

การเกิดการควบแน่นบนวัสดุปูพื้นในระบบพื้นทำความเย็นแบบการแผ่รังสี Condensation on Floor Covering in Radiant Floor Cooling System

เกียรติยศ ตีรอต¹ จินดา เจริญพรพาณิชัย¹ มนต์ศักดิ์ พิมสาร¹ จักรกริช จึงศิริวัฒนา
¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kchchind@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบพื้นทำความเย็นแบบการแผ่รังสีนี้เป็นหลักการใหม่ที่ได้นำมาใช้สำหรับระบบปรับอากาศ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ ก็เพื่อที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดการควบแน่นบนวัสดุที่ปูพื้นในกรณีที่แตกต่างกันไป โดยได้ทำการทดลองในห้องทดสอบ ที่ได้จำลองระบบพื้นทำความเย็นแบบการแผ่รังสีมา ซึ่งอุณหภูมิของพื้น อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมโดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ และ อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะขึ้นอยู่กัอุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ในการทดลองได้ทำการวัดหาขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวทดสอบ ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบและป้องกันปัญหาการเกิดการควบแน่นที่จะเกิดขึ้นกับระบบนี้ รวมทั้งรู้จักจำกัดในการทำความเย็นของพื้นผิว โดยปราศจากปัญหาการเกิดการควบแน่นที่พื้น

Abstract

Radiant cooling system is the new concept for air conditioning using radiation heat transfer instead of convection in conventional system. The condensation on the floor covering is the one of critical problems in radiant floor cooling system that should be avoided. The objective of this paper is to study the condensation phenomena of floor covering in radiant floor cooling system (RFC). The experiment was done in the radiant floor cooling test room. The air temperature, humidity and floor surface temperature was automatically controlled by the computer. The time consumption for forming the water droplet on the floor

surface and the size of water droplet at various conditions was measured. The results data will be useful for designing the system or developing the control strategy.

1. บทนำ

ระบบพื้นทำความเย็นแบบแผ่รังสี เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้ในการปรับอากาศ โดยประเทศไทยได้มีการติดตั้งระบบนี้ครั้งแรกที่สนามบินสุวรรณภูมิ

การทำงานของระบบนี้โดยการฝังท่อน้ำไว้ภายใต้โครงสร้างของพื้น ซึ่งความเย็นที่ได้จะเกิดจากการแผ่รังสีความเย็นจากพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำ การทำความเย็นจะเกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวที่มีการฝังท่อเอาไว้ซึ่งต่างจากระบบปรับอากาศทั่วไปที่ใช้การเป่าลมเย็นออกมาเฉพาะจุด ส่วนข้อจำกัดของระบบการทำความเย็นแบบนี้ คือไม่สามารถที่จะจัดการกับความชื้นที่อยู่ภายในระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศแบบปกติทั่วไปที่ใช้แฟนคอยล์

ปัญหาที่ต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นกับระบบพื้นทำความเย็นแบบการแผ่รังสี คือ ความเสี่ยงต่อการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิว ถ้าในกรณีที่พื้นผิวเกิดการควบแน่น ผลกระทบแรกที่เกิดขึ้นคือ จะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานในสถานที่ที่มีการวางระบบนี้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษา พฤติกรรมของการเกิดการควบแน่นบนวัสดุที่ปูพื้น โดยจากการทดลองพบว่า การเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวนั้น จะไม่ได้เกิดในทันทีทันใดที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากันหรือสูงกว่าอุณหภูมิพื้นผิว แต่จะเกิดขึ้นที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างและอุณหภูมิพื้นผิวมีค่าค่าหนึ่ง รวมทั้งระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นที่เราสามารถทำการวัดขนาดของเม็ดน้ำได้นั้น จะมีระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามเงื่อนไขของการทดลอง

2. ทฤษฎี

การควบแน่น เกิดขึ้นเมื่อไอของของไหล เคลื่อนที่มาสัมผัสกับผิวของผนังที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของไอ โดยไอจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนแฝงจะถูกถ่ายออกจากไอและส่งถ่ายไปยังพื้นผิว ทำให้ไอควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งอัตราการควบแน่นของไอจะขึ้นอยู่กับ ความร้อนจะถูกระบายออกจากพื้นผิวได้รวดเร็วแค่ไหน การควบแน่นจะแบ่งได้ตามลักษณะเป็น 2 อย่างคือ

