

<http://journal.rmutp.ac.th/>

ผลของน้ำมันเครื่องใช้แล้วต่อสมบัติของมอร์ตาร์หินผสมผสมเถ้าไม้อย่างพารา

ดนุพล ตันนโยภาส* และ มาลัยวัลย์ ฅนอมศิริศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวนิช ตำบลคลองส้ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

รับบทความ 28 มิถุนายน 2560; ตอรับบทความ 22 พฤศจิกายน 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติมอร์ตาร์มวลรวมผสมหินผสมเถ้าไม้อย่างพาราในอัตราส่วนที่ต่างกันร้อยละ 0, 20 และ 40 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ผสมน้ำมันเครื่องใช้แล้วในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.2 และ 0.3 ของปริมาณน้ำ ตัวอย่างทดสอบทุกสูตรหล่อเป็นทรงลูกบาศก์ให้มีขนาด 5x5x5 เซนติเมตร บ่มในอากาศเป็นเวลา 7 และ 28 วัน การทดสอบประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็งแบบชอร์ และกำลังอัด และวิเคราะห์ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอายุบ่มช่วยพัฒนาสมบัติของตัวอย่าง เช่น ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็ง และกำลังอัด ตัวอย่างสูตรผสมเถ้าไม้อย่างพาราร้อยละ 20 และน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.2 บ่ม 28 วัน ให้ค่าความหนาแน่น 1.61 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และกำลังอัดสูงสุด 22.09 เมกะปาสคาล

คำสำคัญ: มอร์ตาร์มวลเบา; หินผสม; เถ้าไม้อย่างพารา; น้ำมันเครื่องใช้แล้ว

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Effects of Used Engine Oil on Properties of Mortar Containing Pumice Blended Para Rubber Wood Ash

Danupon Tonnayopas* and Malaiwan Thanomsirisilp

Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
15 Kanjanavanich Road, Kho Hong, Hat Yai, Songkhla, 90112

Received 28 June 2017 ; Accepted 22 November 2017

Abstract

Properties of pumice aggregate mortar blended with para rubber wood fly ash (PRWFA) replaced type 1 ordinary Portland cement (OPC) in different proportions of 0, 20 and 40 wt.% OPC and dosed with used engine oil (UEO) in proportions of 0, 0.2 and 0.3 wt.% water were investigated. Whole mix type specimens size was cast in 5'5'5 cm and curing in ambient temperature for 7 and 28 days. Testing series of physico-mechanical properties performed on bulk density, water absorption, electrical resistivity, Shore hardness, and compressive strength were determined. Moreover, microstructure via scanning electron microscope was analyzed. Effect of curing ages enhanced properties of samples such as electrical resistivity, Shore hardness, and compressive strength. Particularly, the 28-day specimen that contained 20wt.% PRWFA and 0.2wt.% UEO, provided bulk density of 1.61 g/cm³ and highest compressive strength of 22.09 MPa.

Keywords: Lightweight mortar; Pumice; Para rubber wood ash; Used engine oil

1. บทนำ

การใช้ น้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันเครื่องทั้งที่ใช้ในยานพาหนะ อุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่น ๆ ทำให้เกิดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเหลือทิ้งเป็นปริมาณมาก ประมาณการณ์ว่าราวร้อยละ 55 น้ำมันหล่อลื่นทั่วโลกได้ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ขณะที่เก็บกักในเขตเทศบาล ร้อยละ 45 [1] น้ำมันเครื่องประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารผสมเพิ่มคุณภาพ เมื่อใช้งานแล้วสมบัติของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นจะเปลี่ยนไป น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพเหล่านี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน สารตัวทำลาย โลหะหนัก อาทิเช่น ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี โครเมียม แมกนีเซียม สารหนู คลอไรด์ โพลีคลอรีเนต (Polychlorinated) ไบฟีนีล (Biphenyls) แคลเดียม เป็นต้น [2] การถ่ายเททิ้งและกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีจะเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน รวมทั้งสรรพสิ่งมีชีวิต จึงมีการรณรงค์การนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ในประเทศไทยคาดว่าน้ำมันเครื่องใช้แล้วมีปริมาณกว่า 230 ล้านลิตรต่อปี [3]

อิฐมวลเบาทดแทนอิฐอมูหรืออิฐบล็อกใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ยังส่งผลให้เกิดความประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากอิฐชนิดอื่น ๆ สามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า [2] จึงทำให้อุตสาหกรรมผลิตอิฐมวลเบาปัจจุบันมีการขยายไปทั่วโลก [4]

