5 (ละเอียดมาก) โดยน้ำหนัก รวมกับเถ้าปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้บดเป็น 3 ขนาด จากนั้นนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 มม. ที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน และทดสอบการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ขนาด 25x25x285 มม. ที่ใช้ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ผลการวิจัยพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทุกอายุการทดสอบ และมีค่าลดลงมากเมื่อการแทนที่เพิ่มขึ้น จึงไม่เหมาะสมนำมาเป็นวัสดุประสาน ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการบด พบว่ามอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นจากมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมาก การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันขนาดละเอียดปานกลางและขนาดละเอียดมากในอัตราร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ สามารถให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วัน สูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

การขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เนื่องจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่าแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันขนาดละเอียดปานกลางและขนาดละเอียดมากทุกอัตราการแทนที่มีการขยายตัวที่อายุ 364 วัน ต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และการแทนที่ร้อยละ 30 มีค่าการขยายตัวต่ำสุด

Abstract

This research studied the compressive strength and expansion of mortar mixed with Palm Oil Fuel Ash (POFA). POFA is a by-product from palm oil mills which palm oil residues were burnt as fuel for electricity generating. The quality of original POFA from a palm oil industry was improved by grinding until the particle sizes retained on a

sieve No. 325 were 17.1% (fine POFA) and 1.5% (very fine POFA) by weight. Then, Portland cement type I was partially replaced by ground or unground POFA at the rate of 10 to 40% by weight of binder. Mortars cube of 50 mm were tested to determine the compressive strength at the ages of 7, 28, 60 and 90 days and the expansion of 25x25x285 mm mortar bars submerged in 5% of magnesium sulfate solution were also investigated.

The results revealed that the compressive strength of mortars mixed with original POFA were lower than that of Portland cement type I mortar at all ages and decreased as the percent replacement of POFA increased. The results suggested that the original POFA was not a suitable pozzolanic material. However, the mortars mixed with fine and very fine POFA at 10 and 20%, respectively gave the compressive strength higher than that of Portland cement type I mortar at the age of 90 days.

The expansions of all mortar bars containing POFA at the age of 364 days were less than that of mortar bar made from Portland cement type V. The use of ground POFA at the rates of 30% by weight of binder gave the lowest expansion value.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศอุตสาหกรรมเกษตร ทำให้มีวัสดุที่เกิดจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมากมาย ทั้งที่ใช้ประโยชน์ได้ และบางส่วนเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เกิดปัญหาตามมา เช่น การกำจัดทิ้งและการจัดเก็บ เป็นต้น กากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลาและเส้นใยปาล์ม (ดังแสดงในรูปที่ 1) ก็เป็นส่วนหนึ่งของวัสดุเหลือทิ้งหลังสิ้นสุดกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์ [1] พบว่าในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 1,457,000 ไร่ และมีผลผลิตเป็นอันดับ 4 ของโลกประมาณ 4,089,000 ตัน ทำให้กากผลปาล์มมีปริมาณที่สูงตามหรือประมาณ 2,147,000 ตัน ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีปริมาณมาก

RECEIVED 23 July, 2004

ACCEPTED 25 August, 2004

ปัจจุบันมีการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า “เชื้อเพลิงชีวมวล” โดยนำเอากากของผลปาล์มไปเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 800-900°C อย่างไรก็ตามหลังจากการเผายังคงได้เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณสูงถึงปีละ 107,000 ตัน และมีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย (ดังแสดงในรูปที่ 2) ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อมและยากต่อการกำจัดทิ้ง จากการศึกษาเบื้องต้น [2,3] พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีออกไซด์ของซิลิกอน ซึ่งเป็นออกไซด์หลักในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานในปริมาณสูง ทำให้มีแนวคิดที่จะศึกษาถึงการนำเอาเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำให้เกิดประโยชน์ และลดปัญหาทางสภาวะแวดล้อมที่เกิดจากเถ้าปาล์มน้ำมันด้วย

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้งานคอนกรีตยังเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาถึงผลของความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมันและอัตราทดแทนที่ต่างกันต่อกำลังอัดและการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีความละเอียดและปริมาณการแทนที่ในปูนซีเมนต์ต่างกันในส่วนผสมของมอร์ตาร์ โดยศึกษากำลังอัดและการขยายตัวของมอร์ตาร์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้งานคอนกรีตต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากำลังอัดและการขยายตัวของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม โดยมีความละเอียดและอัตราทดแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แตกต่างกัน

3. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5
ทราย : ทรายสะอาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้ำเบอร์ 100



รูปที่ 1 กองกากของผลปาล์ม

แมกนีเซียมซัลเฟต : แมกนีเซียมซัลเฟต ชนิด Commercial Grade
เถ้าปาล์มน้ำมัน (POFA) : ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งในจังหวัดกระบี่