- Homogeneous condensation

คือไอจะควบแน่นเป็นหยดน้ำลอยอยู่ในอากาศทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายหมอกหรือคือการเกิดเป็นหมอกเนื่องจากการขยายตัวโดยฉับพลัน

- Direct contact condensation

คือการที่ไอไปสัมผัสกับของเหลวที่เย็นกว่าโดยตรง

ถ้าแบ่งตามสภาพพื้นผิวจะแบ่งได้อีก 2 แบบ

- Film condensation

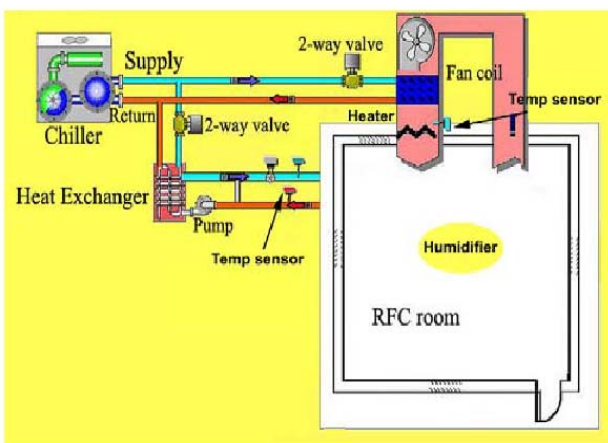
แบบที่เกิดการควบแน่นเป็นชั้นของเหลวคลุมพื้นผิวทั้งหมด มักจะเกิดกับพื้นผิวที่สะอาด

- Dropwise condensation

การควบแน่นแบบนี้จะเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่เคลือบด้วยวัสดุป้องกันไม่ให้พื้นเปียกหรือพื้นผิวที่สกปรกหรือมีรอยแตก โดยหยดของเหลวจะก่อตัวขึ้นที่รอยแตก เมื่อการควบแน่นนานขึ้น หยดของเหลวก็จะขยายตัวและรวมตัวกัน เป็นเม็ดน้ำซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 100 mm ขึ้นไป

3. ห้องทดสอบ

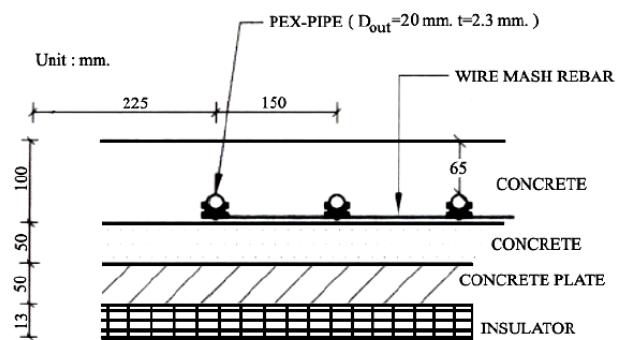
รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบการแผ่รังสีจากพื้น ซึ่งจากรูปน้ำเย็นที่ได้จาก chiller จะถูกจ่ายไปยัง 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกจะถูกส่งจ่ายไปยัง fan coil โดยผ่าน 2-way valve กับอีกส่วนจะถูกจ่ายไปยัง heat exchanger ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ไหลเข้าสู่พื้น



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบในห้องทดสอบ



รูปที่ 2 เครื่องเพิ่มความชื้นภายในห้องทดสอบ



รูปที่ 3 โครงสร้างของพื้นในระบบการทำความเย็นแบบการแผ่รังสี

รูปที่ 2 แสดงเครื่องเพิ่มความชื้นภายในห้องทดสอบใช้ในกรณีที่เงื่อนไขการทดสอบต้องการความชื้นที่สูงมาก ๆ

