

การศึกษาการควบแน่นเป็นหยดน้ำในระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น
STUDY OF CONDENSATION IN RADIANT FLOOR COOLING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขทะเบียน 54996
วันเดือนปี 4 เม.ย. 2548

b.
i.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการควบแน่นเป็นหยดน้ำในระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

INVESTIGATION ABOUT CONDENSATION OF RADIANT FLOOR COOLING

ผู้จัดทำ

1. นายจักรกริช จิงศิริวัฒนา

รหัสประจำตัว 43010592

2. นายจตุรงค์ บุญนำ

รหัสประจำตัว 43010590



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการควบคุมเป็นหยดน้ำในระบบทำความเย็นแบบแฟรงส์จากพื้น

นายจักรกริช จิ่งศิริวัฒนา 43010592

นายจตุรงค์ บุญนำ 43010590

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการควบคุมเป็นหยดน้ำในระบบทำความเย็นแบบแฟรงส์จากพื้น โดยทำการทดลองในห้องทดสอบ ซึ่งจำลองระบบการทำความเย็นภายในอาคารขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัติ ต้องการให้ระบบสามารถทำความเย็นในระดับที่ต้องการได้โดยไม่เกิดปัญหาการควบแน่นที่พื้น และไม่เกิดปัญหาพื้นเย็นเกินไปจนทำให้รู้สึกไม่สบาย โดยผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่า ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ กับอุณหภูมิพื้น มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้น เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองมีค่ามากขึ้น ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นยิ่งสั้นลง ผลที่ได้เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ออกแบบระบบเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ในระบบทำความเย็นแบบแฟรงส์จากพื้น ซึ่งเป็นปัญหาที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบนี้ลดลง และอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION ABOUT CONDENSATION OF RADIANT FLOOR COOLING

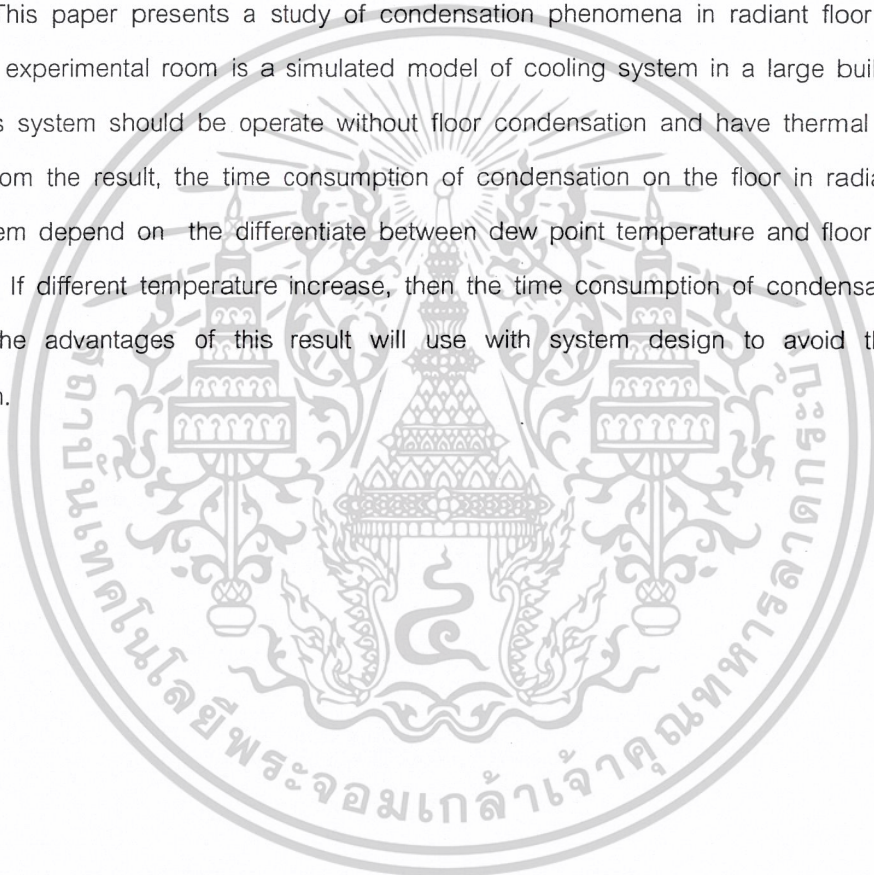
Jakrit Jungsiriwattana

Jaturong Boonnum

Assist. Prof. Chinda Charoenphonphanich Advisor

ABSTRACT

This paper presents a study of condensation phenomena in radiant floor cooling system. The experimental room is a simulated model of cooling system in a large building. In practice, this system should be operate without floor condensation and have thermal comfort condition. From the result, the time consumption of condensation on the floor in radiant floor cooling system depend on the differentiate between dew point temperature and floor surface temperature. If different temperature increase, then the time consumption of condensation will decrease. The advantages of this result will use with system design to avoid the floor condensation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ความสบายและพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์	4
2.1 พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์.....	6
2.1.1 ความร้อน.....	6
2.1.2 ความร้อนสัมผัส (sensible heat).....	6
2.1.3 ความร้อนแฝง (latent heat).....	6
บทที่ 3 การควบแน่นและไซโครเมทริกส์	7
3.1 ไซโครเมทริกส์.....	8
3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทางไซโครเมทริกส์.....	8
3.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature).....	8
3.2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature).....	8
3.2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature).....	10
3.2.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, Humid volume).....	10
3.2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity).....	10
3.2.6 ความชื้นจำเพาะ, ปริมาณความชื้น หรืออัตราส่วนความชื้น.....	10
3.2.7 เอนทัลปี(Enthalpy).....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ IV การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญ (ต่อ)

หน้าที่

3.3	หลักการใช้งานไซโครเมทริกส์ชาร์ژ	10
3.3.1	เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก	11
3.3.2	เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างและปริมาตรจำเพาะ	11
3.3.3	เส้นความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นจำเพาะ	12
3.3.4	เส้นเอนทัลปี	12
บทที่ 4	ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น(Radiant floor Cooling System)	14
บทที่ 5	การทดลอง	19
บทที่ 6	ผลการทดลอง	20
6.1	ปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์(70%,75%,80%,85%,90%,95%)	20
6.1.1	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 95 %	21
6.1.2	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 90 %	22
6.1.3	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 85 %	23
6.1.4	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 80 %	24
6.1.5	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 75 %	25
6.1.6	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 70 %	26
6.2	ปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์(88%,92%,98%)	28
6.2.1	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 98 %	29
6.2.2	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 92 %	30
6.2.3	กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 88 %	31
6.3	ปรับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ(14.6 °C,15.6 °C,16.1 °C)	33
6.3.1	กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 14.6 °C	34
6.3.2	กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 15.6 °C	35
6.3.3	กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 16.1 °C	36
บทที่ 7	วิเคราะห์ผลการทดลอง	38
บทที่ 8	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม		42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 6-1 ค่าผลต่างของอุณหภูมิพื้นและจุดน้ำค้างจาก %RH.....	20
ตารางที่ 6-2 ขนาดของเมฆน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง.....	27
ตารางที่ 6-3 ค่า%RH จากผลต่างของอุณหภูมิพื้นและจุดน้ำค้าง.....	28
ตารางที่ 6-4 ขนาดของเมฆน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง	32
ตารางที่ 6-5 ค่า%RH จากผลต่างของอุณหภูมิพื้นและจุดน้ำค้าง	33
ตารางที่ 6-6 ขนาดของเมฆน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2-1	ร่างกายของคนเราจะรู้สึกสบายถ้าเราสามารถปลดปล่อยความร้อนที่ เปล่งไปประ โยชน์ออกได้อย่างอิสระ.....	4
รูปที่ 3-1	การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย	9
รูปที่ 3-2	กระบวนการอิมิตัวแบบอะเดียบาติก	9
รูปที่ 3-3	เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	11
รูปที่ 3-4	เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก.....	11
รูปที่ 3-5	เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง	11
รูปที่ 3-6	เส้นปริมาตรจำเพาะในไซโครเมตริกส์ชาร์ท	11
รูปที่ 3-7	เส้นความชื้นสัมพัทธ์	12
รูปที่ 3-8	เส้นความชื้นจำเพาะ.....	12
รูปที่ 3-9	เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง.....	12
รูปที่ 3-10	ไซโครเมตริกส์ชาร์ท.....	13
รูปที่ 4-1	แผนผังแสดงการทำงานของระบบ RFC	14
รูปที่ 4-2	แผนผังแสดงระบบควบคุมวาล์วน้ำเย็นที่ส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	15
รูปที่ 4-3	แผนผังแสดงระบบควบคุมวาล์วน้ำเย็นที่ส่งไปยัง Fan coil	15
รูปที่ 4-4	แผนผังการทำงานการทำงานของ Fan coil	16
รูปที่ 4-5	แผนผังการทำงานของขดลวดทำความร้อน	16
รูปที่ 4-6	แสดงโครงสร้างของห้องทดสอบ	17
รูปที่ 4-7	แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบ.....	17
รูปที่ 4-8	แสดงชั้นต่างๆของพื้นห้องทดลอง.....	18
รูปที่ 4-9	แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์ต่างๆ (Top View).....	18
รูปที่ 5-1	แสดงแผ่นกระเบื้องที่ใช้ในการทดสอบ.....	19
รูปที่ 6-1	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95%	21
รูปที่ 6-2	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	21
รูปที่ 6-3	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90%	22
รูปที่ 6-4	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	22
รูปที่ 6-5	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85%	23
รูปที่ 6-6	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6-7	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80%	24
รูปที่ 6-8	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	24
รูปที่ 6-9	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75%	25
รูปที่ 6-10	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	25
รูปที่ 6-11	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70%	26
รูปที่ 6-12	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	26
รูปที่ 6-13	กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง	27
รูปที่ 6-14	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 98%	29
รูปที่ 6-15	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	29
รูปที่ 6-16	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 92%	30
รูปที่ 6-17	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	30
รูปที่ 6-18	ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 88%	31
รูปที่ 6-19	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	31
รูปที่ 6-20	กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง	32
รูปที่ 6-21	ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 14.6 °C	34
รูปที่ 6-22	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	34
รูปที่ 6-23	ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 15.6 °C	35
รูปที่ 6-24	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	35
รูปที่ 6-25	ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 16.1 °C	36
รูปที่ 6-26	แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ	36
รูปที่ 6-27	กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง	37
รูปที่ 7-1	ขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 4 °C	38
รูปที่ 7-2	ขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 3 °C	39
รูปที่ 7-3	ขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 2.5 °C	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันสภาพอากาศของโลกที่กำลังร้อนขึ้นทำให้ความต้องการใช้ระบบทำความเย็นเพื่อช่วยบรรเทาความร้อนมีมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันการนำพลังงานความร้อนและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ก็เป็นสิ่งที่มนุษย์คำนึงถึงมากเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของหลังคาให้มีลักษณะโปร่งแสง เพื่อใช้ประโยชน์จากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ แทนการใช้หลอดไฟฟ้าในการส่องสว่าง แต่สิ่งที่มาพร้อมกับแสงสว่าง ก็คือความร้อน

ความร้อนที่มากับแสงสว่างของดวงอาทิตย์ มีผลทำให้ต้องเพิ่มพลังงานในการขับอุปกรณ์ทำความเย็นเพื่อให้สามารถทำความเย็นได้มากขึ้น หากมีการออกแบบระบบไม่ดี ค่าความประหยัดที่ได้จากการลดการใช้พลังงานของหลอดไฟลงนั้นอาจเทียบไม่ได้กับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการใช้พลังงานระบบทำความเย็น

แต่ในปัจจุบันมีการนำระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น มาใช้กับห้องทำความเย็นที่เป็นแบบอาคารที่มีหลังคาโปร่งแสง ในประเทศไทย ทำอาภาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิเป็นแห่งแรกที่มีการนำระบบทำความเย็นดังกล่าวมาใช้ คำถามที่เกิดขึ้นต่อไปก็คือ ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นที่ว่านี้มีข้อแตกต่างจากระบบทำความเย็นแบบเก่าที่เป็นแบบท่อลมเย็น (air duct) อย่างไร ทำไมจึงเลือกใช้ระบบทำความเย็นลักษณะนี้กับอาคารที่มีหลังคาโปร่งแสง

ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น เป็นระบบที่ทำความเย็น โดยการนำความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นเย็น (มีระบบท่อน้ำเย็นฝังไว้ใต้พื้น) โดยน้ำเย็นที่ใช้ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) ข้อดีของระบบนี้ก็คือ ความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยอาศัยพื้น ที่มีอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้การที่พื้น มีอุณหภูมิต่ำทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศ ให้เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ*ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้สามารถควบคุมขอบเขตการทำความร้อน ให้อยู่แค่ในระดับความสูงของผู้อยู่อาศัยเท่านั้น ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากการใช้อุปกรณ์ในระบบให้มีขนาดเล็กลง และเนื่องจากระบบทำความเย็นระบบนี้เป็นแบบระบบปิด คือไม่มีการรั่วไหลของน้ำซึ่งเป็นสารทำความเย็นออกจากระบบ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอีกด้วย

* การแบ่งชั้นอุณหภูมิหมายถึงอากาศร้อน กับอากาศเย็นมีการแยกตัวกันเป็นชั้นอย่างชัดเจน จะเกิดในสภาพอากาศที่มีการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ได้ง่ายกว่า สภาพอากาศที่มีการไหลแบบปั่นป่วน (turbulence flow)

แต่ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นยังมีข้อจำกัด ตรงที่สามารถจัดการกับภาระความร้อนได้ เฉพาะความร้อนสัมผัส(sensible heat) แต่กับภาระความร้อนแบบความร้อนแฝง(latent heat) ไม่สามารถจัดการได้ รวมทั้งไม่สามารถควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ทำความเย็นได้ จึงต้องนำระบบทำความเย็นแบบลมเย็นมาช่วยในการจัดการกับความร้อนแฝงและควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ทำความเย็นให้อยู่ในค่าที่ต้องการ กล่าวคือ เมื่อความชื้นสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ ระบบลมเย็นจะทำงานเพื่อลดความชื้นออกจากระบบ การรวมทั้งสองระบบเข้าด้วยกันเรียกว่าระบบผสม(hybrid system)

