

อิทธิพลของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบของอาคารปรับอากาศ



นายสุวิชา เบญจพร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1264-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF MOISTURE PENETRATION THROUGH OPAQUE WALL IN AIR-CONDITIONED
BUILDING

Mister Suwicha Benjaporn

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2000

สุวิชา เบญจพร : อิทธิพลของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบของอาคารปรับอากาศ. (THE EFFECTS OF MOISTURE PENETRATION THROUGH OPAQUE WALL IN AIR-CONDITIONED BUILDING) อ.ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ 152 หน้า. ISBN 974-13-1264-4.

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิและปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยสูงเกือบตลอดทั้งปี ดังนั้นการป้องกันความร้อนและความชื้นจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการพิจารณาเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างผนังโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารปรับอากาศ เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการใช้พลังงานในอาคาร แต่อาคารส่วนใหญ่ไม่ได้คำนึงถึงความสำคัญของการป้องกันความชื้นซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบของอาคารที่มีปรับอากาศ เริ่มจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมความชื้นด้วยวิธีจำลองสภาวะการใช้งานผนังอาคารที่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยเลือกผนังอาคารชนิดต่างๆที่นิยมใช้ก่อสร้างในปัจจุบัน ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก(EIFS) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังอาคาร

ผลการศึกษาพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด พบว่าผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้ดีที่สุด เนื่องจากมีมวลสารน้อยและมีความพรุนของมวลสารมากจึงทำให้ความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาได้มาก โดยมีอัตราส่วนความชื้นที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 15.74 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้ดีที่สุด เนื่องจากมีฉนวนป้องกันความชื้นติดตั้งด้านนอกอาคารจึงมีอัตราส่วนความชื้นที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 10.16 กรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้พบว่าภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีโอกาสเกิดการควบแน่นสูงมาก โดยอุณหภูมิภายในผนังสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยเพียง 0.3 องศาเซลเซียส ส่วนการเกิดการควบแน่นภายในผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกนั้นมีโอกาสเกิดการควบแน่นน้อยมาก โดยมีอุณหภูมิภายในผนังสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยถึงประมาณ 6.3 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว กรณีที่ทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร พบว่าการทาสีผนังด้านนอกอาคารสามารถลดปริมาณความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในอาคารได้ เนื่องจากคุณสมบัติของเนื้อสีจะช่วยอุดช่องว่างบริเวณผิวผนังทำให้ความชื้นแทรกซึมผ่านผนังเข้ามาในอาคารได้น้อยลง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าที่ผิวภายในอาคารของผนังที่ทาสีด้านนอกจะมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยต่ำกว่าผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ และในการวิเคราะห์แนวทางการป้องกันความชื้นโดยการติดตั้งฉนวนกันความชื้นที่ผนังด้านนอกอาคารและด้านในอาคารนั้น พบว่าผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วที่ติดตั้งฉนวนโฟม EPS ความหนา 1 นิ้ว ที่ด้านนอกอาคารสามารถป้องกันความชื้นได้ดีกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนชนิดเดียวกันที่ด้านในอาคาร ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นที่ผิวภายในอาคารของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกโดยเฉลี่ยต่ำกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคาร แต่ข้อสังเกตสำหรับการติดตั้งฉนวนป้องกันความชื้นที่ด้านในอาคาร คือ โอกาสเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณรอยต่อระหว่างฉนวนกับผนังอาคาร

สรุปการทดสอบผนังทั้ง 4 ชนิดพบว่าผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นต่ำที่สุด โดยมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 31.39 บีทียูต่อปอนด์ รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 29.71 บีทียูต่อปอนด์ ต่อมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 25.73 บีทียูต่อปอนด์ ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกซึ่งคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนความชื้นดีที่สุด โดยมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ย 24.64 บีทียูต่อปอนด์ และสำหรับแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันความชื้น คือ การติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร เพราะนอกจากสามารถป้องกันความชื้นได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนด้านในอาคารแล้ว ยังลดโอกาสเกิดการควบแน่นบริเวณรอยต่อระหว่างผนังอาคารกับฉนวนอีกด้วย

ภาควิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543

4274178625 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: MOISTURE PENETRATION / VAPOR / PRESSURE DIFFERENT / CONDENSATION

SUWICHA BENJAPORN : THESIS TITLE. THE EFFECTS OF MOISTURE PENETRATION THROUGH OPAQUE WALL IN AIR CONDITIONED BUILDING THESIS ADVISOR : PROF.SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 152 pp. ISBN 974-13-1264-4.

Thailand is located in the tropical area where the average temperature and moisture is high all year round. Therefore heat and moisture prevention play an important role in choosing the appropriate materials for wall construction, especially for air-conditioned buildings. Since moisture significantly affects the use of energy in buildings but most buildings do not have proper prevention, this results in the loss of a large amount of energy.

The purpose of this research was to emphasize the importance of preventing heat and moisture penetrating through opaque walls in air-conditioned buildings. Firstly the study focused on the factors affecting moisture penetration by imitating the condition of the walls of the buildings that the air-conditioning was on 24 hours. Various materials used in today's construction such as 4-inch-masonry brick walls, 8-inch-masonry brick walls, 4-inch-light weight concrete walls and Exterior Insulation and Finish System (EIFS) were selected in the study to find suitable ways to solve the problems.

The result of the study revealed that among four kinds of materials, 4-inch-light weight concrete walls were the least effective material that could prevent moisture. This was because their weight was light and they were porous which allowed moisture penetration. The humidity ratio of the interior walls was approximately 15.74 gram per kilogram. On the other hand, EIFS was the best material which could prevent moisture penetration since insulation was installed on the exterior walls. The humidity ratio of the interior walls was around 10.16 gram per kilogram. Moreover, it was very likely that 8-inch-masonry brick walls caused condensation. The temperature of the interior walls was only 0.3 degrees Celsius higher than the average dew point temperature. However, there were small chances that condensation would occur when EIFS was used since the temperature of the interior walls was approximately 6.3 degrees Celsius higher than the average dew point temperature. Regarding 4-inch-light weight concrete walls that were painted and not painted outside, those whose exterior surfaces were painted could reduce the amount of moisture penetration. The decrease was due to the fact that the paint could prevent moisture that entered through the porous walls. The study revealed that the amount of moisture of the interior walls, whose exterior walls were painted, was less than those whose exterior walls were not painted. According to the analysis of ways to prevent moisture by using vapor barriers on both the interior and exterior walls, 4-inch-light weight concrete walls which had one inch EPS installed outside could prevent moisture more effectively than those that had the same material installed inside the building. The result showed a less amount of moisture inside the building where the EPS was installed outside. Moreover, it was also found out that the installation of vapor barriers on the interior walls could lead to condensation in the area between the insulation and the surface of the walls.

The conclusion of the study with the four kinds of walls was as follows. Light weight concrete walls had the least ability to prevent heat and moisture. The enthalpy inside the building was approximately 31.39 Btu per pound. 4-inch-masonry brick walls' and 8-inch-masonry brick walls' enthalpy was around 29.71 Btu per pound and 25.73 Btu per pound respectively. EIFS was the best material that could prevent moisture. Its enthalpy was about 24.64 Btu per pound. The right solution to prevent moisture was to install the insulation on the exterior walls. This can not only prevent moisture getting into the building, but also help reduce the condensation in the area between the surface of the walls and the insulation.

Department Architecture

Student's signature.....

Field of study Building technology

Advisor's signature.....

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เป็นผลมาจากความกรุณาอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการจากผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ที่กรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำในฐานะที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.ดร.วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์ คุณพรชัย ศรีประเสริฐ และท่านรองฯ ปราโมทย์ เอี่ยมศิริ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของมหาวิทยาลัยชินวัตรที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่ภายในมหาวิทยาลัยเพื่อดำเนินการทำวิจัยตลอดทุกชั้นตอน ขอขอบพระคุณบริษัท วันทวัน จำกัด บริษัท Thai Obayashi Corp.,Ltd. ที่กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทุกอย่างด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณ บริษัท สยาม EIFS จำกัด ที่ได้กรุณาสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ แรงงาน และงบประมาณในการจัดสร้างอาคารทดลองสำหรับนิสิตทุกคนที่ได้เข้ามาทำการทดลอง ณ มหาวิทยาลัยชินวัตรนี้ ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการ อาจารย์และนักเรียน ฝ่ายช่างก่อสร้างสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน จังหวัดตราดบุรี ที่สนับสนุนในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ขอขอบคุณพี่สมเกียรติ นครไทย ที่ช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและ software ที่ใช้ในการทดสอบ และที่ระลึกไม่ได้คือ ต้องขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ สาขาเทคโนโลยีอาคารทุกคนผู้ร่วมในชะตากรรมเดียวกัน ซึ่งให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า และผู้มีพระคุณอีกหลายท่าน ที่ได้สนับสนุนทั้งกำลังใจ กำลังใจ และงบประมาณ แก่ผู้วิจัยมาตั้งแต่จำความได้จนกระทั่งสามารถบรรลุเป้าหมายในชีวิตครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	4
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5

บทที่ 2 การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อน.....	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น.....	12
2.2 การถ่ายเทความชื้น.....	21
2.3 การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น.....	25
2.4 ผลกระทบจากความชื้นต่ออาคารและผู้ใช้อาคาร.....	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล.....	36
3.2 การทดสอบเครื่องมือ.....	40
3.3 การเตรียมวัสดุและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	42
3.4 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบ	
4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ	59
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทดสอบ	60
4.3 การศึกษาพฤติกรรมของความชื้นกรณีทดสอบการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอก และด้านในอาคาร.....	87
4.4 การศึกษาพฤติกรรมของความชื้นกรณีทดสอบการทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอก	107
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	106
5.2 แนวทางการป้องกันความชื้นสำหรับผนังอาคารที่มีการปรับอากาศ	109
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	110
รายการอ้างอิง	111
ภาคผนวก	113
ประวัติผู้วิจัย	152

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 Heat transfer by conduction.....	7
ภาพที่ 2.2 Radiant energy transfer between two surface molecules.	9
ภาพที่ 2.3 Absorbtion, reflection, and transmission of radiation striking a semitransparent material.	10
ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B	11
ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด A.....	15
ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด B.....	15
ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด C.....	16
ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด D	17
ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด E.....	17
ภาพที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด F	18
ภาพที่ 3.1 เครื่อง Scienmetric Data Logger.....	37
ภาพที่ 3.2 การติดตั้งเครื่อง Scienmetric Data Logger	37
ภาพที่ 3.3 Sensor วัดอุณหภูมิชนิด Thermister 10 k Ω	38
ภาพที่ 3.4 เครื่อง Humidity Data Logger	38
ภาพที่ 3.5 Humidity Sensor	39
ภาพที่ 3.6 อาคารทดลอง.....	40
ภาพที่ 3.7 อิฐที่นำมาใช้ควรมาจากแหล่งเดียวกันทุกก้อน.....	43
ภาพที่ 3.8 การเจาะอิฐเพื่อเตรียมช่องสำหรับติดตั้ง Sensor.....	43
ภาพที่ 3.9 อิฐที่เจาะรู	44
ภาพที่ 3.10 การเรียงอิฐก่อนนำไปก่อเป็นผนังทดลอง (อิฐ 2 ชั้น).....	44
ภาพที่ 3.11 การก่ออิฐตามแนวที่กำหนด	44
ภาพที่ 3.12 การก่ออิฐควรทำในช่วงเวลาเดียวกัน.....	45
ภาพที่ 3.13 การควบคุมระยะแนวตั้งของผนังทดลอง	45
ภาพที่ 3.14 ผนังก่ออิฐ 1 ชั้นที่ใช้ในการทดลอง	46
ภาพที่ 3.15 ผนังอิฐ 2 ชั้นที่ใช้ในการทดลอง	46
ภาพที่ 3.16 ผนังคอนกรีตมวลเบา.....	47
ภาพที่ 3.17 ผนังระบบฉนวนป้องกันความร้อนภายนอก (Exterior Insulation and Finished System).....	48

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 3.18 การติดตั้งผนังก่ออิฐ 1 ชั้นและผนังคอนกรีตมวลเบา.....	49
ภาพที่ 3.19 การติดตั้งผนังก่ออิฐ 2 ชั้นและผนัง EIFS.....	49
ภาพที่ 3.20 ด้านในวัสดุที่ติดตั้งเสร็จ	50
ภาพที่ 3.21 ด้านนอกวัสดุที่ติดตั้งเสร็จ	50



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า slope และ offset สำหรับ Sensor วัดอุณหภูมิแต่ละตัว.....	59
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า slope และ offset สำหรับ Sensor วัดความชื้นสัมพัทธ์แต่ละตัว.....	60



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิอากาศที่ Sensor ทุกตัวสามารถวัดได้	41
แผนภูมิที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Standard diviation ของ Sensor วัดอุณหภูมิ	41
แผนภูมิที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ที่ Sensor ทุกตัวสามารถวัดได้.....	42
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	61
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	62
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	63
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงปริมาณความสัมพันธ์ที่ผิวภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	64
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณความสัมพันธ์ที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	66
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงปริมาณความสัมพันธ์ที่ผิวผนังในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	67
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	68
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	69
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	70

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.10	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	72
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	73
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบ ทั้ง 4 ชนิดในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544.....	74
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้าน ทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544	77
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้าน ทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544	79
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้าน ทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544	80
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้าน ทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544	81
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังระบบ	82
แผนภูมิที่ 4.18	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวภายนอกอาคารของวัสดุทดสอบ.....	84
แผนภูมิที่ 4.19	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ	85
แผนภูมิที่ 4.20	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบ.....	86
แผนภูมิที่ 4.21	แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวภายนอกอาคารของวัสดุทดสอบ	88
แผนภูมิที่ 4.22	แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ	89
แผนภูมิที่ 4.23	แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวผนังในอาคารของวัสดุทดสอบ	90
แผนภูมิที่ 4.24	แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังด้านนอกอาคารของวัสดุทดสอบ	91
แผนภูมิที่ 4.25	แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ	92

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.26	แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวด้านในอาคารของวัสดุทดสอบ	93
แผนภูมิที่ 4.27	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวด้านนอกอาคารของวัสดุทดสอบ.....	95
แผนภูมิที่ 4.28	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ.....	96
แผนภูมิที่ 4.29	แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบ	97
แผนภูมิที่ 4.30	แสดงอุณหภูมิที่ผิวด้านในฉนวนและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของวัสดุทดสอบ	99
แผนภูมิที่ 4.31	แสดงปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบ.....	100
แผนภูมิที่ 4.32	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคารของวัสดุ ทดสอบกรณีทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร	102
แผนภูมิที่ 4.33	แสดงเปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวผนังด้านนอกและด้านใน อาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร.....	103
แผนภูมิที่ 4.34	แสดงเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคาร ของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร	104
แผนภูมิที่ 4.35	แสดงเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังด้านนอกและด้านใน อาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร.....	105
แผนภูมิที่ 4.36	แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังด้านในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร.....	106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (Hot-humid climate) ซึ่งโดยเฉลี่ยจะมีอุณหภูมิและความชื้นสูงเกือบตลอดทั้งปี ทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาวะสภาวะอากาศจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างผนังที่มีความเหมาะสม เนื่องจากผนังอาคารจะทำหน้าที่เสมือนตัวสกัดกั้นผลกระทบโดยตรงจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศนอกอาคารกับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมในการทำหน้าที่ดังกล่าวจึงควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นได้ดี ไม่สะสมความร้อนและความชื้น แข็งแรง มีอายุการใช้งานยาวนาน ก่อสร้างได้รวดเร็ว ประหยัดทั้งราคา และการบำรุงรักษา

สำหรับการก่อสร้างอาคารโดยส่วนใหญ่ของประเทศไทยนั้น ผนังที่นิยมใช้กันนับตั้งแต่สมัยก่อนมาจนถึงปัจจุบัน คือ “ผนังก่ออิฐฉาบปูน” ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการก่อสร้างผนังทั้งภายนอกและภายในอาคาร เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถจัดหาได้ง่ายและมีราคาถูก จึงทำให้เกิดความคุ้นเคยในการนำมาใช้ในวงการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของผนังก่ออิฐฉาบปูนแล้ว จะพบว่าคุณสมบัติของผนังชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับอาคารที่อยู่ในสภาวะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างประเทศไทยโดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศ เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนและป้องกันความชื้นได้น้อยมาก จึงทำให้ความร้อนและความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาในอาคารได้โดยง่าย

แหล่งที่มาของความชื้นที่เข้ามาในอาคารนั้นสามารถเข้ามาได้จากหลายแหล่ง เช่น

- 1) การแทรกซึมผ่านผนังอาคาร (Moisture penetration)
- 2) การรั่วซึมของอากาศ (Leakage and Infiltration)
- 3) การสะสมในวัสดุก่อสร้างและวัสดุตกแต่งอาคาร (Moisture content)
- 4) ความชื้นจากร่างกายผู้ใช้อาคาร และอื่นๆ เป็นต้น

เมื่อความชื้นเข้ามาในอาคารแล้วนั้น ความชื้นดังกล่าวจะถูกสะสมอยู่ทั้งภายในโครงสร้างและวัสดุต่างๆที่อยู่ภายในอาคาร จึงทำให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการลดปริมาณความร้อนและความชื้นของอากาศ และที่สะสมในวัสดุต่างๆภายในอาคาร เพื่อปรับสภาพแวดล้อมในอาคารให้เข้าสู่โซนสบาย (Comfort zone)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบโดยเฉพาะสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ เพราะอิทธิพลของความชื้นนอกจากจะมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคารจากการทำงานของระบบปรับอากาศแล้ว ความชื้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง (Performance of materials) รวมไปถึงคุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor air quality) อีกด้วย เช่น ความชื้นก่อให้เกิดการหลุดร่อนของสีที่ทาอาคารเพราะความชื้นจะลดความสามารถในการยึดเกาะของสีกับผนังอาคาร หรือการที่ความชื้นมีผลทำให้คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของผนังลดลง เนื่องจากความชื้นที่อยู่ในรูปของของไอน้ำในอากาศจะแทรกซึมไปตามช่องว่างอากาศภายในผนัง ซึ่งการที่น้ำมีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศจึงทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้สะดวกขึ้น อีกทั้งเมื่อมีการสะสมความชื้นในผนังผสมกับการมีอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเชื้อราขึ้นในผนังก็จะก่อให้เกิดกลิ่นรบกวนผู้ใช้อาคารและเชื้อราดังกล่าวจะก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมา เป็นต้น

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการบริโภคพลังงานที่สูงมาก ทั้งในส่วนของภาคธุรกิจเพื่อการค้า คมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม เกษตรกรรม อาคารบ้านเรือน และการก่อสร้าง ซึ่งจากรายงานพลังงานของประเทศไทยพ.ศ.2542 พบว่าการบริโภคพลังงานในส่วนของภาคอุตสาหกรรมและอาคารบ้านเรือนนั้น สามารถประมาณการณเป็นสัดส่วนรวมกันได้ประมาณร้อยละ 55¹ ของความต้องการบริโภคพลังงานโดยรวมของประเทศ ซึ่งคิดเป็นเงินงบประมาณแผ่นดินจำนวนมหาศาลที่ประเทศไทยต้องสูญเสียเพื่อจัดหาพลังงานให้เพียงพอับปริมาณความต้องการบริโภคในแต่ละปี

โดยพลังงานที่บริโภคของภาคอุตสาหกรรมและอาคารบ้านเรือนส่วนใหญ่จะเป็นการบริโภคพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าในอาคารส่วนใหญ่สูญเสียไปสำหรับระบบปรับอากาศ ซึ่งจากสถิติในช่วงระยะเวลา 10 กว่าปีที่ผ่านมา พบว่าแนวโน้มความต้องการบริโภคพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี แสดงว่าในอนาคตประเทศไทยจะต้องจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอับความต้องการที่มากขึ้นอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และเป็นที่น่าเสียดายที่ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ รวมถึงความสมบูรณ์ของสภาพแวดล้อมจะต้องสูญเสียตามมา

¹ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม, รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ.2542 (ม.ป.ท.), หน้าiv

จากผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุที่สำคัญของการการควบคุมการใช้พลังงานของอาคารต่างๆ โดยกำหนดเป็นพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV - Overall Thermal Transfer Value) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV - Roof Thermal Transfer Value) ซึ่งได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนไว้ดังนี้

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV - Overall Thermal Transfer Value)

- สำหรับอาคารเก่าจะต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร
- อาคารใหม่จะต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตร

2) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV - Roof Thermal Transfer Value)

- ทั้งอาคารเก่าและ อาคารใหม่จะต้องมีค่า RTTV ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร

แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังและหลังคาตามที่กฎหมายกำหนดไว้ นั้น จะพบว่าอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดนั้น มิได้แสดงว่าอาคารดังกล่าวจะเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในอาคารนั้นส่วนใหญ่สูญเสียไปสำหรับการทำงานของระบบปรับอากาศที่สามารถแบ่งออกเป็นพลังงานในส่วนที่ใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศ และส่วนที่ใช้ในการลดความชื้นในอาคาร โดยหากจะเปรียบเทียบ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) พลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศจะพบว่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นนั้นมีปริมาณที่มากกว่าพลังงานในการลดอุณหภูมิอากาศหลายเท่า แต่ในการป้องกันอิทธิพลที่เกิดจากความชื้นดังกล่าวซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานส่วนใหญ่ในอาคารนั้น กลับมิได้ระบุไว้ในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 แต่อย่างไรก็ตาม แสดงให้เห็นว่าหากต้องการให้อาคารเป็นอาคารที่มีการประหยัดพลังงานอย่างสมบูรณ์นั้น นอกจากการลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังและหลังคาตามที่กฎหมายกำหนดไว้แล้วนั้นยังควรที่จะต้องพิจารณาถึงการป้องกันอิทธิพลที่เกิดจากความชื้นด้วย

ความสำคัญในการป้องกันความชื้นดังกล่าว เป็นเหตุจูงใจของการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของความชื้นเพื่อสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องในการประหยัดพลังงานที่สมบูรณ์แบบ โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาในส่วนของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่บ ซึ่งจะศึกษาให้ทราบถึงพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น ผนังคอนกรีตมวลเบา และผนังEIFS โดยในการศึกษาจะใช้

วิธีการทดสอบแบบจำลองตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และผลสรุปที่ได้จะสามารถใช้ประกอบการพิจารณาเลือกใช้วัสดุก่อสร้างผนังอาคารที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานและมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังประเภทต่างๆที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารที่มีการปรับอากาศของประเทศไทย
2. ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมและผลกระทบที่เกิดจากความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังประเภทต่างๆ ในสภาวะที่ปรับอากาศ
3. เสนอแนวทางที่เหมาะสมต่อการป้องกันความชื้นซึ่งแทรกซึมผ่านผนังประเภทต่างๆที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารของประเทศไทย

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

โดยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประจักษ์ (Experimental Research) ซึ่งเป็นการทดสอบตัวแปรตามสมมติฐานที่กำหนด และในการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลจากการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังที่บนี้จะใช้การทดสอบด้วยการสภาวะจำลองสภาพการใช้งานจริงภายใต้เงื่อนไขต่างๆดังนี้

- 1) ต้องทำการทดสอบในช่วงเวลา สถานที่ และสภาพแวดล้อมเดียวกัน
- 2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะต้องเป็นเครื่องชนิดเดียวกัน กล่าวคือ เป็นเครื่องมือที่มีคุณสมบัติ และประสิทธิภาพทัดเทียมกัน
- 3) ปัจจัยต่างๆที่เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกให้ถือว่าผลกระทบเดียวกันต่อทุกวัสดุที่ทดสอบจำลองสภาพการใช้งานจริง เพราะเป็นอิทธิพลที่เกิด ณ ช่วงเวลา และสถานที่เดียวกัน

จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบตามสมมติฐานที่กำหนด เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไปทำการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อพลังงานในอาคารซึ่งเป็นผลมาจากการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังที่บ

ชนิดต่างๆ ก่อนทำการสรุปผล และเสนอแนะแนวทางในการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่บชนิดที่นิยมใช้ในการก่อสร้าง รวมถึงการนำเสนอแนวทางในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการก่อสร้างผนังอาคารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศในประเทศไทย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากการแทรกซึมความชื้นผ่านผนังที่บของอาคารปรับอากาศ ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารในประเทศไทยชนิดต่างๆ ในสภาวะที่มีการปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง โดยเลือกทำการทดสอบเฉพาะผนังชนิดต่างๆ ดังนี้

- 1) ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
- 2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว
- 3) ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
- 4) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังที่บชนิดต่างๆ ของอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ
2. สามารถทราบถึงปริมาณและพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่บชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารของประเทศไทย
3. ผลสรุปของการวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางป้องกันความชื้นให้กับผนังประเภทต่างๆ รวมถึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผนังอาคารที่เหมาะสมกับสภาวะอากาศของประเทศไทย

บทที่ 2

การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องอิทธิพลของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่บั้นนั้น จะต้องทำความเข้าใจในพื้นฐานของการวิจัยซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาต่างๆดังนี้

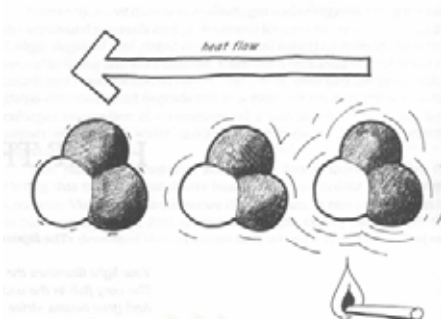
- 2.1 การถ่ายเทความร้อน
- 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น
- 2.2 การถ่ายเทความชื้น
- 2.3 การวัดค่าความจุความร้อนและการถ่ายเทความร้อน
- 2.4 ผลกระทบต่ออาคารที่เกิดจากความชื้น
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากสสารที่ร้อนสู่อุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ และถ้าสสารใด ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วก็จะไม่มีการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนมีอยู่ 3 ประเภทได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

2.1.1 การนำความร้อน (conduction)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่า ไปสู่อุณหภูมิที่เย็นกว่า หรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และจะไม่ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของโลก วัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก วัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง เป็นต้นนำความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ คอนกรีตและอิฐ วัสดุธรรมชาติเช่นไม้จะมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า



ภาพที่ 2.1 Heat transfer by conduction. (Moore, Fuller, 1993: 8)

อากาศหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ จะเป็นตัวนำความร้อนที่แย่ที่สุด ทำให้อากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามค่าการนำความร้อนไม่สามารถผ่านไปยังที่ ๆ ไม่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างสมบูรณ์อากาศได้ ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ ความหนาวัสดุ พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อน และช่วงเวลาที่สัมผัสนั้น เป็นต้น ค่าที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนได้แก่

1) **สัมประสิทธิ์การนำความร้อน** (conductivity: k) หน่วย $W/m \cdot ^\circ K$ หรือ $Btu.in/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $12.0 Btu.in/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ หมายความว่า คอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุต หนา 1 นิ้ว มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านคอนกรีตเท่ากับ $1.0 Btu$ แล้ว จะมีการนำความร้อน $12.0 Btu$ ผ่านในวัสดุใน 1 ชั่วโมง

2) **ความนำความร้อน** (conductance: C) หน่วย $W/m^2 \cdot ^\circ K$ หรือ $Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนาที่กำหนดในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ค่าความนำความร้อนนั้นคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแต่หน่วยของการวัดจะกำหนดตายตัว เช่น คอนกรีตหนา 3 นิ้วมีค่าความนำความร้อนเท่ากับ $4.0 Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ (ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนา 3 นิ้ว) หมายความว่าถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก $1.0 Btu$ จะมีการนำความร้อน $4 Btu$ ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง

$$C = k / \text{ความหนาวัสดุ}$$

3) ความต้านทานความร้อน (resistance: R, R-value) หน่วย $m^2 \cdot K/W$ หรือ $(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F) / Btu$ คือส่วนกลับของค่าความนำความร้อน เป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ค่า R-value ที่มากขึ้นยิ่งแสดงถึงค่าความเป็นฉนวนที่มีมาก

$$R = 1 / C$$

4) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (thermal transmittance: U) หน่วย $W/m^2 \cdot K$ หรือ $Btu / (ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ คือหน่วยของการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง เป็นส่วนกลับของค่า R

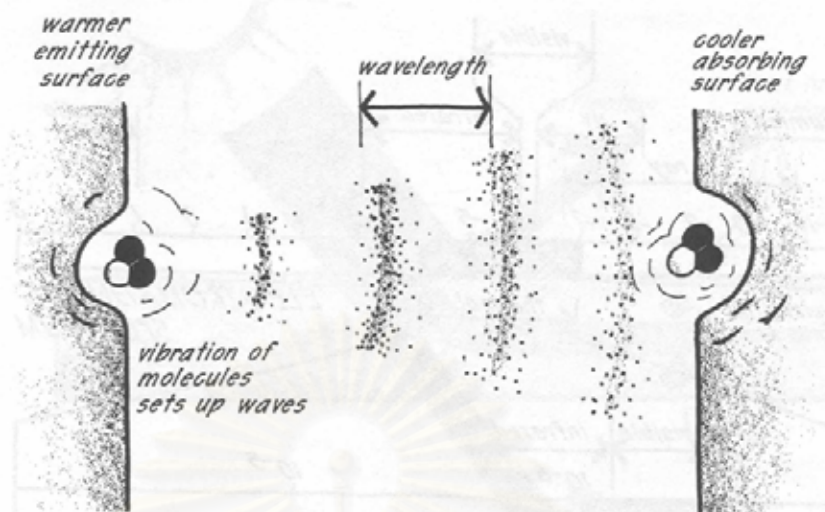
$$U = 1 / \sum R$$

$$= 1 / (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

2.1.2 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนไหวจะคายพลังงานคลื่นออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีความร้อนจึงเป็นการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งความร้อนผ่านสุญญากาศได้

การเคลื่อนที่หรือการสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสารจะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนผ่านตัวกลางได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลงเมื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นรังสีความร้อน โดยเมื่อความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง อากาศ หรือสุญญากาศไปจนกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้าน จะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้น ๆ และทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงขึ้น และคายความร้อนออกมา การแผ่รังสีความร้อนจะเป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก



ภาพที่ 2.2 Radiant energy transfer between two surface molecules. (Moore, Fuller,1993: 13)

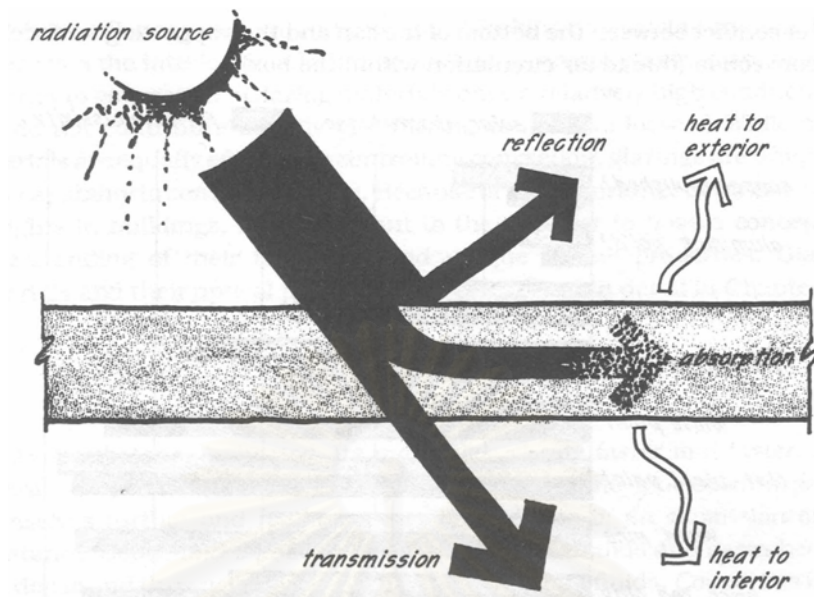
1) ความยาวคลื่น

อุณหภูมิโมเลกุลของพื้นผิววัสดุสามารถให้ความร้อนที่วัดได้เป็นค่าความยาวคลื่น (wave length) หรือความถี่คลื่น (frequency) ได้ โมเลกุลของพื้นผิวแต่ละชนิดจะมีการเคลื่อนไหว หรือการสั่นที่แตกต่างกัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในความเร็วที่คงที่ การเคลื่อนไหวดังกล่าวจะทำให้เกิดความถี่ของคลื่นการแผ่รังสี โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดหรือร้อนที่สุดจะคายคลื่นรังสีสั้น ๆ ออกมา เช่น คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์ จะเป็นคลื่นสั้น (ประมาณ 0.4-4.0 micron, 1 micron = 10^{-6} เมตร) และโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า ๆ จะคายรังสีคลื่นยาวซึ่งมีความยาวคลื่น 8-50 micron

เมื่อพลังงานการแผ่รังสีความร้อนกระทบพื้นผิวพื้นผิวนั้นจะสามารถดูดซับ(absorption: α) ความร้อน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะทำให้ผิววัสดุอุ่นขึ้น และสามารถสะท้อนความร้อน (reflection: β) นั้นกลับไปได้ ถ้าวัสดุมีคุณสมบัติที่ความร้อนสามารถผ่านไปได้ ความร้อนจะทะลุผ่าน (transmission: τ) ชั้นวัสดุออกไป ค่าการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการทะลุผ่านของความร้อนนั้นไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0-1.0 ค่าของคุณสมบัติ 3 ส่วนรวมกันจะเท่ากับ 1

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

เมื่อ	α	คือ	ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ
	β	คือ	ค่าการสะท้อนความร้อนของวัสดุ
	τ	คือ	ค่าการทะลุผ่านของความร้อนของวัสดุ



ภาพที่ 2.3 Absorbtion, reflection, and transmissiion of radiation striking a semitransparent material.

(Moore, Fuller,1993: 15)

3) การคายความร้อน (emissivity: ϵ)

ค่าการคายความร้อนเป็นหน่วยการวัดความสามารถของผิววัสดุที่จะคายรังสีความร้อนออกมาในอุณหภูมิที่กำหนด ค่าการคายความร้อนสามารถวัดได้เป็น 0.0 ในกรณีที่วัสดุไม่มีการคายความร้อน ไปจนถึง 1.0 ซึ่งเป็นการคายความร้อนที่สูงที่สุดเทียบได้กับวัสดุจำลอง Black body ในอุณหภูมิต่าง ๆ กันจะพบว่าค่าการคายความร้อนจะเท่ากับค่าการดูดซับความร้อน (Kirchhoff's law)

$$\epsilon = \alpha \text{ (black body)}$$

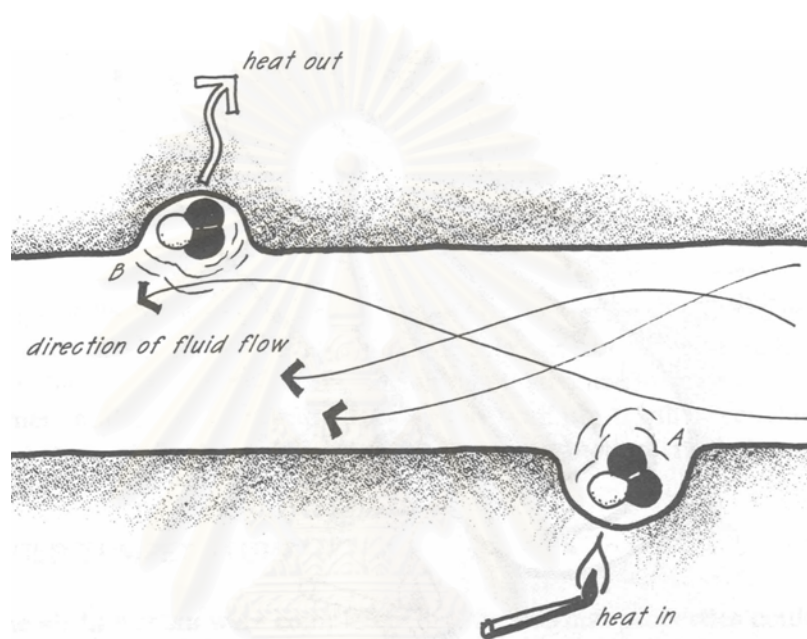
เมื่อ α คือ ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ

ϵ คือ ค่าการคายความร้อนของวัสดุ

วัสดุที่ผิวไม่มันหรือไม่เป็นโลหะ (non metallic) จะมีความสามารถคายความร้อนได้มากกว่าวัสดุโลหะ เนื่องจากมีพื้นผิวที่ช่วยคายความร้อนได้มาก ส่วนวัสดุสีเข้มจะสามารถดูดซับความร้อนได้ดีทำให้มีอุณหภูมิสูงได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่วัสดุสีอ่อนจะสะท้อนความร้อนได้ดี ทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลงได้รวดเร็ว

2.1.3 การพาความร้อน (convection)

การพาความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ และน้ำ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนโมเลกุลจะเคลื่อนไหวกว้างขึ้นและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้น ๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวขึ้น



ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B (Moore, Fuller, 1993: 17)

จากรูปการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อน A ไปด้านเย็น B มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกจนมากระทบที่จุด A ความร้อนนี้จะถ่ายเทไปที่อากาศและพาความร้อนผ่านอากาศไปยังจุด B

ความแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อนคือความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของโมเลกุล การนำความร้อนนั้นโมเลกุลจะไม่เปลี่ยนตำแหน่งแต่จะเคลื่อนย้ายพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลใกล้เคียง ส่วนการพาความร้อนพลังงานจะถูกถ่ายเทไปโดยโมเลกุลจะนำไปด้วยตัวเอง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

2.2.1 ความหมายของความชื้น

ความชื้น (humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539:159)

ปริมาณไอน้ำในอากาศจะขึ้นอยู่กับสถานะของอุณหภูมิในขณะนั้น ความชื้นในอากาศจะอยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งอากาศสามารถอุ้มความชื้นได้ปริมาณมากเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความสามารถในการอุ้มความชื้นของอากาศจะลดลงเมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำลง อาจกล่าวได้ว่าเมื่ออากาศมีการอิ่มตัว (saturated) แสดงว่า ณ เวลานั้นอากาศไม่สามารถอุ้มไอน้ำได้อีก หมายถึง การที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100% ซึ่งก็คือ สถานะที่อากาศมีปริมาณไอน้ำสูงสุดที่สถานะอุณหภูมินั้นๆ

2.2.2 การวัดความชื้น (Humidity Parameters)¹

1) **อัตราส่วนความชื้น** (humidity ratio หรือ moisture content) สัญลักษณ์ “ W ” คือ อัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง

$$\text{อัตราส่วนความชื้น } (W) = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ } (M_w)}{\text{มวลของอากาศแห้ง } (M_a)}$$

หรือสามารถคำนวณได้จากสมการ²

$$W = 0.62198 \frac{X_w}{X_a}$$

เมื่อ W = อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)

X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (moist air)

X_a = อัตราส่วนมวลของอากาศแห้ง (dry air) ต่อมวลของอากาศผสม (moist air)

¹ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997),P 6.12

² 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997),P 6.12

2) ความชื้นสัมบูรณ์³ (absolute humidity สัญลักษณ์ “ d_v ”) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง หน่วยที่ใช้ในการวัดจะใช้เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต⁴

สามารถคำนวณได้จากสมการ⁵

$$d_v = \frac{M_w}{V}$$

เมื่อ d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity)

M_w = มวลของไอน้ำ (water vapor) ในอากาศผสม (Moist Air)

V = ปริมาตรของอากาศ

หรืออีกสมการหนึ่งคือ

$$d_v = \left[\frac{(10)^6 e}{R_{\text{Water Vapor}}} \right] T$$

เมื่อ d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity)

e = ความดันไอน้ำ (vapor pressure)

T = อุณหภูมิ (temperature)

R = ค่าก๊าซคงที่ของไอน้ำ

โดยที่⁶

$$R = \frac{623e \text{ (in gram of water vapor)}}{Pd \text{ (kilogram of dry air)}}$$

³ Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P1.

⁴ สุวพันธ์ นิลายน. อุณหพลศาสตร์, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529), หน้า 42

⁵ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 6.12

⁶ สุวพันธ์ นิลายน. อุณหพลศาสตร์, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529), หน้า 43

เมื่อ P_d = ความดันของอากาศแห้ง ซึ่งเท่ากับ $(P - e)$
 P = ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 1.01325 บาร์ (bar) โดยที่ 1 บาร์ (bar) เท่ากับ 100 กิโลปาสคาล (kPa)

3) **ความชื้นสัมพัทธ์**⁷ (humidity ratio สัญลักษณ์ " ϕ ") คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ดังนั้นการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0% หมายถึง อากาศขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย ณ อุณหภูมินั้นๆ หรือการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% แสดงว่า อากาศขณะนั้นอิ่มตัว กล่าวคือไม่สามารถรับไอน้ำมาเก็บไว้ในอากาศได้อีก

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ } (\phi) = \frac{\text{มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}{\text{มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้น}}$$

ความชื้นสัมพัทธ์หาได้จากสมการ⁸

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws \text{ at } t,p}}$$

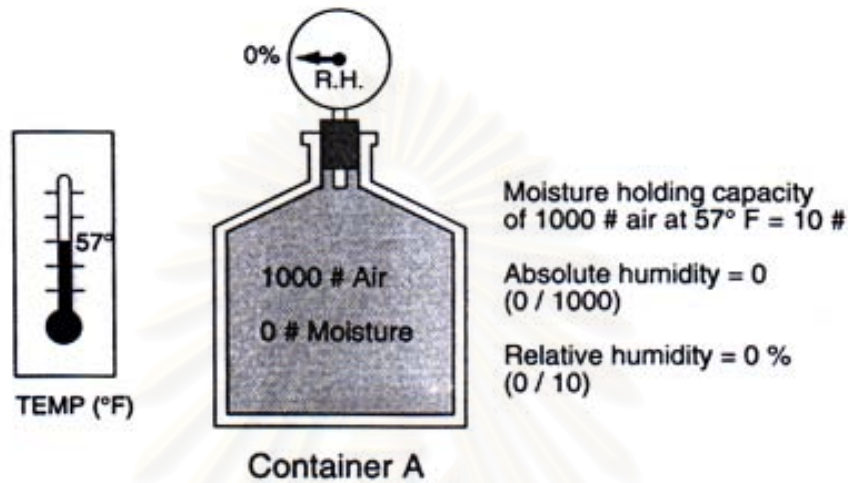
เมื่อ ϕ = ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)
 X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (moist air) ณ อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ
 $X_{ws \text{ at } t,p}$ = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (vapor) ต่อมวลของอากาศผสมในสภาวะอากาศอิ่มตัว (saturated mixture) ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ

ปริมาณความชื้นในอากาศมีผลต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ จากภาพประกอบต่อไปนี้

⁷ Lstiburek and Carmody, *Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings*, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P1.

⁸ *1997 ASHRAE Handbook Fundamental*, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 6.12

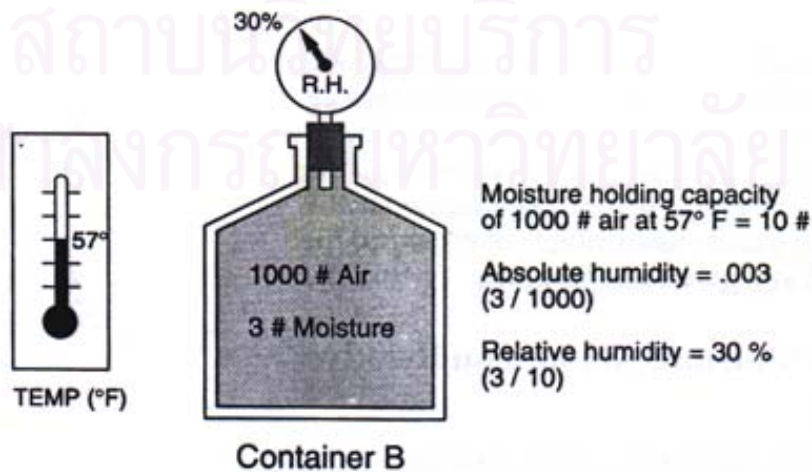
สมมติให้ภายในขวดทั้ง 3 ไบबरจุอากาศปริมาณ 1000 ปอนด์ มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ และขวดทั้ง 3 ไบมีคุณสมบัติในการป้องกันไม่ให้อากาศ น้ำ หรือ ไอน้ำผ่านเข้าออกได้ กำหนดให้ ณ อุณหภูมิที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ อากาศ 1000 ปอนด์ดังกล่าวสามารถรับความชื้นสูงสุดได้ประมาณ 10 ปอนด์



ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด A

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P2.

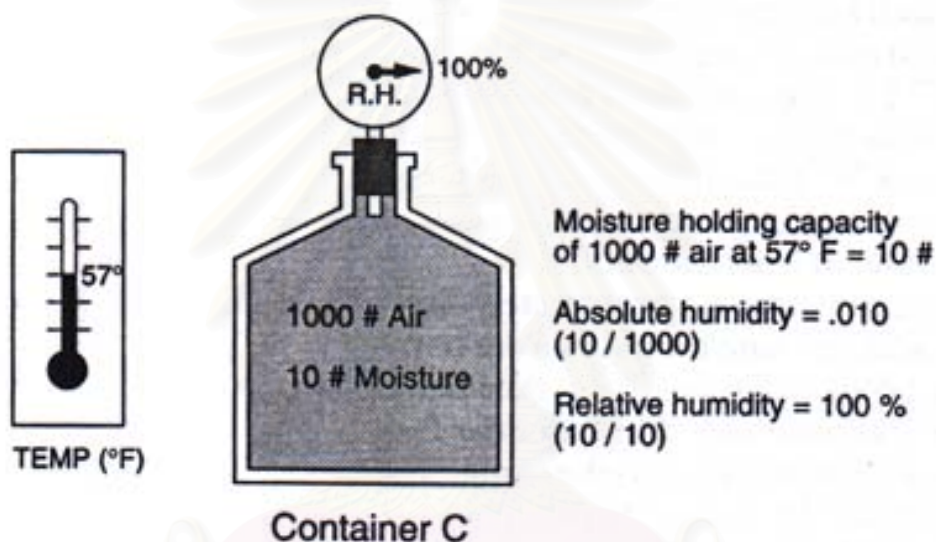
จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า ขวด A มีความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0 เนื่องจากไม่มีความชื้นในอากาศอยู่เลย ในขณะที่ขวด B บรรจุความชื้นเข้าไป 3 ปอนด์ในรูปของหยดน้ำ ณ อุณหภูมิเท่าเดิม ความชื้นในขวดนี้จะเป็น 0.003 ปอนด์ต่ออากาศ 1000 ปอนด์ โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด B

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook:Principles and Practices for Residential and Small Comercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P2.

สำหรับ ขวด C เมื่อบรรจุความชื้นลงไป 10 ปอนด์ในรูปของหยดน้ำ อัตราส่วนความชื้นในขวดจะเท่ากับ 0.010 ปอนด์ต่ออากาศ 1000 ปอนด์ ในขณะที่เดียวกันความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าขวด C มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศรับได้ ณ อุณหภูมินี้คือ ความชื้น 10 ปอนด์ ต่อปริมาตรอากาศ 100 ปอนด์ ซึ่งหากมีการเพิ่มความชื้นเข้าไปอีกก็จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

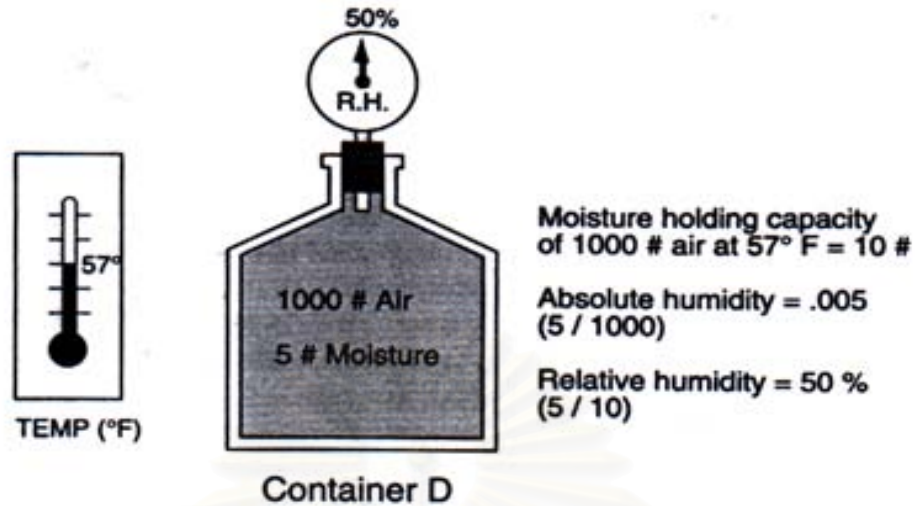


ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด C

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook:Principles and Practices for Residential and Small Comercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P2.

นอกจากนี้ปริมาณไอน้ำในอากาศยังสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศอีกด้วย โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นได้จากภาพประกอบต่อไปนี้

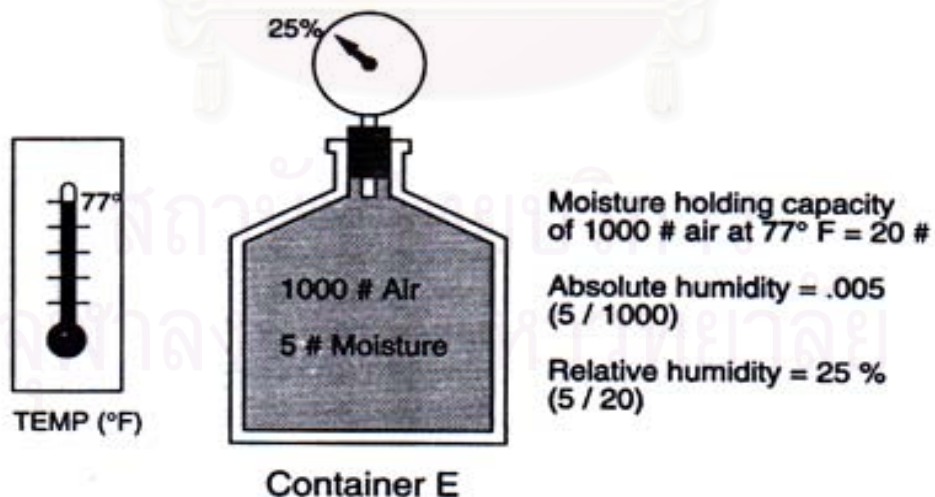
สมมติให้ขวด D, E และ F เป็นขวดที่บรรจุอากาศที่มีปริมาตรเท่ากันที่ 1000 ปอนด์ และมีการผนึกปิดอย่างดีไม่ให้เกิดการรั่วไหลของอากาศ น้ำ หรือไอน้ำได้



ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด D

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P3.

จากภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า ณ อุณหภูมิอากาศที่ 57 องศาฟาเรนไฮด์ ขวด D ซึ่งมีปริมาณความชื้น 5 ปอนด์ ที่อุณหภูมิดังกล่าวเมื่ออากาศอ้อมตัวอากาศจะสามารถรับปริมาณความชื้นได้สูงสุดประมาณ 10 ปอนด์ แสดงว่าอัตราส่วนความชื้นของอากาศในขวด D เท่ากับ 0.005 ปอนด์ต่ออากาศ 1000 ปอนด์ และจะมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์

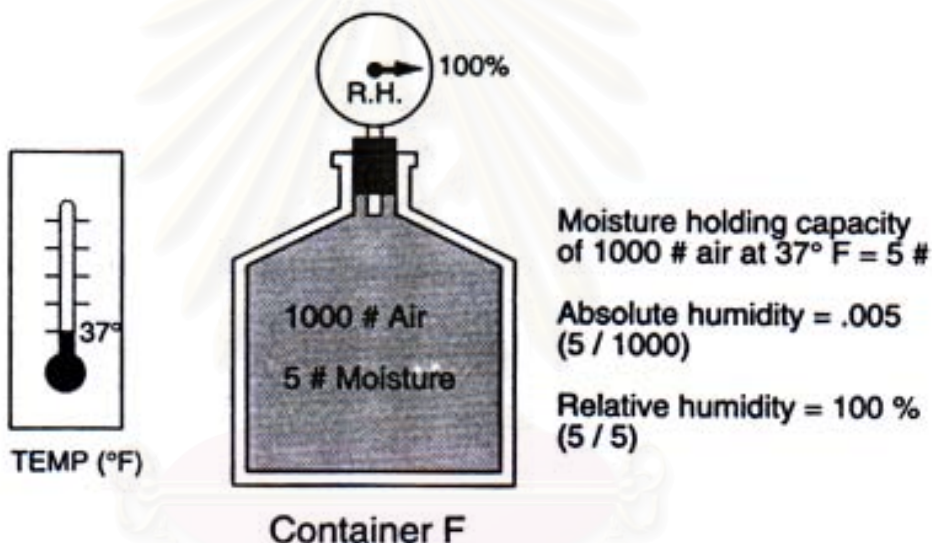


ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด E

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P3.

เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นเป็น 77 องศาฟาเรนไฮต์ ขวด E ซึ่งมีปริมาณความชื้น 5 ปอนด์เท่ากับขวด D จากการที่อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงย่อมส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นก็จะทำให้ความสามารถในการรับความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 20 ปอนด์เมื่ออากาศอิ่มตัว ในขณะที่อัตราส่วนความชื้นยังคงเท่าเดิมคือ 0.005 แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเหลือ 25 เปอร์เซ็นต์

ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิอากาศลดลงเหลือ 37 องศาฟาเรนไฮต์ ในขณะที่ปริมาณความชื้นในขวดยังคงเท่ากับ 5 ปอนด์ เช่นเดียวกันกับขวด D และ E จะทำให้อากาศในขวด F มีความสามารถในการรับความชื้นลดลงเหลือ 5 ปอนด์เมื่ออากาศอิ่มตัว และอัตราส่วนความชื้นยังเท่าเดิมคือ 0.005 ปอนด์ จึงทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในขวด F เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังจะเห็นได้จากภาพประกอบที่ 2.6



ภาพที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศของขวด F

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P3.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพประกอบที่ 2.1 - 2.3 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศคงที่แต่ปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นตาม ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศแต่ปริมาณความชื้นและอัตราส่วนความชื้นคงที่ ดังแสดงตามภาพประกอบที่ 2.4 - 2.6 จะพบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลง แต่เมื่ออุณหภูมิอากาศลดต่ำลงก็จะทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น⁹

4) **อุณหภูมิจุดน้ำค้าง**¹⁰ (dewpoint temperature) เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลงแต่ปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ณ ขณะนั้นเป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัว คือ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้นได้อีกหากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ สภาวะดังกล่าวจึงเรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่พื้นผิวของวัสดุใดๆ มีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิดหยดน้ำบนพื้นผิววัสดุนั้น

5) **ความดันไอน้ำ**¹¹ (vapor pressure) จากการที่อากาศจะมีส่วนผสมของก๊าซหลากหลายชนิด เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ เป็นต้น โดยผลรวมของความดันอากาศทั้งหมดสามารถแสดงในลักษณะของปริมาตรอากาศที่ผสมผสานจากก๊าซหลายๆชนิดดังกล่าว และก๊าซแต่ละชนิดก็จะมีค่าความดันไอที่ต่างกันออกไปแต่ทั้งหมดก็ประกอบรวมกันเป็นความดันอากาศ โดยที่ความดันไอน้ำก็คือความดันของก๊าซที่เป็นไอน้ำในอากาศนั่นเอง

การคำนวณหาค่า vapor pressure ตามวิธีการเดียวกันกับกรมอุตุนิยมวิทยา มีวิธีการคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$es(T) = 0.611 * \text{EXP} \left(\frac{17.27 * t}{t+237.3} \right)$$

⁹ Lstiburek and Carmody, *Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings*, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P4.

