

ประสิทธิภาพของสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิววัสดุเพื่อป้องกันความชื้น



นางสาว วิชญดา เตชาดิศย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0207-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF WATER REPELLENT COATING ON BRICK FOR MOISTURE CONTROL



Miss Wiyada Techadisai

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0207-8

|                      |   |
|----------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์    | ประสิทธิภาพของสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวอิฐเพื่อป้องกันความชื้น |
| โดย                  | นางสาว วิชญาดา เตชาติศิย์                                     |
| สาขาวิชา             | วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม                                       |
| อาจารย์ที่ปรึกษา     | รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา                              |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | นางจิราภรณ์ อรัณยะนาค   |

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นางจิราภรณ์ อรัณยะนาค)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ ไชยิตานนท์)

วิชญดา เตชาติศัย : ประสิทธิภาพของสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวอิฐเพื่อป้องกันความชื้น (EFFICIENCY OF WATER REPELLENT COATING ON BRICK FOR MOISTURE CONTROL) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นางจิราภรณ์ อรัณยะนาถ, 127 หน้า. ISBN 974-17-0207-8

การทดสอบประสิทธิภาพของสารกันซึม 7 ชนิดที่ใช้เคลือบผิวอิฐดินเผา พบว่าสารกันซึมทำให้การดูดซึมน้ำของอิฐลดลงเมื่อเทียบกับอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว ความเข้มข้นที่ดีที่สุดของสารกันซึมแต่ละชนิดที่ทำให้การดูดซึมน้ำของอิฐต่ำที่สุด ได้แก่ Methyl silane (ICI) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Potassium silicate (Evercrete top sealer) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rhoximat RC 80 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10% v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rhoximat RC 80 และ Rhoximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการดูดซึมน้ำตามรูปพุนสูงที่สุด (99.54% และ 99.48% ตามลำดับ) โดยที่ยอมให้น้ำระเหยผ่านได้สูง (86.89% และ 88.46% ตามลำดับ) จากการทดสอบการทนการกัดกร่อนแบบวงจรมีเย็บกลับแห้งพบว่า Rhoximat RC 80 และ Rhoximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีที่สุด โดยลดการดูดซึมน้ำของอิฐลงได้ต่ำที่สุดและเกือบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงของการดูดซึมน้ำของอิฐในระหว่างการทดลอง 90 วงจร สารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวอิฐในการศึกษานี้ไม่ได้ปิดกั้นรูปพุนในเนื้ออิฐ

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

|            |                                 |                                     |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| สหสาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม | ลายมือชื่อนิสิต.....                |
| สาขาวิชา   | วิทยาศาสตร์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....     |
| ปีการศึกษา | 2544                            | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... |

## 4289696920 MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : WATER REPELLENT / WATER ABSORPTION / FIRED BRICK

WITYADA TECHADISAI : EFFICIENCY OF WATER REPELLENT COATING ON BRICK FOR MOISTURE CONTROL. THESIS ADVISOR : ASSOC PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D. , THESIS CO-ADVISOR : JIRAPORN ARANYANAK, 127 pp. ISBN 974-17-0207-8

The efficiency of 7 water repellents coating on brick was observed. The best concentrations of each water repellent which make the lowest water absorption are as follows : 30 millilitres of Methyl Silane (ICI), 20 millilitres of Potassium Silicate (Evercrete Top Sealer), 30 millilitres of Rhoimat RC 80, 40%v/v 20 millilitres of Rhoimat HD 224, 40%v/v 20 millilitres of Wacker 290, 20%v/v 20 millilitres of Wacker SMK 550 and 10% v/v 20 millilitres of Wacker SMK 2100. In this study, Rhoimat RC 80 and Rhoimat HD 224 are the best water repellents to prevent water penetration into brick (99.54% and 99.48%, respectively) with high water vapor permeability (86.89% and 88.46%, respectively). The corrosion test by wet-dry cycle revealed that Rhoimat RC 80 and Rhoimat HD 224 are the best water repellents that reduced water absorption to the lowest level and substantially no change of water absorption during 90 cycles. Water repellents, in this study, did not fill the porosity of brick.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-department Environmental Science Student's signature.....  
Field of study Environmental Science Advisor's signature.....  
Academic year 2001 Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคุณจิราภรณ์ อรัณยธาดา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ที่กรุณามาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผศ. ดร. กำธร ธีรคุปต์ และ ผศ. ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคุณคุณจิระศักดิ์ เนตรวิเชียร ที่กรุณาช่วยตัดฉีก ขอขอบคุณ Ms. Mara Camaiti ที่ให้ความอนุเคราะห์วิธีมาตรฐานจาก Center of Restoration, Rome, Italy

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ห้องปฏิบัติการเคมี-เทพ ตึกเคมี 1 และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์

ทำยนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่มีส่วนอย่างยิ่งในทุกด้านของงานวิทยานิพนธ์ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                             | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....                                    | ณ    |
| สารบัญรูป.....                                      | ฐ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                   | 1    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง              |      |
| 2.1 อธิฐุ.....                                      | 4    |
| 2.2 สาเหตุของการเสื่อมสภาพของอิฐ                    |      |
| 2.2.1 การเสื่อมสภาพที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม.....       | 6    |
| 2.2.2 การเสื่อมสภาพที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์.....  | 22   |
| 2.3 การลดอัตราการเสื่อมสภาพของอิฐ.....              | 23   |
| 2.4 คุณลักษณะของสารกันซึม.....                      | 28   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย                          |      |
| 3.1 ชนิดและขนาดของอิฐ.....                          | 38   |
| 3.2 สารเคมี.....                                    | 38   |
| 3.3 การดำเนินการทดลอง                               |      |
| 3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ.....                  | 39   |
| 3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสารกันซึม.....          | 39   |
| 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....                 | 43   |
| บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง                      |      |
| 4.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ                         |      |
| 4.1.1 การหาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอิฐ           |      |
| โดยวิธี X-ray Diffraction.....                      | 44   |
| 4.1.2 การหาความแข็งแรงของอิฐ (3 Point bending)..... | 45   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสารกันซึม   |      |
| 4.2.1 การดูซึมน้ำจากการแช่น้ำ.....  | 45   |
| 4.2.2 การดูซึมน้ำตามรูพรุนในเนื้ออิฐ.....   | 52   |
| 4.2.3 การยอมให้ไอน้ำระเหยผ่าน.....  | 55   |
| 4.2.4 การทดสอบแบบวงจรมีเยกสลับแห้ง.....   | 58   |
| 4.2.5 การถ่ายภาพหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐด้วย<br>Scanning electron microscope..... | 60   |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....  | 62   |
| รายการอ้างอิง.....  | 64   |
| ภาคผนวก.....  | 67   |
| ภาคผนวก ก.....  | 68   |
| ภาคผนวก ข.....  | 69   |
| ภาคผนวก ค.....  | 71   |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 127  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า  |
|----------|---|
| 2.1      | สถิติอุณหภูมิสูงที่สุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อน.....7   |
| 2.2      | สถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว.....8   |
| 2.3      | สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ.....10  |
| 2.4      | ปริมาณฝน (มิลลิเมตร) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่างๆ.....10   |
| 4.1      | แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอิฐจากวิธี X-ray Diffraction.....45  |
| 4.2      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Methyl silane (ICI) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร<br>ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....46                         |
| 4.3      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Potassium silicate (Evercrete top sealer)<br>ที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....47      |
| 4.4      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Rhoimat Rc 80 ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร<br>ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....48                               |
| 4.5      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Rhoimat HD 224 ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v<br>ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....49     |
| 4.6      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Wacker BS 290 ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v<br>ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....50      |
| 4.7      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Wacker BS SMK 550 ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v<br>ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....51  |
| 4.8      | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Wacker BS SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v<br>ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง.....52 |
| 4.9      | ค่าประสิทธิภาพของการป้องกัน (P.E.%) ของอิฐที่เคลือบผิว<br>ด้วยสารกันซึมชนิดต่างๆ.....54   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.10   |      |
| ค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (R.P.%) ของอิฐที่เคลือบผิว<br>ด้วยสารกันซึมชนิดต่างๆ..... | 57   |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่ | หน้า  |
|--------------|---|
| 1            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง).....72   |
| 2            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง).....73  |
| 3            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง).....74                                 |
| 4            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง).....75                     |
| 5            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง).....76          |
| 6            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง).....77  |
| 7            | ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 2100) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง).....78 |
| 8            | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมวลของอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง.....79  |
| 9            | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมวลของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....85   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่ | หน้า  |
|--------------|---|
| 10           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....91                          |
| 11           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....97  |
| 12           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....103                      |
| 13           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Sovent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....109           |
| 14           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Sovent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....115   |
| 15           | ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Sovent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง.....121 |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างของ orthosilicic acid (a) tetraethyl silicate (b)<br>dimethyl diethyl silicate (c) และ methyl triethyl silicate (d).....   | 28   |
| 2.2 โครงสร้างของ tetramethyl silane (a) และ dimethyl diethyl silane (b).....  | 29   |
| 2.3 โครงสร้างของ tetraethoxy silane.....  | 30   |
| 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ trimethyl methoxy silane ได้ผลิตภัณฑ์เป็น<br>trimethyl silanol.....  | 30   |
| 2.5 โครงสร้างของ dimer ที่เกิดจาก silanol 2 โมเลกุลทำปฏิกิริยากัน.....  | 31   |
| 2.6 โครงสร้างของโพลีเมอร์ที่เป็นเส้นตรง (linear polymer).....   | 31   |
| 2.7 โครงสร้างของ โพลีเมอร์ร่างแห (network polymer).....   | 32   |
| 3.1 ตัวอย่างอิฐที่พันด้วยพาราฟิล์มและอุปกรณ์.....   | 41   |
| 4.1 กราฟค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการทดสอบแบบวงจรเปียกสลับแห้ง<br>ของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึม 7 ชนิด เปรียบเทียบกับ<br>ตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว จำนวน 90 วงจร..... | 60   |
| 4.2 ภาพถ่ายหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย<br>Rhoximat RC 80.....  | 61   |
| 4.3 ภาพถ่ายหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว.....  | 61   |

# บทที่ 1

## บทนำ

อิฐที่ใช้ในงานก่อสร้างโบราณสถานทำจากดินเหนียวผสมกับแกลบ นวดให้เข้ากัน อัดลงในแม่พิมพ์แล้วนำไปเผาไฟโดยใช้แกลบและไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง แกลบที่อยู่ในเนื้ออิฐก่อนการเผาจะกลายเป็นช่องว่างในเนื้ออิฐหลังจากการเผา อิฐถูกใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างโบราณสถานแทบทุกแห่ง โบราณสถานหลายแห่งทรุดโทรมลงอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในส่วนที่ใช้อิฐเป็นวัสดุหลักของโครงสร้างโบราณสถาน

การชำรุดเสื่อมสภาพของโบราณสถานเกิดจากสาเหตุและกระบวนการต่างๆ หลายสาเหตุและหลายกระบวนการซึ่งเกิดขึ้นพร้อมๆ กันและมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้โดยเด็ดขาด (จิราภรณ์ อรัณยะนาถ, 2526) การเสื่อมสภาพของอิฐก็เช่นเดียวกันกับส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นโครงสร้างของโบราณสถานคือเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลาทั้งจากการกระทำของมนุษย์และจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ

การเสื่อมสภาพของอิฐที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ ความสิ้นสละเทือนและไอเสียที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะ ก๊าซหลายๆ ชนิดที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม การลักลอบขุดค้นโบราณสถานเพื่อค้นหาโบราณวัตถุ การขาดการบำรุงรักษาซ่อมแซมโบราณสถาน การใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมในการบูรณะโบราณสถาน และความมั่งงายและความไม่รู้ซึ่งถึงคุณค่าของโบราณสถานของนักท่องเที่ยวที่เข้าชม

การเสื่อมสภาพของอิฐที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ มีสาเหตุจาก 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ลม
2. ปัจจัยทางเคมี ได้แก่ การเกิดผลึกเกลือ การกัดกร่อนจากกรดและด่างที่อยู่ในอากาศ
3. ปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ การเจริญเติบโตของวัชพืชและจุลินทรีย์หลายๆ ชนิด สาหร่าย และไลเคน

จะเห็นได้ว่าน้ำทั้งในรูปของเหลว และไอน้ำเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของอิฐในหลายๆ สาเหตุ โดยน้ำและอุณหภูมิเป็นสาเหตุร่วมกันที่ทำให้เกิดวงจรเปียกสลับแห้ง (Wet-dry

cycle) เนื่องจากความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี น้ำจึงเป็นตัวทำละลายแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอิฐ เป็นตัวทำละลายและนำพาเกลือเข้าสู่อิฐทำให้เกิดผลึกเกลือที่ผิวหน้าและภายในเนื้ออิฐ เป็นตัวทำละลายฝุ่นละอองและก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศให้กลายเป็นสารละลายกรดหรือเบสแล้วนำพาเข้าสู่อิฐ และน้ำยังเป็นปัจจัยสำคัญของการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตบนโบราณสถานอีกด้วย (Weber, 1976)

นอกจากนั้นความชื้นที่สะสมในอิฐที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและเป็นเวลานานจะทำให้อิฐเกิดการแตกร้าว โกงงอ บิดเบี้ยวหรือกะเทาะหลุดออกจากกันเนื่องจากการหดตัวและขยายตัวที่ไม่เท่ากันของผิวส่วนนอกและเนื้อส่วนในของอิฐ ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อการหดตัวและขยายตัวของอิฐเช่นกัน อิฐจะร้อนและมีความชื้นต่ำมากจนถึงแทบไม่มีความชื้นในช่วงกลางวันและขยายตัวโดยที่ส่วนผิวนอกสุดจะขยายตัวมากกว่าส่วนที่อยู่ลึกเข้าไป เมื่ออุณหภูมิลดลงและความชื้นเพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางคืนจะทำให้อิฐหดตัวซึ่งส่วนผิวนอกสุดจะหดตัวมากกว่าส่วนที่อยู่ภายใน การขยายตัวและหดตัวที่เกิดสลับกันเป็นเวลานานทำให้อิฐแตกร้าวหรือหลุดกระเทาะออก (จิราภรณ์ อรัณยะนาค, 2537)

การป้องกันการเสื่อมสภาพของอิฐที่เกิดจากความชื้นได้แก่การป้องกันไม่ให้น้ำทั้งในรูปของน้ำฝน น้ำใต้ดิน และความชื้นที่มีอยู่ในอากาศซึมผ่านเข้าสู่อิฐโดยการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารกันซึม (Water Repellent) เคลือบผิวอิฐ สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารกันซึมสำหรับวัสดุก่อสร้างที่มีรูพรุนเช่นอิฐมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบ Organosilicon ซึ่งประกอบด้วยหมู่ Alkoxy และสารอิมีลชัน (Schamberg et al., 1992) สารกันซึมจะไม่ทำให้สีของอิฐเปลี่ยนแปลงไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษาประสิทธิภาพของสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวอิฐเพื่อป้องกันความชื้นมีดังนี้

1. เพื่อหาสารกันซึมที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับใช้เคลือบผิวอิฐเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพอันเกิดจากความชื้น
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวอิฐในการทนการกัดกร่อนแบบวงจรเปียกสลับแห้ง

การดำเนินการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะกระทำภายใต้ขอบเขตดังต่อไปนี้

1. ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกันน้ำของสารกันซึม 7 ชนิด ได้แก่

- 1.1 Methyl silane (ICI)
- 1.2 Potassium silicate (Evercrete top sealer)
- 1.3 Solution of polymethylsiloxane and organic silicate (Rhoximat RC 80)
- 1.4 Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224)
- 1.5 Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker BS 290)
- 1.6 Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker BS SMK 550)
- 1.7 Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker BS SMK 2100)

โดยการทดสอบ การดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ (water absorption by immersion) การดูดซึมน้ำตามรูพรุนในเนื้ออิฐ (capillary water absorption) และการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (permeability to water vapour)

2. ศึกษาคุณสมบัติการทนการกัดกร่อนของสารกันซึมทั้ง 7 ชนิด ตามข้อ 1 โดยการทดสอบแบบวงจรมีเยกสลั๊บแห้ง

เมื่อการศึกษาดังกล่าวเสร็จสิ้นแล้วคาดว่าจะเกิดประโยชน์ในการเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำสารกันซึมไปใช้กับงานอนุรักษ์โบราณสถาน



## บทที่ 2

### การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อีฐ

อีฐดินเผา หมายถึง อีฐที่ทำจากดินเหนียวผสมกับแกลบหรือวัตถุดิบชนิดคล้ายให้เข้าเนื้อดี แล้วใส่พิมพ์ตัดทำเป็นแผ่น และเอาเข้าเผาจนสุก (พิภพ สุนทรสมัย, 2527) ตามปกติในการทำอีฐมักเติมวัสดุบางอย่างผสมลงไปกับดินเหนียวเพื่อช่วยให้ปั้นหรือก่อรูปได้ง่ายขึ้น ช่วยให้อีฐแห้งอย่างสม่ำเสมอและไม่หดตัวหรือแตกร้าวในระหว่างเผาไฟ ในประเทศไทยนิยมใช้แกลบผสมกับดินเหนียว จิราภรณ์ อรรถนะนา (2529) อธิบายว่าถ้าใช้แกลบในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยให้อีฐหดตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่แตกร้าวในระหว่างเผาไฟเพราะน้ำระเหยออกจากภายในอีฐได้ง่าย ถ้าอีฐมีเนื้อแน่นเกินไป น้ำจะระเหยได้ยาก ทำให้อีฐหดตัวไม่สม่ำเสมอจนเกิดการแตกร้าว แต่ถ้าใช้แกลบมากเกินไป ความแกร่งของอีฐจะลดลงเพราะมีรูพรุนมาก

Lenczner (1972) ได้อธิบายไว้ว่า อีฐเป็นสารอนินทรีย์ในกลุ่มของวัสดุที่เรียกว่าเซรามิก และมีขั้นตอนการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง มีซิลิเกตและออกไซด์ของโลหะเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากอีฐมีออกไซด์ของโลหะเป็นองค์ประกอบจึงทำให้มันมีความเสถียรทางเคมีและทางกายภาพ มีความแข็ง เปราะ (ไม่สามารถงอได้) ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ และทนต่อความร้อนสูง อีฐจึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้าง วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตอีฐคือดินเหนียว มักจะประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลักๆ ดังนี้ silica [ $\text{SiO}_2$ ] alumina [ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ] และ kaolinite [ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ] ส่วนประกอบอื่นๆ ที่ปรากฏอยู่ ได้แก่ cordierite [ $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ] steatite [ $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] feldspar [ $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ] และ mica [ $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ] อีฐก่อสร้างที่มีสีแดงเนื่องจากมีส่วนประกอบของ kaolinite ร้อยละ 50 quartz mica และ iron oxide ร้อยละ 5-10 ทำให้อีฐเป็นสีแดงและสามารถทนไฟ ขั้นตอนในการผลิตเริ่มต้นจากผสมดินเหนียวกับน้ำเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของดิน อาจจะมีวัสดุอื่นอย่างเช่นแกลบ นวดให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว แล้วจึงนำไปกดอัดเป็นก้อนด้วยแบบที่มีขนาดกว้างยาวที่ถูกคำนวณมาเพื่อให้ขนาดของอีฐหลังการเผามีขนาดตามที่ต้องการ ตากแดดให้แห้ง แล้วจึงนำไปเผาไฟ ขั้นตอนการเผาไฟเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการกำหนดคุณสมบัติของอีฐ ปฏิกริยาแรกที่เกิดเป็นการเสียกลไกในการยึดจับน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 575 องศาเซลเซียสเมื่อ quartz [ $\text{SiO}_2$ ] เปลี่ยนรูปร่างของผลึกจาก  $\alpha$  ไปเป็น

$\beta$  โดยที่สูตรทางเคมีไม่ได้เปลี่ยนแปลง kaolinite  $[Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O]$  จะสลายพันธะที่จับตัวน้ำที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น meta - kaolinite  $[2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2]$  ซึ่งจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก meta - kaolinite ไปเป็น mullite  $[3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2]$  ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า และปลดปล่อย silica อีกระลอกที่เกินอยู่ออกมาซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดย silica อีกระลอกจะจับตัวอยู่ในรูปของสารประกอบอื่นๆ พันธะที่จับตัวกับน้ำของ mica จะสลายไปที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และสร้างพันธะกับ quartz (พันธะ  $K_2O-SiO_2$ ) และผลึกของ mullite ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ในการทำอิฐสำหรับการก่อสร้าง การเผาไฟจะใช้อุณหภูมิในช่วง 950 - 1220 องศาเซลเซียส

ลักษณะของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างที่ดี (พิภพ สุนทรสมัย, 2527)

- 1) ทำด้วยเครื่องจักรหรือทำด้วยมืออย่างประณีต
- 2) สุกสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นด้วยความร้อนตามกำหนด คือ จาก 1800 - 2200 องศา

ฟาเรนไฮท์ (อิฐอุตสาหกรรม)

- 3) มีความเหนียว ไม่แตกง่าย
- 4) มีความแข็งแรงทนทานรับน้ำหนักได้มาก
- 5) มีรูปร่างเรียบร้อยดี ไม่แอ่นบิด หรือไม่มีขอบขรุขระมาก
- 6) ทุกๆ เหลี่ยมของอิฐจะต้องได้จากตลอด
- 7) ขณะเผาให้ความร้อนค่อยเพิ่มขึ้นทีละน้อยตามลำดับจนถึง 1800 - 2200 องศา

ฟาเรนไฮท์ (อิฐอุตสาหกรรม) และเผาอยู่นาน 2 - 3 สัปดาห์ ถ้าเป็นเตาเผาด้วยฟืน

- 8) ขนาดเท่ากันทุกก้อน (โดยเฉลี่ย)
- 9) เมื่ออิฐหักออก จะแลเห็นเนื้อภายในคล้ายหินและแน่นมาก ไม่มีรูพรุน ไม่มีรอยแตกร้าว
- 10) น้ำหนักและขนาดควรเท่ากันทุกก้อน (โดยเฉลี่ย)
- 11) มีสีสม่ำเสมอเท่าตลอดทุกแผ่น
- 12) ไม่ดูดน้ำเกิน 10% ของน้ำหนักอิฐ เมื่อแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง
- 13) เคาะฟังเสียงดูมีเสียงแกร่งคล้ายโลหะ

สีของอิฐเกิดจากส่วนผสมที่มีอยู่ในดิน เช่น ธาตุเหล็ก เมื่อเผาแล้วจะกลายเป็นสีเหลืองเข้ม ส้ม และแดง ธาตุแมงกานีสทำให้เกิดเป็นสีน้ำเงิน หรือถ้าธาตุเหล็กและแมงกานีสรวมกันจะกลายเป็นสีเหลืองแก่ นอกจากนั้นสียังอาจเกิดได้จากความแตกต่างของการได้รับความร้อนจากเตาเผาหรือเผาคนละเตา เช่น อิฐที่ได้รับความร้อนมากจะมีสีของอิฐแก่กว่าอิฐที่ได้รับความร้อนน้อย

สิ่งที่แสดงคุณภาพของอิฐอีกสิ่งหนึ่งคือการดูดซับน้ำ อิฐที่ดีจะดูดซึมน้ำประมาณ 1 ใน 10 ถึง 1 ใน 6 ส่วนของน้ำหนักอิฐ ส่วนอิฐที่ผ่านการเผาที่ไม่เพียงพอจะดูดน้ำประมาณ 1 ใน 4 ถึง 1 ใน 5 ของน้ำหนักอิฐ แสดงว่ามีความพรุนในเนื้ออิฐมาก

จิราภรณ์ อรรถยะนาถ (2526) ได้อธิบายเกี่ยวกับคุณภาพของอิฐไว้ว่า คุณภาพของอิฐขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินเหนียว อุณหภูมิที่ใช้เผา การกระจายความร้อนในเตาเผา และวิธีการเผา อิฐที่เผาได้ที่จะมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมสูงกว่าอิฐที่เผาที่อุณหภูมิสูงไม่พอ ซึ่งมักจะผุพังและเปื่อยยุ่ยเมื่อเปียกน้ำ ในโบราณสถานหนึ่งๆ มักจะก่อสร้างด้วยอิฐที่มีความแกร่งต่างกัน ซึ่งจะเสื่อมสภาพด้วยอัตราที่ต่างกัน จึงมักจะพบอยู่เสมอว่ามีอิฐบางส่วนผุพังไปจนเหลือแต่ช่องว่างบนผนังในโบราณสถานทีก่อสร้างด้วยอิฐ การที่โครงสร้างมีช่องโหว่หรือวัสดุก่อสร้างบางแห่งขาดความแข็งแรงจะทำให้การกระจายของแรงบนโครงสร้างของโบราณสถานไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิด stress และ strain บนส่วนใดส่วนหนึ่งของโบราณสถาน หากมีสาเหตุอื่นๆ เข้ามาเป็นปัจจัยร่วมด้วย โบราณสถานอาจจะทรุดหรือพังทลายได้ในที่สุด

## 2.2 สาเหตุของการเสื่อมสภาพของอิฐ

การเสื่อมสภาพของโบราณสถานโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ บางครั้งต้องใช้เวลาหลายปีจึงจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลง แม้ว่าการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลาก็ตาม อิฐซึ่งเป็นวัสดุหลักในโครงสร้างของโบราณสถานแทบทุกแห่งก็ต้องพบกับปัญหานี้เช่นเดียวกัน สาเหตุของการเสื่อมสภาพของอิฐแบ่งได้เป็นสาเหตุจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและสาเหตุจากการกระทำของมนุษย์

### 2.2.1 การเสื่อมสภาพที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม

ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโบราณสถานที่เป็นผลเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานอย่างต่อเนื่องในระยะยาว จิราภรณ์ อรรถยะนาถ (2526) อธิบายว่าลักษณะภูมิอากาศมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาวะอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะ

มีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล พื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินบริเวณตั้งแต่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือขึ้นไปจนถึงภาคเหนือจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาวและระหว่างกลางวันกับกลางคืน โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่ายปกติจะสูงถึงเกือบ 40 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านั้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี (ตารางที่ 2.1) ส่วนฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำสุดในตอนเช้ามีจะลดลงอยู่ในเกณฑ์หนาวถึงหนาวจัด (ในบางพื้นที่ของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) โดยเฉพาะเดือนธันวาคมถึงมกราคมเป็นช่วงที่มีอากาศหนาวมากที่สุดในรอบปี (ตารางที่ 2.2) สำหรับพื้นที่ซึ่งอยู่ติดทะเลได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงและภาคใต้ ความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงวันและฤดูกาลจะน้อยกว่า โดยฤดูร้อนอากาศไม่ร้อนจัดและฤดูหนาวอากาศไม่หนาวจัดเท่าพื้นที่ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545)

ตารางที่ 2.1 สถิติอุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อน

| ภาค                | อุณหภูมิสูงสุด | วันที่            | จังหวัด                     |
|--------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|
| เหนือ              | 44.5           | 27 เมษายน 2503    | อุดรดิตถ์                   |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 43.9           | 28 เมษายน 2503    | อุดรธานี                    |
| กลาง               | 43.5           | 29 เมษายน 2501    | กาญจนบุรี                   |
| ตะวันออกเฉียง      | 42.9           | 14 เมษายน 2526    | กาญจนบุรี                   |
|                    |                | 14,20 เมษายน 2535 | กาญจนบุรี                   |
|                    |                | 23 เมษายน 2533    | ปราจีนบุรี (อ. กบินทร์บุรี) |
| ใต้                | 40.4           | 14 เมษายน 2535    | ประจวบคีรีขันธ์ (อ. หัวหิน) |
| - ฝั่งตะวันออก     |                |                   |                             |
| - ฝั่งตะวันตก      | 40.5           | 29 มีนาคม 2535    | ตรัง                        |

ที่มา : ฝ่ายอากาศประจำถิ่น กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 2.2 สถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว

| ภาค                | อุณหภูมิต่ำที่สุด | วันที่          | จังหวัด                        |
|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| เหนือ              | 1.0               | 2 มกราคม 2517   | น่าน                           |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | -1.4              | 2 มกราคม 2517   | สกลนคร                         |
| กลาง               | 5.2               | 27 ธันวาคม 2536 | กาญจนบุรี<br>(อ.ทองผาภูมิ)     |
| ตะวันออก           | 7.6               | 16 มกราคม 2506  | สระแก้ว (อ.<br>อรัญประเทศ)     |
| ใต้                |                   |                 |                                |
| - ฝั่งตะวันออก     | 7.9               | 30 ธันวาคม 2518 | ประจวบคีรีขันธ์ (อ.<br>หัวหิน) |
| - ฝั่งตะวันตก      | 13.7              | 21 มกราคม 2499  | ระนอง                          |

ที่มา : ฝ่ายอากาศประจำถิ่น กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ประเทศไทยโดยทั่ว ๆ ไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อนซึ่งเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะเดือนเมษายนบริเวณประเทศไทยมีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาวะอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงหรืออาจมีลูกเห็บตกก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพายุฤดูร้อน ฤดูฝนซึ่งเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยและร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านประเทศไทยให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะพาดผ่านภาคใต้ในเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือตามลำดับจนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่งและเรียกว่าเป็นช่วงฝนทิ้ง ซึ่งอาจนานประมาณ 1 - 2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือน ใน

เดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้งทำให้มีฝนชุกต่อเนื่อง จนกระทั่งมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ประมาณกลางเดือนตุลาคมประเทศไทยตอนบนจะเริ่มมีอากาศเย็นและฝนลดลง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่ภาคใต้ยังคงมีฝนชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคม สุดท้ายคือฤดูหนาวซึ่งเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ในช่วงกลางเดือนตุลาคมนานราว 1-2 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว อากาศแปรปรวน ไม่นั่นอน อาจเริ่มมีอากาศเย็นหรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งจะหมดฝนและเริ่มมีอากาศเย็นช้ากว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจนในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อนจะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำสุดในรอบปี ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 72-74 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเหลือ 62-69 เปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูร้อน เคยมีความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำที่สุดเพียง 9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2515 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี และเมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2503 ที่จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนบริเวณที่อยู่ติดฝั่งทะเลได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงใต้จะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า โดยเฉพาะภาคใต้มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 79-80 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.3) พื้นที่ส่วนใหญ่ทั่วประเทศมีปริมาณฝน 1,200-1,600 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าประมาณ 1,580 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2.4) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ

| ภาค                | ฤดูหนาว | ฤดูร้อน | ฤดูฝน | ตลอดปี |
|--------------------|---------|---------|-------|--------|
| เหนือ              | 73      | 62      | 81    | 74     |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 69      | 65      | 80    | 72     |
| กลาง               | 71      | 69      | 79    | 73     |
| ตะวันออก           | 71      | 74      | 81    | 76     |
| ใต้                |         |         |       |        |
| - ฝั่งตะวันออก     | 81      | 77      | 78    | 79     |
| - ฝั่งตะวันตก      | 77      | 76      | 84    | 80     |

ที่มา : ฝ่ายอากาศประจำถิ่น กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 2.4 ปริมาณฝน (มิลลิเมตร) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่างๆ

| ภาค                | ฤดูหนาว | ฤดูร้อน | ฤดูฝน  | จำนวนวันฝนตกตลอดปี |
|--------------------|---------|---------|--------|--------------------|
| เหนือ              | 104.6   | 166.5   | 955.2  | 123                |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 72.8    | 211.1   | 1111.9 | 117                |
| กลาง               | 130     | 192.3   | 907.4  | 113                |
| ตะวันออก           | 201.3   | 257.8   | 1440.2 | 131                |
| ใต้                |         |         |        |                    |
| - ฝั่งตะวันออก     | 819.9   | 197.9   | 661.2  | 148                |
| - ฝั่งตะวันตก      | 429.5   | 380     | 1914.7 | 176                |

