

การทดสอบกำลังอัดจากเถ้าหนักของปาล์มน้ำมัน เพื่อมาเป็นวัสดุถมกลับในงานปิโตรเลียม

Testing of Compressive Strength from Oil Palm Bottom Ash Applied to Backfill in Petroleum Work

ณปภัช คงฤทธิ*, นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์ และจักรพงษ์ จิตต์จำนงค์

สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Napaphat Kongrit*, Napatrat Kasetsoomboon and Jakkrapong Jitjamnong

Department of Petroleum Technology, Faculty of Industrial Education and Technology,

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Boyang, Muang, Songkhla 90000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนักปาล์มน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุถมกลับ โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ ค่ากำลังแรงอัด และค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักจากปาล์มน้ำมัน การทดลองนี้ใช้เถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันโดยมีการแทนที่ของซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งควบคุมให้เถ้าหนักมีการกระจายตัวของอนุภาค โดยแบ่งสภาพเป็นไม่บ่มน้ำ บ่มน้ำ 7 วัน และบ่มน้ำ 28 วัน ผลการวิเคราะห์และทดลองพบว่าเถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันมีแคลเซียมออกไซด์ 26.71 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน และค่ากำลังแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อผสมซีเมนต์ที่มากขึ้น โดยมอร์ตาร์ซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก บ่มน้ำ 28 วัน มีค่ากำลังอัด 2.10 เมกะปาสคาล นอกจากนี้การใช้ซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ที่ผสมซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 มีค่าความหนาแน่น 5,605.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การพัฒนา กำลังแรงอัดของมอร์ตาร์ที่บ่มน้ำ 28 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าปาล์มน้ำมันด้วยซีเมนต์เพิ่มขึ้น กำลังแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่ม

คำสำคัญ : เถ้าหนัก; วัสดุถมกลับ; ปาล์มน้ำมัน; กำลังแรงอัด

Abstract

This research has proposed to investigate the basic properties of oil palm ash in order to utilize as backfill materials by using x-ray fluorescence (XRF) technique to analyze the elements,

*ผู้รับผิดชอบบทความ : napaphat.s@mutsv.ac.th

compressive strength, and density of mortar containing bottom ash from oil palm. In this experiment, cement was used as a supplementary material at 5, 10 and 15 % by weight for oil palm bottom ash, which was controlled in particle size distribution in various conditions, i.e. no incubation, and incubations at 7 and 28 days. The results of the analyses and experiments showed that oil palm bottom ash contained 26.71 % calcium oxide, resulting in pozzolan materials. The compressive strength was increased when adding cement. The oil palm bottom ash replacement with cement containing 15 % by weight at 28-day incubation has a compressive strength of 2.10 MPa. Besides, the increase in cement ratio affects the increase in the density of mortars. The density of oil palm bottom ash replacement with cement containing 15 % was 5605.10 kg/m³. The development of compressive strength of mortar at 28-day incubation will increase when the percentages of cement replacement in oil palm bottom ash increased. The compressive strength of mortar increases as the curing time increases.

Keywords: bottom ash; backfill materials; oil palm; compressive strength

1. บทนำ

ปัจจุบันเถ้าชีวมวลเป็นเถ้าที่เหลือจากวัสดุทางการเกษตรที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นต้องนำไปกำจัดทิ้งเพราะมีปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นการทิ้งเพื่อถมที่หรือทิ้งในบ่อทิ้งที่เตรียมไว้ นอกจากการนำไปทิ้งแล้ว เถ้าชีวมวลบางชนิดนำมาใช้ประโยชน์ได้ [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานคอนกรีตซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในการผลิตปูนซีเมนต์ ตลอดจนงานขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้จัดจำหน่าย มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 973-980 กิโลกรัม ซึ่งก๊าซเหล่านี้เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อให้ได้ปูนเม็ด แสดงให้เห็นว่าการเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศมากที่สุด [2] เถ้าชีวมวลที่มีศักยภาพที่จะนำไปใช้งานคอนกรีตได้ต้องมีลักษณะดังนี้ เป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินาออกไซด์สูง โดยทั่วไปควรมากกว่าร้อยละ 50 ของทั้งหมด มีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูง และไม่เป็นผลึก คือ สามารถ

