

การใช้ประโยชน์เศษเมลามีนเป็นมวลรวมละเอียดในคอนกรีตมวลเบา

Utilization of Melamine Formaldehyde Waste as Fine Aggregate in Lightweight Concrete

ศศิประภา ศรีไชโย¹ เฉลิมชัย ไชยจงรัตน์² และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์³
sasiprapa.sri@gmail.com¹, chalermchai.c@eat.kmutnb.ac.th², somsaksi@sut.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้ประโยชน์เศษเมลามีนที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร โดยเศษเมลามีนจากอุตสาหกรรมถูกนำมาแทนที่ทรายร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ด้วยอัตราส่วนเศษเมลามีนแบบเม็ด ต่อแบบฝุ่นเท่ากับ 100:0, 90:10, 85:15, 75:25, 50:50 และ 0:100 กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ควบคุมความหนาแน่น 1,100 kg/m³ และ 1,300 kg/m³ ขึ้นตัวอย่างอายุบ่ม 28 วัน จะถูกทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาควบคุม การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดมีสาเหตุมาจากขนาดผลึกที่เพิ่มขึ้น รูปร่าง พื้นผิวสัมผัส ของเศษเมลามีนที่มีรูปร่างมีเหลี่ยมมุมและมีผิวสัมผัสหยาบ การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นกัน เนื่องจากเศษเมลามีนมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าทราย การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีน มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อัตราส่วนเศษเมลามีนแบบเม็ดต่อแบบฝุ่น 90:10 เป็นสูตรผสมที่มีกำลังรับอัด และการดูดซึมน้ำ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก. 2601-2556) ทั้งสอง ความหนาแน่น และสามารถที่จะรีไซเคิลเศษเมลามีนได้ทั้งสองรูปแบบ โดยเฉพาะเศษเมลามีนแบบเม็ดที่มีปริมาณมาก ในกระบวนการผลิต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเศษเมลามีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติคอนกรีตมวลเบา ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและลดการใช้ทราย โดยใช้ประโยชน์ของเสียโดยการนำกลับมาใช้ใหม่และสามารถพัฒนาต่อยอด ให้ผลิตคอนกรีตมวลเบาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบา, มวลรวม, เศษเมลามีน

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

³ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

This paper presents utilization of melamine formaldehyde waste from Tableware industry. The melamine waste was used to replace sand in lightweight concrete as aggregates by 25 wt%. The melamine waste was in the form of granule and powder, mixing ratio between melamine waste granule to powder were 100:0, 90:10, 85:15, 75:25, 50:50 and 0:100. Concrete sample was prepared with water to cement ratio of 0.5 and the density of lightweight concrete are 1,100 kg/m³ and 1,300 kg/m³. The samples of lightweight concrete, at curing age 28 days, were tested for compressive strength, water absorption and thermal conductivity. From the testing results of lightweight concrete containing melamine waste compared with reference lightweight concrete, it was found that, the compressive strength was increased. It could be considered due to better gradation of aggregate, angular shape and rough texture of melamine. Water absorption was also increased which is due to the melamine waste has higher water absorption than sand. Thermal conductivity was slightly increased, it might be discussed from more compacted of concrete containing melamine waste. The sample with 10% of melamine powder (MFGP90:10) was conform to Thai Industrial Standard (TIS 2601-2556) in term of compressive strength and water absorption. This results yielded the opportunity to utilize melamine waste granule together with melamine waste powder. Therefore, it could be concluded that the melamine waste could be used to replace sand to produce lightweight concrete, which not only improves the strength of lightweight concrete but also reduces the use of natural resources (sand). It could also take advantage of melamine waste by recycling and can be developed for commercial production of lightweight concrete in the future.

Keywords: Lightweight concrete, Aggregate, Melamine waste

1. บทนำ

เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์นิยมนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป ซึ่งระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปเกิดของเสียที่เรียกว่าเศษครีบบเมลามีนในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีกระบวนการตกแต่งผิวผลิตภัณฑ์ด้วยการขัดผิว ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นผงเมลามีนขึ้นในปริมาณน้อย ของเสียเหล่านี้ถูกต้องกำจัดด้วยวิธีการเผาหรือฝังกลบที่อาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น [1]

การกำจัดขยะมูลฝอยจำพวกพลาสติกโดยการใช้ซีเมนต์ เป็นการใช้ซีเมนต์เป็นตัวยึดประสาน ซึ่งซีเมนต์จะแทรกตัวไปในช่องว่างระหว่างอนุภาค และเมื่อได้รับน้ำซีเมนต์จะเริ่มยึดเกาะกับอนุภาคอื่น ๆ จนแข็งตัว [2]

