

การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์จากพลาสติกเหลือใช้ในชุมชน

Development of Cellular Lightweight Concrete using Municipal Plastic Waste

อภิวิชญ์ พูลสง^{1,*}, สมโภช ภู่อึ้ง² และ ปกาสิต ฮงทอง³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย กรุงเทพมหานคร 10330

²สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กรุงเทพมหานคร 10330

³สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร 10400

E-mail: apivichso@gmail.com

Apivich Poolsong^{1,*}, Sompoch Poopeerasupong² and Pakasit Hongthong³

¹Field of Construction Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus, Bangkok 10330, Thailand

²Field of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus, Bangkok 10330, Thailand

³Bureau of Materials, Analysis and Inspection, Department of Highways, Bangkok 10400, Thailand

E-mail: apivichso@gmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการนำขวดพลาสติกเหลือทิ้งจากชุมชนมาใช้ประโยชน์ถือเป็นหนึ่งในความพยายามที่สำคัญสำหรับการลดผลกระทบของขยะพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขวดพลาสติกที่เหลือทิ้งจากชุมชนมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์โดยขวดพลาสติกถูกบดย่อยเพื่อนำมาผสมร่วมกับมวลรวมละเอียดร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 และสารก่อฟองที่ได้จากการผสมกับน้ำอัตราส่วน 1:40 กำหนดความหนาแน่นของคอนกรีตสดที่ 900, 1,000, 1,100, 1,200 และ 1,300 กก./ลบ.ม. ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นแห้งแตกต่างจากความหนาแน่นควบคุมเล็กน้อย กำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นในขณะที่การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดสำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 10.5, 14.0, 18.1, 23.4 และ 28.0 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์; ขวดพลาสติกย่อย; ความหนาแน่นแห้ง; กำลังอัด; การดูดซึมน้ำ

Abstract

Nowadays, the recycling of municipal plastic waste is one of the most important actions to minimize their impacts on the environment. In this research, the feasibility of recycling municipal plastic waste as a mixture of cellular lightweight concrete was studied. The plastic waste was granulated and mixed with 30% by weight of fine aggregate. The water to binder ratio was 0.4, and the foaming agent obtained from the water was mixed at a ratio of 1:40. The density of fresh concrete was controlled at 900, 1,000, 1,100, 1,200, and 1,300 kg/m³. The results showed that the dry density was slightly different from the control density. The compressive strength tends to increase as the density increases, while the water absorption tends to decrease. At 28 days, the compressive strength for densities of 900-1300 kg/m³ was 10.5, 14.0, 18.1, 23.4, and 28.0 kg/m², respectively.

Keywords: Cellular lightweight concrete; Plastic waste; Dry density; Compressive strength; Water absorption

1. บทนำ

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลภาวะของโลกเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งในปัจจุบันเมืองใหญ่จะมีปริมาณขยะในแต่ละวันเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว [1] พลาสติกถือเป็นหนึ่งในวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายจนส่งผลทำให้พลาสติกกลายเป็นขยะที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็วในปัจจุบัน ในทุกทั่วโลกโดยเฉลี่ยของพลาสติกจะเป็นขยะที่มีปริมาณมากที่สุดรองลงมาจะเป็นหลอดเครื่องดื่ม ฝาพลาสติก และภาชนะบรรจุอาหาร เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยตัวเองเนื่องจากเป็นสารสังเคราะห์ [2] ดังนั้นนักวิจัยจึงได้พยายามหาวิธีการในการจัดการขยะพลาสติกเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมาในระยะยาว โดยแนวทางการนำขยะพลาสติกเหล่านี้มาใช้ในการผลิตวัสดุในงานก่อสร้าง หรือนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมคอนกรีตถือเป็นแนวทางหนึ่งที่เริ่มมีการศึกษากันในช่วงที่ผ่านมา

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ (Cellular Lightweight Concrete, CLC) เป็นคอนกรีตรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและยังมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนได้ดีอีกด้วย [3] นิยมนำมาทำเป็นอิฐสำหรับงานผนังอาคาร โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศที่ร้อนจึงได้รับความนิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ มาตรฐาน มอก. 1505 สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบฟองอากาศอบไอน้ำ [4] ซึ่งกระบวนการผลิตต้องผ่านกระบวนการการอบไอน้ำแรงดัน ส่งผลทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่สูง ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงเป็นบริษัทขนาดใหญ่ และมาตรฐาน มอก. 2601 สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ [5] หรือเรียกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์โดยแบ่งความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งออกเป็น 8 ชนิด หรือความหนาแน่นแห้งอยู่ระหว่าง 501-1,600 กก./ลบ.ม. การ

