

การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในคอนกรีตกำลังสูง The use of Palm Oil Ash in High Strength Concrete

ขวัญชีวา หงษ์สตาร์^{*1} และชูเกียรติ ชูสกุล²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

²วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

*Email : arjanpla@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในงานคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete; HSC) โดยออกแบบคอนกรีตกำลังสูงให้มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 500 กก./ซม.² ที่ 28 วัน ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.33 และใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดลดน้ำพิเศษ (Concrete Admixture Type F หรือ Superplasticizer) ในสัดส่วนร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้สัดส่วนของเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 1, 7, 28 และ 90 วัน ผลการศึกษาพบว่าการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม และลดลงตามปริมาณของเถ้าปาล์มน้ำมัน ในส่วนของค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น ที่อายุคอนกรีต 1, 7 และ 28 วัน เมื่อปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดลดลง โดยค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วน แต่ที่อายุ 90 วัน คอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีการพัฒนา กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 605, 595 และ 623 กก./ซม.² คิดเป็นร้อยละ 98, 98 และ 105 ของคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามลำดับ

คำสำคัญ : คอนกรีตกำลังสูง เถ้าปาล์มน้ำมัน กำลังรับแรงอัด ปอซโซลาน

Abstract

This study aimed to study partial substitution of Portland cement type 1 with the oil palm ash (OPA) in High Strength Concrete (HSC). The assigned HSC in this experiment was set up at the compressive strength of 500 ksc at 28 days, the water binder ratio (W/B) of 0.33 and using a special dewatering concrete admixture the (Concrete Admixture Type F or Superplasticizer) at 2.5 % by weight of binder. The substitution rate of oil palm ash was 10%, 15% and 20% by weight of binder material and the compressive strength was tested at 1, 7, 14, 28 and 90 days. The results revealed that decreasing the concrete workability was found with increasing the ratio of oil palm ash when compared with Portland cement type 1 using as a control. The density and compressive strength of concrete at 1, 7, and 28 days were gradually decreased with increasing the ratio of oil palm ash. Lower compressive strength of concrete replaced by oil palm ash at the ratio 10%, 15% and 20% was lower than the control concrete. However, similar compressive strength at 90 days was found in all treatments in comparison with the control concrete. The compressive strength was 605, 595

and 623 kg/cm² or equal to 98%, 98% and 105% of control concrete using Portland cement type 1, respectively.

Keywords : High Strength Concrete; Oil Palm Ash; Compressive Strength; Pozzolanic

บทนำ

คอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete; HSC) ในอดีตไม่มีความจำเป็นมากนักเพราะโครงสร้างต่าง ๆ ยังมีขนาดช่วงสั้น รับน้ำหนักไม่มากนัก และมีวัสดุอื่นๆ ที่สามารถใช้ได้อย่างเพียงพอ เช่น เมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่หนึ่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยปกติจะอยู่ในช่วงประมาณ 200 กก./ซม.² ซึ่งขนาดของโครงสร้างจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เมื่อมีความจำเป็นจะต้องลดขนาดของโครงสร้างลงและเพื่อประหยัดคอนกรีตที่ผลิตขึ้นมากเริ่มพัฒนาให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นถึง 500 กก./ซม.²

ในปัจจุบันวิทยาการเทคโนโลยีคอนกรีตได้พัฒนาไปอย่างมาก มีการใช้สารเคมีในการลดปริมาณน้ำเพื่อให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำลง มีการใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อเพิ่มกำลังอัดประลัยและความทนทานของคอนกรีตให้สูงขึ้น ดังนั้นการทำคอนกรีตให้มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า 1,100 กก./ซม.² จึงทำได้ไม่ยากสมาคมคอนกรีตของอเมริกา (ACI) ได้กำหนดให้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า 410 กก./ซม.² เป็นคอนกรีตกำลังสูง [1]

คอนกรีตจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสมหลักซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนหรือราคาปูนซีเมนต์สูงขึ้น โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ คือ หินปูนมีปริมาณน้อยลงในอนาคต และในการผลิตปูนซีเมนต์ทำให้เกิดก๊าซที่มีผลต่อการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งพบว่าทุกการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันจะปล่อยก๊าซ CO₂ สูงขึ้นบรรยากาศประมาณ 845 กิโลกรัม [2] ในแต่ละปีประเทศไทยมีการใช้ปูนซีเมนต์เฉลี่ยประมาณ 464 กิโลกรัมต่อคน หรือประมาณ 30 ล้านตันต่อปี [3] ทำให้มีการปล่อยก๊าซ CO₂ เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยสูงถึง 25 ล้านตันต่อปี ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาการนำวัสดุอื่นมาทดแทนหรือนำมาใช้เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้น้อยลงโดยศึกษาการนำวัสดุอื่นๆ มาทดแทน เช่น การใช้

ของเหลือจากธรรมชาติมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อทำเป็นปูนซีเมนต์ผสม (Blended Cement) สารที่ใช้ในการทดแทนดังกล่าวเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials) ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุยึดประสานในตัวเอง แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) จะสามารถก่อตัวและแข็งตัวได้โดยวัสดุปอซโซลานที่นิยมใช้ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เถ้าภูเขาไฟ (Volcanic Ash) ตะกรันเหล็กบดละเอียด (Ground Granular Blast Furnace Slag) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) และเถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) เป็นต้น

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านี้ได้คือ พยายามใช้คอนกรีตให้มีประสิทธิภาพสูงสุดแต่ยังคงความปลอดภัยและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) อีกแนวทางหนึ่ง คือการใช้วัสดุติดที่มีกระบวนการได้มาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุปอซโซลาน อาทิเช่น เถ้าลอย เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย [4-7] มาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อช่วยลดต้นทุนและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น เพิ่มกำลังรับแรงอัดในช่วงอายุปลาย ลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ลดการย้มน้ำ และเพิ่มความสามารถในการเทได้ [8]

เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการเผาผลาญเส้นใยและทลายของปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 800 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากการเผาไหม้ปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงานปาล์มน้ำมันในการต้มผลปาล์มดิบเพื่อสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยมีเถ้าปาล์มน้ำมันที่ต้องนำไปทิ้งมากกว่าปีละ 100,000 ตันต่อปี [9] มีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและยากต่อการกำจัดทิ้ง ดังนั้นหากสามารถ

นำเอาปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ก็สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเจ้าปาล์มน้ำมันด้วย โรงงานปาล์มน้ำมันมีกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ชุมพร และกระบี่ ในจังหวัดกระบี่เองมีโรงงานปาล์มน้ำมันอยู่หลายโรง ดังนั้นในแต่ละวันจึงมีปริมาณเจ้าปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก

ผลการวิจัยที่ผ่านมา [10-11] พบว่าเจ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีหลักที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกอนออกไซด์ อลูมินาออกไซด์ และเพอริกออกไซด์ อยู่เป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยจากการศึกษาของ Hussin และ Awal [10] พบว่าที่อายุ 28 วัน คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเจ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด และมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดมากกว่าคอนกรีตควบคุมอยู่ร้อยละ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจ้าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน

จากการศึกษาของวีราชาติและคณะ [11] แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเจ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด ดัง Table 1 เจ้าปาล์มน้ำมัน มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 65.3 มี Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 2.5 และ 1.9 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเจ้าปาล์มน้ำมันพบว่ามีปริมาณเท่ากับร้อยละ 69.7 มีปริมาณ SO_3 เพียงร้อยละ 0.4 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) เท่ากับร้อยละ 10.0 ดังนั้นเมื่อพิจารณาตามองค์ประกอบทางเคมีของเจ้าปาล์มน้ำมันแล้วตามมาตรฐาน ASTM C618 [12] สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ได้

Table 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเจ้าปาล์มน้ำมัน [11]

