อิทธิพลของสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษและไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียต่อสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของส่วนผสมมอร์ตาร์

Influence of Superabsorbent Polymer and Microencapsulated Bacterial Spore on Physical and Mechanical Properties of Mortar Mixture

ณัฏฐชัย ทรัพย์วิไล[1,*] ภัทรพล จินดาศิริพันธ์[2] พิชชา จองวิวัฒสกุล[3] วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี[4] และ สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง[5]

[1,2,3] ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
[4] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
[5] ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและธรณีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
**Corresponding author; E-mail address Natachai_s@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของมอร์ตาร์ที่ใช้สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ (SAP) ร่วมกับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกระบวนการการชักนำการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต (MICP) โดยปริมาณไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียที่ใช้คือ 0.25% 0.5% และ 1.0% ของน้ำหนักของซีเมนต์ และมีการควบคุมปริมาณสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษไว้ที่ 4% ของน้ำหนักซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ใส่สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ 4% ควบคู่กับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียและสารอาหารสามารถรักษาค่าการไหลแผ่ให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน ASTM C109M สำหรับการศึกษาด้านกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใส่สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ 4% ควบคู่กับปริมาณไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย 0.25% และสารอาหารมีกำลังอัดที่เทียบเท่ากับตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใส่เพียงสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษและสารอาหาร หรือตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใส่เพียงไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียและสารอาหาร ดังนั้นการใช้สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษร่วมกับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียในมอร์ตาร์ จึงเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของมอร์ตาร์ได้อย่างเหมาะสมในขณะที่ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดประสิทธิภาพในด้านการซ่อมแซมตัวเองได้ในอนาคต

คำสำคัญ: สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ, ไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย, มอร์ตาร์, ความสามารถในการไหลแผ่, กำลังรับแรงอัด

Abstract

This study investigates physical and mechanical properties of cement mortar incorporated with superabsorbent polymer (SAP) and microencapsulated bacterial spore for microbial induced calcium carbonate precipitation (MICP) as additives. The contents of microencapsulated bacterial spore were varied at 0.25%, 0.5%, and 1.0% by weight of cement. The SAP content was controlled at 4% by weight of cement. The flowabilities of mortars made with SAP and microencapsulated bacterial spore achieve a minimum allowable value in accordance with ASTM C109M. The specimen with 0.25% of the microencapsulated bacterial spore and 4% of SAP exhibits the compressive strength at 28 days equivalent to specimen solely mixed with either SAP or the microencapsulated bacterial spore. The results show that the combined effects of SAP and microencapsulated bacterial spore can proof the effectiveness of maintaining physical and mechanical properties in mortar. Therefore, the utilization of the SAP and the microencapsulated bacterial spore in cement mortar potentially allows development of mix proportions for self-healing application without interference to mechanical properties.

Keywords: Superabsorbent polymer, microencapsulated bacterial spore, mortar, flowability, compressive strength

1. คำนำ

คอนกรีตถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ทางการก่อสร้างที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีต และมีแนวโน้มของปริมาณการใช้งานที่สูงขึ้นในอนาคต คอนกรีตที่มีอายุการใช้งานและมีการเสื่อมสภาพอย่างมากจะส่งผลให้ถูกทำลายและรื้อถอนกลายเป็นขยะทางอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการผลิตคอนกรีตใหม่ขึ้นมาชดเชย Worrell และ คณะ [1] ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตซีเมนต์ที่ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักในการผลิตคอนกรีตจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นับเป็นสัดส่วน 5 % ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่เป็นมลพิษเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลกและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวซึ่งขัดแย้งกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals) ของสหประชาชาติที่ได้กล่าวถึงเรื่องการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ (Climate action) เพื่อเป็นการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและป้องกันการเสื่อมสภาพของคอนกรีต โครงสร้างคอนกรีตจึงต้องได้รับการตรวจสอบ ดูแล และปรับปรุงตลอดช่วงอายุการใช้งาน

ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างคอนกรีตมีการเสื่อมสภาพ คือ การเกิดรอยร้าวในคอนกรีต ซึ่งส่งผลให้สสารในสภาพแวดล้อมสามารถแทรกซึมเข้าสู่รอยร้าวคอนกรีตจนเกิดการทำปฏิกิริยาภายในเนื้อของคอนกรีตรวมไปถึงวัสดุเสริมสมรรถภาพคอนกรีตภายใน อาทิ เหล็กเสริมแรง ลวดอัดแรงและวัตถุประเภทเส้นใย เป็นต้น นำไปสู่การสูญเสียประสิทธิภาพในด้านการรับกำลังและความทนทานของคอนกรีต สำหรับการซ่อมแซมรอยร้าวในคอนกรีตมีหลากหลายวิธีโดยวิธีส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ทรัพยากรบุคคลในการตรวจสอบและซ่อมแซมโครงสร้างในช่วงระหว่างการใช้งาน ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากรวมทั้งมีความเสี่ยงจากการตรวจสอบไม่พบรอยร้าวขนาดเล็กและการซ่อมแซมปรับปรุงที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน เพื่อเป็น

การลดภาระค่าใช้จ่ายคงสภาพของคอนกรีตให้อยู่ในระดับที่ออกแบบไว้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการซ่อมแซมรอยร้าวของคอนกรีตแบบอัตโนมัติ หรือที่เรียกว่า คอนกรีตซ่อมแซมตัวเอง

คอนกรีตซ่อมแซมตัวเองเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีการใช้วัสดุสำหรับการกระตุ้นหรือก่อให้เกิดกระบวนการฟื้นฟูตัวเองของคอนกรีตเมื่อเกิดการแตกร้าว ซึ่งมีหลายวิธีการ ได้แก่ วิธีการผสมสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ (Superabsorbent polymer, SAP) วิธีการชักนำการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยแบคทีเรีย (Microbially induced calcium carbonate precipitation, MICP) และวิธีการใช้สารคริสตัลไลท์ผสมเพิ่ม (Crystalline admixture) เช่น แมกนิเซียม และ ซิลิกา เป็นต้น [2]

จากการศึกษาเบื้องต้น [2-7] วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการซ่อมแซมตัวเองของคอนกรีตอย่างโดดเด่นคือวิธีการผสมสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ (SAP) ที่มีการดูดซับและลดการแทรกซึมของสสารที่มีสถานะของเหลวจากสภาพแวดล้อมไม่ให้เข้าสู่รอยร้าวของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในขั้นต้นได้เป็นอย่างดี [6] และอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว คือ วิธีการซ่อมแซมตัวเองของคอนกรีตโดยวิธีการชักนำการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยแบคทีเรีย (MICP) [7] ซึ่งจะมีการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นผลผลิตจากแบคทีเรียชนิด *Bacillus sphaericus* เพื่อเติมเต็มช่องว่างของรอยร้าว เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว อาจส่งผลให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปสัมผัสกับแบคทีเรียซึ่งกระตุ้นความสามารถในการเติบโตและเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้สารประกอบจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาของแบคทีเรียมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและสะสมทำให้รอยร้าวมีการปิดตัวลงได้ หากแต่วิธีการนี้ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนของการนำแบคทีเรียเข้ามาใช้งานซึ่งยังมีราคาที่สูงส่งผลต่อการนำมาพิจารณาต่อการใช้งานในเชิงพาณิชย์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของมอร์ตาร์ที่ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการซ่อมแซมตัวเองโดยใช้วิธีการที่ได้กล่าวในข้างต้น ได้แก่ วิธีการใช้สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการชักนำการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยแบคทีเรียเพื่อทราบความเหมาะสมในการนำส่วนผสมดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในด้านการซ่อมแซมรอยร้าวด้วยตัวเองของคอนกรีตต่อไป

2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มวลรวมละเอียด น้ำ สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ ไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย และสารอาหารสำหรับแบคทีเรีย มีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโครงสร้าง สูตรไฮบริด อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 2594-2556 [8]

2. มวลรวมละเอียด เป็นทรายแม่น้ำร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

3. น้ำประปาสะอาด

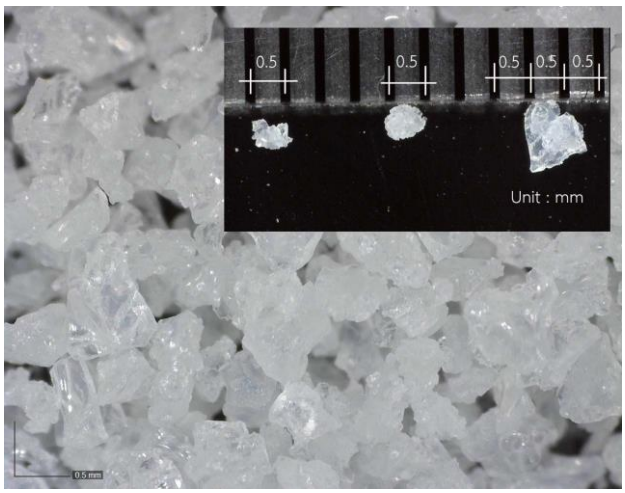
4. สปอร์ของแบคทีเรีย *Bacillus Sphaericus* LMG 22257 ความเข้มข้น 3.70×10^9 cfu/g ที่ห่อหุ้มด้วยสารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 2% (w/v) และขึ้นรูปเป็นไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคไอโอโนโทรปิกเจลเลชัน (Ionotropic Gelation) ร่วมกับวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) มีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลม สีขาวขุ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 มม. ดังรูปที่ 1

5. สารอาหารสำหรับแบคทีเรีย เพื่อกระตุ้นกระบวนการ MICP ประกอบด้วย สารสกัดยีสต์ (Yeast extract) ยูเรีย (Urea) และแคลเซียมไนเตรท ($Ca(NO_3)_2 - 4H_2O$) โดยสารแต่ละชนิดจะเติมตามสัดส่วนร้อยละต่อน้ำหนักซีเมนต์ดังที่ระบุในหัวข้อ 2.2

6. สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ ประเภทกรดอะคริลิก รูปทรงไม่สม่ำเสมอ คละขนาด 0.45 – 0.85 มม. มีค่าการดูดซับน้ำ 209 กรัม/กรัม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ไมโครแคปซูลที่บรรจุสปอร์ของแบคทีเรีย *Bacillus Sphaericus* LMG 22257



รูปที่ 2 สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ

2.2 ส่วนผสมของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับงานวิจัยนี้สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ตัวอย่างทดสอบประกอบไปด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และทรายต่อซีเมนต์ในอัตราส่วน 0.6 และ 2.75 ตามลำดับ โดยอ้างอิงจากการทดสอบอัตราการไหลแผ่ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [8] ให้มีอัตราการไหลแผ่ 110 ± 5 % จากนั้นผสมไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย สารพอร์ลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ และสารอาหาร มีการแบ่งตัวอย่างทดสอบออกเป็น 6 ตัวอย่างทดสอบ ดังตารางที่ 2 โดยสัดส่วนของสารอาหาร [4] จะประกอบไปด้วย สารสกัดจากยีสต์ : ยูเรีย : แคลเซียมไนเตรท ($Ca(NO_3)_2$-$4H_2O$) ในสัดส่วน 0.85% : 4% : 8% ของน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ และมีการปรับลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของตัวอย่างดังกล่าวในสัดส่วน 2.4 % ของน้ำหนักซีเมนต์ เนื่องจากในผลึกแคลเซียมไนเตรทจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณ 30 % ของมวล

ตารางที่ 2 ปริมาณส่วนผสมต่างๆ ของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบ	ซีเมนต์ (g)	น้ำ (g)	มวลรวมละเอียด (g)	ไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย (g)	สารอาหาร (g)	สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ (g)
B0S0	100	60	275	-	-	-
B1S0	100	57.6	275	1	12.85	0
B0S4	100	57.6	275	-	12.85	4
B0.25S4	100	57.6	275	0.25	12.85	4
B0.5S4	100	57.6	275	0.5	12.85	4
B1S4	100	57.6	275	1	12.85	4

2.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนการผสมมอร์ตาร์มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำผสมสารอาหารด้วยเครื่องผสมมอร์ตาร์ โดยใช้ความเร็วต่ำ เป็นระยะเวลา 1 นาที จนเป็นเนื้อผสมเดียวกันได้ส่วนผสมเหลว

2. นำทราย ซีเมนต์ และครึ่งหนึ่งของเม็ดแคปซูลแบคทีเรียกับครึ่งหนึ่งของสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ ผสมเข้าด้วยกันในเครื่องผสมมอร์ตาร์ โดยใช้ความเร็วต่ำ เป็นระยะเวลา 1 นาที ได้เป็นส่วนผสมแห้ง

3. ใส่ครึ่งหนึ่งของเม็ดแคปซูลแบคทีเรียกับสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษที่เหลือ ผสมเข้ากับส่วนผสมแห้งในเครื่องผสมมอร์ตาร์ โดยใช้ความเร็วต่ำ เป็นระยะเวลา 2 นาที จนเนื้อผสมกระจายตัวสม่ำเสมอ

4. นำส่วนผสมเหลวที่ได้เตรียมในข้อ 1 มาทยอยผสมเข้าร่วมกับส่วนผสมแห้งในข้อ 3 ระหว่างเดินเครื่องผสม ความเร็วต่ำ เป็นระยะเวลา 3 นาที จนส่วนผสมมีเนื้อสม่ำเสมอ เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการ

หลังจากผสมมอร์ตาร์เสร็จเรียบร้อยเริ่มทำการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM 1437 [9] โดยการนำตัวอย่างมอร์ตาร์สดแบ่งใส่แบบหล่อที่วางบนศูนย์กลางของโต๊ะทดสอบการไหลที่แห้งและสะอาด แบ่งใส่ความสูงชั้นละ 25 มม. และกระทุ้งด้วยแท่งเหล็ก 20 ครั้งต่อชั้นจนถึงชั้นสุดท้ายจากนั้นปาดให้ระดับมอร์ตาร์พอดีผิวแบบหล่อ หลังจากนั้น 1 นาที ทำการยกแบบหล่อขึ้นในแนวตั้ง จากนั้นทำการหมุนคันยกโต๊ะทดสอบเป็นจำนวน 25 ครั้ง ภายในเวลา 15 วินาที สุดท้ายทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์จำนวน 4 เส้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ทำการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับทดสอบความพรุนและการดูดซึมน้ำอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C642 [10] โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาดความกว้าง 100 มม. ความยาว 100 มม. และความสูง 100 มม. จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109M [11]

การเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาดความกว้าง 50 มม. ความยาว 50 มม. และความสูง 50 มม. จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109M [11]

2.4 การทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของมอร์ตาร์ที่ใช้สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ (SAP) ร่วมกับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกระบวนการการชักนำการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต (MICP) โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.4.1 การไหลแผ่ (Mortar Flow)

ทดสอบความสามารถในการไหลแผ่ของมอร์ตาร์สดตามมาตรฐาน ASTM 1437 [9] สมการคำนวณดังสมการที่ (1)

$$\text{Flowability} = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100 \quad (1)$$

โดย $Flowability$ = ความสามารถในการไหลแผ่
D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น (มม.)
D_f = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางหลังทำการทดสอบ (มม.)

2.4.2 ความพรุนและการดูดซึมน้ำ (Porosity and Water Absorption)

ทดสอบความพรุนและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C642 [10] โดยนำมอร์ตาร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105±5 °ซ เป็นระยะเวลา 24 ชม. แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักอบแห้ง (W_{OD}) หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 48 ชม. แล้วจึงนำขึ้นจากน้ำเพื่อเช็ดผิวและชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้งหลังแช่น้ำ ($W_{SD\text{-}s}$) สุดท้ายนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 5 ชม. หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเป็นระยะเวลา 14 ชม. นำขึ้นจากน้ำเพื่อเช็ดผิวและชั่งน้ำหนักในอากาศและน้ำ เพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้งหลังต้มน้ำ ($W_{SD\text{-}b}$) และน้ำหนักที่ชั่งในน้ำ (W_{sub}) ตามลำดับ สมการคำนวณดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\text{Absorption}\ (\%) = \frac{W_{SD-s} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Porosity}\ (\%) = \frac{W_{SD-b} - W_{OD}}{W_{SD-b} - W_{Sub}} \times 100 \quad (3)$$

โดย W_{OD} = น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)
$W_{SD\text{-}s}$ = น้ำหนักในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งหลังแช่ในน้ำ (กรัม)
$W_{SD\text{-}b}$ = น้ำหนักในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งหลังต้มในน้ำ (กรัม)
W_{Sub} = น้ำหนักขณะชั่งในน้ำ (กรัม)

2.4.3 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ที่อายุบ่ม 28 วันตามมาตรฐาน ASTM C109M [11] และคำนวณดังสมการที่ (4)

$$f_m = \frac{F}{A} \quad (4)$$

โดย f_m = หน่วยแรงอัดประลัยของมอร์ตาร์ (เมกะปาสคาล)
F = น้ำหนักกระทำ (นิวตัน)
A = พื้นที่หน้าตัดรับน้ำหนักกระทำ (ตร.มม.)

3. ผลการทดสอบ

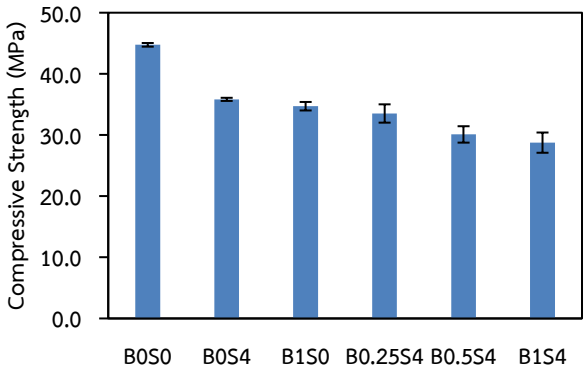
3.1 การไหลแผ่ (Mortar Flow)

รูปที่ 3 แสดงค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่วัดค่าการไหลแผ่ตามมาตรฐาน ASTM 1437 [8] จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่าง B1S0 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีการใส่เพียงไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียปริมาณ 1% ของน้ำหนักซีเมนต์และสารอาหารจะมีค่าการไหลแผ่สูงที่สุด 136.75% ซึ่ง

มากกว่าตัวอย่างควบคุม (B0S0) คิดเป็น 14.9% ในขณะที่ตัวอย่าง B0S4 ที่มีการใส่เพียงสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ 4% ของน้ำหนักซีเมนต์และสารอาหาจะมีค่าการไหลแผ่ 115.25% ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมคิดเป็น 3.3% และสำหรับตัวอย่าง B0.25S4, B0.5S4 และ B1S4 จะมีค่าการไหลแผ่ 112.5%, 110.25% และ 108% ตามลำดับซึ่งมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมคิดเป็น 9.2%, 7.4% และ 5.4% ตามลำดับ

จากผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่สารอาหารสำหรับแบคทีเรียที่ประกอบไปด้วย ยูเรีย ซึ่งจะ 4 ดู้ 7 1

จาก - ห ก าณ ร์ การไหลแผาก ก



รูปที่ 5 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของตัวอย่างมอร์ตาร์