¹⁰ Lstiburek and Carmody, *Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings*, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P6.

¹¹ Lstiburek and Carmody, *Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings*, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) P1.

โดยที่

$$e = \frac{(rh) * es(T)}{100}$$

เมื่อ

es(T)	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิหนึ่งที่บรรยากาศขณะนั้นมีความชื้นสูงสุด หน่วย กิโลปาสคาล (kpa)
t	คือ	อุณหภูมิอากาศ หน่วย องศาเซลเซียส (°C)
e	คือ	ความดันไอน้ำ (vapor pressure) หน่วย กิโลปาสคาล (kpa)
rh	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หน่วย เปอร์เซ็นต์(%)

6) ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ (enthalpy of moist air สัญลักษณ์ " h ") ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศจะมีความร้อนสะสมอยู่ทั้งในส่วนของความร้อนแฝง (latent Heat) และความร้อนสัมผัส (sensible Heat) ซึ่งคุณสมบัติของความร้อนดังกล่าวสามารถรวมเรียกได้ว่า "*enthalpy*" ซึ่งในการคำนวณสามารถหาได้จากสมการ¹²

$$h = h_a + Wh_g$$

เมื่อ

h	=	enthalpy of moist air หน่วย Btu per pound of dry air
h_a	=	specific enthalpy of dry air หน่วย Btu per pound

โดยที่

h_a	=	0.240 t
t	=	อุณหภูมิอากาศ (dry bulb temperature) หน่วย °F
W	=	ความชื้นสัมพัทธ์ (humidity ratio)
h_g	=	specific enthalpy of saturated water vapor หน่วย Btu per pound

¹² 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 6.13.

โดยที่

$$h_g = 1061 + 0.444 t$$

ดังนั้นสามารถสรุปสมการหา Enthalpy ¹³ ได้ดังนี้

$$h = 0.240 t + W(1064 + 0.444 t)$$

2.2 การถ่ายเทความร้อน¹⁴

การถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำนั้น มีรูปแบบที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- 1) ความแตกต่างของความดันอากาศ หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก
- 2) แรงดูดความชื้นภายในช่องว่างของเนื้อวัสดุ
- 3) ความแตกต่างของค่าความจุความร้อน
- 4) การเคลื่อนตัวของไอน้ำในอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
- 5) ความแตกต่างของความดันไอน้ำ

โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนสกัดกั้นการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้ด้วยการติดตั้งฉนวนป้องกันความชื้น (Vapor Retarder) เพื่อลดความแตกต่างของความดันอากาศ หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้การป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากกระบวนการแรงดูดความชื้นภายในมวลสาร และการเคลื่อนตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศก็เป็นกระบวนการที่สำคัญเพราะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

¹³ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 6.13

¹⁴ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 22.14

2.2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยแรงดูดความชื้น¹⁵

ภายในรูพรุนของวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $0.1 \mu\text{m}$ โมเลกุลของไอน้ำในวัสดุจะสร้างแรงดึงระหว่างผิวของโมเลกุลด้วยกัน ซึ่งแรงดูดความชื้นดังกล่าวสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$s = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}$$

เมื่อ	s	=	แรงดูดความชื้น (capillary suction)
	σ	=	แรงดึงผิวของของน้ำ (surface tension of water)
	θ	=	มุมสัมผัส (contact of wetting angle)
	r	=	รัศมีส่วนโค้งของผิว (radius of the capillary)

โดยมุมสัมผัส(contact of wetting angle) มุมระหว่างส่วนผิวหน้าของของเหลวที่เห็นเป็นเส้นโค้งซึ่งภายในวัสดุที่มีการดูดซับความชื้น (hydrophilic) มุมสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่า 90° และสำหรับวัสดุที่ไม่ดูดซับความชื้น (hydrophobic) มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 90° - 180° และการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดจากความแตกต่างของแรงดูดความชื้น เมื่อแรงดูดความชื้นมีค่ามากกว่าแรงดึงผิวของน้ำ และในส่วนของแรงดึงผิวของน้ำนั้น เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยความแตกต่างของแรงดึงผิวจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ในสภาวะ isothermal และ nonisothermal แม้ว่าปริมาณแรงดูดความชื้นจะมีจำนวนน้อย แต่กระบวนการถ่ายเทความร้อนยังคงดำเนินการอยู่ ทั้งในส่วนกระบวนการของของเหลว และไอน้ำ ซึ่งในส่วนของการเกิดจากไอน้ำนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัว (vapor saturation pressure) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามกฎของทอมสัน (Thomson's law) จากสมการ

$$p'' = p' \exp\left(\frac{s}{\rho R T}\right) = p' \exp\left(\frac{2\sigma \cos\theta}{r \rho R T}\right)$$

¹⁵ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 22.15

เมื่อ	p''	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ (saturation vapor pressure in capillary)
	p'	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวในบรรยากาศ (saturation vapor pressure in ambient air at same temperature at p'')
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของน้ำ (density of water)
	R	คือ	ค่าคงที่สถานะก๊าซของไอน้ำ (gas constant of water vapor)
	T	คือ	อุณหภูมิองศาสมบูรณ์ (absolute humidity)

จากสมการแสดงให้เห็นว่าความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่าช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากไอน้ำจากช่องว่างขนาดใหญ่จะแพร่กระจาย(Diffusion)ไปสู่ช่องว่างที่เล็กกว่า และจากสมการแสดงให้เห็นว่าความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุจะต่ำลงเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิลดลง เพราะไอน้ำจะแพร่กระจาย(Diffusion)จากช่องว่างที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ช่องว่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ถ้าความดันไอน้ำของบรรยากาศเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น (Equilibrium) เทียบเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ จะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$s = \rho RT \ln \phi$$

เมื่อ	ϕ	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ
-------	--------	-----	--------------------------

และการถ่ายเทความชื้นสามารถแสดงให้เห็นได้ในลักษณะสมการของ suction pressure gradient

$$w_m = -k_m \frac{ds}{dx}$$

เมื่อ	w_m	คือ	water flux
	k_m	คือ	water permeability coefficient

2.2.2 การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศ (air movement)

การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$w = W\rho v$$

เมื่อ	w	คือ	water vapor flux (flow per unit area)
	W	คือ	อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (density of air)
	v	คือ	ความเร็วลม (airflow velocity)

การเคลื่อนที่ของอากาศและการแพร่ความชื้น (vapor diffusion) จะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในอาคารแสดงว่าการติดตั้งแผงกำบังลม และการติดตั้งฉนวนกันความชื้นยังคงมีความจำเป็นสำหรับการป้องกันการแทรกซึมความชื้นแก่อาคาร

2.2.3 การแพร่ความชื้น (water vapor diffusion)

ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านอากาศ รวมถึงวัสดุต่างๆของอาคาร ความชื้นสามารถแพร่กระจายผ่านพื้นที่ที่ต่อเนื่องกัน รวมถึงพื้นผิวที่เกิดการควบแน่นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดความแตกต่างของความดันความชื้น ตัวอย่างเช่น พื้นผิวกระจกที่เย็น เป็นต้น เมื่อความชื้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่างๆเข้ามาในอาคารแล้วจะเข้ามาผสมกับอากาศภายใน ซึ่งสามารถคำนวณหาการแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (Water vapor diffusion flux) ตามสมการของ Fick's law

$$w = \frac{-\mu dp}{dx}$$

เมื่อ	w	คือ	การแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (water vapor flux)
	μ	คือ	water vapor permeability
	p	คือ	ความดันความชื้น (water vapor pressure)
	x	คือ	ระยะทางการแพร่ความชื้น (distance along flow path)

2.3 การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น

ในการวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น (moisture content and transfer measurement) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.3.1 การดูดซับความชื้นของวัสดุ¹⁶ (sorption isotherm)

ค่าของการดูดซับความชื้นของวัสดุจะสัมพันธ์กับสมดุลความชื้นของวัสดุ (equilibrium moisture content หรือ EMC) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ ค่าความจุความชื้น (moisture content หรือ MC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง (dry Mass) ในเบื้องต้นการพิจารณาค่าการดูดซับความชื้นจำเป็นที่จะต้องทราบอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของสภาพแวดล้อมจากนั้นจึงนำวัสดุที่ต้องการทดสอบไปตั้งไว้ในสภาพแวดล้อมดังกล่าวเพื่อให้วัสดุทำการดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวจนเข้าสู่สภาวะสมดุลของความจุความชื้น คือ เป็นสภาวะที่เกิดความสมดุลของความชื้นในวัสดุกับความชื้นของสภาพแวดล้อม ผลที่ได้รับจากการวัดจะพบว่าพฤติกรรมของการดูดซับความชื้นของวัสดุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้นแล้ว ผลที่ปรากฏอาจจะพบทั้งปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น (adsorption Isotherm) หรือลดลง (desorption Isotherm)

การควบคุมความชื้นของสภาพแวดล้อมจะต้องอาศัยเครื่องปรับอากาศ หรือการใช้สารเคมีจำพวกเกลือ (salt Solution) ความแม่นยำในการวัดความชื้นโดยการใช้สารเคมีนั้นจะต้องใช้สารจำพวกเกลือหลายชนิดผสมกัน ซึ่งใน ASTM Standard E 104 ได้อธิบายไว้ว่าความแม่นยำในการวัดจะพิจารณาจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ การทำให้วัสดุที่ต้องการทดสอบแห้งจะใช้วิธีการอบแห้งด้วยเตาอบหรือวิธีการทำให้แห้ง (disccant drying) ซึ่งวิธีการทำให้แห้งนั้นจะทำให้ความชื้นในวัสดุสามารถระเหยออกมาได้ดีกว่าการใช้ตู้อบ

สำหรับวัสดุที่ต้องใช้เวลานานๆ ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น เช่น ต้องใช้เวลาเป็นสัปดาห์ หรือเป็นเดือน จะทำให้เกิดข้อจำกัดในการวัด เนื่องจากจะมีการระเหยของไอน้ำที่สะสมในเนื้อวัสดุระหว่างกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลดังกล่าว ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกขนาดของวัสดุทดสอบที่เหมาะสมเพื่อจะได้ลดระยะเวลาในการระเหยของไอน้ำในเนื้อวัสดุ

¹⁶ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 14.27

2.3.2 Vapor Permeability

ค่าการแทรกซึมความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุที่สามารถวัดได้นั้นเป็นคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นของวัสดุมีหน่วยเป็น perm¹⁷ โดย 1 perm จะเท่ากับปริมาณไอน้ำจำนวน 5.72×10^{-11} กิโลกรัม (ประมาณ 1.26×10^{-12} ปอนด์) ที่ถ่ายเทผ่านพื้นผิว 1 ตารางเมตร ในเวลา 1 วินาที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 1 ปาสคาล (Pa) และสามารถอธิบายได้โดยอาศัยกฎของฟิกด์ (Fick's Law)¹⁸ ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$W_v'' = -\mu \frac{dp}{dx}$$

เมื่อ W_v'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อช่วงเวลา หน่วย gr/h.ft²

μ = Vapor Permeability หน่วย gr.in/h.Hg

dp = Vapor Gradient หน่วย in.Hg/in

$\frac{dp}{dx}$

พฤติกรรมของการถ่ายเทความชื้นสามารถประมาณได้โดยการพิจารณาจากความหนาของวัสดุและทิศทางการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ซึ่งในกระบวนการวัดค่าการแทรกซึมของความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุสามารถวัดได้จากการทดสอบวัสดุ¹⁹ ด้วยวิธีการต่างๆดังนี้

- 1) Dry cup method
- 2) Wet cup method
- 3) Modified cup test

¹⁷ สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งมงคล, การใช้ฉนวน: เอกสารเผยแพร่การอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, (กรุงเทพฯ: คอมพิวเตอร์, 2543) หน้า57.

¹⁸ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 14.27.

¹⁹ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 22.15.

โดยในการพิจารณาค่าการแทรกซึมความชื้นของวัสดุต่างๆนั้น การทดสอบด้วยวิธี dry Cup และ wet Cup นั้นไม่สามารถนำผลการทดสอบมาพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยของการแทรกซึมความชื้นที่นำมาแสดงเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้เนื่องจากในการทดสอบนั้นจะใช้วิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนการทดสอบด้วยวิธี modified cup test จะสามารถแสดงผลเป็นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ได้ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ไอน้ำที่ถูกดูดซับออกมาจากกระบวนการทดสอบถูกแทนที่ด้วยสารประเภทเกลืออิ่มตัวทำให้สามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการวัดวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความชื้นสูงนั้นขีดจำกัดของอัตราการกระจาย (diffusion) ของไอน้ำผ่านอากาศในกระบวนการเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาค่า air film resistance ซึ่งจะมีนัยยะสำคัญต่อการต้านทานการถ่ายเทความชื้นของวัสดุ โดยในการทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติการถ่ายเทความชื้นสูงๆจำเป็นต้องใช้การบันทึกค่าการทดสอบอัตราการกระจายความชื้นผ่านช่องว่างอากาศทุกๆช่องจึงจะทำให้สามารถวัดผลได้เที่ยงตรงมากขึ้น

2.3.3 Liquid Diffusivity

การแทรกตัวของไอน้ำในวัสดุต่างๆเป็นการเคลื่อนตัวตามรูพรุน²⁰ หรือช่องว่างในวัสดุซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_i'' = \frac{\rho D_i}{dx} d\gamma$$

เมื่อ W_i'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อ 1 หน่วยเวลา
หน่วย lb/h.ft²

ρ = ความหนาแน่นของไอน้ำ (liquid density) หน่วย lb/ft³

D_i = ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ หน่วย ft²/h

$\frac{d\gamma}{dx}$ = moisture content Gradient หน่วย ft⁻¹

โดยที่ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ (D_i) จะขึ้นอยู่กับค่าความจุความชื้น (moisture content) ของวัสดุแต่ละชนิด

²⁰ 1997 ASHRAE Handbook Fundamental, (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), P 14.28.

2.4 ผลกระทบจากความชื้นต่ออาคารและผู้ใช้อาคาร

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการใช้พลังงานในอาคาร เพราะความชื้นจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนผ่านของวัสดุและอุปกรณ์อาคาร การบำรุงรักษาอาคาร อายุการใช้งาน การเสื่อมสภาพของวัสดุ ซึ่งการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นดังกล่าว จะเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งมักพบเห็นได้บ่อยในรูปของการเกิดเชื้อรา สีซีด การผุกร่อนของวัสดุ ก่อ การเกิดสนิมโลหะ การโก่งตัวของวัสดุ รวมถึงความเสียหายจากการโก่งตัวของวัสดุ การเสื่อมสภาพความเป็นฉนวน การลดกำลังการรับแรงของวัสดุ เป็นต้น

นอกจากนี้ความชื้นยังมีอิทธิพลต่อสภาวะสบายและสุขภาพของผู้ใช้อาคารด้วย เนื่องจากความชื้นจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อรา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่สามารถแฝงตัวอยู่กับอากาศภายในอาคาร ทำให้เกิดกลิ่นอับชื้น ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor Air quality)

2.4.1 เชื้อรา ไรฝุ่น และสุขภาพของผู้ใช้อาคาร

ความชื้นที่สะสมในอาคารเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อรา ไรฝุ่น ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการภูมิแพ้ต่างๆ เนื่องจากเชื้อราจะเจริญเติบโตได้เมื่อมีสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งเชื้อราส่วนมากสามารถเจริญได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 4°C ส่วนไรฝุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ หากสามารถควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ไรฝุ่นก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งนอกจากการควบคุมปริมาณความชื้นของอากาศภายในอาคารเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราและไรฝุ่นแล้ว ยังต้องควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของเฟอร์นิเจอร์ และวัสดุตกแต่งภายในอาคารซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่างๆเหล่านั้นด้วย ตัวอย่างเช่น หากมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและพื้นผิวของวัสดุภายในอาคารอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ตลอดเวลา

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวของวัสดุจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ โดยเฉพาะคุณสมบัติความจุความชื้น (moisture content) เพราะหากพื้นผิวของวัสดุมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้ค่าความจุความชื้นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศสำหรับควบคุมปริมาณความชื้นภายในอาคารเพิ่มสูงขึ้นด้วยนอกจากนี้ความชื้นยังเป็นสาเหตุของการหลุดร่อนของสีทาอาคาร การเกิดคราบบนผนัง การโก่งตัวของไม้ รวมถึงการเสี้ยก้างของโครงสร้างโดยเฉพาะโครงสร้างไม้ เนื่องจากภายในเนื้อไม้หากมีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้เกิดการผุกร่อน นอกจากนี้การยึดโครงสร้างไม้ด้วยการใช้อุปกรณ์ เช่น ตะปู นอต โลหะ หากมีปริมาณความชื้นที่พอเหมาะบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อไม้

กัยอุปกรณ์ยึดเหล่านั้น จะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของความชื้นบริเวณนั้น เมื่อกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานานก็จะเกิดสนิมที่อุปกรณ์ยึดโครงสร้างดังกล่าว ซึ่งเป็นการลดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ยึด รวมถึงการลดกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างด้วย

2.4.2 ผลกระทบจากความชื้นต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน

ความชื้นที่สะสมภายในเปลือกอาคาร เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนประสิทธิภาพของความชื้นเป็นฉนวนของวัสดุ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความจุความร้อน อุณหภูมิระยะเวลาการใช้งาน รวมถึงสภาพแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในอาคาร

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่สามารถแทรกซึมผ่านวัสดุกับคุณสมบัติการเป็นฉนวนของวัสดุ จะเกิดการแปรผันตามช่องว่างในเนื้อฉนวน โดยเฉพาะฉนวนแบบเซลเปิด (open cell) หรือประเภทเส้นใยธรรมชาติ เพราะความชื้นสามารถถ่ายเทผ่านฉนวนประเภทดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้น จะปรากฏในรูปแบบของความชื้นสัมผัส และความชื้นแฝง ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (vapor pressure) ที่ถ่ายเทจากบริเวณที่ความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การระเหยของความชื้นจากผนังด้านที่ร้อน หรือการดูดซับความชื้นของผนังด้านที่เย็น จะเพิ่มปริมาณความชื้นแฝงในการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนแบบเซลปิด (closed cell) เช่น ฉนวนโฟมจะเกิดผลแตกต่างกันออกไป เนื่องจากความชื้นไม่สามารถแทรกซึมผ่านฉนวนดังกล่าวได้ ทำให้ไม่มีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำภายในเนื้อฉนวนเกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อความชื้นไม่สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนเซลปิดดังกล่าวจึงทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนยังคงอยู่ ซึ่งฉนวนชนิดนี้จึงมีความเหมาะสมในการป้องกันความชื้นได้ดีกว่าฉนวนแบบเซลเปิด หรือประเภทเส้นใยธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 ความชื้นที่สะสมในวัสดุ

วัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นวัสดุที่มีความพรุนในเนื้อวัสดุจำนวนมาก ซึ่งรูพรุนดังกล่าวเป็นเสมือนช่องว่างขนาดใหญ่ภายในผนัง ที่ความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาในอาคารได้ง่าย โดยปริมาณความชื้นที่สะสมภายในเนื้อวัสดุจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม กล่าวคือ เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นรูพรุนอากาศในวัสดุจะถูกแทนที่ด้วยความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุมีการดูดซับความชื้น (absorption) ใ้่มากขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลง วัสดุก็จะคายความชื้น (desorption) ที่สะสมไว้ออกมา ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณความจุความชื้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยกราฟที่เรียกว่า “sorption isotherm” แต่บางครั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณความจุความชื้นของวัสดุก็ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตามที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากวัสดุบางชนิดพยายามรักษาระดับปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุไว้จึงไม่มีการคายความชื้นออกมา

ปริมาณความชื้นที่เข้ามาสะสมในเนื้อวัสดุจะทำให้ค่าความจุความร้อนของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในการลดปริมาณความชื้นที่สะสมในมวลสารของวัสดุ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่สะสมความร้อนและความชื้นจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารลงได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 อิทธิพลความชื้น

โดย ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ

ที่มา : เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า

กล่าวถึงความชื้นว่าเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะการออกแบบอาคารในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น และแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศหากเปรียบเทียบกันระหว่างพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิอากาศกับพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นจะพบว่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นมากกว่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิอากาศหลายเท่า รวมถึงการแสดงผลของความชื้นที่เข้ามาในอาคารว่ามาจาก

1. ความชื้นที่ซึมผ่านผนัง
2. ความชื้นที่รั่วซึมผ่านขอบประตู หน้าต่าง และช่องเปิด
3. ความชื้นจากการเปิด ปิด ประตูหน้าต่าง
4. ความชื้นจากการสะสมของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
5. ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือน

นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุในการก่อสร้างอาคาร รวมถึงตัวผู้ใช้อาคารด้วย เช่น สีของผนังหลุดร่อน การสะสมความชื้นในผนังจนก่อให้เกิดเชื้อราซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร โดยในเนื้อหาส่วนท้ายของหัวข้อนี้ได้ยกตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศต่อ 1 ลิตรต่อวินาทีของปริมาณอากาศ ซึ่งได้ยกตัวอย่างของเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยพลังงานประมาณชั่วโมงละ 44.7 วัตต์ต่อลิตรต่อวินาที หรือประมาณ 72 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ซึ่งหากในการใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 100 ลิตรต่อวินาที (212 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ขนาด 1.3 ตันความเย็น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหากพิจารณาเปรียบเทียบจากข้อมูลสภาพอากาศในช่วงเวลาอื่นๆของปีก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นช่วงฤดูหนาวที่จะมีอิทธิพลจากความร้อนและความชื้นค่อนข้างน้อย (เฉพาะในช่วงที่มีลมมาจากทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ)

2.5.2 Fundamental of moisture in building

ที่มา : 1997 ASHRAE Fundamental Handbook

กล่าวถึงแนวทางและความสำคัญของการป้องกันความชื้น เพราะความชื้นนอกจากจะมีอิทธิพลต่อพลังงานที่ใช้ในอาคารแล้วยังมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุรวมถึงสุขภาพของผู้ใช้อาคารด้วย นอกจากนี้ยังแสดงถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณความชื้นที่เกิดจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ Capillary Suction , Air Movement และ Water Vapor Diffusion

อีกทั้งยังมีการกล่าวถึงการทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความชื้นของวัสดุ (Method for Water Vapor Transmission) ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM Standard E96 ว่ามี 2 วิธีการ คือ

- 1) **dry cup method** เป็นการทดสอบโดยทำให้วัสดุด้านหนึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ใกล้ 0%Rh มากที่สุด ส่วนอีกด้านหนึ่งควบคุมให้มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% Rh จากนั้นจึงวัดปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายจากการแทรกซึมผ่านวัสดุนั้น
- 2) **wet cup method** เป็นการทดสอบโดยทำให้วัสดุด้านหนึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%Rh มากที่สุด ส่วนอีกด้านหนึ่งควบคุมให้มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100%Rh จากนั้นจึงวัดปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายจากการแทรกซึมผ่านวัสดุนั้น โดยวัดที่แนวปะทะความชื้นที่ทำการติดตั้งขึ้นอีกชั้นหนึ่ง แต่วิธีการนี้จะจำกัดเฉพาะวัสดุที่มีเนื้อมวลสารชนิดเดียวกัน (Homogenous Material) และไม่เหมาะสมกับวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี เช่น ไม้ เป็นต้น

โดยปกติการทดสอบแบบ wet cup จะให้ค่ามากกว่าการทดสอบแบบ dry cup ประมาณ 5 เท่า ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าการแทรกซึมความชื้นของวัสดุจึงควรที่จะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบแบบเดียวกัน และจากทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาทาง ASHRAE ได้แนะนำวิธีการวัดที่เหมาะสมที่สุดว่าควรเป็นวิธีการพิจารณาจาก temperature gradient ซึ่งจะให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือกว่าในสภาวะ Isothermal และสามารถแสดงผลได้ชัดเจนจากการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ(mode)

2.5.3 ผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุตกแต่งภายในอาคารต่อภาระการทำ ความเย็นของระบบปรับอากาศ

โดย รังสิมา กาญจนสมบัติ

ที่มา : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุในอาคารชนิดต่างๆ และประเมินผลกระทบต่อภาระการทำ ความเย็นของระบบปรับอากาศ เพื่อนำผลจากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุในอาคารที่มีความเหมาะสมในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารในภูมิอากาศร้อนชื้น การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยจำลองสภาพการการใช้งานของวัสดุภายในห้องปรับอากาศซึ่งมีวัสดุที่เลือกนำมาทำการทดสอบ 10 ชนิด ได้แก่ แกรนิต เซรามิค ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ยิปซัม พรม กระดาษ 2 ชนิด เหล็กและอิฐก่อฉาบปูนที่มีขนาดใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมาทำการทดสอบการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุ แล้วจึงทำการประเมินภาระการทำ ความเย็นต่อพื้นที่ของวัสดุโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และ linear Regression

จากการวิจัยพบว่าวัสดุทุกชนิดมีการสะสมความร้อนและความชื้นในสัดส่วนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ วัสดุที่มีมวลสารมากจะต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศในการลดความร้อนที่กักเก็บในวัสดุต่างๆสูง แต่มีการใช้พลังงานในการสวนของการลดความชื้นต่ำ ขณะที่วัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีการใช้พลังงานในการลดความร้อนน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในส่วนของการลดความชื้นที่สะสมในวัสดุสูงกว่ามาก โดยในการวิจัยนี้พบว่าวัสดุที่มีการดูดซับความร้อนสูงสุด ได้แก่ อิฐก่อฉาบปูน และวัสดุที่มีการดูดซับความชื้นสูงสุด ได้แก่ วัสดุประเภทกระดาษ ซึ่งหากเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นทั้งสองส่วนจะพบว่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการดูดซับความร้อนมาก ดังนั้นในการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ภายในอาคารที่ปรับอากาศจึงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติการดูดซับความชื้นของวัสดุเป็นสำคัญ การดูดซับและการคายความร้อนและความชื้นของวัสดุจะเกิดขึ้นมากกว่า 50% ในช่วง 15-30 นาทีแรกของกระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

โดยผลของการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าควรเลือกใช้วัสดุในอาคารที่มีการกักความชื้นและมีมวลสารน้อยหรือเป็นวัสดุที่บางและเบา ส่วนการปิดเครื่องปรับอากาศแล้วเปิดประตูหน้าต่าง แม้เพียงระยะเวลาสั้นๆจะมีผลต่อภาระการทำความเย็นสูงซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจำนวนมาก

2.5.4 การป้องกันการเกิดการควบแน่นของฉนวนใยแก้วในระบบผนังอาคาร

โดย รท. จันทรรัฐ มนต์วิเศษ

ที่มา: วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งหาวิธีป้องกันความชื้นที่ซึมผ่านถึงเซลล์ฉนวนโดยมีการทดลองด้วยการติดตั้งฉนวนใยแก้วในผนังทดสอบ ขนาด 0.6×0.6 เมตร ผนังที่ใช้ทดสอบได้แก่ ผนังก่ออิฐ ผนังคอนกรีตมวลเบา และ ผนังEIFS โดยทำการติดตั้งผนังทดสอบบนอาคารทดลองขนาด $3.00 \times 3.00 \times 2.40$ เมตร ผนังอาคารทำจากวัสดุโฟมหนา 0.10 เมตร ความหนาแน่นประมาณ 1 ปอนด์เพื่อป้องกันความร้อนและความชื้นรั่วซึมเข้ามาในอาคารทดลอง ส่วนฝ้าเพดานติดตั้งฉนวนใยแก้วเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา โดยภายในอาคารทดลองมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารดังกล่าวตามแบบอาคารปรับอากาศทั่วไป สำหรับการเก็บข้อมูลจะใช้การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นบริเวณผิวฉนวนริมด้านในและผิวฉนวนริมด้านนอกภายในผนังทดสอบ

ความชื้นจากอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการควบแน่นในผนังอาคาร และจะเกิดการสะสมความชื้นในผนัง โดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศซึ่งเกิดจากการที่อุณหภูมิภายในผนังลดลงถึงจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างเล็กๆในผนัง หากผนังชนิดใดมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงก็จะเกิดการควบแน่นได้ง่ายแสดงว่ามีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้น้อย ซึ่งในการวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการป้องกันความชื้นจากภายนอกและลดความชื้นในช่องผนังในการทดลองมีดังนี้

การเปรียบเทียบผนังกันความชื้นที่ขอบฉนวนและผนังไม่กันความชื้นที่ขอบฉนวน จากการวิจัยพบว่า ชุดผนังกันความชื้นที่ขอบฉนวนมีจุดควบแน่นต่ำกว่าชุดผนังไม่กันความชื้นที่ขอบฉนวน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดควบแน่นระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยกันพบว่ามีความต่างกัน 1 องศาเซลเซียส ผนังก่ออิฐด้วยกันพบว่ามีความต่างกัน 1 องศาเซลเซียส และระหว่างผนัง EIFS พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อป้องกันความชื้นที่ขอบฉนวน ผนังคอนกรีตมวลเบาที่มีจุดอุณหภูมิควบแน่นเท่ากับ 16 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าผนังก่ออิฐ 2 องศาเซลเซียส และสูงกว่าผนัง EIFS 2 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบผนังตีฉนวนเปเปอร์และไม่ตีฉนวนเปเปอร์ จากการวิจัยพบว่าชุดผนังตีฉนวนเปเปอร์มีจุดควบแน่นสูงกว่าชุดผนังไม่ตีฉนวนเปเปอร์ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดควบแน่นระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยกันพบว่าต่างกัน 9 องศาเซลเซียส ระหว่างผนังก่ออิฐต่างกัน 6 องศาเซลเซียส และระหว่างผนัง EIFS ต่างกัน 3 องศาเซลเซียส และพบว่าเมื่อตีฉนวนเปเปอร์ที่ผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีจุดอุณหภูมิควบแน่นที่ 19 องศาเซลเซียส สูงกว่าผนังก่ออิฐ 4 องศาเซลเซียสและสูงกว่าผนัง EIFS 7 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบผนังทาสีและไม่ทาสี จากการวิจัยพบว่าชุดผนังทาสีมีจุดควบแน่นสูงกว่าชุดผนังไม่ทาสี โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดควบแน่นระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยกันพบว่าต่างกัน 4 องศาเซลเซียส ระหว่างผนังก่ออิฐไม่ต่างกัน และระหว่างผนัง EIFS ต่างกัน 2 องศาเซลเซียส และพบว่าเมื่อทาสีที่ผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีจุดอุณหภูมิควบแน่นที่ 17 องศาเซลเซียส สูงกว่าผนังก่ออิฐ 4 องศาเซลเซียส และสูงกว่าผนัง EIFS 9 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบผนังมีช่องระบายอากาศและไม่มีช่องระบายอากาศ จากการวิจัยพบว่าชุดผนังช่องระบายอากาศเกิดการควบแน่นทุกผนังที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนผนังที่ไม่มีช่องระบายอากาศยังไม่เกิดการควบแน่นแต่พบว่าอุณหภูมิจุดควบแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาอยู่ที่ 13 องศาเซลเซียส สูงกว่าผนังก่ออิฐ และผนัง EIFS 1 องศาเซลเซียส

โดยในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ความชื้นที่อยู่ภายนอกอาคารจะมีปริมาณความดันไอน้ำสูงซึ่งจะแทรกซึมผ่านผนังเข้ามากระทบกับความเย็นภายในอาคารที่มีการปรับอากาศทำให้เกิดการควบแน่นในช่องว่างอากาศในผนัง ถ้ามีการป้องกันโดยการลดความชื้นจากผิวผนังภายนอก เช่น การทาสี จะเป็นการช่วยลดการควบแน่นได้ แต่สิ่งที่ไม่เหมาะสมก็คือการสกัดกั้นความชื้นที่ผิวด้านในอาคาร เนื่องจากจะทำให้การระบายปริมาณไอน้ำสู่ภายในอาคารได้ยาก ก่อให้เกิดการสะสมความชื้นในช่องผนังมากขึ้น เช่น การติดตั้งวอลเปเปอร์ที่ผนังด้านในยิ่งทำให้เกิดการควบแน่นได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงควรปล่อยให้ความชื้นบางส่วนถ่ายเทเข้ามาผสมกับอากาศแห่งที่อยู่ในอาคารจึงเหมาะสมกว่า

2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน

กรณีศึกษา : พระอุโบสถวัดกำแพง

โดย สุรียน ศิริธรรมปิติ

ที่มา : วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาความชื้นที่เกิดขึ้นกับโบราณสถานโดยวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความชื้นนั้นๆ โดยใช้วิธีการศึกษาจากสถานที่จริง และจากการศึกษาพบว่าภายในอาคารมีการสะสมความชื้นในปริมาณที่สูงอยู่ 2 แห่ง ได้แก่ บริเวณผนังด้านล่างที่ติดกับพื้นดิน และบริเวณผนังส่วนบนใกล้กับหลังคา ความชื้นที่เกิดขึ้นบริเวณใกล้กับหลังคานี้เกิดจากการควบแน่นที่บริเวณผิวกระเบื้องมุงหลังคาด้านในซึ่งเกิดในช่วงเวลาประมาณ 24:00 น. ถึง 7:00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิผิวกระเบื้องมุงหลังคาด้านในต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศในช่องหลังคา ส่วนความชื้นที่เกิดกับผนังด้านล่างยังไม่พบสาเหตุหลักของการควบแน่น แต่คาดว่าความชื้นที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากดินและน้ำฝน ในการเกิดการควบแน่นยังมีสาเหตุมาจากปัจจัยอีกหลายๆปัจจัย เช่น จากผู้ใช้อาคารซึ่งมีจำนวนมาก การรั่วไหลของอากาศในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรวดเร็ว เป็นต้น และจากการสังเกตพบว่าอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานมีแนวโน้มในการเกิดการควบแน่นที่ผิวกระเบื้องมุงหลังคาด้านในได้ง่ายกว่าอาคารที่มีฝ้าเพดาน

ผลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าปัญหาความชื้นที่เกิดขึ้นในอาคารนั้นไม่ได้เกิดจากความชื้นที่มาจากดินเป็นสาเหตุสำคัญเพียงอย่างเดียว แต่ยังพบว่าความชื้นที่เกิดขึ้นยังมีสาเหตุมาจากการเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่พื้นผิวด้านในของกระเบื้องมุงหลังคาและยังมีโอกาสที่จะเกิดการควบแน่นที่ผิวผนังภายในได้ด้วย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาพฤติกรรมการแทรกซึมของความชื้นผ่านส่วนที่บอบของผนังอาคาร จะเป็นการศึกษาจากตัวอย่างวัสดุก่อสร้างผนังอาคารที่มีการใช้ในงานก่อสร้างของประเทศไทย โดยในการวิจัยดังกล่าวนี้จะมรขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) การดำเนินการทดสอบ
- 3) การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

สำหรับขั้นตอนของการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อเป็นการศึกษาให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการแทรกซึมความชื้นผ่านส่วนที่บอบของตัวอย่างผนังอาคาร ซึ่งแสดงรายละเอียดของขั้นตอนดังกล่าวไว้ในเนื้อหาของบทที่ 2 โดยเนื้อหาในส่วนของการทำงานวิจัยจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 3 นี้ และขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลจะนำเสนอในลำดับต่อไป

โดยการดำเนินการทดสอบสามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานได้ดังนี้

- 3.1 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล
- 3.2 การตรวจสอบเครื่องมือ
- 3.3 การเตรียมวัสดุและติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
- 3.4 การกำหนดแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

ในการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่แทรกซึมผ่านส่วนที่บอบของผนังอาคารนั้น เครื่องมือที่มีความจำเป็นสำหรับการบันทึกข้อมูลประกอบด้วย

3.1.1 เครื่อง Scienmetric Data Logger

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งอาศัยการควบคุมการทำงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการส่งสัญญาณ (Output) ไปยัง Sensor ที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อสัญญาณดังกล่าวผ่าน Sensor แล้วจะถูกส่งกลับมายัง Data Logger ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ (Input) เป็นข้อมูล โดยอาศัยโปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ แล้วบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.1 เครื่อง Scienmetric Data Logger



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งเครื่อง Scienmetric Data Logger

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 Sensor

Sensor ที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ต้องการเป็นชนิด Thermister ขนาด $10\text{ k}\Omega$ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถตอบรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว โดยมีช่วงของอุณหภูมิที่สามารถทำการวัดได้ระหว่าง 9°C ถึง 150°C



ภาพที่ 3.3 Sensor วัดอุณหภูมิชนิด Thermister $10\text{ k}\Omega$

3.1.3 Humidity Data Logger

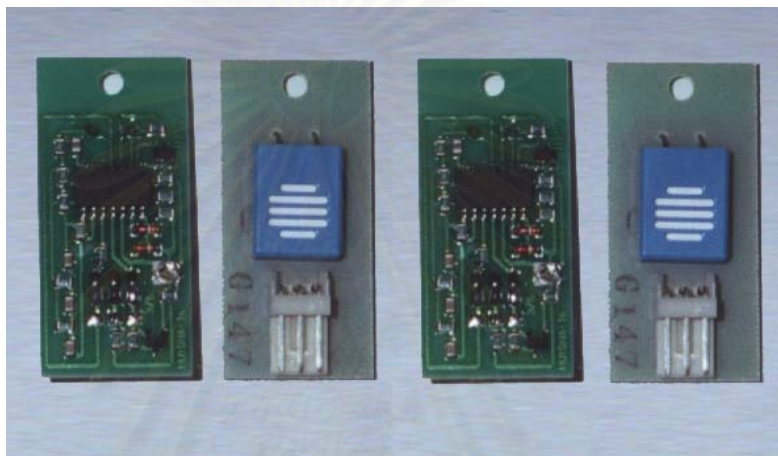
เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ณ จุดที่ต้องการ โดยมีหลักการทำงานในลักษณะเดียวกันกับเครื่อง Scienmetric Data Logger คือ อาศัยการควบคุมการทำงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ แล้วบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.4 เครื่อง Humidity Data Logger

3.1.4 Humidity Sensor

เป็น Sensor ที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ Sensor ที่ใช้เป็นรุ่น HU1015N ซึ่งสามารถวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 10%Rh ถึง 100%Rh ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 0°C ถึง 50°C ข้อจำกัดของ Sensor รุ่นนี้เกิดจากการที่ Sensor มีลักษณะเป็น Module ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับการทำงานในพื้นที่เล็กๆ นอกจากนี้ยังมีราคาที่สูงมาก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาสำหรับการวิจัยในลักษณะใกล้เคียงกันนี้



ภาพที่ 3.5 Humidity Sensor

3.1.5 อาคารทดลอง

คุณสมบัติของอาคารทดลองที่ดีควรเป็นอาคารที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของอากาศภายในอาคารให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดหรือเกือบคงที่ตลอดเวลา ซึ่งอาคารที่ทำการทดลองในครั้งนี้เป็นอาคารขนาด 8.40 * 8.40 เมตร วางทิศทางอาคารตามแกนทิศเหนือ และทิศใต้เพื่อความสะดวกในการคำนวณมุมรังสีของดวงอาทิตย์

โครงสร้างของผนังอาคารเป็นโครงสร้างเหล็กพร้อมติดตั้งผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (Exterior Insulation and Finished System; EIFS) ชนิดโฟม EPS ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 3 นิ้ว โดยในส่วนของหลังคาเป็นโครงสร้างเหล็กที่มุงด้วยแผ่นซิงเกิ้ลที่ปูบนแผ่นยิปซัม หนา 12 มิลลิเมตรชนิดกันชื้น พร้อมติดตั้งฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) หนา 6 นิ้ว ติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งโครงสร้างอาคารทั้งหมดตั้งบนพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 20 เซนติเมตร

นอกจากนี้ประตูทางเข้า-ออกของอาคารจะเป็นประตู 2 ชั้น โดยชั้นนอกจะเป็นประตูโครงเหล็กแบบประตู EIFS ส่วนชั้นที่สองจะเป็นประตูยิปซัม ขนาด 0.90*1.80 เมตร ซึ่งการที่ต้องทำ

ประตูสองชั้น เนื่องจากประตูดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็น Air Lock เพื่อลดปริมาณความร้อนและความชื้นที่รั่วซึมเข้ามาในขณะที่ทำการเปิด-ปิดประตูดังกล่าว

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอาคารทดลองจะกำหนดระดับอุณหภูมิไว้ประมาณ 25°C และควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%Rh โดยใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.6 อาคารทดลอง

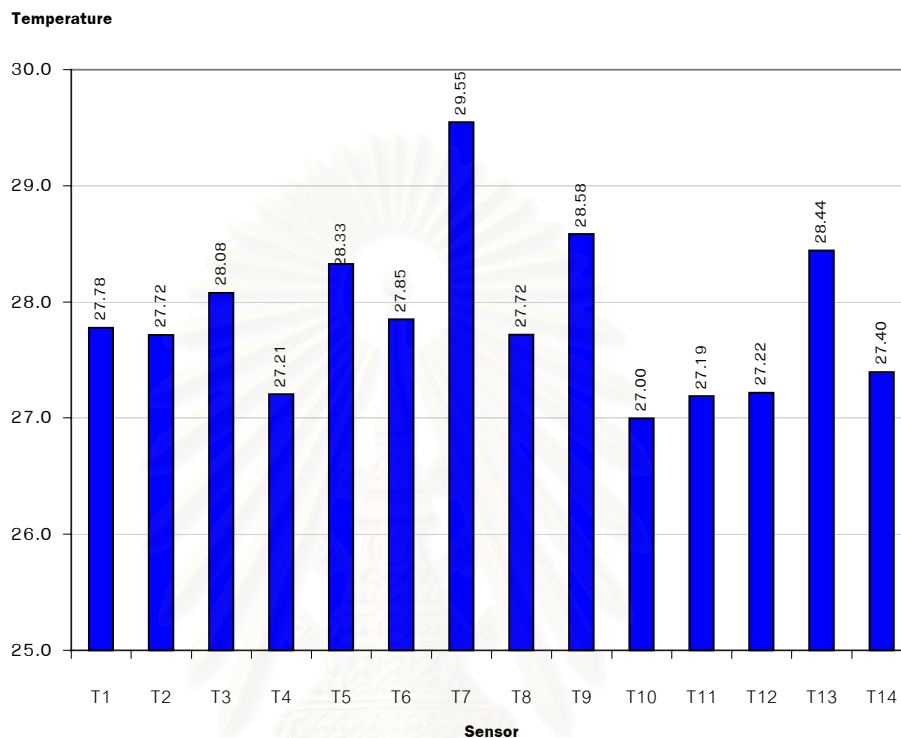
3.2 การทดสอบเครื่องมือ

ในการทดสอบจำเป็นจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกผล เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในการดำเนินการทดลอง โดยการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การตรวจสอบ Sensor วัดอุณหภูมิ

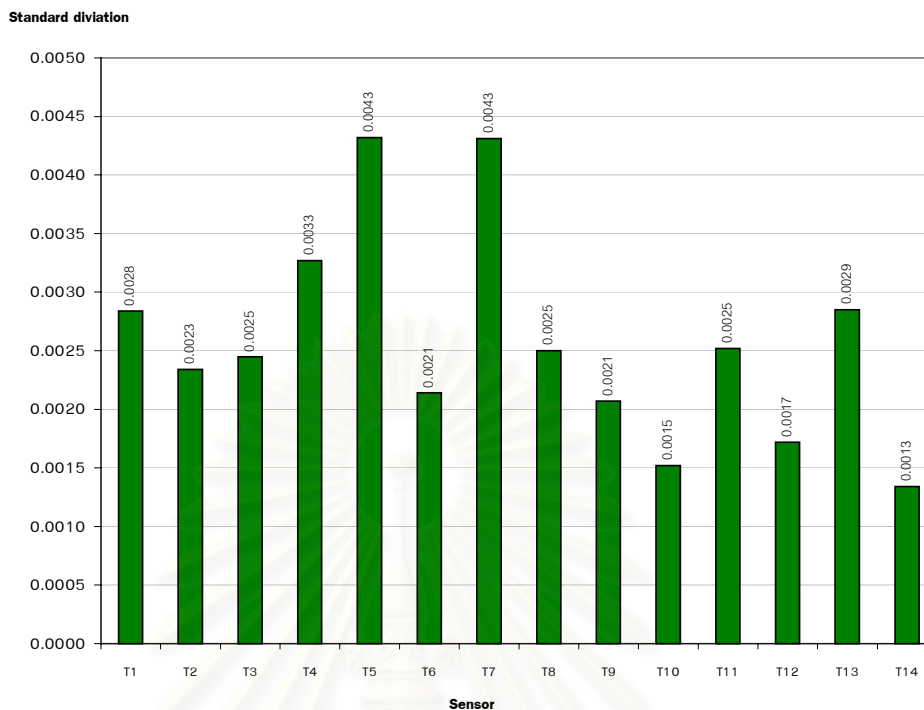
ดังที่กล่าวมาแล้วว่า Sensor ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมินั้นเป็น Thermister ขนาด $10\text{ k}\Omega$ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ Sensor แต่ละตัวนั้นจะสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลองจึงต้องทำการตรวจสอบ Sensor ก่อน โดยเริ่มจากการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเยือกแข็งของน้ำ (ประมาณ 0°C) ให้มากที่สุด แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (100°C) เมื่อทราบค่าอุณหภูมิที่ Sensor แต่ละตัวสามารถวัดได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าวแล้ว จึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ เพื่อจะได้ทราบค่า Intercept และ Coefficient ของ Sensor แต่ละตัวเพื่อนำมาปรับค่า Slope และค่า

Offset ของการบันทึกข้อมูลในโปรแกรม ซึ่งจะทำให้การวัดค่าอุณหภูมิของ Sensor ทั้งหมดสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ถูกต้อง และใกล้เคียงกันทั้งหมด โดยผลของการตรวจสอบ Thermister สามารถแสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของการวัดค่าอุณหภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิอากาศที่ Sensor ทุกตัวสามารถวัดได้

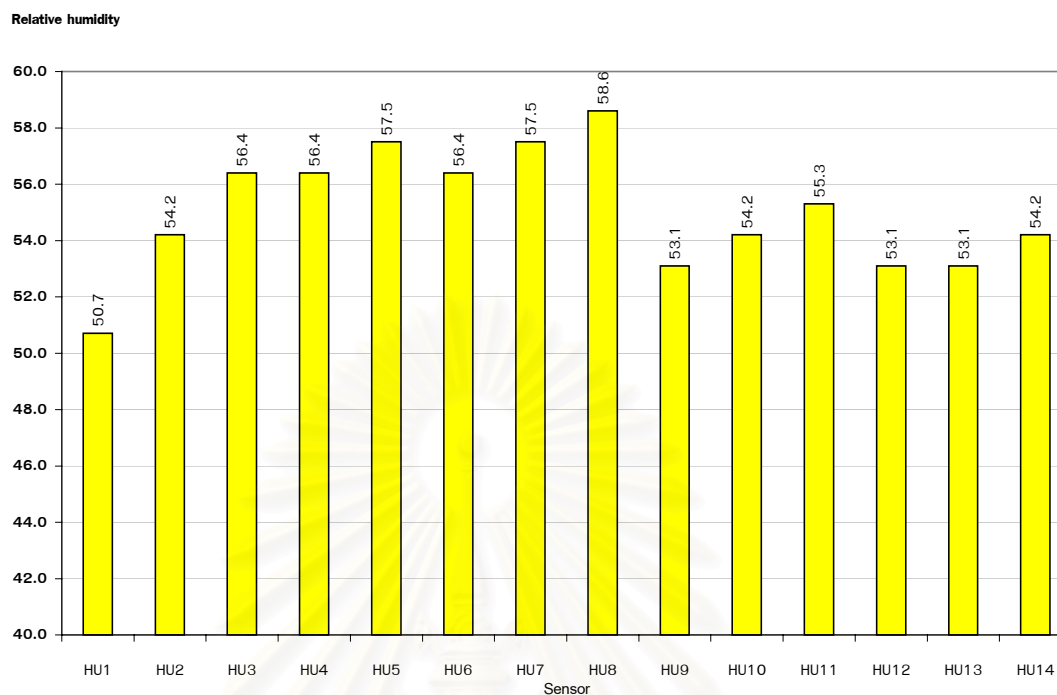
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Standard deviation ของ Sensor วัดอุณหภูมิ

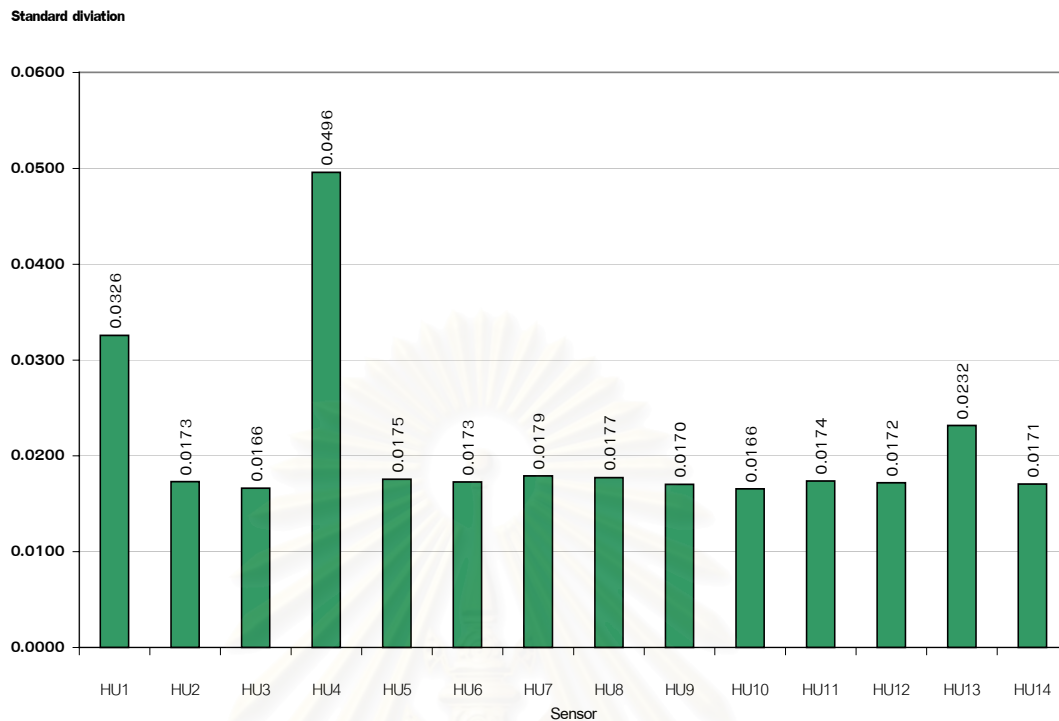
3.2.2 การตรวจสอบ Sensor วัดความชื้นสัมพัทธ์

Sensor ที่ใช้ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์นั้นเป็น Humidity Sensor ทั้งนี้ Sensor แต่ละตัวนั้นจะสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ได้แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลองจึงต้องทำการตรวจสอบ Sensor ก่อน โดยเริ่มจากการทดสอบวัดค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกับ 10%Rh ให้มากที่สุด แล้วจึงเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้สูงขึ้นจนใกล้เคียงจุดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (ที่ 100%Rh) เมื่อทราบค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ Sensor แต่ละตัวสามารถวัดได้ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้ว จึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์แบบ Regression Analysis เพื่อจะได้ทราบค่า Intercept และ Coefficient ของ Sensor แต่ละตัวเพื่อนำมาปรับค่า Slope และค่า Offset ของการอ่านข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งจะทำให้การวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของ Sensor ทั้งหมดสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงได้ถูกต้อง และใกล้เคียงกันทั้งหมด โดยผลของการตรวจสอบ Humidity Sensor สามารถแสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของการวัดค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารทดลองได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.3 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศที่ Sensor ทุกตัวสามารถวัดได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Standard deviation ของ Humidity sensor

3.3 การเตรียมวัสดุและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

ตัวอย่างผนังที่ใช้ในการทดสอบอิทธิพลความชื้นที่แทรกซึมผ่านส่วนที่บอบของเปลือกอาคารที่นำมาพิจารณานั้นเป็นผนังที่มีความนิยมใช้ในการก่อสร้างของประเทศไทย ประกอบด้วย

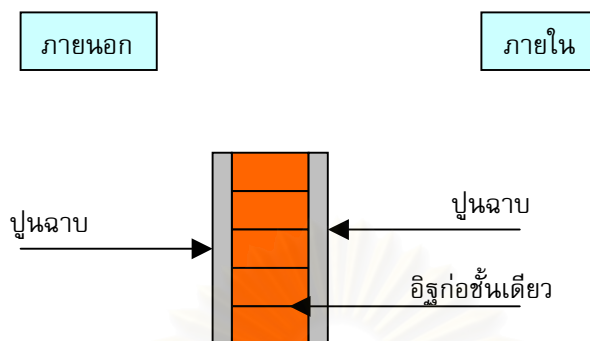
3.3.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นผนังที่มีการใช้งานในการก่อสร้างของประเทศไทยมาเป็นระยะเวลา ยาวนาน เพราะเป็นวัสดุที่มีราคาถูก กรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถทำงานได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ผนังก่ออิฐฉาบปูนนี้จัดเป็นผนังที่มีมวล สारมาก โดยเฉลี่ยจะมีน้ำหนักประมาณ 180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ความหนาแน่นประมาณ 1872 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร¹)

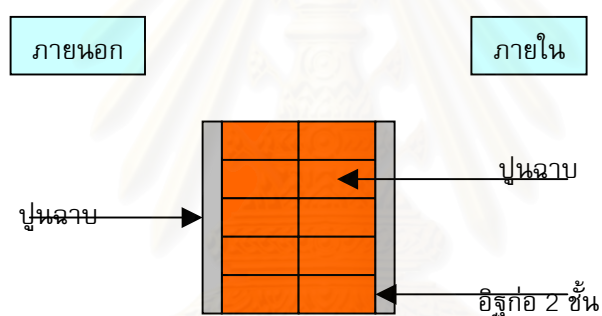
ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่เลือกมาเป็นตัวอย่างในการทดลองประกอบด้วย