นอกจากนี้ระบบทำความเย็นแบบนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวของวัสดุปูพื้น ซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญที่ผู้ออกแบบควรให้ความสนใจ โดยพื้นของห้องทำความเย็นที่ใช้ระบบทำความเย็นระบบนี้ต้องไม่ใช่วัสดุที่ดูดซับน้ำได้ดีเช่น พื้นพรม พื้นไม้ เพราะเมื่อเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นขึ้นแล้ววัสดุเหล่านี้จะดูดซับน้ำไว้ อันอาจเป็นสาเหตุของเชื้อรา หรือแบคทีเรียต่างๆ ที่มีอันตรายต่อผู้อาศัย เช่น เชื้อราทำให้เป็นโรคภูมิแพ้ ซึ่งเป็นโรคที่คนไทยในปัจจุบันเป็นกันมากเนื่องจากความนิยมอยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ และแม้จะเล็งปัญหาดังกล่าวได้โดยการนำวัสดุปูพื้น ซึ่งเป็นวัสดุเคลือบผิวมาใช้แต่ปัญหาอื่นก็ตามมาอีกคือในเรื่องของพื้นผิวที่ลื่นอันอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุแก่ผู้อยู่อาศัยได้ ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาที่ตรงต้นเหตุจึงเป็นการดีกว่า คือการศึกษาสภาวะที่ทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ และระยะเวลาที่เริ่มเกิดการควบแน่น รวมทั้งลักษณะทางกายภาพของการเกิดการควบแน่น เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบให้ปราศจากปัญหาดังกล่าว

การออกแบบระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็น ที่มีประสิทธิภาพง่ายต่อการใช้งาน และที่สำคัญที่สุดคือการคำนึงถึงสวัสดิภาพที่ดีของผู้นำไปใช้งาน จึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่จะศึกษาและพัฒนาให้สิ่งอำนวยความสะดวกที่เรียกว่าระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็นนี้ มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น และผู้จัดทำได้เลือกระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นระบบที่มีแนวโน้มนำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคตอันใกล้ จึงเป็นการดีหากมีการศึกษาเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับอนาคต โดยการทดลองจะต้องทราบทฤษฎี และจะทำการทดลองอย่างไรนั้นจะกล่าวต่อไปในส่วนของเนื้อหาการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาขีดจำกัดของระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น ในการทำความเย็นโดยไม่เกิดปัญหาการควบแน่นเป็นหยดน้ำ(condensation)

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น เช่น ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น ขนาดของหยดน้ำ ณ เวลาต่างๆ (เมื่อสภาวะในห้องทดสอบมีโอกาทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำได้)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้กล่าวถึงข้อจำกัดของระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นในเรื่องการควบแน่นเป็นหยดน้ำบริเวณพื้นผิวของวัสดุปูพื้น โดยครอบคลุมลักษณะทางกายภาพของการเกิด ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ และการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่เปลี่ยนไปกับเวลา รวมถึงการนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้

ถึงแม้ว่าในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นมาใช้เป็นกรณีศึกษาแต่จะกล่าวถึงหลักการการทำงานของระบบอย่างคร่าวๆเท่านั้น โดยจะไม่มีอธิบายหลักการในเรื่องของการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการผสมผสานระหว่างการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี ขนาดของภาระทำความเย็นที่สามารถทำได้ รวมถึงลักษณะการทำงานของระบบสารทำความเย็นที่ใช้น้ำเป็นสารทำความเย็น จะไม่มีการกล่าวถึงในรายงานการวิจัยฉบับนี้

โดยงานวิจัยนี้จะใช้หน่วยการวัดขนาดของหยดน้ำเป็น หน่วยมิลลิเมตร ซึ่งอาจไม่สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อเราสังเกตเห็นหยดน้ำ ณ จุดนั้นจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเริ่มเกิดการควบแน่นอย่างแท้จริงอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และงบประมาณในการทำงานวิจัย แต่นับว่าเป็นระดับที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบได้คือพอสมควร

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งก็มีเรื่องหลัก ๆ อยู่เรื่องด้วยกัน คือ หลักความสลาย พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ การควบแน่น ไซโครเมทริกส์ และระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน บทที่ 2,3 และ 4 จากนั้นนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการออกแบบการทดลองดังรายละเอียดใน บทที่ 5

หลังจากนั้นทำการทดลองตามทีออกแบบไว้ โดยการบันทึกภาพเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นของการควบแน่น และทราบระยะเวลาที่เริ่มเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำหลังจากควบคุมสภาวะตามที่ออกแบบ เมื่อได้ผลการทดลองดังรายละเอียดในบทที่ 6 แล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของขนาดและเวลาที่เปลี่ยนไป รวมถึงหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวของวัสดุปูพื้น ดังแสดงในบทที่ 7

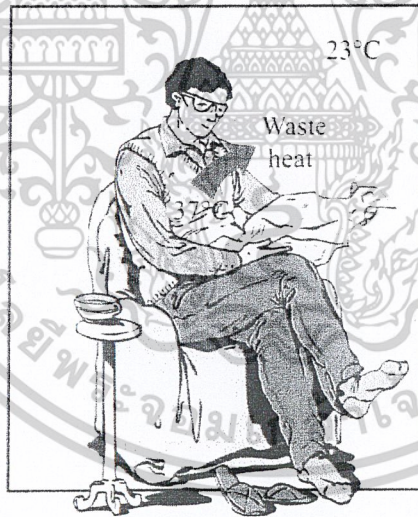
ในบทที่ 8 ซึ่งเป็นบทสรุปท้ายจะเป็นการสรุปการทำงาน ผลที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

บทที่ 2

ความสบาย และ พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์

คนเรามักจะต้องการความรู้สึกที่สบาย กล่าวคือ เรามักจะต้องการที่จะอาศัยอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ร้อนหรือเย็นเกินไป และไม่ชื้นหรือแห้งเกินไปด้วย แต่ความรู้สึกที่สบายนี้มักมาโดยง่าย เนื่องจากความต้องการของมนุษย์นี้บ่อยครั้งที่จะไม่สอดคล้องกับสภาวะของอากาศที่อยู่รอบๆ ดังนั้นความรู้สึกสบายนี้จะได้มากก็ต้องต่อสู้กับปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของความรู้สึกไม่สบาย เช่น การที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป และมีความชื้นสูงหรือต่ำมากเกินไป

ร่างกายของคนเราสามารถถูกมองได้เหมือนกับกลจักรความร้อน (heat engine) ที่มีการป้อนพลังงานเข้าซึ่งพลังงานที่ว่าเป็นคืออาหาร และในการทำงานเดียวกันกับกลจักรความร้อน ร่างกายของคนเราก็ต้องมีการปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์สู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน ไม่ใช่อุณหภูมิของร่างกาย อุณหภูมิของร่างกายของคนเราที่มีสุขภาพดี จะถูกรักษาให้คงที่ที่ 37°C ร่างกายของคนเราจะรู้สึกสบายในสภาวะแวดล้อมที่สามารถปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์ได้อย่างสะดวกสบาย



รูปที่ 2-1 ร่างกายของคนเราจะรู้สึกสบายถ้าเราสามารถปลดปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์ออกได้อย่างอิสระ

การถ่ายโอนความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ในสภาวะแวดล้อมที่ร้อนเราจะพบปัญหาที่ตรงกันข้าม เราดูเหมือนว่าจะไม่สามารถปล่อยความร้อนออกจากร่างกายของเราได้เพียงพอ และเราจะรู้สึกราวกับว่าตัวของเรากำลังจะระเบิด เรามักจะสวมใส่เสื้อผ้าที่เบาบางเพื่อให้ความร้อนระบายออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากร่างกายได้ง่าย และเรามักจะลดระดับของกิจกรรมให้น้อยลงเพื่อลดอัตราการเกิดความร้อนขึ้นภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังมักชอบเปิดพัดลมอย่างต่อเนื่องเพื่อทดแทนชั้นอากาศที่อบอวลกว่าที่เกิดขึ้นรอบๆ ร่างกาย เนื่องจากความร้อนภายในร่างกายด้วยอากาศส่วนอื่นๆ ภายในห้องที่เย็นกว่า ถ้าเราทำงานเบาๆ หรือเดินช้าๆ ครั้งหนึ่งของความร้อนที่ปล่อยออกจากร่างกายจะถูกปล่อยออกโดยการหายใจในรูปของ ความร้อนแฝง ขณะที่อีกครั้งหนึ่งจะถูกปล่อยออกโดยกลไกการพาและการแผ่รังสีในรูปของ ความร้อนสัมผัส ถ้าเราพักผ่อนหรือทำงานในสำนักงาน ความร้อนส่วนใหญ่ (ประมาณ 70%) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อน Sensible แต่ถ้าเราทำงานหนัก ความร้อนส่วนใหญ่ประมาณ 60%) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนแฝง ร่างกายจะช่วยในการกำจัดความร้อนโดยมีเหงื่อออกมามากๆ ขณะที่เหงื่อเกิดการระเหย เหงื่อจะดูดซึมความร้อนแฝงจากร่างกายและทำให้ร่างกายเย็นลง แต่การระบายความร้อนด้วยเหงื่อจะไม่ช่วยอะไร ได้มากนัก ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อมมีค่าใกล้เคียง 100%

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคนเราคือการถ่ายโอนความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างร่างกายกับพื้นผิวที่อยู่รอบๆ เช่น ผืนผนังและหน้าต่าง รังสีจากดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศโดยการแผ่รังสี เราจะรู้สึกอบอุ่นเมื่อเรายืนอยู่หน้าไฟ แม้ว่าอากาศระหว่างเราและไฟจะค่อนข้างเย็นก็ตาม ในทำนองเดียวกัน เราจะรู้สึกเย็นแม้ว่าเราจะอยู่ในห้องที่อบอุ่น ถ้าเพดานหรือพื้นผิวของกำแพงจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเกิดการถ่ายโอนความร้อน โดยตรงระหว่างร่างกายของเราและพื้นผิวที่อยู่รอบๆ โดยการแผ่รังสี เครื่องทำความร้อนแบบแผ่รังสีมักจะถูกใช้สำหรับบริเวณที่ยากในการทำความร้อน เช่น ouchomrathn

ความรู้สึกสบายของร่างกายของมนุษย์มักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการคือ อุณหภูมิ(กระเปาะแห้ง) ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนไหวของอากาศ อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมจะเป็นดัชนีหลักที่สำคัญที่สุดของความรู้สึกสบาย คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมอยู่ระหว่าง 22-27 °C (72-80 °F) ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกที่สบาย เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์นี้จะมีผลต่อปริมาณของความร้อนของร่างกายที่จะสามารถระเหยออกได้ โดยการระเหย ความชื้นสัมพัทธ์เป็นดัชนีที่ใช้ในการวัดความสามารถของอากาศในการดูดซึมความชื้น กล่าวคือถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ก็จะมีผลทำให้การคายความร้อนออกจากร่างกายของคนเรา โดยการระเหยเกิดขึ้นช้าลง แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ก็จะมีผลในทางตรงกันข้ามคือ ทำให้การคายความร้อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น คนส่วนใหญ่จะชอบอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 40-60% การเคลื่อนไหวของอากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อความรู้สึกที่สบายของคนเราเช่นกัน เพราะการเคลื่อนไหวของอากาศจะกำจัดเอาอากาศอุ่นและมีความชื้นที่เกิดขึ้นรอบๆ ร่างกายออก และแทนที่ด้วยอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์กว่า ดังนั้นการเคลื่อนไหวจึงเป็นการเพิ่มการคายความร้อนออกโดยกลไกทั้งการพาและการระเหย การเคลื่อนไหวของอากาศควรจะแรงพอที่จะกำจัดความร้อนและความชื้นออกจากบริเวณร่างกาย แต่ก็ไม่ควรที่จะรุนแรงมากเกินไป คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าความเร็วของอากาศมีค่าประมาณ 0.25 m/sec การเคลื่อนไหวของอากาศที่ความเร็วสูงมากเกินไป มักจะทำให้ร่างกายรู้สึกไม่สบายมากกว่าที่จะรู้สึกสบาย ตัวอย่างเช่น สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 10°C (50°F) พร้อมทั้งมีลมพัดด้วยอัตราเร็ว 48 km/h มักจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ร่างกายรู้สึกหนาวเย็นราวกับอยู่ในที่มีอุณหภูมิ -7°C (20°F) พร้อมกับมีลมพัดด้วยอัตราเร็ว 3 km/h ผลของการเคลื่อนไหวของอากาศที่ทำให้ร่างกายรู้สึกเย็น (เราเรียกว่า **wind-chill factor**)

นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคน คือ ความสะอาด กลิ่น เสียง ผลของการแผ่รังสี และอุณหภูมิพื้น โดยที่อุณหภูมิของพื้นไม่ควรสูงหรือต่ำจนเกินไป โดยตามมาตรฐานสากล (ASHRAE 1992; ISO 1994) ควรอยู่ในช่วง $18-19^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะถือเป็นข้อจำกัดของระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

เนื่องจากความสบายเป็นสิ่งจำเป็นดังนั้นระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นจึงได้ให้ความสำคัญต่อสิ่งนี้เป็นอย่างมากโดยที่ภายในระบบจะทำการควบคุมให้สภาวะอยู่ที่ อุณหภูมิห้อง 24°C , อุณหภูมิพื้น 19°C , ความชื้นสัมพัทธ์ $55\%RH$ และความเร็วของอากาศระหว่าง $0.1-0.3\text{ m/sec}$ ซึ่งจะทำให้รู้สึกสบายที่สุด

2.1 พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์

2.1.1 ความร้อน (heat)

ความร้อน (heat) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งซึ่งสามารถทำงานได้ และสามารถเปลี่ยนพลังงานรูปอื่นๆ หรือพลังงานรูปอื่นๆ สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกัน กล่าวคือ ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า และจะหยุดการถ่ายเทเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน

ความร้อนสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ ความร้อนสัมผัส (sensible heat) และความร้อนแฝง (latent heat)

2.1.2 ความร้อนสัมผัส (sensible heat)

เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแต่สถานะคงเดิมอยู่ เช่น น้ำซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อถูกเพิ่มปริมาณความร้อนเข้าไปน้ำนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศซึ่งเรียกว่า จุดเดือดของน้ำ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดนี้จัดว่าเป็นความร้อนสัมผัส

2.1.3 ความร้อนแฝง (latent heat)

เป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสสาร โดยมีอุณหภูมิกงที่อยู่ ซึ่งความร้อนแฝงนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ

ก. ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว เช่น น้ำแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส ถ้าถูกเพิ่มปริมาณความร้อนจะหลอมละลายกลายเป็นน้ำหมดที่ 0 องศาเซลเซียส

ข. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เช่น น้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ถ้าถูกเพิ่มปริมาณความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำหมดที่ 100 องศาเซลเซียสเช่นกัน