3.2 วิธีการทดสอบ

นำเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานโดยตรงมาด้วยเครื่องบดวัสดุ (มีอัตราส่วนลูกบดทรงกลมต่อวัสดุเท่ากับ 1:4.5 โดยน้ำหนัก) เพื่อให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นอีก 2 ขนาด คือ เถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดกว่าบนตะแกรงเบอร์ 325 อยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 (เวลาบด 90 นาที), และน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (เวลาบด 240 นาที) รวมเถ้าปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้บดเป็น 3 ขนาด ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี

การทดสอบกำลังอัดใช้มอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 มม. ได้แก่ มอร์ตาร์ที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว และมอร์ตาร์ที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์หรือปูนซีเมนต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน) มีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมมอร์ตาร์ให้มีค่าร้อยละการไหลเผื่ออยู่ในช่วงระหว่าง 105 ถึง 115 จากนั้นบ่มในน้ำประปา เพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน

การทดสอบการขยายตัวใช้แท่งมอร์ตาร์ขนาด 25x25x285 มม. มีอัตราส่วนผสมและปริมาณน้ำเช่นเดียวกับตัวอย่างทดสอบกำลังอัด ถอดแบบแท่งมอร์ตาร์ที่อายุ 1 วัน และวัดค่าเริ่มต้นด้วยเครื่องมือวัดการขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM C 490 แล้วนำไปแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก วัดการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ทุก 14 วัน จนตัวอย่างมีอายุครบ 364 วัน

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย CT1 และ CT5 หมายถึงมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 5 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ส่วน OP, G1P และ G2P หมายถึงความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนผสมในมอร์ตาร์ และตัวเลข 10, 20, 30 และ 40 หมายถึงร้อยละอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 2 กองเถ้าปาล์มน้ำมันที่ทิ้งแล้ว

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

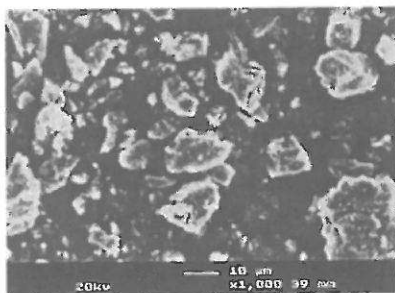
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, ประเภทที่ 5 และเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพโดยการบด พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอน และเป็นเหลี่ยมมุม เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมีลักษณะโดยรวมค่อนข้างหยาบ ความพรุนสูง รูปร่างกลมมนติดกันเป็นกลุ่มก้อน และขนาดไม่สม่ำเสมอ (ดูรูปที่ 3ค) ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด (G1P) และบดละเอียดมาก (G2P) มีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นเหลี่ยมมุม และรูปร่างไม่แน่นอน อย่างไรก็ตาม เถ้าปาล์มน้ำมัน G1P (ดูรูปที่ 3ง) ยังมีอนุภาคบางส่วนเป็นรูปกลมมน และมีรูพรุนอยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะว่าอนุภาคขนาดเล็กบางส่วนยังเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนการบดอาจบดได้ไม่สมบูรณ์

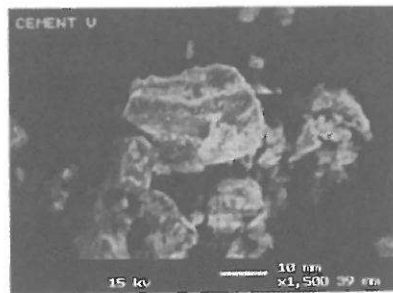
ค่าความถ่วงจำเพาะและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุแสดงในตารางที่ 1 พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 และ 3.17 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 14.6 และ 7.5 ไมครอน ตามลำดับ เถ้าปาล์มน้ำมัน OP มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ คือ มีค่าเท่ากับ 1.97 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ใหญ่ คือ มีค่าเท่ากับ 62.5 ไมครอน แต่หลังการบดเถ้าปาล์มน้ำมัน G1P และ G2P มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น 2.17 และ 2.33 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงเท่ากับ 19.9 และ 10.1 ไมครอน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมีความพรุนและมีโพรงอากาศภายในอนุภาคสูง นอกจากนี้การบดไม่เพียงแต่ลดขนาดอนุภาค แต่ยังลดความพรุนของวัสดุด้วย