ผลิตระบบนี้ใช้ต้นทุนไม่สูงมากทำให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กสามารถลงทุนในกระบวนการผลิตได้ ทั้งนี้ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำและฟองโฟม จึงมีความพยายามในการศึกษาเพื่อนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาผสมรวมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส [9] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำขยะพลาสติกจากชุมชนมาทำการผสมรวมในการผลิตนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเพื่อลดต้นทุนในการผลิต และปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

วันโชค เครือหงษ์ และอภิวิชญ์ พูลสง [6] ได้ศึกษาสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค การนำความร้อนและการหดตัวแห้งของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่บางส่วนด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 ให้กำลังอัดสูง ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานที่อายุ 28 วันสูงกว่า ค่าที่ทางมอก. 2601-2556 กำหนด ปริมาณการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าลดลงและการดูดซึมน้ำมีค่าสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสควบคุมการลดลงของปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (C-S-H) แคลเซียมอลูมิโนซิลิเกตไฮดรต (C_2ASH_8) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮดรต (C_4AH_13) มีปริมาณเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังอัด ความพรุนและปริมาณโพรงคาปิลาริขนาดใหญ่ของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นของเถ้าขานอ้อย การใช้เถ้าขานอ้อยช่วยการลดการหดตัวแห้งและการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ศึกษาถึงโครงสร้างของช่องว่างอากาศในเนื้อวัสดุซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนาแน่น ความแข็งแรง ความเป็นฉนวนอากาศและการดูดซึมน้ำ พบว่าสามารถพัฒนาคอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูโลสมีสมบัติด้านความหนาแน่น ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 900 - 1,050 กก./ม.³ 2.50 - 3.15 เมกะปาสกาล และร้อยละ 11.5 - 15.28 ตามลำดับ

เฉลิมชัย ไชยธรัตน์ [4] ศึกษาอิทธิพลของเศษเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสโดยใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการแทนที่ทรายบางส่วน พบว่าการแทนที่ทรายด้วยเศษเมลามีนร้อยละ 25 แสดงกำลังรับแรงอัดสูงสุด และยังพบอีกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น อีกทั้งการแทนที่ทรายด้วยเศษเมลามีนส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสมีค่าความหนาแน่นแห้งแปรปรวนจากการควบคุมความหนาแน่นของคอนกรีตสดเล็กน้อย แต่ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้น

Nambiar และ Ramamurthy [7] ศึกษาปริมาณโฟมของคอนกรีตมวลเบาและพบว่าหน่วยน้ำหนักมีค่าลดลงด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาตรโฟม นอกจากนี้คอนกรีตผสมโฟมร้อยละ 0.40 - 0.50 โดยปริมาตร มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 840 - 1,132 กก./ม.³ Chatveera และคณะ [8] ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมหินฝุ่นแอนดิไซด์มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus, FM) เท่ากับ 2.0 2.5 และ 3.0 และพบว่า

คอนกรีตมวลเบาที่ผสมหินฝุ่นแอนดีไซต์ซึ่งมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.0 มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงสุด นอกจากนี้ Jitchaiyaphum และคณะ [9] ศึกษาคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ผสมเถ้าลอยและซีโอไลต์ธรรมชาติ โดยแทนที่เถ้าลอยและซีโอไลต์ธรรมชาติในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ผสมเถ้าลอยและซีโอไลต์ธรรมชาติร้อยละ 10 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีกำลังรับแรงอัดประมาณ 2.42 - 3.45 และ 2.05 - 4.27 เมกะปาสกาลตามลำดับ โดยการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและซีโอไลต์ธรรมชาติส่งผลให้ปริมาณโพรงคาปิลลารีขนาดใหญ่ (Large capillary pore) เพิ่มขึ้นตามร้อยละการแทนที่เพิ่มขึ้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Type I Portland cement; OPC) ตามมาตรฐาน ASTM C150
- 2) เถ้าถ่านหิน (Fly ash) เป็นเถ้าหรือวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาถ่านหินลิกไนต์เพื่อให้พลังงานในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า
- 3) มวลรวมละเอียดเป็นทรายแม่น้ำ ซึ่งผ่านการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิระหว่าง 110 ± 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16
- 4) น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต คือ น้ำประปา
- 5) สารก่อโฟม (Foaming Agent) หรือน้ำยากักกระจายฟองอากาศที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นสารก่อโฟมชนิดสังเคราะห์ ประเภทประจุลบ สูตรสารเพิ่มฟองเพื่อการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์จากผู้ผลิตในประเทศไทย

