-R NH .

f h g f i h i hf h hf g f h f -R NH .
m f h f i f

61 6 6 7 8

[1] ศูนย์วิจัยด้านนวัตกรรมการก่อสร้างและระบบโครงสร้างพื้นฐานสำหรับอนาคต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี ประเทศไทย
*Corresponding author; E-mail address: chitsanupong.peachy@mail.kmtt.ac.th

g fh

Historical buildings are located in the open air without protection, which exposes them to deterioration of the constructed materials and eventually results to the structural instability. This study examined the efficacy of microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) in ancient foundations consisting of bricks and mortars. This method of improvement complies with the requirements of the Fine Arts Department that does not allow the vibration around the area of the historical site. The microorganism namely "*Lysinibacillus sphaericus* LMG 22257" was used in this study in which this microorganism was classified as a high potential for calcium carbonate production. Tested bricks (from the factories in Phra Nakhon Si Ayutthaya province) and mortars were made according to the Fine Arts Department's suggestion. In the tests, both bricks and mortars were submerged in solution of microorganism for 18 days. The microstructural development at material's surface was evaluated using a Scanning Electron Microscope, mineral content was determined using an Energy Dispersive X-ray Spectrometer, and change in material's surface depth was evaluated using 3D Optical Surface Profilers. The results revealed that the MICP can allow to provide the reduction in the cracks and pores on the material's surface. Therefore, it can be concluded that the MICP method can be adopted for improving the quality of the ancient foundations.

Keywords Microbially induced calcium carbonate precipitation, Ancient bricks, Mortar

Lysinibacillus sphaericus LMG 22257

18

: ,

,

63

(Scanning Electron Microscope, SEM)

[1]

(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDS)
(3D scan)

73

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.1 อิฐทดแทน

(Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation, MICP) [2]

[3]

950–1,100

5 . x 5 . x 5 .
1( ) (5 . x 15 . x 30 .)

2.1.2 มอร์ตาร์ทดแทน

5 . x 5 . x 5 .
1( )

1:8:24

( )

[4] [5]

[6]

(1)

(2) 597 (
3)

( ) ( )
6 ( )

(3) ( )
1,400 /

1 1
$(CO(NH_2)_2)$ 0.5 (NH_4Cl)
10 $(NaHCO_3)$ 2.12
$(CaCl_2.2H_2O)$ 0.5
L. sphaericus LMG 22257
350

3.2 ขั้นตอนการทดสอบการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยจุลินทรีย์

4

(1)
L. sphaericus LMG 22257

(2)
1 .

(3)
12

(4) 3
2 18

3.3 การวิเคราะห์ผล

18

SEM, EDS 3D Scan

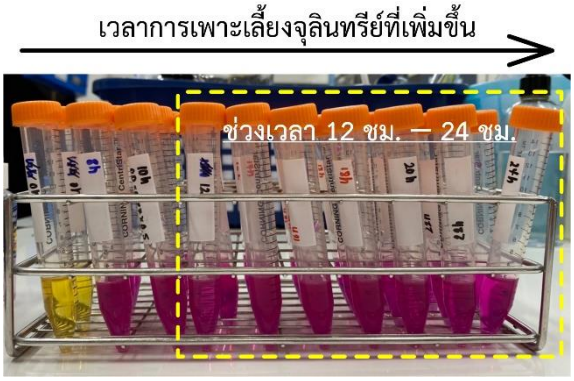
3

(Scanning Electron Microscope, SEM)

(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDS)

(3D
scan)

LMG7[( )] TJETEMC /Span K/ACID 52/Lang (th-TH)>BDC q0.000008869 0 595.2 841.8 re346W*nBTf76 12 Tf1 0 0 1 304.73 582.82 Tm0 g0 G[80F8010E00F000EC5810A01190



L. sphaericus

LMG 22257

12 .

L. sphaericus LMG 22257

12 . 20 .

6 0 24 .