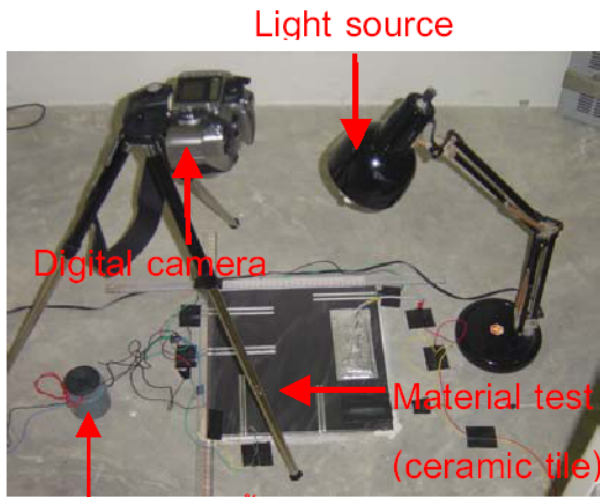
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของพื้นของระบบการทำความเย็นแบบการแผ่รังสีโดยการวางท่อน้ำนั้นจะให้อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวประมาณ 65 mm และต่อน้ำแต่ละอันจะวางห่างกัน 150 mm

4. วิธีการทดลอง

ในการทดลอง จะใช้วัสดุทดสอบ คือใช้แผ่นกระเบื้องเซรามิค ซึ่งเป็นวัสดุปูพื้น โดยการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองจะทำได้ดัง รูปที่ 4 ซึ่งจะประกอบไปด้วย กล้องดิจิตอล, แหล่งกำเนิดแสง, แผ่นวัสดุทดสอบ และ เซ็นเซอร์ต่าง ๆ บนพื้นผิวทดสอบ

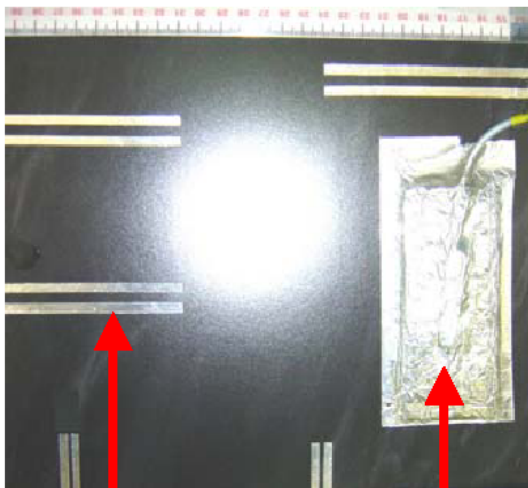
ในการทำการทดสอบการเกิดการควบแน่นในครั้งนี้ การจับเวลาการเกิดการควบแน่น เราจะใช้วิธีการจับการเกิดการควบแน่นอยู่สองวิธีด้วยกัน วิธีแรกที่เราใช้คือ จะใช้วิธีการทางไฟฟ้า ซึ่งแบบนี้จะใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวบ่งบอกว่าบนพื้นผิวทดสอบมีความชื้นเกิดขึ้นหรือไม่การทำงานของวิธีการนี้คือ เมื่อมีความชื้นหรือฟิล์มของน้ำมาเกาะบนพื้นผิวทดสอบจะทำให้เซ็นเซอร์ที่อยู่บนพื้นทดสอบ เกิดการต่อเชื่อมถึงกัน ดังนั้นจึงทำให้ระบบวงจร ส่งสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณเสียง โดยความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว ส่วนวิธีที่สองนั้น จะใช้แผ่นวัสดุใส บางๆ จำพวก แผ่นฟิล์ม หรือแผ่นกระจกใส มาวางสัมผัสกับแผ่นวัสดุที่ใช้ทดสอบ เหตุที่ต้องใช้วัสดุที่มีความบางเนื่องจากการต้องการให้อุณหภูมิบนผิวของวัสดุ

ทดสอบกับอุณหภูมิของแผ่นวัสดุใส มีค่าเท่ากัน ซึ่งการใช้วิธีการนี้จะสามารถบ่งบอกได้ว่า การเริ่มเกิดการควบแน่นจะเริ่มเกิดที่ระยะเวลาใด โดยการดูจากการเกิดฝ้า เมื่อมีไอน้ำมาเกาะบนแผ่นวัสดุใส ซึ่งจะทำให้รู้ว่าไอน้ำที่เกิดการควบแน่นนั้นอยู่ห่างจากพื้นผิวทดสอบเรามากน้อยเท่าไร แต่วิธีการนี้จะไม่สามารถบอกได้ว่า วัสดุที่ทดสอบจะมีเม็ดน้ำเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งการเกิดขึ้นของเม็ดน้ำนั้นจะเกิดจากการที่ อัตราการควบแน่นของไอน้ำในอากาศจะต้องมากกว่าอัตราการระเหย โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไปขนาดเม็ดน้ำที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการสะสมตัวของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น