ค่าความละเอียดของวัสดุโดยวิธีการหาปริมาณอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 ไมครอน) และวิธีการหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีของเบรตต์แสดงในตารางที่ 1 พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมัน OP, G1P และ G2P มีปริมาณอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 41.2, 17.1 และ 1.5 ตามลำดับ โดยปริมาณอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมัน OP ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 มีค่าสูงกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [4] กำหนดไว้ คือ ไม่เกินร้อยละ 34 สำหรับการหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีของเบรตต์ พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 3,630 และ 4,440 ซม²/ก ตามลำดับ ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมัน G1P และ G2P มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 6,990 และ 12,220 ซม²/ก ตามลำดับ สังเกตว่าเถ้าปาล์มน้ำมันหลังบดทั้งสองขนาด (G1 และ G2) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าปูนซีเมนต์มาก ในขณะที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ และมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ ประกอบกับภาพถ่ายขยายอนุภาคของวัสดุทั้งสอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคยังมีความพรุนอยู่ ดังนั้นพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นอาจรวมถึงพื้นที่ผิวที่เกิดจากโพรงอากาศภายในอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งแตกต่างจากปูนซีเมนต์ที่อนุภาคมีเนื้อแน่นกว่า ค่าพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นจึงเป็นพื้นที่ผิวโดยรอบของอนุภาคมากกว่าเป็นพื้นที่ผิวที่เกิดจากโพรงอากาศภายในอนุภาค ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เถ้าปาล์มน้ำมันหลังบดมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์

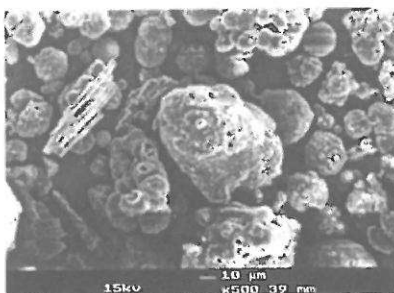
สำหรับเถ้าปาล์มน้ำมัน OP ไม่เหมาะที่จะหาพื้นที่จำเพาะด้วยวิธีเบรตต์ เนื่องจากมีอนุภาคที่ใหญ่และความพรุนสูง ทำให้อากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคอย่างรวดเร็ว



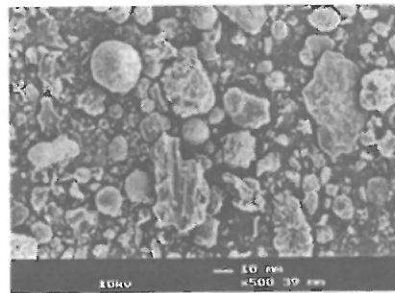
ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



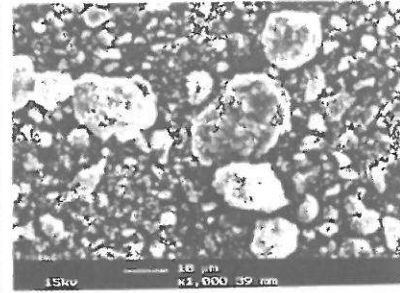
ข. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5



ค. เถ้าปาล์มน้ำมัน OP



ง. เถ้าปาล์มน้ำมัน G1P



จ. เถ้าปาล์มน้ำมัน G2P

รูปที่ 3 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของวัสดุ

ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของปูนซีเมนต์และเถ้าปลาล์มน้ำมัน

Sample	Specific Gravity	Retained on a Sieve No. 325 (%)	Blaine Fineness (cm ² /g)	Median Particle Size (micron)
Cement I	3.14	N/A	3,630	14.6
Cement V	3.17	N/A	4,440	7.5
OP	1.97	41.2	N/A	62.5
G1P	2.17	17.1	6,990	19.9
G2P	2.33	1.5	12,220	10.1

N/A = Not Applied

4.2 คุณสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, ประเภทที่ 5 และเถ้าปลาล์มน้ำมันบดละเอียดมาก (G2P) พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มี CaO เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 65.4 และ 62.4 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ซึ่งคำนวณตามสมการของ Bogue [5] พบว่าปริมาณ C₃A ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 6.8 ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ไม่มีเลย ส่วนปริมาณ C₃S และ C₂S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 62.8 และ 12.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 51.1 และ 24.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

Chemical Composition (%)	Portland Cement Type I	Portland Cement Type V	POFA (G2P)
Silicon Dioxide (SiO ₂)	20.9	22.1	65.3
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	4.7	3.5	2.5
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.4	5.5	1.9
Calcium Oxide (CaO)	65.4	62.4	6.4
Magnesium Oxide (MgO)	1.2	0.9	3.0
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.2	0.0	0.3
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.3	0.1	5.7
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2.7	1.0	0.4
Loss On Ignition (LOI)	0.9	1.6	10.0
Tricalcium Silicates (C ₃ S)	62.8	51.1	-
Dicalcium Silicates (C ₂ S)	12.5	24.9	-
Tricalcium aluminate (C ₃ A)	6.8	0.0	-
Tetracalcium aluminoferrite (C ₄ AF)	10.3	16.8	-

เถ้าปลาล์มน้ำมัน (G2P) มี SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 65.3 มี Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 2.5 และ 1.9 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลรวมของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ ในเถ้าปลาล์มน้ำมันพบว่ามีปริมาณเท่ากับร้อยละ 69.7 มีปริมาณ SO₃ เพียงร้อยละ 0.4 และมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) เท่ากับร้อยละ 10.0 ดังนั้นเมื่อพิจารณาด้านองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปลาล์มน้ำมันแล้วตามมาตรฐาน ASTM C 618 [4] สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ได้