2.2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์

ส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์โดยกำหนดความหนาแน่นของคอนกรีตสดเท่ากับ 900, 1,000, 1,100, 1,200, และ 1,300 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ แนวคิดในการนำขวดพลาสติกย่อยมาใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์โดยการผสมรวมเถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และขวดพลาสติกย่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ซีเมนต์และเถ้าลอย) คงที่ทุกส่วนผสมเท่ากับ 0.40 รายละเอียดอัตราส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 1

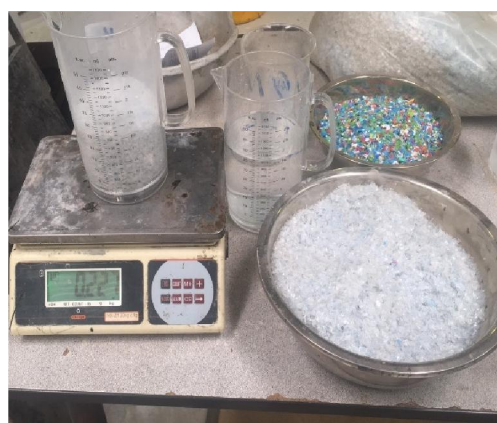
ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเบเซลลูลาร์

วัสดุ (kg/m ³)	900	1000	1100	1200	1300
ปูนซีเมนต์	403	400	398	395	390
เถ้าลอย	10%	10%	10%	10%	10%
เถ้าลอย	40.3	40	39.8	39.5	39
ทราย	210	291	370	451	532
ขวดพลาสติกย่อย	30%	30%	30%	30%	30%
ขวดพลาสติกย่อย	63	87.3	111	135.3	159.6
น้ำ	180	177	175	172	170
สารก่อโฟม	3.7	4.7	6.2	7.2	9.4

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 การเตรียมและบดย่อยขวดพลาสติก

ขั้นตอนนี้นำขวดน้ำดื่มพลาสติกโดยมีการแยกฝากับขวด และแผ่นฟิล์มออก มาบดด้วยเครื่องบดย่อยขวดพลาสติกที่มีการติดตั้งตะแกรงขนาดรู 10 มิลลิเมตร เพื่อให้ขวดพลาสติกมีขนาดไม่เล็กกว่า 5 มิลลิเมตร (หากขวดพลาสติกย่อยมีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร จะกลายเป็นไมโครพลาสติก) ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นจึงล้างทำความสะอาดขวดพลาสติกที่ย่อยแล้วด้วยน้ำประปาพร้อมหาโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ตามมาตรฐาน ASTM C136 [10]



ก) เครื่องบดย่อยพลาสติก ข) ขวดพลาสติกที่บดย่อยแล้ว ค) ขวดพลาสติกที่บดย่อยแล้ว

รูปที่ 1 เครื่องบดย่อยขวดพลาสติกและขวดพลาสติกที่บดย่อยแล้ว

2.3.2 การเตรียมฟองโฟม

การเตรียมฟองโฟมโดยการเตรียมน้ำสะอาด จำนวน 40 ลิตร และสารก่อโฟมจำนวน 1 ลิตร หรืออัตราส่วน 40:1 นำมาผสมกันอย่างช้าๆ ทำการสร้างฟองโฟมด้วยเครื่องสร้างฟองโฟมแบบควบคุมเวลาพร้อมต่อเข้ากับถังลมซึ่งจะทำการรักษาระดับความดันคงที่ในช่วง 0.6-0.8 บาร์ เมื่อความดันคงที่จึงทำการเปิดให้ฟองโฟมให้ไหลออกมาผสมกับคอนกรีตที่ได้เตรียมไว้ดังแสดงในรูปที่ 2