Mindess et al. [5] พบศักยภาพของน้ำมันเครื่องใช้แล้วทำเป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีต จากน้ำมันร่วงลงไปในชั้นตอนบดละเอียด ส่งผลให้คอนกรีตมีความคงทนต่อสภาพการเย็นตัวและละลาย (Freezing and Thawing) หมายถึงการเติมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วในส่วนผสมคอนกรีตคล้ายกับการเติมสารผสมเคมีกักกระจายฟองอากาศ ได้เสริมสมบัติความคงทนบางประการของคอนกรีต ขณะเดียวกันช่วยเป็นอีกเทคนิคหนึ่งในกำจัดของเสียน้ำมัน ผลของน้ำมันใช้แล้วมีต่อ

สมบัติของคอนกรีตสดและแข็งตัว [6] และโครงสร้างยังให้ผลในแง่บวกเมื่อเทียบกับสารกักกระจายฟองอากาศทางการค้า [7] การเติมน้ำมันเครื่องใหม่และใช้แล้วปริมาณร้อยละ 0.75 มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.48 บ่มที่อุณหภูมิห้อง 7 28 และ 56 วัน กำลังอัดแต่ละอายุบ่มต่างกันเล็กน้อย และพัฒนาตามอายุบ่ม [8] ส่วนผสมใส่น้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.075, 0.15 และ 0.30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ พบว่าได้ผลทำนองเดียวสารเคมีปรับสภาพการไหลและการยุบตัวเกือบสองเท่าของส่วนผสมคานคอนกรีต [9] และแม้ส่วนผสมคานที่เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.15 ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบอย่างละร้อยละ 20 ให้ค่าแรงกดประลัย 69-104 กิโลนิวตัน ตัวอย่างผสมเถ้าแกลบให้ค่าสูงกว่าควบคุม ไม่มีผลเสียต่อกระบวนการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใส่ซิลิกาฟุม (Silica Fume) ให้กำลังอัด 28 วัน ถึง 76 เมกะปาสคาล เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 4 [10] Hussein [11] กล่าวว่าคอนกรีตเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วทำให้ความสามารถในการเทได้ดีขึ้น แต่ลดกำลังอัดเล็กน้อย คอนกรีตผสมเถ้าลอยร้อยละ 40 และ 50 มีแนวโน้มเดียวกัน ค่ายุบตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 ถึง 38 และมีปริมาณโพรงอากาศร้อยละ 26 ถึง 58 [12] Assaad [13] สรุปว่าปริมาณน้ำมันเครื่องใช้เหมาะสมที่สุดคือ ร้อยละ 0.3 ของมวลปูนซีเมนต์ อันไม่ส่งผลเสียต่อการยุบตัวเริ่มแรก เวลาก่อตัว และกำลังอัด พบอีกว่าน้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นสารผสมเพิ่มให้ความทนทานแก่คอนกรีต เพิ่มความสามารถในการเทได้ ปริมาณโพรงอากาศและกำลัง ซึ่งค่าการยุบตัว 3.9 เท่าของส่วนผสมคอนกรีตควบคุม แม้ว่ากำลังลดลงร้อยละ 10 ก็ยังจัดว่ามีศักยภาพเป็นสารลดน้ำเพิ่มกำลังได้ ความพรุนลดลง [14] หากเติมน้ำมันเครื่องร้อยละ 0.5 ช่วยลดการแทรกซึมคลอไรด์ร้อยละ 3 ทนไฟได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ใน 24 ชม. กำลังลดลงร้อยละ 11 ไม่ก่อสภาพลุกไหม้ได้ [15] ทำนองเดียวกับคอนกรีตลูกรังแทนทรายให้การแข็งตัวช้าลง การกักกระจายฟองอากาศดีขึ้น ความสามารถในการเทได้ [16] คอนกรีต

แช่น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าคอนกรีตชนิดกำลังต่ำและกำลังสูงลดลงร้อยละ 17 และ 11.8 ตามลำดับ [17]