ทำปฏิกิริยากับต่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ซึ่งเถ้าชีวมวลที่เข้าข่ายในลักษณะข้างต้น ได้แก่ เถ้าจากการเผาเปลือกยางพารา (para ash) เถ้าจากการเผาแกลบ (rice husk ash) เถ้าจากการเผาแกลบร่วมกับเปลือกไม้ (rice husk bark ash) และเถ้าจากการเผาขานอ้อย (bagasse ash) [3]

การสละหลุมถาวร (plug and abandonment) ส่วนใหญ่จะทำในหลุมสำรวจ แต่บางครั้งผลการเจาะหลุมเพื่อผลิตก็อาจเป็นหลุมแห้งได้ หรือหลุมที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้ว จะต้องอุดหลุมด้วยซีเมนต์เพื่อป้องกันไม่ให้ของไหลที่มีอยู่ในชั้นหินไหลไปสู่ชั้นหินอื่น ซึ่งอาจทำลายชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่อยู่ใกล้เคียง หรือไหลเข้าไปปนเปื้อนชั้นน้ำใต้ดิน [4] กรณีที่มีการทดสอบอัตราการไหลของหลุมต้องอัดซีเมนต์ (squeeze cement) เข้าไปในชั้นหินที่ทดสอบทุกช่วง จากนั้นเติมน้ำโคลนลงในหลุมเพื่อรักษาสภาพสมดุลและติดตั้งตัวปิดกั้นหลุม (bridge plug) ในท่อรูชั้นในสุดเหนือชั้นหินดังกล่าว บนตัวปิดกั้นหลุมนี้จะอุดซ้ำด้วยซีเมนต์ (มาตรฐานทั่วไปจะใช้ซีเมนต์หนาประมาณ

150 ฟุต) ถัดจากซีเมนต์ช่วงนี้จะเป็นน้ำโคลนอีกช่วงหนึ่ง และตามด้วยซีเมนต์โดยมีความหนาประมาณ 300-500 ฟุต การอุดซีเมนต์ในท่อกรูในชั้นถัดมาก็จะทำเช่นเดียวกับช่วงแรก เพียงแต่อาจไม่จำเป็นต้องมีตัวปิดกั้นหลุม [5]

วัสดุถมกลับ คือ วัสดุเหลือใช้ เศษดิน หิน หางแร่ทิ้ง และของเสีย มาใช้ในการถมกลับเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการนำเอาน้ำมาผสมกันระหว่างน้ำซีเมนต์และเปลือกดินทิ้ง เพื่อใช้ประโยชน์ในการถมกลับไปยังหลุมเจาะเก่าที่ไม่เสถียร และช่วยในการป้องกันการพังทลายของหลุม สำหรับปัจจุบันนี้มีการนำเอาน้ำมาใช้ประโยชน์กันหลาย ๆ อย่าง เช่น ใช้เป็นมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้เป็นตัวกลางปลูกพืช ซึ่งถ้าหากถือว่าเป็นวัสดุที่เหลือใช้ในปัจจุบัน ถ้าสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ก็จะเกิดคุณค่าอย่างมากอีกทั้งยังเป็นการขจัดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย อีกทั้งเมื่อพิจารณาทิศทางอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ปรากฏขึ้น ได้แก่ กระบวนการผลิตต้องใช้น้ำและพลังงานมากทำให้เกิดน้ำเสียและวัสดุเศษเหลือจากการผลิตทั้งในรูปทะลายเปล่า เส้นใยปาล์ม กากเนื้อผลปาล์ม กะลาปาล์ม และตะกอนสลัดจ์เป็นปริมาณมาก สำหรับเอ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และหลายปาล์มเปล่าของผลปาล์ม เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งปริมาณเอ้าปาล์มน้ำมันมีเพิ่มขึ้นทุกวัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยกว่าที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บ [6] โดยการสละหลุมต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากเช่นกัน หากสามารถนำวัสดุดังกล่าวมาเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ในการสละหลุม โดยยังสามารถคงคุณภาพก็จะเป็นการ

