คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำผสมพลาสติกสำหรับประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง

ธีรัช กัลยา อนุพงศ์ คำปลอด[2] ธนกฤต เทพอุโมงค์ * และ ธนกร ชมภูรัตน์

[1] นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[2] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[3] รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: thanakit.th@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างในปัจจุบันมีการขยายตัวขึ้นจากอดีตส่งผลให้วัสดุก่อสร้างขาดแคลน ซึ่งส่วนใหญ่ล้วนแต่เป็นวัสดุจากธรรมชาติส่งผลทำให้ปริมาณวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ (Controlled low strength material, CLSM) โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุรีไซเคิล ประกอบด้วย เถ้าลอย และเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ คอนกรีตรีไซเคิลจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างในงานวิศวกรรม ขยะพลาสติกจากขวดพลาสติกเหลือทิ้ง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเป็นตัวชะละลายสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง โดยจะศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม และคุณสมบัติด้านกำลังของ CLSM โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 โมลาร์เป็นตัวชะละลาย และแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนัก และคอนกรีตรีไซเคิลในอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อวัสดุประสาน 1.5 และใช้เถ้าลอยกับขยะพลาสติกเป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนขยะพลาสติกต่อวัสดุประสานร้อยละ 0 0.25 0.5 และ 1.0 ตัวอย่าง CLSM จะถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ประกอบไปด้วย การยุบตัว การยุบตัวแบบไหลแผ่ ระยะเวลาการก่อตัว การเยิ้มน้ำ หน่วยน้ำหนัก และนำมาทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักสำหรับใช้ในการออกแบบผิวทาง

คำสำคัญ: วัสดุควบคุมกำลังต่ำ, กำลังรับแรงอัดแกนเดียว, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, คอนกรีตรีไซเคิล, ขยะพลาสติก

The current construction business has expanded from the past, resulting in a shortage of construction materials. Most of which are natural materials, resulting in a continuous decrease in the amount of natural materials available and likely to run out in the future. Therefore, this research aims to study Mix ratio of Controlled low strength material (CLSM). By using industrial waste and recycled materials. Contains fly ash and bottom ash from Mae moh power plant. Recycled concrete from demolition of buildings in engineering Plastic waste from plastic bottles and sodium hydroxide solution as a solvent for Pavement Engineering Applications. It will study the basic properties of engineering. And strength properties of CLSM using a solution of sodium hydroxide at a concentration of 10 molar as a solvent. And replace the fine aggregates with bottom ash. And recycled concrete at the ratio of fine aggregate to binder 1.5, and fly ash and plastic waste were used as binders at the ratio of plastic waste to binder of 0, 0.25, 0.5 and 1.0 percent. CLSM samples are tested for basic engineering properties, including collapse, diffusion, flow. Formation time, water oozing, unit weight and unconfined compressive strength properties were tested. This is a key parameter for pavement design.

Keywords: Controlled low-strength material, Unconfined compressive strength, Sodium hydroxide, Recycled concrete, Plastic

1. คำนำ

ปัจจุบันหลายๆ ประเทศมีความต้องการวัสดุก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่วนใหญ่ล้วนเป็นวัสดุจากธรรมชาติส่งผลทำให้ปริมาณวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคต

จากเหตุดังกล่าวทำให้มีนักวิจัยส่วนมากหันมาใช้วัสดุเหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ (Arulrajah et al., 2012; Panuwat et al., 2018) หรือที่เรียกว่าวัสดุรีไซเคิล (Recycled materials) มาใช้ทดแทนวัสดุจากธรรมชาติที่กำลังจะหมดลง ยกตัวอย่างเช่นการใช้วัสดุที่ได้จากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างในงานวิศวกรรมโยธาประกอบไปด้วย คอนกรีต อิฐ ไม้ เหล็ก พลาสติก เป็นต้น โดยคอนกรีตมีสัดส่วนมากที่สุดถึง 58% ของวัสดุรีไซเคิลทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้มีนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจในการนำวัสดุรีไซเคิลคอนกรีตมวลรวมมาศึกษาวิจัยและประยุกต์ใช้อย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่ใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง และรองพื้นทางในงานวิศวกรรมผิวทาง

ข้อมูลจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมระหว่างปี พ.ศ.2552-2561 มีปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 24.11 ล้านตัน เป็น 27.93 ล้านตัน (Panjawara et al., 2021) ถ้าพิจารณาเฉพาะขยะพลาสติก (Plastic waste) พบว่าในปี พ.ศ.2561 มีขยะพลาสติกมากถึง 12% ของขยะมูลฝอยทั้งหมดหรือคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 2 ล้านตัน สำหรับขยะพลาสติกมีเพียง 25% เท่านั้นที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ (Panjawara et al., 2021) ซึ่งหนึ่งในนั้นเป็นขยะพลาสติกประเภทขวดชนิดโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.38-1.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พลาสติกประเภทนี้มีจุดเด่นคือ มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นสูง และราคาไม่สูง สามารถนำมาบรรจุอาหารและเครื่องดื่มได้ การนำขยะพลาสติกประเภทขวดไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมผิวทางจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งได้ อีกทั้งยังช่วยในการลดปัญหามลภาวะของสิ่งแวดล้อมและลดการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งเกิดมาจากการเผาไหม้ของพลาสติก

วัสดุควบคุมกำลังต่ำ (Controlled low-strength material, CLSM) เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทดแทนดินบดอัด โดยจะมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตที่ไหลเข้าในที่แคบได้ดี (Adnan et al., 2002) CLSM มักนำไปใช้ในงานที่ไม่สามารถบดอัดดินให้แน่นได้ เนื่องจากลักษณะพื้นที่ทำงานแคบ เช่น การก่อสร้างท่อระบายน้ำ กำแพงกันดิน หรืองานโครงสร้าง เช่น การปรับระดับฐานราก ผิวทาง เป็นต้น

วัสดุควบคุมกำลังต่ำจะประกอบด้วย สารเชื่อมประสาน (Binder) มวลรวม (Aggregates) และ น้ำ(Water) โดยทั่วไปสารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ก็คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตคอนกรีต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้มาจากกระบวนการเผาสารซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1400 – 1600 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ละเอียดตามความต้องการ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานสูงมากในกระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่การระเบิดภูเขาหินปูน การย่อย การเผา ตลอดจนการบดให้ละเอียด ผลกระทบจากกระบวนการการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) และส่งผลอย่างมากต่อปัญหาภาวะโลกร้อน (Davidovits et al., 2013) ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจึงมีการนำวัสดุมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อาทิ วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material) ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม คือ เถ้าลอย (Fly ash) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับขยะพลาสติกและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสสูงเพื่อเป็นตัวชะละลายซิลิกาและอะลูมินา ออกจากผิวของวัสดุประสาน และผสมมวลรวมละเอียดโดยใช้ เถ้าหนัก (Bottom ash) และคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled concrete) แทนที่ทรายจากธรรมชาติ มีงานวิจัยที่พยายามศึกษาพร้อมกับลดต้นทุนโดยการใช้วัสดุเหลือทิ้งมาผสมเป็น CLSM เช่น การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่เป็นมวลรวมหยาบสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และจีโอโพลิเมอร์ (Thiti et al., 2021) ความคงทนของวัสดุคอนกรีตรีไซเคิลที่ปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์เพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทาง (Patpong et al., 2017)งานวิจัยที่กล่าวมานี้ใช้ขยะพลาสติกและคอนกรีตรีไซเคิลอย่างใดอย่างหนึ่งแต่ยังไม่เคยนำมาใช้ร่วมกันนักวิจัยจึงเล็งว่าควรนำมาทดลองใช้ร่วมกันเพื่อทดสอบคุณสมบัติของ CLSM

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมของ CLSM จากวัสดุที่เหลือใช้คือ เถ้าลอย เถ้าหนัก คอนกรีตมวลรวม และขยะพลาสติกสำหรับนำไปใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง โดยศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมประกอบไปด้วย กำลังรับแรงอัด (Unconfined compressive strength, UCS) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักสำหรับใช้ในการออกแบบผิวทาง นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังศึกษาคุณสมบัติทางจุลภาคของ CLSM

. การเตรียมวัสดุและการทดสอบ

2.1. *วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ*

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เถ้าลอย (Fly ash) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 1(a) เถ้าหนัก (Bottom ash) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 1(b) คอนกรีตรีไซเคิล (Recycled concrete) ได้จากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างในงานวิศวกรรมโยธา ดังแสดงในรูปที่ 1(c) พลาสติก (Plastic) พลาสติกประเภทขวดชนิดโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ได้จากขวดพลาสติกเหลือทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 1(d) โดยที่ใช้เถ้าลอยและพลาสติกเพื่อเป็นวัตถุประสาน และเถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิลนำมาใช้เพื่อทดแทนมวลรวม ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังรูปที่ 1(e) เป็นตัวชะละลาย

