



แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ:

กรณีศึกษา วัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม

โดย

นางสาวณิกานต์ เหล่าสมาธิกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ:
กรณีศึกษา วัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม

โดย

นางสาวณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ANALYTICAL INVESTIGATION AND DESIGN FOR SOLVING
MOISTURE PROBLEMS IN HISTORIC MASONRY WALLS:
CASE STUDY OF WAT CHOENG LEN
IN NAKHON PATHOM PROVINCE

BY

MISS NITCHAKARN LAOSAMATHIKUL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล

เรื่อง

แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ: กรณีศึกษา วัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุญตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ กรณีศึกษา: วัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม
ชื่อผู้เขียน	นางสาวณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาปัตยกรรม
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ปัญหาการสะสมความชื้นมักพบในผนังอุโบสถของประเทศไทยซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร ลดคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุและการเกิดเชื้อราภายในและที่ผิวผนังซึ่งสร้างความเสียหายให้แก่อุโบสถเก่าแก่ของประเทศไทยหลายแห่ง ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นและปัญหาการเสื่อมสภาพจากการสะสมความชื้นในผนังของอาคารโบราณสถาน แต่ยังคงขาดงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ ทำให้ขาดแนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่เข้ากับสภาพอากาศของประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถวัดเชิงเลนจังหวัดนครปฐมและทำการศึกษาเทคนิคการบูรณะที่ใช้ในการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่มีอยู่ในปัจจุบันด้วยการใช้โปรแกรมจำลองการถ่ายเทความชื้น WUFI-2D เพื่อนำไปสู่แนวทางในการป้องกันการเสื่อมสภาพจากความชื้นของผนังอุโบสถ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนัง โดยวิธีการแก้ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่ การฝังท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง การตัดความชื้นด้วยแผ่นกั้นความชื้นและการใช้รางระบายอากาศที่ฐานอาคาร

ผลวิจัยพบว่าปริมาณน้ำในผนังอุโบสถแปรผันตามความสูงจากระดับพื้นดินโดยพบว่าที่ระดับความสูงจากพื้นตั้งแต่ 0.00-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากได้รับความชื้นจากน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ปริมาณน้ำในผนังยังแปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศซึ่งในช่วงเวลาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังจะสูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในผนังกรณีที่ยังไม่มีการใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นกับหลังใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นพบว่าการใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นด้วยโดยใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลด

ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังทั้งหมดได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 16.97 รองลงมาเป็นการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานผนังร้อยละ 10.45 แต่การใช้วิธีตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกันความชื้นจะมีปริมาณน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.07 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นด้วยโดยใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรได้มากที่สุดที่ร้อยละ 28.11 โดยสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังได้ดีในช่วงฤดูร้อน ส่วนวิธีการแก้ปัญหาความชื้นด้วยโดยใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ในผนังที่ระดับความสูง 0.30-2.00 เมตร ได้ดีที่สุดในช่วงฤดูฝน ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถโดยการเลือกใช้เทคนิคบูรณะและตำแหน่งการติดตั้งให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมกรรมการสะสมความชื้นในผนังที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ: การสะสมความชื้น, ปริมาณน้ำเฉลี่ย, ความชื้นสัมพัทธ์, ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ, วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ

Thesis Title	ANALYTICAL INVESTIGATION AND DESIGN FOR SOLVING MOISTURE PROBLEMS IN HISTORIC MASONRY WALLS: CASE STUDY OF WAT CHOENG LEN IN NAKHON PATHOM PROVINCE
Author	Miss Nitchakarn Laosamathikul
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Faculty of Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Daranee Jareemit, Ph.D.
Academic Years	2017

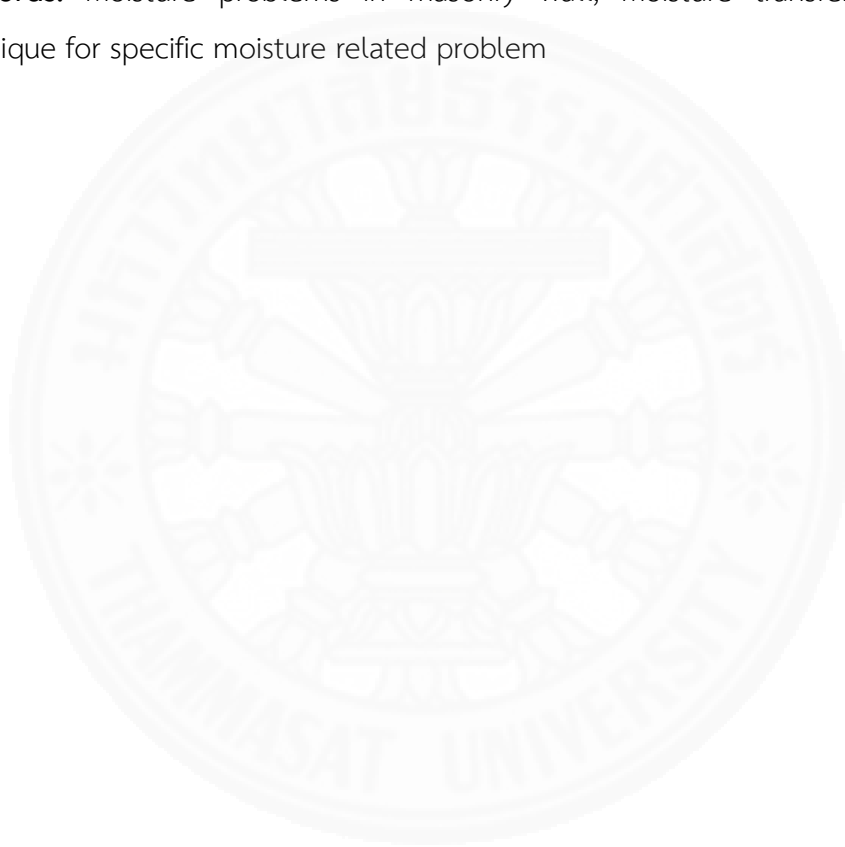
ABSTRACT

Moisture problems typically find in historic building that significantly accelerate the structural deterioration. In addition, it can reduce material's thermal properties and lead to mold growth problems. Several studies in Thailand have investigated moisture problems in historic masonry walls and its deteriorate effect. Several preservation techniques have been proposed. However, none of them have scientific proof whether those preservation techniques effectively solve the moisture problems in the historic walls. This research focuses on studying the moisture transfer behaviors in the historic masonry walls using WUFI-2D. The moisture content accumulated in the walls are compared for different preservation techniques. The studied historic building is Wat Choeng Len in Nakhon Pathom Province, Thailand.

The results show that the water contents in the historic masonry wall are varied with the wall height. The average water content at 0.00-0.50 meters from the floor level is higher than those of other levels. In addition, the water content varies with the outdoor air temperature and relative humidity. Using a knapen-tubes technique can reduce the water content by 16.97 percent, followed by the wall base ventilation technique with 10.45 percent reduction. However, using the wall cutting technique increase the water content by 8.07 percent. In summer season, the

knapen-tubes technique effectively removes the water content at 0:00 to 0:50 meters height by 28.11 percent, which is greater than in rainy and winter seasons. In contrast, moisture removal by using a knapen-tubes and moisture barrier techniques provide the better removal at 0.30 - 2.00 meters height during the rainy season. The results of this research can be used as a guideline to solve the moisture problems in historic masonry walls in hot and humid climate.

Keywords: Moisture problems in masonry wall, Moisture transfer, preservation technique for specific moisture related problem



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาของดร.ดารณี จาริมิตรที่คอยให้คำปรึกษาทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินการ รวมถึงช่วยให้คำแนะนำวิธีการแก้ปัญหาและอุปสรรคระหว่างทำงานวิจัยเป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อรรถจัน เศรษฐบุตตรและรองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์ ที่ให้การอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการทำวิจัยต่าง ๆ ในครั้งนี้

ขอกราบขอบคุณพระมหาสุธี อาสโภ เจ้าอาวาสวัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลกรณีศึกษา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษาต่าง ๆ ในหลาย ๆ ด้าน บุคลากรคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองที่คอยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยให้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคคลอื่น ๆ อีกมากมายที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้

สุดท้ายกราบขอบคุณครอบครัวเหล่าสมาชิกที่คอยให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจสำคัญทุกด้านของผู้วิจัยอย่างยิ่ง ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อวงการวิชาการและวงการสถาปัตยกรรมไม่มากนัก

นางสาวณิชกานต์ เหล่าสมาชิกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญภาพ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 คำถามวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย	2
1.6 กรอบแนวความคิดการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	4
1.8 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ	6
2.1.1 การซึมผ่านของน้ำฝน	6

2.1.1 ความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำ	7
2.1.1 ความชื้นจากใต้ดิน	8
2.2 ลักษณะโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างอุโบสถ	9
2.2.1 ความหมายของอุโบสถ	10
2.2.2 ประเภทของอุโบสถ	11
2.2.3.1 อุโบสถแบบปีกนก	11
2.2.3.2 อุโบสถแบบทรงคฤหี	12
2.2.3.3 อุโบสถแบบมุขเด็จ	13
2.2.3.4 อุโบสถแบบมีเฉลียง	14
2.2.3.5 อุโบสถแบบมุขประเจ็ด	16
2.2.3.6 อุโบสถแบบตรีมุข	17
2.2.3.7 อุโบสถแบบจัตุรมุข	17
2.2.3 โครงสร้างและวัสดุที่ใช้ในพระอุโบสถ	18
2.2.2.1 ระบบฐานราก	18
2.2.2.2 ระบบโครงสร้างผนัง	19
2.2.2.3 ระบบโครงสร้างหลังคา	21
2.2.4 วัสดุที่ใช้ในพระอุโบสถ	21
2.2.2.4 วัสดุผนัง	24
(1) อิฐ	24
(2) ศิลาแลง	24
(3) ไม้	25
(4) ศิลาแลง	25
2.2.2.4 วัสดุปูพื้น	26
(1) พื้นหินอ่อน	26
(2) กระเบื้องดินเผา	26
(3) กระเบื้องเซรามิก	26
2.2.2.4 วัสดุผนังหลังคา	27
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น	28
2.3.1 ความหมายและทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น	28

2.3.1.1 ความชื้นสัมบูรณ์	28
2.3.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์	28
2.3.1.3 ความดันไอ	28
2.3.1.4 ปริมาณน้ำ	29
2.3.1.5 ความชื้นสมมูล	29
2.3.2 การถ่ายเทความชื้นในเนื้อวัสดุ	30
2.3.2.1 การกักเก็บความชื้นในเนื้อวัสดุ	30
2.3.2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นในเนื้อวัสดุ	31
(1) การแพร่กระจายของไอน้ำ	32
(2) การแพร่กระจายบนพื้นผิว	32
(3) การนำความชื้นโดยแรงแคปิลลารี	32
(4) ระดับความชื้นที่ก่อให้เกิดความเสียหายในวัสดุผนังอาคาร	33
2.4 การแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ	34
2.4.1 การทำฐานรากให้แห้ง	34
2.4.2 การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง	35
2.4.3 การตัดความชื้นของผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น	36
2.4.4 การยกหรือย้ายอาคาร	37
2.4.5 การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร	39
2.4.6 หลักการดำเนินงานและแนวทางในการเลือกวิธีลดความชื้นของผนัง	40
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและการเสื่อมสภาพของผนัง อาคารโบราณสถานกรณีศึกษา : พระอุโบสถ วัดนิเวศธรรมประวัติจังหวัด พระนครศรีอยุธยา	41
2.5.2 แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปไสยาสน์ วัดสะตือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	41
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	45
3.1 แผนการดำเนินงาน	45
3.1.1 การศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความชื้นในผนังอุโบสถ	45

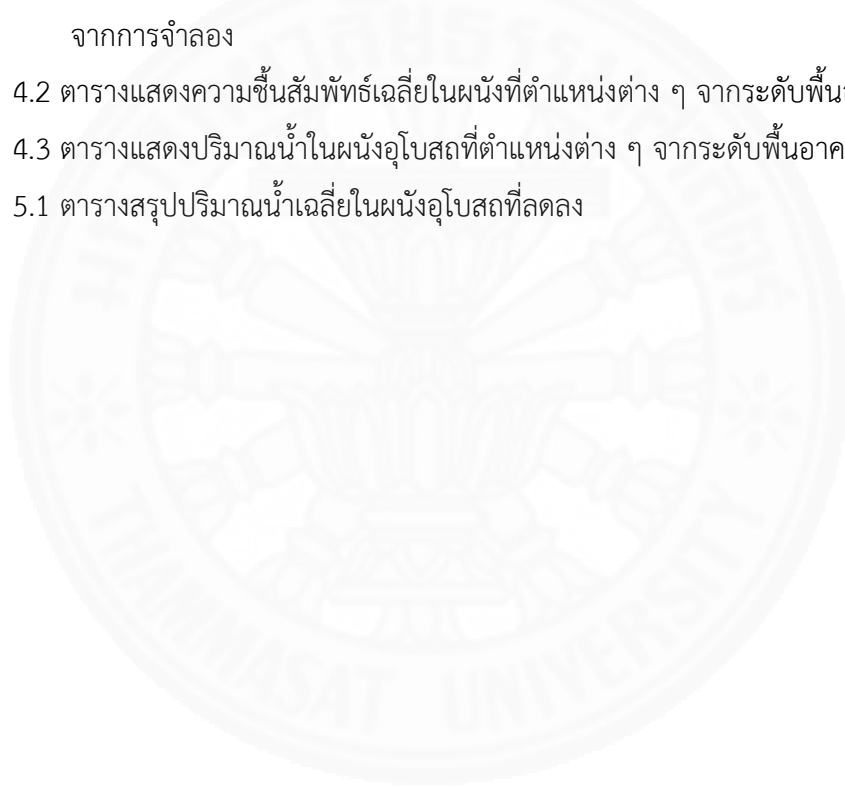
3.1.2 การศึกษาวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังที่มีอยู่ในปัจจุบัน	45
3.1.3 การเสนอแนวทางในการเลือกวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนัง อุโบสถ	45
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	46
3.2.1 ลักษณะและโครงสร้างของอุโบสถ	47
3.2.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุของอุโบสถวัดเชิงเลน	48
3.2.3 การจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุโบสถ	53
3.3 ตัวแปรที่ศึกษา	53
3.3.1 ตัวแปรต้น	53
3.3.1.1 เทคนิคการแก้ปัญหาการสะสมความชื้นในผนัง	53
(1) การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง	54
(2) การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้น	54
(3) การระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร	55
3.3.2 ตัวแปรตาม	56
3.3.3 ตัวแปรควบคุม	56
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในศึกษา	59
3.4.1 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO	59
3.4.1.1 Temperature/ RH Smart Sensor (S-THB-M00x)	59
3.4.2 โปรแกรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้น WUFI-2D	61
3.4.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	61
3.4.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของ เครื่องมือ	62
 บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	 63
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (calculation accuracy)	63
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถ	64
4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการ แก้ปัญหาความชื้นที่ช่วงความสูงต่าง ๆ	64

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้ท่อดินเผาระบาย ความชื้นออกจากผนังในช่วงความสูงต่าง ๆ	66
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีตัดความชื้นของผนัง ด้วยการแผ่นกั้นความชื้นในช่วงความสูงต่าง ๆ	68
4.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้รางระบายอากาศที่ ฐานอาคารในช่วงความสูงต่าง ๆ	70
4.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถที่ลดลง	72
4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 0.00-2.00 เมตร	72
4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร	73
4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 0.50-1.00 เมตร	74
4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 1.00-1.50 เมตร	75
4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 1.50-2.00 เมตร	76
4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถ หลังจากใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ระดับความสูง 0.00-0.30 เมตร	77
4.2.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธี แก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.30-0.86 เมตร	78
4.2.8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธี แก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.86-1.42 เมตร	79
4.2.9 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธี แก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 1.42-2.00 เมตร	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย	90
5.1.1 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนัง	91

	(11)
5.1.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังที่ลดลง	94
5.2 แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ	95
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	95
5.1.1 ข้อจำกัดในงานวิจัย	95
5.1.1 ข้อเสนอแนะ	96
รายการอ้างอิง	97
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวัดสภาพอากาศภายในอุโบสถวัดเชิงเลน	102
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติวัสดุของอิฐมอญ	104
ภาคผนวก ค วิธีการหาค่าความหนาแน่น (Bulk Density) และความพรุน (Porosity) ของอิฐมอญ	105
ภาคผนวก ง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติวัสดุของอิฐมอญ	107
ประวัติผู้เขียน	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางสรุปค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรม	27
2.2 ตารางสรุปปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ	43
3.1 ตารางสรุปคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง	42
4.1 ตารางสรุปค่า θ และ ϕ ใน Timestep ของการคำนวณที่ 17520 ที่ได้จากการจำลอง	63
4.2 ตารางแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับพื้นอาคาร	88
4.3 ตารางแสดงปริมาณน้ำในผนังอุโบสถที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับพื้นอาคาร	88
5.1 ตารางสรุปปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังอุโบสถที่ลดลง	93



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
2.1 ภาพแสดงผนังที่เกิดความชื้นจากน้ำใต้ดินโดยแรงยกตัว	9
2.2 อุโบสถมหาธาตุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร	10
2.3 อุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม จังหวัดเพชรบุรี	11
2.4 อุโบสถทรงคฤหิ์วัดเจติยทัฬง	12
2.5 อุโบสถทรงคฤหิ์แบบมุขลดวัดมหาวัน	13
2.6 ผนังของอุโบสถแบบมีมุขเด็จ	13
2.7 อุโบสถแบบมีมุขเด็จวัดหน้าพระเมรุ	13
2.8 อุโบสถมุขเด็จอย่างมุขลดใต้ชื่อวัดชุมพลนิกายาราม	13
2.9 ผนังอุโบสถแบบมีเฉลียงหน้าและหลังอุโบสถ	14
2.10 ผนังอุโบสถแบบมีเฉลียงหน้าอุโบสถ	14
2.11 อุโบสถแบบมุขหน้าหลังคาจันท์วัดดุสิตาราม	14
2.12 อุโบสถแบบมุขหน้าหลังคาเรือนขวางวัดมหาสมณาราม	15
2.13 วิหารวัดสำเภาแบบมุขหน้าหลังลดมุขวัดปราสาท	15
2.14 อุโบสถแบบมุขประเจ็ดวัดพระบรมธาตุนครศรีธรรมราช	16
2.15 วิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์	16
2.16 ผนังวิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์	16
2.17 อุโบสถแบบจัตุรมุขวัดเบญจมบพิตร	17
2.18 ผนังวิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์.	17
2.19 ภาพฐานรากแผ่ฐานรากแผ่แบบก่อทับ.	18
2.20 ภาพฐานรากแผ่แบบก่อกรอบ.	19
2.21 ภาพฐานรากแผ่แบบแพซุง.	20
2.22 ภาพฐานรากแผ่ถมโปรง.	20
2.23 ผนังเสาโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก	21
2.24 ผนังเสาโครงสร้างแบบผสม	22
2.25 ผนังเสารับน้ำหนักโครงสร้างระบบเสาคาน	22
2.26 ระบบโครงสร้างหลังคาจั้ววิหารวัดเขาพระบาทน้อย	23

2.27	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของการดูดซับความชื้นของวัสดุ	31
2.28	ระดับความชื้นที่ก่อให้เกิดความเสียหายในผนังอิฐ	33
2.29	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการทำบริเวณฐานอาคารให้แห้ง	35
2.30	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการทำฐานอาคารให้แห้งกรณีศึกษาอุโบสถวัดวัดโพธิ์ทองสวยจี.	35
2.31	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพง.	36
2.32	ผังพื้นของอุโบสถเก่าวัดไม้รวกแสดงตำแหน่งท่อดินเผาระบายความชื้น	37
2.33	รูปตัดของอุโบสถเก่าวัดไม้รวกแสดงตำแหน่งท่อดินเผาระบายความชื้น	37
2.34	แบบขยายวิธีการแก้ปัญหาความชื้นการใช้ท่อดินเผาระบายกรณีศึกษาอุโบสถเก่าวัดไม้รวก	38
2.35	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการใส่ชั้นกันความชื้น	39
2.36	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการกรดยกหรือย้ายอาคารของวัดเขมาภิรตาราม	39
2.37	การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานผนัง.	40
2.38	วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการระบายความชื้นออกจากภายในอาคาร	42
3.1	บริเวณด้านหน้าของอุโบสถ	46
3.2	บริเวณผนังภายในของวัดเชิงเลน	47
3.3	ลักษณะที่ตั้งของอุโบสถวัดเชิงเลนจังหวัดนครปฐม	47
3.4	ผังพื้นของอุโบสถวัดเชิงเลน	48
3.5	รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของอุโบสถวัดเชิงเลน	49
3.6	รูปด้านตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ของอุโบสถวัดเชิงเลน	49
3.7	รูปตัดของอุโบสถวัดเชิงเลน	50
3.8	แบบขยายคานคอดินของอุโบสถวัดเชิงเลน	50
3.9	แบบขยายหลังคาของอุโบสถวัดเชิงเลน	51
3.10	ตัวอย่างอิฐมอญของอุโบสถวัดเชิงเลนที่นำมาใช้ในการทดสอบ	52
3.11	แบบจำลองกรณีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D	53
3.12	การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D	54
3.13	การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D	55

3.14 การตัดความชื้นของผนังด้วยการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D	56
3.15 สภาพอากาศของจังหวัดนครปฐมที่ใช้ในการคำนวณ	57
3.16 การสร้างข้อมูลสภาพความชื้นใต้พื้นดิน (Hygrothermal Conditions Below Ground)	58
3.17 การตั้งค่าน้ำฝนที่ปะทะกับผิวผนังภายนอก	58
3.18 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO	60
3.19 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO	60
4.1 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์ก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ	64
4.2 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์ก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ	65
4.3 ระดับปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโมงค์ก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ ใน 1 ปี	66
4.4 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์กรณีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ	67
4.5 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์กรณีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ	67
4.6 ระดับปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์ก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ	68
4.7 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์กรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ	69
4.8 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ	69
4.9 ระดับปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์กรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ	70
4.10 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโมงค์กรณีใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ	70
4.11 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ	71

4.12	ระดับปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีการใช้วางระบายน้ำที่ขึ้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ ใน 1 ปี	72
4.13	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ หลังจากคำนวณเป็นระยะเวลา 1 ปี	73
4.14	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร	74
4.15	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.50-1.00 เมตร	75
4.16	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.00-1.50 เมตร	76
4.17	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.50 -2.00 เมตร	77
4.18	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.00-0.30 เมตร	78
4.19	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.30-0.86 เมตร	79
4.20	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.86-1.42 เมตร	80
4.21	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.42 -2.00 เมตร	81
4.22	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนกรณีก่อนใช้เทคนิคการบูรณะ	82
4.23	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง	82
4.24	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น	83
4.25	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีใช้วางระบายน้ำที่ฐานอาคาร	83
4.26	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีก่อนใช้เทคนิคการบูรณะ	84
4.27	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง	85
4.28	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น	85
4.29	ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีการใช้วางระบายน้ำที่ฐานอาคาร	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ความชื้นเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของผนังอุโบสถในประเทศไทยเนื่องจากส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับความเสียหายทางกายภาพของวัสดุไม่ว่าจะเป็นการหลุดร่อนของสีหรือสารเคลือบผิว การเกิดรอยต่าง การเกิดเชื้อราบนผนัง หรือแม้กระทั่งการแตกร้าวของผนังโครงสร้าง สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพผนังอุโบสถดังกล่าวเป็นผลมาจากหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ลักษณะเนื้อวัสดุของอิฐในผนังอุโบสถที่เป็นรูพรุนทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำฝนและการซึมขึ้นของน้ำจากใต้ดิน โครงสร้างของอุโบสถที่ไม่มีการออกแบบเพื่อป้องกันความชื้นหรือการซึมขึ้นน้ำจากบริเวณโดยรอบหรือไม่มีการออกแบบเพื่อการถ่ายเทอากาศอย่างเหมาะสม รวมถึงปัจจัยด้านสภาพอากาศของประเทศไทยที่เป็นสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี การเกิดน้ำท่วมในหลายพื้นที่โดยเฉพาะในเขตภาคกลางจนเกิดการสะสมและถ่ายเทปริมาณความชื้นในตัวอาคารตลอดเวลา ทำให้โบราณสถานเหล่านั้นเสื่อมสภาพและพังทลายลงอย่างรวดเร็ว (HMSO.1996; อรรถนัย เศรษฐบุตร, ฌฐนี วงศ์วีระนนท์ชัย และสริน พินิจ, 2556)

จากงานวิจัยในปัจจุบันพบว่ามีการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของอาคารโบราณสถานในหลายด้าน แต่ยังขาดการศึกษาในเรื่องวิธีการแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของผนังอุโบสถที่เกิดจากความชื้นจนเกิดเป็นองค์ความรู้เพื่อสร้างแนวทางในการป้องกันความเสื่อมสภาพจากความชื้นของอาคารโบราณสถานของประเทศไทย (สริน พินิจ, 2556) นอกจากนี้การดำเนินงานบูรณะและแก้ปัญหาความชื้นในอาคารโบราณสถานต่าง ๆ ของไทยในปัจจุบันยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมในด้านการบูรณะอาคารเก่า รวมถึงการเลือกวิธีการและวัสดุในการซ่อมแซมบูรณะมีความไม่เหมาะสมจนเกิดความเสียหายต่อโบราณสถานมากกว่าเดิม (พงษ์วิษณุ สุวรรณศรี, 2555)

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถและทำการศึกษาเทคนิคการบูรณะที่ใช้ในการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่มีอยู่ในปัจจุบันด้วยการใช้เครื่องมือและโปรแกรมจำลองการถ่ายเทความชื้นเพื่อช่วยในการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถได้และทำให้ทราบถึงลักษณะและสาเหตุของปัญหาความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังโบสถ์ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น นำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นที่ผนังอุโบสถที่มีถูกต้องตามหลักวิชาการและมีประสิทธิภาพโดยไม่สร้างความเสียหายแก่อุโบสถมากขึ้น

1.2 คำถามวิจัย

แนวทางการปรับปรุงผนังอุโบสถเพื่อแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถควรเป็นอย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้น (moisture transfer) ในผนังอุโบสถด้วยโปรแกรมจำลองการถ่ายเทความชื้น WUFI 2D

1.3.2 เพื่อศึกษาวิธีการแก้ปัญหาและพฤติกรรมของความชื้นที่เกิดขึ้นที่ในผนังอุโบสถ

1.3.3 เพื่อเสนอแนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถตามลักษณะการสะสมความชื้นที่เกิดขึ้น

1.4 ขอบเขตวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นในผนังโบสถ์โดยการศึกษาอุโบสถของวัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม

1.4.2 ทำการศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่มีอยู่ในปัจจุบันที่สามารถจำลองในโปรแกรมจำลองการถ่ายเทความชื้น WUFI 2D

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 การศึกษาเบื้องต้น

1.5.1.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่ใช้ในปัจจุบันและการถ่ายเทความชื้นในเนื้อวัสดุ

1.5.1.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างและวิธีก่อสร้างพระอุโบสถ หลังจากนั้นจึงกำหนดกรณีศึกษาที่จะใช้ในงานวิจัย

1.5.1.3 ศึกษาข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

1.5.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองและทดสอบโดยการจำลองด้วยโปรแกรมจำลองคอมพิวเตอร์ WUFID2D โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

1.5.2.1 ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดในผนังอุโบสถ

1.5.2.2 ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.5.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาเพื่อเลือกวิธีการที่ดีที่สุดในการลดความชื้นที่สะสมในผนังอุโบสถและเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้



1.6 กรอบแนวความคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดการวิจัย. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

1.7 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- 1.7.1 ทำให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถ
- 1.7.2 ทำให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นจากวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ
- 1.7.3 ได้แนวทางการปรับปรุงผนังอุโบสถเพื่อลดปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถได้อย่างเหมาะสมตามลักษณะการสะสมความชื้นที่เกิดขึ้น

1.8 นิยามศัพท์

- 1.8.1 อุโบสถ คือ อาคารที่ใช้ประกอบพิธีกรรมทางพุทธศาสนาระหว่างหมู่พระสงฆ์ มีผนังล้อมรอบทั้ง 4 ด้านและเป็นผนังก่ออิฐ
- 1.8.2 การถ่ายเทความชื้น คือ การเคลื่อนที่ของความชื้นในเนื้อวัสดุของผนังที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- 1.8.3 ข้อมูลสภาพอากาศ คือ ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงเป็นเวลา 2 ปีรวมทั้งสิ้น 17,520 ชั่วโมง เพื่อนำมาใช้ในการจำลองการถ่ายเทความชื้นในโปรแกรม WUFI2D

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ สามารถแบ่งออกเป็นประเด็นได้ดังนี้

- 2.1 ปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ
- 2.2 ลักษณะโครงสร้างและวิธีก่อสร้างอุโบสถ
- 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น
- 2.4 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ

ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถมีสาเหตุมาจากหลายประการ ทั้งจากความชื้นในดินที่ซึมเข้าผ่านผนังขึ้นมา ความชื้นจากน้ำฝนรั่วซึมผ่านหลังคา หรือมาจากน้ำท่วมขังที่ฐานรากใน ระดับชั้นใต้ดิน โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทที่มาของความชื้นในผนังอุโบสถได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 การซึมผ่านของน้ำฝน (Rain penetration)

น้ำฝนสามารถไหลซึมเข้าสู่ผนังอาคารผ่านบริเวณรอยต่อของผนังกับโครงสร้างอาคาร เช่น รอยต่อระหว่างผนังกับกรอบประตู รอยต่อระหว่างผนังกับกรอบหน้าต่าง รอยต่อระหว่างผนังกับหลังคาทำให้เกิดการสะสมความชื้นในผนังได้ โดยปัจจัยด้านความหนาของผนัง ความพรุนของวัสดุในผนังและโครงสร้างผนังมีอิทธิพลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำฝนในผนังอาคาร รวมถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ตั้งของอาคารที่ส่งผลต่อให้เกิดการซึมผ่านของน้ำฝนที่กระทำต่อพื้นผิวผนังภายนอกของอาคารมากขึ้น เช่น อาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก มีความเร็วลมสูงจะทำให้เกิดแรง

ประทะของน้ำฝนที่กระทำต่อพื้นผิวผนังมากขึ้นส่งผลให้น้ำฝนถูกดันเข้าสู่ผนังได้ลึกมากขึ้น ทิศทางของผนังที่หันรับแดดและฝนแตกต่างกัน (HMSO, 1996 ;Mora, 1974)