ช่วยลดปัญหาการจัดการพื้นที่ในการนำเอ้าปาล์มน้ำมันไปทิ้ง และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการสละหลุม นอกจากนี้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาการใช้วัสดุปอซโซลานหรือเอ้าจากชีวมวลมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อพัฒนาให้สามารถต้านทานกำลังแรงอัด [7] และศึกษาอัตราส่วนผสมการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเอ้าชีวมวลในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนผสมของเอ้าชีวมวลที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง โดยอัตราส่วนที่มีค่าเหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 30 [8] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจและได้ศึกษาสมบัติพื้นฐานของเอ้าชีวมวล โดยเอ้าที่ที่ใช้ คือ เอ้าจากปาล์มน้ำมัน วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบกึ่งปริมาณด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (x-ray fluorescence spectro-meter, XRF) ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมต่อสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่ออายุการบ่มในสภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ศึกษาความสามารถในการรับกำลังแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราส่วนการแทนที่ด้วยซีเมนต์ในเอ้าที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานถมกลับภายในหลุมเจาะปิโตรเลียม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุถมกลับ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์จากการใช้ของเหลือทิ้งที่ต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมอีกทางหนึ่งด้วย นอกจากนั้นในประเทศไทยมีการใช้วัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และมีส่วนที่เป็นผลพลอยได้ คือ เอ้าหนัก ซึ่งเอ้าหนักสามารถใช้งานคอนกรีต เนื่องจากเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีสารจำพวกซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมินาปนอยู่ เป็นวัสดุของอมทั้งค่อนข้างใหญ่ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับเอ้าหนักเพื่อใช้ในงานถมกลับทางปิโตรเลียมยังมีอยู่น้อย หากนำเอ้าหนักมาใช้เป็นวัสดุประสานกับปูนซีเมนต์ อาจทำให้ได้วัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรง มีลักษณะเหมือนคอนกรีต และนำมา

ใช้งานคอนกรีต

2. วิธีการวิจัย

2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้เก้าอี้ปา ลัม น้ำมัน จากอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างและเก็บตัวอย่างเก้าอี้หนัก

2.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องมือ

ได้แก่ เบ้าหล่อคอนกรีต ตะแกรงคัดขนาด เครื่องทดสอบแรงอัด เวอร์เนียคาลิเปอร์ และเครื่องชั่งน้ำหนัก

2.2.2 วัสดุอุปกรณ์

ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และน้ำ เก้าอี้หนักปา ลัม น้ำมัน และเปลือกดิน

2.3 การเตรียมตัวอย่างเก้าอี้หนัก

ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเก้าอี้หนัก โดยนำเก้าอี้หนักไปบดให้มีขนาดเล็กกลง และคัดขนาดเก้าอี้หนักผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 30 [9] นำเก้าอี้หนักที่ได้จากการคัดขนาดไปอบไล่ความชื้น เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเก้าอี้ปา ลัม

ทดสอบหาสมบัติพื้นฐานของเก้าอี้หนักจากปา ลัม น้ำมัน 3 ตัวอย่าง โดยใช้แบบไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ แล้ววิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเก้าอี้หนัก คือ ตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์

2.5 การศึกษาความหนาแน่น

ทดสอบความหนาแน่นโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ในการวัดขนาด และใช้เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อ

หาหน้าหนักของมอร์ตาร์

2.5.1 ทดสอบความหนาแน่นของมอร์ตาร์

จากเก้าอี้หนักที่คัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และใช้ซีเมนต์แทนที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผสมใส่แบบหล่อทรงกระบอกขนาด 5x5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.6 [10] โดยใช้ส่วนผสมมอร์ตาร์ (ตารางที่ 1) และหล่อมอร์ตาร์ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2.5.2 ภายหล่อมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง วัด

ขนาดและชั่งน้ำหนักของมอร์ตาร์ก่อนบ่ม นำมอร์ตาร์มาบ่มน้ำสะอาด ในสภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ หลังจากการบ่มวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของมอร์ตาร์หลังบ่ม ทดสอบความหนาแน่นใช้ตัวอย่างทดสอบอายุทดสอบละ 3 ก้อนตัวอย่าง โดยความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จากสมการ $D = W \div A$ โดยที่ D แทนความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) W แทนน้ำหนักของก้อนมอร์ตาร์ (กิโลกรัม) และ A แทนปริมาตรของก้อนมอร์ตาร์ (ลูกบาศก์เมตร)