¹ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

- ผนังก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว



- ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น



โดยในการก่อสร้างผนังทั้ง 2 แบบนี้ควรที่จะทำการคัดเลือกอิฐที่มาจากแหล่งเดียวกัน รวมถึงควรมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกันทุกก้อนเพื่อการควบคุมความชื้นที่สะสมในเนื้อวัสดุให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.7 อิฐที่นำมาใช้ควรมาจากแหล่งเดียวกันทุกก้อน

ในส่วนของการเตรียมช่องสำหรับติดตั้ง Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้นนั้นจะต้องจัดเตรียมเจาะอิฐให้เป็นช่องว่างในแนวเดียวกัน ซึ่งมีความลึกจากขอบวัสดุถึงกึ่งกลางผนังทดลองประมาณ 0.29 เซนติเมตร และควรกำหนดแนวของช่องว่างให้ตรงเป็นแนวเดียวกันโดยใช้แกนบังคับขณะทำการก่อ นอกจากนี้จะต้องมีการควบคุมสัดส่วนวัสดุผสมปูนก่อ และปูนฉาบ รวมถึงช่วงเวลาทำการก่อสร้างจะต้องทำในช่วงเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 3.8 การเจาะอิฐเพื่อเตรียมช่องสำหรับติดตั้ง Sensor



ภาพที่ 3.9 อิฐที่เจาะรู



ภาพที่ 3.10 การเรียงอิฐก่อนนำไปก่อเป็นผนังทดลอง (อิฐ 2 ชั้น)



ภาพที่ 3.11 การก่ออิฐตามแนวที่กำหนด



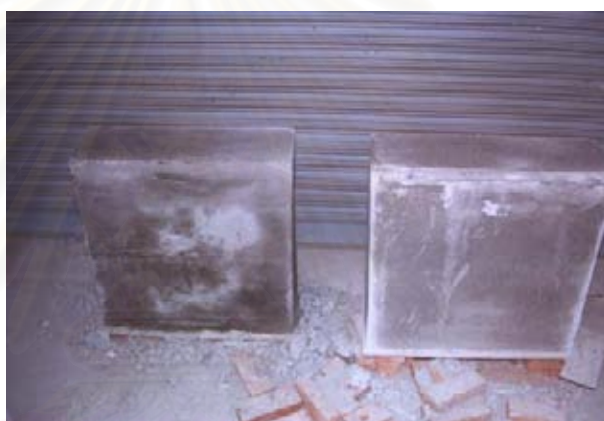
ภาพที่ 3.12 การก่ออิฐควรรทำในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 3.13 การควบคุมระยะแนวตั้งของผนังทดลอง



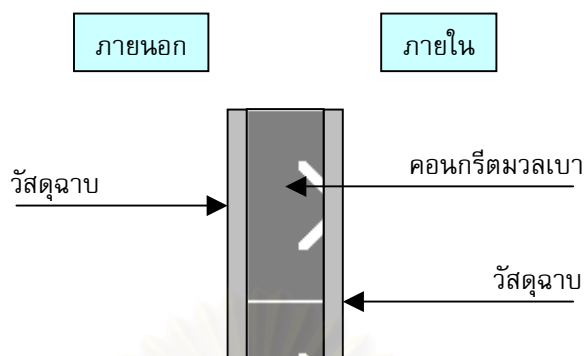
ภาพที่ 3.14 ผนังก่ออิฐ 1 ชั้นที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.15 ผนังอิฐ 2 ชั้นที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ผนังคอนกรีตมวลเบา

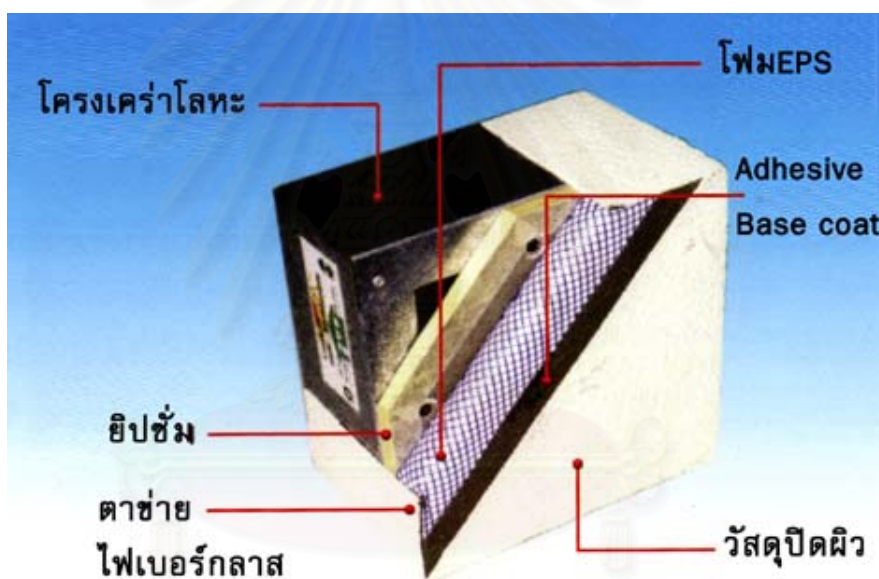
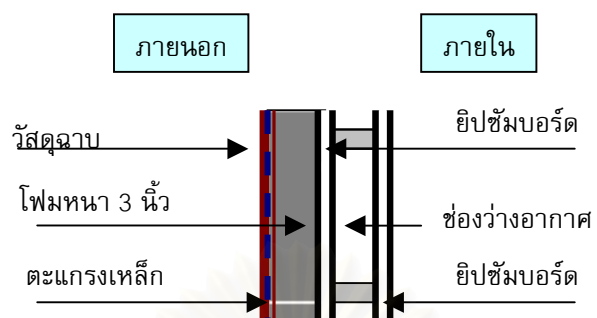
ผนังคอนกรีตมวลเบาเป็นผนังที่มีการนำมาใช้ในประเทศไทยได้ไม่นานนัก ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการผลิตจะใช้วัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซัม และผงอลูมิเนียมที่ใช้ก่อกองอากาศ ซึ่งการที่มีฟองอากาศในเนื้อวัสดุจึงทำให้มีน้ำหนักเบา โดยเฉลี่ยทั่วไปประมาณ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ความหนาแน่นประมาณ 960-1280 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยมีขนาดมาตรฐานคือ 0.20 * 0.60 เมตร และมีความหนา ตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.30 เมตร สำหรับการทดลองนี้จะเลือกใช้วัสดุที่มีความหนาประมาณ 0.10 เมตร มาทำเป็นผนังตัวอย่างขนาด 0.58*0.58 เมตร และต้องเจาะช่องว่างในผนังสำหรับติดตั้ง Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้นก่อนการฉาบผิวเรียบทั้ง 6 ด้าน



ภาพที่ 3.16 ผนังคอนกรีตมวลเบา

3.3.3 ผนัง EIFS

ผนัง EIFS เป็นผนังที่ได้รับการพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้น โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความหนาของโฟมที่นำมาใช้เพื่อผสมกับวัสดุต่างๆให้เหมาะสมในการก่อสร้าง ผนังรูปแบบต่างๆ เช่น ผนังกันความร้อนภายนอก Armour wall ผนังกันความร้อน SC wall ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิปซัม จำกัด (มหาชน) เป็นต้น โดยจากการศึกษา (สุนทร บุญญาธิการ: 2542) พบว่าโฟม หนา 3 นิ้ว จะมีคุณสมบัติการดูดซับความร้อนและความชื้นน้อยมาก อีกทั้งยังสามารถกันความร้อนได้ดีจึงทำให้ใช้พลังงานน้อยในการเดินเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 3.17 ผนังระบบฉนวนป้องกันความร้อนภายนอก (Exterior Insulation and Finished System)

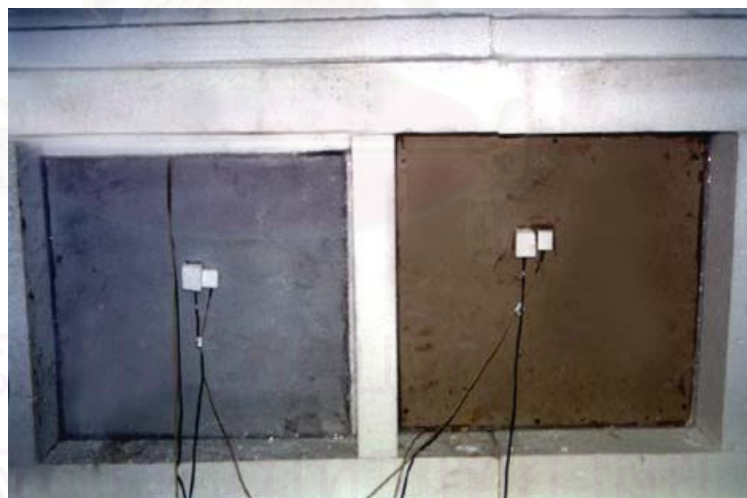
ที่มา : การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน: เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

3.3.4 การติดตั้งวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

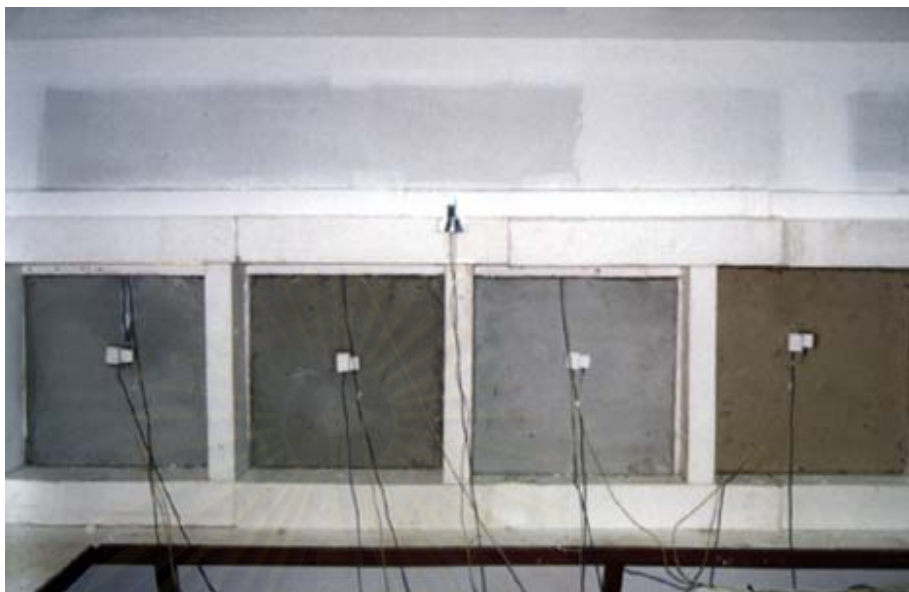
เมื่อจัดเตรียมวัสดุสำหรับการทดลองเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำวัสดุดังกล่าวมาติดตั้งในอาคารทดลองในลักษณะจำลองสภาวะการใช้งานจริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านตัวอย่างผนังที่ต้องการทดสอบดังกล่าว ซึ่งในการติดตั้งวัสดุมีลักษณะดังนี้



ภาพที่ 3.18 การติดตั้งผนังก่ออิฐ 1 ชั้นและผนังคอนกรีตมวลเบา



ภาพที่ 3.19 การติดตั้งผนังก่ออิฐ 2 ชั้นและผนัง EIFS



ภาพที่ 3.20 ด้านในวัสดุที่ติดตั้งเสร็จ



ภาพที่ 3.21 ด้านนอกวัสดุที่ติดตั้งเสร็จ

3.4 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบจากความชื้นที่แทรกซึมผ่านส่วนที่บดของผนังอาคารที่มีการปรับอากาศนั้น สามารถกำหนดแนวทางเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ 4 แนวทางประกอบด้วย

- 1) การศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการแทรกซึมของความชื้นที่ผ่านผนังทดสอบ
- 2) การเปรียบเทียบพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่มีการทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร
- 3) การศึกษาแนวทางการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในอาคาร ระหว่างผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร และการติดตั้งฉนวนผนังด้านในอาคาร

โดยการวิเคราะห์แนวทางการศึกษาทั้ง 3 แนวทางดังกล่าวมีรายละเอียดในการพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลจากการเก็บบันทึกดังนี้

3.4.1 การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการแทรกซึมของความชื้นที่ผ่านผนังทดสอบ

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิดว่ามีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นแตกต่างกันอย่างไรจากการจำลองสภาวะการใช้งานจริง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะใช้ในการพิจารณาเลือกผนังที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นต่ำสุด มาเป็นผนังทดสอบสำหรับการป้องกันความชื้นต่อไป

3.4.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่มีการทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบว่าผนังที่สร้างจากวัสดุชนิดเดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงที่การทาสีบริเวณผนังด้านนอกอาคารกับไม่มีการทาสีบริเวณผนังด้านนอกอาคาร เพื่อนำมาวิเคราะห์ว่าจะมีผลต่อพฤติกรรมของความชื้นที่แตกต่างกันอย่างไร และเปรียบเทียบผลดี-ผลเสียของการทาสีที่ด้านนอกและด้านในอาคารนั้น โดยเลือกใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว เป็นวัสดุที่นำมาทำการทดสอบ เพราะเป็นวัสดุที่มีมวลสารเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) ที่มีความหนาและความพรุนภายในเนื้อวัสดุเท่ากัน โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถเปรียบเทียบให้เห็นว่าวิธีการทาสีแบบใดเป็นวิธีการเหมาะสมในการป้องกันความชื้นจากภายนอกอาคารได้ดีกว่า

3.4.4 การศึกษาแนวทางการป้องกันความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในอาคาร ระหว่างผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร และการติดตั้งฉนวนผนังด้านในอาคาร

เป็นการศึกษาแนวทางการป้องกันความชื้นให้กับผนังโดยการติดตั้งฉนวนโฟม EPS หนา 3 นิ้วที่ผนังด้านนอกและด้านในอาคาร เพื่อเปรียบเทียบว่าผนังที่สร้างจากวัสดุชนิดเดียวกัน แต่ใช้วิธีการป้องกันความชื้นแตกต่างกันจะมีผลต่อพฤติกรรมของความชื้นที่แตกต่างกันอย่างไร และเปรียบเทียบผลดี-ผลเสียจากการติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคารนั้น โดยเลือกใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว เป็นวัสดุที่นำมาทำการทดสอบ โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะช่วยให้เห็นว่าการติดตั้งฉนวนแบบใดเป็นวิธีการเหมาะสมในการป้องกันความชื้นจากภายนอกอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยในการเปรียบเทียบแนวทางในการวิเคราะห์ทั้ง 3 แนวทางดังกล่าว ต้องทำการเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆประกอบด้วย

1) อุณหภูมิผิววัสดุ (Surface Temperature)

เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร อุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอก ผิวผนังภายใน และภายในเนื้อวัสดุผนัง โดยเก็บบันทึกข้อมูลเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb Temperature) และใช้หน่วยการวัดเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

2) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของอากาศภายนอก อากาศภายในอาคาร ความชื้นที่ผิวผนังภายนอก ผิวผนังภายใน และภายในเนื้อวัสดุผนัง โดยบันทึกข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)

3) ปริมาณความดันไอน้ำ (Vapor Pressure)

ในการหาปริมาณความดันไอน้ำ ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็น กิโลปาสคาล(kPa) สามารถคำนวณได้ โดยใช้วิธีการคำนวณตามกระบวนการของ ASHRAE thermodynamic solution (ASHRAE Handbook of Fundamentals (1985) SI edition, The Society, Atlanta) ซึ่งประกอบด้วยสมการดังต่อไปนี้

สมการ

$$\begin{aligned} K &= 273.15+T \\ C &= 1.3914993-(58000.2206/K)-0.048640239 * K + \\ &\quad (0.41764768*10^{-4} * K^2)-(0.14452093 * 10^{-7} * K^3) + \\ &\quad 6.5459673 * \ln(K) \end{aligned} \quad (1)$$

เมื่อ	K	คือ	อุณหภูมิองศาเคลวิน
	T	คือ	อุณหภูมิองศาเซลเซียส
	C	คือ	Critical point temperature of water (Saturated liquid and saturated vapor)

$$P_{vs} = \text{EXP}(C) / 100 \quad (2)$$

เมื่อ P_{vs} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวบรรยากาศ หน่วย kPa

$$P_v = P_{vs} - 0.0666(\text{DBT}-\text{WBT}) \quad (3)$$

เมื่อ P_v คือ ความดันไอน้ำ หน่วย กิโลปาสคาล (kPa)

DBT คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

WBT คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

0.0666 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (เมื่อมีความเร็วลมประมาณ 3.5 เมตรต่อวินาที)

$$\text{Rh} = (P_v / P_{vs_D}) * 100 \quad (4)$$

เมื่อ

P_{vs_D} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หน่วย กิโลปาสคาล (kPa)

Rh คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ หน่วย เปอร์เซ็นต์ (%)

$$\text{WBT} = \frac{7.5 + 0.9 * (\text{DBT}-10) + (\text{Rh}-70)/30 * [2.75 + 0.1(\text{DBT}-10)]}{1} \quad (5)$$

ดังนั้น

$P_v = (\text{Rh}/100) * P_{vs} = P_{vs} - 0.0666 (\text{DBT}-\text{WBT})$
--

เมื่อ

$$P_{vsw} = (R_h/100) * P_{vs} + 0.0666 (DBT-WBT)$$

4) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio หรือ Absolute Humidity)

อัตราส่วนความชื้นเป็นค่าที่สามารถบอกปริมาณไอน้ำในอากาศ (Grain of moisture) ต่อมวลของอากาศ โดยมีหน่วยที่ใช้วัดเป็น กรัมต่อกิโลกรัม (g/kg) หรือ กิโลกรัมต่อกิโลกรัม (kg/kg) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$w = 622 * P_v / (P_t - P_v)$$

เมื่อ

w คือ อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หน่วย กรัม (g) ของไอน้ำต่อกิโลกรัม (kg) ของอากาศแห้ง

P_t คือ ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล หน่วย กิโลปาสคาล (kPa) มีค่าเท่ากับ 101.325 kPa

P_v คือ ความดันไอน้ำ หน่วย กิโลปาสคาล (kPa)

5) Enthalpy

Enthalpy คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ผสมผสานระหว่างความร้อนแฝง (Latent heat) และความร้อนสัมผัส (Sensible heat) (สุนทร บุญญฤทธิ์การ, 2542) โดยมีหน่วยที่ใช้ในการวัดเป็น กิโลจูลต่ออากาศแห้ง 1 กิโลกรัม (kJ/kg) หรือ บีทียูต่ออากาศแห้ง 1 ปอนด์ (Btu/lb) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = h_a + Wh_g$$

เมื่อ

h คือ ปริมาณ Enthalpy หน่วย กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

h_a คือ ปริมาณ Enthalpy ของอากาศแห้ง (Dry air) หน่วย กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

h_g คือ ปริมาณ Enthalpy ของอากาศผสม (Moist air) หน่วย กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

w คือ อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หน่วย กรัม (g) ของไอน้ำต่อกิโลกรัม (kg) ของอากาศแห้ง

โดย

$$h_a = 1.006 t$$

$$h_g = 2501 + 1.805 t$$

เมื่อ

t คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) หน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

6) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลงแต่ปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ณ ขณะนั้นเป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัว คือ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้นได้อีกหากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยสามารถคำนวณหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้จากสมการ

$$t_d = 6.54 + 14.526 \ln(P_w) + 0.7389 [\ln(P_w)]^2 + 0.09468 [\ln(P_w)]^3 + 0.4569(P_w)^{0.1984}$$

เมื่อ

t_d คือ อุณหภูมิกระเปาะจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) หน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

P_w คือ ความดันไอน้ำ (water vapor partial pressure) หน่วย กิโลปาสคาล (kPa)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทึบ

4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้น จำนวนอย่างละ 14 ตัว โดยทดสอบในห้องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่ และกำหนดให้ทั้ง Sensor ที่ใช้วัดอุณหภูมิ และ Sensor วัดความชื้น ทำการบันทึกผลทุกๆ 15 วินาที เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย (Regression) เพื่อหาค่า slope และ offset ของแต่ละ Sensor สำหรับใช้ในการปรับค่าที่บันทึกได้ให้มีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.1 การปรับค่า Sensor วัดอุณหภูมิ

Sensor	Slope	Offset
T1	1.0845	-1.7275
T2	1.0753	-0.1416
T3	1.1026	-1.4476
T4	1.1460	-3.0057
T5	1.1270	-0.9843
T6	1.0427	0.7564
T7	1.0263	-0.6489
T8	1.0965	-0.3541
T9	1.0759	-0.9933
T10	1.0452	1.1123
T11	1.0497	1.4943
T12	1.0865	-1.2492
T13	1.0721	-0.7608
T14	1.0773	0.6117

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า slope และ offset สำหรับ Sensor วัดอุณหภูมิแต่ละตัว

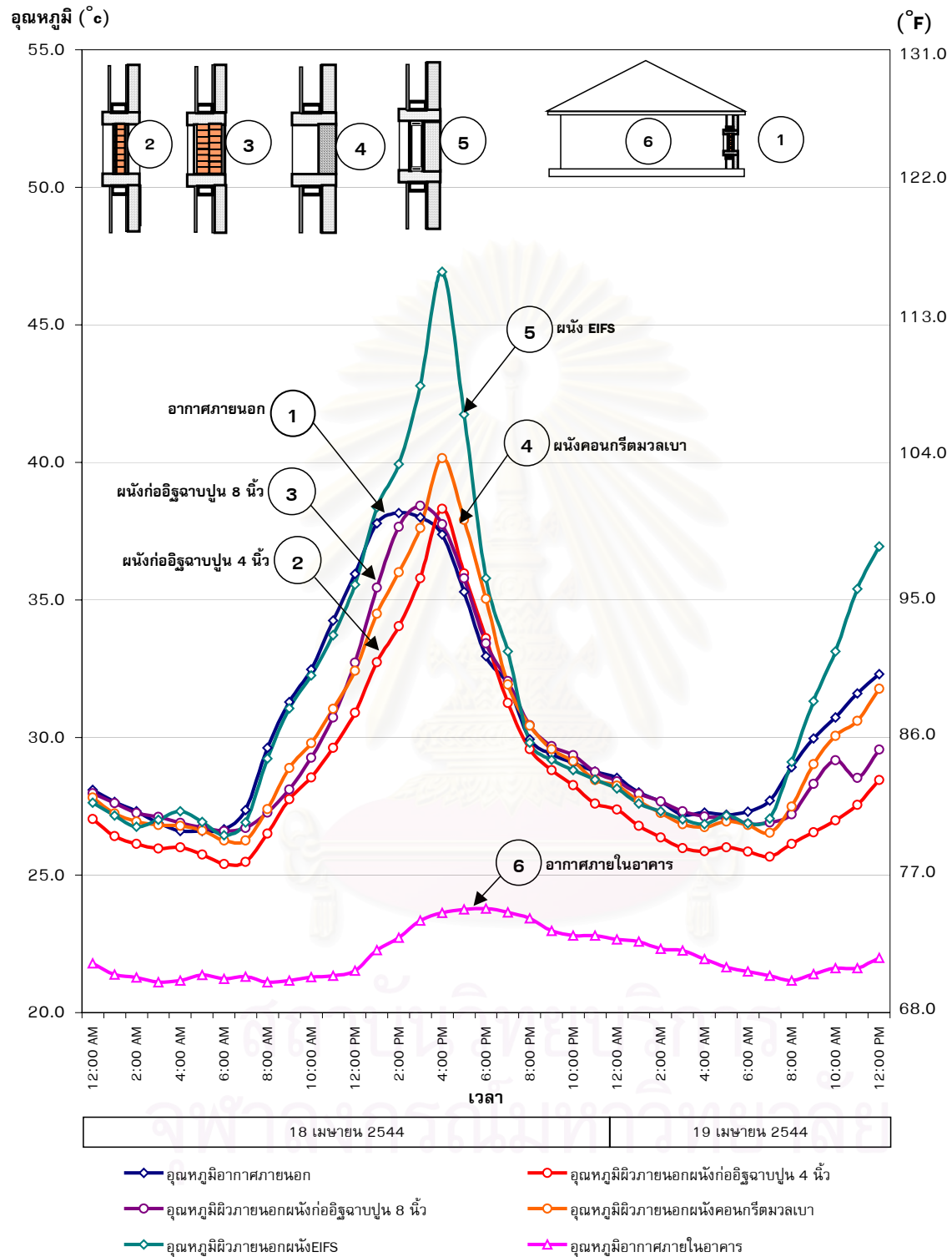
4.1.2 การปรับค่า Sensor วัดความชื้นสัมพัทธ์

Sensor	Slope	Offset
HU1	1.5294	-1.674
HU2	0.9945	0.094
HU3	1.0229	-4.616
HU4	1.0132	-4.316
HU5	1.0151	-4.803
HU6	1.0146	-3.845
HU7	1.0362	-6.482
HU8	0.9863	-3.819
HU9	1.0059	-0.033
HU10	0.9741	1.244
HU11	1.0072	-2.004
HU12	0.9875	0.465
HU13	0.2341	-3.698
HU14	0.9932	-1.205

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า slope และ offset สำหรับ Sensor วัดความชื้นสัมพัทธ์แต่ละตัว

4.2 การศึกษาพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

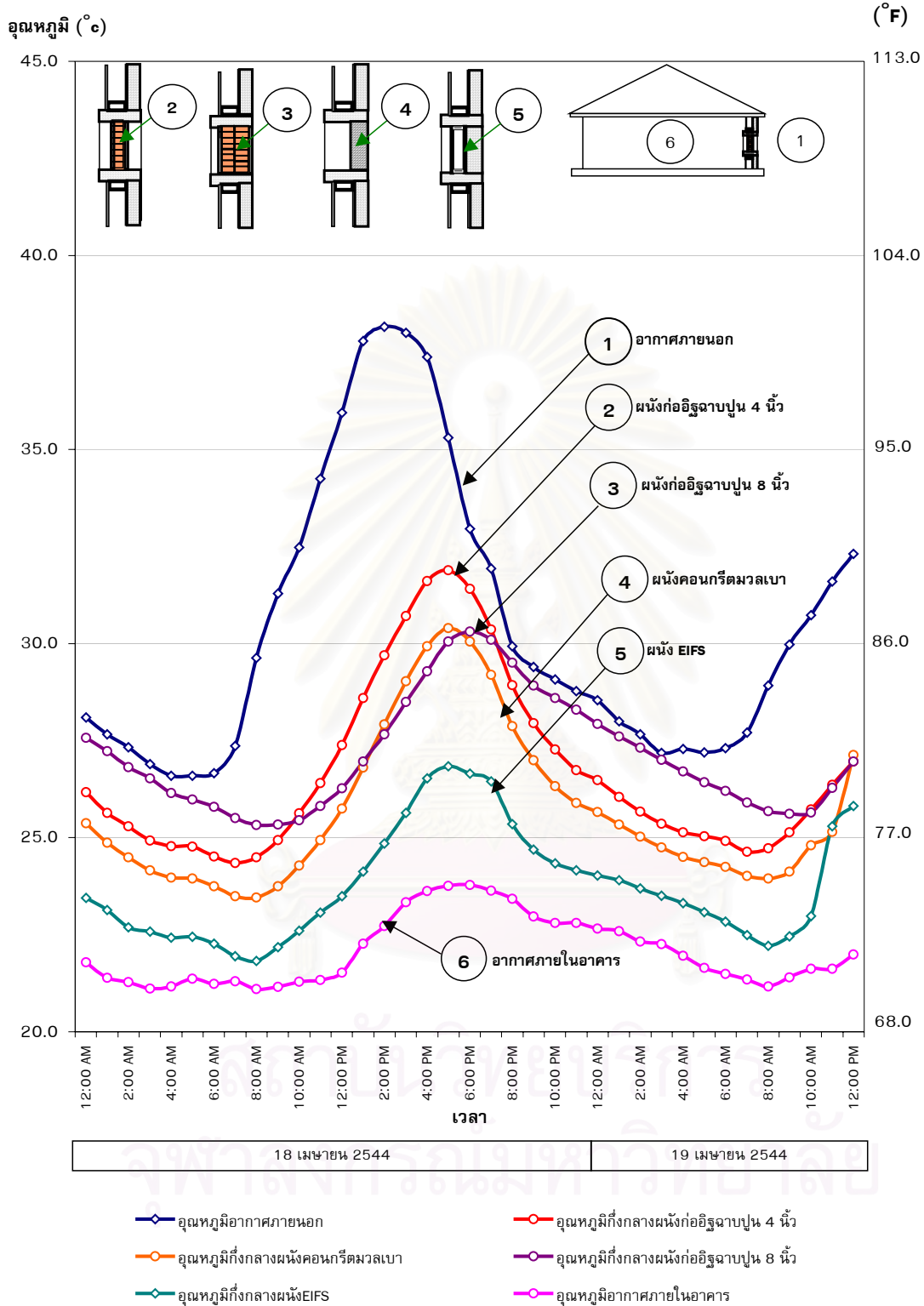
การทดสอบผลกระทบของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่เป็นการจำลองสภาวะการใช้งานอาคารที่รับอากาศของตัวอย่างผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ชนิดโฟม EPS หนา 3 นิ้ว โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบการจำลองสภาวะการใช้งานของผนังทางด้านทิศตะวันตก ในช่วงเวลาและสถานที่เดียวกัน เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (temperature) และความดันไอน้ำ (relative humidity) แล้วจึงนำผลของข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความดันไอน้ำ (Vapor pressure) อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dewpoint temperature) และปริมาณเอนทัลปี (enthalpy) โดยใช้วิธีการคำนวณตามสมการของ Psychrometric algorithm



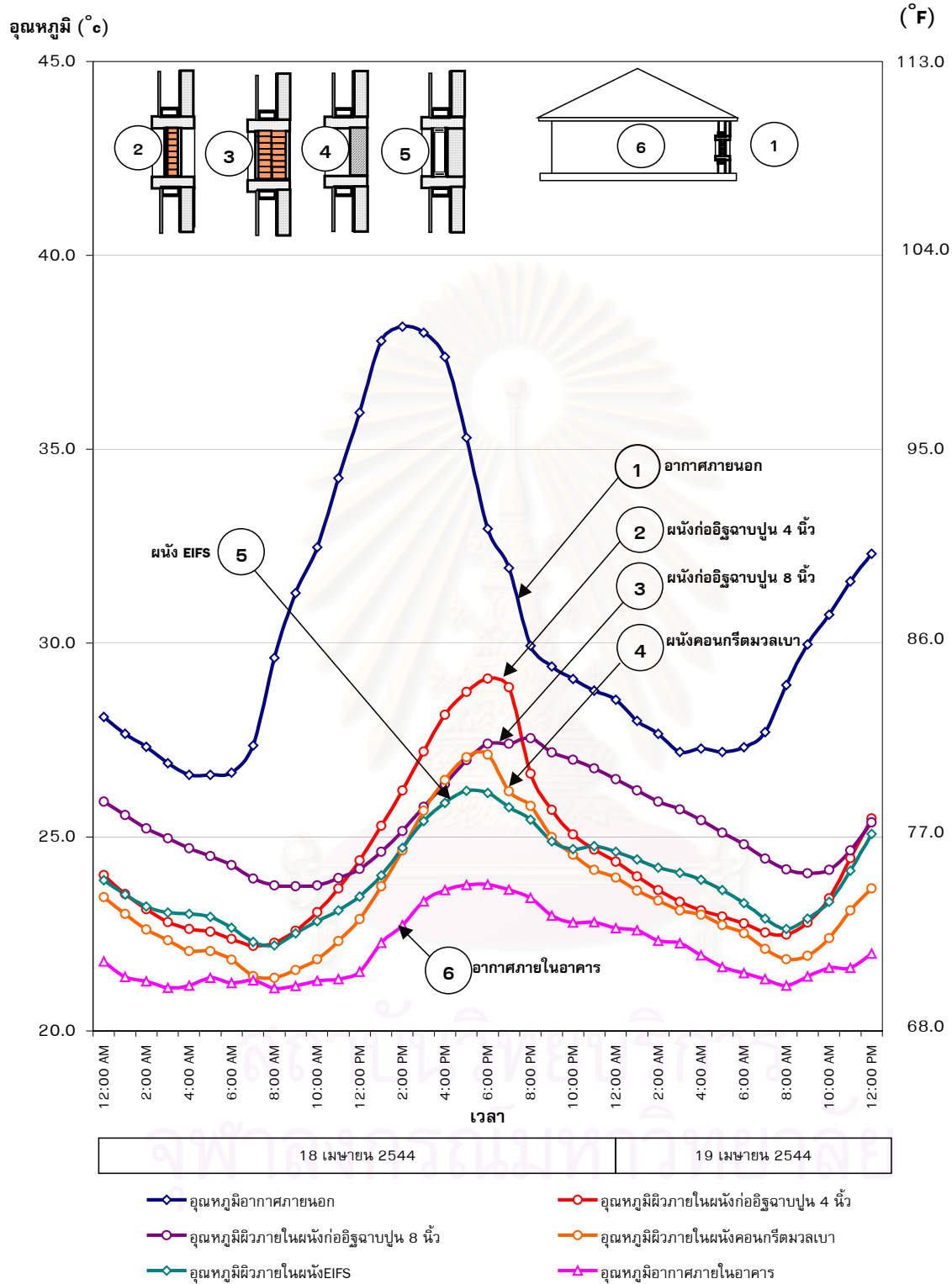
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ใน

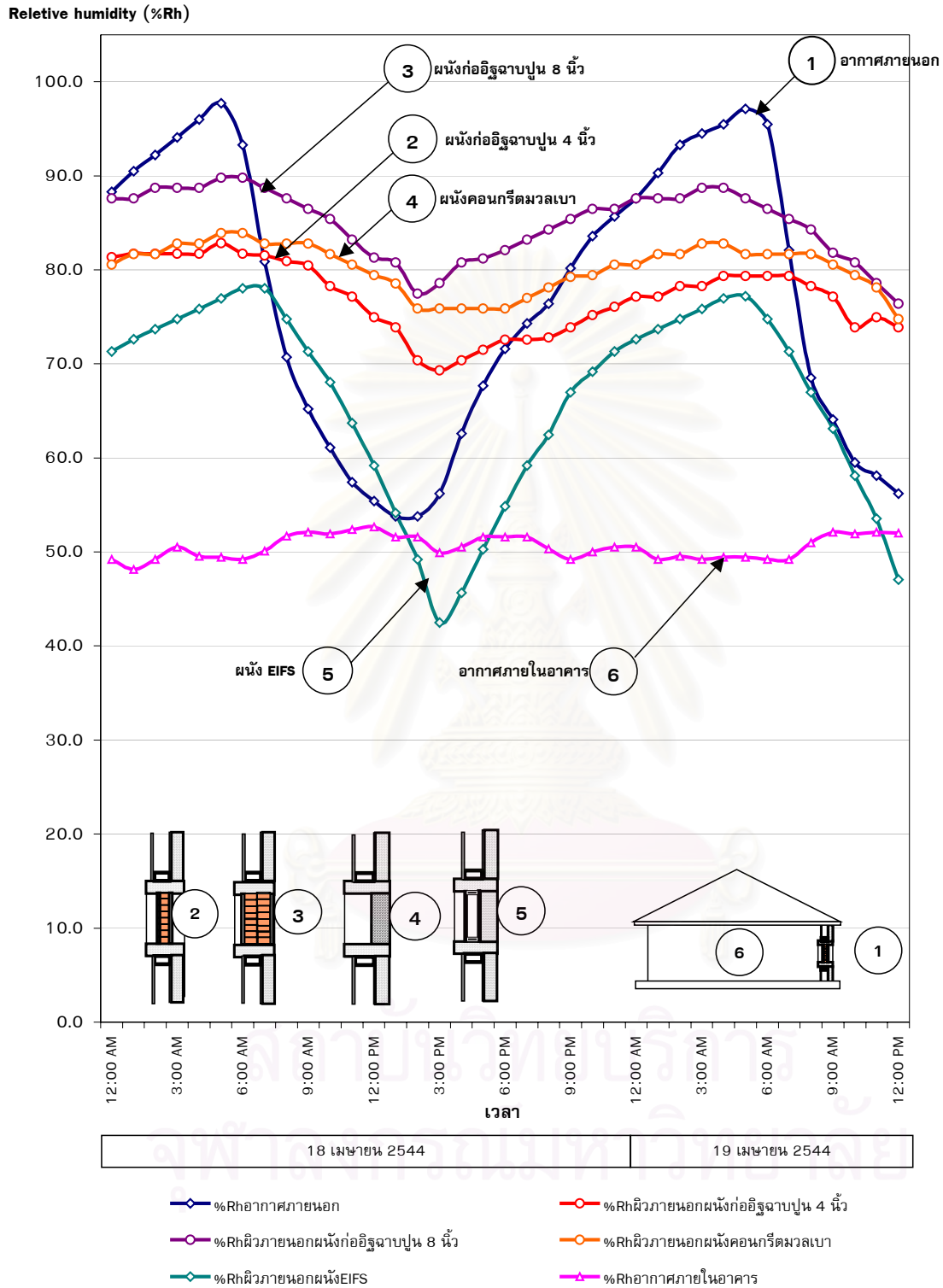
สภาวะจำลองการไว้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

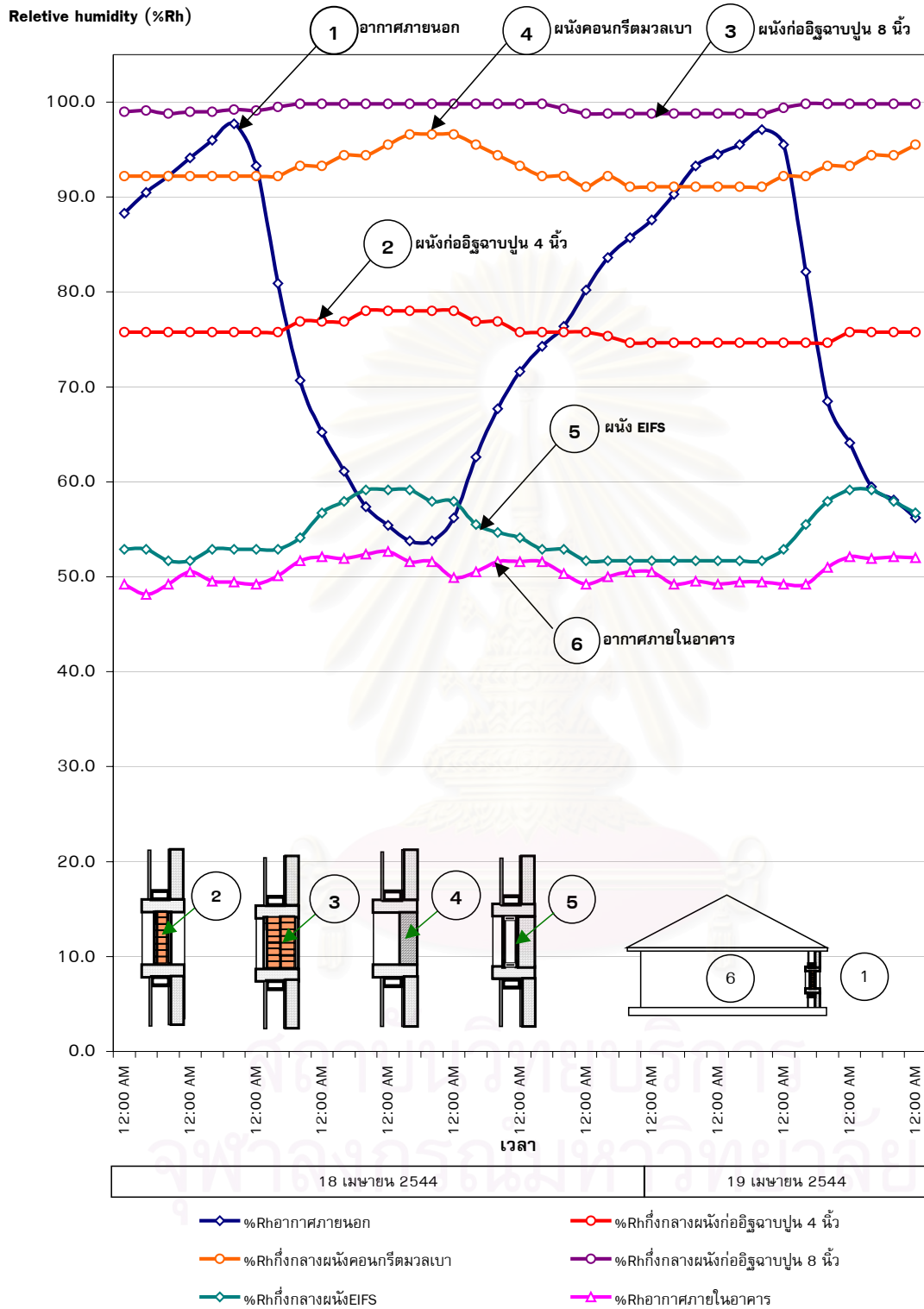
จากการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้งาน อาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ. 2544 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นผ่านผนังดังกล่าวได้ดังนี้

4.2.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 38.2 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 27.2 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยประมาณ 31.1 องศาเซลเซียส) ซึ่งในการทดสอบวัดอุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคารพบว่าผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 46.9 องศาเซลเซียส รองลงมา คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 40.2 องศาเซลเซียส ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 38.4 องศาเซลเซียส และผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 38.2 องศาเซลเซียส ซึ่งผลจากการทดสอบ (แผนภูมิที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าผิวผนังภายนอกของผนังแต่ละชนิดนั้นสามารถรับพลังงานจากสภาพแวดล้อมไว้แตกต่างกัน

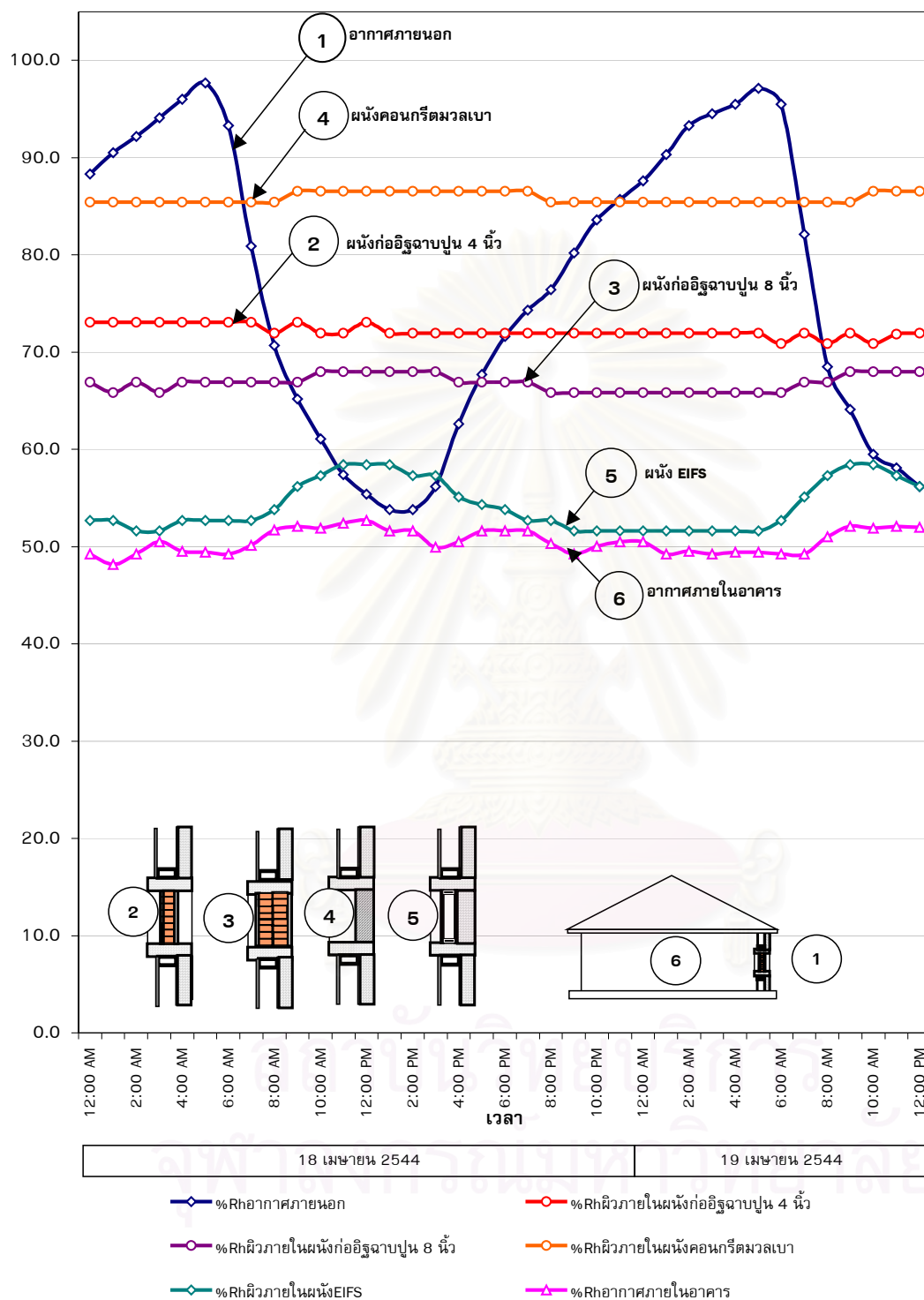
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่กึ่งกลางของผนังแต่ละชนิด (แผนภูมิที่ 4.2) พบว่าความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วได้มากที่สุด โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 31.9 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 30.4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 30.3 องศาเซลเซียส ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดเพียง 26.8 องศาเซลเซียส

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด (แผนภูมิที่ 4.3) พบว่าอุณหภูมิผิวผนังภายในอาคารของผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 29.1 องศาเซลเซียส รองลงมาคือผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 27.1 องศาเซลเซียส และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีอุณหภูมิผิวภายในอาคารสูงสุดประมาณ 26.2 องศาเซลเซียส ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงว่าพลังงานความร้อนจากภายนอกอาคารสามารถถ่ายเทผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วเข้ามาในอาคารได้มากที่สุด ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว และผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเห็นได้จากการที่อุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังทั้งสองดังกล่าวมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และการที่ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีอุณหภูมิผิวภายในอาคารต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับผนังชนิดอื่นๆ แสดงว่าผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด

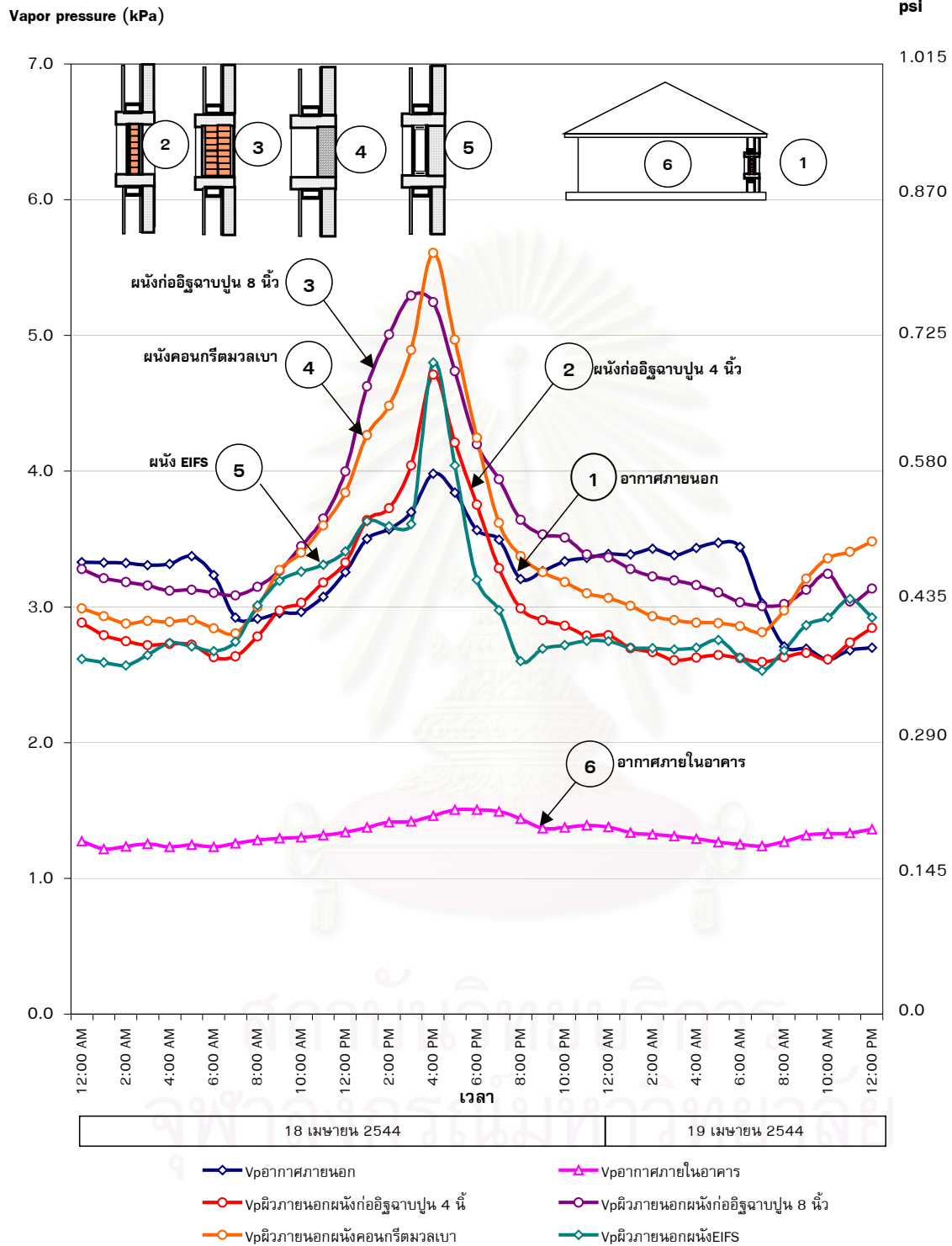


แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

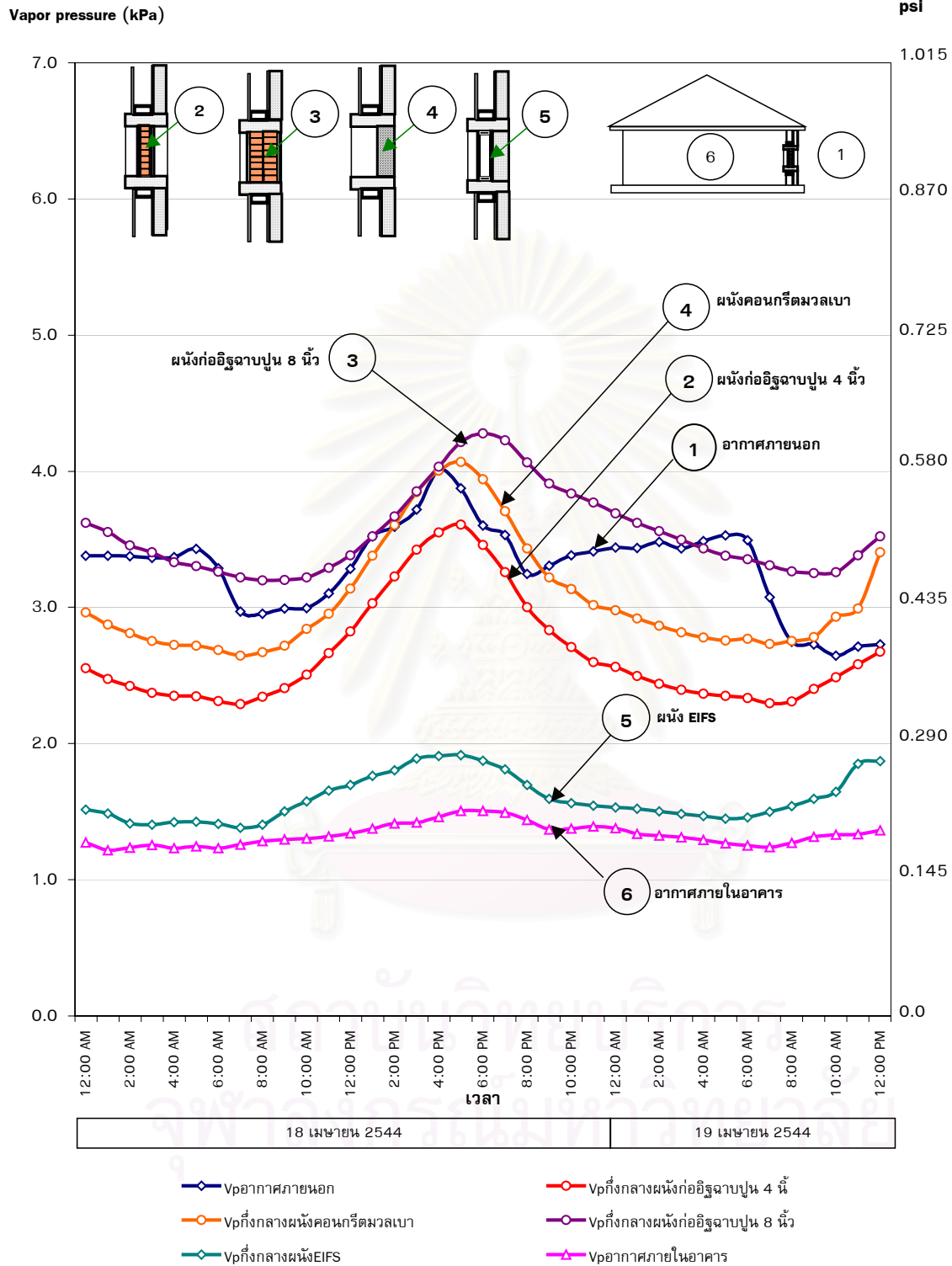
Relative humidity (%Rh)