อุปกรณ์วัดความชื้นบนแผ่น

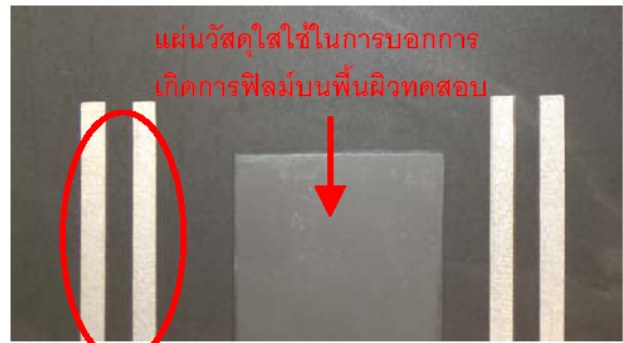
รูปที่ 4 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดลอง



Surface temperature sensor

Sensor วัดความชื้นบนแผ่นทดสอบ

รูปที่ 5 แผ่นวัสดุทดสอบและ sensor ต่าง ๆ



Sensor วัดความชื้นบนแผ่นทดสอบ

รูปที่ 6 sensor และแผ่นวัสดุใสที่ใช้ในการจับการเกิดการควบแน่น

การทดลอง จะทำการทดสอบในห้องปรับอากาศที่มีการจำลองระบบการทำความเย็นแบบการแผ่รังสีจากพื้น ซึ่งเงื่อนไขในการทดลองจะเป็นดังนี้

- ควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ ที่ 24°C
- ปรับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบไปเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ $17 - 19^{\circ}\text{C}$
- เปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ดังตารางข้างล่างนี้

Floor temp ($^{\circ}\text{C}$)	%RH in room
18	80 ,85 ,90 and 95
19	85 ,90 and 95

- บันทึกภาพทุก ๆ 5 นาที

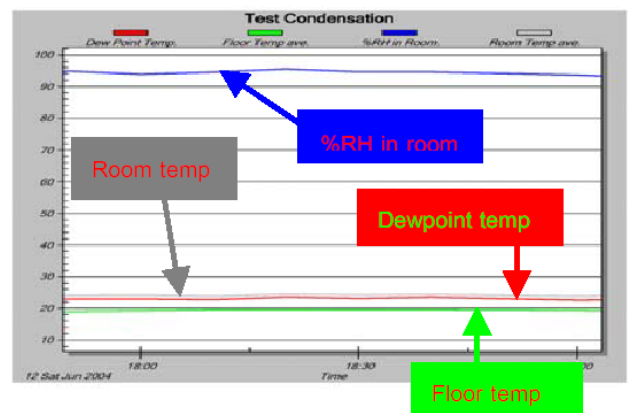
5. ผลการทดลอง

5.1 อุณหภูมิพื้นคงที่ 19°C

- 95%RH

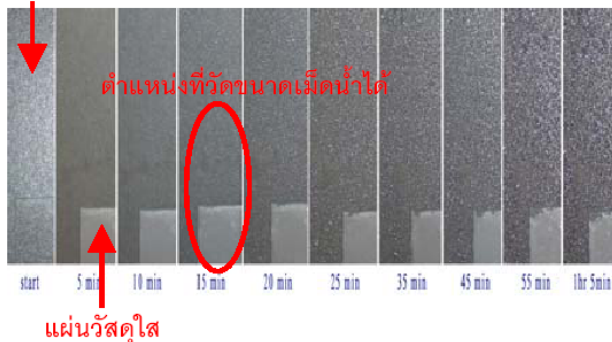
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.0°C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 19.0°C