ก) ถังลม



ข) สารก่อโฟม



ค) ฟองโฟมที่ใช้ผสมคอนกรีต

รูปที่ 2 เครื่องสร้างฟองโฟมแบบควบคุมเวลา

2.3.3 การเตรียมคอนกรีตมวลเบา

การเตรียมคอนกรีตมวลเบาโดยการผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดผ่านเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบา เซลลูล่าแบบใบกวนในแนวนอนดังแสดงในรูปที่ 3



ก) เครื่องผสมคอนกรีต



ข) การนำส่วนผสมใส่เครื่องผสม



ค) ใบกวนในแนวนอน

รูปที่ 3 เครื่องผสมคอนกรีตแบบใบกวนในแนวนอน

การผสมคอนกรีตเซลลูล่าเป็นกระบวนการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เนื่องจากโครงสร้างของฟองโฟมที่ผสมคอนกรีตเซลลูล่ามีความแข็งแรงไม่มาก ในกระบวนการผสมจึงต้องไม่ให้ฟองโฟมเกิดความเสียหาย เพื่อให้ฟองอากาศกระจายแทรกตัวตามเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอการผสมไม่ควรดีหรือหมุนให้เร็วเกินไป เพราะจะทำให้ฟองอากาศเกิดการแตกตัวง่าย

2.3.4 การหล่อคอนกรีต

หลังจากผสมจนมีความสม่ำเสมอแล้ว ทำการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตสดจนอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ทำการเทคอนกรีตลงแบบหล่อ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัวหรือไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงทำการแกะก้อนตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่อเพื่อทำการบ่มขึ้นโดยใช้พลาสติกหุ้มดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อรอการทดสอบตามอายุที่กำหนดไว้



ก) หาหนาแน่นของคอนกรีตสด ข) เทคอนกรีตลงแบบหล่อ ค) การบ่มชื้นโดยใช้พลาสติกหุ้ม
รูปที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตหลังถอดออกจากแบบหล่อ

2.4 วิธีการทดสอบ

1) การทดสอบความหนาแน่นแห้ง (Dry Density Test) ของชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด $150 \times 150 \times 150$ มม. ที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน ตามลำดับ โดยคำนวณความหนาแน่นจากสัดส่วนของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบหลังอบเป็นเวลา 24 ชม. กับปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ

2) การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength Test) ของชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด $150 \times 150 \times 150$ มม. ที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน ตามลำดับ โดยเลือกสองด้านที่เรียบตรงข้ามกันของชิ้นทดสอบเป็นด้านสำหรับการใช้ในการทดสอบการรับน้ำหนักกระทำแก่ตัวอย่างคอนกรีต กำหนดอัตราการเพิ่มของแรงอัดคงที่เท่ากับ 0.40 เมกะพาสคัล/วินาที จนกระทั่งคอนกรีตวิบัติหรือไม่สามารถรับแรงที่สูงขึ้นได้ต่อไปอีก กำลังที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต 3 ก้อน

3) การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด $150 \times 150 \times 150$ มม. ที่อายุ 28 วัน โดยทำการอบตัวอย่างในเตาอบจนแห้งได้มวลคงที่ จากนั้นนำไปแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ผ้าซับน้ำส่วนเกินที่ผิวของตัวอย่างทดสอบและชั่งน้ำหนักภายในเวลา 180 วินาที จากนั้นทำการคำนวณหาอัตราการดูดซึมน้ำจากอัตราส่วนระหว่างมวลของน้ำที่ถูกดูดซึมกับมวลของตัวอย่างเมื่อแห้ง

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

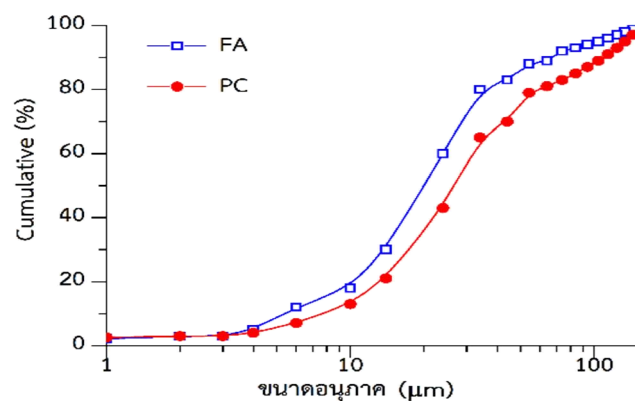
3.1 สมบัติของวัสดุประสานและมวลรวมละเอียด