บทที่ 3

การควบแน่น และไซโครเมทริกส์

การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอ (vapor) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิมืดตัวของมัน การควบแน่นในอุปกรณ์ หรือพื้นผิวต่างในระบบทำความเย็นนั้น มักเป็นผลจากการที่ไอสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนแฝง (latent heat) จะถูกถ่ายออกจากไอ และส่งถ่ายไปยังพื้นผิว ทำให้ไอควบแน่นเป็นของเหลว วิธีการอื่นๆ ในการควบแน่น ได้แก่ การควบแน่นแบบ “homogeneous” ซึ่งไอจะควบแน่นเป็นหยดน้ำลอยอยู่ก๊าซทำให้เกิดลักษณะคล้ายหมอก อีกวิธีการหนึ่ง ได้แก่ การควบแน่นแบบสัมผัส โดยตรง (direct contact condensation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการนำไอไปสัมผัสกับของเหลวที่เย็นกว่า โดยตรง

การพิจารณา พบว่าการควบแน่นนั้นสามารถเป็นไปได้สองแบบซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพที่พื้นผิว แบบแรกได้แก่การควบแน่นเป็นชั้นของเหลวครอบคลุมพื้นผิวทั้งหมด การควบแน่นลักษณะนี้เรียกว่า “film condensation” มักจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่สะอาดวางอยู่ในแนวตั้ง แต่ถ้าพื้นผิวเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พื้นผิวเปียก การควบแน่นก็จะเปลี่ยนเป็นแบบ “drop wise condensation” ซึ่งการควบแน่นในลักษณะนี้ก็จะมิได้หลายขนาดตั้งแต่เป็นไมโครเมตร จนถึงขนาดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และโดยทั่วไปจะครอบคลุมเนื้อที่ถึง 90% ของพื้นผิว

ไม่ว่าการควบแน่นจะเป็นแบบหนึ่งแบบใดก็ตาม การเกิดขึ้นของเหลวหรือหยดของเหลวบนพื้นผิวจะทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอและพื้นผิว ความต้านทานดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาของชั้นของเหลวหรือหยดของเหลวมากขึ้น และความหนานี้เพิ่มขึ้นในทิศทางกรไหล การควบแน่นในลักษณะ drop wise จะให้อัตราการควบแน่นและการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าในแบบ film condensation ทั้งนี้เพราะหยดของเหลวส่วนใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากคือประมาณ $100 \mu\text{m}$ จึงอาจให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าในแบบ film condensation ถึง 10 เท่า ดังนั้นพื้นผิวที่ใช้ในการควบแน่นโดยทั่วไปจะเคลือบด้วยวัสดุกันเปียก เพื่อให้การควบแน่นเป็นแบบ drop wise อย่างไรก็ตามเมื่อพื้นผิวมีอายุการใช้งานสูงขึ้น วัสดุที่ใช้เคลือบก็จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปและในที่สุดจะเกิดการควบแน่นแบบ film condensation

เนื่องจากระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น (Radiant Floor Cooling System) ทำความเย็นโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับพื้น (ซึ่งมีท่อให้น้ำเย็นฝังอยู่) การเกิดการควบแน่นบนพื้นจึงเป็นการลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้น ซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของการควบแน่นบนพื้นในระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประโยชน์ในการควบคุมไม่ให้เกิดสภาวะดังกล่าว

3.1 ไซโครเมทริกส์

เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของส่วนผสมระหว่างไอน้ำและก๊าซ ในอากาศจะประกอบไปด้วย อากาศแห้ง(dry air) และ ความชื้นหรือน้ำ (moisture) เป็นองค์ประกอบ อากาศแห้ง 1 โมลจะมีก๊าซไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 79% รองลงมาคือ ออกซิเจน 20 % และก๊าซอื่นๆ ดังนั้น อากาศแห้ง 1 โมลจะมีมวล 29 กรัม หรือ 29 ปอนด์ก็ได้ในกรณีเทียบมาจากหน่วยอังกฤษ

การศึกษาไซโครเมทริกส์จะช่วยให้เราเข้าใจถึงสมบัติต่างๆของอากาศ ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปใช้ออกแบบระบบทำความเย็น และใช้ทำนายสภาวะของพื้นที่ปรับอากาศเมื่อทราบตัวแปรต่างๆได้ง่ายขึ้น

3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทางไซโครเมทริกส์

3.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)

เป็นอุณหภูมิที่บอกโดยไม่มีารัดแปลง(modified temperature sensor) ในการบอกอุณหภูมิวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป จะหมายความถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

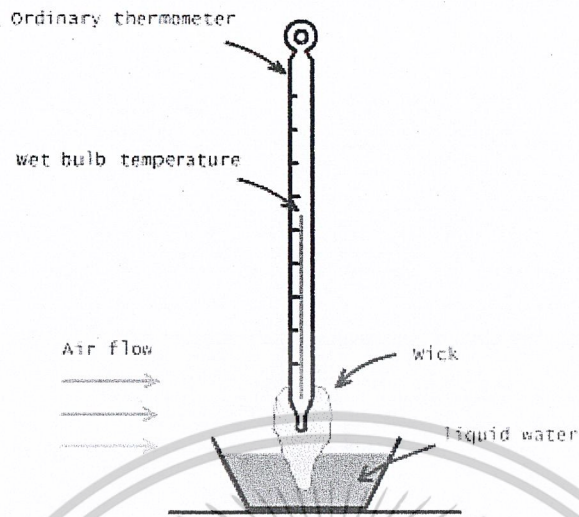
3.2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature)

มี 2 แบบ คือ

- 1) อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางไซโครเมทริกส์ (psychrometric wet bulb temperature)
- 2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic wet bulb temperature)

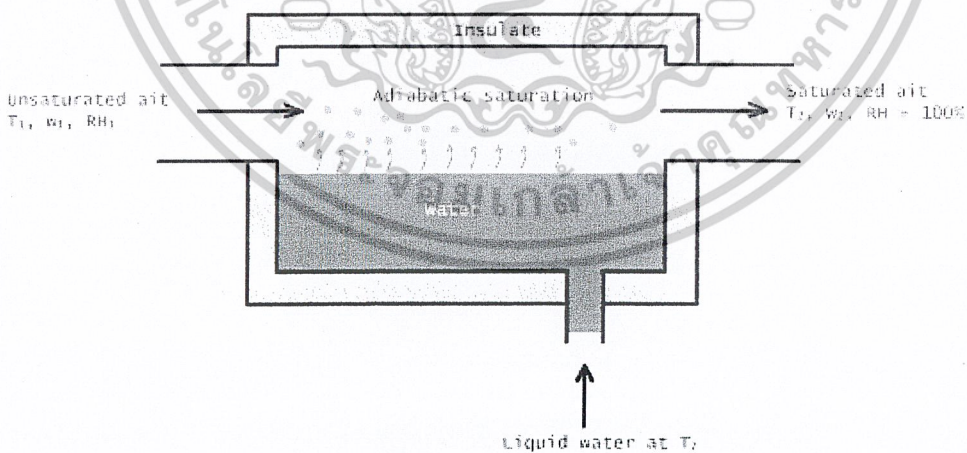
ในกรณีอากาศชื้นค่าทั้ง 2 แบบนี้มีค่าใกล้เคียงกัน

อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางไซโครเมทริกส์ได้มาจากการนำเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทหุ้มด้วยสำลีหรือผ้าเปียกตลอดเวลา แล้วปล่อยให้สัมผัสกับอากาศที่ไหลในความเร็วสูง (อย่างน้อย 4.6เมตร/วินาที) หรือ จะผูกเชือกกับเทอร์โมมิเตอร์ที่หุ้มผ้าสำลีที่ชุ่มน้ำ แล้วเหวี่ยงเป็นวงกลม ก็ได้เช่นกัน ความชื้นที่อยู่ในผ้าสำลีชุ่มน้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศไม่อิ่มตัวที่อยู่ภายนอก ก็จะมีการถ่ายเทความชื้นสู่อากาศไม่อิ่มตัวเนื่องจากความดันไอของน้ำในผ้าสำลีสูงกว่าอากาศแห้ง ซึ่งเป็นกระบวนการระเหยที่เกิดขึ้นนี้จะไปมีผลทำให้เกิดการดึงความร้อนออกไป ความร้อนที่สัมผัสที่จะไหลออกจากอากาศไปยังผ้าสำลี จนการระเหยอยู่ในสภาวะคงตัว อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์จึงมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



รูปที่ 3-1 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย

ส่วนอุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์จะได้จากการทำให้อากาศชื้นเป็นอากาศอิ่มตัว ในสภาวะอะเดียบติก ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 ซึ่งภายนอกจะต้องหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันถ่ายเทความร้อนออกไปนอกระบบ อากาศไม่อิ่มตัวที่อุณหภูมิ T_1 มีความชื้น w_1 และ ความชื้นสัมพัทธ์ RH_1 เมื่อผ่านเข้าสู่อ่างน้ำที่ยาวมากๆ อากาศแห้งที่ไม่อิ่มตัวจะรับเอาน้ำที่ระเหยจากอ่างที่มีฉนวนหุ้ม ที่ทางออกอากาศที่อิ่มตัวหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% แล้ววัดอุณหภูมิออกมาจะได้อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ และอากาศที่ทางออกจะมีอุณหภูมಿನ้อยกว่าขาเข้า มีความชื้นสูงกว่าขาเข้าด้วย



รูปที่ 3-2 กระบวนการอิ่มตัวแบบอะเดียบติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature)

คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่น เมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างจึงหมายถึง อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ความดันนั้นๆ

3.2.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, Humid volume)

คือ ปริมาตรของอากาศชื้น ต่อ หนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้ง ขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นจำเพาะนั้นเป็นส่วนกลับกับค่าปริมาตรจำเพาะ

3.2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในความชื้น ต่อ ปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศนั้นจะสามารถรับไว้ได้ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน นอกจากนี้ยังหมายถึง ความดันของอากาศ ต่อ ความดันอิ่มตัวในขณะนั้นที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 -1 หรือรายงานในรูปร้อยละ ตั้ง 0% - 100% ก็ได้

3.2.6 ความชื้นจำเพาะ, ปริมาณความชื้น หรืออัตราส่วนความชื้น

(Specific humidity, Humidity ratio, Absolute humidity, Humidity ratio also Moisture Content)

คือ มวลของน้ำที่อยู่ในอากาศแห้งคิดต่อ 1 กิโลกรัม หรือ ปอนด์ มีหน่วยเป็น $\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg dry air}$ หรือ $\text{g H}_2\text{O} / \text{kg dry air}$ ก็ได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ในหน่วยอังกฤษ $\text{lb H}_2\text{O} / \text{lb dry air}$ ด้วย

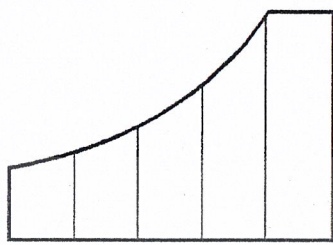
3.2.7 เอนทัลปี (Enthalpy)

ค่าพลังงานความร้อนที่มีในอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้ง เมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง (นิยมใช้ 0°C ในระบบเมตริกส์)

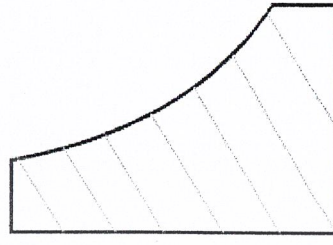
3.3 หลักการใช้งานไซโครเมตริกส์ชาร์ท

พารามิเตอร์หรือคุณสมบัติต่างๆของอากาศที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน สามารถคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ไซโครเมตริกส์ชาร์ทที่ระดับความดันหนึ่งๆ สามารถนำมาใช้คำนวณ หรือบอกพิกัดของค่าต่างๆ ได้ เพียงแค่ทราบค่าคุณสมบัติที่อิสระต่อกัน 2 ค่า ก็สามารถหาคุณสมบัติอื่นๆ ทางไซโครเมตริกส์ได้ทั้งหมด

3.3.1 เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้ง และกะเปาะเปียก



— เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้ง

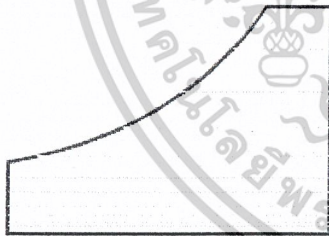


เส้นอุณหภูมิกะเปาะเปียก

รูปที่ 3-3 เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้ง

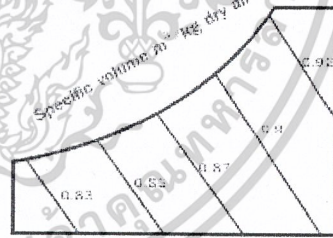
รูปที่ 3-4 เส้นอุณหภูมิกะเปาะเปียก

3.3.2 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และปริมาตรจำเพาะ



เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

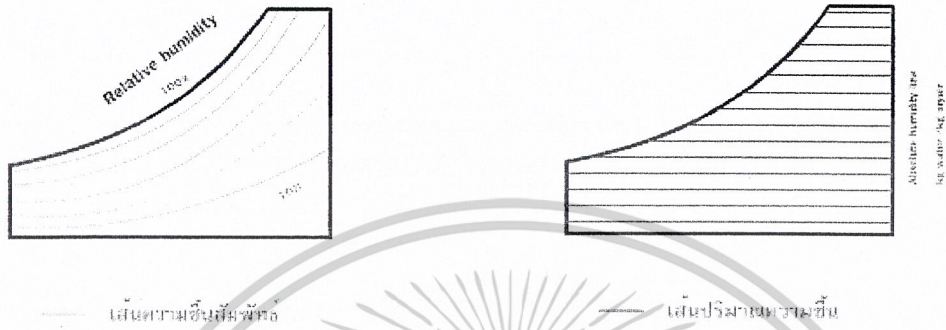
รูปที่ 3-5 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง



เส้นปริมาตรจำเพาะ

รูปที่ 3-6 เส้นปริมาตรจำเพาะในไซโครเมตริกส์ชาร์ท

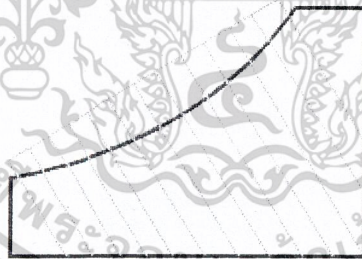
3.3.3 เส้นความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นจำเพาะ



รูปที่ 3-7 เส้นความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 3-8 เส้นความชื้นจำเพาะ