2.6 การศึกษากำลังอัด

ศึกษากำลังอัดโดยหลังจากทดสอบความหนาแน่นแล้ว นำมอร์ตาร์มาทดสอบกำลังอัดดังนี้

2.6.1 เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มน้ำสะอาดที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ มาทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบอายุทดสอบละ 3 ก้อนตัวอย่าง ทดสอบและหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัด

2.6.2 เลือกผิวทดสอบที่เรียบ จากนั้นนำมาทดสอบกำลังอัดประลัยตามมาตรฐาน ASTM C684 [11] ที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ

2.6.3 วางก้อนตัวอย่างบนแท่นกดด้านล่าง โดยวางในตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของแท่นกด (แผ่นของแท่นกดทั้งด้านบนและด้านล่างต้องสะอาด)

2.6.4 เปิดเครื่องกดตัวอย่าง โดยเพิ่มแรง

Table 1 Mortar components mixing

% Cement	Cement (g)	Top soil (g)	Bottom ash (g)	Water (g)
5 %	11.5	161.0	57.5	41.0
10 %	23	161.0	46.5	41.0
15 %	34.5	161.0	34.5	41.0

Table 2 The chemical composition of ash from oil palm

Chemical composition	% Chemical composition
Sodium oxide (Na ₂ O)	3.25±0.01
Magnesium oxide (MgO)	7.61±0.01
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	0.16±0.03
Silicon dioxide (SiO ₂)	7.13±0.01
Phosphorus pentoxide (P ₂ O ₅)	7.97±0.03
Sulphur trioxide (SO ₃)	3.51±0.02
Potassium oxide (K ₂ O)	1.85±0.05
Calcium oxide (CaO)	26.71±0.01
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	0.18±0.01
Strontium oxide (SrO)	0.05±0.04
Others	2.62±0.02

กตัวอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตรา 140 Ksc/min จนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตกละเอียด และบันทึกผลการทดลอง

2.7 คำอธิบายสัญลักษณ์

A5 แทนซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมันร้อยละ 5 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน A10 แทนซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และ A15 แทนซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุผสมกลับ

ผลการทดสอบเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุผสมกลับจากเถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักปาล์มน้ำมัน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (ร้อยละ 26.71±0.01) ซิลิคอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 7.13±0.01) อะลูมิเนียมออกไซด์ (ร้อยละ 0.16±0.03) ดังนั้นเถ้าปาล์มน้ำมันอาจมีสมบัติในการเชื่อมประสาน โดยก่อให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และ/หรือ แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) โดยหลังจากทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะมีสมบัติเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมกับงานคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น เช่น กำลังแรงอัด ความทนทาน [12] (ตารางที่ 2)

3.2 ความหนาแน่นของวัสดุผสมกลับ

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ผสมเถ้าหนักปาล์มน้ำมันโดยใช้ซีเมนต์แทนที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ A5, A10 และ A15 ตามลำดับ โดยแบ่งสภาพการบ่ม คือ ไม่บ่ม บ่มน้ำ 7 วัน และบ่มน้ำ 28 วัน (รูปที่ 1) เมื่อบ่มก้อนมอร์ตาร์เป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน โดยหลังจากการบ่มได้วัดการขยายตัวและซังน้ำหนัก พบว่าการความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์ที่มีการบ่มมีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาร์ที่ไม่บ่ม และการแทนที่ของเถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันด้วยซีเมนต์ A5, A10 และ A15 ในระยะเวลาการบ่มน้ำ 28 วัน มีค่า 5,682, 4,674 และ 5,019 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความ

หนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นของก้อนมอร์ตาร์จากอนุภาคของซีเมนต์ และเถ้าปาล์มน้ำมันมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมาก สาเหตุมาจากปูนซีเมนต์และเถ้าปาล์มน้ำมันมีความละเอียดที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีอัลคาไลน์ในสัดส่วนที่สูงจึงทำให้การขยายตัวมีค่ามากขึ้น [13] นอกจากนี้อาจเป็นผลจากปัจจัยที่เกิดช่องว่างภายในก้อนทดสอบมอร์ตาร์ เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนเกินที่เต็มลงไปเพื่อให้เถ้าปาล์มน้ำมันดูดซึม [14-15]