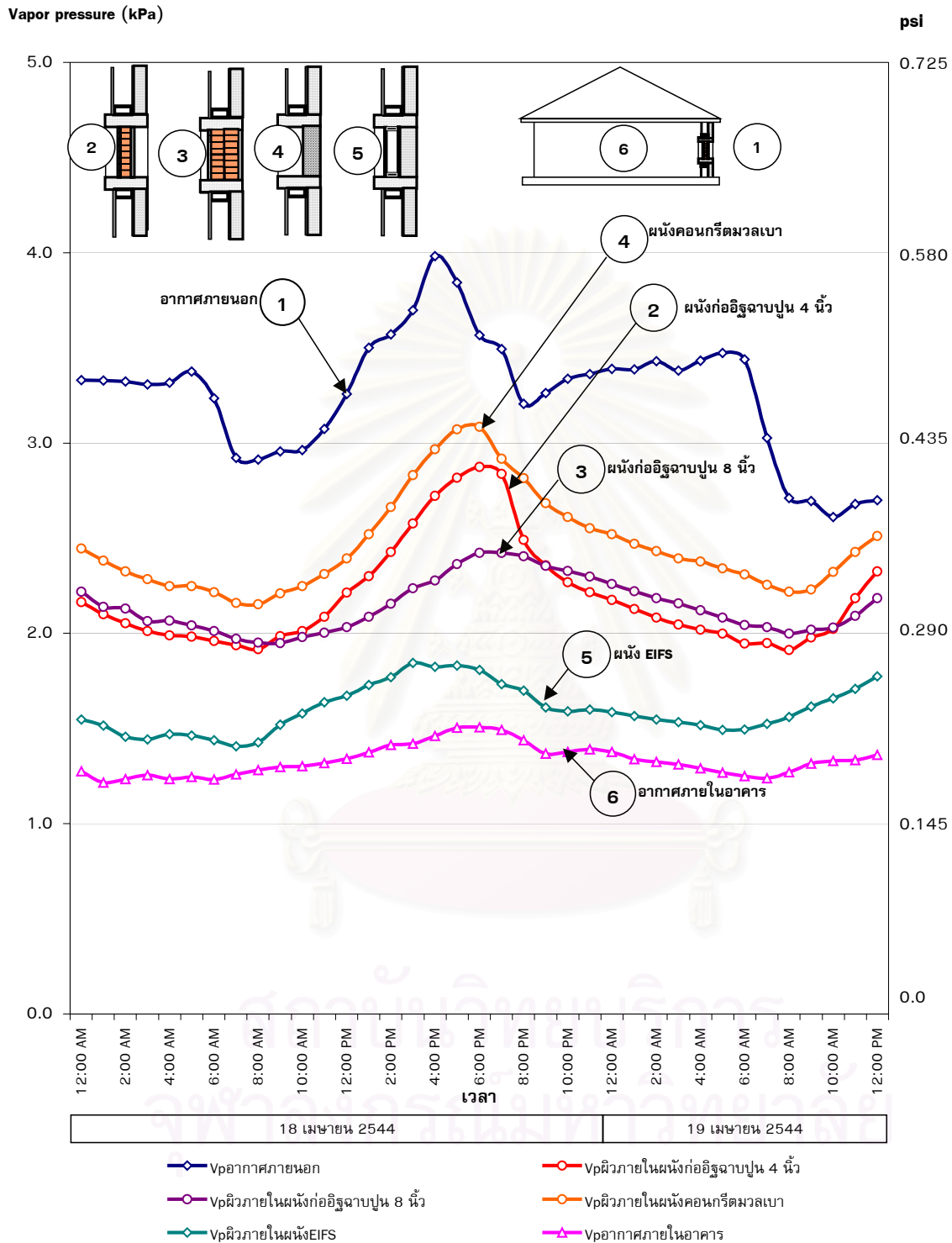
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวผนังในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



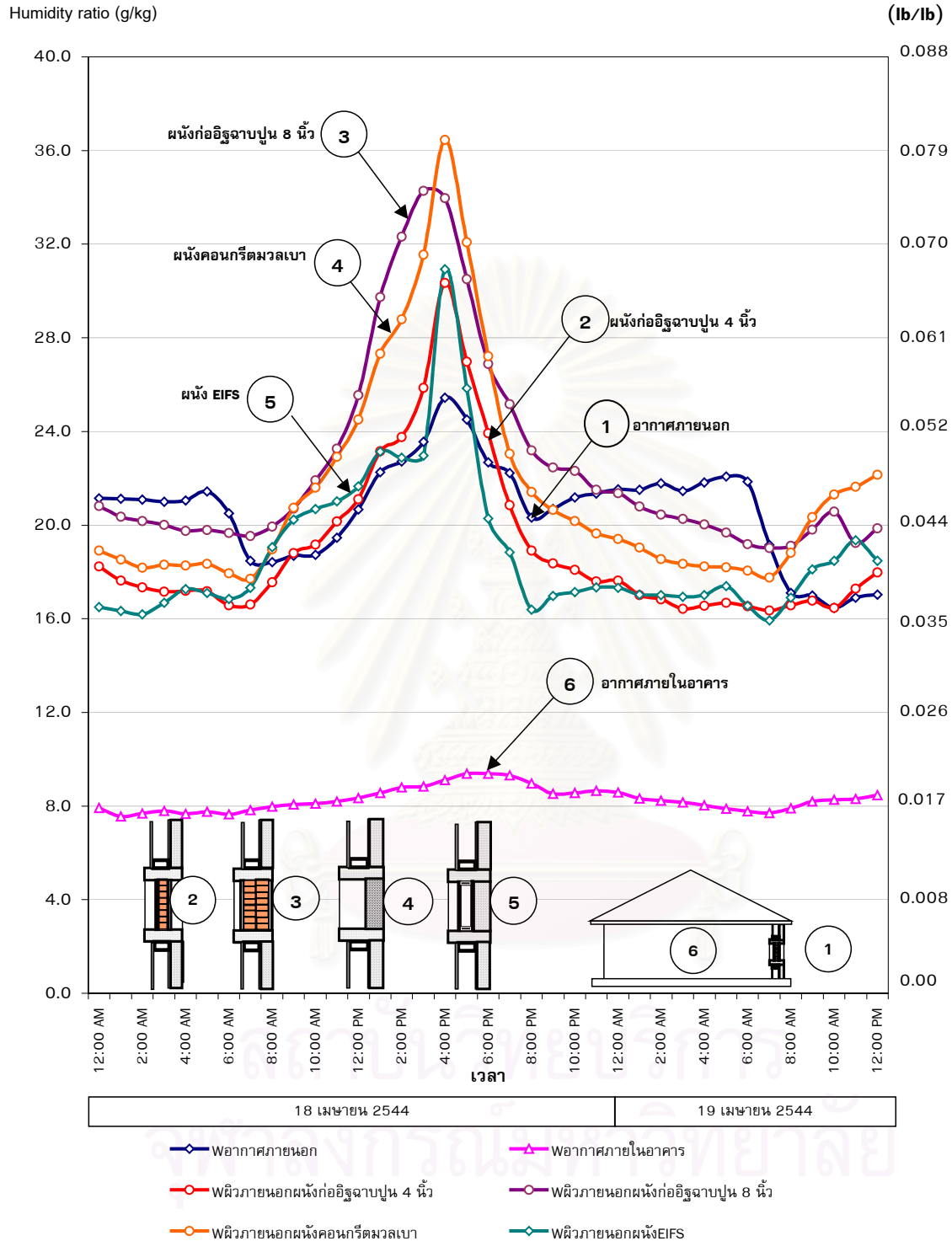
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้ยอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

4.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

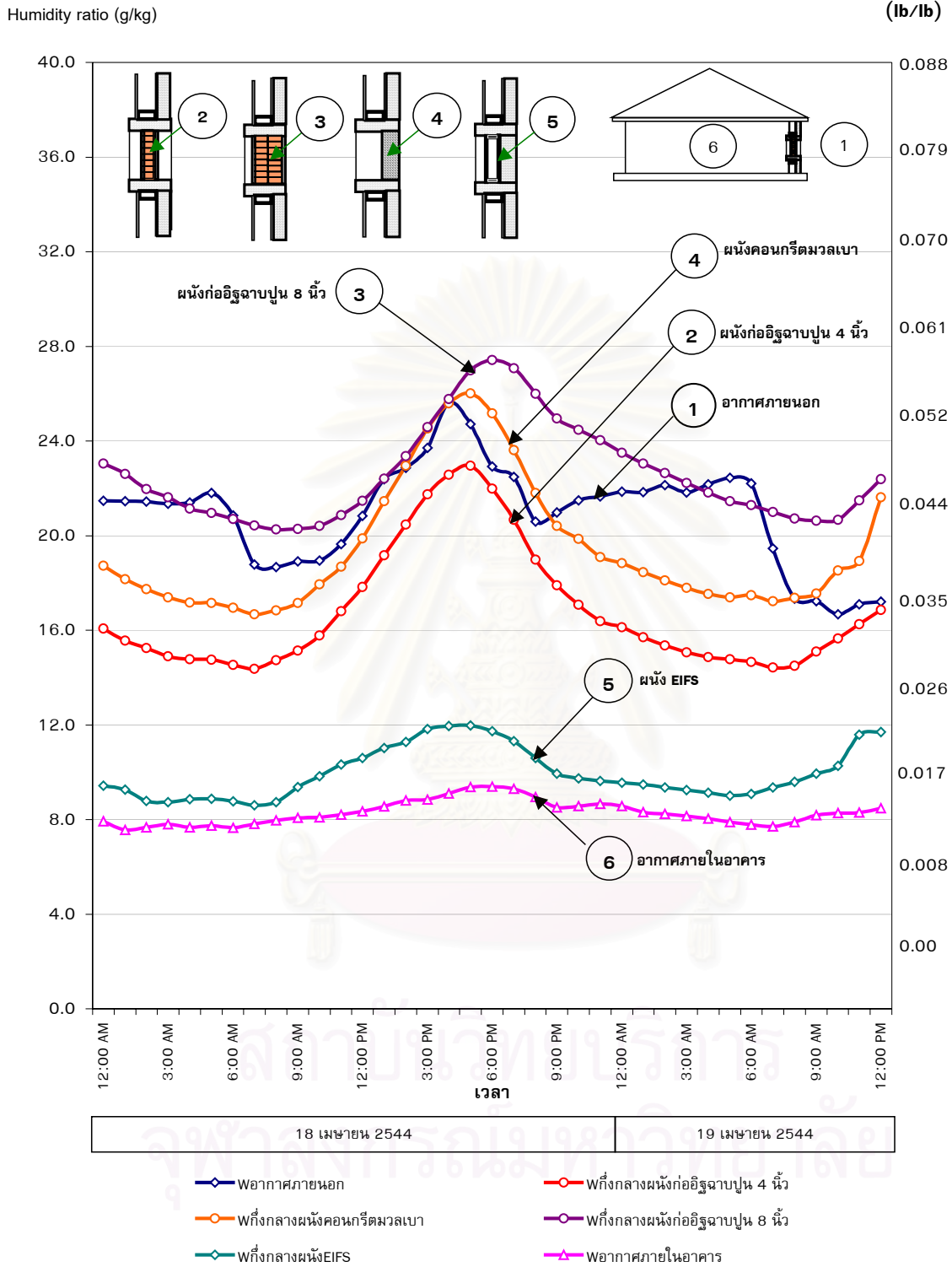
การถ่ายเทความชื้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของความดันไอน้ำ โดยเป็นการถ่ายเทจากบริเวณที่มีปริมาณความดันไอน้ำสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีปริมาณความดันไอน้ำต่ำกว่า ซึ่งปริมาณของความดันไอน้ำจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำสูงสุดประมาณ 3.98 kPa ต่ำสุด 2.61 kPa (เฉลี่ยประมาณ 3.24 kPa) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายนอกอาคาร (แผนภูมิที่ 4.7) พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 3.60 kPa รองลงมา คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.40 kPa ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.05 kPa และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.04 kPa

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่กึ่งกลางของผนังแต่ละชนิด (ตามแผนภูมิที่ 4.8) พบว่าความชื้นสามารถถ่ายเทเข้ามาสะสมผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วได้มากที่สุด โดยมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 3.58 kPa รองลงมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.12 kPa ถัดมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ซึ่งมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.71 kPa ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำสูงสุดเพียง 1.63 kPa และเป็นที่น่าสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวภายนอกอาคารของผนังชนิดนี้เกือบจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความดันไอน้ำที่กึ่งกลางผนังเลย

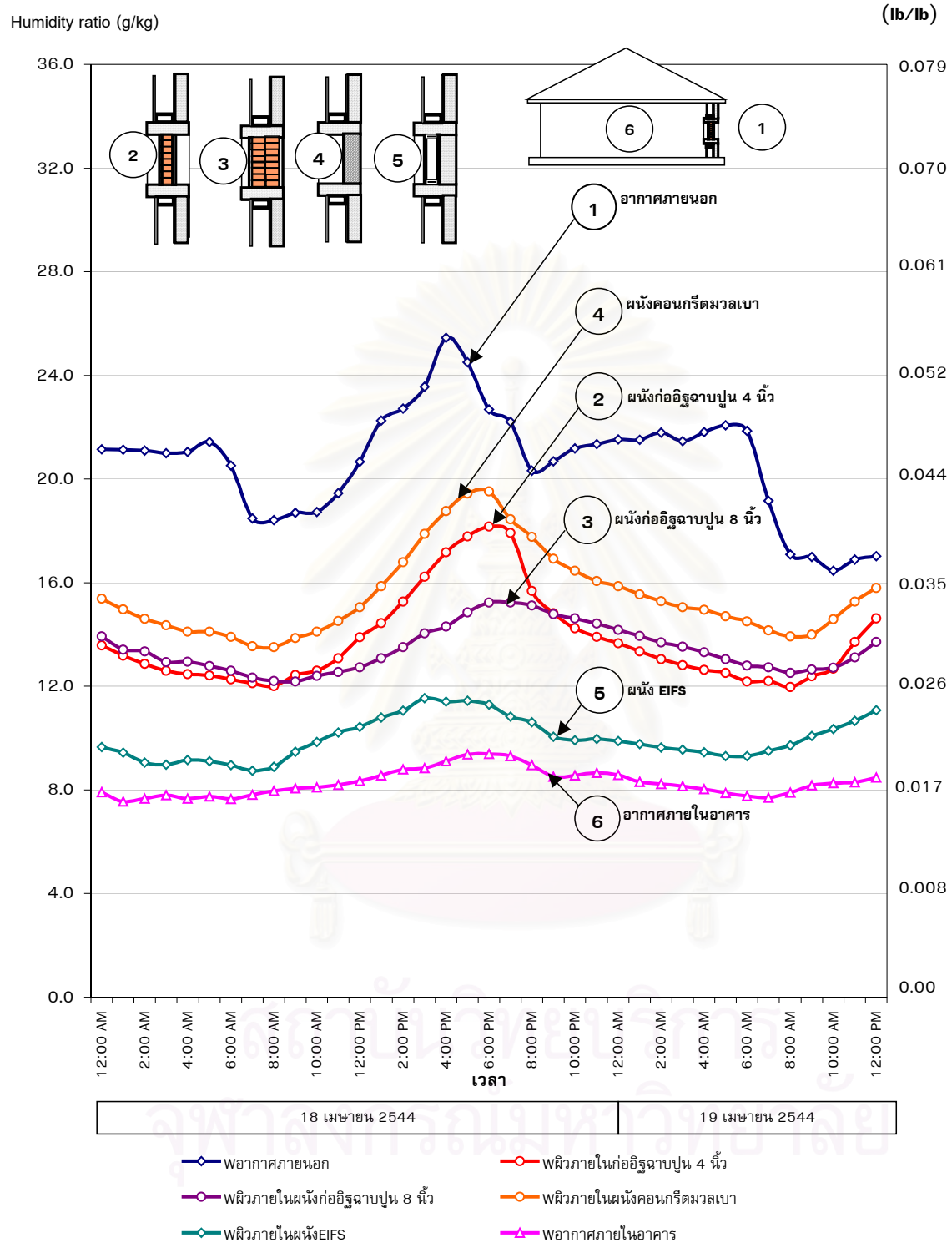
และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด (แผนภูมิที่ 4.9) จะพบว่าปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณ 2.5 kPa รองลงมาคือผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว มีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.27 kPa ลำดับต่อมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ 2.15 kPa และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ 1.62 kPa ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับความดันไอน้ำที่กึ่งกลางผนังดังกล่าว แสดงว่าผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีคุณสมบัติในการลดอิทธิพลที่เกิดจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (vapor pressure differential) ระหว่างผิวผนังภายนอกกับภายในอาคารได้



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายนอกของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่กึ่งกลางผนังของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

4.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

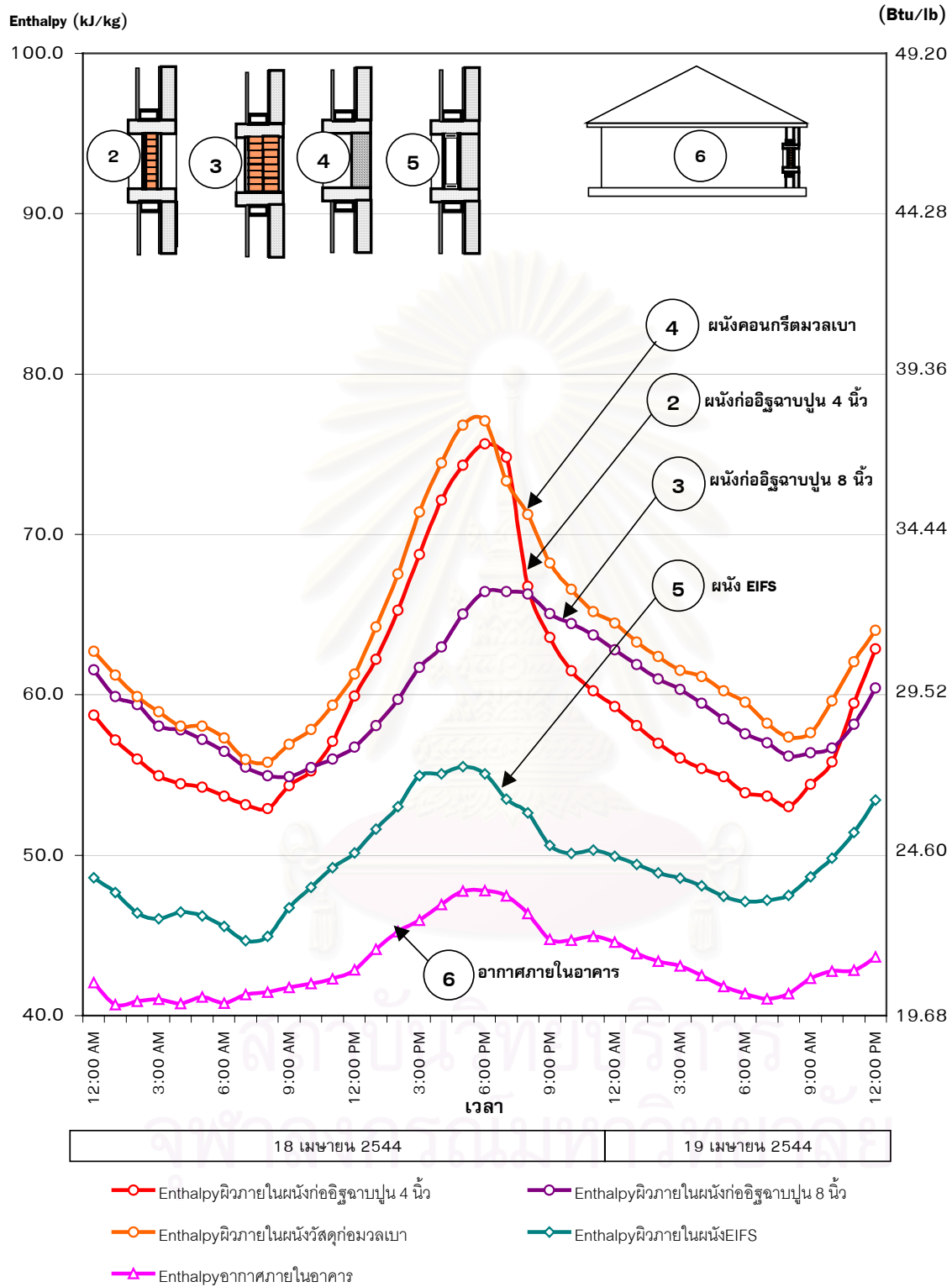
การวัดปริมาณความชื้นสามารถพิจารณาได้จากค่าของอัตราส่วนความชื้น ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของไอน้ำในอากาศต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง ณ อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ โดยปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่มากแสดงว่ามีปริมาณไอน้ำ ที่ขณะนั้นสูง ซึ่งปริมาณของอัตราส่วนความชื้นจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของความดันไอน้ำ และการที่ปริมาณของความดันไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นปริมาณอัตราส่วนความชื้นจึงแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เช่นกัน

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นสูงสุดประมาณ 25.44 กรัมต่อกิโลกรัม ต่ำสุด 16.46 กรัมต่อกิโลกรัม (เฉลี่ยประมาณ 20.56 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายนอกอาคาร(แผนภูมิที่ 4.10) พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 23.08 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 22.22 กรัมต่อกิโลกรัม ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 19.34 กรัมต่อกิโลกรัม และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 19.30 กรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่กึ่งกลางของผนังแต่ละชนิด (ตามแผนภูมิที่ 4.11)พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณความชื้นสะสมไว้มากที่สุด โดยมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 22.79 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 19.81 กรัมต่อกิโลกรัม ถัดมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ซึ่งมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 17.13 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นสูงสุดเพียง 10.19 กรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบแสดงว่าภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ซึ่งเป็นผนังที่มีมวลสารมากที่สุดทำให้สามารถสะสมความชื้นไว้ในมวลสารได้เป็นจำนวนมากจึงทำให้มีปริมาณอัตราส่วนความชื้นโดยเฉลี่ยสูงกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ส่วนผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว แม้ว่าจะมีมวลสารน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วก็ตาม แต่มีปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่มากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะผนังคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่มีความพรุนของเนื้อมวลสารมาก (porous of material) ซึ่งความพรุนของมวลสารนี้เองที่เป็นเสมือนช่องว่างจำนวนมากที่ช่วยให้ความชื้นสามารถถ่ายเทเข้ามาสะสมในมวลสารได้มาก ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วซึ่งมีปริมาณความชื้นสะสมในมวลสารน้อยกว่าผนังทั้งสองชนิดดังกล่าว เนื่องจากเป็นผนังที่มีมวลสารไม่มากนัก

และมีความพรุนของเนื้อมวลสารน้อยจึงช่วยลดการสะสมปริมาณความชื้นลงได้ ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกพบว่า จากการที่ผนังดังกล่าวเป็นผนังที่มีการผสมผสานระหว่างฉนวนกับวัสดุที่มีมวลสารน้อยจึงช่วยลดการสะสมความชื้นภายในผนัง ประกอบกับการใช้ฉนวนสกัดกันความชื้นที่ด้านนอกทำให้สามารถลดอิทธิพลของความชื้นภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด (แผนภูมิที่ 4.12) จะพบว่าความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วเข้ามาในอาคารได้มากที่สุดจึงทำให้มีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยสูงประมาณ 15.74 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.98 กรัมต่อกิโลกรัม ลำดับต่อมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ 13.52 กรัมต่อกิโลกรัม และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวภายในอาคารเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ 10.16 กรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบแสดงว่าการที่ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วมีความพรุนของเนื้อมวลสารมาก และมีมวลสารน้อยจึงทำให้ความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านผนังดังกล่าวได้มากที่สุด ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วซึ่งเป็นผนังที่มีมวลสารมากทำให้มีการหน่วงเหนี่ยวความชื้นไว้ในมวลสารได้มาก จึงมีปริมาณความชื้นแทรกซึมมาถึงผิวผนังภายในอาคารได้น้อยกว่า สำหรับผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกจะมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวภายในอาคารใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นของอากาศภายในอาคาร แสดงว่าผนังชนิดนี้สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกอาคารได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผนังอื่นๆ ที่ทำการทดสอบในครั้งนี้

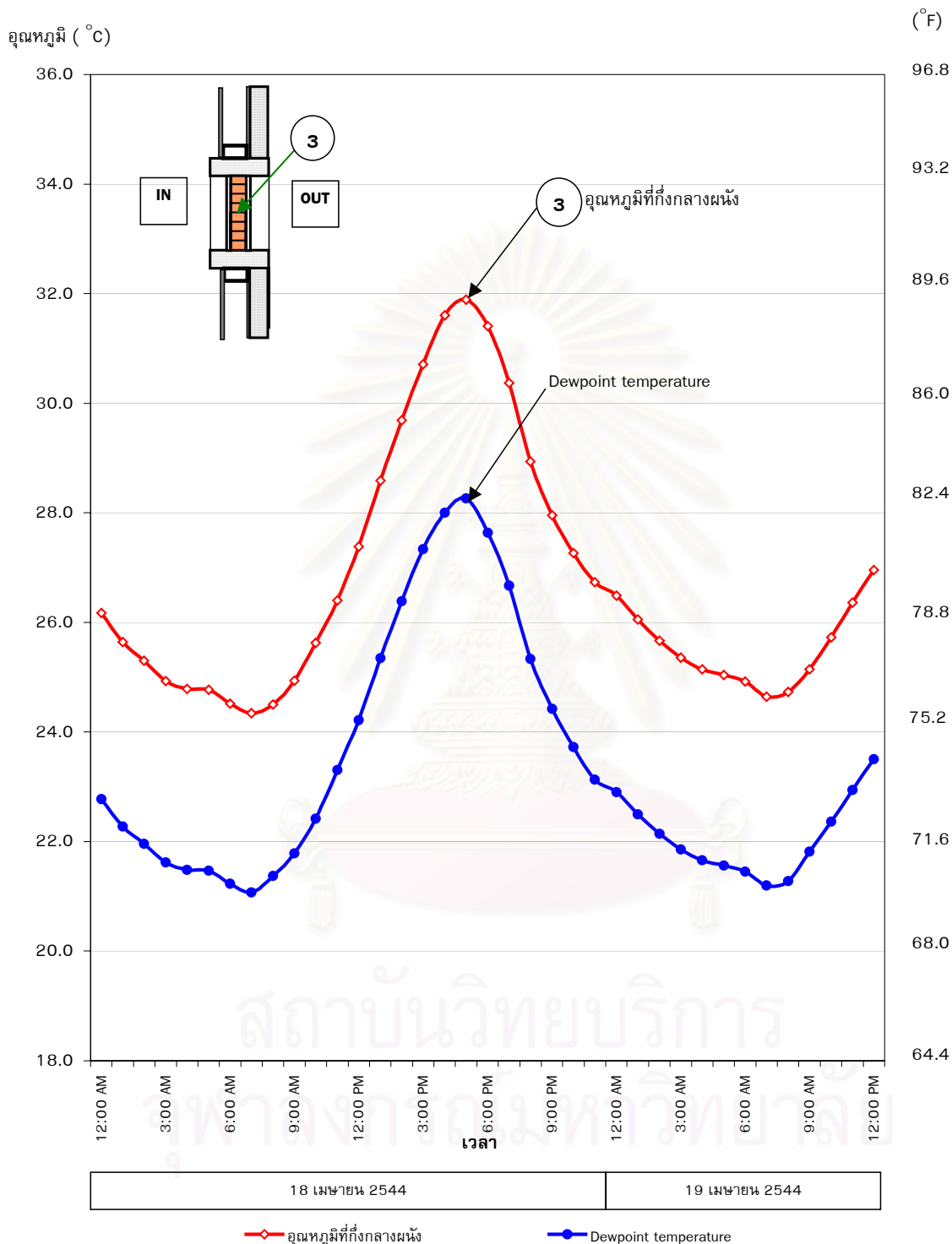


แผนภูมิที่ 4.13 แสดงปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังในอาคารของวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในสภาวะจำลองการใช้ภายในอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

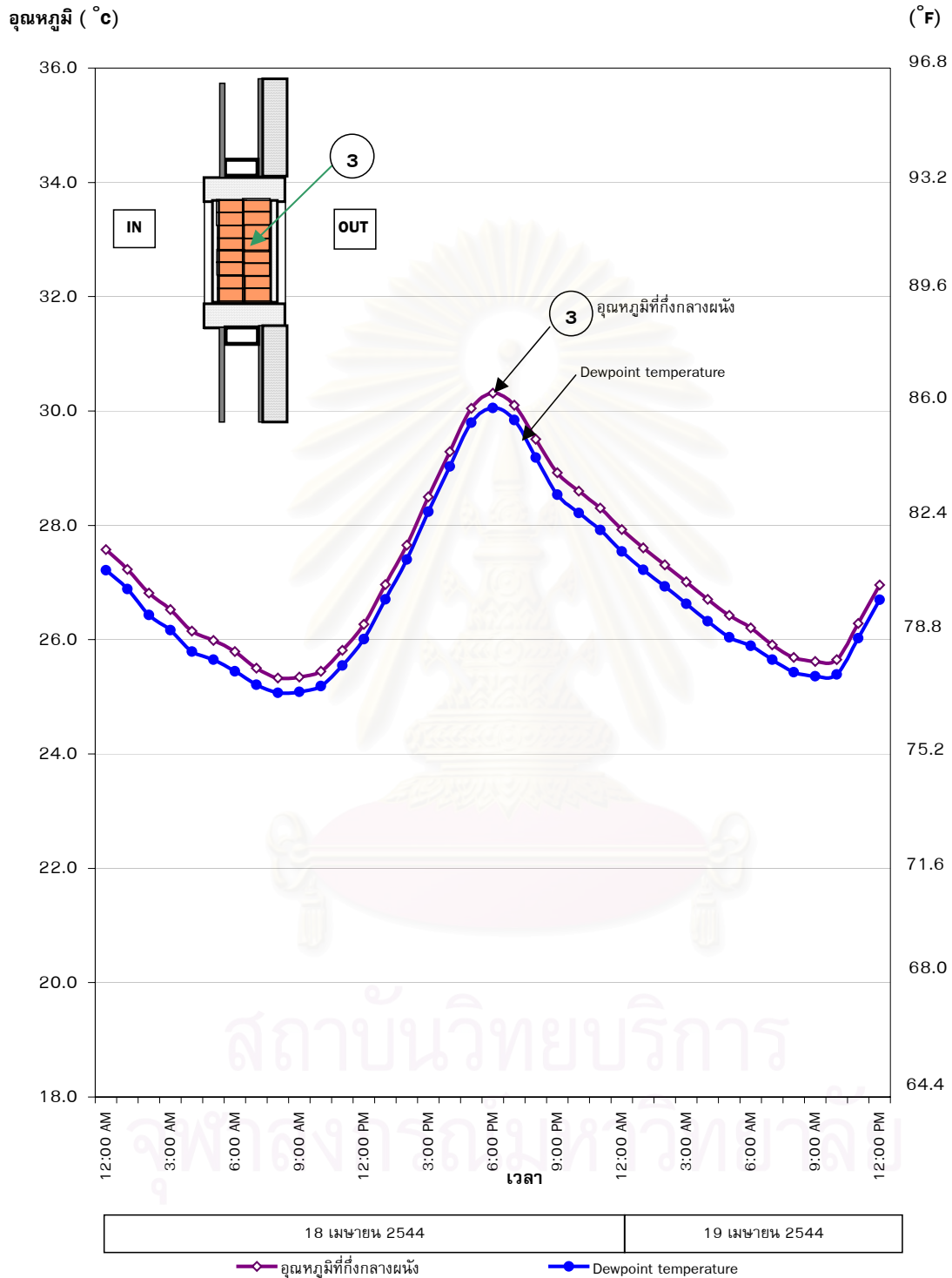
4.2.4 การเปรียบเทียบปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารของผนังทดสอบ

เอนทัลปี (enthalpy) คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ผสมผสานระหว่างความร้อนแฝง (latent heat) และความร้อนสัมผัส (sensible heat) (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ซึ่งผลต่างระหว่างปริมาณของเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารกับเอนทัลปีของอากาศภายในอาคารแสดงถึงภาระของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในอาคาร

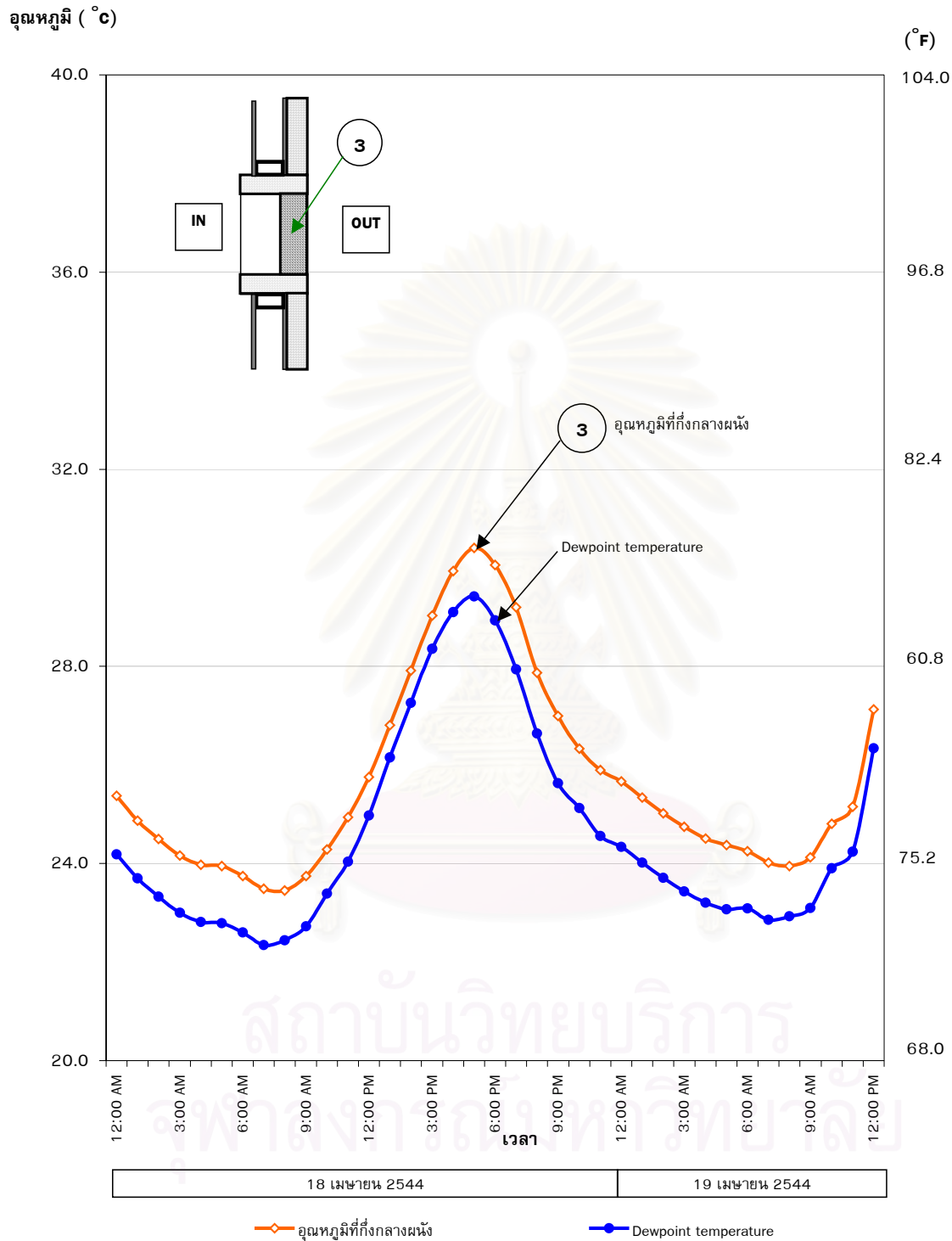
จากแผนภูมิที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าผนังคอนกรีตมวลเบา มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นน้อยที่สุด คือมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารโดยเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณ 27.37 บีทียูต่อปอนด์ รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว มีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารเฉลี่ยประมาณ 25.90 บีทียูต่อปอนด์ ลำดับต่อมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว มีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารเฉลี่ยประมาณ 25.71 บีทียูต่อปอนด์ และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นดีที่สุด คือมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ 21.50 บีทียูต่อปอนด์ ในขณะที่อากาศภายในอาคารมีค่าเอนทัลปีเฉลี่ยประมาณ 18.74 บีทียูต่อปอนด์ แสดงว่าผนังที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดผลต่างระหว่างปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารกับปริมาณเอนทัลปีของอากาศในอาคาร ซึ่งช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศลง อันส่งผลโดยตรงต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้ยาอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



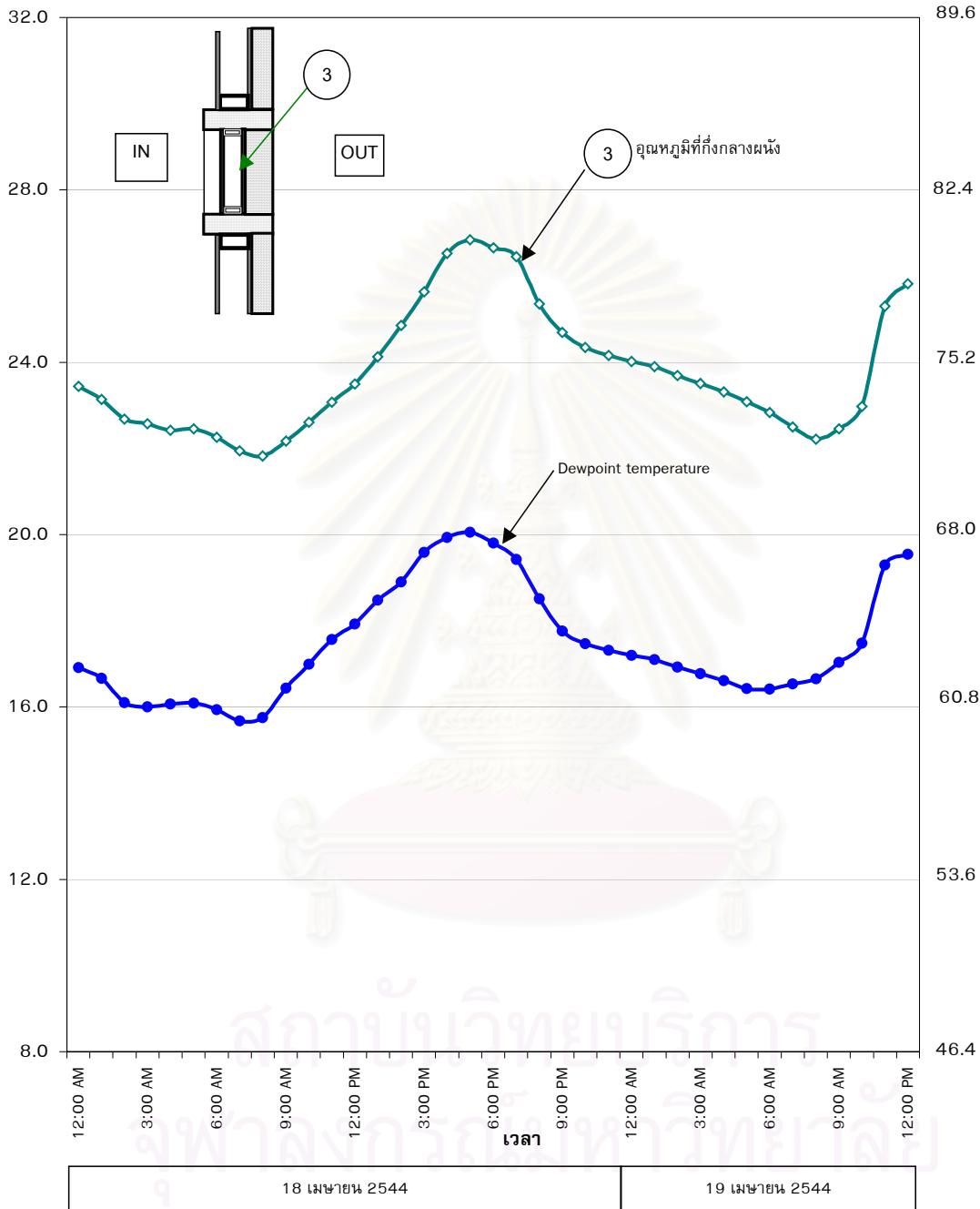
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้ยาอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

อุณหภูมิ (°C)

(°F)



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังระบบ
จนวนกันความร้อนภายนอก

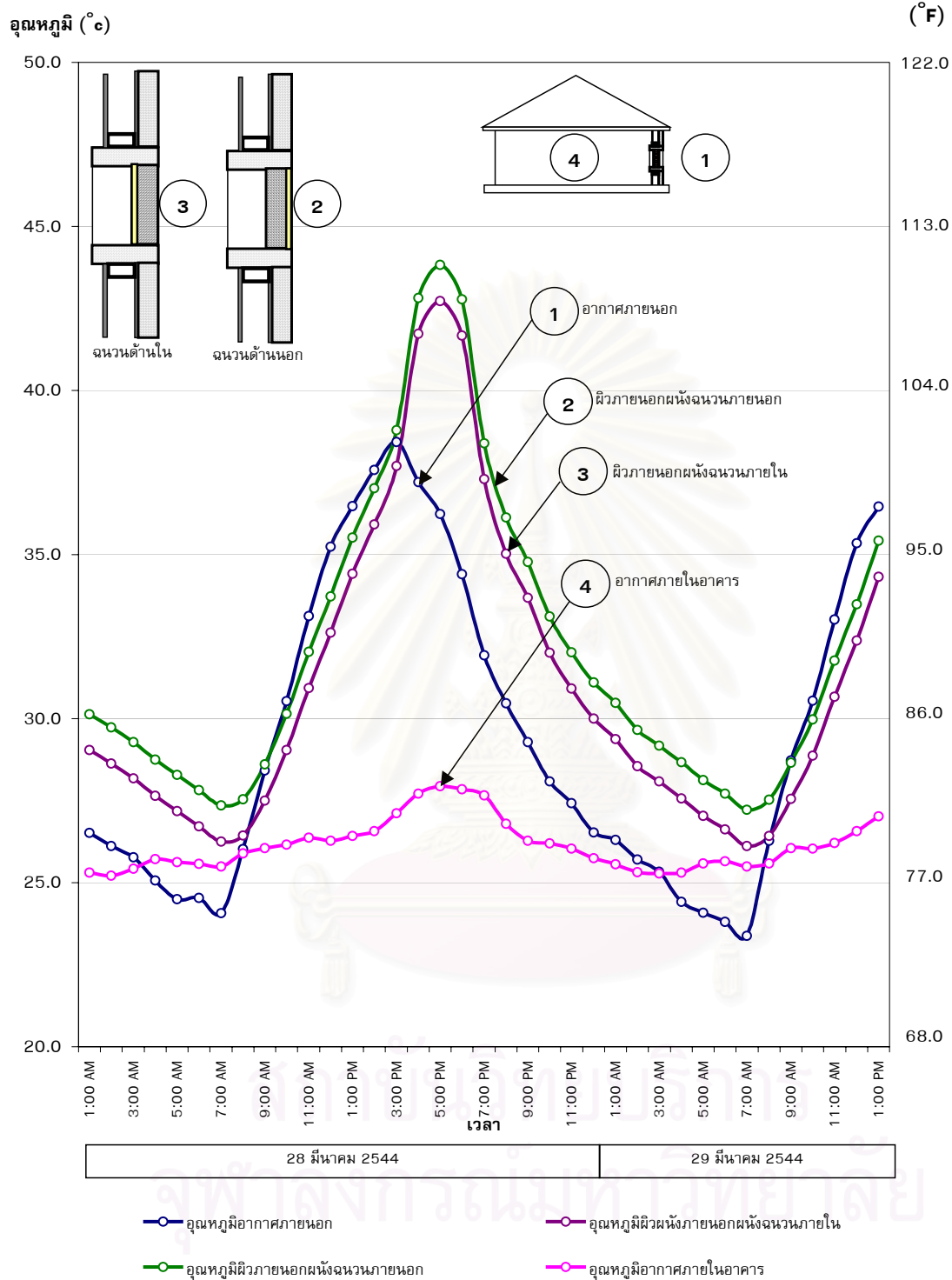
ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.

4.2.5 การวิเคราะห์โอกาสเกิดการควบแน่นภายในผนังทดสอบ

การควบแน่นเป็นหยดน้ำในผนังเกิดขึ้นได้จากการที่ความชื้นจากภายนอกแทรกซึมเข้ามากระทบพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ จนถึงระดับที่เรียกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dewpoint temperature) ซึ่งจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ โดยผลของการควบแน่นจะทำให้คุณสมบัติในการต้านทานความร้อนลดลง และสร้างความเสียหายต่อผนังบริเวณนั้น เช่น สีหลุดร่อน เกิดกลิ่นอับชื้น เกิดเชื้อรา หรือเรียกว่า “ผนังเน่า”

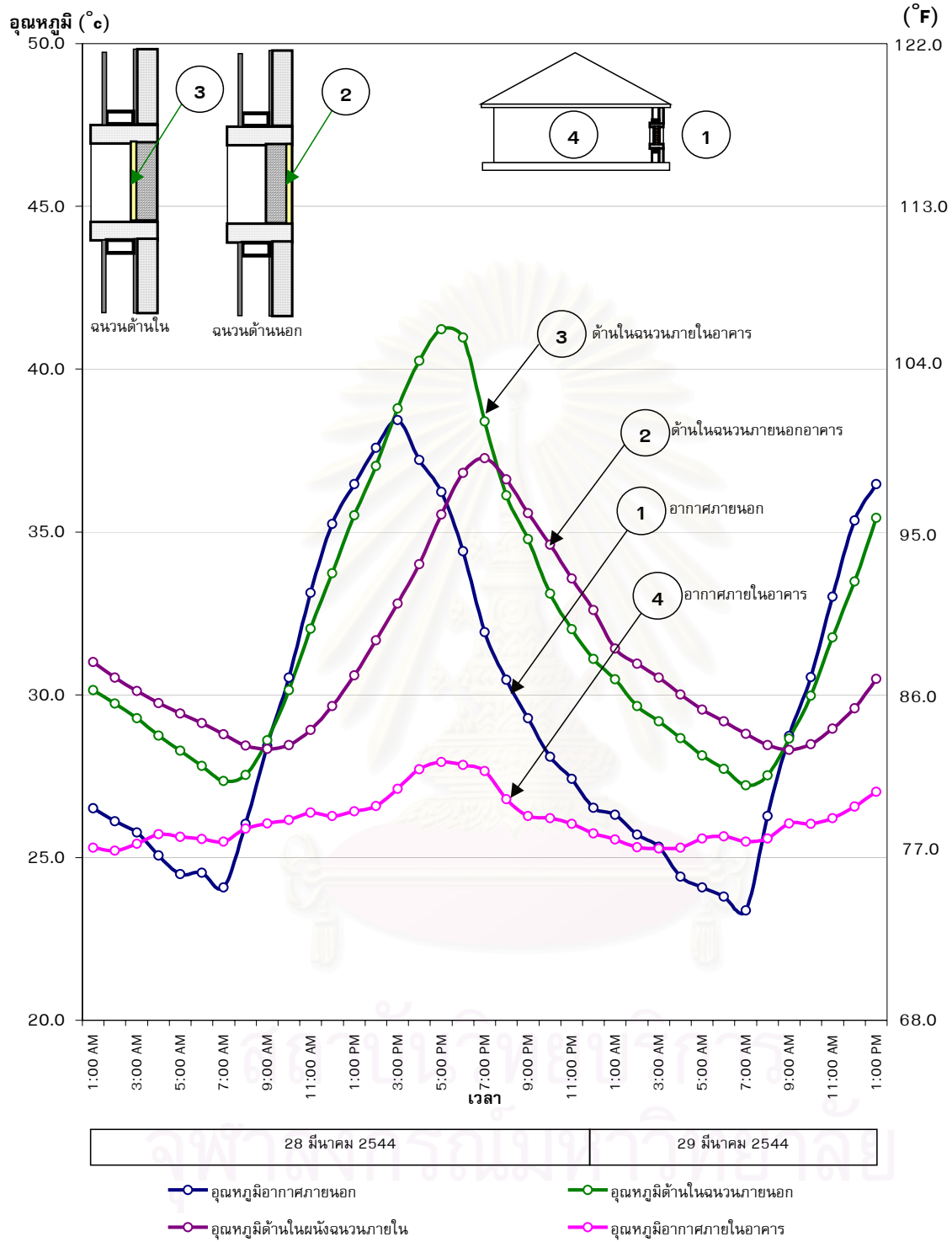
จากการทดสอบพบว่าผนังที่มีการสะสมความชื้นในผนังมากจะมีโอกาสเกิดการควบแน่นในผนังสูง ซึ่งจากแผนภูมิที่ 4.14-4.17 ที่แสดงอุณหภูมิ ณ กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด สามารถวิเคราะห์ได้ว่าผนังก้ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ซึ่งปริมาณความชื้นสะสมในผนังมากที่สุดมีอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังเฉลี่ยประมาณ 27.2 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 26.9 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังนั้นสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเพียง 0.3 องศาเซลเซียสเท่านั้น แสดงว่าโอกาสเกิดการควบแน่นภายในผนังก้ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ในขณะที่ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วที่มีปริมาณความชื้นสะสมในผนังรองลงมา มีอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังเฉลี่ยประมาณ 26.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 24.9 องศาเซลเซียส ส่วนผนังก้ออิฐฉาบปูน 4 นิ้วมีอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังเฉลี่ยประมาณ 26.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 23.6 องศาเซลเซียส สำหรับผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกอาจกล่าวได้ว่าไม่มีโอกาสเกิดการควบแน่นในผนังเลย เนื่องจากมีอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังเฉลี่ยประมาณ 24.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 17.7 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแตกต่างกันถึง 6.3 องศาเซลเซียส

ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการควบแน่นในผนังจึงขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่สะสมภายในวัสดุและอุณหภูมิ ณ จุดนั้น โดยวิธีการในการป้องกันการควบแน่นในผนังที่เหมาะสมจึงควรที่จะสกัดกั้นความชื้นที่ด้านนอกอาคาร ซึ่งสามารถทำได้โดยการทาสีหรือการติดตั้งฉนวนกันความชื้น (vapor barrier) ซึ่งจะกล่าวถึงในการทดสอบต่อไป



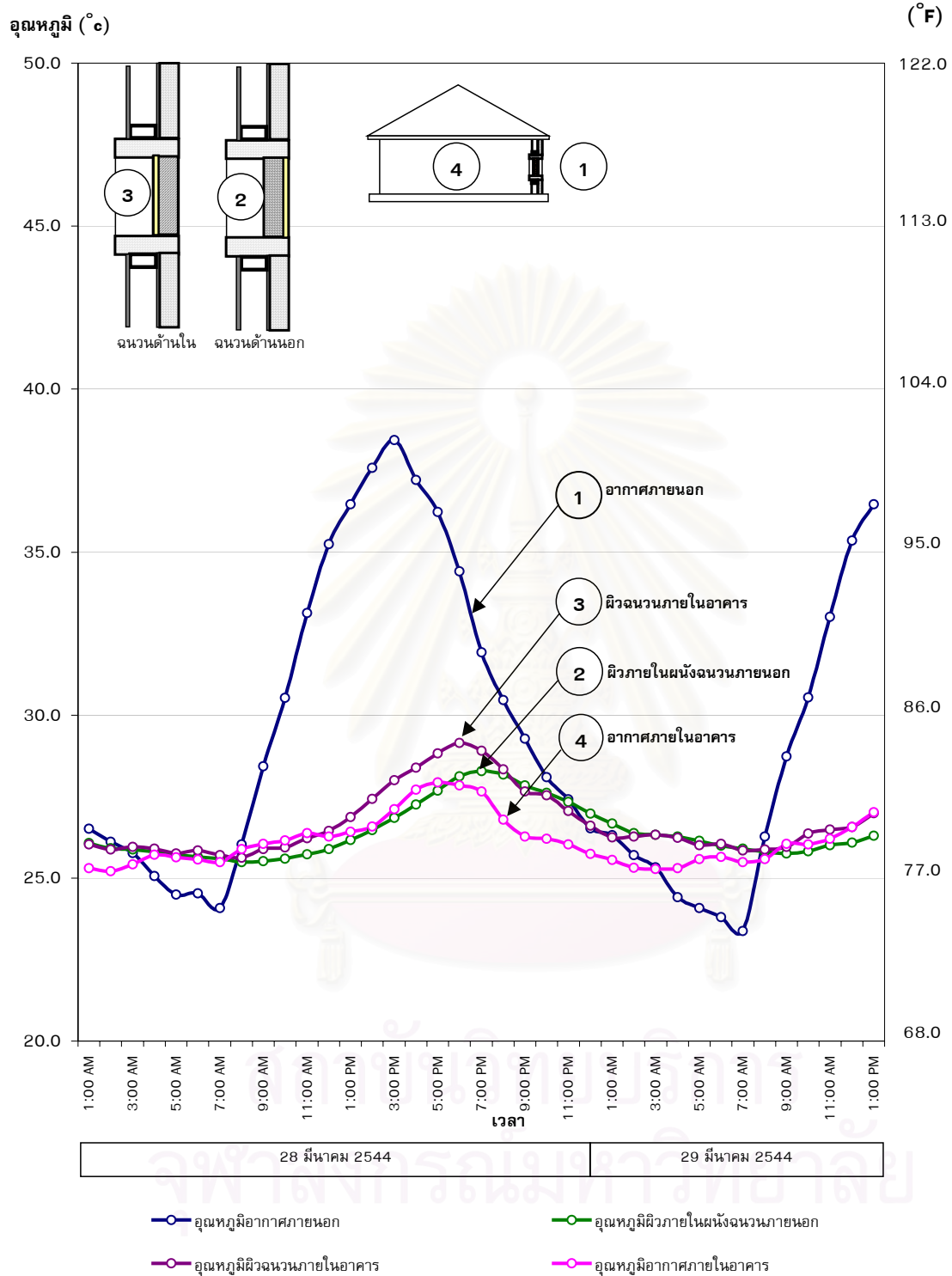
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวภายนอกอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้งายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.20 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.