Chemical Composition (%)	Portland Cement type 1	Palm Oil Ash
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.9	65.3
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	4.7	2.5
Iron Oxide (Fe_2O_3)	3.4	1.9
Calcium Oxide (CaO)	65.4	6.4
Magnesium Oxide (MgO)	1.2	3.0
Sodium Oxide (Na_2O)	0.2	0.3
Potassium Oxide (K_2O)	0.3	5.7
Sulfur Trioxide (SO_3)	2.7	0.4
Loss On Ignition (LOI)	0.9	10.0
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.9	65.3

จากการศึกษาของ ชัยและไกรวุฒิ [13] พบว่าเจ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดจนมีขนาดอนุภาคประมาณ 7.3 ไมโครเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 สามารถให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่ไม่ใส่เจ้าปาล์มน้ำมันที่อายุ 7 และ 60 วัน ตามลำดับ โดยการแทนที่ร้อยละ 30 ยังสามารถให้กำลังรับแรงอัดอัดได้ถึงร้อยละ 99 ที่อายุ 90 วัน และ Sata et al. [14] พบว่าเมื่อนำเจ้าปาล์มน้ำมันมาบดให้ละเอียดสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ การใช้เจ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดพบว่าสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตกำลังสูงได้ และยังทำให้ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง

คอนกรีตกำลังสูงมักมีส่วนผสมของวัสดุปอซโซลานอยู่ด้วย ซึ่งจะให้กำลังรับแรงอัดแก่คอนกรีตเพิ่มขึ้นแม้ว่าอายุของคอนกรีตมากกว่า 28 วัน ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจึงไม่ควรใช้กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน แต่ควรกำหนดที่อายุ 56 หรือ 90 วัน และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเพื่อดูแนวโน้มว่าเมื่อคอนกรีตมีอายุเพิ่มขึ้นเป็น 56 หรือ 90 วันจะมีกำลังรับแรงอัดสูงตามที่ต้องการ ดังนั้นการใช้วัสดุปอซโซลานในส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงจะทำให้ประหยัดและมีกำลังอัดประลัยตามอายุที่ต้องการ

งานวิจัยนี้จะศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดกระบี่ มาพัฒนาเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 บางส่วนในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พร้อมทั้งศึกษาข้อดีข้อเสียของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และยังสามารถช่วยรักษาธรรมชาติให้คงอยู่รอด ลดปริมาณการระเบิดหินลง และที่สำคัญเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material) ที่ใช้เป็นเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากการเผาเส้นใยของปาล์ม จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มของบริษัท สลาฟเอ็นเนอจี จำกัด ตำบลเขาหิน อำเภอลำทับ จังหวัดกระบี่ มาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 16 เพื่อแยกวัสดุปอซโซลานออก และนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น จากนั้นนำเถ้าปาล์มที่ได้มาบดด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส เพื่อลดขนาดของอนุภาค โดยมีค่าร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 (ช่องเปิดขนาด 45 ไมโครเมตร) ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุปอซโซลานที่มีความละเอียดสูงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี [15] และตามมาตรฐาน ASTM C618 [12] กำหนดว่าวัสดุปอซโซลานต้องมีร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก และมีดัชนีกำลังที่อายุ 7 หรือ 28 วัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 มวลรวมใช้หินขนาด ๓ นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) เท่ากับ 2.70 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.82 และมีหน่วยน้ำหนัก 1,577 กก./ม.³ ทรายมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.90 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.87 และค่าโมดูลัสความละเอียด (FM.) 3.15 ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม SIKAMENT FF มีคุณสมบัติเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C494 [16] Type F

2. ส่วนผสมคอนกรีต

การศึกษาครั้งนี้การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211.4R-08 [17] กำหนดกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน (f'_c) เท่ากับ

500 กก./ชม.² แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) คงที่เท่ากับ 0.33 สอดคล้องกับ [18] เติมน้ำพิเศษ ประเภท F ในอัตราส่วนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตควบคุมให้อยู่ในช่วง 5-10 ซม. ส่วนคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ควบคุมอัตราส่วนผสมเหมือนคอนกรีตควบคุม