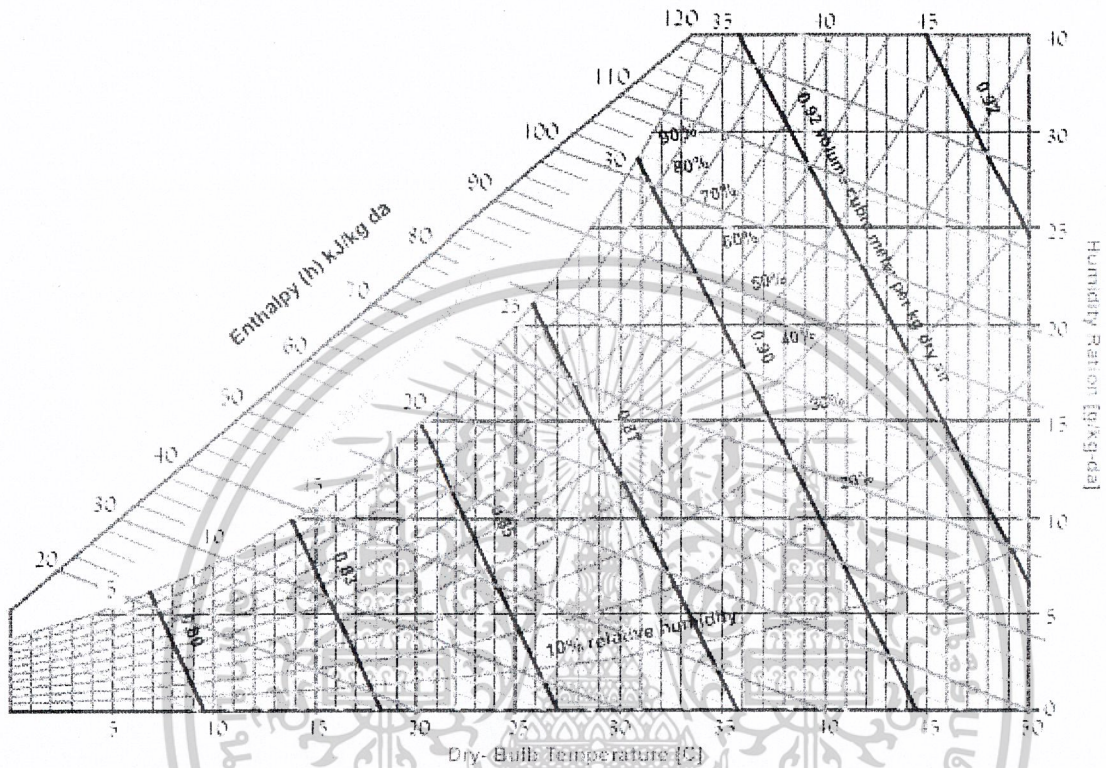
3.3.4 เส้นเอนทัลปี



เส้นเอนทัลปี

รูปที่ 3-9 เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 ไชโครเมตริกส์ชาร์ท

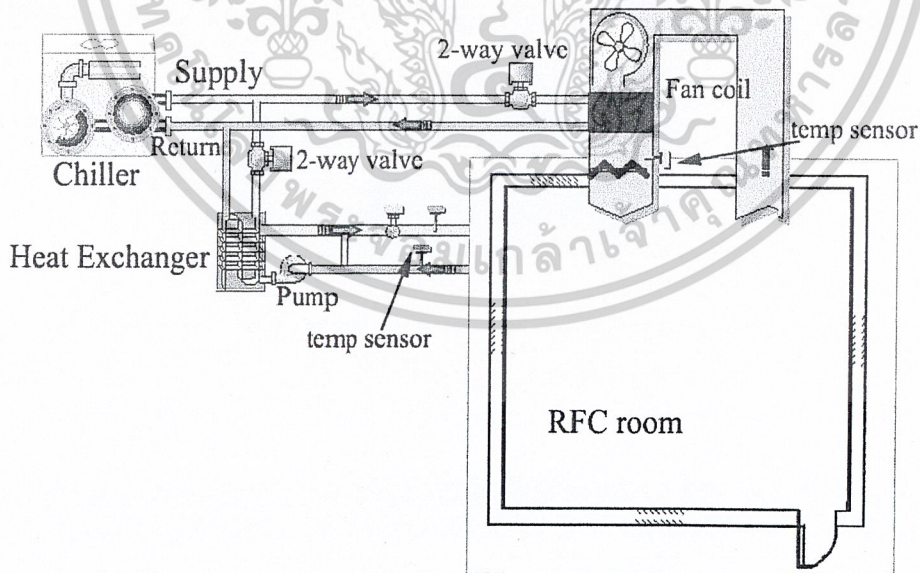
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 13 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

ระบบปรับอากาศสำหรับอาคารขนาดใหญ่โดยทั่วไปนั้น เป็นระบบที่สามารถทำความเย็นได้ดีในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์ไม่มากนัก แต่เนื่องจากปัจจุบันการออกแบบหรือการก่อสร้างอาคารใหญ่ ๆ มักนิยมนำแสงแดดมาใช้ประโยชน์ในการส่องสว่างเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากหลอดไฟฟ้า แต่ก็มีผลทำให้ภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศสูงขึ้น ดังนั้นระบบการทำความเย็นแบบแผ่รังสีความเย็นจากพื้นจึงได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะสามารถดูดซับรังสีความร้อนที่กระทบพื้นได้ดี เป็นการลดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้เล็กลงเมื่อเทียบกับระบบการทำความเย็นอื่น ๆ ที่ภาระทำความเย็นเท่า ๆ กัน และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเนื่องจากเป็นระบบปิด รวมทั้งยังสามารถควบคุมให้ทำความเย็นได้ในระดับระดับความสูงที่ต้องการ ซึ่งเป็นการลดภาระในการทำความเย็นในส่วนที่ไม่จำเป็นของระบบ แต่ในการทำงานจะต้องอยู่ในรูปแบบของระบบผสม เนื่องจากระบบแผ่รังสีนี้ไม่สามารถควบคุมความชื้นในอากาศหรือความร้อนแฝง (Latent Heat) ได้ จึงต้องทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศที่ใช้การเป่าลมเย็นเพื่อการปรับอากาศ (Fan Coil Unit) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นภายในห้อง

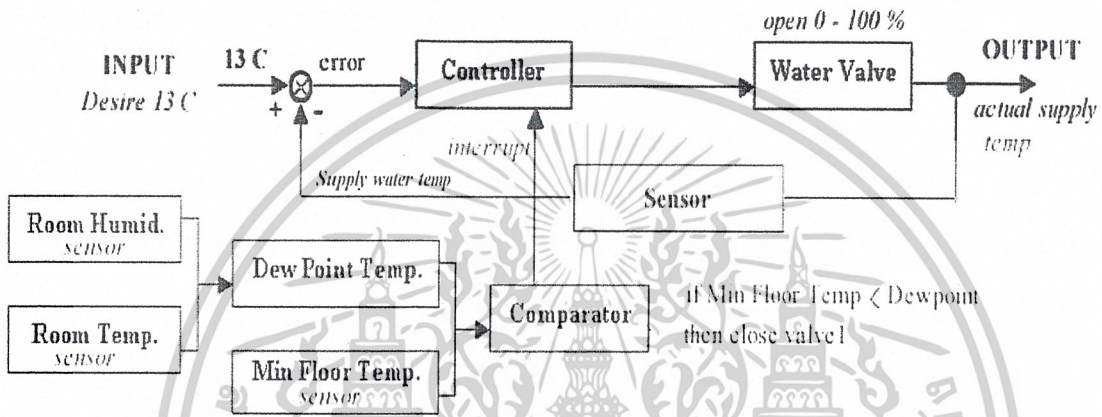
ระบบการทำความเย็นแบบแผ่รังสีความเย็นจากพื้นเป็นระบบที่มีทำความเย็น โดยมี Chiller เป็นตัวผลิตน้ำเย็นแล้วส่งผ่านตามท่อเพื่อไปยัง Fancoil และไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger โดยจะผ่านทาง 2-way valve ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายมาจาก Chiller จากนั้นน้ำที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะไหลไปตามท่อผ่านใต้พื้นห้อง โดยมี Pump เป็นตัวขับเคลื่อน ดังรูปที่ 4-1 โดยที่ห้องจะได้รับความเย็นทั้งทางการแผ่รังสีความเย็นจากพื้น และทางลมเย็นที่ Fancoil เป็นตัวเป่าออกมา



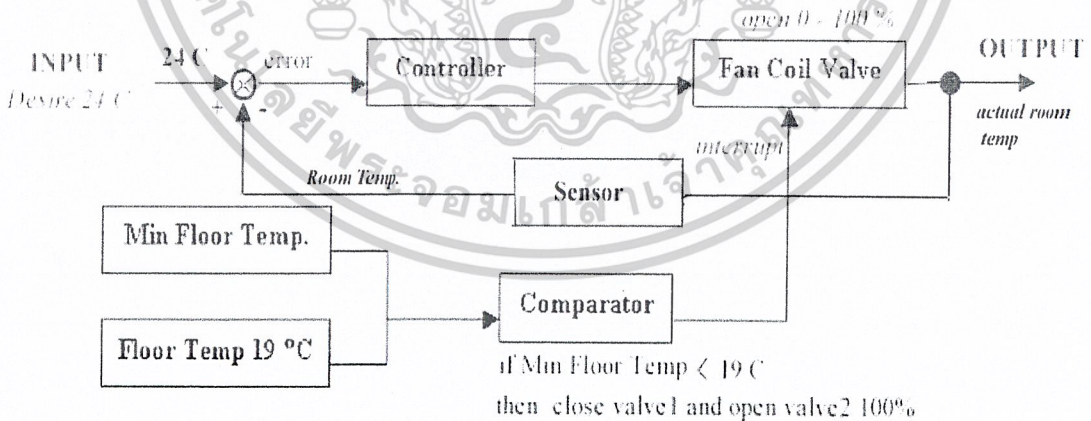
รูปที่ 4-1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ RFC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการทำความเย็นแบบแปรรังสีความเย็นจากพื้นจะมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยที่ระบบควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองชุด ชุดที่หนึ่งสำหรับควบคุมวาล์วน้ำเย็นที่จะเข้าไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอีกชุดสำหรับควบคุมวาล์วน้ำเย็น ที่จะเข้าที่ชุด fan coil ลักษณะการควบคุมเป็นแบบ Proportional Control โดยจะมีการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งสำหรับในขั้นตอนนี้ใช้อุณหภูมิน้ำที่เข้าระบบการทำความเย็น โดยการแปรรังสีที่พื้น (RFC) เป็นตัวกำหนดการ เปิด-ปิด ของวาล์วน้ำที่พื้น(water valve) และ ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องเป็นตัวกำหนดการ เปิด-ปิด ของวาล์วน้ำที่ fan coil



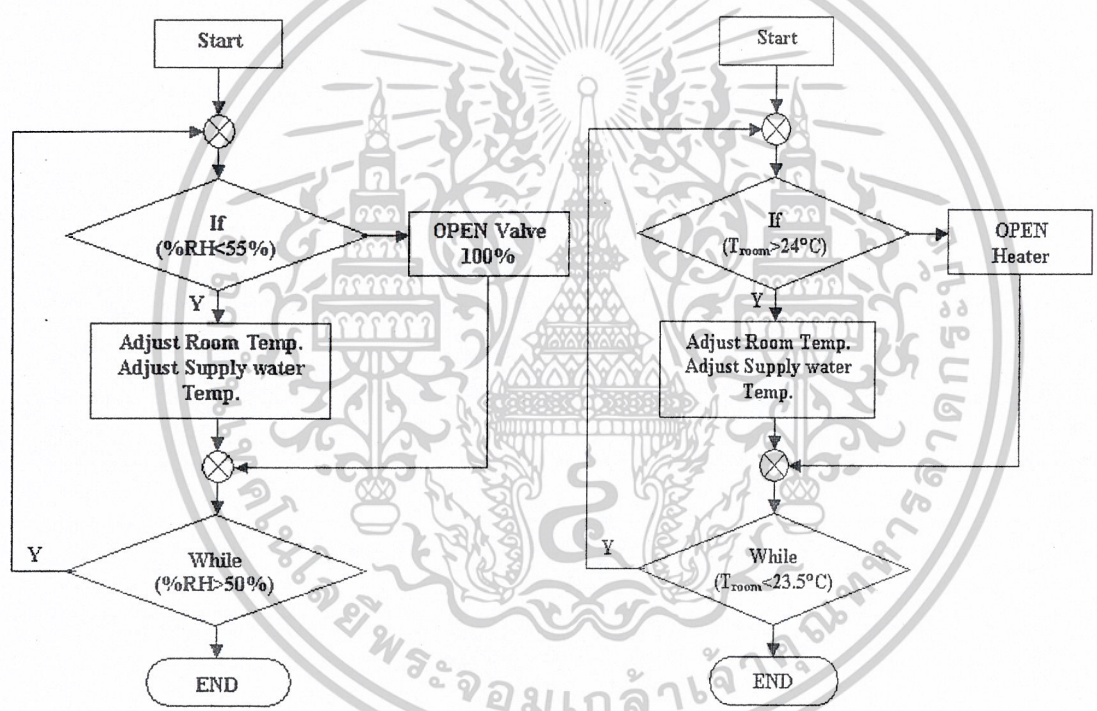
รูปที่ 4-2 แผนผังแสดงระบบควบคุมวาล์วน้ำเย็นที่ส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4-3 แผนผังแสดงระบบควบคุมวาล์วน้ำเย็นที่ส่งไปยัง Fan coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการควบคุมระบบนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆด้วย เช่น การควบคุมเป็นหยดน้ำ ค่าอุณหภูมิที่ออกแบบไว้ ที่จุดอื่นๆ จึงต้องมีเงื่อนไขในการควบคุมระบบเพิ่มขึ้น เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ เงื่อนไขที่เพิ่มขึ้นมาก็คือ จะต้องไม่ให้อุณหภูมิต่ำสุดของพื้นต่ำกว่าอุณหภูมิการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือ Dew Point Temperature) หากเงื่อนไขนี้เกิดขึ้นจะให้ตัวควบคุมไปสั่งการให้ปิดวาล์วที่พื้นที่ และรอจนกว่าอุณหภูมิที่พื้นจะสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง 0.5°C จึงเริ่มให้วาล์วเปิดทำงานอีกครั้ง และหากพื้นมีอุณหภูมิเย็นลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ออกแบบที่ 19°C จะทำการปิดวาล์วที่พื้น และจะให้เปิดวาล์วที่ fan coil เต็มที่ เพื่อรักษาอุณหภูมิที่พื้นไม่ให้ต่ำเกินไป และดึงเอาความชื้นออกจากระบบเพื่อให้ระบบกลับสู่สภาวะทำงาน