ในการศึกษานี้วิเคราะห์เฉพาะองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปลาล์มน้ำมัน G2P เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการปรับปรุงคุณภาพโดยการบดไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลงมากนัก [6,7]

4.3 กำลังอัดของมอร์ต้าร์

ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 และ CT5 พบว่าที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน กำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 มีค่าเท่ากับ 333, 436, 499 และ 525 กก/ซม² ตามลำดับ สำหรับมอร์ต้าร์มาตรฐาน CT5 มีกำลังที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 286 กก/ซม² ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 และที่อายุ 28 วันขึ้นไป กำลังอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 โดยที่อายุ 28, 60 และ 90 วัน มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 441, 504 และ 542 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 101, 101 และ 103 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 ตามลำดับ สังเกตว่าที่อายุ 7 วัน กำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน CT5 มีค่าต่ำกว่ามอร์ต้าร์ CT1 อย่างมาก คือ มีค่าเพียงร้อยละ 86 ของมอร์ต้าร์ CT1 เท่านั้น แม้ว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีความละเอียดมากกว่าประเภทที่ 1 เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีปริมาณ C₃S น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำให้กำลังอัดในช่วงอายุต้นมีค่าต่ำ แต่ปริมาณ C₂S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ที่มีปริมาณสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถึง 2 เท่า จึงส่งผลให้กำลังอัดสามารถพัฒนาให้มีความสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน CT1 ได้ในช่วงอายุปลาย

ตารางที่ 3 กำลังอัดและความต้องการน้ำของมอร์ตาร์

Mixes	W/B	Flow	Water Requirement (%)	Compressive Strength (ksc) – Normalized Compressive Strength (%)			
				7 days	28 days	60 days	90 days
CT1	0.67	111	100	333 – 100	436 – 100	499 – 100	525 – 100
CT5	0.67	108	100	286 – 86	441 – 101	504 – 101	542 – 103
OP10	0.68	105	101	276 – 83	381 – 87	462 – 93	494 – 94
OP20	0.70	109	104	248 – 74	319 – 73	375 – 75	406 – 77
OP30	0.72	107	107	179 – 54	289 – 66	331 – 66	357 – 68
OP40	0.73	108	109	133 – 40	193 – 44	250 – 50	264 – 50
G1P10	0.66	107	99	318 – 96	411 – 94	498 – 100	535 – 102
G1P20	0.67	111	100	298 – 90	389 – 89	473 – 95	510 – 97
G1P30	0.68	112	101	258 – 78	361 – 83	443 – 89	473 – 90
G1P40	0.69	107	103	217 – 65	309 – 71	366 – 73	392 – 75
G2P10	0.66	107	99	325 – 98	428 – 98	510 – 102	546 – 104
G2P20	0.67	111	100	301 – 90	414 – 95	498 – 100	532 – 101
G2P30	0.67	106	100	283 – 85	394 – 90	469 – 94	501 – 95
G2P40	0.68	109	101	260 – 78	344 – 79	409 – 82	437 – 83

หมายเหตุ : ส่วนที่แรเงาหมายถึงมอร์ตาร์ที่ผสมได้ปาล์มน้ำมันที่มีกำลังอัดเท่ากับหรือมากกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน CT1

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการแทนที่ของมอร์ตาร์ที่ผสมได้ปาล์มน้ำมัน OP แสดงในรูปที่ 4 พบว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยได้ปาล์มน้ำมันก่อนบด (OP) ทุกอัตราการแทนที่และทุกอายุการทดสอบมีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 โดยมีมอร์ตาร์ OP10, OP20, OP30 และ OP40 มีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 276, 248, 179 และ 133 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 83, 74, 54 และ 40 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 ตามลำดับ เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเพิ่มขึ้นเป็น 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ดังกล่าวมีกำลังอัดเท่ากับ 381, 319, 289 และ 193 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 87, 73, 66 และ 44 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 ตามลำดับ เห็นได้ว่ากำลังอัดมีค่าลดลงเมื่ออัตราการแทนที่มากขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าได้ปาล์มน้ำมันก่อนบดส่วนมากอนุภาคมีโพรงอากาศ ความพรุนสูง และขนาดใหญ่อ้างทำปฏิกิริยาปอซโซลานน้อย เมื่อนำมาแทนที่ในปูนซีเมนต์ จึงทำให้กำลังอัดลดลง เพราะกำลังอัดที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานไม่สามารถชดเชยกำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากการลดปูนซีเมนต์ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ OP20 ที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมได้ปาล์มน้ำมันก่อนบดมีค่าเพียงร้อยละ 74 และ 73 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ดังนั้นได้ปาล์มน้ำมันก่อนการบดจึงไม่เหมาะสมที่นำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 [4]