2.1.2 ความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำ (Condensation)

อาคารในสภาพอากาศเขตร้อนชื้นสามารถเกิดกับการควบแน่นของไอน้ำบนพื้นผิวผนังและภายในผนังอาคารได้ เมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวหรืออุณหภูมิภายในผนังมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) โดยอุณหภูมิจุดน้ำค้างหมายถึงอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของอากาศปกติก็จะน้อยลงและเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเท่ากับ 100% อุณหภูมิของอากาศจะมีค่าเดียวกับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (สุรียณ ศิริธรรมปิติ, 2542) การหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$T_{dew} = (112 + 0.9 T_{air})B - 112 + 0.1 T_{air}$$

เมื่อ

T_{dew} คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)

T คือ อุณหภูมิขณะนั้น (องศาเซลเซียส)

โดยที่ B คือ รากที่ 8 ของความชื้นสัมพัทธ์(RH)/100

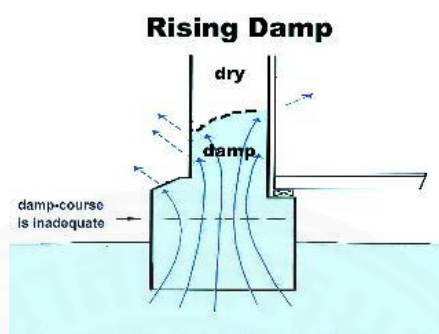
จากงานวิจัยของสุรียณ ศิริธรรมปิติ (สุรียณ ศิริธรรมปิติ, 2542) เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน : กรณีศึกษาพระอุโบสถวัดกำแพงได้อธิบายถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการควบแน่นในผนังอุโบสถได้แก่ (1) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (2) อุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ ภายในอาคาร (3) การเปลี่ยนแปลงและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวในแต่ละวัน (4) มวลสารและการหน่วงความร้อนของผนังอาคาร (5) ค่าการนำความร้อนของในอาคาร และ (6) จำนวนผู้ใช้งานอาคาร

ในงานวิจัยได้แสดงช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดการควบแน่นตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร โดยพบว่า การควบแน่นที่ผิวกระเบื้องหลังคาด้านในช่องใต้หลังคามักเกิดในช่วงเดือนมีนาคม เวลา 2.00 - 7.00 น. เนื่องจากกระเบื้องที่ใช้งานหลังคามีค่าการนำความร้อนสูงและมีมวลสารในการกักเก็บความร้อนน้อยทำให้อุณหภูมิพื้นผิวกระเบื้องลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืนซึ่งทำให้ผิวกระเบื้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคา ผนังช่วงที่ต่อกับหลังคาได้รับความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นที่ผิวด้านในของกระเบื้อง ผนังบริเวณดังกล่าวจึงมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ นอกจากบริเวณใต้หลังคา การควบแน่นยังพบในบริเวณผิวผนังภายในอุโบสถเนื่องจากวัสดุและความหนาของผนังอุโบสถ การควบแน่นมักเกิดในช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. ทำให้เกิดการหน่วงความร้อนของผนังส่งผลให้ผิวผนังด้านในอุโบสถมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในอุโบสถ นอกจากนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการควบแน่นของความชื้นบนผิวผนังอาคารโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงโดยเฉพาะในช่วงหน้าฝนหรือช่วงที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนมีนาคม นอกจากนี้ ในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้อาคารจำนวนมากก็อาจส่งผลให้เกิดการควบแน่นได้เนื่องจากผู้ใช้อาคารจะทำให้เกิดความชื้นจากการระเหยของน้ำจากตัวคนได้ ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในอุโบสถสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิจุดควบแน่นจะสูงตามไปด้วย ดังนั้นหากมีผู้ใช้ชานอาคารมากในวันที่อุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำก็มีโอกาสที่จะเกิดการควบแน่นที่ผิวผนังภายในได้เช่นกัน

2.1.3 ความชื้นจากน้ำใต้ดิน (Rising damp)

ลักษณะการสะสมความชื้นที่เกิดจากการแพร่ของน้ำใต้ดินในผนังจะปรากฏเป็นรอยคราบน้ำบริเวณส่วนล่างของผนังโดยการแพร่ของน้ำจะมีการเพิ่มระดับความสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จากระดับพื้นดินแพร่ ไปในพื้นที่ที่แห้งกว่าทั้งในแนวระนาบและแนวตั้งของผนัง ความชื้นใต้ดินยังเป็นสาเหตุให้เกิดการตกผลึกของเกลือบนผิวและภายในผนัง เนื่องจากน้ำจากใต้ดินมีสารผสมของเกลือเมื่อน้ำเข้าไปในผนังแล้วเกิดการระเหยออกจากผนังส่งผลให้ผลึกเกลือขึ้น หากผนังได้รับสารละลายเกลือจากน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นตลอดเวลาจะทำให้ผนังของเกลือโตขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันในรูพรุนของเนื้อวัสดุจนเกิดการผุกร่อนของเนื้อวัสดุ ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างผนังในที่สุด (Mora, 1974) ปัญหาความชื้นในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำในดินซึ่งหากอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากหรืออยู่ใกล้กับแหล่งน้ำต่าง ๆ ความชื้นในดินก็จะสูงตามไปด้วย การสะสมความชื้นของโครงสร้างส่วนล่างของอาคาร เช่น ฐานรากและห้องใต้ดินที่มีน้ำท่วมขังก็อาจส่งผลให้ความชื้นขึ้นไปสู่โครงสร้างผนังได้ รวมถึงลักษณะของเนื้อวัสดุในผนัง หากเป็นผนังทำจากวัสดุที่มีรูพรุนมากจะทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่จากดินขึ้นสู่ผนังได้มากตามไปด้วยโดย

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของไหลที่เรียกว่าแรงยกตัว (Capillary action) (ภาพที่2.1) ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของความชื้นที่เกิดจากแรงตึงผิวของรูพรุนในเนื้อวัสดุ (Halim & Halim, 2010; Ahmed & Rahman, 2010; Riley & Cotgrave, 2005)



ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงผนังที่เกิดความชื้นจากน้ำใต้ดินโดยแรงยกตัว (ที่มา: Exactly what is salt damp. โดย Salt Damp Shop)

2.2 ลักษณะโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างพระอุโบสถ

2.2.1 ความหมายของอุโบสถ

อุโบสถถือเป็นอาคารที่สำคัญภายในวัดเนื่องจากเป็นสถานที่ที่ใช้ประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ระหว่างหมู่ พระสงฆ์เช่นใช้เป็นสถานที่สำหรับพระสงฆ์และคฤหัสถ์มาประชุมกัน เพื่อแสดงธรรมและรับฟังธรรม สวดพระปาติโมกข์ อุปสมบท รวมถึงเป็นที่ประดิษฐานพระประธานที่เป็นพระพุทธรูปองค์สำคัญ ๆ การกำหนดขอบเขตพื้นที่ของอุโบสถจะกำหนดด้วยตำแหน่ง “สีมา” ที่ล้อมรอบอยู่ (สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี, 2552) ทั้งนี้อุโบสถยังมีความคล้ายคลึงกับวิหารในวัดของพุทธศาสนาโดยลักษณะและรูปแบบทางสถาปัตยกรรมตลอดจนองค์ประกอบประดับตกแต่งกล่าวได้ว่าไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากพระอุโบสถและพระวิหารและส่วนใหญ่จะใช้กฎเกณฑ์ ระเบียบแบบแผนในการสร้างเดียวกัน เพียงแต่วิหารจะใช้เป็นสถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนามาร่วมกันระหว่างพระภิกษุ สงฆ์กับฆราวาส เช่น งานถวายผ้าพระกฐิน งานทอดผ้าป่า งานทำบุญพิธีต่าง ๆ พระพุทธเจ้ามีการประดิษฐานพระพุทธรูปเสมือนเป็นที่ประทับของพระพุทธเจ้าคู่กับอุโบสถ วิหารจะไม่มีใบเสมาล้อมรอบเหมือนพระอุโบสถ

2.2.2 ประเภทของพระอุโบสถ

ประเภทของอุโบสถสามารถแบ่ง 3 ประเภทได้แก่ อุโบสถโถงเป็นอุโบสถ ไม่มีผนังหรือมีผนังเพียงแค่บางส่วน อุโบสถทึบเป็นอุโบสถที่มีผนังปิดล้อมตัวอาคารทั้ง 4 ด้าน มีการเจาะเปิดช่องประตูหน้าต่างตามช่วงเสา เป็นรูปแบบที่นิยมสร้างกันทั่วไปเนื่องจากป้องกันแดดลมฝนได้ดีกว่าแบบโถงและยังป้องกันขโมยได้ อุโบสถมหาอุด อุโบสถมหาอุด คืออุโบสถที่มีผนังล้อมรอบ มีเพียงประตูเพียงแค่ 1 หรือ 2 บานโดยไม่มีการเจาะช่องหน้าต่าง ภายในอาคารจึงมืดสนิท นิยมสร้างในสมัยอยุธยาตอนกลาง ผนังภายในสามารถเขียนจิตรกรรมฝาผนังได้ต่อเนื่องทั้งผืนเพราะไม่มีช่องหน้าต่าง (สีบพงศ์ จรรย์สีบศรี, 2552)

2.2.3 ลักษณะรูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอุโบสถ

อุโบสถส่วนใหญ่มีรูปแบบของผังเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีทางเข้าจากด้านสกัดหรือด้านแคบของอาคาร มีโถงซึ่งเป็นเพียงห้องเดียวของอาคารยาวลึกเข้าไป สูดปลายโถงเป็นที่ตั้งหรือประดิษฐานพระพุทธรูป แต่หากพิจารณาถึงรายละเอียดของรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ทั้งผัง รูปอาคารและทรงหลังคาแล้ว จะพบว่าอุโบสถมีรูปแบบดังต่อไปนี้ (สีบพงศ์ จรรย์สีบศรี, 2552)

2.2.3.1 อุโบสถแบบมีปีกนก

อุโบสถแบบมีปีกนกมีลักษณะอาคารเป็นผังรูป 4 เหลี่ยมผืนผ้า หลังคาประธานเป็นแบบทรงจั่ว มีการต่อเติมหลังคาซึ่งเรียกว่าปีกนกออกมาด้านข้างหลังคาประธานทั้ง 4 ด้าน มี 2 ลักษณะคือแบบมีพื้นที่ระเบียงรอบ ๆ ตัวอุโบสถเรียกว่าพาไล เช่น อุโบสถมหาธาตุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ภาพที่ 2.2) และแบบที่ไม่มีพาไล เช่น อุโบสถวัดพระศรีรัตนศาสดาราม (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 อุโบสถมหาธาตุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สีบพงศ์ จรรย์สีบศรี)



ภาพที่ 2.3 อุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม จังหวัดเพชรบุรี(ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3.2 อุโบสถแบบทรงคฤห์

ลักษณะอุโบสถที่มีผังรูป 4 เหลี่ยมผืนผ้า มี มีหลังคาเป็นแบบทรงจั่ว ด้านหน้าและหลังไม่ทำปีกนกคลุม มี 2 ลักษณะคือ แบบหลังคาตอนเดียวโดยอุโบสถจะมีหลังคาผืนเดียวคลุมยาวตั้งแต่หัวเรือนถึงท้ายเรือน อาคารลักษณะนี้จึงมีเพียงมุขเดียวทั้งด้านหน้าและหลัง เช่น อุโบสถทรงคฤห์วัดเจดีย์หลวง (ภาพที่ 2.4) ส่วนแบบมุขลดซึ่งเป็นการลดทอนหลังคาทั้งด้านสกัดหน้าและหลังให้สั้นลง โดยทำให้หลังคามีหลายชั้น ซึ่งแต่ละด้านอาจจะลดลงเป็นชั้น ๆ ประมาณ 2-3 ชั้น แล้วแต่ขนาดความยาวของอุโบสถเช่น อุโบสถทรงคฤห์แบบมุขลดวัดมหาวัน (ภาพที่ 2.5)



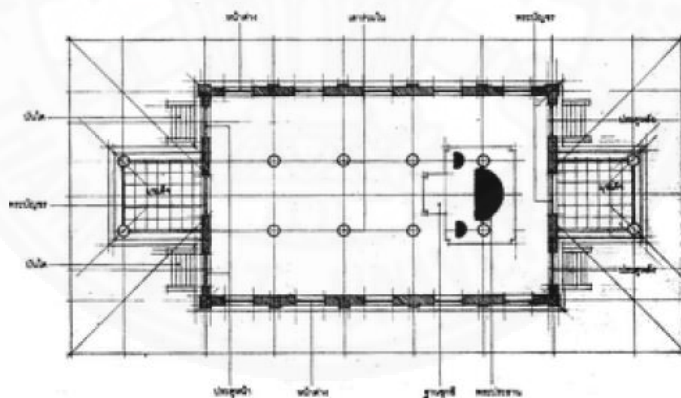
ภาพที่ 2.4 อุโบสถทรงคฤห์วัดเจดีย์หลวง (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.5 อุโบสถทรงคฤห์แบบมุขลดวัดมหาวันไทย (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3.3 อุโบสถแบบมุขเด็จ

อุโบสถที่มีผังรูป 4 เหลี่ยมผืนผ้า มีหลังคาคลุมแบบอุโบสถทรงคฤห์ โดยด้านหน้าและด้านหลังมีระเบียงยื่นออกมาซึ่งเรียกกันว่ามุขเด็จ ทำหลังคาล้อมตามรูปทรงหลังคาเรือนประธานและยกฐานอุโบสถ (ภาพที่ 2.6) มี 2 ลักษณะได้แก่ มุขเด็จที่ลดระดับสันหลังคาให้ต่ำลงมาอยู่ใต้บริเวณช่อของจั่วเรือนประธานเช่นผังอุโบสถมุขเด็จอย่างมุขลดใต้ช่อวัดชุมพลนิกายาราม (ภาพที่ 2.7) และแบบไม่ลดระดับมุขเด็จเช่น ผังอุโบสถแบบมีมุขเด็จจั่วหน้าพระเมรุ (ภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.6 ผังของอุโบสถแบบมีมุขเด็จ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



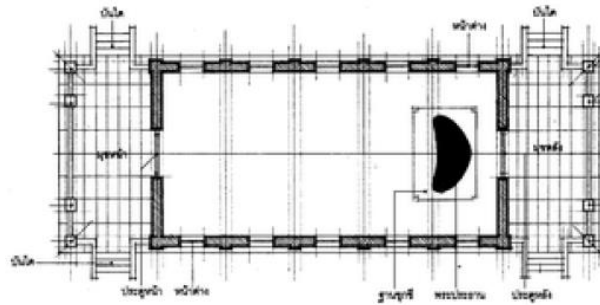
ภาพที่ 2.7 อุโบสถแบบมีมุขเด็จวัดหน้าพระเมรุ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืศรี)



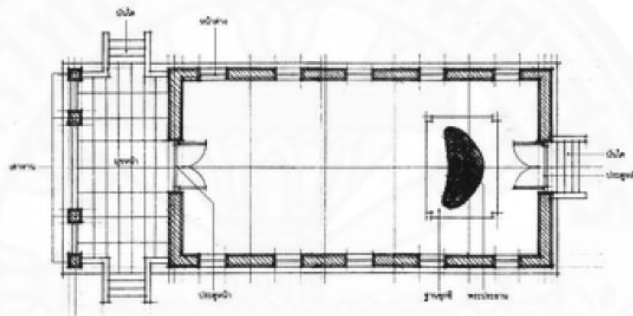
ภาพที่ 2.8 อุโบสถมุขเด็จอย่างมุขลดใต้ชื่อวัดชุมพลนิกายาราม. จาก เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืศรี)

2.2.3.4 อุโบสถแบบมีเฉลียง

อาคารที่มีผังรูป 4 เหลี่ยมผืนผ้า ทำหลังคาคลุมอย่างทรงคฤห์ เฉพาะด้านสกัดหน้า-หลังหรือเฉพาะด้านหน้าหรือด้านหลังด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวต่อเป็นเฉลียง(ภาพที่ 2.9, 2.10) โดยรูปทรงหลังคามี 3 ลักษณะได้แก่ แบบหลังคัจฉ์โดยมีเฉลียงที่ทำหลังคาเป็นเพิงหมาแหงนคลุม เช่น อุโบสถวัดดุสิตาราม (ภาพที่ 2.11) แบบเรือนขวางมีเฉลียงส่วนที่ต่อออกมาทั้งหน้าและหลังอุโบสถ มีหลังคาทรงจั่วคลุมบริเวณเฉลียงแต่เปลี่ยนแนวสันหลังคาให้ตั้งฉากกับสันหลังคาประธาน เช่น อุโบสถวัดมหาสมณาราม (ภาพที่ 2.12) แบบมุขลดคือเฉลียงที่ทำหลังคาเป็นอย่างทรงคฤห์ล้อกับเรือนประธาน โดยทำเป็นมุขลดลงมาอีก 1 ระดับ เช่น วิหารวัดสำเภา (ภาพที่ 2.13)



ภาพที่ 2.9 ผังอุโบสถแบบมีเฉลียงหน้าและหลังอุโบสถ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.10 ผังอุโบสถแบบมีเฉลียงหน้าอุโบสถ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.11 อุโบสถแบบมุขหน้าหลังคาจันทันหับวัดดุสิตาราม (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.12 อุโบสถแบบมุขหน้าหลังคาเรือนขวางวัดมหาสมณาราม (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.13 วิหารวัดสำเภาแบบมุขหน้าหลังลดมุขวัดปราสาท (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3.5 อุโบสถแบบมุขประเจ็ด

ลักษณะอุโบสถที่ทำหลังคาแบบมีปีกนกรอบ แต่ทำมุขลดให้ยื่นออกมาจากตำแหน่งปกติให้หลังคาลอยออกมาอยู่เหนือหลังคาปีกนกด้านหน้า เช่น อุโบสถวัดพระบรมธาตุ นครศรีธรรมราช (ภาพที่ 2.14)



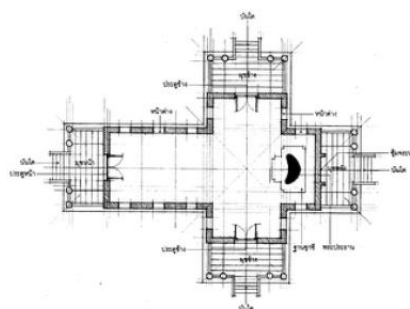
ภาพที่ 2.14 อุโบสถแบบมุขประเจ็ดวัดพระบรมธาตุนครศรีธรรมราช (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3.6 อุโบสถแบบตรีมุข

ลักษณะอุโบสถที่ต่อมุขเพิ่มขึ้นจากด้านยาวด้านใดด้านหนึ่งของผังรูป จนเกิดเป็นผังพื้นรูปตัวที (T) ทำให้อุโบสถหลังดังกล่าวมีหน้าจั่วขึ้น 3 ด้าน มีทางเข้าออกสู่ตัวอุโบสถได้ 3 ด้าน เช่น วิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์ (ภาพที่ 2.16, 2.17)



ภาพที่ 2.15 วิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



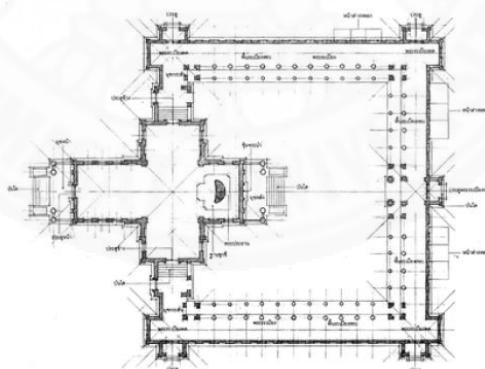
ภาพที่ 2.16 ผังวิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3.7 อุโบสถแบบจัตุรมุข

อุโบสถแบบจัตุรมุขมีลักษณะผังและรูปทรงเรีอนเป็นรูปเครื่องหมายบวก ทำให้อาคารมีมุขหรือหน้าจั่วหันออกทั้ง 4 ทิศ 4 ด้านเช่น อุโบสถวัดเบญจมบพิตร จังหวัด กรุงเทพมหานคร (ภาพที่ 2.17, 2.18)



ภาพที่ 2.17 อุโบสถแบบจัตุรมุขวัดเบญจมบพิตร (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)



ภาพที่ 2.18 ผังวิหารตรีมุขวัดบรมวงศ์ (ที่มา: เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.2.3 โครงสร้างและวัสดุที่ใช้ในพระอุโบสถ

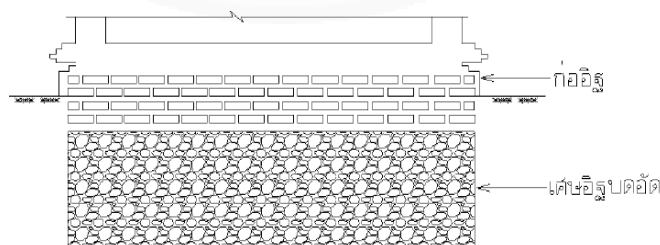
การอนุรักษ์ซ่อมแซมอุโบสถเพื่อแก้ปัญหาความชื้นในผนังจะต้องมีการศึกษาโครงสร้างและวัสดุซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการบูรณะ เนื่องจากแต่ละยุคจะมีวิธีการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้แตกต่างกันจึงทำให้พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นในผนังมีลักษณะแตกต่างกันไป งานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทของอุโบสถตามวิธีการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ระบบโครงสร้างฐานราก

ฐานรากของอุโบสถมักเป็นฐานรากแบบตื้นโดยฐานรากจะถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างลงสู่พื้นดินในระดับตื้นและฐานรากจะมีความกว้างยาวมากกว่าขนาดของที่ตัวโครงสร้างทำให้แรงกระทำจากโครงสร้างส่วนบนกระจายสู่พื้นที่ฐานราก การบดชั้นดินใต้ฐานรากนับเป็นส่วนที่ช่วยให้ฐานรากกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินได้อย่างสม่ำเสมอโดยวัสดุถมจะใช้ดิน ทราย อิฐหักหรือกรวดบดอัดให้แน่น (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547) ฐานรากแบบตื้นที่พบในอุโบสถสามารถจำแนกได้ดังนี้

(1) ฐานรากแผ่แบบก่อทับ

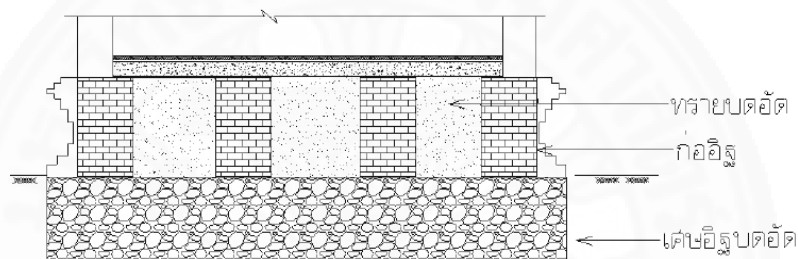
ฐานรากแผ่มีเทคนิคและใช้เครื่องมือการก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน วัสดุที่ใช้บดอัดมักใช้ดิน เศษอิฐหัก ฐานรากแผ่เป็นฐานรากที่อยู่ในระดับชั้นดินที่น้ำใต้ดินสามารถท่วมถึงได้ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างมีตั้งแต่ศิลาแลงจนถึงอิฐมอญ ข้อเสียของการฐานรากแบบนี้คือน้ำจากใต้ดินจะทำให้อิฐอุ้มน้ำหนักของฐานรากมากขึ้นและทำให้อิฐและวัสดุประสานบวม เปื่อยยุ่ย อาจเกิดการสะสมของความชื้นที่ฐานรากไปสู่ผนังก่อต่าง ๆ ได้ เช่น วัดพระนอนจังหวัดกำแพงเพชร (ภาพที่ 2.19) (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547)



ภาพที่ 2.19 ภาพฐานรากแผ่ฐานรากแผ่แบบก่อทับ (ที่มา: การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน : กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์. โดย พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี)

(2) ฐานรากแผ่แบบก่อกรอบ

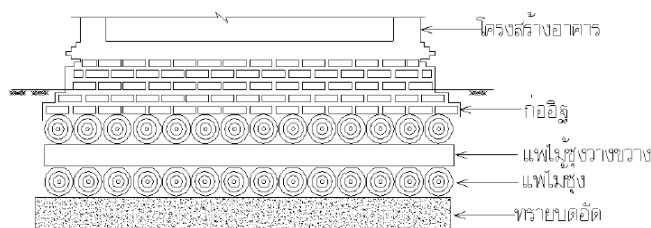
ฐานรากแผ่แบบก่อกรอบพบในอาคารที่ใช้แนวแกนอิฐเป็นตัวรับน้ำหนักอาคาร เช่น วิหารวัดหัตถดาวาส อุโบสถวัดมเหยงคณ์ในสมัยอยุธยา วัสดุที่ใช้บดอัดมักใช้ดิน จากนั้นนำวัสดุมาอัดบดและใส่เข้าไปในช่องว่างของกรอบให้แน่น เศษอิฐหักและคุณภาพการบดอัดของหินและดินอาจมีผลต่อการรับน้ำหนักเนื่องจากดินที่บดอัดภายในจะก่อให้เกิดแรงดันด้านข้างต่อกรอบฐานการก่อสร้าง มีโอกาสเกิดรากไม้ชอนไชผ่านช่องว่างในกรอบฐานรากเข้าไปทำลายโครงสร้างหรือทำให้เกิดความชื้นสะสมในฐานรากมากขึ้น ดังนั้นการก่อกรอบจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ (ภาพที่ 2.20)



ภาพที่ 2.20 ภาพฐานรากแผ่แบบก่อกรอบ (ที่มา: การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน : กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์. โดย พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี)

(3) ฐานรากแพซุง

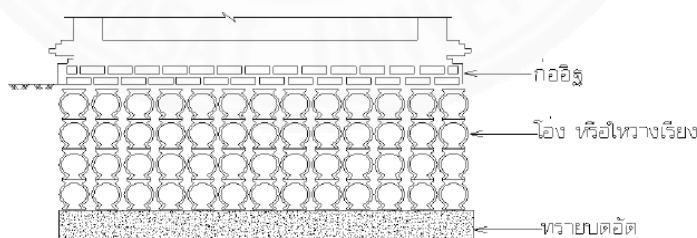
ฐานรากลักษณะนี้มักพบในอุโบสถที่อยู่ริมฝั่งแม่น้ำ เช่น อุโบสถวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร อุโบสถวัดพระศรีรัตนศาสดารามในสมัยรัตนโกสินทร์ ตอนต้น โดยฐานรากแบบนี้มีการใช้แพซุงวางเรียงบนพื้นดินที่บดอัดเต็มพื้นที่ฐานรากเพื่อกระจายแรงจากน้ำหนักของอาคารลงสู่ดินด้านล่าง ท่อนซุงสามารถรับแรงเฉือนจากน้ำหนักของอาคารได้อย่างดี ฐานรากไม้ซุงที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินหรืออยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินจะมีอายุการใช้งานได้นานนับร้อยปี ฐานแพซุงยังมีข้อเสียเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้คือเมื่อเวลาผ่านไประดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นจึงทำให้ไม้ซุงอยู่ในสถานะที่เปลี่ยนไปซึ่งมีผลทำให้ไม้ที่ใช้ทำฐานรากผุพังได้ (ภาพที่ 2.21) (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547)



ภาพที่ 2.21 ภาพฐานรากแผ่แบบแพะซุง (ที่มา: การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน : กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์. โดย พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี)

(4) ฐานรากแผ่ถมโปรง

ฐานรากแผ่ถมโปรงมีวิธีการก่อสร้างคือขุดดินลงไปให้ถึงชั้นดินที่รับน้ำหนัก รองด้วยวัสดุถมต่าง ๆ เช่น อิฐ ศิลาแลง ทราย ดินลูกรังหรือใช้ท่อนซุงวางเป็นตาราง จากนั้นจึงนำโอ่ง ต่อมดินเผา มาวางคว่ำ เรียงซ้อนกันและถมช่องว่างด้วยดินอัด (ภาพที่ 2.22) วิธีการถมโปรงนี้ช่วยทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อดินลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการบดอัดดินหรือวัสดุถมอื่น ๆ เต็มพื้นที่จึงช่วยลดการทรุดตัวของดินได้ แต่ฐานรากแบบนี้ไม่สามารถใช้รับน้ำหนักโครงสร้างหนัก ๆ ได้ จึงสามารถใช้เป็นแค่ฐานของพื้นอาคารเท่านั้น เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักของโอ่งไหอาจไม่เพียงพอ (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547) อุโบสถที่มีการใช้ฐานรากแผ่ถมโปรง เช่น อุโบสถวัดราชประดิษฐในสมัยรัชกาลที่ 4

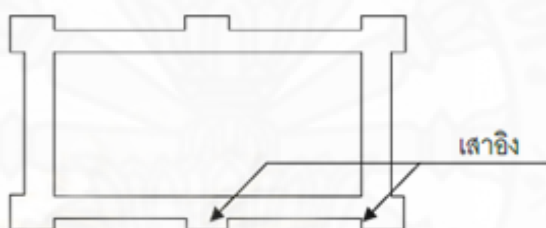


ภาพที่ 2.22 ภาพฐานรากแผ่ถมโปรง (ที่มา: การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน : กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์. โดย พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี)

2.2.3.2 ระบบโครงสร้างผนัง

(1) โครงสร้างผนังรับน้ำหนัก

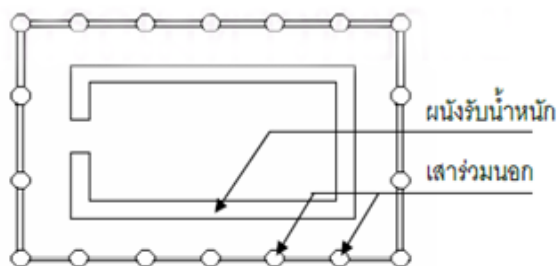
โครงสร้างผนังรับน้ำหนักเป็นโครงสร้างที่ใช้ผนังก่อในการรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบนโดยวัสดุก่อจะต้องรับน้ำหนักตัวเอง รวมถึงน้ำหนักของวัสดุส่วนบนและน้ำหนักหลังคา โครงสร้างแบบนี้จึงมีผนังหนาประมาณ 40-60 เซนติเมตร โดยทั่วไปกำหนดให้ต้องมีค้ำยันผนังทุก ๆ 18-24 เท่าของความหนาผนัง ในอาคารโบราณสถานของไทยจะใช้เสาอิงเป็นโครงสร้างค้ำยันให้ผนังแข็งแรง (ภาพที่ 2.23) โดยทั่วไปผนังโครงสร้างลักษณะนี้ไม่สามารถเจาะช่องเปิดจำนวนมากได้เนื่องจากการเจาะช่องเปิดบนผนังจำนวนมากจะทำให้ผนังมีความหนาเพิ่มขึ้น (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547) อุโบสถที่ใช้โครงสร้างผนังรับน้ำหนัก เช่น วิหารวัดมหาธาตุจังหวัดเชียงใหม่ อุโบสถวัดสีกาสมุด จังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ 2.23 ผนังเสาโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (ที่มา: พัฒนาการของก่อสร้างโบราณไทย. พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์)