Table 2 ส่วนผสมของคอนกรีต

mix	Mix Proportion (kg/m ³)					
	Cement	OPA	Sand	Stone	Water	Sp
CON	606	0	709	836	213	15
OPA ₁₀	545	61	709	836	213	15
OPA ₁₅	515	91	709	836	213	15
OPA ₂₀	485	121	709	836	213	15

หมายเหตุ

CON คอนกรีตควบคุม
 OPA₁₀ คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10
 Sp Superplasticizer (สารลดน้ำพิเศษ)
 OPA Oil Palm Ash (เถ้าปาล์มน้ำมัน)

3. การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีต

1) คุณสมบัติของคอนกรีตสด หาค่าความสามารถในการเทได้ ตามมาตรฐาน ASTM C143 [19]

2) คุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้ก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39 [20] ที่อายุการบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วัน

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน



ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าปาล์มน้ำมัน
ประเภทที่ 1 ก่อนบด บดแล้ว

Figure 1 ลักษณะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเถ้าปาล์มน้ำมันที่นำมาจากโรงงานโดยตรงและเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมีสีเทาอ่อน ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันที่นำมาจากโรงงานโดยตรงมีลักษณะค่อนข้างหยาบและมีบางส่วนที่ผ่านการเผาไหม้ไม่หมดปะปนอยู่ จึงจำเป็นต้องนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพื่อคัดแยกชิ้นส่วนเหล่านี้ออกไปสีของเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนนำไปทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการบดละเอียดด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส จะมีสีเทาปนดำ และบางส่วนมีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างหยาบ รูปร่างกลมขนาดไม่สม่ำเสมอ มีสีดำคล้ายถ่านหรือคาร์บอนปะปนอยู่ซึ่งน่าจะเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ไม่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด จะมีสีดำเพิ่มขึ้นเนื่องจากส่วนที่เป็นเม็ดสีดำคล้ายถ่านหรือคาร์บอนได้ถูกบดเข้ากับเถ้าปาล์มน้ำมันทำให้เถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ลักษณะอนุภาคมีขนาดเล็กลง โดยมีค่าร้อยละค่าบดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 4.88 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์สโตนคอลลิ่งกับงานวิจัยของ Homwuttivong

et al. [21] จากการทดสอบด้วยวิธี Wet Sieving Analysis ตามมาตรฐาน ASTM C430 [22] และมีความความถี่จำเพาะเท่ากับ 2.40 ซึ่งสอดคล้องกับ [21, 23-24]

2. ความหนาแน่นคอนกรีต

จากผลการทดสอบความหนาแน่นคอนกรีตดัง Table 3 พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วนและทุกอายุการบ่ม ความหนาแน่นคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของบุรีฉัตรและวินัย [25] ทั้งนี้เนื่องจากค่าความถี่จำเพาะของเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำให้เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้นทำให้คอนกรีตมีช่องว่างมากขึ้นและความหนาแน่นลดลง อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น

Table 3 ความหนาแน่นและร้อยละของคอนกรีต

mix	Density (kg/m ³) (Normalized) (%)			
	1-d	7-d	28-d	90-d
CON	2481 (100)	2473 (100)	2497 (100)	2491 (100)
OPA ₁₀	2477 (99)	2463 (99)	2486 (99)	2471 (99)
OPA ₁₅	2468 (99)	2452 (99)	2483 (99)	2465 (99)
OPA ₂₀	2445 (98)	2407 (97)	2453 (98)	2456 (98)

