

อิทธิพลขนาดผลของมวลรวมที่ส่งผลต่อการดำรงรับแรงอัดและการชะละลายโลหะ หนักของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมลามีน

ชัยพิมข พรมหิทธิ¹ พรพรรณ เจริญชัย² เฉลิมชัย ไชยธรรณ³ กัญชลา สุตตาชาติ⁴
และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์⁵*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลขนาดผลของเสียมลามีนต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส โดยใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการแทนที่ทรายร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก โดยมีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1.0 และ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และควบคุมความหนาแน่นของคอนกรีตสด 1,300 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร การแทนที่ทรายด้วยเสียมลามีนที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ FM1.25 FM1.0 FM0.75 และ FM0.5 การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของงานวิจัยประกอบด้วย การดำรงรับแรงอัด การดูดซึมน้ำและการชะละลายโลหะหนัก ผลการศึกษาพบว่า การแทนที่ทรายด้วยเสียมลามีนร้อยละ 25 ส่งผลให้การดำรงรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้น โดยที่เสียมลามีนที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่า FM0.75 แสดงค่าการดำรงรับแรงอัดสูงสุด อีกทั้งค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาลดลงตามค่าโมดูลัสความละเอียดของเสียมลามีนที่เพิ่มขึ้น สำหรับการชะละลายโลหะหนักของเสียมลามีนในคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสมีค่าไม่เกินมาตรฐาน U.S.EPA และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

คำสำคัญ : ขนาดผล, การชะละลาย, โลหะหนัก, คอนกรีตมวลเบา, เศษของเสียมลามีน

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมและระบบกระบวนการ, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

^{4,5} สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*ผู้ติดต่อ, อีเมล: somsaksi@sut.ac.th รับเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2562 ตอบรับ 2 เมษายน 2562

Influence of Aggregate Fineness Modulus on Compressive Strength and Heavy Metal Leaching of Lightweight Concrete Containing Recycled Melamine Waste

Chutpimuk Promchot¹ Pronpan Choedchai² Chalermchai Chaitongrat³

Kanchala Sudtachat⁴ and Somsak Siwadamrongpong^{5*}

Abstract

This research aimed to investigate influence of aggregate fineness modulus on mechanical properties of cellular lightweight concrete containing melamine waste as fine aggregate. Melamine waste was used to partially replace sand at the rate of 25% by weight. The mixed ratio of cement: aggregate: water was set at 1:1:0.5 by weight. Density of fresh concrete was controlled at 1,300 kg/m³. The concrete specimens were varied by fineness modulus (FM) of the waste at FM1.25, FM1.0, FM0.75 and FM0.5. Compressive strength, water absorption and leaching test of heavy metal were investigated. The result was found that the melamine waste mixing yielded higher compressive strength and water absorption compared to reference lightweight concrete. The FM0.75 specimen resulted the highest compressive strength. It was also found that water absorption was slightly decrease with increasing fineness modulus of the waste. The leaching of heavy metals were determined by following the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). It was found that the concentration of As, Cd, and Pb were not exceed the limitation specified by the U.S.EPA and Ministry of Industry Announcement No. 6 (1997)

Keywords : Fineness modulus, Leaching, Heavy metal, Lightweight concrete, Melamine waste

^{1,2} School of Mechanical and Process System Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

³ School of Mechanical and Automotive Engineering Technology, Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

^{4,5} School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

* Corresponding author, E-mail: somsaksi@sut.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับปัญหาขยะเพิ่มขึ้น เนื่องจากก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษด้านอื่น ๆ ตามมาไม่ว่าจะเป็นปัญหามลพิษทางน้ำจากน้ำเสียที่รั่วไหลจากแหล่งกองขยะ หรือขยะที่ถูกฝังกลบอยู่ใต้ดิน ทำให้คุณภาพแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินแย่ลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะที่มีสารพิษหรือโลหะหนักปะปนอยู่ เนื่องจากไม่มีการคัดแยกขยะอย่างเหมาะสม

เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตติงประเภทหนึ่งที่มีนิยมนำมาผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป หลังจากการผลิตจะมีของเสียที่เกิดจากชิ้นงานที่ไม่ผ่านมาตรฐานการผลิตเรียกว่าเศษเมลามีน (Melamine Formaldehyde Waste) ของเสียเหล่านี้ถูกกำจัดด้วยวิธีการเผา หรือฝังกลบ [1] ซึ่งเป็นวิธีที่อันตรายเนื่องจากอัตราการย่อยสลายที่ช้า จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษจากของเสียแพร่สู่สิ่งแวดล้อม และเป็นการก่อให้เกิดค่าใช้จ่าย เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการลดความเป็นพิษ หรือ การกักเก็บสารพิษ เพื่อไม่ให้แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย

ทางเลือกหนึ่งคือการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่โดยการนำมาเป็นวัสดุผสมในวัสดุก่อสร้าง [2,3] โดยเฉพาะในส่วนของการก่อสร้าง ซึ่งในประเทศไทยมีการใช้งานคอนกรีตมวลเบาอย่างแพร่หลาย อีกทั้งพลาสติกจำพวกเมลามีนเป็นที่สนใจและถูกนำมาศึกษาโดยการนำมาผสมในคอนกรีต ซึ่งช่วยทั้งในด้านการกำจัดของเสีย และลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย [4]

การใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์จะเป็นทางเลือกใหม่ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศซึ่งเกิดจากการเติมโฟมเหลวลงรูปที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตแทนการใช้หินหรือมวลรวมหยาบ [5] การประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์สำหรับการก่อสร้างมีข้อได้เปรียบกว่าคอนกรีตทั่วไป อาทิเช่น ลดการใช้พลังงานในอาคารเมื่อนำมาใช้เป็นผนังอาคารมีความทนไฟ ลดน้ำหนักของโครงสร้าง [6] ซึ่งช่วยลดค่าก่อสร้าง และช่วยลดมลภาวะจากการใช้หินในส่วนผสมคอนกรีต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำเศษเมลามีนมาแทนที่ทรายในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ ศึกษาขนาดผลของเศษเมลามีนที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ และศึกษาการชะละลายโลหะหนักจากการนำเศษเมลามีนมาแทนที่ทราย จุดมุ่งหมายคือคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่ผสมเศษเมลามีนที่สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำที่ได้มาตรฐานและสามารถผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ในเชิงพาณิชย์ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ หากมีการนำไปใช้งานจริง

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

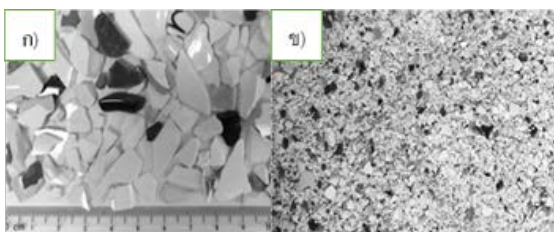
2.1.1. งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา ASTM C150 โดยมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1

2.1.2. ทรายที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นทรายแม่น้ำที่ร้อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 8 ตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีค่าความโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.67

2.1.3. น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตเป็นน้ำประปาสะอาด ไม่มีสารปนเปื้อนที่เป็นผลกระทบกับคอนกรีต มีค่า PH ในช่วง 7.5 - 8

2.1.4. สารเพิ่มฟองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นสารเพิ่มฟองเชิงพาณิชย์ โดยถูกนำมาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1:40 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำให้เป็นโฟมด้วยเครื่องสร้างโฟมที่ต่อเข้ากับเครื่องอัดอากาศที่มีฟองอากาศขนาดเล็ก ตั้งแต่ 0.1-1.0 มิลลิเมตร ซึ่งความหนาแน่นของโฟมประมาณ 50 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก่อนนำไปผสมกับคอนกรีต

2.1.5. เศษของเสียมเมลามีนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเศษของเสียมเมลามีนที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เมลามีนของบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) เศษของเสียมเมลามีนในรูปที่ 1ก จะถูกนำไปบดเพื่อให้มีขนาดเล็กลงดังแสดงในรูปที่ 1ข จากนั้นใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนคู่กับชุดตะแกรงร่อนมาตรฐาน ASTM E11 เพื่อหามวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 ก่อนนำเศษของเสียมเมลามีนไปผสมในคอนกรีตมวลเบา โดยสารเติมแต่ง (Additives) ในเศษของเสียมเมลามีน (ไม่รวมส่วนที่เป็นพอลิเมอร์และไฟเบอร์) มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ก) เศษของเสียมเมลามีนก่อนบด

ข) เศษของเสียมเมลามีนหลังบด

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และสารเติมแต่งในเศษของเสียมเมลามีน