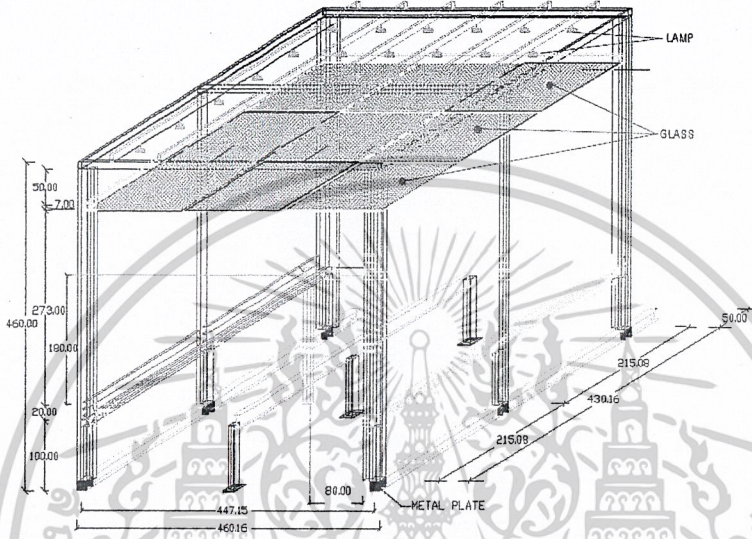


รูปที่ 4-4 แผนผังการทำงานการทำงานของ Fan coil รูปที่ 4-5 แผนผังการทำงานของขดลวดทำความร้อน

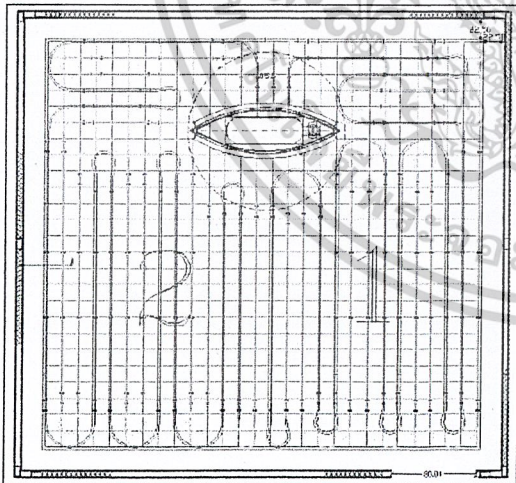
รูปที่ 4-4 และ 4-5 แสดงการควบคุมความชื้น โดยแฟนคอยล์วาล์วจะเปิดเต็มที่เมื่อความชื้นเกินค่าที่กำหนดเพื่อลดความชื้นออกจากระบบ ในขณะที่ฮีตเตอร์ซึ่งติดไว้ที่หัวจ่ายจะถูกเปิดให้ทำงานเพิ่มคุมไม่ให้ห้องมีอุณหภูมิต่ำเกินไป

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ห้องทดสอบเป็นการจำลองระบบการทำงานความเย็นภายในอาคารขนาดใหญ่ซึ่งได้รับการออกแบบให้พื้นที่ของห้องต้องรับแสงอาทิตย์โดยตรง โดยมีขนาดความกว้างประมาณ 4.5 เมตร ยาว 4.3 เมตร และสูงประมาณ 2.7 เมตร มีพื้นที่ในการทำความเย็นประมาณ 19.8 ตารางเมตร ประกอบด้วยหลังคากระจก ท่อน้ำ 2 ชุด และชุด Fan Coil รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ตำแหน่งต่างๆภายในและภายนอกห้องดัง รูปที่ 4-6



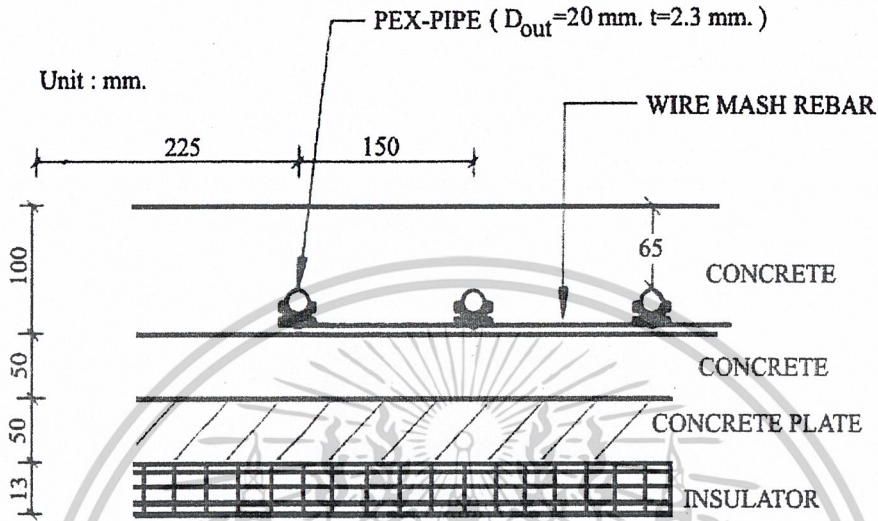
รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของห้องทดสอบ



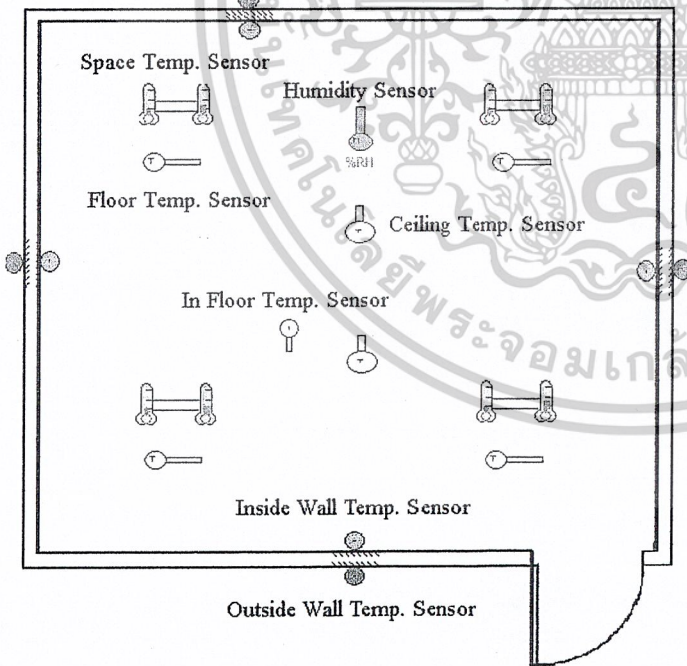
รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบ

จาก รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบโดยท่อน้ำจะถูกแบ่งเป็น 2 ระบบ โดยหากระบบใดระบบหนึ่งเกิดเหตุขัดข้อง อีกระบบสามารถทำงานแทนได้

รูปที่ 4-8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพื้นห้องทดสอบ และขนาดท่อ โดยที่จะทำการฝังท่อน้ำเย็น ให้มีความห่างจากผิวคอนกรีตด้านบน 65 มิลลิเมตร และแต่ละท่อจะห่างกัน 150 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-8 แสดงชั้นต่างๆของพื้นห้องทดลอง



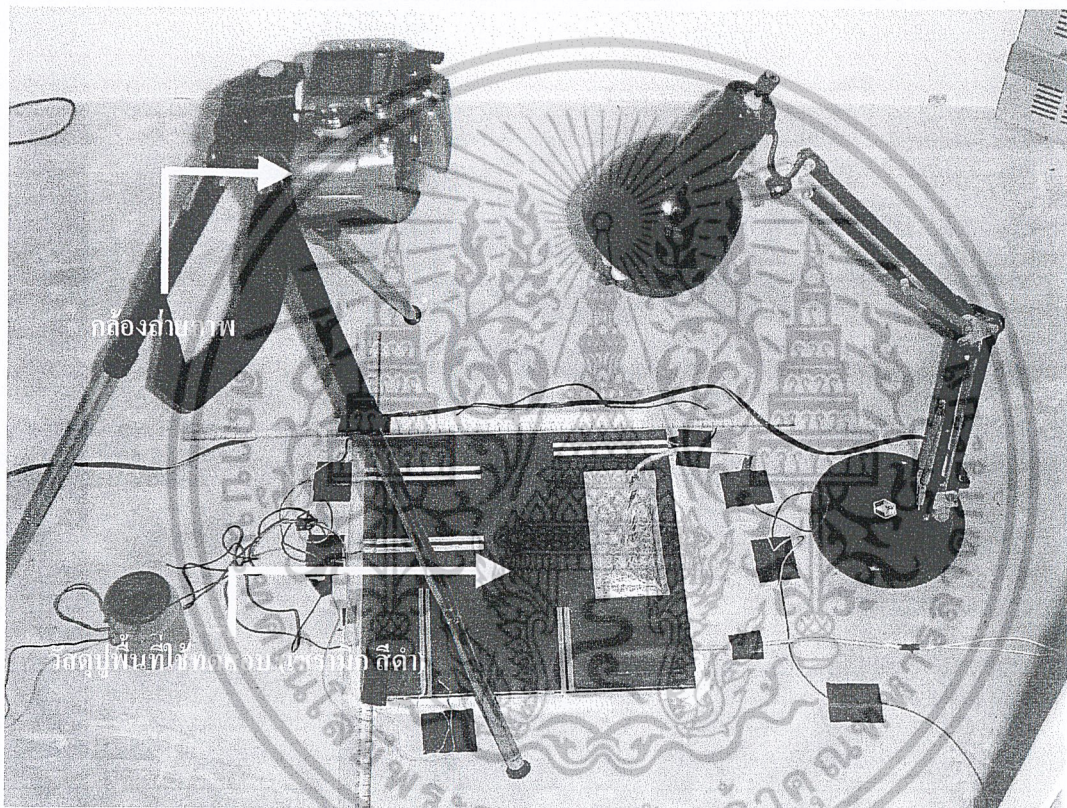
จาก รูปที่ 4-9 แสดงตำแหน่งต่างๆของเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งภายในห้องทดสอบ โดยภายในห้องจะประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้นผิว เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในพื้น (ฝังไว้ใต้พื้น) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ผนังทั้งด้านนอกและใน ห้องทดสอบ เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 4-9 แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์ต่างๆ(Top View)

บทที่ 5

การทดลอง

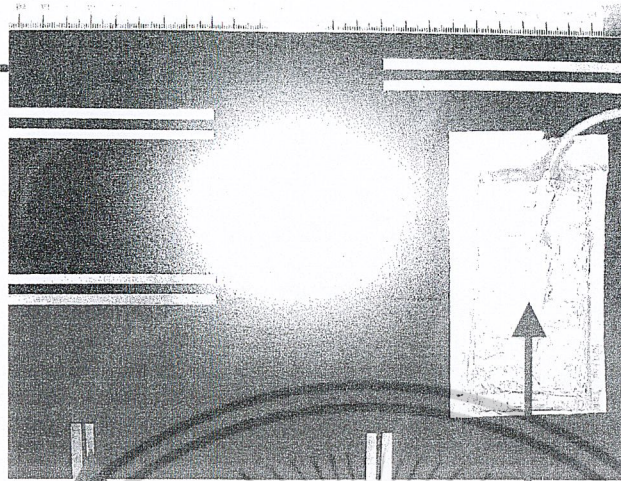
ทำการทดลองโดยใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพหยดน้ำบนพื้นผิวทดสอบ โดยจะนำกระเบื้องเซรามิกสีดำติดบนพื้นห้องทดลอง โดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดความชื้นติดอยู่บนพื้นทดสอบอีกที่ดังเช่นในรูปที่ 5-1 และ รูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 แสดงชุดบันทึกการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 19 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวทดสอบ



เซ็นเซอร์วัดความชื้น

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้น

รูปที่ 5-2 แสดงแผ่นกระเบื้องที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองเราจะทำการบันทึกภาพในกรณีต่างๆกันซึ่งบางกรณีอาจต้องการความชื้นที่สูงมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องช่วยเพิ่มความชื้นเพื่อทำให้ความชื้นภายในห้องมีมากพอที่จะทำให้เกิดการควบแน่นได้



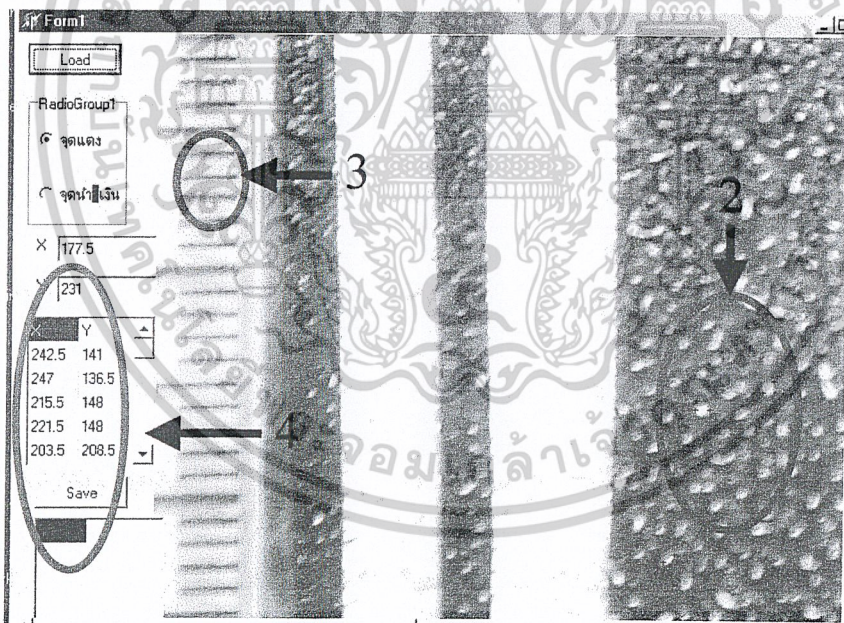
รูปที่ 5-3 แสดงเครื่องเพิ่มความชื้นภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 20 ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การทดลองแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- 5.1.1 ทำการปรับค่า %RH ไปที่ 70%RH 75%RH 80%RH 85%RH 90%RH และ 95%RH โดยควบคุมอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิพื้นไว้ที่ 24°C และ 19°C ตามลำดับ
- 5.1.2 ทำการทดลองโดยทำการปรับค่า %RH เพื่อให้จุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นมีความแตกต่างกัน 4 °C, 3 °C และ 2.5°C ทำให้จะต้องปรับความชื้น ไปที่ 98%, 92%, 88% ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และอุณหภูมิพื้นไว้ที่ 19°C
- 5.1.3 ทำการทดลองโดยทำการปรับค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพื่อให้จุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นมีความแตกต่างกัน 4 °C, 3 °C และ 2.5°C ทำให้จะต้องปรับอุณหภูมิไปที่ 14.6°C, 15.6 °C , 16.1 °C ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และที่ 70 %RH

หลังจากทำการถ่ายภาพเม็คน้ำบนพื้นผิวทดสอบที่กรณีต่างๆเรียบร้อยแล้วเราจะทำการหาขนาดของหยดน้ำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดัง รูปที่ 5-4