4. สรุปผล

จากผลการทดสอบพบว่าการนำสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษมาประยุกต์ใช้ควบคู่กับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียสามารถช่วยปรับปรุงผลกระทบเชิงลบต่อค่าการไหลแผ่จากสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษได้ โดยผลจากส่วนประกอบของสารอาหารอันได้แก่ แคลเซียมไน เตรทที่ส่งผลในการลดการบวมตัวช่วงต้นของสารพอลิเมอร์ สำหรับคุณสมบัติเชิงกล กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มีการใส่สารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษควบคู่กับไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียจะมีค่ากำลังอัดที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งสอดคล้องกับค่าความพรุนและการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามกำลังอัดของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรีย 0.25% และสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษ 4% (B0.25S4) อยู่ในระดับเทียบเท่าตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มีการใส่เพียงสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษร่วมกับสารอาหาร (B0S4) หรือตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใส่เพียงไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียร่วมกับสารอาหาร (B1S0) บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมสำหรับการนำผลกระทบเชิงบวกในด้านประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเองของมอร์ตาร์จากสารพอลิเมอร์ดูดซับขั้นพิเศษมาประยุกต์ใช้ควบคู่กับประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเองของมอร์ตาร์โดยวิธีชักนำการตกตะกอนของไมโครแคปซูลสปอร์แบคทีเรียโดยใช้ปริมาณไมโครแคปซูลที่ลดลง และไม่เป็นการสร้างผลกระทบเชิงลบในด้านการไหลแผ่ และกำลังรับแรงอัด นำไปสู่การลดลงของค่าใช้จ่ายและพัฒนาที่ยั่งยืนของโครงสร้างคอนกรีตในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Ozawa-Meida, L. (2001). Carbon Dioxide Emission from the Global Cement Industry. Annual Review of Energy and Environment, 26, pp.303-329.

[2] Roig-Flores, M., Formagini, S., & Serna, P. (2021). Self-healing concrete-What Is it Good For?. *Materiales de Construcción*, *71*, pp.e237.

[3] Wang. J.Y., Snoeck, D., Vlierberghe, S.V., Verstraete, W., and Belie, N.D. (2014). Application of hydrogel encapsulated carbonate precipitating bacteria for approaching a realistic self-healing in concrete. Construction and Building Materials, 68, pp.110-119

[4] Wang, J.Y., Soens, H., Verstraete, W., and Belie, N.D. (2014). Self-healing concrete by use of microencapsulated bacterial spores. Cement and Concrete Research, 56, pp.139-152.

[5] Sidiq, A., Gravina, R., Setunge, S., & Giustozzi, F. (2020). The effectiveness of Super Absorbent polymers and superplasticizer in self-healing of cementitious materials. Construction and Building Materials, 253, pp.119175.

[6] Chindasiriphan, P., Yokota, H., & Pimpakan, P. (2020). Effect of fly ash and superabsorbent polymer on concrete self-healing ability. Construction and Building Materials, 233, pp.116975.

[7] Phanupornprapong, V. (2019). Crack Closing Performance of Self-healing Mortar using Microbially induced Calcium Carbonate Precipitation Bacterial Spores. M.Eng. Thesis. Chulalongkorn University. Thailand.

[8] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (มอก.2594-2556). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[9] ASTM International. (2020). Standard test method for flow of hydraulic cement mortar (ASTM-C1437). West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.

[10] ASTM International. (2006). Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete (ASTM C642-21). West Conshohocken: American Society for Testing and Materials

[11] ASTM International. (2020). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (ASTM-C109M). West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.

[12] Demirboğa, R., Karagöl, F., Polat, R., & Kaygusuz, M. A. (2014). The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather conditions. *Construction and Building Materials*, *64*, pp.114-120.

[13] Mwaluwinga, S., Ayano, T., & Sakata, K. (1997). Influence of urea in concrete. *Cement and Concrete Research*, *27*, pp.733-745.

[14] Mignon, A., Snoeck, D., Dubruel, P., Van Vlierberghe, S., & De Belie, N. (2017). Crack Mitigation in Concrete: Superabsorbent Polymers as Key to Success? Materials, 10, pp.237.

[15] Lee, H. X. D., Wong, H. S., & Buenfeld, N. R. (2016). Self-sealing of cracks in concrete using superabsorbent polymers. *Cement and Concrete Research*, *79*, pp.194-208.