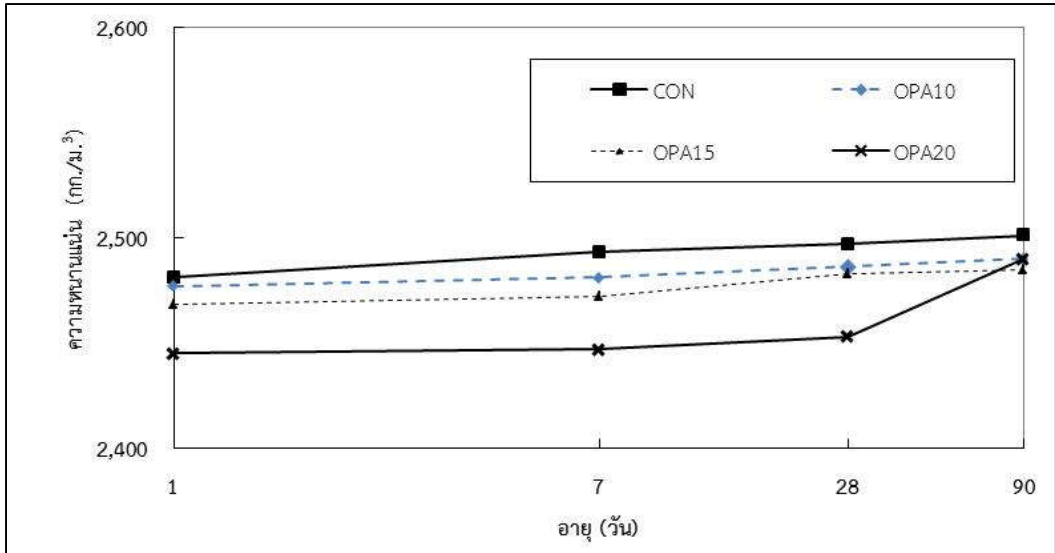


Figure 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอายุของคอนกรีต

3. กำลังรับแรงอัดคอนกรีต

จาก Table 4 พบว่าคอนกรีตควบคุม มีค่ายุบตัวสูงสุด ค่ายุบตัวมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเถ้าปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในการศึกษาที่ผ่านมามีพบว่าลักษณะของอนุภาคเถ้าปาล์มน้ำมันมีผิวขรุขระและมีรูพรุนบางส่วน น้ำส่วนหนึ่งในส่วนผสมคอนกรีตจะถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมัน ทำให้น้ำที่จะช่วยหล่อลื่นส่วนผสมมีน้อย และส่งผลให้ความสามารถในการเทได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Homwuttivong et al. [21]

Table 4 กำลังรับแรงอัดและร้อยละของคอนกรีต

mix	Compressive strength (kg/cm ²)				Slump (cm)
	(Normalized) (%)				
	1-d	7-d	28-d	90-d	
CON	419 (100)	516 (100)	590 (100)	615 (100)	10
OPA ₁₀	368 (88)	446 (86)	529 (90)	605 (98)	8
OPA ₁₅	331 (79)	392 (76)	509 (86)	595 (98)	7
OPA ₂₀	320 (76)	364 (71)	492 (83)	623 (105)	7