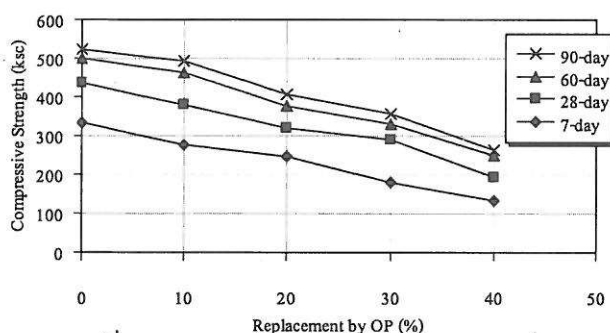
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราการแทนที่ของมอร์ตาร์ที่ผสมได้ปาล์มน้ำมัน G1P พบว่าเมื่อความละเอียดเพิ่มขึ้น

สามารถพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์ให้สูงขึ้นได้ โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ G1P10, G1P20, G1P30 และ G1P40 ที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 318, 298, 258, 217 และ 411, 389, 361, 309 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 96, 90, 78, 65 และ 94, 89, 83, 71 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน ตามลำดับ และมีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อมอร์ตาร์มีอายุมากขึ้น โดยที่อายุ 60 วันขึ้นไปมอร์ตาร์ G1P10 มีค่ากำลังอัดมากกว่าร้อยละ 100 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน นอกจากนี้กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมได้ปาล์มน้ำมัน G1P ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 20 ที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 90 และ 89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [4] กำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน แสดงว่าได้ปาล์มน้ำมัน G1P มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี

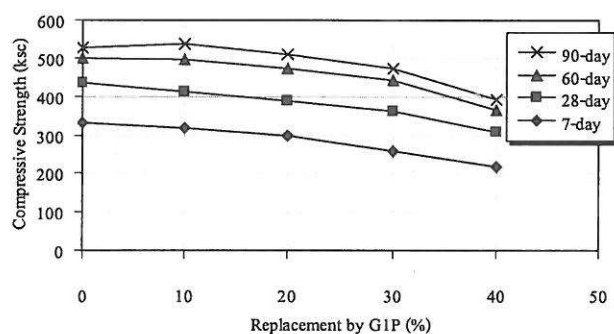
เมื่อบดได้ปาล์มน้ำมันให้ละเอียดขึ้นเป็น G2P ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราการแทนที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่าที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7 หรือ 28 วัน มีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [4] กำหนดไว้ที่ร้อยละ 75 ถึงร้อยละ 15 และเมื่อมอร์ตาร์มีอายุ 60 และ 90 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ G2P20 สามารถพัฒนาให้มีค่าเท่ากับหรือสูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน คือ มีค่าเท่ากับ 498 และ 532 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 100 และ 101 ตามลำดับ นอกจากนี้การแทนที่ร้อยละ 30 มอร์ตาร์ยังมีค่ากำลังอัดถึงร้อยละ 90 ที่อายุ 28 วัน และเพิ่มเป็นร้อยละ 95 ที่อายุ 90 วัน ค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นของมอร์ตาร์เกิดเนื่องจากความ

ละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้น ทำให้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี และอนุภาคที่มีความละเอียดสูง สามารถแทรกอยู่ช่องว่างของเฟสผลให้มอร์ตาร์มีเนื้อแน่นขึ้น กำลังอัดจึงสูงขึ้น

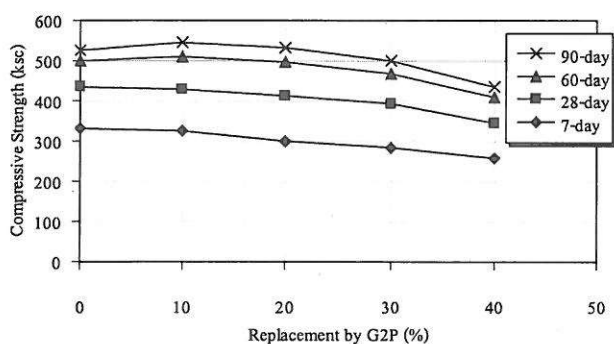
ผลกำลังอัดของมอร์ตาร์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพเถ้าปาล์มน้ำมันโดยการบดให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ให้ดีขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลานชนิดอื่น เช่น การศึกษาการบดเถ้าถ่านหินของ สมิตร์และชัย [6] Paya และคณะ [7]



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณการแทนที่และกำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน OP



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณการแทนที่และกำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน GIP



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณการแทนที่และกำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน G2P