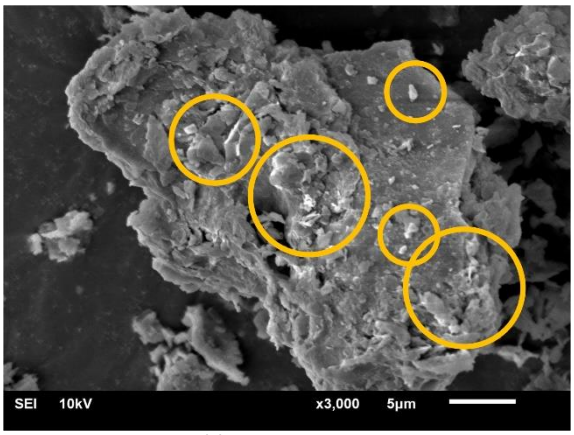
12–18 .

L. sphaericus LMG

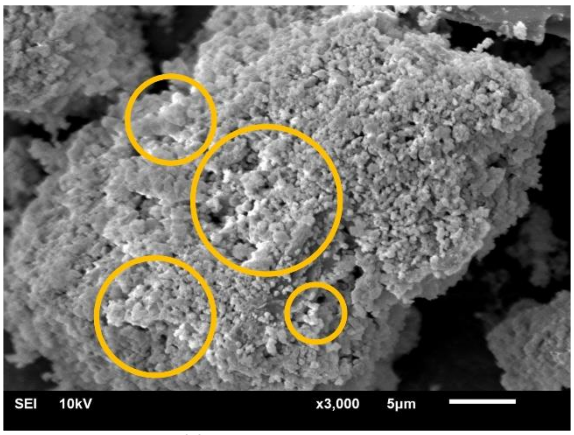
22257

12 .

2



( )



( )

1 .

18

4.2 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ

4.2.1 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอิฐด้วยเครื่องมือ SEM

7

1 .

6

( ) 18

	1 .	2 .
1 *	0.42%	0.28%
2 **	38.97%	

** อิฐที่ผ่านกระบวนการการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยจุลินทรีย์;*

*** ดินที่ผ่านกระบวนการการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยจุลินทรีย์*

4.2.2 ผลการทดสอบปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยเครื่องมือ EDS

1 . 2 .

18

1 ,

L. sphaericus LMG 22257

4.2.3 ผลการตรวจสอบการตกตะกอนบนพื้นผิววัสดุด้วยเครื่องมือ 3D Scan

1

7

	( )		(%)
No. 1.4	7578.19	7992.85	9.56
No. 1.6	6851.61	7787.03	
No. 2.1	5865.41	6481.72	14.45
No. 3.2	5503.84	6515.82	

2

14.5% 9.6%

8

: 3

( )

L. sphaericus LMG 22257

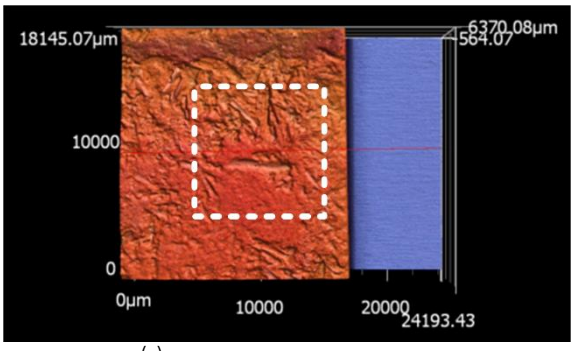
3D Scan

EDS

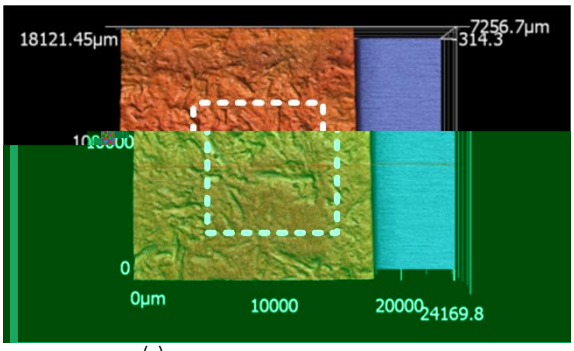
SEM

1. *L. sphaericus* LMG 22257

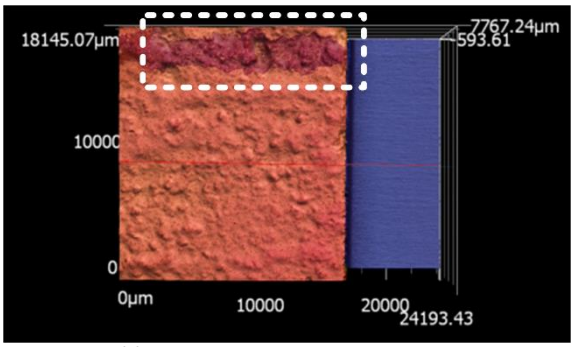
2. *L. sphaericus* LMG 22257



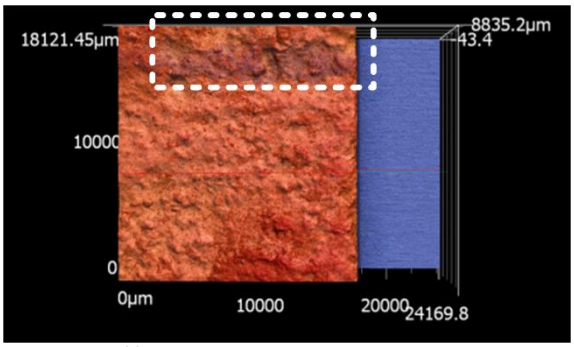
( )



( )



( )



( )

3

18

( )

(.) 2565 (
Thailand 4.0

[1] Verma, H., Ray, A., Rai, R., Gupta, T. and Mehta, N., (2021). Ground improvement using chemical methods: A review. *Heliyon*, 7, pp. e07678.

[2] Zamani, A., Xiao, P., Baumer, T., Carey, T.J., Sawyer, B., DeJong, J.T. and Boulanger, R.W., (2021). Mitigation of liquefaction triggering and foundation settlement by MICP treatment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147, pp. 04021099.

[3] Liu, S., Wang, R., Yu, J., Peng, X., Cai, Y. and Tu, B., (2020). Effectiveness of the anti-erosion of an MICP coating on the surfaces of ancient clay roof tiles. *Construction and Building Materials*, 243, pp. 118202.

[4] Mu, B., Gui, Z., Lu, F., Petropoulos, E. and Yu, Y. (2021). Microbial-induced carbonate precipitation improves physical and structural properties of Nanjing ancient city walls. *Materials*, 14, pp. 5665.

[5] Zhang, J., Shi, X., Chen, X., Huo, X. and Yu, Z. (2021). Microbial-induced carbonate precipitation: A review on influencing factors and applications. *Advances in Civil Engineering*, 2021, pp. 9974027.

[6] Leelataviwat, S., Tangchirapat, W., Athisakul, C. and Sahamitmongkol, R. (2018). Development of Engineering Database for Assessment and Structural Health Monitoring of Thailand Historic Structures. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, (in Thai).

[7] Wang, J., Souli, Jonkets, H., Boon, N. and De Belie, N. (2017). *Bacillus sphaericus* LMG 22257 is physiologically suitable for self-healing concrete. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101, pp. 5101-5114.

[8] Wang, J. (2020). 3D scanning technology application in the imperfect cultural relic. *Journal of Historical Archaeology & Anthropological Sciences*, 5, pp. 2573-2897

[9] Sharma, A. and Ramkrishnan, R. (2016). Study on effect of microbial induced calcite precipitates on strength of fine grained soils. *Perspectives in Science*, 8, pp. 198-202.

[10] Sharma, M., Satyam, N. and Reddy, K.R. (2020). Strength enhancement and lead immobilization of sand using consortia of bacteria and blue-green algae. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 24, pp. 04020049.

[11] Sharma, M., Satyam, N. and Reddy, K.R. (2021). Liquefaction resistance of biotreated sand before and after exposing to weathering conditions. *Indian Geotechnical Journal*, 52, pp. 328-340.