นักวิจัยหลายท่านได้ทดลองนำพลาสติกชนิดต่าง ๆ มากำจัดด้วยซีเมนต์ ตัวอย่างเช่นการนำเศษขวดพอลิเอทิลีน เทเลฟทาเลต (PET) มาใช้เป็นมวลรวมในคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา แต่มีค่ากำลังรับแรงอัดลดลง [3, 4, 5] พลาสติกเมลามีนก็เป็นที่น่าสนใจและถูกนำมาศึกษาโดยการนำมาผสมในคอนกรีต ซึ่งช่วยกำจัดของเสียและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดอีกด้วย [2, 6]

คอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์เป็นนวัตกรรมใหม่ที่นำฟองโพรที่สร้างจากวิธีเชิงกลมาผสมกับซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตจึงมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงและสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาจะช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้าง [7]

จากงานวิจัยของ (Chalermchai C. et.al, 2016) [8] ศึกษาการใช้เศษเมลามีนเป็นมวลรวมในคอนกรีตมวลเบา เศษเมลามีนได้จากการกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนผลิตภัณฑ์จากเมลามีน เมื่อเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ถูกนำไปวางบนแม่แบบและอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์จะหลอมกระจายเต็มแม่แบบและล้นออกมานอกแม่แบบเป็นเศษครีบริบติดกับขอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่าเศษครีบริบ โดยมีปริมาณมากถึงหนึ่งตันต่อวัน และเศษเมลามีนอีกหนึ่งรูปแบบได้จากการกระบวนการขัดตกแต่งผลิตภัณฑ์ หลังจากผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว จะทำให้เกิดเศษฝุ่นผงที่เรียกว่าเศษเมลามีนแบบฝุ่น จากการนำเศษเมลามีนใช้ประโยชน์ในคอนกรีตมวลเบา พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเศษเมลามีนทั้งสองรูปแบบมาแทนที่ทรายบางส่วนในการผสมคอนกรีตมวลเบา ทั้งยังส่งผลดีต่อความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งการผสมเศษเมลามีนแบบฝุ่นให้ความแข็งแรงมากกว่าเศษเมลามีนแบบเม็ด (จากเศษครีบริบ) แต่ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เมลามีนมีเศษครีบริบเมลามีนที่เป็นของเสียถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับจำนวนของเสียทั้งหมด หากสามารถกำจัดเศษครีบริบเมลามีนได้มากขึ้นและกำจัดเศษฝุ่นไปพร้อมกัน จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและช่วยกำจัดขยะของเสีย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการกำจัดเศษเมลามีนทั้งสองแบบโดยการนำไปแทนที่ทรายบางส่วน และศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษเมลามีนแบบเม็ดและแบบฝุ่นต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบา เซลลูลาร์ จุดมุ่งหมายสูงสุดคือคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ผสมเศษเมลามีนนี้สามารถพัฒนาไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มมูลค่าเศษเมลามีนและได้คอนกรีตที่มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ เศษเมลามีน และสารเพิ่มฟอง

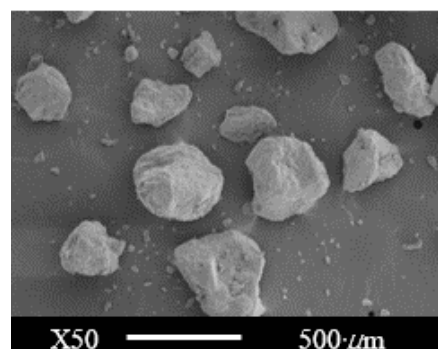
2.1.1 ปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150-12

2.1.2 ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 16 สมบัติทางกายภาพและทางกลแสดงในตารางที่ 1 ทรายมีรูปร่างเป็นก้อนมนผิวเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 1 และการกระจายตัวของขนาดของทรายแสดงในรูปที่ 6

2.1.3 น้ำเป็นน้ำประปาสะอาด ไม่มีสิ่งปนเปื้อน

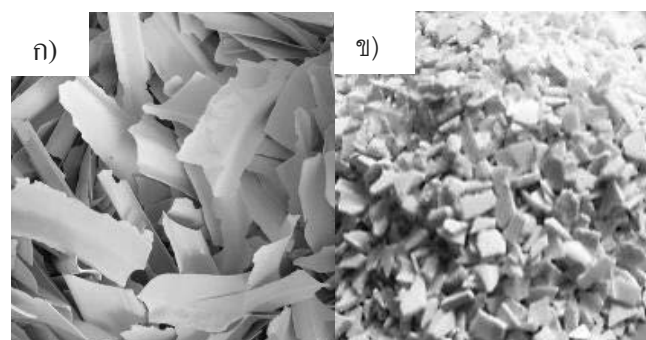
2.1.4 สารเพิ่มฟองเป็นสารเพิ่มฟองแบบสังเคราะห์โปรตีนชนิดประจุลบ

2.1.5 เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เป็นเศษเมลามีนที่ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ศรีไทย ซุปเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) เศษเมลามีนที่ได้จากการกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ เศษเมลามีนแบบเม็ดและเศษเมลามีนแบบฝุ่น