(2) โครงสร้างผนังแบบผสม

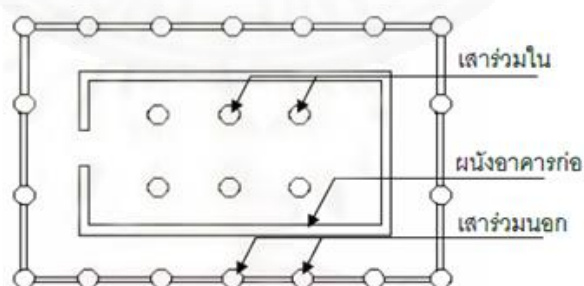
ระบบโครงสร้างที่ใช้ทั้งแบบผนังรับน้ำหนักและระบบเสาคานผสมกันในการรับน้ำหนักส่วนบนโดยจะใช้เสาร่วมกับผนังหนาในการรับน้ำหนัก ผนังในระบบโครงสร้างแบบนี้มีผนังหนาแต่มีความหนาน้อยกว่าแบบผนังรับน้ำหนัก เสาที่ใช้ในระบบนี้จะมีชื่อเรียกตามตำแหน่ง คือ เสาร่วมนอกและเสาร่วมในโดยเสาร่วมนอกคือเสาที่อยู่ด้านนอกผนังอาคารมีหน้าที่รับโครงสร้างหลังคาในส่วนปลายชายคาหรือระเบียง ส่วนเสาร่วมในคือเสาที่อยู่ในอาคารมีหน้าที่รับน้ำหนักหลังคาประธาน (ภาพที่ 2.24) อุโบสถที่ใช้โครงสร้างผนังแบบผสม เช่น อุโบสถวัดช้าง อุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม



ภาพที่ 2.24 ผนังเสาโครงสร้างแบบผสม (ที่มา: พัฒนาการของก่อสร้างโบราณไทย. พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์)

(3) ระบบเสาคาน

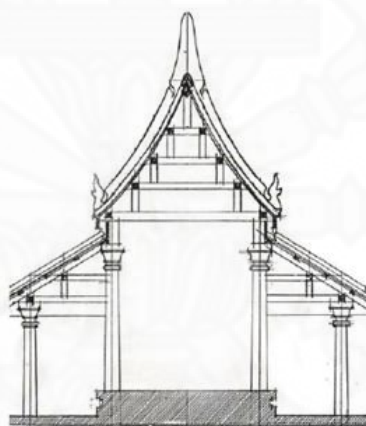
ระบบนี้น้ำหนักโครงสร้างส่วนบนจะส่งลงไปที่คานจากน้ำหนักคานส่งลงมาในทีโครงสร้างเสาและส่งถ่ายไปยังโครงสร้างฐานราก มีการใช้ระบบนี้ตั้งแต่ในสมัยอยุธยาเป็นโครงสร้างที่พบมากที่สุดในช่วงรัตนโกสินทร์โดยเฉพาะในช่วงรัชกาลที่ 1-2 เช่น เช่น วิหารจามเทวี วิหารวัดเจ้าย่า เนื่องจากสามารถก่อสร้างได้เร็วและใช้ผนังหนาน้อยกว่าสามารถสร้างอาคารให้กว้างขึ้นได้ สามารถเจาะช่องเปิดได้มากกว่าแบบผนังรับน้ำหนักรูปแบบผังโครงสร้างไม่แตกต่างจากรับโครงสร้างผสมมากนัก โดยส่วนมากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างจะมีทั้งอิฐ ไม้และศิลาแลง โดยมากมักใช้ไม้และก่อผนังชนเข้ากับเสาหรือใช้แผ่นไม้เป็นผนังก็มีและยังมีการใช้เสาไม้และก่ออิฐหุ้มเสาไม้ไว้เพื่อไม่ให้ไม้สัมผัสกับอากาศจนเกิดการผุ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบเสาคานไปผสมกับระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักอีกด้วย มีข้อเสียคืออุโบสถที่สร้างจากระบบเสาคานนิยมใช้ไม้ในการก่อสร้างดังนั้นจึงเป็นโครงสร้างที่มีอายุไม่ยืนยาวนัก (ภาพที่ 2.25) (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547)



ภาพที่ 2.25 ผนังเสารับน้ำหนักโครงสร้างระบบเสาคาน (ที่มา: พัฒนาการของก่อสร้างโบราณไทย. พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์)

2.2.3.3 ระบบโครงสร้างหลังคา

ระบบโครงสร้างโครงจั่วเป็นโครงสร้างไม้ที่รับน้ำหนักเครื่องมุง โดยการนำไม้มาประกอบเป็นโครงสร้างสามเหลี่ยมรูปแบบต่าง ๆ มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา สามารถใช้กับอุโบสถที่มีช่วงพาดกว้าง ๆ ได้ โครงสร้างจั่ว ส่วนมากจะใช้ไม้และอิฐเป็นองค์ประกอบหลักโดยเฉพาะไม้เป็นวัสดุที่สำคัญที่ใช้กำหนดขนาดของอาคารประเภทอุโบสถเนื่องจากขนาดไม้มีขีดจำกัดเมื่อนำมาผาดบนผนังหรือเสาเพื่อรับน้ำหนัก จึงต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างผนังหรือเสาประธานให้พอดี ไม้ที่ใช้ก่อสร้างมีหลายชนิด เช่น ไม้เต็ง ไม้สัก ไม้แดงซึ่งในสมัยก่อนหาไม่ยากและมีคุณภาพสูง วัสดุผนังหลังคาส่วนใหญ่ใช้กระเบื้องดินแบบกาบกล้วยและกระเบื้องดินขอและกระเบื้องไม้ที่มีรูปร่างเหมือนกระเบื้องดินขอ ในสมัยรัตนโกสินทร์มีการเคลือบกระเบื้องดินเผา การเคลือบสีกระเบื้องเพื่อความสวยงาม เช่น วิหารวัดเขาพระบาทน้อย (ภาพที่ 2.26) (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547)



ภาพที่ 2.26 ระบบโครงสร้างหลังคาจั่ววิหารวัดเขาพระบาทน้อย (ที่มา: พัฒนาการของก่อสร้างโบราณไทย. พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์)

2.2.5 วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างของอุโบสถ

ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ประกอบด้วย ความหนาแน่นของวัสดุที่แห้ง (Bulk density) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) และความพรุน (Porosity) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วัสดุที่มีค่าคุณสมบัติวัสดุดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 2.1)

2.2.5.1 วัสดุผนัง

(1) อิฐ

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างสำคัญที่ใช้ในการสร้างอุโบสถตั้งแต่ฐานราก พื้นจนถึงผนัง อิฐมอญทำจาก ดินเหนียว น้ำ และวัสดุที่ไม่มีความเหนียว เช่น ซีเมนต์กลบ ททราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุกโดยสามารถแบ่งชนิดของอิฐเป็น 2 ประเภทจากกรรมวิธีการผลิตดังนี้ อิฐที่ทำด้วยมือ อิฐชนิดนี้อาจมีขนาดไม่เท่ากันทุกแผ่น เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น แบบไม่เท่ากัน การอัดเข้าแบบไม่แน่น การหดตัวของโคลนที่ใช้ทำอิฐไม่เท่ากัน ส่วนผสมไม่สม่ำเสมอ อิฐที่อัดด้วยเครื่อง เป็นอิฐที่มีความแน่น ส่วนแบบหล่อทำจากเหล็กจึงทำให้ขนาดและความแน่นที่มีความสม่ำเสมอ ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าอยู่ในช่วง 1600 – 1800 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 0.840 จูลต่อกิโลแคลวิน (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าอยู่ในช่วง 1.12-1.14 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 8-9.5 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.20-0.40 m³/m³ (สมชาติ จึงสิริอารักษ์, 2540)

(2) ศิลาแลง

ศิลาแลงเป็นวัสดุในธรรมชาติอย่างหนึ่ง มีลักษณะคล้ายคลึงกับหิน มีลักษณะเป็นรูพรุน มีสีสนิมเหล็กหรือสีอิฐ มีผิวหยาบจึงทำให้ไม่สามารถแกะสลักลวดลายได้ละเอียด นิยมใช้ในการก่อสร้างศาสนสถานตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัยและมีการใช้อย่างแพร่หลายในสมัยสุโขทัย เนื่องจากศิลาแลงเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายได้พื้นที่จังหวัดสุโขทัย ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าอยู่ในช่วง 1600 – 2800 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 1000 จูลต่อกิโลแคลวิน (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-3.5 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 15-20 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 5.2-21.7 m³/m³

(3) ไม้

ไม้เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานโครงสร้างและงานตกแต่งต่าง ๆ ของอุโบสถ สามารถก่อสร้างได้เร็ว ไม้ที่นิยมนำมาก่อสร้างมักเป็นไม้เนื้อแข็งซึ่งเป็นไม้จำนวนมากที่มีอยู่ในป่าไม้ของประเทศไทย มีความแข็งแรงและน้ำหนักโครงสร้างได้ดีกว่าไม้เนื้ออ่อน เนื้อไม้มีสีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลแดง เช่น ไม้เต็ง ไม้ตะเคียน ไม้เสลา ไม้สัก ไม้แดง ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าอยู่ในช่วง 400-800 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 1600 จูลต่อกิโลเคลวิน (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-0.18 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 20-200 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.75 m³/m³

(2) ปูนดำ

ปูนดำเป็นปูนฉาบผิวผนังแบบโบราณ มีลักษณะเป็นปูนที่ผสมวัสดุต่าง ๆ เข้าไปโดยมีปูนขาว (CaO) เป็นหลัก ซึ่งได้จากหินปูน (CaCO₃) ที่ผ่านการเผาไฟ ผ่านการหมักน้ำผสมทราย เส้นใย กาว และผ่านการตำโขลกจนเป็นก้อนมีความยืดหยุ่นมากกว่าปูนฉาบสมัยใหม่ มีความแข็งแรงพอสมควร โดยทั่วไปการฉาบปูนดำที่ผิวผนังจะฉาบทั้งหมด 4 ครั้งให้มีความหนาประมาณ 11-23 มิลลิเมตร (สมชาติ จิงสิริอารักษ์, 2540) ปูนดำมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประมาณ 2 เท่า แสดงว่ามีความพรุนในเนื้อปูนดำมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งปริมาณความพรุนของปูนดำทำให้ความชื้นในผนังสามารถระเหยออกมาภายนอกได้ เนื่องจากงานวิจัยในปัจจุบันยังไม่มีทดสอบค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าคุณสมบัติของปูนฉาบ (Plaster) ที่มีส่วนผสมหลักเป็นปูนขาวกับทรายแทน โดยค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าอยู่ในช่วง 1600 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 1000 จูลต่อกิโลเคลวิน (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.8 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 6-10 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.30-0.60 m³/m³

2.2.5.2 วัสดุปูพื้น

วัสดุที่ใช้ปูพื้นของอุโบสถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้

(1) พื้นหินอ่อน

หินอ่อนเป็นวัสดุที่ใช้ในการตกแต่งพื้นผิว หินอ่อนมีเนื้อเป็นหินแต่เนื้อนั้น มีลักษณะพิเศษ คือ จะมีความอ่อนกว่าหินทั่ว ๆ ไป เมื่อนำหินอ่อนมาปูพื้นแล้วจะช่วยให้รู้สึกที่พื้น นุ่มไม่แข็งกระด้าง พื้นหินอ่อนจะต้องได้รับการดูแลรักษาที่ดีเป็นพิเศษ เนื่องจากถ้าปล่อยให้พื้นหินอ่อนเกิดรอยแล้วจะไม่สามารถแก้ไขได้ (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555)

ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าเท่ากับ 2800 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 1000 จูลต่อกิโลแคลอรี (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าเท่ากับ 3.5วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 10,000 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.13 m³/m³

(2) กระเบื้องดินเผา

เป็นกระเบื้องที่นิยมใช้ในอุโบสถหลายแห่ง มีผิวไม่ลื่น ระบายความชื้นแล ความร้อนได้ดี ทำให้อมความร้อนไว้นาน ดูดซับความชื้นได้ดี มีความแข็งแรงน้อยมากเมื่อเทียบกับ กระเบื้องชนิดอื่น ค่าวัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้ (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555) ค่า คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม(Bulk density) มีค่าเท่ากับ 2000 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 800 จูลต่อกิโลแคลอรี (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าอยู่ในช่วง 1 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 30-40 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.12 m³/m³

(3) กระเบื้องเซรามิก

กระเบื้องมีอัตราการซึมน้ำต่ำ เนื้อกระเบื้องมีความแน่นและแข็งแกร่ง ค่อนข้างสูง มีผิวสัมผัสลื่น (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555) ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) มีค่าเท่ากับ 2300 kg/m³ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) เท่ากับ 840 จูลต่อกิโลแคลอรี (3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าเท่ากับ 1.3วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (4) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าอยู่ในช่วง 30-40 (5) ค่าความพรุน (Porosity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.13 m³/m³

2.2.5.3 วัสดุผนังหลังคา

กระเบื้องเป็นวัสดุผนังที่นิยมนำมาผนังหลังคาของอุโบสถมีทั้งแบบทำจากดินเผาเคลือบสีและไม่เคลือบสีหรือทำจากไม้สัก มีรูปแบบหลายลักษณะ เช่น (พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์, 2547) กระเบื้องกาบกล้วยเป็นกระเบื้องผนังหลังคาดินเผา ลักษณะเป็นกระเบื้อง 2 แผ่นวางคร่อมกัน แผ่นหนึ่งหงาย รูปร่างแบน กระเบื้องเกล็ดปลา (หางมน) เป็นกระเบื้องมีรูปร่างแบน ปลายโค้งมน มีขออยู่ที่ปลายด้านตัด กระเบื้องแก้วเป็นกระเบื้องรูปสี่เหลี่ยมรูปว่าว มีขออยู่ตรงด้านประกอบมุมฉาก (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555)

ตารางที่ 2.2

ตารางสรุปค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรม

วัสดุ	Bulk density (kg/m ³)	Specific heat capacity (J/(kg·K))	Thermal conductivity (W/(m·K))	Water vapor diffusion resistance factor (-)	Porosity (m ³ /m ³)
อิฐ	1600 – 1800	0.84	1.12-1.14	8-9.5	0.20-0.40
ศิลาแลง	1600-2800	1000	0.55-3.5	15-20	0.052-0.217
ไม้	400-800	1600	0.12-0.18	20-200	0.55-0.75
ปูนดำ	1600	1000	0.8	6-10.00	0.30-0.60
พื้นหินอ่อน	2800	1000	3.5	10000	0.13
กระเบื้องปูพื้นดินเผากระเบื้อง กระเบื้องผนังหลังคาดินเผา	2000	800	1	30-40	0.12
กระเบื้องปูพื้นเซรามิค กระเบื้องผนังหลังคาเซรามิค	2300	840	1.3	10000	0.13

ที่มา: โดยผู้วิจัย (2561)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความชื้น

2.3.1 ความหมายและทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น

อากาศประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดรวมถึงไอน้ำที่แทรกอยู่ในอากาศ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเรียกว่าความชื้น สาเหตุของการเกิดความชื้นขึ้นในอาคารเกิดจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับอาคารมีหลายปัจจัย ได้แก่ การระเหยของแหล่งน้ำใกล้เคียงกับผิวอาคาร อาคาร การระเหยน้ำจากชั้นใต้ดินผ่านช่องและรอยต่อของวัสดุหรือผ่านช่องอากาศในวัสดุที่มีรูพรุน ไอน้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวในระดับต่าง เช่น การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การเกิดหมอก จากอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำไว้สูงสุดในที่จำกัดเรียกว่าจุดอิ่มตัว (Saturation point) หากปริมาณไอน้ำมีมากเกินไปจุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิกอากาศยอมรับได้จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (Heinz R. Trechsel, 2009)

2.3.1.1 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity)

ความชื้นสัมบูรณ์ คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศนั้น มีหน่วยวัดความชื้นสัมบูรณ์เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สุริยน ศิริธรรมปิติ, 2542)

$$AH = \frac{m_{H_2O}}{V_{net}}$$

เมื่อ

AH = ความชื้นสัมบูรณ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m_{H_2O} = มวลของไอน้ำในอากาศ (กรัม)

V_{net} = ปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)

2.3.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังนั้นการที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 0 หมายถึงอากาศขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย ณ อุณหภูมินั้น ๆ หรือการที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 แสดงว่าอากาศขณะอยู่ในช่วงอิ่มตัวที่ไม่สามารถรับไอน้ำมาเก็บไว้ใน

อากาศในอีกต่อไป ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้ามืดที่ดวงอาทิตย์เริ่มขึ้นซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์มีสมการคำนวณดังต่อไปนี้ (Heinz R. Trechsel, 2009)

$$RH = (AH \times 100\%) / mf$$

เมื่อ

AH= ความชื้นสัมบูรณ์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

mf= ความชื้นของอากาศอิ่มตัวหาได้จากตารางไซโครเมตริก (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

2.3.1.3 ความดันไอ (Vapor pressure)

ความดันไอคือความดันของไอน้ำในอากาศที่เกิดจากการระเหยของน้ำแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศ ความดันไอในอากาศมีผลต่อทิศทางการแพร่ของความชื้นในผนังโดยความชื้นจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันไอสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันไอลดกว่า การคำนวณหาค่าความกดไอน้ำโดยมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้ (สุรียน ศิริธรรมปิติ, 2542)

$$es(T) = 0.611 \times \text{EXP} (17.27 \times (T/(T+237.3)))$$

$$e = (rh / 100) \times es(T)$$

เมื่อ

es(T) = ความกดไอน้ำอิ่มตัวในขณะที่อุณหภูมิในบรรยากาศมีความชื้นสูงสุด (กิโลปาสคาล)

e = ความดันไอน้ำ (กิโลปาสคาล)

T= อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)

2.3.1.4 ปริมาณไอน้ำ (Moisture content)

ปริมาณไอน้ำคืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นหรือน้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักอากาศแห้งหรืออาจสามารถเรียกได้อีกอย่างว่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัมหรือกรัมต่อกิโลกรัม (Heinz R. Trechsel, 2009)

$$R = \frac{623e}{pd}$$

เมื่อ

R= ปริมาณไอน้ำหรืออัตราส่วนความชื้น (กิโลกรัมต่อกิโลกรัมหรือกรัมต่อกิโลกรัม)

e = ความกดไอน้ำ (บาร์)

Pd = ความกดอากาศของอากาศแห้ง (Pd = P-e) (บาร์)

P = ความกดดันของบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล (บาร์) มีค่าเท่ากับ 1.01325 บาร์โดย 1 บาร์ มีค่าเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล

2.3.1.5 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ปริมาณความชื้นของวัสดุที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมภายนอก วัสดุจะไม่มี การดูดและคายความชื้นจากอากาศรอบ ๆ จึงมีค่าความชื้นคงที่ ความชื้นจะไม่ลดลงอีก จะภาวะสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าต้องการให้ ความชื้นลดลงจากนี้ต้องเปลี่ยนสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุโดยการหาความชื้นสมดุลสามารถทำได้โดยการทดลอง โดยการปล่อยให้ วัสดุอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity) (HMSO, 1996)

2.3.2 การถ่ายเทความชื้นในวัสดุ

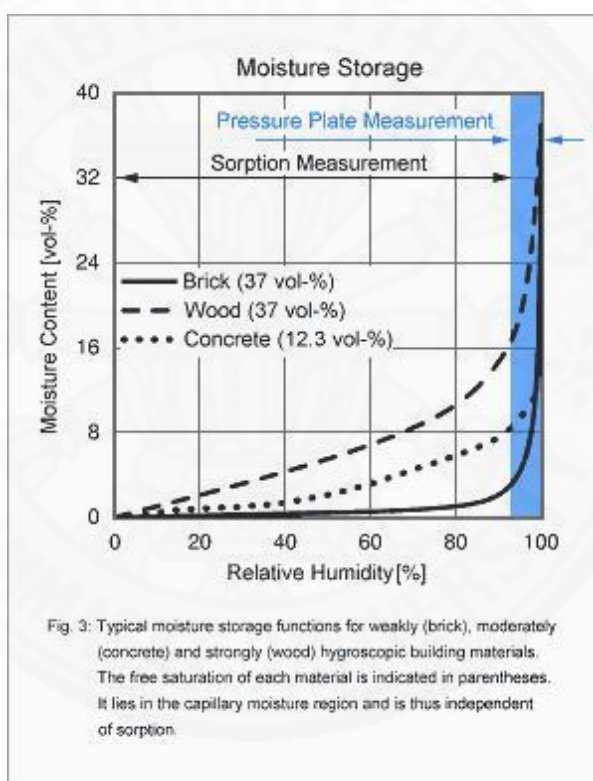
การถ่ายเทความชื้นในวัสดุประกอบด้วยพฤติกรรมดังต่อไปนี้

2.3.2.1 การกักเก็บความชื้นในเนื้อวัสดุ (Moisture storage)

วัสดุในอาคารจะประกอบด้วยวัสดุที่อุ้มน้ำและไม่อุ้มน้ำ (Hygroscopic and non-hygroscopic building materials) สำหรับวัสดุอาคารที่เป็นวัสดุที่อุ้มน้ำจะมีการดูดซับ ความชื้น(water vapor absorption) จากอากาศจนกว่าจะถึงจุดสมดุลความชื้น(Equilibrium moisture content)ในอากาศหรือการดูดซับไอน้ำของวัสดุ (Water vapor absorption) ส่วนใหญ่ การกักเก็บความชื้นในเนื้อวัสดุ ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมเป็นหลัก (Heinz R. Trechsel, 2009)

การกักเก็บความชื้นในเนื้อวัสดุสามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของวัสดุที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุมีรูปพหุน 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ ไม้และคอนกรีต (ภาพที่ 2.28) โดยปกติวัสดุจะดูดความชื้นจากอากาศรอบ ๆ เข้ามา

ในเนื้อวัสดุเรียกว่า ช่วงดูดความชื้นจากบรรยากาศ (Hygroscopic region) แต่เมื่อผิววัสดุสัมผัสกับน้ำจะถูกแรงคาพิลลารีในรูพรุนของเนื้อวัสดุ (Capillary-active) ดึงน้ำเข้ามาในเนื้อวัสดุจนถึงจุดความชื้นอิ่มตัว (Free water saturation) ค่าดังกล่าวของวัสดุอยู่ในจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 95% โดยจะเรียกปริมาณน้ำที่เกิดในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่มากกว่าจุดความชื้นอิ่มตัวนี้ว่าช่วงที่เกิดการดูดความชื้นโดยแรงคาพิลลารี (Capillary moisture region) สำหรับอิฐที่เป็นวัสดุที่มีรูพรุนมากจะมีช่วงที่เกิดการดูดความชื้นโดยแรงคาพิลลารีมากกว่าช่วงดูดความชื้นจากบรรยากาศ (Hygroscopic region) เมื่อเทียบวัสดุชนิดอื่น ๆ เช่น คอนกรีตและไม้ที่เนื้อวัสดุมีรูพรุนปานกลางจะมีช่วงที่เกิดการดูดความชื้นโดยแรงคาพิลลารีไม่มากเท่ากับอิฐ (ภาพที่ 2.27)



ภาพที่ 2.27 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของการดูดซับความชื้นของวัสดุ (Material-specific sorption) (ที่มา: *Moisture Transport in Building Materials*. โดย Fraunhofer IBP)

2.3.2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นในเนื้อวัสดุ

ในวัสดุก่อสร้างที่มีรูพรุนมีกลไกการถ่ายเทความชื้นที่พบได้ทั่วไปหลัก ๆ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

(1) การแพร่กระจายของไอน้ำ (vapor diffusion)

ในสถานะที่เนื้อวัสดุแห้ง ไอน้ำจากอากาศสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อวัสดุได้ โดยการแพร่เข้าไปในช่องอากาศของเนื้อวัสดุ ส่วนใหญ่การแพร่กระจายของไอน้ำนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการพาความร้อน (convection) ที่ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ทิศทางการแพร่กระจายของไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันต่ำกว่า เช่น ในสถานะที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ความดันไอน้ำของอากาศภายนอกจะมีความดันไอน้ำต่ำกว่าความดันไอน้ำภายในอาคาร ไอน้ำในผนังจึงแพร่จากผนังออกสู่อากาศภายนอกอาคาร โดยสมการที่ใช้คำนวณความดันของไอน้ำ ในผนังมีดังต่อไปนี้ (Heinz R. Trechsel, 2009)

$$M = \mu A \frac{\Delta P_w}{L}$$

เมื่อ

M = อัตราการส่งผ่านมวลรวมของไอ (นาโนกรัม/ วินาที)

A = พื้นที่ผิวทางตัดขวางของเส้นทางการไหล (ตารางเมตร)

ΔP_w = ความแตกต่างของความดันไอน้ำที่จุดปลายของเส้นทางการไหล (ปาสคาล)

L = ความยาวของเส้นทางการไหลหรือความหนาของผนัง (เมตร)

μ = อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำในวัสดุ (ไม่มีหน่วย)

(2) การแพร่กระจายบนพื้นผิว (Surface diffusion)

การแพร่กระจายบนพื้นผิวเกิดจากการเคลื่อนที่ของชั้นโมเลกุลน้ำที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของวัสดุจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นในสถานะที่วัสดุมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 60 โดยจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงไปยังบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำคือความชื้นสัมพัทธ์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการแพร่กระจายของน้ำบนพื้นผิว (Surface diffusion) จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการแพร่กระจายของไอน้ำ (Vapor diffusion) (Heinz R. Trechsel, 2009)

(3) การนำความชื้นโดยแรงแคปิลลารี (Capillary conduction)

การนำความชื้นโดยแรงแคปิลลารีเป็นกลไกการนำความชื้นที่เกิดจากแรงตึงผิวระหว่างน้ำและรูพรุนของวัสดุ กลไกนี้สามารถเกิดได้ในสถานะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น มีฝนสาด

ปะทะกับผิวผนังภายนอกหรือวัสดุผนังสัมผัสกับน้ำใต้ดิน โดยการคำนวณการนำความชื้นโดยแรงคาพิลลารีมีสมการดังต่อไปนี้ (Halim & Halim, 2010; Ahmed & Rahman, 2010; Riley & Cotgrave, 2005)

$$V = AS\sqrt{t}$$

เมื่อ

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

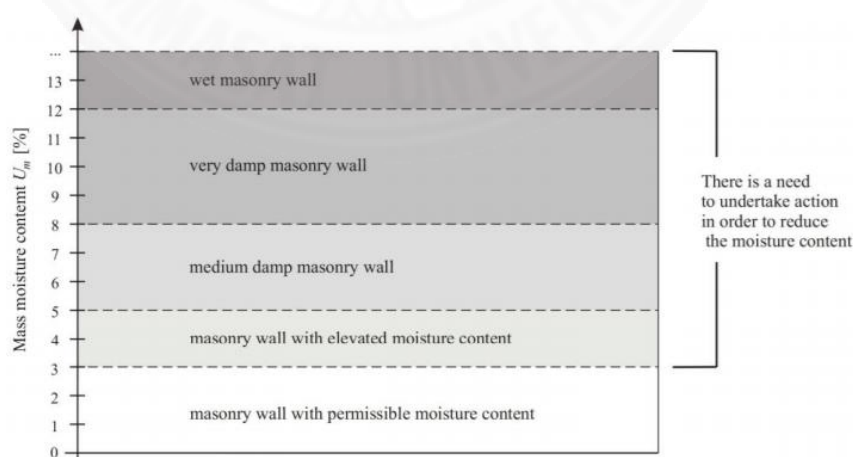
A = พื้นที่ตัดขวางของวัตถุที่ปลายด้านหนึ่งอยู่ติดกับแหล่งกำเนิดความชื้น (ตารางเมตร)

S = ค่าสภาพดูดซับในเนื้อวัสดุ (Sorptivity) ($m \cdot s^{-1/2}$ or $mm \cdot min^{-1/2}$)

t = เวลา (วินาที)

(4) ระดับความชื้นที่ก่อให้เกิดความเสียหายในวัสดุผนังอาคาร

ในช่วงเริ่มต้นของการบูรณะโบราณสถานต่าง ๆ ควรทำการตรวจสอบระดับปริมาณน้ำในผนังก่อน ระดับปริมาณน้ำในผนังถูกแบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ มีหน่วยเป็นร้อยละ (ภาพที่ 2.28) โดยทั่วไปปริมาณน้ำในผนังควรอยู่ในช่วงร้อยละ 0-3 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่หากปริมาณน้ำในผนังมีค่าเกินร้อยละ 3 จำเป็นต้องมีมาตรการเพื่อหาวิธีการลดปริมาณน้ำในผนังออกเพื่อให้เกิดความเสียหายกับผนังอาคาร (A Hola, 2017)



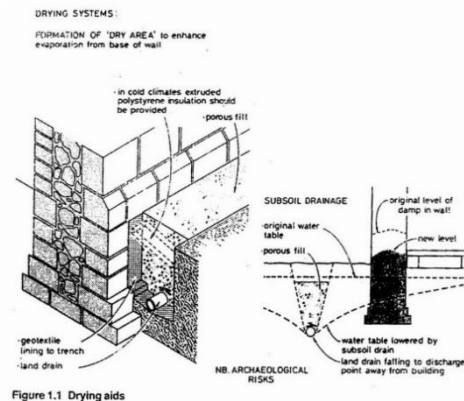
ภาพที่ 2.28 ระดับความชื้นที่ก่อให้เกิดความเสียหายในผนังอิฐ (ที่มา: Measuring of the moisture content in brick walls of historical buildings. โดย A Hola)