Component	Percent by mass	
	Cement	Melamine waste
Al ₂ O ₃	4.776	2.332
SiO ₃	20.551	4.258
SO ₃	3.805	0.806
K ₂ O	0.442	N.D
CaO	65.353	11.842
TiO ₂	0.574	77.442
MnO ₂	0.113	N.D
Fe ₂ O ₃	4.225	1.051
CuO	0.036	N.D
ZnO	0.081	2.167
SrO	0.045	0.103

N.D. = Not Detected

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

สัดส่วนการผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ ประกอบด้วย ซีเมนต์ ทราย น้ำ เศษของเสียมเมลามีน โดยสารเพิ่มฟองอากาศทำหน้าที่ควบคุมความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ 1,300 กก./ม.³ โดยมีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 ดังแสดงในตารางที่ 2 เศษของเสียมเมลามีนใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการแทนที่ทรายร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก [7-8] ที่ค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ FM1.25 FM1.0 FM0.75 และ FM0.5 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

Mixture (g)	Reference concrete	Concrete with melamine waste
Cement	2,000	2,000
Sand	2,000	1,500
Melamine waste	0	500
Water	1,000	1,000

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมตามค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness modulus: FM) ของเศษของเสียเมลามีน

Fineness Modulus (FM)	Melamine waste (g)			
	sieve no			
	30	50	100	pan
0.5	0	50	150	300
0.75	25	50	200	225
1	50	100	150	200
1.25	50	125	225	100

ตารางที่ 4 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็ม ฟองอากาศ (มอก. 2601-2556)

Type	Density (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)	Water absorption (%)
C9	801-900	2	25
C10	901-1,000	2.5	23
C12	1,001-1,200		
C14	1,201-1,400	5	20

การผสมคอนกรีตเริ่มจากการนำปูนซีเมนต์ ทราย เศษของเสียเมลามีนตามค่าโมดูลัสความละเอียดที่

กำหนด และน้ำ ตามลำดับ มาผสมกัน เมื่อส่วนผสมเข้า กันแล้ว จึงสร้างฟองโฟมด้วยเครื่องฉีดโฟมก่อนนำไป ผสมในคอนกรีต โดยกำหนดความหนาแน่นของ คอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ มาตรฐาน เลขที่ มอก. 2601-2556 ดังแสดงในตารางที่ 4 งานวิจัยนี้ กำหนดความหนาแน่นเท่ากับ 1,300 กก./ม.³ (C14) ทำ การเทลงแบบหล่อมาตรฐานพร้อมทั้ง กระทุ้งคอนกรีต ด้วยแท่งกลมเพื่อให้คอนกรีตเต็มแบบหล่อ ภายหลังจาก การหล่อคอนกรีต 1 ชั่วโมง ทำการปาดหน้าคอนกรีตให้ เรียบ แล้วทิ้งคอนกรีตให้แข็งตัวภายใต้อุณหภูมิห้องเป็น เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการถอดแบบหล่อ และนำไป บ่มด้วยการพันฟิล์มพลาสติกจนครบอายุบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength test) โดยใช้ชิ้นทดสอบคอนกรีตมวลเบาขนาด 50x50x50 มม.³ ที่อายุบ่มครบ 3 7 14 และ 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์ (Universal testing machines) รุ่น MUL-125 TTR/THAI กำลังสูงสุด 100 กิโลนิวตัน กำลังรับ แรงอัดเป็นสัดส่วนระหว่างแรงกดสูงสุดต่อ พื้นที่หน้าตัดในหน่วย เมกะปาสกาล

2.3.2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test) ของคอนกรีตมวลเบาสามารถทำได้โดยนำชิ้นทดสอบ ขนาด 100x100x100 มม.³ ที่อายุบ่มครบ 28 วัน ทำการ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด

นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำหนัก เพื่อหาค่าน้ำหนักเปียก จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจะนำชิ้นทดสอบออกจากเตาอบไปแช่น้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C642 ซึ่งสามารถคำนวณค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาได้จากสมการที่ 1

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.3. การทดสอบการชะละลายโลหะหนัก

การทดสอบการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ตามมาตรฐาน U.S. EPA Leachability Test Method 1311 ทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มม.³ ที่อายุบ่มครบ 28 วัน บดให้เป็นผงละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดอะซิติกที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2.88 (การเตรียมสารละลายกรดอะซิติกทำได้โดยการนำกรดอะซิติกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล 5.7 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่ 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร) โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของของแข็งต่อปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 1:20 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศา กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้วรูพรุน 0.6-0.8 ไมครอน หลังจากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่น 1,300 กก./ม.³ พบว่าการแทนที่ทรายด้วยเศษของเสียมะลามีนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาอ้างอิง (Reference concrete) โดยที่อายุบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลามีนที่ค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ FM1.25 FM1.0 FM0.75 และ FM0.5 มีค่าเท่ากับ 11.72 13.84 15.66 และ 9.20 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลามีนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของทั้ง มอก. 2601-2556 และ ASTM C129 จากการทดสอบพบว่าขนาดละเอียดของเศษของเสียมะลามีนที่ค่าโมดูลัสความละเอียด FM0.75 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เนื่องจากที่ค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำของมวลรวมละเอียดจะทำให้เกิดการยึดเกาะของพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคสูง [9] นอกจากนี้ขนาดของมวลรวมยังมีผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตเนื่องจากมีอนุภาคเล็กจึงสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างวัสดุที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ได้ [10] ทำให้คอนกรีตมวลเบามีการอัดตัวกันแน่น อย่างไรก็ตาม อนุภาคที่มีความละเอียดมากเกินไปอาจสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก เนื่องจากอนุภาคมีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กเกินไป ซึ่งสังเกตได้จากกำลังรับแรงอัดที่ลดลงของชิ้นทดสอบที่ค่าโมดูลัสความละเอียด FM0.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิงที่ว่ามวลรวมที่หยาบหรือละเอียดเกินไปจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมที่เหมาะสม

เท่ากับ 2.79 [11] ดังนั้นค่าโมดูลัสความละเอียดที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานและให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดสำหรับงานวิจัยนี้ คือค่าโมดูลัสความละเอียด FM 0.75 ของเศษของเสียมะลามี

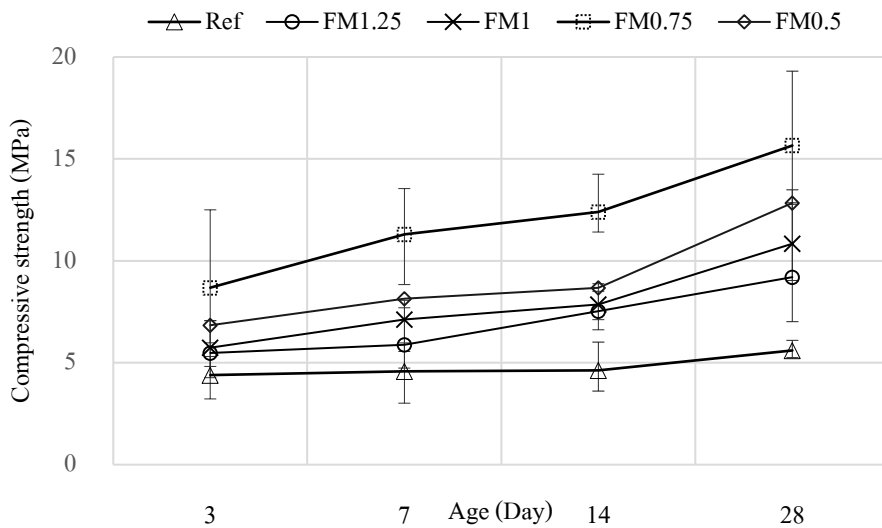
3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 3 พบว่าการแทนที่ทรายด้วยเศษของเสียมะลามีร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาอ้างอิง (Reference concrete) เนื่องจากความสามารถการดูดซึมน้ำของเศษของเสียมะลามีค่ามากกว่าทราย [12] การเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลากับมาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.2601-2556 พบว่า ค่าโมดูลัสความละเอียดของเศษของเสียมะลามีที่ลดลงมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินค่าตามที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ความหนาแน่น 1,300 กก./ม³ ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 20 ดังแสดงในตารางที่ 4