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุประสานในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 7.06 ไมโครเมตร และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 ในขณะที่เถ้าลอยมีลักษณะผงละเอียดสีน้ำตาล ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 8.80 ไมโครเมตร และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.01 สังเกตได้ว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยมีขนาดใกล้เคียงกัน ปูนซีเมนต์มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 2.20-123.04 ไมโครเมตร โดยที่เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 2.56-144.20 ไมโครเมตร ลักษณะการกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยดังแสดงในรูปที่ 5

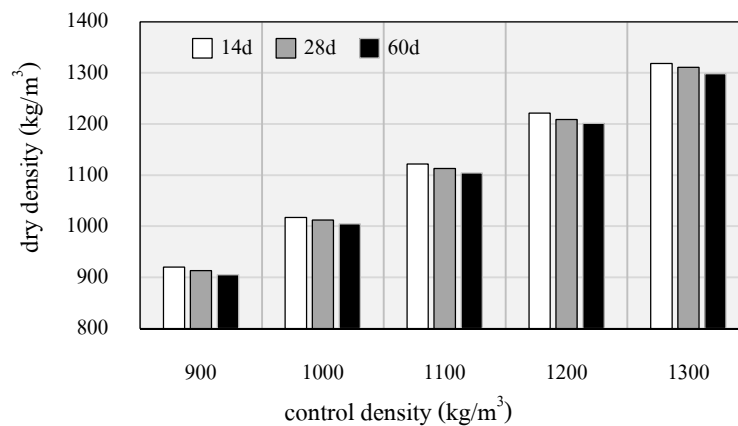
สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของมวลรวมละเอียดในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าทรายมีลักษณะเป็นก้อนมนสีน้ำตาล โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.99 ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.50 และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.34 ในขณะที่ขยะพลาสติกบดย่อยมีลักษณะเป็นแผ่นแบนสีขาว โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.90 ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.46

3.2 ความหนาแน่นแห้ง

จากผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน สำหรับในแต่ละการออกแบบส่วนผสมที่กำหนดความหนาแน่นของคอนกรีตสดเท่ากับ 900, 1,000, 1,100, 1,200 และ 1,300 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ผสมขยะพลาสติกย่อยและเถ้าลอย ที่อายุ 14 วัน ความหนาแน่นแห้งมีค่าเท่ากับ 920, 1,017, 1,122, 1,221 และ 1,318 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน ความหนาแน่นแห้งมีค่าเท่ากับ 913, 1,012, 1,113, 1,209 และ 1,311 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ และที่อายุ 60 วัน ตามลำดับ ความหนาแน่นแห้งมีค่าเท่ากับ 905, 1,005, 1,104, 1,201 และ 1,298 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ เห็นได้ว่าความหนาแน่นแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้น และความหนาแน่นแห้งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่กำหนด โดยค่าความคลาดเคลื่อนความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 22 กก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601 ซึ่งกำหนดความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ต้องมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ไม่เกิน ± 50 กก./ลบ.ม.



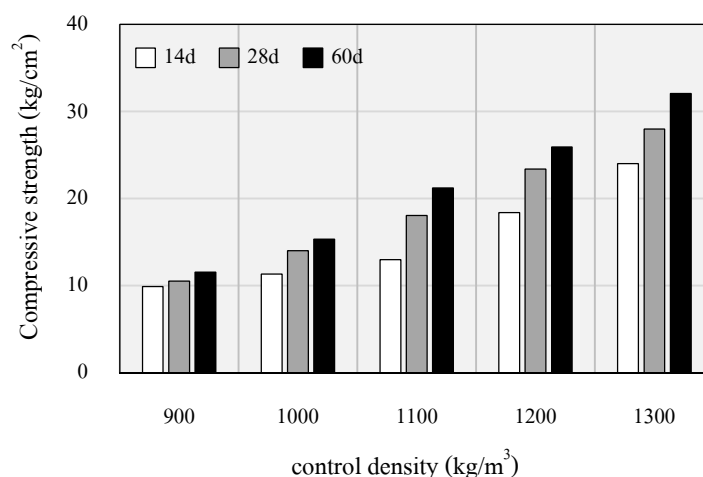
รูปที่ 5 การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ เถ้าลอย



รูปที่ 6 ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตมวลเบาที่อายุต่างกัน