2.4 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ

ความเสียหายที่เกิดจากความชื้นที่ผนังของโบสถ์มีวิธีการบูรณะได้หลายวิธีโดยแนวทางการบูรณะใช้หลักการการอนุรักษ์ร่วมกับลักษณะความเสียหาย ต้นเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายจากปัญหาความชื้นรวมถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการบูรณะอาคารเก่าที่เลือกนำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ (1) การทำฐานอาคารให้แห้ง (2) การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพง (3) การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้น (4) การระบายความชื้นด้วยการเปิดช่องระบายความชื้นที่ผนัง (5) การยกหรือย้ายอาคาร

2.4.1 การทำฐานอาคารให้แห้ง

การทำฐานอาคารให้แห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกอาคารออกจากส่วนที่เปียกชื้นด้วยการใช้กำแพงกันและสร้างรางระบายอากาศใต้ดินเพื่อช่วยระเหยความชื้นในผนังเพื่อให้บริเวณฐานอาคารแห้งที่สุด การขุดวางระบายอากาศตามแนวฐานอาคาร โดยทั่วไปมีความลึกประมาณ 30-40 เซนติเมตรแล้ววางท่อระบายน้ำที่ท้องราง ถมเต็มด้วยกรวดก้อนใหญ่ วัสดุปูพื้นที่ชิดกำแพงใช้วัสดุที่ไม่ทึบตัน เช่น กรวด ททราย เพื่อให้ความชื้นใต้ดินสามารถระเหยขึ้นมาได้โดยไม่เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่กำแพง (ภาพที่ 2.29) จากการสืบค้นประวัติการบูรณะและซ่อมแซมโครงสร้างผนังของอุโบสถวัดโพธิ์ทองสวยจึงพบว่า ได้ใช้วิธีการนี้เพื่อให้ความชื้นในบริเวณฐานผนังสามารถระเหยออกได้และช่วยให้ความชื้นภายในดินสามารถระเหยออกจากดินไม่ให้ขึ้นไปสู่ตัวโครงสร้างมากเกินไป ในการเจาะพื้นฝังติดกำแพงของอุโบสถและเทกรวดทับด้านบนโดยรอบของอุโบสถ (สีบพงศ์ จรรย์สีปศรี, 2552) (ภาพที่ 2.30)



ภาพที่ 2.29 วิธีการแก้ปัญหาคความชื้นโดยการทำบริเวณฐานอาคารให้แห้ง (Drying System) (ที่มา: เทคนิคการซ่อมแซมอาคารอนุรักษ์และโบราณสถาน (ปัญหาคความชื้นในอาคาร). โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

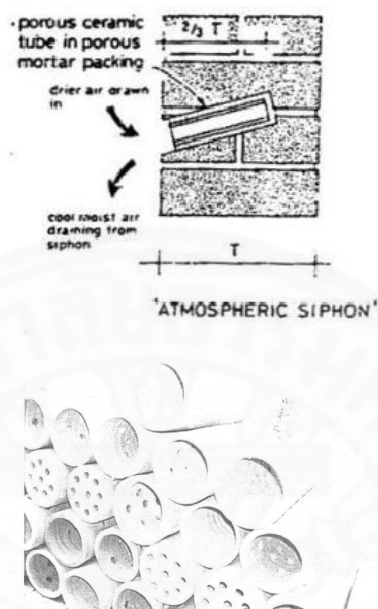


ภาพที่ 2.30 วิธีการแก้ปัญหาคความชื้นโดยการทำฐานอาคารให้แห้งกรณีศึกษาอุโบสถวัดโพธิ์ทอง สวายจิก (ที่มา: ประวัติการบูรณะ/ซ่อมแซม อุโบสถวัดโพธิ์ทองสวายจิก. โดย วัดโพธิ์ทองสวายจิก)

2.4.2 การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพง

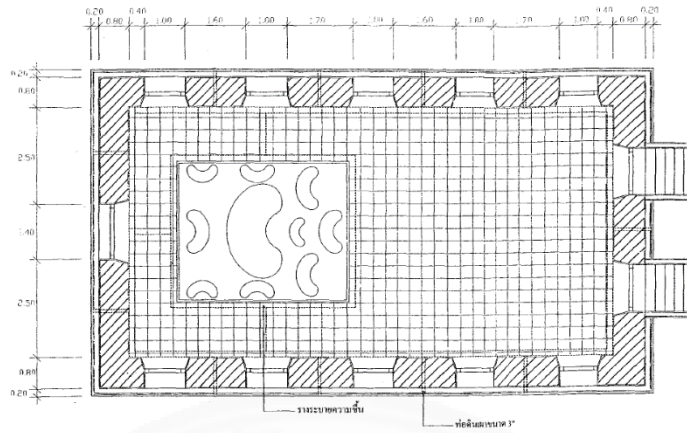
การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพงมีวิธีการโดยทำให้ความชื้นในกำแพงถูกดึงเข้าไปในท่อแห้งที่มีอากาศอยู่แล้วระเหยออก วิธีการบูรณะโดยเทคนิคดังกล่าวทำได้โดยการฝังท่อดินเผาเข้าไปในบริเวณที่ชื้นของกำแพง ลึกประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของความหนากำแพง ยกขึ้นประมาณ 10-15 องศา ยาดด้วยปูนขาวอ่อน ๆ รอบท่อ จากนั้นจึงใช้ฝาปิดช่องที่เจาะรูอีกที ปัญหาของวิธีการนี้คือน้ำหรือความชื้นที่ถูกดึงเข้ามาในท่อระเหยออกช้ามาก ไม่ทันกับปริมาณความชื้นที่เข้ามาทำให้ท่อกลายเป็นแหล่งสะสมความชื้นและเกลือ นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้หลักการคล้าย ๆ กับการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพงเช่น วัดเทวราชกุญชรในจังหวัด กรุงเทพมหานครมีการเจาะรูระบายอากาศรอบอาคารเพื่อลดระดับความชื้นจากใต้อาคารในวัด

เตวราชกุญชร การกรุผนังเป็นช่องเพื่อระบายความชื้นภายในของอาคารในวัดไชยทิศ จังหวัด กรุงเทพมหานคร (สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี, 2552) (ภาพที่ 2.31)

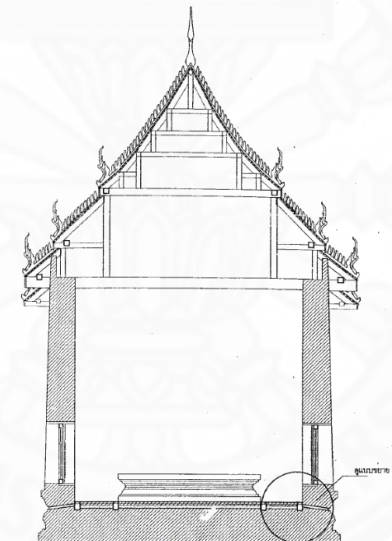


ภาพที่ 2.31 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพง) (ที่มา: เทคนิคการซ่อมแซมอาคารอนุรักษ์และโบราณสถาน (ปัญหาความชื้นในอาคาร). โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

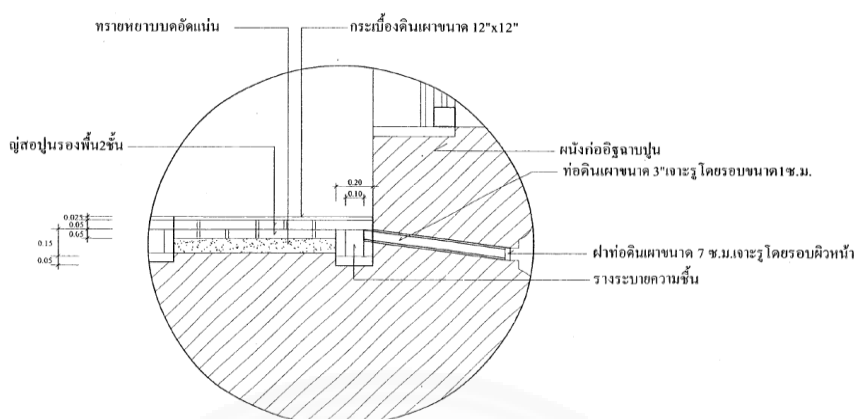
จากการสืบค้นรายงานการซ่อมแซมบูรณะของอุโบสถเก่าวัดไม้รวก จังหวัด พระนครศรีอยุธยาได้มีการใช้ท่อดินเผาขนาด 3 นิ้วทุก ๆ 85 เซนติเมตร ที่ฐานผนังของอุโบสถร่วมกับการฝังรางระบายน้ำไว้ภายในผนัง (ภาพที่ 2.32 -2.34) (บริษัท ชาญรุ่งโรจน์ จำกัด, 2551)



ภาพที่ 2.32 ผังพื้นของอุโบสถเก่าวัดไม้รวกแสดงตำแหน่งท่อนดินเผาระบายความชื้น (ที่มา: รายงานโครงการบูรณะซ่อมแซมอุโบสถ (หลังคา) ตำบลท่าเรือ อำเภوتاเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. โดยบริษัท ชาญรุ่งโรจน์ จำกัด)



ภาพที่ 2.33 รูปตัดของอุโบสถเก่าวัดไม้รวกแสดงตำแหน่งท่อนดินเผาระบายความชื้น (ที่มา: รายงานโครงการบูรณะซ่อมแซมอุโบสถ (หลังคา) ตำบลท่าเรือ อำเภوتاเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. โดยบริษัท ชาญรุ่งโรจน์ จำกัด)



ภาพที่ 2.34 แบบขยายวิธีการแก้ปัญหาความชื้นการใช้ท่อดินเผาระบายการณศึกษาอุโบสถเก่าวัดไม้รวก . (ที่มา: รายงานโครงการบูรณะซ่อมแซมอุโบสถ (หลังคา) ตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. โดย บริษัท ชาญรุ่งโรจน์ จำกัด)

2.4.3 การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้น

วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการใส่แผ่นกั้นน้ำซึ่งทำจากวัสดุหลายชนิดเช่น ทองแดง อลูมิเนียม สแตนเลสหรือเหล็กไร้สนิม แผ่นโพลีเอทิลีนชนิดหนาหุ้มด้วยคาร์บอนสีดำ ใส่ไว้ในผนังเป็นระยะ ๆ ตลอดแนว มีวิธีการบูรณะเทคนิคดังกล่าวโดยตัดฐานกำแพงให้ขาดทะลุเป็นช่วงเว้นช่วง หรือช่วงเว้นสองช่วงด้วยเลื่อยโซ่ งานไฟเบอร์ใหญ่ หรือใช้สว่านเจาะเป็นรูเรียงกันไป ช่วงละประมาณ 1 เมตร โดยรอยตัดต้องบางที่สุดเพื่อไม่ให้โครงสร้างพังทลาย ปัจจุบันนิยมใช้การฉีดยาโพลีเอสเตอร์เรซินเหลวเข้าไปในช่องตัดด้วย เมื่อแข็งตัวจะสามารถรับน้ำหนักได้ดีและกั้นน้ำได้ยิ่งขึ้น อุโบสถที่พบการแก้ปัญหาความชื้นด้วยวิธีการสอดแผ่นโลหะเพื่อเป็นการตัดแยกส่วนและสามารถป้องกันความชื้นจากใต้ดินสู่ผนังตอนบนของอาคาร ได้แก่ วัดโพธิ์บางโอ จังหวัดนนทบุรี (ภาพที่ 2.35) (สมชาติ จิงศิริอารักษ์, 2540)

จากการสืบค้นประวัติการบูรณะของวัดเปาโลหิตย์ พบว่า มีการตัดความชื้นของผนังด้วยการใส่แผ่นกั้นความชื้นที่ทำจากเหล็กปลอดสนิมรอบอาคารที่ฐานผนังสูงจากระดับภายใน 35 เซนติเมตร (กัญชวลี เวชวิมล, 2543)



ภาพที่ 2.35 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการใส่ชั้นกันความชื้น (ที่มา: เทคนิคการซ่อมแซมอาคารอนุรักษ์และโบราณสถาน (ปัญหาความชื้นในอาคาร). โดย สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี)

2.4.4 การยกหรือย้ายอาคาร

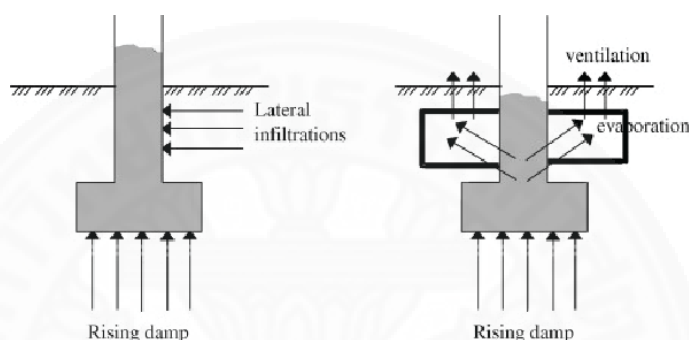
การยกหรือย้ายอาคารให้พ้นจากพื้นที่ที่มีความชื้นจากดินหรือพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมให้อาคารสูงกว่าระดับพื้นเดิมเพื่อไม่ให้ความชื้นขึ้นสู่อาคารได้ถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์อาคาร โดยการตัดส่วนของอาคาร ปรับยก เสริมโครงสร้างความมั่นคงและจัดทำส่วนฐานของอาคารใหม่ตามรูปแบบเดิม ส่วนฐานเดิมปล่อยให้จมเช่นเดิม ส่วนวิธีการการตัดย้ายอาคารมีวิธีการคือย้ายตำแหน่งอาคารโดยวิธีการตัดย้ายไปสร้างบนฐานรากใหม่ในที่ตั้งที่เหมาะสม มีระบบจัดการแก้ปัญหาเรื่องการระบายน้ำที่ดีกว่า วิธีการนี้มักใช้กับอาคารอิฐก่อที่มีขนาดเล็ก การตัดยกอาคารเพื่อให้สูงกว่าระดับพื้นเดิมได้นำไปใช้ในการแก้ปัญหาความชื้นจากใต้ดินที่วัดเขมาภิรตาราม จังหวัดนนทบุรี (ภาพที่ 2.36) (สมชาติ จิงศิริอารักษ์, 2540)



ภาพที่ 2.36 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการยกหรือย้ายอาคารของวัดเขมาภิรตาราม จังหวัดนนทบุรี (ที่มา: การทำนุบำรุง วัด ศาสนสถาน ศาสนวัตถุ และศิลปวัตถุ. โดย สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์)

2.4.5 การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร

สร้างรางระบายอากาศใต้ดินซึ่งทำจากคอนกรีต (concrete earthenware) เพื่อช่วยระเหยความชื้นที่บริเวณฐานอาคารแห่งที่สุตโดยการขุดรางระบายอากาศตามแนวฐานอาคาร โดยรอบอาคารโดยทั่วไปมีความลึกประมาณ 30-40 เซนติเมตรแล้ววางท่อระบายอากาศลงไป(ภาพที่ 2.37) บางครั้งมีการติดตั้งเครื่องระบายอากาศเพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้เพิ่มมากขึ้น (Torres, I., 2013)



ภาพที่ 2.37 การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานผนัง (ที่มา: Wall base ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channel. โดย Isabel M. Torres)

2.4.6 หลักการดำเนินงานและแนวทางในการเลือกวิธีลดความชื้นของผนังอุโบสถ

หลักการดำเนินงานและแนวทางในการเลือกวิธีลดความชื้นของผนังอุโบสถจะเริ่มจากการสำรวจสภาพของอาคารเพื่อพิจารณาความแข็งแรง ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น ภาพจิตรกรรมฝาผนัง สภาพแวดล้อมของอาคารโดยรอบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกวิธีบูรณะ การเลือกวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังสามารถเลือกได้มากกว่า 1 วิธีเพื่อให้ประสิทธิภาพการลดความชื้นในผนังได้ดียิ่งขึ้น เช่น กรณีที่เป็นผนังที่ไม่มีจิตรกรรมฝาผนังและมีช่องเปิดระบายอากาศสามารถเลือกใช้การฝังท่อระบายน้ำใต้ดินชิดกำแพงของอุโบสถเพื่อระบายน้ำออก ร่วมกับการฝังท่อระบายความชื้นในผนังกระจายทั่วผนังใน ส่วนในกรณีผนังที่มีจิตรกรรมฝาผนังจะไม่ใช้วิธีการดังกล่าวเนื่องจากจะทำให้ภาพจิตรกรรมเสียหายได้ การทำช่องระบายอากาศใต้ฐานอาคารเพื่อระบายความชื้น ร่วมกับการฝังท่อระบายความชื้นในผนังทุกบริเวณของผนัง หากผนังมีการเสื่อมสภาพมากไม่ควรใช้วิธีการตัดความชื้นด้วยแผ่นกั้นความชื้น เนื่องจากการตัดผนังเป็นช่วง ๆ จะทำให้อาคารเสี่ยงต่อการพังทลายมากขึ้น หากผนังมีความแข็งแรงสามารถใช้วิธีการตัดความชื้นที่ผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้นต่าง ๆ เช่น โลหะปลอดสนิม แผ่นโพลีเอทิลีนหุ้มด้วยคาร์บอน (สมชาติ จึงศิริอารักษ์, 2540)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาและการปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ

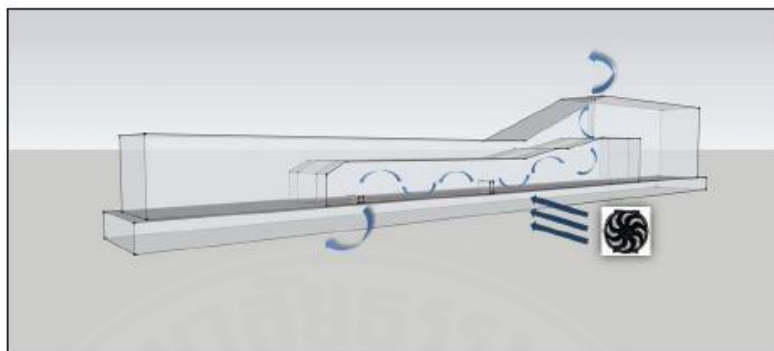
2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและการเสื่อมสภาพของผนังอาคาร โบราณสถานกรณีศึกษา : พระอุโบสถ วัดนิเวศธรรมประวัติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและการเสื่อมสภาพของผนังอาคาร วัดนิเวศธรรมประวัติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีการประเมินความเสียหายโดยการประเมินด้วยสายตาและตรวจวัดปริมาณความชื้น (moisture content) ที่เกิดขึ้นในวัสดุผนังภายในของอาคารโบราณสถาน จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณผิวผนังภายในอาคารกับปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นบริเวณผนัง วิธีการการประเมินความเสียหายของผิวผนังภายในอาคารจะแบ่งตำแหน่งการวัดเป็นระดับต่าง ๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสองตัวแปรคือระดับความเสียหายของผิวผนัง และปริมาณความชื้นพบความเสียหายมากผนังทิศตะวันตกเฉียงเหนือที่มาของความชื้นที่เกิดขึ้นอาจมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ เกิดการรั่วซึมจากหน้าต่างหรือหลังคาเป็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณผิวผนังภายในอาคารกับปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นมีความตรงกันข้าม ณ ตำแหน่งที่มีปริมาณความชื้นต่ำกลับพบความเสียหายมากและ ณ ตำแหน่งที่มีปริมาณความชื้นสูงกลับพบความเสียหายน้อย (สริน พิณีจ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณจัน เศรษฐบุต, 2553)

2.5.2 แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปไสยาสน์ วัดสะตือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ในงานวิจัยเรื่องแนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปไสยาสน์ วัดสะตือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาของผศ.ดร.อรุณจัน เศรษฐบุต ณิชูณี วงศ์วีระนนท์ชัย และสริน พิณีจ ได้มีการศึกษาความแปรปรวนของชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำภายในองค์พระประธานเพื่อเสนอแนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังด้วยวิธีการใช้พัดลมดูดอากาศ (Flush Out) เพื่อดูดความชื้นออกจากอากาศภายในองค์พระ (ภาพที่ 2.38) การศึกษาในงานวิจัยได้หาปริมาณไอน้ำที่ต้องนำออกจากภายในองค์พระจากการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 เดือนโดยวัดอุณหภูมิ กระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิหยดน้ำค้างทั้งภายในภายนอกองค์พระเพื่อดูรูปแบบของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอน้ำในแต่ละช่วงเวลาและนำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อหาปริมาณความชื้น (moisture content) ทั้งภายในและภายนอกองค์พระประธาน ทางผู้วิจัยได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาคือการระบายความชื้นที่สะสมภายในองค์พระออก (Flush Out) โดยทำได้ 2 วิธีคือใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อดูดเอาความชื้นออกสู่ภายนอกหรือใช้ลมธรรมชาติในการระบาย

อากาศโดยเจาะรูที่ฐานองค์พระประธาน (อรรจน์ เศรษฐบุตร , ธีฐนี วงศ์วีระนนท์ชัย และสริน พินิจ, 2556)



ภาพที่ 2.38 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการระบายความชื้นออกจากภายในอาคาร(Flush Out) (ที่มา: แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปไสยาสน์ วัดสะตือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. โดย อรรจน์ เศรษฐบุตร)

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้จัดกลุ่มประเภทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ (ตารางที่ 2.2)

(1) ความชื้นที่เกิดจากการซึมผ่านของฝนโดยมีปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมคือ ปริมาณน้ำฝนและแรงลมของพื้นที่ตั้งของอุโบสถ รวมถึงปัจจัยด้านคุณสมบัติของวัสดุคือความพรุนของเนื้อวัสดุ ตำแหน่งที่พบในผนังคือบริเวณผนังภายนอกอุโบสถโดยผ่านเข้ามาตามผนังที่ชำรุดเสียหาย ภายในเนื้อวัสดุของผนังโดยซึมผ่านที่ผิวผนังที่ถูกน้ำฝนสาดและสามารถเกิดบริเวณรอบ ๆ ผนังที่มีช่องเปิดหรือบริเวณที่มีรอยต่อวัสดุ เช่น ประตู หน้าต่าง หลังคา

(2) ความชื้นที่เกิดการควบแน่นมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ตั้งของอุโบสถ ส่วนปัจจัยด้านคุณสมบัติวัสดุได้แก่ อุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ ภายในอาคาร ค่าการนำความร้อนของวัสดุ การหน่วงความร้อนในผนัง รวมถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ คือจำนวนผู้ใช้อาคาร ตำแหน่งบนผนังที่มักเกิดความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นคือ บริเวณผิวผนังภายในอุโบสถและภายในเนื้อวัสดุของผนัง

(3) ความชื้นที่เกิดดินมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมได้แก่ ปริมาณความชื้นในดินของพื้นที่ตั้งซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ตั้งแหล่งน้ำและปริมาณน้ำฝนของพื้นที่ตั้ง ส่วนปัจจัยด้านคุณสมบัติวัสดุได้แก่ แรงคาพิลลารีที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุและความพรุนของเนื้อวัสดุ ตำแหน่งบนผนังที่เกิดความชื้นจากดินมักจะเป็นบริเวณฐานผนังอาคารซึ่งได้รับความชื้นจากดินที่ถูกส่งผ่านขึ้นมา

ตารางที่ 2.2

ตารางสรุปปัญหาความชื้นที่พบในผนังอุโบสถ

ประเภทของความชื้น	ปัจจัยที่ส่งผล	ตำแหน่งที่เกิดบนผนัง
การซึมผ่านของน้ำฝน	(1) ปริมาณน้ำฝน (2) แรงลม (3) ความพรุนของวัสดุ	(1) ผนังภายนอกอุโบสถโดยผ่านเข้ามาตามผนังที่ชำรุดหรือซึมผ่านที่ผิวผนัง (2) ภายในเนื้อวัสดุของผนัง (3) รอบ ๆ ผนังที่มีช่องเปิด เช่น ประตู หน้าต่าง หลังคา
การควบแน่น	(1) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (2) อุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ ภายในอาคาร (3) ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (4) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (5) การหน่วงความร้อนในผนัง (6) จำนวนผู้ใช้งาน	(1) ผิวผนังภายในอุโบสถ (2) ภายในผนัง
ความชื้นจากดิน	(1) แรงคาพิลลารี (2) ปริมาณความชื้นในดิน (3) ความพรุนของเนื้อวัสดุ (4) อยู่ใกล้แหล่งน้ำ (5) ปริมาณน้ำฝน	(1) ฐานผนัง

ที่มา: โดยผู้วิจัย (2560)

การศึกษาและทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงที่มาและปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ กระบวนการวิจัยในการศึกษาความชื้นในผนังตั้งแต่วิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามไปจนถึงการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย ข้อจำกัดในงานวิจัยต่าง ๆ ที่พบมีหลายประการได้แก่ (1) ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถใช้ได้กับอุโบสถที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ (2) ข้อจำกัดด้านเวลาในการเก็บข้อมูลภาคสนามที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ทุกเดือนหรือทุกช่วงฤดูต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถศึกษาปริมาณการสะสมความชื้นในผนังที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนหรือฤดูกาลได้ (3) งานวิจัยที่ศึกษาปัญหาความชื้นในผนังส่วนมากจะศึกษาเฉพาะโครงสร้างผนังเพียงอย่างเดียวซึ่งในการศึกษาความชื้นในผนังควรมีการศึกษาความชื้นที่ส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาคารด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมจำลองเพื่อช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องข้อมูลด้านสภาพอากาศบางอย่างจากกรมอุตุนิยมวิทยามีจำกัด เช่น ค่ารังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงใน 1 ปีที่มีการเก็บข้อมูลเฉพาะในจังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น จึงทำให้อุโบสถที่ใช้ในการศึกษาจำเป็นต้องอยู่ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเพื่อไม่ให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคลาดเคลื่อนมากเกินไป ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้ได้กับอุโบสถที่ตั้งพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเท่านั้น

บทที่ 3

วิธีวิจัย

3.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในผนังอุโบสถ ขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

3.1.1 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในผนังอุโบสถ

ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในผนังอุโบสถกรณีพื้นฐาน (Base case) ด้วยโปรแกรม WUFI-2D ได้แก่ ปริมาณน้ำเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ในผนังตามตำแหน่งความสูงต่าง ๆ โดยมีรอบการคำนวณเป็นรายชั่วโมงในเวลา 2 ปี

3.1.2 การศึกษาวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถที่มีอยู่ในปัจจุบัน (1) การระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร (2) การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้น (3) การใช้รางระบายอากาศที่ฐานอาคาร (Wall base ventilation) เพื่อดูความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังที่ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน (Base case)

3.1.3 การเสนอแนวทางในการเลือกวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ

เสนอวิธีการเลือกเทคนิคการบูรณะที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาความชื้นในผนังที่มีประสิทธิภาพที่สุดตามพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในผนังที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของผนังและช่วงเวลา

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

อุโบสถของวัดเชิงเลน ตั้งอยู่ในอำเภอสสามพราน จังหวัดนครปฐม สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2489 อุโบสถดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบท ติดกับแม่น้ำท่าจีนและชุมชนวัดเชิงเลน ตัวอุโบสถมีความกว้าง 7 เมตร ยาว 17 เมตร มีทางเข้าออก 2 ด้าน หน้าอุโบสถหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 3.1) หลังคาของอุโบสถเป็นหลังคาแบบมีปีกนก มี 2 มุขแบบมีเสา

พะไลรอบ ทำให้อาคารมีระเบียบทางเดิน จากการสำรวจผนังทั้งภายในและภายนอกพบว่าผนังมีความทรุดโทรมค่อนข้างมาก ในอดีตตัวอุโบสถได้มีการซ่อมแซมเพียงบางจุด แต่ไม่เคยมีการบูรณะซ่อมแซมผนังมาก่อน เมื่อตรวจสอบความเสียหายจากความชื้นที่ผนังภายนอกพบว่ามีเชื้อราขึ้นตามผนังและมีบางจุดที่สีหลุดลอก ส่วนการตรวจสอบความเสียหายจากความชื้นที่ผนังภายในพบว่าพื้นผิวผนังจะมีเชื้อราขึ้นบนผนังบางจุด สีที่ผนังมีการผุพังและมีการหลุดลอกของภาพจิตรกรรมฝาผนัง (ภาพที่ 3.2, 3.3) การสำรวจพื้นรอบ ๆ วัดพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลให้เกิดความชื้นสูงในพระอุโบสถได้แก่ ตัวอุโบสถอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ โดยห่างจากแม่น้ำท่าจีนประมาณ 51 เมตร และคลองบริเวณใกล้เคียงประมาณ 19.5 เมตร อีกทั้งยังอยู่ใกล้กับบ่อน้ำที่วัดสร้างไว้ประมาณ 4 เมตร ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวจึงมีความชื้นในดินใกล้กับพระอุโบสถมากกว่าปกติ นอกจากนี้ภายในพื้นที่วัดยังมีการปลูกต้นไม้จำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ทำให้เกิดความชื้นโดยรอบ ๆ อุโบสถได้เช่นกัน (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.1 บริเวณด้านหน้าของอุโบสถวัดเชิงเลน จังหวัดนครปฐม. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



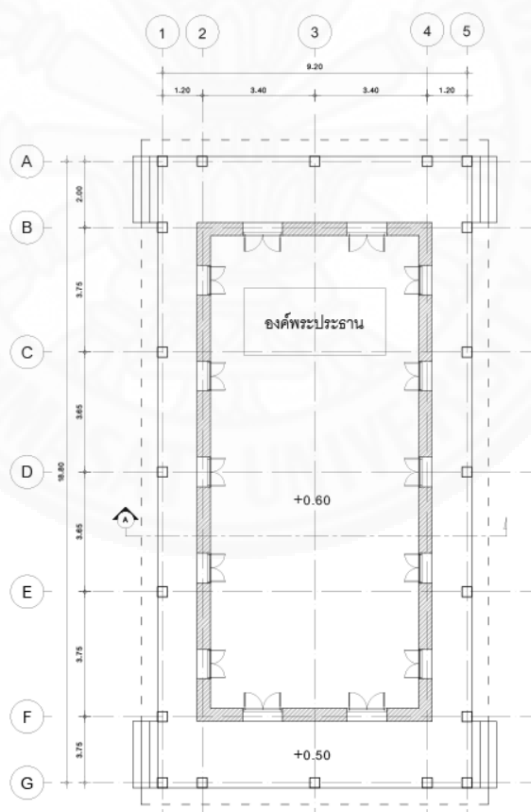
ภาพที่ 3.2 บริเวณผนังภายในของวัดเชิงเลน.โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