3.3 การทดสอบกำลังอัดของก้อนมอร์ตาร์

ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าหนักปาล์มน้ำมัน โดยใช้ซีเมนต์แทนที่ A5, A10 และ A15 (รูปที่ 2) ผลการทดสอบการบ่มที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมัน A15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ในทุกส่วนผสม การแทนที่ซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่อายุบ่ม 28 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ A5, A10 และ A15 มีค่า 0.94±0.02, 1.46±0.05 และ 2.10±0.03 เมกะปาสคาล ตาม

ลำดับ และหากพิจารณารูปที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมันด้วยซีเมนต์ที่มากขึ้นทำให้กำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และในทุกช่วงอายุการบ่ม น้ำกำลังอัดของมอร์ตาร์ A15 ที่อายุการบ่มน้ำ 28 วัน มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์อื่น ๆ การพัฒนา กำลังอัดมอร์ตาร์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเมื่อใช้ซีเมนต์แทนที่เถ้าหนักปาล์มน้ำมันในปริมาณ A15 ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตจากปูนซีเมนต์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรชันเพิ่มขึ้น [16] อีกทั้งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าหนักปาล์มน้ำมันเกิดอย่างสมบูรณ์ หรือมีปริมาณเถ้าหนักปาล์มน้ำมันในระบบอย่างเพียงพอ ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต

ไฮดรตอย่างสมดุลทำให้ค่ากำลังอัดจึงเพิ่มขึ้น [12] และอายุการบ่มน้ำที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่ต้องใช้เวลาในการพัฒนาปฏิกิริยา [17]

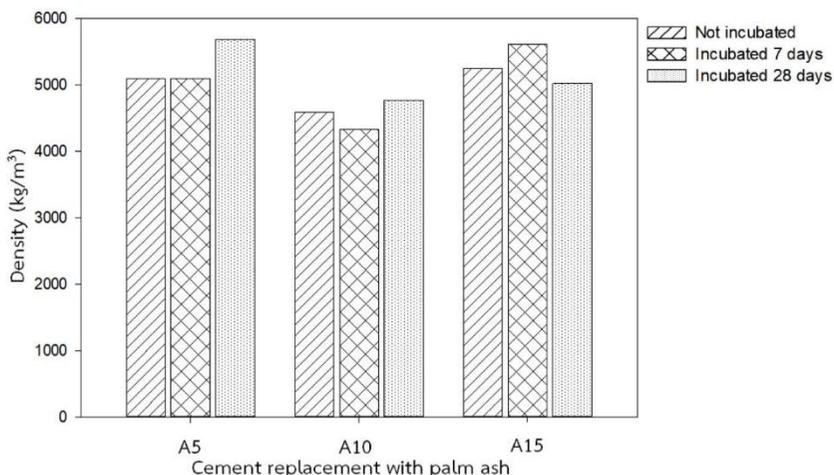


Figure 1 The density of palm bottom ash (kg/m3)

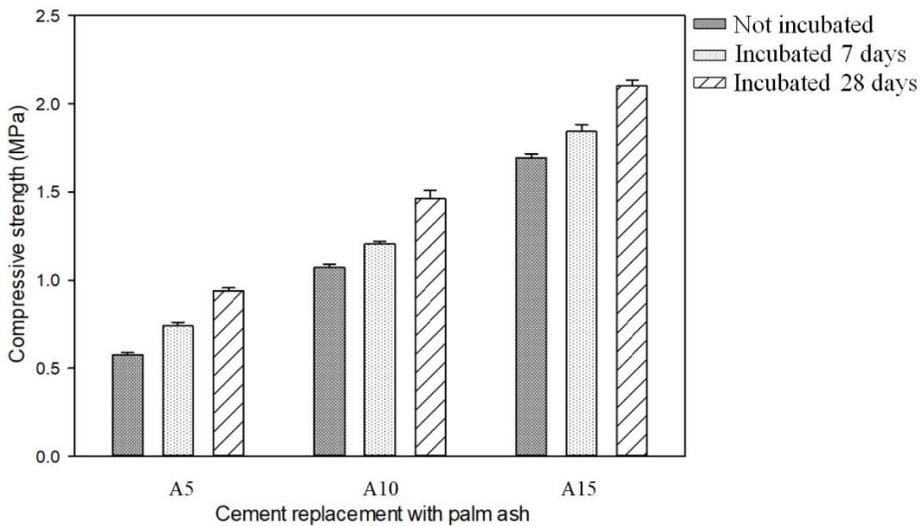


Figure 2 The compressive strength of palm bottom ash (MPa)