รูปที่ 5-4 แสดงโปรแกรมหาขนาดเม็คน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรแกรมจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1 เปิดไฟล์ภาพที่ทำการถ่ายลงในโปรแกรม
- 2 ทำเครื่องหมายเพื่อวัดความกว้างของเม็คน้ำ (ในการทดลองนี้จะทำการวัดขนาดหยดน้ำโดยเฉลี่ยประมาณ 10 จุด)
- 3 ทำเครื่องหมายเพื่อวัดความกว้างของไม้บรรทัดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับขนาดของเม็คน้ำที่วัดได้
- 4 นำค่าที่ได้ไปคำนวณใน โปรแกรม Excel เพื่อหาขนาดของเม็คน้ำ ดังรูป 5-5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	98%RH								เริ่ม 15.00
2	X1	Y1	X2	Y2	ผล	เกล็ด	คัดเบียง mm	15.30 น.	
3	94	226	96.5	224.5	2.915476	1.478955	0.246492		
4	100	227	99.5	226	1.118034				
5	114.5	273.5	115	272	1.581139				
6	96.5	257	96.5	255.5	1.802776				
7	109	281	109	280	1				
8	137.5	193.5	138.5	192.5	1.414214				
9	143.5	216	143.5	215	1				
10	150.5	246	150.5	245	1				
11	64	198	64	204	6	ไม้บรรทัด			
12									

รูปที่ 5-5 แสดงโปรแกรมหาขนาดเม็คน้ำ

โดยที่ค่าที่ได้จาก โปรแกรมก่อนนำไปคำนวณใน Excel โปรแกรมจะทำการบอกมาเป็นจุดซึ่งแสดงในรูปของค่า x และค่า y หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาขนาดของเม็คน้ำโดยใช้วิธีการหาความยาวของจุด 2 จุด (ความกว้างของเม็คน้ำ) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความยาวของจุด 2 จุดบนไม้บรรทัดที่ได้ทำการหามา ก็จะทำให้ได้ขนาดของเม็คน้ำออกมาตามต้องการ

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 การทดสอบการเกิดการควบแน่นโดยการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์

ทำการปรับค่า ความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 70%RH, 75%RH, 80%RH, 85%RH, 90%RH และ 95%RH โดยควบคุมอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิพื้นไว้ที่ 24°C และ 19°C ตามลำดับ

ตารางที่ 6-1 ค่าผลต่างของอุณหภูมิพื้นและจุดน้ำค้างจาก %RH

%RH	$T_{dp} - T_{floor}$
95%	3.5 °C
90%	2.7 °C
85%	1 °C
80%	-
75%	-
70%	-

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 95% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะสูงกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบประมาณ 3.5°C

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะสูงกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบประมาณ 2.7°C

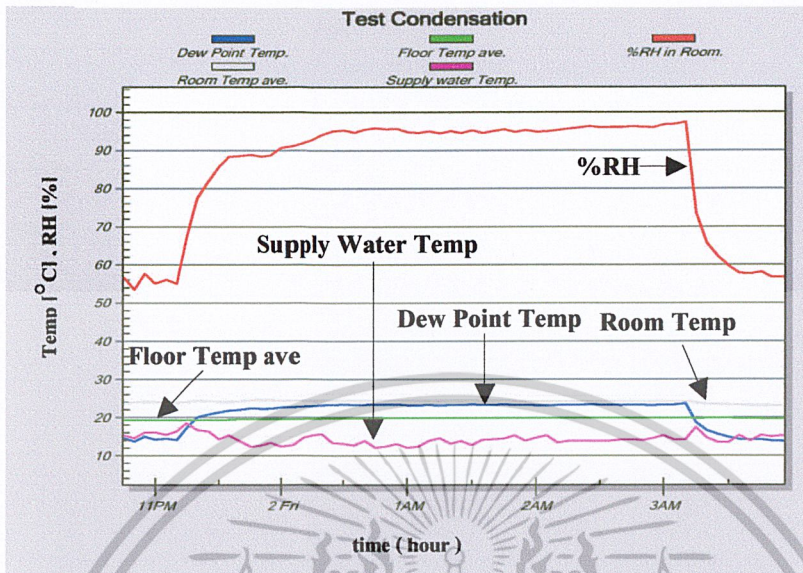
ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะสูงกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบประมาณ 1°C

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเท่ากับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85% อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ

6.1.1 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 95 %



รูปที่ 6-1 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95%

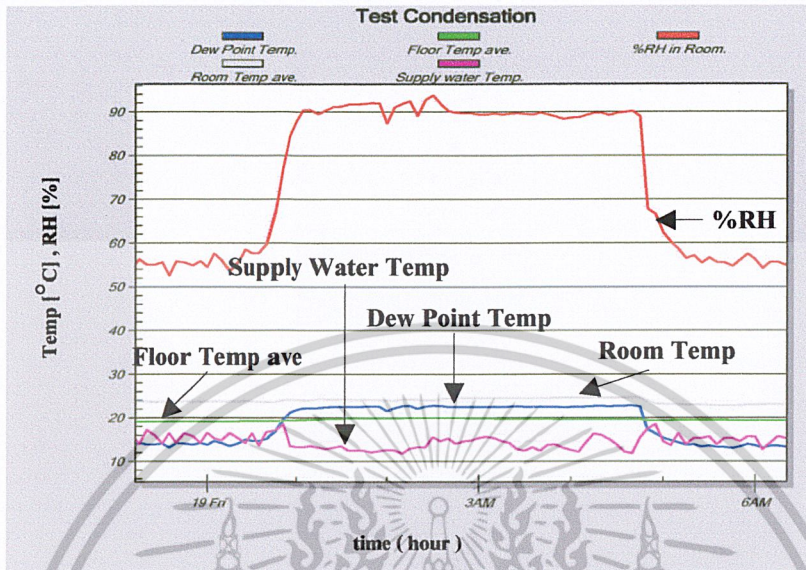


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr

รูปที่ 6-2 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.264 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.313 , 0.432 , 0.809 และ 1.379 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1 , 1.5 , 2 , 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.1.2 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 90 %



รูปที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90%

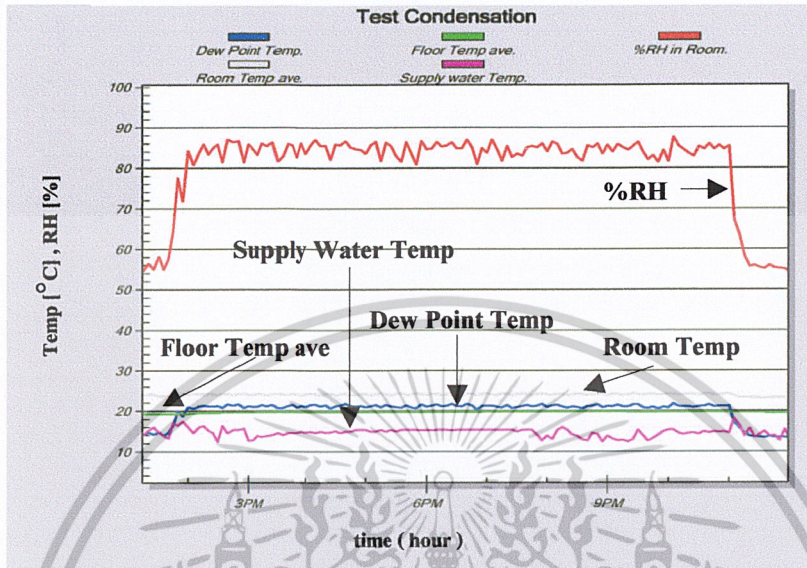


(a)start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr

รูปที่ 6-4 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.280 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.443 , 0.613 และ 0.898 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1.5 , 2 , 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.1.3 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 85 %



รูปที่ 6-5 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85%



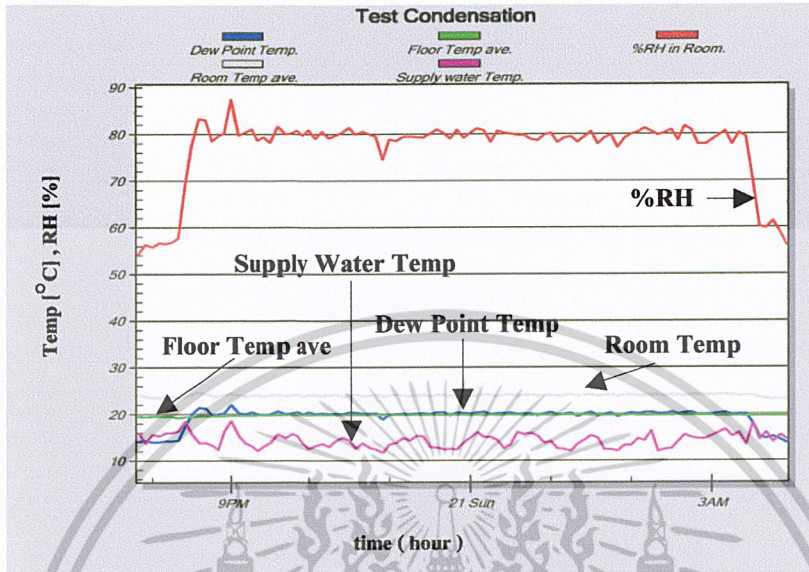
(a) start

(b) 8 hr

รูปที่ 6-6 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จากการทดลองการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบกรณี 85% เป็นเวลาติดต่อกัน 8 ชั่วโมง ผลที่ได้ไม่พบเมื่อน้ำบนพื้นผิวทดสอบ

6.1.4 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 80 %



รูปที่ 6-7 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80%



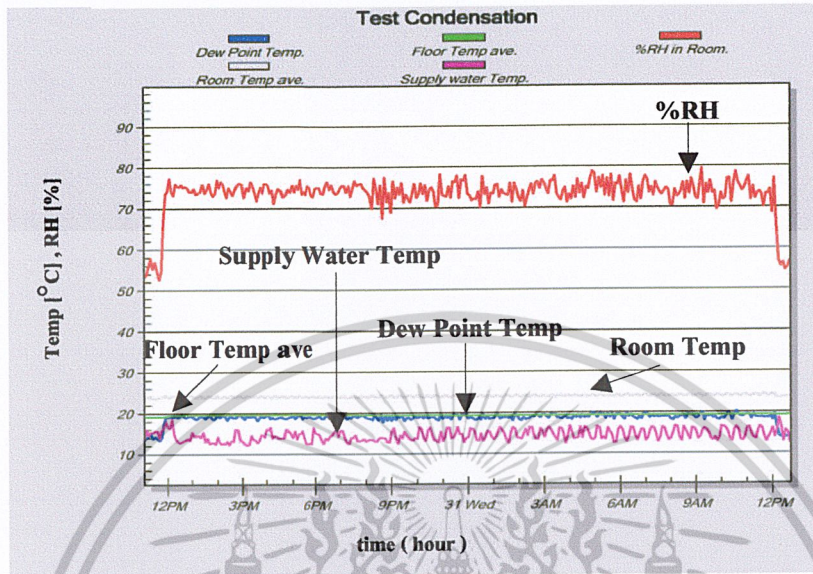
(a) start

(b) 8 hr

รูปที่ 6-8 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จากการทดลองการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบกรณี 80% เป็นเวลาติดต่อกัน 8 ชั่วโมง ผลที่ได้ไม่พบเมื่อนำบนพื้นผิวทดสอบ

6.1.5 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 75 %



รูปที่ 6-9 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75%



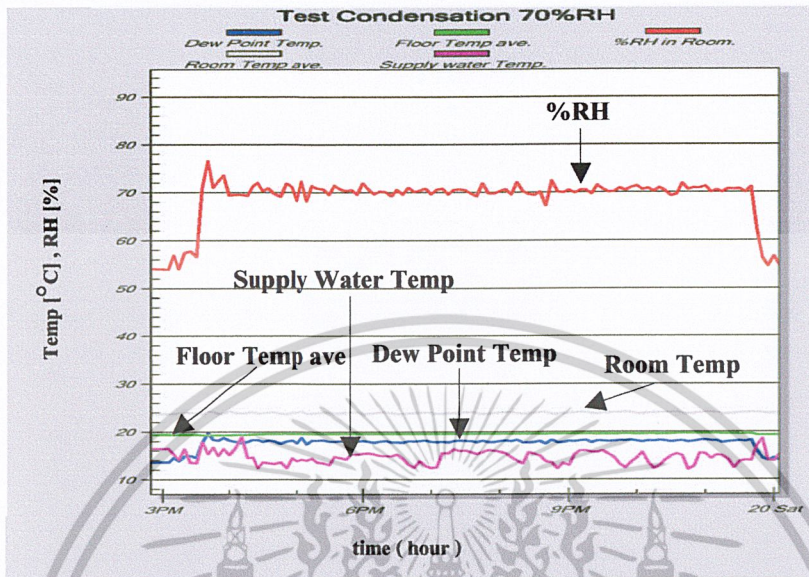
(a) start

(b) 8 hr

รูปที่ 6-10 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จากการทดลองการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบกรณี 75% เป็นเวลาติดต่อกัน 8 ชั่วโมง ผลที่ได้ไม่พบเมื่อนำบนพื้นผิวทดสอบ

6.1.6 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 70 %



รูปที่ 6-11 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70%



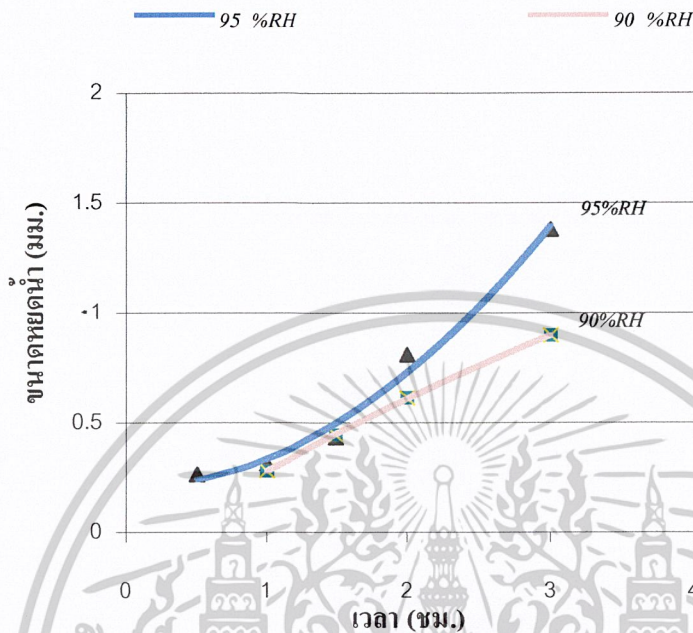
(a) start

(b) 8 hr

รูปที่ 6-12 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จากการทดลองการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบกรณี 70% เป็นเวลาติดต่อกัน 8 ชั่วโมง ผลที่ได้ไม่พบเมื่อน้ำบนพื้นผิวทดสอบ

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่ผ่านมาจะทำให้สามารถทราบความแตกต่างของระยะเวลาที่เกิดการควบแน่นและขนาดของเม็ดน้ำซึ่งแสดงได้ดัง รูปที่ 6-13 และ ตารางที่ 6-2



รูปที่ 6-13 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 6-2 ขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

%RH	ขนาดเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น (mm)
95%	1.379
90%	0.898
85%	-
80%	-
75%	-
70%	-

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่ 95% , 90% , 85% , 80% , 75% และ 70% นั้นระยะเวลาและขนาดของเม็ดน้ำจะแตกต่างกันดังกราฟ รูปที่ 6-13 และ ตารางที่ 6-2 ในกรณีของ 85% , 80% , 75% , 70% นั้นไม่สามารถสังเกตเห็นเม็ดน้ำบนพื้นผิวทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ส่วนในกรณีของ 95% , 90% นั้นจะสังเกตเห็นเม็ดน้ำบนพื้นผิวทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.2 การทดสอบการเกิดการควบแน่นโดยการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์

ทำการทดลองโดยทำการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้จุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นมีความแตกต่างกัน 4°C, 3 °C และ 2.5°C โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และ อุณหภูมิพื้นไว้ที่ 19°C

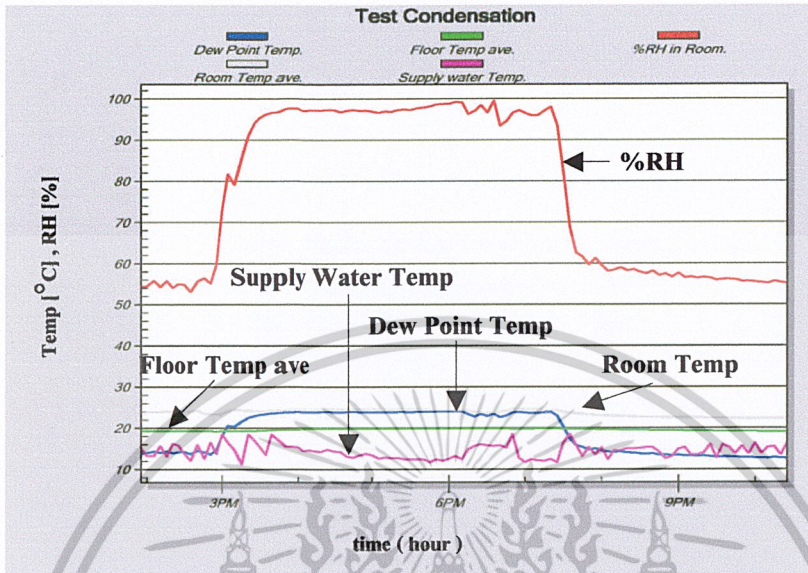
จากการทดลองปรับค่า %RH แล้วสังเกตผลต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นและอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมดัง ตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 ค่า%RH จากผลต่างของอุณหภูมิพื้นและจุดน้ำค้าง

$T_{dp} - T_{floor}$	%RH
4 °C	98
3 °C	92
2.5 °C	88

จากนั้นทำการทดลองการเกิดการควบแน่นโดยการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 98%RH 92%RH และ 88%RH ตามลำดับ โดยที่แต่ละครั้งจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 3 ชั่วโมง

6.2.1 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 98 %



รูปที่ 6-14 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 98%

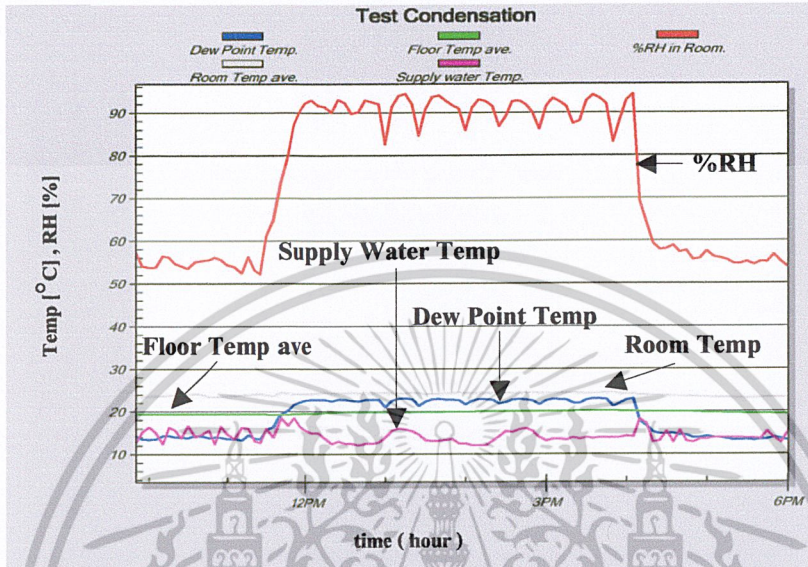


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr

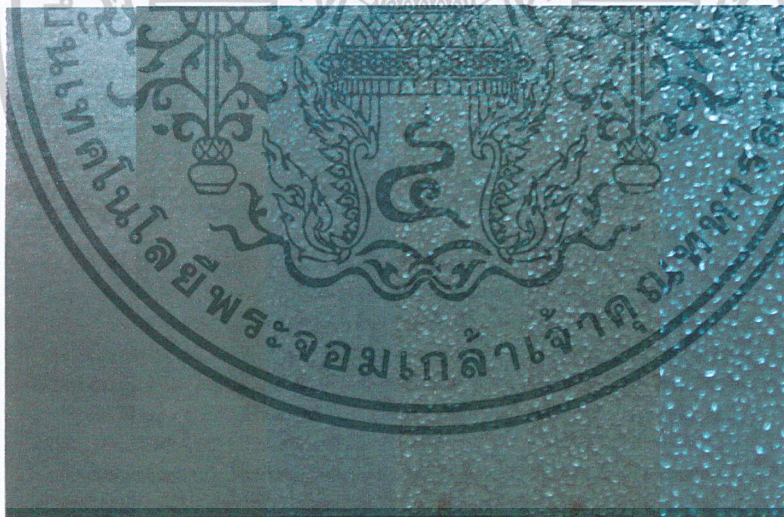
รูปที่ 6-15 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.246 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีและจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.395 , 0.632 , 1.028 และ 1.670 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1 , 1.5 , 2 , 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.2.2 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 92 %



รูปที่ 6-16 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 92%

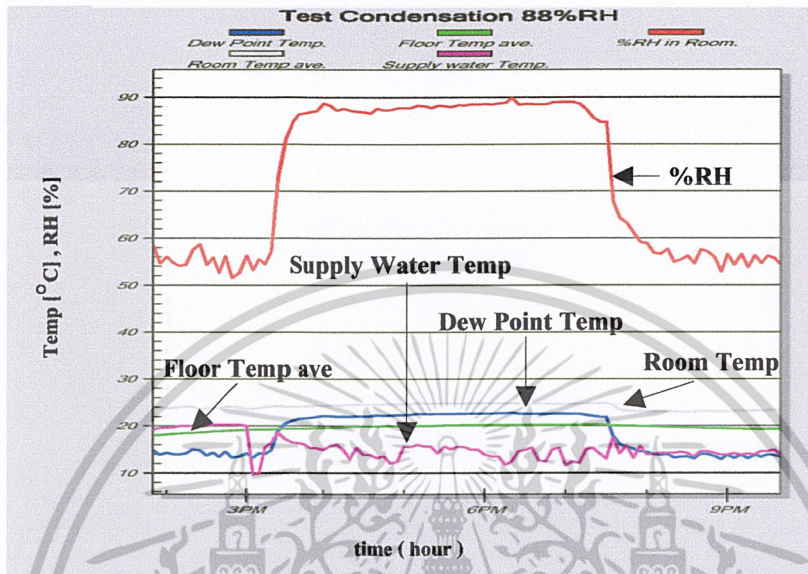


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr

รูปที่ 6-17 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.270 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และจะมีขนาดใหญ่อขึ้นเป็น 0.448 , 0.584 และ 0.894 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1.5 , 2 , 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.2.3 กรณีควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไว้ที่ 88 %



รูปที่ 6-18 ผลการทดลองเมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 88%

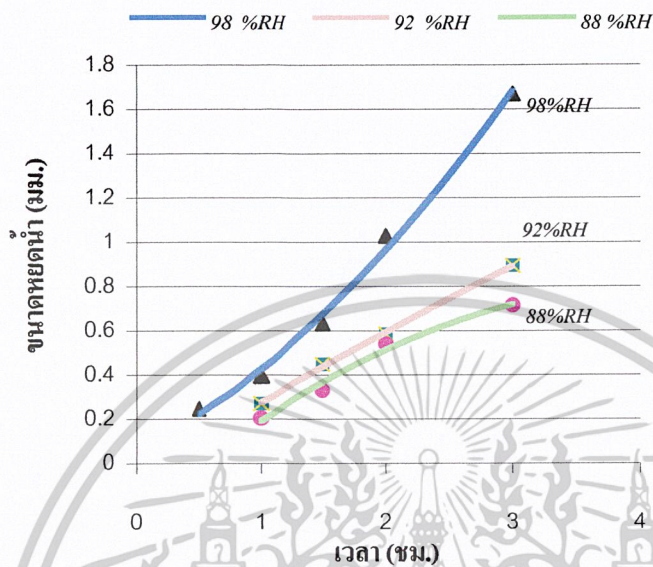


(a)start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr

รูปที่ 6-19 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.205 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.330 , 0.540 และ 0.714 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1.5 , 2 , 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่ผ่านมาจะทำให้สามารถทราบความแตกต่างของระยะเวลาที่เกิดการควบแน่นและขนาดของเม็ดน้ำซึ่งแสดงได้ดัง รูปที่ 6-20 และ ตารางที่ 6-4



รูปที่ 6-20 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 6-4 ขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

$T_{dp} - T_{floor}$	ขนาดเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น (mm)
4 °C (98%RH)	1.670
3 °C (92%RH)	0.894
2.5 °C (88%RH)	0.754

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่ 98%,92% และ88% นั้นระยะเวลาและขนาดของเม็ดน้ำนั้นจะแตกต่างกันดังกราฟ รูปที่ 6-20 และ ตารางที่ 6-4 ซึ่งที่ 98% จะเกิดการควบแน่นขึ้นก่อน เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ส่วน 92% และ 88% นั้นจะเกิดการควบแน่นเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง

6.3 การทดสอบการเกิดการควบแน่นโดยการปรับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ

ทำการทดลองโดยทำการปรับค่าอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเพื่อให้จุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 4°C , 3°C และ 2.5°C โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และที่ $70\% \text{RH}$

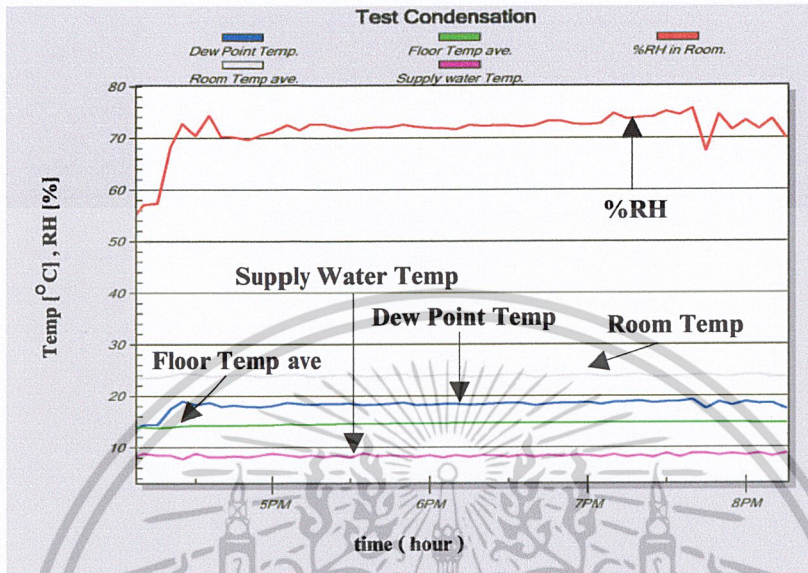
จากการทดลองลดอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเพื่อให้มีผลต่างของอุณหภูมิพื้นผิวกับจุดน้ำค้างเป็น 4°C , 3°C และ 2.5°C จะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวตามดัง ตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 ค่า%RH จากผลต่างของอุณหภูมิพื้นผิวและจุดน้ำค้าง

$T_{dp} - T_{floor}$	Floor Temp
4°C	14.6
3°C	15.6
2.5°C	16.1

จากนั้นทำการทดลองการเกิดการควบแน่นโดยการปรับค่าอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบไปที่ 14.6°C , 15.6°C , และ 16.1°C ตามลำดับโดยที่แต่ละครั้งจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 4 ชั่วโมง

6.3.1 กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 14.6 °C



รูปที่ 6-21 ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 14.6 °C

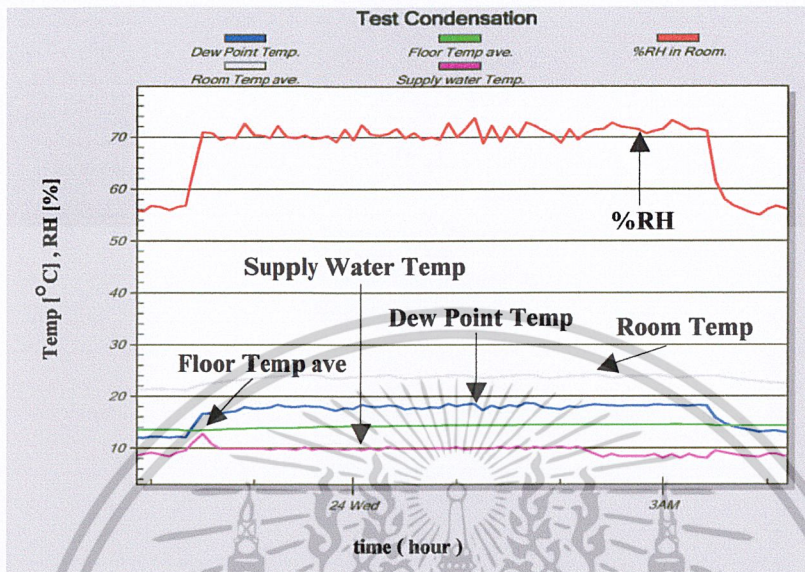


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr (g) 3.5 hr (h) 4.0 hr

รูปที่ 6-22 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.238 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีและจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.252, 0.479, 0.556 และ 0.892 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.3.2 กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 15.6 °C