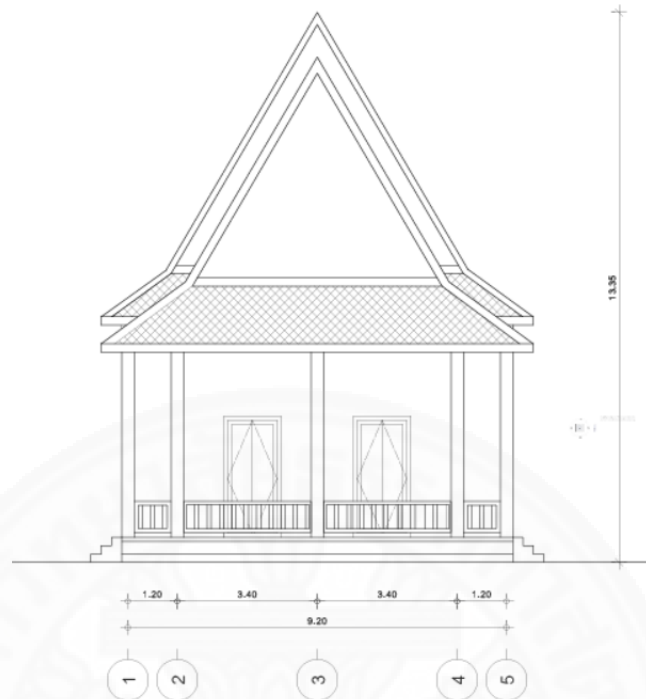
ภาพที่ 3.3 ลักษณะที่ตั้งของอุโบสถวัดเชิงเลนจังหวัดนครปฐม.โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

3.2.1 ลักษณะและโครงสร้างของอุโบสถ

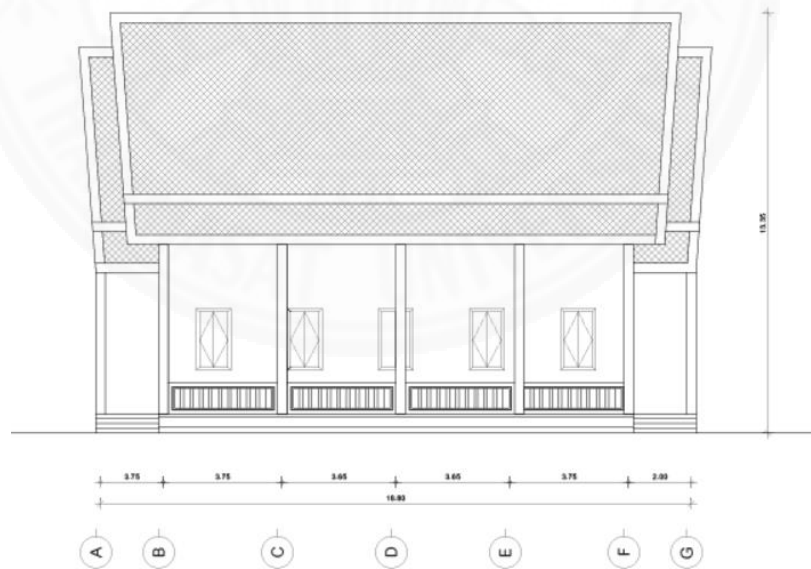
อุโบสถมีขนาดความกว้าง 7 เมตร ยาว 17 เมตร มีทางเข้าออก 2 ด้าน หลังคาของวัดเป็นหลังคาทรงจั่วแบบมีปีกนกมี 2 มุขแบบมีเสาพะไลรอบโดยโครงสร้างหลังคาทำจากไม้เนื้อแข็ง มุงหลังคาด้วยกระเบื้องดินเผาแบบเคลือบ หน้าบันของหลังคาอุโบสถก่อด้วยผนังอิฐหนา 10 เซนติเมตรแล้วปิดผิวด้วยกระจกสีฟ้า เพดานเป็นเพดานคอนกรีต โครงสร้างผนังอุโบสถเป็นโครงสร้างเสาคานผนังก่ออิฐเต็มมีความหนา 40 เซนติเมตร ฉาบผิวผนังผิวภายนอกด้วยปูนดำแล้วทาสีผนังด้วยสีพลาสติกสีขาว ส่วนผนังภายในอุโบสถมีความสูงจากพื้นถึงเพดาน 6.4 เมตร ฐานอุโบสถยกพื้นสูงจากระดับพื้นดิน 60 เซนติเมตร ผนังฉาบด้วยปูนดำ ฐานรากของอุโบสถเป็นฐานรากแผ่แบบก่อกรอบซึ่งเป็นฐานรากที่มักใช้ในอาคารที่มีผังแบบมีเสาพาไล โดยมีวิธีการก่อสร้างคือขุดคลองรากแล้วเทคอนกรีตก่อเป็นกรอบหรือเป็นช่องตามแนวผนังหรือเสาแล้วถมช่องว่างด้วยดินเหนียวอัดแน่นหลังจากนั้นเทพื้นปูนแล้วปูพื้นภายในด้วยกระเบื้องหินอ่อน (ภาพที่ 3.4 - 3.9)



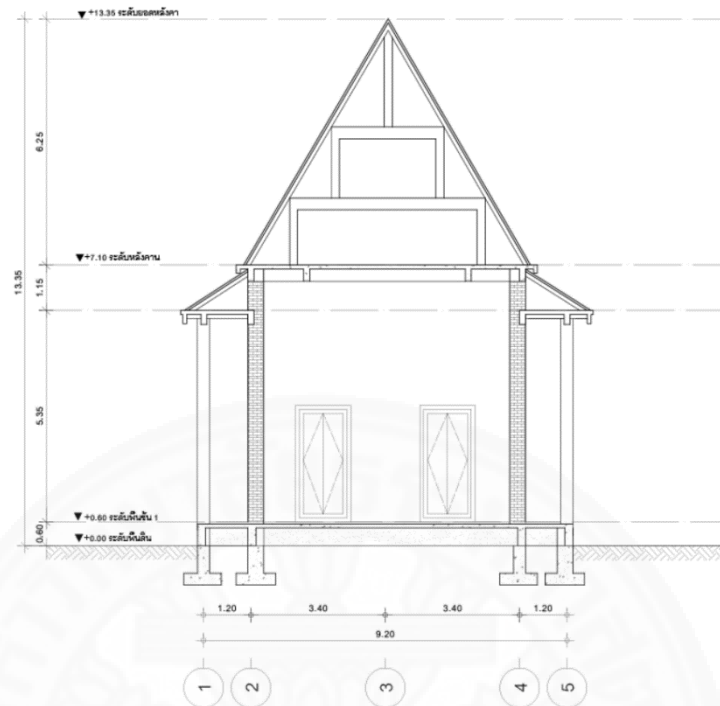
ภาพที่ 3.4 ผังพื้นของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



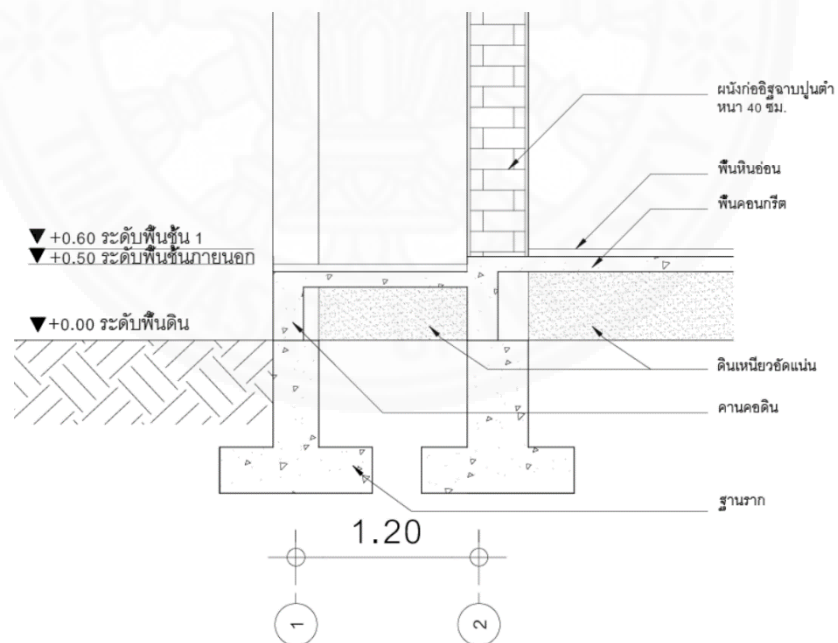
ภาพที่ 3.5 รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย.
2560



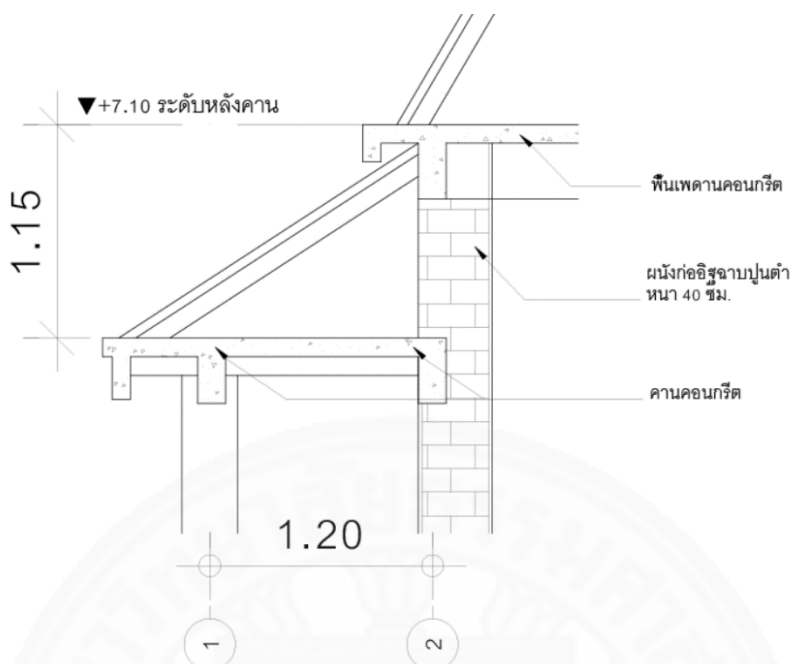
ภาพที่ 3.6 รูปด้านตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย.
2560



ภาพที่ 3.7 รูปตัดของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



ภาพที่ 3.8 แบบขยายคานาคอนกรีตของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



ภาพที่ 3.9 แบบขยายหลังคาของอุโบสถวัดเชิงเลน. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

3.2.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุของอุโบสถวัดเชิงเลน

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐมอญของอุโบสถวัดเชิงเลน (ภาพที่ 3.10) เพื่อนำมาทดสอบค่าคุณสมบัติของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM C20-00 (ASTM, 2015) โดยตัดแบ่งอิฐตัวอย่างให้มีขนาดกว้าง 4 นิ้ว ยาว 4 นิ้วและสูง 2 นิ้วแล้วนำไปทดสอบ ค่าที่ทดสอบได้แก่ ความหนาแน่นและค่าความพรุน ส่วนค่าความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน และค่าความต้านทานการแพร่ของน้ำจะอ้างอิงจากงานวิจัยที่ทำการทดสอบอิฐมอญโบราณที่เก็บจากโบราณสถาน โดยค่าคุณสมบัติวัสดุประกอบด้วยค่าดังต่อไปนี้

- (1) ความหนาแน่นของวัสดุ (Bulk density) มีค่าเท่ากับ 1839 kg/m³
- (2) ความพรุน (Porosity) มีค่าเท่ากับ 0.36 m³/m³
- (3) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) มีค่าเท่ากับ 960 J/kgK

(H. Cagnon, 2014)

- (4) ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) มีค่าเท่ากับ 0.525 W/mK

(H. Cagnon, 2014)

- (5) ค่าความต้านทานการแพร่ของน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) มีค่าเท่ากับ 16 (H. Cagnon, 2014)

เมื่อได้ค่าทดสอบคุณสมบัติของวัสดุได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติวัสดุของอิฐโบราณเวียนนา (Historical Vienna brick) ในโปรแกรม WUFI-2D พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน จึง

เลือกใช้วัสดุนี้ในการจำลองวัสดุของผนังอุโบสถ นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่น ๆ ในส่วนประกอบส่วนอื่น ๆ ของอุโบสถได้แก่ คอนกรีต ปูนตำฉาบผนังและพื้นกระเบื้อง (ตารางที่ 3.1)



ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างอิฐมอญของอุโบสถวัดเชิงเลนที่นำมาใช้ในการทดสอบ. โดย ผู้ทำวิจัย.2560

ตารางที่ 3.1

ตารางสรุปคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

วัสดุ	Bulk density (kg/m ³)	Specific heat capacity (J/(kg·K))	Thermal conductivity (W/(m·K))	Water vapor diffusion resistance factor (-)	Porosity (m ³ /m ³)
อิฐ	1560	850	0.6	14.38	0.38
แผ่นเหล็กสแตนเลส	8000	460	12	1000	0.001
ปูนตำ	1600	850	0.7	7	0.30
พื้นหินอ่อน	2800	1000	3.5	10000	0.13
ท่อดินเผา	2000	800	1	30	0.12
คอนกรีต	2104	776	1.373	76	0.22

ที่มา: โดยผู้วิจัย (2560)

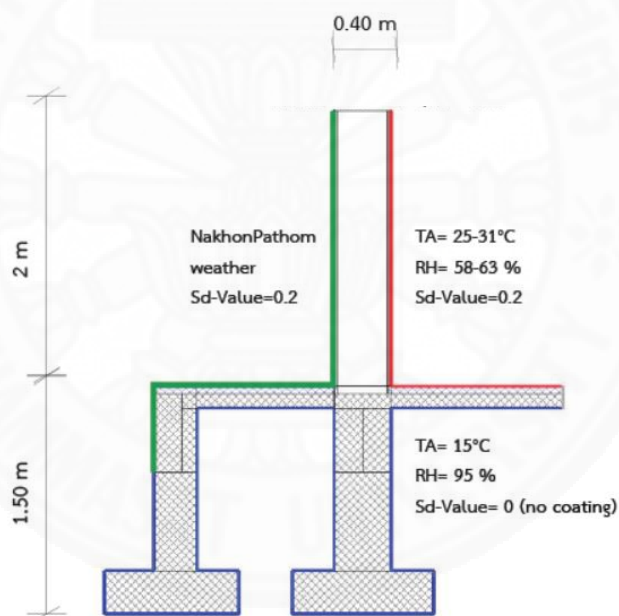
3.2.3 การจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุโบสถ

การจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุโบสถที่ใช้ในการคำนวณมีของอาคารแบ่งออกเป็นดังนี้ (ภาพที่ 3.11)

(1) ผนัง ตัวอาคารเป็นโครงสร้างเสาคาน ผนังก่ออิฐเต็มมีความหนา 40 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ผิวผนังภายนอกและฉาบด้วยปูนดำมีความหนา 2.5 มิลลิเมตร ที่ผิวผนังมีค่า sd-value เท่ากับ 0.2

(2) พื้นอุโบสถทำจากคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร ภายในอุโบสถปูพื้นด้วยหินอ่อนหนา 5 มิลลิเมตร

(3) ฐานราก ฐานรากทำจากคอนกรีตหนา 30 เซนติเมตรมีความลึกจากระดับพื้นดิน 1 เมตร ที่พื้นผิวมีค่า sd-value เท่ากับ 0



ภาพที่ 3.11 แบบจำลองกรณีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

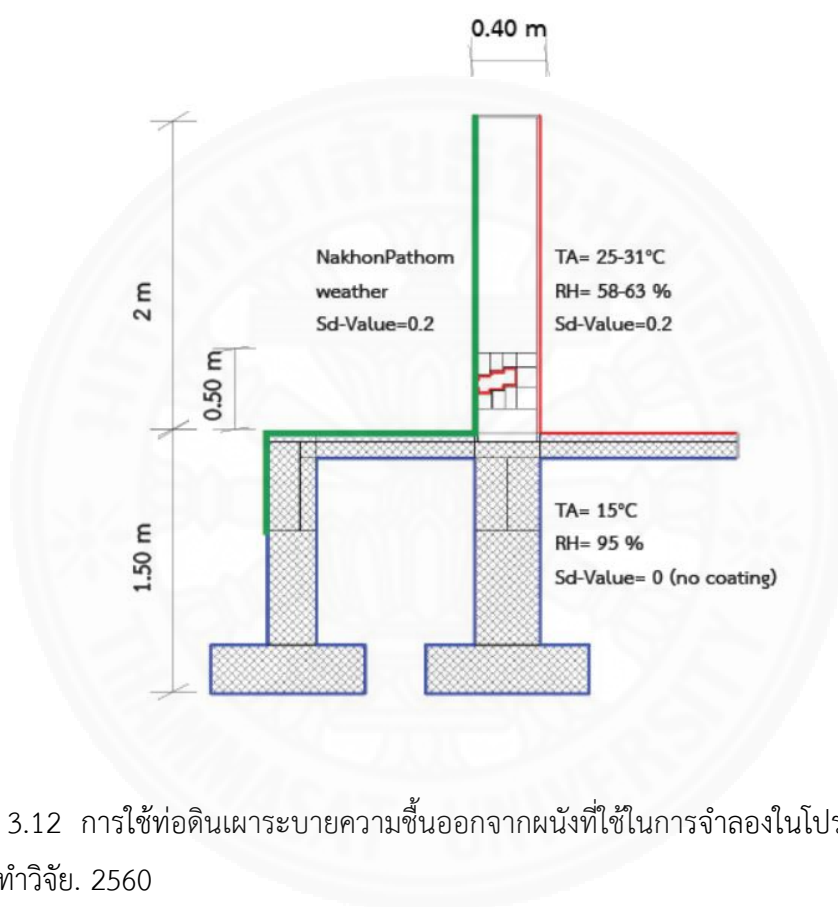
3.3.1 ตัวแปรต้น

ตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษาได้แก่

3.3.1.1 เทคนิคการแก้ปัญหาการสะสมความชื้นในผนัง

(1) การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง

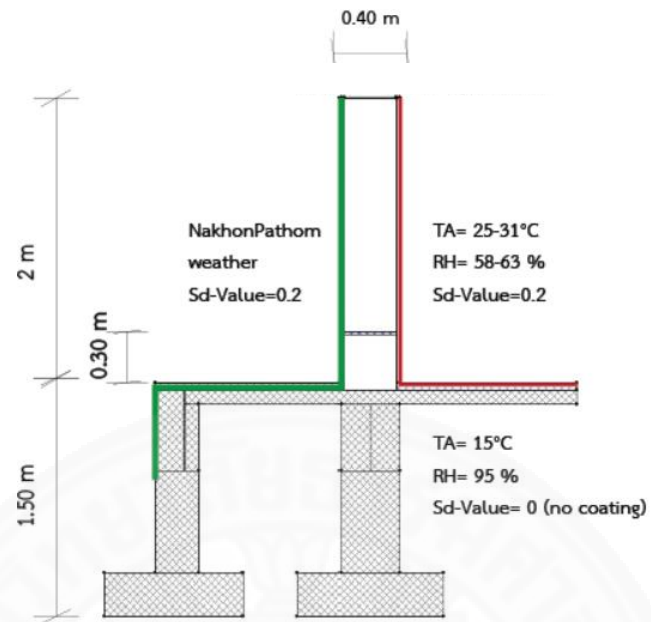
วางท่อดินเผาลึกประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของความหนาผนังมีค่าเท่ากับ 20 เซนติเมตร วางให้ท่อดินเผาเฉียงขึ้น 15 องศาที่ฐานผนังสูงจากระดับพื้น 35 เซนติเมตร เพื่อดูพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 3.12)



ภาพที่ 3.12 การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

(2) การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้น

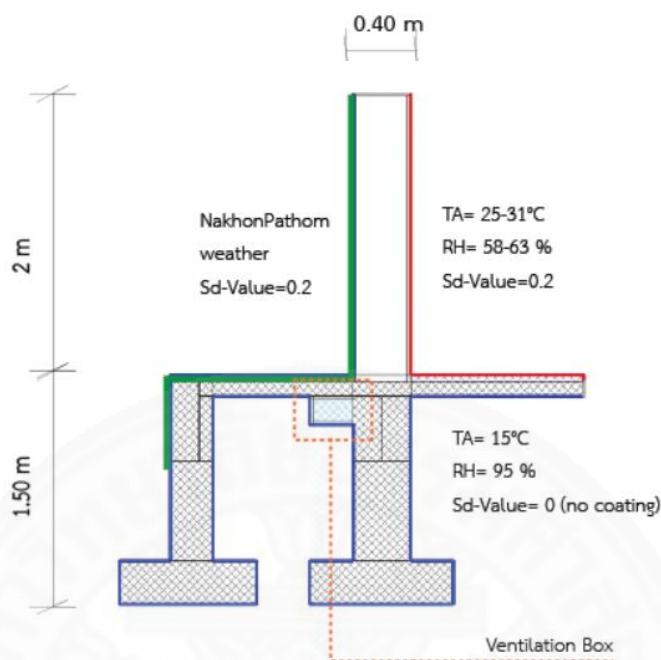
ใส่แผ่นกันความชื้นซึ่งทำจากแผ่นเหล็กสแตนเลสหนา 2.5 มิลลิเมตรไว้ในผนังที่ฐานผนังสูงจากระดับพื้น 30 เซนติเมตรเพื่อดูพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 3.13)



ภาพที่ 3.13 การตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกันความชื้นที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D.
โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

(3) การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร (Wall base ventilation)

รางระบายอากาศทำจากคอนกรีตโดยจะวางรางระบายอากาศไว้ตามแนวฐานอุโบสถชิดกับผนังของอุโบสถ เพื่อดูพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 3.14)



ภาพที่ 3.14 การตัดความชื้นของผนังด้วยการใช้รังระบายความชื้นออกจากฐานอากาศที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม WUFI-2D. โดย ผู้ทำวิจัย. 2560

3.3.2 ตัวแปรตาม

3.3.2.1 พฤติกรรมการสะสมความชื้นในผนัง

- (1) ปริมาณน้ำในผนัง (Water content)
- (2) ความชื้นสัมพัทธ์ในผนัง (Relative humidity)

3.3.3 ตัวแปรควบคุม

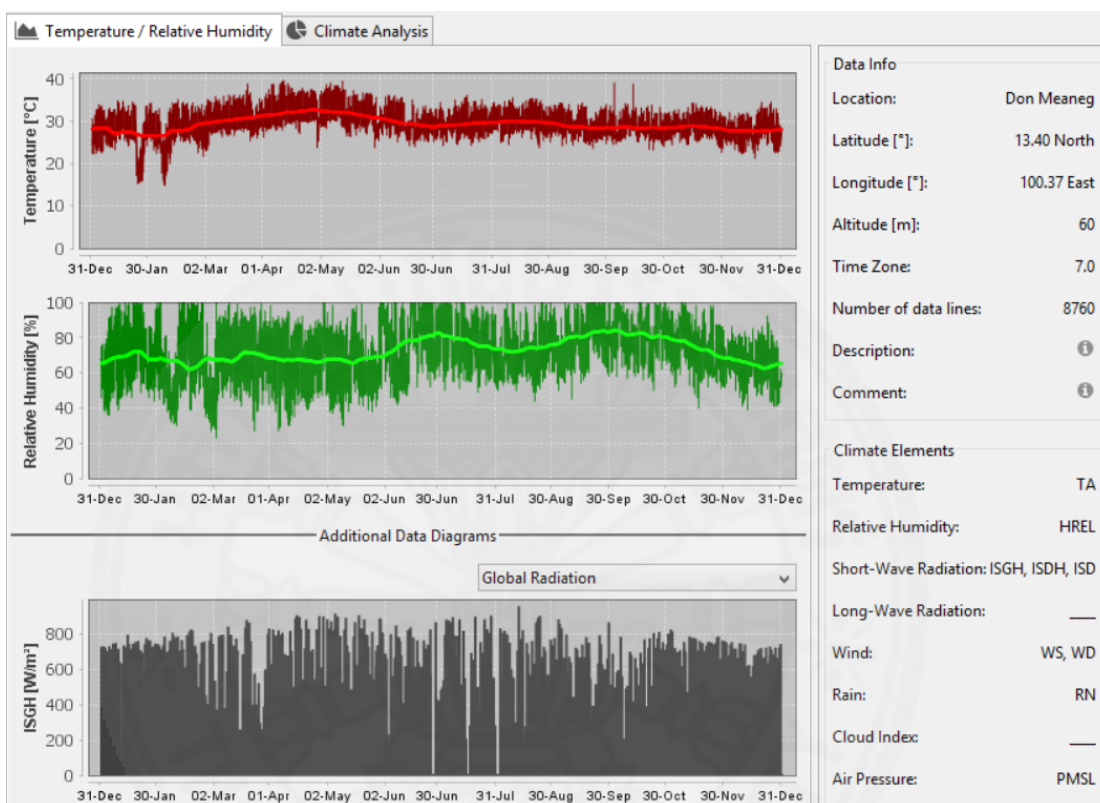
3.3.3.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

สภาพอากาศที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภทโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather data)

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในโปรแกรมจะใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศของสถานีตรวจวัดดอนเมืองเป็นข้อมูลรายชั่วโมงใน 1 ปีประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ ความชื้น

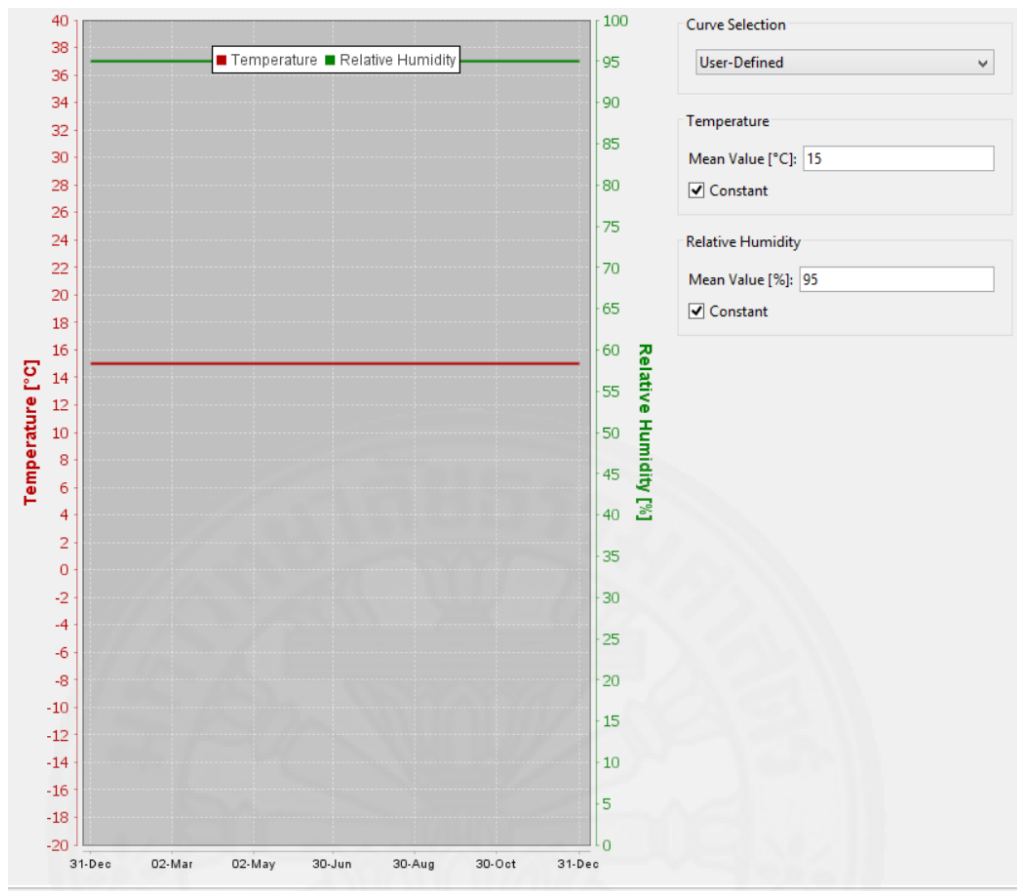
สัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝนและความกดอากาศที่สถานีตรวจวัดของจังหวัดนครปฐม (ภาพที่ 3.15)



ภาพที่ 3.15 สภาพอากาศของจังหวัดนครปฐมที่ใช้ในการคำนวณ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

(1) ข้อมูลสภาพความชื้นใต้พื้นดิน (Hygrothermal conditions below ground)

การกำหนดข้อมูลสภาพความชื้นใต้พื้นดิน นำมาสร้างกราฟแสดงคลื่นไซน์ (Sine curve) เพื่อใช้ในการกำหนดอุณหภูมิใต้ดินโดยกำหนดให้อุณหภูมิใต้ดินเฉลี่ยคงที่ตลอดทั้งปีเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยคงที่ในดินจะกำหนดให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ร้อยละ 95 (Alexander Bordachev, 2010) (ภาพที่ 3.16)



ภาพที่ 3.16 การสร้างข้อมูลสภาพความชื้นใต้พื้นดิน (Hygrothermal Conditions Below Ground). โดย ผู้ทำวิจัย.2561

3.3.3.4 คำนวณที่ปะทะกับผิวผนังภายนอก

ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกของฝน(Rain load)ตั้งค่าให้ Rain Exposure Factor มีค่าเท่ากับ 1 Rain Deposition Factor เท่ากับ 0.35 ความสูงอาคาร (Building height) น้อยกว่า 10 เมตร ดังภาพต่อไปนี้ (ภาพที่ 3.17)

The figure shows a software interface for rain load calculation. It includes a checkbox for 'Rain load calculation according to ASHRAE Standard 160' which is checked. A note provides the formula: $\text{Rain} * \text{FE} * \text{FD} * 0.2 \text{ s/m} * \text{Wind Velocity}$. The 'Rain Exposure Factor (FE) [-]' is set to 1, and the 'Rain Deposition Factor (FD) [-]' is set to 0.35. The 'Building Height' is set to '<10' and the 'Exposure Category' is 'Medium'. A note at the bottom indicates 'Walls below a steep-slope roof'.