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 4.0°C



รูปที่ 7 ผลการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95%

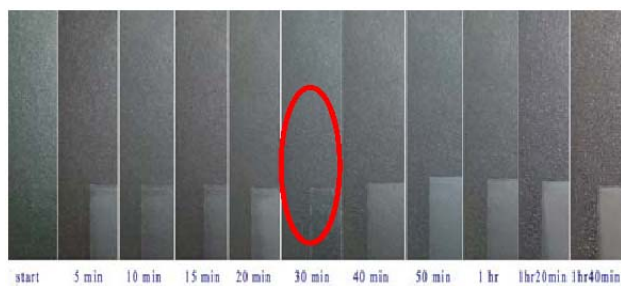
พื้นผิวทดสอบ



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 95%RH

- 90%RH

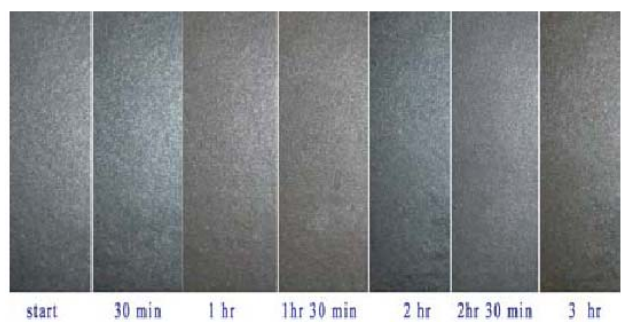
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 19.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 3.0 °C



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 90%RH

- 85%RH

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 21.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 19.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 2.0 °C



รูปที่ 10 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 85%RH

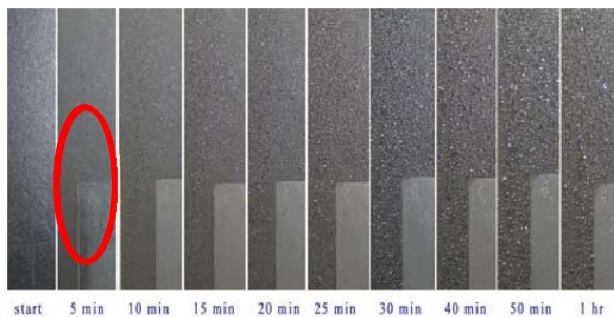
จากรูปที่ 8 ,9 และ 10 เป็นผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นบนแผ่นกระเบื้องเซรามิกที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95, 90 และ 85% ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไปเป็น 95% ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างและอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบมีค่า 4.0 °C จะสามารถทำการวัดขนาดของเม็ดน้ำได้ใช้เวลาผ่านไป 15 นาที หลังจากเริ่มทดสอบ โดยขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้มีขนาดเป็น 0.24 mm ในทำนองเดียวกันที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% สามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำได้หลังจากเวลาผ่านไป 30 นาที โดยขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้มีค่า 0.23 mm ส่วนในกรณีที่ปรับระบบให้มีค่าความชื้น

สัมพัทธ์เป็น 85% พบว่าจากการทดลองไม่เกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

5.2 อุณหภูมิพื้นผิวที่ 18 °C

- 95%RH

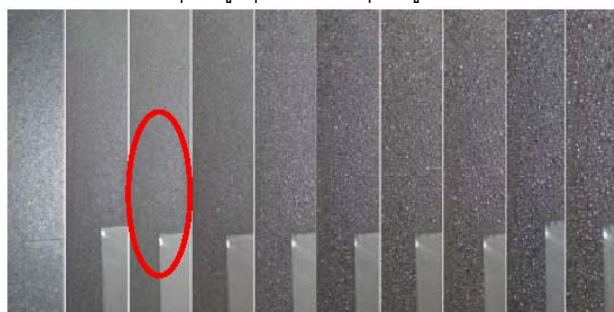
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 18.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 5.0 °C



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 95%RH

- 90%RH

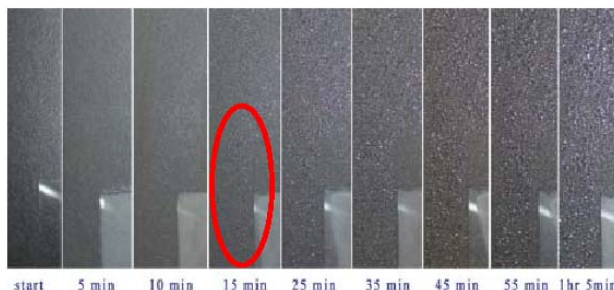
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 18.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 4.0 °C