3.3 กำลังอัด

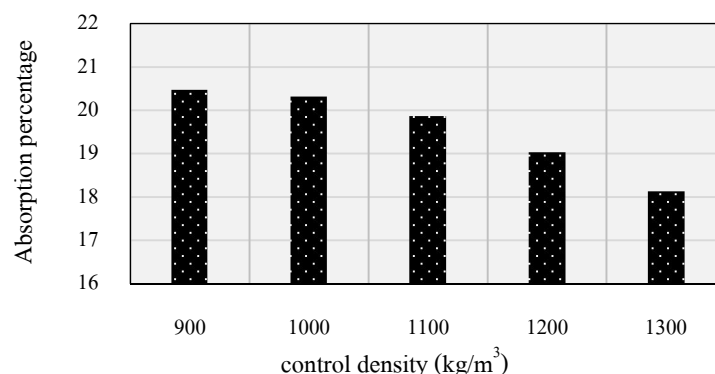
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างทดสอบที่อายุ 14 วัน สำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 9.9, 11.3, 13.0, 18.4 และ 24.0 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างทดสอบที่อายุ 28 วัน สำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 10.5, 14.0, 18.1, 23.4 และ 28.0 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างทดสอบที่อายุ 60 วัน สำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 11.5, 15.3, 21.2, 25.9 และ 32.1 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยกำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุในการบ่มและความหนาแน่นควบคุมเพิ่มขึ้น กำลังที่ได้จากการทดสอบอายุ 28 วันคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ความหนาแน่น มากกว่า 1200 กก./ลบ.ม.มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐาน มอก.2601 กำหนดกำลังอัดตาม มอก. ต้องไม่น้อยกว่า 25.5 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่อายุต่างกัน

3.4 การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตตัวอย่างทดสอบสำหรับความหนาแน่น 900-1300 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 20.5, 20.3, 19.9, 19.0 และ 18.1 ตามลำดับ โดยร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าสูงสุด 20.5 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน มอก.2601 ซึ่งกำหนดร้อยละการดูดซึมน้ำไม่มากกว่า 23 สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่นระหว่าง 801-1,200 กก./ลบ.ม. และไม่มากกว่าร้อยละ 20 สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่นระหว่าง 1,201-1,600 กก./ลบ.ม.



รูปที่ 8 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น กำลังอัดและการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น กำลังอัดและการดูดซึมน้ำของ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่อายุ 28 วันดังแสดงในรูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความหนาแน่น แห่งพบว่ากำลังอัดมีความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตามความหนาแน่นกล่าวคือ กำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความ หนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้นดังแสดงในสมการที่ 1 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าในทางตรงกันข้ามกำลังอัดมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับอัตราการดูดซึมน้ำ กล่าวคือกำลังอัดมีแนวโน้ม ลดลงเมื่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเพิ่มขึ้นดังแสดงในสมการที่ 2

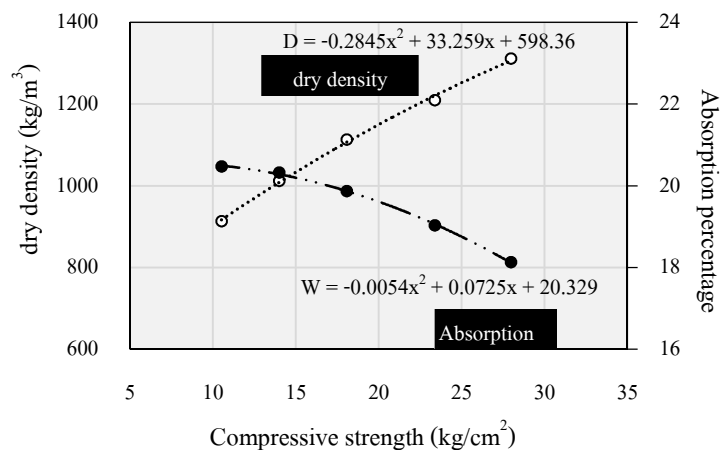
$$D = -0.2845x^2 + 33.259x + 598.36 \quad (1)$$

$$W = -0.0054x^2 + 0.0725x + 20.329 \quad (2)$$

เมื่อ

D คือความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)

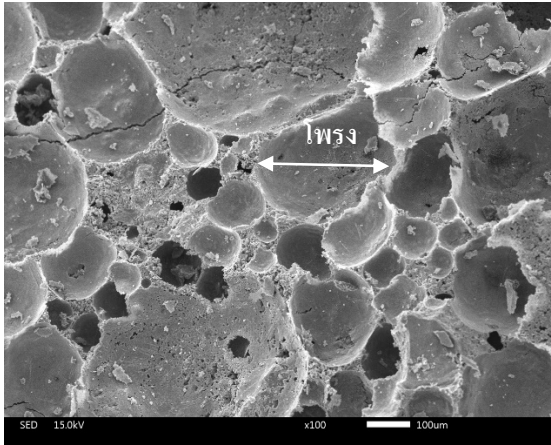
W คือร้อยละการดูดซึมน้ำ(ร้อยละ)



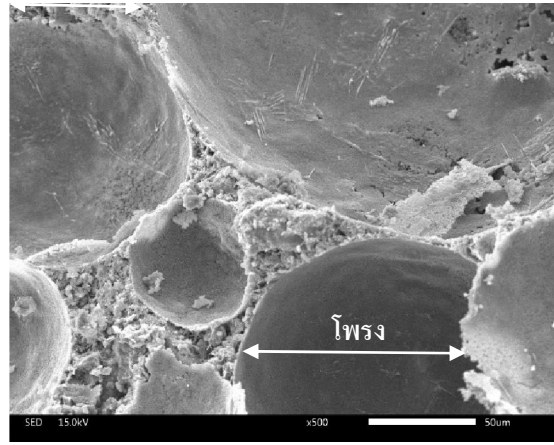
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น กำลังอัดและการดูดซึมน้ำ

3.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์

การวิเคราะห์ผิวเกาะเกาะดังแสดงในรูปที่ 10 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า SEM ของ Fractured surface ของคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ พบว่ามีการยึดเกาะกันระหว่างมวลรวมละเอียดทรายและซีเมนต์เพสต์ได้ค่อนข้างดี สังเกตได้จากบริเวณแนวรอยต่อระหว่างทรายและซีเมนต์เพสต์โพรงในคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์เป็นโพรงอากาศมีรูปร่างทรงกลมมีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตรไปถึง 200 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นโพรงปิดโดยระหว่างโพรงอากาศจะเป็นเนื้อเพสต์ซึ่งประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กที่มีความต่อเนื่องซึ่งส่วนใหญ่เป็นโพรงคาปิลลารีขนาดใหญ่ (Large capillary pore) มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรและมีผลต่อการซึมผ่าน คอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ผสมขวดพลาสติกย่อยสลายดังรูปที่ 11 พบว่ามีการยึดเกาะกันระหว่างขวดพลาสติกย่อยและซีเมนต์เพสต์ได้ดีเช่นเดียวกันซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนบริเวณผิวรอยแตกของเศษพลาสติกที่เกิดจากการบดย่อยที่มีผิวขรุขระ อีกทั้งการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย ยังส่งผลให้การยึดเกาะกันระหว่างขวดพลาสติกย่อยและซีเมนต์เพสต์เกิดได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วยโดยสังเกตได้จากบริเวณแนวรอยยึดเกาะระหว่างขวดพลาสติกย่อยและซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างที่เล็กลง นั่นคือขวดพลาสติกย่อยและซีเมนต์เพสต์มีการยึดเกาะกันแบบแนบชิดยิ่งขึ้น สำหรับคอนกรีตมวลเบาผสมขวดพลาสติกย่อยสามารถเห็นการยึดเกาะกันระหว่างขวดพลาสติกย่อยและซีเมนต์เพสต์ได้ และยังสามารถสังเกตเห็นการยึดเกาะกันระหว่างทรายและซีเมนต์เพสต์ที่ดีขึ้น นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยยังส่งผลให้การยึดเกาะกันระหว่างทรายและซีเมนต์เพสต์เกิดได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากบริเวณแนวรอยยึดเกาะระหว่างทรายและซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างที่เล็กลง



ก) ขยาย 100 เท่า

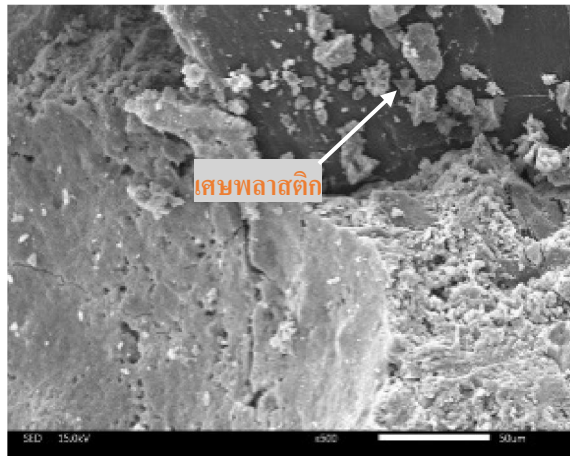


ข) ขยาย 500 เท่า

รูปที่ 10 SEM ของ Fractured Surface ของคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ที่อายุการบ่ม 28 วัน



ก) ขยาย 100 เท่า



ข) ขยาย 500 เท่า

รูปที่ 11 SEM ของ Fractured Surface ของคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ผสมพลาสติก

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำขวดพลาสติกย่อยเพื่อเป็นส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลพบว่าความหนาแน่นแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นแห้งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่กำหนด โดยค่าความคลาดเคลื่อนความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 22 กก./ลบ.ม โดยร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าสูงสุด 20.5 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานมอก. 2601-2556 ชนิด C9, C10 และ C12 [2] ส่วนกำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุในการบ่มและความหนาแน่นควบคุมเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตามความหนาแน่นแห้ง ในทางตรงกันข้ามกำลังอัดมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับ

อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของธนกร ทวีวุฒิ และ นท แสงเทียน [7] ซึ่งศึกษาแล้วพบว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์มีค่าระหว่าง 10.7-18.5 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร และค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำพบอยู่ในช่วงร้อยละ 8.3-49.3

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมขุควัสดุพลาสติกย่อยร้อยละ 30 ที่ความหนาแน่นมากกว่า 1200 กก./ลบ.ม. มีศักยภาพในการแทนที่ทรายสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ [2] และในส่วนของต้นทุนการผลิตนั้น จะมีราคาถูกกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ไม่ได้มีการแทนที่ด้วยขุควัสดุพลาสติก เนื่องจากขุควัสดุพลาสติกเป็นวัสดุที่เมื่อนำมาใช้งานแล้ว ไม่นำมาใช้งานซ้ำ จึงถือว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีขุควัสดุพลาสติกย่อยเข้าไปผสมไม่เพียงแต่ลด ต้นทุนเท่านั้นยังเป็นการลดขยะเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เลขที่สัญญารับทุน น.สทสว 28/2563 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณอภัย ชาภิรมย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องสร้างฟองโฟม และเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสแบบใบ กวนแนวนอน และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ ศูนย์นวัตกรรมก่อสร้างและเทคโนโลยีวัสดุอุเทนถวาย คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบ มีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มอก. 1505-2541, 2541.
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบ เติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556, 2556.
- [3] อภิวิชญ์ พูลสง, “การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาผสมผงฝุ่นหินจากโรงโม่หิน,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, 2556, หน้า 94-102.
- [4] เฉลิมชัย ไชยธรรตน์ และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, “การรีไซเคิลเศษเมลามีนโดยใช้เป็นวัสดุมวลรวมใน คอนกรีตมวลเบา,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, นครราชสีมา, 2559, หน้า 232-330.
- [5] ปิติ สุคนธ์สุขกุล, คอนกรีตพิเศษ, ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2558.

- [6] วันโชค เครือหงษ์ และ อภิวินัย พูลสง, “สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค การนำความร้อนและการหดตัว
แห้งของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสผสมเถ้าขานอ้อย,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 13, ฉบับ
ที่ 2, 2560, หน้า 22-38.
- [7] ธนกร ทวีวุฒิ และ นท แสงเทียน, “กำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส,”
วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, 2558, หน้า 91-102.
- [8] มงคลชัย อัสวดิษฐ์เลิศ และ เจริศ จำปา, “การใช้ประโยชน์จากซากแพลงก์ตอนอินทรีย์ (ส่วนอโลหะ)
และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม,” วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, 2561, หน้า 34-43.
- [9] สุจิตรา วาสนาดำรงดี, “ภาพรวมมาตรการลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งในต่างประเทศ,” วารสาร
สิ่งแวดล้อม, ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, 2562, หน้า 1-10.
- [10] K.S. Rebeiz and A.P. Craft, “Plastic Waste Management in Construction: Technological and Institutional
Issues,” Resources, Conservation and Recycling, Vol. 15, No. 3-4, 1995, pp. 245-257.