4.4 การขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของแท่งมอร์ตาร์มาตรฐานที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว พบว่าที่อายุก่อน 100 วัน การขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 และ CT5 มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก เมื่ออายุเพิ่มขึ้นเป็น 364 วัน จึงเริ่มเห็นความแตกต่างของการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ โดยแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 มีการขยายตัวมากกว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT5 และมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.43 ส่วนแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT5 มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยที่อายุ 364 วัน มีค่าการขยายตัวเท่ากับร้อยละ 0.09 สังเกตว่าแม้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ไม่มีปริมาณ C_3A เลย แต่ยังคงเกิดการขยายตัวอยู่ประมาณร้อยละ 0.1 ที่อายุ 1 ปี แสดงให้เห็นได้ว่า C_3A ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการขยายตัวเพียงอย่างเดียว [8,9] ซึ่งจากการศึกษาของ Gonzalez และ Irassar [10] ที่ทำการศึกษการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ด้านทานซัลเฟตจำนวน 4 ชนิด (3 ชนิดมีปริมาณ C_3A เท่ากับร้อยละ 0 และอีก 1 ชนิดมีปริมาณ C_3A เท่ากับร้อยละ 1) ที่มีปริมาณ C_3S แตกต่างกันอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึง 74 ผลการศึกษาพบว่าปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_3S สูง ส่งผลให้เกิดการขยายตัวสูงตาม

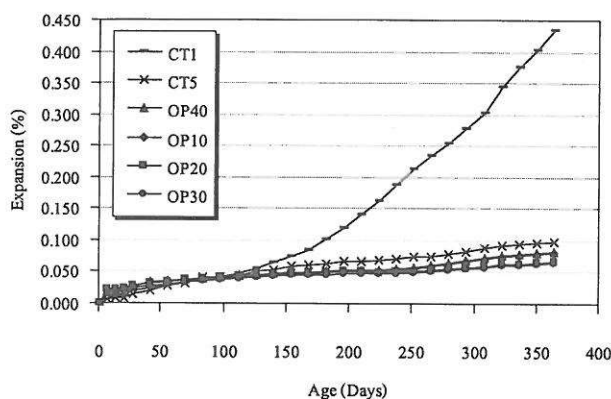
เมื่อพิจารณาการขยายตัวกับอายุการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของแท่งมอร์ตาร์ที่มีเถ้าปาล์มน้ำมัน OP เป็นส่วนผสมในอัตราร้อยละ 10 ถึง 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าที่อายุก่อน 100 วันการขยายตัวมีค่าน้อยเช่นเดียวกับมอร์ตาร์มาตรฐานและไม่เห็นผลของการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันต่อการต้านทานขยายตัวเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันมาก สังเกตได้จากกราฟที่มีลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่ม หลังจากนั้นที่อายุ 150 วันขึ้นไปจึงเริ่มเห็นชัดเจนว่าแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน OP ทุกอัตราการแทนที่ที่มีการขยายตัวต่ำกว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 และ CT5 อย่างไรก็ตามในช่วงอายุดังกล่าวยังไม่สามารถบอกถึงอัตราแทนที่ที่มีผลต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ได้ และเมื่ออายุเพิ่มขึ้นเป็น 364 วัน พบว่ามอร์ตาร์ OP10, OP20, OP30 และ OP40 มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.08, 0.06, 0.06 และ 0.08 ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีค่าต่ำกว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 อย่างมาก

การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมัน OP ร้อยละ 10 ทำให้การขยายตัวมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมัน OP ที่มีความพรุนสูงและอนุภาคขนาดใหญ่ (เห็นได้ชัดจากภาพขยายอนุภาคในรูปที่ 3ค) ไม่เพียงแต่ทำให้ลดปริมาณ C_3A และยับยั้งที่ทำให้เกิดการขยายตัวแล้ว แต่ยังทำให้เนื้อมอร์ตาร์ที่แข็งตัวแล้วมีความพรุนและช่องว่างมากขึ้น ซึ่ง Irassar และ Batist [11] และ Moukwa [12] พบว่า Ettringite ที่เกิดขึ้นจะขยายตัวอย่างช้าๆ

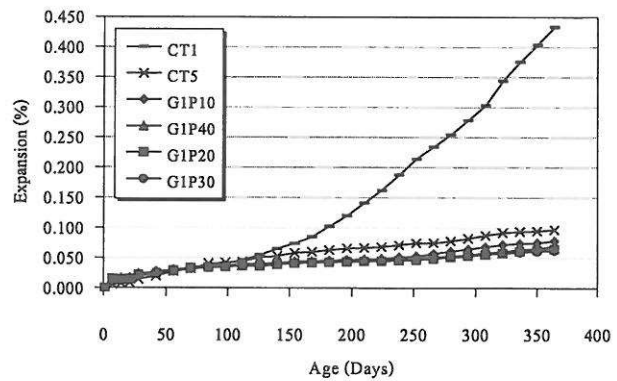
ภายในช่องว่างดังกล่าว จึงไม่เกิดแรงดันภายในเนื้อมอร์ตาร์ ส่งผลให้การขยายตัวของมวลของแท่งมอร์ตาร์เกิดน้อย