ภาพที่ 3.17 การตั้งค่าน้ำฝนที่ปะทะกับผิวผนังภายนอก. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

3.3.3.5 ค่าตั้งต้นของวัสดุ (Initial condition)

ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นค่าตั้งต้นคงที่ของวัสดุ โดยอุณหภูมิตั้งต้นคงที่มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ตั้งต้นคงที่ของวัสดุเท่ากับ 80 %

3.3.3.6 รอบการคำนวณ

มีการกำหนดให้รอบการคำนวณเป็นรายชั่วโมงใน 2 ปีทั้งหมด 17,520 ชั่วโมงแต่ละการวิเคราะห์ผลจะดูที่ปีที่ 2 หรือที่รอบการคำนวณที่ 8,760 เป็นต้นไป

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในศึกษาจะแบ่งออกตามขั้นตอนการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO

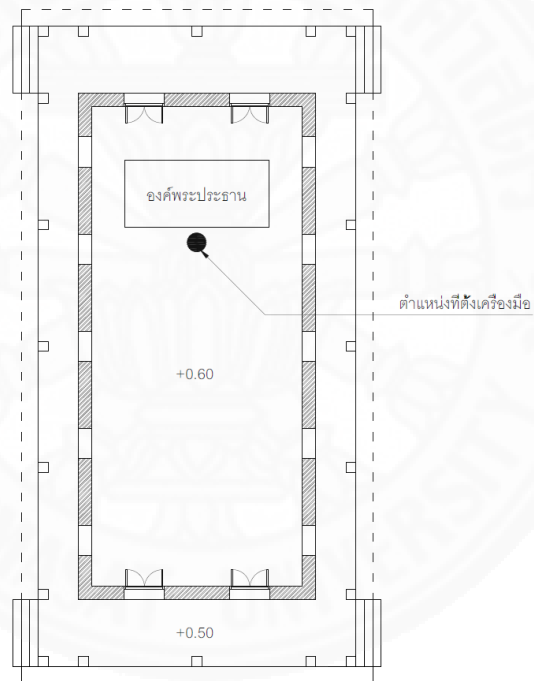
สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO เป็นเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศแบบ Data logger ที่ถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งเซนเซอร์ต่าง ๆ และอุปกรณ์ได้หลายชนิด (ภาพที่ 3.18) การเก็บข้อมูลจะเก็บอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอุโมงค์โดยตั้งเครื่องให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของอุโมงค์ให้มากที่สุด (ภาพที่ 3.19)

3.4.1.1 Temperature/ RH Smart Sensor (S-THB-M00x)

เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศหน่วยเป็นองศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีหน่วยเป็นร้อยละ (%) ต่าง ๆ ช่วงที่วัดอุณหภูมิได้มีค่าเท่ากับ -40-75 องศาเซลเซียส มีค่าความเที่ยงตรงเท่ากับ ± 0.2 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีช่วงที่วัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0-100 มีค่าความเที่ยงตรงเท่ากับร้อยละ ± 2.5 การศึกษาทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอุโมงค์ ซึ่งจะใช้เครื่องมือ ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ทุก 10 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจะนำผลที่ได้ไปใช้ในการสร้างข้อมูลสภาพอากาศภายในจำลองด้วยโปรแกรม WUFI-2D



ภาพที่ 3.18 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO (ที่มา: hobo data loggers. โดย OneTemp)



ภาพที่ 3.19 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ HOBO. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

3.4.2 โปรแกรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้น WUFI- 2D

โปรแกรม WUFI- Plus เป็นโปรแกรมจำลองคอมพิวเตอร์ ที่ใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและความชื้นแบบสองมิติ (2D-HAM model) ในการคำนวณ โดยเป็นแบบจำลองที่จำลองการถ่ายเทความร้อนระหว่างชั้นวัสดุอาคาร การแพร่ของไอน้ำระหว่างภายนอกและภายในอาคารที่ผ่านกรอบอาคาร ค่าความร้อนแฝงที่มีผลมาจากการดูดซับและคายความชื้นซึ่งส่งผลต่อสมดุลความชื้นของอากาศภายในอาคาร และผลของความชื้นของวัสดุที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ในส่วนประกอบของอาคารรูปทรงที่ซับซ้อนเช่น มุมอาคาร รอยต่อของส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร (Steeman et al., 2010, Tariku et al., 2010) โดยในการคำนวณของโปรแกรมนี้อาจแบ่งวัสดุผนังแต่ละชนิดแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ (Cell) การแบ่งแต่ละช่วงจะมีขนาดความหนาที่ไม่เท่ากันโดยบริเวณช่วงต่อระหว่างวัสดุแต่ละชนิด และวัสดุส่วนที่อยู่ติดกับภายนอกหรือภายในอาคารจะถูกแบ่งให้มีความหนาที่ละเอียดกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากกว่าที่อื่น การจำลองประเภทนี้ต้องการจำนวนรอบในการคำนวณ (Iterations) ตามสมการสมดุลความร้อน และสมดุลของมวล สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในส่วนประกอบอาคารแบบหลายชั้น (Multilayer building components) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับโปรแกรม WUFI ในประมวลผลข้อมูล (ปรีชญา มหัทธนะทวี, 2015)

3.4.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในส่วนประกอบของอาคารของโปรแกรมนี้นี้ (Künzel, 1994) (ภาพที่ 3.18)

(1) สร้างโมเดลส่วนประกอบของอาคารแบบสองมิติที่จะใช้ในการคำนวณ (construction numerical grid)

(2) ค่าวัสดุ (Material properties) ของโมเดลจำลองโดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย ความหนาแน่นของวัสดุที่แห้ง (Bulk density) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำ (Water vapor diffusion resistance factor) และความพรุน (Porosity)

(3) ข้อมูลสภาพอากาศที่พื้นผิวแต่ละด้านของโมเดล (Climatic data surface transfer)

(4) ค่าตั้งต้นของวัสดุ (Initial condition) ประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้นค่าตั้งต้นของวัสดุ

(5) ตัวแปรควบคุมการคำนวณ (Time step control parameters) โดยตัวแปรเหล่านี้ จะถูกใช้ในการคำนวณการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Calculation accuracy)

3.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของผลการจำลอง

หลังจากได้ผลการคำนวณแล้วผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของ โปรแกรม (calculation accuracy) โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ใช้คำสั่ง Coverage analyzer ตรวจสอบ Time step residual ของ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ว่ามีแนวโน้มที่ลดลงหรือไม่

3.5.1.2 ตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยดู ที่ค่าTheta และ Phi ของ Iteration สุดท้ายของการคำนวณ

3.5.1.3 ความถูกต้องของผลการคำนวณสามารถดูได้จากผลการคำนวณ theta และ phi ในหน้าต่างคำนวณ ซึ่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลคำนวณที่ได้กับผลลัพธ์จริง หากค่า theta และ phi ใน Timestep สุดท้ายของการคำนวณที่ 17,520 มีค่าไม่เกิน $1E-02$ หรือ 10^{-2} หมายความว่าผลที่ได้จากการจำลองที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลลัพธ์จริงที่สามารถยอมรับได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (calculation accuracy)

ความถูกต้องของผลการคำนวณสามารถดูได้จากผลการคำนวณ theta และ phi ในหน้าต่างคำนวณ โดยพบว่าค่า theta และ phi ใน Timestep สุดท้ายของการคำนวณที่ 17,520 ของแบบจำลองทั้ง 4 แบบ มีค่าไม่เกิน $1E-02$ หรือ 10^{-2} แสดงว่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากการจำลองนี้มีค่าเพียงเบนมาตรฐานจากผลลัพธ์จริงที่สามารถยอมรับได้ โดยค่า theta และ phi ใน Timestep ของการคำนวณที่ 17,520 มีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1

ตารางสรุปค่า theta และ phi ใน Timestep ของการคำนวณที่ 17520 ที่ได้จากการจำลอง

เทคนิคการบูรณะ	Absolute Residual Source Sum	
	theta	phi
ก่อนใช้เทคนิคการบูรณะ	1.6170E-05	4.9110E-05
การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง	2.8570E-06	4.4560E-05
การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้น	1.1620E-06	4.4660E-05
การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้น	2.3050E-05	4.3640E-05

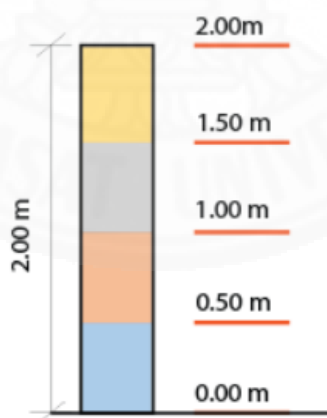
ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถ

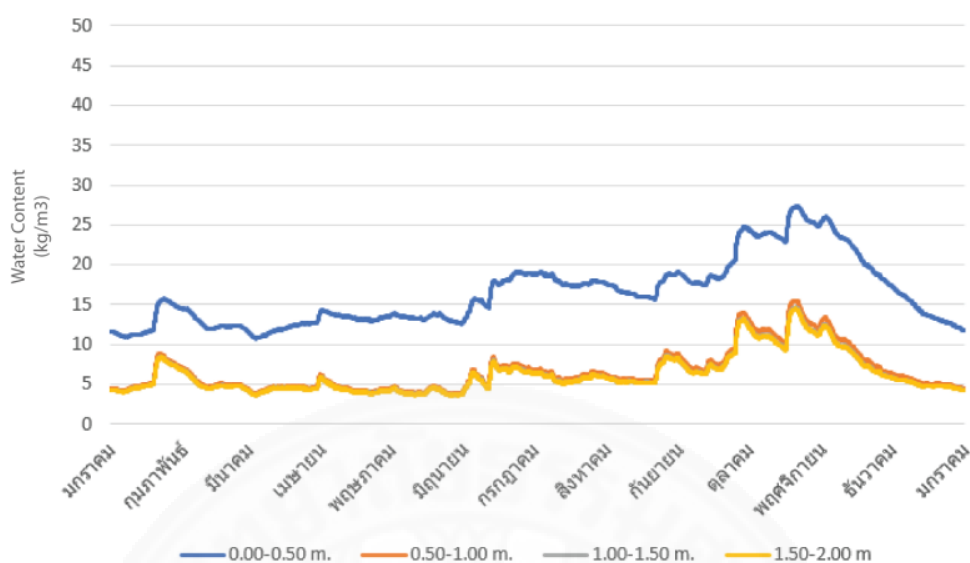
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นด้วยเทคนิคการบูรณะต่าง ๆ ที่ตำแหน่ง 0.00-2.00 เมตรจากระดับพื้นภายในอาคารโดยแบ่งออกเป็น 0.00-0.50 เมตร 0.50-1.00 เมตร 1.00-1.50 เมตรและ 1.50-2.00 เมตร มีผลการคำนวณดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากระดับพื้นภายในอาคารที่ช่วงความสูง 0.00-0.50 เมตร 0.50-1.00 เมตร 1.00-1.50 เมตรและ1.50-2.00 เมตร (ภาพที่ 4.1) พบว่ามีปริมาณน้ำเฉลี่ย (Water content) ทั้งผนังมีค่าเท่ากับ 8.70 kg/m^3 โดยที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 15.64 kg/m^3 ในขณะที่ระดับ 0.50-1.00 เมตร 1.00-1.50 เมตรและ 1.50-2.00 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในผนังมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำในเดือนมีนาคมที่มีอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (ภาพที่ 4.2)

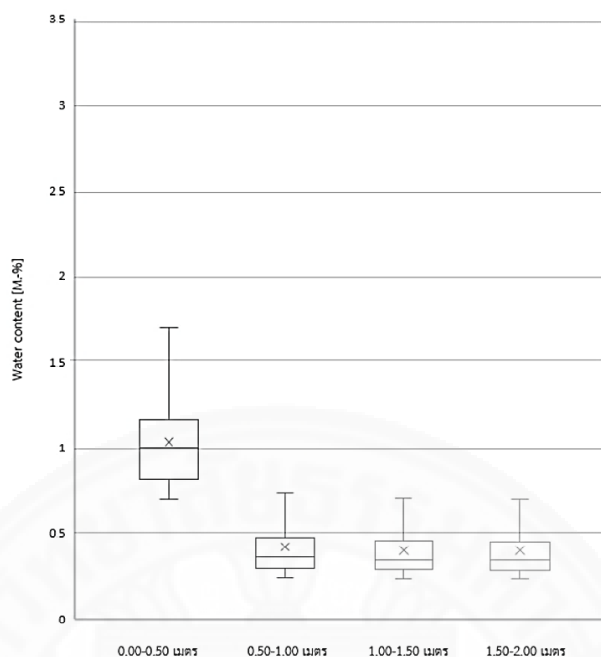


ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



ภาพที่ 4.2 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ . โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

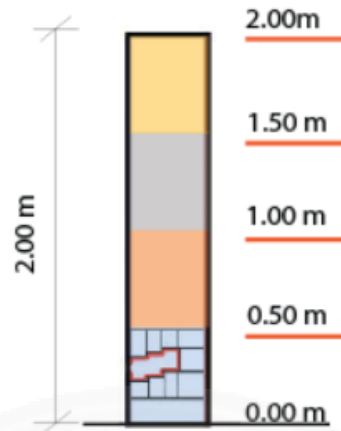
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.05 ส่วนที่ระดับ 1.00-1.50 เมตร และ 1.50-2.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.42 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน (A Hola, 2017) เนื่องจากในทุกช่วงความสูงมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 3 (ภาพที่ 4.3)



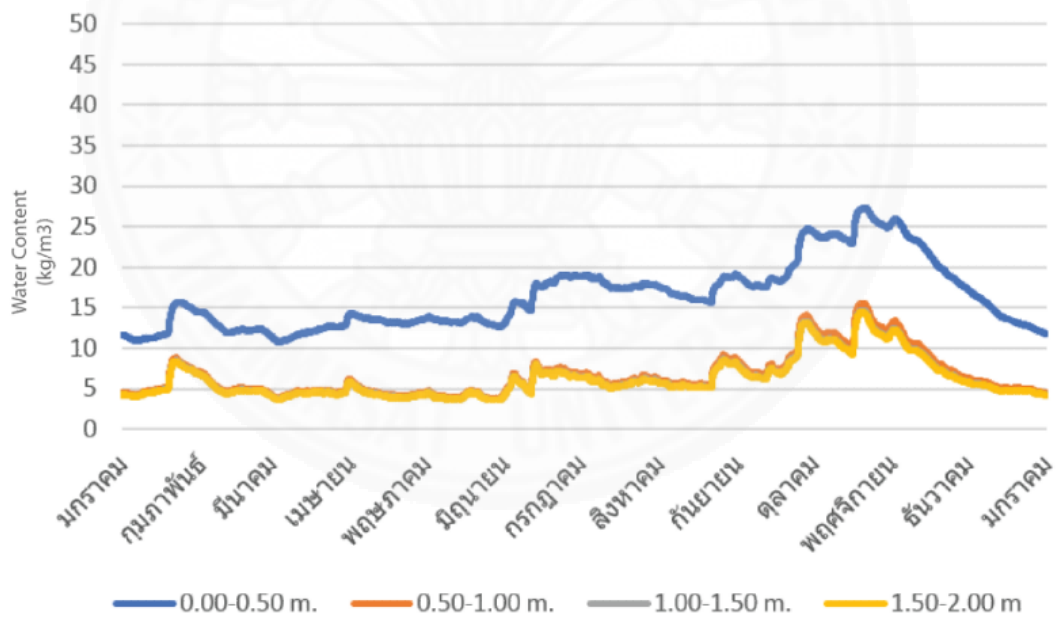
ภาพที่ 4.3 ระดับปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ ใน 1 ปี. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นด้วยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ (ภาพที่ 4.4) ตั้งแต่ 0.00-2.00 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร พบว่ามีปริมาณน้ำเฉลี่ย (Water content) ทั้งผนังมีค่าเท่ากับ 8.17 kg/m³ โดยที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.18 kg/m³ ในขณะที่ระดับ 0.50-1.00 เมตร 1.00-1.50 เมตรและ 1.50-2.00 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในผนังมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงสุดและปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมีนาคมที่มีอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (ภาพที่ 4.5)



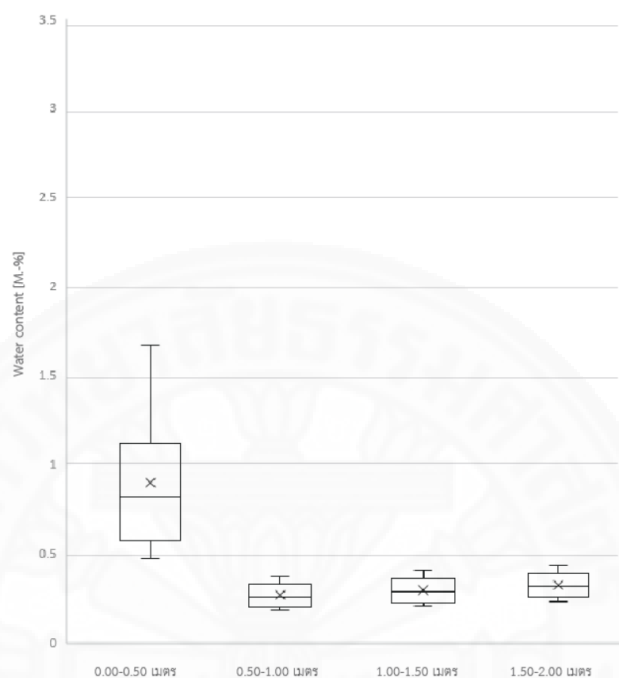
ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



ภาพที่ 4.5 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.90 ส่วนที่ระดับ 0.50-1.00 เมตรมี

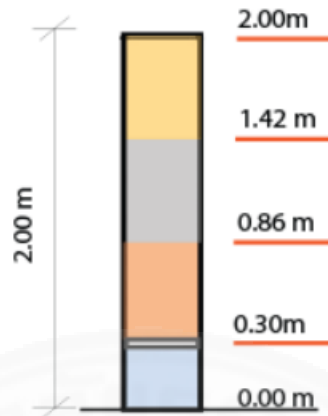
ค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.27 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน (A Hola,2017) เนื่องจากในทุกช่วงความสูงมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 3 (ภาพที่ 4.6)



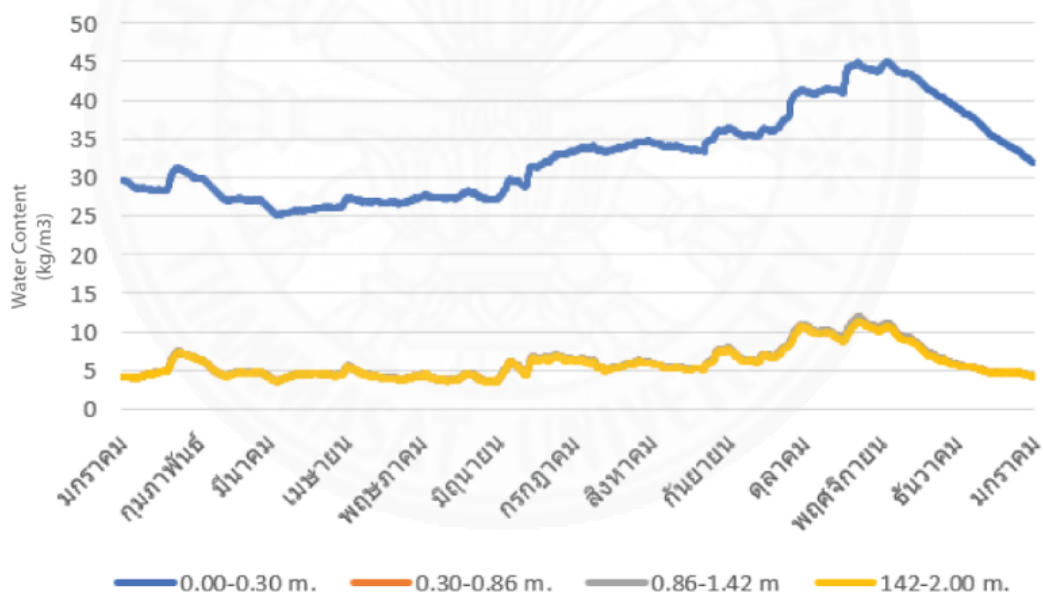
ภาพที่ 4.6 ระดับปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นด้วยการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.00-2.00 เมตรจากระดับพื้นภายในอาคาร (ภาพที่ 4.7) พบว่ามีปริมาณน้ำเฉลี่ย (Water content) ทั้งผนังมีค่าเท่ากับ 11.13 kg/m³ โดยที่ระดับความสูง 0.00-0.30 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 32.85 kg/m³ ซึ่งมีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่สูงกว่าส่วนอื่น ๆ อย่างมากเนื่องจากตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่อยู่ใต้แผ่นกันความชื้น ในขณะที่ระดับเหนือแผ่นกันความชื้นขึ้นไปได้แก่ 0.30-0.86 เมตร 0.86-1.42 เมตรและ 1.42-2.00 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าการใส่แผ่นกันความชื้นทำให้ความชื้นสามารถแพร่ไปส่วนบนของผนังได้ ส่วนช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำในผนังมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมีนาคมที่มีอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (ภาพที่ 4.8)



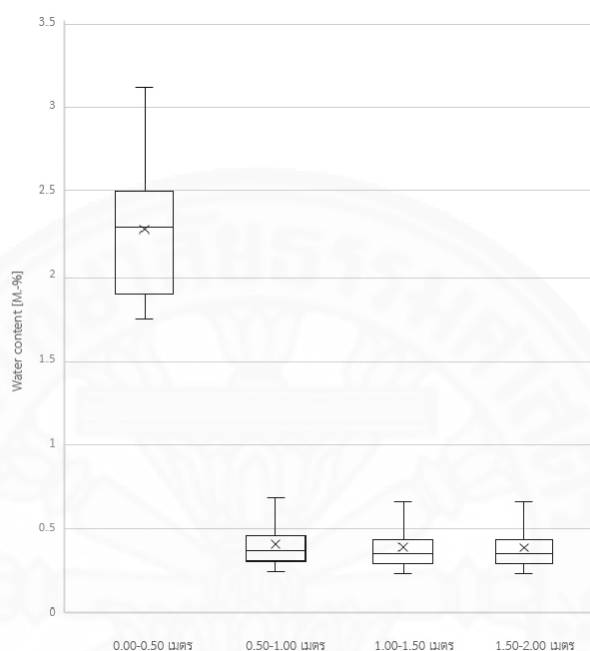
ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ .โดย ผู้ทำวิจัย. 2560



ภาพที่ 4.8 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ . โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.30 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.90 ส่วนที่ระดับ 0.86-1.42 เมตร และ 1.42-2.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มี

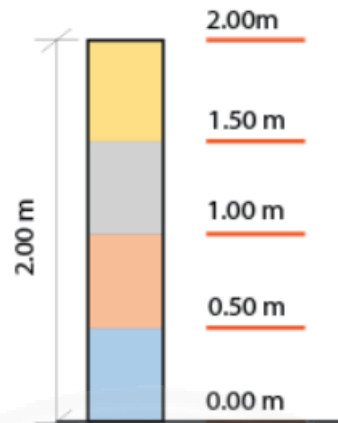
ปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน (A Hola,2017) เนื่องจากในทุกช่วงความสูงมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 3 (ภาพที่ 4.9)



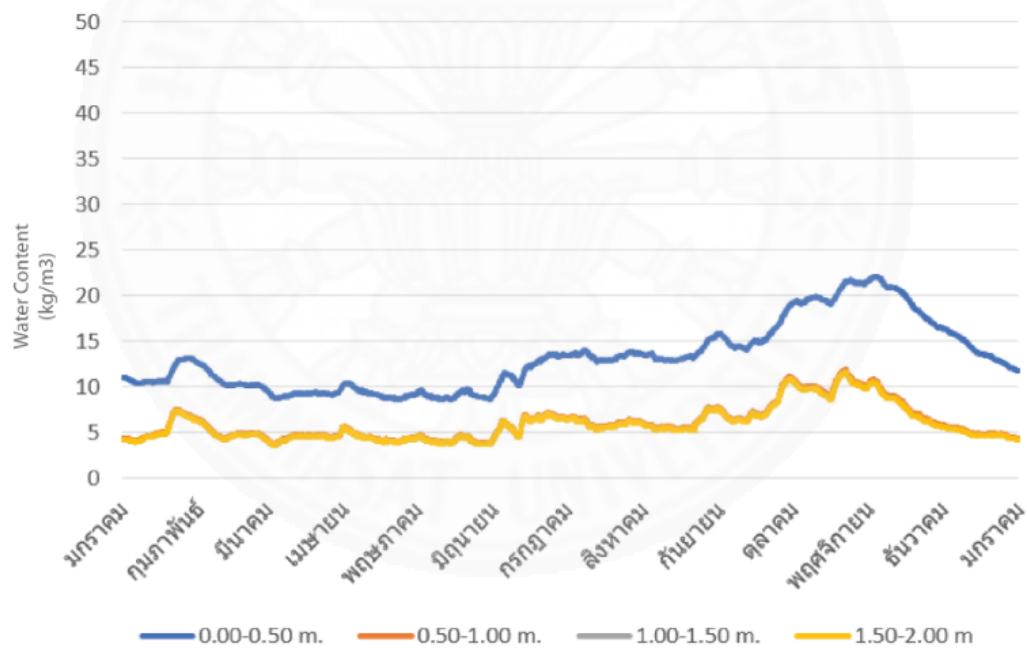
ภาพที่ 4.9 ระดับปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ . โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีใช้วางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถหลังใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นด้วยการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ (ภาพที่ 4.10) ตั้งแต่ 0.00-2.00 เมตรจากระดับพื้นภายในอาคาร พบว่ามีปริมาณน้ำเฉลี่ย (water content) ทั้งผนังมีค่าเท่ากับ 8.02 kg/m^3 โดยที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.21 kg/m^3 ในขณะที่ระดับ 0.50-1.00 เมตร 1.00-1.50 เมตรและ 1.50-2.00 เมตร มีปริมาณน้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในผนังมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงสุดและปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมีนาคมที่มีอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (ภาพที่ 4.11)



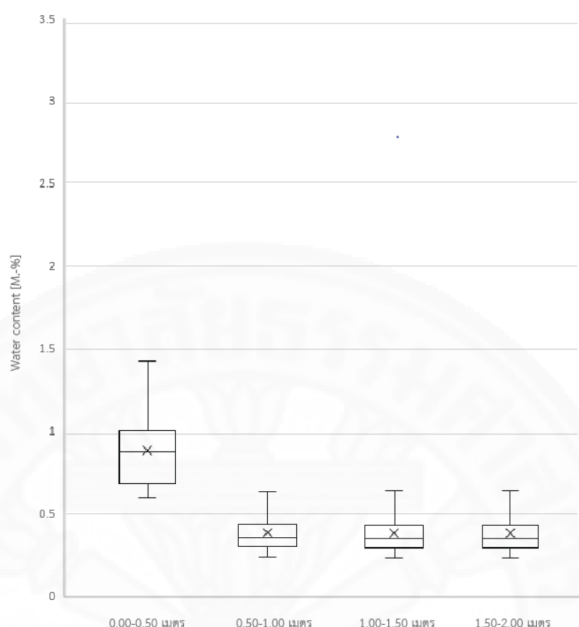
ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งความสูงที่ใช้วัดปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถกรณีใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ . โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



ภาพที่ 4.11 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ . โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.85 ส่วนที่ระดับ 1.00-1.50 เมตร และ 1.50-2.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.40 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มี

ปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน (A Hola, 2017) เนื่องจากในทุกช่วงความสูงมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 3 (ภาพที่ 4.12)



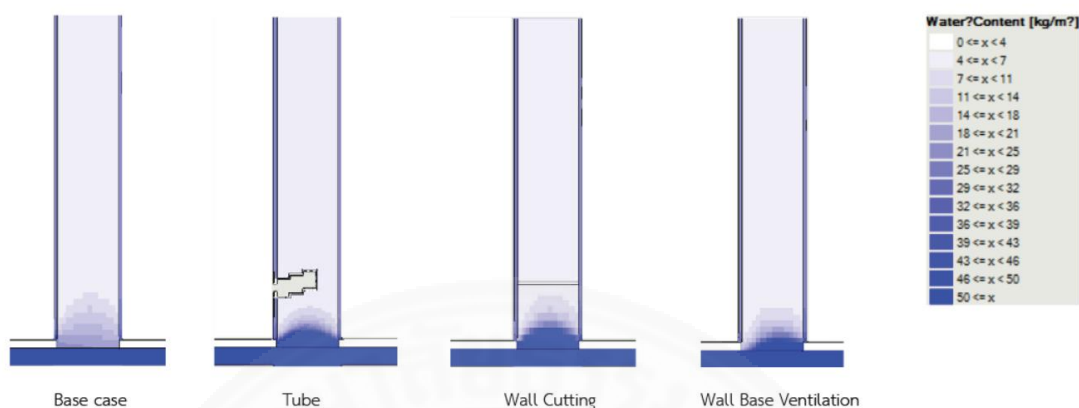
ภาพที่ 4.12 ระดับปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังกรณีการใช้อ่างระบายความชื้นออกจากฐานอาคารที่ระดับความสูงต่าง ๆ ใน 1 ปี. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถที่ลดลง

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถที่ลดลงหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นด้วยเทคนิคบูรณะได้แก่

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังอุโบสถหลังจากวิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.00-2.00 เมตร

เมื่อเปรียบเทียบวิเคราะห์ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนและหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นด้วยเทคนิคบูรณะต่าง ๆ หลังจากคำนวณเป็นเวลา 1 ปี พบว่าปริมาณน้ำ (water content) ที่ฐานผนังหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นด้วยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารมีความสูงที่น้อยลงกว่ากรณีที่ยังไม่มีการใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้น แต่กรณีตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นปริมาณน้ำ (water content) ที่ฐานผนังมีความสูงเท่าเดิมและมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ หลังจากคำนวณเป็นระยะเวลา 1 ปี. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากวิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.00-0.50 เมตร