ที่มา : ฝ่ายอากาศประจำถิ่น กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

## 1) ปัจจัยทางกายภาพ

### น้ำและความชื้น

น้ำและความชื้นที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานอาจอยู่ในรูปของน้ำฝน น้ำใต้ดิน ไอน้ำในบรรยากาศ น้ำค้าง หรือหมอก ความชื้นหรือน้ำช่วยให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น โดยอาจทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อสร้างโดยตรง หรือทำหน้าที่เป็นตัวกลางในปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้องค์ประกอบของดินซึ่งเป็นฐานรากของโบราณสถานและองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้างมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมลดลง มีรูพรุนมากขึ้น มีคราบเปื้อนพอกสะสมอยู่บนผิว หรือมีผลึกเกลือเกิดขึ้น นอกจากนี้ น้ำยังสามารถทำลายวัสดุต่างๆ ได้มากมายหลายชนิดทั้งที่เป็นส่วนประกอบของโบราณสถานเองและสิ่งอื่นที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อม ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อความมั่นคงของโบราณสถาน (จิราภรณ์ อรรถยะนาถ, 2529) ดังนั้นจึงพบได้ว่าโบราณสถานในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะชำรุดเสื่อมสภาพได้ในอัตราที่สูง

Warren (1999) กล่าวว่าน้ำฝนเป็นน้ำปริมาณมากที่สุดที่โบราณสถานที่ถูกก่อสร้างด้วยอิฐต้องเผชิญ หยดน้ำฝนประกอบไปด้วยอนุภาคของฝุ่นขนาดเล็ก คาร์บอน หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่กระจายตัวอยู่ในบรรยากาศ และนำพาอนุภาคเหล่านี้มาสู่โบราณสถาน น้ำฝนยังทำให้ผิวของอิฐถูกกัดเซาะ ถ้ามีรอยแตกหรือช่องโหว่อยู่บนผนัง ก็จะเป็นช่องทางให้น้ำฝนกัดเซาะเข้าไปถึงส่วนที่อยู่ภายใน นอกจากนี้การไหลผ่านของน้ำฝนบนผิวของอิฐยังทำให้ผิวหน้าของอิฐถูกขัดสีโดยเฉพาะถ้ามีฝุ่นละออง กรวด หรือทรายสะสมอยู่บนโบราณสถาน ความชื้นที่สะสมอยู่บนโบราณสถานยังมีส่วนช่วยให้พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์บนโบราณสถาน เป็นอันตรายต่อวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม

จิราภรณ์ อรรถยะนาถ (2526) อธิบายว่าน้ำค้างและหมอกจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้างที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีได้ไม่น้อยกว่าน้ำฝน เพราะน้ำฝนจะไหลผ่านผิวของวัสดุก่อสร้างไปอย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำฝนไม่มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อสร้างมากนัก ยกเว้นในกรณีที่มีรอยแตกหรือช่องโหว่บนโบราณสถานที่ทำให้น้ำฝนแทรกซึมเข้าไปยังอยู่ภายในรอยแตกหรือช่องโหว่เหล่านั้นและในกรณีที่ระบระบายน้ำรอบๆ โบราณสถานไม่ดีทำให้เกิดน้ำท่วมขังรอบโบราณสถาน แต่น้ำค้างและหมอกที่เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำเล็กๆ และเกาะอยู่บนผิวของวัสดุก่อสร้างในเวลาเช้ามักมีกรด ต่าง หรือเกลือซึ่งเกิดจากฝุ่น



ละออง ก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ และจากวัสดุก่อสร้างเองละลายอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าในน้ำฝน และจะเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุก่อสร้างได้นานกว่าน้ำฝน จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้างได้มากกว่า เมื่อแสงแดดร้อนมากขึ้น น้ำค้างและหมอกจะระเหยออกไป เหลือทิ้งไว้แต่สารเคมีที่ละลายอยู่บนวัสดุก่อสร้าง ซึ่งทำให้เกิดคราบแข็งๆ บนผิวของวัสดุหลายชนิดซึ่งจะรวมตัวอยู่กับฝุ่นละออง เขม่า และควันเกิดเป็นคราบสกปรก คราบสกปรกนี้เกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ จึงไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และจะมีรูเล็กๆ เกิดขึ้นด้วย ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อสร้างได้อีก การเสื่อมสภาพจะดำเนินต่อไปภายใต้ผิวของคราบแข็งที่เกาะอยู่ และอาจทำให้วัสดุก่อสร้างนั้นเปื่อยเป็นผงได้

นอกจากจะเป็นตัวทำลายและช่วยให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นได้ดีแล้ว น้ำยังเป็นตัวนำสารเคมีต่างๆ เข้าไปในเนื้อของวัสดุก่อสร้างโดยการซึมผ่านรูขนาดเล็ก (capillary tube) ซึ่งมีอยู่ในวัสดุก่อสร้างที่มีลักษณะพรุน แรงดึงดูดภายในรูขนาดเล็กนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรู รูที่มีขนาดยิ่งเล็กจะยิ่งมีแรงดึงดูดสูง รูพรุนขนาดต่างๆ ที่มีอยู่ในวัสดุก่อสร้างทำให้สามารถดูดน้ำและไอน้ำเข้ามาภายในเนื้อของวัสดุ นอกจากนั้นการที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุก่อสร้างเป็นพวกคาร์บอเนต ซิลิเกต และอลูมิเนต ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ผิวของวัสดุพวกนี้จึงมีชั้นวอกและชั้นลบบซึ่งสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำได้ แล้วโมเลกุลของน้ำก็จะดึงดูดโมเลกุลของน้ำอีกหลายๆ โมเลกุลเข้าหาวัสดุก่อสร้าง จนกระทั่งน้ำแทรกซึมเข้าไปอยู่เต็มภายในรูเล็กๆ ภายในเนื้อวัสดุก่อสร้าง ดังนั้นน้ำและสารละลายของกรด ต่าง และเกลือ จึงสามารถซึมผ่านเข้าสู่ภายในวัสดุก่อสร้างได้เมื่อความชื้นสูงขึ้น น้ำและไอน้ำจะระเหยออกไปเมื่อความชื้นลดลงหรืออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น แต่สารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถระเหยออกไปได้และยังคงสะสมอยู่ภายในวัสดุก่อสร้างหรือตกผลึกอยู่บนผิวหน้าของวัสดุก่อสร้าง เมื่อความชื้นสูงขึ้นอีกครั้ง น้ำจะซึมผ่านเข้ามาและละลายสารเคมีเหล่านั้นให้เป็นสารละลายอีกครั้ง และเมื่อความชื้นลดลง น้ำจะระเหยออกไปอีก การเกิดวงจรเช่นนี้ซ้ำๆ กันอยู่ตลอดเวลาทำให้น้ำของวัสดุก่อสร้างนั้นถูกกัดกร่อนไปเรื่อยๆ จากปฏิกิริยาของสารเคมีเหล่านั้น (จิราภรณ์ อรัณยะนาถ, 2526)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## อุณหภูมิและแสงแดด

อุณหภูมิมีผลต่อการขยายตัวและหดตัวของอิฐโดยเป็นสาเหตุร่วมกันกับน้ำ อิฐจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดในเวลากลางวันที่มีความชื้นในอากาศต่ำ โดยส่วนที่ได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงจะขยายตัวมากกว่าส่วนที่อยู่ภายในเนื่องจากอิฐนำความร้อนได้ไม่ดี และอิฐจะหดตัวเมื่อถึงเวลากลางคืนที่อุณหภูมิลดลง ความชื้นในอากาศสูงขึ้น โดยส่วนผิวภายนอกจะหดตัวได้ดีกว่าส่วนที่อยู่ภายใน จิราภรณ์ อรัณยะนาค (2529) อธิบายว่าการขยายตัวและหดตัวที่เกิดขึ้นเช่นนี้ทุกวันติดต่อกันเป็นเวลานานส่งผลให้อิฐเกิดการชำรุดเสื่อมสภาพ เนื่องจากการขยายตัวและหดตัวในพื้นที่ที่จำกัดทำให้เกิดแรงกดดันซึ่งทำให้เกิดรอยแตก ร้าว บิดงอ เสียรูปทรงได้ และเมื่อเกิดรอยแตก ร้าว ขึ้นมาแล้ว รอยแตกนั้นจะไม่สามารถปิดได้สนิทดังเดิม เพราะมักมีฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ แทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านั้น ดังนั้นรอยแตกจึงกว้างขึ้นเรื่อยๆ และส่วนผิวด้านนอกซึ่งมีการขยายตัวและหดตัวอยู่ตลอดจะมีแนวโน้มที่จะแยกตัวจากผิวชั้นในซึ่งไม่ค่อยได้ขยายตัวและหดตัว

โบราณสถานแต่ละแห่งไม่ได้สร้างจากวัสดุก่อสร้างเพียงชนิดเดียว แต่สร้างจากวัสดุหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ อิฐ ศิลาแลง ปูน และไม้ เป็นต้น วัสดุก่อสร้างต่างๆ นี้มีสัมประสิทธิ์ในการขยายตัว (Thermal expansion coefficient) แตกต่างกันไป จึงขยายตัวและหดตัวในอัตราที่ต่างกัน ทำให้เกิดแรงดึงและแรงดันระหว่างกัน ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกันมีค่าลดลงและวัสดุก่อสร้างก็จะแยกจากกันที่สุดในที่สุด ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการที่ปูนฉาบและปูนปั้นมักจะหลุดกะเทาะและล่อนออกจากผนังอิฐและศิลาแลง เมื่อปูนที่ฉาบอยู่ภายนอกซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยลดอัตราการเสื่อมสภาพของอิฐหลุดออกไป อิฐจะดูดซึมน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านไว้ในตัวมัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพที่เร็วกว่าการที่มีปูนฉาบอยู่ภายนอก

นอกจากนี้ จิราภรณ์ อรัณยะนาค (2529) ยังได้อธิบายเกี่ยวกับอุณหภูมิไว้ว่ามีผลต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้างในลักษณะอื่นๆ อีก เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดได้ดีขึ้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะมีอัตราการเกิดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยเฉพาะเมื่อมีความชื้นร่วมอยู่ด้วย จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ อย่างมากมายและรวดเร็ว ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาระหว่างวัสดุก่อสร้างกับสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ กรด เบส เกลือ และก๊าซ เป็นต้น

Feilden (1982) อธิบายว่าความร้อนที่โครงสร้างของโบราณสถานได้รับนั้นขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบและคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างที่จะสะท้อนหรือดูดซับความร้อนไว้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับภาวะระเหยของความชื้นในวัสดุนั้นและความรุนแรงของลมที่พัดผ่านด้วย

### ลม

ลมผิวพื้น ที่พัดปกคลุมประเทศไทยผันแปรไปตามฤดูกาล ในฤดูหนาวหรือฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนส่วนใหญ่เป็นลมฝ่ายเหนือและลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้ลมที่พัดปกคลุมส่วนใหญ่เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือและลมตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงฤดูฝนหรือฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นลมตะวันตก ลมตะวันตกเฉียงใต้และลมใต้ สำหรับช่วงฤดูร้อนเป็นช่วงที่ลมแปรปรวน แต่พื้นที่ส่วนใหญ่โดยเฉพาะประเทศไทยตอนบนมักมีลมฝ่ายใต้พัดปกคลุม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545)

นอกจากนี้ประเทศไทยยังตั้งอยู่ในบริเวณที่เกิดพายุหมุนเขตร้อน 2 แห่ง ด้านตะวันออกคือมหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลจีนใต้ ส่วนด้านตะวันตกคืออ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน โดยพายุมีโอกาสเคลื่อนจากมหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลจีนใต้เข้าสู่ประเทศไทยทางด้านตะวันออกมากกว่าทางตะวันตก พายุไต้ฝุ่นจากมหาสมุทรแปซิฟิกสามารถเข้าถึงตอนเหนือของประเทศไทยได้เป็นบางโอกาสในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน แต่พายุเหล่านี้จะอ่อนกำลังลงเมื่อผ่านเทือกเขาในสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวกลายเป็นพายุไซร่อนหรือพายุดีเปรสชัน จึงไม่ค่อยเกิดอันตรายร้ายแรงจากแรงลม เพียงแต่ทำให้เกิดฝนตกหนักและลมขนาดปานกลาง พายุหมุนเขตร้อนจากอ่าวเบงกอลผ่านเข้าประเทศไทยในบริเวณระหว่างอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก กับจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยหักเลี้ยวหลังจากได้ขึ้นฝั่งทางตอนใต้ของ สาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า แต่พายุนี้เข้าสู่ประเทศไทยน้อยมากและมักจะอ่อนกำลังลงเมื่อเข้าสู่ประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545)

จิราภรณ์ อรรถนะนา (2526) ได้อธิบายไว้ว่าแรงลมจากพายุดังกล่าวแม้ว่าจะไม่แรงพอที่จะทำให้อาคารบ้านเรือนพังทลาย แต่ก็ส่งผลต่อโบราณสถานที่กำลังอยู่ในสภาพชำรุดทรุดโทรม โดยเฉพาะโบราณสถานที่มีความสูงเกินกว่าสองเท่าของด้านแคบ และโบราณสถานที่ไม่มีต้นไม้หรืออาคารกำบังแรงลม ตามปกติลมธรรมชาติที่พัดผ่านโบราณสถานก็ทำให้เกิดการกัดเซาะสึกกร่อนของวัสดุก่อสร้างอยู่แล้ว โดยลมจะพัดพาเอากรวด ทราย และฝุ่นละอองมาปะทะกับผิวหน้าของวัสดุก่อสร้างทำให้เกิดการสึกกร่อนอย่างถาวร ถ้าเป็นลมพายุที่มีกำลังแรงมาก อัตราการสึก

ก่อนก็เพิ่มมากขึ้นด้วย และถ้าโครงสร้างของโบราณสถานมีจุดบกพร่องอาจทำให้โบราณสถานพังทลายเมื่อมีพายุหมุนเขตร้อนพัดผ่าน นอกจากนั้นพายุยังทำให้ต้นไม้โค่นล้มทับโบราณสถานเกิดความเสียหายได้ด้วย การที่ฝนตกหนักในช่วงที่มีพายุหมุนเขตร้อนอาจทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณรอบๆ โบราณสถาน ซึ่งจะส่งผลให้ดินที่ฐานรากของโบราณสถานพองตัวขึ้นและดินจะทรุดตัวลงเมื่อน้ำลด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อาจส่งผลต่อโครงสร้างของโบราณสถานด้วย

Feilden (1982) อธิบายไว้ว่าโบราณสถานส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถต้านทานแรงลมได้ แต่ก็ไม่แน่วแน่เสมอไปสำหรับโบราณสถานที่มีโครงสร้างที่เสื่อมสภาพไปมาก ลมที่มีกำลังรุนแรงมากอาจทำให้โบราณสถานพังทลายได้ แรงลมอาจทำให้อาคาร แกว่งไปมาได้ เช่น ยอดแหลมของ Norwich Cathedral ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีความสูง 99 เมตรและมีโครงสร้างที่ทำด้วยหินซึ่งถูกทำลายด้วยแรงลมและแกว่งไปมาเมื่อมีลมแรงๆ นอกจากนั้นลมยังทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วซึ่งทำให้เกิดผลึกเกลือขึ้นภายในวัสดุก่อสร้างแทนที่จะเกิดที่ผิวหน้า ทำให้วัสดุนั้นแตกออกและเกิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

## 2) ปัจจัยทางเคมี

เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีมากจึงทำให้สารเคมีต่างๆ ที่พบในบริเวณใกล้เคียงโบราณสถานและที่เป็นโครงสร้างของโบราณสถานเองกลายเป็นสารละลายในรูปของกรด เบส และเกลือ ซึ่งจะถูกนำพาเข้าสู่ภายในของอิฐตามการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายของกรด เบส และเกลือ กับโบราณสถาน และส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน

### การเกิดผลึกเกลือ

Honeyborne (1990) อธิบายว่าสารละลายของเกลือชนิดเดียวหรือหลายชนิดในน้ำจะเคลื่อนย้ายไปตามรูพรุนในอิฐ น้ำจะระเหยออกไปในสภาพอากาศที่แห้ง และเหลือแต่เกลือสะสมอยู่บนผิวของอิฐและในรูพรุนของอิฐ การเกิดเกลือขึ้นบนผิวของอิฐเมื่อน้ำระเหยออกไปเรียกว่า Efflorescence ส่วนผลึกเกลือที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของอิฐเมื่อน้ำระเหยออกไปเรียกว่า Cryptoflorescence ผลึกเกลือที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของอิฐเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันขึ้นบนผนังของรูพรุน ซึ่งขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือกับขนาดและการจัดเรียงตัวของรูพรุน ถ้าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามากกว่าความแข็งแรงของรูพรุนของอิฐ รูพรุนก็จะเกิดการแตกร้าว ความ

เสียหายที่เกิดขึ้นในระยะแรกอาจไม่รุนแรงและไม่มีผลเสียหายมากนัก แต่หลังจากที่อิฐเปียกขึ้นจากน้ำฝนหรือน้ำใต้ดินและน้ำนั้นระเหยออกไปสลับกันหลายๆ ครั้งซึ่งจะทำให้เกิดการละลายของเกลือและการตกผลึกของเกลือสลับกันเข้าไปซ้ำๆ ทำให้ผลึกเกลือมีปริมาตรใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และดันให้ช่องว่างและรูพรุนภายในเนื้ออิฐแตกกะเทาะออก นอกจากน้ำฝนและน้ำใต้ดินที่สามารถทำให้เกลือละลายแล้ว เกลือยังสามารถดูดซึมน้ำจากอากาศและเกิดเป็นสารละลายได้ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงพอ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง น้ำจะระเหยออกไปและเกลือจะตกผลึก อัตราของการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการเกิดผลึกของเกลือขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ ความถี่ของการตกผลึก และความทนทานของวัสดุก่อสร้าง โดยพื้นที่ของรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่าจะได้รับผลกระทบจากการเกิดผลึกเกลือน้อยกว่ารูพรุนที่มีขนาดใหญ่

Feilden (1982) ได้อธิบายถึงชนิดของเกลือและผลที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำระเหยออกไป ดังนี้

1. เกลือซัลเฟตของโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม (sulphates of sodium, potassium, magnesium and calcium) เมื่อเกิดเป็นผลึกแล้วจะทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงโดยทำให้วัสดุก่อสร้างสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวและแตกกะเทาะออก

2. เกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม (nitrates of sodium, potassium and calcium) ทำให้เกิดการแตกร้าวของวัสดุก่อสร้างเนื่องจากสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว

3. แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เป็นเกลือที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้าง เช่น หินปูน เมื่อน้ำระเหยออกไปจะทำให้เกิดเปลือกแข็งห่อหุ้มวัสดุก่อสร้างไว้

4. โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) จะสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุก่อสร้าง ส่วนมากจะเคลื่อนย้ายมาจากทะเล ทำให้เกิดการแตกร้าวของผิวหน้าวัสดุก่อสร้างโดยเกิดกระบวนการ hydration และ dehydration อันเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

5. ซิลิกา (silica) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้างหลายชนิด เช่น หิน อิฐที่ทำจากดินเหนียว และซีเมนต์ มีการเคลื่อนที่มาสู่ผิวหน้าของวัสดุที่ซ้ำๆ เมื่อมีการแพร่กระจายตัวของน้ำในวัสดุก่อสร้าง ผลในระยะยาวคือการเกิดเปลือกสีขาวจาก silicon dioxide หรือ ซิลิเกตที่ผสมกับสารแคลเซียมคาร์บอเนต

จิราภรณ์ อรัณยะนาถ (2529) ได้อธิบายว่าเกลือชนิดต่างๆ กันจะมีรูปร่าง และขนาดของผลึกที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเกลือแต่ละชนิด ผลึกบางชนิดเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น สามารถดูดน้ำเข้ามาในผลึกทำให้ขนาดใหญ่ขึ้น หรือมีรูปร่างของผลึกเปลี่ยนแปลงไป เช่น เกลือโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ซึ่งพบเสมอในดินและในวัสดุก่อสร้าง เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุล กลายเป็น  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  น้ำที่ผลึกดูด

เข้ามาเรียกว่า น้ำผลึก (water of crystallization) และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลงน้ำผลึกจะระเหยออกไป การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและปริมาตรเช่นนี้จะเกิดขึ้นสลับกันอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จนในที่สุดผลึกจะดันให้ช่องว่างและรูพรุนในวัสดุก่อสร้างแตกออก และผิวหน้าของวัสดุก่อสร้างจะเริ่มเปื่อยยุ่ยหลุดร่วงออกมา โดยเกลือที่มาสะสมอยู่ในวัสดุก่อสร้างนี้มีที่มาจาก

1.เกลือที่เป็นองค์ประกอบของดิน ในดินมีเกลือชนิดต่างๆ หลายชนิดทั้งเกลืออินทรีย์ (organic salts) และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts) ดินที่มีสารอินทรีย์อยู่มากมีแนวโน้มที่จะเกิดเป็นกรดได้ง่าย กรดที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดินและที่มีปะปนอยู่ในดินเกิดเป็นเกลือชนิดต่างๆ อีกมากมาย

2.เกลือจากน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินมักมีเกลือที่ละลายน้ำได้ (soluble salts) ละลายอยู่หลายชนิด เกลือที่มักพบในน้ำใต้ดิน ได้แก่ แคลเซียมไบคาร์บอเนต  $[Ca(HCO_3)_2]$  แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต  $[Mg(HCO_3)_2]$  แมกนีเซียมซัลเฟต  $[MgSO_4]$  แคลเซียมซัลเฟต  $[CaSO_4]$  แคลเซียมคลอไรด์  $[CaCl_2]$  และแมกนีเซียมคลอไรด์  $[MgCl_2]$  เป็นต้น

3.เกลือที่มีอยู่ในวัสดุก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ มักมีเกลือปะปนอยู่ด้วยทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้ อิฐ ปูนก่อ และปูนขาวมักมีเกลือแคลเซียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบด้วยเสมอ ปูนซีเมนต์มักมีเกลือแคลเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมคาร์บอเนต ผสมอยู่ในเนื้อปูน และเกลือบางชนิดเกิดขึ้นขณะที่ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ

4.เกลือที่มาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ โบราณสถาน เช่น เกลือที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของสิ่งมีชีวิต ของเสียที่สิ่งมีชีวิตขับถ่ายออกมา การเนาเปื่อยผุพังของสิ่งมีชีวิต การใช้สารฆ่าแมลง สารฆ่าจุลินทรีย์ สารฆ่าศัตรูพืช ผงซักฟอก ปุ๋ยวิทยาศาสตร์และปุ๋ยอินทรีย์ สารเคมีที่ใช้ปรับสภาพดิน ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ฝุ่นละออง เขม่า และควัน เป็นต้น

เกลือเหล่านี้แม้จะมีอยู่ในปริมาณไม่มากนักในสิ่งแวดล้อมและในวัสดุก่อสร้างเอง แต่ก็มีผลอย่างมากต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานที่เก่าแก่มีอายุยาวนานหลายร้อยปี นอกจากนี้ ยังมีผลต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ เช่น อิฐ คอนกรีต และเหล็ก ที่ใช้ในการบูรณะซ่อมแซมโบราณสถานด้วย

### การกัดกร่อนจากสารละลายกรดหรือเบส

จิราภรณ์ อรัณยะนาถ (2526) อธิบายไว้ว่าน้ำฝน น้ำใต้ดิน และน้ำจากแหล่งต่างๆ มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [ $\text{CO}_2$ ] และแก๊สชนิดต่างๆ ละลายอยู่มากมาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก [ $\text{H}_2\text{CO}_3$ ] ซึ่งเป็นกรดอ่อน สามารถละลายหินปูน ปูนขาว และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ได้ที่ละน้อย ทำให้ผิวของวัสดุก่อสร้างสึกกร่อนไปเรื่อยๆ ถ้าน้ำที่มีกรดนี้ผสมอยู่ซึมเข้าไปในเนื้อของวัสดุก่อสร้างทางรูพรุนหรือรอยแตกของวัสดุจะทำให้วัสดุนั้นมีรูพรุนมากขึ้น และความแข็งแรงของวัสดุนั้นลดลง

Feilden (1982) อธิบายว่าในบรรยากาศมีก๊าซอื่นๆ ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเกิดเป็นกรด เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [ $\text{SO}_2$ ] ซึ่งในธรรมชาติจะมีอยู่เพียงเล็กน้อย แต่ในเมืองใหญ่ที่มีการคมนาคม มีการใช้เครื่องยนต์ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ ทำให้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้กรดซัลฟิวริก [ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ] ซึ่งเป็นกรดแก่ สามารถละลายและทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อสร้างทุกชนิดได้ดี เช่น กรดซัลฟิวริกสามารถทำปฏิกิริยากับหินปูนที่มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต [ $\text{CaCO}_3$ ] เกิดเป็นแคลเซียมซัลเฟต [ $\text{CaSO}_4$ ] และน้ำ ซึ่งเมื่อแคลเซียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับน้ำหรือออกซิเจนในอากาศจะเกิดเป็นผลึกของยิบซัม [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ] ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ [ $\text{NO}_2$ ] เป็นก๊าซอีกชนิดหนึ่งที่ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วได้กรด กรดที่เกิดขึ้นคือ กรดไนตริก [ $\text{HNO}_3$ ] ซึ่งเป็นกรดแก่เช่นเดียวกับกรดซัลฟิวริก แม้ว่าความเข้มข้นของกรดที่เกิดขึ้นนี้จะต่ำมาก แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ติดต่อกันเป็นเวลานาน โบราณสถานอาจเสื่อมสภาพไปอย่างถาวรได้

จิราภรณ์ อรัณยะนาถ (2526) อธิบายว่านอกจากก๊าซต่างๆ แล้ว ในบรรยากาศยังมีฝุ่นละอองและอนุภาคแขวนลอยอยู่มากมาย โดยอาจอยู่ในรูปของเหลวเป็นหยดเล็กๆ หรือของแข็ง ฝุ่นละอองและอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้เกิดขึ้นทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ฝุ่นละอองจากดินแห้ง ละอองเกสรดอกไม้ ควันและเขม่าจากไฟไหม้ป่า วัตถุที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ ควันและเขม่าจากโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ เครื่องจักร การเผาไหม้ เป็นต้น ฝุ่นละอองและอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้จะขัดสีผิวหน้าของวัสดุก่อสร้างให้สึกกร่อน ทำให้เกิดคราบเปื้อน และทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่ออนุภาคบางชนิดรวมตัวกับไอน้ำหรือน้ำฝนเกิดเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรด ต่าง หรือเกลือซึ่งพร้อมจะทำปฏิกิริยาอยู่ตลอดเวลา ทำให้องค์ประกอบของวัสดุก่อสร้างเปลี่ยนแปลงไปที่ละน้อย

### 3) ปัจจัยทางชีววิทยา

สาเหตุสำคัญอีกข้อหนึ่งที่ทำให้โบราณสถานเสื่อมสภาพทรุดโทรมลงไปเรื่อยๆ คือ การเสื่อมสภาพจากกระบวนการทางชีววิทยา โดยเฉพาะลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยยังเหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก ดังจะพบเห็นได้โดยทั่วไปว่าโบราณสถานแทบทุกแห่งมีพืชและจุลินทรีย์ขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วไป ชนิดและความหนาแน่นของพืชและจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ปริมาณก๊าซพิษในอากาศ และการดูแลรักษาของเจ้าหน้าที่

#### พืช

ต้นไม้ หญ้าและวัชพืชที่เจริญเติบโตอยู่บนโบราณสถานมักเกิดจากมูลของนกซึ่งมักมีเมล็ดพืชปนอยู่ด้วย และมักจะเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่เปียกชื้นอยู่เสมอ เช่น ส่วนล่างของโบราณสถานที่ความชื้นจากใต้ดินซึมขึ้นมาหรือมีน้ำขัง บนหลังคาและส่วนยอดของโบราณสถาน บริเวณรอยต่อและรอยแตกแยกของอิฐ ลวดลายที่ทำเป็นกระบังเหนือประตู หน้าต่าง และส่วนของกำแพงด้านที่อยู่ในร่มเงาและไม่ค่อยได้โดนแสงแดด Feilden (1982) ได้อธิบายไว้ว่าต้นไม้ทำให้เกิดความเสียหายโดยที่รากของต้นไม้ทำให้เกิดความชื้นบนวัสดุที่มันยึดเกาะอยู่ตลอดเวลา และต้นไม้ยังดูดความชื้นไปจากดินอย่างมากในช่วงฤดูร้อนทำให้ดินเกิดการหดตัวซึ่งส่งผลให้ช่วงฐานของโบราณสถานไม่มั่นคงและอาจแตกออกได้

จิราภรณ์ อรรถนะนาถ (2526) ได้อธิบายว่าหญ้าและวัชพืชมีความทนทาน อายุยืน และตายยาก โดยเฉพาะวัชพืชที่มีใบเลี้ยงเดี่ยวสามารถทนต่อสารเคมีที่ใช้กำจัดวัชพืชได้ดีกว่าวัชพืชที่มีใบเลี้ยงคู่ หญ้าและวัชพืชจะแทงรากลงไปดินหรือวัสดุก่อสร้างเพื่อเกาะยึดพร้อมทั้งดูดน้ำและอาหาร รากซึ่งขนานเข้าไปในวัสดุก่อสร้างและฐานรากของโบราณสถานจะทำหน้าที่เป็นลิ้ม ทำให้วัชพืชนั้นแตกร้าวหรือหลุดกระเทาะออก โดยเฉพาะถ้าเป็นรากของต้นไม้ใหญ่อาจทำให้โบราณสถานเอียงทรุดตัวและพังทลายลงได้ พืชเหล่านี้มักเจริญเติบโตอยู่ในรูพรุน ช่องว่าง รอยแตก และรอยต่อของอิฐทำให้รูพรุน ช่องว่าง รอยแตก และรอยต่อเหล่านั้นแยกห่างออกจากกันมากขึ้น อีกทั้งเมื่อพืชตาย ส่วนต่างๆ ของพืชจะเน่าเปื่อยกลายเป็นฮิวมัสซึ่งเป็นอาหารที่ดีของพืชและจุลินทรีย์อื่นๆ ที่จะเจริญเติบโตต่อไป



## จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่พบมากบนโบราณสถาน ได้แก่ สาหร่าย ไลเคน มอส แบคทีเรีย และรา มักพบจุลินทรีย์พวกนี้เจริญเติบโตบนผิวด้านนอกของโบราณสถานซึ่งเปียกชื้นอยู่เสมอ เช่น บริเวณฐานและด้านล่างของโบราณสถานที่มีความชื้นสามารถซึมขึ้นมาจากใต้ดินได้ May (1995) อธิบายว่า รากและส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายรากที่แทงเข้าไปภายในเพื่อยึดเกาะหรือดูดซึมอาหารทำให้อิฐ กะเทาะและแตกร้าวได้ จุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เอง ต้องดูดอาหารจากสิ่งที่ยึดเกาะโดยการหลั่งน้ำย่อยออกมาเปลี่ยนองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้างให้มีโครงสร้างเล็กๆ แล้วดูดซึมเข้าทางผนังเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนผิวของวัสดุก่อสร้าง เช่น คราบเปื้อนและการสึกกร่อน จุลินทรีย์บางชนิดผลิตสารเคมีที่มีอันตรายต่อวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียที่ผลิตซัลเฟอร์ (sulphur-metabolising bacteria) ไลเคนที่ผลิตกรดออกซาลิก (oxalic acid) และเชื้อราที่ผลิตกรดซิตริก (citric acid) เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุ ก่อสร้างทำให้วัสดุก่อสร้างสึกกร่อนและขาดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลส่งผลให้โครงสร้างของโบราณสถานขาดความแข็งแรง และยังทำให้เกิดเกลือชนิดต่างๆ ตกผลึกเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุ ก่อสร้างเป็นคราบแข็ง เกลือบางชนิดที่ละลายน้ำได้จะซึมเข้าไปสะสมอยู่ในรูพรุนของวัสดุ ก่อสร้าง และเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดการตกผลึกของเกลืออยู่ในวัสดุ ก่อสร้างซึ่งอาจทำให้วัสดุ ก่อสร้างแตกร้าวได้ นอกจากนี้สาหร่าย ไลเคน และมอสที่เจริญเติบโตปกคลุมอยู่บนอิฐยังเป็น ตัวเก็บความชื้นไว้ซึ่งทำให้อิฐเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลาและยังผลิตฮิวมัสซึ่งเป็นอาหารที่ดีของพืชและ จุลินทรีย์อีกด้วย

สาหร่ายอาศัยอยู่ทั้งบนพื้นผิวภายนอก ภายในรูพรุนที่อยู่ใกล้ผิวภายนอก และช่องว่างที่ อยู่ภายใน เกาะตัวอยู่เป็นชั้นบางๆ เคลือบอยู่บนผิวภายนอก ซึ่งจะมีสีดำหรือสีเทาอ่อนบนพื้นผิวที่มีแสงแดดส่องผ่านโดยตลอด และเกิดเป็นชั้นที่หนากว่าและมีสีเขียวในบริเวณที่มีความชื้นสูง ทำให้อิฐเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากสาหร่ายจะดูดความชื้นและมลพิษเพื่อ สร้างชั้นของสารอินทรีย์ และปล่อยสารประกอบจากกระบวนการเมตาโบลิซึมหลายชนิด เช่น polypeptides amino acids uric acid oxalic acid glycolic acid aspartic acid glutamic acid และ citric acid โดยเฉพาะกรดชนิดสุดท้ายสามารถทำปฏิกิริยากับ carbonate ซึ่งเป็นการ สลายองค์ประกอบบางอย่างของอิฐ ราทำให้อิฐเสื่อมสภาพได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดย hyphae หรือส่วนที่เป็นเส้นใยของราสามารถขยายตัวและแทรกเข้าไปในรูพรุนของอิฐได้มาก เมื่อ hyphae ขยายตัวจะเกิดแรงดันภายในรูพรุนของอิฐ ซึ่งจะทำให้รูพรุนแตกขยายใหญ่ขึ้นได้ แต่ผล กระทบที่ทำให้เกิดความเสียหายหลักได้แก่ การผลิตกรดและ chelating agent เช่น carbonic

acid nitric acid sulphuric acid citric acid oxalic acid gluconic acid gluconic acid lactic acid และ fumaric acid ซึ่งกรดเหล่านี้จะกัดกร่อนผิวหนังของอริฐ โดยเฉพาะ oxalic acid จะทำปฏิกิริยากับเหล็ก และสลายพันธะเกลือของเหล็กและแร่ดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบของอริฐ ส่วนแบคทีเรียทำให้อริฐเสื่อมสภาพได้โดยการกัดกร่อนจากสารเคมีที่มันผลิตขึ้นเพียงทางเดียว หน้าที่หลักของแบคทีเรียคือย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งจะใช้ในโตรเจนและซัลเฟอร์จากอริฐในการย่อยสลาย นอกจากนี้แบคทีเรียยังผลิตสารเคมีที่สามารถละลายซิลิกา ซิลิเกต เหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมฟอสเฟตได้ (Warren, 1999)

ไลเคนทำให้อริฐเสื่อมสภาพโดยแทรกเข้าไปในอริฐโดยการเจาะ กรดอินทรีย์ที่ไลเคนผลิตจะซึมผ่านเข้าไปในอริฐ ทำให้อริฐมีโครงสร้างอ่อนลงอย่างช้าๆ เนื่องจากกรดเข้าไปสลายพันธะของผลึกที่เป็นโครงสร้างของอริฐ ไลเคนสามารถทำลายวัตถุได้โดยการลดจำนวนไอออนของแคลเซียม แมกนีเซียมและโพแทสเซียม และทำลายพันธะที่จับตัวแบบซีเมนต์ ในส่วนของรากจะผลิตสารประกอบ polyphenolic เช่น fatty acids อนุพันธ์ของ tetronic acid สารประกอบแอมโรแมติกและกรดอินทรีย์ เช่น citric acid oxalic acid gluconic acid และ lactic acid ซึ่งจะกัดกร่อนโครงสร้างที่คล้ายผลึกของอริฐ ทำให้อริฐถูกกัดกร่อนและเป็นหลุมขนาดเล็กๆ ที่ผิวหนัง การรวมตัวของ carbonic acid กับ oxalic acid เกิดเป็น calcium oxalate dihydrate หรือ manganese oxalate dihydrate หรือ magnesium oxalate dihydrate เป็นการกำจัดไอออนออกจากโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้อริฐที่มีขนาดใหญ่กลายเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ซึ่งจะถูกดันออกจากผิวหนังของอริฐด้วย thalli (Warren, 1999)

Uchida et al. (1999) ได้ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของหินในโบราณสถานนครวัด ประเทศกัมพูชา พบว่าสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนหินทำให้ผิวหนังของหินมีสีเปลี่ยนไปเป็นสีดำ ส่วนไลเคนทำให้เกิดจุดสีขาว นอกจากนี้การที่สาหร่ายและไลเคนผลิตกรดและเก็บรักษาความชื้นไว้ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของหินด้วย

### สัตว์

จิราภรณ์ อรัณยะนาถ (2526) ได้อธิบายถึงการเสื่อมสภาพของโบราณสถานที่เกิดจากสัตว์ไว้ว่าสัตว์หลายๆ ชนิดทำให้โบราณสถานเสื่อมสภาพทรุดโทรมโดยทางอ้อม เช่น วัว ควายที่เป็นสัตว์เลี้ยงที่ถูกนำเข้ามาเลี้ยงในบริเวณโบราณสถาน อาจป็นขึ้นไปกินหญ้าบนส่วนของโบราณสถานที่ไม่สูงมากนัก ทำให้ขอบของโบราณสถานและลวดลายประดับกะเทาะหรือพังทลาย นอก

จากนั้นมูลของวัวและความยังเป็นปุ๋ยที่ดีของพืชและจุลินทรีย์อีกด้วย นัก หรือแมลงที่นำเมล็ดพืช และสปอร์ของจุลินทรีย์ติดตัวมาทิ้งไว้บนโบราณสถาน หรือมูลของนกที่มักจะมีเมล็ดพืชบางชนิด ติดมาด้วยและที่มักพบบ่อยๆ ได้แก่ ต้นโพธิ์ และต้นไทร ที่เจริญเติบโตอยู่บนส่วนยอดของโบราณสถาน มูลของค้างคาวเป็นปุ๋ยที่ดีของพืชและทำให้เกิดเกลือไนเตรทและฟอสเฟตสะสมอยู่ในเนื้อ ของวัสดุก่อสร้างและก่อให้เกิดความเสียหาย

## 2.2.2 การเสื่อมสภาพที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

จิราภรณ์ อธิษฐานนาถ (2526) กล่าวว่าไว้วามมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ โบราณสถานชำรุดเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็วทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การ ลักลอบขุดค้นโบราณสถานเพื่อค้นหาวัตถุโบราณ การปล่อยปละละเลยไม่บำรุงรักษาเนื่องจาก ขาดงบประมาณ ความมั่งงายและความไม่รู้ซึ่งถึงคุณค่าของโบราณสถานของนักท่องเที่ยวและ ประชาชนที่เข้าชมโบราณสถาน ซึ่งที่พบบ่อยๆ ได้แก่ การปีนป่ายขึ้นไปถ่ายรูปลงและนั่งเล่นบน โบราณสถาน การแกะหรือตัดเอาชิ้นส่วนของโบราณสถานไปเป็นที่ระลึก การแตะต้องส่วนต่างๆ ของโบราณสถานที่อยู่ใกล้มือโดยเฉพาะส่วนที่มีลวดลายสวยงาม แม้แต่ผู้บูรณะโบราณสถานเองก็ มีส่วนในการชำรุดเสื่อมสภาพของโบราณสถานโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เช่น การบูรณะซ่อมแซม โบราณสถานด้วยวัสดุและวิธีการที่ไม่เหมาะสม หรือการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดของโบราณ สถานตามความเชื่อของตนเอง เป็นต้น

กิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อโบราณสถาน ได้แก่ การทำให้เกิดความสั่นสะเทือน เนื่องจากรถยนต์ที่วิ่งเข้าไปใกล้โบราณสถาน หรือการตอกเสาเข็มในบริเวณใกล้ๆ โบราณสถานซึ่ง จะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงยิ่งขึ้นถ้าดินรอบๆ โบราณสถานเป็นดินอ่อนหรือโบราณสถานมี รอยร้าวที่ฐานรากอยู่แล้ว Feilden (1982) อธิบายว่าความสั่นสะเทือนสามารถทำให้โบราณสถาน สูญเสียความแข็งแรงที่ฐานราก โดยมีผลกระทบกับดินที่รองรับโบราณสถาน และทำให้โครงสร้าง ของโบราณสถานเสียความแข็งแรงได้ในภายหลัง นอกจากทำให้เกิดความสั่นสะเทือนแล้ว มนุษย์ ยังปล่อยก๊าซหลายๆ ชนิดที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [ $\text{SO}_2$ ] จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล และการผลิตไฟฟ้า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [ $\text{CO}_2$ ] จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ไอโซน [ $\text{O}_3$ ] ซึ่งเป็นมลพิษขั้นที่สอง (secondary pollutant) ที่เกิด จากไนโตรเจนออกไซด์ [ $\text{NO}$ ] และไฮโดรคาร์บอนจากไอเสียรถยนต์ทำปฏิกิริยากับแสงอาทิตย์ ก๊าซ ไนโตรเจนไดออกไซด์ [ $\text{NO}_2$ ] และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ [ $\text{CO}$ ] จากรถมอเตอร์ไซด์ ก๊าซเหล่านี้ จะสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศและถูกทำลายโดยน้ำฝนหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศกลายเป็นสาร

ละลายของกรด ต่าง และเกลือ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโบราณสถานเนื่องจากการกัดกร่อนของสารละลายเหล่านี้

### 2.3 การลดอัตราการเสื่อมสภาพของอิฐ

จากสาเหตุของการเสื่อมสภาพของอิฐที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าน้ำเป็นสาเหตุหลัก การลดอัตราการเสื่อมสภาพของอิฐจึงควรเน้นไปที่การป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าภายในเนื้ออิฐ วิธีการป้องกันมีหลายวิธี เช่น ที่โบสถ์ S.Pietro in Valle ประเทศอิตาลีที่มีโครงสร้างเป็นหินก็มีปัญหาความชื้นเพิ่มสูงเนื่องจากน้ำฝนที่ซังตัวอยู่บริเวณพื้นดิน มีการแก้ปัญหาโดยการจัดตั้งระบบการระบายน้ำผิวดินออกจากตัวอาคารและสร้างแหล่งเก็บน้ำใหม่ โบสถ์ Sagra ประเทศอิตาลีซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็นอิฐและมีช่วงฐานล่างเป็นหินก็มีปัญหาความชื้นที่มาจากน้ำใต้ดิน การแก้ปัญหาทำโดยตัดโครงสร้างในแนวขนานกับพื้นดินแล้วใส่วัสดุกันความชื้นที่มีส่วนผสมของ polyester resin ผงหินอ่อน และผงแคลเซียมคาร์บอเนต พิพิธภัณฑ์ Kariye Cami ประเทศตุรกี มีโครงสร้างเป็นอิฐบนฐานรากของตัวอาคารที่เป็นหินก็มีปัญหาความชื้นอันเนื่องมาจากน้ำฝนที่ซังอยู่บนพื้นดินในบริเวณตัวอาคาร ซึ่งแก้ไขโดยปรับแก้แนวระนาบของพื้นดินภายนอกตัวอาคารให้ต่ำลง (Massari, 1989)

แต่วิธีการที่เป็นที่นิยมอีกวิธีหนึ่งได้แก่การใช้สารเคมีเคลือบผิวอิฐเพื่อลดการซึมผ่านของน้ำซึ่งเริ่มใช้มาตั้งแต่ ค.ศ.1861 Hofmann อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) ได้เสนอให้ใช้ silicic ether (tetraethyl orthosilicate หรือ silicic ester) เพื่อยับยั้งการเสื่อมสภาพของอาคารรัฐสภาของประเทศอังกฤษ โดยที่ silicic ether มีความทนต่อการเสื่อมสภาพเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ชื้นและจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็น quartz ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบเมื่อตัวทำละลายระเหยไป silicic ether จะเคลือบผิววัสดุก่อสร้างไว้และไม่ให้น้ำซึมผ่าน Laurie (1923) อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) อธิบายไว้ว่าวิธีการอนุรักษ์หินด้วย silicon ether (Tetraethyl orthosilicate) เป็นการใส่ประโยชน์จากคุณสมบัติของ silicon ether ที่เมื่อสัมผัสกับอากาศชื้นจะแข็งตัว โดย silicon ether ที่เจือจางด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมซึ่งจะระเหยไปเมื่อสัมผัสกับอากาศ silicic ether จะถูกไฮโดรไลซ์ ไปเป็นซิลิกาที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งจะไปเคลือบรูพรุนในเนื้อหินเพื่อลดอัตราการเสื่อมสภาพและลดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่หิน และจากการทดลองพบว่าหินของตึกที่เสื่อมสภาพที่ใช้ silicon ether มีอนุภาคที่เชื่อมเป็นชั้นเดียวกันและยังช่วยลดการดูดซึมน้ำพร้อมกับลดอัตราการเสื่อมสภาพของหินด้วย

Grissom and Weiss (1981) กล่าวว่า การสังเคราะห์ silicon tetrachloride ถูกรายงานครั้งแรกโดย Berzelius ในปี ค.ศ.1824 ในปี ค.ศ.1846 Von Ebelmen เตรียม silicic acid ethyl oxide (หมายถึง silicic acid ether) ได้จาก silicon tetrachloride และแอลกอฮอล์ Methyl (triethoxy)silane ถูกสังเคราะห์โดย Ladenberg ในปี ค.ศ.1874 และให้ชื่อว่า orthosilicic acetic ether Kipping ค้นพบว่าเมื่อให้ silicon tetrachloride ทำปฏิกิริยากับ grignard reagent จะทำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ของซิลิคอนซึ่งมีอะตอมซิลิคอนที่ไม่สมมาตรเป็นองค์ประกอบ

ethyl silicate  $[Si(OC_2H_5)_4]$  หรือ tetra(ethyl)orthosilicate ถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาของ silicon tetrachloride ( $SiCl_4$ ) กับ ethyl alcohol ( $C_2H_5OH$ ) คุณสมบัติอีกข้อหนึ่งของ ethyl silicate คือมีความหนืดต่ำกว่าน้ำจึงมีการซึมผ่านที่ดีมากในวัสดุที่มีรูพรุนหลายๆ ชนิด โดยที่ไม่ได้เข้าไปปิดรูพรุนภายในหรือลดการส่งผ่านความชื้นในวัสดุที่มีรูพรุน ซิลิกาที่สะสมอยู่จะไม่มีสี และไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน แสงสว่างและสารเคมีหลายๆ ชนิด

Liberti (1955) อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) ได้ทดลองใช้ partially polymerized ethyl silicate เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของอิฐจากป้อมปราคารกรีกที่ Caposoprano (Gela) บนเกาะ Sicily ตัวอย่างอิฐถูกทำด้วยน้ำยา Soluzione BR74 และถูกนำไปวางกลางแจ้งเป็นเวลา 3 ปี พบว่าเกิด efflorescences บนพื้นผิว แม้ว่าจะสามารถล้างออกด้วยน้ำฝน การทำด้วยอะคริลิกให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากกว่า Gutierrez (1956) อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) ได้ใช้ ethyl silicate กับภาพวาดฝาผนัง 2 แห่งที่อยู่กลางแจ้งในประเทศเม็กซิโก ผนังนี้มีขนาด 400 ตารางเมตร และใช้เป็นฉากหลังของโรงละครกลางแจ้ง ตัวกำแพงหันไปทางทิศเหนือและเป็นที่กำบังลมของอาคาร ได้รับแสงอาทิตย์ 6 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี สีก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

Riederer (1972) อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) ได้ใช้สารผสมของ ethyl silicate กับ methyl(triethoxy)silane เคลือบผิวหินทราย ผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของหินทรายที่เคลือบผิวด้วยสารผสมของ ethyl silicate กับ methyl(triethoxy)silane ลดลงเหลือ 1% ในขณะที่หินทรายที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าการดูดซึมน้ำ 13% Bosch (1972) อ้างโดย Grissom and Weiss (1981) ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Wacker-Chemie ที่มีส่วนผสมของ methyl (triethoxy)silane กับ silicic acid ester (VP 1301) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำของหินทรายที่เคลือบผิวแล้วลดลงเหลือ 0.3% ในขณะที่หินที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าการดูดซึมน้ำ 9%

Weber (1976) อธิบายว่าโบราณสถานที่ทำจากหินกำลังเสี่ยงกับการทำลายที่เกิดจากการทำลายทางกายภาพ เคมี และชีวภาพอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด เพราะน้ำเป็นตัวนำพากรดจากก๊าซที่ถูกปล่อยทิ้งเป็นของเสีย น้ำนำพาเกลือเข้าสู่วัสดุก่อสร้าง น้ำทำให้เกิดการทำลายโดยการทำให้แข็งตัว และน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดการดูดซึมน้ำของวัสดุก่อสร้าง เพื่อลดผลที่อาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมา จึงได้ทดลองใช้ silicone resin เคลือบผิวหิน พบว่าการดูดซึมน้ำของหินลดลงต่ำกว่า 1% และการยอมให้น้ำผ่านลดลงเพียง 5 - 8% ในการทดสอบความทนทานต่อเกลือ (Salt explosive test, DIN 52 111) ของหินตัวอย่างจาก Cathedral of Cologne พบว่าหินทราย Schlaitdorfer ที่ไม่ได้เคลือบผิวสามารถทนได้เพียง 5 วงจร ส่วนหินทรายที่เคลือบผิวด้วยส่วนผสมของ silicone resin และสารเพิ่มความแข็งแรงโดยการแช่เป็นเวลา 30 วินาทีสามารถทนได้ 20 วงจร ได้ผลที่คล้ายๆ กันจากหินทราย Obernkirchner และ Trachyte หินทราย Schlaitdorfer ให้ผลการทดลองดีที่สุดเป็นหินชนิดที่เสื่อมสภาพมากที่สุดของโบสถ์ การเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมจะพิจารณาได้จากผลการทดลอง เช่น การลดการดูดซึมน้ำ ความทนทานต่อเบส และความสามารถในการซึมผ่านของสารเคมี silicone resin ทุกชนิดมีความทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตสูงเนื่องจากโครงสร้างที่เหมือนซิลิกา เมื่อพิจารณาจากจุดนี้พบว่าการใช้สารเคมีจะยังคงมีประสิทธิภาพได้ในเวลา 10 - 15 ปี

Rossi-Manaresi et al. (1984) ได้ทดลองใช้ acrylic-silicone resin ที่มีส่วนผสมของ Paraloid B 72 4.5% w/v และ Dri-Film 104 3.5% v/v ในการเคลือบผิวหินปูนจาก Vicenza ประเทศอิตาลี และ Indiana ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซึมน้ำของหินปูนจาก Vicenza และ Indiana ลดลงหลังจากที่เคลือบหินปูนด้วยส่วนผสมของ acrylic-silicone resin จาก 174.0 และ 72.5 เป็น 4.0 และ 2.3 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาทดสอบการเสื่อมสภาพโดยการเร่งด้วยการวางไว้ในควันของกรดซัลฟิวริก 4 ชั่วโมง และปล่อยให้แห้ง 20 ชั่วโมงเป็นวงจรสลับกัน 21 ครั้ง พบว่าหินปูนจาก Vicenza มีค่าความพรุน (Porosity) ลดลงจาก 37.2% เป็น 25.5% หลังจากเคลือบผิว และ 26.0% หลังจากการทดสอบการเสื่อมสภาพโดยการเร่ง ส่วนหินปูนจาก Indiana มีค่าความพรุนลดลงจาก 22.6% เป็น 19.7% หลังจากเคลือบผิว และ 20.3% หลังจากการทดสอบการเสื่อมสภาพโดยการเร่ง จะเห็นได้จากการที่ค่าความพรุนลดลงเล็กน้อยในขณะที่สัมประสิทธิ์ในการดูดซึมน้ำลดลงอย่างรวดเร็วว่าเป็นผลจากคุณสมบัติที่ไม่ดูดซึมน้ำของ Dri-Film 104 และส่วนผสมของ acrylic-silicone resin ไม่ได้เข้าไปปิดรูพรุนที่อยู่ภายใน นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบพื้นผิวภายนอกของหินตัวอย่างด้วย Scanning electron microscopy

พบว่าสารผสมของ Acrylic silicone resin ให้การเคลือบผิวที่ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันบนอนุภาคหิน

Biscontin, Bakolas and Zendri (1995) ได้ศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ silane และ fluorinated ในตัวทำละลาย 2 ชนิดคือน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ โดยทดสอบกับวัสดุ 5 ชนิด ได้แก่ หินอ่อนจาก Carrara หินจาก Istria หินจาก Vicenza อีฐ และคอนกรีต ทดสอบประสิทธิภาพของการดูดซึมน้ำ (Normal commission guideline 7/81) ทั้งก่อนและหลังการใช้สารเคมี จากการทดสอบกับอีฐพบว่า silane ในตัวทำละลายอินทรีย์ให้ผลในการลดการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า fluorinated และ silane ที่ละลายในน้ำทุกความเข้มข้นที่ใช้ และความพรุนของอีฐลดลงหลังจากที่ใช้ silane เข้มข้น 30% ละลายในน้ำ จาก 47% ในตัวอย่างอีฐที่ไม่ได้ใช้ silane เป็น 40% ในตัวอย่างอีฐที่ใช้ silane

Kober (1996) ได้ทดลองใช้สารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของซิลิโคนและมีคุณสมบัติเป็นสารกันซึม ได้แก่ Alkyl alkoxysiloxane (8% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion (3.5% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion (1.8% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (6.0% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (3.0% by wt.) Potassium methyl silicate (2.3% by wt.) ส่วนผสมของ Alkyl alkoxysiloxane emulsion และ acrylic dispersion (3.5% by wt. siloxane+3.0% by wt. acrylate) และส่วนผสมของ Alkyl alkoxysiloxane emulsion และ styrene/acrylate dispersion (3.5% by wt. siloxane+5.0% by wt. styrene/acrylate) เคลือบผิวอีฐแล้วนำไปทดสอบการดูดซึมน้ำด้วยการแช่ไว้ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% และชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ผลที่ได้พบว่า Alkyl alkoxysiloxane (8% by wt.) เป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดการดูดซึมน้ำของอีฐ ส่วนสารเคมีที่มีประสิทธิภาพรองลงมาได้แก่ Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (6.0% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion (3.5% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (3.0% by wt.) และส่วนผสมของ Alkyl alkoxysiloxane emulsion และ styrene/acrylate dispersion (3.5% by wt. siloxane+5.0% by wt. styrene/acrylate) ผลที่ได้แสดงอย่างชัดเจนว่าซิลิโคนลดการดูดซึมน้ำของอีฐ Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (6.0% by wt.) Alkyl alkoxysiloxane emulsion (3.5% by wt.) และ Alkyl alkoxysiloxane emulsion/alkyl silane emulsion (3.0% by wt.) เป็นสารอิมัลชันของซิลิโคนที่เจือจางด้วยน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ส่วนผสมของสารอิมัลชันของซิลิโคนและสารยึดเกาะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้อีฐซึ่ง styrene/acrylate dispersion ให้ผลใน

การลดการดูดซึมน้ำที่ดีกว่า acrylic dispersion และ Potassium methyl silicate (2.3% by wt.)

Brus and Kotlik (1996) ได้ศึกษาคุณภาพของ ethylsilicate 40 และ ethylsilicate 40 ที่มีส่วนผสมของ Paraloid B 72 โดยมีสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ กัน 4 ชนิด ทำการทดลองกับหินทรายที่มีขนาด 4 x 4 x 4 เซนติเมตร การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำภายใต้ความดันปกติ (CSN 751155) พบว่าสารเคมีดังกล่าวช่วยลดความสามารถในการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหินลงเหลือ 7.60%, 2.20%, 7.94%, 3.61%, 6.08%, 2.12%, 6.65% และ 6.95% ขณะที่ตัวอย่างหินที่ไม่ได้ใช้สารเคมีมีค่า 9.28% ผลที่ได้จากการวัดความพรุนของตัวอย่างหินที่ไม่ได้ใช้สารเคมีมีค่า 21% ส่วนตัวอย่างหินที่ใช้ ethylsilicate 40 เพียงอย่างเดียวมีค่า 23% และตัวอย่างหินที่ใช้ ethylsilicate 40 ผสมกับ Paraloid B 72 มีค่า 20% แสดงให้เห็นว่าสารเคมีที่ใช้ไม่มีผลต่อความพรุนในเนื้อหิน ความแตกต่างของความพรุนอาจเป็นผลมาจากธรรมชาติของหินที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน พื้นที่ของรูพรุนทั้งหมด (Total area of pore, m<sup>2</sup>/g) ลดลงจาก 3.1 เป็น 2.2 เมื่อใช้ ethylsilicate 40 ผสมกับ Paraloid B 72 ซึ่งการลดลงนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสารเคมีเข้าไปปิดกั้นช่องว่างขนาดเล็กในเนื้อหิน

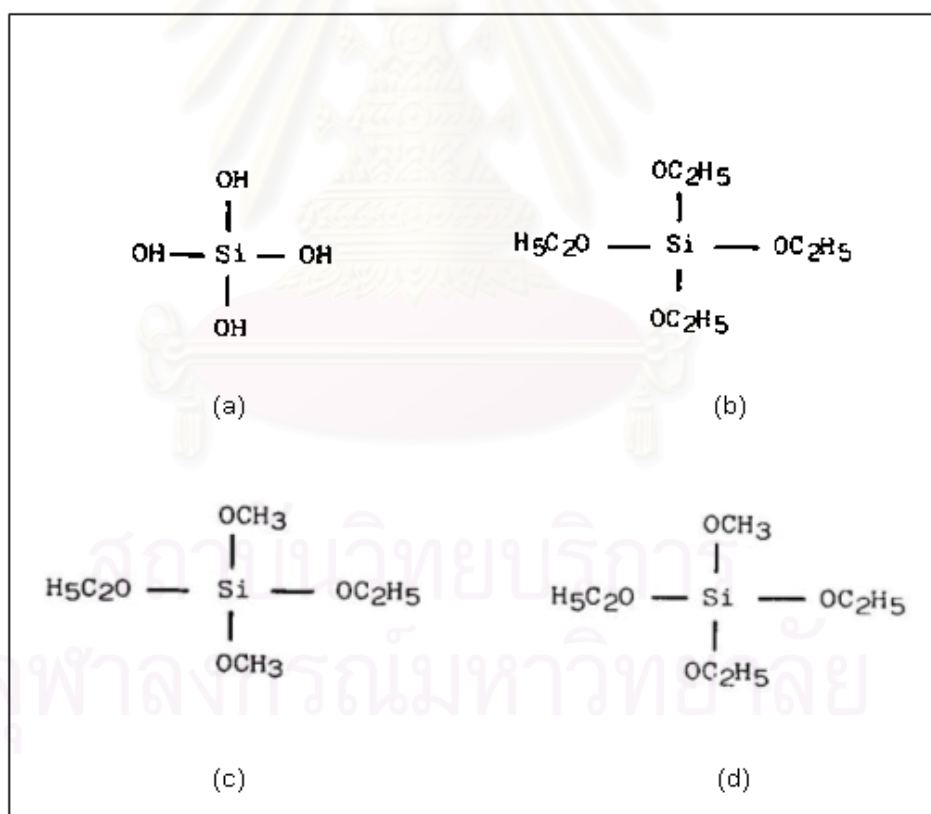
Borgia et al (2000) ได้ทดลองใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ Paraloid B 72 และ Silirain 50 ในปริมาณที่แตกต่างกันมาเคลือบผิวหิน Biocalcarenite ที่มีขนาด 5 x 5 x 2 เซนติเมตร การเคลือบผิวมี 2 วิธีคือให้หินดูดซึมสารเคมีผ่านเนื้อหินและการใช้แปรงทา พบว่า Paraloid B72 ในปริมาณสูง (700 มิลลิกรัม) ที่ถูกดูดซึมผ่านเนื้อหินมีประสิทธิภาพในการป้องกันการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการใช้ในปริมาณต่ำ (200 มิลลิกรัม) (98% และ 50% ตามลำดับ) แต่ยอมให้น้ำระเหยออกได้น้อยกว่า (61% และ 91% ตามลำดับ) ส่วน Silirain 50 ที่ถูกดูดซึมผ่านเนื้อหิน (450 มิลลิกรัม) ให้ผลดีทั้งประสิทธิภาพในการป้องกันการดูดซึมน้ำและการยอมให้น้ำระเหยออก (99% และ 74% ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบการใช้ Paraloid B72 เคลือบหินทั้ง 2 วิธี พบว่าการใช้แปรงทาจะใช้สารเคมีในปริมาณที่ต่ำกว่าการดูดซึมผ่านเนื้อหิน (140 มิลลิกรัม) ทั้งที่ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการดูดซึมน้ำที่เท่ากัน (98%) แต่การใช้แปรงจะยอมให้น้ำระเหยออกได้ต่ำกว่า (57% และ 61% ตามลำดับ) แม้ในกรณีที่ใช้สารเคมีในปริมาณที่เท่ากันก็ตาม จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการแพร่กระจายที่แตกต่างกันของสารเคมีภายในหินเป็นผลมาจากวิธีการนำสารเคมีไปใช้ที่แตกต่างกัน การใช้แปรงจะทำให้เกิดฟิล์มในบริเวณพื้นผิวภายนอกซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงมากในการป้องกันการดูดซึมน้ำ แต่ทำให้การยอมให้น้ำระเหยออกลดลง การเคลือบผิวโดยการดูดซึมตามเนื้อหินทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีที่ลึกกว่าเข้าไปสู่เนื้อภายในของหิน แต่ก็ยังมี



ช่องว่างซึ่งไอน้ำสามารถผ่านออกไปได้ ขณะที่แรงดึงดูดแบบแคปิลารีที่ผิวหลังจากการเคลือบก็ไม่มากพอที่จะทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ ผลจากการทดสอบ Nuclear magnetic resonance (NMR) สามารถยืนยันคำอธิบายข้างต้นได้