จากงานวิจัยที่กล่าวมา พบว่าการนำน้ำมันใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมคอนกรีตเป็นเรื่องน่าสนใจ จึงมีความคิดที่จะศึกษาเกณฑ์ส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาใส่หินพัมมิช (Pumice) ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟที่มีรูพรุนมาก มีน้ำหนักเบา ผิวขรุขระ [18] จึงเกาะกระชับเมื่อผสมรวมกับกรวดและทราย รูพรุนปิดและเปิดในเนื้อหินพัมมิชทำให้สามารถลอยน้ำได้ดี เหมาะสมที่ใช้เป็นคอนกรีตมวลเบา [19]-[23] นอกจากนี้เถ้าเถ้าขี้เถ้าปาราอันเป็นของเสียจากการใช้เถ้าเถ้าขี้เถ้าปาราเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมถลุงมีเอียง อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง โรงไฟฟ้าพลังเชื้อเพลิงชีวภาพ มีปริมาณมาก [24]-[25] จึงมีความคิดนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ด้วย ในการนำมาแทนปูนซีเมนต์บางส่วน เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก (CaO) ที่คล้ายกัน [19], [21]-[22] เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วในน้ำใช้หล่อ ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งช่วยลดสถานการณ์มลพิษได้และอาจได้สารผสมเพิ่มสีเขียว (Green Admixture) อีกชนิดหนึ่ง

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้

ประกอบด้วย น้ำมันเครื่องใช้แล้ว (Used Engine Oil, UEO) จากสถานบริการซ่อมรถจักรยานยนต์ในอำเภอหาดใหญ่ มวลรวมพัมมิช (Pumice Aggregate, PA) สีขาวเทาขนาด ซ็อกจากร้านค้าในหาดใหญ่ที่นำเข้ามาจากอินโดนีเซีย และเถ้าลอยเถ้าเถ้าขี้เถ้าปารา (Para Rubber Wood Fly Ash, PRWFA) ย่อยกะทัดรัดเป็น PF) ดังในรูปที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)



รูปที่ 1 มวลรวมหินพัมมิชด้านซ้ายและเถ้าเถ้าขี้เถ้าปาราด้านขวา

2.2 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของวัสดุประสาน

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) ของเถ้าเถ้าขี้เถ้าปารา ซึ่งมีแคลเซียมออกไซด์สูงเช่นเดียวกับ OPC แต่มีค่า LOI สูงมาก ทำนองเดียวกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา [21] และ [25] อันอาจส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันและน้ำมันเครื่องใช้แล้ว และมวลรวมพัมมิชมีซิลิกาออกไซด์สูง ดังได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้

องค์ประกอบ	ปริมาณ (wt.%)		
	OPC	PF	PA
CaO	64.89	52.33	1.46
SiO ₂	20.67	3.86	71.91
Al ₂ O ₃	6.21	1.92	12.66
Fe ₂ O ₃	3.06	1.32	1.13
MgO	0.82	0.92	0.32
MnO	-	0.63	-
SO ₃	2.71	-	-
K ₂ O	0.53	0.08	4.30
LOI	1.05	38.74	-

2.3 ขั้นตอนการวิจัย

2.3.1 อัตราส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

ส่วนผสมมอร์ตาร์ใส่มวลรวมหินพัมมิชปริมาณ 105 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร หล่อด้วยเทคนิคเทียบเท่าคอนกรีต [26] 9 สูตร ใ้ถ้าไม่ย่างพารา (PF) ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก OPC [22]-[25] อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 คงที่ทุกตัวอย่าง ศึกษา พัมมิช (PA) แซ่่น้ำประปา 6 ชั่วโมง ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 59.21 เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้ว (UEO) ร้อยละ 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักน้ำหล่อตัวอย่าง ดังในตารางที่ 2 ซึ่งผลค่อนข้างดีแก่ตัวอย่าง [2], [6], [12], [14]

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ทดลองครั้งนี้

รหัสตัวอย่าง	OPC	PF	UEO (%)
	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	(%)	
PA	405	0	0.00
UEO0.2	405	0	0.20
UEO0.3	405	0	0.30
PF20	324	81	0.00
PF20UEO0.2	324	81	0.20
PF20UEO0.3	324	81	0.30
PRWFA40	243	162	0.00
PF40UEO0.2	243	162	0.20
PF40UEO0.3	243	162	0.30

หล่อตัวอย่างในรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร มีทั้งไม่บ่มและบ่มในบรรยากาศห้อง มีอุณหภูมิ 25±3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±10 เป็นเวลา 7 และ 28 วัน ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างมอร์ตาร์ทดสอบบางส่วน