4.3 การศึกษาพฤติกรรมของความร้อนทดสอบการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอกและด้านในอาคาร

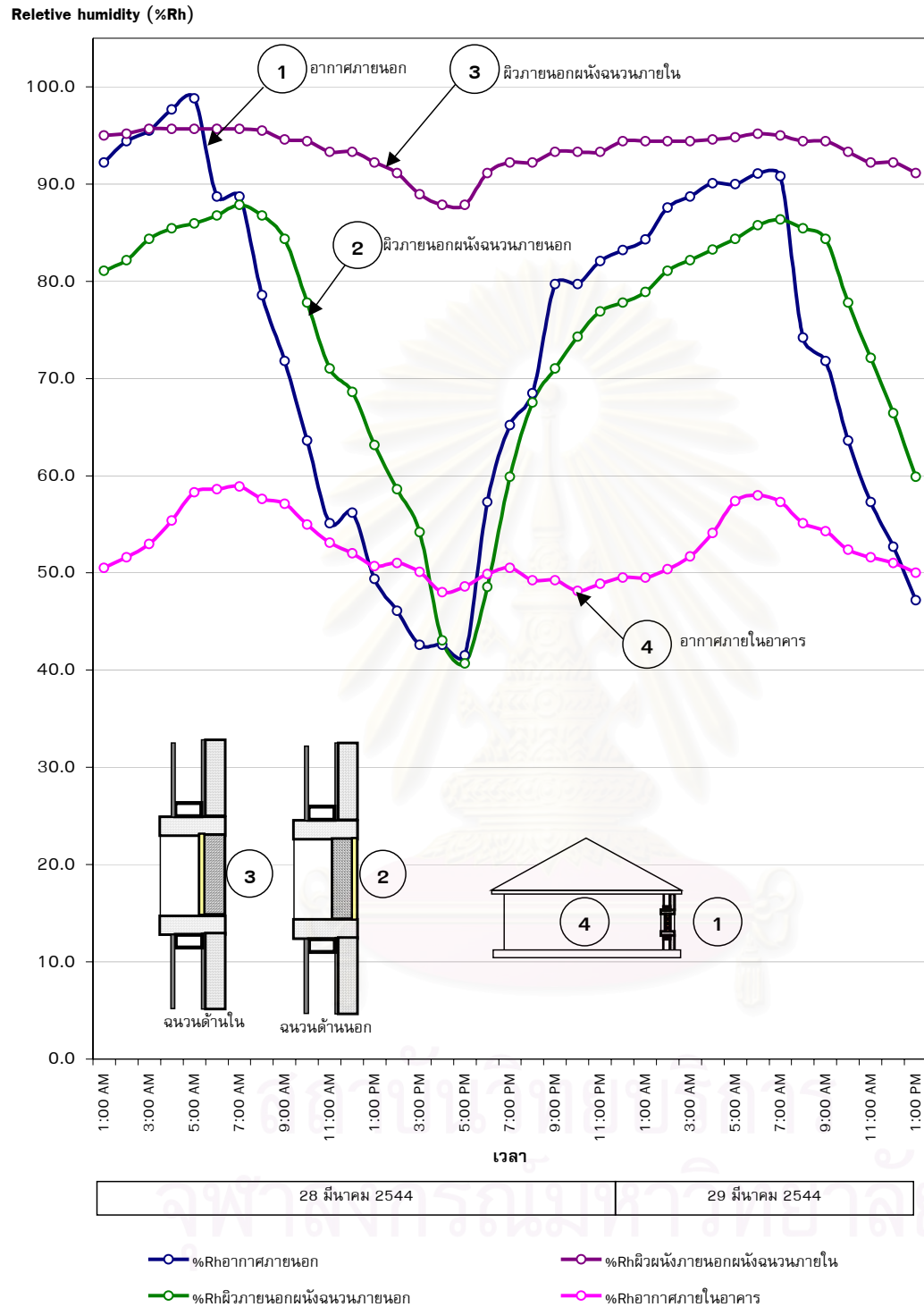
จากการทดสอบแนวทางการป้องกันความร้อนโดยการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอกและด้านในอาคาร ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ. 2544 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นผ่านผนังทดสอบได้ดังนี้

4.3.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 36.4 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 23.4 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยประมาณ 29.4 องศาเซลเซียส) ซึ่งในการทดสอบวัดอุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคารพบว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 43.8 องศาเซลเซียส ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้านในอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 42.7 องศาเซลเซียส

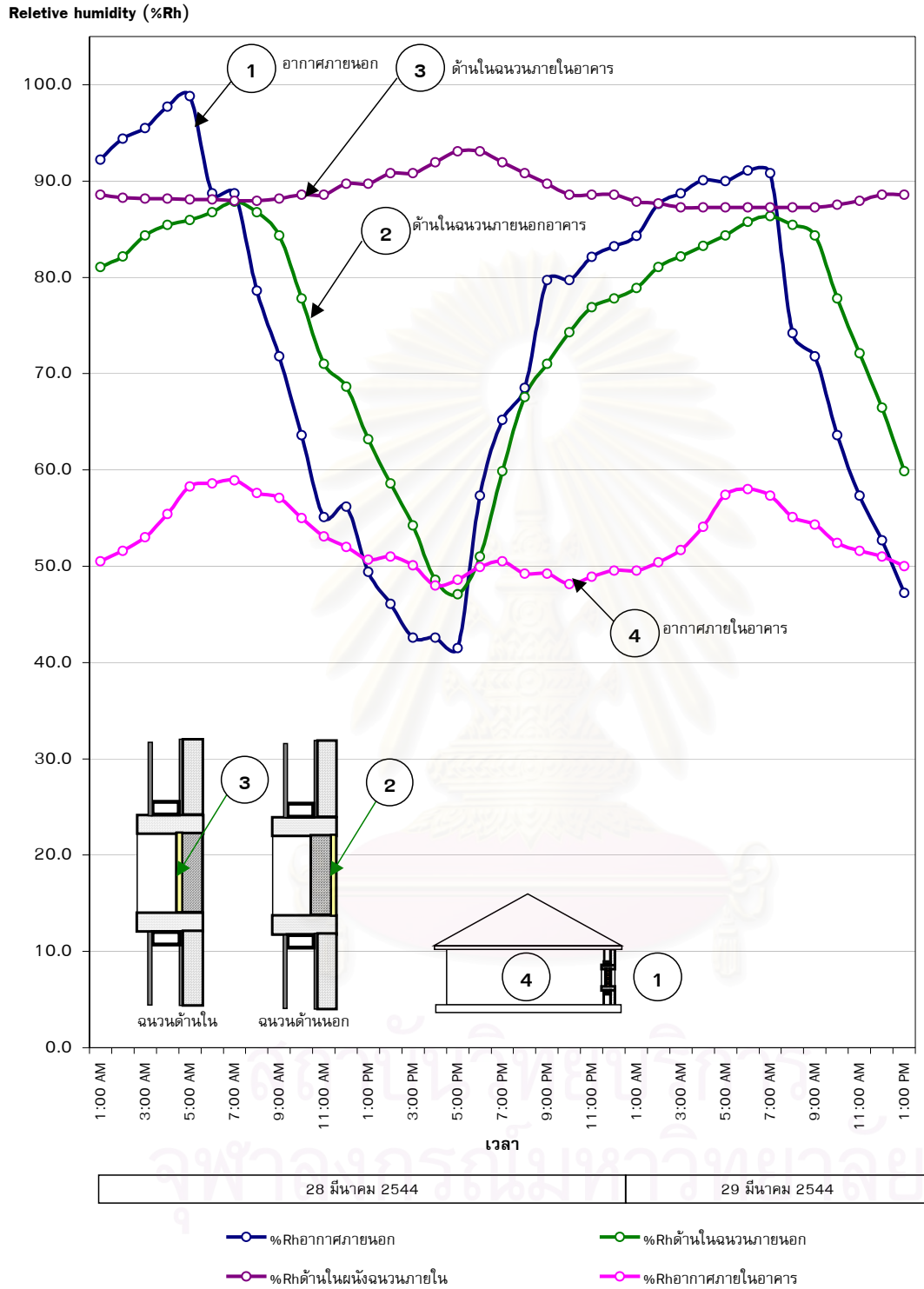
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผนังด้านที่ติดกับฉนวน (แผนภูมิที่ 4.19) พบว่าที่ด้านในของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 31.9 องศาเซลเซียส ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 31.0 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าฉนวนโฟม EPS หนา 1 นิ้วที่ติดตั้งสามารถสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกอาคารได้ใกล้เคียงกับผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสองชนิด (แผนภูมิที่ 4.20) จะพบว่าอุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.4 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.7 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการที่อุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังทั้งสองดังกล่าวมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงว่าการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอกและด้านในอาคารสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน



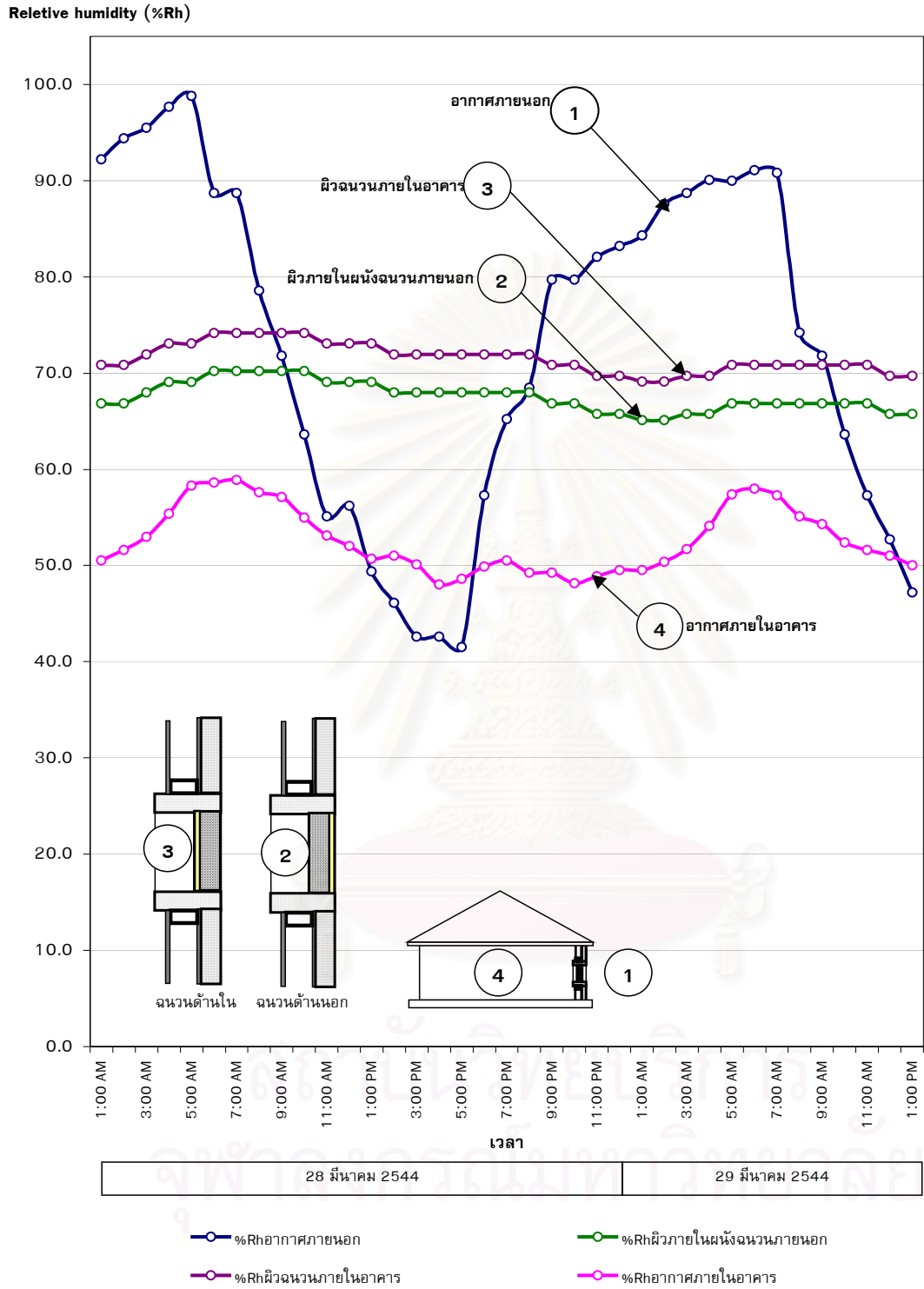
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวภายนอกอาคารของวัสดุทดสอบ
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



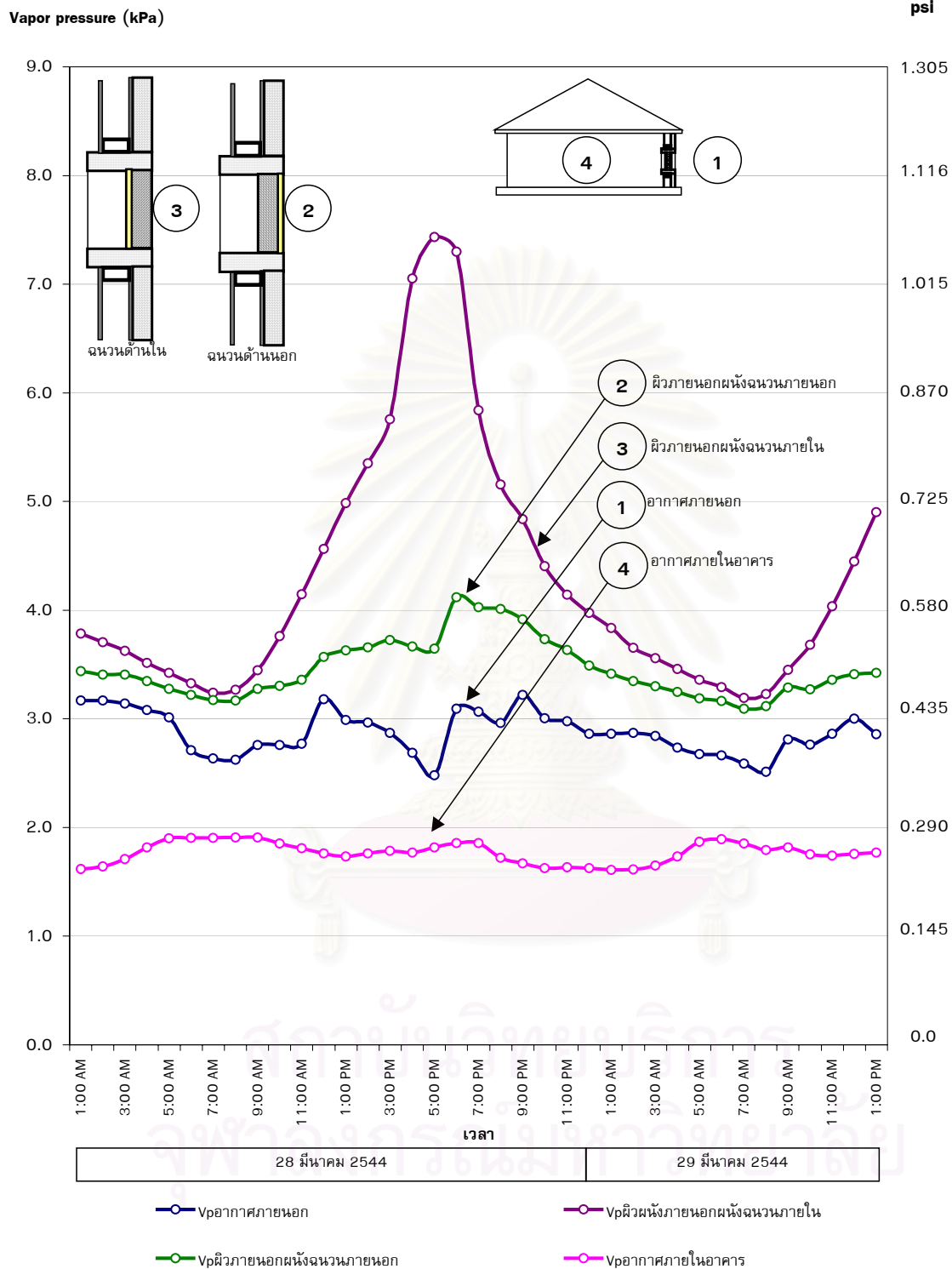
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



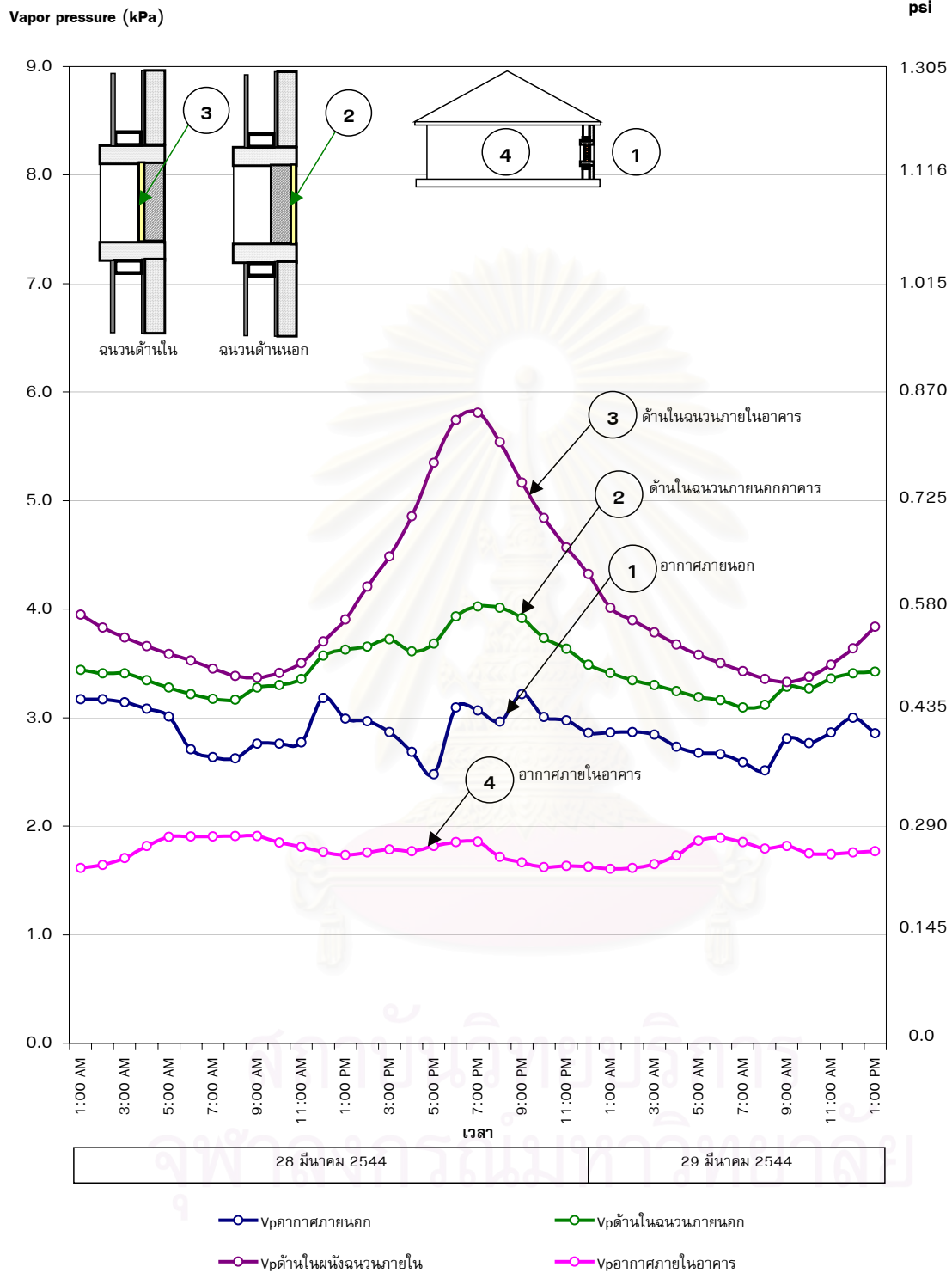
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวผนังในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



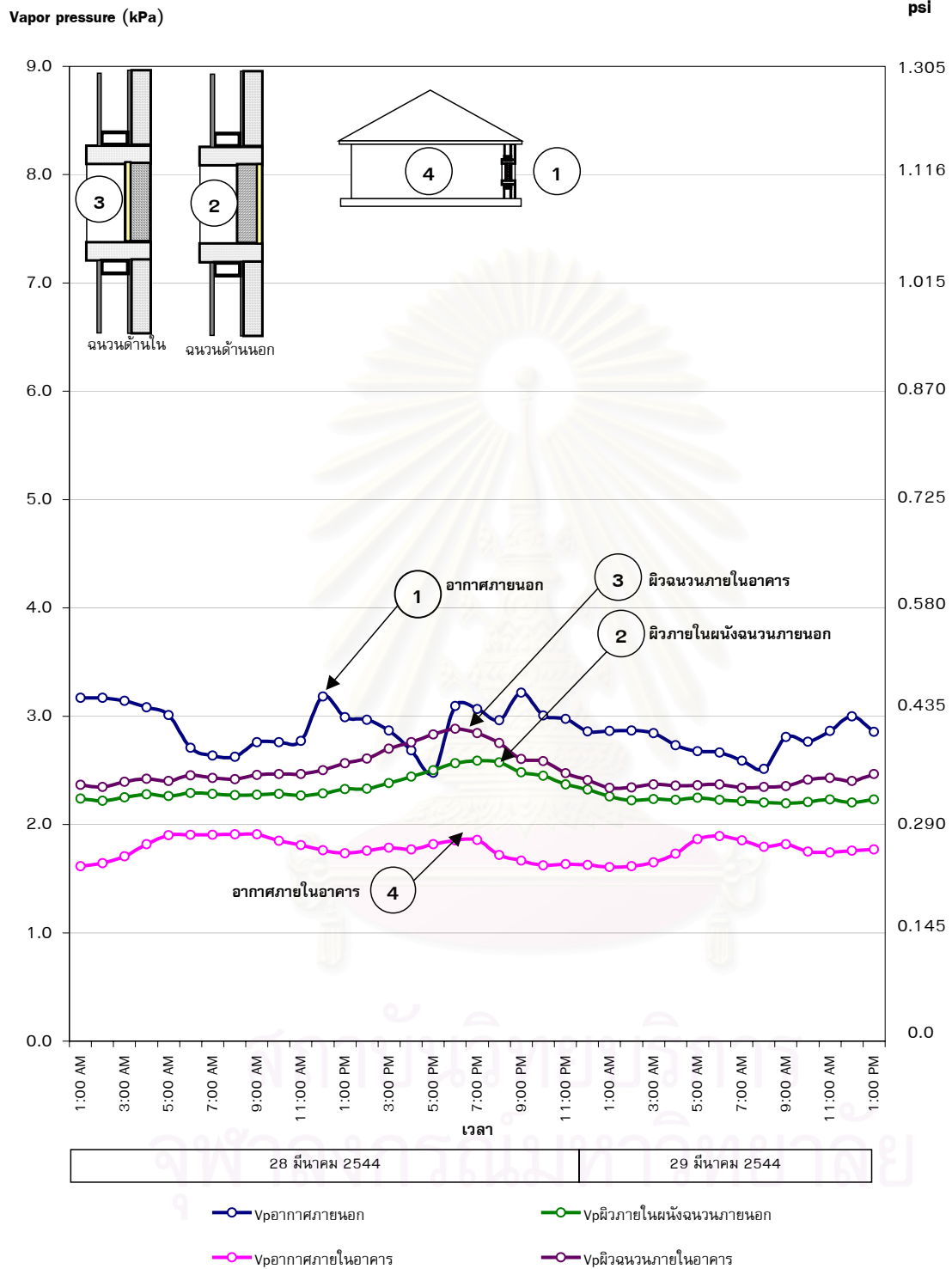
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังด้านนอกอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.25 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวด้านในฉนวนของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวด้านในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

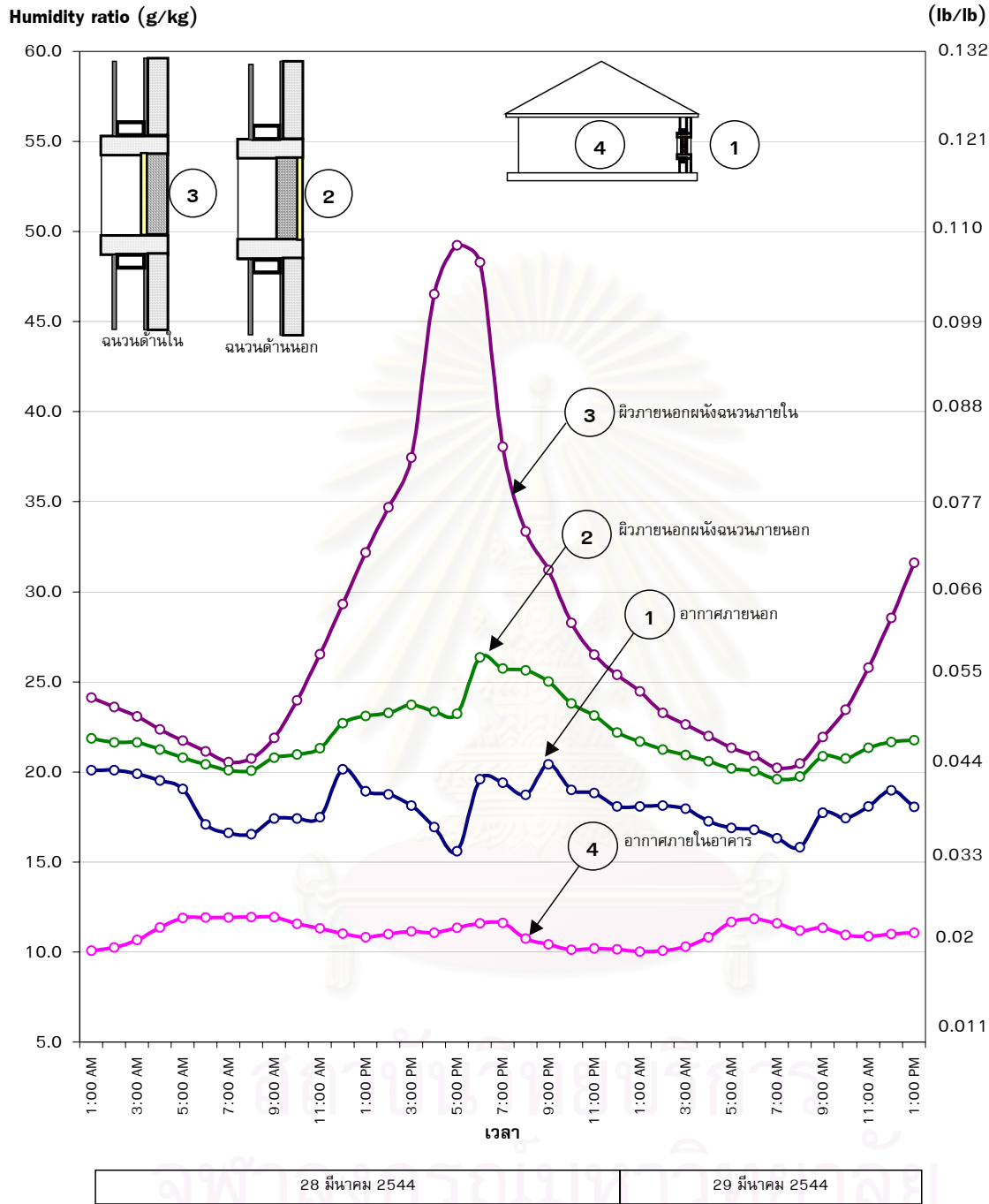
ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.

4.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำสูงสุดประมาณ 3.21 kPa ต่ำสุด 2.47 kPa (เฉลี่ยประมาณ 2.87 kPa) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายนอกอาคาร(แผนภูมิที่ 4.24) พบว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 4.27 kPa ในขณะที่ผิวผนังภายนอกของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยประมาณ 3.45 kPa เท่านั้น

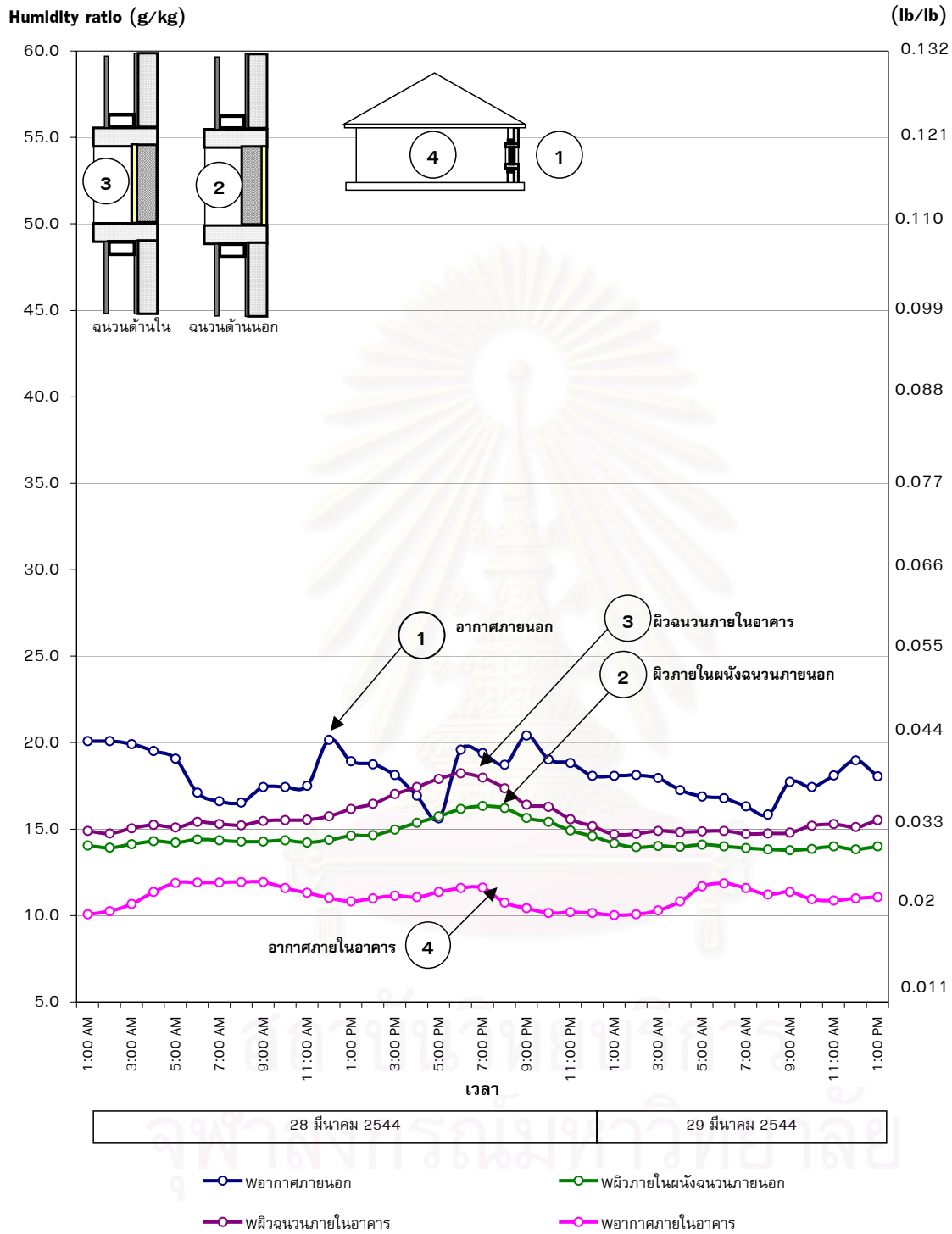
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผนังด้านในส่วนที่ติดกับฉนวนของผนังทั้งสองชนิด (ตามแผนภูมิที่ 4.25) พบว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารจะมีความชื้นแทรกซึมเข้ามาสะสมบริเวณรอยต่อระหว่างผนังอาคารกับฉนวนที่อยู่ด้านใน จึงทำให้มีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 4.02 kPa ซึ่งสูงกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารซึ่งมีปริมาณความดันไอน้ำที่บริเวณรอยต่อระหว่างผนังอาคารกับฉนวนเฉลี่ยประมาณ 3.44 kPa ซึ่งมีปริมาณความดันไอน้ำแตกต่างจากที่ผิวภายนอกอาคารเฉลี่ยเพียง 0.01 kPa ในขณะที่ผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำแตกต่างจากที่ผิวภายนอกอาคารเฉลี่ยถึง 0.25 kPa

หากพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสอง (แผนภูมิที่ 4.26) จะพบว่าปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารจะมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร ซึ่งจากการทดสอบพบว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.48 kPa ในขณะที่ผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.30 kPa แสดงว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกมีคุณสมบัติในการลดอิทธิพลที่เกิดจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (vapor pressure differential) ระหว่างผิวผนังภายนอกกับภายในอาคารได้ดีกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคาร เพราะการนำฉนวนไปติดตั้งที่ด้านนอกอาคารจะลดความรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ ทำให้มีปริมาณความชื้นแทรกซึมผ่านฉนวนมาสัมผัสผิวผนังอาคารเพียงเล็กน้อย ความชื้นจึงแทรกซึมเข้ามาในอาคารได้น้อยลง



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวด้านนอกอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้ง่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

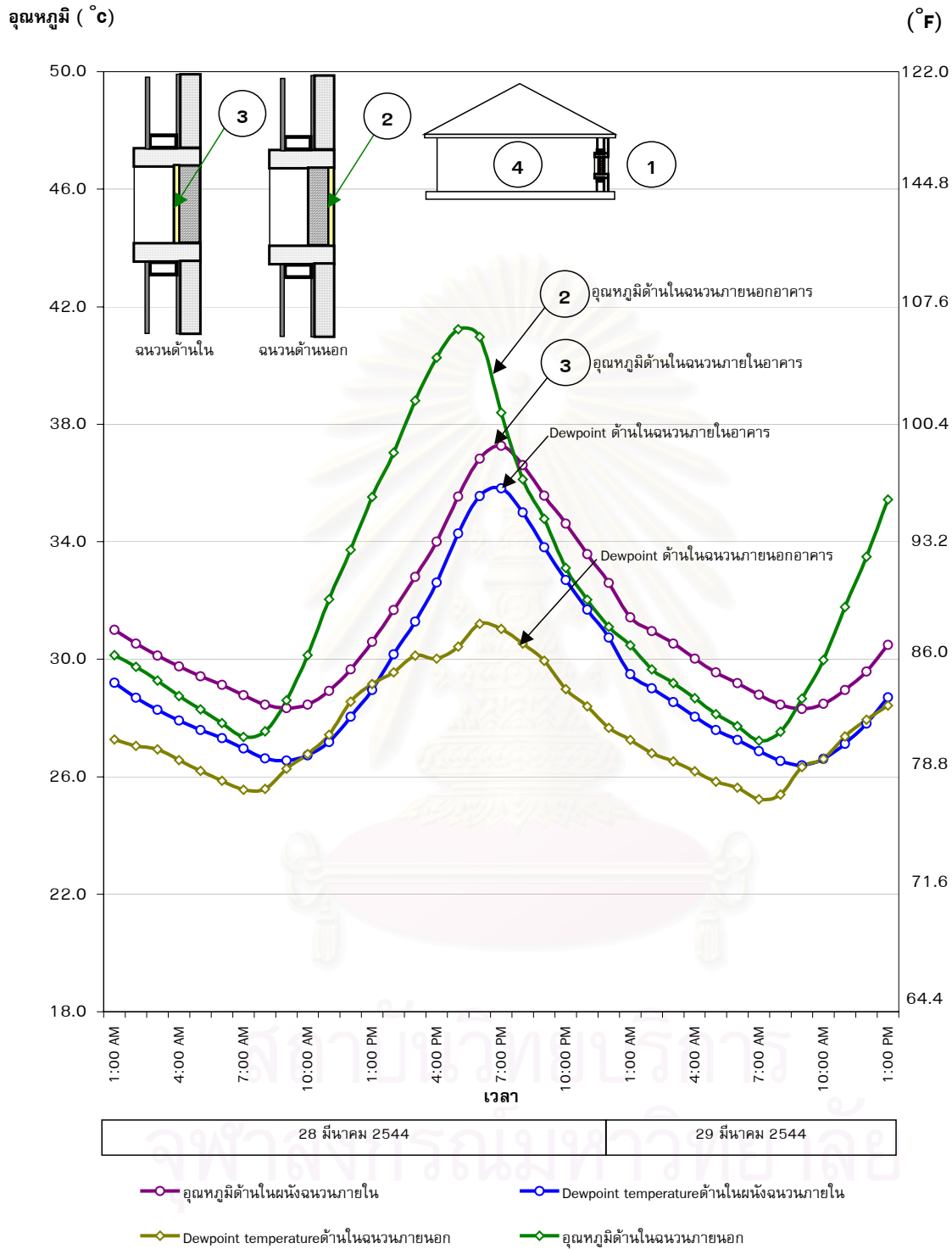
ในสภาวะจำลองการใช้อาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.

4.3.3 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นผ่านผนังทดสอบ

ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทดสอบสภาพอากาศภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นสูงสุดประมาณ 20.40 กรัมต่อกิโลกรัม ต่ำสุด 15.60 กรัมต่อกิโลกรัม (เฉลี่ยประมาณ 18.14 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายนอกอาคาร(แผนภูมิที่ 4.27) พบว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 27.47 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 21.95 กรัมต่อกิโลกรัม

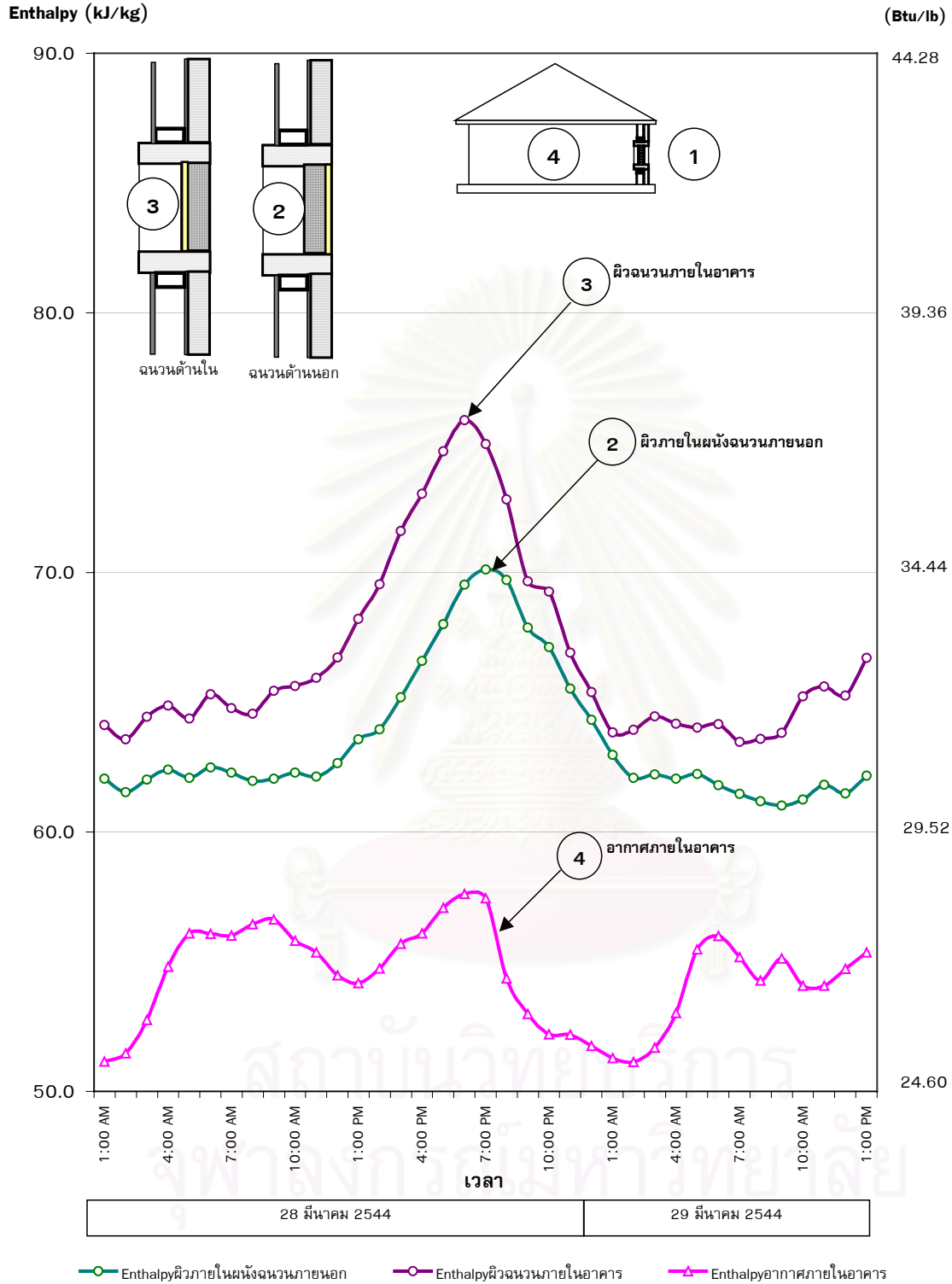
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผนังด้านในส่วนที่ติดกับฉนวนของผนังทั้งสองชนิด (ตามแผนภูมิที่ 4.28)พบว่าบริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับฉนวนของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีปริมาณความชื้นสะสมไว้มากที่สุด โดยมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 25.74 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 21.92 กรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าบริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับฉนวนของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารจะเกิดการสะสมความชื้นไว้มากบริเวณรอยต่อของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร ซึ่งการที่มีความชื้นสะสมในบริเวณดังกล่าวนี้อาจทำให้มีโอกาสเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำได้

และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสองชนิด (แผนภูมิที่ 4.29) จะพบว่าความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารเข้ามาได้มากกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารจึงทำให้มีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 15.65 กรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารจะมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย 14.50 กรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคารชนิดนี้สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกอาคารได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนด้านในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิที่ผิวด้านในฉนวนและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้ฉายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารของวัสดุทดสอบ กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร

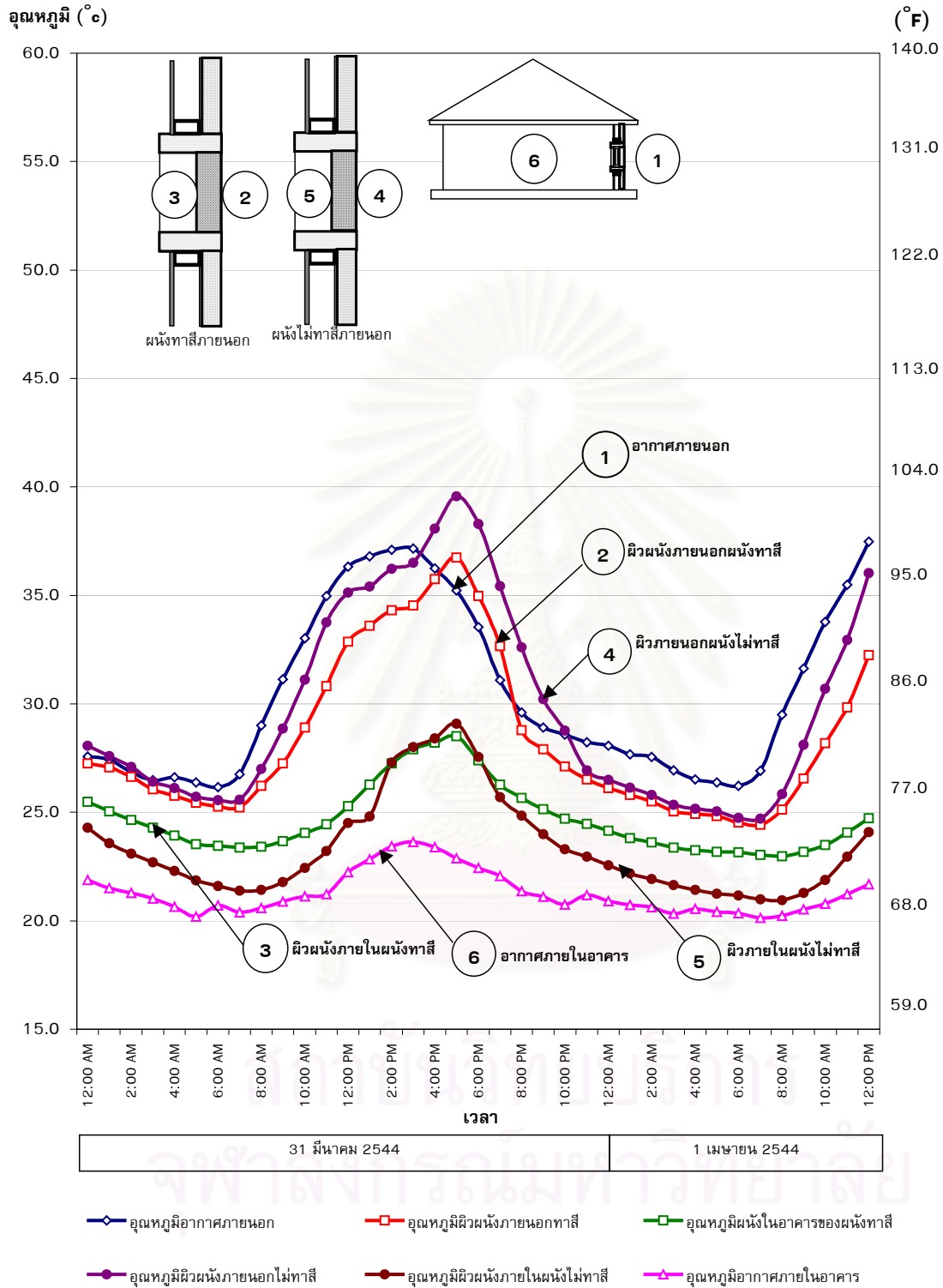
ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.

4.3.4 การวิเคราะห์โอกาสเกิดการควบแน่นที่บริเวณรอยต่อระหว่างฉนวนและผนังอาคาร

จากการทดสอบพบว่าผนังที่มีการสะสมความชื้นบริเวณรอยต่อระหว่างฉนวนและผนังอาคารมากจะมีโอกาสเกิดการควบแน่นในผนังสูง ซึ่งจากแผนภูมิที่ 4.30 ที่แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ กึ่งกลางผนังและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของผนังทดสอบการติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกและด้านในอาคาร สามารถวิเคราะห์ได้ว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านใน ซึ่งมีปริมาณความชื้นสะสมบริเวณรอยต่อระหว่างฉนวนและผนังอาคารมากมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 31.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 29.2 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังนั้นสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเพียง 1.8 องศาเซลเซียสเท่านั้น แสดงว่าโอกาสเกิดการควบแน่นภายในผนังนั้นมีมากกว่า ในขณะที่ผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกมีอุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังเฉลี่ยประมาณ 31.9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจุดน้ำค้างประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแตกต่างกันถึง 4.3 องศาเซลเซียส

4.3.5 การเปรียบเทียบปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารของผนังทดสอบ

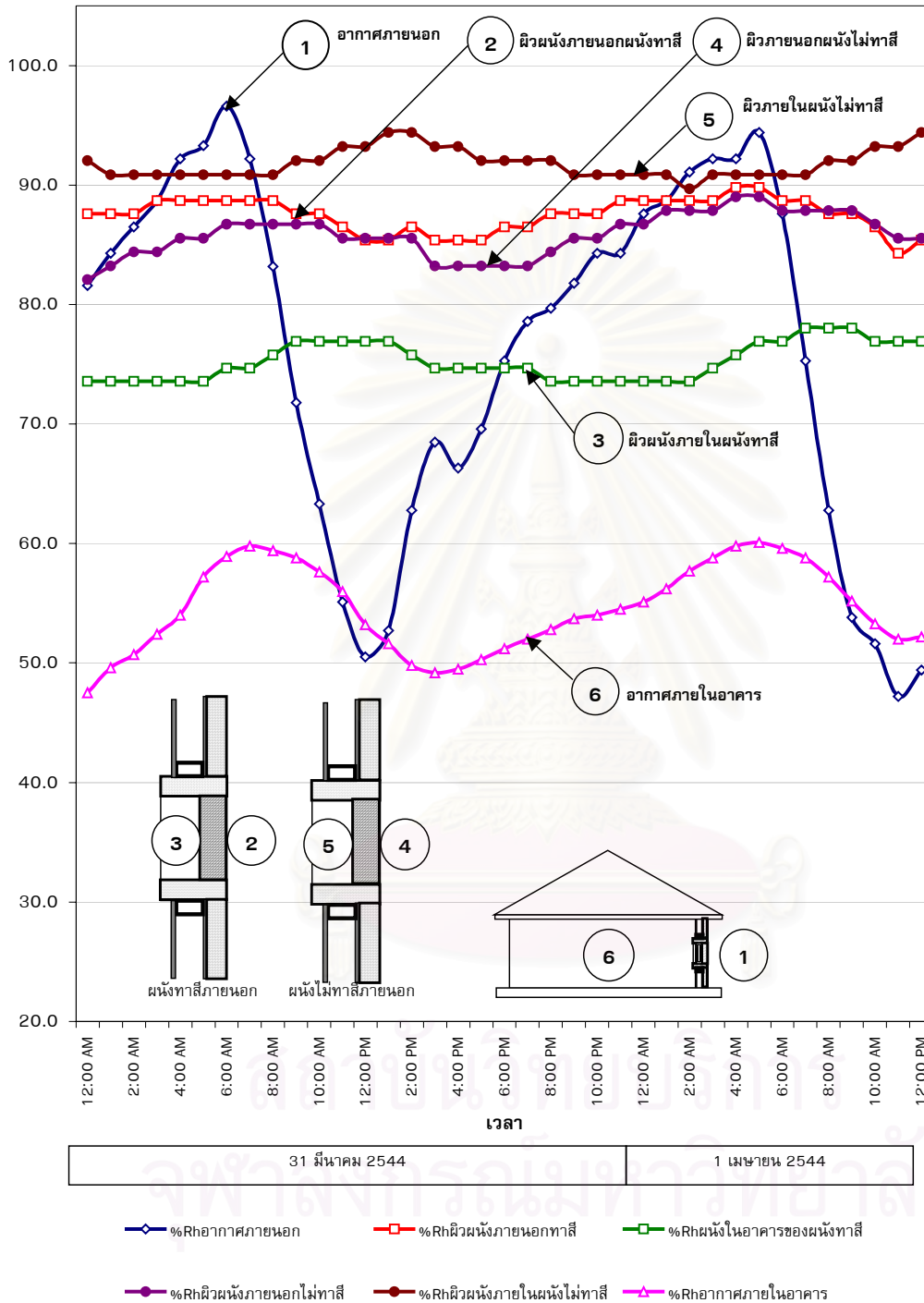
จากแผนภูมิที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในจะสามารถป้องกันความร้อนและความชื้นน้อยกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอก คือมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารโดยเฉลี่ยประมาณ 32.84 บีทียูต่อปอนด์ ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารเฉลี่ยประมาณ 31.26 บีทียูต่อปอนด์ ส่วนอากาศภายในอาคารมีปริมาณเอนทัลปีเฉลี่ยประมาณ 26.79 บีทียูต่อปอนด์ ซึ่งผลการทดสอบแสดงว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและความชื้นได้ดีกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านใน เพราะสามารถลดผลต่างระหว่างปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารกับปริมาณเอนทัลปีของอากาศในอาคาร ซึ่งช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศลง ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม้ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

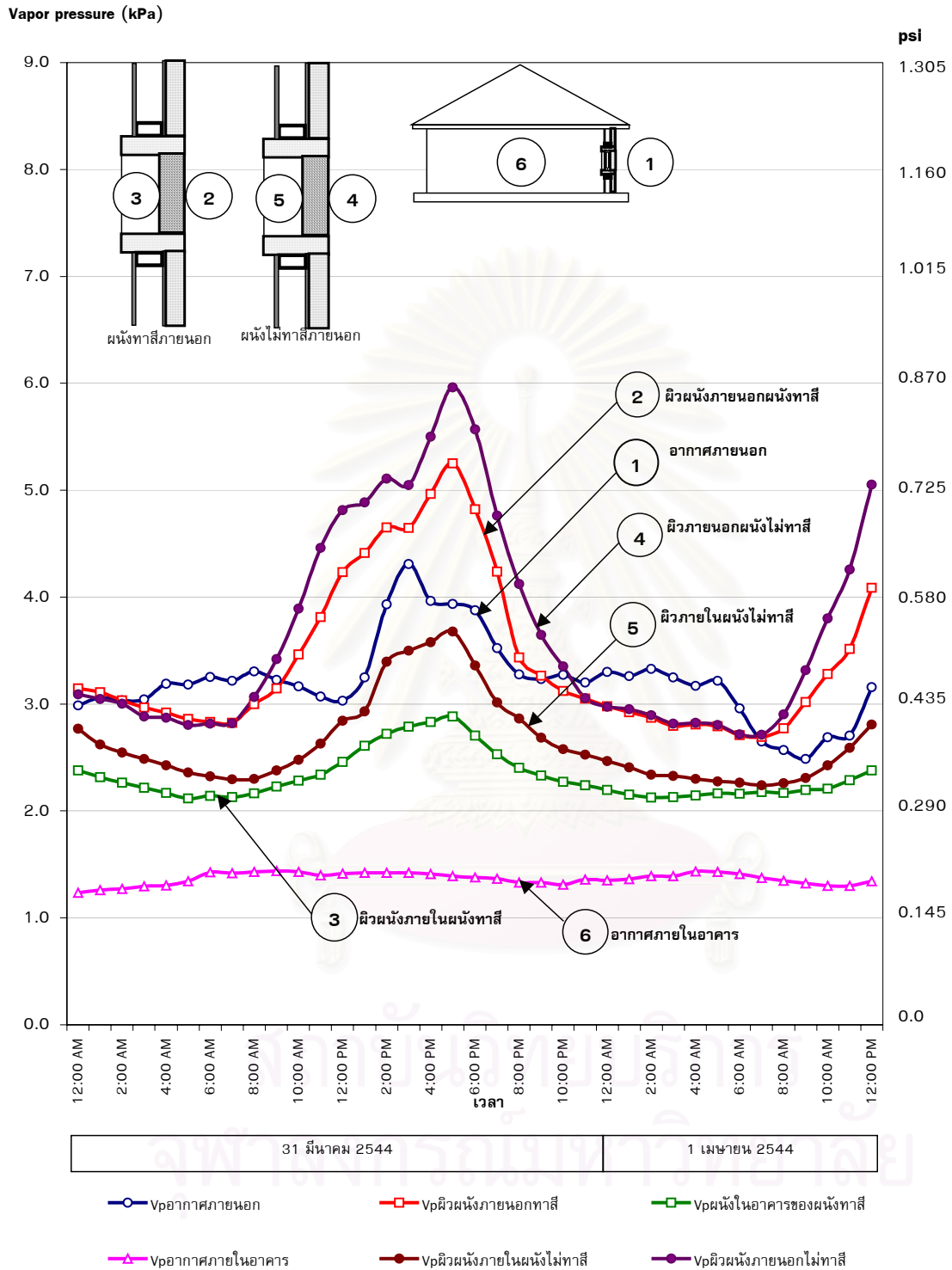
ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม – 1 เมษายน

Relative humidity (%Rh)