รูปที่ 12 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 90%RH

- 85%RH

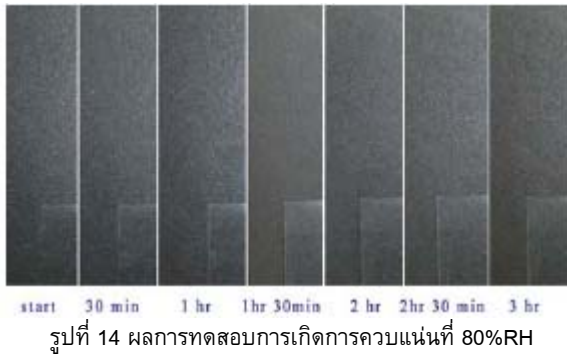
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 21.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 18.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 3.0 °C



รูปที่ 13 ผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นที่ 85%RH

- 80%RH

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 20.0 °C อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 18.0 °C
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิว 2.0 °C



จากรูปที่ 11 ,12 ,13 และ 14 เป็นผลการทดสอบการเกิดการควบแน่นบนแผ่นกระเบื้องเซรามิกที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95, 90 ,85 และ 80% ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไปเป็น 95% ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างและอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบมีค่า 5.0 °C จะสามารถทำการวัดขนาดของเม็มน้ำได้ใช้เวลาผ่านไป 5 นาที หลังจากเริ่มทดสอบ โดยขนาดเม็มน้ำที่วัดได้มีขนาดเป็น 0.23 mm ในทำนองเดียวกันที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 และ 85% สามารถวัดขนาดของเม็มน้ำได้หลังจากเวลาผ่านไป 10 และ 15 นาที โดยขนาดเม็มน้ำที่วัดได้มีค่า 0.24 mm และ 0.22 mm ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ปรับระบบให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80% พบว่าจากการทดลองไม่เกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

T _{floor} (°C)	%RH	T _{dp} (°C)	T _{dp} -T _{floor} (°C)	ระยะเวลา การเกิด(min)	ขนาดเม็มน้ำ (mm)
19	95	23.0	4	15	0.24
	90	22.0	3	30	0.23
	85	21.0	2	-	-
18	95	23.0	5	5	0.23
	90	22.0	4	10	0.24
	85	21.0	3	15	0.22
	80	20.0	2	-	-

6. สรุป

จากการทดลองพบว่า

- ขนาดเม็มน้ำที่วัดได้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.2 mm ขึ้นไป ซึ่งจะเป็นขนาดที่เราไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า
- ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดลอง เช่นที่อุณหภูมิพื้น 19.0 °C ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95% และ 90 % จะใช้ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นเป็น 15 และ 30 นาทีตามลำดับ
- การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ ต่างกันอยู่ค่าหนึ่ง ถึงจะเกิดการควบแน่นบนพื้นผิว พบว่าที่อุณหภูมิพื้นเป็น 19.0 °C, 85%RH กับที่อุณหภูมิพื้น

เป็น 18.0 °C ,80%RH ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวจะเป็น 2.0 °C จะไม่เกิดการควบแน่น

- ในการเกิดการควบแน่นนั้นการสะสมตัวกันของเม็มน้ำจะเกิดขึ้นได้เมื่ออัตราการควบแน่นมากกว่าอัตราการระเหย

- อุณหภูมิพื้นผิวมีผลต่อผลต่อการเกิดการควบแน่น ซึ่งจะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเปลี่ยนแปลง โดยจากการทดลอง ในกรณีที่ T_{floor} เป็น 19 °C และ 18 °C ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85% พบว่า กรณีที่ T_{floor} 19 °C จะไม่เกิดการควบแน่นขึ้น

(หมายเหตุ: ค่าของอุณหภูมิต่างๆ และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ จะอ่านจากเครื่องมือวัดภายในห้องทดสอบ)

เอกสารอ้างอิง

1. Olesen. B.W. "Possibility and limitations of Radiant Floor Cooling", ASHRAE Transactions, 1997, pp.103
2. Olesen, B.W. and Michel E. "Heat Exchange Coefficient Between Floor Surface and Space by Floor Cooling Theory of a Question of Definition" ASHRAE Transaction, 2000, pp. 684
3. Peter Simmonds, "Using Radiant Cooled Floors to Condition Large Spaces and Maintain Comfort Conditions" ASHRAE Transactions, 2000, pp.695
4. Richard D. Watson and Kirby S. chapman, "Radiant Heating&Cooling Handbook", McGrawHill ,2002