2.3.3 วิธีการทดสอบ

ตัวอย่างมอร์ตาร์แข็งตัว 81 ก่อน การทดสอบ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็งแบบชอร์ (Shore Hardness) กำลังอัด และโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ความหนาแน่นตามวิธี ASTM C 138/C 138M – 01a [27] กำลังอัดทดสอบตาม BS 1881: part 116 [28] ใช้เครื่องกดมีกำลังอัดสูงสุด 1500 ตัน ความแข็งแบบชอร์วัดด้วยเครื่อง Equotip 2 Portable Digital Hardness Tester อ่านค่า 4 จุด และเฉลี่ยค่า ตรวจสอบความเป็นฉนวนด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าชนิด Insulation-Continuity Tester รุ่น 3007A คำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะดังสมการข้างล่าง

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{1}$$

โดยที่

ρ = ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ หน่วย เมกกะโอห์ม-เซนติเมตร (M Ω -cm)

R = ความต้านทานไฟฟ้า หน่วย เมกกะโอห์ม (M Ω)

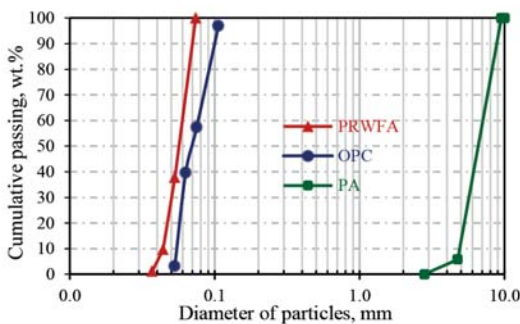
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง หน่วย ตารางเซนติเมตร

L = ความยาวของตัวอย่าง หน่วย เซนติเมตร

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การกระจายขนาดของวัสดุ

ถ้าไม่แยงพารามีการกระจายขนาดอยู่ในช่วง 0.03-0.07 มิลลิเมตร ค่าโมดูลัสความละเอียดของถ้าไม่แยงพารา (Fineness of Modulus, F.M.) = 1.94 ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.05-0.10 มิลลิเมตร มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.27 และหินพัมมิชกระจายตัวอยู่ในช่วง 2.80-4.75 มิลลิเมตร และมีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.99 (รูปที่ 3)

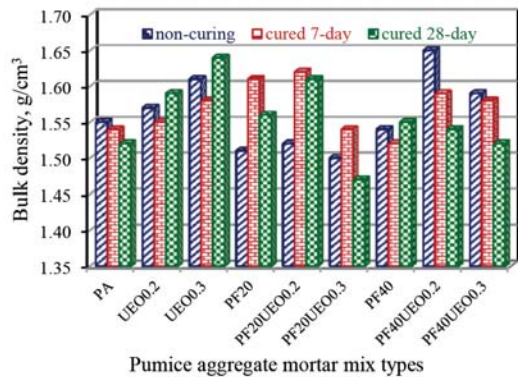


รูปที่ 3 การกระจายขนาดของวัสดุ

3.2 ผลที่มีต่อความหนาแน่น

ในเหล่าตัวอย่างที่ไม่บ่มสูตร PF20UEO0.3 มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ 1.50 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ PF40UEO0.2 มีค่า 1.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 4) ตัวอย่างอายุบ่ม 7 วัน มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือสูตร PF40 มีค่า 1.52 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ PF20UEO0.2 มีค่า 1.62 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างอายุบ่ม 28 วัน ที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ ตัวอย่าง PF20UEO0.3 มีค่า 1.47 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นมากที่สุดของตัวอย่าง UEO0.3 มีค่า 1.64 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความชื้นได้ระเหยออกไปจากตัวอย่างในช่วงระยะเวลาบ่มต่าง ๆ จึงทำให้ค่าความหนา

แน่นตัวอย่าง PF20UEO0.3 ที่บ่ม 28 วัน มีค่าน้อยที่สุดคือ 1.47 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และตัวอย่าง PF40UEO0.2 ที่ไม่บ่มมีค่ามากที่สุดคือ 1.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นสิ่งที่แตกต่างจากมอร์ต้ารวมรวมน้ำหนักปกติ