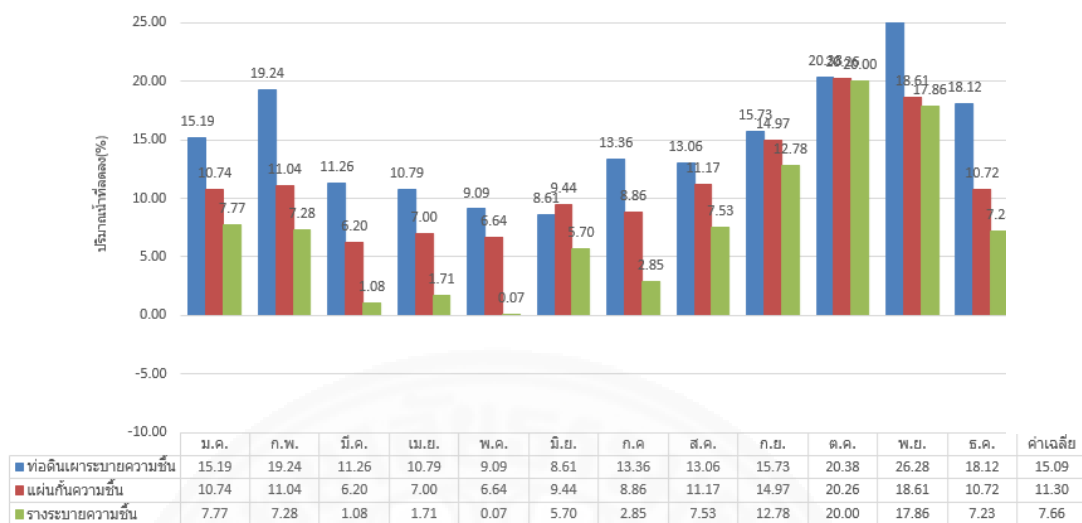
วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 28.11 การระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 20.47 และตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นร้อยละ -66.40 หรือมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 66.40 ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้ดีจะเป็นช่วงที่อากาศมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำในช่วงเดือนเมษายน แต่มีบางช่วงเวลาที่ไม่สามารถลดความชื้นในผนังได้คือในช่วงเดือนเดือนธันวาคม (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.00-0.50 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากวิธีแก้ปัญหาคความชื้นที่ตำแหน่ง 0.50-1.00 เมตร

วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 15.09 รองลงมาเป็นวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นร้อยละ 11.30 และวิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 7.66 โดยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำได้ตลอดทั้งปีโดยไม่ทำให้ผนังมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนพฤศจิกายน (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.50-1.00 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากวิธีแก้ปัญหา

ความชื้นที่ตำแหน่ง 1.00-1.50 เมตร

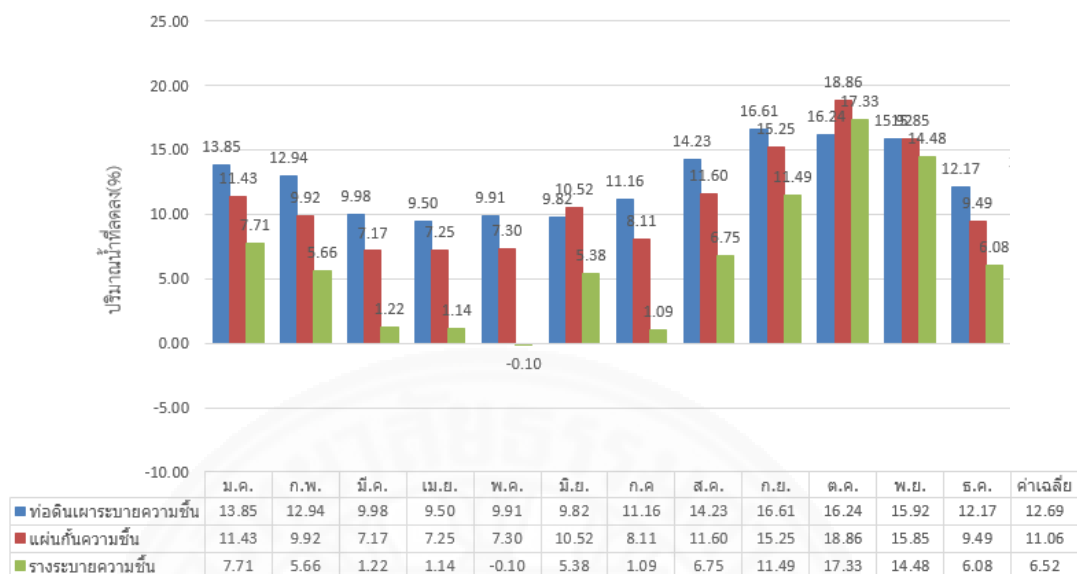
วิธีการใช้ทอที่ดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 12.02 รองลงมาเป็นวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นร้อยละ 11.76 และวิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 7.17 โดยวิธีการใช้ทอที่ดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำได้ตลอดทั้งปีโดยไม่ทำให้ผนังมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่วิธีการใช้ทอที่ดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (ภาพที่ 4.16)



ภาพที่ 4.16 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.00-1.50 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 1.50-2.00 เมตร

วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 12.69 รองลงมาเป็นวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นร้อยละ 11.06 และวิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 6.52 โดยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำได้ตลอดทั้งปีโดยไม่มีการทำให้ผนังมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (ภาพที่ 4.17)

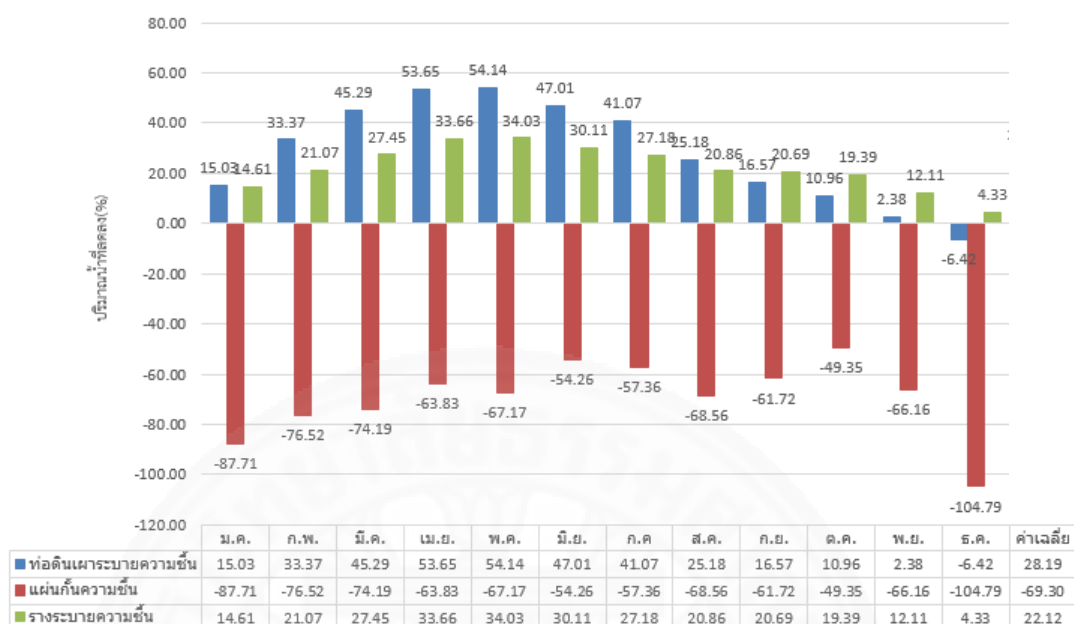


ภาพที่ 4.17 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.50 - 2.00 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากวิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.00-0.30 เมตร

วิธีการใช้ทอดดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 28.19 การระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 22.12 และตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นร้อยละ -69.30 หรือมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 69.30 ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการใช้ทอดดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้ดีจะเป็นช่วงที่อากาศมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม (ภาพที่ 4.18)

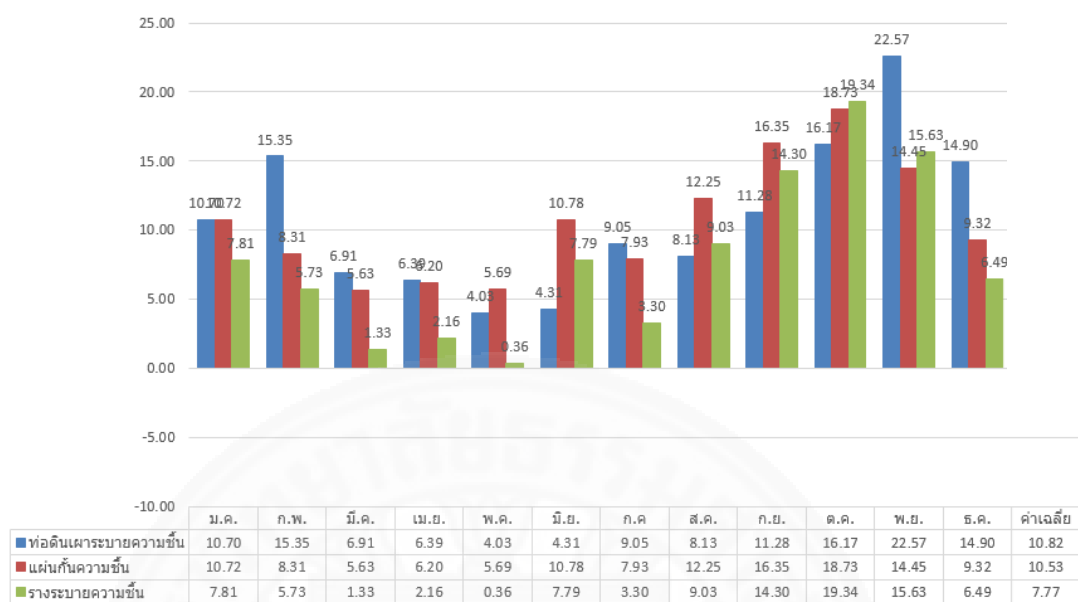
การใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ สามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้ดีในช่วงฤดูร้อน แต่ลดปริมาณน้ำในผนังได้ไม่ดีในช่วงฤดูฝนเนื่องจากผนังส่วนนี้จะได้รับความชื้นจากใต้ดินโดยที่ความชื้นจากใต้ดินมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี ในขณะที่ในฤดูฝนเป็นช่วงเวลามีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและมีปริมาณน้ำฝนมาก ทำให้ผนังส่วนนี้ได้รับความชื้นจากอากาศภายนอกและน้ำฝนที่สาดใส่ผนังเข้าสู่ผนัง จึงเป็นผลให้การใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังในช่วงฤดูฝนสามารถลดปริมาณน้ำได้น้อยกว่าฤดูร้อน



ภาพที่ 4.18 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.00-0.30 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.30-0.86 เมตร

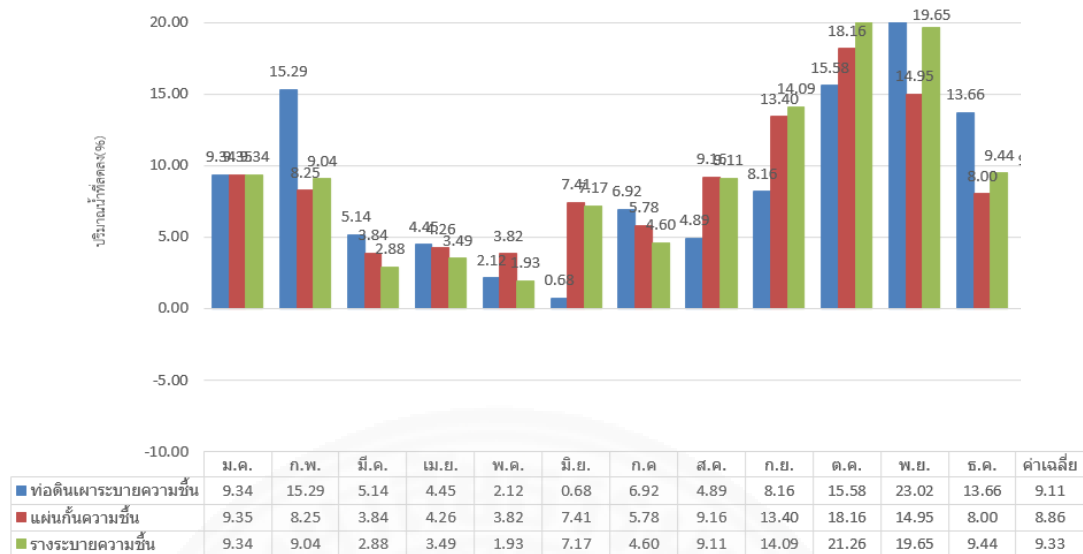
วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดโดยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังลดปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีได้ร้อยละ 10.82 วิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นร้อยละ 10.53 และวิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 7.77 โดยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นสามารถลดปริมาณน้ำได้ตลอดทั้งปีโดยไม่มีการทำให้ผนังมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน (ภาพที่ 4.19)



ภาพที่ 4.19 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.30-0.86 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 0.86-1.42 เมตร

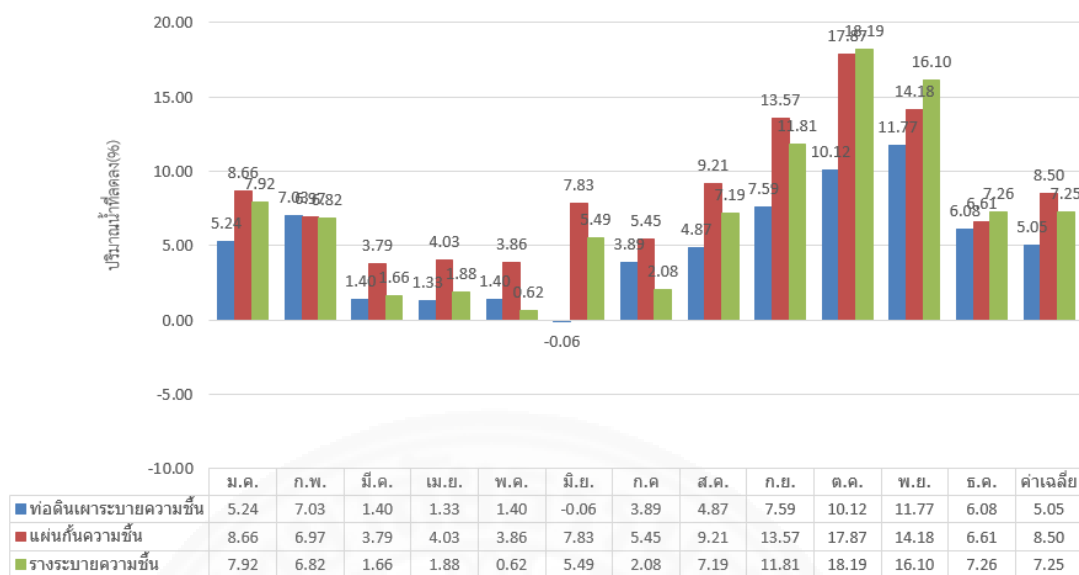
วิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 9.33 วิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังร้อยละ 9.11 วิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นร้อยละ 8.86 ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นทั้ง 3 วิธีสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน (ภาพที่ 4.20)



ภาพที่ 4.20 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 0.86-1.42 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

4.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเฉลี่ยภายในผนังอุโบสถหลังจากใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่ง 1.42-2.00 เมตร

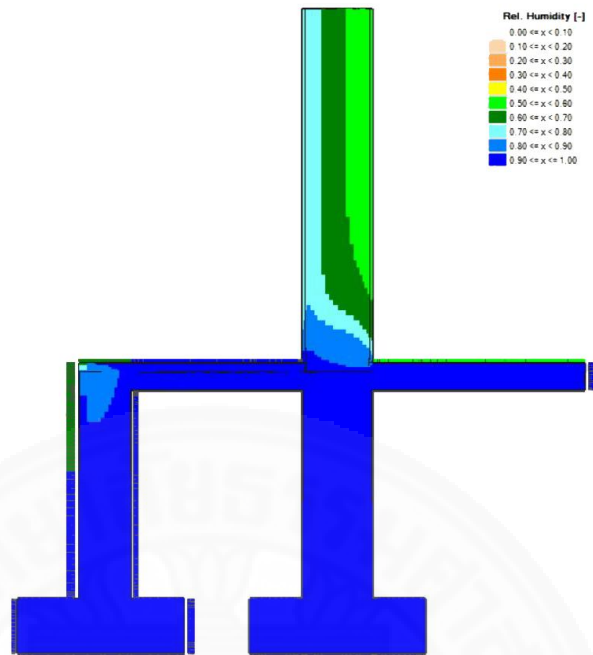
วิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นความชื้นสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 8.50 รองลงมาเป็นวิธีการระบายความชื้นออกจากฐานอาคารร้อยละ 7.25 และวิธีการใช้ท่อนดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังร้อยละ 5.05 ช่วงเวลาที่ใช้วิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกั้นสามารถลดความชื้นได้ดีจะเป็นช่วงเดือนตุลาคมมีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงร้อยละ 17.87 (ภาพที่ 4.21)



ภาพที่ 4.21 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงที่ระดับความสูง 1.42 -2.00 เมตร. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

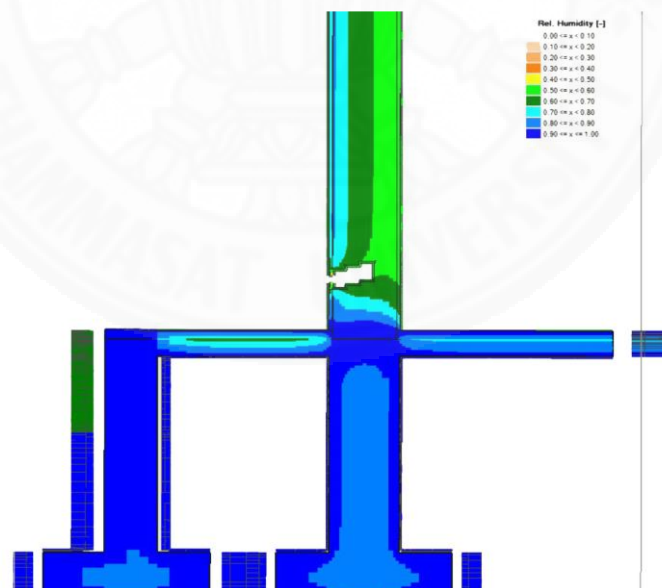
จากผลการจำลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นทั้ง 3 วิธีสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังได้แตกต่างกันไปตามระดับความสูงจากพื้น โดยที่ความสูงจากระดับพื้น 0.00-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำในผนังลดลงมากที่สุดในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่สามารถลดปริมาณน้ำได้น้อยในช่วงฤดูฝนเนื่องจากเป็นช่วงเวลามีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและมีปริมาณน้ำฝนมาก ทำให้ผนังส่วนนี้ได้รับความชื้นจากอากาศภายนอกและน้ำฝนที่สาดใส่ผนังเข้าสู่ผนังจึงเป็นผลให้การใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังในช่วงฤดูฝนสามารถลดปริมาณน้ำได้น้อยกว่าฤดูร้อน

เมื่อเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังทั้งก่อนและหลังการใช้เทคนิคการบูรณะในเดือนเมษายน (ภาพที่ 4.22-4.25) จะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ด้านล่างของผนังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ในผนังลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคการบูรณะ แต่ที่ตำแหน่งผนังสูงจากระดับพื้น 0.50-2.00 เมตรจะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในผนังแทบไม่มีความเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายถึงความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังมีการลดลงหรือเพิ่มขึ้น น้อยมาก (ตารางที่ 4.2-4.3)

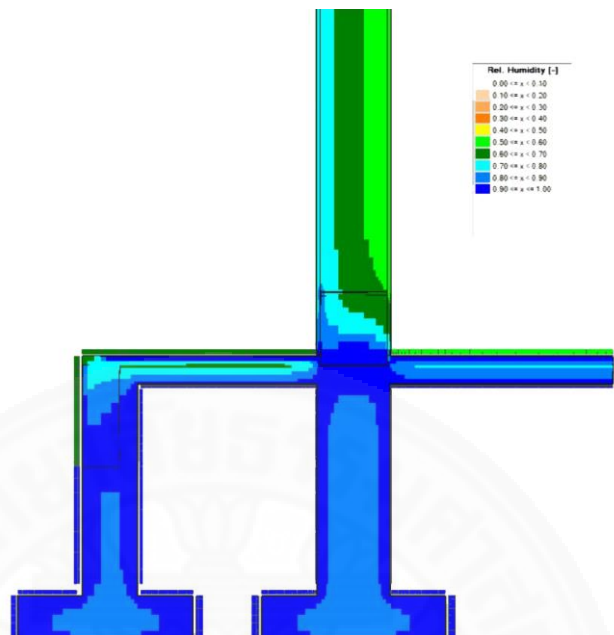


ภาพที่ 4.22 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนกรณีก่อนใช้เทคนิคการบูรณะ. โดย ผู้ทำวิจัย.

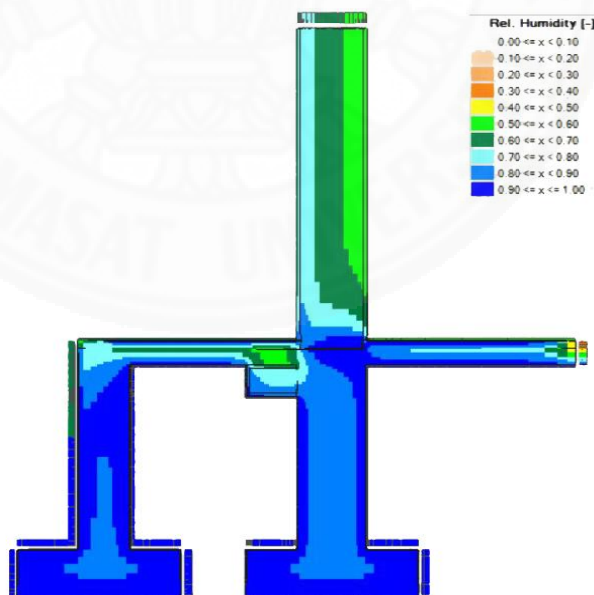
2561



ภาพที่ 4.23 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

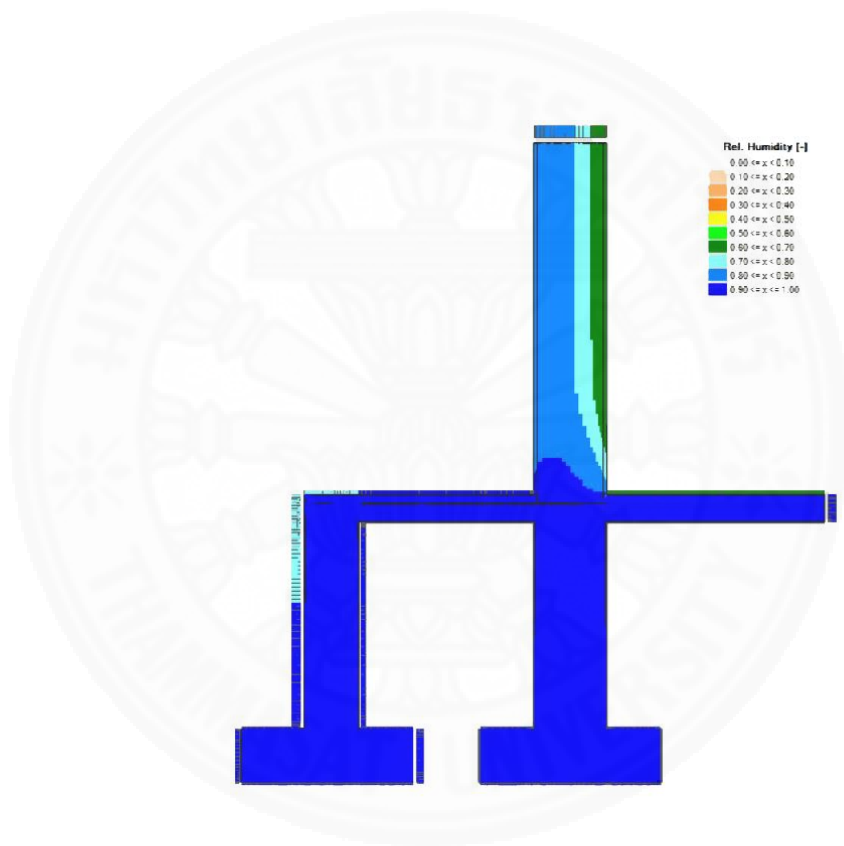


ภาพที่ 4.24 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น.
โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



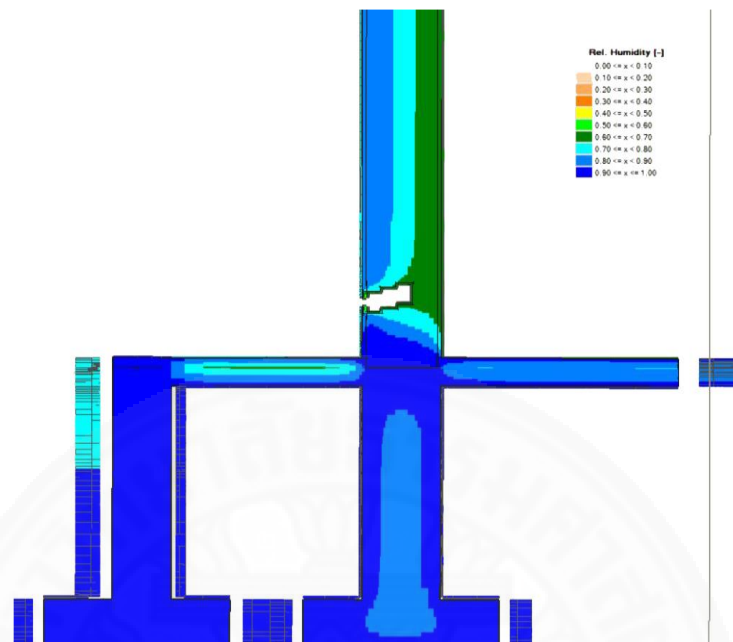
ภาพที่ 4.25 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนเมษายนด้วยวิธีใช้วางระบายอากาศที่ฐานอาคาร. โดย
ผู้ทำวิจัย. 2561

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังทั้งก่อนและหลังการใช้เทคนิคการบูรณะในเดือนตุลาคม (ภาพที่ 4.26-4.29) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ด้านล่างของผนังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ในผนังช่วงเดือนเมษายน โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ในผนังลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคการบูรณะ ที่ตำแหน่งผนังสูงจากระดับพื้น 0.50-2.00 เมตรจะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในผนังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ในผนังที่ด้านล่างโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ในผนังลดลง (ตารางที่ 4.2-4.3)

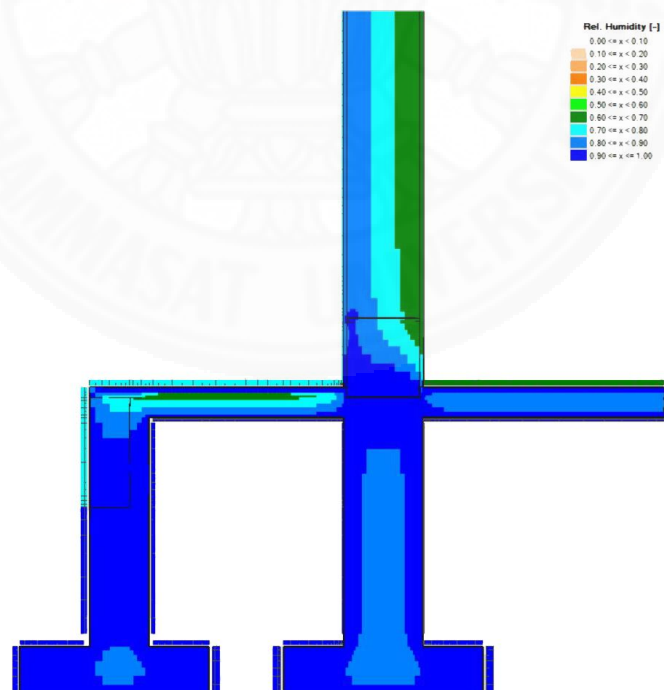


ภาพที่ 4.26 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีก่อนใช้เทคนิคการบูรณะ. โดย ผู้ทำวิจัย.