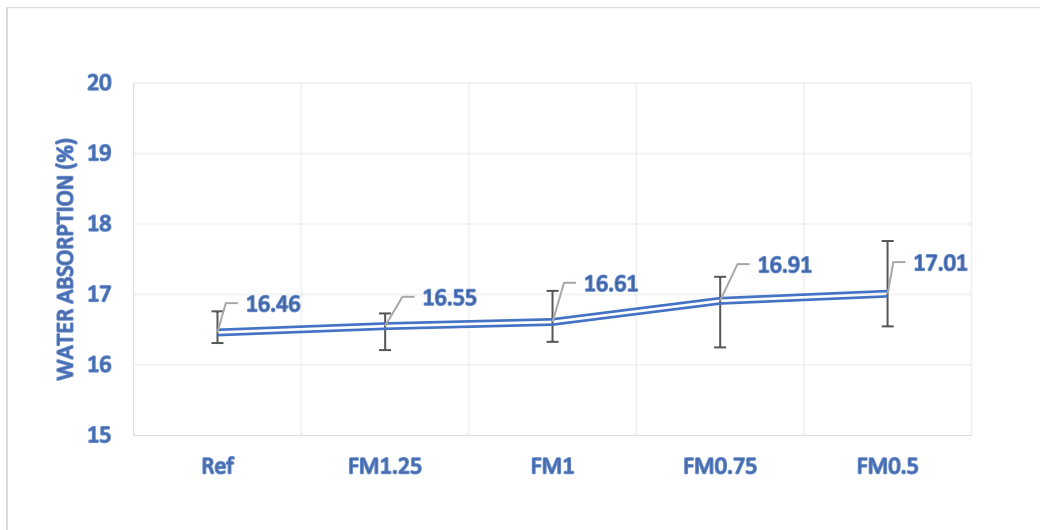
3.3 การทดสอบการชะละลาย

ผลการทดสอบการชะละลายโลหะหนักในคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลามีด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า มีค่าความเข้มข้นของไทเทเนียม (Ti) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของ

โลหะหนัก สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb) ตามลำดับ เนื่องจากสารเติมแต่งในเศษของเสียมะลามีมีร้อยละประกอบของ Ti มากที่สุด [13] ดังแสดงในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม ทั้ง Ti และ Zn ไม่ได้อยู่ในรายการโลหะหนักตามข้อกำหนดของ U.S.EPA และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 ในส่วนของมาตรฐานที่ U.S.EPA และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 กำหนดไว้สำหรับโลหะหนัก As (< 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร) Cd (< 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร) และ Pb (< 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งผลทดสอบการชะละลายที่ได้ พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนัก As Cd และ Pb มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ U.S.EPA กำหนดสำหรับทุกค่าโมดูลัสความละเอียด เนื่องจากสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้สกัดมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2.88 หลังการสกัดสารละลายมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 12.01-12.08 เนื่องจากไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของกรดอะซิติกแพร่ผ่านผิวหน้าของคอนกรีตเข้าไปตามช่องว่างภายในโครงสร้างของซีเมนต์ ทำให้เกิดการละลายของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นผลผลิตส่วนหนึ่งที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ โดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติเป็นเบสทำหน้าที่สะเทินกรดอะซิติกในสารละลายที่ใช้สกัด ทำให้ค่าพีเอชของสารละลายที่สกัดได้เพิ่มขึ้น [14] ซึ่งค่าพีเอชที่สกัดได้ของสารละลายที่เพิ่มขึ้นนี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการตรึงโลหะไฮดรอกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายที่สกัดได้น้อยลง [15]



รูปที่ 2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่น 1,300 กก./ม.³



รูปที่ 3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 1,300 กก./ม.³

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยวิธี TCLP

Fineness Modulus	pH	Metal Concentration (mg/l)				
		Ti	Zn	As	Cd	Pb
0.5	12.05	5.3583	$< 1.04 \times 10^{-5}$	6.99×10^{-3}	1.45×10^{-5}	$< 0.39 \times 10^{-5}$
0.75	12.01	5.1852		6.69×10^{-3}	3.97×10^{-5}	
1	12.08	5.4737		0.57×10^{-3}	3.15×10^{-5}	
1.25	12.02	5.1786		3.48×10^{-3}	4.66×10^{-5}	
Detection limit (mg/l)		2.47×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.09×10^{-5}	0.17×10^{-5}	0.39×10^{-5}

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลขนาดผลึกที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลามี้น โดยทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตมวลเบาผสมเศษของเสียมะลามี้น ด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การแทนที่ทรายด้วยเศษของเสียมะลามี้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งขนาดผลึกของเศษของเสียมะลามี้นที่ค่าโมดูลัสความละเอียด FM0.75 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด
2. การแทนที่ทรายด้วยเศษของเสียมะลามี้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งค่าโมดูลัสความละเอียดของเศษของเสียมะลามี้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้น แต่ยังเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.2601-2556
3. การแทนที่ทรายด้วยเศษของเสียมะลามี้นร้อยละ 25

โดยน้ำหนัก มีค่าการชะละลายของโลหะหนักต่ำกว่ามาตรฐาน U.S.EPA และมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 อีกทั้งขนาดผลึกของเศษของเสียมะลามี้นไม่ส่งผลต่อปริมาณการชะละลายของโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อสรุปข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า เศษของเสียมะลามี้นสามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการแทนที่ทรายบางส่วน of คอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ อีกทั้งยังปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาให้ดีขึ้น นอกจากนี้ในแง่ของการนำไปใช้งาน ปริมาณการชะละลายของโลหะหนักยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์วัสดุในการทำวิจัย และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Soroushian, A. I. Eldarwish, A. Tlili and K. Ostowari, "Experimental Investigation of the Optimized use of Plastic Flakes in Normal-Weight Concrete", Magazine of Concrete Research 51, 1999, pp. 27-33.
- [2] M. Batayneh, I. Marie and I. Asi, "Use of Selected Waste Materials in Concrete Mixes", Waste Management 27, 2007, pp. 1870-1876.
- [3] P. Panyakapo and M. Panyakapo, "Reuse of Thermosetting Plastic Waste for lightweight Concrete", Waste Management 28, 2008, pp. 1581-1588.
- [4] S. Siwadamrongpong and J. Aphirakmethawong, "Effects of Particle Size and Content of Waste Melamine Formaldehyde on Mechanical Properties of High Density Polyethylene Composites", The 9th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2015.
- [5] J. Phaiphulphim and G. Kaewkulchai, "Effects of Sand and Water Quantity to Stress-Strain of Cellular Lightweight Concrete", UBU Engineering Journal 8, 2015, pp. 26-35.
- [6] K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, and P. Chindaprasir, "Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials", Procedia Engineering 14, 2011, pp. 1157-1164.
- [7] C. Chaitongrat and S. Siwadamrongpong, "Recycling of melamine formaldehyde waste in lightweight concrete as aggregate replacement", The 9th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2015.
- [8] S. Srichaiyo, C. Chaitongrat and S. Siwadamrongpong, "Mechanical Properties of Lightweight Concrete Containing Melamine Formaldehyde Waste Using Full Factorial Design", Journal of the Japan Institute of Metals and Materials 59, 2018, pp. 1216-1219.
- [9] Nursyamsi and W. S. B. Zebua, "The Influence of Pet Plastic Waste Gradations as Coarse Aggregate towards Compressive Strength of Light Concrete". Procedia Engineering 171, 2017, pp. 614-619.
- [10] C. Chaitongrat and S. Siwadamrongpong, "Recycling of melamine formaldehyde waste as fine aggregate in lightweight concrete", Songklanakarin Journal of Science and Technology 40, 2018, pp. 39-45.
- [11] Z. Madiha and J. Ammari, "Grading of fine [14] W. Nanthamontry, "Study of the solidification process of synthetic metal hydroxide using cement mixed with condensed silica dust", Master Thesis, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, 2000.

- [12] S. Asavapisit, P. Atipakya and P. Chaiprasert, "Solidification of Heavy Metal Sludge Using Portland cement and Steel Foundry Dust", *KKU Engineering Journal* 28, 2001, pp. 35-48.
- crushed stone and its effect on concrete properties used in the United Arab Emirates". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* 8, 2017, pp. 259-267.
- [13] S. Srichaiyo, C. Chaitongrat and S. Siwadamrongpong, "Utilization of Melamine Formaldehyde Waste as Fine Aggregate in Lightweight Concrete". *Journal of Engineering, RMUTT* 15, 2017, pp. 19-28. (in Thai)
- [14] W. Nanthamontry, "Study of the Solidification Process of Synthetic Metal Hydroxide Using Cement Mixed with Condensed Silica Dust", Master Thesis, School of Energy and Materials
- [15] W. Nanthamontry, "Study of the solidification process of synthetic metal hydroxide using cement mixed with condensed silica dust", Master Thesis, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, 2000.
- [16] S. Asavapisit, P. Atipakya and P. Chaiprasert, "Solidification of Heavy Metal Sludge Using Portland cement and Steel Foundry Dust", *KKU Engineering Journal* 28, 2001, pp. 35-48.