รูปที่ 4 ความหนาแน่นของมอร์ต้าพัมมิช

3.3 ผลที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

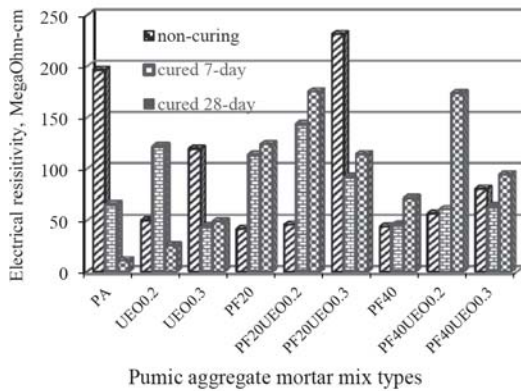
ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของตัวอย่าง PF20 ที่ไม่บ่มมีค่าน้อยที่สุดคือ 41.82 เมกกะโหลม-เซนติเมตร และค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมากที่สุดคือ PA มีค่า 196.48 เมกกะโหลม-เซนติเมตร (รูปที่ 5) ตัวอย่างอายุบ่ม 7 วัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะน้อยที่สุดของสูตร PA คือ 43.50 เมกกะโหลม-เซนติเมตร และค่ามากที่สุดเป็นของสูตร PF20UEO0.2 มีค่า 143.36 เมกกะโหลม-เซนติเมตร ตัวอย่างอายุบ่ม 28 วัน ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะน้อยที่สุดคือสูตร PA มีค่า 10.92 เมกกะโหลม-เซนติเมตร และค่ามากที่สุดคือ UEO0.3 มีค่า 491.16 เมกกะโหลม-เซนติเมตร

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของตัวอย่างทั้งหมดพบว่า ตัวอย่างเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วมีค่าความต้านทานสูงขึ้น และผสมถ้าไม่แยงพาราร้อยละ 20 เหมาะสมที่สุดทำให้ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมากขึ้น ขณะที่อายุบ่มนั้นก็มียุทธพลอย่างมากต่อค่าความต้านทานไฟฟ้ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการความชื้นใน

ตัวอย่างส่วนมากทั้งในรูปส่วนผสมและในโพรงหินพัมมิซได้ระเหยออกไป จึงทำให้เนื้อมอร์ตาร์แห้งมีสภาพหนาแน่นมากขึ้น สอดคล้องกับค่าความหนาแน่น (รูปที่ 4)

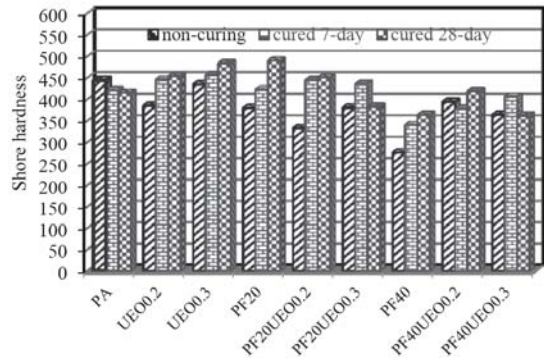
3.4 ผลที่มีต่อความแข็งแบบชอร์

ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการบ่มมีค่าความแข็งน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างสูตร PF40 มีค่า 275.67 และค่าความแข็งมากที่สุดคือ ตัวอย่าง PA มีค่า 444.33 (รูปที่ 6) ในกรณี



รูปที่ 5 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของมอร์ตาร์พัมมิซ

ตัวอย่างอายุบ่ม 7 วัน ค่าความแข็งแบบชอร์น้อยที่สุดคือตัวอย่าง PF40 มีค่า 340 และค่าความแข็งมากที่สุดคือ UEO0.3 มีค่า 456.33 สำหรับบรรดาตัวอย่างอายุบ่ม 28 วัน ที่มีค่าความแข็งน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างสูตร PF40UEO0.3 มีค่า 362.33 และค่าความแข็งมากที่สุดคือตัวอย่างสูตร PF20 มีค่า 490 จากผลทดลองครั้งนี้อายุบ่ม 28 วัน พบว่าการผสมเถ้าไม้ยางพาราไม่เกินร้อยละ 20 พัฒนาให้ตัวอย่าง (PF20) มีความแข็งกว่าตัวอย่างควบคุม (PA) มากสุดไม่เกินร้อยละ 18 และการเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วเกินร้อยละ 0.20 และเถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 40 ทำให้ค่าความแข็งของตัวอย่าง