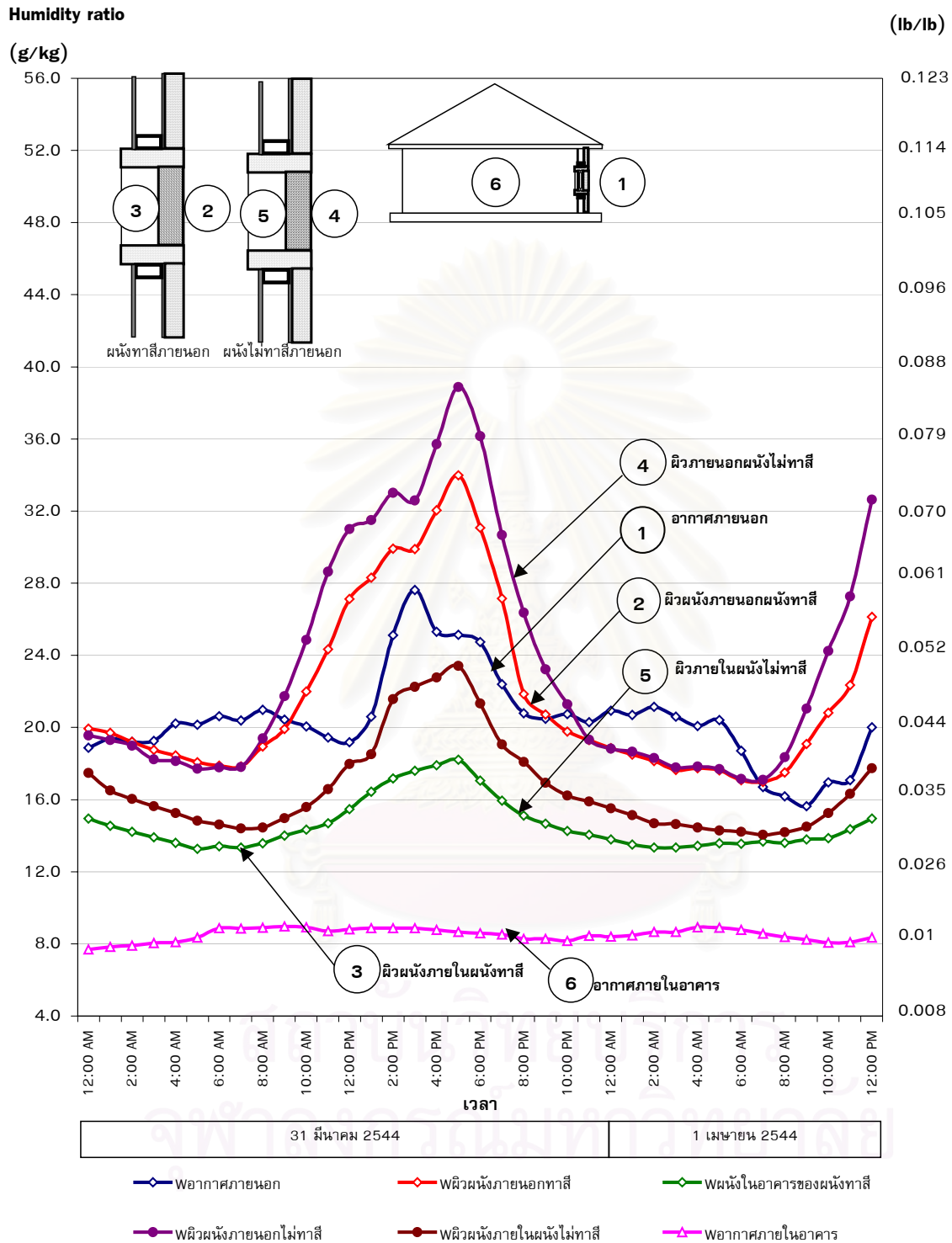
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงเปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม้ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม - 1 เมษายน



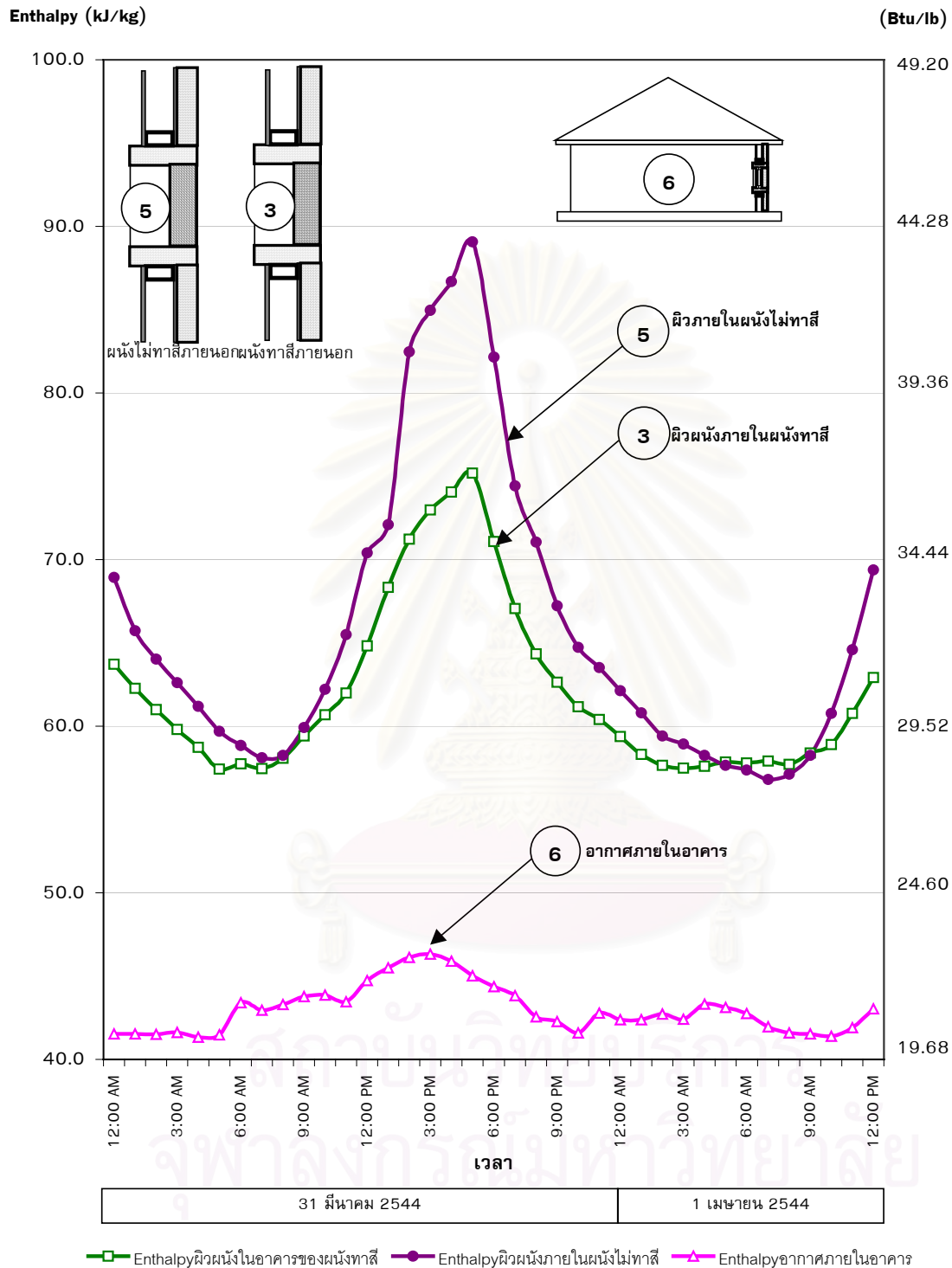
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม้ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม – 1 เมษายน



แผนภูมิที่ 4.35 แสดงเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังด้านนอกและด้านในอาคาร
ของวัสดุทดสอบกรณีทาสีและไม้ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม – 1 เมษายน



แผนภูมิที่ 4.36 แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอนทัลปีทีผิวผนังด้านในอาคารของวัสดุทดสอบกรณีทาสี และไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้จ่ายอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม – 1 เมษายน

4.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมของความชื้นกรณีทดสอบการทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร

จากการทดสอบแนวทางการป้องกันความชื้นโดยการทาสีและไม่ทาสีที่ผนังด้านนอกอาคาร ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม ถึง 1 เมษายน พ.ศ. 2544 ซึ่งในการทดสอบจะใช้สีน้ำพลาสติกทาที่ผนังทดสอบตามกรรมวิธีที่ระบุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นผ่านผนังทดสอบได้ดังนี้

4.4.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 37.5 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 26.2 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยประมาณ 30.0 องศาเซลเซียส) ซึ่งในการทดสอบวัดอุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคารพบว่าผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 39.6 องศาเซลเซียส ส่วนผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 36.8 องศาเซลเซียส

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสองชนิด จะพบว่าอุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 29.1 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านในอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 28.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่ากรณีที่อุณหภูมิผิวภายในอาคารของผนังทั้งสองดังกล่าวมีความแตกต่างกันโดยผนังที่ทาสีขาวที่ผนังด้านนอกจะช่วยลดปริมาณการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคาร

4.4.2 การเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำผ่านผนังทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีปริมาณความดันไอน้ำสูงสุดประมาณ 3.93 kPa ต่ำสุด 2.48 kPa (เฉลี่ยประมาณ 3.15 kPa) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายนอกอาคาร(แผนภูมิที่4.34) พบว่าผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.62 kPa ในขณะที่ผิวผนังภายนอกของผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยประมาณ 3.32 kPa

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความดันไอน้ำที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสอง จะพบว่าปริมาณความดันไอน้ำผิวผนังภายในอาคารของผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารจะมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยสูงกว่าผนังที่ทาสีด้านนอกอาคาร ซึ่งจากการทดสอบพบว่าผนังที่ไม่ทาสี

ด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.58 kPa ในขณะที่ผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณความดันไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.29 kPa แสดงว่าการทาสีด้านนอกอาคารสามารถลดอิทธิพลที่เกิดจากความชื้นที่ผิวภายนอกอาคาร จึงทำให้แทรกซึมเข้ามาในอาคารได้น้อยลง

4.4.3 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นผ่านผนังทดสอบ

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบสภาวะอากาศภายนอกมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นสูงสุดประมาณ 25.13 กรัมต่อกิโลกรัม ต่ำสุด 15.64 กรัมต่อกิโลกรัม (เฉลี่ยประมาณ 19.98 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งในการทดสอบวัดปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายนอกอาคาร(แผนภูมิที่ 4.35) พบว่าผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 23.14 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 21.11 กรัมต่อกิโลกรัม

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณอัตราส่วนความชื้นที่ผิวผนังภายในอาคารของผนังทดสอบทั้งสองชนิด จะพบว่าความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารเข้ามาได้มากกว่าผนังที่ทาสีด้านนอกอาคาร จึงทำให้มีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยประมาณ 16.29 กรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารจะมีปริมาณอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย 14.40 กรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าการทาสีด้านนอกอาคารสามารถลดปริมาณความชื้นจากภายนอกอาคารได้

4.4.4 การเปรียบเทียบปริมาณเอนทัลปีที่ผิวภายในอาคารของผนังทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.36 แสดงให้เห็นว่าผนังที่ไม่ทาสีด้านนอกอาคารจะสามารถป้องกันความร้อนและความชื้นน้อยกว่าผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอก คือมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารโดยเฉลี่ยประมาณ 31.82 บีทียูต่อปอนด์ ส่วนผนังที่ทาสีด้านนอกอาคารมีปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารเฉลี่ยประมาณ 30.12 บีทียูต่อปอนด์ โดยอากาศภายในอาคารมีปริมาณเอนทัลปีเฉลี่ยประมาณ 20.97 บีทียูต่อปอนด์ ซึ่งผลการทดสอบแสดงว่าการทาสีด้านนอกอาคารจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นของผนังอาคาร เพราะเนื้อสีจะช่วยปิดช่องว่างบริเวณผิวภายนอกของผนังอาคาร ทำให้ความชื้นสามารถแทรกซึมเข้ามาในอาคารได้น้อยลง จึงทำให้ปริมาณเอนทัลปีที่ผิวผนังภายในอาคารลดลงตามไปด้วย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษา วิเคราะห์พฤติกรรมการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังที่ประเภทต่างๆตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ในการศึกษาทดลอง สามารถสรุปผลตามแต่ละกรณีศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของความชื้นที่ผ่านผนังชนิดต่างๆ

จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้น จะเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างกันของปริมาณความดันไอน้ำ และปริมาณไอน้ำ โดยเมื่อมีความแตกต่างดังกล่าวขึ้นจะเกิดการถ่ายเทความชื้นจากบริเวณที่มีปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งก็คือ บริเวณภายนอกอาคาร ไปสู่บริเวณที่มีปริมาณน้อยกว่า ซึ่งก็คือ บริเวณภายในอาคารที่ปรับอากาศนั่นเอง ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแทรกซึมของความชื้นที่เข้ามาในอาคารปรับอากาศนั้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆดังนี้

- 1) อุณหภูมิผิววัสดุ (surface Temperature)
- 2) ความดันไอน้ำ (vapor Pressure)
- 3) ปริมาณไอน้ำ (grain of moisture)
- 4) มวลสารของวัสดุ (thermal mass)
- 5) ความพรุนของเนื้อมวลสาร (porous of materials)

ดังนั้นคุณสมบัติของผนังอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องมีค่าความเป็นฉนวนสูงสามารถสกัดกั้นความชื้นไม่ให้แทรกซึมผ่านเข้ามาสู่ภายในอาคารได้ และไม่สะสมความชื้นไว้ภายในมวลสารของวัสดุ โดยจากการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของผนังทั้ง 4 ชนิดพบว่าผนังที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงตามที่กล่าวมามากที่สุด คือ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ซึ่งเป็นผนังที่น่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับการนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน

5.1.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมและผลกระทบที่เกิดจากความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนัง ที่ประเภทต่างๆ ในสภาวะที่ปรับอากาศ

ในการทดลองจำลองสภาวะการใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านตัวอย่างผนังขนาด 0.58*0.58 เมตร ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนภายนอก สามารถสรุปได้ว่า

- 1) ผนังคอนกรีตมวลเบา มีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความพรุนในเนื้อมวลสารมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ รวมทั้งมีมวลสารที่ช่วยหน่วงเหนี่ยวความชื้นน้อย ทำให้ความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเนื้อวัสดุเข้ามาในอาคารได้ง่าย
- 2) ผนัง EIFS มีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นระบบผนังที่มีการติดตั้งฉนวนโฟม EPS ที่มีเซลล์ฉนวนแบบกึ่งปิด จึงทำให้ผนังชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถสกัดกั้นความร้อนและความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเทียบกับผนังชนิดอื่นๆ ที่นำมาทำการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน
- 3) บริเวณกึ่งกลางภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว มีโอกาสเกิดการควบแน่นเกือบตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ เนื่องจากผนังดังกล่าวมีการสะสมความชื้นไว้ภายในมวลสารเป็นจำนวนมาก เมื่ออุณหภูมิภายในมวลสารของวัสดุลดลง จึงมีโอกาเกิดการควบแน่นสูง

5.1.3 การศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบที่เกิดจากความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่มี การทาสีและไม่ทาสีที่ผนังภายนอกอาคาร

ผลที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบกรณีที่ทำสีภายนอกและไม่ทาสีภายนอก พบว่าการทาสีภายนอกจะช่วยสกัดกั้นความชื้นจากภายนอกอาคารไม่ให้แทรกซึมเข้ามาในอาคารได้ดีกว่าการไม่ทาสี ซึ่งการทาสีจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณความชื้นจากภายนอกอาคาร นอกจากนี้การทาสีที่ผนังด้านในอาคารโดยใช้สำหรับทาภายในจะช่วยให้ความชื้นไม่มีการสะสมในเนื้อผนัง เพราะความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านเนื้อผนังเข้ามาผสมกับอากาศภายในอาคารได้สะดวก และช่วยลดการสะสมความชื้นในผนังได้

แต่การใช้สีสำหรับทาภายนอก หรือการนำ Wallpaper ชนิดกันน้ำมาติดตั้งที่ด้านในอาคารก็จะช่วยป้องกันความชื้นจากภายนอกอาคารได้เช่นกัน แต่ผลเสียที่จะเกิดขึ้นตามมาคือ หากปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานๆจะมีการสะสมความชื้นภายในเนื้อผนัง เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิผนังด้านในส่วนที่ติดกับชั้นสี หรือ ส่วนที่ติดกับ wallpaper ลดลงจนทำให้เกิดการควบแน่นของความชื้นที่สะสมในเนื้อผนังกลายเป็นหยดน้ำ และเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะทำให้ผนังบริเวณนั้นหลุดร่อน เกิดเชื้อราทำให้มีกลิ่นอับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร

5.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมของความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่มีมวลสารต่างกัน

จากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังที่มีมวลสารต่างกัน คือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว และผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว พบว่า การที่วัสดุที่มีมวลสารแตกต่างกันจะมีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นที่แตกต่างกัน กล่าวคือ วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีคุณสมบัติในการสะสมความชื้นไว้ภายในมวลสารได้มากกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย จึงทำให้ปริมาณความชื้นจากภายนอกอาคารแทรกซึมเข้ามาถึงผิวผนังในอาคารได้น้อยกว่า แต่การที่มีความชื้นสะสมในเนื้อของวัสดุจะมีผลทำให้ค่าความจุความร้อน (specific Heat) ของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุความร้อนพลังงานที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศโดยตรง เพราะเครื่องปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานในการลดปริมาณความร้อนและความชื้นที่สะสมในผนัง รวมถึงในมวลสารต่างๆ เช่น โครงสร้าง และวัสดุอุปกรณ์ตกแต่งอาคาร เป็นต้น

ดังนั้นการใช้วัสดุก่อสร้างผนังอาคารที่มีมวลสารมากจะทำให้เกิดการสะสมความร้อนและความชื้นในผนังเป็นจำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเมื่อมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างผนังอาคารปรับอากาศจึงควรเป็นวัสดุมวลสารน้อย ไม่กักเก็บความร้อนและความชื้น มีค่าความเป็นฉนวนสูง สามารถกักเก็บความร้อนและความชื้นได้ดี โดยผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติดังกล่าวมากที่สุด เมื่อเทียบกับผนังชนิดอื่นที่นำมาทดลองในครั้งนี้

5.1.5 การศึกษาแนวทางการป้องกันความชื้นโดยการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอก และผนังด้านในอาคาร

ผลที่ได้จากทดลองเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่สามารถแทรกผ่านผนังที่ติดตั้งฉนวนโพนี EPS หน้า 1 นิ้วที่ผนังด้านนอกและด้านในอาคาร พบว่าการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านนอกสามารถป้องกันความร้อนและความชื้นจากภายนอกอาคารได้ดีกว่า ทำให้ปริมาณความชื้นที่จะแทรกซึมผ่านผนังเข้ามาในอาคารลดน้อยลง ซึ่งเป็นผลดีที่สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการลดปริมาณความชื้นของเครื่องปรับอากาศ

ส่วนการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านในอาคารก็สามารถสกัดกั้นความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังเข้ามาในอาคารได้เช่นเดียวกัน แต่ความชื้นจะถูกสกัดกั้นไว้บริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับฉนวน เป็นเหตุให้ความชื้นส่วนใหญ่ถูกสะสมไว้ที่บริเวณดังกล่าว เพราะไม่สามารถถ่ายเทไปสู่บริเวณอื่นได้ และเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิมวลผนังด้านในส่วนที่ติดกับฉนวนลดลง ทำให้มีโอกาสเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำของความชื้นที่สะสมในบริเวณดังกล่าวได้ง่าย และเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะทำให้ผนังบริเวณนั้นกลายเป็นแหล่งกำเนิดเชื้อราทำให้มีกลิ่นอับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

5.2 แนวทางการป้องกันความชื้นสำหรับผนังอาคารที่มีการปรับอากาศ

นอกจากคุณสมบัติในด้านของความแข็งแรงทนทานแล้ว คุณสมบัติที่ดีของผนังอาคารที่มีการปรับอากาศนั้นควรเป็นผนังที่มีมวลสารน้อย (low thermal mass) สามารถป้องกันความร้อนและความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่สะสมความร้อนและความชื้น และสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศ เนื่องจากการป้องกันความชื้นที่มีประสิทธิภาพนั้น จะช่วยให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากการทดลองติดตั้งฉนวนกันความร้อนและความชื้นที่ผนังด้านนอกอาคารเปรียบเทียบกับติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านในอาคาร ของอาคารปรับอากาศ สามารถสรุปแนวทางในการป้องกันความชื้นได้ว่าการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนและความชื้นที่ด้านนอกอาคารเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองในครั้งนี้

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาจำกัด ทำให้ผลของการทดลองที่ได้รับ เป็นเพียงการแสดงผลแนวโน้มของพฤติกรรมและผลกระทบจากความชื้นที่แทรกซึมผ่านตัวอย่างผนัง อาคารที่นำมาจำลองสภาวะการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงเท่านั้น เพราะหากต้องการสรุปเป็นรูปธรรมชัดเจนว่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารของประเทศไทยเกิดผลกระทบอย่างไรจากความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในอาคาร ต้องอาศัยระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมากกว่านี้ และเพื่อเป็นแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างผนังที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างอาคารต่อไป จึงควรที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลของอาคารที่มีพฤติกรรมการใช้งานบางช่วงเวลา เช่น อาคารที่มีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน และอาคารที่มีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากอาคารต่าง ๆ นั้นมีช่วงเวลาการใช้งานต่างกันย่อมทำให้คุณสมบัติของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงมีผลต่อพฤติกรรมและผลกระทบจากความชื้นที่เข้ามาในอาคารเช่นกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน . คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรุงเทพฯ :
โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538
- จันทร์รุ่ง มนต์วิเศษ . การป้องกันการเกิดการควบแน่นของฉนวนใยแก้วในระบบผนังอาคาร.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- ตริงใจ บุณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์, 2521.
- รังสิมา กาญจนสมบัติ. ผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุภายในอาคารต่อ
ภาวะการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชา
เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล,
2541.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงาน
พลังงานของประเทศไทย 2542. 2542. (ม.ป.ท.).
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานไฟ
ฟ้าของประเทศไทย 2542. 2542. (ม.ป.ท.).
- สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล . ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่
อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สุนทร บุญญาธิการ . เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า .
กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- สุนทร บุญญาธิการ และ อุษณีย์ มิ่งมงคล. การใช้ฉนวน: เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคาร
อนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่ง
แวดล้อม. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม, 2543.
- สุนทร บุญญาธิการ และ อุษณีย์ มิ่งมงคล. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน:
เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม, 2543.
- สุริยน ศิริธรรมปิติ . ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน : กรณีศึกษาพระอุโบสถวัด
กำแพง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- สุวพันธ์ นิลายน. อดุณิยมวิทยา . กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

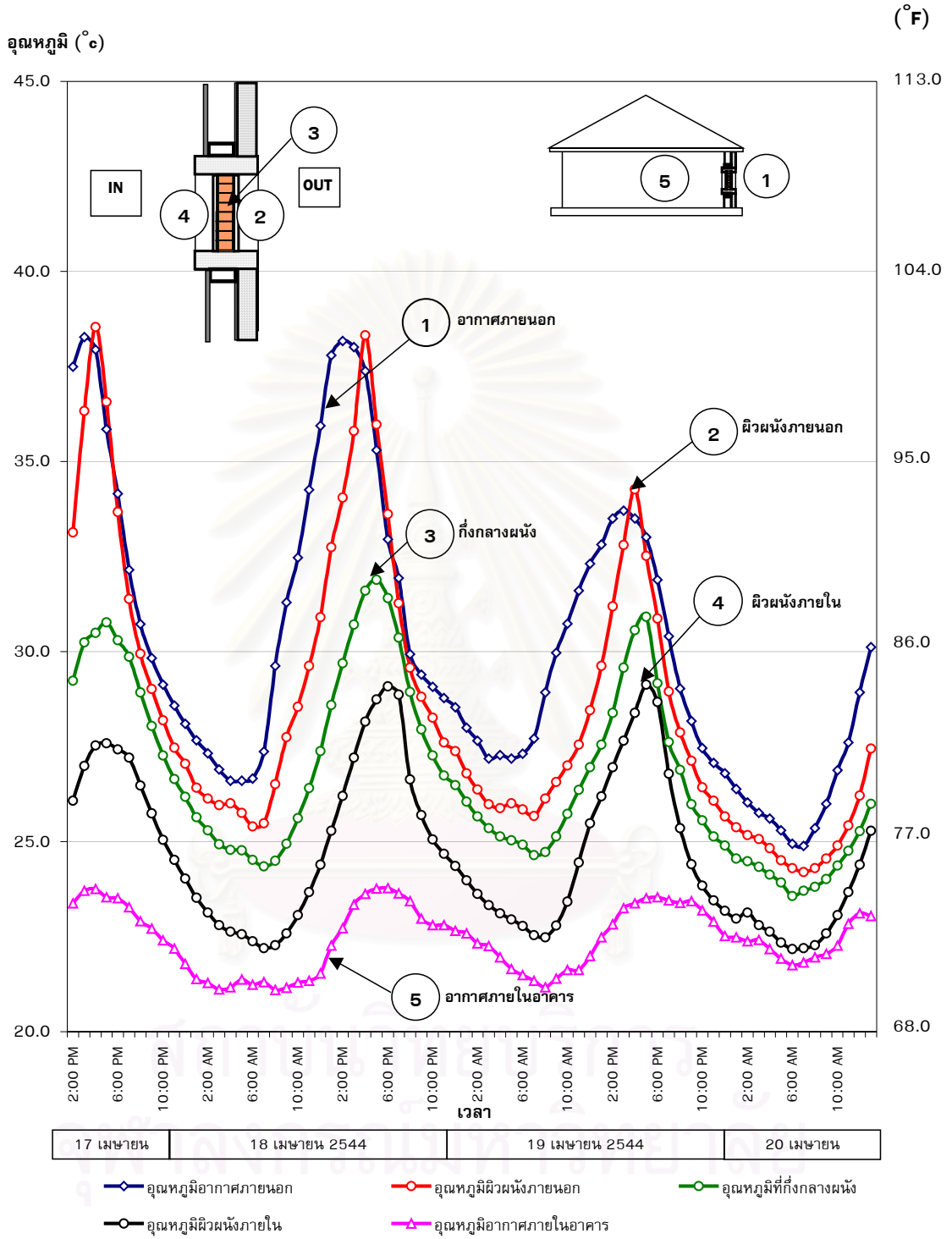
ภาษาอังกฤษ

- Addleson Lyall and Rice Colin. Performance of Materials in Buildings : A study of principles and agencies change. East Kilbride: Thomson Litho Ltd, 1991.
- America Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering, Inc. ASHRAE Handbook Fundamental. Atlanta, Geogia, 1985.
- America Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering, Inc. ASHRAE Handbook Fundamental. Atlanta, Geogia, 1997.
- Diamant R.M.E. Insulation of Buildings : Thermal and Acoustic. London: Iliffe Books Ltd., 1965.
- Fanger P.O. Thermal Comfort Analysys and Applications in Environmental Engineering. The United State : McGraw-Hill , 1970.
- Jones W.P. Air Conditioning Engineering, 3rd Edition. New York: Edward Arnold, 1992.
- Joseph B. Olivieri,P.E. . Hoe to Design Heating-Cooling Comfort Systems, 3rd Edition.Michigan : Bussiness News, 1973.
- Lstiburek Joseph and Carmody John . Moisture Control Handbook. New York : Van Nostrand Rienhold , 1993.
- Olgay, Victor. Design with Climate. New Jersy: Printon University Press, 1973.
- Pratt A.W . Heat Transmission in Buildings. Northern Ireland : John Willy & Sons, 1981.
- Simmons H. Leslie. Building Renovating and Restoration Series : Repairing and Extending Weather Barriers. New York : Van Nostrand Rienhold, 1989.
- Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition. New York: John Willy & Sons, 1992.



ภาคผนวก

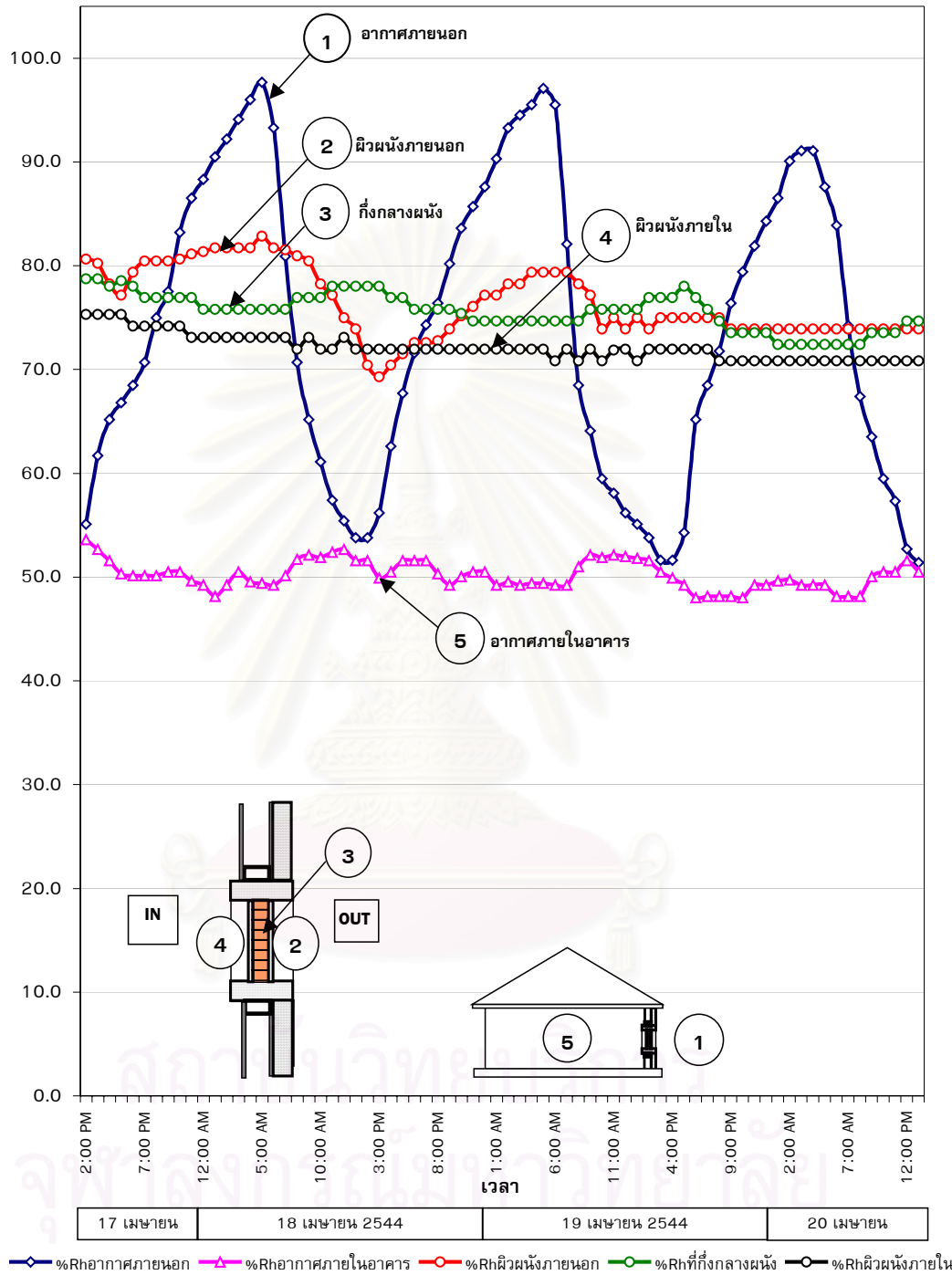
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

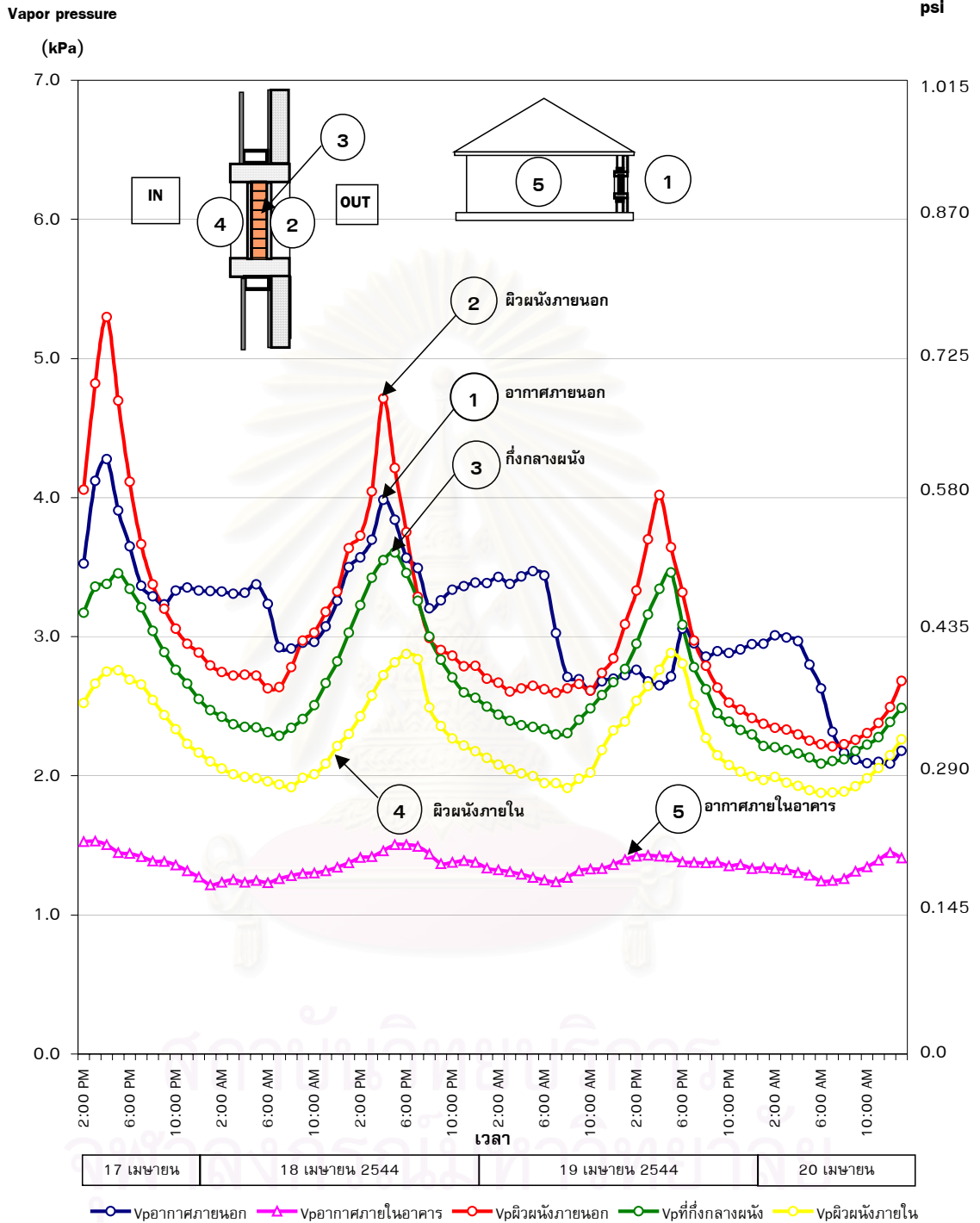
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

Relative humidity (%Rh)



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity)ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

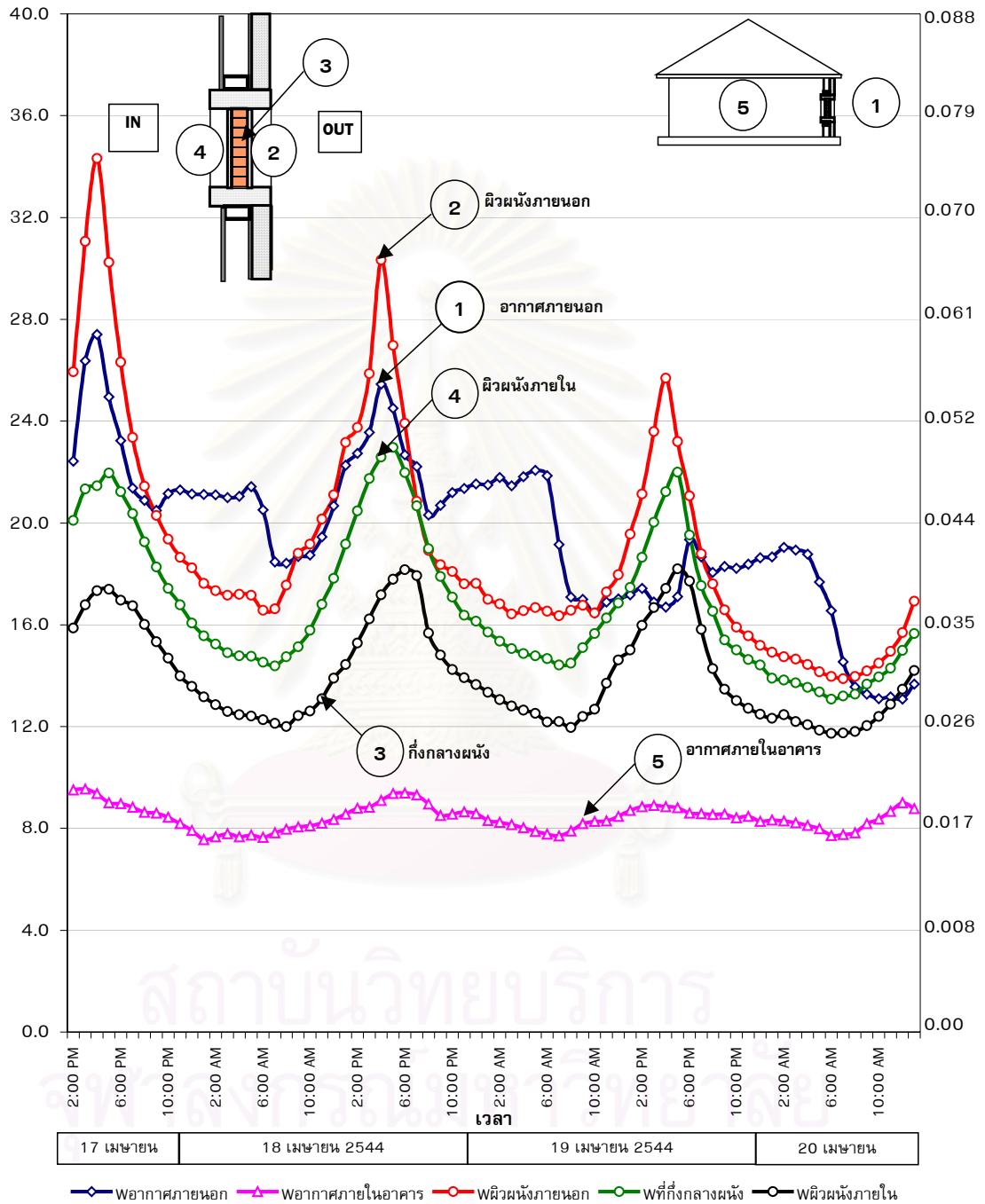


แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ(Vapor pressure)ผ่านผนังก้ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

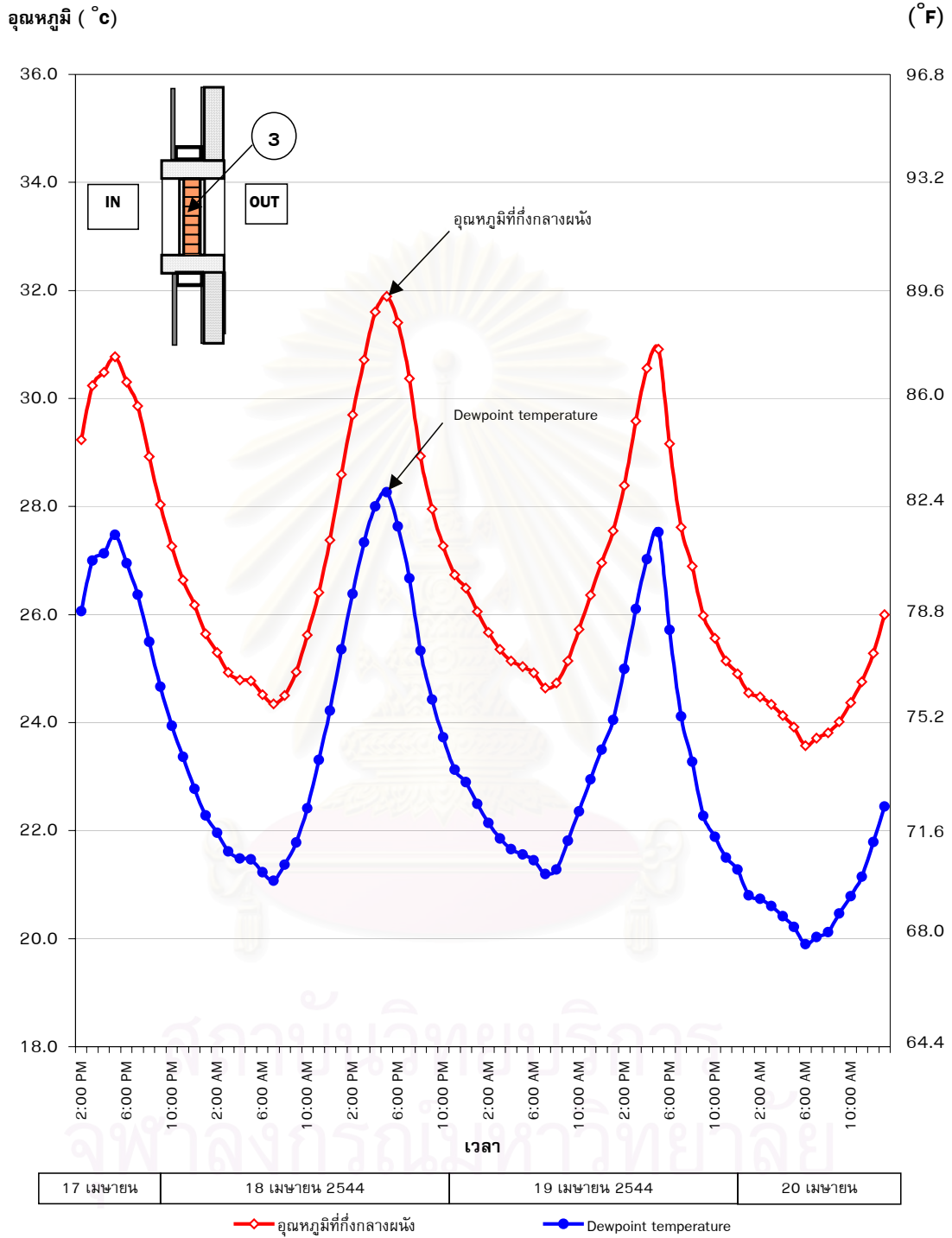
Humidity ratio

(g/kg)

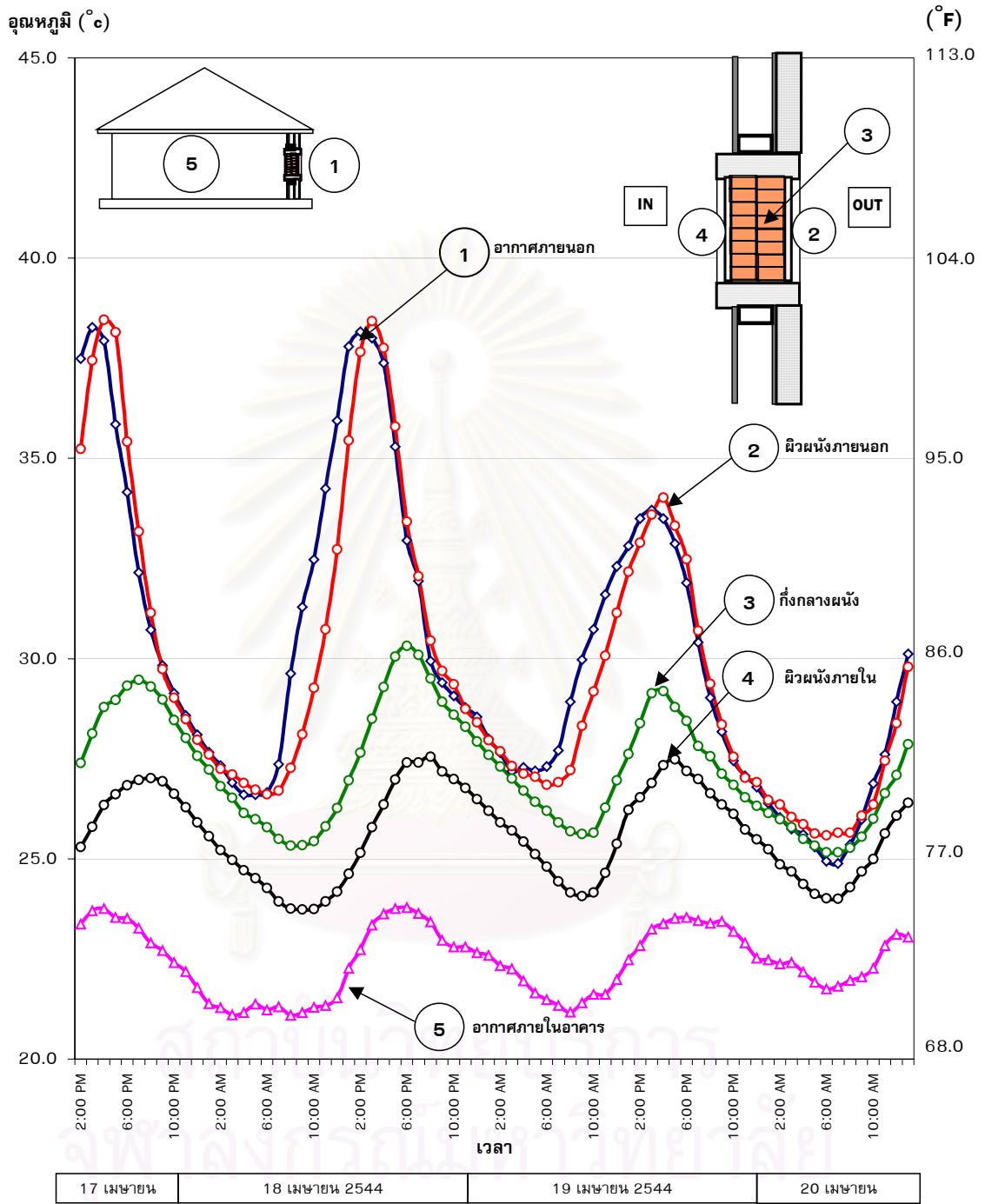
(lb/lb)



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น(Humidity ratio)ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



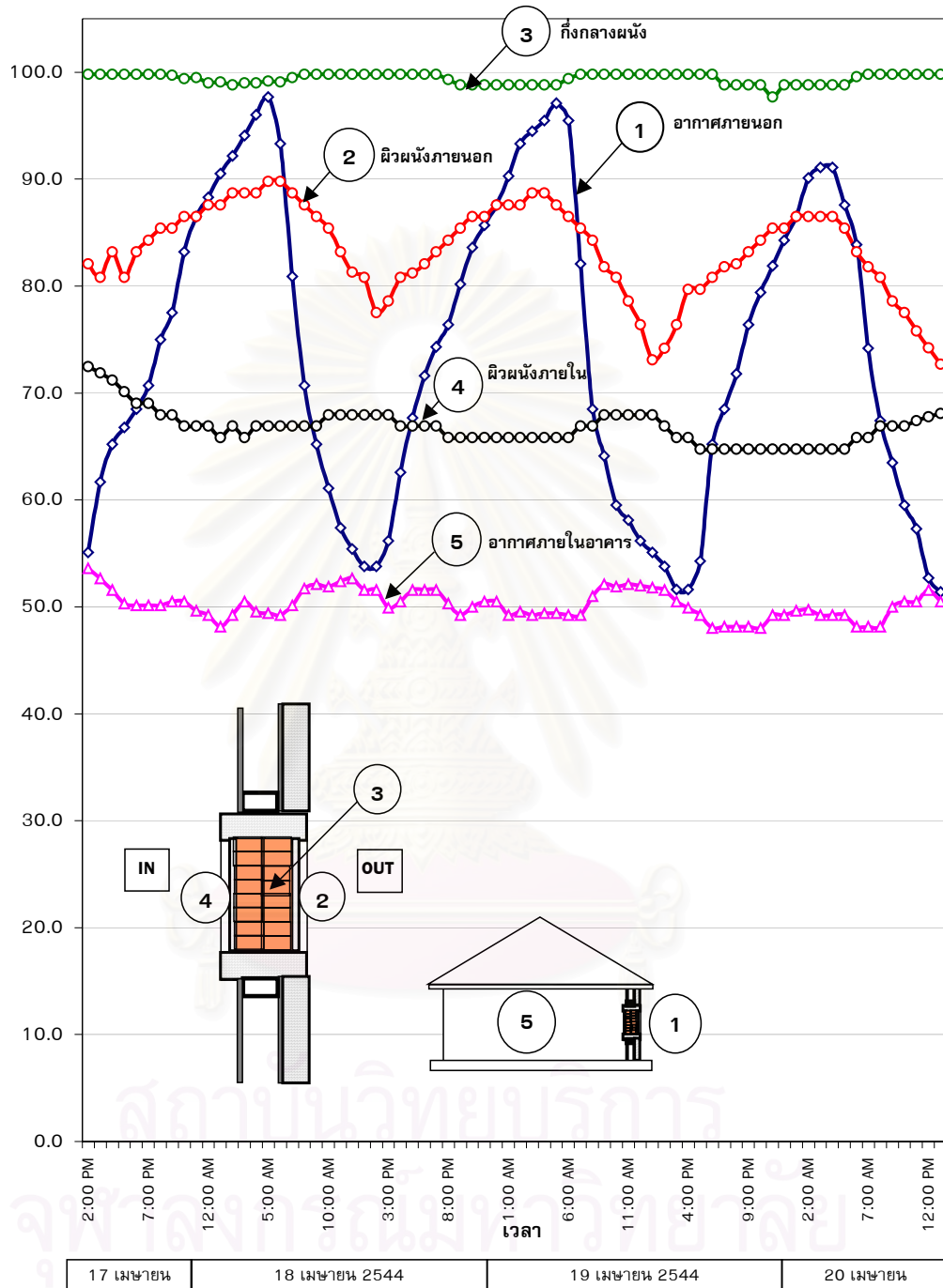
แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ที่กึ่งกลางผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

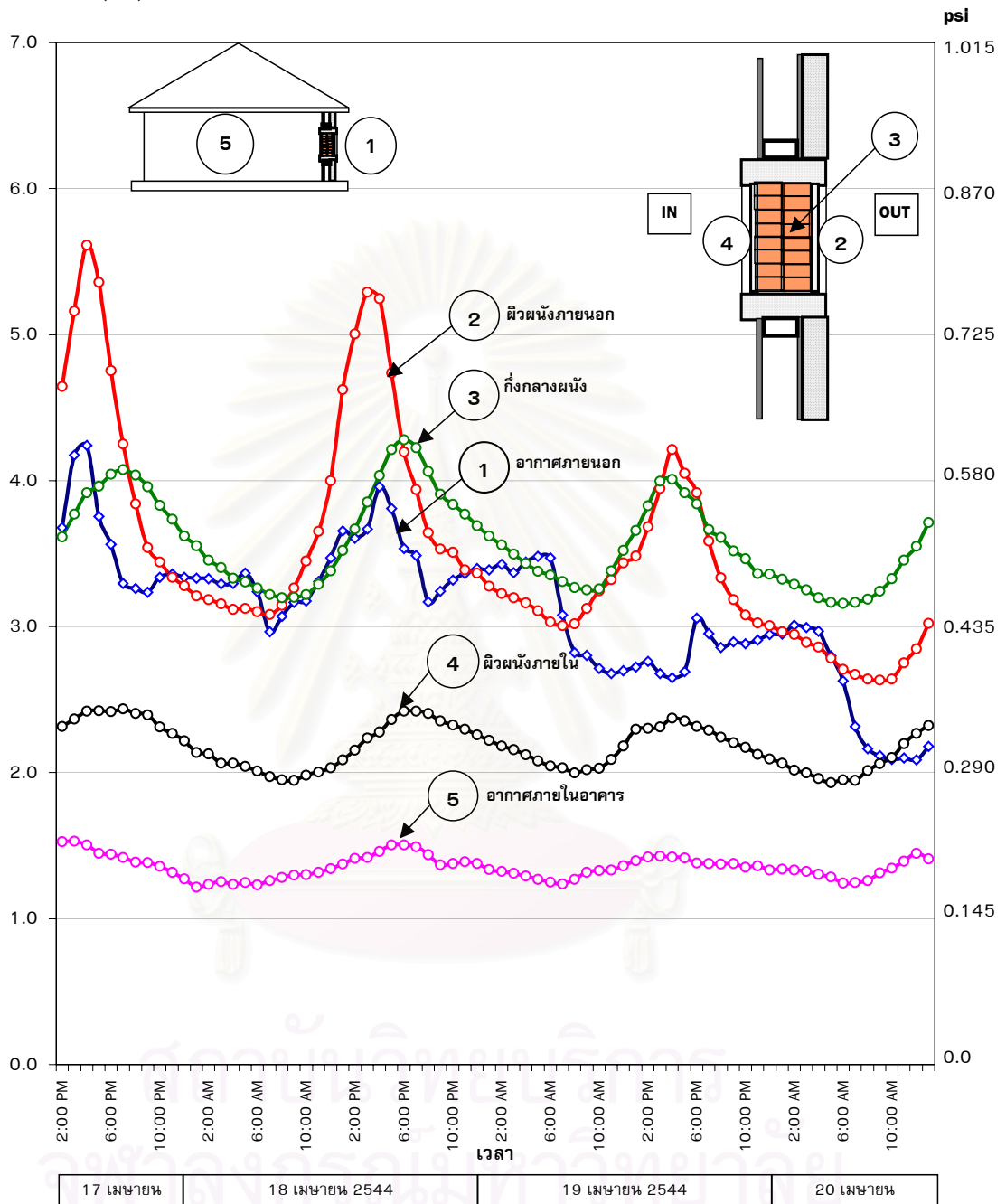
Relative humidity (%Rh)



◆ %Rhอากาศภายนอก
 ▲ %Rhอากาศภายในอาคาร
 ● %Rhผิวผนังภายนอก
 ○ %Rhที่กึ่งกลางผนัง
 ○ %Rhผิวผนังภายใน