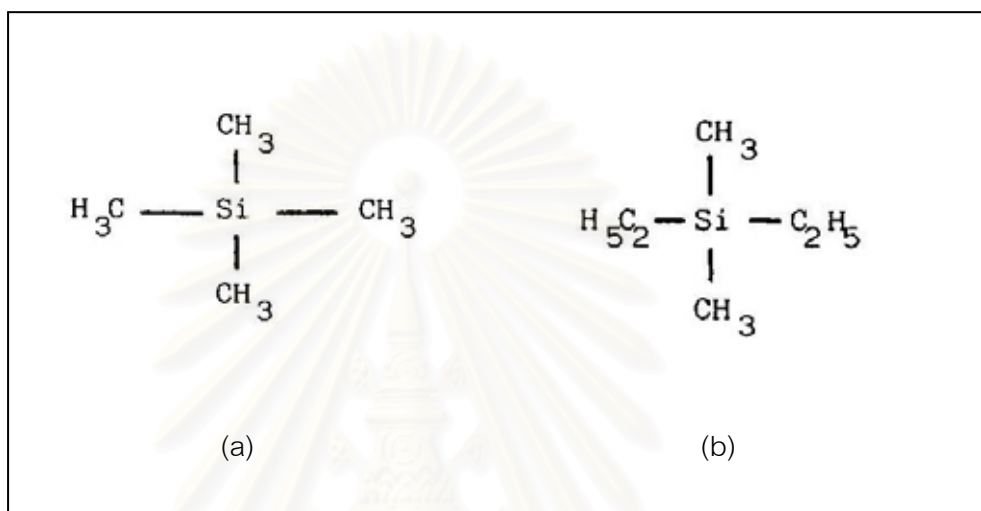
#### 2.4 คุณลักษณะของสารกันซึม

Charola (1989) อธิบายไว้ว่า สารประกอบ orthosilicic acid  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$  (รูปที่ 2.1 a) ที่ถูกแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนด้วยหมู่แอลคิล (alkyl group) เช่น methyl  $[\text{CH}_3-]$  หรือ ethyl  $[\text{C}_2\text{H}_5-]$  จะถูกเรียกว่า silicate ester เช่น tetraethyl silicate  $[\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4]$  (รูปที่ 2.1 b) ส่วนสารประกอบที่มีหมู่แอลคิลที่แตกต่างกัน 2 หมู่ และมีจำนวนเท่ากัน เช่น methyl และ ethyl จะเรียกว่า dimethyl diethyl silicate  $[(\text{CH}_3\text{O})_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_2\text{Si}]$  (รูปที่ 2.1 c) และจะเรียกว่า methyl triethyl silicate  $[\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{Si}]$  (รูปที่ 2.1 d) ถ้ามีหมู่ methyl เพียงหมู่เดียว



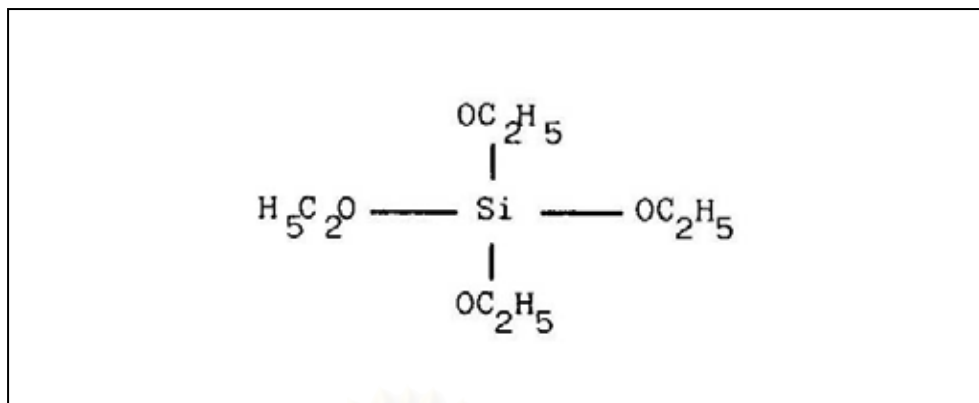
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ orthosilicic acid (a) tetraethyl silicate (b) dimethyl diethyl silicate (c) และ methyl triethyl silicate (d) (Charola, 1989)

Silane เป็นสารประกอบที่เกิดจากซิลิคอนและไฮโดรเจน และมีโครงสร้างคล้ายไฮโดรคาร์บอน เช่น  $\text{SiH}_4$  และ  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ถ้าเติมหมู่แอลคิลลงไปก็เรียกชื่อตามหมู่แอลคิล เช่น ถ้าหมู่แอลคิลเป็น methyl  $[\text{CH}_3-]$  ก็เรียกว่า tetramethyl silane  $[(\text{CH}_3)_4\text{Si}]$  (รูปที่ 2.2 a) หรือถ้าหมู่แอลคิลเป็น methyl  $[\text{CH}_3-]$  และ ethyl  $[\text{C}_2\text{H}_5]$  ในจำนวนเท่ากันจะเรียกว่า dimethyl diethyl silane  $[(\text{CH}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Si}]$  (รูปที่ 2.2 b)



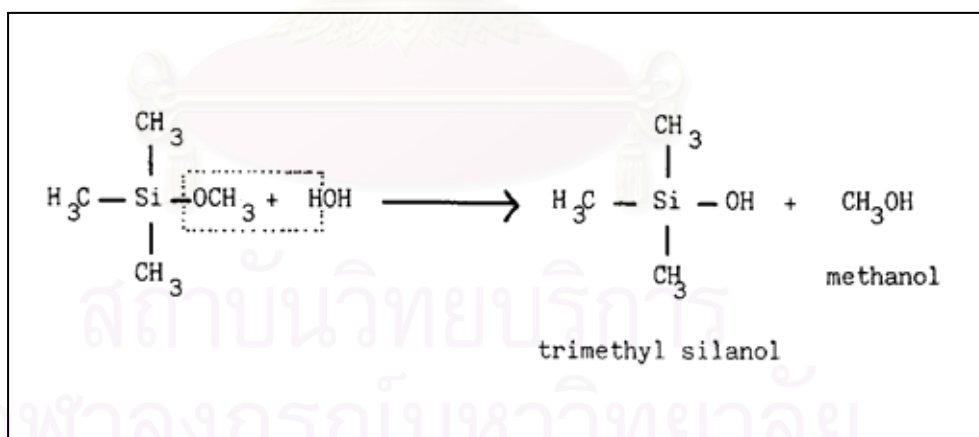
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ tetramethyl silane (a) และ dimethyl diethyl silane (b) (Charola, 1989)

แต่ถ้าหมู่ที่ถูกเติมลงไปเป็นหมู่แอลคอกซี (alkoxy group) เช่น methoxy  $[\text{CH}_3\text{O}]$  หรือ ethoxy  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{O}]$  จะถูกเรียกว่า tetraethoxy silane  $[\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4]$  ซึ่ง tetraethoxy silane (รูปที่ 2.3) นี้จะมีสูตรโครงสร้างที่เหมือนกับ tetraethyl silicate ความแตกต่างจะอยู่ที่สารตั้งต้นว่าเป็น silicate หรือ silane (Charola, 1989)

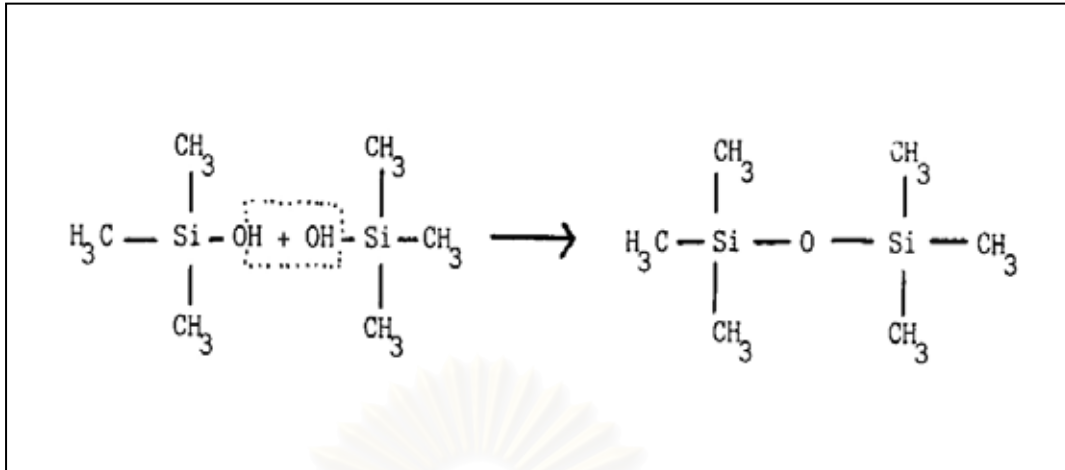


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ tetraethoxy silane (Charola, 1989)

หมู่แอลคิลที่สร้างพันธะกับอะตอมซิลิคอนจะเป็นตัวที่ทำให้สารประกอบนี้ไม่ดูดซับน้ำ (hydrophobic) ซึ่งจะมีค่าต่างกันไปตามหมู่แอลคิลที่สร้างพันธะ หมู่แอลคอกซ์จะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group) เช่น เมื่อ trimethyl methoxy silane [(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>OSi] ถูกไฮโดรไลซิสจะเกิดเป็น trimethyl silanol [(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>SiOH] (รูปที่ 2.4) และ methanol [CH<sub>3</sub>OH] โมเลกุล silanol จะทำปฏิกิริยากับ silanol อีกโมเลกุลหนึ่งเกิดเป็น dimer (รูปที่ 2.5)

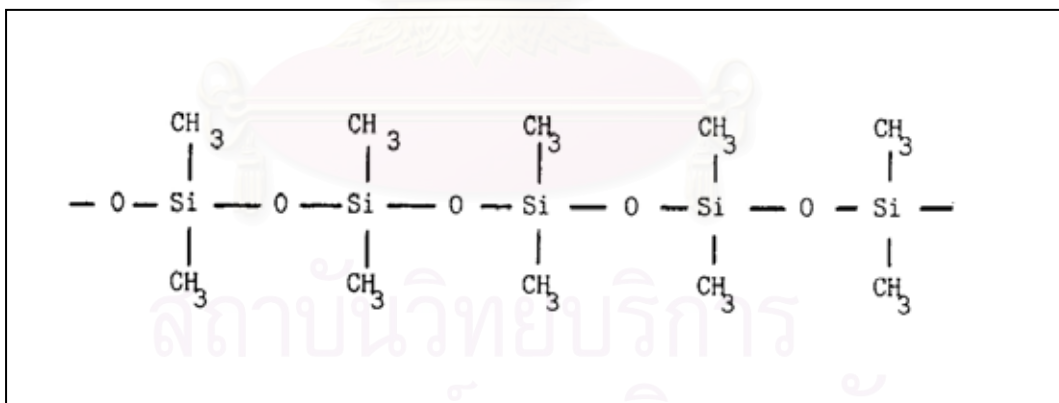


รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ trimethyl methoxy silane ได้ผลิตภัณฑ์เป็น trimethyl silanol (Charola, 1989)



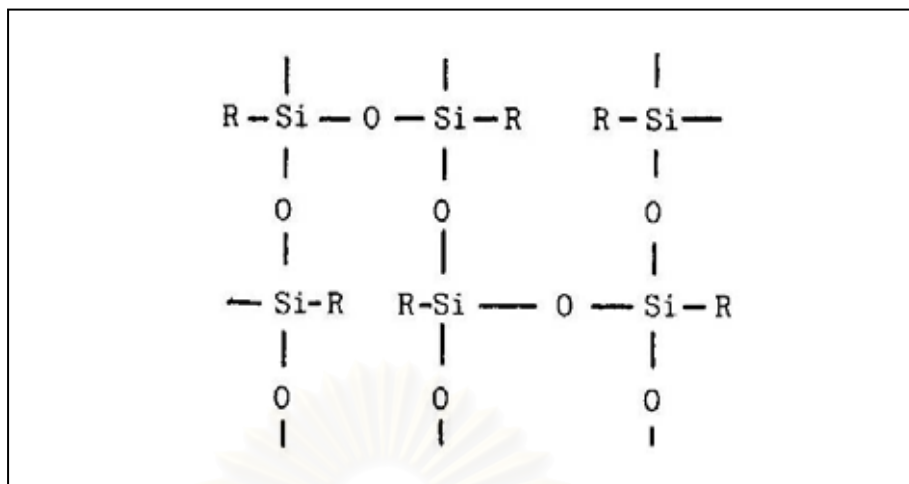
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ dimer ที่เกิดจาก silanol 2 โมเลกุลทำปฏิกิริยากัน (Charola, 1989)

ถ้าสารประกอบนั้นเป็น monoalkoxy ปฏิกิริยานี้ก็จะเกิดเพียงครั้งเดียว แต่ถ้าสารประกอบนั้นเป็น dialkyl dialkoxo ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นโมเลกุลที่มีสายยาวกลายเป็นโพลีเมอร์ที่เป็นเส้นตรง (linear polymer) (รูปที่ 2.6) ยางซิลิโคนก็เป็นโพลีเมอร์ชนิดนี้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของโพลีเมอร์ที่เป็นเส้นตรง (linear polymer) (Charola, 1989)

แต่ถ้าสารประกอบนั้นเป็น alkyl trialkoxo ปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดโพลีเมอร์ร่างแห (network polymer) (รูปที่ 2.7) โพลีเมอร์ร่างแหที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักจะถูกเรียกว่า siloxane ส่วนโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นเรียกว่า silicone resin (Charola, 1989)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโพลีเมอร์ร่างแห (network polymer) (Charola, 1989)

ซิลิโคนเรซินเป็นสารประกอบ 3 มิติขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของ quartz โดยโครงสร้างของ quartz จะมีอะตอมซิลิคอน 1 อะตอมสร้างพันธะกับอะตอมออกซิเจน 4 อะตอม แต่โครงสร้างของซิลิโคนเรซินจะมีอะตอมซิลิคอน 1 อะตอมสร้างพันธะกับอะตอมออกซิเจน 3 อะตอม และพันธะที่ 4 จะต่อกับหมู่แอลคิล ซึ่งหมู่แอลคิลนี้จะเป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ส่วนพันธะ Si-O-Si เป็นส่วนที่ยอมให้เกิดการผ่านของไอน้ำ ดังนั้นสารกันซึมที่มีส่วนประกอบของซิลิคอนจะมีโครงสร้างทางเคมีที่สร้างพันธะกับวัสดุที่มีรูพรุนและทำหน้าที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำโดยที่ไม่ได้ลดความสามารถในการผ่านเข้าออกของไอน้ำและก๊าซ (Mayer, 1998)

ซิลิโคนเรซินถูกใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมานานกว่า 30 ปี เริ่มแรกมันถูกใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวเพื่อเพิ่มความทนทานความร้อน เช่น ใช้เคลือบผิวเตาอบ เครื่องทำความร้อน และเตาฝัง เป็นต้น เมื่อไม่นานมานี้ซิลิโคนถูกใช้เป็นสารเคลือบผิวในการตกแต่งเพื่อเพิ่มความทนทานต่อความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความคงทนต่อความร้อนและสภาพกลางแจ้ง ความสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ แต่ก็ยังให้น้ำสามารถระเหยออกได้ เป็นต้น (Thomas, 1993)

ซิลิโคนเรซินบริสุทธิ์เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ di- และ tri-functional chlorosilanes [ $R_2SiCl_2$  และ  $RSiCl_3$ ] โดยที่ R อาจเป็น methyl หรือ phenyl หรือส่วนผสมของทั้งสองอย่าง ในการผลิตเรซิน chlorosilanes จะถูกละลายในสารประกอบแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon compound) และถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำ การเพิ่มปริมาณของ phenyl ใน

ซิลิโคนเรซินจะช่วยเพิ่มความคงทนต่อความร้อนและการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนการเพิ่มปริมาณของ methyl จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และความทนทานต่อสารเคมี ซิลิโคนเรซินในปริมาณ 50-80% ในตัวทำละลายแอมติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น xylene และ toluene สารละลายนี้ใส ไม่มีสี และมีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเพิ่มความทนทานต่อความร้อน เพิ่มการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ (Thomas, 1993)

### การป้องกันการซึมผ่านของน้ำในอิฐ

ซิลิโคนเรซินถูกใช้เป็นส่วนเคลือบผิววัสดุก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างมีแนวโน้มที่จะดูดซึมความชื้นอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากโครงสร้างของรูพรุนและรูพรุนเล็กๆ แบบแคปิลลารี (capillary) เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดเนื่องจากการดูดซึมความชื้นจึงต้องลดความสามารถในการดูดซึมความชื้นของวัสดุ วิธีการหนึ่งที่ประสบความสำเร็จได้แก่การใช้สารกันซึม ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือสารประกอบออร์แกนอซิลิโคน (organo-silicon compound)

### คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เคลือบผิววัสดุ (Thomas, 1993)

1. ความทนทานและประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวขึ้นอยู่กับว่าสารเคลือบผิวนั้นสามารถซึมผ่านเข้าไปในอิฐได้ลึกแค่ไหน ซึ่งความลึกของการซึมผ่านขึ้นอยู่กับ
  - 1) ความสามารถในการดูดซึมของวัสดุก่อสร้าง (ความพรุน ปริมาณความชื้น)
  - 2) ปริมาณของสารเคลือบผิวที่ใช้ (ลิตร/ตารางเมตร)
  - 3) ความสามารถในการซึมผ่านของสารเคลือบผิว (ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ขนาดโมเลกุล และตัวทำละลายที่ใช้)
2. สารเคลือบผิวต้องมีความทนทานต่อเบสเมื่อนำไปใช้กับวัสดุที่เป็นเบส
3. สารเคลือบผิวควรแห้งทันทีหลังจากที่ตัวทำละลายระเหยออกไป
4. ผลในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำควรแสดงผลทันทีหลังจากใช้สารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการชะล้างโดยน้ำฝน

## ลักษณะต่างๆ ไปของสารเคลือบผิวประเภทซิลิโคน (Thomas, 1993)

1. สารกันซึมที่ใช้กับอิฐและมีส่วนประกอบของซิลิโคนผลิตมาจาก chlorosilane (di- และ tri-functional chlorosilanes [ $R_2SiCl_2$  และ  $RSiCl_3$ ]) สารกันซึมที่มีหมู่แอลคิลเป็น methyl [ $CH_3$ -] เหมาะที่จะใช้กับวัสดุที่เป็นเบสเพียงเล็กน้อยหรือวัสดุที่เป็นกลาง ถ้าหมู่แอลคิลเป็นหมู่แอลคิลโซ่ยาว เช่น  $C_4H_9$ - หรือ  $C_8H_{17}$ - จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารกันซึมที่มีความคงทนต่อวัสดุที่มีความเป็นเบสมาก

2. ไม่สำคัญว่าจะใช้สารกันซึมที่มีส่วนประกอบของซิลิโคนชนิดใด ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาก็คือตัวเดียวกัน คือ polysiloxane หรือ silicone resin และหมู่แอลคิลที่ต่อกับอะตอมซิลิโคนจะเป็นตัวกำหนดความคงทนของสารกันซึมต่อวัสดุที่เป็นเบส

## ชนิดของผลิตภัณฑ์ แบ่งตามชนิดของตัวทำละลาย (Thomas, 1993)

1. ผลิตภัณฑ์ที่เจือจางด้วยน้ำหรือส่วนผสมของน้ำและแอลกอฮอล์ เช่น alkali alkyl siliconates
2. ผลิตภัณฑ์ที่เจือจางด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น White Spirit หรือแอลกอฮอล์ แบ่งได้เป็น

- 1) silicone resins (alkylpolysiloxanes, polysiloxane)
- 2) silane (alkylalkoxysilane)
- 3) siloxanes (oligomeric alkylalkoxysiloxanes)
- 4) polymeric alkylalkoxysiloxanes

มีการใช้ผลิตภัณฑ์พวกนี้โดยการผสมกันเองระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือผสมกับเรซินของสารอินทรีย์ (organic resin) เช่น methacrylates, metal soaps (stearates), silicate esters, titanate ester เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

### 1) Siliconates

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ละลายได้ในน้ำหรือส่วนผสมของน้ำกับแอลกอฮอล์ เป็นสารละลายที่มีความเป็นเบสสูง เมื่อนำไปใช้กับวัสดุก่อสร้าง silicate จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเกิดเป็น silanol และจะถูกควบแน่นไปเป็น silicone resin ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ (silanol) จะทำปฏิกิริยากับอิฐเกิดพันธะทางเคมี หรือทำปฏิกิริยากับตัวมันเองเกิดเป็น polysiloxane (ซึ่งเป็น silicone resin) และเกิด potassium carbonate [ $K_2CO_3$ ] หรือ sodium carbonate [ $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ] เป็นผลิตภัณฑ์อีกตัวหนึ่งแล้วแต่จะใช้ potassium silicate หรือ

sodium silicate ทำปฏิกิริยา นอกจาก potassium silicate หรือ sodium silicate แล้ว ยังนิยมใช้ methyl silicate และ propyl silicate เป็นสารเคลือบผิวอีกด้วย แต่ methyl silicate จะให้ผลในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดียิ่งขึ้นถ้าวางทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ตัวมันได้ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ ตรงกันข้ามกับ propyl silicate ซึ่งจะให้ผลในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดียิ่งขึ้นถ้าเก็บไว้ในที่ที่ไม่มีอากาศผ่านและยังให้ค่าความทนทานต่อเบสที่สูงกว่าเนื่องจากมีหมู่แอลคิลที่ยาวกว่า แต่น้ำฝนสามารถชะล้าง silicate ออกจากก้อนอิฐที่เพิ่งเคลือบผิวได้ Silicate ยังถูกใช้โดยฉีดเข้าภายในก้อนอิฐหรือสิ่งก่อสร้างที่ทำจากอิฐในแนวขนานกับแนวพื้นดินเพื่อสร้างแนวป้องกันความชื้นที่มาจากใต้ดิน

## 2) Silicone resins (alkylpolysiloxanes, polysiloxanes)

ซิลิโคนเรซินละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุลของซิลิโคนเรซินจะมีค่าแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 2000 และ 3000 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเรซินของสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เพราะโมเลกุลที่มีขนาดเล็กนี้เองจึงทำให้ซิลิโคนเรซินสามารถซึมผ่านรูพรุนของวัสดุก่อสร้างได้ดีกว่าเรซินของสารอินทรีย์ ความสามารถในการซึมผ่านของเรซินขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่ใช้ด้วย

การป้องกันการซึมผ่านของน้ำจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่ตัวทำละลายระเหยออกไป ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดหมู่ silanol [SiOH] ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ reactive group บนผิวของอิฐเกิดพันธะทางเคมี และขนาดโมเลกุลของซิลิโคนเรซินจะเพิ่มขึ้น ซิลิโคนเรซินที่มีหมู่แอลคิลเล็กๆ เช่น methyl silicon resin จะมีความทนทานต่อวัสดุก่อสร้างที่มีความเป็นเบสสูงได้น้อยกว่าซิลิโคนเรซินที่มีหมู่แอลคิลสายยาว ซิลิโคนเรซินที่มีหมู่แอลคิลสายยาวจึงมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่ดีกว่าแม้ว่าจะใช้กับวัสดุก่อสร้างที่มีความเป็นเบสสูงก็ตามและควรใช้กับอิฐที่ถูกทำให้แห้งโดยวางทิ้งไว้ในที่ที่อากาศผ่าน

## 3) Silanes (alkylalkoxysilane)

Silanes ถูกใช้มาตั้งแต่เริ่มมีการใช้ซิลิโคนเพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำในวัสดุต่างๆ เช่น แก้ว เส้นใยแก้ว และซิลิกาขนาดเล็ก เป็นต้น และเริ่มมีการใช้ silane เคลือบผิวด้านนอกของอาคารในช่วงค.ศ. 1970 silane มีความสามารถในการซึมผ่านที่ดีกว่าซิลิโคนเรซินเพราะว่ามันมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าและวัสดุที่จะนำมาเคลือบด้วย silane นั้นไม่จำเป็นต้องทำให้แห้ง อาจยังมีความชื้นเหลืออยู่นิดหน่อยก็สามารถใช้ได้ แต่ไม่ใช้กับวัสดุที่ดูดซับน้ำไว้แล้วจนเต็ม นอกจากนั้น



silane ยังสามารถละลายในแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำนอกเหนือจากตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน แต่ประสิทธิภาพในการเคลือบผิวของ silane ที่เจือจางในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนจะดีกว่าที่เจือจางในแอลกอฮอล์

Silane ไม่ใช่ตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะเหมือนกับ silicate แต่ต่างกับซิลิโคนเรซิน สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาจะเกิดหลังจาก silane ที่เคลือบผิววัสดุทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ เกิดผลิตภัณฑ์เป็น silanol [SiOH] silanol จะทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อสร้างหรือเปลี่ยนไปเป็นซิลิโคนเรซินและเกิดแอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งจะระเหยออกไป

การที่ silane จะเปลี่ยนไปเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา นั้นไม่ได้เกิดโดยทันที แต่ต้องใช้เวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยาอย่างเช่นความชื้นของอากาศในขณะนั้นหรือตัวเร่งปฏิกิริยา เช่นความเป็นเบสของวัสดุก่อสร้าง ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนไปเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยานั้น silane ก็ระเหยไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นถ้าปฏิกิริยาที่เปลี่ยน silane ไปเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา เกิดช้ามากและมีสภาวะที่เร่งให้เกิดการระเหยของ silane มาก silane ก็จะหายไปมาก จากสาเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ silane ที่ความเข้มข้นสูง (20-40%) ในตอนเริ่มต้นเพื่อชดเชยกับปริมาณที่ระเหยไประหว่างทำปฏิกิริยา การระเหยของ silane ขึ้นอยู่กับความสามารถในการซึมผ่านเข้าสู่วัสดุก่อสร้างและสภาพอากาศในขณะนั้น (อุณหภูมิและลม) ถ้าวัสดุก่อสร้างที่เคลือบผิวด้วย silane ถูกน้ำฝนทันทีหลังจากการเคลือบผิว น้ำฝนจะชะล้าง silane ออกไป silane ที่มีหมู่แอลคิลยาวจะมีความสามารถทนต่อเบสได้ดี

#### 4) siloxanes (oligomeric alkylalkoxysiloxanes)

ถ้าผสมน้ำในปริมาณเล็กน้อยกับ alkylalkoxysilane (silane) หมู่ alkoxy [R'O-] บางหมู่ จะหลุดออก (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ด้วย) และเกิดเป็น oligomeric siloxane ซึ่งจะมีคุณสมบัติของ silane อยู่ เช่น ความสามารถในการซึมผ่านที่ดี ใช้ได้กับพื้นผิวที่ยังคงมีความชื้นอยู่เล็กน้อย ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาจะเกิดโดยมีความชื้นในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่คุณสมบัติของ oligomeric siloxane ที่เหนือกว่า silane คือมีการระเหยต่ำมาก oligomeric siloxane จึงยังคงอยู่บนพื้นผิวของวัสดุก่อสร้างจนกว่าจะเกิดสภาวะที่เหมาะสมกับการเกิดสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา เนื่องจาก oligomeric siloxane ไม่ระเหยจึงไม่จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นที่สูงมาก (แค่ 6-8% ก็เพียงพอ)

การเพิ่มประสิทธิภาพของ oligomeric siloxane ทำได้โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม การเกิดสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับว่าวัสดุก่อสร้างเป็นกลางหรือไม่ (วัสดุก่อสร้างอาจเป็นเบสก็ได้) แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในอากาศ ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำจะให้ผลดีหลังจากการเคลือบผิว 4-5 ชั่วโมง และ oligomeric siloxane ที่มีหมู่แอลคิลสายยาวจะให้ผลการป้องกันที่ดีบนวัสดุก่อสร้างที่เป็นเบส ส่วน oligomeric siloxane ที่มีหมู่แอลคิลเล็กๆ เช่น methyl ควรจะใช้กับวัสดุก่อสร้างที่มีสภาพเป็นกลาง

### 5) polymeric alkylalkoxysiloxanes

เมื่อให้ alkylalkoxysilane ทำปฏิกิริยากับน้ำในปริมาณที่มากกว่าที่ทำให้เกิด oligomeric alkylalkoxysiloxanes จะทำให้เกิด polymeric alkylalkoxysiloxanes หลังจากการเคลือบผิววัสดุ polymeric alkylalkoxysiloxanes จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ หมู่ alkoxy จะถูกกำจัดออกไปและเกิดสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาคือซิลิโคนเรซินที่เป็น polysiloxane

polymeric alkylalkoxysiloxanes จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความสามารถในการซึมผ่านได้ดีในเวลาไม่นาน แต่ปฏิกิริยาอื่นๆ จะเหมือนซิลิโคนเรซิน polymeric alkylalkoxysiloxanes มีข้อเสียคือจะยังคงเหนียวอยู่เป็นเวลานานถ้าไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้พื้นผิวสกปรก การใช้ polymeric alkylalkoxysiloxanes ที่มีหมู่แอลคิลสายยาวจะให้ความทนทานต่อเบสที่ดีกว่าที่มีหมู่แอลคิลเล็กๆ

สารละลายของ silicate มีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจากการเกิดคราบสีขาวเมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไป และอนุภาคอิมัลชันของ silicate มีขนาดใหญ่มาก โดยปกติสารอิมัลชันของซิลิโคนเรซินมีขนาดอนุภาค 2000 นาโนเมตร แต่อนุภาคขนาดเล็กของ alkylalkoxy silane และ alkylalkoxy siloxane ที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่และถูกจดสิทธิบัตรมีขนาดอนุภาค 40-70 นาโนเมตรซึ่งมีความคล้ายกันกับรูปร่างแบบแคปซูลรีของวัสดุก่อสร้าง ดังนั้นอนุภาคขนาดเล็กนี้จึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในวัสดุก่อสร้างอย่างเช่นอิฐได้

## บทที่ 3

### วิธีการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าของการใช้สารกันซึม 7 ชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่สร้างพันธะกับน้ำ (Hydrophobic) เป็นสารเคลือบผิววัสดุที่มีรูพรุนเช่นอิฐเพื่อป้องกันความชื้นที่จะเข้าสู่ภายใน มีรายละเอียดในการศึกษา ดังต่อไปนี้

#### 3.1 ชนิดและขนาดของอิฐ

3.1.1 อิฐที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นอิฐขนาด 15 x 30 x 5 เซนติเมตร มีส่วนประกอบของดินเหนียวและแกลบ นวดให้เข้ากันแล้วทอดด้วยแม่พิมพ์ ตากแดดให้แห้งแล้วนำไปเผาในเตาด้วยฟืนจากไม้สะแกและแกลบ

3.1.2 นำอิฐจากข้อ 3.1.1 มาตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่มีขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

#### 3.2 สารเคมี

สารกันซึม 7 ชนิด และตัวทำละลายที่ใช้ มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของสารกันซึม 7 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

| ชื่อสารเคมี   | ชื่อทางการค้า/บริษัท |
|---|----------------------|
| 1.Methyl silane                                     | ICI                  |
| 2.Potassium silicate                                | Evercrete top sealer |
| 3. Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate | Rhoximat RC 80       |
| 4. Alkyl polysiloxane oligomer                      | Rhoximat HD 224      |
| 5.Solvent-free mixture of silane and siloxane       | Wacker BS 290        |
| 6.Solvent-free silicone microemulsion concentrate   | Wacker BS SMK 550    |
| 7.Solvent-free silicone microemulsion concentrate   | Wacker BS SMK 2100   |

