การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลและการซ่อมแซมตัวเอง ของอิฐบล็อกคอมโพสิตโดยใช้เส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรีย *Bacillus sphaericus*

Study and Development of Mechanical Properties and Self-Healing Capability of Composite Bricks Using Water Hyacinth Fibers and *Bacillus sphaericus* Bacteria

ธนกฤต ปริยาปัญจางค์ วงศกร อิ่มทั่ว และนราธิป ยะนิล*

ปิยะนุช เขียวอร่าม[1]

[1]*โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี อำเภอ ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120*

**Email: 67narathip.yan@pccphet.ac.th*

บทคัดย่อ

ภัยพิบัติทางธรรมชาติสร้างความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม อาคาร และโครงสร้างพื้นฐานจำนวนมาก นำไปสู่ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูงและดำเนินการได้ยาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาวัสดุทดแทนที่มีความยั่งยืน โดยประยุกต์ใช้แบคทีเรีย *Bacillus sphaericus* ซึ่งสามารถก่อให้เกิดกระบวนการ MICP (Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation) เพื่อซ่อมแซมรอยร้าวด้วยตนเองร่วมกับการเสริมเส้นใยผักตบชวา ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่หาได้ง่าย เพื่อเพิ่มความเหนียวและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกคอมโพสิต การทดลองเปรียบเทียบอิฐ 4 สูตร ได้แก่ อิฐทั่วไป อิฐเสริมเส้นใยผักตบชวา อิฐผสมแบคทีเรีย และอิฐผสมทั้งเส้นใยและแบคทีเรีย ผลการทดสอบพบว่า อิฐที่ผสมแบคทีเรียเพียงอย่างเดียวและอิฐที่ผสมทั้งเส้นใยผักตบชวาร่วมกับแบคทีเรีย สามารถเห็นผลการซ่อมแซมรอยร้าวเริ่มต้น ประมาณ 270 ไมโครเมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใน 24 ถึง 48 ชั่วโมง การเสริมเส้นใยผักตบชวาช่วยเพิ่มความเหนียว ทำให้อิฐไม่แตกทันทีเมื่อได้รับแรงและช่วยให้รอยร้าวมีขนาดเล็กลง เมื่อทำงานร่วมกับ *Bacillus sphaericus* ส่งผลให้การซ่อมแซมตัวเองมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น รวมถึงคุณสมบัติด้านการดูดซับความร้อนและการดูดซึมน้ำ อิฐบล็อกที่มีการเสริมเส้นใยผักตบชวาด้วยมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอิฐบล็อกที่ไม่ได้มีการเสริมเส้นใยผักตบชวาซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักตบชวามีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกด้วยงานวิจัยนี้จึงตอบสนองต่อความต้องการวัสดุโครงสร้างที่ยั่งยืน ที่จะลดผลกระทบจากภัยพิบัติ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จากวัชพืชน้ำในท้องถิ่นอีกด้วย

คำสำคัญ: กระบวนการ MICP , วัชพืชน้ำ , *Bacillus sphaericus*

1.บทนำ

ภัยพิบัติทางธรรมชาติทวีความรุนแรงขึ้น และเกิดขึ้นอย่างไม่คาดคิดอยู่บ่อยครั้ง ไม่ว่าจะเป็นแผ่นดินไหว น้ำท่วม สภาพอากาศแปรปรวน ส่งผลให้สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสียหายเดิม เช่น รอยร้าวหรือรอยแตกในโครงสร้าง มีความเสี่ยงต่อการพังทลายสูงขึ้น นั่นจึงเป็นปัญหาที่ร้ายแรงอย่างยิ่งต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ผู้อยู่อาศัยในสิ่งปลูกสร้างที่ไร้ซึ่งความแน่นอนว่าสามารถอยู่ได้อย่างปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับความเสียหายแล้วไม่ได้รับการซ่อมแซมเนื่องจากงบประมาณที่สูง แม้ว่าจะมีการผลิตอิฐบล็อกหลายประเภทตามมาตรฐานต่างๆ

แต่ก็ยังไม่สามารถรับมือกับเหตุการณ์ฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาอิฐบล็อกที่ไม่เพียงแต่มีคุณบัติเชิงกลที่ดี แต่ยังสามารถซ่อมแซมตัวเองได้เมื่อเกิดความเสียหายหรือที่เรียกว่า self-healing โดยมีแนวทางในการใช้วัสดุจากธรรมชาติที่หาได้ง่าย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่ำ คือการใช้เส้นใยผักตบชวา ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus sphaericus* โดยผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำต่างถิ่นที่สามารถกระจายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศการเกษตรและการชลประทานอย่างกว้างขวาง การนำผักตบชวามาใช้ในอิฐบล็อกนี้ถือเป็นการใช้สิ่งที่เป็นมลพิษทางน้ำให้เกิดประโยชน์มากขึ้นด้วย ซึ่งประเด็นหลักคือเส้นใยผักตบชวาสามารถเพิ่มความเหนียว ความยืดหยุ่นทั้งยังช่วยยึดประสานเนื้อให้กับอิฐบล็อกได้ดีขึ้น และแบคทีเรีย *Bacillus sphaericus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างแบบแท่ง สามารถสร้างสปอร์ได้จึงสามารถทนอยู่ได้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ในกรณีนี้คืออยู่ในเนื้อคอนกรีตซึ่งมีค่า pH สูง เมื่อถูกกระตุ้นโดยการได้รับน้ำและสารอาหารที่เหมาะสมแบคทีเรียจะสามารถกลับมามีชีวิตและมีกระบวนการเมทาบอลิซึมได้ โดยใช้ประโยชน์จากการเกิดกระบวนการ Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP process) ของแบคทีเรียซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตจนสามารถอุดรอยร้าวและซ่อมแซมความเสียหายในอิฐได้ด้วยตนเอง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลควบคู่ไปกับความสามารถในการซ่อมแซมตัวเองของอิฐบล็อกคอมโพสิต โดยผสมผสานกันระหว่างเส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรีย Bacillus sphaericus เพื่อผลิตวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ที่ตอบโจทย์ความต้องการของสังคมปัจจุบันและอนาคต ในบริบทที่โลกยุคใหม่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืน และเศรษฐกิจหมุนเวียน การพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่สามารถใช้ทรัพยากรท้องถิ่น ลดของเสีย และมีอายุการใช้งานยาวนาน โดยไม่ต้องซ่อมแซมบ่อยครั้งจึงเป็นแนวทางที่สำคัญอย่างยิ่ง จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างอัจฉริยะ (smart material) ที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน ชี้ให้เห็นว่า "การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลและการซ่อมแซมตัวเองของอิฐบล็อกคอมโพสิตโดยใช้เส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรีย *Bacillus sphaericus*" เป็นการพัฒนานวัตกรรมที่เชื่อมโยงองค์ความรู้ด้านวัสดุศาสตร์ จุลชีววิทยา และสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างวัสดุก่อสร้างที่มีศักยภาพในการใช้งานจริง ซึ่งตอบรับกับความต้องการของสังคมในโลกอนาคต

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเตรียมแบคทีเรีย

กระบวนการเตรียมสปอร์แบคทีเรียทั้งหมดจะต้องทำในห้องปลอดเชื้อ โดยกระบวนการนี้ทำให้แบคทีเรียสามารถคงอยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติโดยใช้แบคทีเรีย *Bacillus sphaericus* และมีขั้นตอนในการเตรียมแบคทีเรีย ดังนี้ (1) ถ่ายเชื้อแบคทีเรียลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (2) บ่มเลี้ยงแบคทีเรียในตู้อบลมร้อน (hot air oven) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การเตรียมเส้นใยผักตบชวา

นำผักตบชวามาล้างทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้นขนาดเล็ก จากนั้นชั่งน้ำหนัก 100 กรัม และนำไปต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12% เพื่อปรับสภาพเส้นใย กระบวนการนี้ช่วยกำจัดสิ่งเจือปน รวมถึงลิกนินและเฮมิเซลลูโลสบางส่วน และทำให้ผิวเส้นใยหยาบขึ้นส่งผลให้การยึดเกาะกับวัสดุประสานดีขึ้น หลังจากการต้มเส้นใยผักตบชวาถูกนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีค่า pH ใกล้เคียงเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบแห้งในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อกำจัดความชื้น และเตรียมเส้นใยให้พร้อมสำหรับการนำไปผสมในการผลิตอิฐบล็อก

2.3 การเตรียมและขึ้นรูปอิฐบล็อก

แบ่งเป็นการผสมทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ สูตรชุดควบคุม โดยมีสัดส่วนคือ ปูน : แคลเซียมแลคเตต : ยูเรีย : น้ำ เป็น 1 กรัม : 0.012 กรัม : 0.004 กรัม : 0.14 มิลลิลิตร, สูตรที่มีเฉพาะเส้นใยผักตบชวาโดยมีสัดส่วนคือ ปูน : เส้นใยผักตบชวา : แคลเซียมแลคเตต : ยูเรีย : น้ำ เป็น 1 กรัม : 0.01 กรัม : 0.012 กรัม : 0.004 กรัม : 0.14 มิลลิลิตร ,สูตรที่มีเฉพาะแบคทีเรียโดยมีสัดส่วนคือ ปูน : แคลเซียมแลคเตต : ยูเรีย : น้ำ เป็น 1 กรัม : 0.012 กรัม : 0.004 กรัม : 0.14 มิลลิลิตร (โดยในน้ำผสมแบคทีเรียที่เพาะในอาหารเหลวด้วยในสัดส่วน 1 : 0.07 มิลลิลิตร) และสูตรคอมโพสิตที่มีทั้งเส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรีย โดยมีสัดส่วนคือ ปูน : เส้นใยผักตบชวา : แคลเซียมแลคเตต : ยูเรีย : น้ำ เป็น 1 กรัม : 0.01 กรัม : 0.012 กรัม : 0.004 กรัม : 0.14 มิลลิลิตร (โดยในน้ำผสมแบคทีเรียที่เพาะในอาหารเหลวด้วยในสัดส่วน 1 : 0.07 มิลลิลิตร) ผสมในภาชนะบีกเกอร์ จากนั้นทำการคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอจนได้เนื้อที่มีความเข้มข้นเหมาะสม เมื่อได้ส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนที่เตรียมไว้และทำการเกลี่ยให้เต็มแม่พิมพ์ จากนั้นปล่อยให้แข็งตัวและบ่ม (curing) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบระยะเวลาการบ่มจึงนำอิฐบล็อกออกจากแม่พิมพ์

2.4 การเก็บข้อมูลกระบวนการ Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP process)

นำอิฐบล็อกที่ได้จากการบ่มมาแช่ในถาดสี่เหลี่ยมและเทน้ำลงในถาดให้ท่วมตัวของอิฐ โดยแช่อิฐไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำอิฐออกมาวางไว้ในถาดสี่เหลี่ยมที่ไม่มีน้ำอีก 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำอิฐไปส่องด้วยกล้อง Stereo microscope และบันทึกผลลงในตารางบันทึกผล

2.5 การทดสอบแรงอัดด้วยการปล่อยจากความสูงต่างๆ

นำอิฐบล็อกแต่ละสูตร มาทำการปล่อยจากที่สูงโดยเริ่มต้นจาก 10 เซนติเมตรแล้วเปลี่ยนก้อนเพื่อทำซ้ำในสูตรเดิม โดยเพิ่มทีละ 10 เซนติเมตรไปเรื่อยๆ สังเกตการเกิดรอยร้าวหรือแตกของอิฐในสูตรนั้นๆ จากนั้นบันทึกผลการทดลอง

2.6 การทดสอบการดูดซับความร้อน

นำ Hot plate ปรับกำลังไฟให้ได้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส(ในที่นี้ใช้กำลังไฟฟ้า 25 วัตต์) หลังจากนั้นวัดอุณหภูมิอิฐในแต่ละสูตรด้วย Infrared Thermometer และนำอิฐบล็อกแต่ละสูตรวางไว้บน Hot plate เป็นระยะเวลา 2 นาทีหลังจากนั้นวัดอุณหภูมิอีกด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับ Hot plate โดยทำซ้ำเหมือนเดิมกับอิฐบล็อกทุกๆสูตร หลังจากนั้นบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

2.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

นำอิฐบล็อกทุกก้อนมาวัดน้ำหนักทุกก้อนของทุกสูตร หลังจากนั้นน้ำอิฐบล็อกแต่ละสูตรไปแช่ในถาดสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นวัดน้ำหนักของอิฐบล็อกทุกๆ 10 นาทีโดยจะบันทึก 1.หลังผ่านไป 10 นาที 2.หลังผ่านไป 20 นาที 3.หลังผ่านไป 30 นาที 4.หลังผ่านไป 40 นาที 5.หลังผ่านไป 50 นาที และ 6.หลังผ่านไป 60 นาที จากนั้นบันทึกค่าที่ได้ลงไปในตารางผลการทดลองที่ได้