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

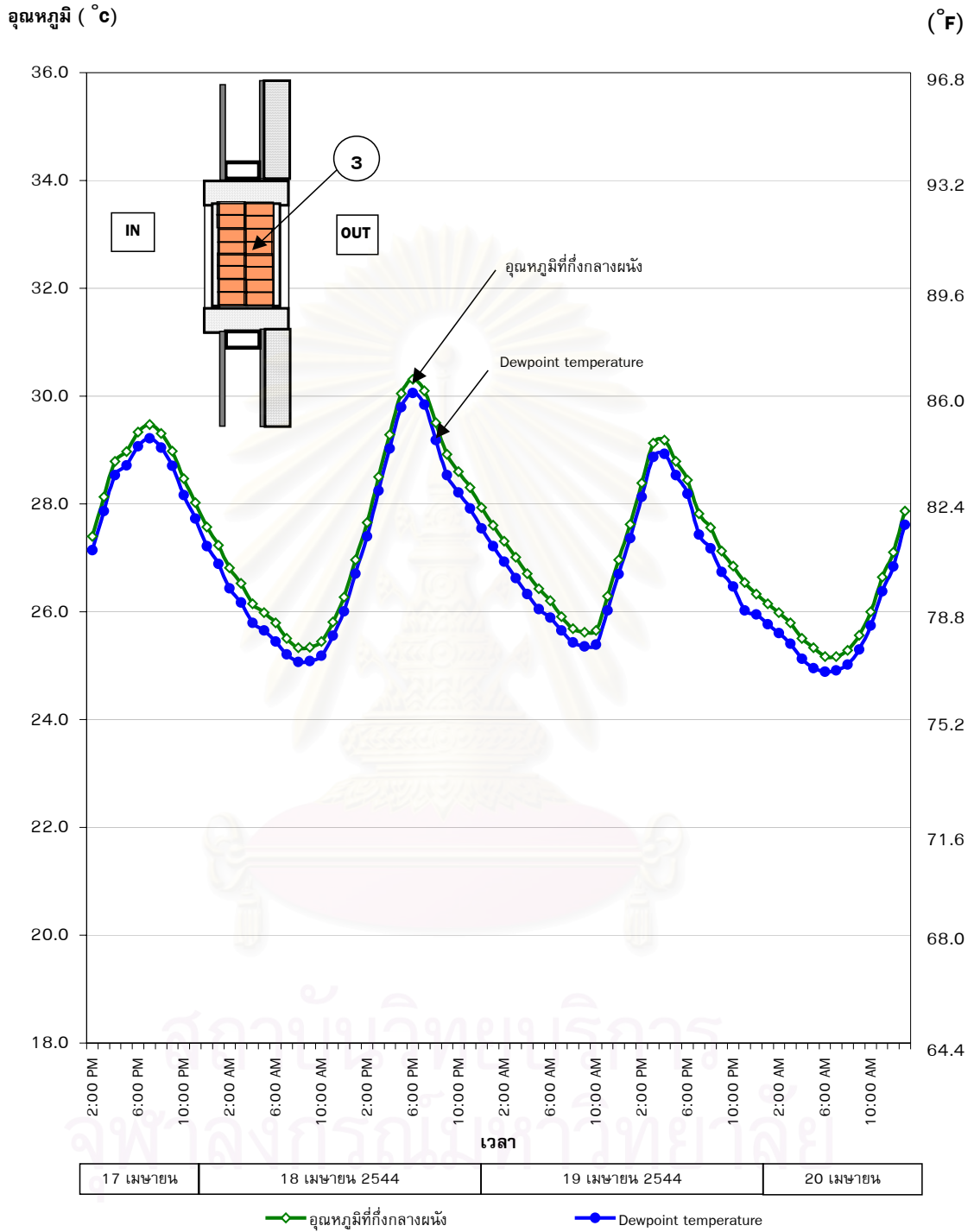
Vapor pressure (kPa)



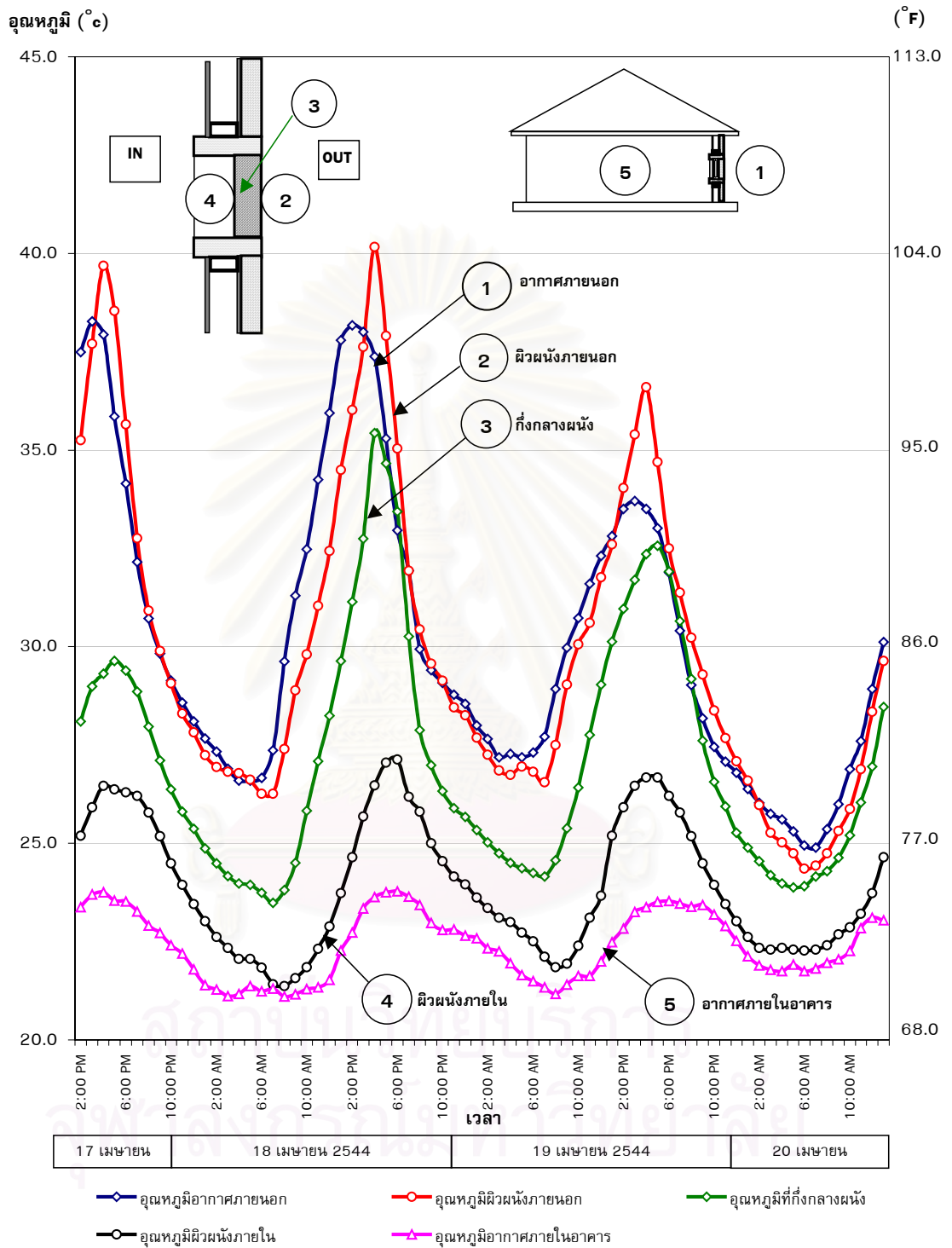
—◆— Vpอากาศภายนอก —●— Vpอากาศภายในอาคาร —○— Vpผิวผนังภายนอก —○— Vpที่กึ่งกลางผนัง —○— Vpผิวผนังภายใน

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ(Vapor pressure)ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



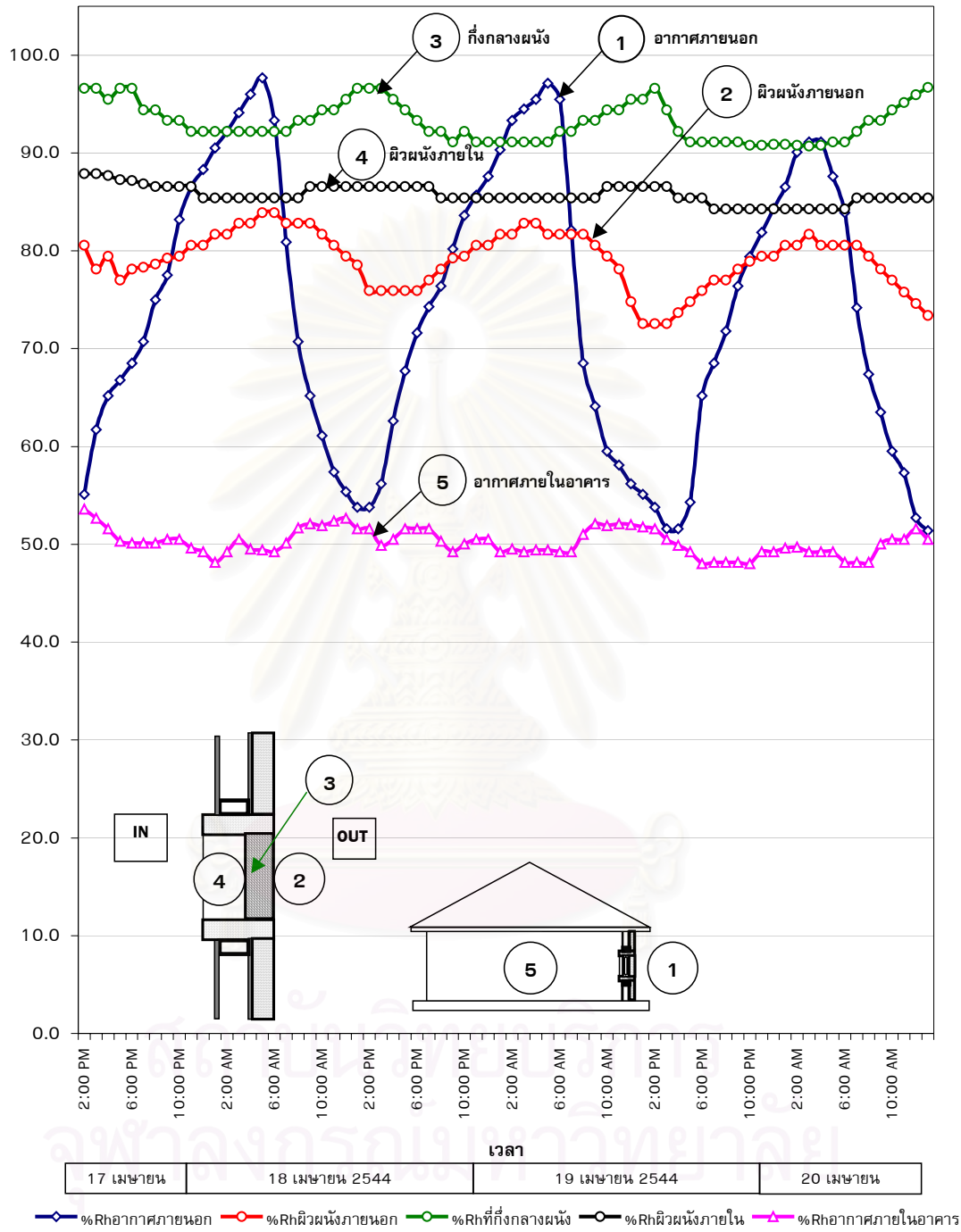
แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ที่กึ่งกลางผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



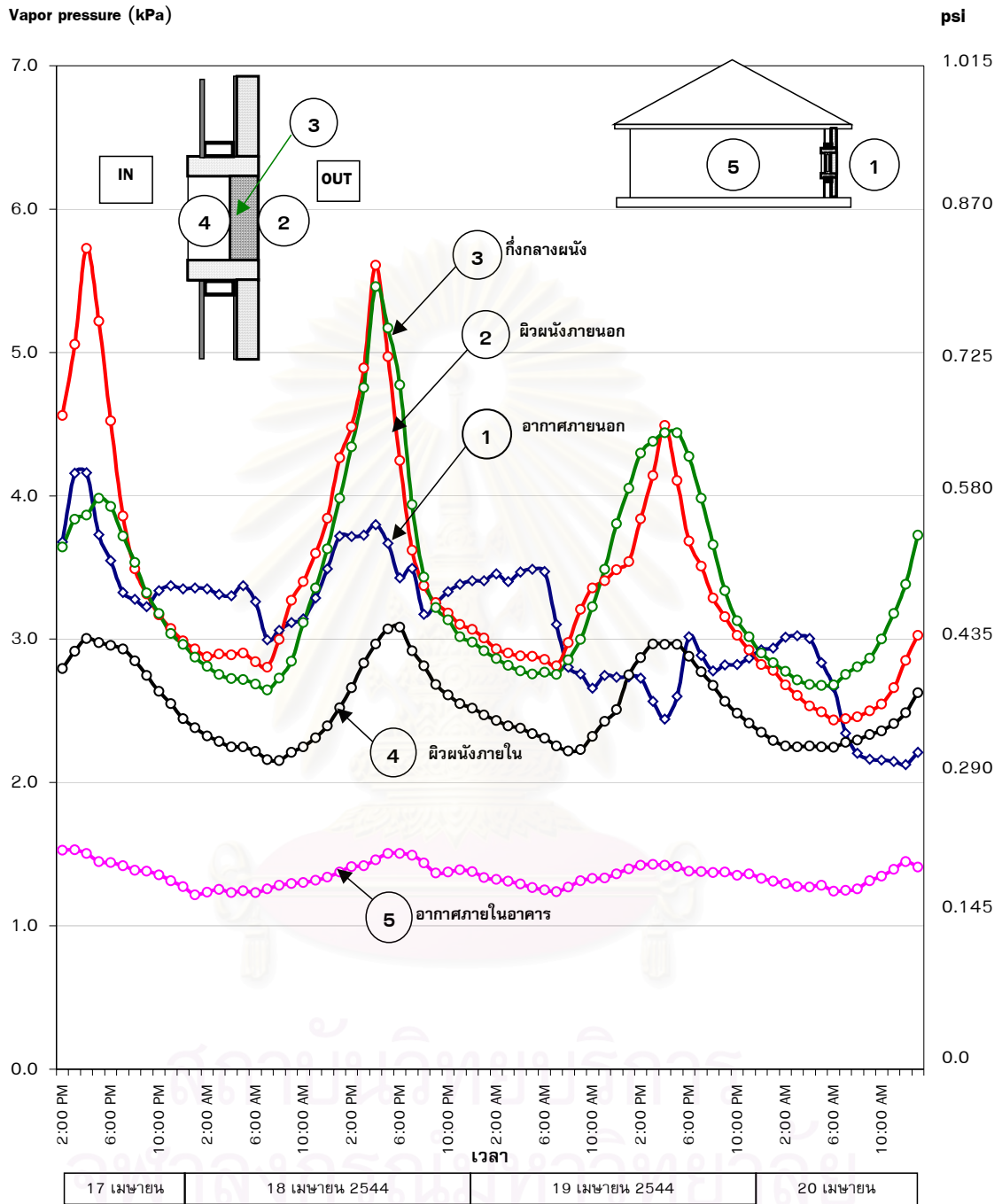
แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

Relative humidity (%Rh)



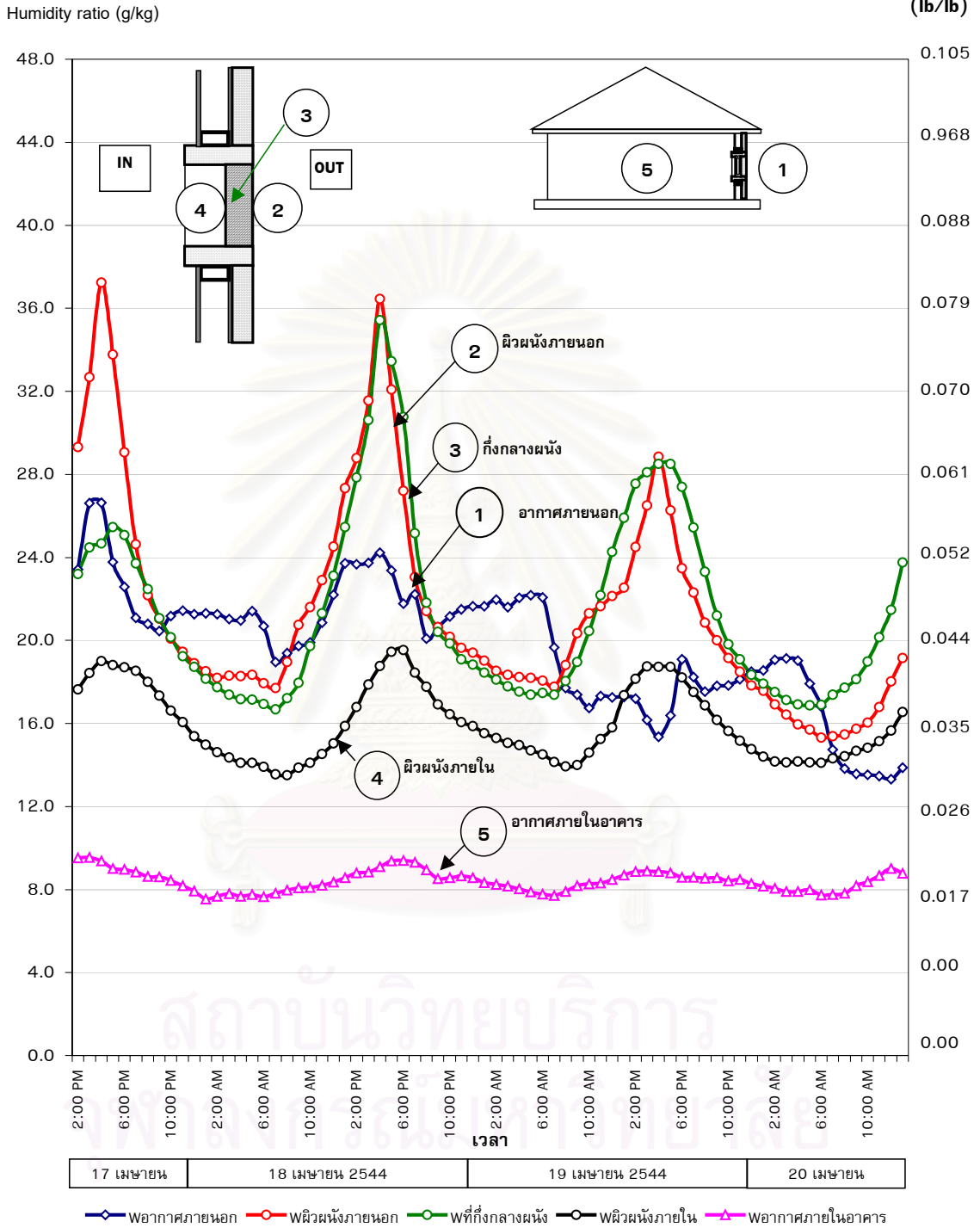
แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 18-19 เมษายน พ.ศ.2544



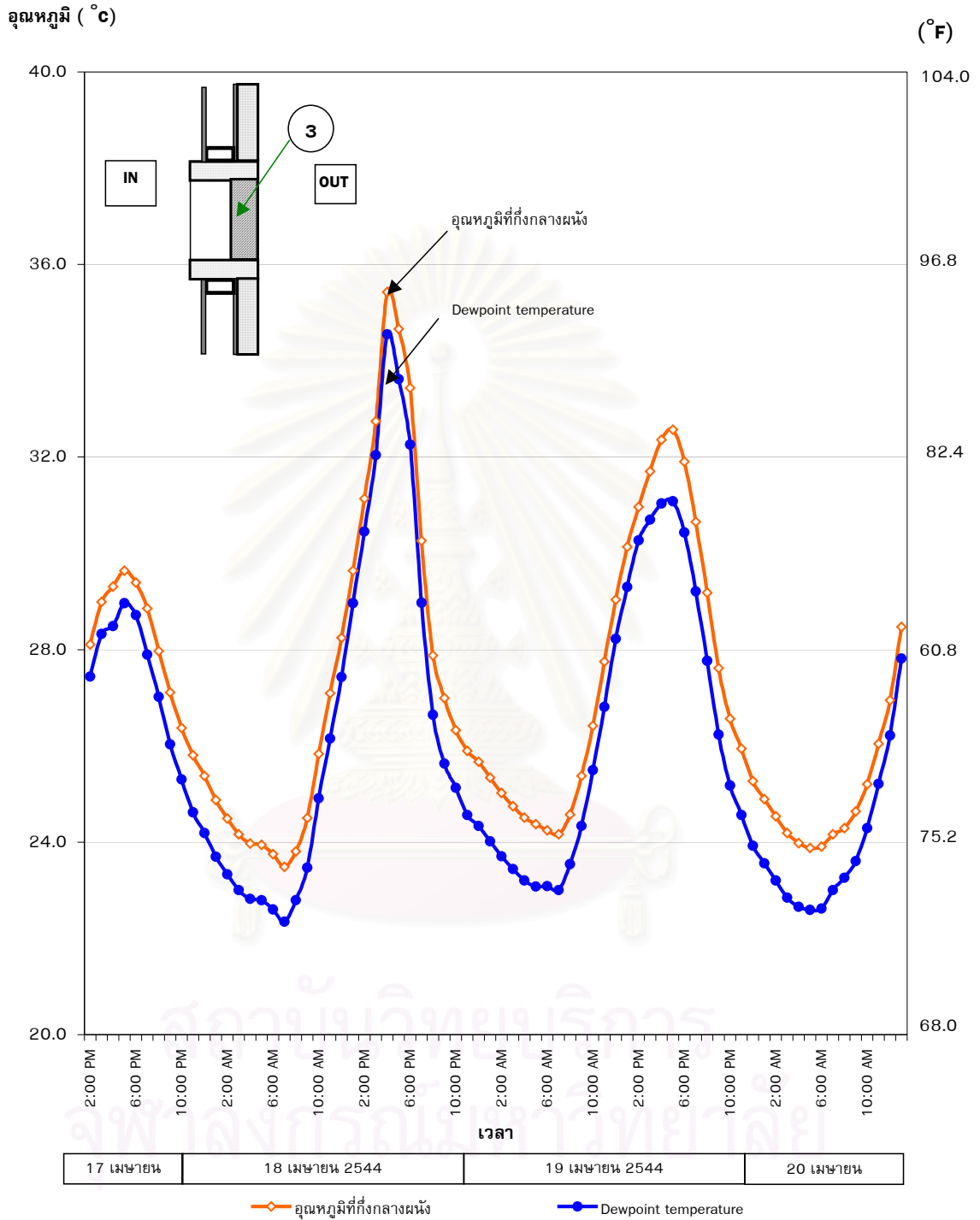
—◇— Vpอากาศภายนอก —○— Vpผิวผนังภายนอก —○— Vpที่กึ่งกลางผนัง —○— Vpผิวผนังภายใน —○— Vpอากาศภายในอาคาร

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

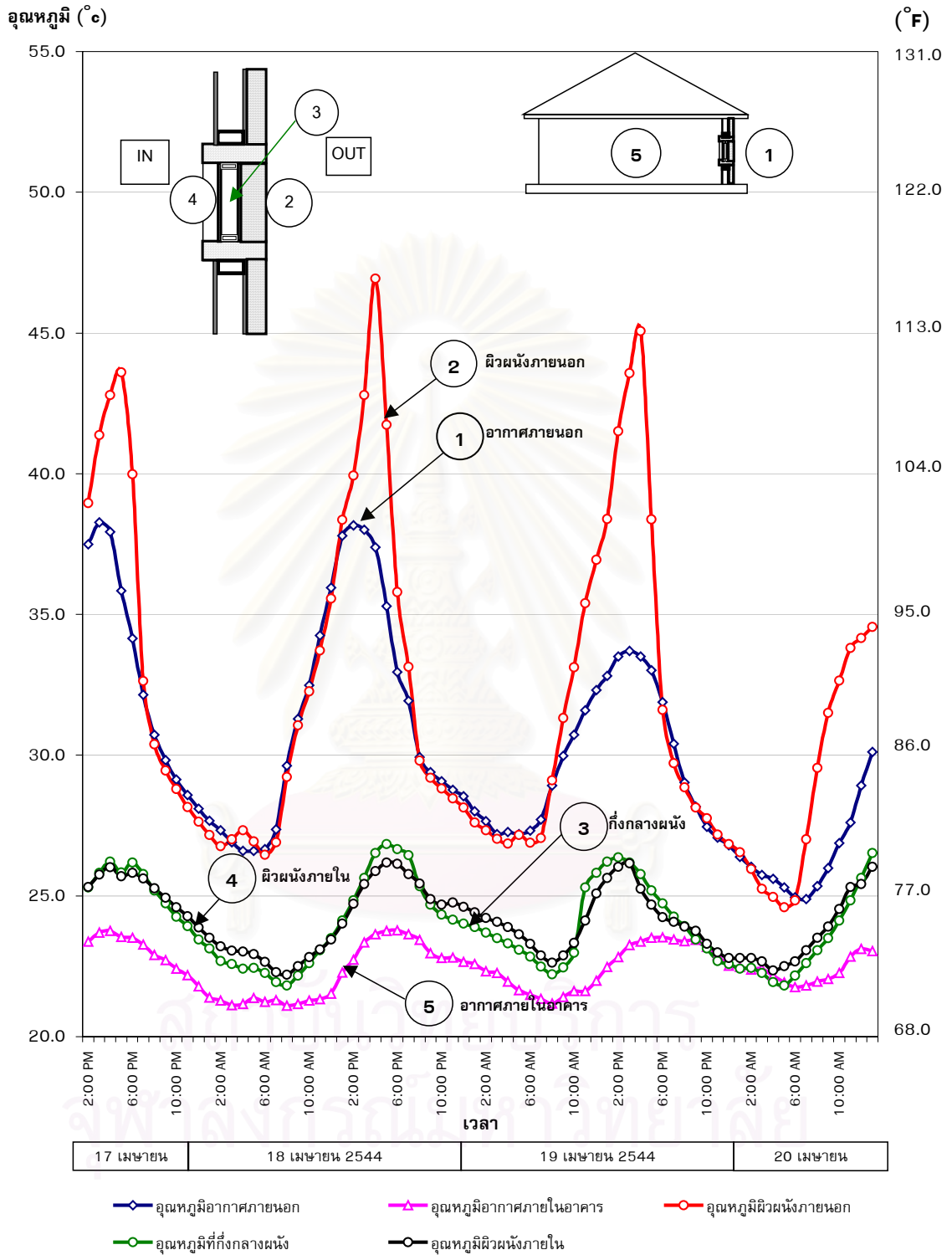
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น(Humidity ratio)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



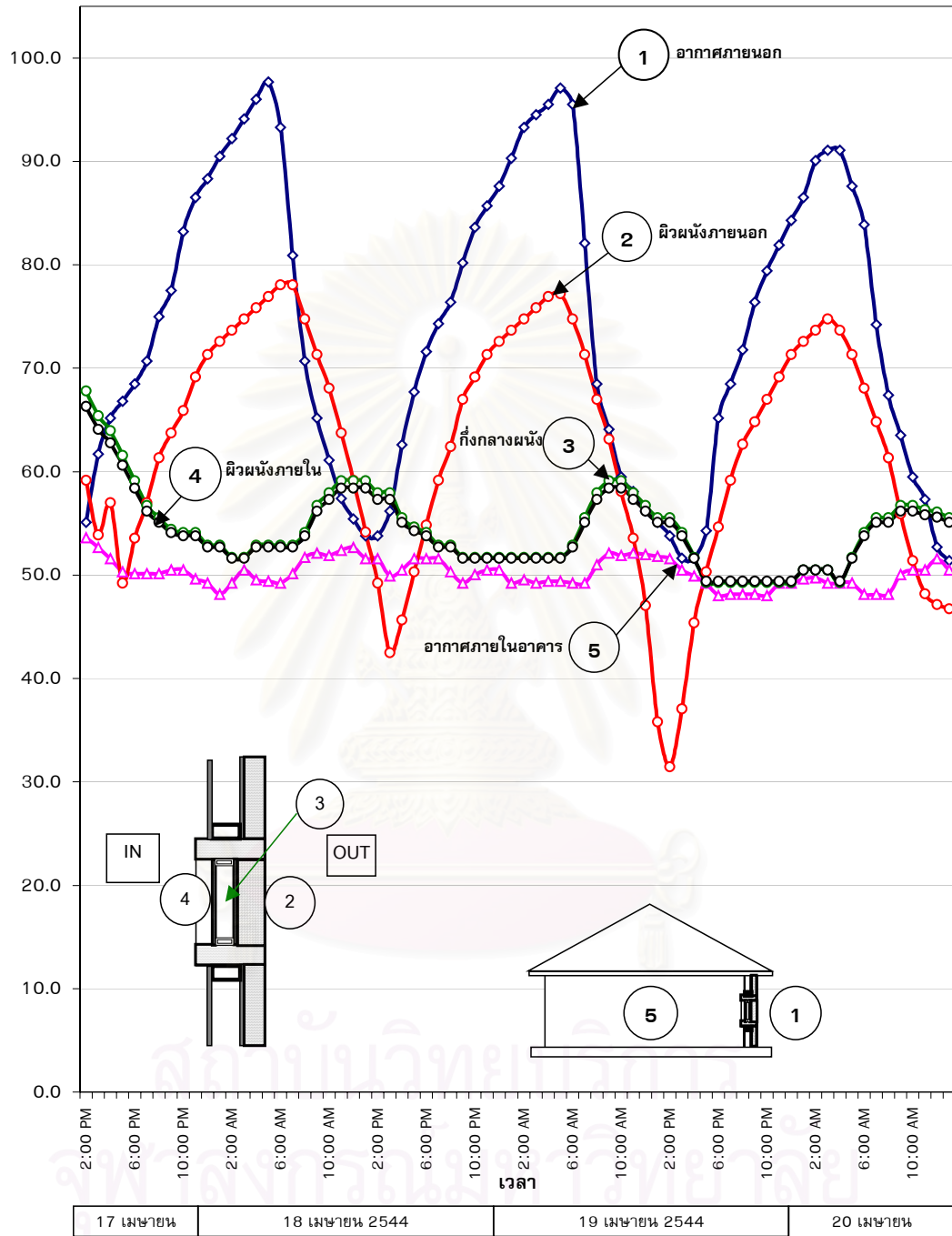
แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ที่กึ่งกลางผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก(EIFS)

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

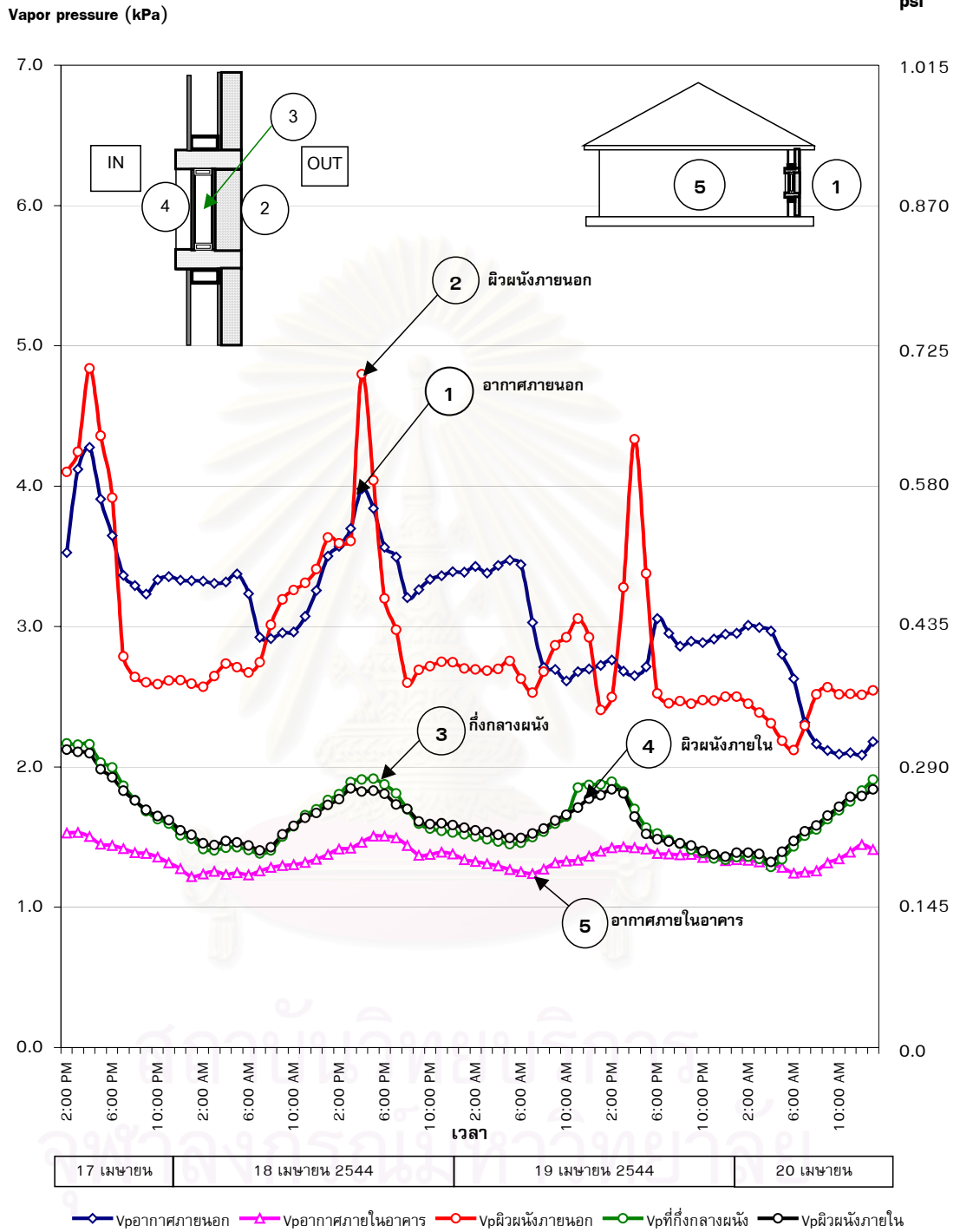
Relative humidity (%Rh)



◆ %Rhอากาศภายนอก
 ▲ %Rhอากาศภายในอาคาร
 ● %Rhผิวหนังภายนอก
 ○ %Rhที่กึ่งกลางผนัง
 ○ %Rhผิวหนังภายใน

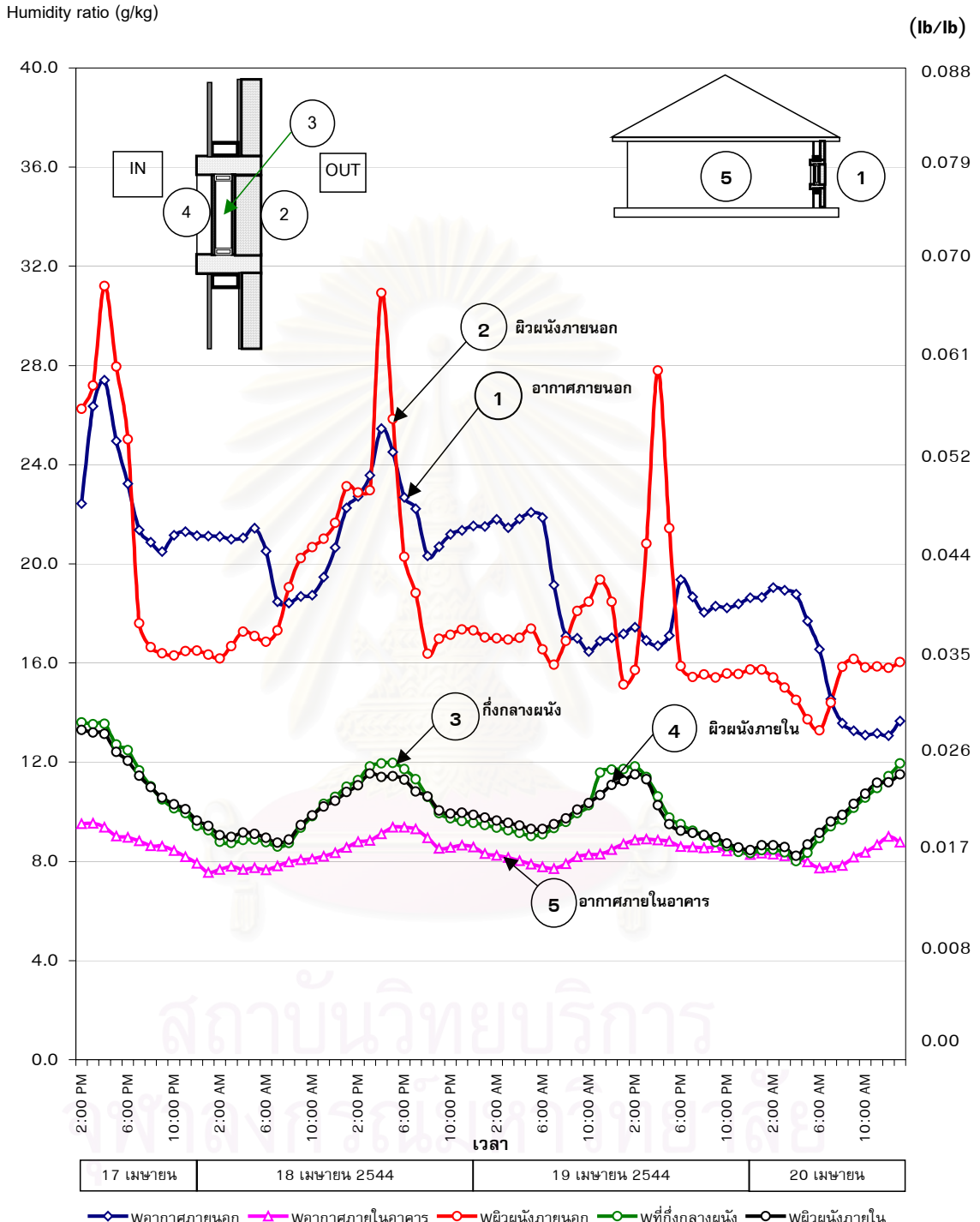
แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์(Relative humidity)ผ่านผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก(EIFS)

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

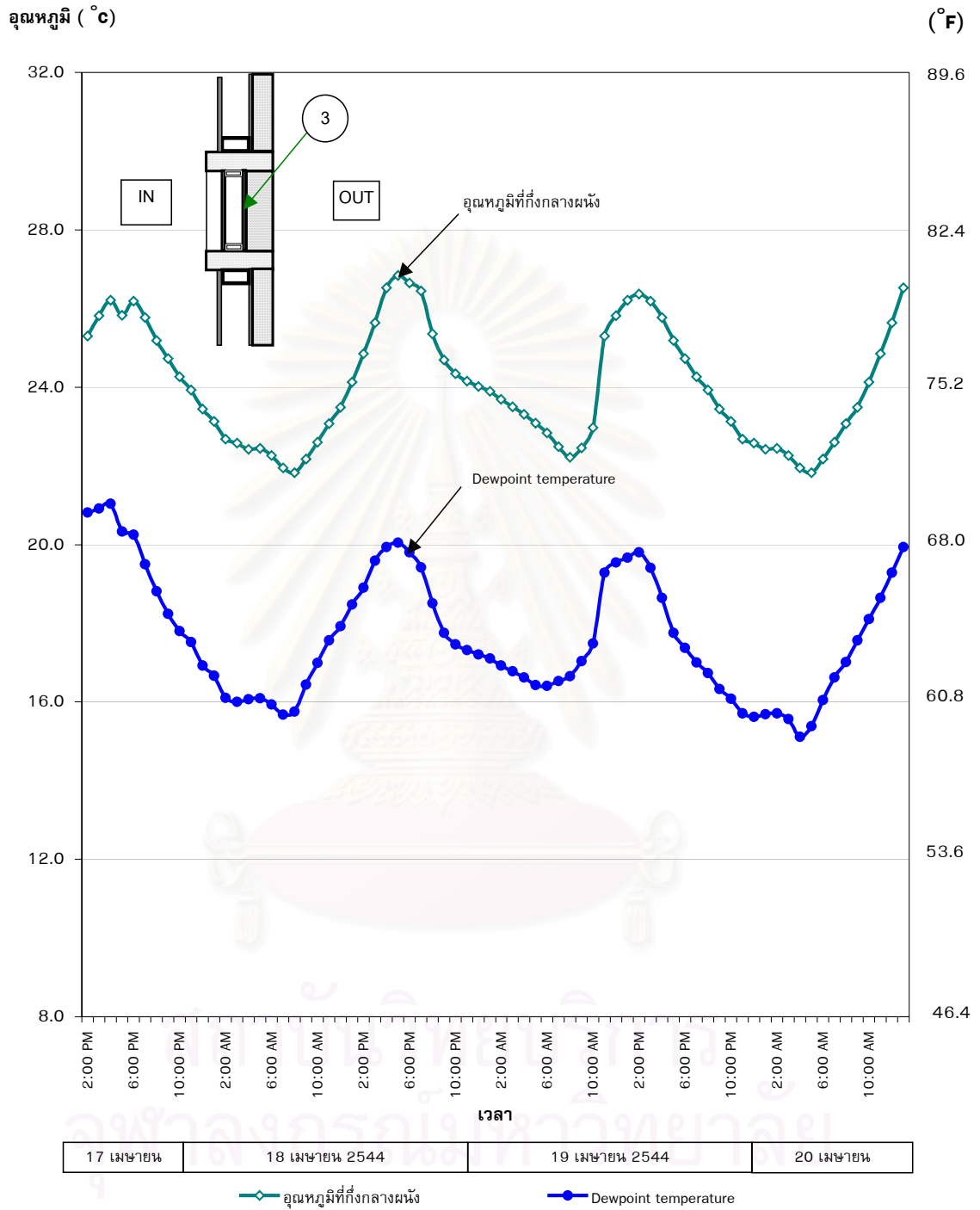


แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ผ่านผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก(EIFS)

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544

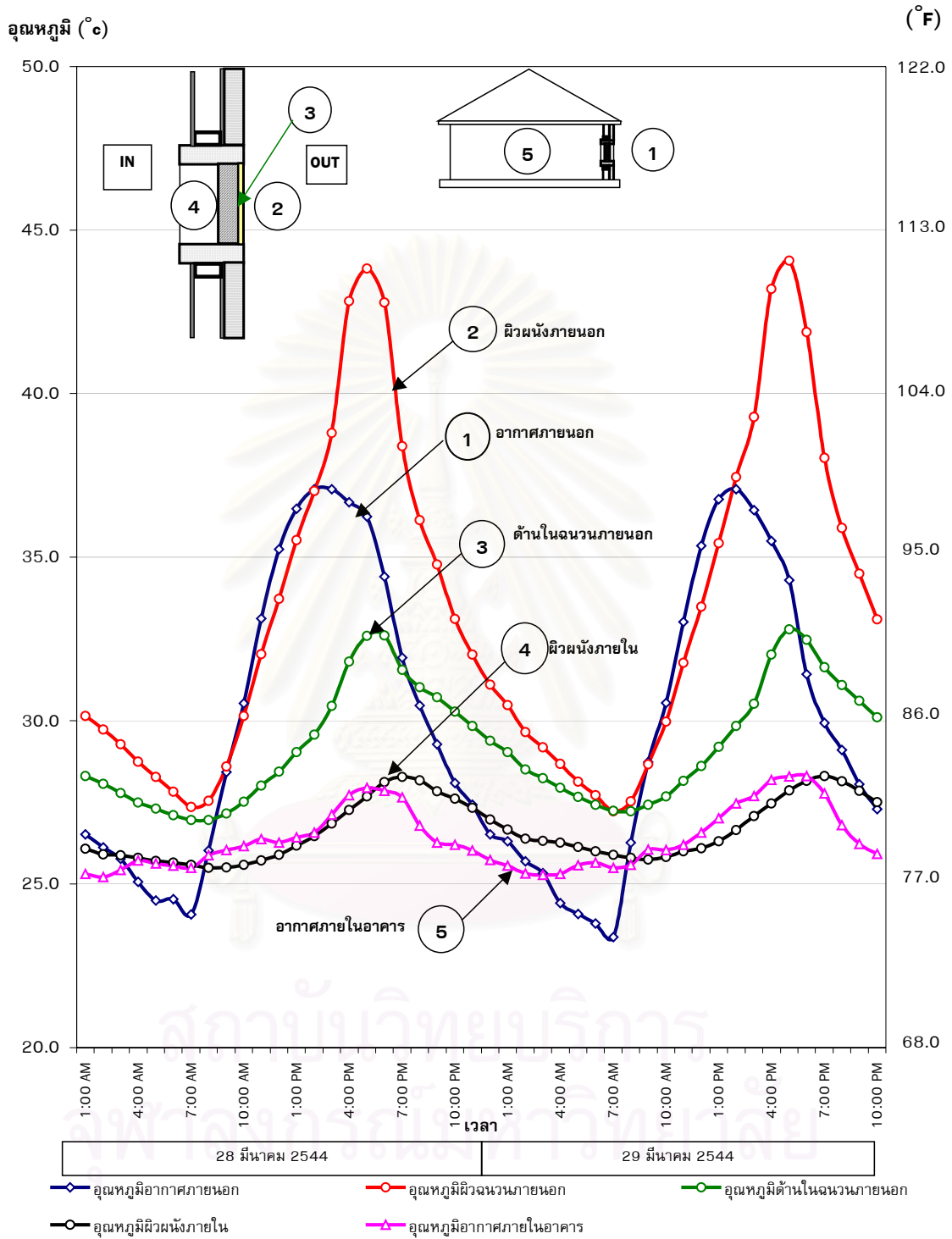


แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ผ่านผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



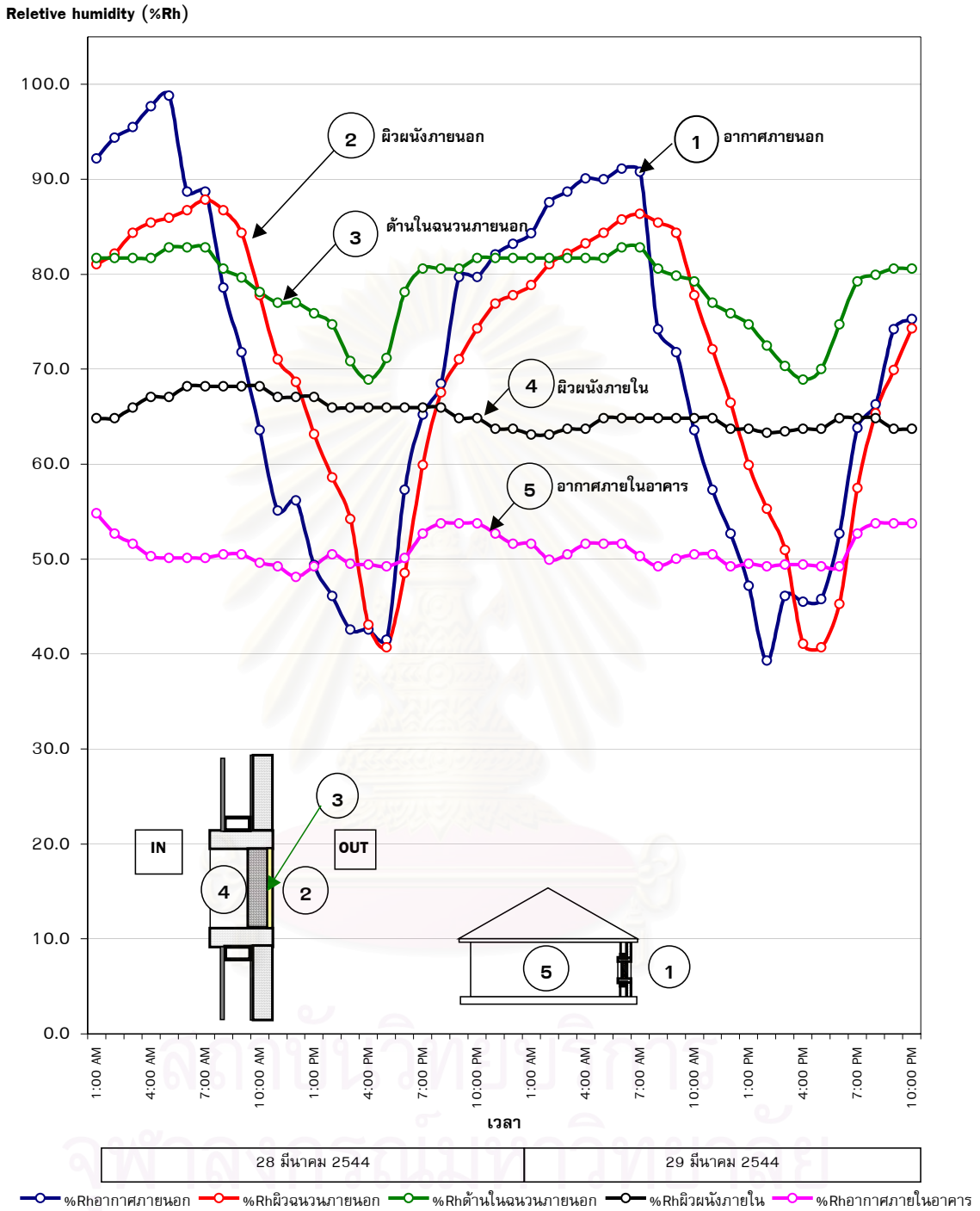
แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ที่กึ่งกลางผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ด้านทิศตะวันตก วันที่ 17-20 เมษายน พ.ศ.2544



**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกอาคาร**

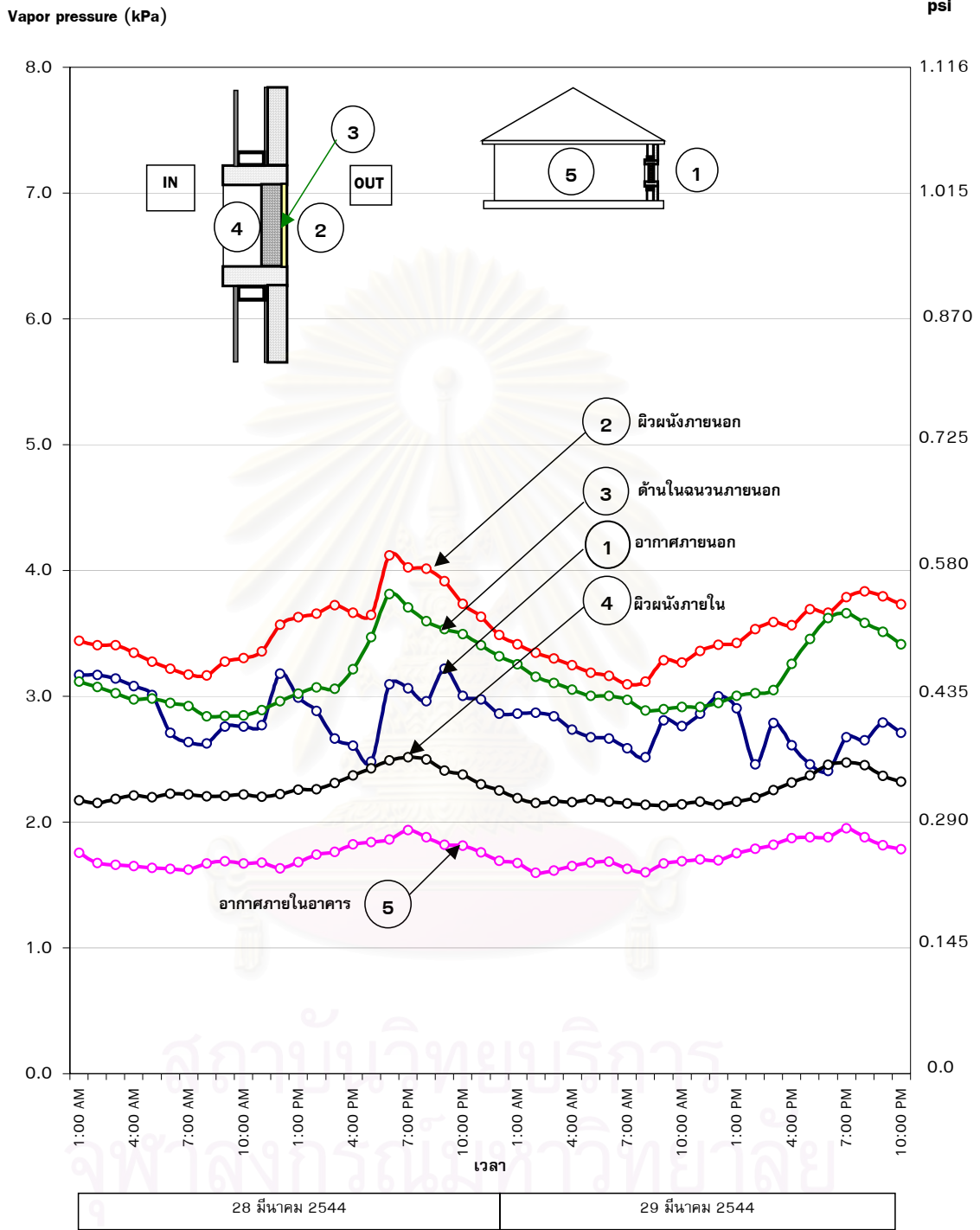
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544

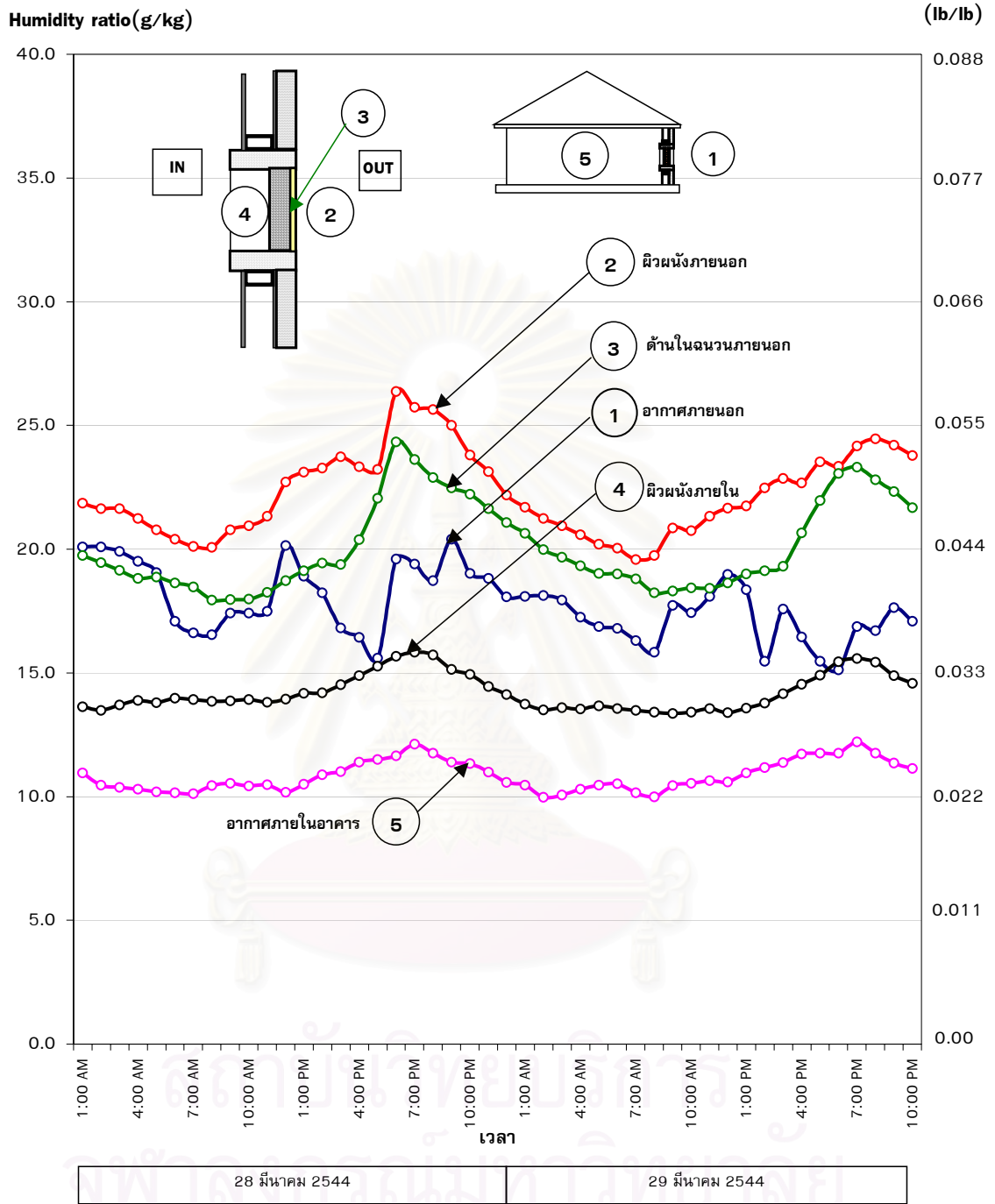


● Vpอากาศภายนอก ● Vpผิวฉนวนภายนอก ● Vpด้านในฉนวนภายนอก
● Vpอากาศภายในอาคาร ● Vpผิวผนังภายใน