โดยที่สารกันซึม 3 ชนิดแรก ได้แก่ Methyl silane (ICI) Potassium silicate (Evercrete top sealer) และ Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) เป็นสารกันซึมที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ไม่ต้องเจือจาง ส่วนสารกันซึม 4 ชนิดหลังต้องเจือจางด้วยตัวทำละลายก่อนที่จะนำไปใช้ โดย Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) และ Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker BS 290) เจือจางด้วย White Spirit และ Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker BS SMK 550) และ Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker BS SMK 2100) เจือจางด้วยน้ำกลั่น

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ มีวิธีการดังต่อไปนี้

- 1) การวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอิฐ โดยวิธี X-ray Diffraction  
วิเคราะห์หาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างอิฐ 3 ตัวอย่าง โดยวิธี X-ray Diffraction
- 2) การวิเคราะห์หาความแข็งแรงของอิฐ (3 Point bending)  
วิเคราะห์หาความแข็งแรงของตัวอย่างอิฐ 5 ตัวอย่าง จากค่า 3 Point bending

#### 3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสารกันซึม มีดังต่อไปนี้

- 1) การดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ (water absorption by immersion)
  - 1.1) นำ Wacker 290 Wacker SMK550 Wacker SMK2100 และ Rhoximat HD224 มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10% V/V 20% V/V 30% V/V 40% V/V และ 50% V/V และใช้ในปริมาตร 20 ml ส่วน Methyl silane (ICI) Potassium silicate (Evercrete top sealer) และ Rhoximat RC80 ไม่ต้องทำละลาย และใช้ในปริมาตร 20 30 และ 40 ml
  - 1.2) นำสารกันซึมทั้ง 7 ชนิดจากข้อ 1.1 เคลือบผิวอิฐด้วยวิธีการทาด้วยแปรงทึงไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ตัวทำละลายระเหยและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่
  - 1.3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวแล้วบันทึกเป็นน้ำหนักแห้ง ( $W_1$ )
  - 1.4) นำตัวอย่างอิฐแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5) นำตัวอย่างอิฐขึ้นจากน้ำ เช็ดน้ำส่วนที่ติดอยู่ที่ผิวของอิฐออกด้วยผ้าเปียก ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักแห้ง ( $W_2$ ) คำนวณค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำจาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

1.6) เปรียบเทียบหาความเข้มข้นของสารกันซึมแต่ละชนิดที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำที่ต่ำที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

2) การดูดซึมน้ำตามรูพรุนในเนื้ออิฐ (capillary water absorption, Normal 11/85, CNR-ICR)

2.1) ทำตัวอย่างอิฐให้แห้งโดยวางไว้ในเดซิเคเตอร์จนได้น้ำหนักคงที่

2.2) เตรียมกล่องปิดสำหรับวาง petri dish ที่มีกระดาษกรองเบอร์ 4 จำนวน 50 แผ่นวางซ้อนกันอยู่ในน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร

2.3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิฐและวางลงบนกระดาษกรองที่เปียก ปิดกล่องแล้วทิ้งไว้ 40 นาที

2.4) นำตัวอย่างอิฐออกจากกล่อง เช็ดน้ำที่เกาะอยู่บนผิวของตัวอย่างออกด้วยผ้าเปียกและชั่งน้ำหนักทันที

2.5) ทำตัวอย่างให้แห้งจนได้น้ำหนักที่คงที่ แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 อีก 2 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึม และบันทึกเป็น  $A_0$

2.6) ทำตัวอย่างให้แห้งจนได้น้ำหนักที่คงที่ นำสารกันซึมทั้ง 7 ชนิดมาเจือจางที่ความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำต่ำที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.3.2 ข้อย่อย

1) แล้วเคลือบผิวอิฐด้วยวิธีการทาด้วยแปรงลงบนพื้นผิวขนาด  $5 \times 5$  เซนติเมตรเพียง 1 ด้าน โดยใช้ปริมาณสารกันซึมตามอัตราส่วนต่อพื้นที่ แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2 - 5 คำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมหลังจากการทาสารกันซึม และบันทึกเป็น  $A_t$

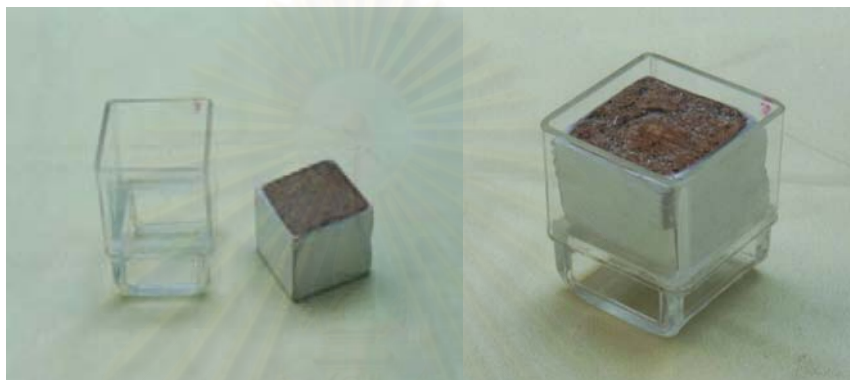
2.7) คำนวณหาประสิทธิภาพของการป้องกัน (The Protective efficacy, P.E.%) จาก

$$P.E. \% = (A_0 - A_t) / A_0 \times 100$$

3) การยอมให้ไอน้ำระเหยผ่าน (Permeability to water vapour, Normal 21/85, CNR-ICR)

3.1) ทำตัวอย่างอิฐให้แห้ง โดยวางไว้ในเดซีเคเตอร์จนได้น้ำหนักคงที่

3.2) ใส่ น้ำ 10 – 20 ml ลงในอุปกรณ์ และวางตัวอย่างอิฐที่พันด้วยพาราฟิล์มลงในอุปกรณ์ (รูปที่ 3.1) ซึ่งน้ำหนักอุปกรณ์พร้อมทั้งตัวอย่างอิฐ นำอุปกรณ์ทั้งหมดวางลงในเดซีเคเตอร์



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างอิฐพันด้วยพาราฟิล์มและอุปกรณ์

3.3) ซึ่งน้ำหนักอุปกรณ์พร้อมทั้งตัวอย่างอิฐที่ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 - 10 วัน หรือจนกว่าน้ำหนักที่หายไป ใน 24 ชั่วโมงจะคงที่ ความสามารถในการระเหยของไอน้ำผ่านตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้ทาสารกันซึมบันทึกเป็น  $P_0$

3.4) ทำตัวอย่างให้แห้งจนได้น้ำหนักที่คงที่ นำสารกันซึมทั้ง 7 ชนิดมาเจือจางที่ความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำต่ำที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.3.2 ข้อย่อย 1) แล้วเคลือบผิวอิฐด้วยวิธีการทาด้วยแปรงลงบนพื้นผิวขนาด 5 x 5 เซนติเมตรเพียง 1 ด้าน โดยใช้ปริมาณสารกันซึมตามอัตราส่วนต่อพื้นที่ แล้วทำตามขั้นตอนที่ 1 - 3 ความสามารถในการระเหยของไอน้ำผ่านของตัวอย่างอิฐที่ทาสารกันซึมบันทึกเป็น  $P_t$

3.5) คำนวณค่า  $P_0$  และ  $P_t$  ได้จาก

$$P = \frac{\Delta m_{24h}}{S}$$

เมื่อ  $\Delta m_{24h}$  เป็นน้ำหนักที่หายไปใน 24 ชั่วโมง (เมื่อน้ำหนักคงที่)

$S$  เป็นพื้นที่ที่ผิวหน้าของอิฐสัมผัสกับไอน้ำที่ระเหยไป

3.6) คำนวณค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (Residual permeability, R.P.%)

จาก

$$R.P.\% = \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

4) การทดสอบแบบวงจรเปียกสลับแห้ง (Wet-dry cycle) (Rossi-Doria, 1989)

4.1) นำสารกันซึมทั้ง 7 ชนิดมาเจือจางที่ความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำต่ำที่สุด จากการทดลองในข้อ 3.3.2 ข้อย่อย 1)

4.2) นำสารกันซึมที่เจือจางแล้วเคลือบผิวอิฐด้วยวิธีการทาด้วยแปรง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ตัวทำละลายระเหย และเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์จนได้น้ำหนักที่คงที่

4.3) นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวแล้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผลเป็น  $W_d$

4.4) ให้ความชื้นแก่ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวแล้วด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง เช็ดน้ำที่เกาะอยู่บนตัวอย่างอิฐด้วยผ้าเปียก ชั่งน้ำหนักและบันทึกผลเป็น  $W_w$

4.5) จากขั้นตอนที่ 3 และ 4 คิดเป็น 1 วงจร และทำติดต่อกันเป็นเวลา 3 เดือน คำนวณค่าการดูดซึมน้ำใน 1 วงจร จาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำใน 1 วงจร} = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

4.6) ทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิวตามขั้นตอนที่ 3-5

5) การถ่ายภาพหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐด้วย Scanning electron microscope (SEM)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึมชนิดที่ให้ผลจากการทดสอบแบบวงจรเปียกสลับแห้งที่ดีที่สุดไปถ่ายภาพหน้าตัดภายในด้วย Scanning electron microscope (SEM) เพื่อดูลักษณะการเคลือบผิวของสารกันซึม

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ

อิฐดินเผาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นอิฐขนาด 15 x 30 x 5 เซนติเมตร ที่ใช้ในการบูรณะโบราณสถานส่วนที่ก่อสร้างด้วยอิฐ เป็นอิฐที่ผลิตแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือนของนางลัดดาเนียมประเสริฐ อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อิฐดินเผานี้มีวัตถุดิบเป็นดินเหนียวและแกลบในอัตราส่วนโดยน้ำหนักดินเหนียว 36.67 ส่วนต่อแกลบ 1 ส่วน ขั้นตอนในการผลิตเริ่มต้นจากนำดินเหนียวมาแช่น้ำ 1 คืน เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น แล้วนำไปผสมกับแกลบ นวดให้เข้ากันด้วยเครื่องนวดดิน นำไปกดอัดให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยแบบที่ทำจากไม้สักบนพื้นดินที่เรียบและปูพื้นด้วยแกลบเพื่อไม่ให้ดินเหนียวติดพื้นดิน นำก้อนดินเหนียวตากแดดเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาตากผิวให้เรียบ นำก้อนดินเหนียวมาวางเรียงกลางแจ้งเพื่อให้ลมผ่านอีก 3 วัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาเป็นเวลา 7 วัน โดยใช้เชื้อเพลิงจากไม้สะแก (*Combretum quadrangulare* Kurz) (ภาคผนวก ก) ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 4937 แคลอรีต่อกรัม (กรมป่าไม้, สำนักวิชาการป่าไม้, ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้, กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้, 2545) และแกลบ ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 3407 แคลอรีต่อกรัม (จิระพงษ์ โคหากาญจน์, 2545)

##### 4.1.1 การหาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอิฐโดยวิธี X-ray Diffraction

เมื่อนำตัวอย่างอิฐจำนวน 3 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบโดยวิธี X-ray Diffraction พบว่าในตัวอย่างอิฐประกอบด้วยแร่ Quartz Muscovite และ Hematite เป็นองค์ประกอบหลักดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของอิฐจากวิธี X-ray Diffraction

| ตัวอย่างที่ | ลักษณะทั่วไป    | แร่ธาตุ                         |
|-------------|-----------------|---------------------------------|
| 1           | สีน้ำตาลแดง     | Quartz<br>Muscovite<br>Hematite |
| 2           | สีน้ำตาลแดงเข้ม | Quartz<br>Hematite<br>Muscovite |
| 3           | สีน้ำตาลอ่อน    | Quartz<br>Muscovite             |

ตัวอย่างอิฐทั้ง 3 ตัวอย่างมีแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักที่คล้ายกัน แต่อิฐตัวอย่างที่ 3 ไม่มี Hematite เป็นส่วนหนึ่งของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงเลือกใช้อิฐที่มีลักษณะตามตัวอย่างที่ 1 และ 2

#### 4.1.2 การหาความแข็งแรงของอิฐ (3 Point bending)

จากตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ตัวอย่างที่นำไปหาค่าความแข็งแรง (3 Point bending) พบว่ามีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย  $0.7886 \pm 0.1850$  นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร จะเห็นว่าความแข็งแรงของอิฐแต่ละก้อนมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของอิฐที่ผลิตโดยใช้แรงงานคน

## 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสารกันซึม

### 4.2.1 การดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ

#### 1) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI)

เมื่อนำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) ด้วยปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane ในปริมาตร 30 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64%

ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane ในปริมาตร 40 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.32% (ตารางที่ 4.2) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เป็นปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Methyl silane ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

**ตารางที่ 4.2** ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง

| ปริมาตร (มิลลิลิตร) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|---------------------|--|
| 20                  | $9.32 \pm 2.804^b$                         |
| 30                  | $0.64 \pm 0.080^a$                         |
| 40                  | $0.75 \pm 0.147^a$                         |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

## 2) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ด้วยปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.59% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate ในปริมาตร 30 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.84% ในการทดลองนี้ไม่สามารถเคลือบผิวของตัวอย่างอิฐด้วย Potassium silicate ที่ปริมาตร 40 มิลลิลิตร เนื่องจากตัวอย่างอิฐไม่สามารถดูดซึม Potassium silicate ที่ปริมาตร 40 มิลลิลิตรได้ (ตารางที่ 4.3) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้

Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

**ตารางที่ 4.3** ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง

| ปริมาตร (มิลลิลิตร) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|---------------------|--|
| 20                  | 10.59 $\pm$ 2.369                          |
| 30                  | 15.84 $\pm$ 2.352                          |

**3) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and organic silicate (Rhoximat RC 80)**

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08% ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 ที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.03% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 ที่ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.28% (ตารางที่ 4.4) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เป็นปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Rhoximat RC 80 ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat RC 80) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง

| ปริมาตร (มิลลิลิตร) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|---------------------|--|
| 20                  | $4.03 \pm 2.716^b$                         |
| 30                  | $1.08 \pm 1.165^a$                         |
| 40                  | $10.28 \pm 0.961^c$                        |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

#### 4) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkyl polysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.95% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 10%v/v มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้น 20 30 และ 50%v/v โดยตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.48% ที่ความเข้มข้น 20%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.30% ที่ความเข้มข้น 30%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.81% และที่ความเข้มข้น 50%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.35% (ตารางที่ 4.5) จากผลการทดลองตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40 20 และ 50 %v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป เนื่องจากต้องการศึกษาในขั้นตอนต่อไปด้วยความเข้มข้นและปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุด

**ตารางที่ 4.5** ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and organic silicate (Rhomimat HD 224) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง

| ความเข้มข้น (%v/v) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|--------------------|--|
| 10                 | $1.48 \pm 0.211^b$                         |
| 20                 | $1.30 \pm 0.060^a$                         |
| 30                 | $1.81 \pm 0.723^b$                         |
| 40                 | $0.95 \pm 0.151^a$                         |
| 50                 | $1.35 \pm 0.256^a$                         |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

#### 5) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.03% ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้น 30 และ 50%v/v โดยตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 20%v/v มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.37% ที่ความเข้มข้น 30%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.51% และที่ความเข้มข้น 50%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2.16% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.57% (ตารางที่ 4.6) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40 20 30 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐไม่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป เนื่องจากต้องการศึกษาในขั้นตอนต่อไปด้วยความเข้มข้นและปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุด

**ตารางที่ 4.6** ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง

| ความเข้มข้น (%v/v) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|--------------------|--|
| 10                 | $5.57 \pm 1.559^b$                         |
| 20                 | $1.37 \pm 0.501^a$                         |
| 30                 | $1.51 \pm 0.336^a$                         |
| 40                 | $1.03 \pm 0.072^a$                         |
| 50                 | $2.16 \pm 1.120^a$                         |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

#### 6) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.95% ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 30%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.07% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้น 40 และ 50%v/v โดยตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 10%v/v มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 17.33% ที่ความเข้มข้น 40%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 15.59% และที่ความเข้มข้น 50%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 15.38% (ตารางที่ 4.7) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นและปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง

| ความเข้มข้น (%v/v) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|--------------------|--|
| 10                 | 17.33 $\pm$ 0.719 <sup>c</sup>             |
| 20                 | 11.75 $\pm$ 2.455 <sup>a</sup>             |
| 30                 | 13.07 $\pm$ 4.019 <sup>a</sup>             |
| 40                 | 15.59 $\pm$ 1.679 <sup>b</sup>             |
| 50                 | 15.38 $\pm$ 2.965 <sup>b</sup>             |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

#### 7) ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 2100)

นำตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 2100) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำ พบว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.77% ส่วนตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 20%v/v มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้น 30 40 และ 50%v/v โดยตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 17.55% ที่ความเข้มข้น 30%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 17.85% ที่ความเข้มข้น 40%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 18.53% และที่ความเข้มข้น 50%v/v ให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 17.78% (ตารางที่ 4.8) จากผลการทดลอง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นและปริมาตรที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป



ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 2100) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50% v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง

| ความเข้มข้น (%v/v) | ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $\bar{X} \pm SD$ ) |
|--------------------|--|
| 10                 | 5.77 $\pm$ 0.191 <sup>a</sup>              |
| 20                 | 17.55 $\pm$ 0.716 <sup>b</sup>             |
| 30                 | 17.85 $\pm$ 0.771 <sup>b</sup>             |
| 40                 | 18.53 $\pm$ 0.561 <sup>b</sup>             |
| 50                 | 17.78 $\pm$ 0.309 <sup>b</sup>             |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เรียงจากค่าเฉลี่ยต่ำไปหาสูง

#### 4.2.2 การดูดซึมน้ำตามรูปพรุนในเนื้ออิฐ

ตัวอย่างอิฐที่แต่ละตัวอย่างเคลือบผิวด้วยความเข้มข้นและปริมาตรที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดของสารกันซึมแต่ละชนิดจากข้อ 4.2.1 ดังนี้ Methyl silane (ICI) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rhoximat RC 80 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำตามรูปพรุนในเนื้ออิฐ และคำนวณหาประสิทธิภาพของการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ (The Protective efficacy, P.E.%) จาก

$$P.E. \% = (A_0 - A_t) / A_0 \times 100$$

เมื่อ  $A_0$  = ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเฉลี่ยก่อนการเคลือบผิวด้วยสารกันซึม (กรัม)

เมื่อ  $A_t$  = ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเฉลี่ยหลังการเคลือบผิวด้วยสารกันซึม (กรัม)

พบว่าประสิทธิภาพของการป้องกันการซึมผ่านของน้ำตามรูปพูนในเนื้ออิฐของ  
สารกันซึมทั้ง 7 ชนิดมีค่ามากกว่า 99.00% และมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดย Rhoximat RC 80 ให้  
ค่าสูงที่สุด คือ 99.54% รองลงมาได้แก่ Wacker SMK 2100 มีค่า 99.52% Wacker 290 มีค่า  
99.51% Rhoximat HD 224 มีค่า 99.48% Methyl silane (ICI) มีค่า 99.38% Wacker SMK  
550 มีค่า 99.27% และสารกันซึมที่ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่ต่ำที่สุดคือ  
Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) มีค่า 99.00% (ตารางที่ 4.9)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ค่าประสิทธิภาพของการป้องกัน (P.E.%) ของอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึมชนิดต่างๆ

| ตัวอย่างที่ | ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเฉลี่ย (กรัม) |                      | ประสิทธิภาพของการป้องกัน (P.E.%) |
|-------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
|             | ก่อนเคลือบ ( $A_0$ )               | หลังเคลือบ ( $A_t$ ) |                                  |
| 1           | 22.01                              | 0.14                 | 99.38                            |
| 2           | 22.99                              | 0.23                 | 99.00                            |
| 3           | 23.25                              | 0.11                 | 99.54                            |
| 4           | 21.73                              | 0.11                 | 99.48                            |
| 5           | 22.63                              | 0.11                 | 99.51                            |
| 6           | 22.46                              | 0.16                 | 99.27                            |
| 7           | 19.48                              | 0.09                 | 99.52                            |

หมายเหตุ ตัวอย่างที่ 1 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Methyl silane (ICI) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 2 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 3 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Rhoximat RC 80 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 4 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 5 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 6 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 7 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวเพียง 1 ด้านด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

#### 4.2.3 การยอมให้น้ำระเหยผ่าน

ตัวอย่างอิฐที่แต่ละตัวอย่างเคลือบผิวด้วยความเข้มข้นและปริมาตรที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดของสารกันซึมแต่ละชนิดจากข้อ 4.2.1 ดังนี้ Methyl silane (ICI) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rhoximat RC 80 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ตัวอย่างเดิมจากข้อ 2.4.2) ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน และคำนวณค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (Residual permeability, R.P.%) จาก

$$R.P.\% = \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

เมื่อ  $P_0$  = ความสามารถในการระเหยของไอน้ำผ่านตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้ทาสารกันซึม

$P_t$  = ความสามารถในการระเหยของไอน้ำผ่านตัวอย่างอิฐที่ทาสารกันซึม

โดยที่ P คำนวณจาก

$$P = \frac{\Delta m_{24h}}{S}$$

เมื่อ  $\Delta m_{24h}$  = น้ำหนักที่หายไปใน 24 ชั่วโมง

S = พื้นที่ผิวหน้าของอิฐสัมผัสกับไอน้ำที่ระเหยไป โดยในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 18.49 ตารางเซนติเมตร ( 4.3 x 4.3 ตารางเซนติเมตร)

พบว่าค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (R.P.%) ของตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) มีค่าสูงที่สุด คือ 91.67% ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบการดูดซึมน้ำตามรูปในเนื้ออิฐที่ Potassium silicate มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ ตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat HD 224 มีค่า 88.46% ตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 มีค่า 86.89% ตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 มีค่า 86.60% ตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550 มีค่า 79.01%

ตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย Wacker 290 มีค่า 78.13% และตัวอย่างที่มีค่าการยอมให้ไอน้ำระเหยผ่านที่น้อยที่สุดคือ Methyl silane (ICI) มีค่า 61.86% (ตารางที่ 4.10)

Rhoximat RC 80 และ Rhoximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำสูง (99.54% และ 99.48% ตามลำดับ) และมีค่าการยอมให้ไอน้ำระเหยผ่านสูงเป็นอันดับที่ 2 และ 3 (88.46% และ 86.89% ตามลำดับ) แสดงว่าเป็นสารกันซึมที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่อิฐได้ดีเมื่อใช้เคลือบผิวอิฐและยังยอมให้ไอน้ำระเหยผ่านออกจากอิฐได้ด้วย

ผลที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Borgia et al. (2000) ซึ่งได้ใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ Paraloid B 72 และ Silirain 50 เคลือบผิวตัวอย่างหิน biocalcarenite พบว่าตัวอย่างหินที่เคลือบผิวด้วย Paraloid B 72 ด้วยการทา (140 มิลลิกรัม) และให้สารเคมีซึมผ่านตามเนื้อหิน (700 มิลลิกรัม) มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 98% และมีค่าการยอมให้ไอน้ำระเหยผ่าน 57% และ 61% ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างหินที่เคลือบผิวด้วย Silirain 50 ด้วยการให้สารเคมีซึมผ่านตามเนื้อหิน (450 มิลลิกรัม) มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 99% และมีค่าการยอมให้ไอน้ำระเหยผ่าน 74%

ตารางที่ 4.10 ค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (R.P.%) ของอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึมชนิดต่างๆ

| ตัวอย่างที่ | น้ำหนักที่หายไปใน 24 ชั่วโมง ( $\Delta m_{24h}$ , g.) |            | ความสามารถในการซึมผ่าน ( $g/cm^2$ ) |                      | ค่าการยอมให้น้ำระเหยผ่าน (R.P.%) |
|-------------|---|------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
|             | ก่อนเคลือบ  | หลังเคลือบ | ก่อนเคลือบ ( $P_0$ )                | หลังเคลือบ ( $P_t$ ) |                                  |
| 1           | 0.32  | 0.20       | 0.0175                              | 0.0108               | 61.86                            |
| 2           | 0.24  | 0.22       | 0.0130                              | 0.0119               | 91.67                            |
| 3           | 0.20  | 0.18       | 0.0110                              | 0.0096               | 86.89                            |
| 4           | 0.26  | 0.23       | 0.0141                              | 0.0124               | 88.46                            |
| 5           | 0.21  | 0.17       | 0.0115                              | 0.0090               | 78.13                            |
| 6           | 0.27  | 0.21       | 0.0146                              | 0.0115               | 79.01                            |
| 7           | 0.32  | 0.28       | 0.0175                              | 0.0151               | 86.60                            |

หมายเหตุ น้ำหนักที่หายไป 24 ชั่วโมง หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้ำหนักของตัวอย่างอิฐที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 24 ชั่วโมงอย่างคงที่

ตัวอย่างที่ 1 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Methyl silane (ICI) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 2 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 3 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Rhoximat RC 80 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 4 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 5 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 6 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ 7 หมายถึง ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิว 1 ด้านด้วย Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร

#### 4.2.4 การทดสอบแบบวงจรเปียกสลับนั่ง

นำตัวอย่างอิฐที่แต่ละตัวอย่างเคลือบผิวด้วยความเข้มข้นและปริมาตรที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดของสารกันซึมแต่ละชนิดจากข้อ 4.2.1 ดังนี้ Methyl silane (ICI) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rhoximat RC 80 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Rhoximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10%v/v ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปทดสอบแบบวงจรและคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำของแต่ละวงจรจาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำใน 1 วงจร} = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ  $W_d$  = น้ำหนักของตัวอย่างอิฐหลังจากออกจากตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

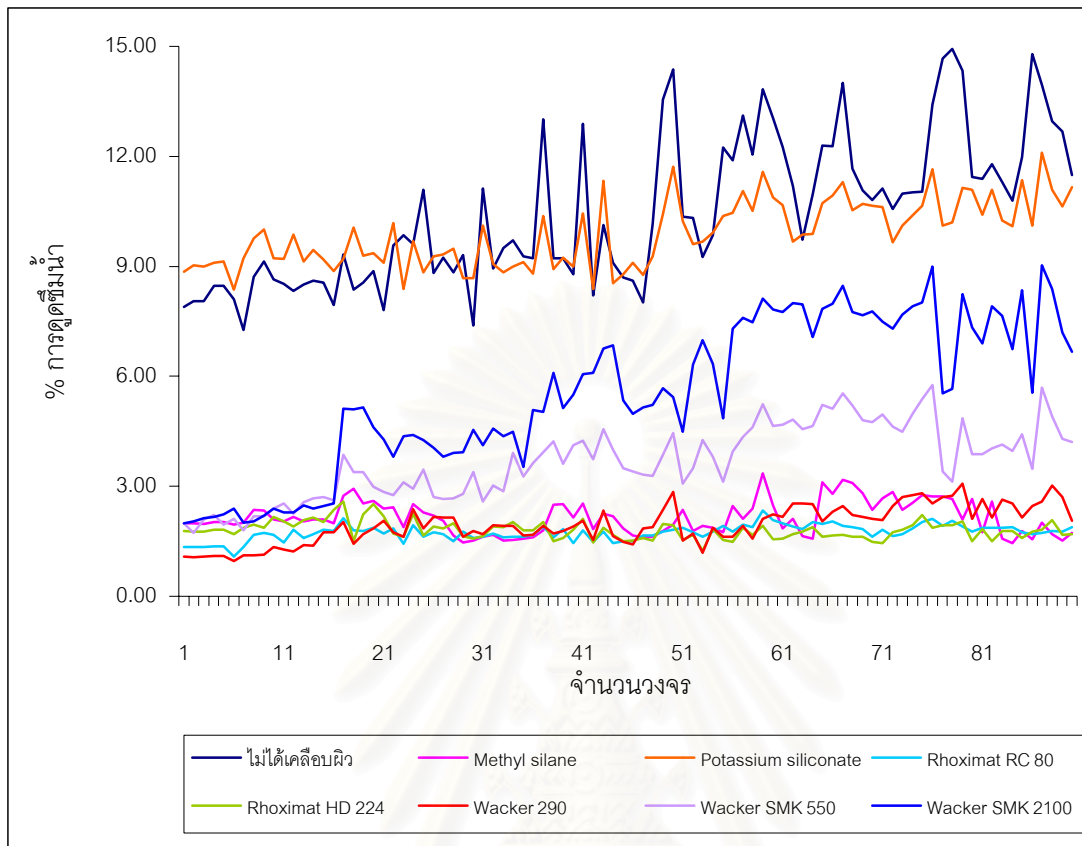
$W_w$  = น้ำหนักของตัวอย่างอิฐหลังจากแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

จากกราฟค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการทดสอบแบบวงจรของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึม 7 ชนิดเปรียบเทียบกับตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร (รูปที่ 4.1) พบว่ามีสารกันซึม 6 ชนิดที่เมื่อนำไปเคลือบผิวตัวอย่างอิฐแล้วให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ลดลง ได้แก่ Methyl silane (ICI) Rhoximat HD 224 Rhoximat RC 80 Wacker 290 Wacker SMK 550 และ Wacker SMK 2100 สารกันซึม 4 ชนิดแรกทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐที่ถูกเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกันตลอด 90 วงจร โดยในช่วงวงจรที่ 1 - 17 สารกันซึมที่ทำให้การดูดซึมน้ำลดลงมากที่สุด ได้แก่ Wacker 290 Rhoximat RC 80 Rhoximat HD 224 และ Methyl silane ตามลำดับ แต่ในวงจรที่ 18 - 90 Rhoximat HD 224 และ Rhoximat RC 80 เป็นสารกันซึมที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงมากที่สุด ซึ่งสารกันซึมทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกันมาก และแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง 90 วงจร จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า Rhoximat RC 80 ไม่มีความแตกต่างกับ Rhoximat HD 224 ดังแสดงในภาคผนวก ข สารกันซึมที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเป็นอันดับรองลงมา ได้แก่ Wacker 290 และ Methyl silane ตามลำดับ

Wacker SMK 550 และ Wacker SMK 2100 เป็นสารกันซึมที่ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐที่ถูกเคลือบผิวมีค่าที่สูงกว่าสารกันซึม 4 ชนิดแรกที่ถูกกล่าวไปแล้ว โดยในช่วงวงจรที่ 1 – 16 สารกันซึมทั้ง 2 ชนิดทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐที่ถูกเคลือบผิวไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อถึงวงจรที่ 17 ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึมทั้ง 2 ชนิดนี้ก็เพิ่มสูงขึ้นและมีค่าที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 2100 มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Wacker SMK 550

Potassium silicate (Evercrete top sealer) เป็นสารกันซึมที่ทำให้ตัวอย่างอิฐที่ถูกเคลือบผิวมีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกเคลือบผิว โดยในช่วงวงจรที่ 1 – 22 ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิวเล็กน้อย แต่เริ่มมีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกันตั้งแต่วงจรที่ 23 เป็นต้นไป และมีค่าการดูดซึมน้ำที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด โดยที่ตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate มีค่าการดูดซึมน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบผิว ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองการดูดซึมน้ำตามรูปพูนในเนื้ออิฐ ซึ่ง Potassium silicate มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำตามรูปพูนต่ำที่สุด การที่ตัวอย่างอิฐที่ถูกเคลือบผิวด้วย Potassium silicate มีการดูดซึมน้ำที่สูงใกล้เคียงกับตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้ถูกเคลือบผิวอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่ Potassium silicate จะต้องถูกเปลี่ยนไปเป็นซิลิโคนเรซินเกิดไม่สมบูรณ์ ทำให้การเคลือบผิวเกิดขึ้นได้ไม่ดี

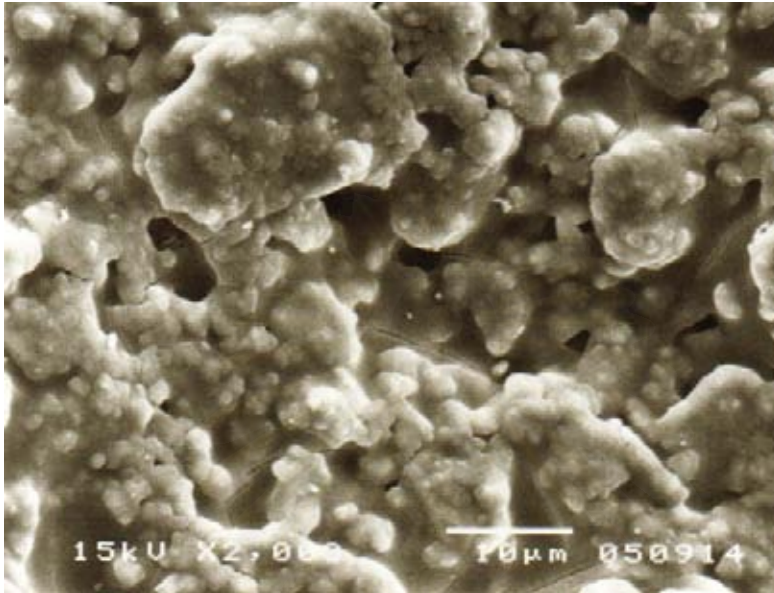




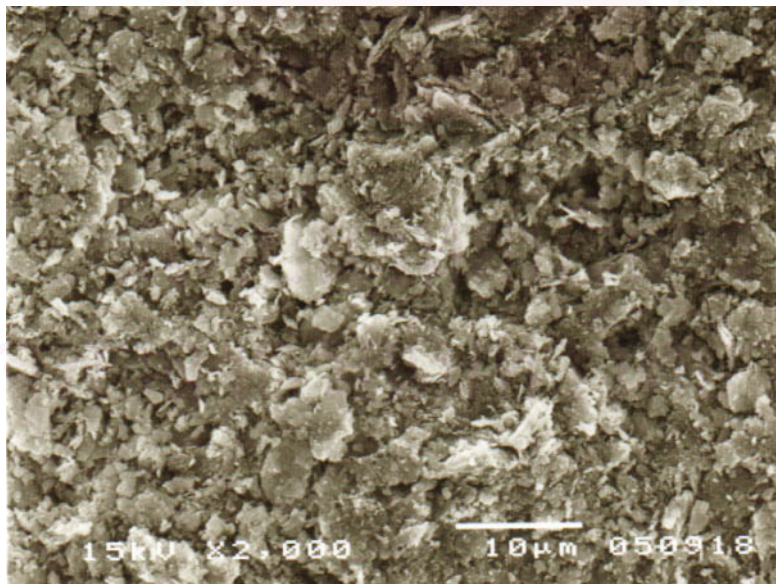
รูปที่ 4.1 กราฟค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากการทดสอบแบบวงจรเบี่ยงสลับแห่งของตัวอย่างอีพ็อกซีที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึม 7 ชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างอีพ็อกซีที่ไม่ได้เคลือบผิว จำนวน 90 วงจร

#### 4.2.5 การถ่ายภาพหน้าตัดภายในของตัวอย่างอีพ็อกซีด้วย Scanning electron microscope (SEM)

จากการนำตัวอย่างอีพ็อกซีที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 โดยวิธีการแช่ให้อิ่มตัว ไปถ่ายภาพหน้าตัดภายในด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (รูปที่ 4.2) พบว่าสารกันซึมไม่ได้เข้าไปอุดตันหรือปิดกั้นรูพรุนที่อยู่ภายในเนื้ออีพ็อกซี สารกันซึมเพียงแค่เข้าไปเคลือบผิวพื้นที่ภายในรูพรุนเพื่อลดการซึมผ่านของน้ำเท่านั้น จะเห็นว่ามี ความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายหน้าตัดภายในของตัวอย่างอีพ็อกซีที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80 กับตัวอย่างอีพ็อกซีที่ไม่ได้เคลือบผิว (รูปที่ 4.3) ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างอีพ็อกซีที่ถูกเคลือบผิวจะคล้ายกับมีชั้นฟิล์มบางๆ มาเคลือบผิวไว้



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วย Rhoximat RC 80



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายหน้าตัดภายในของตัวอย่างอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

1. ความเข้มข้นของสารกันซึมที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำที่ต่ำที่สุด ได้แก่ Methyl silane (ICI) ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Potassium silicate (Evercrete top sealer) ที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร Rheximat RC 80 ที่ปริมาตร 30 มิลลิลิตร Rheximat HD 224 ที่ความเข้มข้น 40% v/v 20 มิลลิลิตร Wacker 290 ที่ความเข้มข้น 40% v/v 20 มิลลิลิตร Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น 20% v/v 20 มิลลิลิตร และ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น 10% v/v 20 มิลลิลิตร

2. Rheximat RC 80 และ Rheximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำตามรูพรุนในเนื้ออิฐสูงที่สุด (99.54% และ 99.48% ตามลำดับ) โดยที่มีค่าการยอมให้ไอน้ำระเหยผ่านมากที่สุด (86.89% และ 88.46% ตามลำดับ)

3. Rheximat RC 80 และ Rheximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่ทนต่อการกัดกร่อนจากการทดสอบแบบวงจรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด โดยที่สารกันซึมทั้ง 2 ชนิดนี้ทำให้ตัวอย่างอิฐมีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกันมาก สารกันซึมที่ทนต่อการกัดกร่อนจากการทดสอบแบบวงจรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุดได้แก่ Wacker 290 และ Methyl silane (ICI)

4. Rheximat Rc 80 และ Rheximat HD 224 เป็นสารกันซึมที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาครั้งนี้ในการนำไปเคลือบผิวอิฐที่ใช้ในการบูรณะโบราณสถานเพื่อลดอัตราการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงผลการดูดซึมน้ำของอิฐที่ผ่านการทดสอบแบบวงจรมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจากน้ำและอุณหภูมิเป็นปัจจัยร่วม อย่างเช่น แสงอัลตราไวโอเลต เกลือ กรด หรือเบส เพื่อหาสารกันซึมที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนที่มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด
2. ควรศึกษาในเรื่องการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตบนอิฐทั้งที่ไม่ได้เคลือบผิวและที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึม เพื่อทดสอบว่าสารกันซึมสามารถป้องกันไม่ให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตบนอิฐได้เป็นระยะเวลาเท่าใดโดยการทดสอบแบบวงจรมุ่งมาจกสภาพแวดล้อมจริง
3. ควรศึกษาถึงผลของสารกันซึมที่มีต่อโบราณสถานในส่วนที่ก่อสร้างด้วยอิฐในสถานที่และสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง โดยอาจเริ่มต้นจากการทดลองกับอิฐใหม่ที่ก่อเป็นกำแพงตามแบบของเดิมในสภาพแวดล้อมจริงก่อนที่จะนำไปทดสอบกับอิฐเดิมของโบราณสถาน
4. ควรศึกษาผลของสารกันซึมที่มีต่อวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ ของโบราณสถาน เช่น ปูน หิน และศิลาแลง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- จิระพงษ์ โคหาคาญจน์. นักวิชาการป่าไม้ 6ว. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้. ส่วนวิจัยและพัฒนา  
ผลิตผลป่าไม้. สำนักวิชาการป่าไม้. กรมป่าไม้. 2545. **สัมภาษณ์.**
- จิราภรณ์ อรัณยธาดา. 2526. **รายงานการศึกษาวิจัยเบื้องต้น การชำรุดเสื่อมสภาพของ  
โบราณสถานเมืองศรีสัชชนาลัย.** โครงการอุทยานประวัติศาสตร์ศรีสัชชนาลัย. กอง  
โบราณคดี. กรมศิลปากร.
- จิราภรณ์ อรัณยธาดา. 2529. **การเสื่อมสภาพของโบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์ศรี  
เทพ.** โครงการอุทยานประวัติศาสตร์ศรีเทพ. กองโบราณคดี. กรมศิลปากร.
- จิราภรณ์ อรัณยธาดา. 2537. การผูกกร่อน การกัดกร่อนกับการอนุรักษ์โบราณสถานและ  
โบราณวัตถุ. **โลหะ วัสดุและการกัดกร่อน (พฤศจิกายน) : 85-88.**
- ป่าไม้, กรม. สำนักวิชาการป่าไม้. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้.  
2545. **เทคโนโลยีการผลิตถ่าน.** กรุงเทพมหานคร: กรมป่าไม้. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- พิภพ สุนทรสมัย. 2527. **ช่างปูนก่อสร้าง.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.
- วีระชัย ณ นคร, บรรณาธิการ. 2539. **สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ เล่ม 3.**  
กรุงเทพมหานคร: โอ. เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- อุตุนิยมวิทยา, กรม. 2545. **ภูมิอากาศของประเทศไทย[Online].** แหล่งที่มา : [http://www.tmd.  
go.th](http://www.tmd.go.th) [1 มีนาคม 2545].

### ภาษาอังกฤษ

- Biscontin, G., Bakolas, A., and Zendri, E. 1995. Interaction of some protective agents  
with building materials. In *The International Colloquium on Methods of Evaluating  
Products for Conservation of Porous Building Materials in Monuments*, pp.317-  
330. Italy.
- Borgia, G. C., Camaiti, M., Cerri, F., Fantazzini, P., and Piacenti, F. 2000. Study of water  
penetration in rock materials by Nuclear Magnetic Resonance Tomography :  
hydrophobic treatment effects. *Journal of Cultural Heritage* 1 (2000) : 127-132.

- Brus, J., and Kotlik P. 1996. Consolidation of stone by mixtures of alkoxy silane and acrylic polymer. **Studies in Conservation** 41 (1996) : 109-119.
- Charola, A.E. 1989. Brief introduction to silanes, siloxanes, silicones and silicate ester. In L. Lazzarini and R. Pieper (eds.), **The Deterioration and Conservation of Stone**, pp.313-316. Unesco.
- CNR-ICR. 1986. **Assorbimento di acqua per capillarità. Coefficiente di assorbimento capillare**, Normal 11/85. Rome, Italy.
- CNR-ICR. 1986. **Permeabilità al vapore d'acqua**, Normal 21/85. Rome, Italy.
- Feilden, B. M. 1982. **Conservation of Historic Buildings**. England : Butterworth & Co. Ltd.
- Grissom, C. A., and Weiss, N.R. 1981. Alkoxy silanes in the conservation of art and architecture : 1861-1981. **Art and Archaeology Technical Abstracts** 18(1) : 150-202.
- Honeyborne, D. B. 1990. Weathering and decay of masonry. In J. Ashurst and F. G. Dimes (eds.), **Conservation of Building and Decorative Stone Vol. 1**, pp.153-177. London: Butterworth-Heinemann.
- Kober, H. 1996. Silicone as sealers for masonry coatings. **Surface Coating International** 79 (12) : 551-554.
- Lenczner, D. 1972. Elements of loadbearing brickwork. In D. J. Silverleaf (ed.), **International Series of Monographs in Civil Engineering Volume 5**, pp. 1-10. Pergamon Press.
- Massari, I. 1989. Some aspects of humidity protection in historic building. In L. Lazzarini and R. Pieper (eds.), **The Deterioration and Conservation of Stone**, pp. 89-110. Unesco.
- May, E. 1995. Microbial communities on stone : detection, distribution and activity. In C. Aranyanak and C. Singhasiri (eds.), **Biodeterioration of Cultural Property 3, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference**, pp.242-254. Bangkok, Thailand, July 4-7, 1995. Bangkok: Thammasart University Press.
- Mayer, H. 1998. Masonry protection with silanes, siloxanes and silicone resins. **Surface Coating International** 81 (2) : 89-93.

- Rossi-Doria, P.R. 1989. Laboratory tests on artistic stonework. In L. Lazzarini and R. Pieper (eds.), **The Deterioration and Conservation of Stone**, pp.235-242. Unesco.
- Rossi-Manaresi, R., Charola, A.E., Tucci, A., Koestler, R.J., and Wheeler, G.E. 1984. Study of accelerated weathering of limestones treated with an acrylic-silicone mixture. In **Preprints, ICOM Committee for Conservation**, pp.84.10.1 - 84.10.4. Copenhagen, 1984.
- Schamberg, E. et al. 1992. United States Patent. 5091002.
- Thomas, A. 1993. Silicone resins. In **Surface Coatings Volume 1 Raw Materials and Their usage**, pp.198-218. London: Chapman&Hall.
- Uchida, E., Ogawa, Y., Maeda, N., and Nakagawa, T. 1999. Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia. **Engineering Geology** 55 (1999) :101-112.
- Warren, J. 1999. **Conservation of Brick**. England: The Bath Press.
- Weber, H. 1976. Stone renovation and consolidation using silicones and silicic esters. In R. Rossi-Manaresi (ed.), **The Conservation of Stone I**, **Proceedings of the International Symposium**, pp.375-385. Bologna, Italy, June 19-21, 1975. Italy.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ก

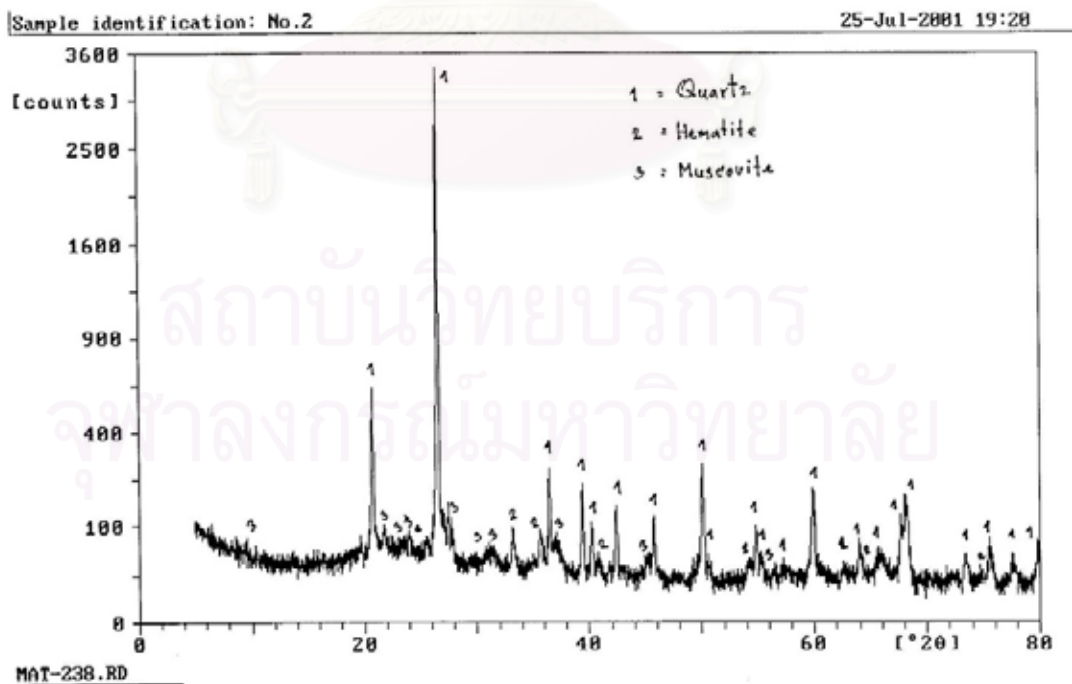
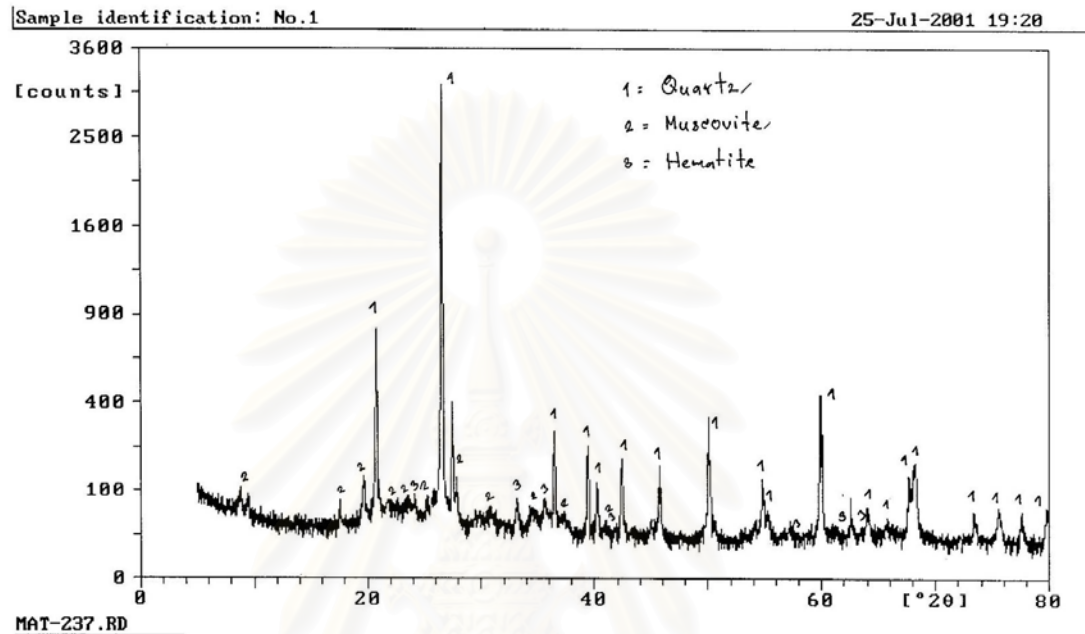
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสะแกนา (*Combretum quadrangulare* Kurz) (วีระชัย วัฒนคร, 2539)

- สะแกนา เป็นไม้ต้นขนาดเล็ก หรือเป็นต้นพุ่ม สูง 4 – 10 เมตร กิ่งอ่อนเป็นรูปสี่เหลี่ยม
- ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม รูปหอกกลับ กว้าง 3 – 6 เซนติเมตร ยาว 8 – 15 เซนติเมตร โคนใบสอบ ปลายใบมน ขอบใบเรียบ เนื้อใบสีเขียวซีด ก้านใบสั้น ด้านหลังใบมีเกล็ดละเอียดแน่น
- ดอก สีขาวแกมเหลือง ออกเป็นช่อแกน ยาว 3 – 6 เซนติเมตร อาจแตกแขนงได้ กลีบรองดอก รูปถ้วย ภายในมีขนแน่น ยาว 2 – 2.5 มิลลิเมตร กว้าง 1 – 1.5 มิลลิเมตร ที่ส่วนโคนมี 4 สัน กลีบดอกมี 4 กลีบ เป็นรูปหอกกลับ ขนาดยาว 1 – 2 มิลลิเมตร หลุดร่วงง่าย เกสรตัวผู้มี 8 อัน
- ผล เป็นผลแห้ง รูปกลมมน มี 4 ปีก ขนาด 3 – 4 เซนติเมตร เมล็ดสีน้ำตาลแดง
- การกระจายและนิเวศวิทยา จากอินเดียถึงคาบสมุทรมอินโดจีน พบตามป่าละเมาะทั่วไป หรือริมธารน้ำชายป่า ที่ระดับต่ำกว่า 250 เมตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

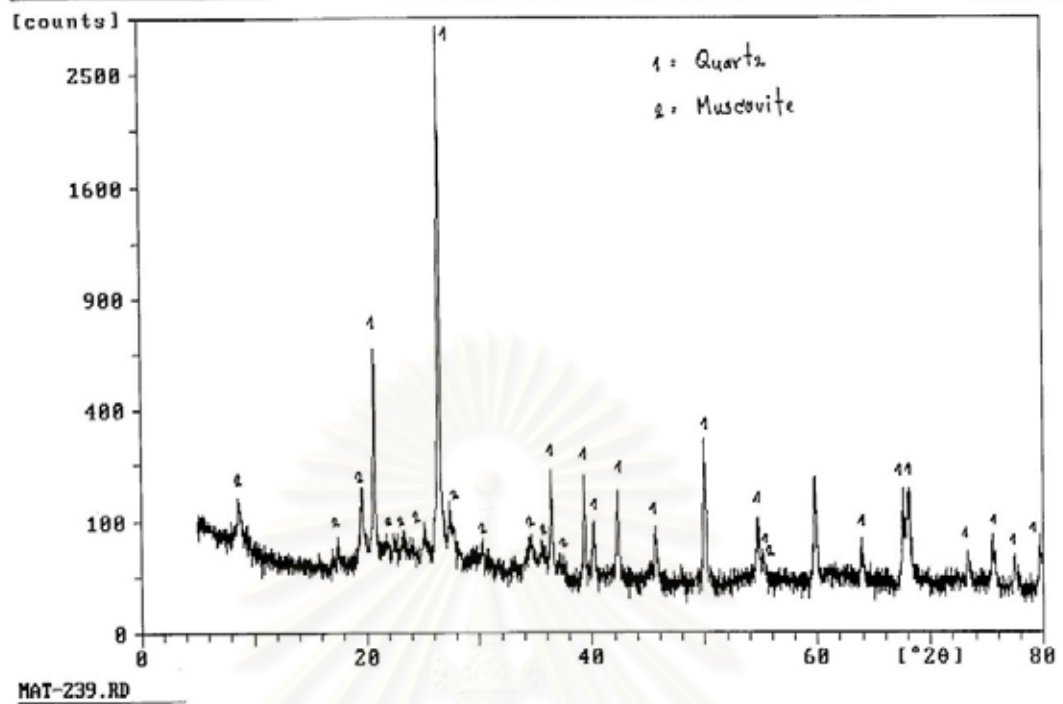
## ภาคผนวก ข

กราฟแสดงแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างอริฐู 3 ตัวอย่าง จากเครื่อง X-ray diffraction (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) เรียงตามลำดับ



Sample identification: No.3

25-Jul-2001 19:10



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของตัวอย่างอิฐที่เคลือบผิวด้วยสารกันซึมแต่ละคู่จากการ  
ทดสอบแบบวงจรเบี่ยงกลับแห่ง

| คู่ของสารกันซึมที่เคลือบผิวตัวอย่างอิฐ  | t       |
|---|---------|
| ไม่ได้เคลือบผิว – Methyl silane         | 40.502  |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Potassium silicate    | 3.859   |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Rhoimat RC 80         | 43.927  |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Rhoimat HD 224        | 40.273  |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Wacker BS 290         | 47.991  |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Wacker BS SMK 550     | 41.987  |
| ไม่ได้เคลือบผิว – Wacker BS SMK 2100    | 28.753  |
| Methyl silane – Potassium silicate      | -86.619 |
| Methyl silane – Rhoimat RC 80           | 9.271   |
| Methyl silane – Rhoimat HD 224          | 6.490   |
| Methyl silane – Wacker BS 290           | 2.888   |
| Methyl silane – Wacker BS SMK 550       | -15.302 |
| Methyl silane – Wacker BS SMK 2100      | -16.079 |
| Potassium silicate - Rhoimat RC 80      | 99.145  |
| Potassium silicate - Rhoimat HD 224     | 80.663  |
| Potassium silicate - Wacker BS 290      | 104.147 |
| Potassium silicate - Wacker BS SMK 550  | 76.819  |
| Potassium silicate - Wacker BS SMK 2100 | 25.937  |
| Rhoimat RC 80 - Rhoimat HD 224          | -1.979  |
| Rhoimat RC 80 - Wacker BS 290           | -4.600  |
| Rhoimat RC 80 - Wacker BS SMK 550       | -20.449 |
| Rhoimat RC 80 - Wacker BS SMK 2100      | -18.315 |
| Rhoimat HD 224 - Wacker BS 290          | -2.557  |
| Rhoimat HD 224 - Wacker BS SMK 550      | -16.443 |
| Rhoimat HD 224 - Wacker BS SMK 2100     | -16.364 |
| Wacker BS 290 - Wacker BS SMK 550       | -22.210 |
| Wacker BS 290 - Wacker BS SMK 2100      | -19.584 |
| Wacker BS SMK 550 - Wacker BS SMK 2100  | -14.968 |

ตารางผนวกที่ 1 ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                       |      |      |
|-------------|---|------|------|
|             | เมื่อใช้ปริมาตร Methyl silane (มิลลิลิตร) |      |      |
|             | 20  | 30   | 40   |
| 1           | 6.49                                      | 0.54 | 0.61 |
| 2           | 9.93                                      | 0.65 | 0.65 |
| 3           | 13.84                                     | 0.75 | 0.72 |
| 4           | 8.32                                      | 0.68 | 0.81 |
| 5           | 8.04                                      | 0.60 | 0.98 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 2 ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) ที่ปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                            |       |
|-------------|--|-------|
|             | เมื่อใช้ปริมาตร Potassium silicate (มิลลิลิตร) |       |
|             | 20   | 30    |
| 1           | 9.17   | 12.42 |
| 2           | 8.64   | 16.57 |
| 3           | 9.00   | 17.96 |
| 4           | 14.00  | 17.74 |
| 5           | 12.16  | 14.50 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางผนวกที่ 3** ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) ที่ปริมาตร 20 30 และ 40 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                        |      |       |
|-------------|--|------|-------|
|             | เมื่อใช้ปริมาตร Rhoximat RC 80 (มิลลิลิตร) |      |       |
|             | 20   | 30   | 40    |
| 1           | 1.00                                       | 1.00 | 10.75 |
| 2           | 7.66                                       | 0.51 | 11.01 |
| 3           | 1.75                                       | 0.36 | 8.98  |
| 4           | 5.39                                       | 3.11 | 11.11 |
| 5           | 4.36                                       | 0.40 | 9.53  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางผนวกที่ 4** ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkyl polysiloxane oligomer (Rheximat HD 224) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                            |      |      |      |      |
|-------------|--|------|------|------|------|
|             | เมื่อใช้ Rheximat HD 224 ที่ความเข้มข้น (%v/v) |      |      |      |      |
|             | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   |
| 1           | 1.43   | 1.36 | 1.36 | 1.06 | 1.68 |
| 2           | 1.67   | 1.33 | 1.33 | 1.09 | 1.19 |
| 3           | 1.16   | 1.34 | 2.32 | 1.04 | 1.12 |
| 4           | 1.45   | 1.23 | 2.83 | 0.81 | 1.57 |
| 5           | 1.67   | 1.24 | 1.21 | 0.77 | 1.19 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางผนวกที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                       |      |      |      |      |
|-------------|---|------|------|------|------|
|             | เมื่อใช้ Wacker 290 ที่ความเข้มข้น (%v/v) |      |      |      |      |
|             | 10  | 20   | 30   | 40   | 50   |
| 1           | 5.41                                      | 2.12 | 1.92 | 1.08 | 3.03 |
| 2           | 4.48                                      | 1.16 | 1.11 | 1.09 | 1.01 |
| 3           | 6.04                                      | 0.86 | 1.79 | 0.91 | 3.29 |
| 4           | 3.95                                      | 1.62 | 1.41 | 1.03 | 2.54 |
| 5           | 7.95                                      | 1.10 | 1.32 | 1.05 | 0.93 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 6 ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                           |       |       |       |       |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|
|             | เมื่อใช้ Wacker SMK 550 ที่ความเข้มข้น (%v/v) |       |       |       |       |
|             | 10  | 20    | 30    | 40    | 50    |
| 1           | 18.27   | 8.42  | 13.01 | 16.76 | 16.71 |
| 2           | 16.56   | 14.98 | 11.15 | 13.50 | 17.19 |
| 3           | 17.48   | 10.87 | 8.42  | 14.92 | 13.07 |
| 4           | 17.68   | 13.05 | 13.42 | 15.01 | 18.45 |
| 5           | 16.66   | 11.41 | 19.33 | 17.77 | 11.46 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำจากการแช่น้ำของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 2100) ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50%v/v และปริมาตร 20 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง)

| ตัวอย่างที่ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                            |       |       |       |       |
|-------------|--|-------|-------|-------|-------|
|             | เมื่อใช้ Wacker SMK 2100 ที่ความเข้มข้น (%v/v) |       |       |       |       |
|             | 10   | 20    | 30    | 40    | 50    |
| 1           | 5.85   | 17.93 | 18.38 | 19.10 | 17.56 |
| 2           | 5.97   | 16.81 | 17.93 | 18.50 | 17.66 |
| 3           | 5.73   | 17.73 | 16.50 | 17.61 | 18.26 |
| 4           | 5.82   | 18.45 | 18.25 | 18.60 | 17.91 |
| 5           | 5.46   | 16.83 | 18.18 | 18.82 | 17.51 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |       |       |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 1         | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 7    | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1           | 7.96      | 8.04 | 8.00 | 8.74  | 8.54  | 7.93 | 7.74 | 9.12  | 9.30  | 8.75  | 8.40  | 8.40  | 8.96  | 8.69  | 8.16  |
| 2           | 7.10      | 7.17 | 7.17 | 7.53  | 7.57  | 7.19 | 6.80 | 8.16  | 8.43  | 7.78  | 7.89  | 7.83  | 7.75  | 8.10  | 7.74  |
| 3           | 7.48      | 7.64 | 7.68 | 7.96  | 8.04  | 7.77 | 7.02 | 8.13  | 8.52  | 7.76  | 7.91  | 8.00  | 7.55  | 8.03  | 7.38  |
| 4           | 7.38      | 7.52 | 7.66 | 7.84  | 7.91  | 7.51 | 6.87 | 8.09  | 8.63  | 7.98  | 7.98  | 7.82  | 7.83  | 8.00  | 7.61  |
| 5           | 8.62      | 8.78 | 8.98 | 9.27  | 9.35  | 9.22 | 8.01 | 9.07  | 9.94  | 9.35  | 9.48  | 8.66  | 9.02  | 9.19  | 9.26  |
| 6           | 7.95      | 8.08 | 8.00 | 8.59  | 8.49  | 8.16 | 7.14 | 8.79  | 8.95  | 8.56  | 8.45  | 8.19  | 8.74  | 8.86  | 9.01  |
| 7           | 7.35      | 7.45 | 7.36 | 7.82  | 7.79  | 7.51 | 6.43 | 8.03  | 8.45  | 8.11  | 7.31  | 7.51  | 7.59  | 8.07  | 8.14  |
| 8           | 7.58      | 7.73 | 7.64 | 8.10  | 8.09  | 7.49 | 7.07 | 8.33  | 8.57  | 8.34  | 7.53  | 7.90  | 7.93  | 7.93  | 8.85  |
| 9           | 8.15      | 8.39 | 8.32 | 8.73  | 8.75  | 8.35 | 7.21 | 9.13  | 9.50  | 9.20  | 9.61  | 8.98  | 9.17  | 9.02  | 9.25  |
| 10          | 9.31      | 9.74 | 9.67 | 10.18 | 10.15 | 9.90 | 8.28 | 10.21 | 11.04 | 10.65 | 10.63 | 10.03 | 10.54 | 10.21 | 10.25 |

