

การจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัย ในเขตร้อน-ชื้น

Numerical Simulation of Moisture Transfer Behaviors in Residential Walls in Hot and Humid Region

ดารณี จารีมิตร

Daranee Jareemit

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand

E-mail: jdaranee@gmail.com

Received 2/3/2018

Accepted 17/10/2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินพฤติกรรมเคลื่อนที่ของความชื้นและการสะสมของความชื้นในระบบโครงสร้างผนังของอาคารบ้านพักอาศัยทั้งหมด 18 กรณีศึกษา การเคลื่อนที่ของความชื้นในผนังใช้การจำลองโดยโปรแกรมคำนวณการเคลื่อนที่ของความชื้นแบบ 2 ทิศทาง ผลจากการศึกษา พบว่า การสะสมความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัยได้รับอิทธิพลทั้งจากความชื้นจากดินและความชื้นจากสภาพอากาศภายนอก ปริมาณการสะสมความชื้นในวัสดุมีค่าแตกต่างกันไปตามความสูงของผนังโดยความชื้นจากดินมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นในวัสดุที่ระดับความสูงต่ำกว่า 12.5 เซนติเมตร และปริมาณความชื้นมีค่าลดลงที่ความสูงมากขึ้น วัสดุฉนวนผิวภายนอกมีช่วงการกระจายค่าสูง-ต่ำของปริมาณความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุก่อนข้างกว้างเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศภายนอก อาคารที่มีระบบคานคอดินฝังในดินมีปัญหาความชื้นในผนังอาคารมากที่สุดและผนังที่ใช้วัสดุก่อนคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มพบปัญหาความชื้นในผนังมากกว่าวัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อก ผลจากการตรวจสอบสามารถช่วยให้ผู้ออกแบบและผู้สร้างบ้านเข้าใจถึงพฤติกรรมการสะสมความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัยในเขตร้อน-ชื้น เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้วัสดุก่อ รวมถึงวิธีการก่อสร้างผนังที่เหมาะสมกับเพื่อป้องกันความเสียหายแก่ผนังอาคารบ้านพักอาศัย

คำสำคัญ

การเคลื่อนที่ของความชื้น

ระบบการก่อสร้างผนัง

ภูมิอากาศร้อน-ชื้น

การคำนวณเชิงอุณหภูมิจากความชื้นแบบ 2 ทิศทาง

บ้านพักอาศัย

Abstract

This paper evaluates moisture transfer behaviors and its accumulation in eighteen wall assemblies of Thai detached houses via using 2D numerical hygrothermal simulation software. It is found that moisture accumulation in wall assemblies is caused by capillary actions of ground water and outdoor weather condition. The moisture accumulation within the walls varies depending on the wall height. The moisture accumulation below 12.5 centimeters wall height is affected by ground water and its effect gradually reduces with distance from the ground. The moisture accumulation in external wall is influenced by outdoor weather condition, which results in large moisture distribution in external plastering material. The wall systems with two side of grade beam attached the soil potentially have the highest moisture content. Autoclaved aerated concrete-block wall tends to have higher moisture accumulation than those of the masonry and concrete-block walls. These investigations can give Architects and engineers understanding how moisture behaves in residential walls in hot and humid climates. They could properly select the wall materials as well as construction systems to avoid moisture problems in their home.

Keywords

Moisture Transfer

Wall Construction System

Hot and Humid Climate

2D Numerical Hygrothermal Analysis

Residential Building

1. ที่มา

บ้านพักอาศัยเป็นสิ่งแวดล้อมประเภทหนึ่งที่มนุษย์ใช้เพื่ออยู่อาศัยและป้องกันภัย เปลือกอาคารจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยป้องกันและสร้างความสบายให้ผู้อยู่อาศัยจากสภาพอากาศภายนอกที่ร้อนและชื้น จาก การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกทำให้อุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้น การใช้ระบบปรับอากาศเพื่อสร้างความสบายในอาคารพักอาศัยมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การออกแบบกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับสถาปนิก การเลือกใช้วัสดุที่เป็นฉนวนหรือการเพิ่มความหนาของผนังเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้ามาในตัวอาคารอาจส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนในชั้นผนังอาคารและมีสถานะที่เอื้อให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ (Sjoberg, 2009) จากสภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน อาคารหลายแห่งในประเทศไทยที่มีสภาพอากาศแบบร้อน-ชื้น และฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี (Puraprom, 2016) มักพบปัญหาราบสีดำของตะไคร่น้ำและเชื้อราบนผนังอาคาร อาคารหลายแห่งพบปัญหาสีทาหลุดร่อน และผนังบวมซึ่งมีสาเหตุจากน้ำใต้ดิน (Proskiw, 2007; Bhattacharjee, 2012; Schoch & Kreft, 2011; Koč et al., 2017; Zhang et al., 2016) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า จำนวนการศึกษาปัญหาความชื้นในผนังอาคารของประเทศไทยมีน้อยมาก (Soodjing & Chaiyakul, 2012, pp. 52-61) เมื่อเทียบกับปริมาณงานศึกษาวิจัยจากต่างประเทศ อีกทั้งการออกแบบระบบโครงสร้างผนังอาคารในประเทศไทยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องการเคลื่อนที่ของความชื้นผ่านผนังอาคารแต่จะเน้นไปที่การออกแบบผนังอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของความชื้นที่ผนังอาคารเพื่อสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดข้อมูลแก่ผู้ออกแบบให้มีความเข้าใจในพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของความชื้นและสาเหตุของการสะสมของความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัย และใช้ประกอบการออกแบบระบบโครงสร้างผนังที่ลดปัญหาการสะสมความชื้นในอาคารพักอาศัยสำหรับเขตร้อนชื้น

2. รูปแบบการเคลื่อนที่ของความชื้น

งานวิจัยในต่างประเทศได้พยายามศึกษาปัญหาและที่มาของความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัยและอาคารโบราณสถาน โดยระบุที่มาของปัญหาความชื้นใน

อาคารได้ 4 สาเหตุ ได้แก่ 1) การรั่วซึมของน้ำฝนผ่านรอยต่อของอาคาร (rain leak) 2) การเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) 3) การดึงความชื้นจากใต้ดินผ่านความพรุนของวัสดุผนังอาคาร (capillary suction) และ 4) การแพร่ของความชื้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันอากาศภายในและภายนอกผนังอาคาร (diffusion) (Trechsel & Bomberg, 2009; ASHRAE, 2009)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนทำให้เกิดความเสียหายของอาคารมากที่สุด และปัญหานี้มักเกิดขึ้นบริเวณขอบประตูและหน้าต่างและอาคารที่มีหลังคาที่มีความชันมาก (Trechsel, Achenbach & Conklin, 1987; Moore, Spielvogel & Griffin, 1980; ASHRAE, 2008) การเคลื่อนที่ของกุ่มน้ำฝนผ่านวัสดุได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วง (bulb flow) นอกจากนี้ความแตกต่างของความดันอากาศเป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่สร้างแรงดันให้กุ่มน้ำภายนอกแพร่เข้ามาในวัสดุอาคารเช่นกัน (Lstiburek, 1987)

นอกจากปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนแล้ว ปัญหาความชื้นในผนังยังเกิดจากการที่วัสดุผนังดูดความชื้นจากดินขึ้นมาสะสมไว้ในเนื้อวัสดุโดยแรงดึงดูด (capillary action) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำที่ต้านแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านวัสดุที่มีรูพรุน (porous material) ความชื้นในผนังมีการเคลื่อนที่จากระดับพื้นดินแพร่ไปในพื้นผิวที่แห้งกว่าในแนวระนาบและเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งไปยังผนังที่อยู่สูงกว่า ตำแหน่งที่พบความชื้นจากดินมักแสดงรอยคราบน้ำที่บริเวณส่วนล่างของผนังที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0.5-1.5 เมตร และในบางกรณีระดับความสูงของการสะสมความชื้นในผนังอาจมีค่าสูงถึง 4-6 เมตร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของผนังและคุณสมบัติของวัสดุผนัง (Gobert & Oxley, 2013, Halim & Halim, 2010, pp. 171-182; Ahmad & Rahman, 2010, pp. 93-113; Riley & Cotgrave, 2005; Hall & Hoff, 2007, pp. 1871-1884; Howell, 2008; Sandroilini & Franzoni, 2014, pp. 161-172; Massari & Massari, 1985, pp. 2-30; Rirsch, MacMullen & Zhang, 2011, pp. 2845-2850) ปัญหาความชื้นจากใต้ดินมักพบในอาคารโบราณสถานและอาคารเก่าที่สร้างมานาน อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นในอาคารพักอาศัยที่ก่อสร้างใหม่ด้วยโดยเฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากหรืออยู่ใกล้กับแหล่งน้ำต่าง ๆ (Rirsch & Zhang, 2010, pp. 1815-1820; Agyekum, Ayarkwa & Koranteng, 2014, pp. 1-13)

การเกิดการควบแน่นของไอน้ำเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของปัญหาความชื้นในผนังอาคาร ปัญหาการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (condensation) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก ซึ่งไอน้ำที่อยู่ในอากาศมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point) ทำให้อากาศชื้นเกิดการอิ่มตัวและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นหยดน้ำ ปัญหานี้มักเกิดขึ้นบริเวณเปลือกอาคารโดยเฉพาะบริเวณที่วัสดุต่างชนิดกันอยู่ติดกัน สำหรับอาคารในสภาพอากาศเขตร้อน-ชื้น การควบแน่นเป็นหยดน้ำมักเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่เย็นและมักพบบ่อยครั้งในอาคารที่มีความชื้นในอากาศสูงและอาคารที่มีการระบายอากาศภายในอาคารไม่เพียงพอ (Lucas, Adelard, Garde & Boyer, 2002, 345-355; Merrill & TenWolde, 1989, pp. 405-414)

นอกจากนี้ ลักษณะของปัญหาความชื้นในผนังอาจเกิดจากประสิทธิภาพในการแพร่ของความชื้นในวัสดุ ไอน้ำจะมีการแพร่จากพื้นที่ที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังพื้นที่ที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า (diffusion) ความชื้นที่แพร่ออกจากวัสดุโครงสร้างอาคารมักเกิดในช่วง 1-3 ปีแรกของการก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุโครงสร้างอาคารยังมีการคายน้ำออกสู่อากาศภายนอกอยู่ (ASHRAE, 2008; Straube, 2002, pp. 15-19) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาความชื้นมักเกิดจากการติดตั้งวัสดุหุ้มความชื้นที่ผนังภายนอกซึ่งทำให้ความชื้นในวัสดุไม่สามารถแพร่ออกไปได้ และวัสดุเกิดการกักเก็บความชื้นในโพรงผนังทำให้เกิดความเสียหาย (Merrill & TenWolde, 1989, pp. 405-414; Lstiburek, 1987)

ปัญหาความชื้นในผนังอาคารพบได้ทั่วไปของอาคารในประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศแบบร้อน-ชื้น ที่ผ่านมามีการศึกษาปัญหาความชื้นส่วนใหญ่เน้นศึกษากับอาคารโบราณสถาน สำหรับการศึกษาในอาคารบ้านพักอาศัยมีจำนวนที่ไม่มากนักและเป็นการศึกษากับระบบโครงสร้างผนังเฉพาะกรณีไม่ครอบคลุมระบบการก่อสร้างของผนังที่มีอยู่ในปัจจุบัน การศึกษาวิจัยเรื่องความชื้นในอาคารบ้านพักอาศัยจึงเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากบ้านพักอาศัยเป็นสถานที่พำนักและอยู่อาศัย ความเสียหายที่เกิดขึ้นที่วัสดุก่อสร้างรวมทั้งโครงสร้างอาคารย่อมส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการก่อสร้างผนังที่มีผลต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการสะสมความชื้นในผนังบ้านพักอาศัย รูปแบบของการก่อสร้างประกอบด้วย การเลือกใช้วัสดุก่อ การวางตำแหน่งคานคอดิน และรูปแบบการเชื่อมต่อผนังและคานของระบบโครงสร้างผนังก่อขึ้น

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของความชื้นในระบบโครงสร้างผนังอาคารรูปแบบต่างๆ ของอาคารบ้านพักอาศัย การศึกษาการเคลื่อนที่และการสะสมของความชื้นผ่านการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การกำหนดตัวแปรศึกษา รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ตัวแปรที่ศึกษา

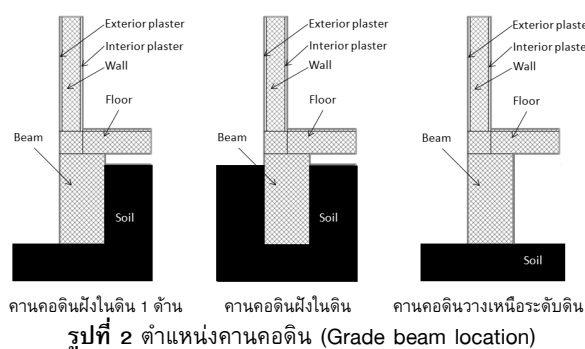
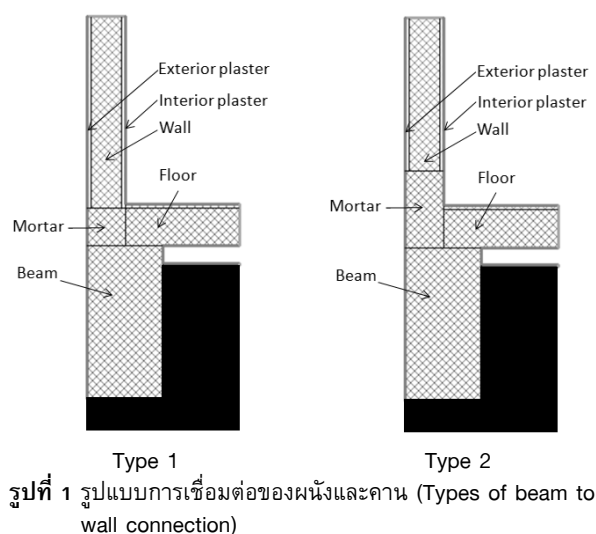
งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของการออกแบบระบบการก่อสร้างผนังอาคารที่ส่งผลพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของความชื้นและการสะสมความชื้นในผนังอาคาร โดยตัวแปรที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ตำแหน่งของการวางระบบคานคอดิน รูปแบบการเชื่อมต่อของผนังและคาน ประเภทของวัสดุก่อผนัง จากตัวแปรที่ศึกษาสามารถกำหนดรูปแบบของผนังที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 18 กรณีศึกษา ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 รูปแบบการก่อสร้างระบบพื้นและผนังของบ้านพักอาศัยในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ระบบการก่อสร้างแบบเสาคาน การเชื่อมต่อของผนังและคานที่พบในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยมี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การก่ออิฐระดับเดียวกับพื้น และ 2) การก่ออิฐสูงกว่าระดับพื้น (แสดงดังรูปที่ 1) ระยะความสูงของคานคอดินมี 3 แบบ ได้แก่ 1) ตำแหน่งของคานคอดินฝังในดินหรือมีบางส่วนของคานอยู่เหนือระดับดิน 2) ตำแหน่งของคานคอดินฝังในดิน 1 ด้าน โดยด้านในของคานสัมผัสดินส่วนด้านนอกของคานสัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอก และ 3) ตำแหน่งคานคอดินวางอยู่เหนือระดับดินและมีช่องว่างใต้ระบบโครงสร้างพื้น (crawl space) (แสดงดังรูปที่ 2) สำหรับ งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาวัสดุอิฐมวลเบา คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นวัสดุก่อที่พบโดยทั่วไปในการก่อสร้างผนังของอาคารบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

3.2 เครื่องมือที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของความชื้น

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมจำลองคอมพิวเตอร์ WUFI 2D เป็นเครื่องมือจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในตระกูลซอฟต์แวร์ WUFI® พัฒนาโดย Fraunhofer Institute for Building Physics (2017) WUFI 2D ใช้หลักการคำนวณที่จำลองการถ่ายเทความชื้นระหว่างชั้นวัสดุอาคาร การแพร่ของไอน้ำระหว่างภายนอกและภายในอาคารที่ผ่านกรอบอาคาร ค่าความร้อนแฝงที่

ตารางที่ 1 รูปแบบระบบโครงสร้างผนังและวัสดุของกรณีศึกษา 18 รูปแบบ (Combinations of wall assembly and materials for 18 case studies)

Case	Beam to wall connection	Grade beam location	Wall material
1	Type 1	Single side attached soil	Brick
2	Type 1	Single side attached soil	ACC concrete block
3	Type 1	Single side attached soil	Concrete block
4	Type 1	Two side attached soil	Brick
5	Type 1	Two side attached soil	ACC concrete block
6	Type 1	Two side attached soil	Concrete block
7	Type 1	On soil	Brick
8	Type 1	On soil	ACC concrete block
9	Type 1	On soil	Concrete block
10	Type 2	Single side attached soil	Brick
11	Type 2	Single side attached soil	ACC concrete block
12	Type 2	Single side attached soil	Concrete block
13	Type 2	Two side attached soil	Brick
14	Type 2	Two side attached soil	ACC concrete block
15	Type 2	Two side attached soil	Concrete block
16	Type 2	On soil	Brick
17	Type 2	On soil	ACC concrete block
18	Type 2	On soil	Concrete block



มีผลมาจากการดูดซับและคายความชื้นซึ่งส่งผลต่อความสมดุลความชื้นและความร้อนของอากาศภายในอาคาร (Steeman, Janssens, Steeman, Van Belleghem & De Paepe, 2010, 865-877; Tariku, Kumaran & Fazio, 2010, pp. 3111-3120) หลักการคำนวณความสมดุลความร้อนและความชื้นในวัสดุของโปรแกรมใช้สมการที่ 1 และ สมการที่ 2 โดยทั้ง 2 สมการใช้คำนวณค่าการเคลื่อนที่ของความชื้นและความร้อนในวัสดุในสถานะไม่คงที่ ตัวแปรฝั่งซ้ายของสมการแสดงค่า storage term ซึ่งประกอบด้วย ค่าความจุความร้อนของวัสดุแห้ง และ ความจุความร้อนของความชื้นที่ปรากฏในเนื้อวัสดุ สำหรับตัวแปรด้านขวาของสมการคือค่าที่แสดงการเคลื่อนที่ของความชื้นและความร้อนในรูปแบบของการนำความร้อน การแพร่ของไอน้ำ การเคลื่อนที่ด้านแรงดึงดูดผ่านรูพรุนของวัสดุ และแรงดันจากความแตกต่างของความดันไอ การคำนวณของโปรแกรมจะแบ่งขนาดของ cell ที่ใช้คำนวณการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในวัสดุผนังออกเป็น ส่วน ๆ โดยขนาดของ cell แต่ละส่วนของผนังจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ขนาดของ cell ในการคำนวณบริเวณรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด และวัสดุส่วนที่อยู่ติดกับภายนอกหรือภายในอาคารจะถูกแบ่งให้มีขนาดที่

ละเอียดกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่ความร้อนและความชื้นในวัสดุผนังมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ การจำลองพฤติกรรมการณ์ถ่ายเทความร้อนและความชื้นในวัสดุต้องการจำนวนรอบในการคำนวณ (Iterations) ที่เพียงพอเพื่อให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับ (Künzel, 1994)

$$\frac{\partial H}{\partial \vartheta} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) \quad (\text{สมการที่ 1})$$

$$\rho_w \frac{\partial H}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) (\text{สมการที่ 2})$$

D_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ (ตารางเมตรต่อวินาที)

H คือ ค่าเอนทัลปีของวัสดุอาคารที่มีความชื้น (จูลต่อลูกบาศก์เมตร)

h_v คือ ค่าการระเหยของน้ำ (จูลต่อกิโลกรัม)

P คือ ความดันไอน้ำ (ปาสคาล)

u คือ ปริมาณน้ำสะสม (ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร)

δ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำในอากาศ (กิโลกรัมต่อเมตรวินาที ปาสคาล)

ϑ คือ ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

λ คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่มีความชื้น (วัตต์ต่อเมตร เคลวิน)

μ คือ ค่าความต้านทานการแพร่ของไอน้ำในวัสดุแห้ง (ไม่มีหน่วย)

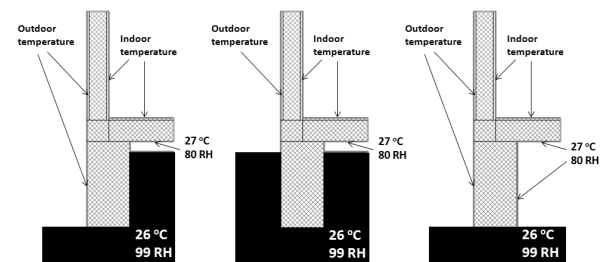
ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

φ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)

สำหรับการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม WUFI-2D ก่อนนำผลการจำลองไปวิเคราะห์สามารถทำได้ โดยการปรับค่าตั้งต้นที่กำหนดในหุ่นจำลอง หรือการปรับจำนวนและขนาด cell (fine grid) ในการคำนวณผล งานวิจัยที่ผ่านมา (Krus, 1996; Künzel, 1995) ได้ศึกษา และการเทียบเคียงผล พบว่า เครื่องมือดังกล่าวสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของความชื้นและคุณสมบัติเชิงความร้อนได้ใกล้เคียงกับผลจากการตรวจวัดภาคสนาม

รูปที่ 3 แสดงหุ่นจำลองของตำแหน่งคานคอดินทั้ง 3 รูปแบบ และการกำหนดค่าขอบเขตของสภาพแวดล้อม (boundary condition) บนพื้นผิวของหุ่นจำลอง การกำหนดค่าสภาพแวดล้อมที่ติดกับผนังภายนอกกำหนด

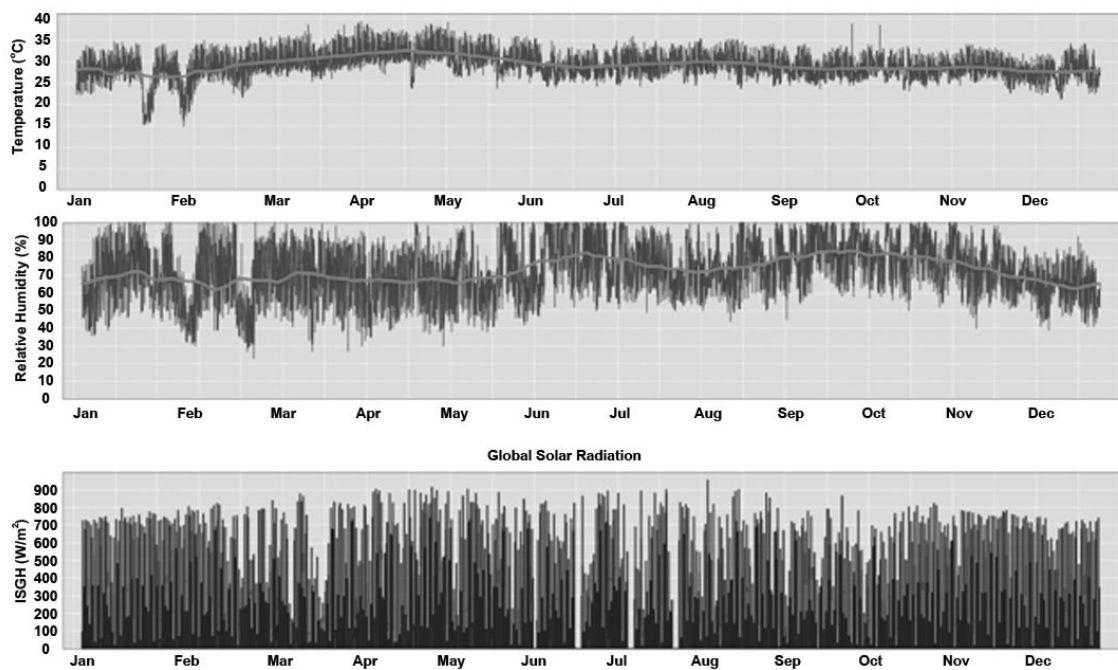
ให้ใช้ค่าสภาพอากาศรายปีของกรมอุตุนิยมวิทยา (Thai Meteorological Department, 2017) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 4 สำหรับค่าสภาพอากาศภายในห้อง ใช้ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในบ้านกรณีศึกษาเป็นระยะเวลา 7 วัน (แสดงในรูปที่ 5) ซึ่งข้อมูลชุดนี้ถูกใช้แทนค่าแสดงการใช้งานของบ้านตลอดทั้งปี สำหรับอุณหภูมิดินกำหนดให้มีความเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของดินมีความเท่ากับร้อยละ 99 ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (Fraunhofer Institute for Building Physics, 2017) โดยหุ่นจำลองกำหนดให้มีการปูแผ่นกันความชื้นที่ผิวดินเพื่อป้องกันความชื้นแพร่ขึ้นมาสู่พื้น ค่าอุณหภูมิอากาศของช่องว่างระหว่างพื้นกับดิน (crawl space) มีความเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศมีความเท่ากับร้อยละ 80 ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติทางความร้อนและความชื้นของวัสดุผนัง พื้น และคาน สำหรับการตั้งค่าในหุ่นจำลอง



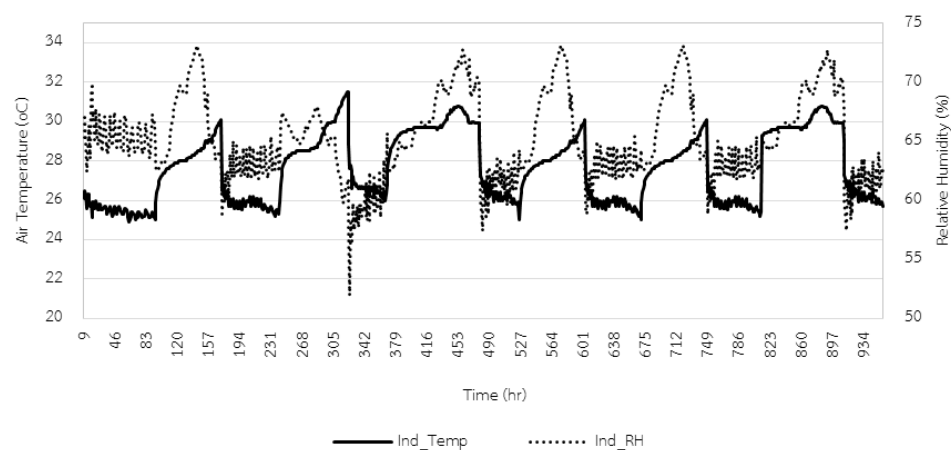
รูปที่ 3 การกำหนดค่าขอบเขตสภาพแวดล้อม (boundary condition) ในหุ่นจำลองผนังรูปแบบต่าง ๆ (Boundary condition for model setting)

3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของผลการจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองค่าอุณหภูมิที่พื้นผิวผนังภายในและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุกับค่าที่ได้จากการวัดสำรวจในบ้านกรณีศึกษา การเทียบเคียงผลใช้วิธี cross-validation (CV) โดยพิจารณาจากค่า r-square โดยค่า r ที่ยอมรับได้ควรมีค่ามากกว่า 0.80 การจำลองมีการปรับขนาด cell ที่ใช้คำนวณ 3 ระดับ ผลจากการเทียบเคียงข้อมูล พบว่าการตั้งค่าขนาดกริดเล็ก (fine grid) ให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดภาคสนามมากที่สุด โดยการคำนวณค่าอุณหภูมิมีค่า r เท่ากับ 0.90 และค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่า r เท่ากับ 0.77 ซึ่งค่อนข้างต่ำเนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งมีค่าแตกต่างจากข้อมูลสภาพ



รูปที่ 4 ค่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีดวงอาทิตย์ รายเดือนของปี 2017 (ดัดแปลงจากกรมอุตุนิยมวิทยา, 2017)
(Monthly air temperature, relative humidity, and solar radiation in 2017 modified from Thai Meteorological Department)



รูปที่ 5 ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง (ระยะเวลา 7 วัน) สำหรับการตั้งค่าในหุ่นจำลอง
(Hourly indoor air temperature and relative humidity collected for 7 days)

ตารางที่ 2 ค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนและความชื้นของวัสดุที่กำหนดในหุ่นจำลอง (WUFI 2D version 4.1) (Hygrothermal properties of material used as the input data)

	Material	Bulk density (kg/m)	Porosity (m ³ /m ³)	Specific heat capacity (J/kgK)	Thermal conductivity (W/mK)	Water vapor diffusion Resistance factor (-)
Beam	Concrete	2200	0.18	850	1.6	92
Floor	Concrete Floor	2200	0.18	850	1.6	248
	Laminated flooring	800	0.42	1600	0.15	2500
Wall	Cement lime Plaster	1900	0.24	850	0.8	19
	Brick	1935	0.217	800	0.495	137.8
	ACC concrete block	460	0.7912	840	0.119	18.58
	Concrete block	2315	0.1296	800	0.733	182.5
	Air layer 10 mm	1.3	0.999	1000	0.071	0.73
Soil	Vapor retarder (1 perm)	130	0.001	2300	1.3	3280

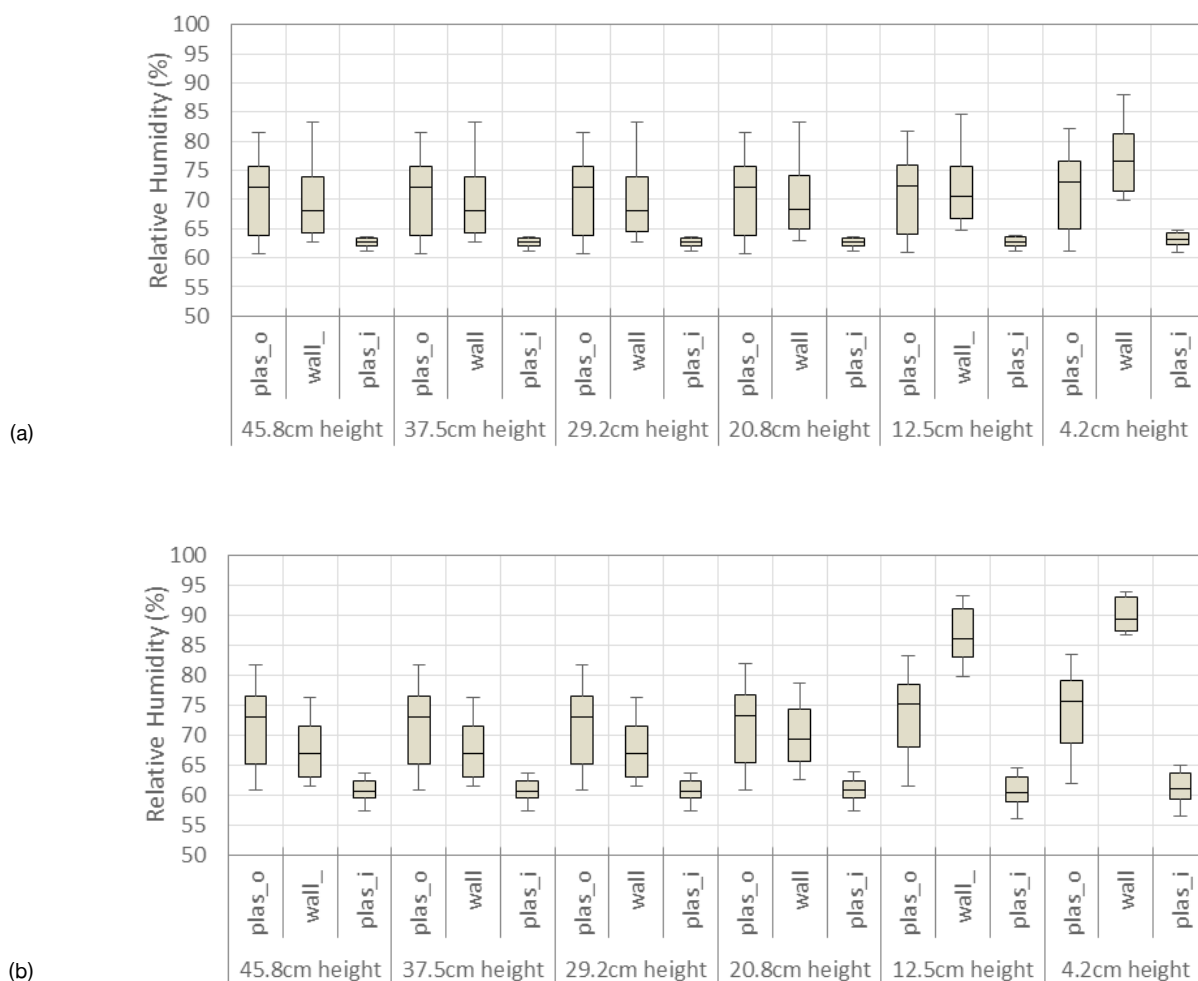
อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการจำลอง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้นำค่า convergence ที่ได้จากการจำลองมาพิจารณาด้วย และผลจากการจำลองมีค่ามากกว่า $1E-02$ หรือ 10^{-2} ซึ่งแสดงว่าระยะเวลาของการคำนวณมีความเหมาะสมและให้ผลที่มีความน่าเชื่อถือได้ (Künzel, 1994)

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาในส่วนนี้นำเสนอพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการสะสมของความชื้นในระบบโครงสร้างผนังรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ งานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกราฟการสะสมของความชื้นในผนังอาคารสำหรับสภาพอากาศเขตร้อน-ชื้นกับผลจากการศึกษาที่ผ่านมา และระยะเวลาการสะสมความร้อนและความชื้นในผนังอาคาร

4.1 รูปแบบการก่อสร้างผนังและการเลือกใช้วัสดุก่อที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในผนังอาคาร

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในชั้นของวัสดุผนังมีช่วงการกระจายของค่าสูงสุด-ต่ำสุดแตกต่างกัน โดยวัสดุฉนวนผิวภายในอาคารมีช่วงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในขณะที่วัสดุฉนวนผิวภายนอกจะมีช่วงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ภายในผนังก่อมีช่วงใกล้เคียงกับวัสดุฉนวนผิวภายนอก วัสดุก่อที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตรมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่อมีค่าลดลงเรื่อยๆ และมีค่าคงที่ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 20.8 เซนติเมตรขึ้นไป ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุฉนวนผิวภายนอกแต่ละระดับความสูงมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุฉนวนผิวภายใน



รูปที่ 6 ค่าการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุผนังอาคาร ของ การเชื่อมต่อแบบที่ 1 (a) และการเชื่อมต่อแบบที่ 2 (b)
(Distribution of moisture accumulation in wall construction systems with different beam to wall connections: Type (a) and (b))

การเชื่อมต่อของผนังและคานของอาคารมีผลต่อปริมาณการสะสมของความชื้นที่ผนังด้านล่างมากกว่าผนังด้านบนจากรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบการเชื่อมต่อของผนังและคานแบบที่ 2 วัสดุก่อที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตร และ 12.5 เซนติเมตรจะมีการสะสมของความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงกว่ารูปแบบการเชื่อมต่อที่ 1 โดยความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุมีค่าสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงเรื่อยๆ ที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้น แต่ระดับความชื้นในวัสดุก่อที่ระดับความสูงตั้งแต่ 20.8 เซนติเมตรขึ้นไป มีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่พบในวัสดุก่อของรูปแบบที่ 1 ที่ผนังระดับความสูงเดียวกัน ส่วนการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่วัสดุฉนวนผิวภายนอกของการเชื่อมต่อทั้ง 2 รูปแบบมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ผนังด้านล่างมีค่าสูงเนื่องจากผนังด้านล่างเป็นปูนมอร์ตาร์ที่ปูรองพื้นก่อนก่อผนัง ซึ่งปูนมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับคานคอนกรีต ส่งผลให้ความชื้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านจากวัสดุคอนกรีตมายังปูนได้ง่ายกว่าวัสดุต่างชนิดกัน

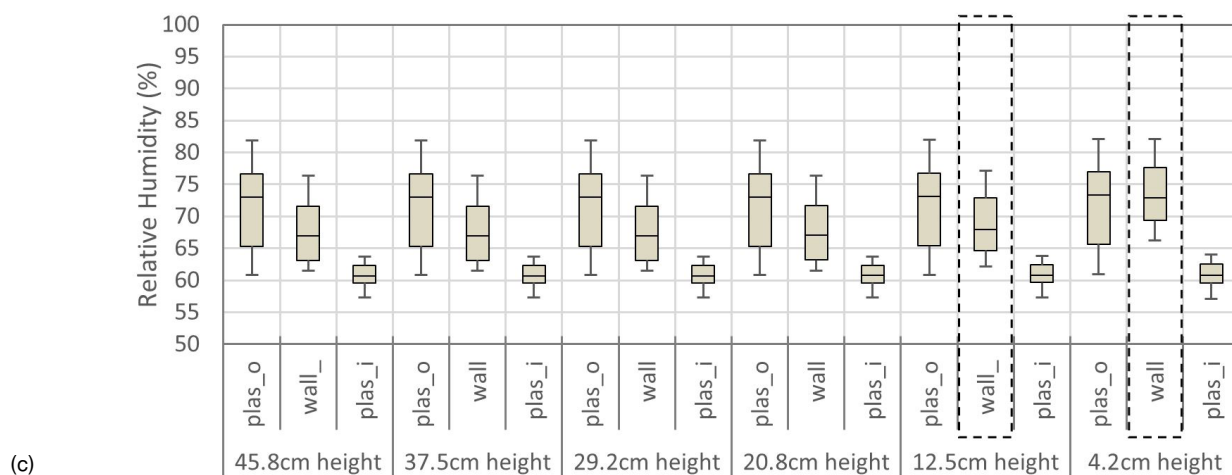
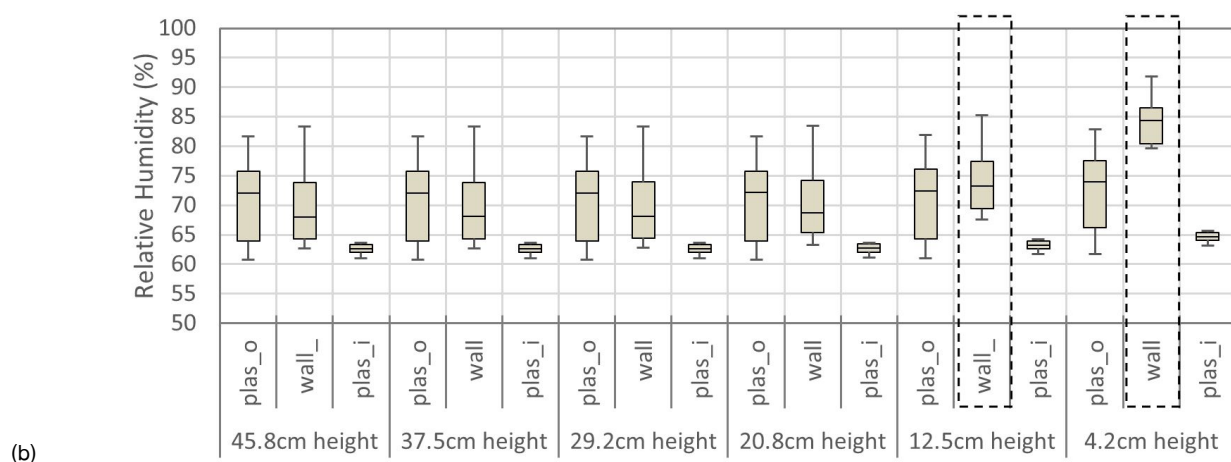
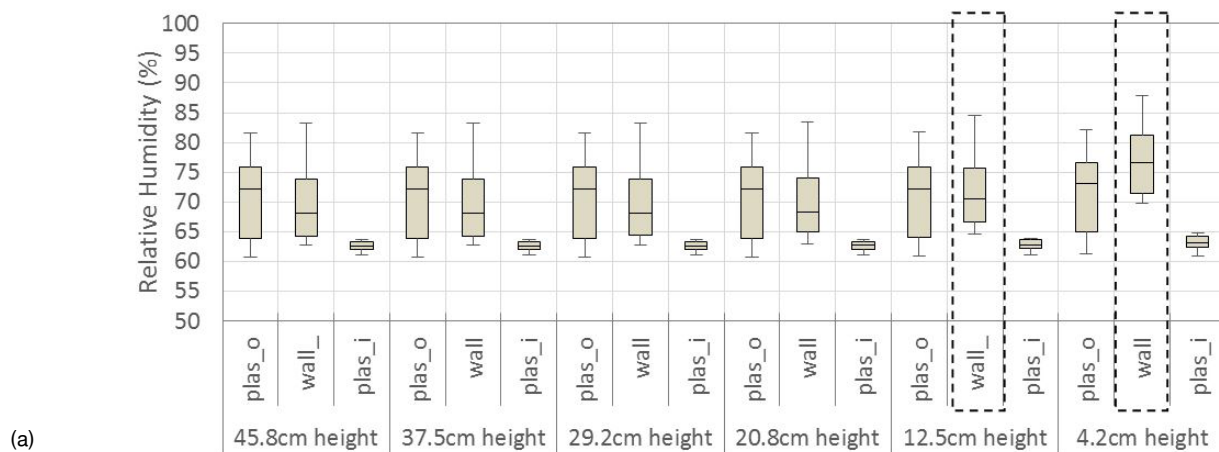
นอกจากนี้การวางตำแหน่งคานคอดินและการเลือกใช้วัสดุก่อมีอิทธิพลต่อช่วงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุ จากรูปที่ 7 เปรียบเทียบการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุของโครงสร้างผนังที่มีตำแหน่งคานคอดินแตกต่างกัน ระบบโครงสร้างผนังที่คานคอดินฝังในดิน (b) มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่ออยู่ในช่วง 60-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบโครงสร้างผนังที่มีคานคอดินสัมผัสดิน 1 ด้าน (a) ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 60-90 เปอร์เซ็นต์ และระบบโครงสร้างผนังที่คานคอดินวางอยู่บนดิน (c) มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่สุด (57-82 เปอร์เซ็นต์) โดยค่าความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่อที่เห็นชัดเจนที่สุดจะพบที่ผนังระดับความสูง 4.2 ถึง 12.5 เซนติเมตร (แสดงเส้นประ) ทั้งนี้ความชื้นจากดินสามารถแพร่ผ่านคานคอนกรีตและเคลื่อนที่ขึ้นมายังวัสดุก่อ อย่างไรก็ตามตำแหน่งของคานคอดินไม่มีอิทธิพลต่อระดับความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายนอกโดยระดับความชื้นของวัสดุฉนวนผิวภายนอกของทั้ง 3 ระบบมีค่าไม่แตกต่างกัน

รูปแบบการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุของผนังของรูปแบบการเชื่อมต่อแบบที่ 2 มีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 (แสดงในรูปที่ 8) ระบบโครงสร้างผนังที่คานคอดินฝังในดิน (b) ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 20.8

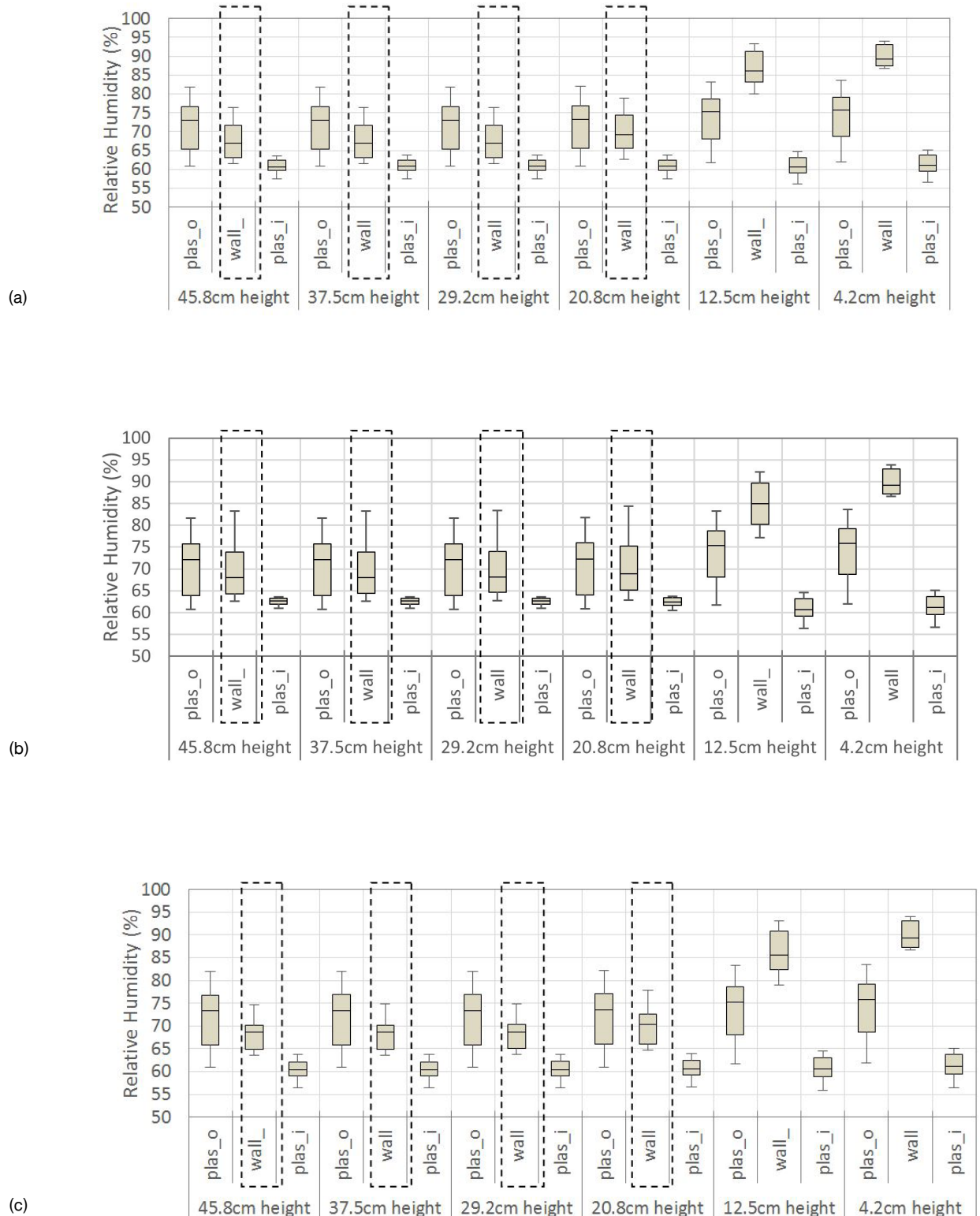
เซนติเมตรขึ้นไป (แสดงเส้นประ) มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่อสูงกว่าความชื้นในระบบโครงสร้างผนังที่มีคานคอดินสัมผัสดิน 1 ด้าน (a) และระบบโครงสร้างผนังที่คานคอดินวางเหนือระดับดิน (c) มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่สุด สิ่งที่แตกต่างคือระดับความชื้นสัมพัทธ์ในผนังด้านล่างของรูปแบบการเชื่อมต่อที่ 2 จะมีค่าสูงกว่าผนังที่ระดับความสูงเดียวกันของรูปแบบการเชื่อมต่อที่ 1

สำหรับการเลือกใช้วัสดุก่อระบบโครงสร้างผนังที่ใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อ (b) จะมีการสะสมความชื้นค่อนข้างสูงกว่าระบบที่ใช้ผนังก่ออิฐ (a) หรือคอนกรีตบล็อก (c) จากรูปที่ 9 ที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตรคอนกรีตมวลเบามีการสะสมของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 63-85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบามีการสะสมของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 65-82 เปอร์เซ็นต์ และคอนกรีตบล็อกมีการสะสมของความชื้นสัมพัทธ์ที่ 67-82 เปอร์เซ็นต์ ระดับความชื้นในวัสดุก่ออิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงและมีค่าต่ำกว่าความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายนอกเมื่อผนังมีความสูงมากขึ้น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่อคอนกรีตมวลเบา มีค่าสูงกว่าความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายนอก ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตมวลเบา มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนแล้วรูพรุนดังกล่าวยังมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำจากดินขึ้นในแนวตั้งได้สูงกว่าวัสดุก่อประเภทอื่น ๆ

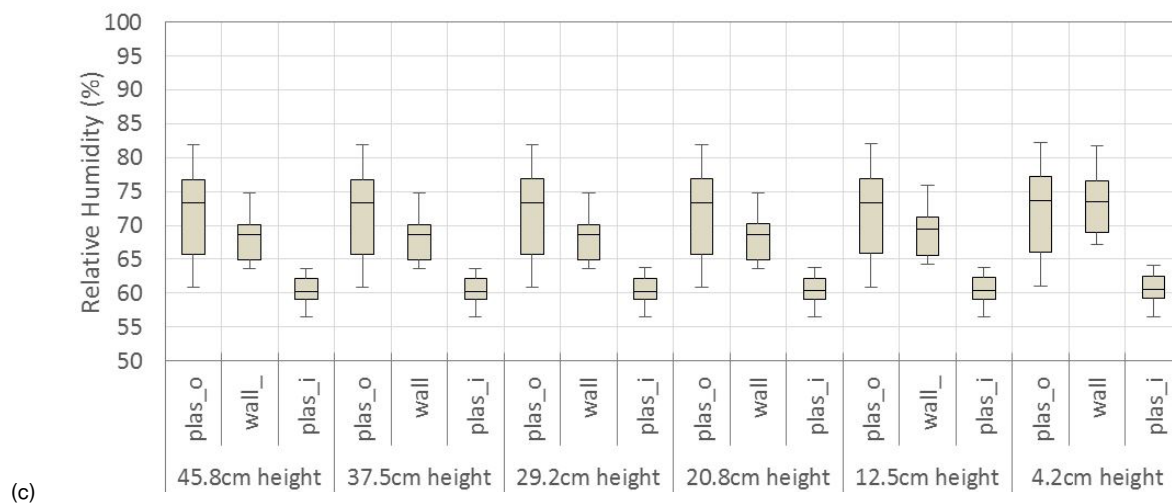
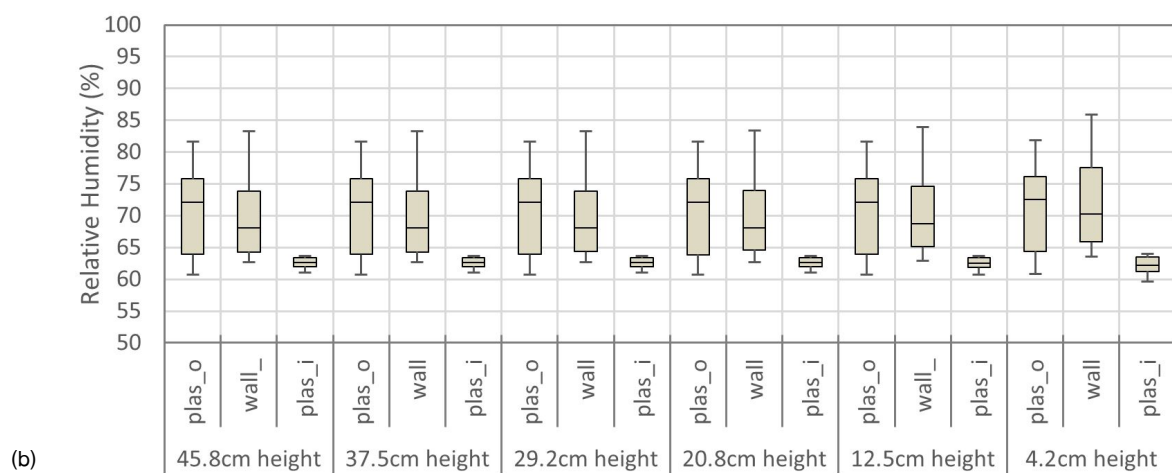
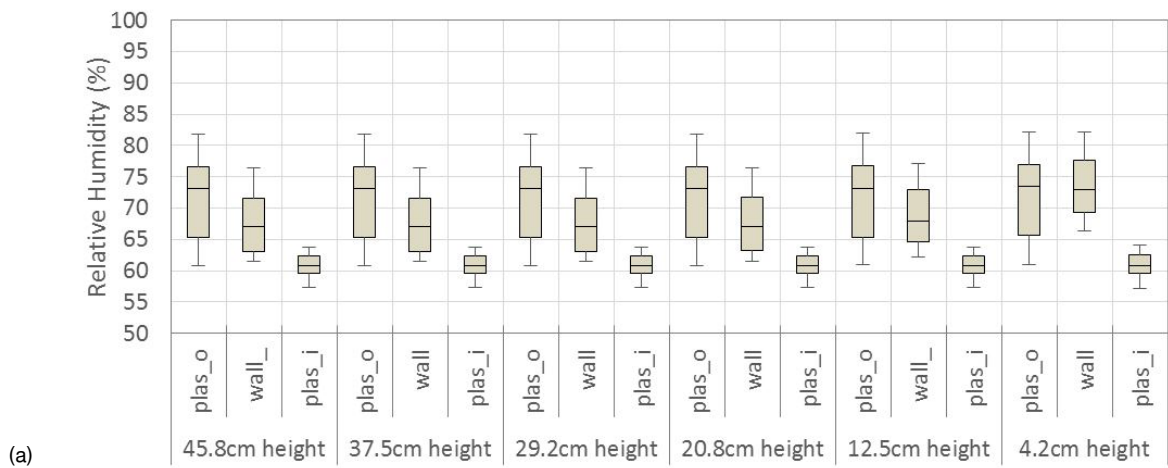
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตร 12.5 เซนติเมตร และ 20.8 เซนติเมตร ของวัสดุก่อแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากเส้นความชัน (slope) พบว่า ตลอดทั้งปีวัสดุก่อประเภทคอนกรีตมวลเบา มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบา และคอนกรีตบล็อก (แสดงดังรูปที่ 10) ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่มีรูพรุน (porosity เท่ากับ 0.791 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งมากกว่าปริมาณรูพรุนในวัสดุอิฐมวลเบา (porosity เท่ากับ 0.217 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) และคอนกรีตบล็อก (porosity เท่ากับ 0.129 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ส่งผลให้น้ำจากดินเคลื่อนที่ในทางตั้งในวัสดุคอนกรีตมวลเบาได้ดีกว่า และส่งผลให้ระดับความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุคอนกรีตมวลเบา มีค่าสูงขึ้นไปตามไปด้วย



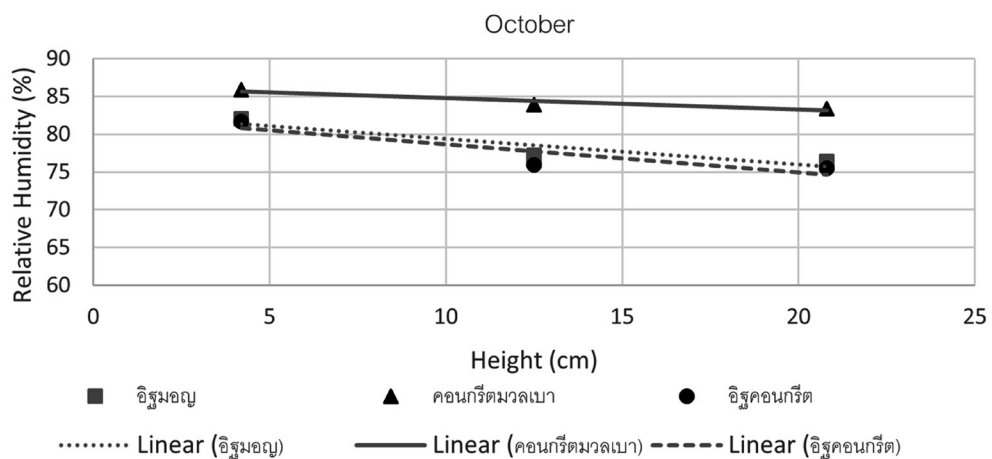
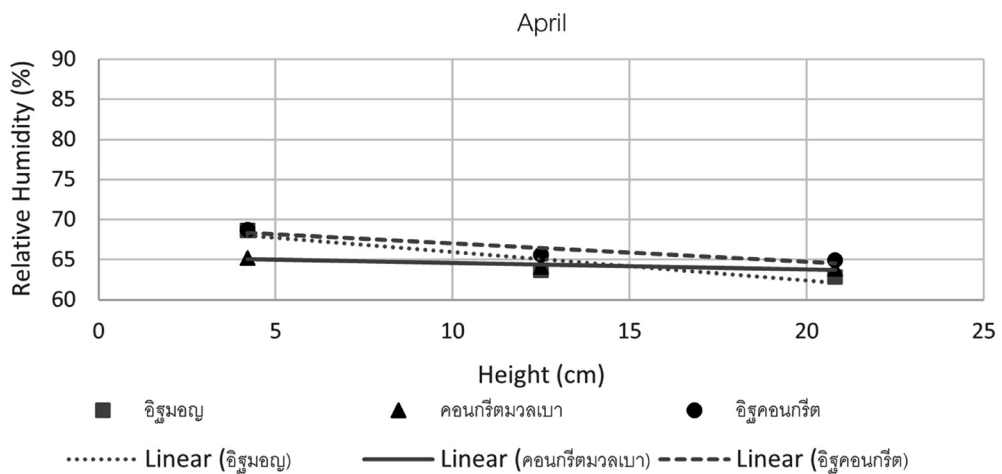
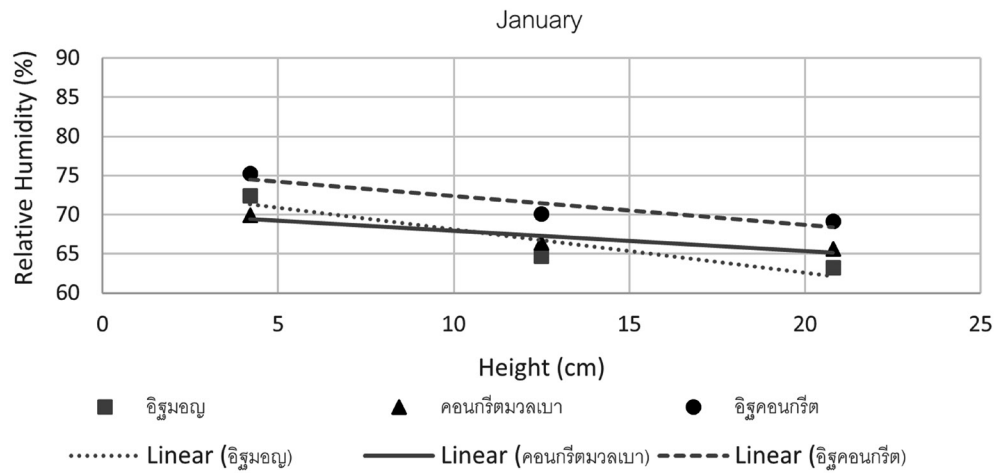
รูปที่ 7 ค่าการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของรูปแบบการเชื่อมต่อที่ 1 โดย (a) คือ ผนังที่คานคอดินฝังอยู่ในดิน (b) คือ ผนังที่คานคอดินสัมผัสดิน 1 ด้าน และ (c) คือ ผนังที่คานคอดินวางบนดิน (Distribution of moisture accumulation at different wall height for beam to wall connection type 1: (a) single side beam attached soil, (2) beam on soil, and (3) two side beam attached soil)



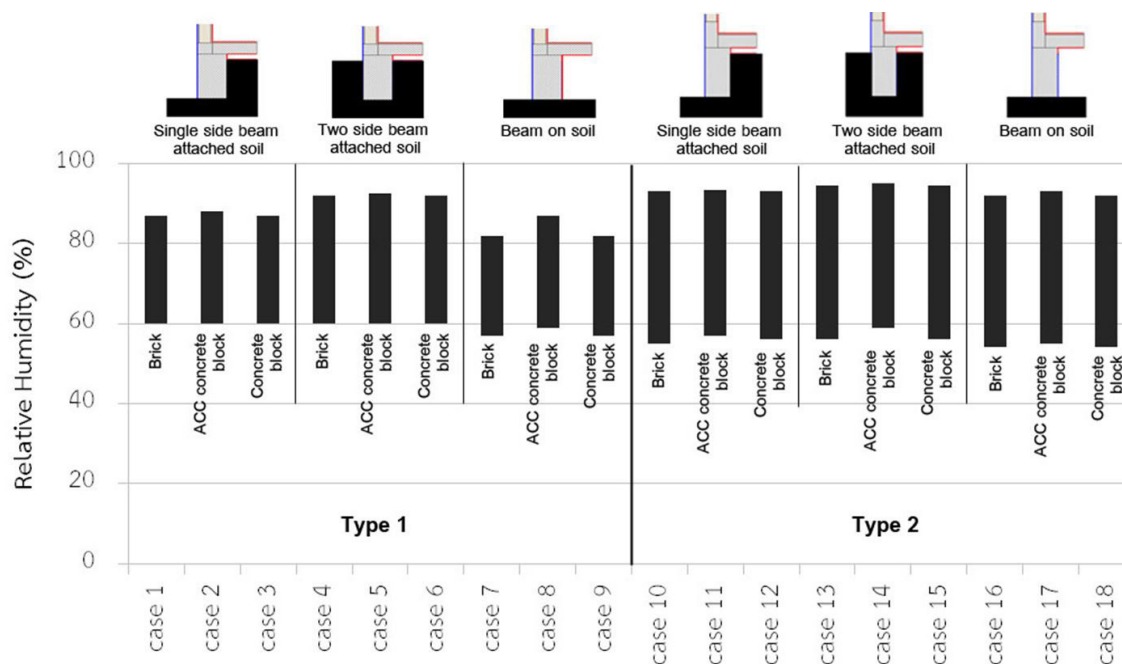
รูปที่ 8 ค่าการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุผนังที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของรูปแบบการเชื่อมต่อที่ 2 โดย (a) คือ ผนังที่คานคอดินฝังอยู่ในดิน (b) คือ ผนังที่คานคอดินสัมผัสดิน 1 ด้าน และ (c) คือ ผนังที่คานคอดินวางบนดิน (Distribution of moisture accumulation at different wall height for beam to wall connection type 2: (a) single side beam attached soil, (2) beam on soil, and (3) two side beam attached soil)



รูปที่ 9 ค่าการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบา (a) คอนกรีตมวลเบา (b) และ คอนกรีตบล็อก (c) (Distribution of moisture accumulation in brick wall, ACC concrete block wall, and concrete block wall)



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในวัสดุผนังก่ออิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อก
 (Change in moisture accumulation in different wall materials and its height)



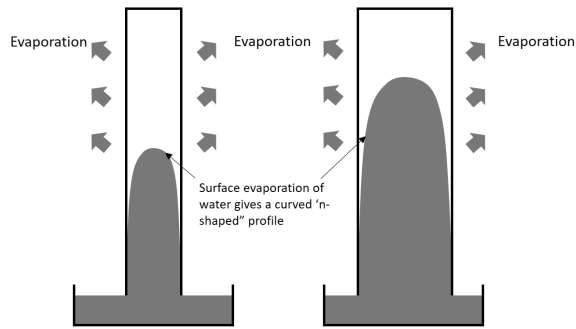
รูปที่ 11 เปรียบเทียบระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุดในระบบโครงสร้างผนังทั้งหมด 18 รูปแบบ
(Comparison of minimum and maximum moisture accumulation in 18 wall assemblies)

รูปที่ 11 เปรียบเทียบช่วงการกระจายตัวของความชื้นในผนังทั้งหมด 18 รูปแบบ สำหรับอาคารบ้านพักอาศัยในประเทศไทย ปริมาณความชื้นที่พบในระบบโครงสร้างผนังอาคารมีค่าอยู่ในช่วง 55-95 เปอร์เซ็นต์ระดับปริมาณน้ำในผนังไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในผนัง โดยระบบโครงสร้างผนังที่มีค่าความชื้นต่ำสุด (ความชื้นสัมพัทธ์ 57-81.5 เปอร์เซ็นต์) คือ ผนังก่ออิฐมวลเบาหรือคอนกรีตบล็อก โดยมีตำแหน่งคานคอดินวางอยู่บนดิน และรูปแบบการเชื่อมต่อของผนังและคานเป็นรูปแบบที่ 1

4.2 กราฟปริมาณความชื้นในผนังอาคาร

Mason (1974) และ Torres (2014) ได้นำเสนอกราฟการสะสมของความชื้นที่ผนังมีลักษณะเป็นตัว U คว่ำหัว หรือ n-shaped profile แสดงในรูปที่ 12 โดยผนังด้านในจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สะสมในวัสดุฉนวน เนื่องจากความชื้นที่สะสมในวัสดุฉนวนผิวสามารถระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกได้ดีกว่าความชื้นที่สะสมอยู่ในผนังก่อ ในงานวิจัยนี้ พบว่ากราฟปริมาณความชื้นที่สะสมอยู่ในผนังมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความสูงของผนังและวิธีการก่อผนังแสดงในรูปที่ 13 รูปแบบการสะสมของความชื้นในผนังส่วนล่างมีลักษณะเป็น n-shaped profile ซึ่งคล้าย

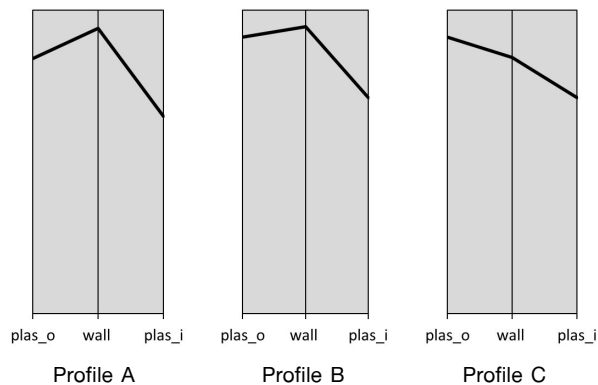
กับผลการศึกษาของ Mason (1974) และ Torres (2014) โดยกราฟมีลักษณะดังรูป profile A และ profile B แสดงในรูปที่ 14 profile A แสดงกราฟความชื้นของระบบโครงสร้างผนังที่ใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อ โดยผนังจะมีระดับการสะสมของความชื้นค่อนข้างสูงกว่า profile B และ C ซึ่งใช้วัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อกตามลำดับ จากภาพปริมาณความชื้นที่สะสมในวัสดุก่อจะมีค่าสูงสุด แต่สิ่งที่แตกต่างจากผลการศึกษาของ Mason (1974) และ Torres (2014) คือ ปริมาณความชื้นที่สะสมในวัสดุฉนวนผิวภายนอกและภายในมีค่าไม่เท่ากัน วัสดุฉนวนผิวภายนอกจะมีการสะสมของความชื้นสูงกว่าวัสดุฉนวนผิวภายใน สำหรับ profile C เป็นกราฟแสดงปริมาณความชื้นของผนังที่อยู่สูงกว่า 12.5 เซนติเมตรขึ้นไป วัสดุฉนวนผิวภายนอกมีการสะสมความชื้นมากกว่าวัสดุก่อ และวัสดุฉนวนผิวภายในมีการสะสมความชื้นน้อยที่สุด ทั้งนี้ การที่วัสดุฉนวนผิวภายนอกมีการสะสมความชื้นที่สูงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุ ในขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในห้องมีค่าต่ำกว่าความชื้นในวัสดุ ส่งผลให้การระเหยของความชื้นในวัสดุออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกทำได้ยากกว่าการระเหยของความชื้นที่วัสดุฉนวนผิวภายใน



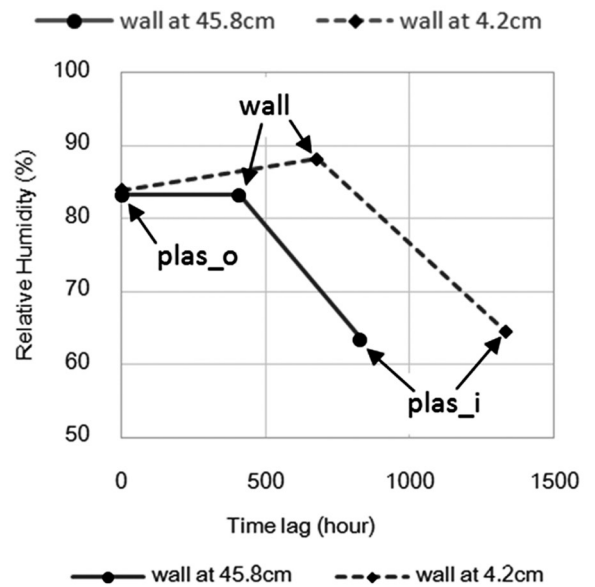
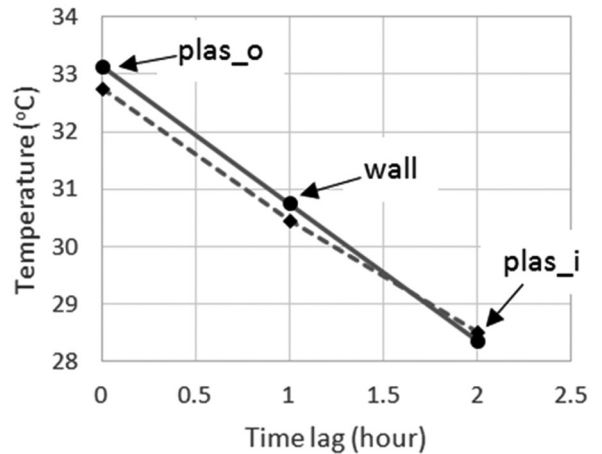
ที่มา: Mason, 1974
รูปที่ 12 รูปแบบการสะสมความชื้นในผนังที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินและการระเหยความชื้น (Moisture accumulation influenced by ground water in different wall thickness in relation to surface evaporation)



รูปที่ 13 กราฟการสะสมความชื้นในระบบโครงสร้างผนังอาคาร (Distribution of moisture accumulation in different wall construction systems)



รูปที่ 14 กราฟการสะสมความชื้นในวัสดุที่ตำแหน่งด้านล่างที่ระดับความสูงต่ำกว่า 12.5 เซนติเมตร (profile A และ B) และด้านบนของผนังที่ระดับความสูงตั้งแต่ 12.5 เซนติเมตรขึ้นไป (profile C) (Profile A and B show moisture profile below 12.5 cm. wall height and profile C represents moisture profile above 12.5 cm.)



รูปที่ 15 เปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงความร้อนและความชื้นในวัสดุที่ระดับความสูง 4.2 และ 45.8 เซนติเมตร (Comparison of time lag of temperature and relative humidity in wall assembly at 4.2 m and 45.8 m height)

ปริมาณความชื้นที่สะสมในผนังมีผลต่อค่าการถ่ายเทความชื้นแต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง ผลจากการศึกษา พบว่า รูปแบบของการเชื่อมต่อผนัง การเลือกใช้วัสดุก่อ และตำแหน่งของคานคอดินมีผลต่อระยะเวลาการหน่วงความร้อนในวัสดุ (time lag) ไม่แตกต่างกัน จากรูปที่ 15 วัสดุฉนวนผิวภายนอกและวัสดุก่อที่ระดับความสูง 45.2 เซนติเมตรมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของวัสดุที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตรเล็กน้อย ประมาณ 0.2-0.3 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเมื่อผนังมีระดับความสูงมากขึ้น ระยะเวลาการหน่วงความร้อนในผนังที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตร และ 45.8 เซนติเมตร มีค่าอยู่ที่

ประมาณ 2 ชั่วโมงก่อนที่ความร้อนภายในผนังจะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร ระยะเวลาการหน่วงความร้อนของวัสดุที่ระดับความสูงต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับค่าการหน่วงความชื้นในวัสดุ ระยะเวลาการหน่วงความชื้นของผนังที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตร มีระยะเวลานานกว่าผนังที่ระดับความสูง 45.8 เซนติเมตร การหน่วงความชื้นในผนังที่ระดับความสูง 4.2 เซนติเมตร มีระยะเวลาอยู่ที่ประมาณ 1.8 เดือน ในขณะที่ระยะเวลาการหน่วงความชื้นผนังที่ระดับความสูง 45.8 เซนติเมตรมีค่าอยู่ที่ 1 เดือน ผลจากการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ayala & Akta (2016) พบว่า การหน่วงความชื้นในผนังมีระยะเวลานานกว่าระยะเวลาการหน่วงความร้อนของผนัง

4.3 สาเหตุของปัญหาความชื้นในผนังอาคาร

จากการศึกษาสาเหตุและปัญหาความชื้นของผนังอาคารบ้านพักอาศัยของในประเทศไทย พบว่า ที่มาของความชื้นมาจากความชื้นจากดินและการแพร่ความชื้นจากสภาพอากาศภายนอกเข้าสู่ระบบโครงสร้างผนังเป็นหลัก และผนังที่ระดับล่าง (ระดับความสูง 4.2-12.5 เซนติเมตร) มักพบความเสียหายจากปัญหาความชื้นจากดินสูงกว่าผนังที่อยู่ด้านบน โดยการสะสมความชื้นในผนังจะมีค่าลดลงเมื่อผนังมีระดับความสูงมากขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการศึกษที่ผ่านมา (Zhang, n.d., p. 23; Torres, 2014; Agyekum, Ayarkwa & Koranteng, 2014) ในขณะที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุฉนวนผิวภายนอกได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นหลัก ทั้งนี้ เนื่องจาก 1) ความชื้นสัมพัทธ์ในวัสดุฉนวนผิวภายนอกจะมีช่วงการกระจายตัวค่อนข้างกว้างซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายนอก และ 2) วัสดุฉนวนผิวภายนอกของผนังที่อยู่ในระดับความสูงต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ปริมาณการสะสมของความชื้นในผนังยังไม่ทำให้เกิดปัญหาการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำขึ้นในผนังเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมต่อผนังและคาน ประเภทของวัสดุก่อและตำแหน่งคานคอดินที่มีผลต่อพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของความชื้นและการสะสมของความชื้นในผนังของอาคารบ้านพักอาศัยสำหรับสภาพอากาศร้อน-ชื้นการสะสมของความชื้นในผนังอาคารบ้านพักอาศัยได้รับอิทธิพลทั้งจากความชื้นจากดินและ

ความชื้นจากสภาพอากาศภายนอก โดยความชื้นจากดินมีอิทธิพลต่อปริมาณการสะสมของความชื้นในผนังที่ระดับความสูง 4.2 ถึง 12.5 เซนติเมตร และระดับความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายนอกได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นหลัก การระเหยของความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายนอกมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการระเหยของความชื้นในวัสดุฉนวนผิวภายใน เนื่องจากอากาศภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูงอยู่ตลอดเวลา ระบบโครงสร้างผนังที่คานคอดินฝังดินมีการสะสมของความชื้นในผนังอาคารมากที่สุด และผนังที่ใช้วัสดุก่อคอนกรีตมวลเบามีการสะสมของความชื้นสัมพัทธ์ในผนังสูงกว่าวัสดุก่อประเภทอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อก โครงสร้างผนังที่ใช้วัสดุก่อคอนกรีตมวลเบาอาจมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายของระบบโครงสร้างได้ เช่น ปัญหาเชื้อรา หรือการหลุดร่อนของสีทาผนัง รูปแบบของการเชื่อมต่อผนังและคานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในวัสดุก่อที่อยู่ด้านล่างมากกว่าผนังที่อยู่ด้านบน แต่ไม่ส่งผลปริมาณความชื้นที่สะสมในวัสดุฉนวนผิว สำหรับการศึกษานอนาคตควรพิจารณาระดับความชื้นที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของวัสดุเพื่อใช้ประเมินและหาแนวทางการออกแบบและวิธีการก่อสร้างเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559 จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นางสาวณิชนันท์ เหล่าสมาธิกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและการจำลองผล ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองคุณธนิตาจันทร์เรือง คุณจิรวัฒน์ โกยทา และคุณพิมพ์ดี เอี่ยมธูพรจน์ ที่ได้สนับสนุนและช่วยเหลืองานเอกสารต่าง ๆ และการประสานงานหน่วยงานเพื่อให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ Fraunhofer Institute for Building Physics ที่อนุเคราะห์โปรแกรม WUFI 2D 4.1 non commercial version และเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและประมวลผลจากห้องทดลองสร้างสรรค์สำหรับองค์ความรู้เชิงนวัตกรรม (Creative lab for innovative and conceptual knowledge) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการณ์ถ่ายเทความชื้นในครั้งนี้

References

- Ahmad, A. G., & Rahman, H. F. A. (2010). Treatment of salt attack and rising damp in heritage buildings in Penang, Malaysia. *Journal of Construction in Developing Countries*, 15(1), 93-113.
- Agyekum, K., Ayarkwa, J., & Koranteng, C. (2014). Holistic diagnosis of rising damp and salt attack in two residential buildings in Kumasi, Ghana. *Journal of Construction Engineering*, e398627, 1-13. DOI: 10.1155/2014/398627.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2008). *BSR/ASHRAE Standard 160P (Public review draft): Proposed New Standard 160, Criteria for moisture-control design analysis in buildings*. Atlanta, GA: Author. Retrieved from [https://osr.ashrae.org/Public%20Review%20Draft%20Standards%20Lib/Std-160-PPR2-Draft%20\(chair-approved-rev1\).pdf](https://osr.ashrae.org/Public%20Review%20Draft%20Standards%20Lib/Std-160-PPR2-Draft%20(chair-approved-rev1).pdf).
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2009). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Atlanta, GA: Author.
- Bhattacharjee, B. (2012). Moisture influence on the thermal properties of materials in building envelopes and sustainability in tropical climates. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Design and Construction [ICSDEC]*, (pp. 765-774). Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers. DOI: 10.1061/9780784412688.092.
- D'Ayala, D., & Aktas, Y. D. (2016). Moisture dynamics in the masonry fabric of historic buildings subjected to wind-driven rain and flooding. *Building and Environment*, 104, 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.015>
- Fraunhofer Institute for Building Physics. (2017). *WUFI® 2D | WUFI (en) (Version 4.1)*. Germany: Authors. Retrieved from <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/>.
- Gobert, E. G., & Oxley, A. T. (2013). Dampness in buildings: Diagnosis, treatment, instruments. In *Great Britain, Building Research Station*. Abingdon, UK: Routledge.
- Halim, A. A., & Halim, A. Z. (2010). An analysis of dampness study on heritage buildings: A case study Ipoh Old Post Office Building and Suluh Budiman Building, UPSI, Perak, Malaysia. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 171-182.
- Hall, C., & Hoff, W. D. (2007). Rising damp: Capillary rise dynamics in walls. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463(2084), 1871-1884. DOI: 10.1098/rspa.2007.1855.
- Howell, J. (2008). *The rising damp myth*. London: Nosecone Publications.
- Krus, M. (1996). *Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Kočí, V., Vejmelková, E., Čáchová, M., Koňáková, D., Keppert, M., Maděra, J., & Černý, R. (2017). Effect of moisture content on thermal properties of porous building materials. *International Journal of Thermophysics*, 38(2), 28. DOI: 10.1007/s10765-016-2164-8.
- Künzel H. M. (1994). *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Stuttgart, Germany: Dissertation Universität Stuttgart.
- Künzel, H. M. (1995). *Simultaneous heat and moisture transport in building components*. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Lucas, F., Adelard, L., Garde, F., & Boyer, H. (2002). Study of moisture in buildings for hot humid climates.

- Energy and Buildings*, 34(4), 345–355. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00115-3.
- Lstiburek, J. (1987). *Insulation-induced paint and siding failures. Proceedings of the energy efficient buildings association conference*. Minneapolis, MN, USA.
- Mason, G. (1974). Rising damp. *Building Science*, 9(3), 227–231.
- Massari, G., & Massari, I. (1985). Damp buildings, old and new. *Bulletin of the Association for Preservation Technology*, 17(1), 2–30. DOI: 10.2307/1494064.
- Merrill, J. L., & TenWolde, A. (1989). Overview of moisture-related damage in one group of Wisconsin manufactured homes. *ASHRAE Transactions*, 95(1), 405–414.
- Moore, J. R., Spielvogel, L. G., & Griffin, C. W. (1980). *Air conditioned buildings in humid climates: Guidelines for Design, Operation, and Maintenance*. Charleston, South Carolina: Southern Division Naval Facilities Engineering Command.
- Proskiw, G. (2007). Case studies of moisture problems in buildings. *ASHRAE Journal*, 1–11.
- Puraprom, W. (2016). The Impact of Site Elements to Micro-Climate Air Temperature. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.14456/jars.2016.2>
- Riley, M., & Cotgrave, A. (2005). *Dampness in buildings*. China: Division of Sustainable Development, The University of Nottingham Ningbo. Retrieved from <http://folders.nottingham.edu.cn>.
- Rirsch, E., & Zhang, Z. (2010). Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties. *Construction and Building Materials*, 24(10), 1815–1820. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.024.
- Rirsch, E., MacMullen, J., & Zhang, Z. (2011). Evaluation of mortar samples obtained from UK houses treated for rising damp. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2845–2850. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.12.050.
- Sandrolini, F., & Franzoni, E. (2014). Repair systems for the restoration of ancient buildings - dampness rise problem/Instandsetzungs systeme für das restaurieren historischer gebäude - Aufsteigende Feuchtigkeit. *Restoration of Buildings and Monuments*, 13(3), 161–172. DOI: 10.1515/rbm-2007-6129.
- Schoch, T., & Kreft, O. (2011). The influence of moisture on the thermal conductivity of AAC. *Proceedings of the 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete Securing a sustainable future*, (pp. 44–48). Bydgoszcz, Poland.
- Sjoberg, A. (2009). Mould in building envelope may cause bad health, a case study. *Proceedings of the 9th International Healthy Buildings Conference and Exhibition*, (pp. 570–573). New York, USA: Curran Associates.
- Soodjing, K., & Chaiyakul, Y. (2012). Humidity control in building by building wall. *Built Environment Inquiry Journal*, 11(1), 52–61.
- Straube, J. (2002). Moisture in buildings. *ASHRAE Journal*, 44, 15–19.
- Steeman, M., Janssens, A., Steeman, H. J., Van Belleghem, M., & De Paepe, M. (2010). On coupling 1D non-isothermal heat and mass transfer in porous materials with a multizone building energy simulation model. *Building and Environment*, 45(4), 865–877. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.09.006.
- Tariku, F., Kumaran, K., & Fazio, P. (2010). Integrated analysis of whole building heat, air and moisture transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(15), 3111–3120. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.03.016.
- Thai Meteorological Department. (2017). *Saphap akat Krungthepmahanakhon Sathani Truat Wat DonMueang*. Retrieved from <https://www.tmd.go.th/thailand.php>.

- Torres, I. M. (2014). Wall base ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channels. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), 121–127. DOI: 10.1016/j.culher.2013.03.005.
- Trechsel, H. R., Achenbach, P. R., & Conklin, S. (1987). Field study on moisture problems in exterior walls of a masonry housing development on the coast of the gulf of Mexico. *Proceedings of the conference on Thermal Insulation: Materials and Systems*, (pp. 371-393). Dallas, TX: ASTM Publication.
- Trechsel, H. R., & Bomberg, M. T. (2009). *Moisture control in buildings: The key factor in mold prevention* (2nd ed.). Baltimore, MD: ASTM International.
- Zhang, D. Z. (n.d.). *A review of rising damp in masonry buildings*. Portsmouth, Hampshire, UK: University of Portsmouth.
- Zhang, T., Hu, Q., Zhou, D., & Fukuda, H. (2016). Vanishing Traditional Vernacular Dwelling in Gully Region of Loess Plateau, China. *International Journal of Building, Urban, Interior, and Landscape Technology*, 8 (1), 39–56. <https://doi.org/10.14456/built.2017.9>