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกอาคาร

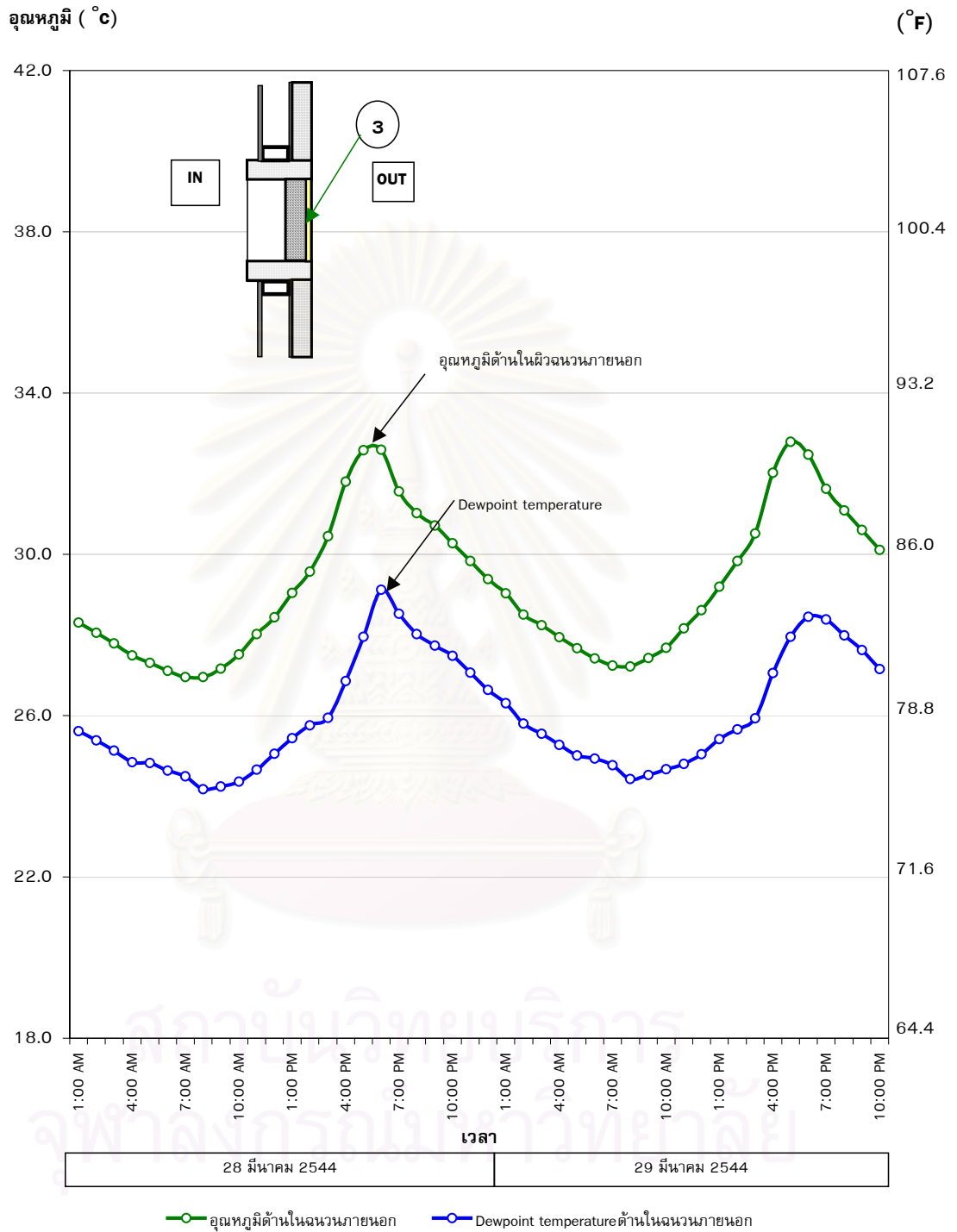
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



—○— อากาศภายนอก —○— ผิวฉนวนภายนอก —○— ด้านในฉนวนภายนอก —○— ผิวผนังภายใน —○— อากาศภายในอาคาร

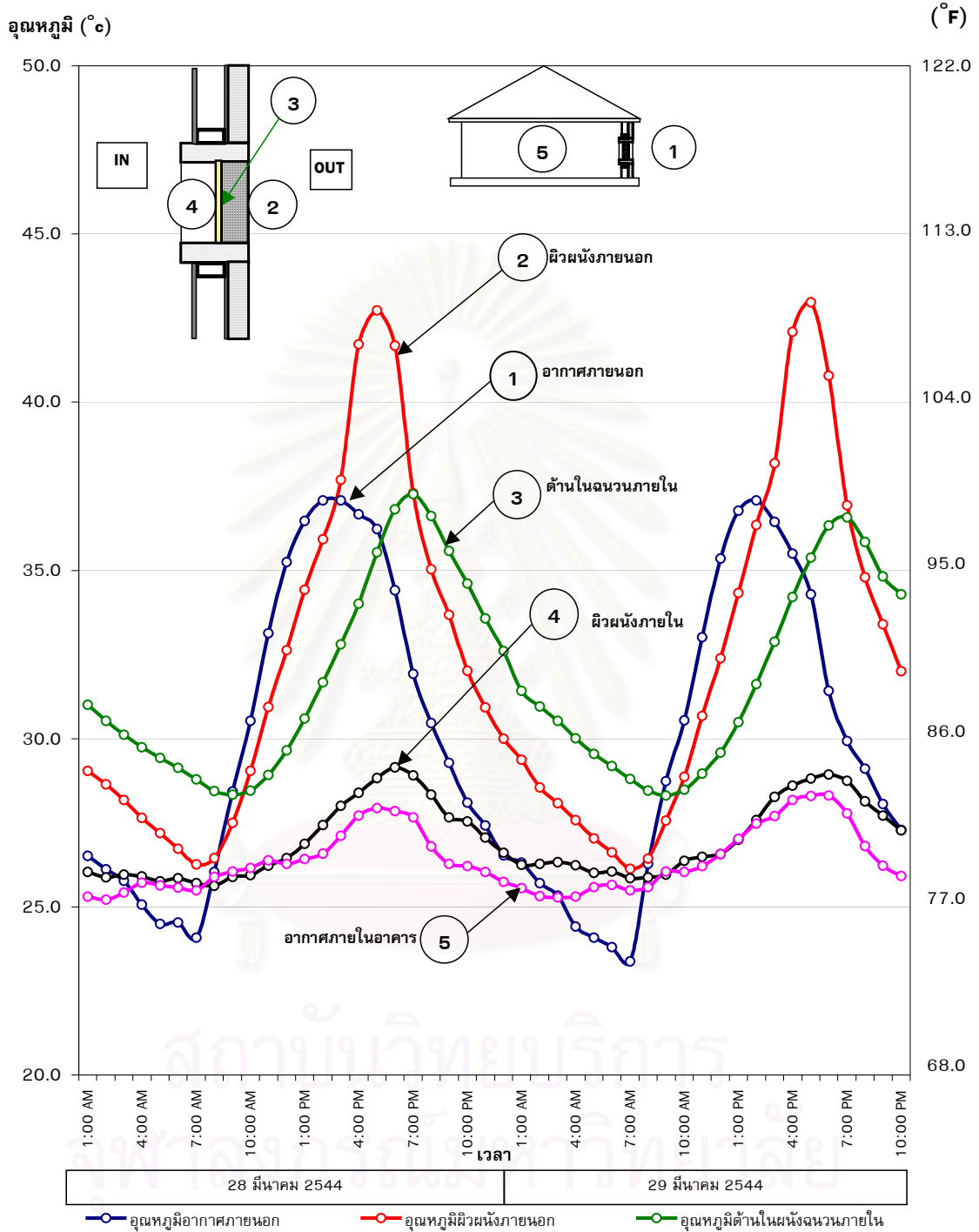
**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านนอกอาคาร**

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ด้านในจนวนกรณีติดตั้งจนวนที่ด้านนอกอาคาร

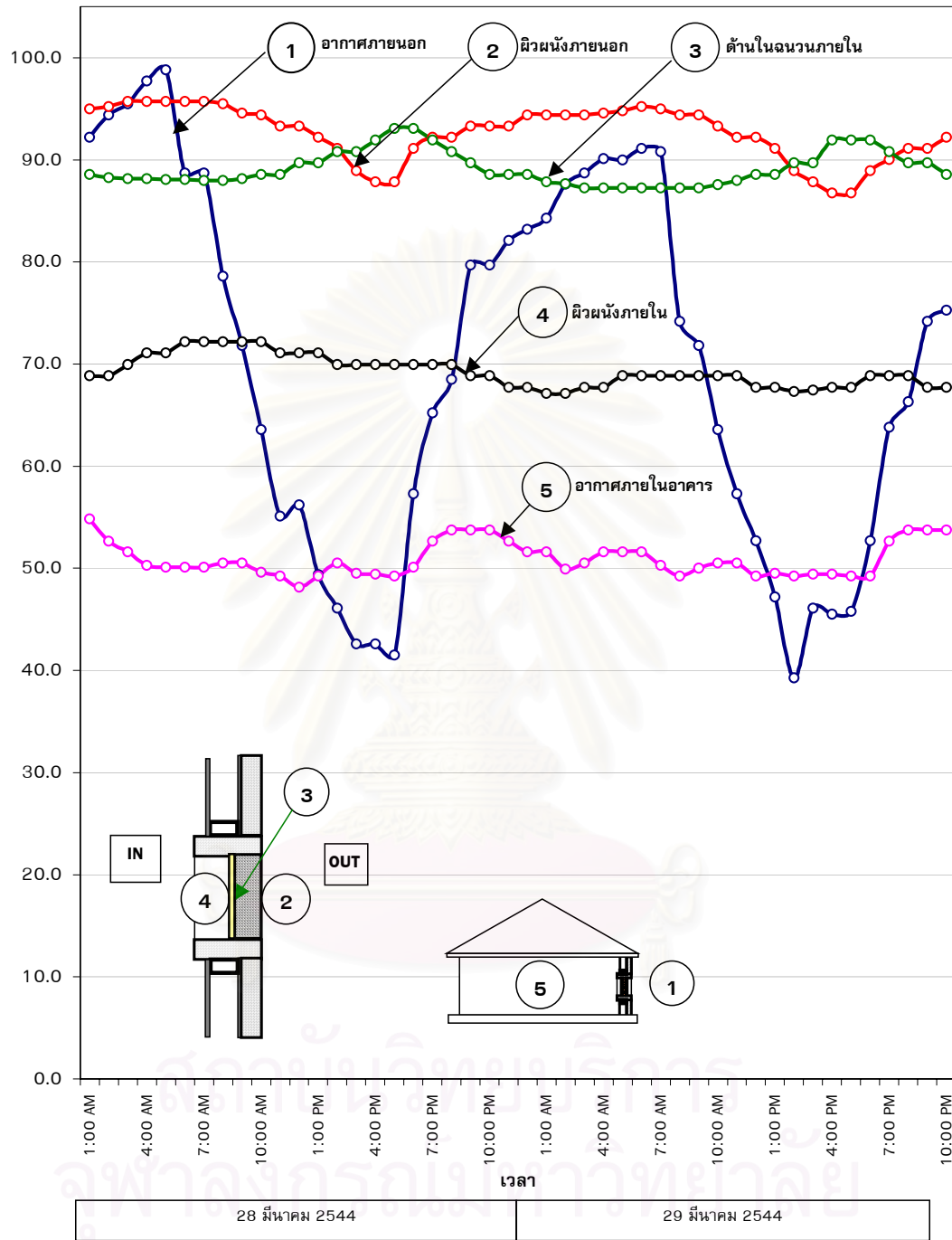
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอุณหภูมิ(Temperature)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านในอาคาร**

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544

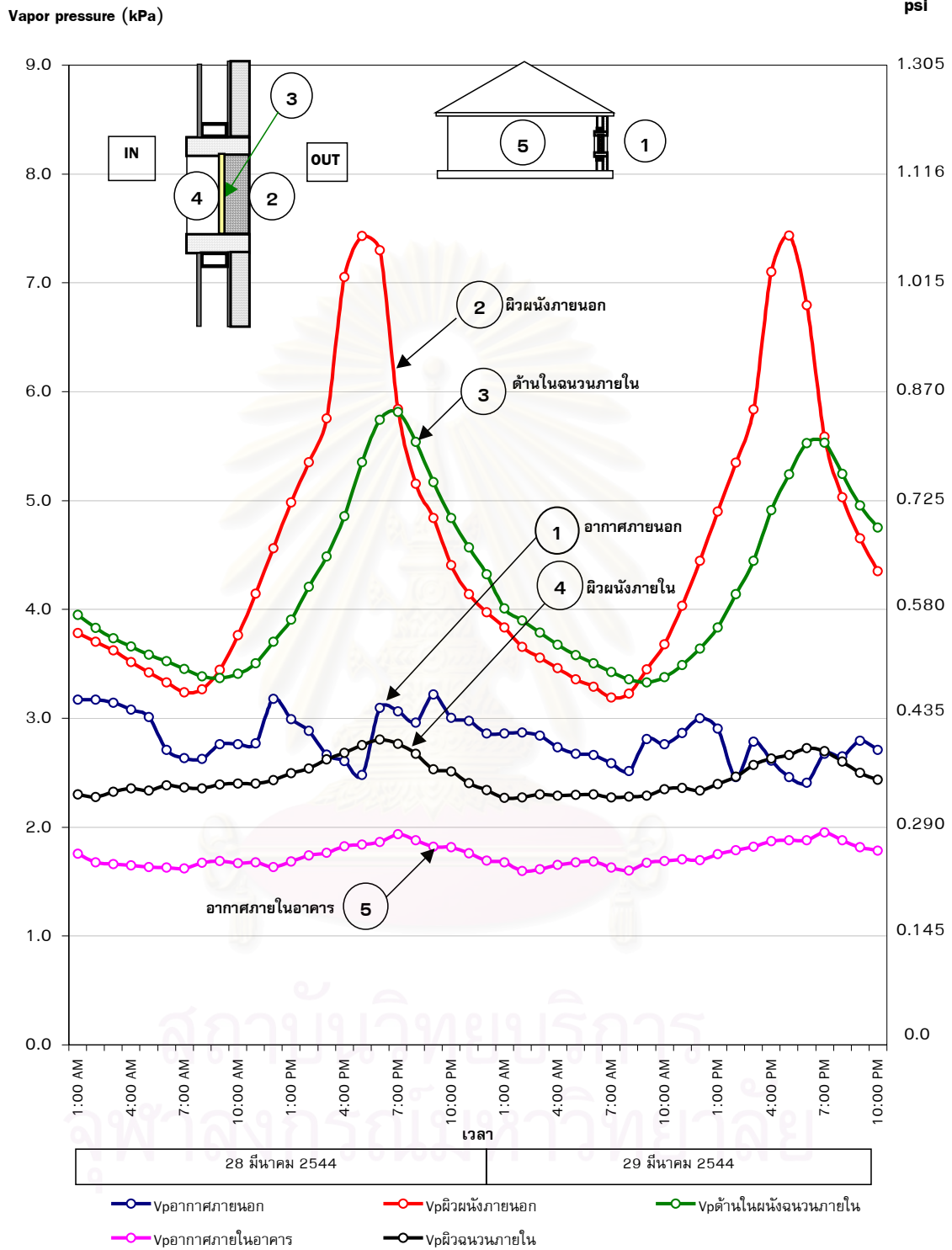
Relative humidity (%Rh)



—○— %Rhอากาศภายนอก
 —○— %Rhผิวผนังภายนอก
 —○— %Rhด้านในผนังฉนวนภายใน
 —○— %Rhผิวฉนวนภายใน
 —○— %Rhอากาศภายในอาคาร

**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านในอาคาร**

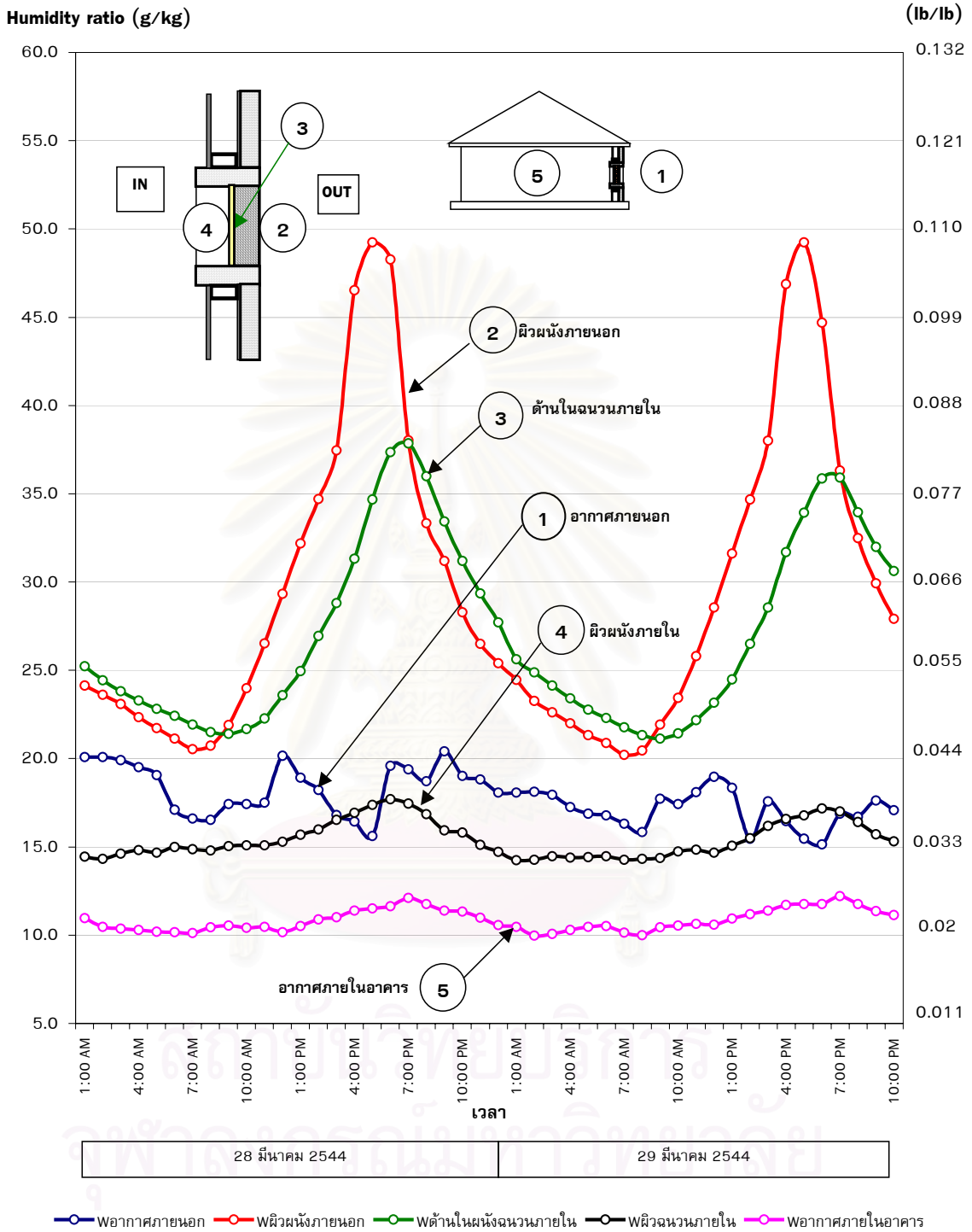
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านในอาคาร

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544

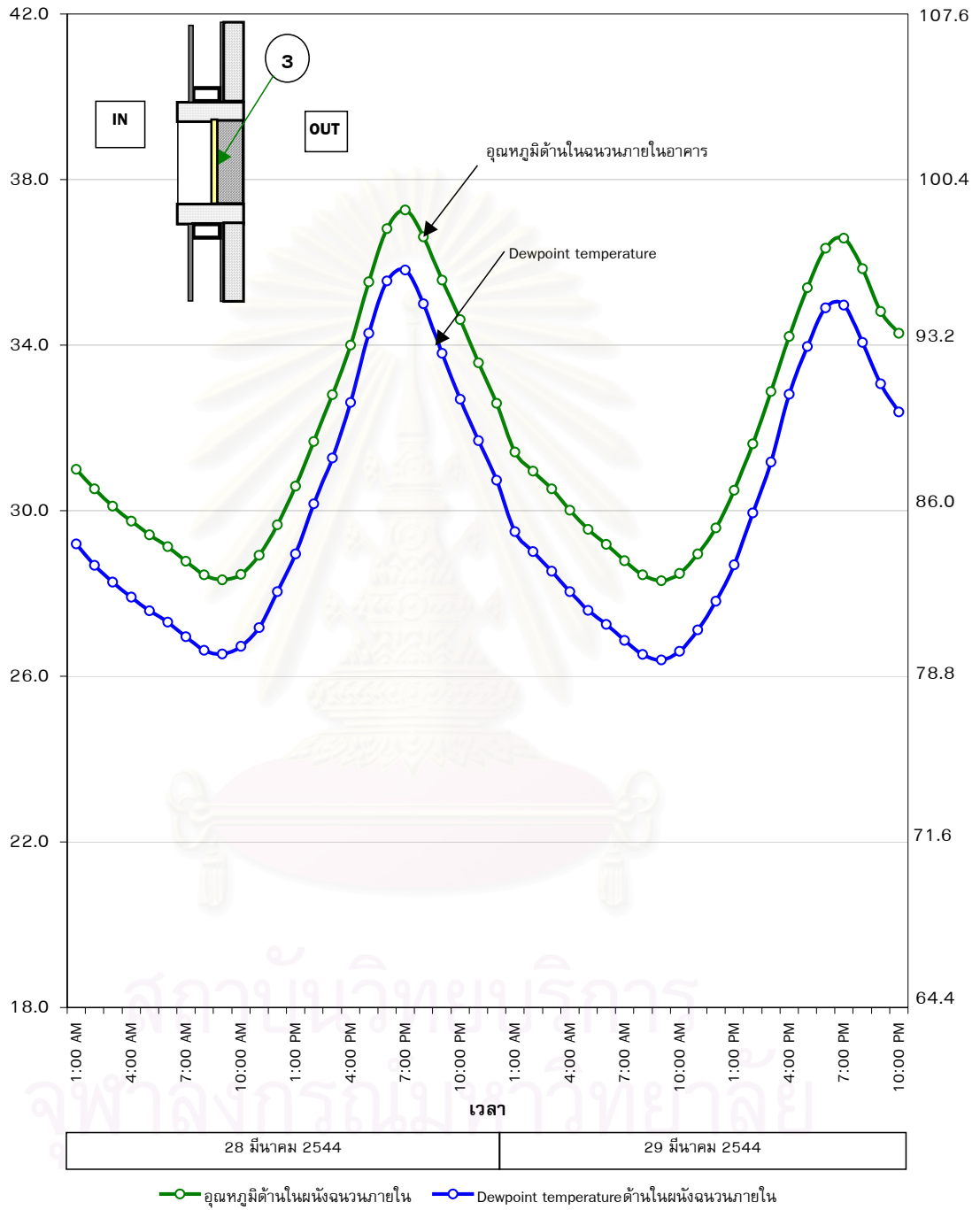


**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น(Humidity ratio)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านในอาคาร**

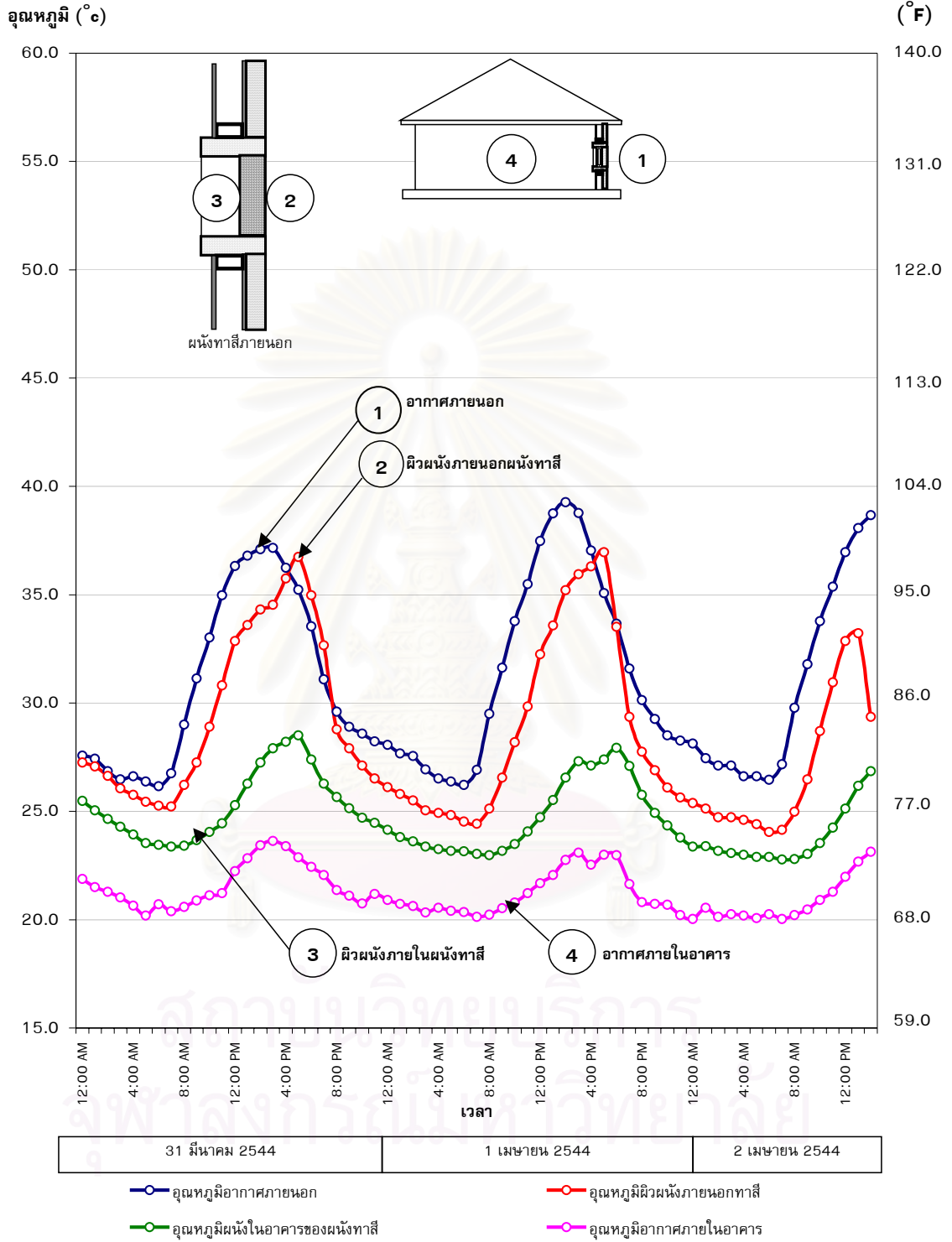
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544

อุณหภูมิ (°C)

(°F)

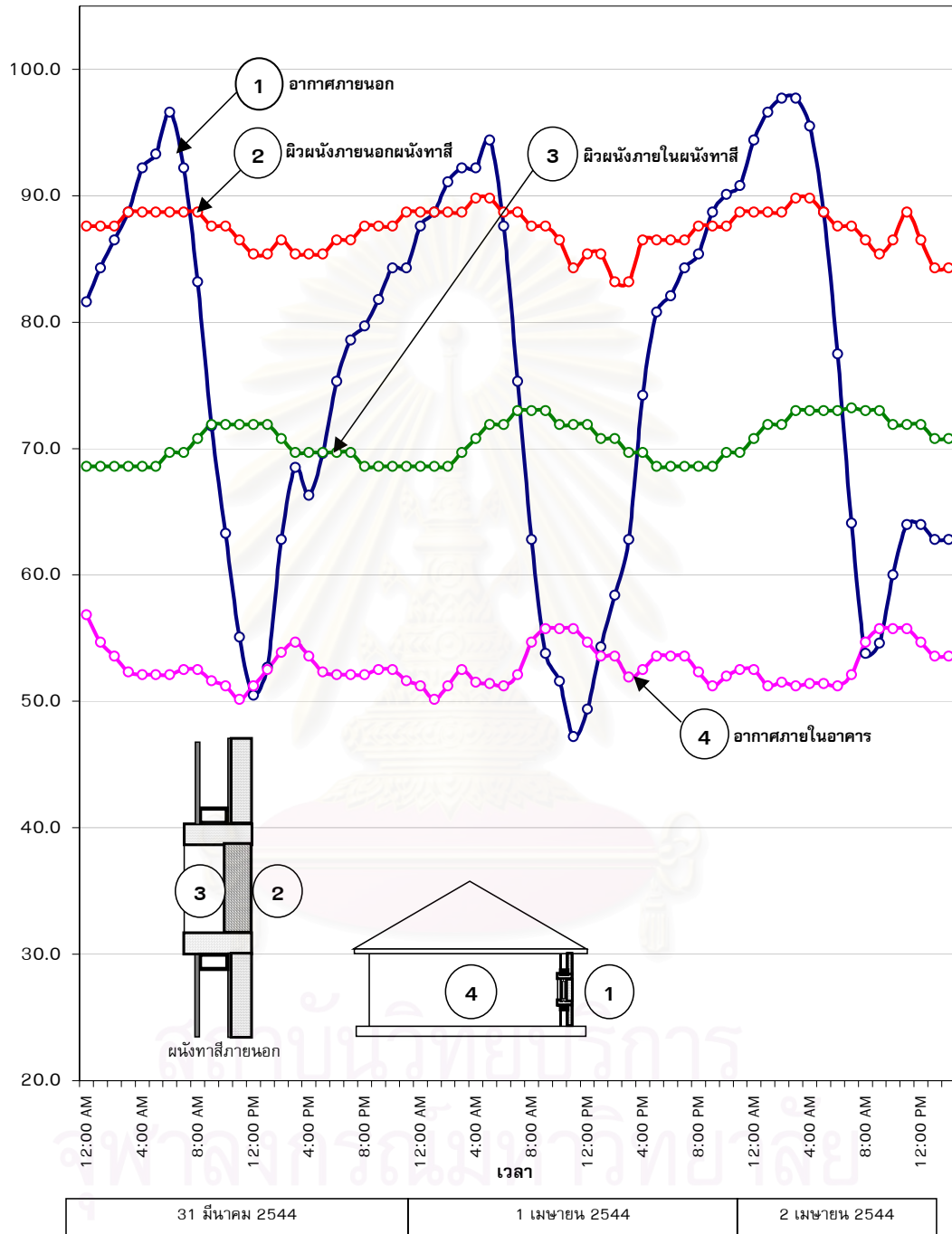


แผนภูมิแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint temperature) ด้านในฉนวนกรณีติดตั้งฉนวนที่ด้านในอาคาร
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 28-29 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิแสดงอุณหภูมิ(Temperature)ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้วกรณีทาสีผนังด้านนอก
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544

Relative humidity (%Rh)

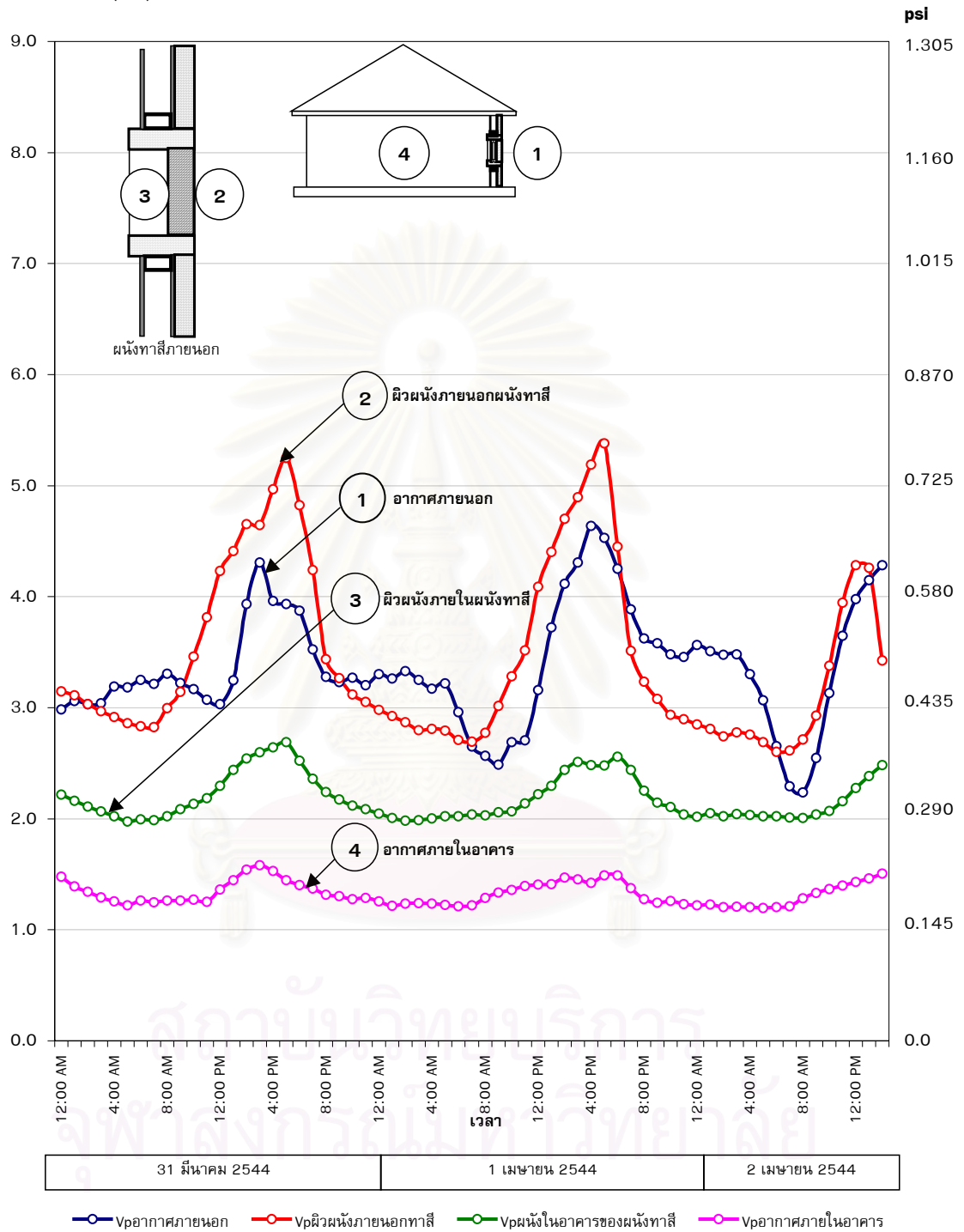


แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

กรณีทาสีผนังด้านนอก

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544

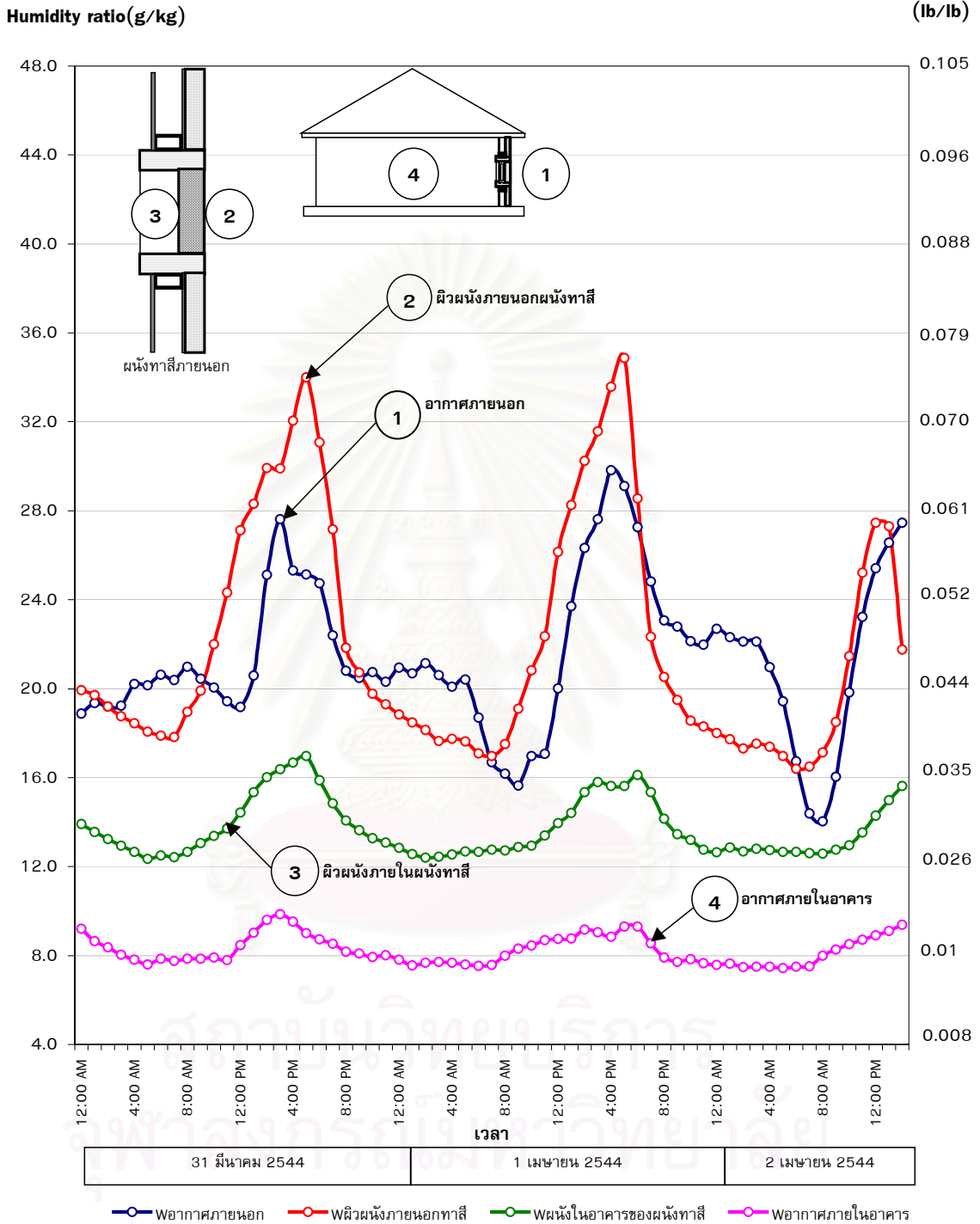
Vapor pressure (kPa)



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

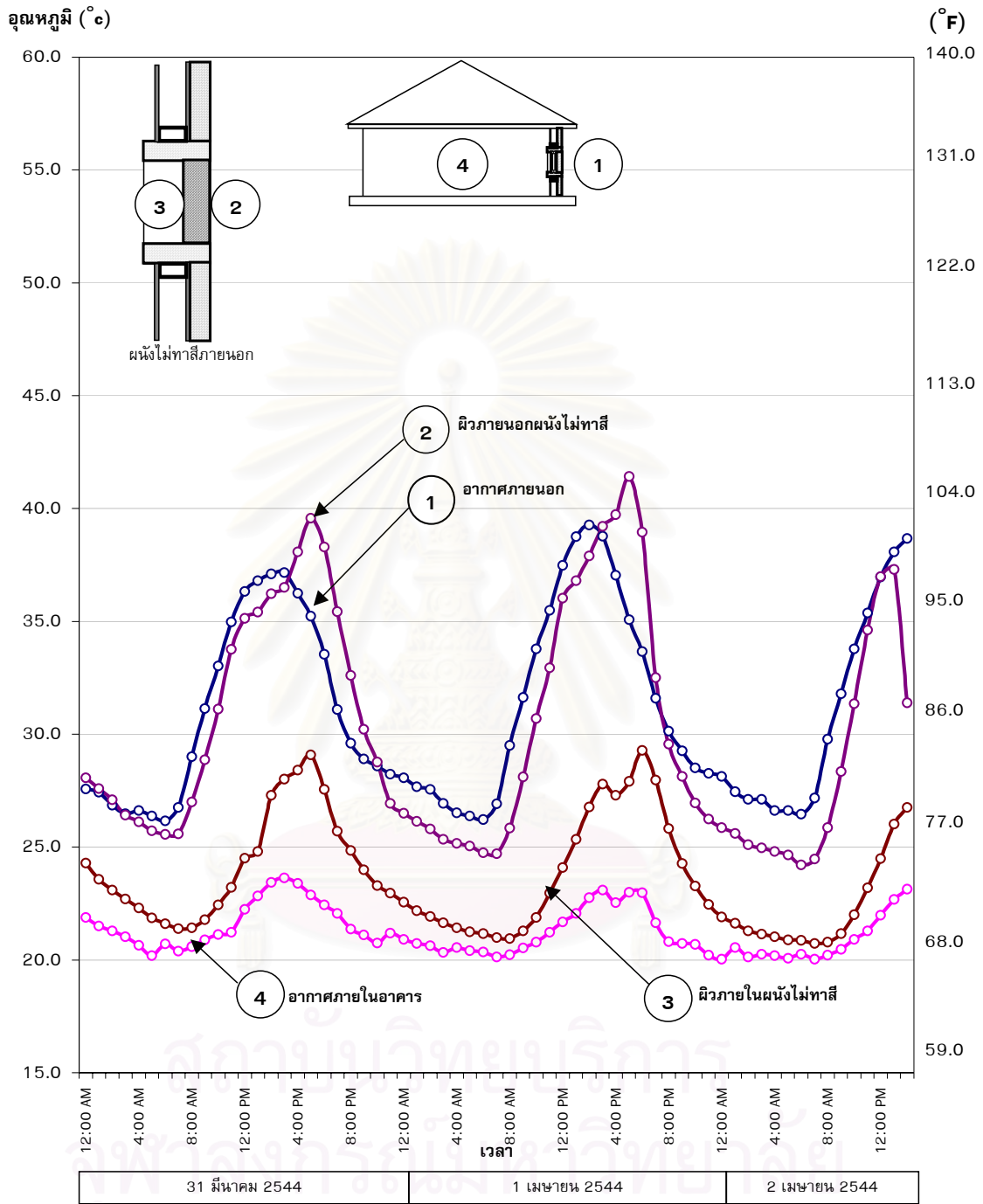
กรณีทาสีผนังด้านนอก

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544



**แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีทาสีผนังด้านนอก**

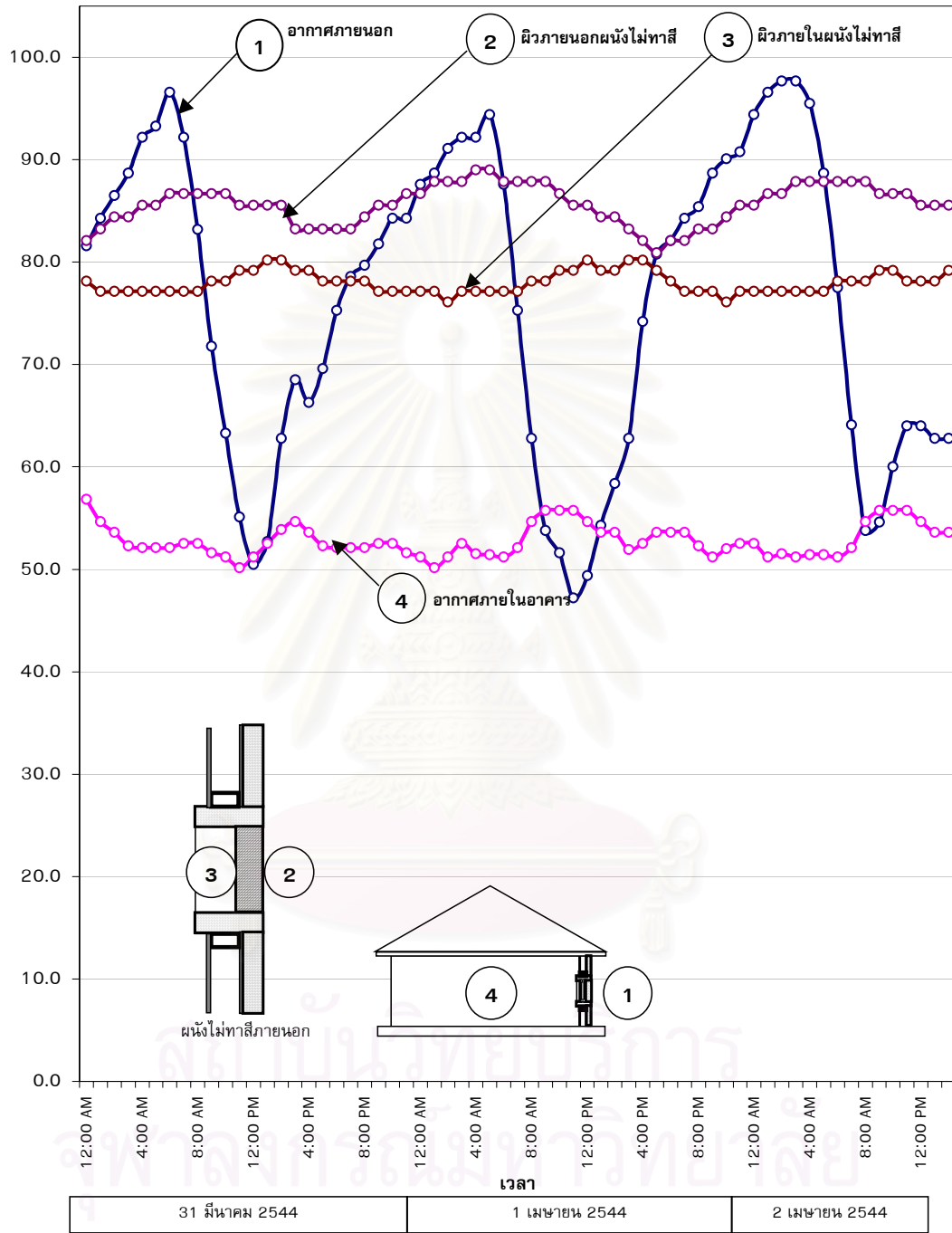
ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544



**แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิ(Temperature)ระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีไม้ทาสีผนังด้านนอก**

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544

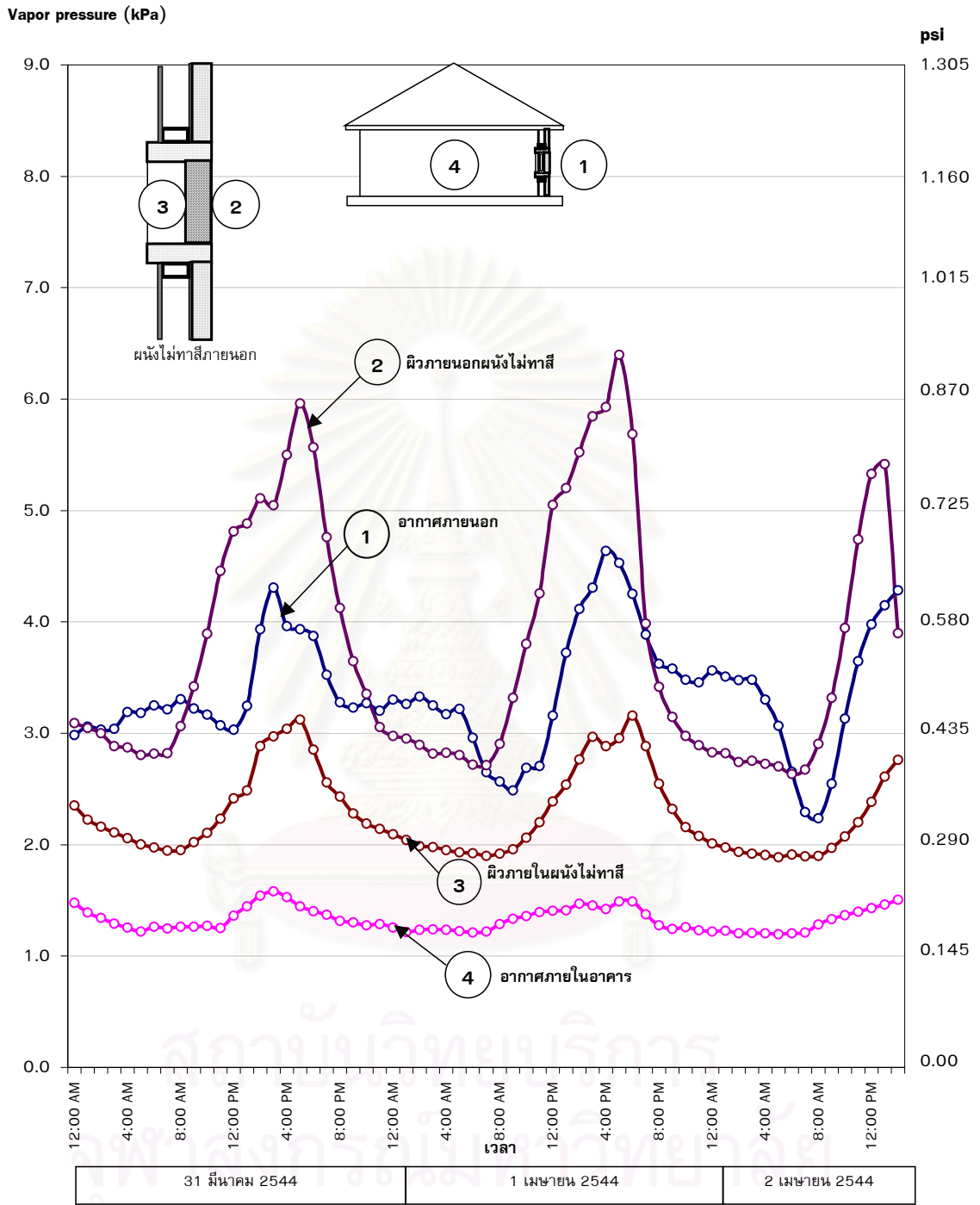
Relative humidity (%Rh)



แผนภูมิแสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ (Relative humidity) ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว

กรณีไม่ทาสีผนังด้านนอก

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544



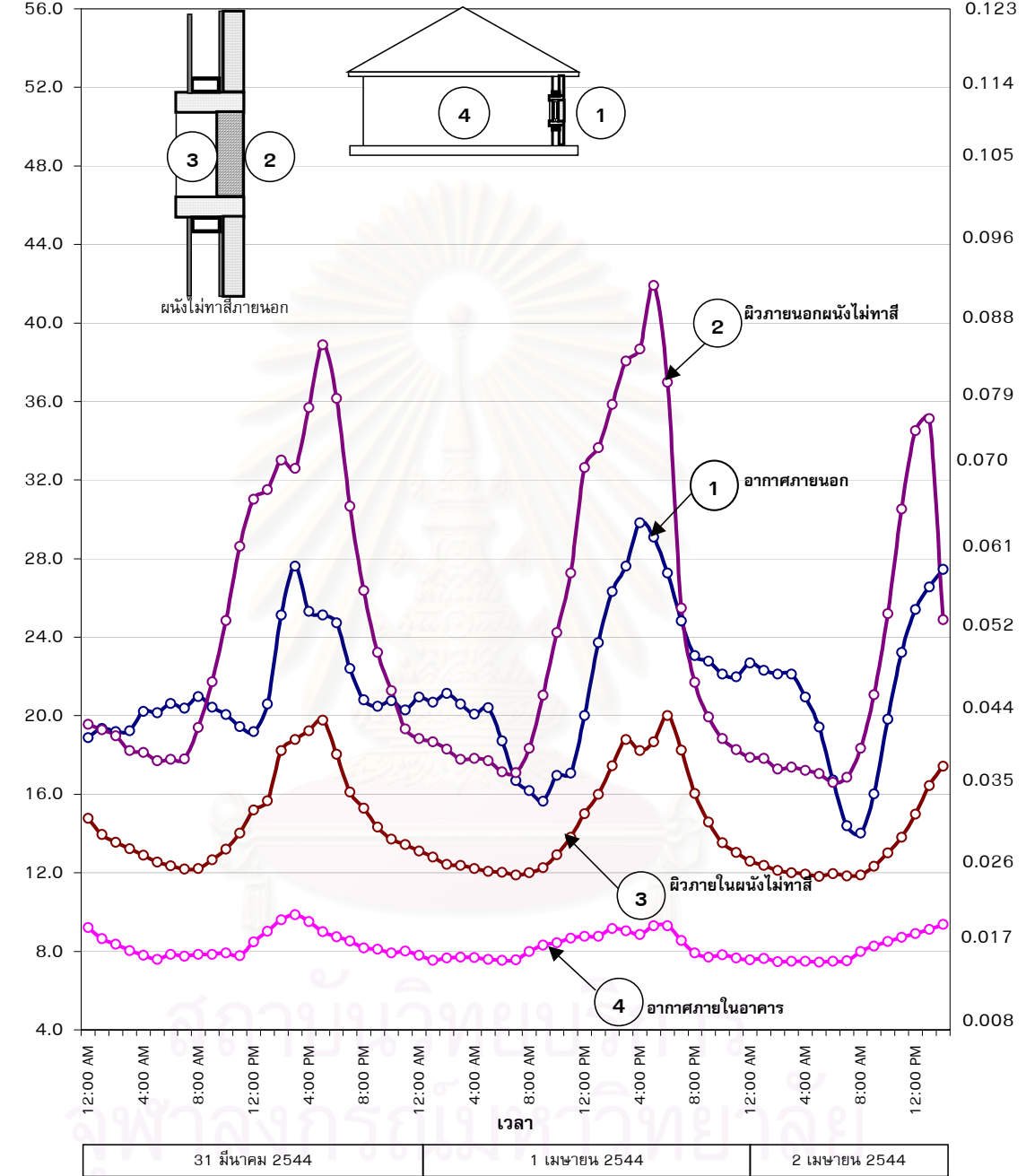
**แผนภูมิที่แสดงพฤติกรรมความดันไอน้ำ(Vapor pressure)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว
กรณีไม่ทาสีผนังด้านนอก**

ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544

Humidity ratio

(g/kg)

(lb/lb)



○ - อากาศภายนอก
 ○ - ผิวผนังภายนอกไม่ทาสี
 ○ - ผิวผนังภายในผนังไม่ทาสี
 ○ - อากาศภายในอาคาร

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมอัตราส่วนความชื้น(Humidity ratio)ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา 4 ชั้น
กรณีทาสีไม่ทาสีผนังด้านนอก
 ในสภาวะจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศ ด้านทิศตะวันตก วันที่ 31 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ.2544

ประวัติผู้วิจัย

สุวิชา เบญจพร เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2518 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปี พ.ศ. 2540 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย