ผลของคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของเจดีย์ชัยมงคล วัดใหญ่ชัยมงคล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ทรงพลธนฤทธ์ มฤครัฐอินแปลง[1] สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง[2*] สัญญา กุดั่น[3]

Received : August 22, 2022
Revised : April 18, 2023
Accepted : April 25, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอากาศของโบราณสถานเจดีย์ชัยมงคล วัดใหญ่ชัยมงคล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ โดยการศึกษาคุณภาพของอากาศด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศโดยหลักการตกตามแรงโน้มถ่วง (Gravity plate method) ศึกษาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และผลกระทบของการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของแอคติโนมัยสีทที่แยกได้จากอากาศ โดยแยกให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ด้วยอาหารแข็งสตาร์ช-เคซีน (SCA) และอาหารแข็งสำหรับแยกแอคติโนมัยสีท (AIA) ทดสอบความสามารถในการผลิตสารที่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และการหลั่งสารสีของแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์ที่แยกได้ ผลการศึกษาตัวอย่างอากาศบนกระดาษกรองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบสิ่งแปลกปลอมรูปร่างต่าง ๆ การเปรียบเทียบคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาภายในกับคุณภาพอากาศภายนอกโบราณสถานด้วยการเก็บตัวอย่างอากาศโดยหลักการตกตามแรงโน้มถ่วง พบว่าตัวอย่างอากาศภายนอกมีจำนวนจุลินทรีย์มากกว่าตัวอย่างอากาศภายในโบราณสถาน ยกเว้นตัวอย่างอากาศที่เก็บในเดือนกรกฎาคมและเดือนเมษายน สามารถแยกแอคติโนมัยสีทได้จากตัวอย่างอากาศ ทั้งหมด 65 ไอโซเลท พบว่ามี 64 ไอโซเลทหลั่งสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง และมี 1 ไอโซเลทหลั่งสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด และมีแอคติโนมัยสีท 56% ที่ผลิตสารสีได้ โดยผลิตสารสีน้ำตาล ชมพู เหลือง ส้ม ม่วง และเขียว คิดเป็น 44%, 33%, 11%, 6%, 3% และ 3%

คำสำคัญ: การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ คุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยา เจดีย์ชัยมงคล โบราณสถาน

---

[1] อาจารย์ประจำหลักสูตร วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อีเมล: Songpoltanarit@vru.ac.th

[2] อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อีเมล: Sujidkanlaya@gmail.com

[3] อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง อีเมล: kudansan54@gmail.com

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Sujidkanlaya@gmail.com*

THE EFFECT OF MICROBIOLOGICAL AIR QUALITY ON THE BIOLOGICAL DETERIORATION OF THE CHAI-MONGKHON PAGODA AT WAT YAI CHAI-MONGKHON IN PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA PROVINCE

Songpoltanarit Maruekarajtinplaeng[1] Sujidkanlaya Maruekarajtinplaeng[2*] Sanya Kudan[3]

Abstract

The aim of this research was to study the effects of the microbiological quality of the air in the archeological site of Chai Mongkhon pagoda at Wat Yai Chai Mongkhon in Phra Nakhon Si Ayutthaya province on biodeterioration. For this purpose, the air quality was investigated by scanning electron microscope (SEM), gravitational plate method, and the total bacterial count. The effects of pure actinomycetes isolated from air by starch-casein agar (SCA) and actinomycete isolation agar (AIA) on biodeterioration, the pH of the culture broth, and pigment secretion ability were studied. The results showed that the various shape particles from the air samples on the filter membrane were detected by electron microscope. In addition, the indoor microbiological air quality was compared with the outdoor air quality by the gravity plate method. The result showed that the outdoor samples had a higher number of microorganisms than the indoor air samples except for the samples which were collected in July and April. A total of 65 isolates of actinomycetes were isolated from the air samples. All 65 pure actinomycetes produced substances that affected the pH of the culture broth. Sixty-four isolates secreted an alkaline substance, and only 1 isolate secreted an acidic substance. Fifty-six percent of the isolates were able to secrete pigment from the cell that was brown, pink, yellow, orange, purple, and green, respectively (44%, 33%, 11%, 6%, 3%, and 3%).

Keywords: Biological deterioration, Microbiological air quality, Chai-Mongkhon pagoda, Archaeological site

[1] *Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: Songpoltanarit@vru.ac.th*

[2] *Department 0f Microbiology, Faculty of Science and Technology, Pharmakon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: Sujidkanlaya@gmail.com*

[3] *Department of Biotechnology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, e-mail: Kudannsan54@gmail.com*

** Corresponding author, e-mail: Sujidkanlaya@gmail.com*

บทนำ

เจดีย์ชัยมงคล เป็นเจดีย์ทรงระฆังคว่ำขนาดใหญ่ มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ของชาติไทย ตั้งอยู่ในวัดใหญ่ชัยมงคล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นสถานที่ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมสำคัญของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ สร้างในสมัยอยุธยา ปัจจุบันเจดีย์ชัยมงคลเกิดการเสื่อมสภาพลงมาก ทั้งการเสื่อมสภาพด้านสี พื้นผิว และโครงสร้าง แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการบูรณะซ่อมแซมแล้วหลายครั้งแต่การเสื่อมสภาพยังคงมีให้เห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งสาเหตุของการเสื่อมสภาพมาจากหลายปัจจัย เช่น ความเก่าแก่ของเจดีย์ สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น สภาวะอากาศ อุณหภูมิ แสง และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น คน พืช สัตว์และจุลินทรีย์ ทั้งนี้การเสื่อมสภาพของสิ่งปลูกสร้างที่มีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมทางชีวภาพเรียกว่า การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ หรือ Biodeterioration (Johnson, 1965) สิ่งมีชีวิตที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพเรียกไบโอดีเทอริโอเจน (Biodeteriogen) (Kumer & Kumer, 1999) ซึ่งจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหนึ่งที่มีส่วนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทางชีวภาพได้ (Li et al., 2021)

การเสื่อมสภาพของโบราณสถานที่จุลินทรีย์มีส่วนเกี่ยวข้องจะเกิดอย่างขึ้นช้า ๆ และค่อยเป็นค่อยไป เริ่มจากจุลินทรีย์มีการเจริญและเพิ่มจำนวนโดยใช้โบราณสถานเป็นแหล่งที่อยู่ (Johnson, 1965) สืบเนื่องจากในสภาพแวดล้อมทั่วไปมีอนุภาคจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในรูปของเซลล์และสปอร์ เมื่อเซลล์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์เหล่านั้นตกลงบนพื้นผิวโบราณสถานร่วมกับการมีระยะเวลาและภาวะที่เหมาะสม ทำให้จุลินทรีย์เหล่านั้นเจริญเพิ่มจำนวน ในกระบวนเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ก่อให้เกิดสารเคมีชีวภาพชนิดต่าง ๆ ที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติที่หลากหลาย (Nakaew et al., 2009) ซึ่งส่งผลให้โบราณสถานซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่เกิดการเสื่อมสภาพทางชีวภาพในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง เกิดร่องรอยการถูกกัดกร่อน การเปลี่ยนแปลงสี การเกิดคราบสีต่าง ๆ บนพื้นผิว ที่เนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ กลุ่มที่ผลิตสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง จะทำให้เกิดการกัดกร่อนพื้นผิวส่งผลให้เกิดการแตกหักได้ (พรพรรณ รัตนสัจจะ และ ดวงหทัย สิงห์คะ, 2560; Johnson, 1965) ส่วนการเกิดคราบสี ที่เกิดจากสีของเส้นใยราหรือสีของสปอร์แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างสปอร์ได้ รวมทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตและหลั่งสารสีออกนอกเซลล์ จะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพด้านการเปลี่ยนแปลงสีของโบราณสถานไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ มีรายงานการวิจัยที่สนับสนุนการเสื่อมสภาพของโบราณสถานที่เกิดจากจุลินทรีย์ เช่น Bartoli et al. (2014) พบว่าบริเวณพื้นผิวโดยรอบของปราสาทนครวัด ประเทศกัมพูชา มีจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เจริญปกคลุมทั้งบนพื้นของผิวปราสาท และเจริญแทรกตัวลงในหินที่เป็นวัสดุก่อสร้างได้ พบว่ากลุ่มของจุลินทรีย์ที่โดดเด่น ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว ไซยาโนแบคทีเรีย ไลเคน และมอส เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าสาหร่ายสีเขียว โดยเฉพาะสกุล *Trentepohlia* ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพสูงที่สุด De Leo et al. (2012) รายงานการแยกเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างของสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ 3 แห่ง คือ สุสานเซนต์คาลลิสตัส กรุงโรม ประเทศอิตาลี (CSC13) ถ้ำค้างคาว ในเมืองซูเฮรอส ประเทศสเปน (Cave of Bats) และสุสาน เซนต์อกาทา (St. Agatha) ประเทศมอลตา นำมาแยกและจำแนกชนิดโดยใช้คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาสรีรวิทยาและลายพิมพ์ DNA ของชิ้นส่วน 16S rDNA พบว่า จำนวนและชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันมาก โดยพบว่า ตัวอย่างจาก CSC13 พบจุลินทรีย์ คลาส *Actinobacteria* สูงที่สุดคิดเป็น 76.3% รองลงมาคือ คลาส *Proteobacteria* และ คลาส *Firmicutes* คิดเป็น 15.2% และ 8.5% ตามลำดับ ตัวอย่างจาก Cave of Bats พบจุลินทรีย์ คลาส *Proteobacteria* สูงที่สุดคิดเป็น 49.4% รองลงมาคือ คลาส *Firmicutes* และ คลาส *Actinobacteria* คิดเป็น 41.4% และ 9.2% ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างจาก

St. Agatha พบจุลินทรีย์เพียง 2 คลาส คือ *Actinobacteria และ Firmicutes* คิดเป็น 55.9% และ 44.1% ตามลำดับ ชนิดจุลินทรีย์ที่โดดเด่นจากตัวอย่างทั้ง 3 แห่ง พบว่าเป็นจุลินทรีย์ใน คลาส *Actinobacteria* ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ปริมาณสารอาหารต่ำ อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณแร่ธาตุสูง เป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ Abdulla et al. (2008) ศึกษาผลกระทบจากแอคติโนมัยสีทต่อการเสื่อมสภาพของหินจากสุสาน เทล-บาสตา เมืองซากาซิก อียิปต์ พบว่าปริมาณของเชื้อในฤดูหนาวซึ่งระดับอุณหภูมิเฉลี่ย 18-20 องศาเซลเซียส มีปริมาณเชื้อระหว่าง 10^3 – 10^4 CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างที่เก็บในฤดูร้อนซึ่งอุณหภูมิระหว่าง 28-38 องศาเซลเซียส พบปริมาณเชื้อต่ำกว่า เมื่อจำแนกชนิดของแอคติโนมัยสีทจากเชื้อที่แยกได้ทั้งหมด 160 ไอโซเลท แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม โดยกลุ่ม Streptomyces มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็น 54%, รองลงมาคือกลุ่ม Nocardia, Micromonospora และ Sporangiate-type คิดเป็น 26%, 14% และ 6% ตามลำดับ เชื้อที่แยกได้ผลิตสารสีและหลั่งออกนอกเซลล์ 88% ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าเชื้อแอคติโนมัยสีทสามารถทำความเสียหายต่อหินโดยทำให้น้ำหนักสูญเสียไป 4%

ในอากาศทั่วไปจะมีจุลินทรีย์ปะปนอยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก เรียกว่า ไบโอแอโรซอล (Bioaerosols) จุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศมาจากดิน พืชและน้ำ แต่อากาศไม่ใช่แหล่งที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เพียงแต่สามารถรอดชีวิตอยู่ได้นานโดยเฉพาะสปอร์ของราและแบคทีเรีย (Bugajny et al., 2005) ปริมาณของจุลินทรีย์ในอากาศขึ้นกับหลายปัจจัย มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาผลของคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของโบราณวัตถุและโบราณสถานที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ เช่น Bugajny et al. (2005) รายงานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอากาศนอกอาคารเมืองพอซนาน ประเทศโปแลนด์ ระหว่างปี ค.ศ. 2002-2003 พบว่ามีแบคทีเรีย ยีสต์ และรา สายพันธุ์ราที่พบส่วนใหญ่คือสกุล *Cladosporium* และ *Alternaria* Borrego et al. (2010) รายงานผลการศึกษาคุณภาพอากาศในหอจดหมายเหตุแห่งชาติ ประเทศคิวบา (PLNARC) และในพิพิธภัณฑ์ลาปลาตา (HAMP) พบว่าอากาศของสถานที่ทั้งสองแห่งพบทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย โดยปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศของ PLNARC มีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าในอากาศของ HAMP (PLNARC มีปริมาณเชื้อรา 492.8 CFU/m^{-3} ปริมาณแบคทีเรีย 1,010.4 CFU/m^{-3} ส่วน HAMP มีปริมาณเชื้อรา 229.8 CFU/m^{-3} ปริมาณแบคทีเรีย 176.9 CFU/m^{-3}) Tomassetti et al. (2017) รายงานบทบาทของจุลินทรีย์ต่อการเสื่อมสภาพของภาพจิตกรรมฝาผนังของสุสานเดกลี สคูไล ประเทศอิตาลี พบว่าจุลินทรีย์ที่เก็บตัวอย่างจากอากาศ พื้นผิวและดิน ชนิดที่โดดเด่นคือ *Bacillus* sp. Rajendran & Nisy (2012) ศึกษาจุลินทรีย์ในและนอกอาคารที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของภาพจิตกรรมฝาผนังในวัดเสกไรปุรัมวิษณุ ประเทศอินเดีย พบว่าเชื้อราเป็นเชื้อที่พบเป็นกลุ่มหลักในตัวอย่างอากาศ เมื่อจำแนกชนิดพบว่าเป็นเชื้อราในจีนัส *Alternaria, Aspergillus, Bitrimonospora, Beltrania, Chaetomium, Cladosporium, Curvularia, Drechslera, Emericella, Fusariella, Haplosporiella, Rhizopus* และ *Trichoderma* ในประเทศไทย Nakaew et al. (2009) รายงานการแยกและจัดจำแนกเชื้อแอคติโนมัยสีท ของตัวอย่างดินที่เก็บจากวนอุทยานถ้ำผาเทพและถ้ำผานางคอย โบราณสถานที่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ผลการจำแนกชนิดพบว่าประกอบด้วยหลายจีนัส ได้แก่ จีนัส *Micromonospora, Spirillospora, Catellatospora* และ *Nonomuraea* นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยมากมายที่รายงานเกี่ยวกับความสามารถในการผลิตและหลั่งสารสีออกนอกเซลล์ของเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยสีท (Kheiralla et al, 2016; El-Naggar & El-Ewasy, 2017; Bayran, 2021) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทีมวิจัยจึงสนใจศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาของเจดีย์ชัยมงคล

ด้านปริมาณจุลินทรีย์ และผลกระทบของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มแอคติโนมัยสีท ต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของเจดีย์ชัยมงคล เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถานอื่น ๆ รวมทั้งเจดีย์ชัยมงคล วัดใหญ่ชัยมงคล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอากาศภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล
2. เพื่อแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากอากาศจากภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล
3. เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของเจดีย์จากแอคติโนมัยสีทที่แยกได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่างอากาศ

การเก็บตัวอย่างอากาศ และการเก็บตัวอย่างพื้นผิวเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในงานวิจัยนี้ ได้เก็บจำนวน 3 ครั้ง จากภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็นช่วงระยะเวลาต่าง ๆ คือ เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ เพื่อเป็นตัวแทนฤดูหนาว เก็บตัวอย่างเดือนเมษายน เพื่อเป็นตัวแทนฤดูร้อน และเก็บตัวอย่างเดือนกรกฎาคม เพื่อเป็นตัวแทนฤดูฝน

การศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดอากาศแบบติดตัวบุคคล (Personal sampling pump) ปั๊มอากาศผ่านกระดาษกรองปลอดเชื้อชนิดเมมเบรนที่มีความละเอียด 0.45 ไมครอน ให้อัตราการไหลของอากาศเป็น 50 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศตำแหน่งละ 10 นาที (ปราโมช เชี่ยวชาญ, 2554) โดย ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างคือทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ของเจดีย์ชัยมงคล จากนั้นนำกระดาษกรองไปตรวจสอบภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV

การศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาโดยหลักการตกตามแรงโน้มถ่วงโลก

เก็บตัวอย่างอากาศ ตามหลักการตกตามแรงโน้มถ่วงโลก (Gravity plate method) (Samuel & Bahilu, 2015) โดยใช้อาหารแข็งสูตร Malt Extract Agar (MEA) สำหรับการตรวจสอบเชื้อรา และ Tryptic Soy Agar (TSA) สำหรับตรวจสอบเชื้อแบคทีเรีย โดยการเปิดฝาจานอาหารให้สัมผัสอากาศนาน 10 นาที การเก็บตัวอย่างอากาศภายนอกเจดีย์ จะวางจานอาหารสูงจากพื้น 1 เมตร ด้านทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ส่วนการเก็บตัวอย่างอากาศภายในเจดีย์ จะวางจานอาหารสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร เนื่องจากบริเวณภายในเจดีย์มีข้อจำกัดด้านความสูง โดยวางจานอาหาร 4 จุด จากนั้นนำจานอาหาร มาบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียบนพื้นผิวเจดีย์

เก็บตัวอย่างจากพื้นผิวภายในและพื้นผิวภายนอกเจดีย์ โดยการกวาดเชื้อ (Swab) บนพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางนิ้ว นำมาเจือจางแบบลดลำดับครั้งละ 10 เท่า จากนั้นดูดตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจาง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน Petrifilm-3M ชนิด Petri film aerobic count plate โดยแต่ละระดับความเจือจางทำการทดลอง 3 ซ้ำ (สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง, 2558; 2560a) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24-

48 ชั่วโมง แล้วนับโคโลนีที่เจริญ โดยเลือกนับเฉพาะแผ่นฟิมล์ที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 30-250 โคโลนี นำมาคำนวณหาจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด

การแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากตัวอย่างอากาศของเจดีย์ชัยมงคล

เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเทคนิค Gravity plate method ภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล ด้านทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Starch-Casein Agar (SCA) และ Actinomycete Isolation Agar (AIA) (Jeffrey & Azrizal, 2007; สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง, 2560b) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คัดเลือกเฉพาะเชื้อที่มีลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยสีท กล่าวคือ ผิวหน้าโคโลนีคล้ายกำมะหยี่ มีทั้งส่วนที่เจริญบนผิวหน้าอาหาร (Aerial mycelium) และส่วนที่จมลงในเนื้ออาหาร (substrate mycelium) มาแยกให้บริสุทธิ์ โดยการ Re-streak ด้วยอาหาร Hickey & Tresner's Agar (HTA) (Abdulla et al., 2008) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน เมื่อได้เชื้อบริสุทธิ์แล้ว เก็บเชื้อไว้บนอาหารแข็งเอียงสูตร HTA สำหรับการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

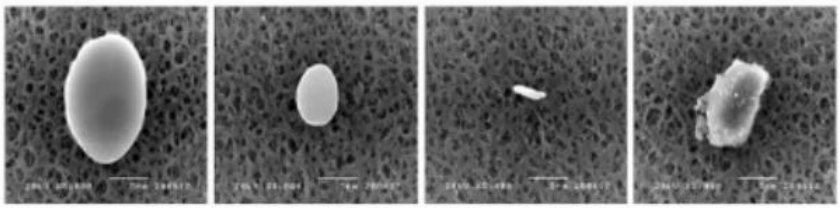
การศึกษาการเปลี่ยนค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อและการผลิตสี

เพาะเชื้อแอคติโนมัยสีท ในอาหารเหลวสูตรกลูโคส (Glucose broth) ที่ประกอบด้วย Glucose ปริมาณ 10 กรัม Peptone ปริมาณ 5 กรัม Beef extract ปริมาณ 3 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มใน Incubator shaker ความเร็วรอบ 200 rpm อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้น วัดค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้เครื่องวัด pH ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารเลี้ยงเชื้อเปรียบเทียบกับสีอาหารเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น (Parmar et al., 2017)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการนำกระดาษกรองจากการเก็บตัวอย่างอากาศด้วย personal sampling pump ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM ได้ผลดังภาพที่ 1



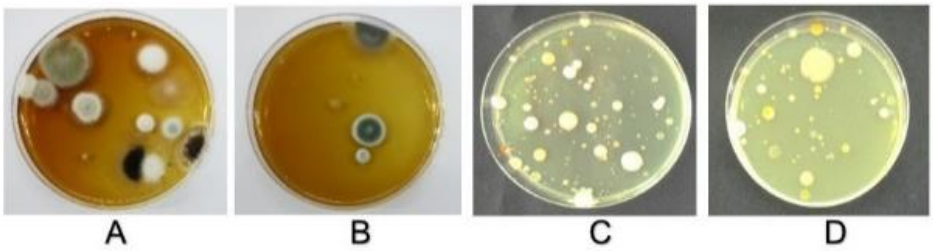
ภาพที่ 1 ภาพใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM ของตัวอย่างอากาศ

จากภาพที่ 1 พบว่าสิ่งแปลปลอมที่ติดอยู่บนแผ่นกระดาษกรอง มีลักษณะหลายแบบ เช่น รูปไข่ (ภาพที่ 1 A, B) รูปท่อนสั้นคล้ายเมล็ดข้าวสาร (ภาพที่ 1 C) และรูปร่างไม่แน่นอน (ภาพที่ 1 D) โดยพบว่าขนาดของสิ่งแปลปลอมมีหลายขนาด เช่น เล็กกว่า 5 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1 C) ขนาดระหว่าง 5-10 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1 B, C) และขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1 A) ซึ่งสิ่งแปลปลอมที่พบนี้อาจเป็นเซลล์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายเรื่องที่พบว่าในอากาศทั่วไปจะพบจุลินทรีย์ได้

ในรูปเซลล์และสปอร์ของเชื้อ ทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา (Borrego et al., 2010; Bugajny et al., 2005; Tomassetti et al., 2017) ซึ่งชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่พบจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เป็นต้น การพบสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอากาศในบริเวณเจดีย์ชัยมงคลอาจมีเซลล์ของจุลินทรีย์ล่องลอยปะปนอยู่

ผลการศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลชีววิทยาโดยหลักการตกตามแรงโน้มถ่วงโลก

ผลจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล โดยใช้หลักการตกตามแรงโน้มถ่วงโลก ด้วยอาหาร MEA เพื่อตรวจสอบเชื้อรา และ TSA เพื่อตรวจสอบเชื้อแบคทีเรีย ได้ผลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเจริญของจุลินทรีย์บนอาหาร MEA และ TSA ของตัวอย่างอากาศที่เก็บด้วยวิธีการตกตามแรงโน้มถ่วงของโลกจากภายนอกเจดีย์และภายในเจดีย์

A: การเจริญของราบนอาหาร MEA ของอากาศที่เก็บจากภายนอกเจดีย์

B: การเจริญของราบนอาหาร MEA ของอากาศที่เก็บจากภายในเจดีย์

C: การเจริญของแบคทีเรียบนอาหาร TSA ของอากาศที่เก็บจากภายนอกเจดีย์

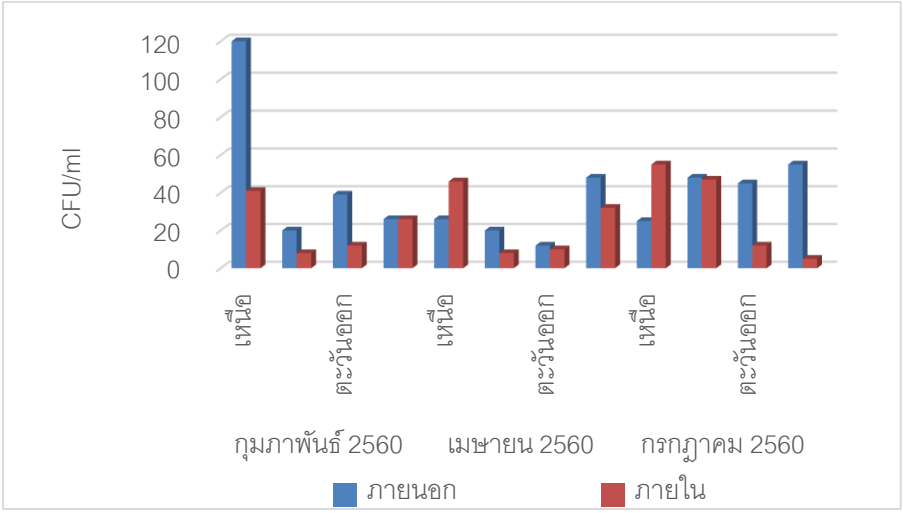
D: การเจริญของแบคทีเรียบนอาหาร TSA ของอากาศที่เก็บจากภายในเจดีย์

จากภาพที่ 2 เป็นภาพตัวแทนผลการเก็บตัวอย่างอากาศจากเจดีย์ชัยมงคล เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร MEA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อราเก็บตัวอย่างอากาศจากภายนอกเจดีย์ (ภาพที่ 2 A) พบว่ามีจำนวนโคโลนีของราเจริญมากกว่าตัวอย่างอากาศที่เก็บจากภายในเจดีย์ (ภาพที่ 2 B) โดยราที่เจริญมีลักษณะของเส้นใยและสปอร์หลายสี เช่น เส้นใยและสปอร์สีขาว สปอร์สีเขียว สีเทา สีน้ำตาลและสีดำ เป็นต้น เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร TSA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย พบว่ามีแบคทีเรียที่มีลักษณะโคโลนีหลายแบบเจริญ เช่น แบคทีเรียที่มีโคโลนีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี ระหว่าง 0.1- 0.3 มิลลิเมตร) โคโลนีขนาดกลาง (เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี ระหว่าง 0.3- 0.5 มิลลิเมตร) และ โคโลนีขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี มากกว่า 0.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป) (ภาพที่ 2 C, D) นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียที่เจริญมีโคโลนีสีต่าง ๆ เช่น สีขาว สีครีม สีส้ม และสีเหลือง รวมทั้งพบแบคทีเรียที่มีสัณฐานวิทยาเบื้องต้นที่เป็นสมบัติเฉพาะของเชื้อแอคติโนมัยสีท คือ ผิวหน้าโคโลนีคล้ายกำมะหยี่ มีส่วนของโคโลนีที่เจริญจมลงในอาหาร และเป็นเส้นใยสั้น ๆ คล้ายรา เจริญให้เห็นในอาหาร TSA ด้วยด้านปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในตัวอย่างอากาศ พบว่าตัวอย่างอากาศที่เก็บจากภายนอกเจดีย์ (ภาพที่ 2 C) จะมีจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียมากกว่าตัวอย่างอากาศที่เก็บจากภายในเจดีย์ (ภาพที่ 2 D) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kim et al. (2016) ที่พบว่าโบราณสถานใน

เกาหลีที่เป็นอาคารแบบเปิดจะพบเชื้อราที่มีความหลากทางพันธุกรรมสูงโดยสามารถแยกเชื้อบริสุทธิ์ของเชื้อราเพื่อจำแนกชนิดได้มากกว่าโบราณสถานที่เป็นอาคารแบบปิด และจากงานวิจัยของ Rajendran & Nisy (2012) ที่พบว่าปริมาณของจุลินทรีย์ในอากาศที่เก็บภายนอกโบสถ์ของวัดเสกไรปุรัมวิษณุจะมีปริมาณมากกว่าอากาศที่เก็บภายนอกโบสถ์ จากการตรวจพบเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของตัวอย่างอากาศจากภายในและภายนอกเจดีย์ที่พบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งราและแบคทีเรียที่มีลักษณะสัณฐานวิทยารวมทั้งสีโคโลนีและสีของสปอร์ที่หลากหลายเจริญได้ หากจุลินทรีย์เหล่านี้ตกลงพื้นผิวของเจดีย์และเจริญเพิ่มจำนวนย่อมส่งผลต่อการเสื่อมสภาพด้านสีของเจดีย์ เช่น คราบสีต่าง ๆ ของพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงตามสีของสปอร์เชื้อรา หรือคราบสีที่มาจากสีโคโลนีของแบคทีเรีย ปัจจุบันพบว่า พื้นผิวเจดีย์ชัยมงคลทั้งภายใน และภายนอก เกิดการเสื่อมสภาพอย่างเห็นได้ชัด โดยพบคราบสีต่าง ๆ โดยเฉพาะคราบสีดำที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนพื้นผิวเจดีย์โดยเฉพาะพื้นผิวด้านนอก

ผลการศึกษาแบคทีเรียบนพื้นผิวเจดีย์

ผลการศึกษาแบคทีเรียบนพื้นผิวเจดีย์ โดยการเก็บตัวอย่างด้วยการ swab พื้นผิวภายในและภายนอกเจดีย์ มาตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียโดยการเพาะเชื้อด้วย petri-film aerobic count plate ได้ผลดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณแบคทีเรียบนพื้นผิวภายในและภายนอกเจดีย์ชัยมงคล เมื่อเก็บตัวอย่าง ในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560

จากภาพที่ 3 พบว่าปริมาณแบคทีเรียของตัวอย่างจากพื้นผิวภายในและภายนอกเจดีย์ ในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 มีปริมาณแบคทีเรียจากตัวอย่างพื้นผิวภายนอกเจดีย์สูงกว่าตัวอย่างจากพื้นผิวภายในเจดีย์ ยกเว้นตัวอย่างที่เก็บจากด้านทิศเหนือ ในเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียบนพื้นผิวเจดีย์ โดยเปรียบเทียบตามฤดูกาลในการเก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณแบคทีเรียของตัวอย่างที่เก็บจากพื้นผิวในเดือนกรกฎาคม (ตัวแทนฤดูฝน) จะพบปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บในเดือนอื่น ๆ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง (2560a, 2560b) ที่พบว่าฤดูฝนจะพบปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าฤดูกาลอื่น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียจากภายนอกและภายในเจดีย์

โดย ตัวอย่างที่เก็บจากภายนอกเจดีย์ จะมีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บจากพื้นผิวภายในเจดีย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bugajny et al. (2005) และ Kim et al. (2016) ที่พบปริมาณจุลินทรีย์ของอากาศภายนอกอาคาร สูงกว่าปริมาณจุลินทรีย์ของอากาศภายในอาคาร เนื่องจากภายนอกอาคารเป็นส่วนที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง อนุภาคจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศจึงสามารถตกลงบนพื้นผิวภายนอกได้ อย่างไรก็ตาม การที่ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบบนพื้นผิวทั้งภายนอกและภายในอาคารมีปริมาณมาก หรือ น้อย นอกจากฤดูกาลที่เกี่ยวข้องแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ระดับความความชื้น อุณหภูมิ และความสูงของสิ่งก่อสร้างจากระดับน้ำทะเล เป็นต้น (Kim et al., 2016)

ผลการแยกแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์

เมื่อเก็บตัวอย่างอากาศ โดยใช้หลักการตกตามแรงโน้มถ่วงโลก โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร SCA และ AIA นำมาแยกให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ เน้นแยกเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยสีท เพราะเป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ ทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีรวมทั้งมีรายงานวิจัยหลายเรื่องที่สนับสนุนผลกระทบของเชื้อกลุ่มดังกล่าวต่อการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ (Borrego et al., 2010; Bugajny et al., 2005; Tomassetti et al., 2017) ผลการแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากตัวอย่างอากาศและผลการศึกษาการหลั่งสารเมแทบอไลต์ออกนอกเซลล์ของเชื้อแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์จากเจดีย์ชัยมงคล และความสามารถในการผลิตสารเมแทบอไลต์ของเชื้อ

ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง	จำนวนเชื้อที่แยกได้ (ไอโซเลท)	ฤทธิ์ของสารที่เชื้อผลิต		จำนวนไอโซเลทที่ผลิตสารสีออกนอกเซลล์
		ด่าง	กรด	
ภายนอก	27	26	1	14
ภายใน	38	38	0	22
รวม	65	64	1	36

จากตารางที่ 1 พบว่าแยกเชื้อแอคติโนมัยจากตัวอย่างอากาศภายนอกเจดีย์ได้จำนวน 27 ไอโซเลท และจากตัวอย่างอากาศภายในเจดีย์ได้จำนวน 38 ไอโซเลท รวมเชื้อแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์ทั้งหมดที่แยกได้จำนวน 65 ไอโซเลท พบว่าจำนวนเชื้อแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์ที่แยกได้จากตัวอย่างอากาศภายในเจดีย์ มีจำนวนมากกว่าตัวอย่างอากาศที่ภายนอกเจดีย์ ถึงแม้ว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในอากาศภายนอกจะสูงกว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของอากาศภายในเจดีย์ แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในเจดีย์เป็นสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะคล้ายในถ้ำ มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ความชื้นสูง และไม่ถูกรบกวนจากแสงแดด ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยสีท ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nakaew et al. (2009) รายงานการแยกและจำแนกชนิดของแอคติโนมัยสีทจากถ้ำทางภาคเหนือของประเทศไทยและพบว่าถ้ำนับเป็นแหล่งใหม่ที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมของแบคทีเรีย จีนัส Actinomycetes สูง นอกจากนี้ Farda et al. (2022) รายงานว่า

ในสภาพแวดล้อมภายในถ้ำ สามารถสังเกตเห็นเชื้อแอคติโนมัยสีทได้ด้วยตาเปล่า เช่น ตามผนังถ้ำหรือตามพื้นผิวของแผ่นหินภายในถ้ำที่สามารถพบโคโลนีของเชื้อที่มีขนาด 1- 10 มิลลิเมตร ได้ เป็นต้น

ผลการศึกษาการเปลี่ยนค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อและความสามารถในการผลิตสารสี

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อแสดงดังรายละเอียดในตารางที่ 1 พบว่าแอคติโนมัยสีทที่แยกได้มีความสามารถในการผลิตสารเมแทบอไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจำนวน 64 ไอโซเลท และผลิตสารเมแทบอไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจำนวน 1 ไอโซเลท ซึ่งจากความสามารถดังกล่าวของเชื้อแสดงให้เห็นว่าหากเชื้อเหล่านี้เจริญบนพื้นผิวของเจดีย์และผลิตสารเมแทบอไลต์ดังกล่าวออกนอกเซลล์ย่อมส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพด้านการกัดกร่อนพื้นผิวของเจดีย์ โดยส่งผลให้พื้นผิวเจดีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่สวยงาม เช่น จากเดิมพื้นผิวเรียบเนียน มันวาว สวยงาม เปลี่ยนเป็นพื้นผิวไม่เรียบ ขลุขละ เป็นต้น ในขณะที่ผลด้านความสามารถในการผลิตและหลั่งสารที่มีสีออกนอกเซลล์ของแอคติโนมัยสีทที่แยกได้ แสดงดังภาพที่ 4

A B

ภาพที่ 4 ปริมาณของแอคติโนมัยสีทบริสุทธิ์ที่มีความสามารถในการผลิตสารสี เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตรกลูโคสโดยการบ่มในสภาวะเขย่า (ความเร็วรอบ 200 rpm) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน

จากภาพที่ 4 พบว่าเชื้อแอคติโนมัยสีททั้ง 65 ไอโซเลท ผลิตสารสีได้มีจำนวน 36 ไอโซเลท คิดเป็น 56% โดยพบว่าสารสีที่เชื้อผลิตได้มีหลายสี ส่วนใหญ่จะผลิตสารสีน้ำตาล คิดเป็น 44% รองลงมาคือผลิตสารสีชมพู คิดเป็น 33% และผลิตสารสีเหลือง สีส้ม สีม่วงและสีเขียว คิดเป็น 11%, 6%, 3% และ 3% ตามลำดับ (ภาพที่ 4B) จากผลการทดลองที่พบว่ามีเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยสีทสูงถึง 56% ที่สามารถผลิตสารสีและหลั่งสารสีออกนอกเซลล์ได้ ย่อมแสดงว่าหากมีเชื้อเหล่านี้เจริญบนพื้นผิวของเจดีย์ จะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพด้านสีของเจดีย์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

สรุป

จากผลงานวิจัยนี้พบว่าอากาศในบริเวณเจดีย์ชัยมงคล ทั้งภายในและภายนอกเจดีย์มีอนุภาคจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในรูปของ Bioaerosols อาจปะปนในรูปของเซลล์หรือสปอร์ โดยปริมาณจุลินทรีย์ของอากาศภายในเจดีย์มีน้อยกว่าอากาศภายนอกเจดีย์ สามารถแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากตัวอย่างอากาศได้ 65 ไอโซเลท เชื้อแอคติโนมัยสีทที่แยกได้มีความสามารถในการผลิตสารเมแทบอไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจำนวน 64 ไอโซเลท และผลิตสารเมแทบอไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจำนวน 1 ไอโซเลท และมีเชื้อแอคติโนมัยสีท 56% ที่สามารถผลิตสารสีและหลั่งสารสีออกนอกเซลล์ได้ แสดงว่าเชื้อมีส่วนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของเจดีย์อย่าง

น้อย 2 ด้าน คือ ด้านพื้นผิวถูกกัดกร่อนจากสารเมแทบอลต์ที่เชื้อผลิต และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสารสีที่เชื้อผลิตและหลั่งออกนอกเซลล์ ดังนั้นหากในอากาศมีจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในปริมาณมาก โอกาสที่จุลินทรีย์เหล่านั้นจะตกสู่พื้นผิวของเจดีย์ย่อมสูงด้วย อาจส่งผลให้อัตราการเสื่อมสภาพทางชีวภาพที่มีเชื้อจุลินทรีย์เป็นสาเหตุเกิดได้เร็วขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การมีปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศสูงมีส่วนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทางชีวภาพของเจดีย์ชัยมงคล ดังนั้นควรหาแนวทางในการลดปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ โดยเฉพาะพื้นที่ภายในเจดีย์อาจใช้รังสี UV เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ แต่ควรศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมด้านความถี่และระยะเวลาที่เหมาะสมของการใช้รังสี UV ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ และการใช้รังสี UV ฆ่าเชื้อที่ตกลงพื้นผิวเจดีย์เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของเชื้อ รวมทั้งศึกษาผลกระทบของรังสี UV ต่อการเสื่อมสภาพของเจดีย์ เพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และการศึกษาข้อมูลเชิงลึกด้านสรีรวิทยาและพันธุกรรมของแอคติโนมัยสีทที่แยกได้เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์เชิงวิชาการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักศิลปากรที่ 3 พระนครศรีอยุธยา ด้านการอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2554). **การเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศ: ตอนที่ 1**. สืบค้นจาก https://www.stou.ac.th /schools/shs/booklet/book543/sanitation.html

พรพรรณ รัตนสัจจะ, และ ดวงหทัย สิงห์คะ. (2560). ผลกระทบของจุลินทรีย์ต่อโบราณสถาน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ**, 1(2), 27-35.

สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง. (2558). ความหลากหลายของแอคติโตแบคทีเรียที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพทางชีววิทยาของวัดราชบูรณะจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. **วารสารวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 16(2), 300-311.

สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง. (2560a). การแยกและศึกษาสมบัติบางประการของแอคติโนแบคทีเรียจากโบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพทางชีววิทยา. **วารสารวิทยาศาสตร์ มศว**, 33(2), 51-69.

สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง. (2560b). การคัดแยกและศึกษาสมบัติบางประการของแอคติโนแบคทีเรียที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพทางชีววิทยาของโบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 12(1), 107-117.

Abdulla, H., May, E., Bahgat, M., & Dewedar, A. (2008). Characterization of actinomycetes isolation from ancient stone and their potential for deterioration. **Polish Journal of Microbiology**, 57(3), 213-220.

Bartoli, F., Municchia, A. C., Futagami, Y., Kashiwadani, H., & Moon, K. H. (2014). Biological colonization patterns on the ruins of Angkor temples (Cambodia) in the biodeterioration vs bioprotection debate**. International Biodeterioration & Degradation**, 96, 157-165.

Bayram, S. (2021). Production, purification, and characterization of *Streptomyces* sp. strain MPPS2 extracellular pyomelanin pigment. **Archives of microbiology**, 203(7), 4419–4426.

Borrego, S., Guiamet, P., Gomez de Saravia, S., Batistini, P., Garcia, M., Lavin, P., & Perdomo, L. (2010). The quality of air at archives and biodeterioration of photographs. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 64, 139-145.

Bugajny, A., Knopkiewicz, M., Piotraszewska Pajak, A., Sekulska-Stryjakowska, M., Stach, A., & Filipiak, M. (2005). On the microbiological quality of the outdoor air in Poznan, Poland. **Polish Journal of Environmental Studies**, 14(3), 287-293.

De Leo F., Iero A., Zammit G., & Urzì C. (2012). Chemoorganotrophic bacteria isolated from biodeteriorated surfaces in cave and catacombs. **International Journal of Speleology**, 41(2), 125-136.

El-Naggar, N. E. A., & El-Ewasy, S. M. (2017). Bioproduction, characterization, anticancer and antioxidant activities of extracellular melanin pigment produced by newly isolated microbial cell factories *Streptomyces glaucescens* NEAE-H. **Scientific reports**, 7(1), 42129.

Farda, B., Djebaili, R., Vaccarelli, I., Del Gallo, M., & Pellegrini, M. (2022). **Actinomycetes from Caves: An overview of their diversity, biotechnological properties, and insights for their use in soil environments.** Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8875103/pdf/microorganisms-10-00453.pdf

Jeffrey, L. S. H., & Azrizal, M. R. (2007). Screening for cellulose activities in actinomycetes isolated from different location of Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, 35(1), 153-157.

Johnson, H. M. (1965). **Concerted structure: causes of deterioration and preventive measure. Deterioration, Maintenance and Repair of Structure**. New York: MacGrew-Hill

Kheiralla, Z. H., Hewedy, M. A., Mohammed, H. R., & Drawesh, O. M. (2016). **Isolation of Pigment Producing Actinomycetes from Rhizosphere Soil and Application It in Textiles Dyeing**. Retrieved from https://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7(5)/[270].pdf

Kim, M. J., Shin, H. K., Choi, Y., Kim, G., & Kim, G. H. (2016). An aero mycological study of various wooden cultural heritages in Korea. **Journal of Cultural Heritage**, 17, 123-130.

Kumer, R., & Kumer, A. V. (1999). Biodeterioration of stone in tropical environment: an overview. **The Getty Conservation institute**, 1-9.

Li, J., Deng, M., Gao, L., Yen, S, Katayama, Y., & Gu, J. D. (2021). The active microbes and biochemical processes contributing to deterioration of Angkor sandstone monuments under the tropical climate in Cambodia – A review. **Journal of cultural heritage**, 47, 218-226.

Nakaew, N., Pathom-aree, W., & Lumyong, S. (2009). Genetic diversity of rare Actinomycetes from Thai cave and their possible use as new bioactive compounds. **Actinomycetologica**, *23*(2), 21-26.

Parmar, R.S., Singh, C., & Kumar, A. (2017). Optimization of cultural parameters for pigment production from *Streptomyces flavofuscus* ARITM02, isolated from rhizosphere soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, *6*(2), 961-966.

Rajendran, R., & Nisy, P. (2012). A study on the indoor and outdoor microflora associated with the biodeterioration of mural painting at Sekharaipuram Visnu temple, Adakkaputhur, Palakkad, Kerala, India. **International Journal of Environmental Sciences and Research**, 1(4), 104-108.

Samuel, F., & Bahilu, G. (2015). Microbiological assessment of indoor air of teaching hospital wards: a case of Jimma university specialized hospital. **Ethiop Journal Health Science**, *25*(2), 117-122.

Tomassetti, M. C., Clrigliano, A., Arrighi, C., Negri, R., Mura, F., Maneschi, M. L., Gentili, M. D., Stirpe, M., Mazzoni, C., & Rinaldi, T. (2017). A role for microbial selection in frescoes deterioration in *Tomba degli Scudi* in Tarquinia, Italy. **Scientific report**, 7, 6027-6035.