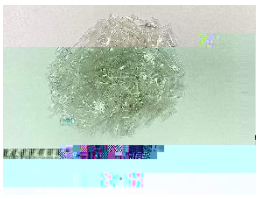


(a)



(b)


(c)


(d)


(e)

รูปที่ วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ (a) เถ้าลอย (b) เถ้าหนัก (c) คอนกรีตรีไซเคิล (d) พลาสติก (e) โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2. การจัดเตรียมวัสดุทางเคมี

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ที่มีขายตามท้องตลาดอยู่ในรูปเกล็ดจึงต้อง มีการเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายของเหลวและให้มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ (Molar, M) อ้างอิงการเลือกความเข้มข้นจากกงานวิจัย Pourakbar et al., (2015) ตาม วัตถุประสงค์การวิจัย โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดังสมการที่ 1

$$g = \left(\frac{CMV}{1000}\right) \quad (1)$$

โดย C คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)
g คือ น้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปของเกล็ด (g)
M คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเท่ากับ 40 (g/mol)
V คือ ปริมาตรน้ำที่ต้องการ (ml)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสม CLSM ต่อปริมาตรส่วนผสม 1 ลบ.ม.

Mixture	Mixing liquid		Binder	Fine aggregates		Fiber
	10 M NaOH	Water (L/m^3)	FA (kg/m^3)	BA (kg/m^3)	RCA (kg/m^3)	Plastic (%)
BA-0P	20	300	535	802	-	0
BA-0.25P	20	300	535	802	-	0.25
BA-0.5P	20	300	535	802	-	0.5
BA-0P	20	300	535	802	-	1.0
RCA-0P	20	300	535	-	802	0
RCA-0.5P	20	300	535	-	802	0.25
RCA-0.5P	20	300	535	-	802	0.5
RCA-1.0P	20	300	535	-	802	1.0

2.3. การทดสอบ

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุควบคุมกำลังต่ำผสมพลาสติกสำหรับประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง

2.3.1. การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump test)

การทดสอบนี้เป็นวิธีการหาค่าความข้นเหลวของ CLSM ในสภาพของเหลวตามมาตรฐาน ASTM C1611 เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับคอนกรีตที่ สามารถอัดตัวด้วยตัวเอง (self-consolidating concrete) โดยตัก CLSM ใส่กรวยตัดแบ่งเป็นสามชั้น ให้ปริมาณเท่ากัน โดยแต่ละชั้นให้ตำด้วยเหล็กตำ 25 ครั้ง เมื่อเต็มแบบหล่อให้ปาดผิวหน้าของ CLSM ให้เรียบ จากนั้นดึงแบบหล่อทรงกรวยขึ้นตรงๆ แล้ววัดการยุบตัวของ CLSM ที่เวลา 0 30 60 90 และ120 นาที

2.3.2. การทดสอบค่าการยุบตัวแบบไหลแผ่ (Slump flow test)

การทดสอบนี้เป็นวิธีการหาความสามารถในการไหลของ CLSM เพราะ CLSM ต้องมีคุณสมบัติการไหลที่ดีและมากกว่า 65 cm ตามมาตรฐานคอนกรีตที่สามารถอัดตัวได้ด้วยตัวเอง (EFNARC ,2002) โดยกลับด้านของกรวยตัดให้ด้านที่มีขนาดใหญ่กว่าอยู่ด้านบน ต่อมาให้ตัก CLSM ใส่กรวยตัดแบ่งเป็นสามชั้นให้ปริมาณเท่ากัน โดยแต่ละชั้นให้ตำด้วยเหล็กตำ 25 ครั้ง เมื่อเต็มแบบหล่อให้ปาดผิวหน้าของ CLSM ให้เรียบ จากนั้นดึงแบบหล่อทรงกรวยขึ้นตรงๆ แล้ววัดการยุบตัวแบบไหลแผ่ของ CLSM ที่เวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที

2.3.3. การทดสอบระยะเวลาการก่อตัว (Setting time)

การทดสอบนี้เป็นวิธีการทดลองหาระยะเวลาการก่อตัวของ CLSM เริ่มตั้งแต่ CLSM สัมผัสกับน้ำซึ่งได้แบ่งการก่อตัวออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะเวลาการก่อตัวตน (Initial setting time) และระยะเวลาการก่อตัวปลาย (Final setting time) สำหรับการทดลองเพื่อหาเวลาการก่อตัวระยะต้นและปลายของ CLSM จะใช้วิธีของเข็มไวแคต (Vicat needle) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 191

2.3.4. การทดสอบการเยิ้ม (Bleeding test)

การทดสอบนี้เป็นการคายน้ำจากส่วนผสม CLSM ที่มีเหลือจากการทำปฏิกิริยา โดยปรากฏการณ์นี้มีลักษณะที่สำคัญคือ น้ำบางส่วนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดของส่วนผสมจะถูกดันให้ลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของ CLSM อันเนื่องมาจากการจมลงของมวลรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่หนักกว่า โดยการเยิ้มเป็นรูปแบบหนึ่งของการแยกตัว ซึ่งมีสาเหตุมาจากส่วนผสมไม่สามารถที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ขณะที่มวลรวมจมลง และการเยิ้มจะหยุดเมื่อ CLSM แข็งตัวพอที่จะหยุดกระบวนการจมลงของมวลรวม

2.3.5. การทดสอบหน่วยน้ำหนัก (Unit weight)

การทดสอบหาค่าน้ำหนักของมวลตัวอย่างต่อปริมาตร หาได้ด้วยการวัดขนาดที่แน่นอนของตัวอย่างโดยใช้เวอร์เนียวัดความสูงของตัวอย่างอย่างน้อย 3 ค่ารอบตัวอย่าง และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างอีก 3 ค่า บนกลาง และล่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่แน่นอนของตัวอย่าง แล้วจึงทำการชั่งตัวอย่าง

2.3.6. การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined compression test)

การทดสอบแรงอัดโดยปราศจากแรงด้านข้าง เพื่อหากำลังต้านทานแรงเฉือนที่ไม่มี แรงดันด้านข้างมากระทำต่อผิวตัวอย่าง โดยใช้เครื่องกดทำการทดสอบตัวอย่างที่ถูกเตรียมด้วยโมล PVC ทรงกระบอกผ่าครึ่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.08 cm สูง 10.16 cm ที่มีอายุการบ่ม 7 14 28 60 และ 90 วัน ขณะทำการกดตัวอย่างจะทดสอบด้วยอัตราความเร็วคงที่ที่ 1.0 mm/min โดยวิธีนี้ง่ายทำได้สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนั้นน้ำยังไม่สามารถระบายไปได้โดยปกติจะอิ่มตัว ซึ่งค่ามุมเสียดทานจะมีค่าเป็นศูนย์และค่าความต้านทานแรงเฉือนเท่ากับครึ่งหนึ่งของความต้านทานต่อแรงอัดสูงสุดแบบไม่ถูกจำกัดซึ่งได้จากการทดลองนี้

. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุตั้งต้นเป็นไปตามมาตรฐาน สมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials, ASTM) โดยมีการทดสอบ หาขนาดคละของวัสดุ การทดสอบความถ่วงจำเพาะ การทดสอบหาความหนาแน่น และการทดสอบร้อยละการดูดซึมของน้ำ ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุตั้งต้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุตั้งต้น

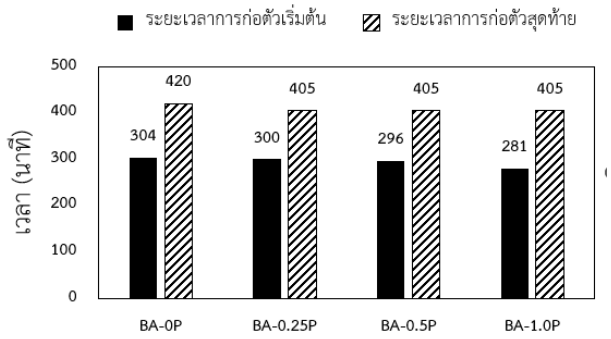
Basic properties	Results		
	Fly ash	Bottom ash	RCA
Specific gravity	2.51	2.65	2.69
Unit weight (kg/m^3)	1,277	1,306	1,396
Absorption (%)	0.36	3.90	5.29
D_{10}	0.07	0.12	0.11
D_{30}	0.08	0.43	0.61
D_{50}	0.10	1.00	1.4
D_{60}	0.12	1.50	1.7
C_c	0.65	1.03	1.98
C_u	1.62	12.50	15.45