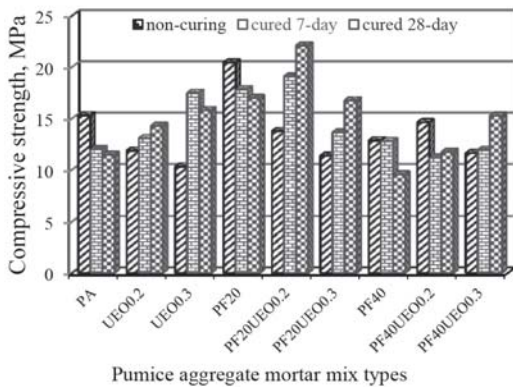
Pumice aggregate mortar mix types

รูปที่ 6 ความแข็งแบบชอร์ของตัวอย่างมอร์ตาร์พัมมิซ

(สูตร PF40 และ PF40UEO0.3) ลดลงมากที่สุดไม่เกินร้อยละ 13 แสดงถึงว่าทั้งเติมและผสมสองชนิดต่างก็มีส่วนรวมช่วยในการพัฒนาตัวอย่างมีความแข็งเพิ่มขึ้น

3.5 ผลที่มีต่อกำลังอัด

ค่ากำลังอัดของตัวอย่างไม่บ่มน้อยที่สุดของตัวอย่าง PF40 มีค่า 9.52 เมกกะปาสคาล และค่ากำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างสูตร PF20 มีค่า 16.98 เมกกะปาสคาล สำหรับตัวอย่างบ่ม 7 วัน ให้ค่ากำลังอัดน้อยที่สุดคือ ตัวอย่าง PF40UEO0.2 มีค่า 11.16 เมกกะปาสคาล และให้กำลังอัดมากที่สุดคือ ตัวอย่างสูตร PF20UEO0.2 มีค่า 19.08 เมกกะปาสคาล ในขณะที่ตัวอย่างอายุบ่ม 28 วัน ที่กำลังอัดน้อยที่สุดคือ PF40 มีค่า 12.84 เมกกะปาสคาล และค่ามากที่สุดคือ ตัวอย่าง PF20UEO0.2 มีค่าถึง 22.09 เมกกะปาสคาล (รูปที่ 7) ในเกณฑ์คอนกรีตมวลเบาต้านโครงสร้าง ไม่ต่ำกว่า 20 เมกกะปาสคาล [29] สอดคล้องกับค่าความแข็ง ดังนั้นน้ำมันเครื่องใช้แล้วกระทำตัวเสมือนสารหล่อลื่นให้พัฒนากำลังอัดขึ้นมาได้ สอดคล้องกับผลงาน Beddu et al. [2] และ Hussien [6] ทดสอบคอนกรีตบ่ม 90 วัน จึงได้ค่าเท่ากับงานนี้



รูปที่ 7 กำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์พัมมิช

นอกจากนี้ค่ากำลังอัดมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงแบบซอร์ของตัวอย่างทดสอบมีทั้งที่สอดคล้อง (PA, UEO0.2, PF20UEO0.2) และไม่สอดคล้องกัน (UEO0.3, PF20, PF20UEO0.3, PF40, PF40UEO0.3) ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องจากปริมาณเถ้าเถ้าเถ้า (PF40) และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว (UEO0.3) มากเกินไป สันนิษฐานว่าอาจรบกวนหรือกีดกันปฏิกิริยาไฮเดรชันหรือวิฏภาคแร่หรือพัฒนาโครงสร้างภายในเนื้อตัวอย่าง ภายหลังจากบ่มนาน 28 วัน มีการระเหยน้ำและอากาศเข้าไปแทรกในโพรง

3.6 โครงสร้างจุลภาค

จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างผสมเถ้าเถ้าเถ้า (PF40) ร้อยละ 20 เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.20 ที่อายุบ่ม 28 วัน ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เปรียบเทียบพบว่าตัวอย่างควบคุม (รูปที่ 8 ก) มีรูปลูกแลเคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaOH, C) รูปร่างคล้ายแท่งปะการังขนาดเล็กกว่าและพอร์ตแลนด์ (P) เกาะเป็นกลุ่มก้อน รูปร่าง (V) ส่วนตัวอย่างที่ผสมเถ้า

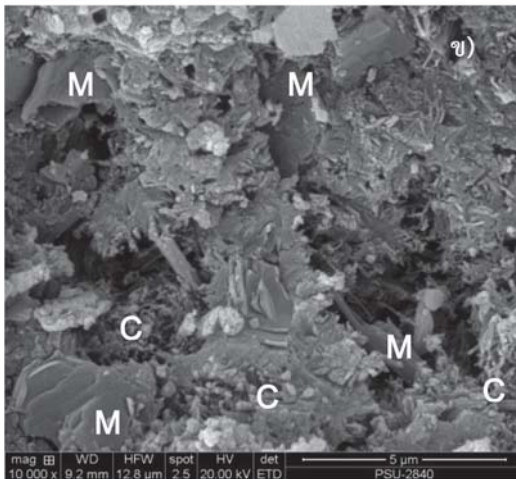
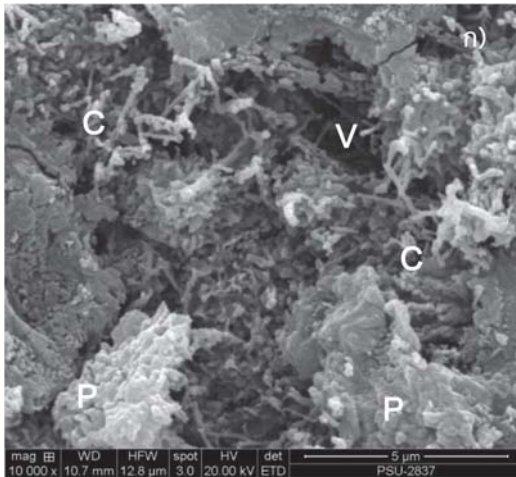
เถ้าเถ้าเถ้า (รูปที่ 8 ข) มีรูปร่างปรากฏวิฏภาคโมโนซัลเฟต (Monosulphate, M) รูปทรงแบนแบนเหลี่ยมผิวเรียบแทรกสลับและปนกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการเติมเถ้าเถ้าเถ้าและน้ำมันเครื่องใช้แล้วรบกวน ทำให้การเคลื่อนไหวของปฏิกิริยาไฮเดรชันเร่งเกิดมากขึ้น [30] ขณะที่วิฏภาคแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ตรวจไม่พบ อาจเนื่องจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วรบกวนหรือกีดกันกลไกของปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังเช่นที่ Hussein [11] ได้ให้ข้อสังเกตไว้ก่อนหน้านี้เช่นกัน

4. สรุป

การเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้ทำให้มอร์ตาร์พัมมิชผสมเถ้าเถ้าเถ้าร้อยละ 20 และเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.2 ให้ค่าความหนาแน่น ความแข็งแรงแบบซอร์ และกำลังอัดสอดคล้องกันดีที่สุด ในขณะที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะได้สูงขึ้นตามอายุบ่ม และการผสมเถ้าเถ้าเถ้าไม่เกินร้อยละ 20 หรือเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วเพียงอย่างเดียว ก็มีผลให้ค่าความหนาแน่นและกำลังอัดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนอายุบ่มนั้นมื่ออิทธิพลน้อย น้ำมันเครื่องใช้แล้วเติมน้อย 0.2 ทำให้เกิดการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม ยังช่วยให้เกิดความหล่อลื่นแก้ววัสดุประสานระหว่างปูนซีเมนต์และเถ้าเถ้าเถ้าในตัวอย่างหรือความสามารถในการเทได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทโครงการนักศึกษา ประจำปี 2558 จากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



รูปที่ 8 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของโครงสร้างในเนื้อมอร์ตาร์ผสมซีเมนต์ ก) ควบคุม และ ข) ผสมเถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 20 เติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วร้อยละ 0.2 (PF20UE00.2)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. El-Fadel and R. Khoury, "Strategies for vehicles waste-oil management; a case study," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 33. no. 2, pp. 75-91, Sept. 2001.
- [2] S. Beddu, M. F. Nuruddin, and N. Shafiq, "Effect of used engine oil as chemical admixtures on the properties of high strength concrete," *ICCBT 2008 – A*, vol. 16, pp. 185-190, 2008.
- [3] Pollution Control Department, "Hazardous waste is near than think," Office of Waste and Hazardous Substances Management. [Online]. Available http://www.pcd.go.th/Info_serv/haz_lubri.html. Accessed on May 5, 2016
- [4] *Foam concrete*, Thailand Industrial Standards Institute TIS. 2601, 2013.
- [5] S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin, *Concrete*, 2nd ed. Prentice Hall, Pearson Education, Inc., 2003.
- [6] S. S. Hussen, "Using of industrial waste as a green chemical admixture in concrete," *Kufa Journal of Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 104-114, Jan. 2016.
- [7] B. S. Hamad, A. Rteil, and M. El-Fadel, "Effect of used engine oil on properties of fresh and hardened concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 17, no. 5, pp. 311-318, 2003.
- [8] S. C. Chin, Shafiq N. and M. F. Nuruddin "Structural performance of reinforced concrete beams containing used engine oil," in *Proceeding of international conference on sustainable building and infrastructure (ICSBI 2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010, vol. 38, no. 1-2, pp. 1-23.
- [9] B. S. Hamad and A. A. Rtei, "Effect of used engine oil on structural behavior of reinforced concrete elements," *Construction and Building Materials*, vol. 17, no. 3, pp. 203-211, 2003.

- [10] S. C. Chin, N. Shafiq and M. F. Nuruddin, "Effects of used engine oil in reinforced concrete beams: The structural behavior," *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 254-260, 2012.
- [11] M. N. Hussein, "Properties of concrete containing new and used engines oil," *International Journal of Science and Research*, vol. 4, no. 12, pp. 268-272, Dec. 2015.
- [12] N. Shafiq, M. F. Nuruddin and S. Beddu, "Properties of concrete containing used engine oil," *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 72-82, June 2011.
- [13] J. J. Assaad, "Disposing used engine oils in concrete-optimum dosage and compatibility with water reducers," *Construction and Building Materials*, vol. 44, no. 7, pp. 734-742, Jul. 2013.
- [14] G. E. Abdelaziz, "Utilization of used engine oil in concrete as a chemical admixture," *Engineering Sciences and Information Technology*, 2003.
- [15] S. Beddu, N. Shafiq, M. F. Nuruddin, N. L. M. Kamal and S. N. Sadon, "Effects of used engine oil as an admixture in concrete durability," *British Journal of Applied Science & Technology*, vol. 15, no. 6, pp. 1-10, 2016.
- [16] O. B. Elah and G. Amode, "Effect of used engine oil on some properties of cement and laterized concrete," *American Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 7-10, 2015.
- [17] H. Diab, "Compressive strength performance of low- and high-strength concrete soaked in mineral oil," *Construction and Building Materials*, vol. 33, pp. 25-31, Feb. 2012.
- [18] D. Tonnayopas. (2010). *Minerals and Rocks*, 1st ed., Prince of Songkla University, 2010.
- [19] D. Tonnayopas and W. Wannasopha, "Assessment and effect of pumice aggregate on the properties of concrete masonry unit," in *Proceeding of 8th National Convention on Civil Engineering*, Khon Kaen, Thailand, 2002, pp. MAT-18 to MAT-23.
- [20] D. Tonnayopas and S. Outtrachon, "Influence of oil palm fuel ash on properties of pumice lightweight aggregate concrete," in *Proceeding of 6th PSU Engineering Conf. (PEC6)*, Prince of Songkla University, Thailand, 2008, pp. 13-18.
- [21] A. Hawa and D. Tonnayopas, "Effect of rubber wood fly ash on properties of pumice aggregate concrete," in *Proceeding of 6th PSU Engineering Conf. (PEC6)*, Prince of Songkla University Thailand, 2008, pp. 43-48.
- [22] D. Tonnayopas and P. Penthong, "Properties of concrete containing natural rubber latex dipped pumice aggregate and slate powder,"

- Rajamangala University of Technology Tawan-Ok (RMUTTO) Research Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 73-80, 2014.
- [23] U. Buangam, J. Manit, S. Chantaramanee, and D. Tonnayopas, "Properties of coir fiber reinforced pumice cement composite mixed oil palm ash," *The Journal of Applied Science*, vol. 13, no. 2, pp. 76-92, 2014.
- [24] D. Tonnayopas and J. Yiamyokkun, "Pumice powder and rubber sawdust ash as cement additives on the physical and mechanical characteristics," in *Proceeding of 4th PSU Engineering Conf. (PEC4)*, Prince of Songkla University, Thailand, 2005, pp. MnE-7 – MnE-12.
- [25] D. Tonnayopas and J. Chaosincharoen, "Mortar containing fly ash and rubber sawdust ash," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 22, no. 4, pp. 489–500, 2000.
- [26] J. J. Assaad, J. Harb and E. Chakar, "Relationships between key ASTM test methods determined on concrete and concrete-equivalent-mortar mixtures," *Journal of ASTM International*, vol. 6, no. 3, pp. 1-13, 2009.
- [27] Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (Gravimetric) of concrete, ASTM C 138/C 138M-01a, 2001.
- [28] Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes, BS 1881: part 116, 1983.
- [29] Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete, ASTM C330/C330M-14, 2014.
- [30] J. Havlica, "Mechanism of ettringite and monosulphate formation," *Cement and Concrete Research*, vol. 22, no. 4, pp. 671-677, July 1992.