รูปที่ 8 และ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน G1P และ G2P ตามลำดับ พบว่าแม้ความละเอียดของเถ้าปลาน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่การขยายตัวยังมีค่าไม่แตกต่างจากแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน OP มากนัก โดยที่อายุ 364 วันพบว่าแท่งมอร์ตาร์ G1P10, G1P20, G1P30 และ G1P40 มีการขยายตัวเท่ากับร้อยละ 0.07, 0.06, 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ ส่วนแท่งมอร์ตาร์ G2P10, G2P20, G2P23 และ G2P40 มีการขยายตัวเท่ากับ 0.07, 0.06, 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน OP เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแทนที่เดียวกัน นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าผลของอัตราการแทนที่เถ้าปลาน้ำมันต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน G1P และ G2P ให้ผลในทิศทางเดียวกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน OP กล่าวคือการแทนที่ร้อยละ 10 มีการขยายตัวมากที่สุดและลดลงเมื่อการแทนที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่ร้อยละ 30 ซึ่งเป็นอัตราการแทนที่ที่มีการขยายตัวต่ำสุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มการแทนที่เป็นร้อยละ 40 การขยายตัวกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

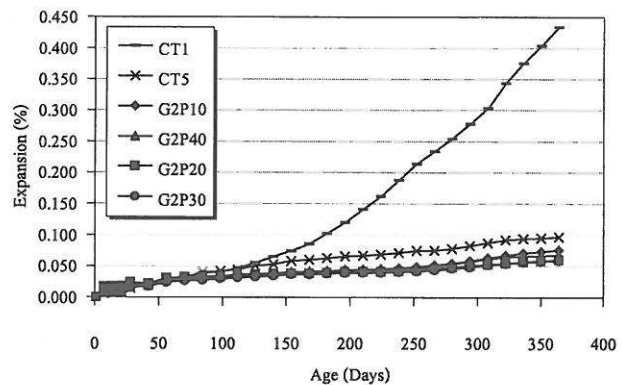
รูปที่ 10 แสดงความเสียหายของแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน และแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันที่ความละเอียดและอัตราการแทนที่ต่างกัน พบว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 เกิดการโก่งงออย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่แท่งมอร์ตาร์มาตรฐาน CT5 ยังคงสภาพอยู่แต่มีรอยร้าวตามขอบข้างเล็กน้อย ส่วนแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันแม้ว่าภาพโดยรวมอาจยังมีความเสียหายไม่มากนัก แต่สังเกตพบว่าการแทนที่มากขึ้นทำให้แท่งมอร์ตาร์เกิดรอยร้าวได้มากกว่าที่การแทนที่ต่ำ และแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันที่มีความละเอียดกว่ามีรอยร้าวน้อยกว่าด้วย



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน OP



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน G1P



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอายุของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมัน G2P



รูปที่ 10 ความเสียหายของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันเมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอายุ 364 วัน

การขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันทั้ง 3 ขนาดความละเอียด และมีอัตราการแทนที่ต่างกัน พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปลาน้ำมันทุกส่วนผสมมีค่าการขยายตัวต่ำกว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าที่การแทนที่เถ้าปลาน้ำมันบางส่วนผสมจะทำให้

มอร์ตาร์มีกำลังอัดที่ต่ำกว่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันสามารถลดการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟตได้เป็นอย่างดี และการแทนที่ร้อยละ 30 ของทุกความละเอียดมีการขยายตัวต่ำสุด แต่หากพิจารณากำลังอัดของมอร์ตาร์ พบว่าการแทนที่ร้อยละ 30 อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากให้กำลังอัดที่ต่ำ ดังนั้นการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน G1P และ G2P ในอัตราไม่เกินร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ น่าจะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เพราะสามารถให้กำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน CT1 ที่อายุ 90 วัน และยังสามารถลดการขยายตัวเนื่องจากสารละลายซัลเฟตได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการศึกษาทดลองงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด (OP) มีองค์ประกอบทางเคมีจัดอยู่ใน Class N ตามมาตรฐาน ASTM C 618 และสามารถลดการขยายตัวเนื่องจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตได้ แต่ขนาดของอนุภาคใหญ่และความพรุนสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานต่ำ ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต
2. เถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ในปูนซีเมนต์ได้ โดยเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดปานกลาง (G1P) และบดละเอียดมาก (G2P) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ มีกำลังอัดที่อายุ 90 วัน สูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 102 และ 101 ตามลำดับ
3. แท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันความละเอียดปานกลาง (G1P) และความละเอียดมาก (G2P) ทุกอัตราการแทนที่ที่มีการขยายตัวต่ำกว่าแท่งมอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตนาน 364 วัน และการแทนที่ร้อยละ 30 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันความละเอียดปานกลางหรือความละเอียดมากมีการขยายตัวต่ำสุด และการขยายตัวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเถ้าปาล์มน้ำมันมีความละเอียดมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การใช้เถ้าแกลบเปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการทุนวิจัยองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนา (วชิรมณีวิจัย) ประจำปี พ.ศ. 2545 ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย นอกจากนี้ขอขอบคุณบริษัท ยูนิวาณิช น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัสดุในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545, สถิติการเกษตรแห่งประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2544/45, เล่มที่ 43, 121 หน้า.
- [2] Tay, J.H., 1990, "Ash from Oil-Palm Waste as Concrete Material", *Journal of Material in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 2, pp. 94-105.
- [3] สุรพันธ์ สุคันปรีช, ชรินทร์ นมรักษ์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2545, "การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต", *การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรม ประจำปี 2545*, 20-23 มิถุนายน, กรุงเทพฯ, หน้า 191-199.
- [4] American Society for Testing and Materials, 2001, "ASTM C 618 : Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete", In 2001 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia, ASTM, pp. 310-313.
- [5] American Society for Testing and Materials, 2001, "ASTM C 150 : Standard Specification for Portland Cement", In 2001 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 149-155.
- [6] สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2538, "การศึกษากาบดเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในการเพิ่มกำลังคอนกรีต", *วารสารวิจัยและพัฒนา สจ.ร.*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 51-76.
- [7] Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., and Mora, P.E., 1997, "Mechanical Treatments of Fly Ashes Part I: Physico-Chemical Characterization of Ground Fly Ashes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, pp. 1365-1377.
- [8] Tikalsky, P.J., Roy, D., Scheetz, B., and Krize, T., 2002, "Redefining Cement Characteristics for Sulfate-Resistance Portland Cement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1239-1246.
- [9] Tian, B. and Cohen, M.D., 2000, "Does Gypsum Formation during Sulfate Attack on Concrete Lead to Expansion", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 117-123.
- [10] Gonzalez, M.A. and Irassar, E.F., 1997, "Ettringite Formation in Low C₃A Portland Cement Exposed to Sodium Sulfates Solution", *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, pp. 1061-1072.
- [11] Irassar, F. and Batic, O., 1989, "Effects of Low Calcium Fly Ash on Sulfate Resistance of OPC Cement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 19, pp. 194-202.
- [12] Moukwa, M., 1990, "Characteristics of the Attack of Cement Paste by MgSO₄ and MgCl₂ from the Pore Structure Measurements", *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, pp. 148-158.