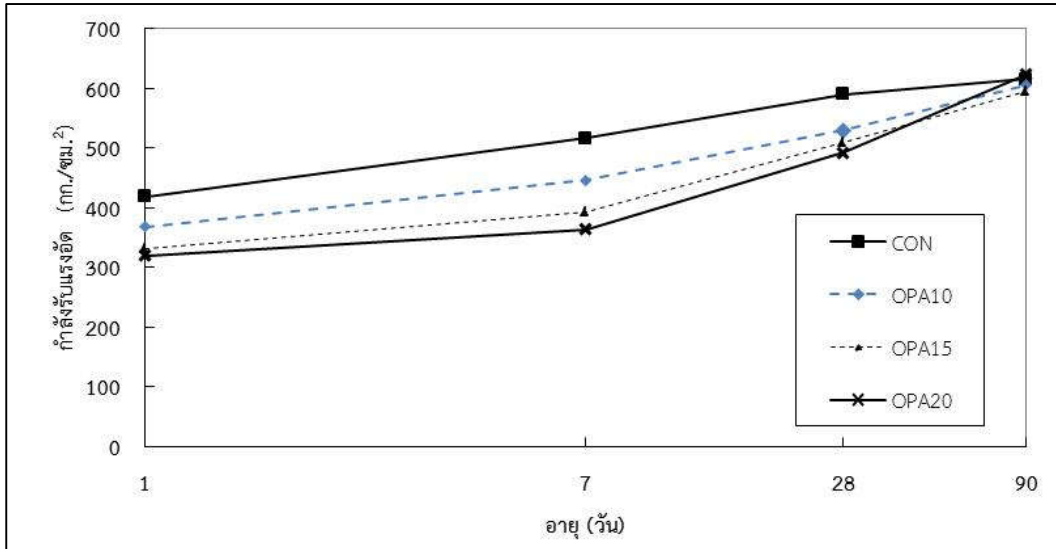


Figure 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของคอนกรีต

กำลังรับแรงอัดใน Table 4 และ Figure 3 พบว่าที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วน เมื่อพิจารณาที่อายุ 28 วัน คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 15 และ 20 มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 529, 509 และ 492 กก./ซม.² ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นคอนกรีตกำลังสูงในทุกอัตราส่วน และที่อายุ 90 วัน พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 605, 595 และ 623 กก./ซม.² คิดเป็นร้อยละ 98, 98 และ 105 ของคอนกรีตควบคุมตามลำดับ จากผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นได้ว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่อายุน้อยมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ แต่เมื่ออายุมากขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดจะพัฒนามากขึ้นจนใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ภายหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ในวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) จึงได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ทำให้คอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันโครงสร้างที่หนาแน่นมากขึ้น มีปริมาณรูพรุนลดลง ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดพัฒนาสูงขึ้นที่อายุมากขึ้น สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Muangstong et al. [26] และอาจเป็นเพราะผลของการอัดแน่นจากอนุภาคปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการกระจายตัวในวัสดุประสานทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความละเอียดสูง ทำให้คอนกรีตมีความเป็นเนื้อเดียวและแน่น

สรุปและเสนอแนะ

ผลการศึกษางานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในงานคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete; HSC) ได้ทุกอัตราส่วนของการศึกษาครั้งนี้คือร้อยละ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสาน ปริมาณการแทนที่ของเถ้าปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการเทได้ลดลง ความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง กล่าวคือกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกที่อายุ 1 และ 7 วัน จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ในระยะตั้งแต่อายุ 28 วันขึ้นไป การพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าปาล์มน้ำมันจึงไม่เหมาะกับการใช้งานคอนกรีตที่ต้องการกำลังรับแรงอัดระยะต้นสูง จากการศึกษาเถ้าปาล์มน้ำมัน

ในงานคอนกรีตกำลังสูงในครั้งนี้สรุปได้ว่า อัตราส่วน การแทนที่ของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ต่ำที่สุดคือร้อยละ 20 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 และ 90 วันเท่ากับ 492 และ 623 กก./ซม.² คิดเป็นร้อยละ 83 และ 105 ของคอนกรีตควบคุมตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณ แผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2555 และขอขอบคุณสาขา วิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ อนุเคราะห์ให้ใช้อุปกรณ์และห้องทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Concrete Institute. 1997. ACI 363 R-92: State-of-the-Art Report on High-Strength concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Detroit, MI, 55 p.
- [2] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2553. The Study Carbon Intensity Value of Cement Industry, Steel Industry, and Power Industry. http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/seminar/presentation/2010/221110SummaryJGSEE.pdf, 1 ธันวาคม 2558.
- [3] สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย. 2015. Thailand Cement Manufacturing Association. <http://www.thaicma.or.th/cms>. 1 ธันวาคม 2558.
- [4] ชีรติ ศรีจันทร์ และบุรฉัตร ฉัตรวีระ. 2554. “การศึกษาผลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ชนิดและวัสดุประสานร่วมต่างกัน”. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 34(4): 383-394.
- [5] รัฐพล สมณา และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2554. “การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า”. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 34(4): 369-381.