3.4 อิทธิพลของอายุการบ่ม

การทดสอบหาค่ากำลังแรงอัดโดยพิจารณาอายุการบ่ม (รูปที่ 2) เมื่อพิจารณาที่ทุกอายุการบ่มพบว่าอายุการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังแรงอัดและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ การเพิ่มขึ้นของกำลังแรงอัดตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันของอนุภาคซีเมนต์กับน้ำในก้อนตัวอย่าง ทำให้เกิดการยึดเกาะของเม็ดดินเข้าด้วยกันเป็นผลทำให้ก้อนมอร์ตาร์สามารถรับแรงอัดได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จะเห็นการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันประกอบด้วยซิลิกาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งเป็นผลทำให้อายุการบ่มเพิ่มขึ้น ก้อนมอร์ตาร์สามารถพัฒนากำลังแรงอัดเพิ่มขึ้น [18]

3.5 ราคาต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตขึ้นของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการผลิตซึ่งราคาวัสดุแต่ละชนิดต่อมอร์ตาร์ 1 ก้อน และราคาต้นทุนรวมมีรายละเอียดดังตารางที่ 3

Table 3 The cost of mortar

Cost data	Prices: Mortar 1 unit (Bath)		
	A5	A10	A15
Cement	2.95	3.50	4.20
Top soil	0.91	0.91	0.91
Bottom ash	-	-	-
Water	0.02	0.02	0.02
Total	3.88	4.43	5.13

4. การอภิปรายและสรุป

การวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปแนวทางในการพัฒนารูปแบบของวัสดุชีวมวลที่ใช้ในการผสมซีเมนต์ โดยวัสดุชีวมวลที่ใช้ คือ เถ้าหนังกาปาล์มน้ำมัน พบว่าอัตราส่วนของเถ้าหนังกาปาล์มน้ำมัน ค่าความหนาแน่น และระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังแรงอัดของมอร์ตาร์เมื่อใช้ซีเมนต์แทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนซีเมนต์แทนที่เถ้าหนังกาปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จะให้กำลังอัดสูงสุด (2.10 เมกกะปาสคาล) ส่วนระยะเวลาในการบ่มที่ 0 วัน และ 7 วัน จะมีกำลังแรงอัดลดลง (0.94 ± 0.02 และ $1.46 \pm$

0.05 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ) เห็นได้ว่าการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ในทุก ๆ อัตราส่วนผสม ซึ่งมอร์ตาร์ที่ไม่มีการบ่มจะมีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่มีการบ่มน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาของการบ่มน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้การพัฒนากำลังอัดดีขึ้น อีกทั้งกำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยซีเมนต์ ความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์แทนที่ถ้าหนักปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นเป็นตัวควบคุมกำลังอัด และตัวแปรหลักที่ควบคุมการพัฒนากำลังอัด คือ ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดจากซีเมนต์ โดยตัวอย่างซีเมนต์แทนที่ถ้าหนักจากปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 สามารถรับกำลังแรงอัดสูงสุด ที่มีระยะเวลาบ่ม 28 วัน โดยลักษณะของการรับแรงอัดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณถ้าหนักปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาความต้านกำลังแรงอัดของมอร์ตาร์ คือ ปริมาณไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เพราะเมื่อใช้ปริมาณถ้าหนักปาล์มที่มากเกินไปจะทำให้สมบัติดังกล่าวด้อยลง ทั้งนี้เกิดจากการแทนที่ถ้าหนักปาล์มน้ำมันในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดน้อยลง