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |       |       |      |      |      |       |       |       |       |       |       |      |       |      |
|-------------|-----------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
|             | 16        | 17    | 18    | 19   | 20   | 21   | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28   | 29    | 30   |
| 1           | 7.62      | 8.98  | 7.99  | 9.94 | 9.80 | 7.67 | 8.70  | 8.26  | 10.05 | 11.87 | 8.81  | 10.05 | 9.55 | 8.65  | 8.40 |
| 2           | 7.16      | 7.75  | 7.58  | 9.03 | 8.85 | 7.39 | 8.03  | 8.59  | 9.16  | 8.50  | 7.85  | 8.54  | 8.86 | 7.40  | 7.02 |
| 3           | 7.05      | 7.69  | 8.60  | 9.46 | 8.35 | 7.52 | 10.13 | 6.19  | 9.39  | 9.85  | 8.33  | 8.63  | 8.87 | 7.49  | 7.10 |
| 4           | 7.47      | 7.33  | 9.48  | 7.38 | 7.74 | 7.59 | 12.35 | 8.16  | 9.15  | 11.51 | 8.34  | 8.34  | 8.56 | 7.73  | 6.88 |
| 5           | 8.57      | 9.33  | 10.68 | 8.14 | 9.90 | 9.06 | 12.10 | 13.95 | 10.66 | 17.23 | 9.68  | 9.68  | 9.48 | 9.85  | 8.38 |
| 6           | 8.02      | 10.65 | 7.24  | 8.76 | 8.82 | 8.05 | 8.97  | 8.91  | 8.86  | 8.80  | 8.75  | 9.74  | 8.82 | 10.81 | 7.07 |
| 7           | 7.35      | 10.59 | 6.65  | 8.35 | 8.45 | 7.47 | 8.78  | 6.73  | 8.22  | 6.11  | 8.17  | 8.45  | 7.91 | 10.21 | 6.64 |
| 8           | 7.83      | 10.31 | 7.20  | 8.12 | 8.23 | 7.42 | 8.65  | 9.22  | 8.83  | 9.09  | 8.45  | 8.62  | 8.00 | 9.47  | 6.67 |
| 9           | 8.56      | 9.61  | 8.10  | 7.91 | 8.95 | 7.15 | 8.23  | 18.12 | 10.23 | 18.23 | 9.56  | 9.57  | 8.73 | 9.88  | 6.66 |
| 10          | 9.79      | 11.07 | 10.21 | 8.47 | 9.69 | 8.77 | 9.80  | 10.27 | 11.45 | 9.75  | 10.28 | 10.68 | 9.56 | 11.65 | 8.98 |

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัด |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|             | 31      | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    | 40    | 41    | 42   | 43    | 44    | 45    |
| 1           | 11.29   | 7.80  | 8.71  | 11.46 | 8.72  | 8.69  | 12.64 | 8.84  | 9.09  | 8.82  | 12.74 | 7.90 | 9.73  | 8.78  | 8.41  |
| 2           | 9.13    | 6.66  | 7.45  | 10.07 | 7.89  | 7.78  | 11.53 | 7.92  | 8.03  | 7.76  | 11.04 | 7.36 | 15.42 | 7.76  | 7.56  |
| 3           | 9.85    | 7.79  | 9.01  | 8.81  | 8.38  | 8.27  | 12.24 | 8.53  | 8.49  | 8.10  | 11.58 | 8.19 | 16.44 | 7.95  | 7.77  |
| 4           | 10.00   | 8.58  | 10.71 | 7.77  | 8.04  | 8.25  | 11.22 | 8.04  | 8.19  | 7.70  | 10.52 | 7.86 | 15.10 | 7.77  | 7.29  |
| 5           | 12.18   | 10.92 | 12.84 | 9.33  | 9.76  | 9.73  | 13.22 | 9.56  | 9.82  | 9.33  | 12.80 | 9.16 | 17.70 | 9.41  | 8.77  |
| 6           | 12.44   | 9.72  | 8.54  | 11.29 | 9.79  | 10.31 | 13.42 | 9.40  | 9.06  | 9.34  | 14.22 | 8.22 | 17.40 | 9.48  | 10.02 |
| 7           | 11.19   | 9.39  | 7.78  | 10.65 | 8.78  | 9.23  | 12.38 | 8.68  | 8.58  | 8.42  | 13.05 | 7.70 | 16.09 | 8.68  | 8.81  |
| 8           | 10.99   | 8.27  | 8.12  | 9.55  | 9.05  | 9.29  | 12.83 | 9.14  | 9.39  | 8.83  | 13.24 | 7.78 | 16.13 | 8.94  | 8.80  |
| 9           | 11.30   | 8.77  | 9.37  | 8.46  | 10.37 | 9.67  | 14.14 | 9.95  | 9.52  | 8.90  | 13.77 | 8.10 | 16.21 | 10.02 | 8.92  |
| 10          | 12.93   | 11.47 | 12.50 | 9.78  | 11.96 | 10.98 | 16.40 | 12.22 | 12.05 | 10.61 | 15.93 | 9.79 | 19.51 | 12.15 | 10.69 |

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ค่าการดูซึมน้ำตามวงจรมุมองอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมุมองอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 46                             | 47   | 48    | 49    | 50    | 51    | 52    | 53    | 54    | 55    | 56    | 57    | 58    | 59    | 60    |
| 1           | 8.80                           | 8.15 | 9.34  | 12.99 | 22.15 | 10.31 | 9.87  | 8.87  | 10.19 | 13.14 | 11.38 | 14.87 | 13.41 | 15.17 | 13.69 |
| 2           | 8.17                           | 7.41 | 8.72  | 11.38 | 18.38 | 9.39  | 8.94  | 7.85  | 8.71  | 11.28 | 9.67  | 12.26 | 11.55 | 12.66 | 11.57 |
| 3           | 8.35                           | 7.47 | 9.96  | 12.36 | 19.80 | 9.78  | 8.99  | 7.95  | 9.46  | 11.78 | 10.70 | 12.20 | 11.22 | 12.99 | 11.57 |
| 4           | 7.37                           | 6.95 | 11.08 | 12.29 | 19.62 | 9.56  | 8.96  | 7.53  | 9.51  | 11.71 | 10.86 | 13.18 | 11.61 | 13.43 | 11.87 |
| 5           | 8.79                           | 8.50 | 13.42 | 14.54 | 22.20 | 11.35 | 10.95 | 9.30  | 11.36 | 14.50 | 13.47 | 16.37 | 14.76 | 16.83 | 14.26 |
| 6           | 8.44                           | 8.21 | 8.85  | 13.86 | 22.40 | 10.89 | 10.29 | 11.17 | 10.13 | 12.93 | 13.73 | 13.21 | 11.94 | 13.68 | 14.87 |
| 7           | 8.19                           | 7.61 | 7.94  | 12.85 | 21.32 | 9.54  | 9.50  | 10.22 | 8.86  | 11.63 | 12.26 | 11.72 | 10.36 | 12.56 | 12.82 |
| 8           | 8.31                           | 7.76 | 8.74  | 13.62 | 21.12 | 9.62  | 10.70 | 9.37  | 8.78  | 11.17 | 11.06 | 11.51 | 10.38 | 12.72 | 12.40 |
| 9           | 8.90                           | 8.30 | 10.58 | 14.72 | 22.89 | 10.53 | 11.59 | 9.18  | 9.53  | 11.36 | 11.43 | 11.85 | 11.55 | 13.03 | 12.70 |
| 10          | 10.76                          | 9.70 | 13.06 | 16.95 | 24.68 | 12.58 | 13.50 | 11.18 | 11.91 | 12.84 | 14.42 | 14.01 | 13.66 | 15.31 | 14.66 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ค่าการดูซึมน้ำตามวงจรมุมองอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมุมอง |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 61        | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 67    | 68    | 69    | 70    | 71    | 72    | 73    | 74    | 75    |
| 1           | 12.57     | 12.63 | 9.88  | 12.26 | 13.23 | 13.57 | 15.55 | 12.80 | 13.02 | 12.18 | 12.16 | 11.58 | 11.99 | 12.31 | 12.63 |
| 2           | 10.55     | 10.31 | 9.42  | 10.23 | 11.82 | 12.39 | 13.70 | 11.30 | 10.59 | 9.81  | 10.39 | 9.54  | 9.94  | 10.42 | 10.91 |
| 3           | 10.89     | 10.65 | 9.14  | 9.89  | 11.17 | 11.22 | 12.94 | 10.28 | 10.03 | 9.51  | 9.76  | 9.56  | 9.82  | 9.84  | 9.87  |
| 4           | 11.22     | 11.12 | 8.43  | 9.97  | 11.18 | 11.33 | 12.87 | 10.45 | 10.37 | 10.19 | 10.28 | 10.14 | 10.51 | 10.04 | 9.59  |
| 5           | 13.04     | 14.50 | 10.37 | 11.65 | 13.46 | 13.67 | 15.34 | 12.96 | 11.90 | 12.07 | 12.45 | 11.75 | 12.24 | 12.11 | 11.99 |
| 6           | 14.76     | 11.45 | 10.65 | 11.63 | 12.73 | 12.79 | 15.05 | 12.61 | 11.98 | 11.62 | 11.87 | 10.96 | 11.66 | 11.98 | 12.31 |
| 7           | 12.61     | 9.64  | 9.63  | 10.22 | 11.41 | 11.22 | 13.16 | 10.66 | 9.84  | 9.39  | 9.82  | 8.93  | 9.45  | 10.15 | 10.86 |
| 8           | 11.59     | 9.23  | 9.81  | 9.80  | 10.95 | 10.81 | 11.87 | 9.89  | 9.51  | 9.41  | 9.72  | 9.14  | 9.66  | 9.61  | 9.55  |
| 9           | 11.79     | 10.02 | 9.55  | 11.02 | 12.45 | 12.14 | 13.39 | 11.26 | 10.84 | 10.88 | 11.23 | 10.71 | 11.20 | 10.85 | 10.50 |
| 10          | 13.57     | 12.35 | 10.32 | 13.02 | 14.50 | 13.65 | 16.21 | 14.45 | 12.59 | 13.12 | 13.47 | 13.31 | 13.45 | 12.84 | 12.22 |



ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ค่าการดูซึมน้ำตามวงจรมุมองอิฐที่ไม่ได้เคลือบผิว 90 วงจร จำนวน 10 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมุมอง |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 76        | 77    | 78    | 79    | 80    | 81    | 82    | 83    | 84    | 85    | 86    | 87    | 88    | 89    | 90    |
| 1           | 14.52     | 16.73 | 14.87 | 17.35 | 12.43 | 12.24 | 12.75 | 12.11 | 11.39 | 12.82 | 14.55 | 15.82 | 13.85 | 15.45 | 13.48 |
| 2           | 12.17     | 14.68 | 13.93 | 14.26 | 10.33 | 10.17 | 10.42 | 10.27 | 9.98  | 10.68 | 14.29 | 13.90 | 11.36 | 13.04 | 11.39 |
| 3           | 11.72     | 13.77 | 14.62 | 13.39 | 10.14 | 10.06 | 10.47 | 9.92  | 9.40  | 10.85 | 14.05 | 12.67 | 11.33 | 11.61 | 10.46 |
| 4           | 13.22     | 13.53 | 14.96 | 12.65 | 11.61 | 10.90 | 11.64 | 10.72 | 10.23 | 12.06 | 14.47 | 11.72 | 12.94 | 10.82 | 9.88  |
| 5           | 14.81     | 14.67 | 16.03 | 15.39 | 13.03 | 12.65 | 13.47 | 12.64 | 11.33 | 13.14 | 16.12 | 14.98 | 14.85 | 13.08 | 11.81 |
| 6           | 14.45     | 15.31 | 14.84 | 15.42 | 12.08 | 11.87 | 12.55 | 12.05 | 11.46 | 12.34 | 13.99 | 15.22 | 12.96 | 13.56 | 12.34 |
| 7           | 11.39     | 14.80 | 13.61 | 12.75 | 9.67  | 9.62  | 10.05 | 9.61  | 9.45  | 10.22 | 14.24 | 13.93 | 10.75 | 12.54 | 11.47 |
| 8           | 11.47     | 14.12 | 13.60 | 12.16 | 9.98  | 10.23 | 10.42 | 10.05 | 9.72  | 10.72 | 14.24 | 11.98 | 11.29 | 10.92 | 10.10 |
| 9           | 14.01     | 14.36 | 15.32 | 13.79 | 11.69 | 12.22 | 11.95 | 11.72 | 11.81 | 12.28 | 15.36 | 13.09 | 13.67 | 11.51 | 10.77 |
| 10          | 16.40     | 14.71 | 17.51 | 16.19 | 13.52 | 13.87 | 14.10 | 13.89 | 13.21 | 14.65 | 16.54 | 16.21 | 16.52 | 14.24 | 13.16 |

ตารางผนวกที่ 9 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 0.60  | 0.60 | 0.58 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.57 | 0.62 | 0.55 | 0.64 | 0.58 | 0.67 | 0.74 | 0.68 | 0.86 |
| 2           | 0.69  | 0.69 | 0.68 | 0.70 | 0.70 | 0.94 | 0.70 | 0.88 | 0.78 | 0.63 | 0.61 | 0.76 | 0.96 | 0.83 | 1.03 |
| 3           | 4.03  | 4.09 | 4.04 | 4.16 | 4.19 | 3.32 | 3.93 | 4.78 | 5.16 | 4.30 | 4.41 | 4.95 | 4.20 | 4.56 | 4.23 |
| 4           | 2.02  | 2.03 | 2.04 | 2.08 | 2.08 | 1.98 | 2.21 | 2.42 | 2.08 | 2.04 | 1.80 | 1.42 | 1.57 | 1.42 | 1.57 |
| 5           | 2.58  | 2.55 | 2.51 | 2.58 | 2.58 | 2.97 | 2.61 | 3.11 | 3.17 | 2.86 | 2.81 | 3.07 | 2.74 | 2.97 | 2.78 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16      | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 0.88    | 3.17 | 3.52 | 3.06 | 3.53 | 3.13 | 3.65 | 2.83 | 4.14 | 2.93 | 3.26 | 2.97 | 0.97 | 0.70 | 0.71 |
| 2           | 1.17    | 1.62 | 1.37 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.79 | 0.90 | 0.99 | 0.87 | 0.88 | 0.75 | 0.93 | 0.74 | 0.82 |
| 3           | 3.87    | 3.96 | 4.98 | 4.35 | 4.51 | 4.04 | 5.41 | 3.44 | 4.60 | 3.97 | 4.31 | 4.33 | 4.49 | 3.83 | 3.78 |
| 4           | 1.32    | 2.20 | 1.77 | 1.54 | 1.45 | 1.53 | 1.27 | 1.46 | 1.33 | 1.65 | 1.29 | 1.24 | 1.06 | 1.17 | 1.39 |
| 5           | 2.70    | 2.75 | 3.04 | 2.73 | 2.58 | 2.26 | 1.01 | 0.80 | 1.48 | 2.01 | 1.27 | 1.05 | 0.84 | 0.95 | 0.86 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 31      | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   |
| 1           | 0.61    | 1.19 | 0.80 | 0.83 | 0.79 | 1.08 | 0.73 | 3.01 | 3.22 | 2.95 | 3.95 | 2.80 | 4.47 | 3.07 | 2.86 |
| 2           | 0.61    | 0.88 | 0.96 | 0.83 | 0.83 | 0.95 | 0.88 | 1.20 | 0.96 | 0.80 | 0.85 | 0.88 | 0.84 | 1.06 | 0.76 |
| 3           | 5.30    | 4.16 | 3.90 | 3.91 | 4.21 | 3.84 | 5.50 | 3.93 | 4.27 | 3.84 | 5.42 | 3.66 | 3.90 | 3.79 | 3.78 |
| 4           | 0.99    | 1.20 | 1.05 | 1.43 | 1.40 | 1.20 | 1.22 | 1.62 | 1.46 | 1.11 | 1.32 | 1.24 | 1.36 | 1.42 | 1.17 |
| 5           | 0.61    | 0.98 | 0.86 | 0.70 | 0.64 | 0.95 | 0.70 | 2.72 | 2.67 | 2.03 | 1.13 | 0.59 | 0.73 | 1.56 | 0.71 |

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 46      | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60   |
| 1           | 2.15    | 1.46 | 1.15 | 0.87 | 1.38 | 3.48 | 1.72 | 3.03 | 2.15 | 0.95 | 1.33 | 0.83 | 3.44 | 4.00 | 3.88 |
| 2           | 0.61    | 0.83 | 0.77 | 0.80 | 0.79 | 0.91 | 0.77 | 0.70 | 0.77 | 0.75 | 0.78 | 0.94 | 0.85 | 1.45 | 0.79 |
| 3           | 3.89    | 3.80 | 4.07 | 5.32 | 5.65 | 5.25 | 4.46 | 4.13 | 4.64 | 5.10 | 5.09 | 6.10 | 5.41 | 5.88 | 5.75 |
| 4           | 1.17    | 1.17 | 1.37 | 1.20 | 1.31 | 1.33 | 1.29 | 1.34 | 1.01 | 1.00 | 4.21 | 1.87 | 1.61 | 2.38 | 1.24 |
| 5           | 0.52    | 0.75 | 0.72 | 0.71 | 0.66 | 0.79 | 0.69 | 0.44 | 0.79 | 0.97 | 0.89 | 0.86 | 0.69 | 3.02 | 0.74 |

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61      | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 1.24    | 3.24 | 1.46 | 0.81 | 3.85 | 3.80 | 4.38 | 3.81 | 3.76 | 3.70 | 3.68 | 3.21 | 2.97 | 3.52 | 3.55 |
| 2           | 0.63    | 0.83 | 0.79 | 0.88 | 1.12 | 0.80 | 1.40 | 1.02 | 0.85 | 0.91 | 0.94 | 0.92 | 0.89 | 1.06 | 1.23 |
| 3           | 5.52    | 4.29 | 4.30 | 4.38 | 5.35 | 5.63 | 6.38 | 5.32 | 5.20 | 5.17 | 5.15 | 4.15 | 4.53 | 4.53 | 4.54 |
| 4           | 1.11    | 1.36 | 1.10 | 1.14 | 1.92 | 1.30 | 1.69 | 1.93 | 1.47 | 1.35 | 1.54 | 3.95 | 2.75 | 1.99 | 1.88 |
| 5           | 0.76    | 0.83 | 0.59 | 0.66 | 3.33 | 2.44 | 2.01 | 3.35 | 2.76 | 0.66 | 2.06 | 2.03 | 0.66 | 1.65 | 2.63 |

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Methyl silane (ICI) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 76      | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   | 89   | 90   |
| 1           | 4.27    | 3.53 | 3.35 | 2.34 | 3.45 | 1.47 | 3.42 | 0.94 | 0.74 | 0.83 | 0.86 | 0.79 | 0.81 | 0.63 | 0.80 |
| 2           | 0.85    | 0.97 | 0.93 | 0.60 | 0.73 | 0.77 | 0.74 | 0.71 | 0.72 | 0.77 | 0.82 | 0.74 | 0.76 | 0.73 | 0.80 |
| 3           | 6.37    | 4.56 | 4.45 | 5.31 | 5.35 | 4.49 | 5.54 | 4.49 | 4.20 | 5.54 | 4.24 | 6.67 | 5.25 | 4.67 | 5.11 |
| 4           | 1.21    | 3.67 | 3.61 | 1.60 | 3.15 | 1.25 | 2.61 | 1.11 | 0.99 | 1.10 | 1.16 | 1.19 | 1.13 | 1.08 | 1.13 |
| 5           | 0.96    | 0.89 | 0.91 | 0.61 | 0.59 | 0.77 | 0.59 | 0.64 | 0.59 | 0.64 | 0.69 | 0.68 | 0.54 | 0.50 | 0.79 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 10 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1           | 9.17      | 9.35  | 9.31  | 9.42  | 9.45  | 8.90 | 9.45  | 10.04 | 10.19 | 9.59  | 9.61  | 10.19 | 9.42  | 9.97  | 9.63  |
| 2           | 8.93      | 9.09  | 9.04  | 9.13  | 9.19  | 8.35 | 9.13  | 9.61  | 9.91  | 9.17  | 9.12  | 9.81  | 9.12  | 9.40  | 9.11  |
| 3           | 10.23     | 10.53 | 10.46 | 10.63 | 10.68 | 9.66 | 10.96 | 11.82 | 12.28 | 10.71 | 10.62 | 11.78 | 10.59 | 10.98 | 10.58 |
| 4           | 7.67      | 7.76  | 7.73  | 7.82  | 7.83  | 7.13 | 7.85  | 8.22  | 8.37  | 7.84  | 7.90  | 8.27  | 7.82  | 7.93  | 7.85  |
| 5           | 8.28      | 8.44  | 8.41  | 8.52  | 8.54  | 7.81 | 8.72  | 9.15  | 9.31  | 8.75  | 8.76  | 9.27  | 8.68  | 8.97  | 8.72  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอง |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |       |       |      |      |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
|             | 16      | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23   | 24    | 25   | 26    | 27    | 28    | 29   | 30   |
| 1           | 9.58    | 10.06 | 10.43 | 9.79  | 9.79  | 9.55  | 10.58 | 8.93 | 10.12 | 9.44 | 9.83  | 9.86  | 9.90  | 9.28 | 9.23 |
| 2           | 8.77    | 9.15  | 10.32 | 9.40  | 9.37  | 8.99  | 10.19 | 8.34 | 9.66  | 8.77 | 9.16  | 9.25  | 9.44  | 8.57 | 8.57 |
| 3           | 9.94    | 9.60  | 11.82 | 10.48 | 10.69 | 10.21 | 12.06 | 9.06 | 11.13 | 9.94 | 10.54 | 10.65 | 10.87 | 9.68 | 9.68 |
| 4           | 7.54    | 7.84  | 8.26  | 7.82  | 7.94  | 7.87  | 8.37  | 7.20 | 8.13  | 7.45 | 7.87  | 7.88  | 8.03  | 7.41 | 7.45 |
| 5           | 8.55    | 9.37  | 9.45  | 8.98  | 9.03  | 8.90  | 9.67  | 8.33 | 9.43  | 8.58 | 8.93  | 8.98  | 9.15  | 8.48 | 8.51 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมงจร |       |      |      |       |      |       |       |       |      |       |      |       |      |      |
|-------------|----------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
|             | 31       | 32    | 33   | 34   | 35    | 36   | 37    | 38    | 39    | 40   | 41    | 42   | 43    | 44   | 45   |
| 1           | 10.55    | 9.61  | 9.43 | 9.58 | 9.67  | 9.40 | 10.79 | 9.40  | 9.81  | 9.61 | 10.95 | 9.11 | 11.81 | 9.10 | 9.49 |
| 2           | 10.18    | 8.93  | 8.88 | 8.96 | 9.16  | 8.87 | 10.51 | 9.11  | 9.24  | 8.98 | 10.44 | 8.42 | 11.34 | 8.59 | 8.85 |
| 3           | 12.04    | 10.23 | 9.68 | 9.92 | 10.17 | 9.73 | 11.98 | 10.07 | 10.34 | 9.90 | 12.16 | 9.13 | 13.49 | 9.83 | 9.70 |
| 4           | 8.31     | 7.64  | 7.54 | 7.67 | 7.70  | 7.48 | 8.64  | 7.53  | 7.79  | 7.60 | 8.58  | 7.12 | 9.16  | 7.10 | 7.30 |
| 5           | 9.50     | 8.93  | 8.69 | 8.80 | 8.84  | 8.55 | 9.98  | 8.55  | 8.97  | 8.84 | 10.12 | 8.11 | 10.85 | 8.12 | 8.58 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 46        | 47   | 48    | 49    | 50    | 51    | 52    | 53    | 54    | 55    | 56    | 57    | 58    | 59    | 60    |
| 1           | 9.73      | 9.45 | 9.84  | 11.01 | 12.18 | 10.66 | 10.13 | 10.30 | 10.55 | 10.89 | 10.92 | 11.50 | 10.94 | 12.20 | 11.32 |
| 2           | 9.13      | 8.74 | 9.25  | 10.41 | 11.79 | 10.28 | 9.58  | 9.66  | 9.96  | 10.38 | 10.61 | 11.10 | 10.55 | 11.75 | 11.24 |
| 3           | 10.13     | 9.45 | 10.38 | 12.14 | 14.26 | 12.14 | 10.93 | 10.97 | 11.28 | 12.14 | 12.21 | 13.12 | 12.47 | 13.07 | 12.76 |
| 4           | 7.62      | 7.44 | 7.79  | 8.53  | 9.10  | 8.34  | 8.00  | 8.01  | 8.23  | 8.46  | 8.51  | 8.94  | 8.56  | 9.31  | 8.74  |
| 5           | 8.87      | 8.73 | 9.10  | 10.07 | 11.22 | 9.70  | 9.39  | 9.45  | 9.55  | 9.96  | 10.02 | 10.58 | 10.08 | 11.59 | 10.31 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมงจร |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 61       | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 67    | 68    | 69    | 70    | 71    | 72    | 73    | 74    | 75    |
| 1           | 11.18    | 10.41 | 10.59 | 10.59 | 11.30 | 11.48 | 11.82 | 11.14 | 11.30 | 11.22 | 11.20 | 10.25 | 10.78 | 11.19 | 11.60 |
| 2           | 10.73    | 9.68  | 9.92  | 9.95  | 11.06 | 10.90 | 11.60 | 10.54 | 10.72 | 10.93 | 10.91 | 9.88  | 10.33 | 10.61 | 10.89 |
| 3           | 12.64    | 10.88 | 11.04 | 11.03 | 12.40 | 12.84 | 13.25 | 12.42 | 12.35 | 12.12 | 12.12 | 10.52 | 11.04 | 11.03 | 11.02 |
| 4           | 8.60     | 8.03  | 8.18  | 8.18  | 8.69  | 8.89  | 9.01  | 8.56  | 8.72  | 8.65  | 8.64  | 8.06  | 8.32  | 8.55  | 8.78  |
| 5           | 10.23    | 9.38  | 9.57  | 9.66  | 10.19 | 10.52 | 10.79 | 10.03 | 10.43 | 10.32 | 10.24 | 9.60  | 10.11 | 10.56 | 11.00 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมวลของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Potassium silicate (Evercrete Top Sealer) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมวล |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 76      | 77    | 78    | 79    | 80    | 81    | 82    | 83    | 84    | 85    | 86    | 87    | 88    | 89    | 90    |
| 1           | 12.37   | 10.82 | 11.01 | 11.77 | 11.69 | 11.20 | 11.78 | 11.05 | 10.94 | 12.02 | 10.96 | 12.95 | 11.92 | 11.51 | 11.96 |
| 2           | 11.95   | 10.29 | 10.20 | 11.72 | 11.89 | 10.66 | 11.07 | 10.49 | 10.28 | 11.76 | 10.28 | 12.48 | 11.33 | 10.77 | 11.52 |
| 3           | 13.33   | 10.89 | 10.81 | 12.42 | 12.41 | 11.21 | 12.55 | 11.04 | 10.76 | 12.76 | 10.69 | 13.66 | 12.13 | 11.47 | 12.38 |
| 4           | 9.36    | 8.38  | 8.55  | 9.08  | 8.91  | 8.63  | 9.12  | 8.54  | 8.44  | 9.17  | 8.49  | 9.62  | 9.09  | 8.83  | 9.05  |
| 5           | 11.25   | 10.18 | 10.39 | 10.75 | 10.52 | 10.30 | 10.91 | 10.18 | 10.06 | 11.04 | 10.18 | 11.77 | 10.95 | 10.57 | 10.90 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 11 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมอนิเตอร์เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอนิเตอร์ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 1.52          | 1.52 | 1.51 | 1.53 | 1.53 | 1.33 | 1.51 | 1.81 | 1.94 | 1.70 | 1.67 | 1.93 | 1.66 | 1.83 | 1.80 |
| 2           | 1.29          | 1.29 | 1.30 | 1.30 | 1.30 | 1.01 | 1.16 | 1.48 | 1.54 | 2.04 | 1.48 | 1.82 | 1.73 | 1.81 | 2.21 |
| 3           | 1.11          | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 1.12 | 0.86 | 1.12 | 1.43 | 1.42 | 1.38 | 1.25 | 1.50 | 1.30 | 1.41 | 1.53 |
| 4           | 1.17          | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 0.85 | 1.22 | 1.81 | 1.74 | 1.47 | 1.26 | 1.81 | 1.54 | 1.57 | 1.73 |
| 5           | 1.64          | 1.65 | 1.65 | 1.67 | 1.69 | 1.38 | 1.68 | 1.87 | 1.99 | 1.77 | 1.70 | 2.01 | 1.69 | 1.86 | 1.77 |

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoimat RC 80)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16    | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 1.94  | 1.92 | 1.86 | 1.73 | 1.94 | 1.82 | 2.00 | 1.53 | 1.98 | 1.53 | 1.42 | 1.15 | 1.12 | 1.40 | 0.93 |
| 2           | 2.28  | 2.69 | 2.12 | 2.27 | 2.14 | 1.77 | 2.00 | 1.57 | 1.95 | 2.08 | 2.01 | 2.02 | 1.63 | 2.35 | 2.13 |
| 3           | 1.43  | 1.94 | 1.35 | 1.32 | 1.44 | 1.50 | 1.44 | 1.27 | 1.76 | 1.33 | 1.59 | 1.50 | 1.40 | 1.67 | 1.56 |
| 4           | 1.54  | 2.25 | 1.74 | 1.75 | 1.85 | 1.66 | 1.64 | 1.32 | 1.94 | 1.51 | 1.79 | 1.86 | 1.38 | 1.75 | 1.70 |
| 5           | 1.75  | 1.84 | 1.96 | 1.85 | 2.00 | 1.86 | 2.17 | 1.50 | 2.08 | 1.64 | 1.88 | 1.96 | 1.97 | 1.68 | 1.65 |

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 31    | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   |
| 1           | 0.87  | 1.18 | 1.14 | 0.99 | 1.09 | 1.07 | 1.15 | 0.94 | 1.19 | 0.91 | 1.10 | 0.88 | 1.01 | 0.99 | 0.94 |
| 2           | 1.92  | 2.35 | 2.19 | 2.23 | 2.34 | 2.48 | 2.44 | 2.30 | 2.42 | 1.64 | 2.30 | 2.01 | 2.33 | 2.08 | 2.04 |
| 3           | 1.40  | 1.51 | 1.40 | 1.62 | 1.48 | 1.56 | 1.80 | 1.41 | 1.84 | 1.35 | 1.50 | 1.32 | 1.47 | 1.35 | 1.43 |
| 4           | 1.80  | 1.69 | 1.55 | 1.47 | 1.40 | 1.55 | 1.73 | 1.59 | 1.75 | 1.68 | 1.93 | 1.70 | 1.73 | 1.36 | 1.61 |
| 5           | 2.13  | 1.81 | 1.79 | 1.83 | 1.82 | 1.73 | 2.39 | 1.78 | 1.95 | 1.71 | 2.20 | 1.51 | 2.30 | 1.50 | 1.48 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 46    | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60   |
| 1           | 0.92  | 1.00 | 0.97 | 1.21 | 1.07 | 1.00 | 0.94 | 0.94 | 1.02 | 1.09 | 1.04 | 1.09 | 1.03 | 2.29 | 2.31 |
| 2           | 2.12  | 2.42 | 2.24 | 2.38 | 2.28 | 2.06 | 2.45 | 2.25 | 2.35 | 2.50 | 2.43 | 2.47 | 2.45 | 2.60 | 2.29 |
| 3           | 1.43  | 1.68 | 1.73 | 1.58 | 1.64 | 1.61 | 1.54 | 1.48 | 1.57 | 1.87 | 1.46 | 1.65 | 1.71 | 1.91 | 1.54 |
| 4           | 1.57  | 1.65 | 1.70 | 1.77 | 1.84 | 1.93 | 1.78 | 1.57 | 1.84 | 1.96 | 1.52 | 1.87 | 1.79 | 2.36 | 1.91 |
| 5           | 1.44  | 1.52 | 1.64 | 1.92 | 2.29 | 2.73 | 2.00 | 1.92 | 2.02 | 2.18 | 2.38 | 2.73 | 2.42 | 2.58 | 2.35 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรรองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61      | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 2.36    | 2.02 | 1.96 | 2.15 | 2.33 | 2.22 | 2.11 | 1.70 | 1.75 | 1.07 | 2.03 | 1.38 | 1.11 | 1.56 | 2.01 |
| 2           | 2.33    | 2.30 | 2.14 | 2.65 | 2.18 | 2.55 | 2.28 | 2.38 | 2.32 | 2.20 | 2.31 | 2.33 | 2.44 | 2.49 | 2.55 |
| 3           | 1.57    | 1.74 | 1.56 | 1.63 | 1.59 | 1.62 | 1.59 | 1.59 | 1.65 | 1.57 | 1.52 | 1.48 | 1.57 | 1.63 | 1.68 |
| 4           | 1.90    | 1.84 | 1.86 | 2.04 | 1.75 | 2.00 | 1.84 | 1.84 | 1.73 | 1.78 | 1.66 | 1.59 | 1.77 | 1.89 | 2.00 |
| 5           | 1.82    | 1.61 | 1.61 | 1.62 | 1.99 | 1.81 | 1.83 | 1.95 | 1.72 | 1.48 | 1.56 | 1.48 | 1.54 | 1.71 | 1.88 |