3.1. *การทดสอบค่าการยุบตัว*

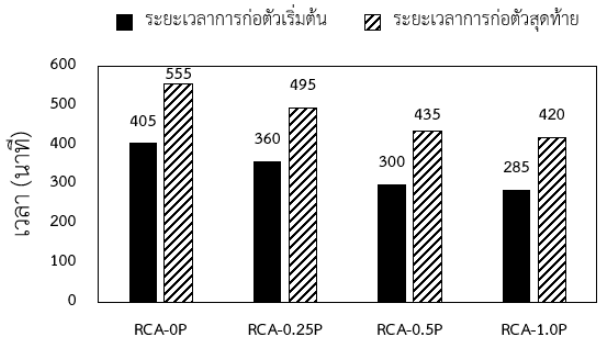
การทดสอบค่าการยุบตัว (slump test) พบว่าค่าการยุบตัวของ CLSM หลังผสมเสร็จทันทีมีค่าการยุบตัวใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 28-29 cm. จากนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่าการยุบตัวลดลงลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชั่น (polymerization) ทำให้ปริมาณน้ำใน CLSM ลดลงส่งผลให้มีค่าการยุบตัวลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการยุบตัวของ CLSM

Mixture	Slump (cm)				
	0.0 hr.	0.3 hr.	1.0 hr.	1.3 hr.	2.0 hr.
BA-0P	29	28	28	27	27
BA-0.25P	29	28	27	26.5	26
BA-0.5P	28	27	27	26.5	26
BA-0P	28	28	26.5	26	25
RCA-0P	29	29	28	28	28
RCA-0.5P	28	28	27	27	26
RCA-0.5P	29	29	EMC /A	27	26



รูปที่ 2 ระยะเวลาการก่อตัวของ CLSM ผสมเถ้าหนัก

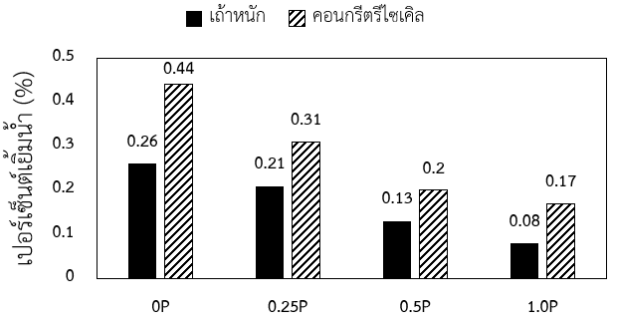


รูปที่ 3 ระยะเวลาการก่อตัวของ CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย ก่อตัวเร็วกว่าการแทนที่ทรายด้วยคอนกรีตรีไซเคิล ส่วนการผสมพลาสติกที่ 0 0.25 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของ CLSM ผสมเถ้าหนักมีความแตกต่างกันไม่มาก แต่เมื่อใช้ CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล พบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นห่างกันอยู่ที่ 15–60 นาที และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายห่างกันอยู่ที่ 15-60 นาที เช่นเดียวกัน

3.4. *การทดสอบการเยิ้ม*

การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำอ้างอิงมาตรฐานของ ASTM C232 (2014) ผลการทดสอบการเยิ้มน้ำของ CLSM ผสมเถ้าหนัก และ CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล ดังแสดงในรูปที่ 4

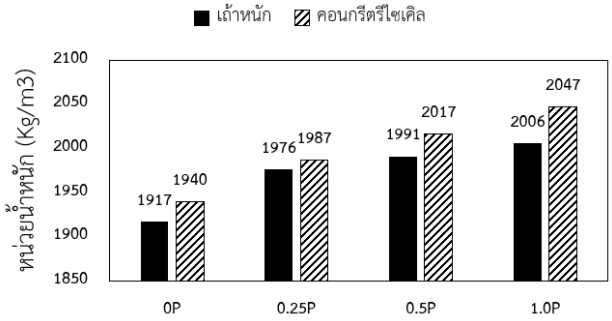


รูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์เยิ้มน้ำของ CLSM

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักน้อยกว่าการแทนที่ทรายด้วยคอนกรีตรีไซเคิล เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของเถ้าหนักมากกว่าคอนกรีตรีไซเคิล ส่วนการผสมพลาสติกที่ 0 0.25 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์เยิ้มน้ำของ การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก และการแทนที่ทรายด้วยคอนกรีตรีไซเคิล มีความแตกต่างกันไม่มาก

3.5. *การทดสอบหน่วยน้ำหนัก*

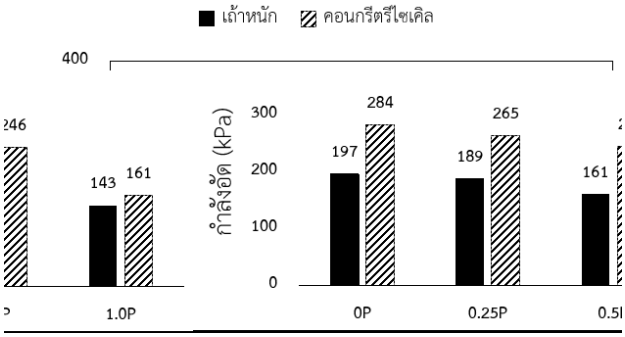
การทดสอบหน่วยน้ำหนัก พบว่าผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของ CLSM มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,917- 2,047kg/m3 การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์พลาสติกส่งผลทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ หน่วยน้ำหนักของ CLSM

3.6. *การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว*

ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของ CLSM ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของ CLSM มีค่าลดลงตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยที่เมื่อตัวอย่างมีการผสมพลาสติกที่ 0 0.25 0.5 และ 1.0 ค่ากำลังรับแรงอัด CLSM ผสมเถ้าหนักที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 197 189 161 และ143 kPa ตามลำดับ และค่ากำลังรับแรงอัด CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิลที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 284 265 246 และ161 kPa ตามลำดับ จะสังเกตว่าการเพิ่มพลาสติกจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่มีความแข็งแรง (Kanglon, 2021)



รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของ CLSM

. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอย เถ้าหนัก คอนกรีตรีไซเคิล และขยะพลาสติก โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ (Alkaline activator) เป็นตัวชะละลายในการสร้าง CLSM สำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผิวทาง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการยุบตัว และค่าการยุบตัวแบบไหลแผ่ลดลงตามมาตรฐาน EFNARC (2002) ซึ่งค่าการยุบตัวแบบไหลแผ่ในแต่ละอัตราส่วนผสมผ่าน มาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม แต่การเพิ่มเปอร์เซ็นต์พลาสติกเข้าไปไม่ส่งผลต่อค่าการยุบตัว และค่าการยุบตัวแบบไหลแผ่
2) การใช้ CLSM ผสมเถ้าหนักจะมีระยะเวลาการก่อตัวที่เร็วกว่า CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล และค่าเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำ CLSM ผสมเถ้าหนักน้อยกว่า CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล เนื่องจากค่าการดูดซึมน้ำของเถ้าหนักมากกว่าคอนกรีตรีไซเคิล
3) ค่าหน่วยน้ำหนักของ CLSM ผสมเถ้าหนักจะมีค่าน้อยกว่า CLSM ผสมคอนกรีตรีไซเคิล และการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์พลาสติกส่งผลทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้น
4) ความสามารถในการรับกำลังแรงอัดของ CLSM มีค่าลดลงตามปริมาณพลาสติกที่เพิ่มขึ้นของอายุบ่ม 7 วัน

. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา

. การอ้างอิง

[1] ACI Committee 229 (1999). Controlled low strength materials (ACI 229R), American Concrete Institute. Farmington Hill. Michigan. USA.
[2] ASTM Designation C 1611 (2014). Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete. Farmington Hill. Michigan. USA.
[3] ASTM Designation C 403 (2016). Standard test method for time of setting of concrete mixtures bi penetration resistance.Philadelphia. USA. DOI: 10.1520/C0403_CO403M-16.
[4] ASTM International. ASTM Designation D 2166 (2016). Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. Philadelphia. USA. DOI:10.1520/D2166_D2166M_16.
[5] ASTM Designation C138 (2017). Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. Philadelphia. USA.
[6] ธนกฤต เทพอุโมงค์และคณะ. (2564). คุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุควบคมกำลังต่ำจากการกระตุ้นเถ้าลอยแคลเซียมสูงและตะกรันเหล็กเตาหลอมไฟฟ้าด้วยอัลคาไลน์. มหาวิทยาลัยพะเยา การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564
[7] ธิติ กางโหลนและคณะ. (2564). สมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากขยะพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564
[8] วิทยา บำรุงพงศ์และคณะ. (2560). การศึกษาสมบัติของวัสดุควบคุมกำลังต่ำที่ผสมด้วยเถ้าลอยเพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทาง ปีที่ 28, ฉบับที่4, ตุลาคม-ธันวาคม 2560