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการผลิตพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้าหนักปาล์มน้ำมันทำให้ราคาต้นทุนการผลิตมอร์ตาร์สำหรับใช้ถมกลับในงานปิโตรเลียมถูกลง โดยอัตราส่วนที่ประหยัดและให้ค่าความต้านทานกำลังอัดที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์แทนที่ถ้าหนักร้อยละ 15 ซึ่งเป็นผลดีกับถ้าหนักปาล์มน้ำมันจากเดิมที่มีปริมาณมากยากต่อการจัดเก็บนั้น สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง โดยการนำมาแทนที่ซีเมนต์บางส่วนโดยที่ไม่ส่งผลเสียต่อความต้านทานกำลังอัดมอร์ตาร์ และยังสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุถมกลับซึ่งสามารถลดปริมาณซีเมนต์ลงได้ โดยการวิจัยนี้

สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้ในงานถมกลับหลุมเจาะได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลงานวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและเครื่องทดสอบ และคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

6. References

- [1] Niroj, N., 2014, Study on properties of leterite soil portland cement and slag mix as a pavement materials, Thai Sci. Technol. J. 4(1): 25-31. (in Thai)
- [2] Lohsomboon, P., Jirajariyavech, A., Silalert ruksa, W. and Preedaphatarapong, W., 2005, Database Preparation of Cycle Assessment in Cement and Steel Production for Environmental Management, The Thailand Research Fund (TRF), Bangkok.
- [3] Prachom, K., 2005, Properties of quarry dust for use as fine aggregate, Appl. Mech. Mater. 16(2): 1-5. (in Thai)
- [4] Mostafa, B., Fall, M. and Belem, T., 2004, A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill, Miner. Eng. 17: 141-152.
- [5] Mostafa, B., Fiset, J.F., Bussiere, B., Villeneuve, M. and Plante, B., 2006, Sludge recycling within cemented paste backfill: Study of the mechanical and

- leachability properties, Miner. Eng. 19: 420-432.
- [6] Piyang, T., Sagulsawasdiapan, K. and Sawain, A., 2018, A study of palm oil fuel ash in manufacturing in production footpaths concrete slabs, *Wichcha J.* 37(1): 81-94. (in Thai)
- [7] Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Pimraksa, K. and Chaipanich, A., 2012, Compressive strength, flexural strength and thermal conductivity of autoclaved concrete block made using bottom ash as cement replacement materials, *Mater Design* 35: 434-439.
- [8] Sinsiri, T., Kroehong, W., Jaturapitakkul, C. and Chindaprasirt, P., 2012, Assessing the effect of biomass ashes with different finenesses on the compressive strength of blended cement paste, *Mater Design* 42: 424-433.
- [9] Surin, M. and Teerawut, M., 2007, Influences of Palm Oil Fuel Ash from Upper Southern Part of Thailand on Properties of Mortar Portland Cement, Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 284 p.
- [10] Wanchok, K. and Apiwit, P., 2017, Mechanical properties, microstructure, thermal conductivity and drying shrinkage of cellular lightweight concrete containing bagasse ash, *J. Ind. Tech.* 13(2): 22-38. (in Thai)
- [11] Metwally, A., 2014, Compressive strength prediction of Portland cement concrete with age using a new model, *HBRC* 10: 145-155.
- [12] Malhotra, V.M. and Mehta, P.K., 1996, *Pozzolanic and Cementitious Materials*, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 189 p.
- [13] Hewlett, P., 1998, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 4th Ed., Edward Arnold, Ltd., New York City, NY., 845 p.
- [14] Naganathan, S., Razak, H. and Hamid S.N.A., 2012, Properties of controlled low-strength material made using industrial waste incineration bottom ash and quarry dust, *Mater. Des. Eng.* 33: 56-63.
- [15] Wu, W., Zhang, W. and Ma, G., 2010, Optimum content of copper slag as a fine aggregate in high strength concrete, *Mater. Des. Eng.* 31: 2878-2883.
- [16] Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C. and Sinsiri, T., 2007, Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cemented paste, *Constr. Build Mater.* 21: 1534-1541.
- [17] Samrej, S., 2013, Usage of Fly Ash for Manufacturing Interlocking Block, Master Thesis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 52 p.
- [18] Runglawan, R. and Suksun, H., 2003, Consolidation and permeability characteristics of cemented clays, *Appl. Mech. Mater.* 14(3): 25-31. (in Thai)