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรรองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solution of polymethylsiloxane and ethylsilicate (Rhoximat RC 80)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 76      | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   | 89   | 90   |
| 1           | 2.53    | 2.09 | 2.09 | 2.39 | 2.06 | 1.95 | 2.08 | 1.97 | 1.88 | 1.34 | 1.35 | 1.27 | 1.40 | 1.82 | 1.64 |
| 2           | 2.31    | 1.96 | 2.51 | 1.81 | 2.30 | 2.46 | 2.21 | 2.52 | 2.49 | 2.36 | 2.37 | 2.23 | 2.10 | 2.09 | 2.41 |
| 3           | 1.73    | 1.80 | 1.78 | 1.60 | 1.54 | 1.61 | 1.59 | 1.65 | 1.64 | 1.70 | 1.55 | 1.63 | 1.66 | 1.52 | 1.71 |
| 4           | 2.03    | 1.87 | 1.97 | 1.88 | 1.43 | 1.84 | 1.82 | 1.77 | 1.86 | 1.84 | 1.76 | 1.94 | 1.91 | 1.79 | 2.02 |
| 5           | 1.97    | 1.84 | 1.92 | 1.84 | 1.50 | 1.51 | 1.64 | 1.47 | 1.54 | 1.53 | 1.42 | 1.56 | 1.82 | 1.61 | 1.69 |

ตารางผนวกที่ 12 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 3.19    | 3.16 | 3.18 | 3.30 | 3.30 | 3.20 | 3.71 | 3.64 | 3.62 | 4.10 | 3.96 | 3.46 | 3.93 | 4.16 | 3.94 |
| 2           | 0.64    | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.65 | 0.60 | 0.78 | 0.56 | 0.81 | 0.63 | 0.90 | 0.71 | 0.89 | 1.04 |
| 3           | 0.61    | 0.60 | 0.60 | 0.61 | 0.62 | 0.58 | 0.53 | 0.67 | 0.63 | 0.65 | 0.53 | 0.66 | 1.00 | 0.90 | 0.79 |
| 4           | 1.76    | 1.77 | 1.77 | 1.81 | 1.81 | 1.63 | 1.87 | 1.88 | 1.81 | 2.16 | 2.08 | 2.04 | 2.28 | 2.31 | 2.25 |
| 5           | 2.69    | 2.69 | 2.64 | 2.69 | 2.69 | 2.38 | 2.64 | 2.78 | 2.76 | 3.11 | 3.03 | 2.45 | 2.48 | 2.44 | 2.09 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมอนิเตอร์ที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoimat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอนิเตอร์ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16            | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 3.74          | 3.89 | 2.54 | 3.53 | 4.19 | 3.80 | 3.57 | 3.40 | 4.53 | 3.51 | 4.05 | 4.02 | 4.24 | 3.47 | 3.46 |
| 2           | 1.28          | 1.61 | 0.85 | 1.17 | 1.03 | 1.02 | 0.78 | 0.66 | 1.28 | 0.77 | 0.83 | 1.04 | 1.06 | 0.96 | 0.76 |
| 3           | 1.81          | 2.08 | 0.38 | 1.75 | 2.04 | 1.80 | 0.85 | 1.13 | 1.37 | 0.86 | 1.24 | 0.97 | 1.14 | 0.89 | 0.67 |
| 4           | 2.63          | 2.56 | 1.60 | 2.02 | 2.74 | 2.59 | 1.84 | 1.70 | 2.73 | 1.92 | 2.36 | 2.21 | 2.37 | 1.97 | 1.95 |
| 5           | 2.32          | 2.79 | 2.11 | 2.70 | 2.56 | 1.69 | 1.49 | 1.20 | 1.31 | 1.22 | 1.09 | 1.00 | 1.13 | 0.88 | 1.01 |

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 31      | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   |
| 1           | 3.41    | 3.88 | 3.60 | 3.47 | 3.70 | 3.45 | 4.76 | 3.61 | 3.74 | 3.65 | 4.97 | 3.34 | 4.07 | 3.63 | 3.45 |
| 2           | 0.86    | 0.84 | 0.88 | 0.77 | 0.80 | 0.90 | 0.88 | 0.72 | 0.67 | 0.81 | 0.74 | 0.70 | 0.76 | 0.64 | 0.68 |
| 3           | 1.40    | 1.62 | 1.84 | 1.63 | 1.37 | 1.59 | 0.86 | 0.68 | 0.65 | 1.56 | 1.35 | 0.62 | 1.09 | 1.52 | 0.70 |
| 4           | 1.80    | 2.23 | 1.98 | 2.02 | 2.05 | 2.01 | 2.54 | 1.89 | 2.00 | 1.99 | 2.50 | 1.71 | 2.66 | 1.72 | 1.78 |
| 5           | 0.77    | 0.96 | 1.13 | 2.25 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 0.59 | 0.92 | 1.05 | 0.99 | 0.95 | 0.81 | 0.90 | 0.93 |

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรรงของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 46       | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60   |
| 1           | 3.62     | 3.40 | 3.53 | 4.83 | 4.47 | 3.22 | 4.02 | 2.67 | 4.42 | 3.05 | 3.26 | 3.95 | 3.36 | 3.73 | 3.60 |
| 2           | 0.80     | 0.75 | 0.65 | 0.78 | 0.79 | 0.83 | 0.72 | 0.63 | 0.78 | 0.82 | 0.71 | 1.02 | 0.94 | 0.90 | 0.68 |
| 3           | 0.64     | 0.78 | 0.71 | 0.86 | 0.81 | 0.74 | 0.65 | 0.54 | 0.78 | 0.82 | 0.67 | 0.94 | 0.77 | 0.98 | 0.65 |
| 4           | 1.82     | 1.97 | 1.80 | 2.41 | 2.63 | 1.93 | 2.07 | 1.49 | 2.30 | 2.04 | 1.86 | 2.31 | 2.16 | 2.27 | 2.00 |
| 5           | 0.75     | 1.04 | 0.92 | 0.95 | 1.01 | 0.99 | 0.93 | 0.90 | 0.93 | 0.98 | 0.90 | 1.15 | 1.15 | 1.73 | 0.84 |

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61          | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 3.44        | 3.53 | 4.13 | 4.22 | 3.29 | 3.48 | 3.74 | 3.66 | 3.12 | 2.98 | 3.04 | 4.07 | 4.23 | 4.38 | 4.52 |
| 2           | 0.74        | 0.87 | 0.72 | 0.89 | 0.73 | 0.79 | 0.69 | 0.80 | 0.84 | 0.74 | 0.65 | 0.76 | 0.74 | 0.87 | 1.14 |
| 3           | 0.68        | 0.85 | 0.73 | 0.83 | 0.88 | 0.81 | 0.76 | 0.78 | 0.88 | 0.69 | 0.72 | 0.72 | 0.76 | 0.83 | 1.00 |
| 4           | 1.96        | 2.20 | 2.11 | 2.31 | 2.01 | 2.05 | 2.22 | 1.74 | 1.99 | 1.93 | 1.79 | 2.05 | 2.22 | 2.29 | 2.35 |
| 5           | 1.01        | 1.03 | 1.10 | 1.13 | 1.22 | 1.14 | 1.00 | 1.15 | 1.26 | 1.06 | 1.00 | 1.14 | 1.09 | 1.34 | 2.05 |



ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถงอิฐที่เคลือบผิวด้วย Alkylpolysiloxane oligomer (Rhoximat HD 224) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 76    | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   | 89   | 90   |
| 1           | 4.36  | 4.39 | 4.31 | 4.97 | 3.62 | 4.18 | 3.30 | 4.14 | 3.85 | 3.72 | 4.04 | 4.51 | 4.82 | 4.22 | 3.83 |
| 2           | 0.84  | 0.89 | 0.91 | 0.72 | 0.68 | 0.76 | 0.67 | 0.73 | 0.87 | 0.70 | 0.73 | 0.64 | 0.87 | 0.70 | 0.88 |
| 3           | 0.85  | 0.77 | 0.87 | 0.77 | 0.65 | 0.74 | 0.68 | 0.73 | 0.81 | 0.71 | 0.77 | 0.68 | 0.86 | 0.75 | 0.79 |
| 4           | 2.22  | 2.42 | 2.40 | 2.70 | 1.57 | 2.43 | 1.88 | 2.25 | 2.25 | 1.83 | 2.13 | 2.16 | 2.64 | 1.67 | 1.90 |
| 5           | 1.08  | 1.21 | 1.21 | 1.06 | 1.01 | 1.02 | 0.99 | 1.09 | 1.11 | 1.01 | 1.19 | 1.06 | 1.21 | 1.02 | 1.04 |

ตารางผนวกที่ 13 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร จำนวน 5

ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 0.48  | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.41 | 0.52 | 0.43 | 0.50 | 0.55 | 0.50 | 0.59 | 0.53 | 0.59 | 0.68 |
| 2           | 2.12  | 2.11 | 2.12 | 2.19 | 2.19 | 1.90 | 2.35 | 2.15 | 2.18 | 2.77 | 2.56 | 2.32 | 2.69 | 2.83 | 2.65 |
| 3           | 1.73  | 1.73 | 1.74 | 1.78 | 1.78 | 1.57 | 1.92 | 1.74 | 1.78 | 2.19 | 2.13 | 1.84 | 2.12 | 2.27 | 2.28 |
| 4           | 0.55  | 0.55 | 0.55 | 0.57 | 0.58 | 0.51 | 0.47 | 0.64 | 0.66 | 0.60 | 0.65 | 0.61 | 0.88 | 0.64 | 0.84 |
| 5           | 0.50  | 0.50 | 0.50 | 0.51 | 0.51 | 0.42 | 0.33 | 0.64 | 0.57 | 0.59 | 0.55 | 0.73 | 0.79 | 0.56 | 2.29 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16    | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 0.87  | 1.50 | 0.93 | 0.89 | 0.91 | 1.01 | 0.75 | 0.62 | 1.01 | 0.71 | 1.01 | 0.98 | 0.93 | 0.80 | 0.82 |
| 2           | 2.54  | 2.45 | 1.76 | 2.37 | 2.80 | 2.57 | 2.34 | 2.03 | 3.00 | 2.32 | 2.70 | 2.79 | 2.94 | 2.09 | 2.25 |
| 3           | 2.15  | 2.22 | 1.63 | 2.04 | 2.45 | 2.24 | 1.90 | 1.77 | 2.58 | 1.99 | 2.32 | 2.31 | 2.31 | 1.81 | 1.91 |
| 4           | 0.90  | 1.43 | 1.08 | 0.91 | 0.76 | 2.24 | 1.81 | 1.87 | 2.70 | 2.17 | 2.43 | 2.29 | 2.22 | 1.49 | 1.86 |
| 5           | 2.27  | 2.49 | 1.76 | 2.23 | 2.35 | 2.21 | 1.93 | 1.87 | 2.59 | 2.08 | 2.40 | 2.36 | 2.37 | 1.90 | 2.08 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมงอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 31     | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   |
| 1           | 0.69   | 0.84 | 0.97 | 0.97 | 0.70 | 0.81 | 0.60 | 0.65 | 0.50 | 1.02 | 0.46 | 0.70 | 0.70 | 0.69 | 0.66 |
| 2           | 2.42   | 2.55 | 2.41 | 2.41 | 2.54 | 2.43 | 3.11 | 2.29 | 2.49 | 2.53 | 3.02 | 2.08 | 3.81 | 2.19 | 2.17 |
| 3           | 1.90   | 2.14 | 2.10 | 2.10 | 2.05 | 1.97 | 2.55 | 1.89 | 2.04 | 1.98 | 2.42 | 1.61 | 3.16 | 1.74 | 1.73 |
| 4           | 1.64   | 1.80 | 1.75 | 1.75 | 0.77 | 1.04 | 0.75 | 1.71 | 1.63 | 1.74 | 1.75 | 1.38 | 0.98 | 1.62 | 1.04 |
| 5           | 1.83   | 2.39 | 2.33 | 2.33 | 2.21 | 2.18 | 2.62 | 2.00 | 2.25 | 2.25 | 2.63 | 1.88 | 3.05 | 1.97 | 1.85 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|             | 46    | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60    |
| 1           | 0.45  | 2.40 | 2.53 | 2.70 | 0.94 | 0.74 | 0.76 | 0.42 | 0.73 | 1.13 | 1.31 | 1.20 | 0.88 | 1.34 | 2.606 |
| 2           | 2.33  | 2.20 | 2.22 | 2.93 | 4.36 | 2.08 | 2.67 | 1.78 | 2.99 | 2.17 | 2.14 | 2.76 | 2.35 | 2.57 | 2.41  |
| 3           | 1.77  | 1.88 | 1.88 | 2.38 | 4.66 | 1.87 | 2.24 | 1.54 | 2.39 | 1.87 | 1.91 | 2.21 | 1.62 | 2.11 | 2.02  |
| 4           | 0.61  | 0.73 | 0.58 | 1.05 | 0.93 | 1.00 | 0.69 | 0.54 | 0.85 | 0.89 | 0.76 | 1.02 | 0.86 | 2.26 | 2.04  |
| 5           | 1.94  | 2.08 | 2.22 | 2.72 | 3.37 | 1.88 | 2.20 | 1.64 | 2.42 | 2.04 | 1.98 | 2.38 | 2.13 | 2.34 | 2.07  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61    | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 2.55  | 2.92 | 3.14 | 3.21 | 2.36 | 2.68 | 2.64 | 2.90 | 2.43 | 2.24 | 2.24 | 2.89 | 3.38 | 3.43 | 3.48 |
| 2           | 2.37  | 2.93 | 2.99 | 3.06 | 2.24 | 2.44 | 2.58 | 2.51 | 2.25 | 2.27 | 2.16 | 2.74 | 3.00 | 3.06 | 3.11 |
| 3           | 1.93  | 2.28 | 2.31 | 2.38 | 1.78 | 2.02 | 2.08 | 1.81 | 1.85 | 1.84 | 1.89 | 2.08 | 2.28 | 2.35 | 2.41 |
| 4           | 2.01  | 2.06 | 1.75 | 1.61 | 1.97 | 2.27 | 2.47 | 1.86 | 2.06 | 2.10 | 2.04 | 2.34 | 2.48 | 2.50 | 2.53 |
| 5           | 2.00  | 2.46 | 2.49 | 2.32 | 1.89 | 2.10 | 2.58 | 2.01 | 2.22 | 2.11 | 2.04 | 2.22 | 2.38 | 2.45 | 2.51 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมงอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free mixture of silane and siloxane (Wacker 290) 90 วงจร

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมง |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 76     | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   | 89   | 90   |
| 1           | 3.13   | 2.77 | 3.27 | 3.64 | 2.66 | 3.06 | 2.53 | 3.27 | 3.07 | 2.70 | 2.91 | 3.28 | 3.72 | 3.32 | 2.26 |
| 2           | 2.84   | 3.05 | 2.93 | 3.26 | 2.35 | 3.02 | 2.21 | 2.76 | 2.66 | 2.50 | 2.76 | 2.91 | 3.13 | 2.84 | 2.27 |
| 3           | 2.14   | 2.42 | 2.39 | 2.71 | 1.77 | 2.35 | 1.85 | 2.25 | 2.18 | 1.82 | 2.18 | 2.19 | 2.59 | 2.32 | 1.81 |
| 4           | 2.21   | 2.71 | 2.60 | 2.97 | 1.84 | 2.55 | 2.12 | 2.50 | 2.35 | 1.79 | 2.29 | 2.19 | 2.89 | 2.57 | 2.02 |
| 5           | 2.32   | 2.60 | 2.56 | 2.80 | 1.95 | 2.30 | 2.05 | 2.38 | 2.38 | 1.95 | 2.19 | 2.38 | 2.73 | 2.47 | 1.91 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 14 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรถองอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550) 90 มจจ

จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 1.02  | 0.98 | 1.07 | 1.01 | 1.13 | 1.11 | 1.04 | 1.11 | 1.01 | 1.13 | 1.11 | 1.17 | 1.19 | 1.33 | 1.56 |
| 2           | 4.23  | 4.15 | 4.78 | 5.66 | 4.33 | 4.31 | 4.19 | 4.91 | 5.46 | 6.56 | 6.76 | 5.98 | 6.45 | 6.72 | 6.62 |
| 3           | 2.05  | 1.21 | 1.88 | 1.98 | 1.57 | 2.20 | 1.26 | 1.97 | 1.98 | 1.57 | 1.98 | 1.47 | 2.16 | 2.29 | 2.31 |
| 4           | 1.41  | 1.23 | 1.43 | 1.33 | 1.46 | 1.53 | 1.31 | 1.56 | 1.35 | 1.47 | 1.52 | 1.35 | 1.58 | 1.63 | 1.58 |
| 5           | 1.27  | 1.09 | 1.31 | 1.15 | 1.27 | 1.37 | 1.17 | 1.37 | 1.15 | 1.27 | 1.34 | 1.25 | 1.40 | 1.39 | 1.48 |



ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16      | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 1.30    | 2.14 | 2.80 | 1.51 | 1.34 | 1.45 | 1.30 | 1.13 | 1.52 | 2.40 | 1.46 | 1.32 | 1.21 | 1.12 | 2.37 |
| 2           | 6.30    | 8.14 | 5.44 | 7.57 | 6.77 | 6.44 | 5.61 | 7.27 | 6.90 | 7.55 | 6.43 | 6.39 | 6.61 | 7.37 | 7.25 |
| 3           | 2.21    | 3.57 | 3.93 | 4.34 | 3.50 | 3.12 | 2.63 | 2.77 | 2.77 | 3.05 | 2.58 | 2.63 | 2.58 | 2.67 | 2.83 |
| 4           | 1.76    | 3.05 | 2.11 | 1.75 | 1.82 | 1.77 | 1.80 | 1.95 | 1.91 | 1.93 | 1.60 | 1.62 | 1.66 | 1.58 | 2.00 |
| 5           | 1.52    | 2.41 | 2.70 | 1.80 | 1.50 | 1.44 | 2.48 | 2.42 | 1.59 | 2.39 | 1.44 | 1.34 | 1.27 | 1.22 | 2.44 |

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|
|             | 31      | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41    | 42   | 43    | 44   | 45   |
| 1           | 1.09    | 1.33 | 1.23 | 1.42 | 1.25 | 1.32 | 1.26 | 2.41 | 1.19 | 1.29 | 1.16  | 2.21 | 1.24  | 2.71 | 1.24 |
| 2           | 6.53    | 7.99 | 7.33 | 7.54 | 7.74 | 7.34 | 9.83 | 7.43 | 7.90 | 7.64 | 10.01 | 6.86 | 11.85 | 7.24 | 6.96 |
| 3           | 2.40    | 2.62 | 2.69 | 2.82 | 1.93 | 2.57 | 3.06 | 5.03 | 4.80 | 4.60 | 4.53  | 4.39 | 5.5.7 | 4.55 | 4.68 |
| 4           | 1.66    | 1.81 | 1.77 | 6.32 | 4.14 | 4.49 | 4.17 | 3.70 | 2.73 | 4.55 | 4.11  | 2.96 | 3.57  | 3.24 | 3.09 |
| 5           | 1.26    | 1.35 | 1.27 | 1.44 | 1.30 | 2.47 | 1.31 | 2.57 | 1.44 | 2.57 | 1.43  | 2.30 | 1.56  | 2.23 | 1.52 |

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 46        | 47   | 48   | 49   | 50    | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60   |
| 1           | 1.12      | 1.22 | 1.08 | 1.30 | 1.19  | 1.21 | 2.39 | 2.75 | 2.84 | 2.06 | 2.54 | 2.89 | 4.83 | 5.18 | 4.83 |
| 2           | 7.41      | 7.19 | 7.42 | 9.68 | 13.45 | 6.45 | 6.33 | 7.19 | 6.10 | 5.65 | 5.65 | 6.23 | 5.90 | 6.67 | 6.21 |
| 3           | 4.41      | 4.00 | 3.85 | 4.19 | 3.79  | 2.94 | 3.65 | 5.62 | 4.80 | 4.17 | 4.36 | 4.77 | 4.54 | 4.78 | 3.95 |
| 4           | 2.78      | 2.60 | 2.53 | 2.65 | 2.43  | 2.38 | 2.55 | 3.01 | 2.70 | 2.41 | 4.92 | 5.34 | 4.99 | 5.62 | 5.24 |
| 5           | 1.29      | 1.55 | 1.56 | 1.46 | 1.40  | 2.37 | 2.52 | 2.70 | 2.60 | 1.30 | 2.25 | 2.52 | 2.80 | 3.92 | 2.96 |

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61        | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 4.58      | 4.73 | 4.66 | 4.68 | 4.68 | 4.67 | 5.18 | 4.35 | 4.33 | 4.85 | 4.92 | 4.40 | 4.53 | 5.24 | 5.31 |
| 2           | 6.43      | 6.23 | 6.04 | 6.09 | 6.19 | 6.58 | 7.13 | 6.28 | 6.02 | 5.94 | 5.95 | 5.80 | 6.10 | 6.16 | 6.21 |
| 3           | 4.05      | 4.67 | 4.25 | 4.21 | 4.08 | 3.55 | 3.56 | 3.74 | 3.50 | 3.50 | 4.60 | 3.98 | 3.75 | 4.24 | 4.85 |
| 4           | 5.64      | 5.27 | 5.04 | 5.31 | 5.40 | 5.56 | 6.32 | 5.66 | 5.18 | 4.29 | 3.67 | 3.48 | 3.36 | 3.81 | 4.60 |
| 5           | 2.72      | 3.21 | 2.76 | 2.92 | 5.76 | 5.21 | 5.50 | 6.01 | 5.02 | 5.20 | 5.70 | 5.50 | 4.75 | 5.42 | 5.94 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 550)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|             | 76        | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   | 89   | 90    |
| 1           | 5.11      | 3.59 | 2.06 | 3.62 | 3.25 | 3.40 | 4.06 | 3.83 | 3.43 | 3.43 | 3.15 | 4.83 | 4.28 | 3.48 | 3.434 |
| 2           | 7.13      | 4.14 | 3.90 | 7.46 | 6.19 | 6.09 | 6.45 | 6.00 | 5.80 | 6.55 | 3.87 | 7.42 | 6.96 | 6.68 | 6.136 |
| 3           | 5.64      | 3.29 | 3.25 | 5.62 | 4.15 | 3.76 | 3.35 | 3.93 | 3.80 | 4.10 | 3.18 | 5.93 | 4.83 | 3.69 | 3.401 |
| 4           | 4.07      | 2.64 | 2.76 | 3.84 | 2.94 | 3.07 | 3.19 | 3.14 | 3.01 | 3.18 | 2.62 | 3.72 | 3.15 | 2.91 | 3.478 |
| 5           | 6.88      | 3.33 | 3.62 | 3.74 | 2.86 | 3.10 | 3.09 | 3.76 | 3.80 | 4.81 | 4.58 | 6.54 | 5.27 | 4.72 | 4.583 |

ตารางผนวกที่ 15 ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรมอนิเตอร์เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000) 90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรมอนิเตอร์ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 1           | 1.44          | 1.51 | 1.61 | 1.61 | 1.77 | 1.90 | 1.59 | 1.65 | 1.61 | 1.77 | 1.70 | 1.76 | 1.88 | 2.00 | 1.91 |
| 2           | 0.94          | 0.87 | 1.04 | 0.91 | 1.12 | 1.01 | 0.94 | 1.12 | 0.92 | 1.12 | 1.06 | 1.23 | 1.35 | 1.04 | 1.22 |
| 3           | 2.17          | 2.25 | 2.29 | 2.38 | 2.38 | 2.59 | 2.13 | 2.38 | 2.31 | 2.49 | 2.40 | 2.49 | 2.56 | 2.30 | 2.64 |
| 4           | 2.25          | 2.33 | 2.38 | 2.47 | 2.47 | 2.65 | 2.18 | 2.45 | 2.42 | 2.65 | 2.50 | 2.42 | 2.65 | 2.66 | 2.63 |
| 5           | 3.19          | 3.27 | 3.36 | 3.48 | 3.47 | 3.85 | 3.16 | 2.58 | 3.75 | 3.96 | 3.81 | 3.55 | 3.95 | 4.00 | 3.95 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 16        | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| 1           | 1.81      | 3.04 | 1.68 | 3.43 | 2.39 | 2.42 | 1.91 | 1.89 | 2.19 | 1.55 | 2.90 | 2.10 | 1.85 | 1.75 | 1.43 |
| 2           | 1.63      | 3.81 | 4.87 | 6.99 | 6.44 | 6.01 | 5.00 | 6.53 | 6.63 | 6.89 | 5.90 | 5.92 | 6.36 | 6.65 | 6.63 |
| 3           | 2.76      | 4.50 | 3.59 | 3.39 | 2.76 | 2.77 | 2.81 | 3.00 | 3.01 | 3.00 | 2.67 | 2.64 | 2.82 | 2.67 | 3.43 |
| 4           | 2.63      | 7.82 | 7.46 | 5.29 | 3.94 | 3.62 | 3.52 | 3.96 | 3.91 | 3.85 | 2.82 | 2.71 | 2.65 | 2.63 | 3.98 |
| 5           | 3.85      | 6.46 | 7.93 | 6.65 | 7.48 | 6.58 | 5.79 | 6.42 | 6.27 | 5.98 | 5.96 | 5.66 | 5.85 | 5.93 | 7.27 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |      |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
|             | 31        | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41    | 42   | 43    | 44    | 45   |
| 1           | 2.42      | 2.00 | 2.40 | 2.46 | 1.78 | 4.52 | 2.54 | 5.26 | 2.29 | 4.52 | 5.02  | 4.10 | 5.13  | 4.57  | 2.47 |
| 2           | 6.18      | 7.26 | 6.89 | 7.08 | 4.10 | 6.76 | 7.98 | 6.97 | 6.46 | 6.96 | 8.04  | 6.29 | 8.59  | 6.73  | 6.54 |
| 3           | 2.73      | 3.05 | 2.91 | 3.18 | 2.80 | 3.17 | 3.29 | 5.06 | 3.48 | 3.33 | 3.25  | 7.59 | 5.00  | 10.10 | 5.56 |
| 4           | 2.80      | 3.73 | 3.57 | 3.65 | 2.81 | 3.70 | 3.93 | 3.73 | 3.78 | 3.73 | 3.91  | 3.62 | 4.02  | 3.43  | 3.66 |
| 5           | 6.45      | 6.87 | 6.03 | 6.05 | 6.15 | 7.22 | 7.40 | 9.48 | 9.65 | 8.99 | 10.10 | 8.88 | 11.03 | 9.42  | 8.51 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรถัดไป |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 46        | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59   | 60   |
| 1           | 2.05      | 4.36 | 4.81 | 5.06 | 4.73 | 3.87 | 4.42 | 5.54 | 5.20 | 2.81 | 8.05 | 6.90 | 8.14 | 8.92 | 8.54 |
| 2           | 6.86      | 6.61 | 6.72 | 8.04 | 8.45 | 6.10 | 5.86 | 6.29 | 5.31 | 5.16 | 5.03 | 5.40 | 5.20 | 5.68 | 5.40 |
| 3           | 3.75      | 3.31 | 3.36 | 3.54 | 3.30 | 3.41 | 8.74 | 9.58 | 8.62 | 6.04 | 7.76 | 8.64 | 8.25 | 8.24 | 8.60 |
| 4           | 3.74      | 3.75 | 3.74 | 4.07 | 3.80 | 3.41 | 4.05 | 4.42 | 4.22 | 2.89 | 7.81 | 8.55 | 7.93 | 8.93 | 8.24 |
| 5           | 8.50      | 7.74 | 7.50 | 7.68 | 6.92 | 5.63 | 8.56 | 9.08 | 8.35 | 7.33 | 7.82 | 8.48 | 7.85 | 8.86 | 8.36 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 61      | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67    | 68   | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75   |
| 1           | 8.35    | 8.72 | 8.23 | 7.18 | 7.36 | 7.19 | 9.33  | 7.22 | 7.48 | 8.06 | 7.69 | 7.10 | 7.37 | 8.26 | 8.52 |
| 2           | 5.71    | 5.51 | 5.75 | 5.22 | 5.60 | 6.22 | 6.63  | 5.87 | 5.71 | 5.70 | 5.45 | 5.43 | 5.75 | 5.83 | 5.89 |
| 3           | 7.48    | 8.80 | 8.99 | 7.09 | 9.02 | 8.93 | 6.96  | 8.61 | 8.26 | 8.33 | 8.05 | 7.92 | 8.44 | 8.48 | 8.51 |
| 4           | 8.76    | 8.62 | 8.70 | 7.94 | 8.83 | 8.63 | 10.01 | 8.50 | 8.51 | 8.36 | 8.08 | 7.91 | 8.39 | 8.44 | 8.48 |
| 5           | 8.43    | 8.31 | 8.17 | 7.96 | 8.42 | 8.89 | 9.41  | 8.56 | 8.40 | 8.41 | 8.22 | 8.16 | 8.45 | 8.57 | 8.68 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ค่าการดูดซึมน้ำตามวงจรของอิฐที่เคลือบผิวด้วย Solvent-free silicone microemulsion concentrate (Wacker SMK 21000)

90 วงจร จำนวน 5 ตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | วงจรที่ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
|             | 76      | 77   | 78   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86   | 87    | 88   | 89   | 90   |
| 1           | 9.48    | 6.58 | 5.85 | 6.80 | 5.37 | 6.76 | 7.36 | 8.15 | 6.49 | 8.48 | 5.53 | 7.95  | 8.37 | 6.82 | 7.87 |
| 2           | 6.56    | 4.15 | 4.00 | 6.91 | 5.81 | 5.79 | 6.04 | 5.64 | 5.66 | 6.18 | 3.46 | 7.08  | 6.54 | 6.35 | 6.01 |
| 3           | 9.66    | 6.45 | 6.41 | 8.14 | 8.56 | 6.44 | 8.83 | 8.08 | 6.35 | 9.00 | 5.24 | 10.23 | 9.47 | 6.40 | 4.36 |
| 4           | 9.53    | 4.97 | 5.65 | 9.62 | 8.42 | 7.38 | 8.50 | 8.05 | 7.13 | 8.97 | 6.34 | 9.89  | 9.19 | 7.38 | 6.57 |
| 5           | 9.72    | 5.50 | 6.42 | 9.72 | 8.53 | 8.15 | 8.84 | 8.30 | 8.06 | 9.07 | 7.17 | 9.98  | 8.37 | 9.01 | 8.53 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิชญดา เตชาติศัย เกิดเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ.2521 กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนีย์) สำเร็จการศึกษาชั้นปริญญาตรีสาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย