สมบัติการไหลและกำลังช่วงแรกของวัสดุควบคุมกำลังต่ำที่ผลิตจากยางก้อนถ้วย

Flow and early strength properties of controlled low-strength material made from cup lump rubber

นิธิพร แสงสาย[1,*] ธนกร ชมภูรัตน์[2] พิชชา จองวิวัฒสกุล[3] และ สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง[4]

[1,4] ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและธรณีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[3]ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: 6470204821@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผลผลิตยางพารามีจำนวนมากขึ้นแต่การใช้งานและการส่งออกยางพาราลดลงจึงเป็นสาเหตุของราคายางตกต่ำ การใช้ยางก้อนถ้วยเป็นวัสดุในส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำยางพาราไปใช้ให้หลากหลายและยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุควบคุมกำลังต่ำและความเป็นไปได้ในการใช้ยางก้อนถ้วยเป็นส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยมีส่วนประกอบ ได้แก่ ซีเมนต์ เถ้าลอย น้ำ ทรายธรรมชาติ และยางก้อนถ้วย ซึ่งจะนำยางก้อนถ้วยไปแทนที่การใช้ทรายธรรมชาติในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด การทดสอบประกอบไปด้วย ความสามารถในการไหลและการรับกำลังแรงอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน จากผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการไหลและการรับกำลังอัดแกนเดียวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของยางก้อนถ้วยมากขึ้น อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดของ ACI 229R ดังนั้นยางก้อนถ้วยจึงน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำได้

คำสำคัญ: วัสดุควบคุมกำลังต่ำ, ยางก้อนถ้วย, การไหล, กำลังรับแรงอัดแกนเดียว

Abstract

At present, the production of natural rubber is increasing but the consumption of rubber and the export of rubber are decreased, resulting in a price drop. The use of cup lump rubber as a material in the mixture of controlled low-strength materials (CLSM) is a possible alternative to apply rubber in a variety of usages and to reduce natural resource depletion. In this study, the mechanical properties of CLSM and the possibility of using cup lump rubber as a mixture of CLSM are studied. The material mixtures include cement, fly ash, water, natural sand, and cup lump rubber, in which, the cup lump rubber is used to replace the natural sand by 20, 30, and 40% by the volume of fine aggregate. The experiments consist of the slump flow and unconfined compressive strength at the curing age of 7 and 14 days. The results showed that flowability and early unconfined compressive strength decrease as the amount of used cup lump rubber increases. However, the properties are still within the criterion of ACI 229R, hence, the employment of cup lump rubber as a mixture of CLSM is valid.

Keywords: Controlled low-strength material, Cup lump rubber, Slump flow, Unconfined compressive strength

1. บทนำ

ในปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาด้านราคาผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำโดยเฉพาะราคายางพารา ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดของโลก จากการศึกษาบทวิเคราะห์สถานการณ์และสารสนเทศทางการตลาดยางพาราของการยางแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตยางพารา 4.49 ล้านตัน หรือร้อยละ 35.28 ของปริมาณการผลิตรวมของโลก [1] แต่เนื่องจากการชะลอตัวทางเศรษฐกิจโลก ส่งผลให้ความต้องการของตลาดจีนลดลงซึ่งเป็นตลาดหลักในการส่งออกยางพาราของประเทศไทย อีกทั้งยังมีคู่แข่งทางการค้าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังประเทศอื่น ส่งผลให้สัดส่วนการส่งออกยางพาราของประเทศไทยไปยังประเทศจีนมีแนวโน้มลดลง ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกยางธรรมชาติไปจีน 112,869 ล้านบาท เป็น 106,926 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งมีการเติบโตเฉลี่ยหดตัวร้อยละ 2.11 ต่อปี [1] ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดปัญหาด้านอุปสงค์และอุปทานของยางพาราไม่สมดุลกัน เป็นสาเหตุมาจากมีปริมาณผลผลิตยางพารามากแต่มีการใช้ยางพาราและการส่งออกยางพาราลดลง ซึ่งส่งผลให้ราคายางพาราในประเทศไทยปรับตัวลดลง จะเห็นได้จากในปี พ.ศ.2554 ราคากลางยางแผ่น

ดิบอยู่ที่ 132.42 บาทต่อกิโลกรัม โดยในปัจจุบันราคากลางยางแผ่นดิบอยู่ที่ 56.47 บาทต่อกิโลกรัม (ข้อมูลราคายางพารา ณ วันที่ 1 พฤศจิกายน 2565) [2] ดังนั้นการนำยางก้อนถ้วยซึ่งเป็นวัสดุแปรรูปจากยางพาราที่เกิดจากการจับตัวของน้ำยางสดในถ้วย อีกทั้งยังมีราคาและต้นทุนในการผลิตต่ำ [3] มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำยางพารามาประยุกต์ใช้ให้หลากหลายและเกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมและช่วยเหลือเกษตรกรอีกด้วย

วัสดุควบคุมกำลังต่ำ (Controlled low-strength material) เป็นวัสดุถม ที่มีลักษณะคล้ายคอนกรีต โดยมีคุณสมบัติในการไหลได้ดีทำให้สามารถไหลเข้าที่แคบได้และสามารถอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง [4] จึงไม่จำเป็นต้องมีการบดอัดทำให้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้าง เนื่องจากไม่ต้องใช้คนงาน อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรในการบดอัด นอกจากนี้ยังเป็นการลดความเสี่ยงในการทำงานของคนงานและประหยัดเวลาในการก่อสร้าง ซึ่งวัสดุควบคุมกำลังต่ำนั้นมีกำลังต่ำเพื่อให้สะดวกต่อการรื้อถอนในภายหลัง ตามมาตรฐาน ACI 229R [5] ได้ระบุค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าเท่ากับ 8.3 MPa หรือน้อยกว่า โดยทั่วไปนิยมนำวัสดุควบคุมกำลังต่ำมาใช้ในงานถมทั่วไป (ถมช่องว่าง ถมโครงสร้างใต้ดิน) งานถมโครงสร้าง (สะพาน ฐานราก กำแพงกันดิน) งานถมทาง (พื้นทาง รองพื้นทาง ชั้นดินเดิมผิวทางยืดหยุ่น) งานถมเพื่อเป็นฉนวนความร้อน (สายไฟใต้ดิน) งานถมเพื่อป้องกันการกัดกร่อน (ท่อโลหะใต้ดิน) [4]

การผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำจะประกอบไปด้วย วัสดุเชื่อมประสาน มวลรวม และน้ำ โดยสารเชื่อมประสารที่นิยมใช้ คือ ปูนซีเมนต์ ซึ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่บรรยากาศเป็นจำนวนมากเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ซึ่งจะก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตามมา จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ในปัจจุบันมีหลายงานวิจัยพยายามนำเอาวัสดุเหลือทิ้งหรือวัสดุทดแทนอื่นมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ เพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์และทรัพยากรธรรมชาติ เช่น กากตะกอนกระดาษ [6] เศษเปลือกหอยนางรม [7] เศษผนังยิปซัม [8] เศษแก้ว [9] เป็นต้น จากการศึกษาของ Wu et al. [6] ที่ได้นำกากตะกอนกระดาษมาใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายธรรมชาติ พบว่าเมื่อใส่กากตะกอนกระดาษในปริมานที่มากจะส่งผลให้ความสามารถในการไหลและค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีค่าลดลง เนื่องจากกากตะกอนกระดาษมีการดูดซับน้ำสูงและมีการกระจายตัวไม่ดีจึงทำให้มีความสามารถในการไหลต่ำ Raghavendra and Udayashankar [8] ได้นำแผ่นผนังยิปซัมและเถ้าลอยมาใช้เป็นสารเชื่อมประสานและใช้หินฝุ่นทดแทนการใช้ทรายธรรมชาติ พบว่าเมื่อมีปริมานของแผ่นผนังยิปซัมมากจะทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมากในช่วงแรกเนื่องจากในแผ่นผนังยิปซัมมีแคลเซียมซึ่งจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) และ Hunag et al. [10] ได้ทำการศึกษาหาความสามารถในการไหลและกำลังรับแรงอัดของวัสดุควบคุมกำลังต่ำที่นำเศษยางรถยนต์มาใช้เป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติ พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางรถยนต์เพิ่มมากขึ้นความสามารถในการไหลและกำลังรับแรงอัดลดลงเนื่องจากมวลรวมเกิดการแยกตัวกัน

ดังนั้นเพื่อปรับปรุงและพัฒนาการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ งานวิจัยนี้จึงได้นำเถ้าลอย (Fly ash) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า [11-12] มาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งเถ้าลอยจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน กล่าวคือเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา และอะลูมินา เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะได้สารประกอบขึ้นมาซึ่งมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน และนำยางก้อนถ้วย (Cup lump rubber) ซึ่งเป็นการแปรรูปยางพาราอีกรูปแบบหนึ่งที่มีต้นทุนในการผลิตและมีราคาต่ำมาทดแทนการใช้ทรายธรรมชาติ เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้างพื้นทาง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุควบคุมกำลังต่ำและความเป็นไปได้ในการนำยางก้อนถ้วยมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ จึงได้ทำการทดสอบหาค่าการยุบตัวไหลแผ่และการรับกำลังอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยคุณสมบัติของวัสดุควบคุมกำลังต่ำจะต้องเป็นไปตามไปตามมาตรฐาน ACI 229R [5]

2. วัสดุอุปกรณ์และการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ ประกอบด้วยวัสดุเชื่อมประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก เถ้าลอย และวัสดุมวลรวมละเอียด ได้แก่ ทรายธรรมชาติ ยางก้อนถ้วยบด มีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594-2556 [13] ซึ่งใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป

2. เถ้าลอยซึ่งเป็นเถ้าถ่านหินที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1

3. ทรายธรรมชาติที่มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 [14] โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2

4. ยางก้อนถ้วยซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนรูปถ้วยน้ำยางและมีน้ำตาลคล้ำ โดยนำมาปั่นและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2 และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2

2.2 การบดยางก้อนถ้วย

วิธีการบดยางก้อนถ้วย เริ่มจากการนำยางก้อนถ้วยมาหั่นเป็นชิ้นเล็กแล้วนำยางก้อนถ้วยที่หั่นไว้มาชั่งน้ำหนัก 150 กรัม จากนั้นนำยางก้อนถ้วยที่ชั่งไว้แล้วมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 2 นาที และนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ขนาด 4.75 มิลลิเมตร)

2.3 การกระจายตัวของขนาดมวลรวม

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และ ยางก้อนถ้วยบด เมื่อนำยางก้อนถ้วยบดมาแทนที่ทรายธรรมชาติ ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรมวลรวมละเอียด การกระจายของขนาดมวลรวมละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 [14] ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำได้

รูปที่ 1 เถ้าลอย

รูปที่ 2 ยางก้อนถ้วยบด

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)
SiO_2	33.3
CaO	23.0
Al_2O_3	17.7
Fe_2O_3	13.0
SO_3	4.54
MgO	2.59
K_2O 6	2.42
Na_2O	2.24
TiO_2	0.41
P_2O_5	0.28
SrO	0.15
BaO	0.14
MnO	0.12