Experimental Investigations on Bleeding of Fly Ash Concrete

Kulanan Thumasujarit and Somnuk Tangtermsirikul

School of Building Facilities and Civil Engineering

Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University

P.O. Box 22, Thammasat-Rangsit Post Office, Patumthani 12121, Thailand

Phone (66-2) 986-9009 ext. 1908, Fax (66-2) 986-9009 ext. 1900

Abstract

This article outlines the experimental studies on bleeding of fly ash concrete. Bleeding is a form of segregation occurring from rising of some water in the mix to the surface of freshly placed concrete. Bleeding in concrete causes low abrasive resistance and high porosity of the top surface of concrete. This experimental program was designed to clarify the mechanisms of bleeding of fly ash concrete. The mix proportion of concrete was designed based on variation of ratio of paste volume to void volume of aggregate phase, water to binder ratio, type and replacement percentage of fly ash in order to investigate the effect of these parameters on bleeding. Moreover, the amount of free water and effective contact surface area of solid particles were computed and investigated for their effects on bleeding.

1. Introduction

Properties of fresh concrete are important for durability of concrete in long term state. One of the problems of fresh concrete causing the durability problem is bleeding. Bleeding is a form of segregation in which some water in the mix rises to the surface of freshly placed concrete. This is caused by the inability of the solid constituents of the mix to hold all of the mixing water when they settle downwards [1].

In Thailand, fly ash has been used in concrete for a number of years; however, understanding about fly ash concrete properties is still not up to a satisfactory level. With this level of understanding, fly ash has been refused for being used in some construction projects. Low abrasive resistance and dusty surface of fly ash concrete are common problems heard during these days. These problems are

considered to be caused by excessive bleeding which may be accompanied by the prolonged setting time of the fly ash concrete, especially when the fly ash concrete have high w/b ratio or high water content (relatively low strength concrete).

Helmuth R. [2] found that among the most important characteristics of fly ashes are those that affect the bleeding characteristic of the fresh cement pastes in concretes. Replacement of a part of the cement with fly ash may either increase or decrease the bleeding of fresh concrete.

Tangtermsirikul S. [3] studied the influencing factors of bleeding which are surface area of solid particles, water to cement ratio, and air content on bleeding rate and bleeding capacity and found that the larger the total surface area of solid particles in the fresh concrete mixture is, the lower permeability of the fresh concrete mixture will be. Therefore, smaller bleeding rate can be expected. With regard to the effect of water to cement ratio (w/c), cement pastes with higher w/c ratio give higher value of bleeding rate for cement pastes made from same cement. It can be expected that the cement paste with higher w/c ratio gives higher bleeding capacity than that with lower w/c ratio since cement paste with higher w/c ratio contains larger amount of water in the mixture. Bleeding capacity is also affected by the sample height. A larger sample height gives rise to a larger bleeding capacity [4].

Studies have not yet been done on bleeding of fly ash concrete and its solutions for proper mix design in Thailand. This study will be useful for the mentioned purpose.

RECEIVED 29 June, 2004

ACCEPTED 30 August, 2004