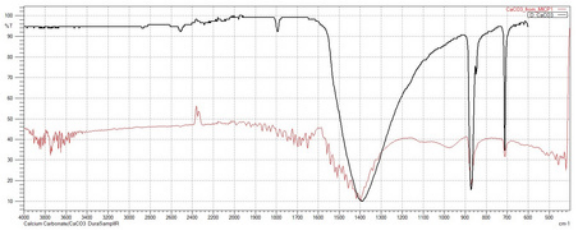
2.8 การทดสอบ Urease Activity

นำตัวอย่างอิฐบล็อกที่ผสมแบคทีเรีย *Bacillus sphaericus* มาบดให้เป็นผงละเอียด และชั่งตัวอย่างในปริมาณ 1.00 กรัม ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลความละเอียด 0.001 กรัม จากนั้นนำผงตัวอย่างอิฐบล็อกใส่ลงในสารละลายยูเรียความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1M) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นหยดสาร Bromothymol blue จำนวน 1 หยด แล้วทำการเขย่าให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 นาที และวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter จากนั้นบ่มด้วยเครื่อง Hot air oven ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นระยะเวลา 2 วัน

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต จากกระบวนการ Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation

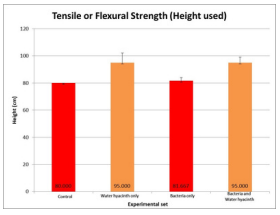
เมื่อนำเศษตะกอนที่เกิดขึ้นระหว่างรอยแยกของอิฐบล็อกทดสอบด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่ามีสเปกตรัมของตะกอนที่ได้จากกระบวนการ MICP ในอิฐบล็อกแสดงแถบการดูดกลืนที่เป็นลักษณะเฉพาะของไอออนคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยพบแถบเด่นที่ช่วงประมาณ 1400–1450 cm^{-1} (การสั่นแบบยืดไม่สมมาตร) และแถบที่ช่วง 870 cm^{-1} และ 700–750 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นแบบงอของ CO_3^{2-}เมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตมาตรฐาน พบว่าตำแหน่งของแถบการดูดกลืนมีความใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าตะกอนที่เกิดจากกระบวนการ MICP เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต และยืนยันความสำเร็จของกระบวนการตกตะกอนทางชีวภาพ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นสเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการ MICPและแคลเซียมคาร์บอเนตมาตรฐาน
เส้นสีแดง คือ เส้นสเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการ MICP
เส้นสีดำ คือ เส้นสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตมาตรฐาน

3.2 ผลการทดสอบแรงอัดด้วยการปล่อยจากความสูงต่างๆ

จากการนำอิฐบล็อกแต่ละก้อนในทุกๆสูตร มาทดสอบแรงอัดโดยการปล่อยตกเสรีจากความสูงต่างๆระดับกัน โดยเริ่มต้นที่ 10 เซนติเมตร และเพิ่มความสูงทีละ 10 เซนติเมตร เป็นต้นไป พบว่าอิฐบล็อกสูตรที่มีผักตบชวาจะสามารถรับแรงอัดและช่วยผสานให้เนื้ออิฐบล็อกยึดติดดีขึ้นรอยแตกร้าวจึงมีขนาดแคบกว่าสูตรที่ไม่มีผักตบชวา ในขณะที่สูตรที่ไม่มีผักตบชวาอิฐบล็อกจะแตกแล้วแยกจากกันทันที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักตบชวาสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลในด้านการรับแรงกระแทกของอิฐบล็อกได้ ซึ่งมีผลการทดลองดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงระดับความสูงที่อิฐบล็อกแต่ละสูตรตกลง
อิฐบล็อกเกิดรอยร้าว
อิฐบล็อกแตกทันที

3.3 ผลการทดสอบการดูดซับความร้อน

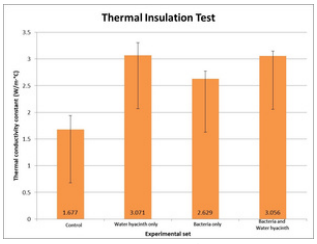
จากการนำอิฐบล็อกแต่ละก้อนในแต่ละสูตร ทดสอบบน Hot plate ที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 นาที แล้วนำอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (T) มาแทนในสมการ Furier's law of heat conduction เพื่อหาค่าคงที่การดูดซับความร้อน ดังสมการที่ 1

$$P = k\frac{A\,\Delta\,T}{l} \qquad \cdots(1)$$

และจัดรูปสมการสำหรับหาค่าคงที่การนำความร้อน ดังสมการที่ 2

$$k = \frac{Pl}{A\,\Delta\,T} \qquad \cdots(2)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้กับ Hot plate (วัตต์), คือ ค่าคงที่การนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน), A คือ พื้นที่หน้าตัดของอิฐบล็อก (ตารางเมตร), ΔT คือ ความต่างอุณหภูมิระหว่างก่อนทดสอบและหลังทดสอบ (เคลวิน), l คือ ความหนาของอิฐบล็อก (เมตร) ซึ่งจากการคำนวณพบว่าอิฐบล็อกที่มีเส้นใยผักตบชวาจะมีค่าคงที่การดูดซับความร้อนที่สูงกว่า นั่นแสดงว่าการเสริมเส้นใยผักตบชวาในอิฐบล็อกสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลในการดูดซับความร้อนได้ แต่การเพิ่มแบคทีเรียด้วยจะลดการดูดซับความร้อนของอิฐบล็อกไป ถึงอย่างไรก็ตามการดูดซับความร้อนของอิฐบล็อกคอมโพสิตที่มีทั้งเส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรียยังมีค่าคงที่การดูดซับความร้อนสูงกว่าสูตรทั่วไป โดยมีผลการทดลองดังภาพที่ 3



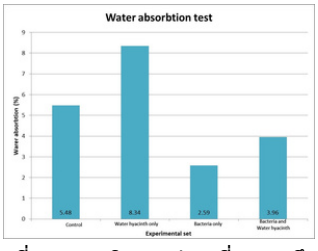
ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงค่าคงที่การดูดซับความร้อนของอิฐบล็อกแต่ละสูตร

3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากการนำอิฐบล็อกแต่ละก้อนในทุกๆสูตร มาทดสอบการดูดซึมน้ำแล้วนำมาคำนวณเพื่อหาร้อยละในการดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ 3

$$\% = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100\% \qquad \cdots (3)$$

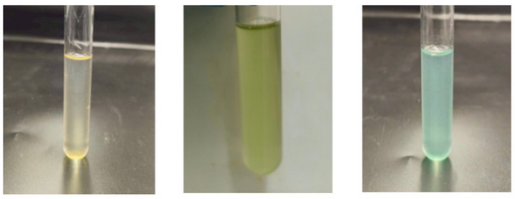
โดยที่ W_i คือ น้ำหนักก่อนนำไปแช่ในน้ำ และ W_f คือ น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ ซึ่งจากการคำนวณพบว่า การเพิ่มแบคทีเรียไปในอิฐบล็อกนั้นจะทำให้การดูดซึมน้ำลดลง แต่การเพิ่มเส้นใยผักตบชวาสามารถเพิ่มการดูดซึมน้ำได้ การผสานเส้นใยผักตบชวาเข้าไปในอิฐบล็อกคอมโพสิตนี้จึงเป็นการเพิ่มการดูดซึมน้ำด้วย ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงค่าคงที่การดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกแต่ละสูตร

3.5 ผลการทดสอบ Urease activity

หลังจากทดสอบ Urease activity แล้วนำไปบ่มด้วยเครื่อง Hot air oven ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นระยะเวลา 2 วัน ให้ผลดังภาพที่ 5



ก.ก่อนนำไปบ่ม ข.นำไปบ่มแล้ว 1 วัน ค.นำไปบ่มแล้ว 2 วัน

ภาพที่ 5 แสดงผลการทดสอบ Urease activity

แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียยังสามารถอาศัยอยู่ในอิฐบล็อกและสามารถสร้างเอนไซม์ยูรีเอสเพื่อมาย่อยสลายยูเรีย ให้เป็นแอมโมเนียได้ จึงทำให้สภาพแวดล้อมกลายเป็นด่าง อินดิเคเตอร์จึงเกิดการเปลี่ยนสี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดกระบวนการ MICP ที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย

4. อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาการใช้กระบวนการ Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) ในการพัฒนาอิฐบล็อก พบว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตภายในโครงสร้างวัสดุได้อย่างชัดเจน โดยผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แสดงแถบการดูดกลืนแสงที่เป็นลักษณะเฉพาะของหมู่คาร์บอเนต ซึ่งสอดคล้องกับแคลเซียมคาร์บอเนตมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการตกตะกอนทางชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้จริงในระบบทดลอง ในการพิจารณาสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อก พบว่าการเติมเส้นใยผักตบชวาช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทกของอิฐบล็อกโดยเส้นใยมีบทบาทในการเพิ่มความเหนียวและช่วยกระจายแรงภายในโครงสร้างวัสดุ ส่งผลให้การเกิดรอยร้าวและการแตกหักลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกที่ไม่มีการเติมเส้นใย นอกจากนี้โครงสร้างภายในของอิฐบล็อกที่มีเส้นใยผักตบชวามีความพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อิฐบล็อกมีแนวโน้มดูดซับความร้อนได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตจากกระบวนการ MICP อาจทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นมากขึ้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการเป็นฉนวนความร้อนลดลงเล็กน้อย ในด้านการดูดซึมน้ำ พบว่าการใช้กระบวนการ MICP ช่วยลดการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อก เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ตกตะกอนสามารถเข้าไปอุดช่องว่างและรูพรุนภายในโครงสร้างวัสดุได้ ขณะที่การเติมเส้นใยผักตบชวาทำให้อิฐบล็อกมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี และการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสยังแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยยูเรียและการสร้างไอออนคาร์บอเนต ซึ่งเป็นกลไกหลักของกระบวนการ MICP

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าอิฐที่สามารถเกิด Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) ได้ดีที่สุดคือ สูตรคอมโพสิตที่มีทั้งเส้นใยผักตบชวาและแบคทีเรียโดยจากผลการทดลองจะพบว่าตัวของผักตบชวายังช่วยทำให้เกิดกระบวนการได้ดียิ่งขึ้นกว่าสูตรที่ผสมเฉพาะแบคทีเรีย เพราะตัวของผักตบชวาทำหน้าที่ยึดเกาะไม่ให้อิฐนั้นไม่แตกในทันที เหมือนสูตรที่ผสมเฉพาะแบคทีเรียและสูตรชุดควบคุมที่อิฐนั้นเมื่อตกแล้วจะแตกทันที โดยอิฐสูตรคอมโพสิตยังดูดซับน้ำน้อยที่สุดเป็นอันดับที่สอง รองจากสูตร อิฐที่ผสมเฉพาะแบคทีเรียแต่มีความสามารถในการนำความร้อนมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำแนะนำให้ใช้แบคทีเรียสำหรับการตกตะกอนหินปูนโดยตรง เช่น *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การทดลองควรดำเนินการภายใต้การควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวัง เพราะถึงแม้แบคทีเรียเหล่านี้จะทนต่ออุณหภูมิสูงได้ แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วอาจส่งผลเสียต่อแบคทีเรียได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์และ การสนับสนุนจากโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะครูรายวิชาโครงงานและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานนางสาวปิยะนุช เขียวอร่าม ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ตลอดจนการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่จากห้อง Microbiology Laboratory , Chemistry Laboratory , STEM Laboratory และห้อง Machine Shop ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนร่วมโครงงานที่ได้ร่วมแรงร่วมใจในการดำเนินงาน จนทำให้โครงงานฉบับนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (n.d.). Water hyacinth is abundant in Thailand, and its reproduction and properties offer numerous benefits. International academic information source.

International Research Articles. (2023). Research has found that bacteria can produce calcium carbonate precipitates through their chemical processes. International scientific research article.

TNN News Agency. (2022). แผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ บ้าน เรือนและโรงเรียนได้รับความเสียหาย ผนังแตกร้าวเป็นวงกว้าง. ข่าวท้องถิ่น TNN, 20 ตุลาคม.

Thairath Online. (2024). กรมอุตุนิยมวิทยาชี้แจง "พายุเล็ก" ไม่เข้าหลักวิชาการ ทำให้เกิดความเข้าใจผิด. ข่าวไทยรัฐออนไลน์, 4 ธันวาคม.