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด

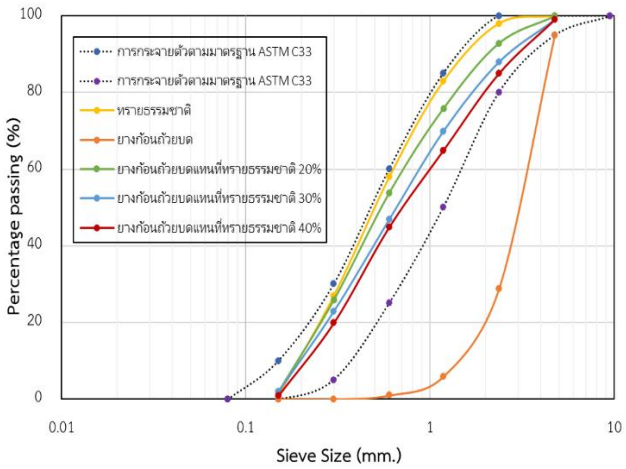
มวลรวมละเอียด	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความละเอียด (FM)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
ทรายธรรมชาติ	2.65	2.85	0.65
ยางก้อนถ้วยบด	0.93	4.71	2.30

2.4 อัตราส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและความเป็นไปได้ในการนำยางก้อนถ้วยมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยใช้ยางก้อนถ้วยบดแทนที่ทรายธรรมชาติในปริมานร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ซึ่งส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำจะใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.7 ซึ่งมีรายละเอียดส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำดังแสดงในตารางที่ 3

2.5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างวัสดควบคุมกำลังต่ำ

ขั้นตอนการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ เริ่มต้นจากการใส่ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอยลงไปและทำการปั่นส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบเวลาให้ใส่น้ำลงไปและทำการปั่นส่วนผสมต่ออีก 30 วินาที จากนั้นใส่ทรายธรรมชาติและยางก้อนถ้วยบด ทำการปั่นให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเวลาอีก 1 นาที เมื่อทำการปั่นส่วนผสมเสร็จแล้วให้เทส่วนผสมลงในแบบหล่อที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ความสูง 110 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 และเมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงให้แกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อและทำการห่อตัวอย่างด้วยพลาสติก จากนั้นทำการบ่มเป็นเวลา 7 และ 14 วัน ก่อนนำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติ



รูปที่ 3 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียด

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของวัสดุควบคุมกำลังต่ำต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

ชื่อส่วนผสม	ยางก้อนถ้วยบด (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ (กก./ลบ.ม.)	เถ้าถอย (กก./ลบ.ม.)	ทรายธรรมชาติ (กก./ลบ.ม.)	ยางก้อนถ้วยบด (กก./ลบ.ม.)	น้ำ (กก./ลบ.ม.)	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B)
C-R00	0	150.37	301.19	1354.68	0	316.09	0.70
C-R20	20	150.37	301.19	1083.74	95.05	316.09	0.70
C-R30	30	150.37	301.19	948.27	142.58	316.09	0.70
C-R40	40	150.37	301.19	812.81	190.10	316.09	0.70

รูปที่ 4 อุปกรณ์แบบหล่อตัวอย่าง

2.6 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ

2.6.1 การทดสอบการยุบตัวไหลแผ่

ทดสอบหาความสามารถในการไหลของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยการทดสอบหาค่าการยุบตัวไหลแผ่ (Slump flow test) จะทดสอบหลังจากที่ผสมวัสดุควบคุมกำลังต่ำเสร็จทันที ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งตามมาตรฐานคอนกรีตที่สามารถอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง EFNARC [15] ได้ระบุค่าการยุบตัวไหลแผ่จะต้องมีค่ามากกว่า 650 มิลลิเมตร

รูปที่ 5 การทดสอบค่าการยุบตัวไหลแผ่

2.6.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

ทดสอบหากำลังในช่วงแรกของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยการทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดแกนเดียวโดยไม่มีแรงอัดด้านข้าง (Unconfined compressive strength) ที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน โดยจะนำตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ความสูง 110 มิลลิเมตร ไปทดสอบด้วยเครื่องกด ดังแสดงในรูปที่ 6 ด้วยอัตราเร็วคงที่ 2.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุควบคุมกำลังต่ำจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 229R [5] ได้ระบุค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าเท่ากับ 8.3 MPa หรือน้อยกว่า

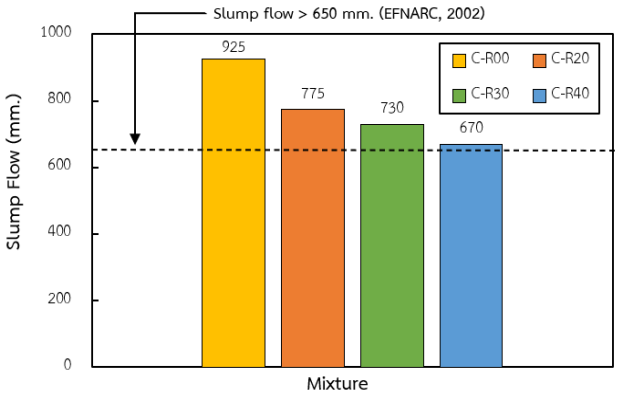
รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 การทดสอบการยุบตัวไหลแผ่

ผลการทดสอบความสามารถในการไหลของวัสดุควบคุมต่ำเมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด พบว่าค่าการยุบตัวไหลแผ่ของวัสดุควบคุมกำลังต่ำเมื่อผสมเสร็จทันทีมีค่าเท่ากับ 925, 775, 730 และ 670 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ EFNARC [15] ที่กำหนดไว้ว่าค่าการยุบตัวไหลแผ่จะต้องมีค่ามากกว่า 650 มิลลิเมตร และเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ไม่ได้แทนที่ทรายธรรมชาติด้วยยางก้อนถ้วย ค่าการ

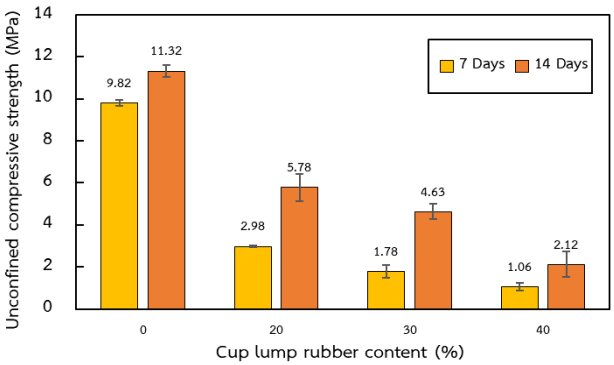
ยุบตัวไหลแผ่มีค่าลดลงร้อยละ 16.2, 21.1 และ 27.6 ตามปริมาณร้อยละของยางก้อนถ้วยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางก้อนถ้วยมีค่าการดูดซึมน้ำสูงถึงร้อยละ 2.30 และยางก้อนถ้วยนั้นมีรูปร่างเหลี่ยมและมีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับทรายธรรมชาติจึงต้องการปริมาณน้ำมากในการเคลื่อนตัวของวัสดุ แต่เนื่องจากปริมาณน้ำที่เหลือจากการดูดซึมของวัสดุนั้นมีลดลงจึงส่งผลทำให้ความสามารถในการไหลลดลงด้วย



รูปที่ 7 การยุบตัวไหลแผ่ของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ

3.2 *การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว*

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำเมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าเท่ากับ 9.82, 2.98, 1.78 และ 1.06 MPa ตามลำดับ และค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 14 วัน มีค่าเท่ากับ 11.32, 5.78, 4.63 และ 2.12 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใส่ปริมาณยางก้อนถ้วยเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีค่าลดลง เนื่องจากยางก้อนถ้วยมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงทำให้ปริมาณน้ำลดลง จึงทำให้เหลือปริมาณน้ำที่จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) ลดลงด้วย ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ความแข็งแรงและกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีแนวโน้มเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 229R [5] ซึ่งได้ระบุค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 28 วัน จะต้องมีค่าเท่ากับ 8.3 MPa หรือน้อยกว่า



รูปที่ 8 กำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำ

4. สรุปผลการทดสอบ

ในงานวิจัยได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุควบคุกำลังต่ำที่มีการนำเถ้าลอยและยางก้อนถ้วยมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำ โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ค่าการยุบตัวไหลแผ่ของวัสดุควบคุมกำลังต่ำมีค่าลดลงตามปริมาณยางก้อนถ้วยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางก้อนถ้วยมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูง อีกทั้งยังมีรูปร่างเหลี่ยมและพื้นที่ผิวมากจึงต้องการปริมาณน้ำมากในการเคลื่อนตัวของวัสดุ ซึ่งปริมาณน้ำที่เหลือจากการดูดซึมของวัสดุมีน้อยลงจึงส่งผลให้ความสามารถในการไหลลดลงด้วย อย่างไรก็ตามในแต่ละอัตราส่วนผสมยังคงมีค่าการยุบตัวไหลแผ่เป็นไปตามมาตรฐาน EFNARC [15]

2) ปริมาณยางก้อนถ้วยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีค่าลดลง เนื่องจากยางก้อนถ้วยมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงทำให้ปริมาณน้ำลดลงจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรง

3) ค่าความสามารถในการไหลและค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุควบคุมกำลังต่ำยังคงเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นจึงสามารถนำยางก้อนถ้วยมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุควบคุมกำลังต่ำได้

เอกสารอ้างอิง

[1] การยางแห่งประเทศไทยฝ่ายเศรษฐกิจยาง. (2564). บทวิเคราะห์สถานการณ์และสารสนเทศทางการตลาดยางพารา, หน้า 1-20.

[2] การยางแห่งประเทศไทย. (2565). *ราคายางพารา*. สืบค้นข้อมูลจาก https://www.raot.co.th/rubber2012/menu5.php.

[3] ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล. (2560). *ยางก้อนถ้วย ไม่ใช่ขี้ยางหรือเศษยาง ความหมายต่าง กันชัดเจน อย่าเข้าใจผิด*. การยางแห่งประเทศไทย. สืบค้นข้อมูลจาก http://www.raot.co.th/ewt_news.php?nid=5410&filename=index

[4] Ling, T.-C., S.K. Kaliyavaradhan, and C.S. Poon, Global perspective on application of controlled low-strength material (CLSM) for trench backfilling – An overview. Construction and Building Materials, 2018. 158: p. 535-548.

[5] ACI Committee 229. (2013). *Report on Controlled Low-Strength Materials*. American Concrete Institute.

[6] Wu, H., et al., Utilization of solid wastes/byproducts from paper mills in Controlled Low Strength Material (CLSM). Construction and Building Materials, 2016. 118: p. 155-163.

[7] Kuo, W.-T., et al., Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells. Construction and Building Materials, 2013. 46: p. 128-133.

[8] Raghavendra, T. and B.C. Udayashankar, Engineering properties of controlled low strength materials using flyash and waste gypsum wall boards. Construction and Building Materials, 2015. 101: p. 548-557.

[9] Abdulmunem, S., Effect of Glass Wastes on Basic Characteristics of Controlled Low-Strength Materials. Engineering and Technology Journal, 2022. 40: p. 1-10.

[10] Hunag, L.-J., H.-Y. Wang, and Y.-W. Wu, Properties of the mechanical in controlled low-strength rubber lightweight aggregate concrete (CLSRLC). Construction and Building Materials, 2016. 112: p. 1054-1058.

[11] Ahmaruzzaman, M., *A review on the utilization of fly ash.* Progress in Energy and Combustion Science, 2010. 36(3): p. 327-363.

[12] Fauzi, A., et al., *Study of Fly Ash Characterization as a Cementitious Material.* Procedia Engineering, 2016. 148: p. 487-493.

[13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). *ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594-2556*. กระทรวงอุตสาหกรรม

[14] ASTM C33. (2013). *Standard Specification for Concrete Aggregates.* American Society of Testing Materials.

[15] EFNARC. (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. Association House, Surrey, UK.