รูปที่ 6-23 ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 15.6 °C

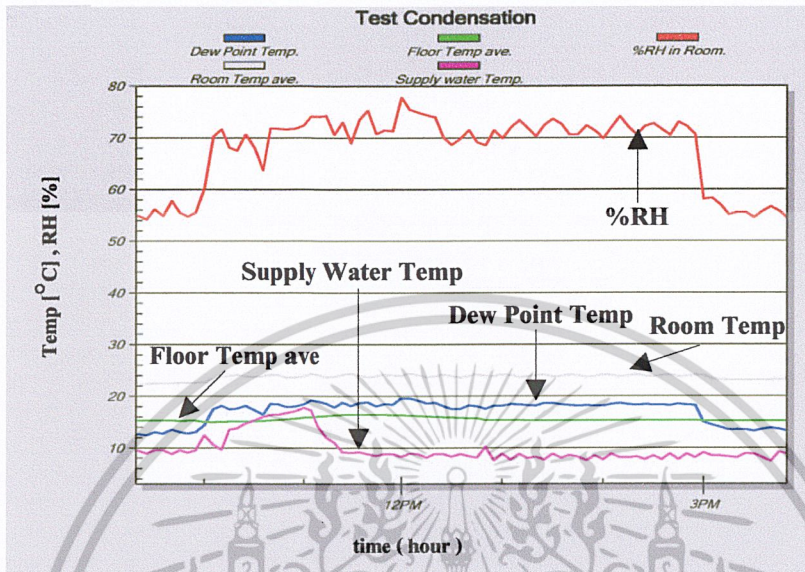


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0 hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr (g) 3.5 hr (h) 4.0 hr (i) 4.5 hr (j) 5.0 hr

รูปที่ 6-24 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.264 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.303 , 0.329 , 0.333 , 0.473 , 0.546 , 0.592 , และ 0.614 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1.5 , 2 , 3 , 3.5 , 4 , 4.5 , 5 ชั่วโมง ตามลำดับ

6.3.3 กรณีควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 16.1 °C



รูปที่ 6-25 ผลการทดลองเมื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบที่ 16.1 °C

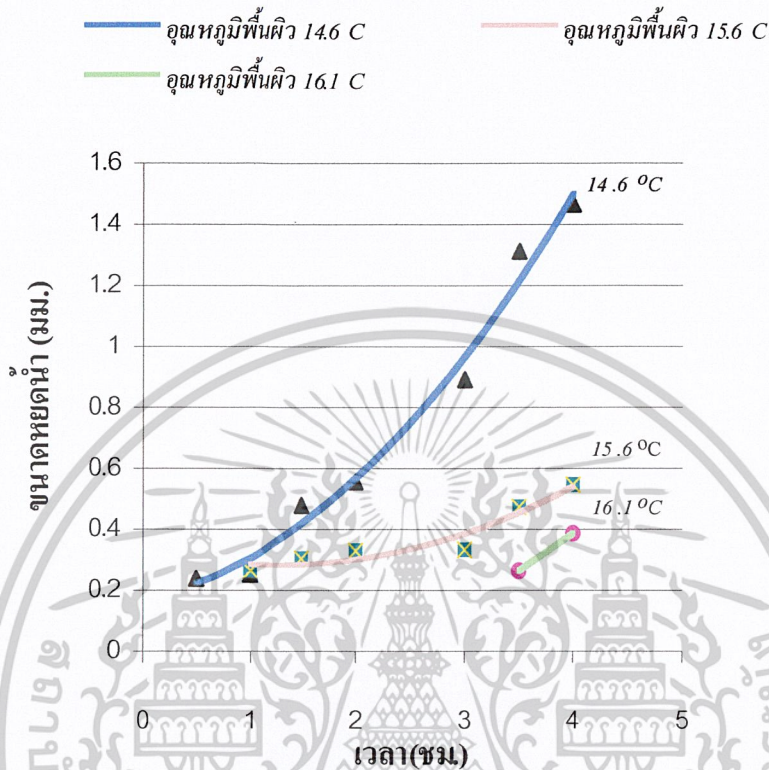


(a) start (b) 0.5 hr (c) 1.0hr (d) 1.5 hr (e) 2.0 hr (f) 3.0 hr (g) 3.5 hr (h) 4.0 hr (i) 4.5 hr (j) 5.0 hr

รูปที่ 6-26 แสดงรูปผลการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบ

จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำขนาด 0.263 มิลลิเมตรเมื่อเวลาผ่านไป 3.5 ชั่วโมง และจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็น 0.386 , 0.399 ,และ 0.437 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 4 , 4.5 , 5 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่ผ่านมาจะทำให้สามารถทราบความแตกต่างของระยะเวลาที่เกิดการควบแน่นและขนาดของเม็ดน้ำซึ่งแสดงได้ดัง รูปที่ 6-27 และ ตารางที่ 6-6



รูปที่ 6-27 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 6-6 ขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง

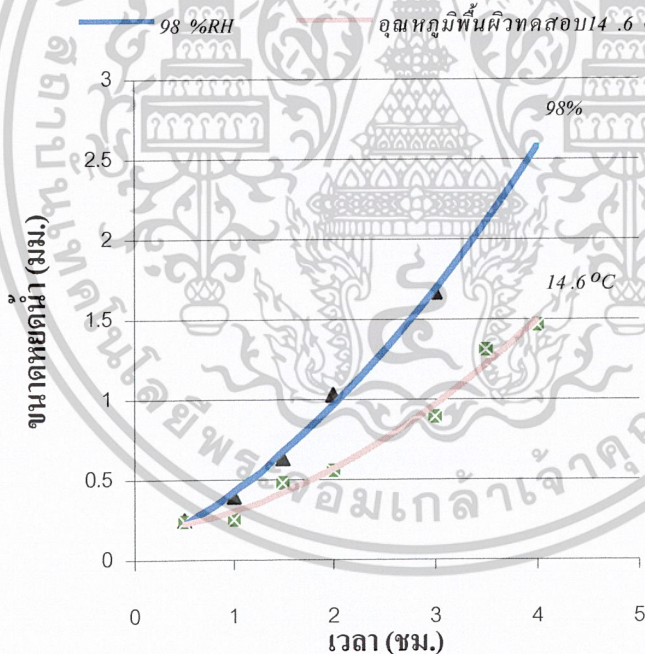
$T_{dp} - T_{floor}$	ขนาดเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น (mm)
4 °C (14.6 °C)	1.465
3 °C (15.6 °C)	0.546
2.5 °C (16.1 °C)	0.386

จากการทดลองการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทดสอบที่อุณหภูมิพื้นผิว 14.6 °C , 15.6 °C และ 16.1 °C นั้นระยะเวลาและขนาดของเม็ดน้ำนั้นจะแตกต่างกันดังกราฟ รูปที่ 6-27 และ ตารางที่ 6-6 ซึ่งที่ 14.6 °C จะเกิดการควบแน่นขึ้นก่อน เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ส่วน 15.6 °C และ 16.1 °C นั้นจะเกิดการควบแน่นเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และ 3.5 ชั่วโมง ตามลำดับ

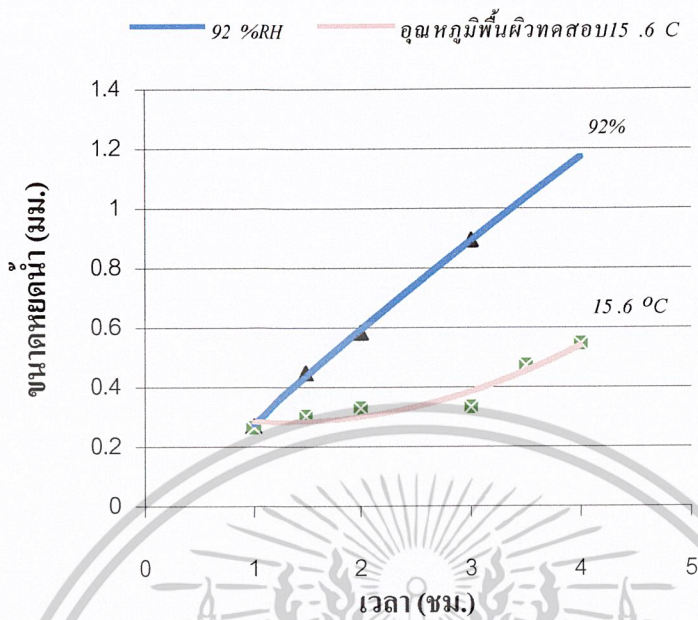
บทที่ 7

วิเคราะห์ผลการทดลอง

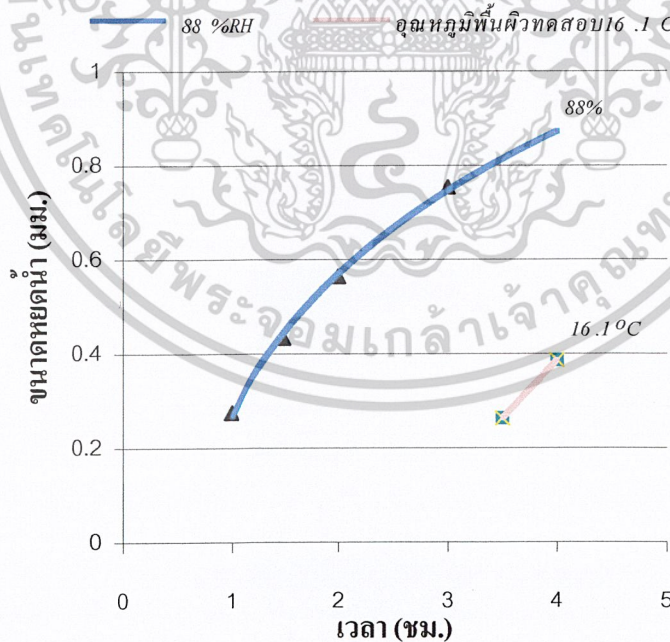
จากการทดลองทำให้สามารถทราบได้ว่าระยะเวลาการเกิดการควบแน่นนั้นขึ้นกับผลต่างของจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ โดยที่ทำการทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ 98% , 92% , 88% ซึ่งควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และ อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบไว้ที่ 19°C ทำให้ได้ผลต่างของจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ เป็น 4°C, 3 °C และ 2.5°C ตามลำดับ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 98% จะเกิดการควบแน่นขึ้นก่อนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ส่วน 92% และ 88% นั้นจะเกิดการควบแน่นเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อลองนำมาเปรียบเทียบกับ กรณีของการทดลองโดยทำการปรับค่าอุณหภูมิพื้นผิวเป็น 14.5 °C , 15.5 °C , 16.1°C เพื่อให้จุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 4 °C , 3 °C และ 2.5°C โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24°C และที่ 70 %RH จะแสดงได้ดังกราฟ รูปที่ 7-1 , รูปที่ 7-2 และ รูปที่ 7-3



รูปที่ 7-1 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 4°C



รูปที่ 7-2 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 3 °C



รูปที่ 7-3 กราฟแสดงขนาดของหยดน้ำเมื่อจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวมีความแตกต่างกัน 2.5 °C

จากรูปที่ 7-1 , 7-2 นั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าระยะเวลาการเกิดการควบแน่นนั้นเท่ากันแต่ขนาดของเม็คน้ำจะมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อเวลานานมากขึ้นขนาดของเม็คน้ำจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็น ได้ชัด

จากรูปที่ 7-3 นั้นจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่า รูปที่ 7-1 และ รูปที่ 7-2 ซึ่งทั้งระยะเวลาและขนาดของเม็คน้ำนั้นจะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

จากทั้ง 3 กราฟทำให้พบบอกได้ว่า ทั้งผลต่างของจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบและความชื้นสัมพัทธ์จะเป็นตัวบอกถึงระยะเวลาและขนาดของเม็คน้ำ ซึ่งเมื่อผลต่างของจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นเร็วขึ้น



บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการทดลอง

1 จากการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% อุณหภูมิพื้น 19°C และ อุณหภูมิห้อง 24 °C ทำให้ทราบว่าที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง กับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบมีค่าเท่ากัน ซึ่งตามทฤษฎีจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่พื้นผิวทดสอบ แต่หลังจากที่ทำการทดสอบเป็นเวลา 8 ชั่วโมงปรากฏว่าไม่สามารถสังเกตเห็นเม็ดน้ำบนพื้นผิวทดสอบ จึงเป็นไปได้ว่าการเกิดการควบแน่นมิได้เกิดเมื่ออุณหภูมิทั้งสองข้างดันเท่ากันทันที แต่อาจจะต้องใช้เวลาชั่วระยะเวลาหนึ่งในการเกิด

2 ทำให้เราทราบว่า การเกิดการควบแน่นมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นเมื่อค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบมีค่าสูงขึ้น

3 จากการทดสอบปรับค่าอุณหภูมิพื้น ไปที่ 14.6 °C , 15.6 °C และ 16.1°C ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบเป็น 4°C, 3 °C, 2.5°C ซึ่งเท่ากันกับการทดสอบ ในกรณีของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 98% , 92% และ 88% ผลที่ได้พบว่าการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของกรณีที่ปรับค่าอุณหภูมิพื้นเกิดได้ช้ากว่าการทดสอบ ในกรณีของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ และความชื้นสัมพัทธ์ประกอบกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาการควบแน่นภายในระบบการทำความเย็นแบบแฟรงค์ซีจากพื้นซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบ หรือนำไปใช้งานในบางกรณี เพื่อทำให้ระบบมีความสามารถสูงสุด ตัวอย่างเช่น

1 จากการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% , 75% , 80% และ 85% นั้นแม้เวลาจะผ่านไปถึง 8 ชั่วโมงแต่ไม่สามารถสังเกตเห็นเม็ดน้ำได้ จากผลที่ได้นี้ทำให้สามารถนำกรณีนี้ไปใช้งานสำหรับที่ ที่ต้องการทำความเย็นติดต่อกันไม่เกิน 8 ชั่วโมงได้

2 จากการปรับอุณหภูมิพื้นไปที่ 16.1°C นั้นทำให้ทราบว่าต้องใช้เวลาราว 3.5 ชั่วโมงในการเกิดเม็ดน้ำ จากผลที่ได้นี้เราสามารถนำไปใช้กับกรณีที่ระบบ ได้รับภาระมากๆซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มความสามารถการทำความเย็นให้สูงขึ้นเราสามารถนำไปควบคุมระบบให้ทำความเย็นที่ 16.1°C เป็นเวลาไม่เกิน 3.5 ชั่วโมง จากนั้นค่อยให้ระบบเพิ่มอุณหภูมิพื้นขึ้นไปเพื่อมิให้เกิดการควบแน่น

จากการทดสอบที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของพื้นผิวทดสอบ และความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการควบแน่นซึ่งในกรณี 16.1°C หากลดความชื้นสัมพัทธ์ลงให้ต่ำกว่า 70% อาจไม่ทำให้เกิดการควบแน่นเลยก็เป็นได้ซึ่งสามารถทำการทดสอบต่อไปเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนาระบบให้มีความสามารถสูงขึ้นกว่าเดิม

บรรณานุกรม

- [1] Olesen, B.W. “Possibility and limitations of Radiant Floor Cooling”, ASHRAE Transactions, 1997, pp.103
- [2] Richard D. Watson and Kirby S. Chapman, “Radiant Heating&Cooling Handbook”, McGrawHill, 2002
- [3] Peter Simmonds, “Using Radiant Cooled Floors to Condition Large Spaces and Maintain Comfort Conditions” ASHRAE Transactions P.695: 2000