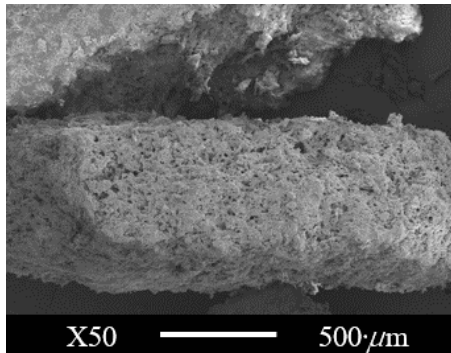
รูปที่ 1 ภาพขยายของทราย

เศษครีบริบเมลามีนแสดงในรูปที่ 2ก จะถูกนำไปบดก่อนนำมาผสมในคอนกรีตในรูปของเศษเมลามีนแบบเม็ด ดังแสดงในรูปที่ 2ข ลักษณะของเศษเมลามีนแบบเม็ดมีผิวหยาบ มีเหลี่ยมมุม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ก) เศษครีบริบเมลามีน ข) เศษเมลามีนแบบเม็ด

เศษฝุ่นผงเมลามีนจะถูกนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 140 เพื่อคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเศษฝุ่นและได้เป็นเศษเมลามีนแบบฝุ่นดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเศษฝุ่นมีลักษณะเป็นผงสีขาว และในรูปที่ 5 เป็นภาพขยายของเศษเมลามีนแบบฝุ่น

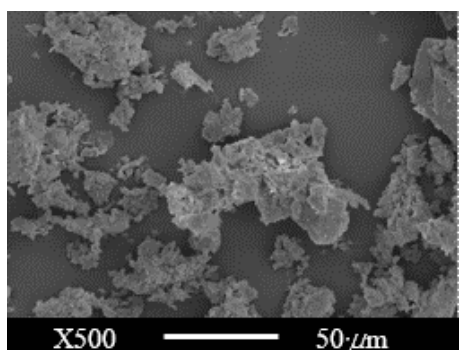


รูปที่ 3 ภาพขยายของเศษเมลามีนแบบเม็ด (บริเวณขอบ)

เศษเมลามีนแบบเม็ดมีสมบัติทางกายภาพและทางกลแสดงในตารางที่ 1 การกระจายตัวของเศษเมลามีนแบบเม็ดและเศษเมลามีนแบบเม็ดต่อแบบฝุ่น แสดงในรูปที่ 6 ตามมาตรฐานการหาขนาดคละของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33



รูปที่ 4 เศษเมลามีนแบบฝุ่น



รูปที่ 5 ภาพขยายของเศษเมลามีนแบบฝุ่น

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและทางกลของมวลรวม

คุณสมบัติ วัสดุ		โมดูลัส ความ ละเอียด	ความถ่วง จำเพาะ	การ ดูดซึมน้ำ
ทราย		1.42	2.52	0.33
เศษเมลามีนเม็ด		3.56	1.50	5.51
เศษ เมลามีน แบบเม็ดต่อ แบบฝุ่น	50:50	1.84	-	-
	75:25	2.70	-	-
	85:15	3.40	-	-
	90:10	3.45	-	-
เศษเมลามีนฝุ่น		ขนาด อนุภาค** 34 μm	1.15*	146*

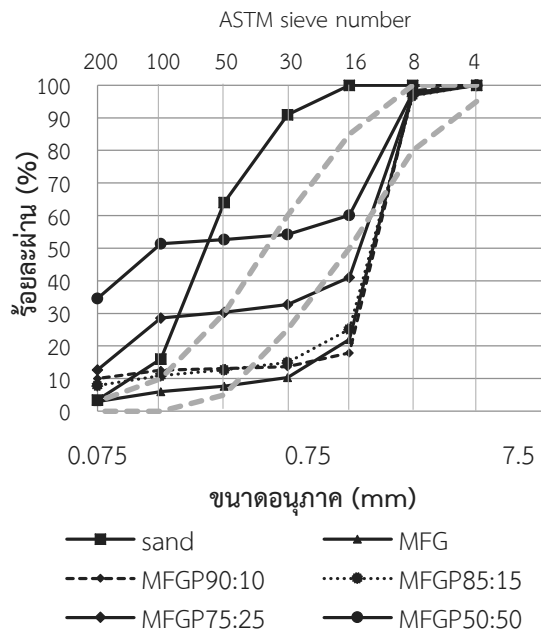
* ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128

** เศษเมลามีนแบบฝุ่นไม่สามารถทดสอบหาโมดูลัสความละเอียดตาม ASTM C33 ได้ เนื่องจากมีขนาดเล็ก

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การผสมคอนกรีตมวลเบามีอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3 สัญลักษณ์ที่ใช้คือ MF0 คอนกรีตมวลเบาควบคุม, MFG คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ด MFP คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบฝุ่น, MFGP คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ดและแบบฝุ่น (อัตราส่วนเม็ด: ฝุ่น 50:50, 75:25, 85:15, 90:10) รูปแบบของตัวอย่างสำหรับการทดสอบมีดังนี้ ขึ้นตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 mm³ ใช้สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 ขึ้นตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 100x100x100 mm³ ใช้สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642 และขึ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 69 mm สูง 65 mm ใช้สำหรับการทดสอบการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E1225

--- : region of fine aggregate from ASTM C33



รูปที่ 6 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียด

ตารางที่ 2 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก. 2601-2556)

ชนิด	ความหนาแน่น (kg/m ³)	แรงอัด (MPa)	ดูดซึมน้ำ (%)
C9	801-900	2.0	25
C10 C12	901-1,000 1,001-1,200	2.5	23
C14	1,201-1,400	5.0	20

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตเริ่มจากการเตรียมส่วนผสมโดยนำไปผสมด้วยเครื่องผสม เทส่วนผสมเริ่มจากปูนซีเมนต์ ทราย เมลามีน และน้ำ ตามลำดับ เมื่อส่วนผสมเข้ากันแล้วจึงสร้างฟองโฟมด้วยเครื่องฉีดโฟมก่อนนำไปผสมในคอนกรีต วิธีการนี้เรียกว่า Preform-foamed method การกำหนดความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจะอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มาตรฐานเลขที่ มอก. 2601-2556 ดังแสดงในตารางที่ 2 งานวิจัยนี้จะกำหนดความหนาแน่นเท่ากับ 1,100 kg/m³ (C12) และ 1,300 kg/m³ (C14) เมื่อผสมได้ความหนาแน่นตามที่กำหนดแล้วจะเทลงแบบหล่อตัวอย่างตามขนาดที่ใช้ทดสอบ กระทั่งคอนกรีตด้วย

แท่งกลมเพื่อให้คอนกรีตเต็มแบบหล่อ หลังจากการหล่อคอนกรีตผ่านไป 1 ชั่วโมงจะทำการปาดหน้าตัวอย่างให้เรียบ แล้วทิ้งคอนกรีตให้แข็งตัวภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว เมื่อครบกำหนดจะทำการถอดแบบหล่อออก และนำไปบ่มด้วยการพันฟิล์มพลาสติกจนครบอายุบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 3 ส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก (kg)

สัญลักษณ์	ซีเมนต์	ทราย	เศษเมลามีน		น้ำ
			เม็ด	ฝุ่น	
MF0	6.56	6.56	0	0	2.94
MFG	6.56	4.92	1.64	0	2.94
MFGP 90:10	6.56	4.92	1.42	0.22	2.94
MFGP 85:15	6.56	4.92	1.39	0.25	2.94
MFGP 75:25	6.56	4.92	1.23	0.41	2.94
MFGP 50:50	6.56	4.92	0.82	0.82	2.94
MFP	6.56	4.92	0	1.64	2.94

หมายเหตุ ทรายถูกแทนที่ด้วยเศษเมลามีนร้อยละ 25 โดยน้ำหนักด้วยอัตราส่วนเศษเมลามีนแบบเม็ดต่อแบบฝุ่นเท่ากับ 100:0, 90:10, 85:15, 75:25, 50:50 และ 0:100

2.3 การทดสอบตัวอย่าง

การทดสอบกำลังรับแรงอัด ใช้ชิ้นตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 mm³ ที่อายุบ่ม 28 วัน วัดขนาดของตัวอย่างและนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องกดคอนกรีตแบบไฮดรอลิก กำลังรับแรงอัดเป็นสัดส่วนระหว่างแรงกดสูงสุดต่อพื้นที่หน้าตัดในหน่วย MPa

การทดสอบการดูดซึมน้ำ ใช้ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 100x100x100 mm³ ที่อายุบ่ม 28 วัน นำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจะนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเปียก และนำตัวอย่างเดิมไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำออกจากเตาอบ ปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักแห้ง ซึ่งการดูดซึมน้ำหาได้ดังนี้

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{(\text{นน.เปียก} - \text{นน.แห้ง})}{\text{นน.เปียก}} \times 100 \quad (1)$$

การทดสอบการนำความร้อน ใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอก ที่อายุบ่ม 28 วัน นำไปทดสอบในเครื่องทดสอบการนำความร้อน โดยให้ความร้อน (Q) บนผิวสัมผัสด้านหนึ่ง และผิวสัมผัสอีกด้านหนึ่งจะถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อให้เกิดการถ่ายความร้อน จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิสองจุดเพื่อหาผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง (A) และระยะการถ่ายเทความร้อน (L) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ในหน่วย W/mK ได้ดังนี้

$$k = \frac{QL}{A\Delta T} \quad (2)$$

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การรีไซเคิลเศษเมลามีนโดยนำไปแทนที่ทรายเป็นมวลรวมในคอนกรีตมวลเบา พบว่าสามารถนำมาผสมในคอนกรีตมวลเบาได้ และผลการทดสอบคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีน ได้ผลดังต่อไปนี้

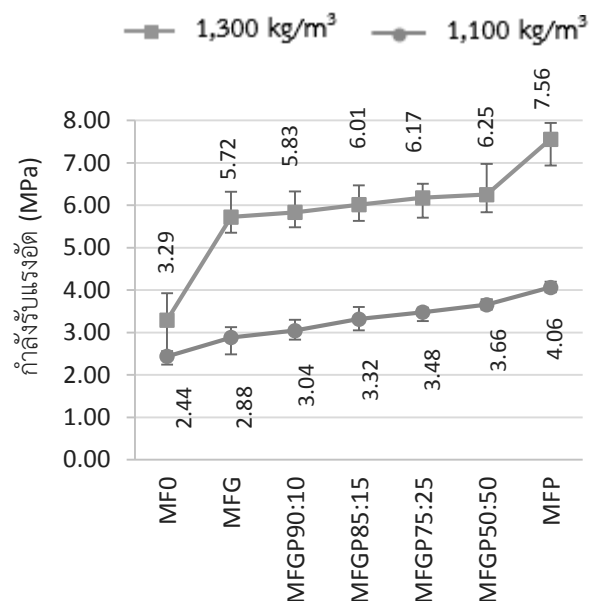
3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 7 ที่ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 1,100 kg/m³ และ 1,300 kg/m³ ตามลำดับ พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาควบคุม (MFO) ความหนาแน่นส่งผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นมาก จะมีการอัดตัวแน่น ทำให้สามารถรับแรงอัดได้ดีขึ้น ดังนั้นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 1,300 kg/m³ จึงมีค่ามากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 1,100 kg/m³

คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบฝุ่นมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด เนื่องจากเศษเมลามีนแบบฝุ่นมีขนาดอนุภาคเล็กจึงสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างวัสดุอื่นได้ดี นอกจากนี้เศษเมลามีนแบบฝุ่นยังมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเศษเมลามีนแบบเม็ด จึงยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ได้มากขึ้นทำให้คอนกรีตมวลเบามีการอัดตัวแน่น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ในส่วนของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ดมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ

คอนกรีตควบคุม (MFO) เนื่องจากเศษเมลามีนแบบเม็ดมีการกระจายตัวและวางตัวในทิศทางเดียวกันกับการรับแรงอัดช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับคอนกรีต นอกจากนี้เศษเมลามีนแบบเม็ดยังมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบเมื่อเทียบกับทราย ส่งผลให้การยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ได้ดีขึ้น ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้น

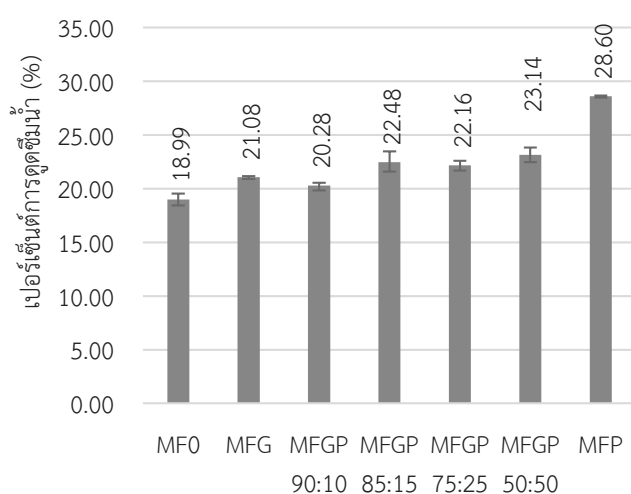
คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ดมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาผสมเมลามีนแบบฝุ่น เนื่องจากเศษเมลามีนแบบฝุ่นมีผิวขรุขระทั้งอนุภาค (แสดงในรูปที่ 5) และมีพื้นที่ผิวมากกว่าจึงสามารถยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556



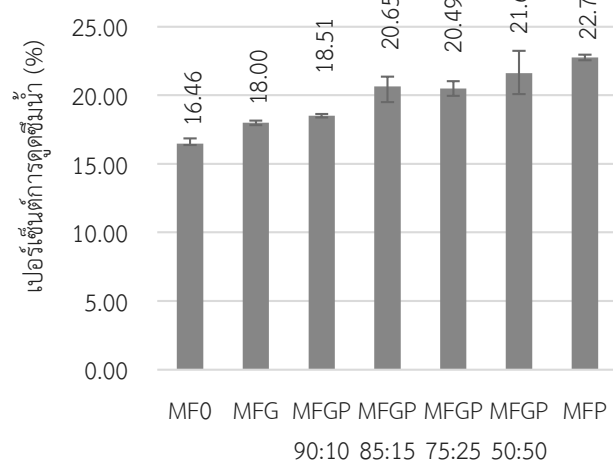
รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,100 kg/m³ และ 1,300 kg/m³

จากการใช้มวลรวมผสมของเศษเมลามีนทั้งสองแบบกับทรายพบว่าเมื่อสัดส่วนของเศษเมลามีนแบบฝุ่นเพิ่มมากขึ้น จะทำให้คอนกรีตมวลเบามีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น โดยค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ดและแบบฝุ่นอยู่ระหว่างคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ดกับคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบฝุ่น เนื่องมาจากขนาดคละของแต่ละสัดส่วนดีขึ้นตามมาตรฐาน ASTM C33 (ดังแสดงในรูปที่ 6) นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากเศษเมลามีนแบบฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็ก

สามารถลดช่องว่างระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ลง ทั้งยังสามารถยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ได้ดี จึงทำให้ คอนกรีตมีการอัดตัวแน่นและยึดเกาะกันได้ดีขึ้น การเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนกับมาตรฐาน คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.2601-2556 กำหนดให้กำลังรับแรงอัดสำหรับความหนาแน่น 1,100 kg/m³ และ 1,300 kg/m³ ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa และ 5 MPa ตามลำดับ จากผลการทดสอบในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนทุกสูตรผสมผ่านเกณฑ์ที่ มาตรฐาน มอก. กำหนดทั้งสองความหนาแน่น



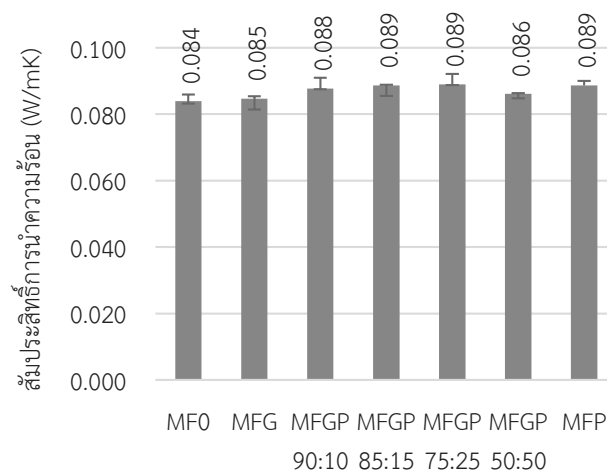
รูปที่ 8 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,100 kg/m³



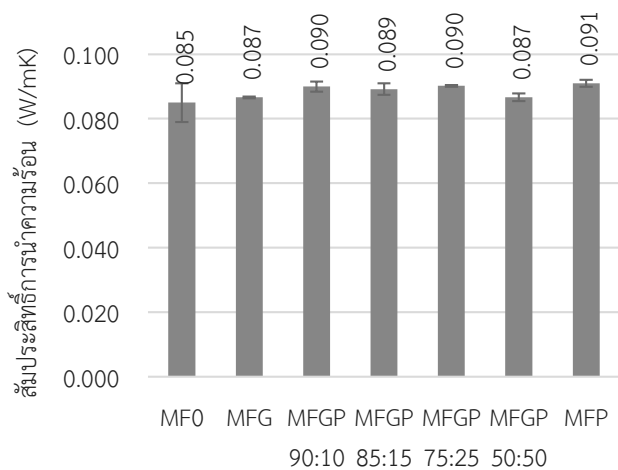
รูปที่ 9 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,300 kg/m³

3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา แสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 พบว่าคอนกรีตมวลเบาผสม เศษเมลามีนมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าคอนกรีตมวลเบา ควบคุม (MF0) เนื่องจากเศษเมลามีนมีค่าการดูดซึมน้ำ มากกว่าทราย ดังแสดงในตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ คอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนกับมาตรฐานคอนกรีต มวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556 กำหนด ค่าการดูดซึมน้ำสำหรับความหนาแน่น 1,100 kg/m³ และ 1,300 kg/m³ ไม่มากกว่า 23% และ 20% ตามลำดับ จาก ผลการทดสอบในรูปที่ 8 ความหนาแน่น 1,100 kg/m³ จะเห็นได้ว่าสูตรผสมที่ผ่านเกณฑ์ 5 สูตรคือ MF0, MFG, MFGP 90:10, MFGP 85:15 และ MFGP 75:25 และ รูปที่ 9 ความหนาแน่น 1,300 kg/m³ มีสูตรผสมที่ผ่านเกณฑ์ 3 สูตรคือ MF0, MFG และ MFGP 90:10 การเพิ่มสัดส่วน ของเศษเมลามีนแบบฟุ้ง ทำให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีต มวลเบาผสมเศษเมลามีนเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากเศษเมลา มีนแบบฟุ้งมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำสูงกว่าเศษเมลามีน แบบเม็ดและทราย (ในตารางที่ 1) จึงส่งผลให้การดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบฟุ้งเพิ่มขึ้นด้วย



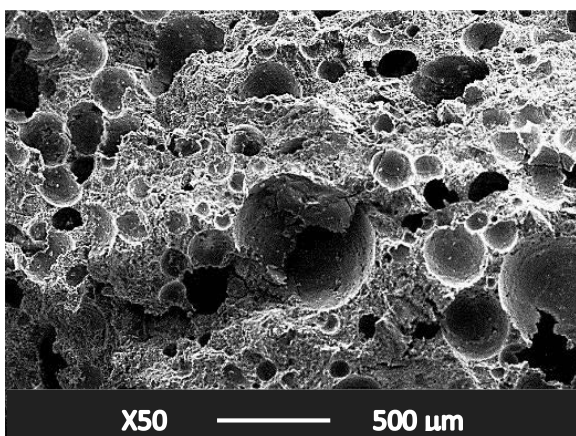
รูปที่ 10 การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,100 kg/m³



รูปที่ 11 การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,300 kg/m³

3.3 การทดสอบการนำความร้อน

ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 พบว่าคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเทียบกับคอนกรีตมวลเบาควบคุม และคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,100 kg/m³ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในช่วง 0.084-0.089 W/mK ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,300 kg/m³ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในช่วง 0.085-0.091 W/mK เล็กน้อย การเพิ่มขึ้นของค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนเกี่ยวข้องกับปริมาณรูพรุนในคอนกรีตมวลเบา หากมีปริมาณรูพรุนน้อย คอนกรีตมวลเบาจะเกิดการอัดตัวแน่นมากขึ้น อีกทั้งเศษเมลามีนยังช่วยลดช่องว่างภายในคอนกรีตและสามารถยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น



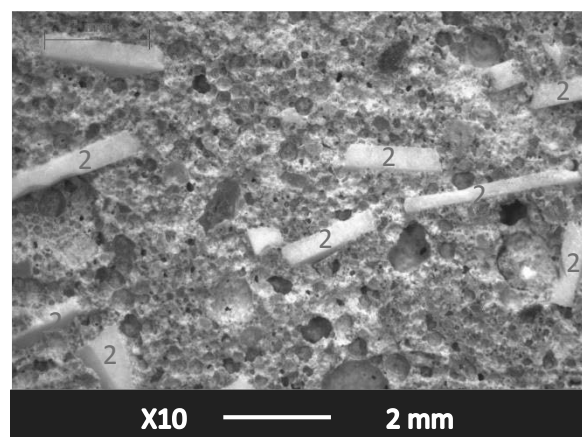
รูปที่ 12 ภาพขยายคอนกรีตมวลเบาด้วย SEM (50x)

3.4 โครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตมวลเบา

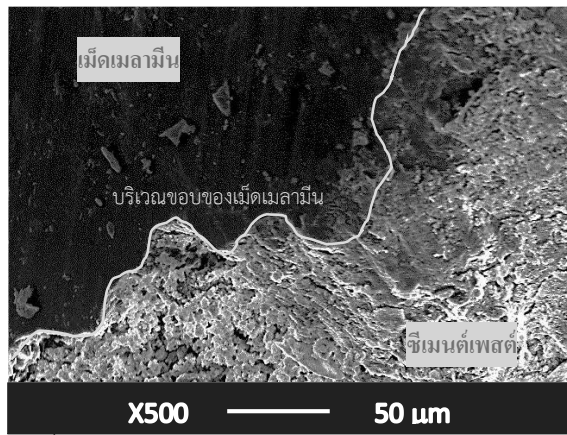
การวิเคราะห์ภาพถ่ายผิวกะเทาะ (Fractured surface) ของคอนกรีตมวลเบา MF90:10 ความหนาแน่น 1,300 kg/m³ ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 12 พบว่าโพรงอากาศสามารถกระจายตัวได้ดี ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา

การวิเคราะห์ภาพถ่ายหน้าตัดเรียบ (Polished section) ของคอนกรีตมวลเบาด้วยกล้องจุลทรรศน์ออปติคอลดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่าการนำเศษเมลามีนมาแทนที่ทรายบางส่วนทำให้คอนกรีตมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น แต่เศษเมลามีนแบบฝุ่นมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถมองเห็นได้ เศษเมลามีนแบบเม็ดมีการกระจายตัวทั่วทั้งหน้าตัดได้ค่อนข้างดีและส่วนใหญ่จะวางตัวในแนวตั้งฉาก

การวิเคราะห์ภาพถ่ายผิวกะเทาะของคอนกรีตมวลเบาด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงในรูปที่ 14 พบว่าการยึดเกาะระหว่างเศษเมลามีนแบบเม็ดกับซีเมนต์เพสต์สามารถยึดเกาะกันได้ดี เนื่องจากบริเวณขอบของเศษเมลามีนแบบเม็ดมีผิวหยาบ และการดูดซึมน้ำของเศษเมลามีนทำให้บริเวณขอบเกิดไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ซีเมนต์เพสต์จึงยึดเกาะกับเศษเมลามีนได้ดีขึ้น จึงส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา ทั้งนี้การดูดซึมน้ำของเมลามีนยังช่วยลดน้ำส่วนเกินภายในคอนกรีตไม่ให้เกิดเป็นช่องว่าง ทำให้คอนกรีตแน่นขึ้น



รูปที่ 13 ภาพขยายคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ด และแบบฝุ่น ด้วยกล้องจุลทรรศน์ออปติคอล (1= ซีเมนต์เพสต์ผสมเศษเมลามีนฝุ่น, 2 = เม็ดเมลามีน)



รูปที่ 14 ภาพขยายคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนแบบเม็ด และแบบฝุ่น ด้วย SEM (500x)

4.สรุปผลการทดลอง

การใช้ประโยชน์เศษเมลามีนโดยการแทนที่ทราย เป็นมวลรวมละเอียดผสมในคอนกรีตมวลเบา สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตได้ดังนี้

1) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษเมลามีนแบบเม็ดมีลักษณะผิวหยาบ รูปร่างมีเหลี่ยมมุม และการดูดซึมน้ำของเศษเมลามีนทำให้บริเวณขอบมีความชื้นและเกิดไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์ยึดกับเศษเมลามีนได้ดีขึ้น และเศษเมลามีนแบบฝุ่นมีขนาดอนุภาคเล็ก และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเศษเมลามีนแบบเม็ด จึงสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างวัสดุอื่นได้ดี ทำให้คอนกรีตมีอัดตัวแน่นขึ้น และเศษเมลามีนแบบเม็ดสามารถกระจายได้ดีและมีการวางตัวในแนวตั้ง ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกันกับการรับแรงอัด จึงช่วยเสริมแรงให้คอนกรีตรับแรงอัดได้มากขึ้น

2) การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาควบคุม เนื่องจากเศษเมลามีนมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าทราย ทำให้มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

3) การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนเบามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาควบคุม เนื่องจากภายในคอนกรีตมวลเบาผสมเศษเมลามีนมีเนื้ออัดแน่นมากขึ้น จึงนำความร้อนได้มากขึ้น

4) อัตราส่วนเศษเมลามีนแบบเม็ดต่อแบบฝุ่น 90:10 เป็นสูตรผสมที่มีกำลังรับอัดและการดูดซึมน้ำผ่าน

ตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 และสูตรผสมนี้ยังสามารถใช้เศษเมลามีนได้ทั้งสองรูปแบบ โดยเฉพาะเศษเมลามีนแบบเม็ดที่มีปริมาณมากในกระบวนการผลิต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเศษเมลามีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติคอนกรีตมวลเบาให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและลดการใช้ทราย โดยใช้ประโยชน์ของเสียนำกลับมาใช้ใหม่และสามารถพัฒนาต่อยอดให้ผลิตคอนกรีตมวลเบาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย และขอขอบคุณบริษัท ศรีไทย ซุปเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เศษเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Siwadamrongpong S. & Aphirakmethawong, J., (2015). Effect of Particle Size and Content of Waste Melamine Formaldehyde on Mechanical Properties of High Density Polyethylene Composites. In The 9th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC). Suranaree University of Technology, 27-30 July 2015 Surasammanakarn
- [2] Hasan S. Dweik, Mohamed M. Ziara and Mohamed S. Hadidoun, (2008). Enhancing Concrete Strength and Thermal Insulation Using Thermoset Plastic Waste. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials Volume 57,635-656
- [3] C. Albano, N. Camacho, M. Hernández, A. Matheus, A. Gutiérrez, (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. Waste Management 29, 2707-2716.

- [4] Semiha AkÇaözoğlu, Cengiz Duran Atiş, Kubilay AkÇaözoğlu, (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. Waste management 30, 285-290.
- [5] Amir M. Azhdarpour, Mohammed R. Nikoudel, Milad Taheri., (2016). The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory evaluation. Construction and Building Material 109, 55-62.
- [6] Phaiboon P., Mallika P., (2007). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. Waste Management 28, 1581-1588.
- [7] Khamphée J., Theerawat S., Prinya C., (2011). Cellular Lightweight Concrete Containing Pozzolan Materials. Procedia Engineering 14, 1157–1164.
- [8] Chaitongrat, C. & Siwadamrongpong, S. (2018). Recycling of melamine formaldehyde waste as fine aggregate in lightweight concrete. Songklanakarin Journal of Science and Technology Vol. 40 No. 1 (January-February, 2018). IN PRESS