บทที่ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ การผุพังหรือผุกร่อนของก้อนหิน ตึก อาคารบ้านเรือน โบราณวัตถุโบราณสถานหรือสถาปัตยกรรมต่างๆ ที่ทำจากวัสดุก่อสร้างที่เป็นหิน โดยเฉพาะหินตะกอนนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป กรอปกับลักษณะและองค์ประกอบของเนื้อหินเป็นประเภทหินตะกอนคาร์บอเนต (carbonate stones) เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอนินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดองของสัตว์ทะเล ซึ่งถับถมกันภายใต้ความกดดันและตกผลึกใหม่เป็นแร่แคลไซต์หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จึงทำปฏิกิริยากับกรด มีลักษณะเนื้อแน่นละเอียดทึบ มีสีออกขาว เทา ชมพู หรือสีดำตัวอย่างเช่น หินปูน (limestones) โดโลสโตน (dolostones) หินอ่อน (marbles) และเป็นหินที่ละลายน้ำได้ อ่อนไหวต่อสภาพภูมิอากาศ จึงทำให้ผุพังได้ง่าย โดยเฉพาะในปัจจุบันที่มีปัจจัยเสริมจากการเพิ่มขึ้นของมลภาวะทางอากาศ เช่น การเกิดฝนกรด ส่งผลให้เร่งการผุกร่อนเกิดเร็วยิ่งขึ้น

ได้มีความพยายามที่จะหยุดยั้งหรือชะลอการผุกร่อนพังทลาย โดยเฉพาะในส่วนพื้นผิวของวัสดุก่อสร้างเหล่านี้ โดยวิธีการอนุรักษ์ (conservation) ทั้งในรูปแบบของการปกป้อง (protection) โดยป้องกันน้ำ (waterproof) หรือสิ่งอื่นๆ ที่เป็นตัวการของการผุพัง (weathering agents) ไม่ให้สามารถเข้าถึงแกนกลาง (core) ของวัสดุก่อสร้างได้ และการเสริมสร้างความแข็งแกร่ง (consolidation) โดยการปรับปรุงเพื่อลดการผุพังของรูพรุน (porous) ในวัสดุก่อสร้างด้วยซีเมนต์หรือวัสดุสร้างความแข็งอื่นๆ แต่ไม่ว่าจะเป็นการอนุรักษ์ด้วยวิธีใดก็ตาม วัสดุที่นำมาใช้นั้นมีทั้งที่ทำจากสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ต่างๆ เช่น อะคริลิก (acrylic) กาวเรซินอีพอกซี (epoxy resins) และสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ $[Ba(OH)_2]$ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้วิธีการใช้วัสดุต่างๆ เหล่านี้ ก็ยังได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะการใช้วัสดุชนิดสารอินทรีย์นั้นอาจจะไม่สามารถเข้ากันได้กับวัสดุพื้นผิวเดิมและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อพื้นผิวของวัสดุก่อสร้าง ในขณะที่การใช้วัสดุที่ทำจากสารอนินทรีย์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจกว่า ทั้งในแง่ของการเป็นวัสดุที่ใช้ปกป้องและสร้างความแข็งแกร่ง เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นแร่ธาตุ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกับองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น การใช้วิธีการที่เรียกว่า limewater treatment ซึ่งมีสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ เป็นส่วนประกอบ ในการสร้างความแข็งแร่งให้กับหินคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ได้ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ในบรรยายกาศ แต่วิธีการนี้ก็มี

ข้อเสียคือ มีการตกตะกอนน้อย เกิดเป็นแค่ชั้นบางๆ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะปกป้องและสร้างความแข็งแรงให้กับวัสดุก่อสร้าง

ในปัจจุบัน ได้มีการศึกษาวิจัยในการนำแบคทีเรียชนิดที่สามารถชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต ที่เรียกว่า microbial carbonate precipitation (MCP) หรือ biocementation ซึ่งเป็นวิธีการทางชีวภาพที่ช่วยป้องกันการผุพังของวัสดุสิ่งก่อสร้าง และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยโดยวิธีการอนุรักษ์นี้ อาศัยการเลียนแบบวิถีทางธรรมชาติในอดีตเช่นเดียวกับการเกิดขึ้นของหินตะกอนคาร์บอนเนตบนโลก จุลินทรีย์ที่สามารถชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต ส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดิน (heterotrophic soil bacteria) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน เช่น ยูเรีย (urea) ได้โดยใช้เอนไซม์ยูรีเอส (urease) ที่แบคทีเรียผลิตขึ้นมา แล้วได้สารผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอเนตไอออน (carbonate ions) และแอมโมเนียม (ammonium, NH_4^+) ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นด่าง ซึ่งถ้าในสภาพแวดล้อมนั้นมีแคลเซียมไอออน (calcium ions) อยู่ จะทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลไซต์ ($CaCO_3$) ดังนั้นการอนุรักษ์วัสดุก่อสร้างด้วยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับการเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นซีเมนต์บนพื้นผิวหรือรูช่องว่างของวัสดุก่อสร้างโดยการชักนำของแบคทีเรีย ซึ่งทำให้เกิดการยึดติดแน่นของตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตได้ดีกว่าแบบวิธี limewater treatment

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการปกป้องและการเสริมความแข็งแกร่งของพื้นผิววัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณวัตถุโดยอาศัยความสามารถของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเป็นการวิจัยแบบพัฒนาเชิงทดลองให้พื้นผิววัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณวัตถุมีความทนทาน มีการดูดกลืนน้ำต่ำ เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์และซ่อมแซมโบราณวัตถุต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอส
3. เพื่อศึกษาการพัฒนาความแข็งแกร่งของวัสดุก่อสร้างในระหว่างที่มีการตกตะกอนคาร์บอเนต (biomineralization) โดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอส
4. เพื่อศึกษาการปกป้องและการเสริมความแข็งแกร่งของวัสดุก่อสร้างโดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต

5. เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบการใช้ประโยชน์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนตบนพื้นผิววัสดุก่อสร้าง

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการคัดเลือกและจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต โดยศึกษาเฉพาะสกุล *Bacillus* sp. เนื่องจากเป็นสกุลของแบคทีเรียที่มีการสร้างเอนโดสปอร์ที่ดำรงชีวิตอยู่ได้นาน แพร่กระจายได้ดี และทนทานต่อสารเคมีและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์
2. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอส ได้แก่ pH ปริมาณยูเรียและแคลเซียม
3. ทำการศึกษาการพัฒนาความแข็งแกร่งของวัสดุก่อสร้างในระหว่างที่มีการตกตะกอนคาร์บอเนต (biomineralization) โดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอส โดยใช้โมเดลคอลัมน์ทราย
4. ทำการศึกษาการปกป้องและการเสริมความแข็งแกร่งของวัสดุก่อสร้างโดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนต โดยใช้อิฐตัวอย่างที่ทำจากวัสดุที่ใช้ในการทำอิฐบล็อกประสาน แบบที่ใช้ดินจากพื้นที่อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร มาใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิต เป็นตัวแทนของโบราณวัตถุ เนื่องจากอิฐบล็อกประสานที่ทำจากดินดังกล่าวจะมีความแข็งแกร่งของพื้นผิวน้อย ผุกร่อนง่ายและมีรูพรุนบริเวณพื้นผิวของวัสดุมากกว่าแบบที่ใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุหลัก โดยใช้วิธี soaking method แล้ววัดความแข็งแกร่ง (consolidation test) โดยวิธีวัดน้ำหนักที่หายไปของชิ้นอิฐบล็อกประสานตัวอย่างหลังจากผ่านคลื่นเสียงความถี่สูง (sonication) (Rodriguez-Navarro et al., 2003)
5. ทำการศึกษาและพัฒนารูปแบบการใช้ประโยชน์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ยูรีเอสและชักนำให้เกิดการตกตะกอนคาร์บอเนตบนพื้นผิววัสดุก่อสร้าง โดยวิธีการพ่นและทาในรูปแบบของ fermentation culture และศึกษาประสิทธิภาพของตัวแทนของวัสดุก่อสร้างจากการทดสอบค่าดูดซึมน้ำ