- [6] ภคพล ช่างยันต์ และเรืองรุชดี ชีระโรจน์. 2551. “ผลกระทบต่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด”. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13 ณ โรงแรม จอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา ชลบุรี 14-16 พฤษภาคม 2551. หน้า 139-144.
- [7] W. Tangchirapat, T. Saceting, C. Jaturapitakul, K. Kiattikomol and A. Siripanichgron. 2007. “Use of waste ash from palm oil industry in concrete”, Waste Management, 27: 81-88.
- [8] ปริญญา จินดาประเสริฐและชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2552. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต. กรุงเทพฯ:สมาคมคอนกรีตไทย.
- [9] สำนักงานสถิติการเกษตรแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. <http://www.moac.go.th>. 2 ตุลาคม 2555.
- [10] Hussin, M.W. and Awal, A.S.M.A. 1996. Palm Oil Fuel Ash-A Potential Pozzolanic Material in Concrete Construction. In Proceeding of the International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21 Century, 20-23 November. Bangkok, Thailand.
- [11] วีระชาติ ตั้งจิรภัทร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและไกรวุฒิ เกียรติโกลม. 2547. “การศึกษา กำลังอัดและการขยายตัวของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน”. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 15(3): 1-8.
- [12] American Society for Testing and Materials. 1989. ASTM C618-89 Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolana for use as a mineral admixture in portland cement concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia.
- [13] ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและไกรวุฒิ เกียรติโกลม. 2547. “การพัฒนาเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุ ปอซโซลานในงานคอนกรีต”. การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 2 จังหวัด เชียงใหม่ 2 ตุลาคม 2547 หน้า 17-22.

- [14] Sata, V., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K. 2004. "Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High-Strength Concrete". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6): 623-628.
- [15] Sata, V., Jaturapitakkul, C. and Kiattikomol, K. 2007. "Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete". *Construction and Building Materials*, 21(7): 1534-1541.
- [16] American Society for Testing and Materials. 2001. ASTM C494/C494M-99a : Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia.
- [17] American Concrete Institute. 2008. ACI 211.4R-08 : Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan.
- [18] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2014. คอนกรีตกำลังสูง : วัสดุที่ใช้และปัจจัยที่ควรพิจารณา. วารสารคอนกรีต ฉบับที่ 22 ประจำเดือนสิงหาคม 2014. http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=161:2014-11-22-04-03-30&catid=65:-22-2014&Itemid=55. 2 กุมภาพันธ์ 2558.
- [19] American Society for Testing and Materials. 2001. ASTM C143-90a : Standard Testing Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia.
- [20] American Society for Testing and Materials. 2001. ASTM C 39/ C39M-01, Standard Testing Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia.
- [21] Homwuttiwong, S., Chindaprasirt, P. and Jaturapitakkul, C. 2012. "Permeability and abrasion resistance of concrete containing high volume fine fly ash and palm oil fuel ash". *Computer and Concrete*, 10(4): 349-360.
- [22] American Society for Testing and Materials. 2001. ASTM C430-00 Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45 µm (No. 325) Sieve, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01, Philadelphia.
- [23] Kroehong, W., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C. and Chindaprasirt, P. 2011. "Effect of Palm Oil Fuel Ash Finess on the Microstructure of Blended Cement Paste". *Construction and Building Materials*, 25(11): 4095-4104.
- [24] Kakhunhot, N., Homwuttiwong, S. and Ongwandee, M. 2012. "Investigation of Abrasion of Concrete Containing Pozzolan". *KKU Engineering Journal*. 39(1): 23-34.
- [25] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวินัย หอมศรีประเสริฐ. 2554. "การศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดและความทนทานของซีเมนต์เฟสผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอย". *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 34(4): 279-298.
- [26] Muangtong, P., Sujjavanich, S., Boonsalee, S., Poomiapiadee, S. and Chaysuwan, D. 2013. "Effect of Fine Bagasse Ash on Workability and Compressive Strength of Mortars". *Chiang Mai J. Sci*, 40(1): 126-134.