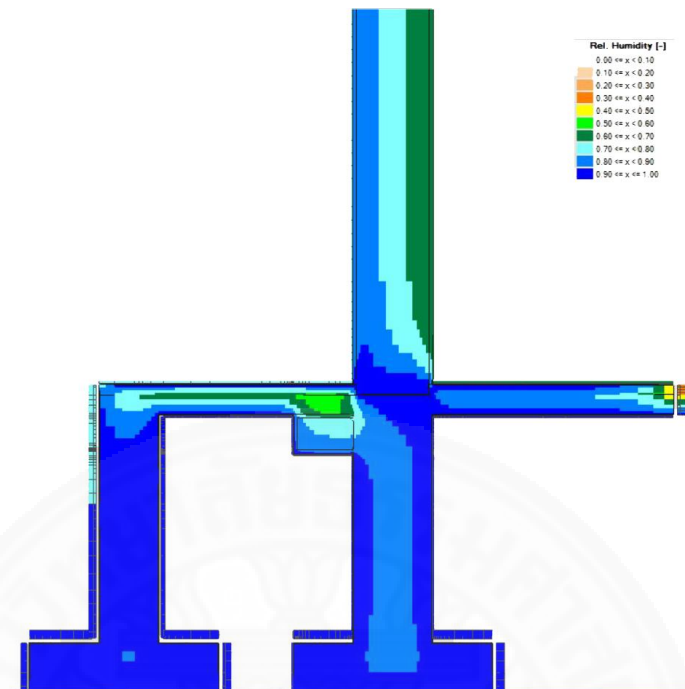
2561



ภาพที่ 4.27 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



ภาพที่ 4.28 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



ภาพที่ 4.29 ความชื้นสัมพัทธ์ในผนังของเดือนตุลาคมด้วยวิธีการใช้รางระบายอากาศที่ฐานอาคาร.
โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

ตารางที่ 4.2

ตารางแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับพื้นอาคาร

วันที่ 1 เมษายน เวลา 10:00 น.				
ความสูง	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนัง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อนดินเผา	แผ่นกั้นความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	75.06	69.53	78.16	72.86
0.50-1.00 เมตร	65.06	63.78	64.72	64.44
1.00-1.50 เมตร	64.15	64.02	64.26	63.68
1.50-2.00 เมตร	64.18	64.70	64.19	63.90
ความสูง	ปริมาณน้ำที่ลดลง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อนดินเผา	แผ่นกั้นความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	-	7.363	-4.46	2.92
0.50-1.00 เมตร	-	1.957	0.53	0.95
1.00-1.50 เมตร	-	0.206	-0.16	0.74
1.50-2.00 เมตร	-	-0.809	-0.02	0.44
วันที่ 1 ตุลาคม เวลา 10:00 น.				
ความสูง	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนัง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อนดินเผา	แผ่นกั้นความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	87.72	78.19	84.29	82.25
0.50-1.00 เมตร	79.73	76.87	76.66	75.94
1.00-1.50 เมตร	78.95	77.00	75.98	75.31
1.50-2.00 เมตร	79.69	77.50	76.00	75.39
ความสูง	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อนดินเผา	แผ่นกั้นความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	-	10.87	3.91	6.23
0.50-1.00 เมตร	-	3.59	3.85	4.76
1.00-1.50 เมตร	-	2.47	3.77	4.61
1.50-2.00 เมตร	-	2.74	4.62	5.40

ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

ตารางที่ 4.3

ตารางแสดงปริมาณน้ำในผนังอุโบสถที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับพื้นอาคาร

วันที่ 1 เมษายน เวลา 10:00 น.				
ความสูง	ปริมาณน้ำในผนัง (kg/m ³)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อดินเผา	แผ่นกันความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	13.83	7.68	22.11	10.33
0.50-1.00 เมตร	5.88	5.59	5.60	5.73
1.00-1.50 เมตร	5.81	5.49	5.40	5.61
1.50-2.00 เมตร	5.84	5.80	5.39	5.60
ความสูง	ปริมาณน้ำที่ลดลง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อดินเผา	แผ่นกันความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	-	44.484	-107.87	25.29
0.50-1.00 เมตร	-	4.944	4.98	2.51
1.00-1.50 เมตร	-	5.505	7.44	3.41
1.50-2.00 เมตร	-	0.812	7.84	4.16
วันที่ 1 ตุลาคม เวลา 10:00 น.				
ความสูง	ปริมาณน้ำในผนัง (kg/m ³)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อดินเผา	แผ่นกันความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	24.59	19.79	35.27	19.28
0.50-1.00 เมตร	13.29	11.17	10.71	10.81
1.00-1.50 เมตร	12.62	10.99	10.36	10.59
1.50-2.00 เมตร	12.46	10.82	10.36	10.59
ความสูง	ปริมาณน้ำที่ลดลง(%)			
	กรณีพื้นฐาน	ท่อดินเผา	แผ่นกันความชื้น	วางระบายอากาศ
0.00-0.50 เมตร	-	19.51	-43.47	21.59
0.50-1.00 เมตร	-	15.97	19.42	18.66
1.00-1.50 เมตร	-	12.95	17.91	16.08
1.50-2.00 เมตร	-	13.16	16.82	15.02

ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เห็นได้ว่าที่ความสูงจากระดับพื้น 0.00-0.50 เมตรได้รับความชื้นจากใต้ดินโดยที่ความชื้นจากใต้ดินมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี โดยเมื่อใช้วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ปริมาณน้ำในผนังลดลงมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน แต่สามารถลดปริมาณน้ำได้น้อยในช่วงฤดูฝนเนื่องจากผนังจะได้รับความชื้นจากอากาศมากกว่าช่วงฤดูร้อน จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำในผนังในช่วงฤดูฝนลดลงน้อยกว่าฤดูร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 วิธีสามารถลดความชื้นที่มาจากดินได้ดีกว่าความชื้นที่มาจากสภาพอากาศ

ส่วนผนังที่ความสูง 0.50-2.00 เมตร ความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังทั้งก่อนและหลังการใช้เทคนิคการบูรณะทั้ง 3 วิธีของเดือนเมษายนมีความแตกต่างน้อยกว่าเดือนตุลาคมซึ่งแสดงว่ามีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำที่ลดลงน้อยกว่าเดือนตุลาคมเนื่องจากในเดือนเมษายนมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังต่ำกว่าเดือนตุลาคม ดังนั้นปริมาณน้ำที่ลดลงจึงน้อยตามไปด้วย ดังนั้นการใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นทั้ง 3 วิธีในช่วงฤดูฝนที่ผนังมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังสูงจึงสามารถลดปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ในผนังได้ดีกว่าช่วงฤดูร้อนที่ผนังมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังต่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นที่ตำแหน่งผนังที่มีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังสูงจะสามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้มาก แต่หากติดตั้งที่ตำแหน่งผนังที่มีปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังต่ำจะลดปริมาณน้ำในผนังได้น้อย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนัง

5.1.1.1 ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้น

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถก่อนใช้เทคนิคการแก้ปัญหาความชื้นที่ระดับล่างสุด 0-0.50 เมตร มีปริมาณน้ำสูงที่สุดซึ่งความชื้นดังกล่าวมีที่มาจากความชื้นจากใต้ดินที่เกิดการสะสมที่บริเวณฐานรากแล้วขึ้นมาตามผนังด้วยแรงคาพิลลารี ปริมาณน้ำในผนังระดับความสูงจากพื้น 0.50 เมตรเมื่อเทียบกับระดับล่างสุด 0-0.50 เมตรจะมีปริมาณน้ำเฉลี่ยน้อยกว่าโดยปริมาณน้ำเฉลี่ยจะน้อยลงเรื่อย ๆ ตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าความชื้นในผนังแปรผันตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพอากาศ โดยในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ปริมาณน้ำในผนังจะสูง ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ปริมาณน้ำในผนังจะต่ำ ส่วนปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมาก ส่วนที่ระดับ 1.00-1.50 เมตร และ 1.50-2.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

5.1.1.2 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในกรณีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถที่ระดับล่างสุด 0.00-0.50 เมตร ปริมาณน้ำสูงที่สุด ความชื้นในผนังแปรผันตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพอากาศ โดยในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ปริมาณน้ำในผนังจะสูง ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ปริมาณน้ำในผนังจะต่ำ ปริมาณน้ำในผนังที่ระดับความสูงจากพื้น 0.50 เมตรขึ้นไปมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.90 ส่วนที่ระดับ 0.50-1.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน

5.1.1.3 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในกรณีการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกัน

ความชื้น

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถที่ระดับล่างสุด 0.00-0.30 เมตรซึ่งอยู่ใต้แผ่นกันความชื้น ปริมาณน้ำสูงที่สุดและมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำภายในผนังที่ระดับความสูง 0.30 เมตรอย่างมากเนื่องจากแผ่นกันความชื้นที่ใส่ไว้ในผนังส่งผลให้ปริมาณน้ำสามารถแพร่ไปยังส่วนบนของผนังได้และความชื้นระบายออกจากผนังทางพื้นผิวผนังไม่ทันทำให้เกิดการสะสมความชื้นที่บริเวณผนังส่วนนี้ ปริมาณน้ำในผนังแปรผันตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพอากาศโดยในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงจะส่งผลให้ปริมาณน้ำในผนังจะสูงตามไปด้วย ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำปริมาณน้ำในผนังจะต่ำ ปริมาณน้ำในผนังที่ระดับความสูงจากพื้น 0.50 เมตรขึ้นไปมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ส่วนปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.30 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนที่ระดับ 0.86-1.42 เมตรและ 1.42-2.00 เมตรมีค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด และไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐานแต่ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ระดับความสูง 0.00-0.30 เมตรมีโอกาสที่จะมีปริมาณน้ำเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐานได้

5.1.1.4 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในการระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร

ปริมาณน้ำภายในผนังอุโบสถที่ระดับล่างสุด 0.00-0.50 เมตร ปริมาณน้ำสูงที่สุด ความชื้นในผนังแปรผันตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพอากาศ โดยในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงปริมาณน้ำในผนังจะสูง ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำปริมาณน้ำในผนังจะต่ำ ปริมาณน้ำในผนังที่ระดับความสูงจากพื้น 0.50 เมตรขึ้นไปมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ส่วนปริมาณน้ำเฉลี่ยใน 1 ปีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าที่ระดับ 0.00-0.50 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนที่ระดับ 1.00-1.50 เมตรและ 1.50-2.00 เมตรมีค่าปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุดมี ไม่มีปริมาณน้ำในผนังส่วนไหนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินมาตรฐาน

5.1.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ลดลง

การใช้วิธีแก้ปัญหาความชื้นในผนังทั้ง 3 วิธีสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังโดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.2.1 การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง

การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังใต้ดินสามารถลดความชื้นจากใต้ดินได้ดีที่สุดโดยเฉพาะในฤดูร้อน รวมถึงสามารถลดความชื้นที่มาจากอากาศหรือจากการซึมผ่านจากฝนได้ ปริมาณน้ำในผนังยังอยู่ห่างจากตำแหน่งติดตั้งท่อดินเผาจะมีปริมาณน้ำที่ลด

ความชื้นน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งติดตั้งท่อดินเผา ปริมาณน้ำที่ลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศซึ่งในช่วงในอากาศ หากอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำจะสามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้ดีขึ้นขณะเดียวกันบางช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำและความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงจะไม่สามารถลดความชื้นได้และอาจทำให้มีปริมาณน้ำในผนังเพิ่มขึ้นได้

5.1.2.2 การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร

การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารสามารถลดความชื้นจากความชื้นใต้ดินได้ดี แต่ปริมาณน้ำที่ตำแหน่งสูงจากพื้นมีแนวโน้มที่ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ลดลงจะน้อยลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารสามารถลดความชื้นจากใต้ดินได้แต่ไม่สามารถลดความชื้นจากการซึมผ่านของน้ำฝนได้

5.1.2.3 การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้น

การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นสามารถกันจากความชื้นใต้ดินได้ดีมากซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณน้ำในผนังที่อยู่เหนือแผ่นกันความชื้นขึ้นไปจะต่ำกว่าปริมาณน้ำในผนังที่อยู่ใต้แผ่นกันความชื้น แต่ในขณะเดียวกันการใส่แผ่นกันทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ไปยังส่วนบนของผนังได้ จึงทำให้ผนังส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกันความชื้นเกิดการสะสมของความชื้นขึ้น

ตารางที่ 5.1

ตารางสรุปปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังอุโบสถที่ลดลง

ความสูงจากระดับพื้น	เทคนิคการปัญหาความชื้นในผนัง		
	ท่อนดินเผา	แผ่นกันความชื้น	วางระบายความชื้น
กรณีที่ 1			
0.00-0.50 เมตร	28.11	-66.40%	20.47%
0.50-1.00 เมตร	15.09%	11.30%	7.66%
1.00-1.50 เมตร	12.02%	11.76%	7.17%
1.50-2.00 เมตร	12.69%	11.06%	6.52%
กรณีที่ 2			
0.00-0.30 เมตร	28.19%	-69.30%	22.12%
0.30-0.86 เมตร	10.82%	10.53%	7.77%
0.86-1.42 เมตร	9.11%	8.86%	9.33%
1.42-2.00 เมตร	5.05%	8.50%	7.25%
ค่าเฉลี่ยทั้งผนัง	16.97%	-8.07%	10.45%

ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

จากตารางที่ 5.1 การใช้วิธีการแก้ปัญหาความชื้นด้วยโดยใช้ท่อนดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยในผนังทั้งหมดได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 16.97 รองลงมาเป็นการใช้วางระบายความชื้นออกจากฐานผนังร้อยละ 10.45 แต่การตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกันความชื้นจะมีปริมาณน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.07 โดยสามารถลดปริมาณน้ำในผนังได้ดีที่สุดในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่สามารถลดปริมาณน้ำได้น้อยในช่วงฤดูฝนเพราะวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 วิธีสามารถลดความชื้นที่มาจากดินได้ดีกว่าความชื้นที่มาจากสภาพอากาศ ดังนั้น

ในช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและมีปริมาณน้ำฝนมาก ปริมาณน้ำในผนังที่เกิดขึ้นจึงมีมากกว่า

วิธีการแก้ปัญหาความชื้นด้วยโดยใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังและการตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้นสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ในผนังที่ระดับความสูง 0.30-0.86 เมตร ได้ดีที่สุดในส่วนที่ตำแหน่งความสูงตั้งแต่ 0.50 เมตรขึ้นการใช้เทคนิคบูรณะทั้ง 3 วิธีสามารถลดปริมาณความชื้นได้ใกล้เคียงกันผนัง โดยความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังจะลดลงมากที่สุดในฤดูฝนเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ผนังมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำสูง ดังนั้นปริมาณน้ำที่ลดลงจึงมากตามไปด้วย ในทางกลับกันในช่วงฤดูร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในผนังที่ลดลงน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ผนังมีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำต่ำ ปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ในผนังที่ลดลงจึงน้อย

5.2 แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถ

ตำแหน่งผนังที่ควรลดปริมาณน้ำในผนังอุโบสถมากที่สุดคือที่ตำแหน่งความสูง 0.00-0.50 เมตรจากระดับพื้นอาคารเพราะเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำสูงที่สุดเนื่องจากความชื้นจากใต้ดินที่แพร่สู่ผนัง ส่วนที่ตำแหน่งความสูง 0.86-2.00 เมตรขึ้นไป โดยแนวทางการนำวิธีการแก้ปัญหาความชื้นทั้ง 3 วิธีไปใช้ในการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอุโบสถสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง

การติดตั้งใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นที่ตำแหน่งไม่เกิน 0.50 เมตรจากระดับพื้นภายในอาคารเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมเพราะสามารถลดปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ของผนังส่วนล่างที่เกิดจากความชื้นจากน้ำใต้ดินได้ดีที่สุดรวมถึงสามารถลดปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งผนังได้ดีที่สุด แต่อาจเพิ่มตำแหน่งท่อดินเผาเพิ่มที่ระดับ 1.00-2.00 เพื่อให้สามารถลดการสะสมความชื้นในผนังได้ดีขึ้น

5.1.2 การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคาร

การใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานอาคารสามารถลดปริมาณน้ำในผนังส่วนล่างได้ดีเนื่องจากรางระบายความชื้นจะช่วยลดปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ที่ฐานราก ซึ่งนอกจากจะทำให้ความชื้นจากฐานรากที่จะขึ้นไปสู่ผนังน้อยลงแล้วยังเป็นการลดการสะสมความชื้นที่ฐานรากไม่ให้สร้างความเสียหายแก่โครงสร้างอาคารได้ด้วยโดยการติดตั้งรางระบายอากาศให้ใกล้ฐานผนังมากที่สุดจะสามารถลดความชื้นได้ดีทั้งที่ตำแหน่งผนัง 0.00-0.50 เมตรจากระดับพื้นและปริมาณ

น้ำเฉลี่ยทั้งผนัง แต่การใช้วิธีการดังกล่าวควรใช้ร่วมกับวิธีอื่นเพื่อให้สามารถลดความชื้นที่ระดับผนังสูงๆได้ เช่น การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นที่ระดับความสูงจากพื้นในช่วง 1.00-2.00 เมตร

5.1.3 การตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้น

การตัดความชื้นในผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้นที่ไม่ถูกตำแหน่งอาจทำให้มีการสะสมความชื้นเพิ่มโดยเฉพาะบริเวณส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกั้นความชื้นลงไป ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนตำแหน่งแผ่นกั้นความชื้นโดยควรใส่รอยต่อระหว่างผนังกับพื้นเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมความชื้นในผนังส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกั้นความชื้นลงไป หรือหากจะใส่ที่ตำแหน่งเดิมควรใช้วิธีการแก้ปัญหาพร้อมด้วยการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังหรือใช้รางระบายความชื้นออกจากรูฐานอาคารเพื่อระบายความชื้นส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกั้นความชื้นออก

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.3.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

5.3.1.1 การจำลองแบบจำลองผนังอุโบสถกรณีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังในโปรแกรม WUFI-2D เป็นการจำลอง 2 มิติซึ่งมีข้อจำกัดคือสามารถแสดงปริมาณน้ำและพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้น ณ บริเวณผนังที่ถูกตัดเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นของผนังที่บริเวณไม่มีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นได้

5.3.1.2 การสร้างแบบจำลองผนังอุโบสถในกรณีการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนังเนื่องจากโปรแกรม WUFI-2D ไม่สามารถสร้างโมเดลที่มีความลาดเอียงได้ พื้นผิวท่อดินเผาที่จำลองขึ้นในโมเดลจึงเกิดจากรูปทรงสี่เหลี่ยมต่อกันจนมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการจำลองได้

5.3.1.3 การจำลองโมเดลผนังอุโบสถกรณีการใช้การตัดความชื้นที่ผนังด้วยแผ่นกั้นความชื้นในโปรแกรม WUFI-2D เป็นการจำลอง 2 มิติซึ่งมีข้อจำกัดคือสามารถแสดงปริมาณน้ำและพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้น ณ บริเวณผนังที่ถูกตัดเท่านั้น ไม่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นของผนังที่บริเวณไม่มีการใช้แผ่นกั้นความชื้นได้

5.3.1.4 ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้การจำลองเป็นข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร รวมถึงข้อมูลสภาพอากาศภายในอุโบสถที่ใช้เป็นข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากการเก็บข้อมูลเพียงแค่ 3 วันเท่านั้นเนื่องด้วยข้อจำกัดด้านเวลาในการทำวิจัย จึงอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการจำลองได้

5.3.2 ข้อเสนอแนะ

5.3.2.1 วิธีการแก้ปัญหาค่าความชื้นด้วยวิธีการใช้รางระบายความชื้นออกจากฐานรากควรทำการศึกษาอัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในรางระบายอากาศที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำในผนังที่ลดลงเพิ่มเติม

5.3.2.2 วิธีการแก้ปัญหาค่าความชื้นใช้ที่อุดดินเผาระบายควรรองใช้วัสดุอื่นเพื่อศึกษาปริมาณความชื้นที่ลดลง

5.3.2.3 ควรทำการจำลองการใช้วิธีการตัดความชื้นด้วยแผ่นกันความชื้นที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างพื้นกับผนังเพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหาค่าความชื้นความชื้นในผนัง

5.3.2.4 ควรใช้ข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดนครปฐมและเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภายในอุโมงค์ให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ผลการจำลองที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

สมชาติ จิ่งศิริอารักษ์. (2540). *เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 256-407 การอนุรักษ์อาคารทหารประวัติศาสตร์และโบราณสถาน 2 เรื่องการอนุรักษ์โครงสร้างและวัสดุของโบราณสถาน*. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ASTM . (2015). *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Cagnon, H., Aubert, J., Coutand, M., & Magniont, C. (2014). *Hygrothermal properties of earth bricks*. *Energy & Buildings*, 80, 208-217. doi:10.1016/j.enbuild.2014.05.024

Franzoni, E. (2014). *Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge*. *Construction and Building Materials*, 54, 123-136.

Halim, A.A. & Halim, A.Z. (2010). *An analysis of Dampness Study on Heritage Buildings: A Case Study Ipoh Old Post Office Building and Suluh Budiman Building*. UPSI, Perak, Malaysia. *Journal of Sustainable Development*.

Heiman JL, Waters EH, McTaggart RC. (1973). *The treatment of rising damp*. *Archit Sci* 1973, 16(4), 170–177.

Her Majesty's Stationery Office (HMSO). (1996). *Historic Buildings Factsheet Technical 8.01: Control of Damp*. London, England: HMSO.3.1.3 VandenBos, G., Knapp, S., & Doe, J.

- Kunzel, H.M., Holm, A., Zirkelbach, D., Karagiozis, A. N. (2005). *Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope*. Solar Energy 78, 554–561.
- Mora, P. (1974). *Cause of deterioration of mural painting. (11). International centre for the study of the preservation and the restoration of cultural property*. Rome, Italy
- Oxley, T.A. and Gobert, E.G. (1983). *Dampness in Building: Diagnosis, Treatment, Instruments*. England: Bullerworth
- Steehan, M., Janssens, A., Steeman, H.J., Bellghem, M. V., Paepe, M. D. (2010). *On Coupling 1D Non-Isothermal Heat and Mass Transfer in Porous Materials with a Multizone Building Energy Simulation Model*, Building and Environment 45, 865-877.
- Tariku, F., Kumaran, K., Fazio, P. (2010). *Integrated Analysis of Whole Building Heat, Air and Moisture Transfer*. International Journal of Heat and Mass Transfer 53,3111–3120.

บทความวารสาร

- ปรีชญา มัทธนนที, ทยากร จารุชัยมนตรี. (2015). วิธีการจำลองสภาพความชื้นของวัสดุกรอบอาคาร ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลอง. *หน้าจั่ว:ว่าด้วยสถาปัตยกรรม การออกแบบและสภาพแวดล้อม*, 29(0), 335.
- สริน พินิจ. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและ การเสื่อมสภาพของผนังอาคาร โบราณสถาน กรณีศึกษา : พระอุโบสถ วัดนิเวศธรรมประวัติ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2557(64), 212-228

อรรจน์ เศรษฐบุตร, ณัฐนี วงศ์วีระนนท์ชัยและสริน พินิจ. (2556). แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปไสยาสน์ วัดสะดือ จ.พระนครศรีอยุธยา. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครบรอบ 25 ปี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Ahmad, A.G. & Abdul Rahman, H.F. (2010). "Treatment of Salt Attack and Rising Damp in Heritage Buildings in Penang". *Malaysia. Journal of Construction in Developing Countries*. 15, 93-112

A Hola. (2017). Measuring of the moisture content in brick walls of historical buildings – the overview of methods To cite this article: *A Hola 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 251 012067

Sardella, A., De Nuntiis, P., & Bonazza, A. (2018). Efficiency evaluation of treatments against rising damp by scale models and test in situ: *Journal of Cultural Heritage*.

Torres, I. (2014). Wall base ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channels. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), 121-127. doi:10.1016/j.culher.2013.03.005

Vogele, J. (2012). Protection against rising damp in masonry: The baroque palace in Ludwigsburg a case study. *Building Appraisal, Maintenance and Preservation Proceedings of A 3 Day Symposium at the University of Bath*, 1985, 113-123.

วิทยานิพนธ์

กัตัญชลี เวชวิมล. (2543). อิทธิพลของความชื้นและแสงแดดต่อการเสื่อมสภาพของจิตรกรรมฝาผนังในวัด. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี. (2555). การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน: กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์. (2547). พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริธรรม ปิตุสุริยณ. (2542). ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน : กรณีศึกษาพระอุโบสถ วัดกำแพง.(วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

บริษัท ชาญรุ่งโรจน์ จำกัด. (2551). รายงานโครงการบูรณะซ่อมแซมอุโบสถ (หลังคา) ตำบลท่าเรือ อำเภอนาทวี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. สืบค้นจาก www.openbase.in.th/files/ebook/thanapol

วัดโพธิ์ทองสวยจิก. (2560). วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการทำฐานอาคารให้แห้งกรณีศึกษาอุโบสถประวัติการบูรณะ/ซ่อมแซม อุโบสถวัดโพธิ์ทองสวยจิก. สืบค้นจาก <https://sites.google.com/a/bru.ac.th/wad-phothithxng/prawati-burn-bos>

สี่บพงศ์ จรรย์สี่บศรี. (2549). เทคนิคการซ่อมแซมอาคารอนุรักษ์และโบราณสถาน (ปัญหาความชื้นในอาคาร). สืบค้นจาก <http://suebpong.rmutl.ac.th/>

สี่บพงศ์ จรรย์สี่บศรี.(2552). เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาสถาปัตยกรรมไทย. สืบค้นจาก suebpong.rmutl.ac.th

สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์, (2559), *การทำนุบำรุง วัด ศาสนสถาน ศาสนวัตถุ และ ศิลปวัตถุ*. สืบค้นจาก <http://www.crownproperty.or.th/public/upload/media>.

Bordachev, A. (2010). *Moisture Calculation Analysis and Injection Methods in Brick Masonry Walls*. Retrieved from <http://www.theseus.fi/handle/10024/17380>

Riley, M. & Cotgrave, A. (2005). *Dampness in Buildings. Division of Sustainable Development*. Retrieved from <http://folders.nottingham.edu.cn>



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการตรวจวัดสภาพอากาศภายในอุโบสถวัดเชิงเลน

ตารางที่ ก.1

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในอุโบสถวัดเชิงเลน

วันที่-เดือน-ปี/เวลา	อุณหภูมิอากาศภายใน(องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน (%)
11/25/17 11:00 น.	27.161	58.5
11/25/17 12:00 น.	27.628	58.1
11/25/17 13:00 น.	27.825	58.1
11/25/17 14:00 น.	28.097	58
11/25/17 15:00 น.	28.245	57.4
11/25/17 16:00 น.	28.295	57.5
11/25/17 17:00 น.	28.27	58
11/25/17 18:00 น.	28.221	58.8
11/25/17 19:00 น.	28.295	59.5
11/25/17 20:00 น.	28.295	60.2
11/25/17 21:00 น.	28.345	61
11/25/17 22:00 น.	28.32	61.8
11/25/17 23:00 น.	28.295	62.2
11/25/17 24:00 น.	28.295	62.6
11/25/17 1:00 น.	28.27	63.3
11/25/17 2:00 น.	28.196	63.3

ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

ตารางที่ ก.1

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในอุโบสถวัดเชิงเลน

วันที่-เดือน-ปี/เวลา	อุณหภูมิอากาศภายใน (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน (%)
11/25/17 3:00 น.	28.147	63.2
11/25/17 4:00 น.	28.097	63.2
11/25/17 5:00 น.	27.801	63
11/25/17 6:00 น.	27.554	63.1
11/25/17 7:00 น.	27.776	62.5
11/25/17 8:00 น.	27.653	61.1
11/25/17 9:00 น.	26.867	61
11/25/17 10:00 น.	27.284	60.4
11/25/17 11:00 น.	27.407	60.6

ที่มา: ผู้วิจัย. 2561

ภาคผนวก ข
ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติวัสดุของอิฐมอญ

- (1) อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ° C เพื่อให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบคงที่
- (2) นำชิ้นทดสอบออก ทิ้งให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบทันที โดยบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง (D) ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีค่าเท่ากับ 96 กรัม
- (3) วางชิ้นทดสอบทั้งหมดลงในหม้อต้มที่มีตะแกรงอยู่ภายในเพื่อไม่ให้ชิ้นทดสอบสัมผัสกับกันและขอบหม้อต้ม เติมน้ำให้ท่วมชิ้นทดสอบอยู่เสมอในระหว่างการต้ม ต้มจนน้ำเดือดนาน 5 ชม. จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบไม่น้อยกว่า 24 ชม.
- (4) หลังจากชิ้นทดสอบอืดตัวในน้ำแล้ว ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (S) แต่ละชิ้นด้วยการวางชิ้นทดสอบบนชุดตะกร้าที่จุ่มอยู่ในน้ำซึ่งต่อเข้ากับเครื่องชั่ง บันทึกค่าน้ำหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ 62.60 กรัม
- (5) หลังการชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (S) ให้ซับชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นเบา ๆ บนผ้าเพื่อซับน้ำส่วนเกินที่ผิวของชิ้นทดสอบออก อย่าเช็ดมากเกินไปเพราะจะทำให้หน้าในรูพรุนของชิ้นทดสอบออกมาด้วย จากนั้นชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบเปียก (M) ทันทีหลังจากซับน้ำมีค่าเท่ากับ 114.80 กรัม ขั้นตอนนี้ควรทำอย่างรวดเร็วเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดความ ผิดพลาดที่เกิดจากการระเหยของน้ำจากชิ้น

ภาคผนวก ค

วิธีการหาค่าความหนาแน่น (Bulk Density) และความพรุน (Porosity) ของอิฐมอญ

(1) จำนวนปริมาตรรวม(V)มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรมีสมการคำนวณดังนี้ (ASTM , 2015)

$$V = M - S$$

โดยที่

M = น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (กรัม)

S = น้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (กรัม)

จากสูตรการคำนวณข้างต้นจะได้ปริมาตรรวมของชิ้นทดสอบเท่ากับ 52.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. ความหนาแน่นรวม (B) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้น ทดสอบแห้งกับปริมาตรรวม คำนวณความหนาแน่นดังนี้

$$B = D / V$$

โดย

D= น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (กรัม)

V= ปริมาตรรวม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3. ความพรุนตัวปรากฏ (P) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดกับปริมาตรรวม โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$P = [(M - D) / V] \times 100$$

โดย

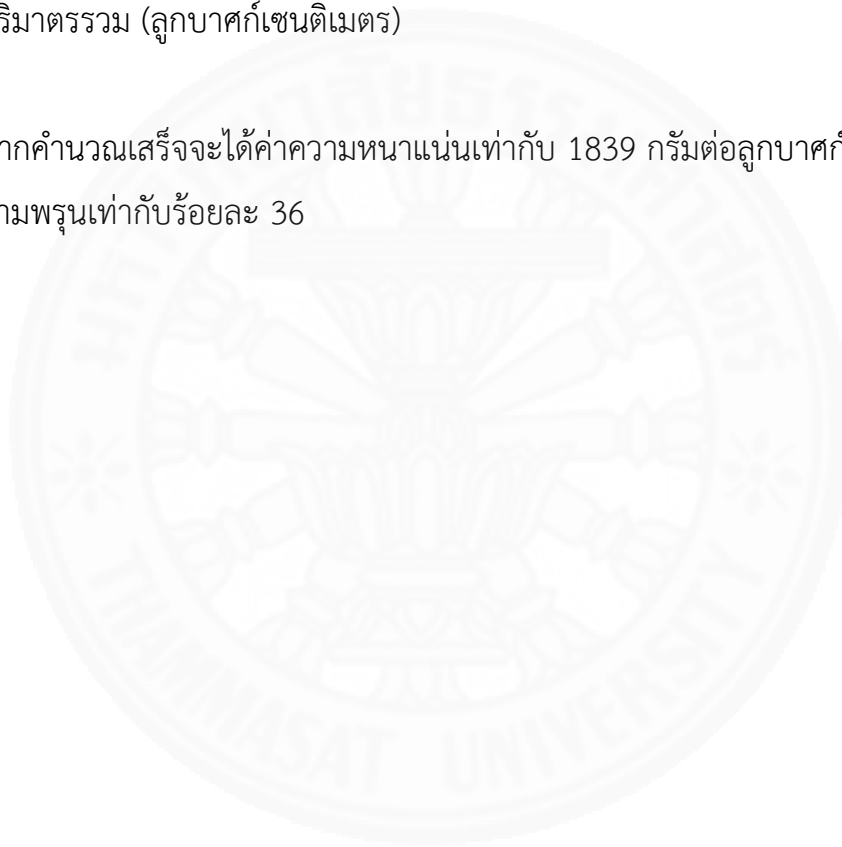
P= ความพรุน (ร้อยละ)

M= น้ำหนักของชิ้นทดสอบเปียก (กรัม)

D= น้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง (กรัม)

V= ปริมาตรรวม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

หลังจากคำนวณเสร็จจะได้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1839 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและค่าความพรุนเท่ากับร้อยละ 36



ภาคผนวก ง
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติวัสดุของอิฐมอญ



(1) เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง.โดย ผู้ทำวิจัย. 2561



(2) เตาอบ. โดย ผู้ทำวิจัย. 2561

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล
วันเดือนปีเกิด	18 กรกฎาคม พ.ศ.2536
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2558: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

ณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล, ดารณี จาริมิตร. (มิถุนายน, 2561). ที่มาของปัญหาความชื้นและวิธีอนุรักษ์
ผนังอาคารโบราณสถาน. *งานการประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates
Conference ครั้งที่ 9 ประจำปี 2561 (BERAC10, 2018)*, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการ
ผังเมือง,มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี