

ลักษณะการควบแน่นในระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

CONDENSATION CHARACTERISTICS OF RADIANT FLOOR COOLING  
SYSTEM



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 61732  
วัน,เดือน,ปี 2 1 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ลักษณะการควบแน่นในระบบการทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

Condensation Characteristics of Radiant Floor Cooling System

ผู้จัดทำ

1. ว่าที่ร้อยตรี คม ปลื้มทรัพย์ รหัสประจำตัว 45015409

2. ว่าที่ร้อยตรี มงคล คณานนท์ รหัสประจำตัว 45015468



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

## ลักษณะการควบแน่นในระบบการทำความเย็นแบบแฟรงก์สกีจากพื้น

ว่าที่ร้อยตรี คม ปลื้มทรัพย์

ว่าที่ร้อยตรี มงคล คณานนท์

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทำงาน ของระบบการทำความเย็นแบบการแฟรงก์สกี ความเย็น และการเกิดการควบแน่นบนวัสดุปูพื้น โดยการจำลองห้องทดลองที่มีระบบทำความเย็น เหมือนกับระบบภายในอาคารขนาดใหญ่ โดยที่การควบแน่นนี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นใน ระบบ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงการเกิดการควบแน่น เพื่อให้ระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดสอบนี้จะทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิพื้น และค่าความชื้นภายในห้อง หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์ถึงระยะเวลาการเกิดการควบแน่นและจะทำการ ทดลองโดยการเปลี่ยนวัสดุปูพื้น แล้วทำการเปรียบเทียบการเกิดการควบแน่นบนวัสดุปูพื้นชนิด ต่างๆ จากการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิพื้นต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง  $3^{\circ}\text{C}$  จะใช้เวลาในการเกิดการ ควบแน่นที่เวลา 4 ชั่วโมง และเมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ เท่ากัน โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่เท่ากัน ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการควบแน่นที่เท่ากัน การ สังเกตพฤติกรรมของการเกิดการก่อตัวของหยดน้ำพบว่า ลักษณะการเกิดของหยดน้ำนั้นขึ้นอยู่กับค่า การนำความร้อนของวัสดุ เช่น กระเบื้องเซรามิกกับโลหะ กระเบื้องจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ กว่าโลหะ การก่อตัวของกระเบื้องจะก่อตัวตามบริเวณที่รับความเย็นเท่านั้น แต่โลหะจะเริ่มก่อตัว ทั่วบริเวณที่เป็นอย่างนี้ เนื่องมาจากการนำความร้อนของ โลหะจะทำให้แผ่น โลหะเย็นทั่วกันทั้งแผ่น และเย็นสม่ำเสมอทั้งแผ่น

## Condensation Characteristics of Radiant Floor Cooling System

Kom Permsub

Mongkol Kananon

Asst.Prof.Dr. Chinda Chareonphonphanich Advisor

### ABSTRACT

This paper presents the study about the condensation characteristics on floor covering of radiant floor cooling system. The condensation should be avoided for the RFC system. The effect of room temperature, floor surface temperature and relative humidity (RH) on the condensation characteristics was examined. The size of water drops at different time was measured. The time consumption to observe the first water drop on the floor surface was recorded. From the experimental results, when the floor surface temperature was  $3^{\circ}\text{C}$  lower than the dew point temperature, the time consumption for condensation is about four hours. The condensation was not observed in case of difference between floor surface and dew point lower than  $3^{\circ}\text{C}$ . In addition, although the difference between dew point temperature and floor surface temperature is equal, the time consumption of condensation is not same at different relative humidity. The effect of floor covering material type was also examined. The water drops was uniformly distributed over all area of the stainless steel whereas the water drops was discovered at only some area of the ceramic material.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอบขอบคุณ นาย เกียรติยศ ศีรอด ที่ให้ข้อมูลและให้คำปรึกษาต่างๆในระหว่างการค้าเนิงาน และ เพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุน และให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การอบรมสั่งสอน และให้กำลังใจในการทำงาน



## สารบัญ

| เรื่อง  | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                     | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                  | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ                                     | ค    |
| สารบัญ  | ง    |
| สารบัญตาราง   | ช    |
| สารบัญรูปภาพ  | ซ    |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ                               | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                         | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                               | 3    |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน                                | 3    |
| บทที่ 2 ความสบาย และ พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์         | 4    |
| 2.1 พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์                          | 6    |
| 2.1.1 ความร้อน (heat)                               | 6    |
| 2.1.2 ความร้อนสัมผัส (sensible heat)                | 7    |
| 2.1.3 ความร้อนแฝง (latent heat)                     | 7    |
| บทที่ 3 การควบคุม และ ไซโครเมตริกซ์                 | 8    |
| 3.1 ไซโครเมตริกซ์ (Psychrometrics)                  | 9    |
| 3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทางไซโครเมตริกซ์        | 9    |
| 3.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)    | 9    |
| 3.2.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)    | 9    |
| 3.2.3 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)   | 10   |
| 3.2.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, Humid Volume) | 12   |
| 3.2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH)     | 12   |
| 3.2.6 ความชื้นจำเพาะและ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ    | 12   |
| 3.2.7 เอนทัลปี (Enthalpy)                           | 12   |

## สารบัญ(ต่อ)

| เรื่อง  | หน้า |
|---|------|
| 3.3 หลักการใช้ไซโครเมตริกซ์ชาร์ต                              | 12   |
| 3.3.1 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก                  | 12   |
| 3.3.2 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างและปริมาตรจำเพาะ                  | 13   |
| 3.3.3 เส้นความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นจำเพาะ                  | 13   |
| 3.3.4 เส้นเอนทัลปี  | 13   |
| บทที่ 4 ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น                      | 15   |
| บทที่ 5 การทดลอง  | 18   |
| บทที่ 6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล                           | 24   |
| 6.1 อุณหภูมิห้องที่ 24 °C (แผ่นวัสดุทดสอบ : กระเบื้องเซรามิก) | 24   |
| 6.1.1 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 19 °C                           | 24   |
| 6.1.2 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 18 °C                           | 27   |
| 6.1.3 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 17 °C                           | 32   |
| 6.1.4 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 16 °C                           | 37   |
| 6.1.5 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 15 °C                           | 44   |
| 6.2 อุณหภูมิห้องที่ 24 องศาเซลเซียส (กรณีใช้ผนังแข็ง)         | 51   |
| 6.2.1 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 8 องศาเซลเซียส                     | 51   |
| 6.2.2 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 10 องศาเซลเซียส                    | 52   |
| 6.2.3 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 12 องศาเซลเซียส                    | 53   |
| 6.3 อุณหภูมิห้องที่ 26 °C (แผ่นวัสดุทดสอบ : กระเบื้องเซรามิก) | 54   |
| 6.3.1 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 19 °C                           | 54   |
| 6.3.2 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 18 °C                           | 60   |
| 6.4 ทดสอบ โดยทำการเปลี่ยนชนิดของวัสดุปูพื้น                   | 67   |
| - หินอ่อน   | 67   |
| - หินแกรนิต   | 68   |
| - หินกาบ  | 69   |

สารบัญ(ต่อ)

| เรื่อง   | หน้า |
|--|------|
| 6.5 ศึกษาพฤติกรรมกาเนิดของหยดน้ำโดยไม่ควบคุมสภาวะแวดล้อม | 70   |
| - แผ่นกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล                           | 70   |
| - แผ่นสแตนเลสบาง   | 71   |
| 6.6 วิเคราะห์ผลการวิจัย                                  | 74   |
| 6.6.1 ที่อุณหภูมิตั้ง 24 องศาเซลเซียส                    | 74   |
| 6.6.2 ที่การทำความเย็นที่พื้นต่างๆ                       | 75   |
| 6.6.3 ที่อุณหภูมิตั้ง 26 องศาเซลเซียส                    | 75   |
| 6.6.4 ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวัสดุ                           | 76   |
| บทที่7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ                       | 77   |
| 7.1สรุปผลการวิจัย  | 77   |
| 7.1.1 ขีดจำกัดของระบบการทำความเย็น                       | 77   |
| 7.1.2 ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น                   | 77   |
| 7.1.3 การศึกษาพฤติกรรมการควบแน่น                         | 78   |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ   | 78   |
| บรรณานุกรม   | 79   |
| ภาคผนวก  | 80   |

## สารบัญตาราง

| ตาราง   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 5.1 แสดงเงื่อนไขการควบคุมเมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 24 องศาเซลเซียส                        | 22   |
| ตารางที่ 5.2 แสดงเงื่อนไขการควบคุมเมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 24 องศาเซลเซียส<br>(กรณีใช้ถังน้ำแข็ง) | 22   |
| ตารางที่ 5.3 แสดงเงื่อนไขการควบคุมเมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 26 องศาเซลเซียส                        | 23   |
| ตารางที่ 5.4 แสดงเงื่อนไขการควบคุมเมื่อเปลี่ยนชนิดวัสดุปูพื้น   | 23   |
| ตารางที่ 6.1 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 24 องศาเซลเซียส                          | 72   |
| ตารางที่ 6.2 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 24 องศาเซลเซียส<br>(กรณีใช้ถังน้ำแข็ง)   | 73   |
| ตารางที่ 6.3 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 26 องศาเซลเซียส                          | 73   |
| ตารางที่ 6.4 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นเมื่อเปลี่ยนชนิดวัสดุปูพื้น                                   | 74   |
| ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความต้านทานกับอุณหภูมิของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดต่างๆ                            | 81   |
| ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ  | 85   |

## สารบัญรูปภาพ

| รูป   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 ร่างกายของคนที่เราจะรู้สึกสบายถ้าเราสามารถปลดปล่อยความร้อนที่เปล่านั้นออกได้อย่างอิสระ | 4    |
| รูปที่ 3.1 การเขียนตัวลงของอากาศชั้นที่สภาวะความดันคงที่และอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภาพ T-s ของน้ำ  | 10   |
| รูปที่ 3.2 กระบวนการอิมิตัวแบบแอเคียเบติก และ แผนภาพของ T-s                                       | 10   |
| รูปที่ 3.3 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย  | 11   |
| รูปที่ 3.4 Sling Psychrometer   | 11   |
| รูปที่ 3.5 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง  | 12   |
| รูปที่ 3.6 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก   | 12   |
| รูปที่ 3.7 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง   | 13   |
| รูปที่ 3.8 เส้นปริมาตรจำเพาะในไซโครเมตริกซ์ชาร์ต  | 13   |
| รูปที่ 3.9 เส้นความชื้นสัมพัทธ์   | 13   |
| รูปที่ 3.10 เส้นความชื้นจำเพาะ  | 13   |
| รูปที่ 3.11 เส้นเอนทัลปี  | 13   |
| รูปที่ 3.12 ไซโครเมตริกซ์ชาร์ต  | 14   |
| รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ RFC  | 15   |
| รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบ   | 16   |
| รูปที่ 4.3 แสดงชั้นต่างๆของพื้นห้องทดลอง  | 16   |
| รูปที่ 4.4 แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์ต่างๆ (Top View)   | 17   |
| รูปที่ 5.1 แสดงชุดบันทึกรถทดลอง   | 18   |
| รูปที่ 5.2 แสดงแผ่นกระเบื้องที่ใช้ในการทดสอบ  | 19   |
| รูปที่ 5.3 แสดงเครื่องเพิ่มความชื้นภายในห้อง  | 19   |
| รูปที่ 5.4 แสดงโปรแกรมหาขนาดเม็ดน้ำ   | 20   |
| รูปที่ 5.5 แสดงโปรแกรมหาขนาดเม็ดน้ำ   | 21   |
| รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์                        | 24   |
| รูปที่ 6.2 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์               | 24   |
| รูปที่ 6.3 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์                        | 25   |
| รูปที่ 6.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์               | 25   |
| รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์                        | 26   |





## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

| รูป  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 6.64 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ | 59   |
| รูปที่ 6.65 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์          | 60   |
| รูปที่ 6.66 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ | 60   |
| รูปที่ 6.67 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์          | 61   |
| รูปที่ 6.68 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ | 61   |
| รูปที่ 6.69 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์          | 62   |
| รูปที่ 6.70 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ | 62   |
| รูปที่ 6.71 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์          | 63   |
| รูปที่ 6.72 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ | 63   |
| รูปที่ 6.73 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์          | 64   |
| รูปที่ 6.74 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ | 64   |
| รูปที่ 6.75 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์          | 65   |
| รูปที่ 6.76 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ | 65   |
| รูปที่ 6.77 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนหินอ่อน                                 | 67   |
| รูปที่ 6.78 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินอ่อน                                     | 67   |
| รูปที่ 6.79 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนหินแกรนิต                               | 68   |
| รูปที่ 6.80 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินแกรนิต                                   | 68   |
| รูปที่ 6.81 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนพื้นหินกาบ                              | 69   |
| รูปที่ 6.82 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินกาบ                                      | 69   |
| รูปที่ 6.83 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบการขยายหลายเท่าของกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล        | 70   |
| รูปที่ 6.84 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบการขยายหลายเท่าของแผ่นสแตนเลสบาง                  | 71   |
| รูปที่ 6.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์   | 74   |
| รูปที่ 6.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับอุณหภูมิพื้น          | 75   |
| รูปที่ 6.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับอุณหภูมิ              | 75   |
| รูปที่ 6.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับวัสดุชนิดต่าง ๆ       | 76   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ระบบปรับอากาศ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการคิดค้นและพัฒนาไปอย่างมากมาย เพื่อความสบายที่ดียิ่งที่สุด ต้นทุนต่ำที่สุด และสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปให้น้อยที่สุด เช่น การออกแบบพื้นที่ปรับอากาศในอาคารที่มีหลังคาเป็นวัสดุโปร่งใส เพื่อรับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ เพื่อทดแทนพลังงานจากหลอดไฟส่องสว่าง แต่ทว่าผลที่ตามมาจากแสงของดวงอาทิตย์ก็คือ ความร้อน

จากที่กล่าวมาความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องเพิ่มพลังงานในการทำความเย็น ถ้ามีการออกแบบระบบทำความเย็นไม่ดี พลังงานที่เสียไปจากการทำความเย็นจะเทียบไม่ได้ กับการที่จะประหยัดพลังงานจากหลอดไฟส่องสว่าง

ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามที่จะลดการใช้พลังงานลงด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การออกแบบอาคารให้มีการใช้พลังงานน้อยลง หรือ การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการทำความเย็น รวมไปถึงการออกแบบระบบทำความเย็นใหม่

แต่ในปัจจุบันมีการนำระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น มาใช้กับห้องทำความเย็นที่มีอาคารเป็นแบบหลังคาโปร่งแสง เช่น ในประเทศไทยที่ใช้ระบบนี้ คือ ทำอาภาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ

ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นเป็นระบบที่ทำความเย็น โดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศสู่พื้นเย็น ( มีระบบท่อน้ำเย็นฝังไว้ใต้พื้น ) โดยน้ำเย็นที่ใช้ ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) ข้อดีของระบบนี้ ก็คือ ความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยอาศัยพื้น ที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำความเย็น ได้เต็มทั่วพื้นที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูง ระดับความสบายดีกว่าระบบปรับอากาศแบบเป่าลมเย็น (air duct) ไม่มีอุปกรณ์ในระบบที่จำเป็นจะต้องติดตั้งที่ด้านบนพื้นผิวของระบบ และอุปกรณ์ทางกลเกือบทั้งหมดของระบบสามารถติดตั้งให้อยู่รวมกันได้ เสียงรบกวนที่เกิดจากคอยล์และอุปกรณ์เหนี่ยวนำ เช่น พัดลม จะถูกกำจัดออกไป มีการสะสมความเย็นภายใน โครงสร้างของระบบทำให้ลดภาระการทำความเย็นสูงสุด เนื่องจากเป็นระบบปิดไม่มีการรั่วไหลของสารทำความเย็น ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

แต่ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นยังมีข้อจำกัด ตรงที่สามารถจัดการกับภาระความร้อนได้เฉพาะความร้อนสัมผัส(sensible heat) แต่กับภาระความร้อนแบบความร้อนแฝง(latent heat) ไม่สามารถจัดการ ได้ รวมทั้งไม่สามารถควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ทำความเย็น ได้ จึงต้องนำระบบทำความเย็นแบบลมเย็นมาช่วยในการจัดการกับความร้อนแฝงและควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ทำความเย็นให้อยู่ในค่าที่ต้องการ กล่าวคือ เมื่อความชื้นสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ ระบบลมเย็นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานเพื่อลดความชื้นออกจากระบบ การรวมทั้งสองระบบเข้าด้วยกันเรียกว่าระบบผสม(hybrid system)

นอกจากนี้ระบบทำความเย็นแบบนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวของวัสดุปูพื้น ซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญที่ผู้ออกแบบควรให้ความสนใจ โดยพื้นของห้องทำความเย็นที่ใช้ระบบทำความเย็นระบบนี้ต้องไม่ใช่วัสดุที่ดูดซับน้ำได้ดีเช่น พื้นพรม พื้นไม้ เพราะเมื่อเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นขึ้นแล้ววัสดุเหล่านี้จะดูดซับน้ำไว้ อันอาจเป็นสาเหตุของเชื้อรา หรือแบคทีเรียต่างๆที่มีอันตรายต่อผู้อาศัย เช่น เชื้อราทำให้เป็น โรคมูมิแพ้ ซึ่งเป็น โรคที่คนไทยในปัจจุบันเป็นกันมากเนื่องจากความนิยมอยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ และแม้จะเล็งปัญหาดังกล่าวได้โดยการนำวัสดุปูพื้น ซึ่งเป็นวัสดุเคลือบผิวมาใช้แต่ปัญหาอื่นก็ตามมาอีกคือในเรื่องของพื้นผิวที่ลื่นอันอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุแก่ผู้อาศัยได้ ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาที่ตรงต้นเหตุจึงเป็นการดีกว่า คือการศึกษาสภาวะที่ทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ และระยะเวลาที่เริ่มเกิดการควบแน่น รวมทั้งลักษณะทางกายภาพของการเกิดการควบแน่น เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบให้ปราศจากปัญหาดังกล่าว

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

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เนื่องจากระบบการทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นมีความเสี่ยงต่อการเกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ

- 1.2.1 ศึกษาการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบการฝั่งท่อน้ำเย็นไว้ใต้พื้น
- 1.2.2 ศึกษาถึงชนิดของวัสดุต่าง ๆ กัน ว่ามีผลต่อการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิว
- 1.2.3 ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวเช่น ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น และขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น ณ. เวลาต่าง ๆ กัน

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้กล่าวถึงข้อจำกัดของระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นในเรื่อง การควบแน่นเป็นหยดน้ำบริเวณพื้นผิวของวัสดุปูพื้น โดยครอบคลุมลักษณะทางกายภาพของการเกิดหยดน้ำ

1.3.2 ศึกษาการเกิดการควบแน่นบนวัสดุปูพื้นในเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป เช่น เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้น อุณหภูมิห้อง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง เป็นต้น

1.3.3 ทหาระยะเวลาเริ่มเกิดการควบแน่น ขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้น ณ. เวลาต่าง ๆ กัน

1.3.4 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่เปลี่ยนไปกับเวลา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งก็มีเรื่องหลัก ๆ อยู่ หลายเรื่องด้วยกัน คือ หลักความสบาย พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ การควบแน่น ไซโครเมทริกส์ และระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน บทที่ 2,3 และ 4 จากนั้นนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการออกแบบการทดลองดังรายละเอียดใน บทที่ 5

หลังจากนั้นทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ โดยการบันทึกภาพเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นของการควบแน่น และทราบระยะเวลาที่เริ่มเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ หลังจากควบคุมสภาวะตามที่ออกแบบ เมื่อได้ผลการทดลองดังรายละเอียดในบทที่ 6 แล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของขนาดและเวลาที่เปลี่ยนไป รวมถึงหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวของวัสดุปูพื้น

ในบทที่ 7 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปการทำงาน ผลที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม และแนวทาง ในการนำไปประยุกต์ใช้

## บทที่ 2

### ความสบาย และ พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์

คนเรามักจะต้องการความรู้สึกที่สบาย กล่าวคือ เรามักจะต้องการที่จะอาศัยอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ร้อนหรือเย็นเกินไป และไม่ชื้นหรือแห้งเกินไปด้วย แต่ความรู้สึกที่สบายนี้มีที่มาโดยง่าย เนื่องจากความต้องการของมนุษย์นี้บ่อยครั้งที่จะไม่สอดคล้องกับสภาวะของอากาศที่อยู่รอบๆ ดังนั้นความรู้สึกที่สบายนี้จะได้มากจะต้องต่อสู้กับปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของความรู้สึกไม่สบาย เช่น การที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป และมีความชื้นสูงหรือต่ำมากเกินไป

ร่างกายของคนเราสามารถถูกมองได้เหมือนกับกลจักรความร้อน (heat engine) ที่มีการป้อนพลังงานเข้าซึ่งพลังงานที่เข้านี้คืออาหาร และในทำนองเดียวกันกับกลจักรความร้อน ร่างกายของคนเราก็ต้องมีการปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์สู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน ไม่ใช่อุณหภูมิของร่างกาย (อุณหภูมิของร่างกายของคนเราที่มีสุขภาพดี จะถูกรักษาให้คงที่ที่ 37 องศาเซลเซียส) ร่างกายของคนเราจะรู้สึกสบายในสภาวะแวดล้อมที่สามารถปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์ได้อย่างสะดวกสบาย



รูปที่ 2-1 ร่างกายของคนเราจะรู้สึกสบายถ้าเราสามารถปลดปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์ออกได้อย่างอิสระ

การถ่ายโอนความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ในสภาวะแวดล้อมที่ร้อน เราจะพบปัญหาที่ตรงกันข้าม เราดูเหมือนว่าจะไม่สามารถปล่อยความร้อนออกจากร่างกายของเราได้เพียงพอ และเราจะรู้สึกทรมานกับว่าตัวของเรากำลังจะระเบิด เรามักจะสวมใส่เสื้อผ้าที่เบาบางเพื่อให้ความร้อนระบายออกจากร่างกายได้ง่าย และเรามักจะลดระดับของกิจกรรมให้น้อยลงเพื่อลดอัตราการเกิดความร้อนขึ้นภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังมักชอบเปิดพัดลมอย่างต่อเนื่องเพื่อทดแทนชั้นอากาศที่อบอุ่นกว่าที่เกิดขึ้นรอบๆ ร่างกาย เนื่องจากความร้อนภายในร่างกายด้วยอากาศส่วนอื่นๆ ภายในห้องที่เย็นกว่า ถ้าเราทำงานเบาๆ หรือเดินช้าๆ ครึ่งหนึ่งของความร้อนที่ปล่อยออกจากร่างกายจะถูกปล่อยออกโดยการหายใจในรูปของ ความร้อนแฝง ขณะที่อีกครึ่งหนึ่งจะถูกปล่อยออกโดยกลไกการพาและการแผ่รังสีในรูปของ ความร้อนสัมผัส ถ้าเราพักผ่อนหรือทำงานในสำนักงาน ความร้อนส่วนใหญ่ (ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อน Sensible แต่ถ้าเราทำงานหนัก ความร้อนส่วนใหญ่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนแฝง ร่างกายจะช่วยให้การกำจัดความร้อนโดยมีเหงื่อออกมามากๆ ขณะที่เหงื่อเกิดการระเหยเหงื่อจะดูดซึมความร้อนแฝงจากร่างกายและทำให้ร่างกายเย็นลง แต่การระบายความร้อนด้วยเหงื่อจะไม่ช่วยอะไรได้มากนัก ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อมมีค่าใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคนเราก็คือการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี ความร้อนระหว่างร่างกายกับพื้นผิวที่อยู่รอบๆ เช่น ผนังและหน้าต่าง รังสีจากดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ผ่านห้วงอากาศโดยการแผ่รังสี เราจะรู้สึกอบอุ่นเมื่อเรายืนอยู่หน้าไฟ แม้ว่าอากาศระหว่างเราและไฟจะค่อนข้างเย็นก็ตาม ในทำนองเดียวกัน เราจะรู้สึกเย็นแม้ว่าเราจะอยู่ในห้องที่อบอุ่น ถ้าเพดานหรือพื้นผิวของกำแพงจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเกิดการถ่ายโอนความร้อนโดยตรงระหว่างร่างกายของเราและพื้นผิวที่อยู่รอบๆ โดยการแผ่รังสีเครื่องทำความร้อนแบบแผ่รังสีมักจะถูกใช้สำหรับบริเวณที่ยากในการทำความร้อน เช่น อุโมงค์รถยนต์

ความรู้สึกสบายของร่างกายของมนุษย์มักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการคือ อุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง) ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนไหวของอากาศ อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมจะเป็นดัชนีหลักที่สำคัญที่สุดของความรู้สึกสบาย คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมอยู่ระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส (72-80 °F) ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกที่สบาย เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์นี้จะส่งผลต่อปริมาณของความร้อนของร่างกายที่จะสามารถระเหยออกได้โดยการระบาย ความชื้นสัมพัทธ์เป็นดัชนีที่ใช้ในการวัดความสามารถของอากาศในการดูดซึมความชื้น กล่าวคือถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ก็จะมีผลทำให้การคายความร้อนออกจากร่างกายของเราโดยการระเหยเกิดขึ้นช้าลง แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ก็จะมีผลในทางตรงกันข้ามคือ ทำให้การคายความร้อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น คนส่วนใหญ่จะชอบอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ

40-60% การเคลื่อนไหวของอากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อความรู้สึกที่สบายของคนเราเช่นกัน เพราะการเคลื่อนไหวของอากาศจะกำจัดเอาอากาศอุ่นและมีความชื้นที่เกิดขึ้นรอบๆ ร่างกายออก และแทนที่ด้วยอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์กว่า ดังนั้นการเคลื่อนไหวจึงเป็นการเพิ่มการคายความร้อนออกโดยกลไกทั้งการพาและการระเหย การเคลื่อนไหวของอากาศควรจะแรงพอที่จะกำจัดความร้อนและความชื้นออกจากบริเวณร่างกาย แต่ก็ไม่ควรที่จะรุนแรงมากเกินไป คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าความเร็วของอากาศมีค่าประมาณ 0.25 เมตรต่อวินาที การเคลื่อนไหวของอากาศที่ความเร็วสูงมากเกินไป มักจะทำให้ร่างกายรู้สึกไม่สบายมากกว่าที่จะรู้สึกสบาย ตัวอย่างเช่น สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ( $50^{\circ}\text{F}$ ) พร้อมทั้งมีลมพัดด้วยอัตราเร็ว 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มักจะทำให้ร่างกายรู้สึกหนาวเย็นราวกับอยู่ในที่มีอุณหภูมิ  $-7$  องศาเซลเซียส ( $20^{\circ}\text{F}$ ) พร้อมกับมีลมพัดด้วยอัตราเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลของการเคลื่อนไหวของอากาศที่ทำให้ร่างกายรู้สึกเย็น ( เราเรียกว่า Wind-Chill Factor )

นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคน คือ ความสะอาด กลิ่น เสียง ผลของการแผ่รังสี และอุณหภูมิพื้น โดยที่อุณหภูมิของพื้นไม่ควรสูงหรือต่ำจนเกินไป โดยตามมาตรฐานสากล (ASHRAE 1992; ISO 1994) ควรอยู่ในช่วง 18-19 องศาเซลเซียส ซึ่งจะถือเป็นข้อจำกัดของระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

เนื่องจากความสบายเป็นสิ่งจำเป็นดังนั้นระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้นจึงได้ให้ความสำคัญต่อสิ่งนี้เป็นอย่างมากโดยที่ภายในระบบจะทำการควบคุมให้สถานะอยู่ที่ อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิพื้น 19 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 55เปอร์เซ็นต์ และความเร็วของอากาศระหว่าง 0.1-0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะทำให้รู้สึกสบายที่สุด

## 2.1 พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์

### 2.1.1 ความร้อน (heat)

ความร้อน (heat) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งซึ่งสามารถทำงานได้ และสามารถเปลี่ยนพลังงานรูปอื่นๆ หรือพลังงานรูปอื่นๆสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน กล่าวคือ ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า และจะหยุดการถ่ายเทเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน

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

### 2.1.2 ความร้อนสัมผัส (sensible heat)

เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแต่สถานะคงเดิมอยู่ เช่น น้ำ ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อถูกเพิ่มปริมาณความร้อนเข้าไปน้ำนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึง 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศซึ่งเรียกว่า จุดเดือดของน้ำ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดนี้จัดว่าเป็นความร้อนสัมผัส

### 2.1.3 ความร้อนแฝง (latent heat)

เป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสสาร โดยมีอุณหภูมิคงที่อยู่ ซึ่งความร้อนแฝงนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ

ก. ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว เช่น น้ำแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส ถ้าถูกเพิ่มปริมาณความร้อนจะหลอมละลายกลายเป็นน้ำหมดที่ 0 องศาเซลเซียส

ข. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เช่น น้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ถ้าถูกเพิ่มปริมาณความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำหมดที่ 100 องศาเซลเซียสเช่นกัน

### บทที่ 3

#### การควบแน่น และไซโครเมตริกซ์

การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอ (vapor) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของมัน การควบแน่นในอุปกรณ์ หรือพื้นผิวต่างในระบบทำความเย็นนั้น มักเป็นผลจากการที่ไอสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนแฝง (latent heat) จะถูกถ่ายออกจากไอ และส่งถ่ายไปยังพื้นผิว ทำให้ไอควบแน่นเป็นของเหลว วิธีการอื่นๆ ในการควบแน่นได้แก่ การควบแน่นแบบ “homogeneous” ซึ่งไอจะควบแน่นเป็นหยดน้ำลอยอยู่ก๊าซทำให้เกิดลักษณะคล้ายหมอก อีกวิธีการหนึ่งได้แก่การควบแน่นแบบสัมผัสโดยตรง (direct contact condensation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการนำไอไปสัมผัสกับของเหลวที่เย็นกว่าโดยตรง

การพิจารณา พบว่าการควบแน่นนั้นสามารถเป็นไปได้สองแบบซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพที่พื้นผิว แบบแรกได้แก่การควบแน่นเป็นชั้นของเหลวครอบคลุมพื้นผิวทั้งหมด การควบแน่นลักษณะนี้เรียกว่า “film condensation” มักจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่สะอาดอยู่ในแนวตั้ง แต่ถ้าพื้นผิวเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พื้นผิวเปียก การควบแน่นก็จะเป็นแบบ “drop wise condensation” ซึ่งการควบแน่นในลักษณะนี้ก็จะมิได้หลายขนาดตั้งแต่เป็นไมโครเมตร จนถึงขนาดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และโดยทั่วไปจะครอบคลุมเนื้อที่ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิว

ไม่ว่าการควบแน่นจะเป็นแบบหนึ่งแบบใดก็ตาม การเกิดขึ้นของเหลวหรือหยดของเหลวบนพื้นผิว จะทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอและพื้นผิว ความต้านทานดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาของชั้นของเหลวหรือหยดของเหลวมากขึ้น และความหนานี้เพิ่มขึ้นในทิศทางการไหล 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 (ซึ่งมีท่อน้ำเย็นฝังอยู่) การเกิดการควบแน่นบนพื้นจึงเป็นการลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้น ซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมเกิดการควบแน่นบนพื้นในระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประโยชน์ในการควบคุมไม่ให้เกิดสภาวะดังกล่าว

### 3.1 ไชโครเมตริกซ์ (Psychrometrics)

เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ของส่วนผสมระหว่างไอน้ำและก๊าซในอากาศ จะประกอบไปด้วย อากาศแห้ง(Dry air) และความชื้นหรือน้ำ (Moisture) เป็นองค์ประกอบ อากาศแห้ง 1 โมล จะมีก๊าซไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือออกซิเจน 20 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ ดังนั้นอากาศแห้ง 1 โมล จะมีมวล 29 กรัม หรือ 29 ปอนด์ก็ได้ ในกรณีเทียบมาจากหน่วยอังกฤษ

การศึกษาไชโครเมตริกซ์ จะช่วยให้เราเข้าใจถึงสมบัติต่างๆของอากาศ ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปใช้ออกแบบระบบทำความเย็น และใช้ทำนายสภาวะของพื้นที่ปรับอากาศเมื่อทราบตัวแปรต่างๆได้ง่ายขึ้น

### 3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทางไชโครเมตริกซ์

#### 3.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

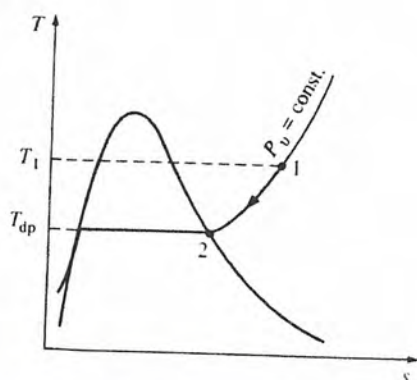
เป็นอุณหภูมิที่บอกโดยไม่มี การดัดแปลง(Modified Temperature Sensor) ในการบอกอุณหภูมิวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปจะหมายถึงความถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

#### 3.2.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

คืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่น เมื่ออากาศถูกทำให้เย็นลงในอัตราส่วนความชื้นและความดันคงที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ค่า  $T_{dp}$  คือ อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ความดันไอน้ำนั่นเอง

$$T_{dp} = T_{sat @ P_v}$$

ดังแสดงในรูปที่ 3.1 กล่าวคือ ขณะที่อากาศถูกทำให้เย็นตัวลงที่ความดันคงที่ ความดันไอน้ำ  $P_v$  ก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้น ไอน้ำในอากาศ (สภาวะที่ 1) จะมีอุณหภูมิลดลงตามแนวเส้นของความดันคงที่ จนกระทั่งตัดกับเส้นโค้งของไออิ่มตัว (สภาวะที่ 2) อุณหภูมิที่จุดนี้คือ  $T_{dp}$  และถ้าอุณหภูมิลดต่ำกว่านี้ ไอน้ำบางส่วนก็จะเกิดการควบแน่น ผลที่ตามมาคือ ปริมาณของไอน้ำในอากาศจะลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้  $P_v$  ลดลง อากาศยังคงอิ่มตัวในระหว่างกระบวนการควบแน่น ดังนั้น กระบวนการจะดำเนินไปตามแนวเส้นของความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ (เส้นโค้งของไออิ่มตัว) อุณหภูมิอิ่มตัวและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศอิ่มตัว คือ จุดเดียวกัน

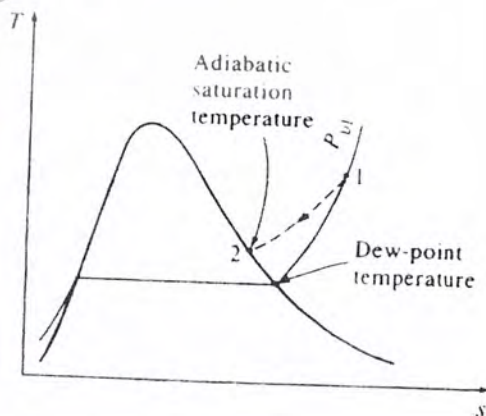
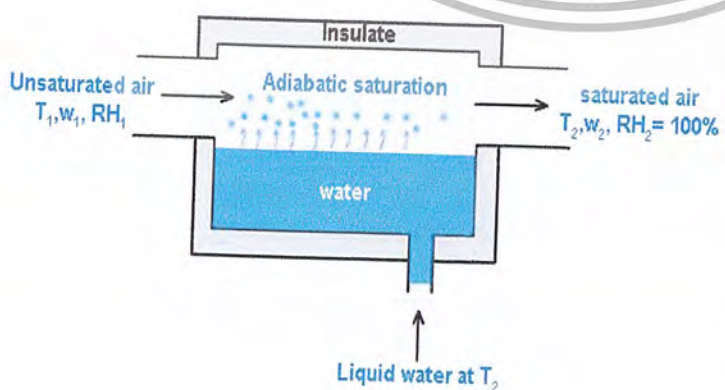


รูปที่ 3.1 การเย็นตัวลงของอากาศชื้นที่สภาวะความดันคงที่ และอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภาพ T-s ของน้ำ

3.2.3 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) มี 2 แบบคือ

1. อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Wet Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ หรือ กระบวนการอิมิตัวแบบแอดิเอเบติก (adiabatic saturation process) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ระบบจะประกอบไปด้วยท่อยาวที่มีฉนวนหุ้มและมีน้ำบรรจุอยู่ใน กระแสอากาศที่ไม่อิมิตัวซึ่งมีค่าที่อุณหภูมิ  $T_1$  มีความชื้น  $w_1$  และ มีความชื้นสัมพัทธ์  $RH_1$  ไหลผ่านท่ออย่างคงตัว ขณะที่อากาศไหลผ่านเหนือ น้ำ น้ำบางส่วนจะระเหยและผสมเข้ากับกระแสของอากาศนี้ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศจะเพิ่มระหว่างในกระบวนการ และอุณหภูมิของอากาศจะลดลง เพราะความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยของไอน้ำได้มาจากอากาศนั่นเอง ถ้าท่อนี้มีความเพียงพอ กระแสของอากาศที่ไหลออกที่อุณหภูมิ  $T_2$  จะเป็นอากาศอิมิตัว ( $RH = 100$  เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเราจะเรียกอุณหภูมิ  $T_2$  นี้ว่า อุณหภูมิอิมิตัวแอดิเอเบติก (adiabatic saturation temperature)



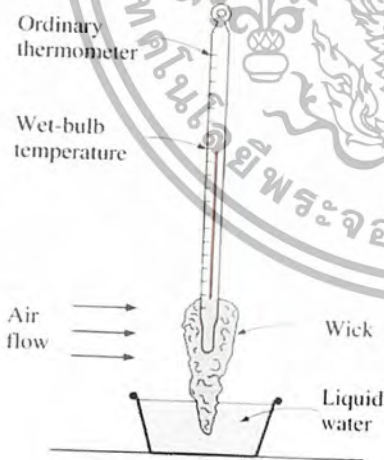
รูปที่ 3.2 กระบวนการอิมิตัวแบบแอดิเอเบติก และ แผนภาพของ T-s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

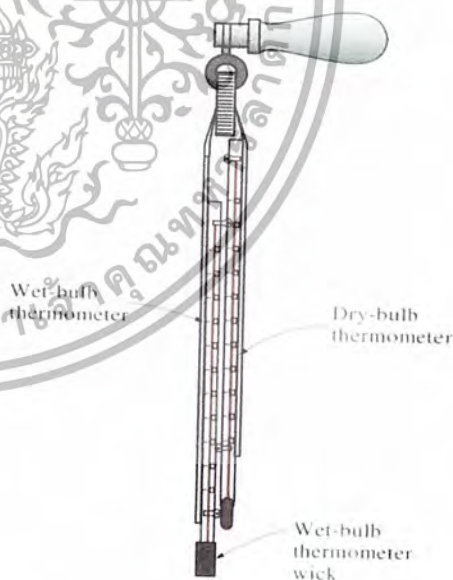
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางไซโครเมตริกซ์ (Psychrometrics Wet Bulb Temperature)

ได้มาจากการนำเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทหุ้มด้วยสำลีหรือผ้าเปียกตลอดเวลา แล้วปล่อยให้สัมผัสกับอากาศที่ไหลในความเร็วสูง(อย่างน้อย 4.6 เมตร / วินาที)ดังแสดงในรูปที่ 3.3 อุณหภูมิที่ถูกวัดด้วยวิธีนี้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature  $T_{wb}$ ) หลักการพื้นฐานจะเหมือนกับหลักการของกระบวนการอิมตัวแอดเดียเบติก กล่าวคือเมื่ออากาศที่ไม่อิมตัวไหลผ่านสำลีที่เปียก น้ำบางส่วนในสำลีนี้จะเกิดการระเหย ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิของน้ำจะลดลง ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอากาศและน้ำขึ้น(ซึ่งจะเป็นแรงขับเคลื่อนทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อน) หลังจากนั้นสักครู่หนึ่ง ความร้อนที่สูญเสียออกจากน้ำเนื่องจากการระเหยจะเท่ากับความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนจากอากาศ อุณหภูมิของกระเปาะจะคงที่ ค่าของอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อ่านได้ทีจุดนี้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก

นอกจากนี้อุณหภูมิกระเปาะเปียกยังสามารถถูกวัดได้โดยการใส่เทอร์โมมิเตอร์ที่มีสำลีเปียกหุ้มที่ปลายนั้นเข้าไปในอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับใส่ และมีที่จับเพื่อใช้ในการเหวี่ยง หลังจากนั้นจะทำการเหวี่ยงอุปกรณ์นี้อย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีการนี้จะใช้การเคลื่อนที่ของเทอร์โมมิเตอร์แทนการไหลของอากาศ อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการนี้จะถูกเรียกว่า Sling Psychrometer ดังแสดงในรูปที่ 3.4 นอกจากนี้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งก็มักจะถูกใส่ไว้ในอุปกรณ์นี้เช่นกัน เพื่อให้สามารถอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งได้พร้อมๆ กัน



รูปที่ 3.3 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย



รูปที่ 3.4 Sling Psychrometer

### 3.2.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, Humid Volume)

คือปริมาตรของอากาศชื้น ต่อ หนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้ง ขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นจำเพาะนั้นเป็นส่วนกลับกับค่าปริมาตรจำเพาะ

### 3.2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH)

คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำความชื้น ต่อ ปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศนั้นสามารถรับไว้ได้ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน นอกจากนี้ยังหมายถึง ความดันของอากาศ ต่อ ความดันอิ่มตัวในขณะนั้นที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หรือรายงานในรูปร้อยละตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ก็ได้

### 3.2.6 ความชื้นจำเพาะและ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Specific Humidity, Humidity Ratio, Absolute Humidity, Humidity Ratio also Moisture Content)

ความชื้นจำเพาะหรือความชื้นสมบูรณ์(หรือเรียกว่า อัตราส่วนความชื้น(Humidity Ratio)) คือมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง กำหนดด้วยสัญลักษณ์  $w$

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{kg water vapor/kg dry air})$$

$m_v$  = มวลของไอน้ำ (mass of vapor) ; kg water vapor

$m_a$  = มวลของอากาศแห้ง (mass of air) ; kg dry air

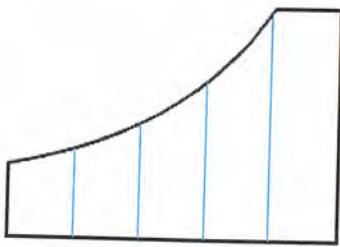
### 3.2.7 เอนทัลปี (Enthalpy)

ค่าพลังงานความร้อนที่มีในอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้ง เมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง(นิยมใช้ 0 องศาเซลเซียส ในระบบเมตริกซ์)

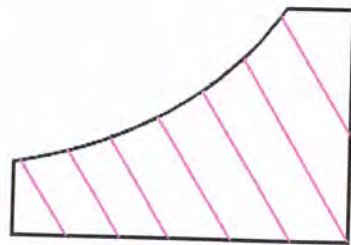
## 3.3 หลักการใช้ไซโครเมตริกซ์ชาร์ต

พารามิเตอร์หรือคุณสมบัติต่างๆของอากาศที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน สามารถคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ไซโครเมตริกซ์ชาร์ตที่ระดับความดันหนึ่งๆ สามารถนำมาใช้คำนวณหรือบอกพิกัดของค่าต่างๆได้ เพียงแค่ทราบค่าคุณสมบัติที่อิสระต่อกัน 2 ค่าก็สามารถหาคุณสมบัติอื่นๆทางไซโครเมตริกซ์ได้ทั้งหมด

### 3.3.1 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก



เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

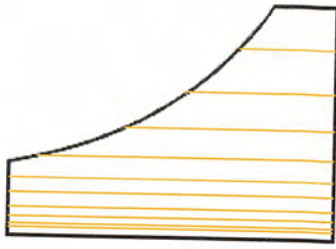


เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก

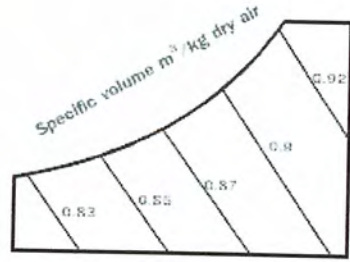
รูปที่ 3.5 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

รูปที่ 3.6 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก

### 3.3.2 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างและปริมาตรจำเพาะ



— เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

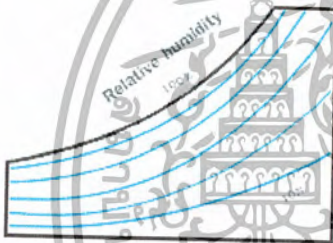


— เส้นปริมาตรจำเพาะ

รูปที่ 3.7 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

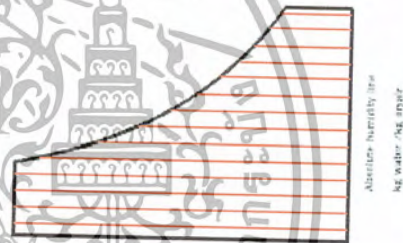
รูปที่ 3.8 เส้นปริมาตรจำเพาะในไซโครเมตริกซ์ชาร์ต

### 3.3.3 เส้นความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นจำเพาะ



— เส้นความชื้นสัมพัทธ์

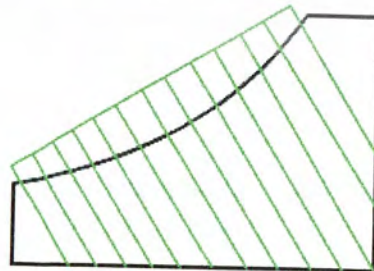
รูปที่ 3.9 เส้นความชื้นสัมพัทธ์



— เส้นปริมาณไอน้ำชื้น

รูปที่ 3.10 เส้นความชื้นจำเพาะ

### 3.3.4 เส้นเอนทัลปี



— เส้นเอนทัลปี

รูปที่ 3.11 เส้นเอนทัลปี

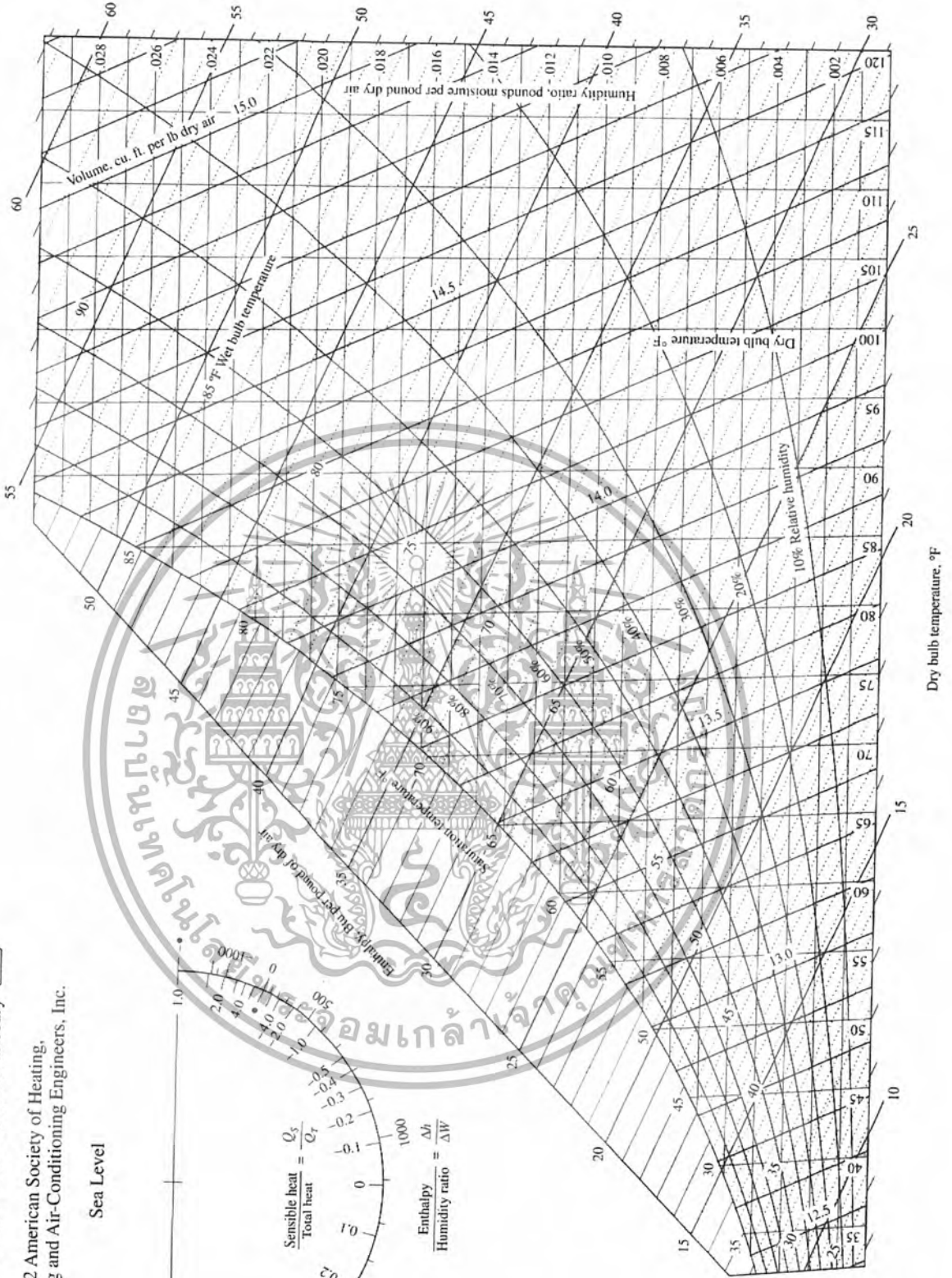
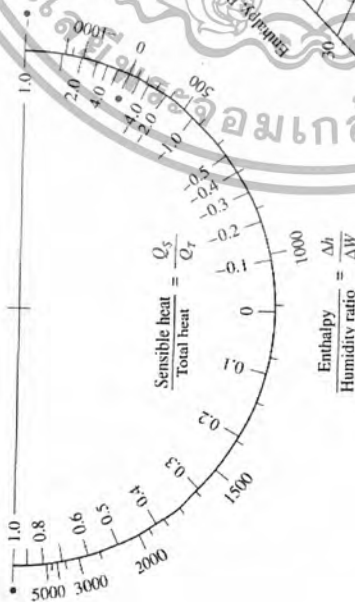
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ASHRAE Psychrometric Chart No. 1**  
 Normal Temperature  
 Barometric Pressure: 29.921 inches of mercury

©1992 American Society of Heating,  
 Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Sea Level



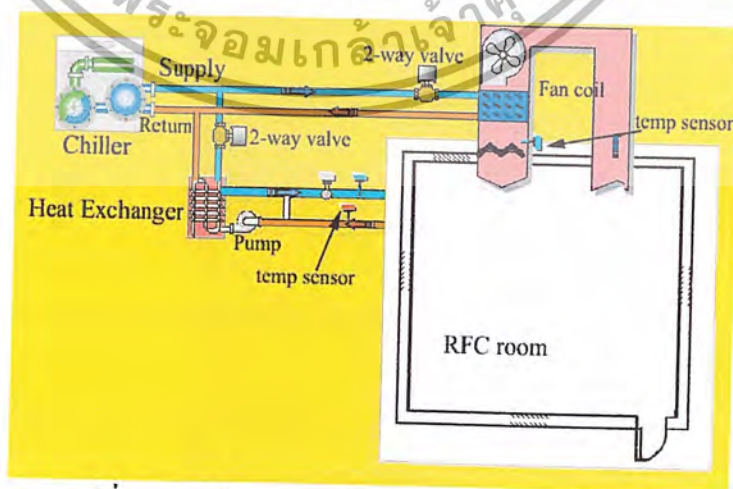
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ที่ 3.12 ไซโคลเมตริกชาร์ต ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### บทที่ 4

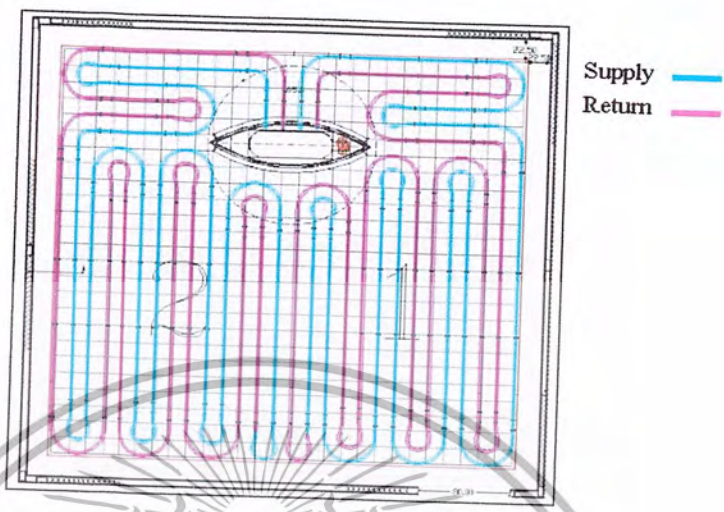
### ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีจากพื้น

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากมายทั้งในเมืองหนาว เมืองร้อน และอาคารขนาดใหญ่ สำหรับระบบปรับอากาศสำหรับอาคารขนาดใหญ่โดยทั่วไปนั้น เป็นระบบที่สามารถทำความเย็นได้ดีในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์ไม่มากนัก แต่เนื่องจากปัจจุบันการออกแบบหรือการก่อสร้างอาคารใหญ่มักนิยมนำแสงแดดมาใช้ประโยชน์ในการส่องสว่างเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากหลอดไฟฟ้า แต่ก็ส่งผลทำให้ภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศสูงขึ้น ดังนั้นระบบการทำความเย็นแบบแผ่รังสีความเย็นจากพื้นจึงได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะสามารถดูดซับรังสีความร้อนที่กระทบพื้นได้ดี เป็นการลดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้เล็กลงเมื่อเทียบกับระบบการทำความเย็นอื่นๆที่ภาระทำความเย็นเท่าๆกัน และยังลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเนื่องจากเป็นระบบปิด รวมทั้งยังสามารถควบคุมให้ทำความเย็นได้ในระดับระดับความสูงที่ต้องการ เป็นการประหยัดพลังงาน โดยทำความเย็นเฉพาะบริเวณที่มีคนอยู่คือ ตั้งแต่พื้นจนถึงบริเวณที่สูงจากพื้นประมาณ 2-3 เมตร ซึ่งเป็นการลดภาระในการทำความเย็นในส่วนที่ไม่จำเป็นของระบบ แต่ในการทำงานจะต้องอยู่ในรูปแบบของระบบผสม จึงต้องทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศที่ใช้การเป่าลมเย็นเพื่อการปรับอากาศ (Fan Coil Unit) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นภายในห้อง

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



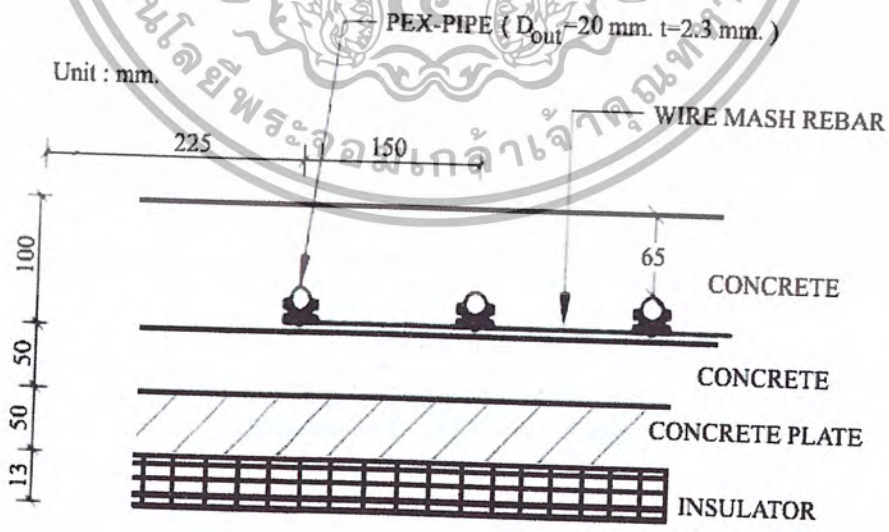
รูปที่ 4-1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ RFC



รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบ

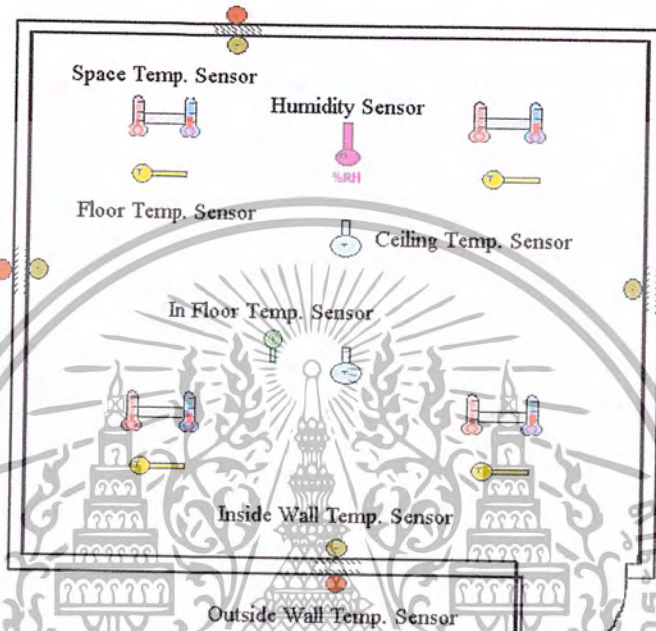
จาก รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบโดยท่อน้ำจะถูกแบ่งเป็น 2 ระบบ โดยหากระบบใดระบบหนึ่งเกิดเหตุขัดข้อง อีกระบบสามารถทำงานแทนได้

รูปที่ 4-3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพื้นห้องทดลอง และขนาดท่อ โดยที่จะทำการฝังท่อน้ำเย็นให้มีความห่างจากผิวคอนกรีตด้านบน 65 มิลลิเมตร และแต่ละท่อจะห่างกัน 150 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-3 แสดงชั้นต่างๆของพื้นห้องทดลอง

จาก รูปที่ 4-4 แสดงตำแหน่งต่างๆของเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งภายในห้องทดสอบ โดยภายในห้องจะประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้นผิว เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในพื้น (ฝังไว้ใต้พื้น) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ผนังทั้งด้านนอก และในห้องทดสอบ เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์

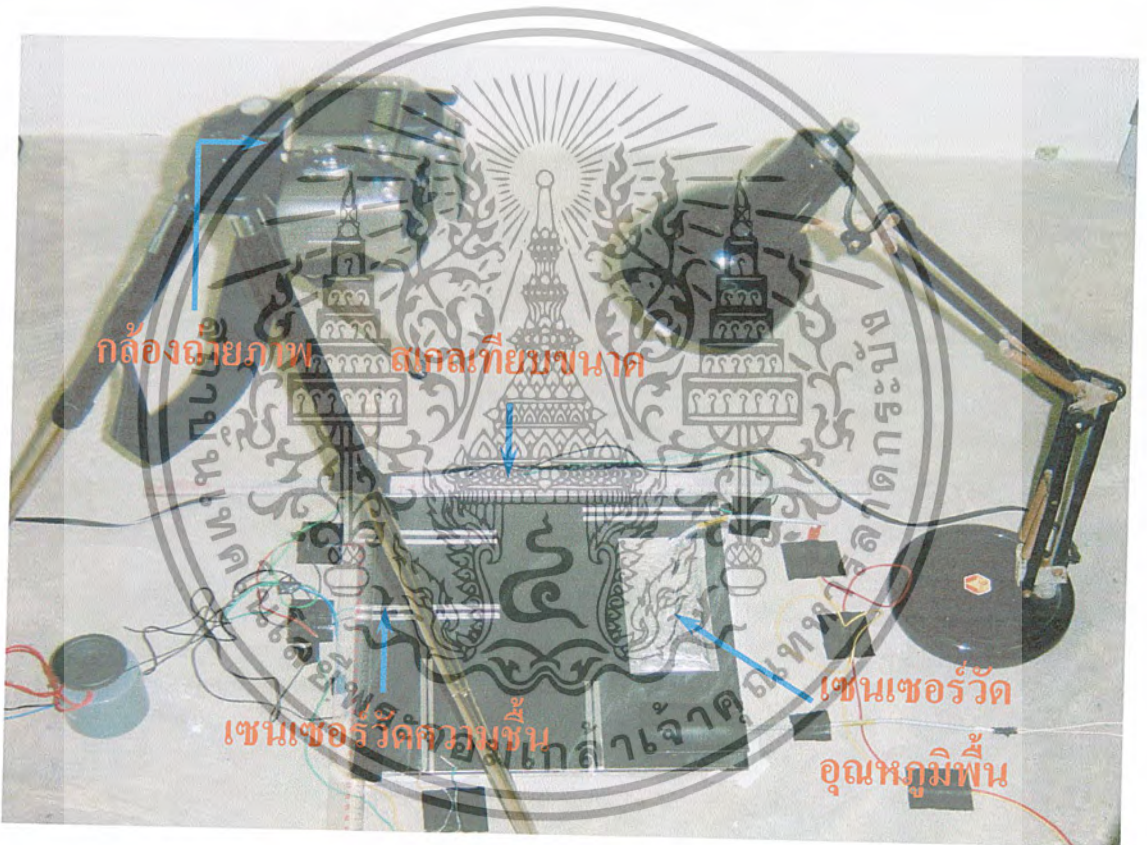


รูปที่ 4-4 แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์ต่างๆ (Top View)

## บทที่ 5

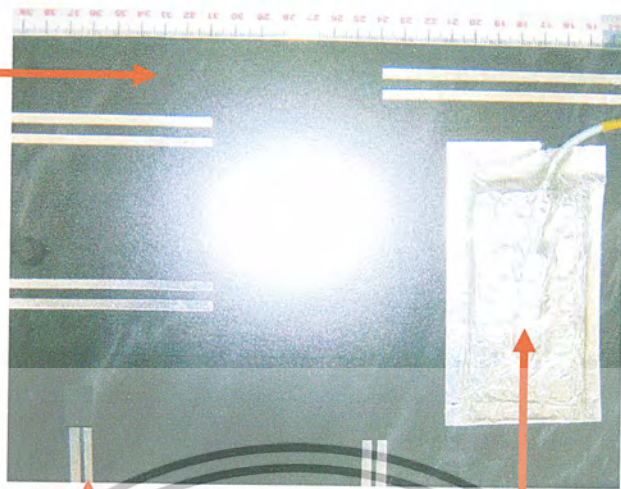
### การทดลอง

ในการทำการทดลองโดยใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพหยดน้ำบนพื้นผิวทดสอบ โดยจะนำกระเบื้องเซรามิกสีดำติดบนพื้นห้องทดลองโดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดความชื้นติดอยู่บนพื้นทดสอบอีกที่ดังเช่นใน รูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงชุดบันทึกการทดลอง

พื้นผิวทดสอบ



เซ็นเซอร์วัดความชื้น

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้น

รูปที่ 5.2 แสดงแผ่นกระเบื้องที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองเราจะทำการบันทึกภาพในกรณีต่างๆกันซึ่งบางกรณีอาจต้องการความชื้นที่สูงมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องช่วยเพิ่มความชื้นเพื่อทำให้ความชื้นภายในห้องมีมากพอที่จะทำให้เกิดการควบแน่นได้



รูปที่ 5.3 แสดงเครื่องเพิ่มความชื้นภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 การทดลองแบ่งออกเป็น กรณีดังนี้

- 5.1.1 ควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ที่  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  แปรเปลี่ยนอุณหภูมิพื้น และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ดังแสดงในตารางที่ 1
- 5.1.2 ควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ที่  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องคงที่ที่  $60\text{ \%RH}$  และแปรเปลี่ยนอุณหภูมิพื้น(กรณีใช้ถังน้ำแข็ง) ดังแสดงในตารางที่ 2
- 5.1.3 ควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ที่  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  แปรเปลี่ยนอุณหภูมิพื้น และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ดังแสดงในตารางที่ 3
- 5.1.4 ทดสอบโดยทำการเปลี่ยนแปลงวัสดุปูพื้น ดังแสดงในตารางที่ 4
- 5.1.5 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดของหยดน้ำโดยไม่ควบคุมสถานะแวดล้อม

หลังจากกำหนดทำการถ่ายภาพเม็คน้ำบนพื้นผิวทดสอบที่กรณีต่างๆเรียบร้อยแล้ว เราจะทำการหาขนาดของหยดน้ำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดัง รูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดง โปรแกรมหาขนาดเม็คน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรแกรมจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เปิดไฟล์ภาพ(คลิกที่ “ Load ” ในกรอบสีแดงที่ 1)ที่ทำการถ่ายลงในโปรแกรม(ภาพถ่ายต้องเป็นนามสกุล BMP - Windows Bitmap)
2. ทำเครื่องหมายเพื่อวัดความกว้างของเม็คน้ำ ดังวงกลมที่ 2 ดังรูป 5.4 (ในการทดลองนี้จะทำการวัดขนาดหยดน้ำโดยเฉลี่ยประมาณ 10 จุด)
3. ทำเครื่องหมายเพื่อวัดความกว้างของไม้บรรทัด(ดังวงกลมที่ 3)เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับขนาดของเม็คน้ำที่วัดได้
4. นำค่าที่ได้ในกรอบสีม่วงที่ 4 (ดังรูป 5.4)ไปคำนวณใน โปรแกรม Excel เพื่อหาขนาดของเม็คน้ำ ดังรูป 5.5

|    | A      | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I        | J         | K          | L |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|------------|---|
| 1  | 19RH95 |       |       |       |       |       |       |       |          |           |            |   |
| 2  | X1     | Y1    | X2    | Y2    | X3    | Y3    | X4    | Y4    | ผล       | เลขชี้    | คิดเป็น mm |   |
| 3  | 634.5  | 586   | 607   | 588   | 635   | 587   | 636   | 589   | 2.368034 | 2.31395   | 0.329724   |   |
| 4  | 584    | 649   | 586   | 649   | 581.5 | 650   | 586   | 652   | 2.25     |           |            |   |
| 5  | 534.5  | 654   | 535.5 | 652   | 533.5 | 652.5 | 536   | 653   | 2.392789 |           |            |   |
| 6  | 638.5  | 560.5 | 640   | 560   | 639.5 | 562.5 | 639   | 559.5 | 2.31126  |           |            |   |
| 7  | 811    | 561   | 813   | 560   | 813   | 562   | 812   | 560   | 2.286068 |           |            |   |
| 8  | 727.5  | 603.5 | 725   | 603   | 726   | 602   | 726   | 604   | 2.274755 |           |            |   |
| 9  | 762.5  | 563   | 761   | 561.5 | 762   | 561.5 | 763.5 | 563.5 | 2.310866 |           |            |   |
| 10 | 909    | 654.5 | 911   | 655.5 | 911   | 654.5 | 909.5 | 656.5 | 2.368034 |           |            |   |
| 11 | 100.5  | 603   | 100   | 610   |       |       |       |       | 7.017834 | ไม้บรรทัด |            |   |
| 12 |        |       |       |       |       |       |       |       |          |           |            |   |

รูปที่ 5.5 แสดงโปรแกรมหาขนาดเม็คน้ำ

โดยที่ค่าที่ได้จากโปรแกรมก่อนนำไปคำนวณใน Excel โปรแกรมจะทำการบอกมาเป็นจุด ซึ่งแสดงในรูปของค่า x และค่า y หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาขนาดของเม็คน้ำ โดยใช้วิธีการหาความยาวของจุด 4 จุด (ความกว้างของเม็คน้ำ) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความยาวของจุด 2 จุดบนไม้บรรทัดที่ได้ทำการหามา ก็จะทำให้ได้ขนาดของเม็คน้ำออกมาตามต้องการ

ตารางที่ 5.1 แสดงเงื่อนไขการควบคุม เมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่  $24^{\circ}\text{C}$

| อุณหภูมิห้อง<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | อุณหภูมิพื้น<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง<br>(%RH) |
|--|--|------------------------------------|
| 24                                     | 19                                     | 85,90 และ 95                       |
|  | 18                                     | 80,85,90 และ 95                    |
|  | 17                                     | 75,80,85,90 และ 95                 |
|  | 16                                     | 70,75,80,85,90 และ 95              |
|  | 15                                     | พิจารณาจากการทดลอง                 |

ตารางที่ 5.2 แสดงเงื่อนไขการควบคุม เมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่  $24^{\circ}\text{C}$  (กรณีใช้ถังน้ำแข็ง)

| อุณหภูมิห้อง<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง<br>(%RH) | อุณหภูมิพื้น<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|--|------------------------------------|--|
| 24                                     | 60                                 | 8                                      |
|  |                                    | 10                                     |
|  |                                    | 12                                     |

ตารางที่ 5.3 แสดงเงื่อนไขการควบคุม เมื่อให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 26 °C

| อุณหภูมิห้อง<br>(°C) | อุณหภูมิพื้น<br>(°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง<br>(%RH) |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 26                   | 19                   | 75,80,85,90 และ 95                 |
|                      | 18                   | 70,75,80,85,90 และ 95              |

ตารางที่ 5.4 แสดงเงื่อนไขการควบคุม เมื่อแปรเปลี่ยนชนิดของวัสดุปูพื้น

| อุณหภูมิห้อง<br>(°C) | อุณหภูมิพื้น<br>(°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง<br>(%RH) | ชนิดวัสดุปูพื้น |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| 24                   | 19                   | 95                                 | หินอ่อน         |
|                      |                      |                                    | หินแกรนิต       |
|                      |                      |                                    | หินกาบ          |

## บทที่ 6

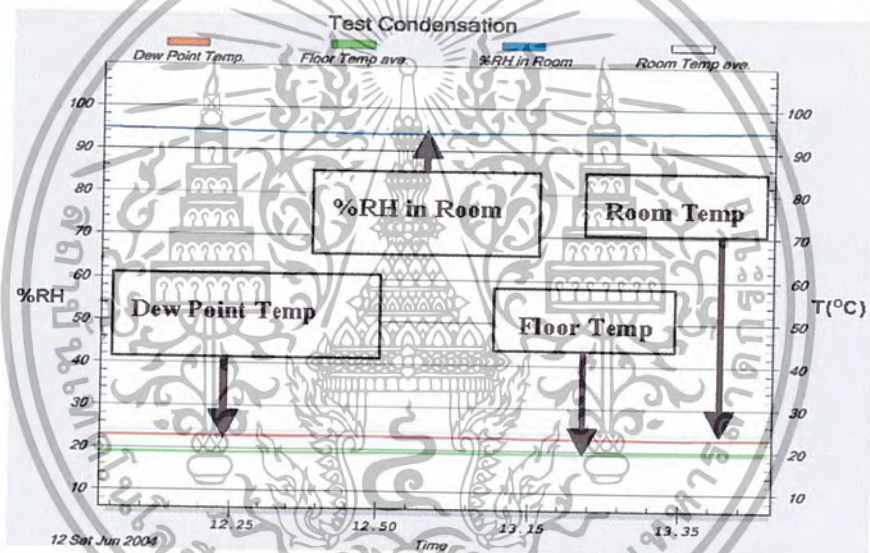
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบการเกิดการควบแน่นบนวัสดุปูพื้นในครั้งนี้จะแยกผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้วไว้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

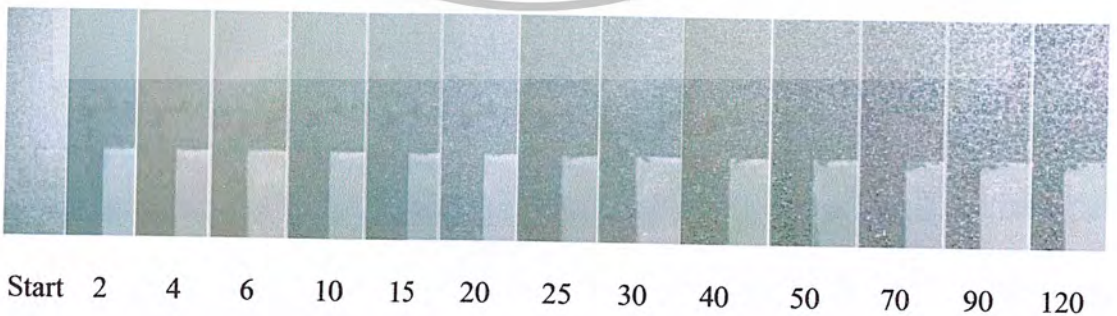
#### 6.1 อุณหภูมิห้องที่ 24 องศาเซลเซียส (แผ่นวัสดุทดสอบ : กระเบื้องเซรามิก)

##### 6.1.1 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 19 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์



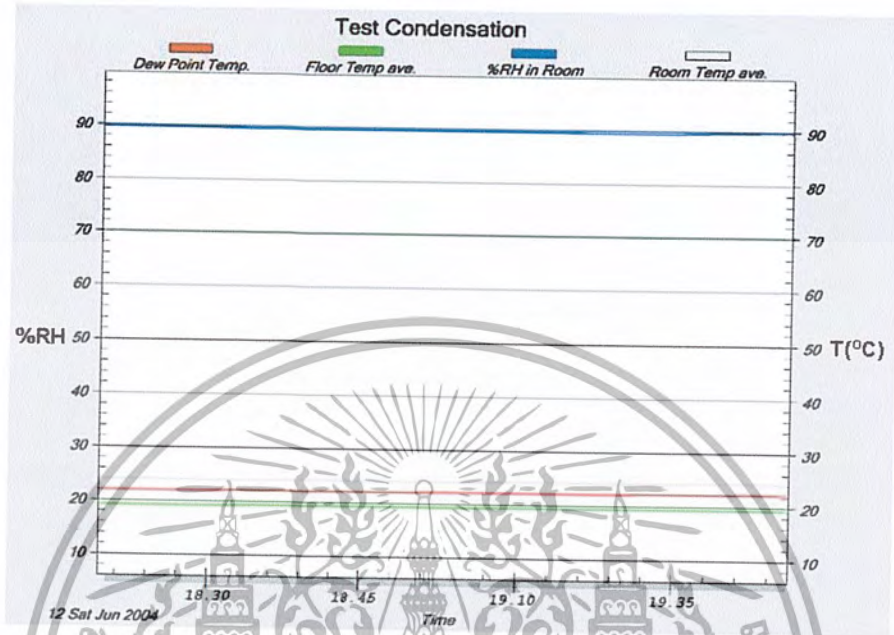
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์



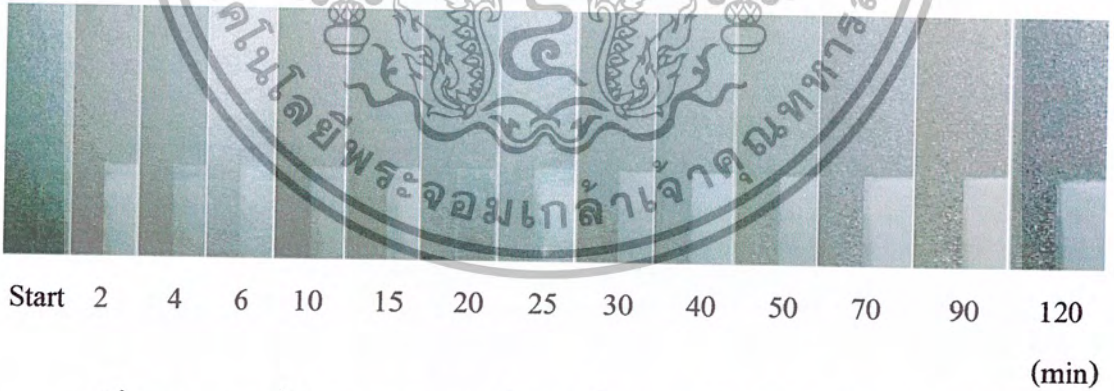
รูปที่ 6.2 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ (min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์



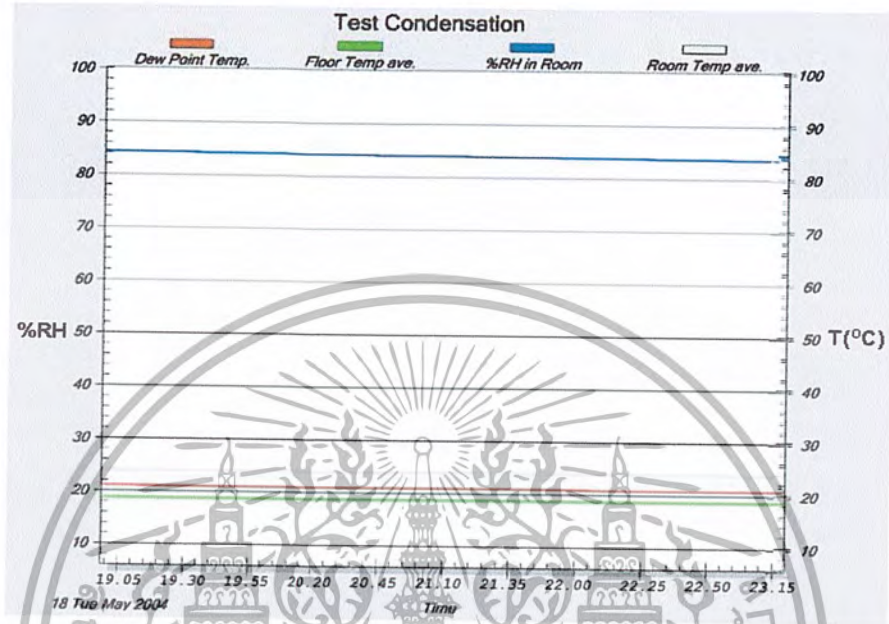
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์



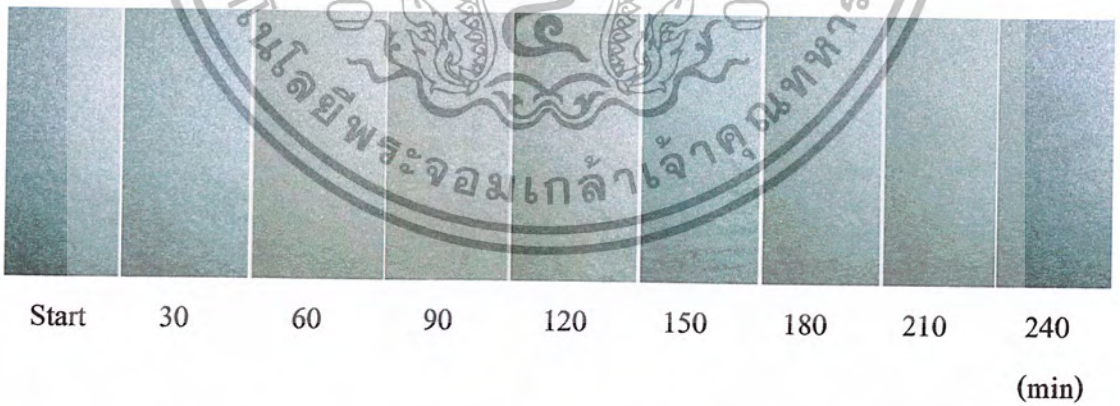
รูปที่ 6.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

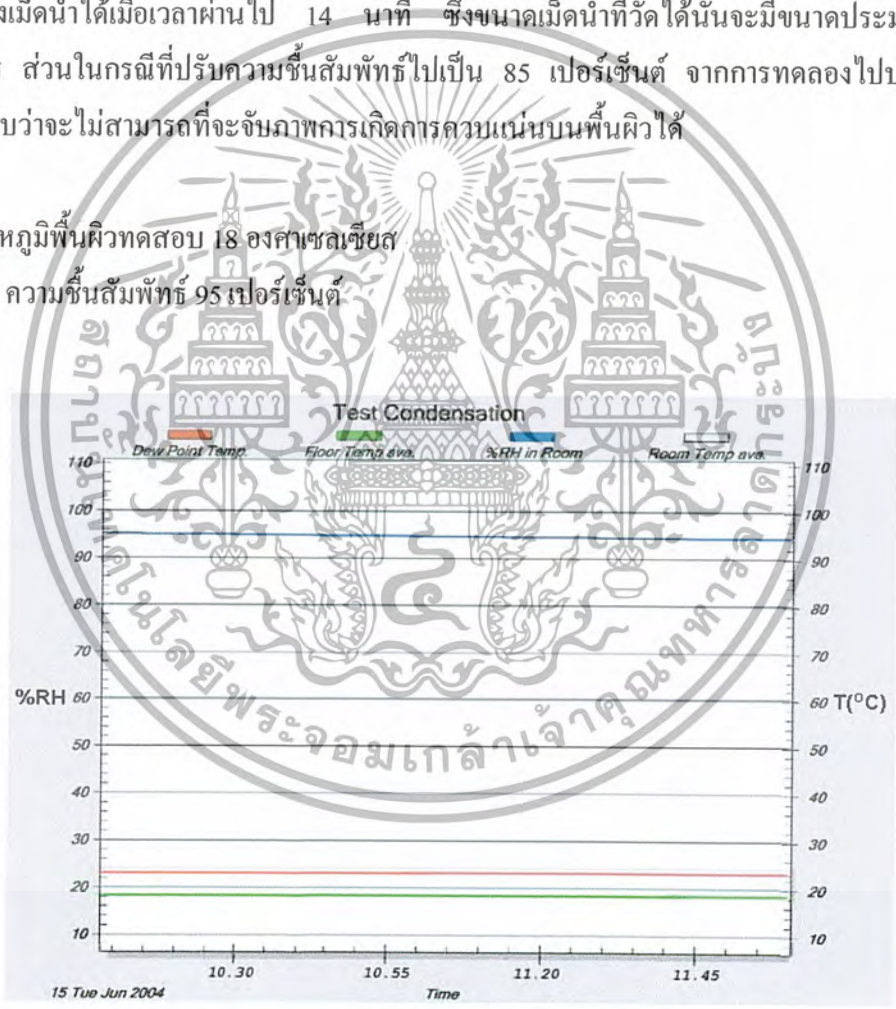


รูปที่ 6.6 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

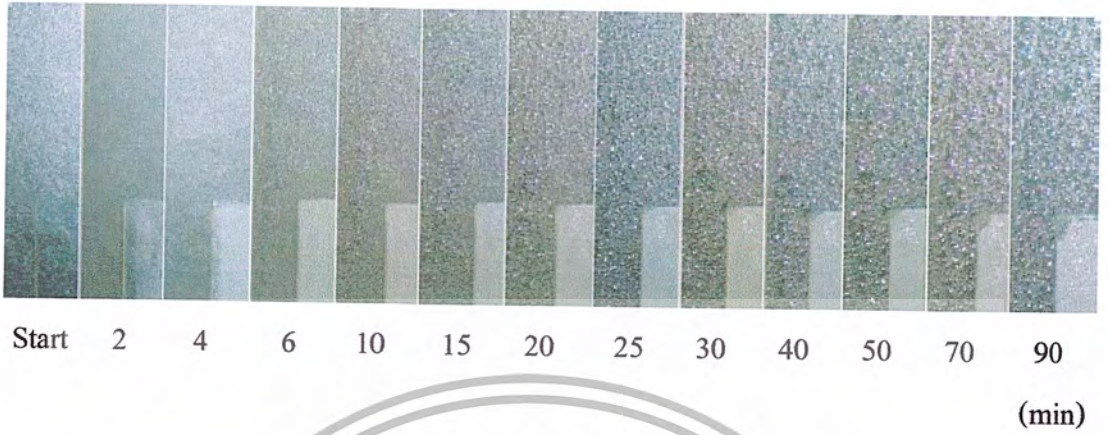
จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 19 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.1 ถึงรูปที่ 6.6 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 4 องศาเซลเซียส , 3 องศาเซลเซียส และ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไปได้ 10 นาทีจะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร ในทำนองเดียวกันเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำได้เมื่อเวลาผ่านไป 14 นาที ซึ่งขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้นั้นจะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองไปประมาณ 4 ชั่วโมง พบว่าจะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

6.1.2 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 18 องศาเซลเซียส  
- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

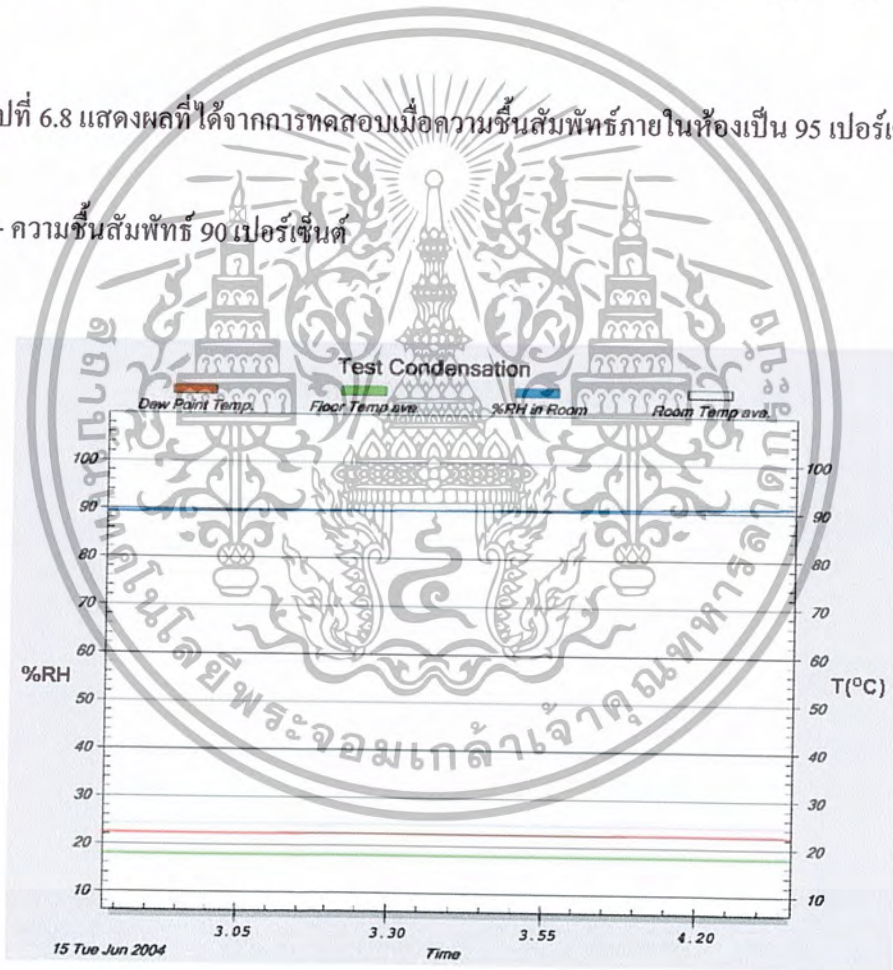


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์

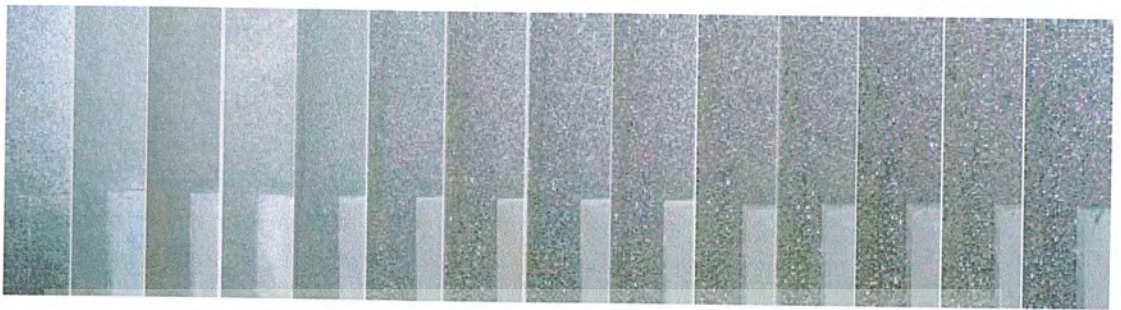


รูปที่ 6.8 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์



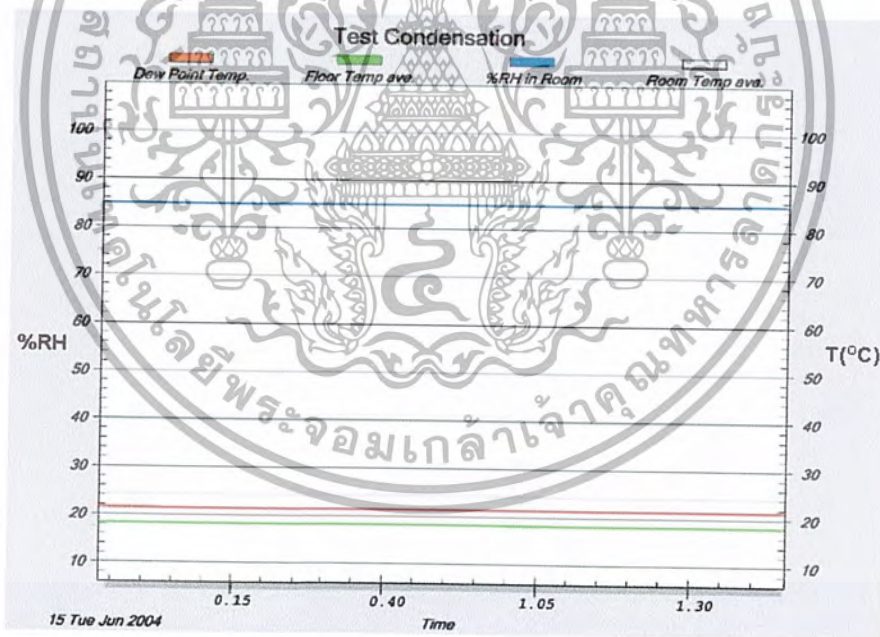
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์



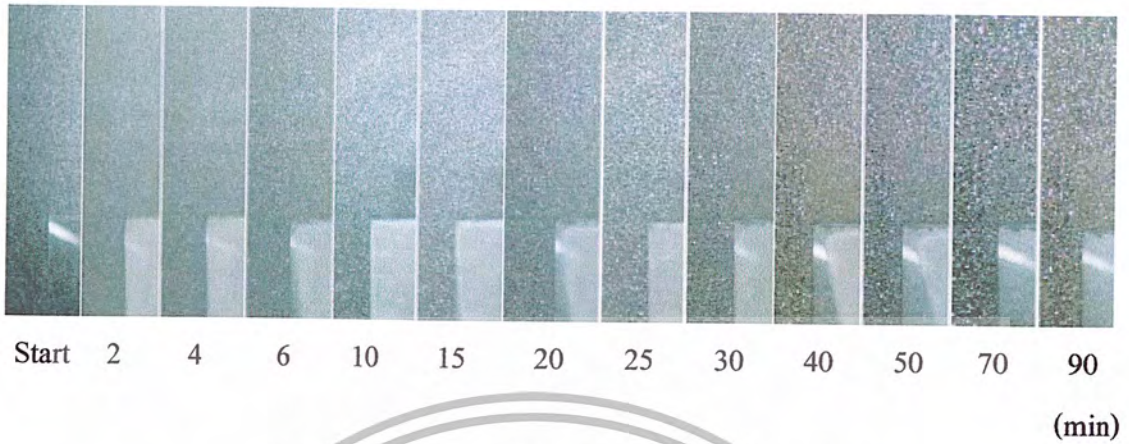
Start 2 4 6 10 15 20 25 30 40 50 70 90 120 (min)

รูปที่ 6.10 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

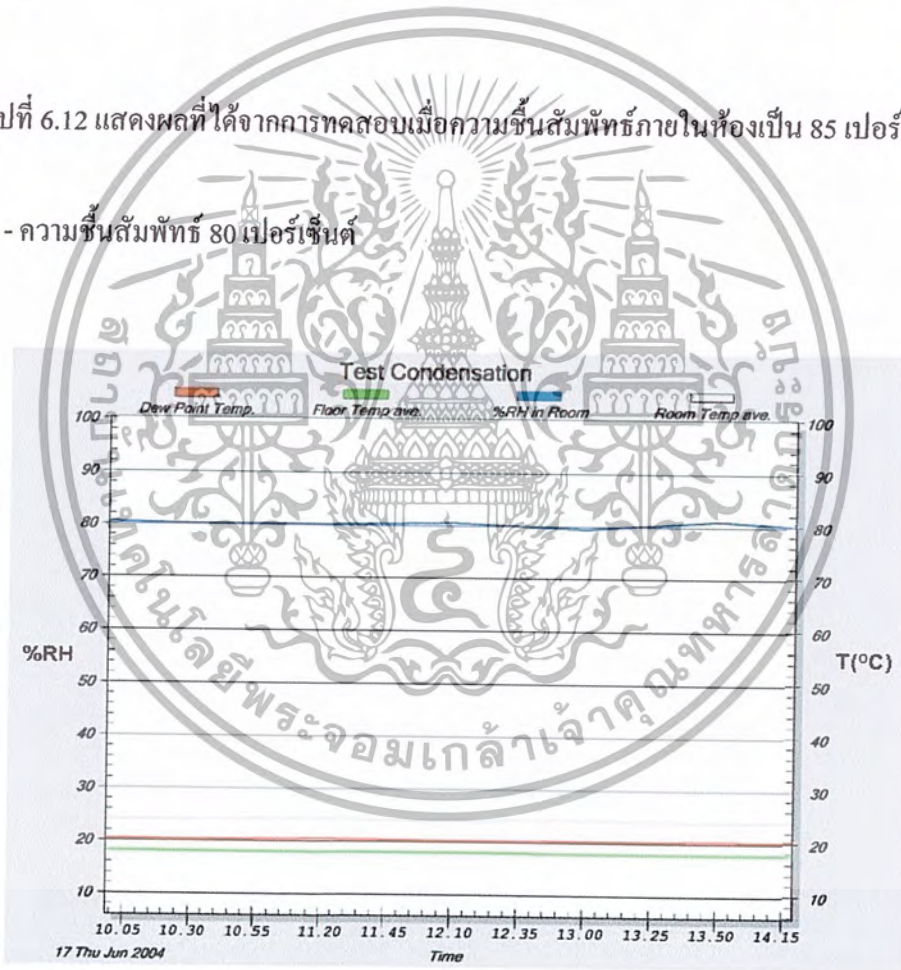


รูปที่ 6.11 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

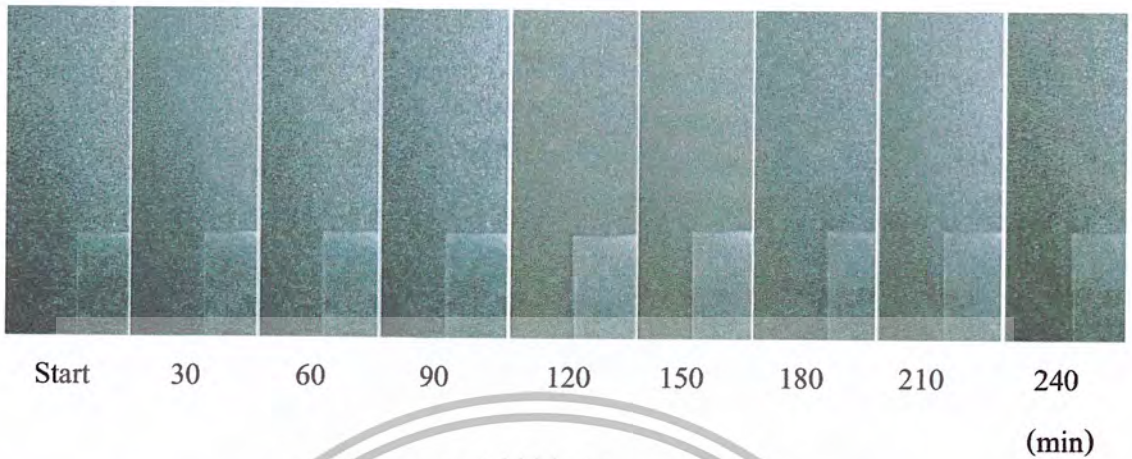


รูปที่ 6.12 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.13 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์



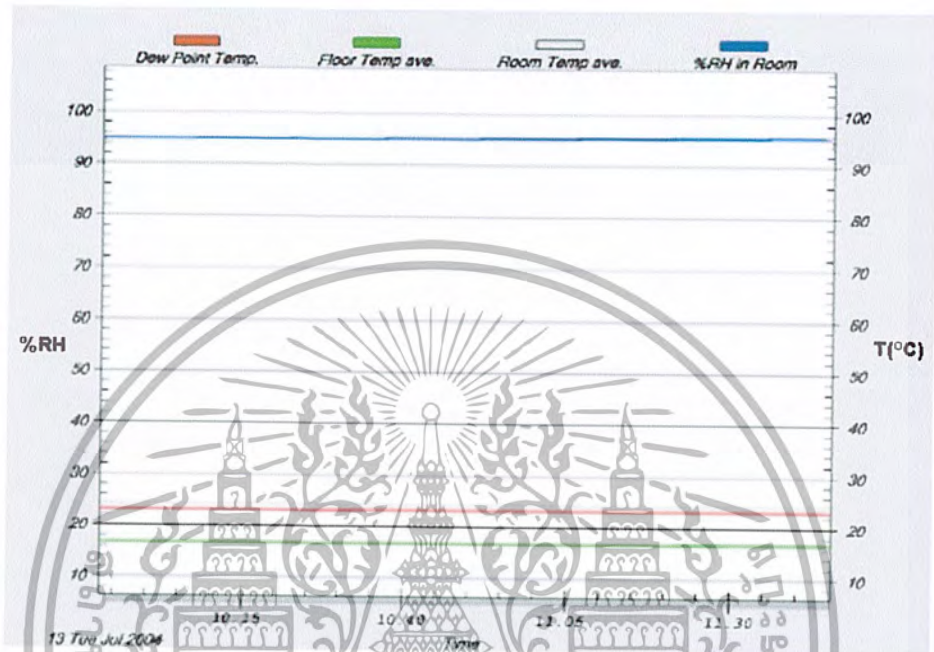
รูปที่ 6.14 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์, 90 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 18 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.7 ถึงรูปที่ 6.14 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 5 องศาเซลเซียส, 4 องศาเซลเซียส 3 องศาเซลเซียส และ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

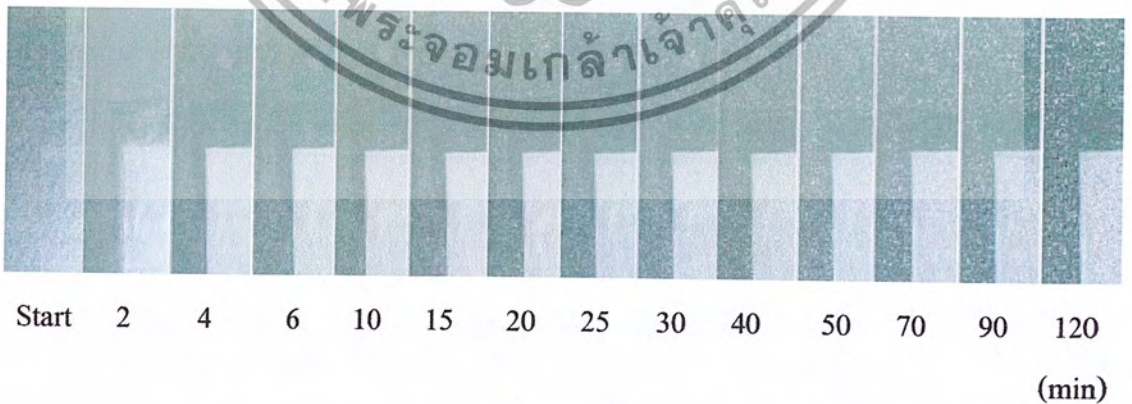
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์หลังจากทดลองไปได้ 6 นาที จะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็คน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็คน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร ในทำนองเดียวกันเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดขนาดของเม็คน้ำได้เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เม็คน้ำมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ขนาดเม็คน้ำที่วัดได้นั้นจะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองไปประมาณ 4 ชั่วโมง พบว่าไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

### 6.1.3 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 17 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์



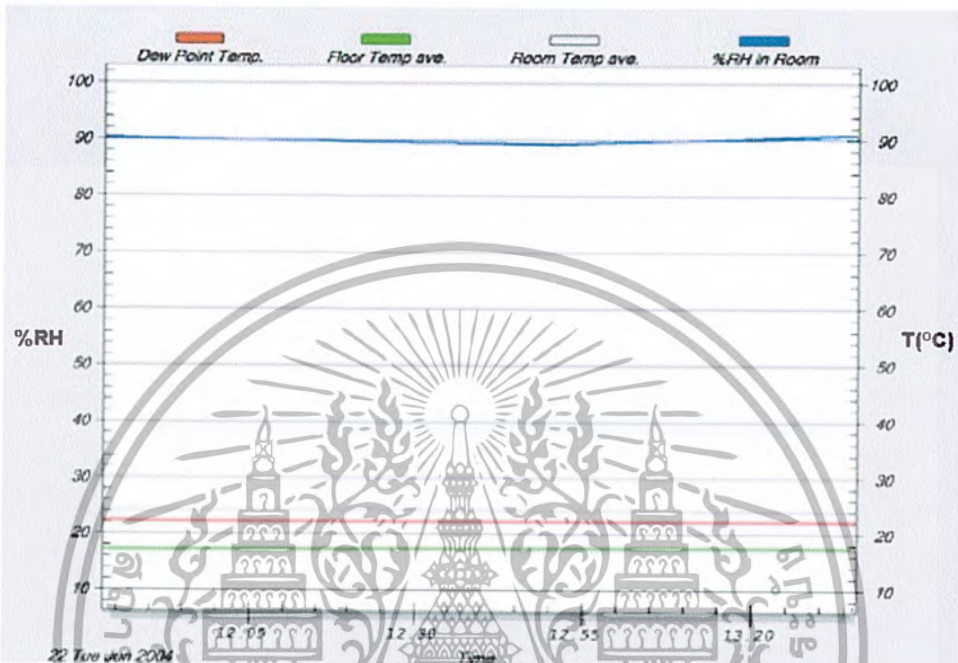
รูปที่ 6.15 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.16 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์

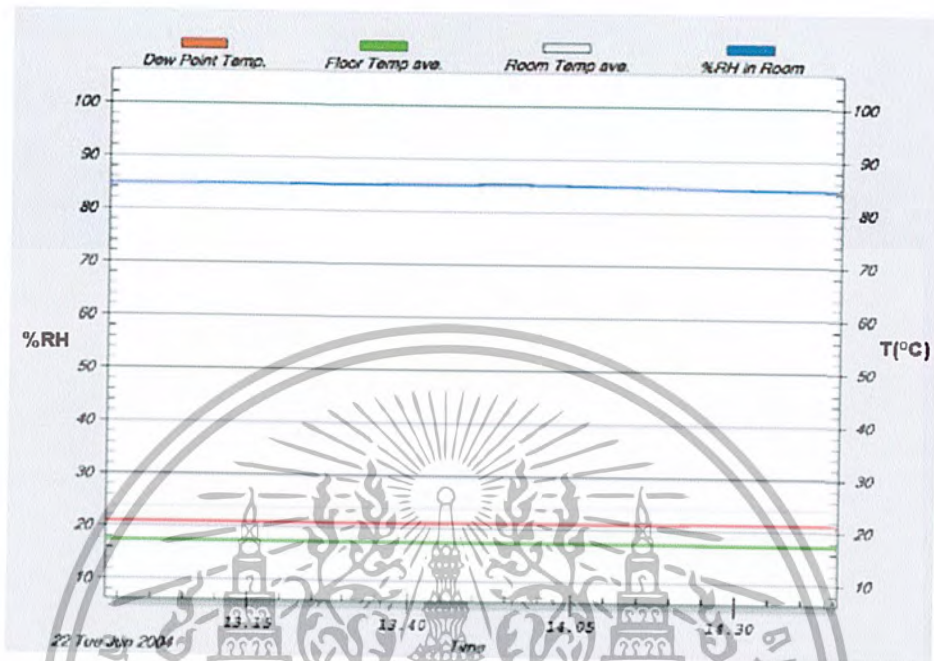


รูปที่ 6.17 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์

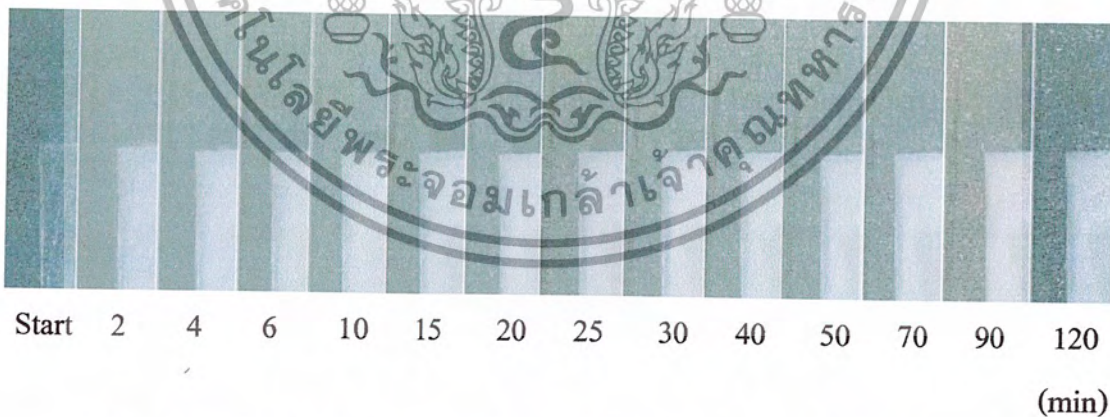


รูปที่ 6.18 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

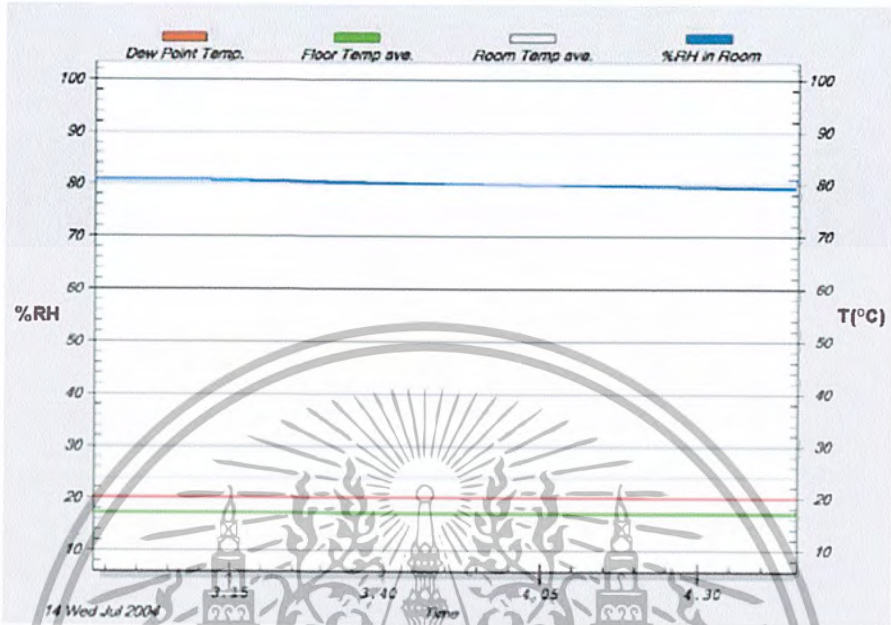


รูปที่ 6.19 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.20 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์

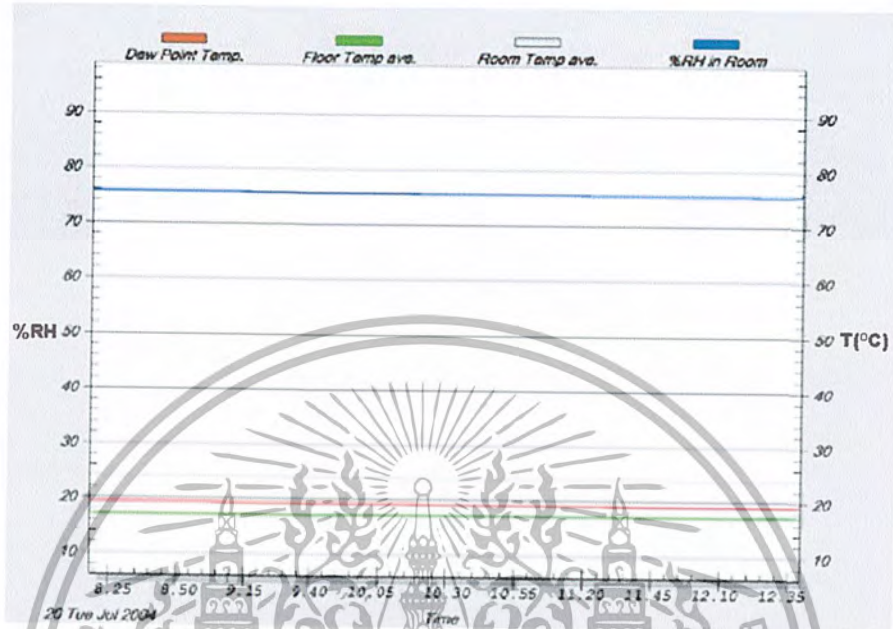


รูปที่ 6.21 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.22 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.23 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.24 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์

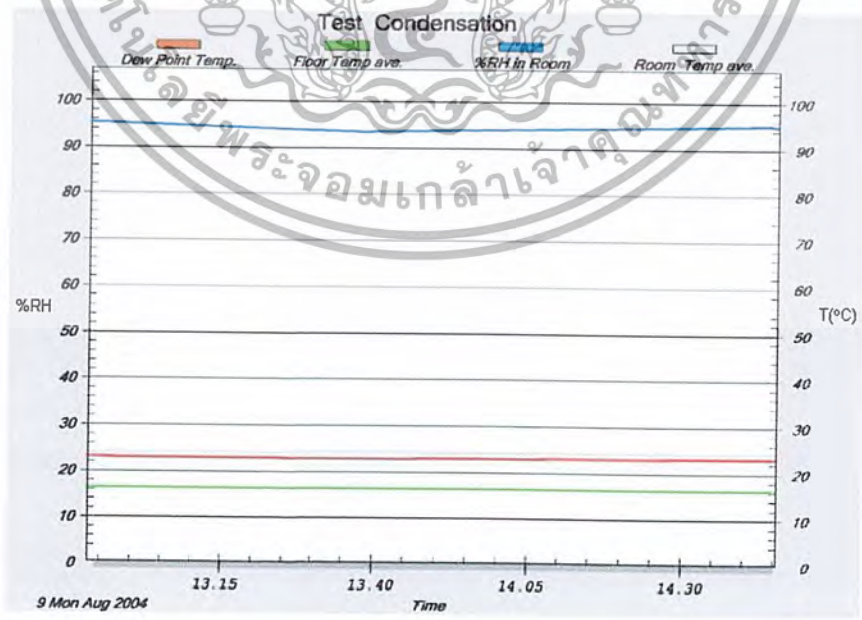
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ , 85 เปอร์เซ็นต์ , 80 เปอร์เซ็นต์ และ 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 17 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 6.15 ถึงรูปที่ 6.24 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ เป็น 6 องศาเซลเซียส , 5 องศาเซลเซียส , 4 องศาเซลเซียส , 3 องศาเซลเซียสและ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

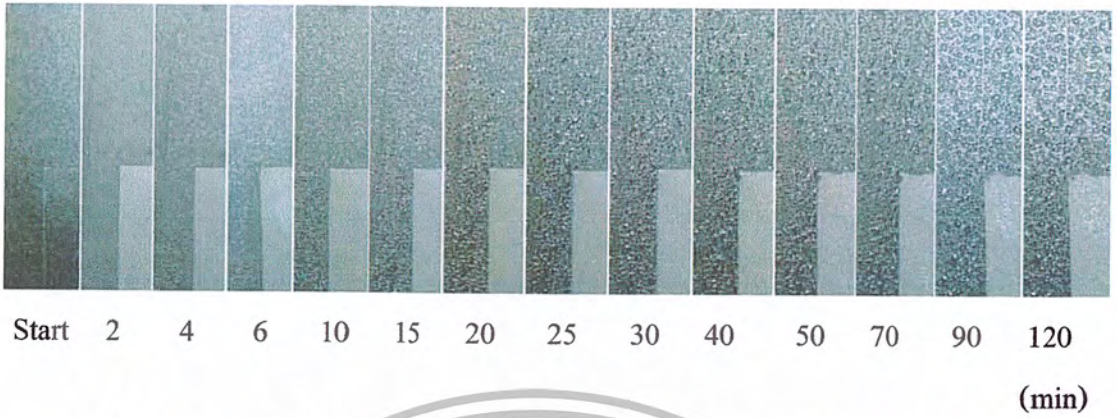
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไปได้ 4 นาทีจะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 6 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 12 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลา 18 นาทีถึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยมีขนาด 0.22 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองไปประมาณ 4 ชั่วโมง พบว่าจะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

6.1.4 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 16 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

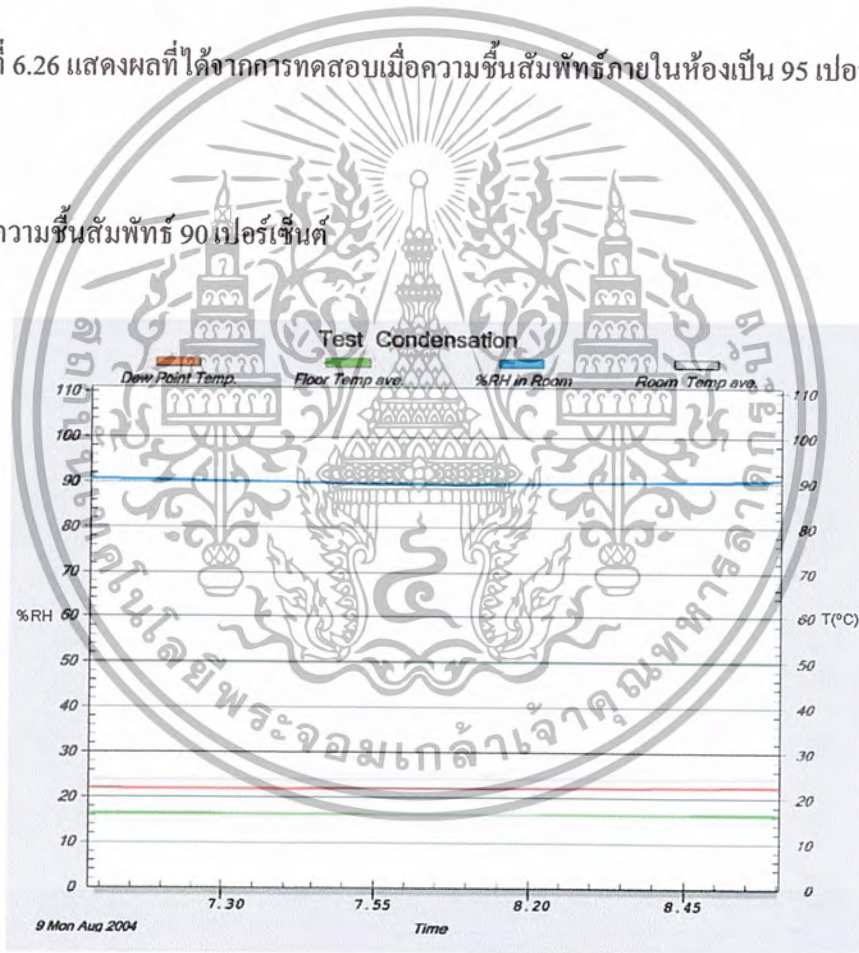


รูปที่ 6.25 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์

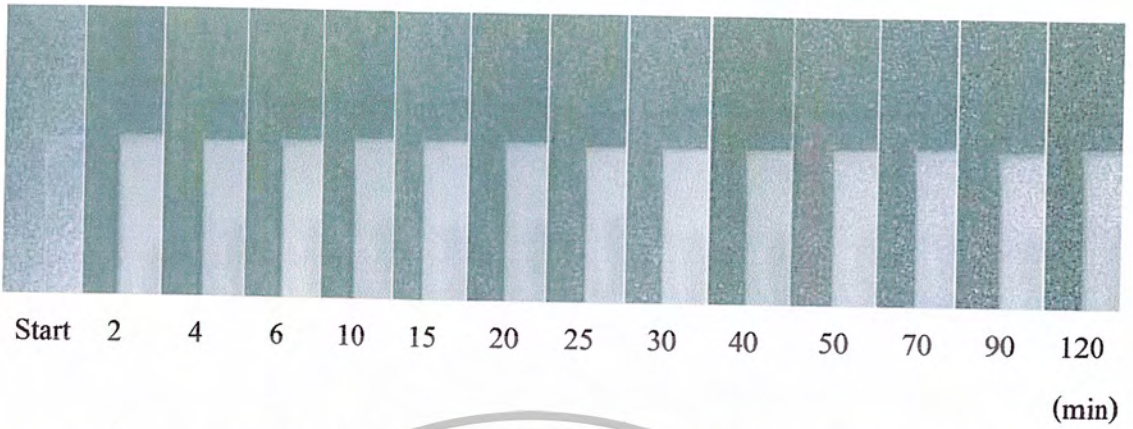


รูปที่ 6.26 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์

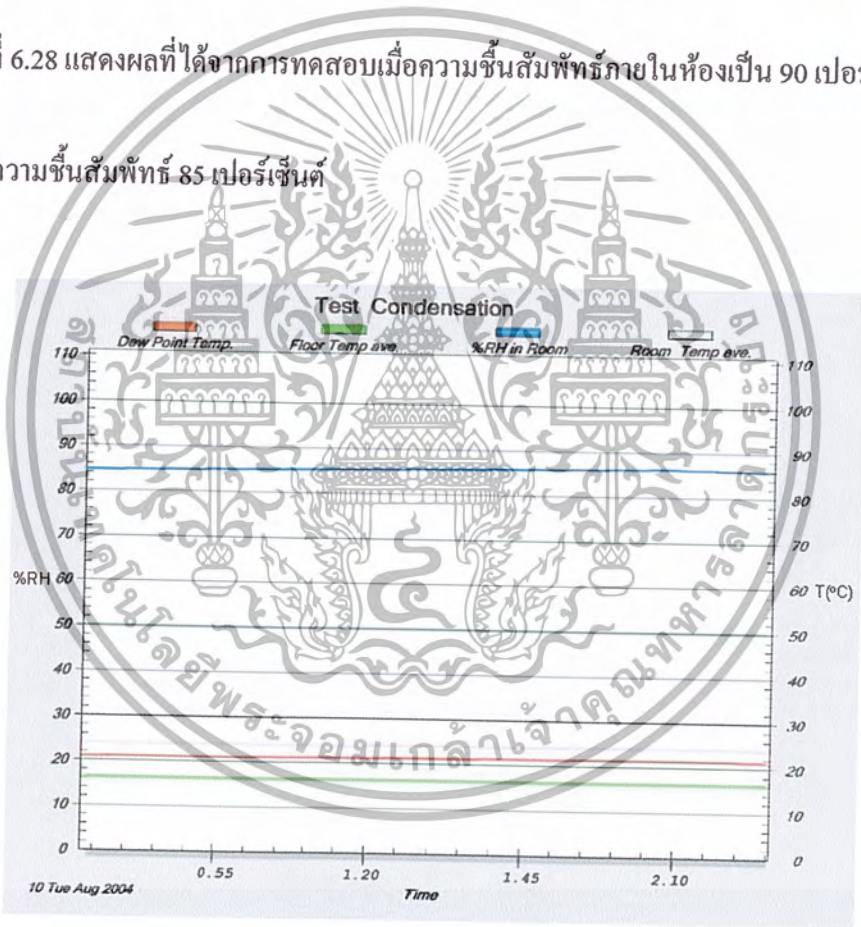


รูปที่ 6.27 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์

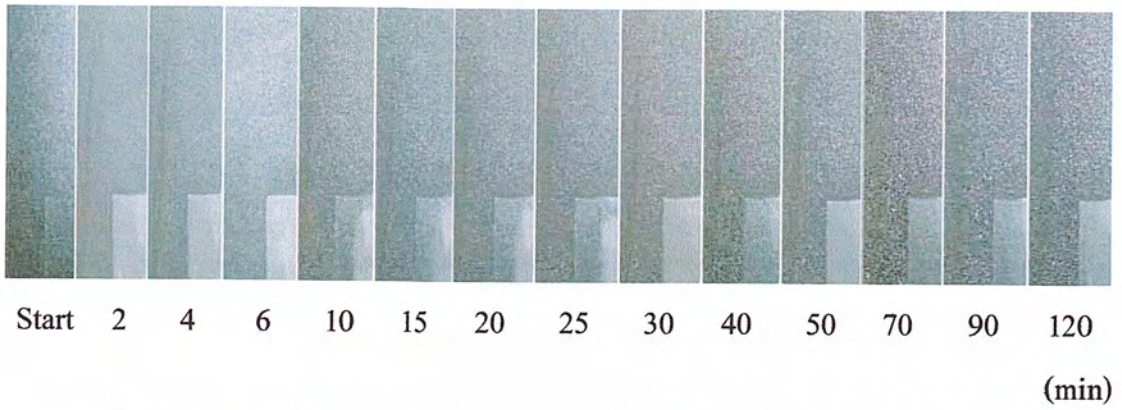


รูปที่ 6.28 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

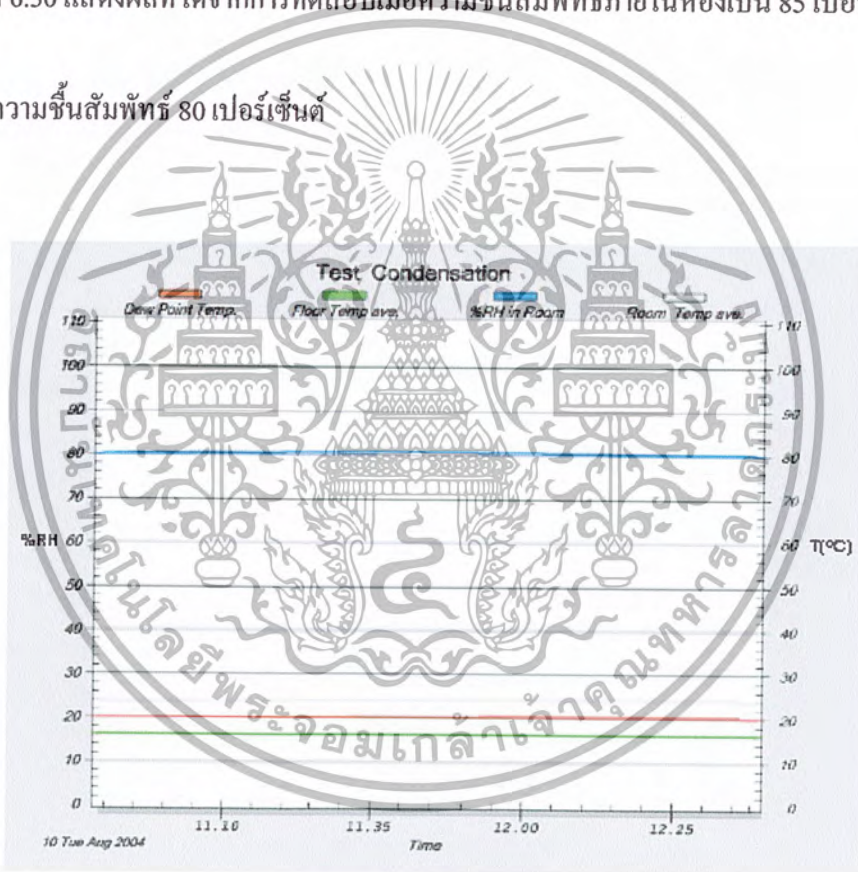


รูปที่ 6.29 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

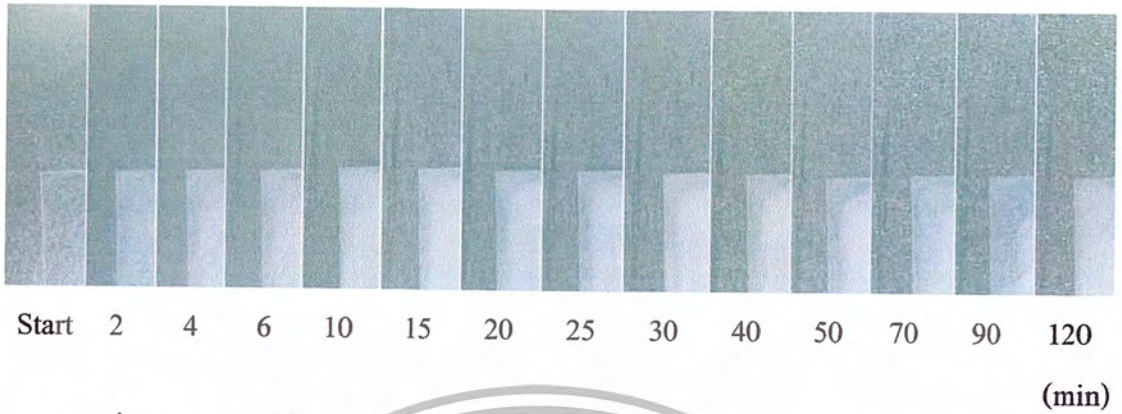


รูปที่ 6.30 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์

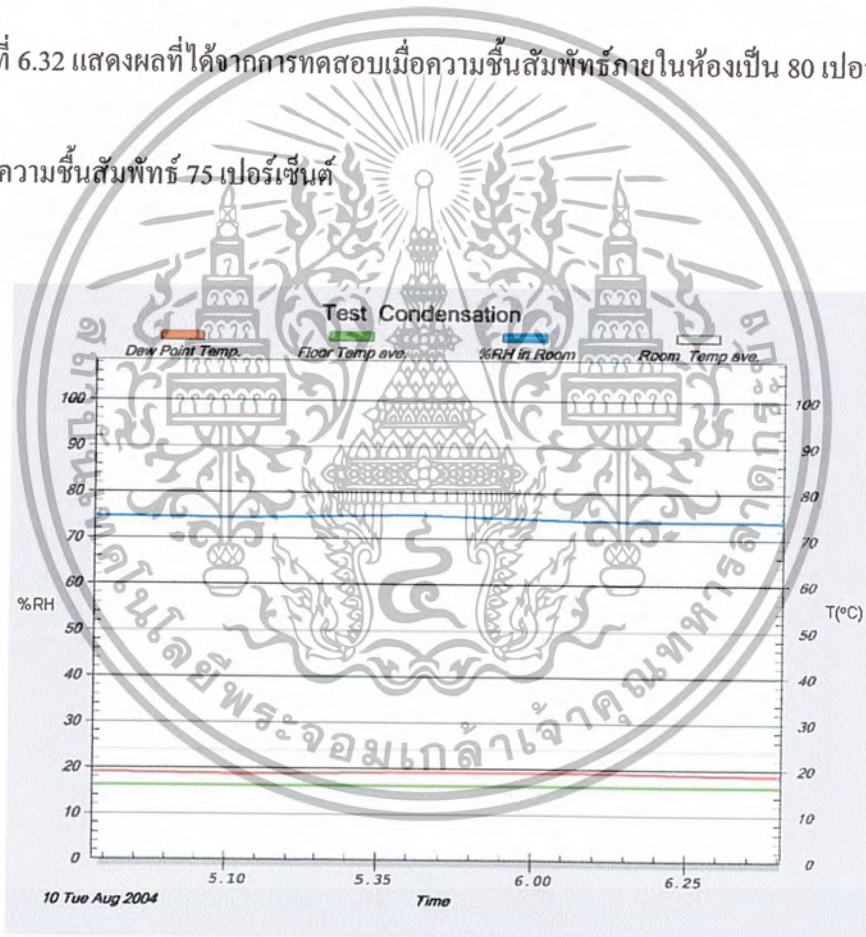


รูปที่ 6.31 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์

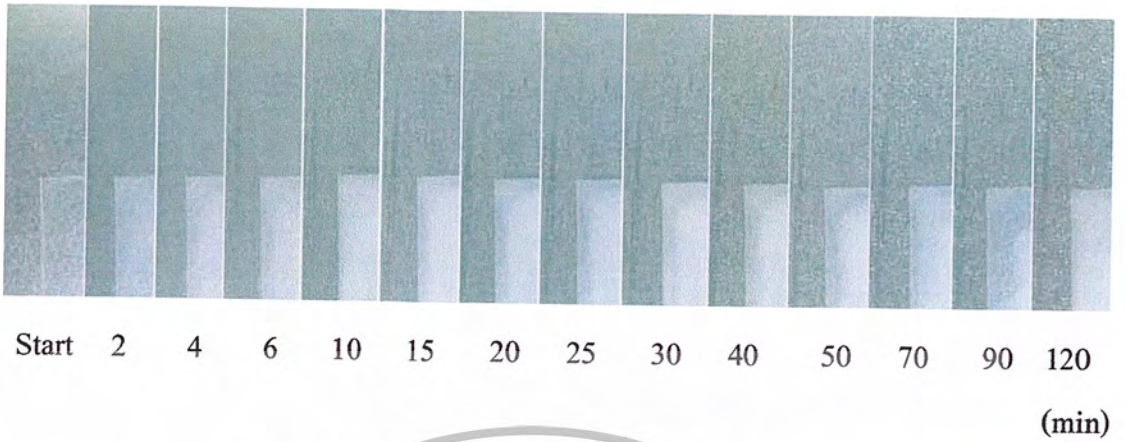


รูปที่ 6.32 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์

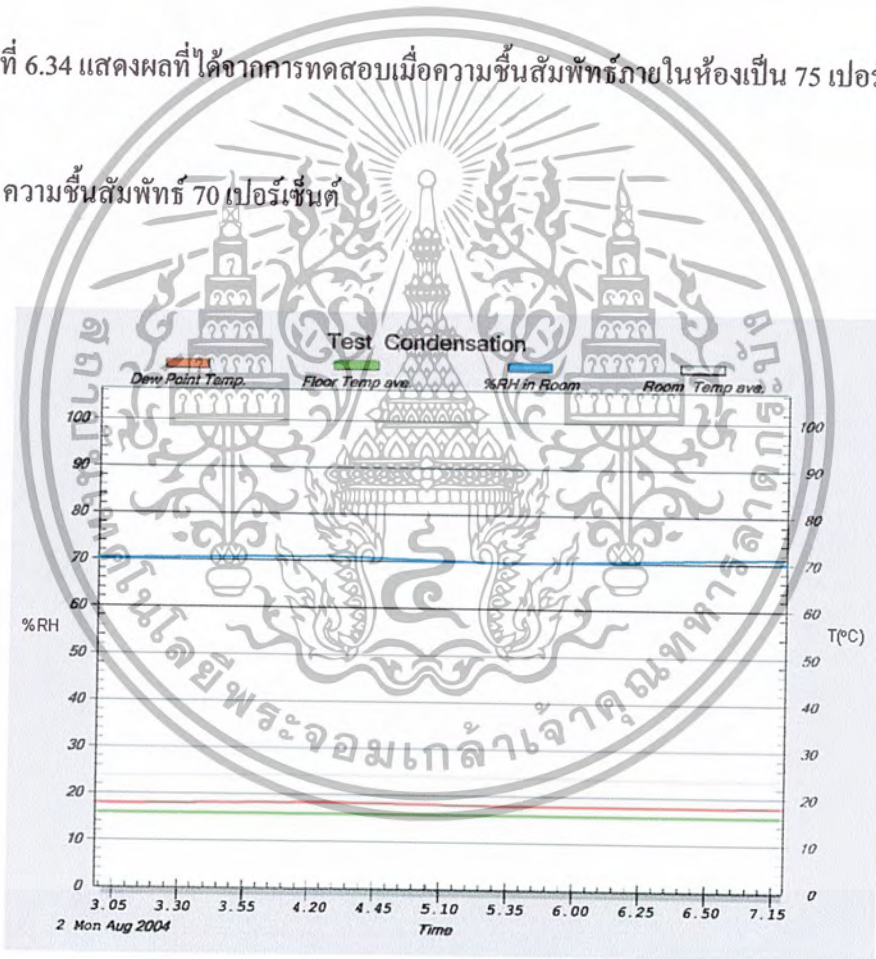


รูปที่ 6.33 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์

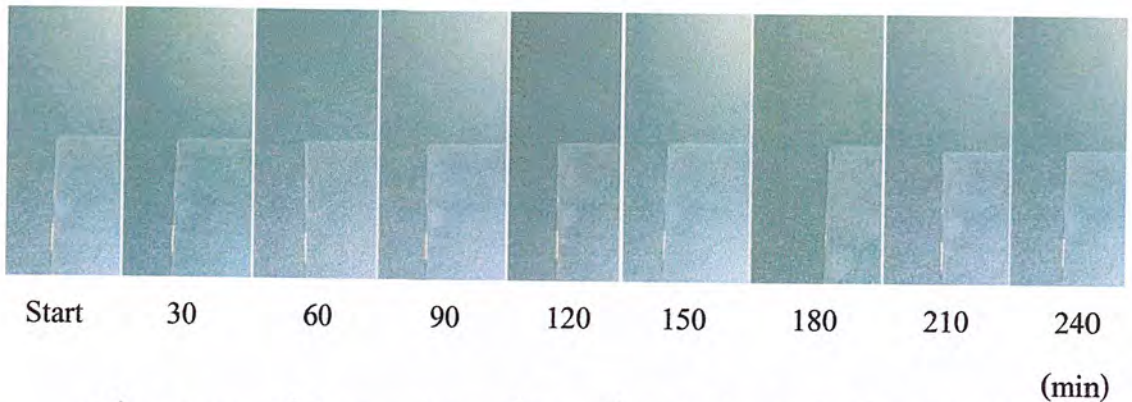


รูปที่ 6.34 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.35 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์



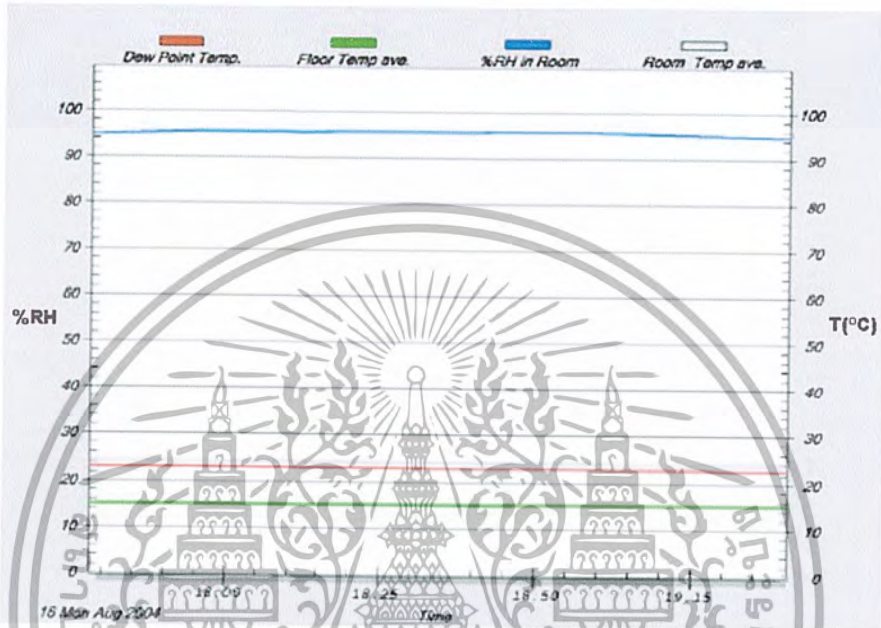
รูปที่ 6.36 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ , 85 เปอร์เซ็นต์ , 80 เปอร์เซ็นต์ 75 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 16 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.25 ถึงรูปที่ 6.36 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ เป็น 7 องศาเซลเซียส, 6 องศาเซลเซียส , 5 องศาเซลเซียส , 4 องศาเซลเซียส , 3 องศาเซลเซียสและ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

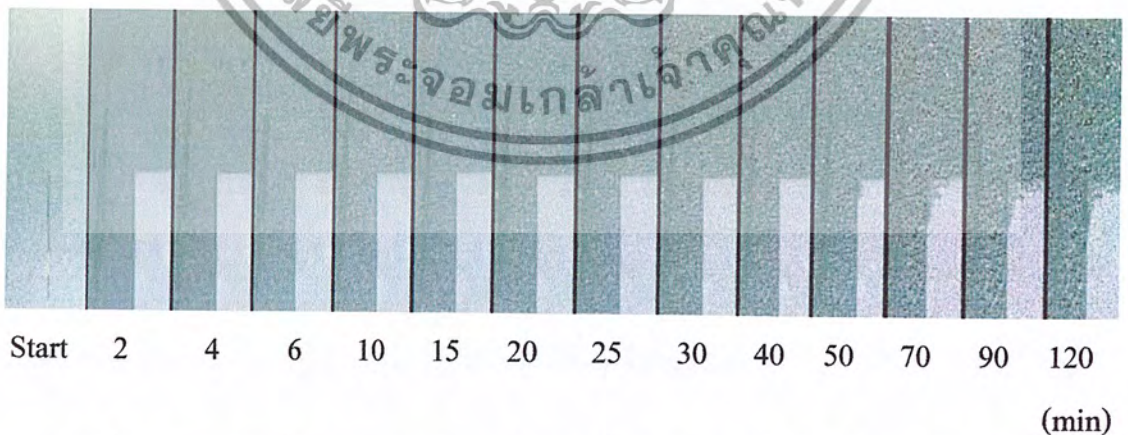
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไปได้ 3 นาทีจะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 5 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 10 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลา 14 นาทีถึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยมีขนาด 0.23 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาถึง 20 นาที จึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาด 0.23 มิลลิเมตร และกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองไปประมาณ 4 ชั่วโมง พบว่าจะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

### 6.1.5 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 15 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์



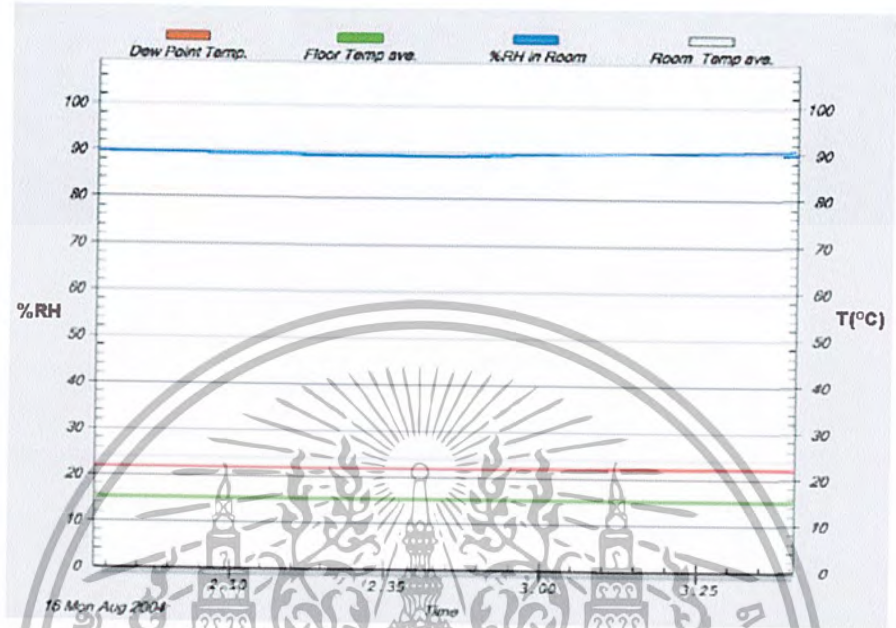
รูปที่ 6.37 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์



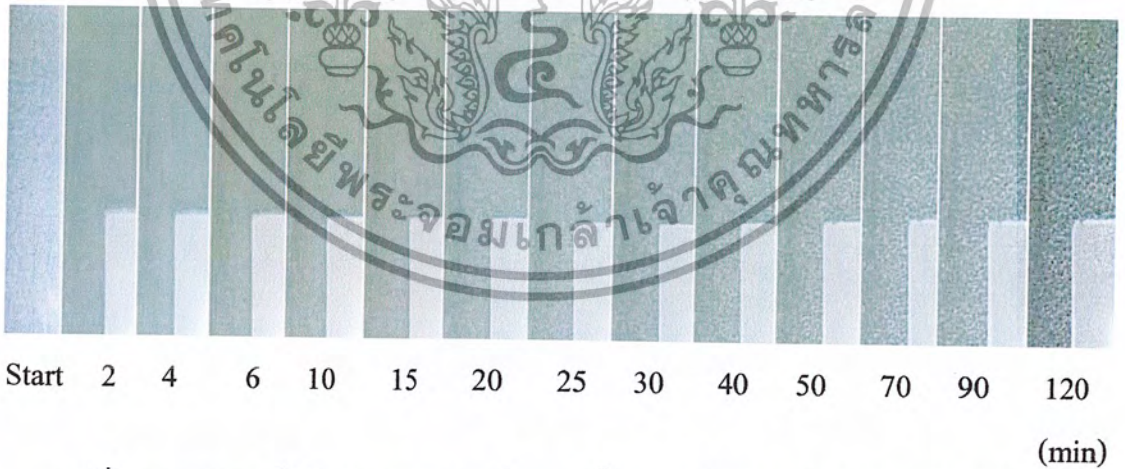
รูปที่ 6.38 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์



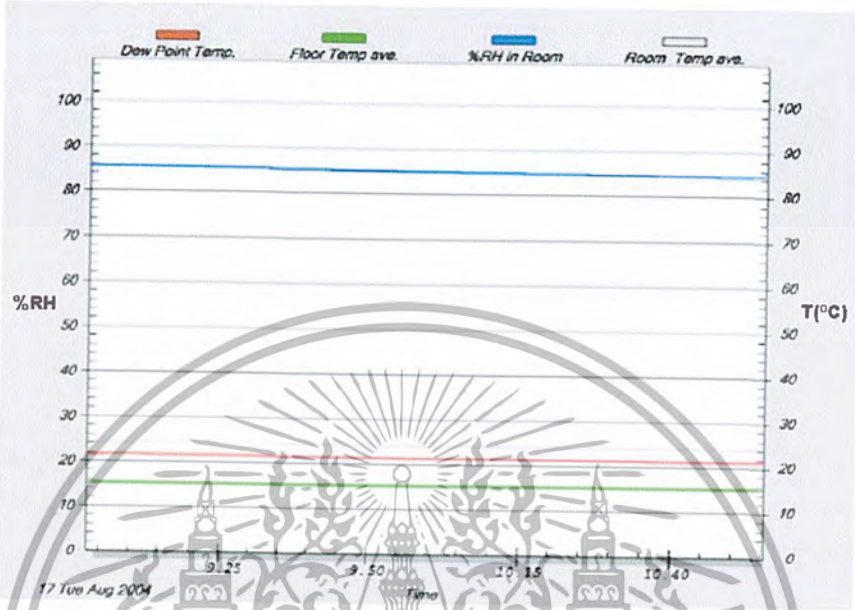
รูปที่ 6.39 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.40 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



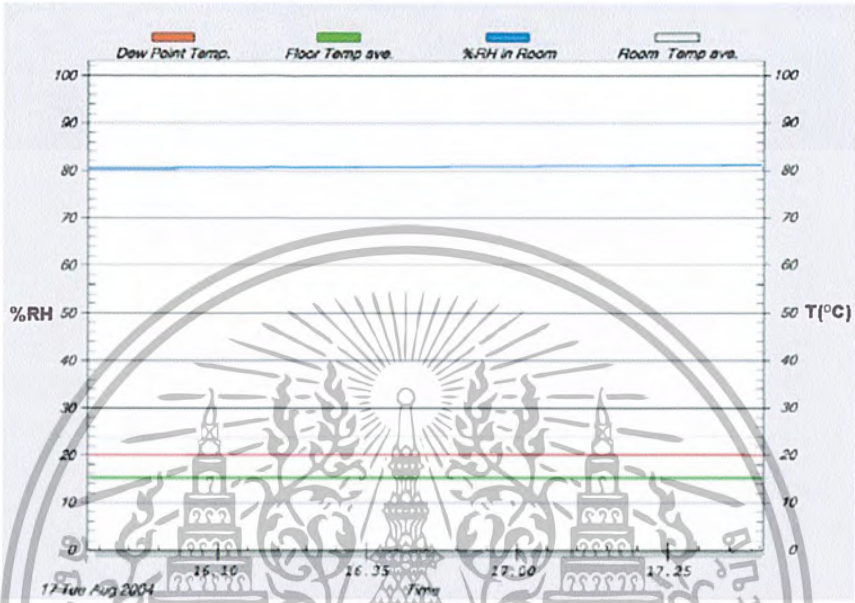
รูปที่ 6.41 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์



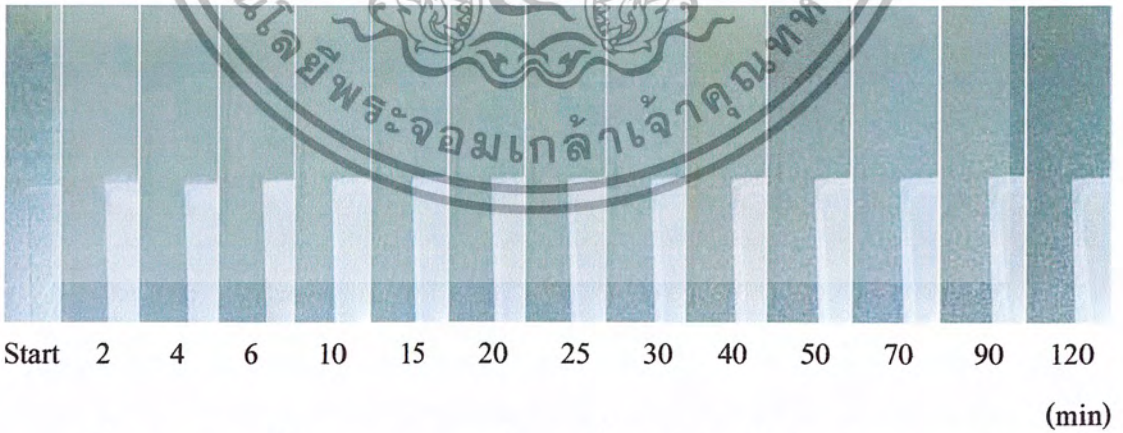
รูปที่ 6.42 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ (min)

รูปที่ 6.42 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์

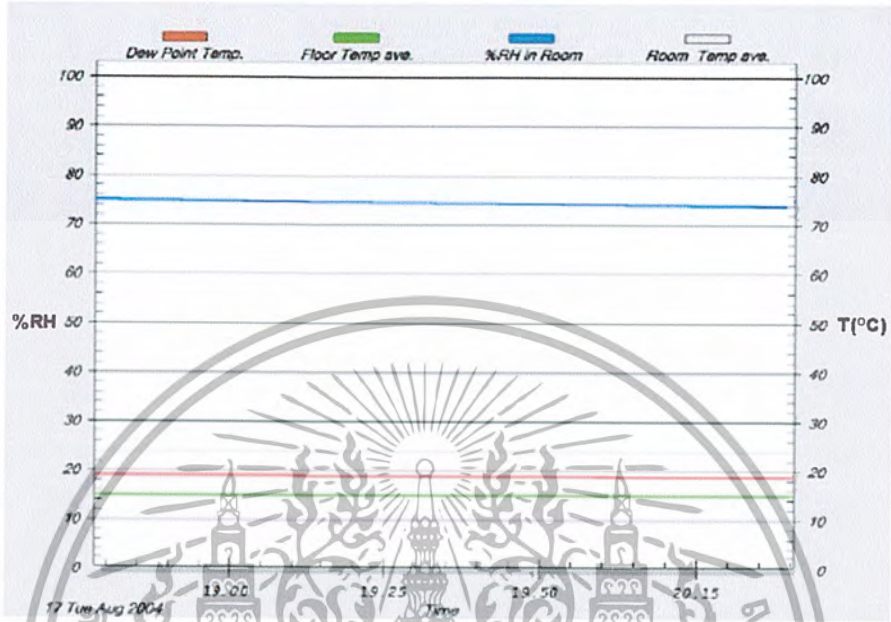


รูปที่ 6.43 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์

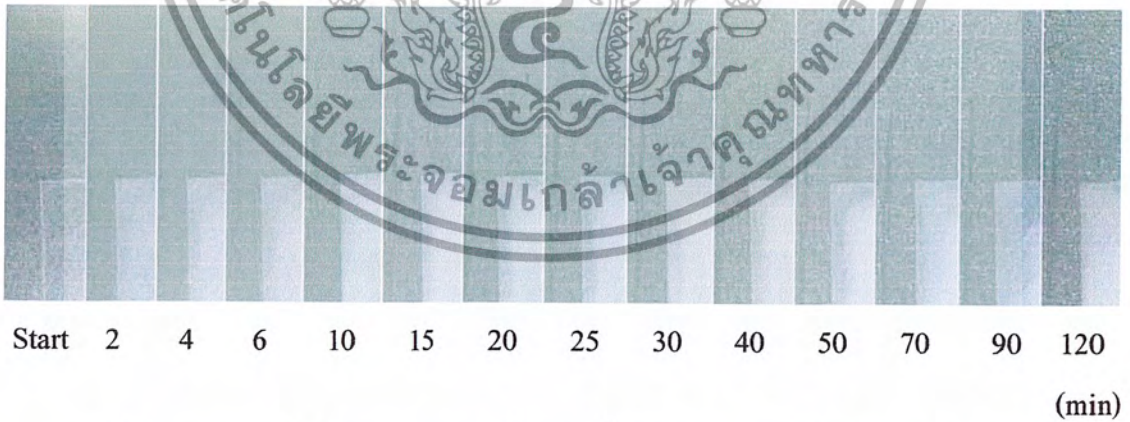


รูปที่ 6.44 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์



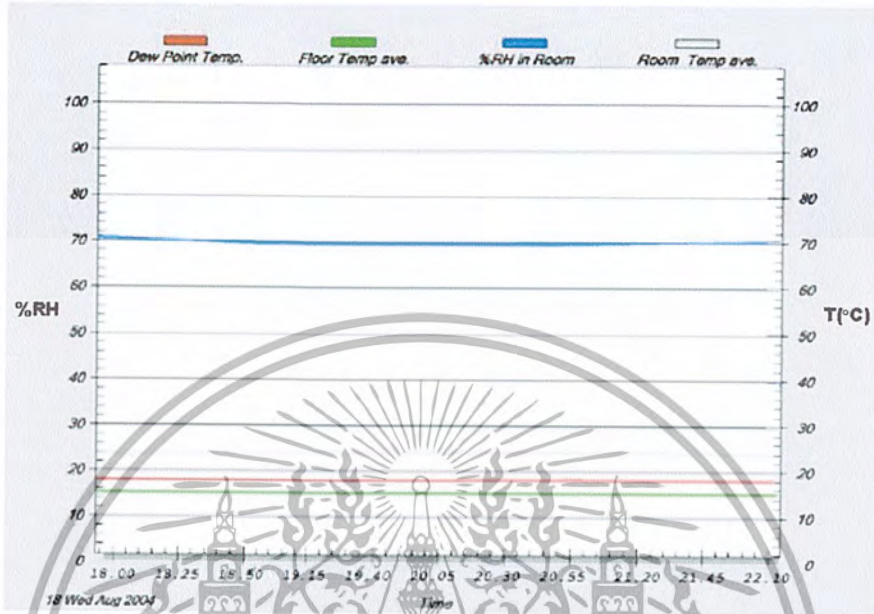
รูปที่ 6.45 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์



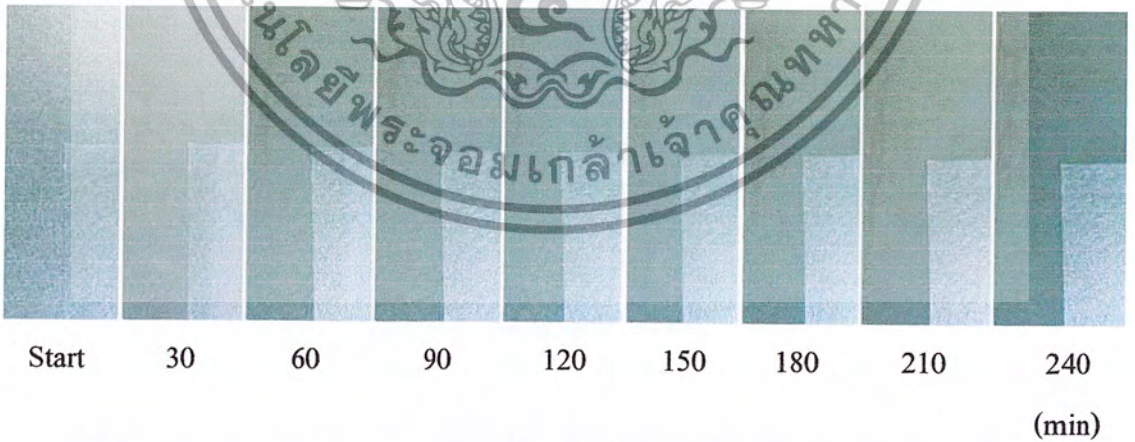
รูปที่ 6.46 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.47 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.48 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ , 85 เปอร์เซ็นต์ , 80 เปอร์เซ็นต์ ,75 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 15 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.37 ถึงรูปที่ 6.48 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ เป็น 8 องศาเซลเซียส 7 องศาเซลเซียส, 6 องศาเซลเซียส , 5 องศาเซลเซียส , 4 องศาเซลเซียส และ 3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

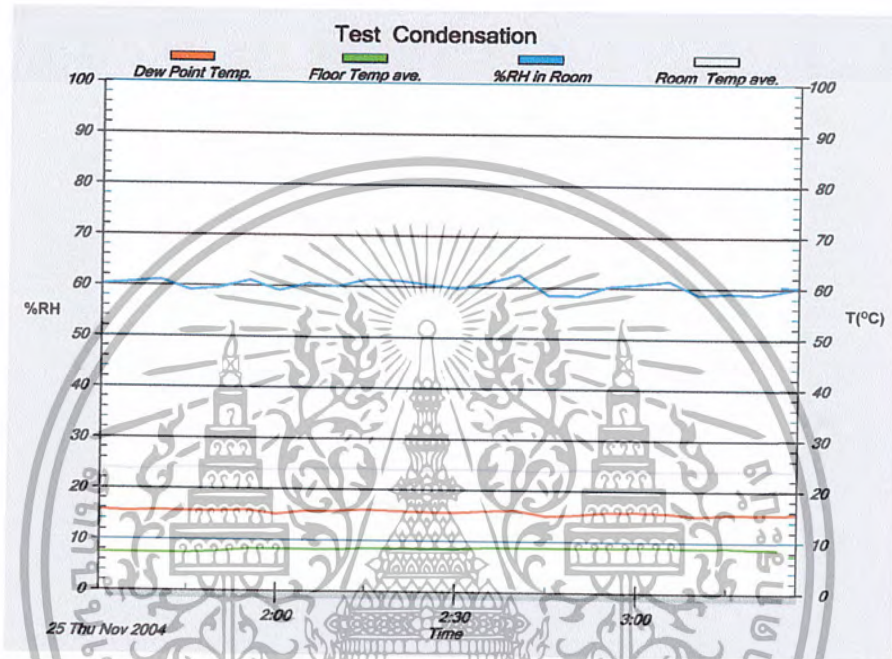
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไปได้ 2 นาที จะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 4 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 8 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลา 12 นาทีถึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยมีขนาด 0.22 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาถึง 18 นาที จึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาด 0.23 มิลลิเมตร และกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในช่วงแรกนั้นพื้นผิวทดสอบจะมีเม็ดน้ำเกิดขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กมาก ๆ และยังจำกัดอยู่ในบริเวณขอบเขตแคบ ๆ แต่จะเกิดในช่วงสั้น ๆ หลังจากนั้นก็จะหายไปอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อทำการทดสอบไปนาน 4 ชั่วโมง จะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

จากการทดลองที่ผ่านมาเมื่อปรับอุณหภูมิพื้นผิวจาก 19 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 15 องศาเซลเซียส พบว่าขนาดของเม็ดน้ำที่เริ่มเกิดขึ้นจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง 0.22-0.24 มิลลิเมตร และที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ๆ พบว่าการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่ทั่วพื้นผิวทดสอบ รวมถึงการรวมตัวกันของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นด้วยจะเป็นไปอย่างช้า ๆ อีกสิ่งหนึ่งที่ได้จากการทดลองคือ ในแต่ละกรณีเมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเท่ากัน โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่เท่ากันนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการเกิดการควบแน่นที่เท่ากัน เช่น ที่อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 19 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 3 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเท่ากับเงื่อนไขการทดสอบที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 16 องศาเซลเซียส ซึ่งจะพบว่าระยะเวลาการเกิดการควบแน่นนั้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงว่าจะสามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่า คือ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาการเริ่มต้นเกิด 14 นาที ในทำนองเดียวกัน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการเริ่มต้นเกิดจะนานขึ้นคือเป็น 20 นาที ทั้งนี้เนื่องจาก ที่ความชื้นสูง ๆ อัตราการควบแน่นจะสูงกว่าที่ความชื้นต่ำ ๆ แต่อัตราการระเหยจะเท่ากันเพราะอยู่ในสภาวะที่รับภาระจากแสงเท่ากัน

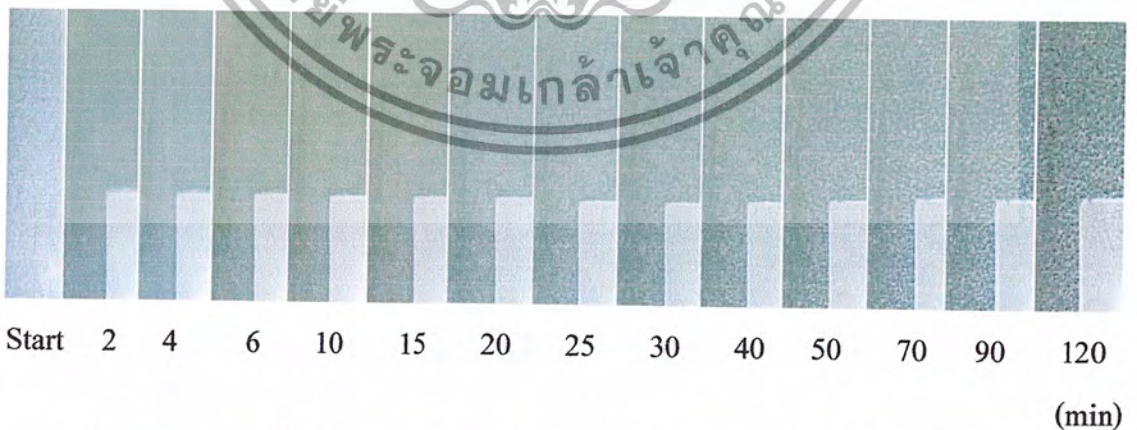
## 6.2 อุณหภูมิห้องที่ 24 องศาเซลเซียส (กรณีใช้ถังน้ำแข็ง)

### 6.2.1 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 8 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.49 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์

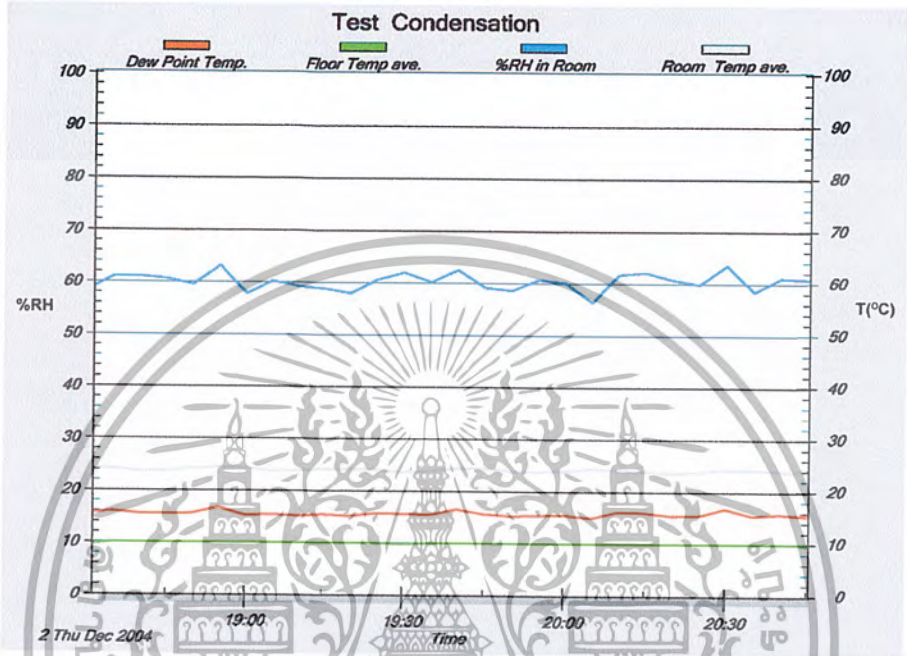


รูปที่ 6.50 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 60 เปอร์เซ็นต์

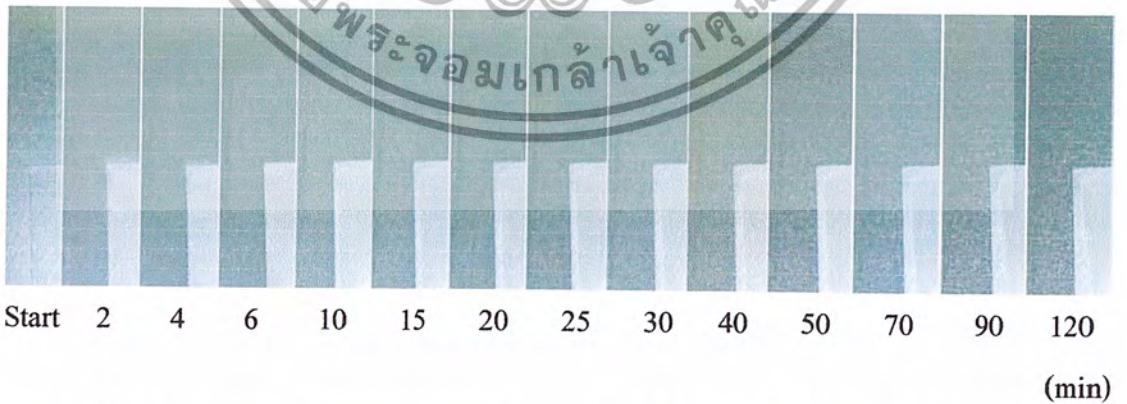
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 10 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.51 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์

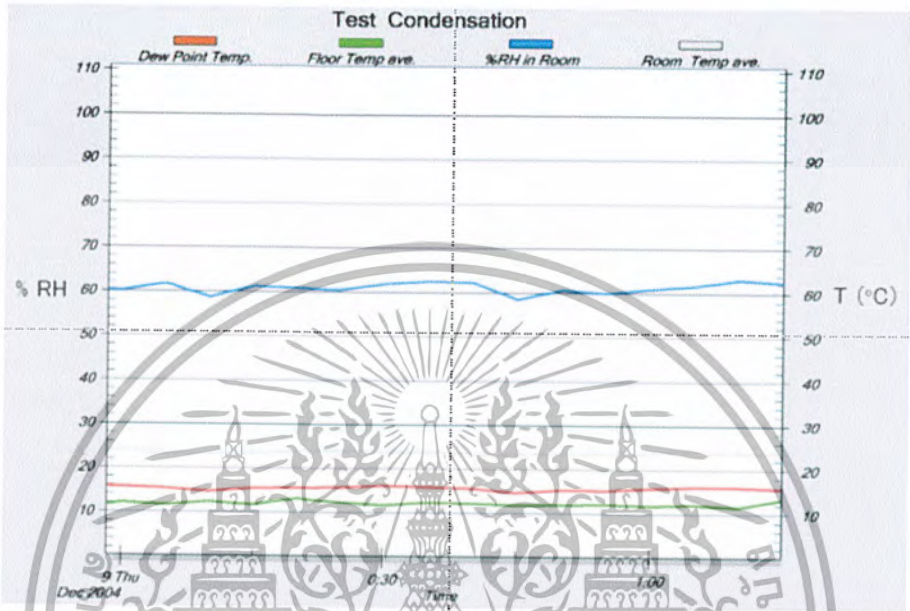


รูปที่ 6.52 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 60 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ 12 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.53 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.54 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 60 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 60 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 8 องศาเซลเซียส , 10 องศาเซลเซียส และ 12 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.49 ถึงรูปที่ 6.54 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 8 องศาเซลเซียส 6 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

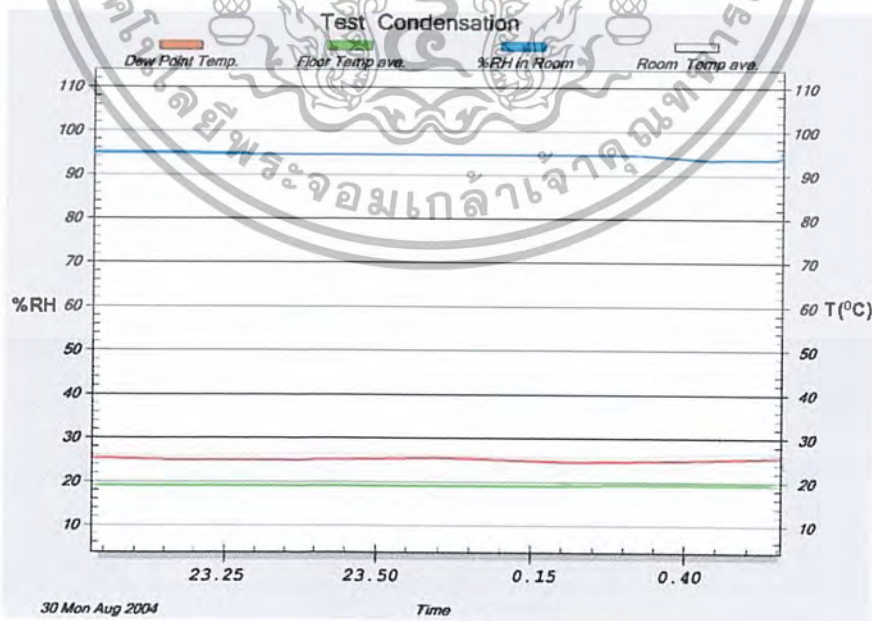
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับค่าอุณหภูมิพื้น โดยการนำจนวนมารองให้มีอุณหภูมิเป็น 8 องศาเซลเซียส หลังจากทดลองไปได้ 4 นาที จะสามารถที่จะจับภาพ และวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 10 องศาเซลเซียส เวลาผ่านไป 11 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร และเมื่ออุณหภูมิพื้นเป็น 12 องศาเซลเซียส เวลาผ่านไป 14 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าที่อุณหภูมิพื้น 8 องศาเซลเซียส จะเกิดหยดน้ำเร็วและมากกว่าที่อุณหภูมิพื้น 10 และ 12 องศาเซลเซียส ณ ที่เงื่อนไขเดียวกันพบว่าที่อุณหภูมิพื้นดังกล่าวข้างต้นไม่เหมาะสมกับระบบนี้ เพราะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ และเกิดการทำความเย็นที่เกินความจำเป็นซึ่งเป็นผลทำให้รู้สึกไม่สบาย

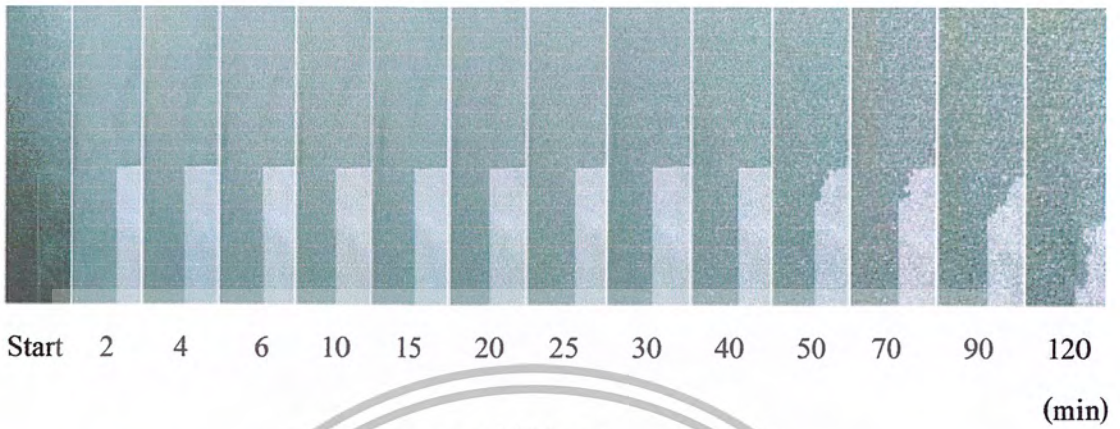
**6.3 อุณหภูมิห้องที่ 26 องศาเซลเซียส (แผ่นวัดทดสอบ : กระเบื้องเซรามิก)**

**6.3.1 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 19 องศาเซลเซียส**

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

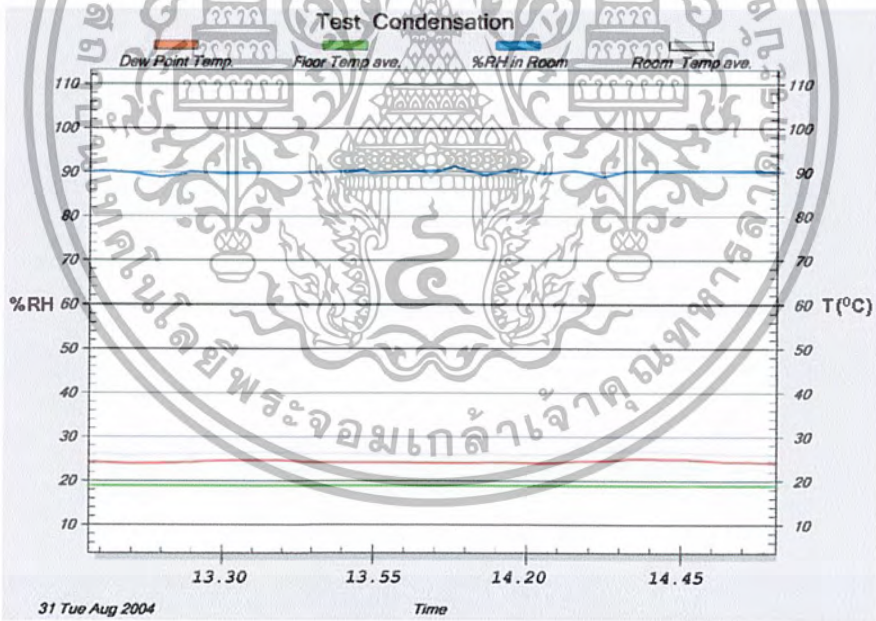


รูปที่ 6.55 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์

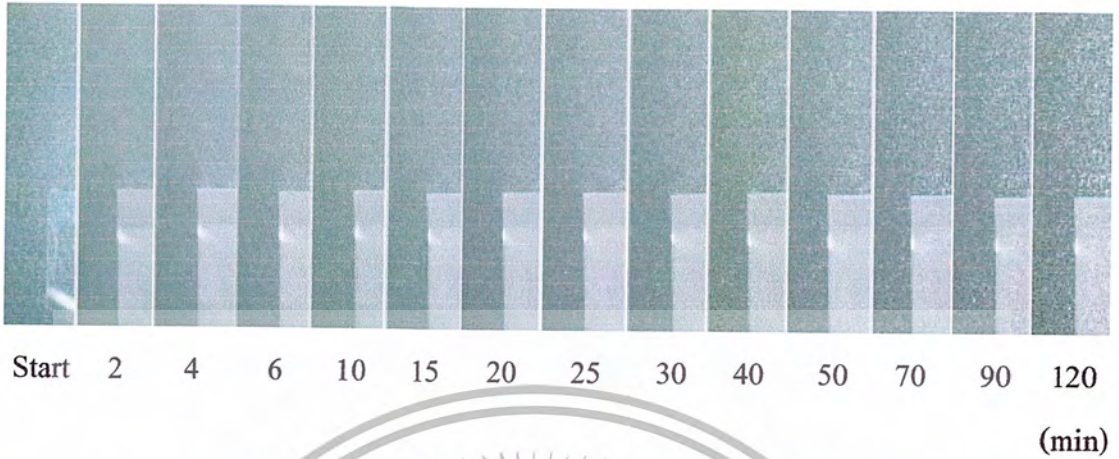


รูปที่ 6.56 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์

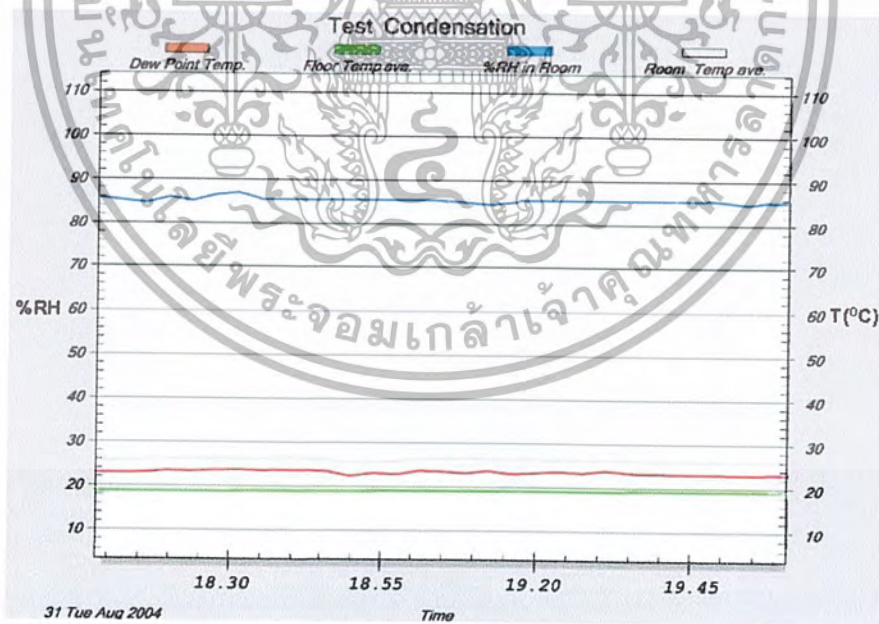


รูปที่ 6.57 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์



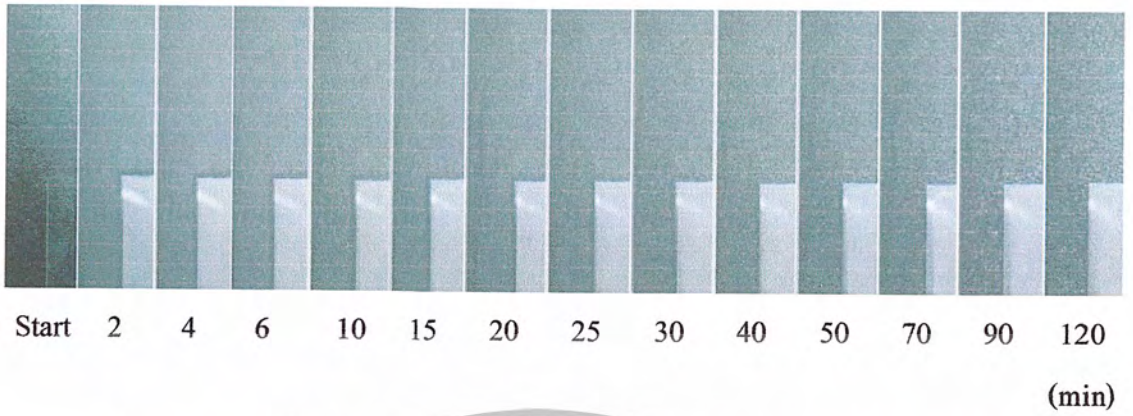
รูปที่ 6.58 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



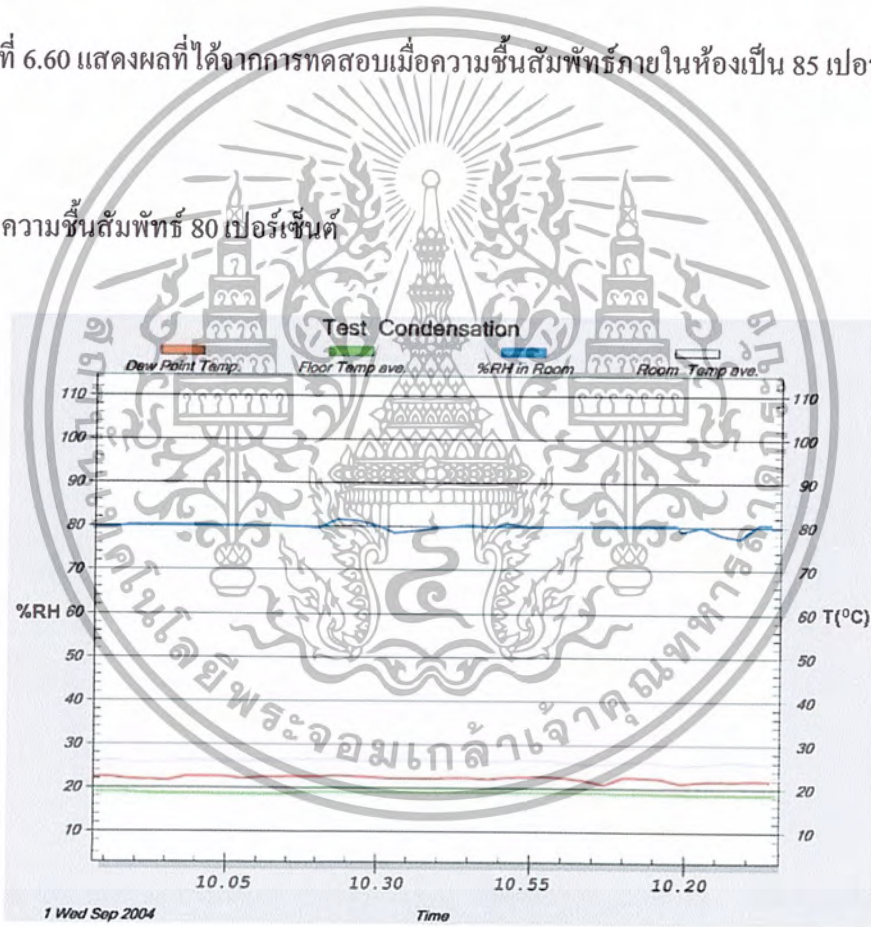
รูปที่ 6.59 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

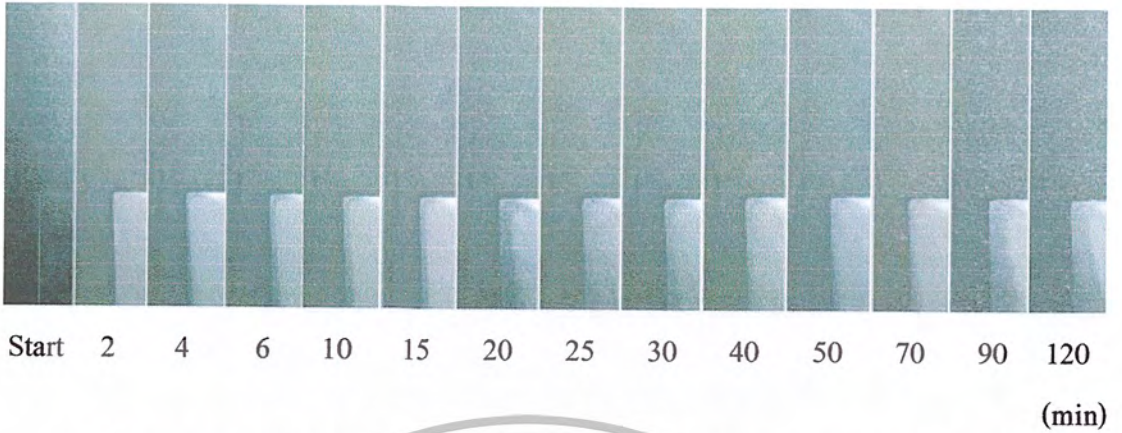


รูปที่ 6.60 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์

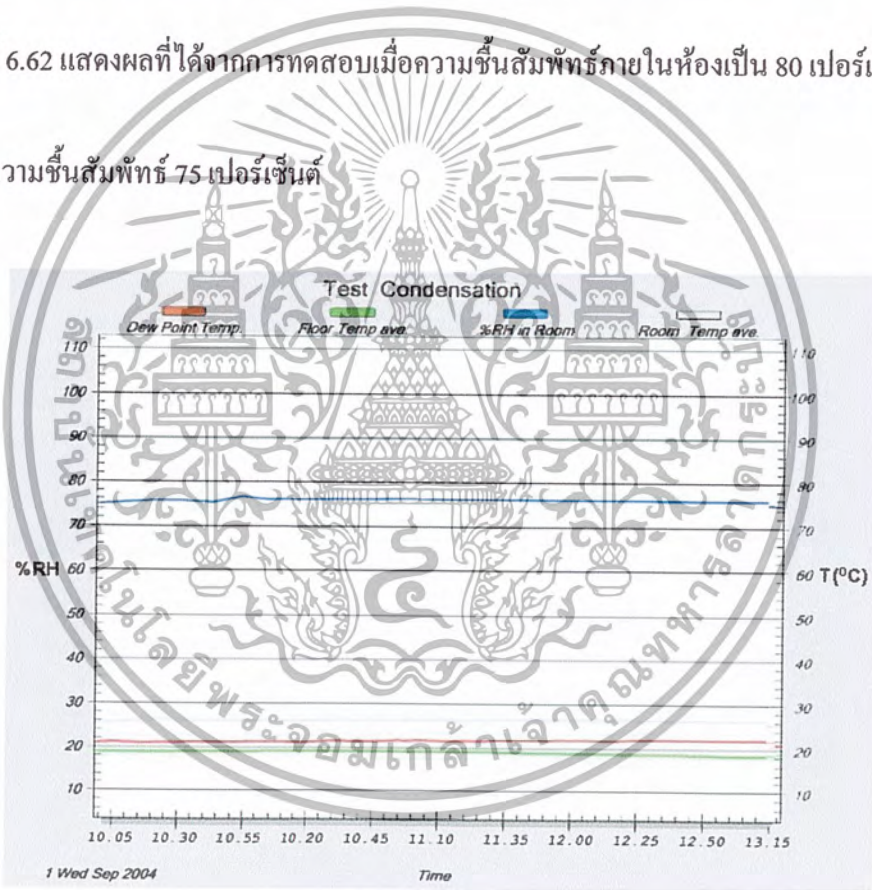


รูปที่ 6.61 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์

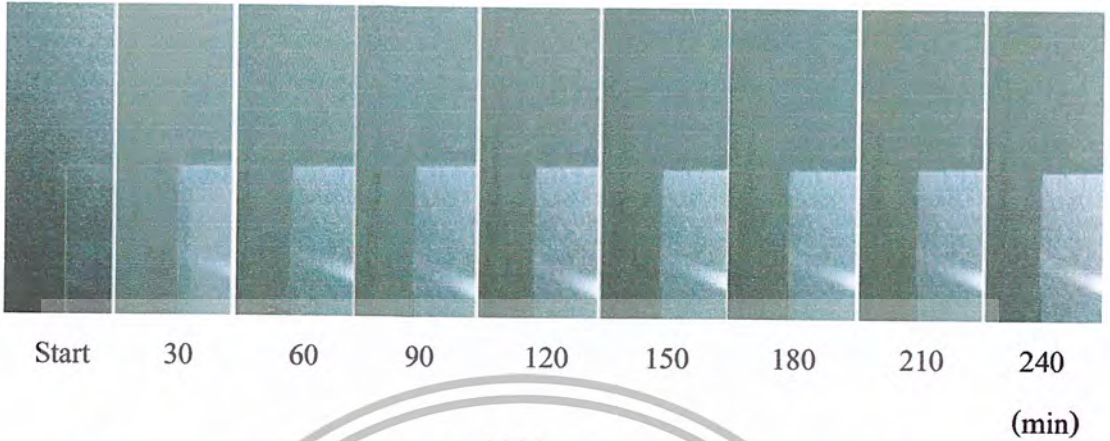


รูปที่ 6.62 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.63 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์



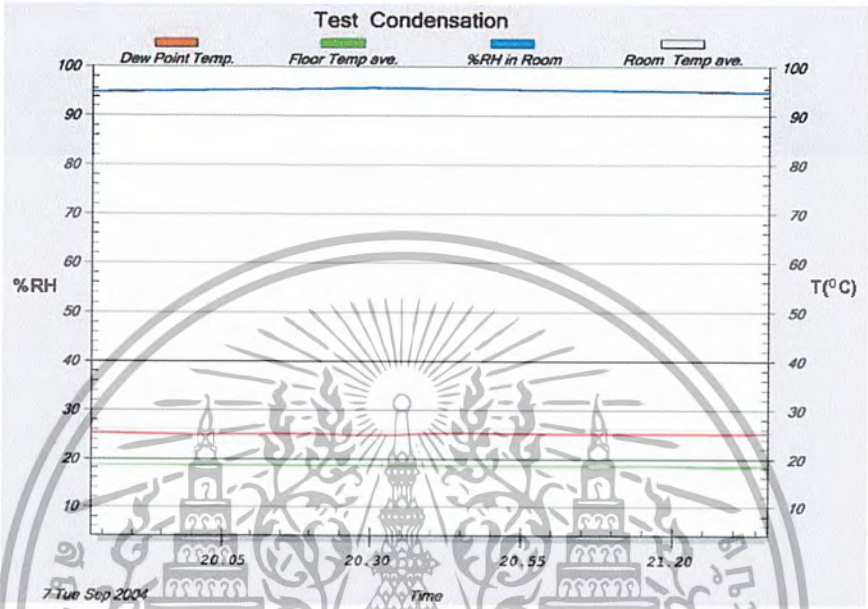
รูปที่ 6.64 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ , 85 เปอร์เซ็นต์ , 80 เปอร์เซ็นต์ , 75 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 19 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.55 ถึงรูปที่ 6.64 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 6 องศาเซลเซียส , 5 องศาเซลเซียส , 4 องศาเซลเซียส , 3 องศาเซลเซียส และ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์หลังจากทดลองไปได้ 2 นาที เราสามารถที่จะวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 4 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร เมื่อปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 85 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 6 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.22 มิลลิเมตร และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80% จะใช้เวลา 10 นาที ถึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยมีขนาด 0.23 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75% โดยเมื่อทำการทำสอบไปนาน 4 ชั่วโมง จะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

6.3.2 อุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ 18 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

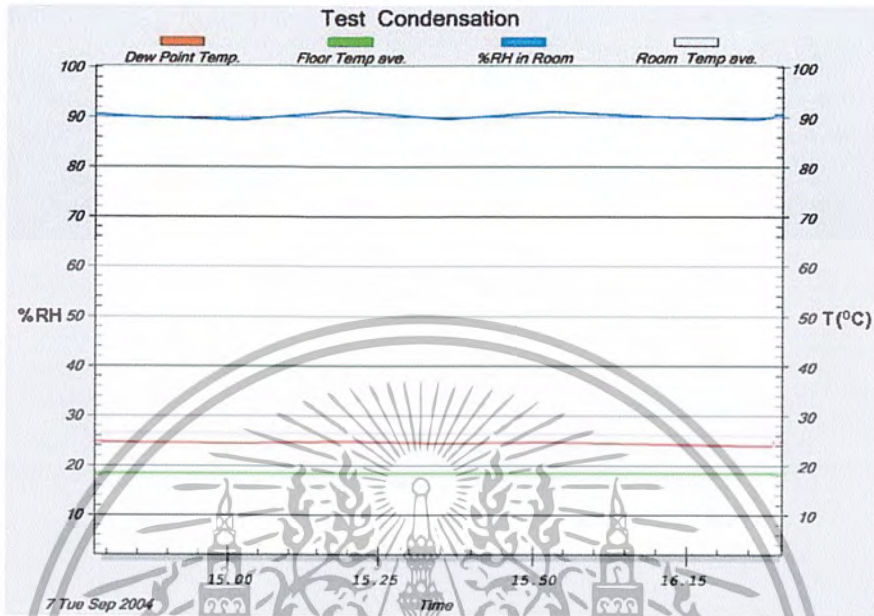


รูปที่ 6.65 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.66 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์



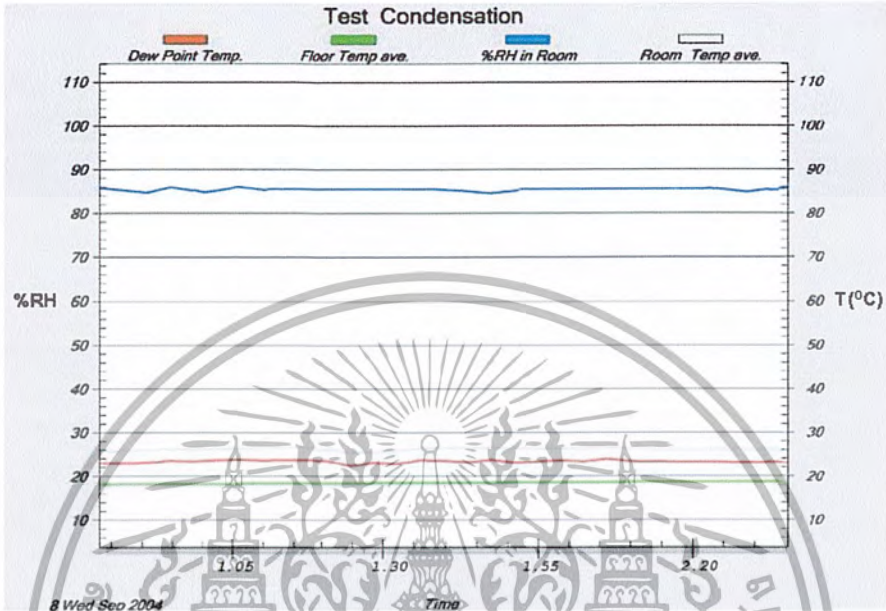
รูปที่ 6.67 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์



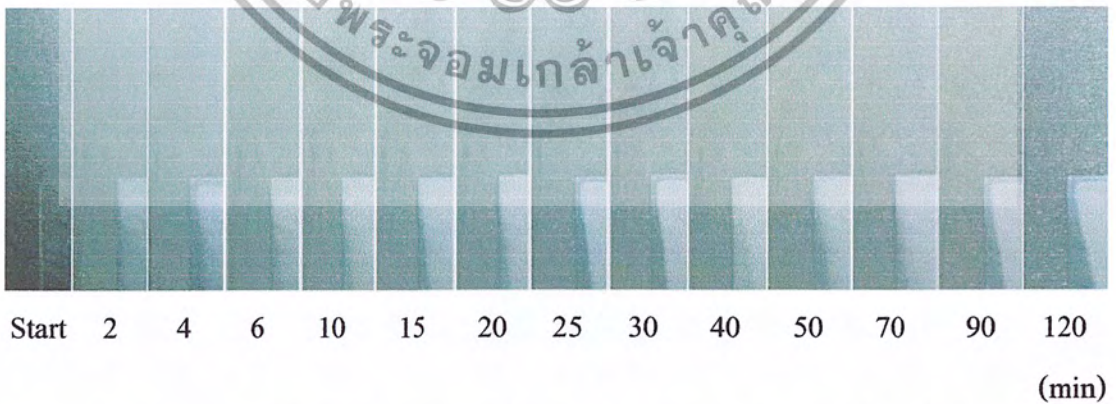
รูปที่ 6.68 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 90 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

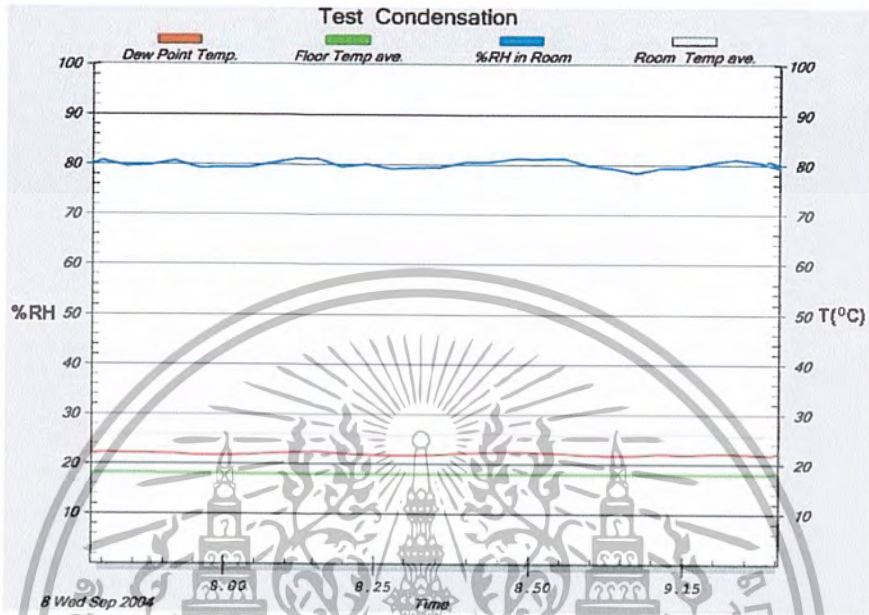


รูปที่ 6.69 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

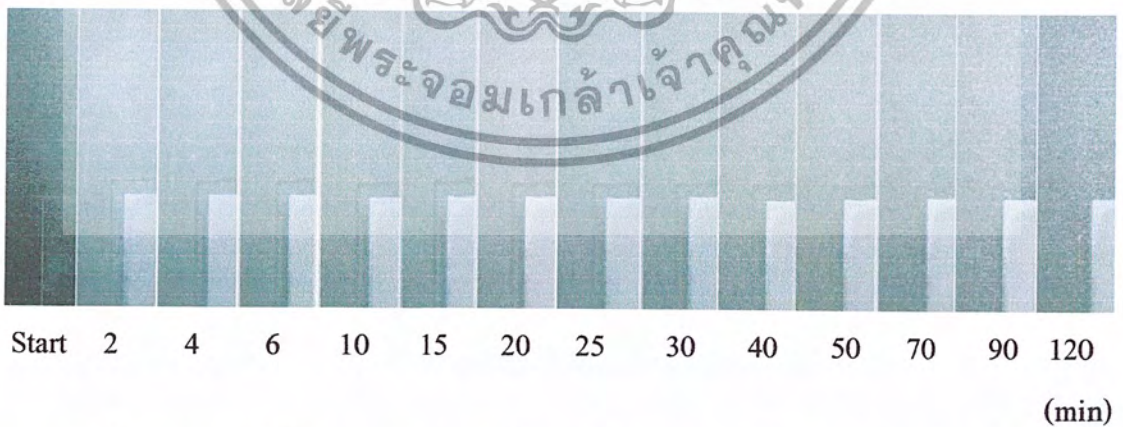


รูปที่ 6.70 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 85 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์



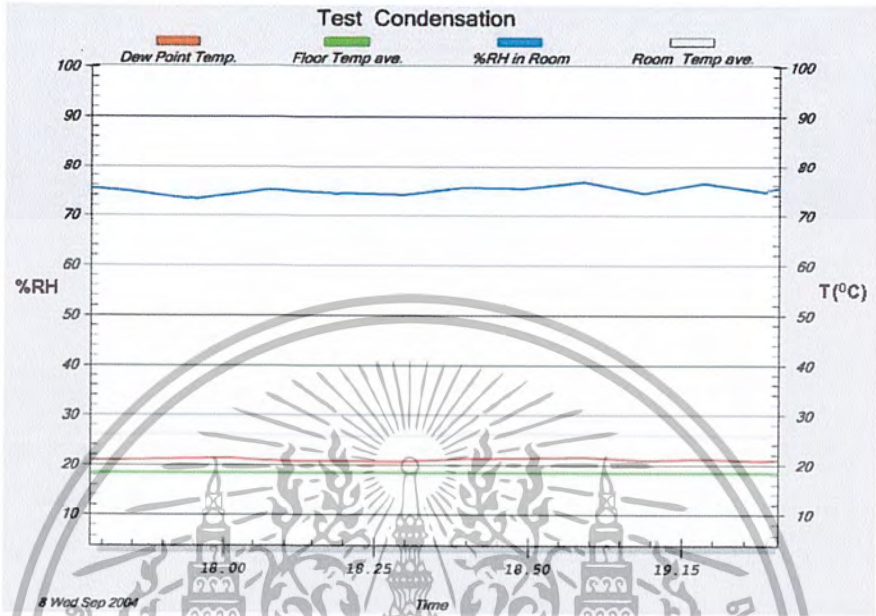
รูปที่ 6.71 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.72 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์

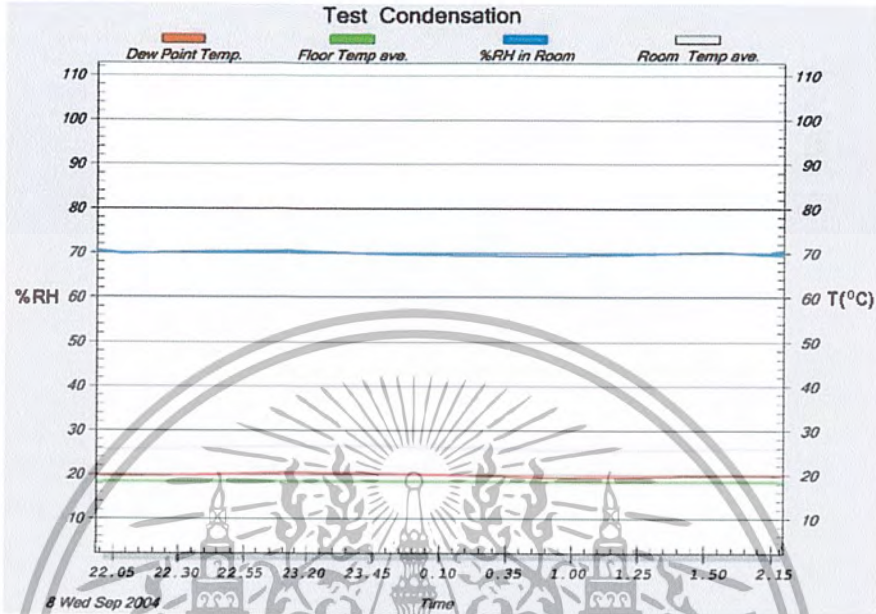


รูปที่ 6.73 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.74 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 75 เปอร์เซ็นต์

- ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.75 กราฟแสดงการปรับตั้งระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์



Start 30 60 90 120 150 180 210 240 (min)

รูปที่ 6.76 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็น 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 95 เปอร์เซ็นต์ , 90 เปอร์เซ็นต์ , 85 เปอร์เซ็นต์ , 80 เปอร์เซ็นต์ , 75 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส รวมถึงอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบเป็น 18 องศาเซลเซียส ดังรูป 6.65 ถึงรูปที่ 6.76 จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิที่พื้นผิวทดสอบ เป็น 7 องศาเซลเซียส, 6 องศาเซลเซียส , 5 องศาเซลเซียส , 4 องศาเซลเซียส , 3 องศาเซลเซียสและ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

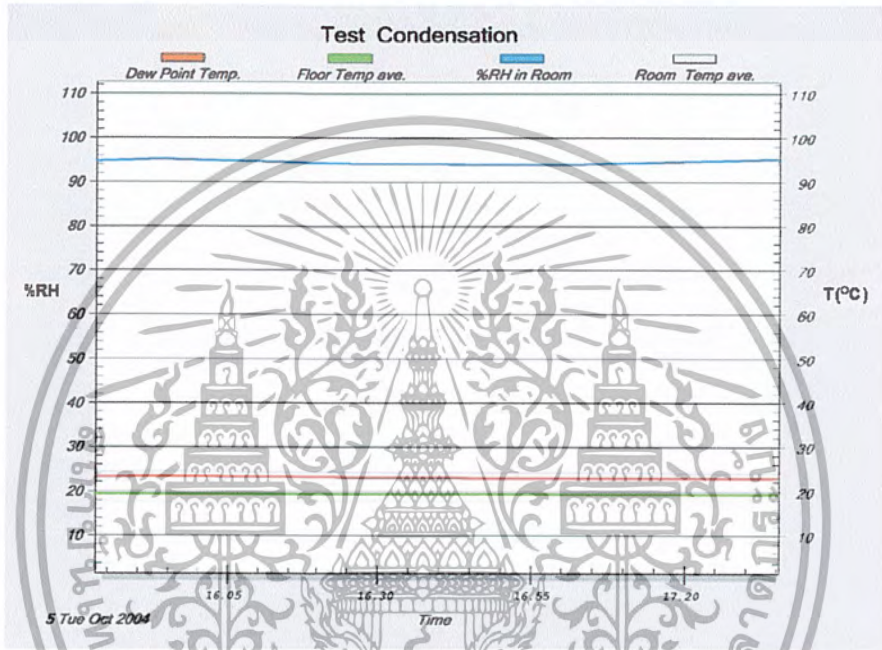
โดยจะพบว่า เมื่อทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไปได้ 2 นาที สามารถที่จะจับภาพและวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร เมื่อปรับเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 4 นาที เม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.24 มิลลิเมตร เมื่อปรับความชื้นสัมพัทธ์ไปที่ 85 เปอร์เซ็นต์ เวลาผ่านไป 6 นาที ขนาดเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาดประมาณ 0.23 มิลลิเมตร และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลา 10 นาที ถึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยมีขนาด 0.23 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลา 20 นาที จึงจะสามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งเม็ดน้ำที่วัดได้จะมีขนาด 0.22 มิลลิเมตร และกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทำการทำสอบไปนาน 4 ชั่วโมง จะไม่สามารถที่จะจับภาพการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวได้

จากการทดลองที่ผ่านมาเมื่อปรับอุณหภูมิพื้นผิวจาก 19 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 18 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่เราสามารถจับขนาดของเม็ดน้ำได้นั้นค่อนข้างจะรวดเร็ว ถ้าเปรียบเทียบกับกรณีที่อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวที่เท่ากัน เช่นที่อุณหภูมิห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิว 19 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการเกิดการควบแน่น 10 นาที ส่วนกรณีที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิว 18 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการเกิดการควบแน่นนานถึง 14 นาที ซึ่งทั้งสองกรณีนี้มีผลต่างของอุณหภูมิที่เท่ากัน ที่เป็นอย่างนี้เนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิห้องสูงขึ้น ในห้องทดสอบสามารถที่จะรับไอน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการเกิดการควบแน่นไม่เท่ากันในบางกรณี ส่วนในกรณีที่อุณหภูมิห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวเป็น 19 องศาเซลเซียส และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่เกิดการควบแน่นที่สามารถวัดได้นั้นเป็นระยะเวลาเดียวกัน แต่ในกรณีที่อุณหภูมิพื้นผิวเป็น 18 องศาเซลเซียส ขนาดของเม็ดน้ำที่วัดได้ตอนเริ่มต้นเกิดการควบแน่นจะมีขนาดใหญ่กว่ากรณีที่อุณหภูมิพื้นผิวเป็น 19 องศาเซลเซียส

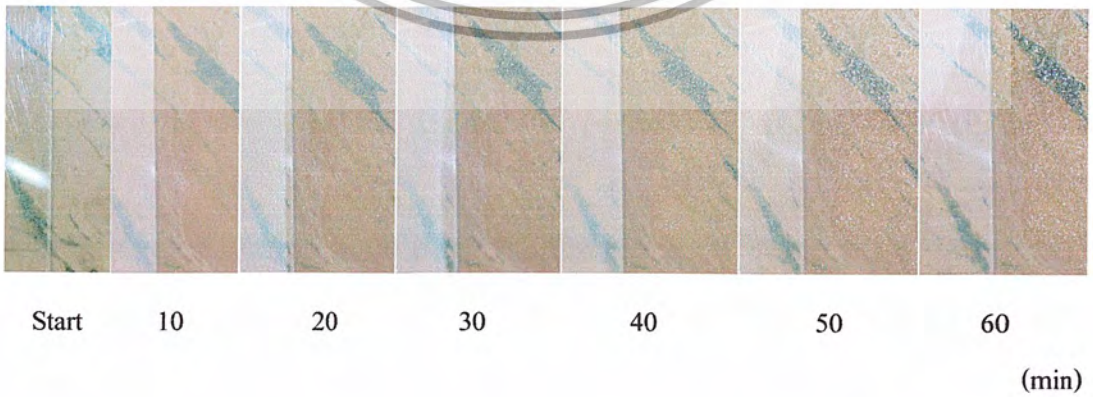
### 6.4 ทดสอบโดยการเปลี่ยนชนิดของวัสดุปูพื้น

การทดสอบในครั้งนี้ จะทำการทดสอบภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวเป็น 19 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบเป็น 95 เปอร์เซ็นต์

- หินอ่อน



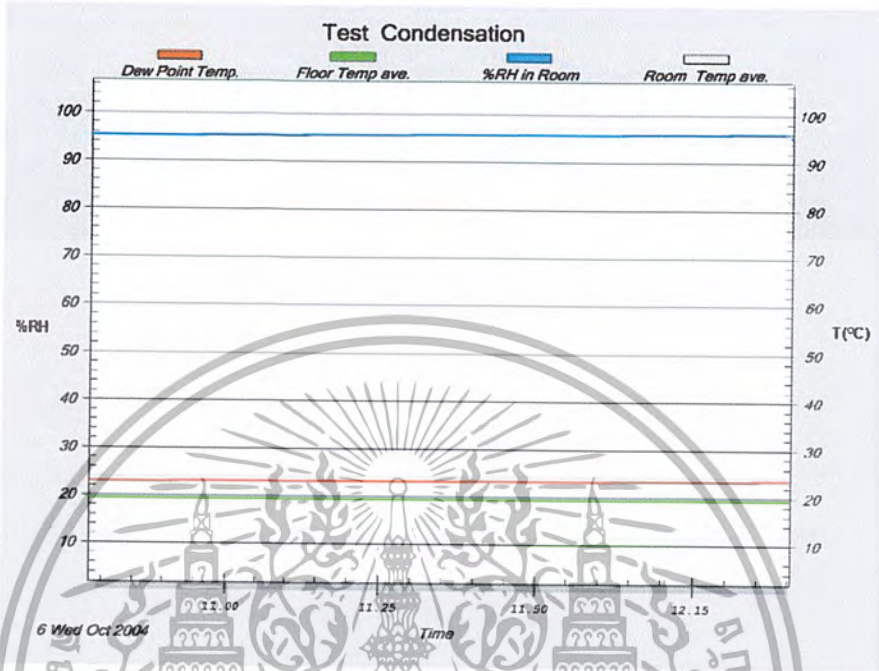
รูปที่ 6.77 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนหินอ่อน



รูปที่ 6.78 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หินแกรนิต



รูปที่ 6.79 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนหินแกรนิต

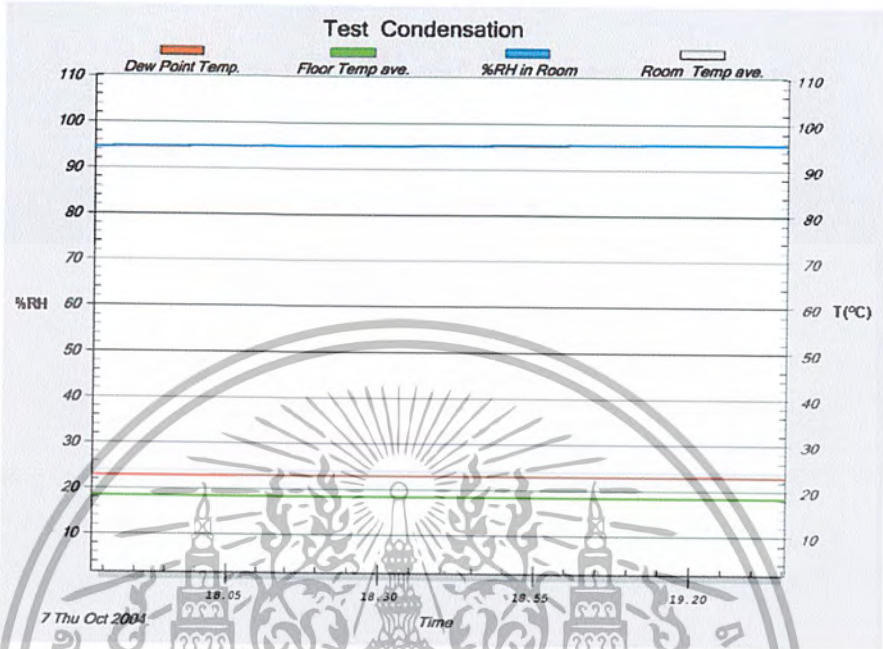


Start 5 10 20 30 40 50 60 (min)

รูปที่ 6.80 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินแกรนิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หินกาบ



รูปที่ 6.81 กราฟแสดงการปรับเงื่อนไขการทดสอบบนหินหินกาบ



Start 10 20 40 50 60 70 80 (min)

รูปที่ 6.82 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบบนพื้นหินกาบ

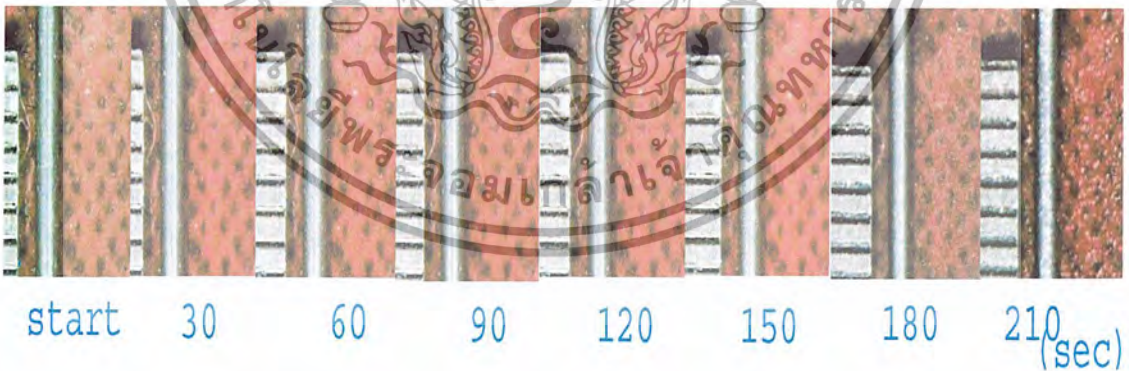
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเปลี่ยนชนิดของวัสดุพื้น ดังแสดงในรูปที่ 6.77 ถึงรูปที่ 6.82 พบว่าเมื่อใช้วัสดุทดสอบเป็นหินแกรนิต จะใช้เวลาในการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งเมื่อเปลี่ยนวัสดุทดสอบมาเป็นหินอ่อนเวลาที่ใช้ในการเริ่มเกิดการควบแน่นนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที ส่วนในกรณีของหินกาบนั้น เวลาที่สามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำนั้นใช้เวลาถึง 50 นาที ซึ่งสาเหตุที่ใช้เวลาแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติการนำความร้อนที่แตกต่างกัน รวมถึงความพรุนภายในเนื้อวัสดุด้วย โดยพบว่าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อน(Thermal Conductivity , K) สูงนั้นจะมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ(Thermal Resistance , R) ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นเร็วกว่าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวกับความพรุนภายในเนื้อวัสดุนั้น พบว่าวัสดุที่มีความพรุนมาก เนื้อของวัสดุจะสามารถรับน้ำได้ดีกว่าวัสดุที่มีความพรุนน้อย ซึ่งจะมีผลที่ทำให้เกิดการควบแน่นบนพื้นผิวเป็นไปได้ไม่ดีเท่ากับความพรุนของวัสดุที่มีความพรุนของโครงสร้างน้อยกว่า

#### 6.5 ศึกษาพฤติกรรมเกิดของหยดน้ำโดยไม่ควบคุมสภาวะแวดล้อม

การทดสอบในครั้งนี้ จะทำการทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิห้องเป็น 24 องศาเซลเซียส โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ

- แผ่นกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล



รูปที่ 6.83 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบการขยายหลายเท่าของกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล

## - แผ่นสแตนเลสบาง



Start      20      40      60      80      100      120      140      sec

รูปที่ 6.84 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบการขยายหลายเท่าของแผ่นสแตนเลสบาง

จากการทดลองศึกษาพฤติกรรมการเกิดของหยดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6.83 ถึงรูปที่ 6.84 พบว่าเมื่อใช้วัสดุทดสอบเป็นแผ่นกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล จะใช้เวลาในการเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวเป็นเวลา 2 นาที 30 วินาที ซึ่งเมื่อเปลี่ยนวัสดุทดสอบมาเป็นแผ่นสแตนเลสบางเวลาที่ใช้ในการเริ่มเกิดการควบแน่นนั้นจะเร็วกว่าแผ่นกระเบื้องเซรามิกสีน้ำตาล เวลาที่สามารถวัดขนาดของเม็ดน้ำนั้นใช้เวลาเพียง 20 วินาที ซึ่งสาเหตุที่ใช้เวลาแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่างกัน และความเรียบของผิวหน้าวัสดุที่ต่างกัน

จากการทดลองถ้าเราควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ 24 องศาเซลเซียส และ 26 องศาเซลเซียสและเปลี่ยนอุณหภูมิพื้น เราพบว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ ดังในทฤษฎีซึ่งสรุปมาได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 24 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ<br>(องศาเซลเซียส) | ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบ<br>(เปอร์เซ็นต์ความชื้น) | เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น<br>(นาที) |   |
|--|--|--|---|
| 19                                     | 95   | 10                                     |   |
|  | 90   | 14                                     |   |
| 18                                     | 85   | -                                      |   |
|  | 95   | 6                                      |   |
|  | 90   | 10                                     |   |
|  | 85   | 15                                     |   |
|  | 80   | -                                      |   |
| 17                                     | 95   | 4                                      |   |
|  | 90   | 6                                      |   |
|  | 85   | 12                                     |   |
|  | 80   | 18                                     |   |
|  | 75   | -                                      |   |
|  | 16   | 95                                     | 3 |
|  |  | 90                                     | 5 |
| 85                                     |  | 10                                     |   |
| 80                                     |  | 14                                     |   |
| 75                                     |  | 20                                     |   |
| 15                                     | 70   | -                                      |   |
|  | 95   | 2                                      |   |
|  | 90   | 4                                      |   |
|  | 85   | 8                                      |   |
|  | 80   | 12                                     |   |
|  | 75   | 18                                     |   |
|  | 70   | -                                      |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 24 องศาเซลเซียส (กรณีใช้ถังน้ำแข็ง)

| อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ<br>( องศาเซลเซียส ) | ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบ<br>( เปอร์เซ็นต์ความชื้น ) | เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น<br>( นาที ) |
|--|--|--|
| 12                                       | 60   | 14                                       |
| 10                                       | 60   | 11                                       |
| 8  | 60   | 4  |

ตารางที่ 3 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่นที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 26 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ<br>( องศาเซลเซียส ) | ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบ<br>( เปอร์เซ็นต์ความชื้น ) | เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น<br>( นาที ) |
|--|--|--|
| 19                                       | 95   | 2  |
|  | 90   | 4  |
|  | 85   | 6  |
|  | 80   | 10                                       |
|  | 75   | -  |
| 18                                       | 95   | 2  |
|  | 90   | 4  |
|  | 85   | 6  |
|  | 80   | 10                                       |
|  | 75   | 20                                       |
|  | 70   | -  |

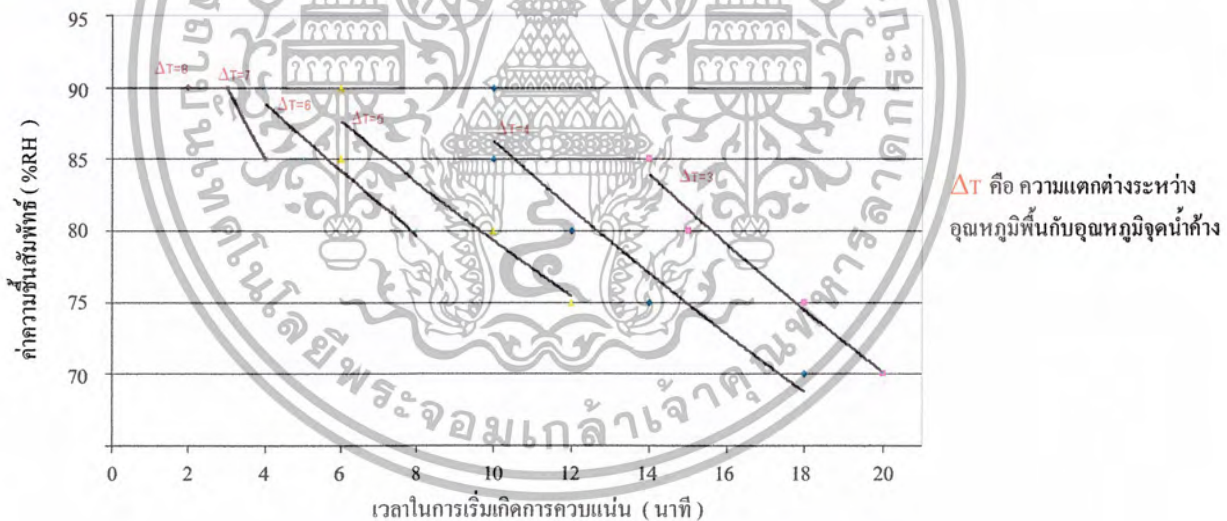
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงเวลาในการเกิดการควบแน่น เมื่อแปรเปลี่ยนชนิดของวัสดุปูพื้น

| ชนิดของวัสดุทดสอบ | เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น<br>( นาที ) |
|-------------------|--|
| หินแกรนิต         | 20                                       |
| หินอ่อน           | 30                                       |
| หินกาบ            | 50                                       |

## 6.6 วิเคราะห์ผลการวิจัย

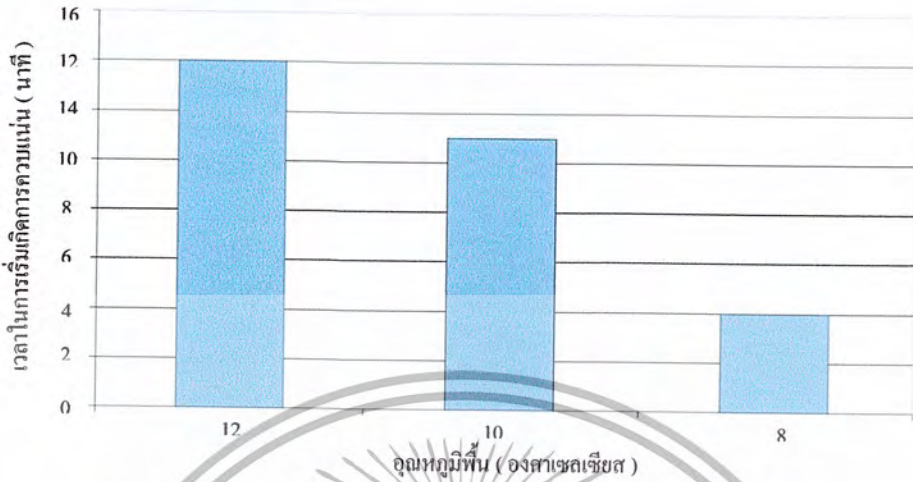
### 6.6.1 ที่อุณหภูมิต้อง 24 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์

จากการทดลองตามรูปที่ 6.85 พบว่า ที่ความชื้นสูงๆ อัตราการควบแน่นจะสูงกว่าที่ความชื้นต่ำๆ แต่อัตราการระเหยจะเท่ากัน เพราะอยู่ในสภาวะที่รับภาระจากแสงเท่ากัน

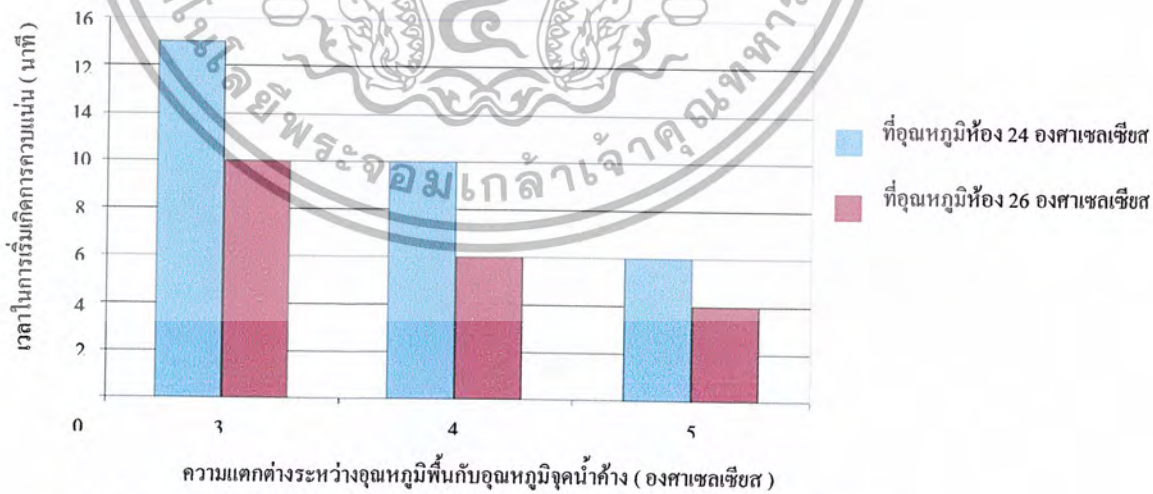
6.6.2 ที่การทำความเย็นที่พื้นต่ำ ๆ



รูปที่ 6.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับอุณหภูมิพื้น

จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิพื้น 8 องศาเซลเซียส จะเกิดหยดน้ำเร็วและมากกว่าที่อุณหภูมิพื้น 10 และ 12 องศาเซลเซียส ณ. ที่เงื่อนไขเดียวกันและพบว่าต้องใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50 % ถึงจะทำให้ที่อุณหภูมิพื้น 12 องศาเซลเซียสไม่เกิดการควบแน่นซึ่งอาจจะพอยอมรับได้

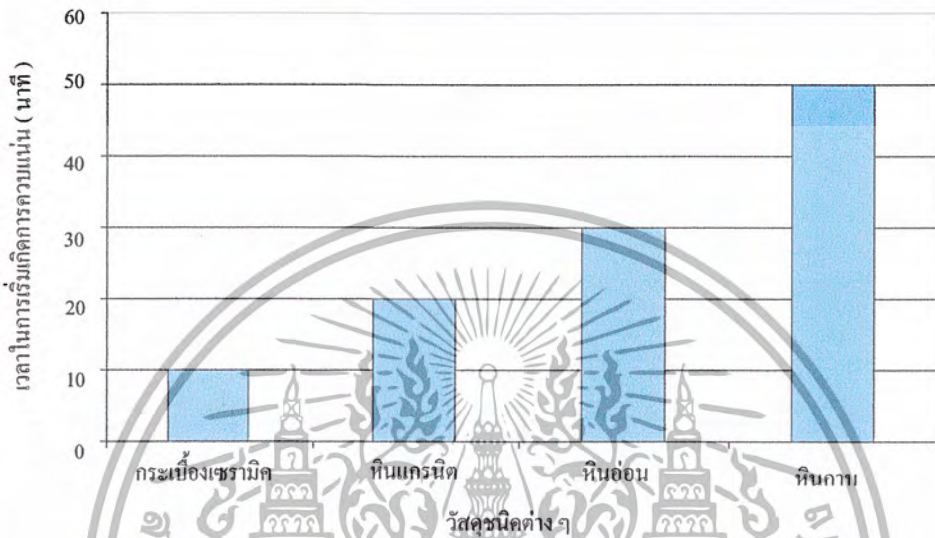
6.6.3 ที่อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าเวลาที่จับขนาดของเม็คน้ำที่อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส ก่อนข้างจะเร็วกว่าที่อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส

#### 6.6.4 ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวัสดุ



รูปที่ 6.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นกับวัสดุชนิดต่าง ๆ

จากการทดลอง เมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุพื้นเป็นแบบต่างๆ พบว่าแต่ละชนิดใช้เวลาแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุที่ใช้เวลาแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติการนำความร้อนแตกต่างกัน รวมถึงความพรุนภายในวัสดุด้วย โดยพบว่าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงจะเกิดการควบแน่นได้ง่ายกว่า

## บทที่ 7

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะการเกิดการควบแน่นบนวัสดุผิวพื้น ซึ่งได้ทำการทดลองในหลายกรณีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิพื้น และอุณหภูมิห้อง รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดของวัสดุซึ่งจากผลการทดลอง และการวิเคราะห์ที่สามารถสรุปผลออกมาเป็นประเด็นสำคัญที่ได้จากการทดลองดังต่อไปนี้

7.1.1 ชีตจำกัดของระบบการทำความชื้น โดยการฝั่งท่อน้ำไว้ใต้พื้น ในกรณีต่าง ๆ โดยปราศจากปัญหาพื้นควบแน่นเป็นดังนี้

- กรณีที่อุณหภูมิห้องทดลองเป็น 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 16 , 17 , 18 และ 19 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 70 , 75 , 80 และ 85 เปอร์เซ็นต์ นั้นจะไม่เกิดการควบแน่นขึ้นบนพื้นผิวทดสอบ ส่วนกรณีของ อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 15 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแรกนั้นเม็ดน้ำที่เกิดขึ้นจะขนาดเล็กมาก ๆ ไม่สามารถวัดขนาดได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปเม็ดน้ำที่อยู่บนพื้นผิวจะหายไปอย่างรวดเร็ว พื้นผิวทดสอบจะแห้งสนิท
- กรณีที่เพิ่มอุณหภูมิห้องทดลองไปเป็น 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 18 และ 19 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 และ 75 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีเม็ดน้ำเกิดขึ้นบนพื้นผิวทดสอบ

7.1.2 ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่น จะแตกต่างกันไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดลอง โดยจะแบ่งเป็นกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- กรณีที่อุณหภูมิห้องทดลองเป็น 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 16 , 17 , 18 และ 19 องศาเซลเซียส จะพบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ระยะเวลาการเกิดการควบแน่นจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบ ถ้าผลต่างของอุณหภูมิตั้งสองมาก ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นจะเร็วขึ้น เช่นในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 95 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิพื้นผิวทดสอบเป็น 19 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวเป็น 4 และ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิพื้นผิวเป็น 18 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นน้อยกว่า

- กรณีที่เพิ่มอุณหภูมิห้องทดลองไปเป็น 26 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิพื้นผิวทดสอบมีค่ามากขึ้น มีผลทำให้อากาศในห้องสามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก จึงมีผลทำให้เกิดการควบแน่นเร็วขึ้น ในกรณีที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีที่เปลี่ยนวัสดุทดสอบ พบว่าระยะเวลาการเกิดการควบแน่นนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ซึ่งถ้าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง จะมีผลทำให้ระยะเวลาในการเริ่มเกิดการควบแน่นเร็วกว่าวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ

### 7.1.3 การศึกษาพฤติกรรมการควบแน่น

จากการทดลองนี้เป็นการสังเกตพฤติกรรมการเกิดการก่อตัวของหยดน้ำพบว่า ลักษณะการเกิดของหยดน้ำขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น กระจกเบื้องเซรามิกกับโลหะ กระจกเบื้องจะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าโลหะ การก่อตัวของกระจกเบื้องจะก่อตัวตามบริเวณที่รับความเย็นเท่านั้น แต่โลหะจะเริ่มก่อตัวทั่วบริเวณที่เป็นอย่างนี้ เนื่องมาจากการนำความร้อนของโลหะจะทำให้แผ่นโลหะเย็นทั่วกันทั้งแผ่นและเย็นสม่ำเสมอทั้งแผ่น

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 การทดลองการเกิดการควบแน่นในครั้งนี้ ควรจะมีการใช้อุปกรณ์ที่มีค่าคุณสมบัติที่ดี และมีความเที่ยงตรงมาก เพื่อค่าที่ได้จากการทดลองจะมีความแม่นยำมากกว่านี้

7.2.2 ควรใช้กล้องวิดีโอในการบันทึกภาพตลอดการทดลองเนื่องจากจะสามารถทำให้บันทึกภาพอย่างต่อเนื่องไม่ขาดช่วง เพราะที่ผ่านมาใช้นใช้กล้องดิจิทัลในการบันทึกภาพซึ่งจะสามารถบันทึกภาพ ได้เพียงแค่ว่าแต่ละช่วงเวลาเท่านั้น

7.2.3 ควรศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมที่จะสามารถวัดขนาดของหยดน้ำให้มีค่าความแม่นยำถูกต้อง มีค่าความละเอียดมาก และให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

## บรรณานุกรม

- [1] Yunus A.Cengel and Michel A. Boles," Thermodynamics: An Engineering Approach"  
4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, 2002
- [2] Olesen, B.W."Possibility and limitations of Radiant Floor Cooling", ASHRAE  
Transactions, 1997, pp.103
- [3] Richard D. Watson. Radiant Heating & Cooling Handbook. McGraw-Hill,2002.
- [4] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. การทำความเย็นและการปรับอากาศ.กรุงเทพฯ:วิเวกรชนม์.
- [5] อัครเดช สีนรุภัก. การทำความเย็น. ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2538





ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

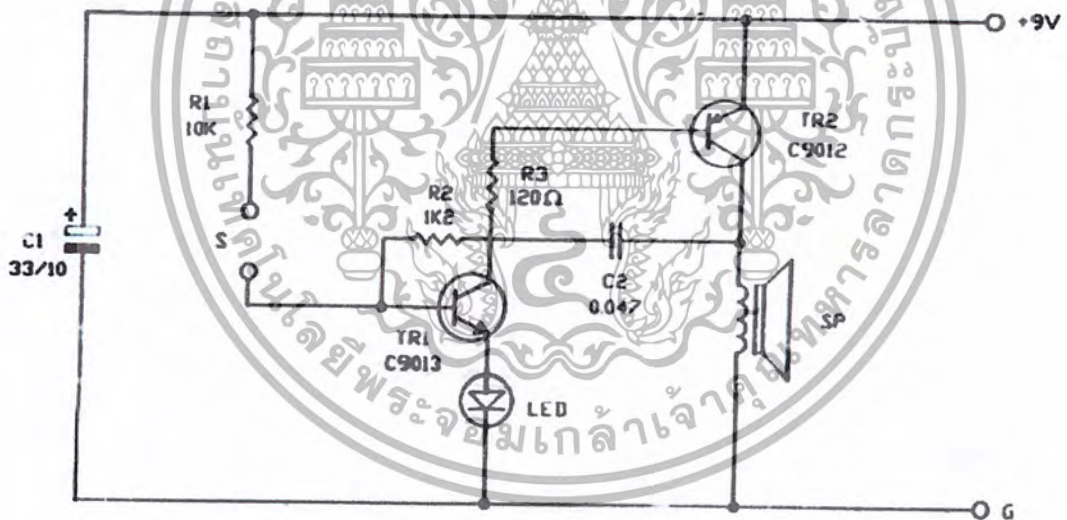
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. กล้องดิจิทัล (Canon EOS 300D)

- EF-S 18-55 mm f/3.5-6.5 lens
- Filter size 58 mm
- Min. focusing distance 0.28 m
- Minimum aperture f/22-36
- Total pixels 6.5 megapixels (3152x2068)

## 2. วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้นบนแผ่นทดสอบ

วงจรเซ็นเซอร์ตัวนี้จะใช้ในการตรวจจับการเกิดการควบแน่นบนแผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งการนำไปใช้งานจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้บนพื้นผิวของแผ่นทดสอบ ในหลาย ๆ จุด แล้วทำการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์เหล่านี้ยังจุดต่อ S ของวงจร ดังแสดงในรูป ข-1 ซึ่งเมื่อแผ่นทดสอบเริ่มมีความเปียกชื้นขึ้น จะทำให้วงจรทำงานและส่งสัญญาณเตือนออกมา โดยความถี่ของสัญญาณจะขึ้นกับความเปียกชื้นบนพื้นผิวทดสอบ ขณะเดียวกันก็จะมีสัญญาณไฟ LED ส่องสว่างขึ้นและจังหวะการ คิค-คับ จะตามสัญญาณความถี่ที่ส่งออกมา



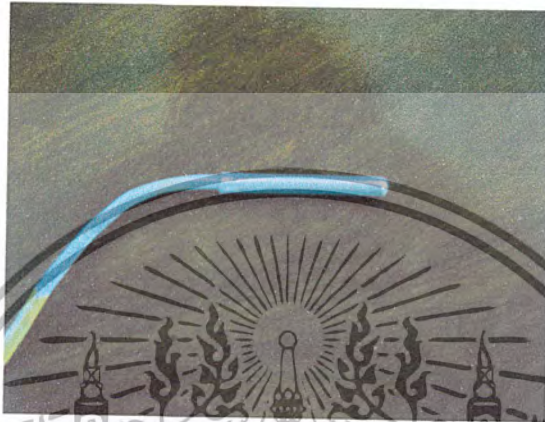
รูปที่ ก-1 แสดงวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้นบนแผ่นทดสอบ

ลักษณะการทำงาน คือ ตัว TR1 และ TR2 จะเป็นตัวกำเนิดความถี่ โดยความถี่ที่จะได้จากการป้อนกลับจากลำโพงมาเข้าขา B ของ TR1 โดยผ่านตัว R 1K2 และ C2 0.047 เป็นตัวกำเนิดความถี่ที่ขา B ของ TR1 โดยธรรมชาติจะต้องมีกระแสไฟจ่ายให้ แต่ถ้าไม่มีไฟจ่ายให้ ชุดกำเนิดความถี่จะไม่สามารถทำงานได้โดยที่ขา B จะต่อผ่านจุด S มาเข้าเซ็นเซอร์ โดยเซ็นเซอร์นี้จะไม่ต่อดังกัน แต่เมื่อใดที่เซ็นเซอร์โดนความเปียกชื้น หรือน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวนำทางไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัว R 10K ผ่านเซ็นเซอร์ที่เปียกชื้น มาเข้าทางขา B ของ TR1 ทำงาน ชุด

กำเนิดความถี่และสัญญาณไฟ LED ก็จะทำงาน

### 3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบนพื้นผิวสอบ

- Johnson Controls TE-6300 Series
- Nickel sensor
- Temperature Coefficient : Approximately 3 ohms/ $^{\circ}$ F (5.4 ohm/ $^{\circ}$ C)
- Reference Resistance : 1k ohms at  $^{\circ}$ F (0  $^{\circ}$ C)
- Accuracy :  $\pm 3.0$   $^{\circ}$ F at 70  $^{\circ}$ F



รูปที่ ก-2 แสดงเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิบนพื้นผิวทดสอบ

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความต้านทานกับอุณหภูมิของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดต่าง ๆ

Nominal Temperature vs Resistance for Nickel, Platinum  
(and Platinum Equivalent)\*, and Thermistor Sensors

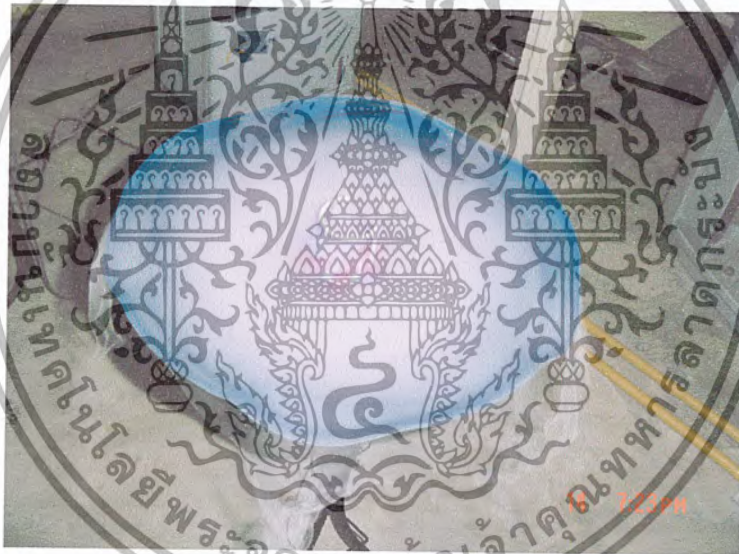
| Temperature  |              | Resistance(Ohms) |          |            |
|--------------|--------------|------------------|----------|------------|
| $^{\circ}$ F | $^{\circ}$ C | Nickel           | Platinum | Thermistor |
| -50          | -46          | 674              | 821      | 109872     |
| -40          | -40          | 699              | 843      | 75466      |
| -30          | -34          | 725              | 865      | 52571      |
| -20          | -29          | 751              | 887      | 37116      |
| -10          | -23          | 777              | 908      | 263539     |
| 0            | -18          | 803              | 930      | 19208      |
| 10           | -12          | 830              | 954      | 14062      |
| 20           | -7           | 858              | 974      | 10408      |
| 30           | -1           | 885              | 996      | 7784       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความต้านทานกับอุณหภูมิของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

| Temperature |    | Resistance(Ohms) |      |      |
|-------------|----|------------------|------|------|
| 40          | 4  | 914              | 1017 | 5880 |
| 50          | 10 | 942              | 1039 | 4484 |
| 60          | 16 | 971              | 1061 | 3450 |
| 70          | 21 | 1000             | 1082 | 2678 |
| 80          | 27 | 1030             | 1104 | 2095 |

#### 4. เครื่องเพิ่มความชื้นในระบบ (Humidifier)



รูปที่ ก-3 แสดงเครื่องเพิ่มความชื้น

ลักษณะการทำงานคือภายในเครื่องเพิ่มความชื้นจะมีวงจรกำเนิดความถี่ระดับอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงที่อยู่เหนือขีดความสามารถที่มนุษย์ได้ยินหรือรับฟังได้ โดยปกติมนุษย์สามารถรับฟังได้ที่ย่านความถี่ประมาณ 20 เฮิร์ต จนถึง 20 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นคลื่นอัลตราโซนิก จึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต จนถึง  $10^4$  จิกะเฮิร์ต ซึ่งคลื่นที่มีความถี่มากกว่า  $10^4$  จิกะเฮิร์ต และแอมพลิจูด(Amplitude) สูงๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวด์”

เมื่อตัวกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงทำงาน คลื่นเสียงจะเดินทางผ่านตัวกลาง เช่นน้ำ หรือของเหลวทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แอมพลิจูด หรือความดังของเสียงนั้นต่ำ ซึ่งในขณะที่แอมพลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดของความดันที่เป็นลบ(Negative Pressure)

อภิศารณเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า  
 ม่าว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบริเวณที่คลื่นขยายตัว(Rarefaction) จะเป็นสาเหตุที่จะทำให้ของเหลวแตกตัวออกในที่สุด ซึ่งจะเรียกว่าเป็นปรากฏการณ์ “คาวิตชัน” (Cavitation)

ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางไปข้างหน้า คาวิตชัน(Cavitation) จะแกว่ง(Oscillate) ภายใต้อิทธิพลของความดันที่เป็นบวก และจะโคขึ้นจนมีขนาดที่ไม่เสถียรภาพ ในที่สุดจะเกิดการยุบตัวลงอย่างรุนแรงของ Cavitation เป็นผลให้เกิดการ Implosion ซึ่งจะทำให้คลื่น Shock Wave แผ่กระจายออกไปจากบริเวณที่ยุบตัว(Collapse) การยุบตัว(Collapse) และการ Implosion ของคาวิตชัน ที่เกิดขึ้นจำนวนมากนี้ภายในของเหลว เป็นผลที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่น Ultrasonic นั้นเอง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ

| สสาร                               | อุณหภูมิ<br>°C | k<br>W/m.°C | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | c<br>kJ/kg.°C | $\alpha \times 10^7$<br>m <sup>2</sup> /s |
|------------------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|---|
| อะลูมิเนียมออกไซด์, สีนํ้าเงินเข้ม | 30             | 46          | 3970                        | 0.76          | 150                                       |
| อะลูมิเนียมออกไซด์, ผลึกจำนวนมาก   | 30             | 36          | 3970                        | 0.76          | 120                                       |
| แอสฟัลต์                           | 20-55          | 0.74-0.76   |                             |               |   |
| อิฐ:                               |                |             |                             |               |   |
| อิฐก่อสร้างอาคาร                   |                |             |                             |               |   |
| ธรรมดา                             | 20             | 0.69        | 1600                        | 0.84          | 5.2                                       |
| ผิวหน้า                            |                | 1.32        | 2000                        |               |   |
| อิฐคาร์โบรันดัม                    | 600            | 18.5        |                             |               |   |
|                                    | 1400           | 11.1        |                             |               |   |
| อิฐโครม                            | 200            | 2.32        | 3000                        | 0.84          | 9.2                                       |
|                                    | 550            | 2.47        |                             |               | 9.8                                       |
|                                    | 900            | 1.99        |                             |               | 7.9                                       |
| ดินโคละตอมเมเซียน, ดินและการติดไฟ  | 200            | 0.24        |                             |               |   |
|                                    | 870            | 0.31        |                             |               |   |
| อิฐทนไฟใหม่ที่ 2426 °F             | 500            | 1.04        | 2000                        | 0.96          | 5.4                                       |
|                                    | 800            | 1.07        |                             |               |   |
|                                    | 1100           | 1.09        |                             |               |   |
| ไหมที่ 2642 °F                     | 500            | 1.28        | 2300                        | 0.96          | 5.8                                       |
|                                    | 800            | 1.37        |                             |               |   |
|                                    | 1100           | 1.40        |                             |               |   |
| มิสซูรี (Missouri)                 | 200            | 1.00        | 2600                        | 0.96          | 4.0                                       |
|                                    | 600            | 1.47        |                             |               |   |
|                                    | 1400           | 1.77        |                             |               |   |
| แมกนีไซต์                          | 200            | 3.81        |                             | 1.13          |   |
|                                    | 650            | 2.77        |                             |               |   |
|                                    | 1200           | 1.90        |                             |               |   |
| ซีเมนต์, บอร์ดแลนด์                |                | 0.29        | 1500                        |               |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ต่อ)

| สสาร                   | อุณหภูมิ<br>°C | k<br>W/m.°C | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | c<br>kJ/kg.°C | $\alpha \times 10^7$<br>m <sup>2</sup> /s |
|------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|---|
| มอร์คาร์               | 23             | 1.16        |                             |               |   |
| ถ่านหินแอนทราไซต์      | 30             | 0.26        | 1300                        | 1.25          | 1.6                                       |
| คอนกรีต,ซินเตอร์       | 23             | 0.76        |                             |               |   |
| หิน,ผสมในสัดส่วน 1-2-4 | 20             | 1.37        | 1900-2300                   | 0.88          | 8.2-6.8                                   |
| กระจก,หน้าต่าง         | 20             | 0.78        | 2700                        | 0.84          | 3.4                                       |
| โคโรซิลิเกต            | 30-75          | 1.09        | 2200                        |               |   |
| แกรไฟต์, ไพโรไดคิก     |                |             |                             |               |   |
| แต่ละชั้นขนานกัน       | 30             | 1900        | 2200                        | 0.71          | 12,200                                    |
| ตั้งฉากกับชั้น         | 30             | 5.6         | 2200                        | 0.71          | 36  |
| พาร์ติเคอร์บอร์ด       |                |             |                             |               |   |
| ความหนาแน่นต่ำ         | 30             | 0.079       | 590                         | 1.3           | 1   |
| ความหนาแน่นสูง         | 30             | 0.17        | 1000                        | 1.3           | 1.3                                       |
| ปูนปลาสเตอร์,ฮิปซัม    | 20             | 0.48        | 1440                        | 0.84          | 4.0                                       |
| แผ่นโลหะเล็ก ๆ         | 20             | 0.47        |                             |               |   |
| แผ่นไม้ซีกเล็ก ๆ       | 20             | 0.28        |                             |               |   |
| พอลิเอทิลีน            | 30             | 0.33        | 960                         | 2.1           | 1.64                                      |
| พอลิโพรทิลีน           | 30             | 0.16        | 1150                        | 1.9           | 0.73                                      |
| พอลิไวนิลครอไรด์       | 30             | 0.09        | 1700                        | 1.1           | 0.48                                      |
| ยาง,แข็ง               | 30             | 0.15        | 1200                        | 2             | 0.62                                      |
| ซิลิกอนคาร์ไบด์        | 30             | 490         | 3150                        | 0.68          | 2290                                      |
| หิน:                   |                |             |                             |               |   |
| กราไนต์                | 100-300        | 1.73-3.98   | 2640                        | 0.82          | 8-18                                      |
| หินปูน                 |                | 1.26-1.33   | 2500                        | 0.90          | 5.6-5.9                                   |
| หินอ่อน                | 40             | 2.07-2.94   | 2500-2700                   | 0.80          | 10-13.6                                   |
| หินทราย                |                | 1.83        | 2160-2300                   | 0.71          | 11.2-11.9                                 |
| เทฟลอน                 | 30             | 0.35        | 2200                        | 1.05          | 1.5                                       |
| ไทเทเนียมไดออกไซด์     | 30             | 8.4         | 4150                        | 0.7           | 29  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ต่อ)

| สสาร                              | อุณหภูมิ<br>°C | k<br>W/m.°C | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | c<br>kJ/kg.°C | $a \times 10^7$<br>m <sup>2</sup> /s |
|-----------------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|
| ไม้(ทิศทางขวางกับเกรน):           |                |             |                             |               |                                      |
| บอลสา, 8.8 lb/ft <sup>2</sup>     | 30             | 0.055       | 140                         |               |                                      |
| ไม้สน                             | 30             | 0.097       | 460                         |               |                                      |
| ต้นสน(Fir)                        | 23             | 0.110       | 420                         | 2.72          | 0.96                                 |
| มาเปิลหรือ โอ๊ค(Maple or oak)     | 30             | 0.166       | 540                         | 2.4           | 1.28                                 |
| ต้นสน(Yellow pine)                | 23             | 0.147       | 640                         | 2.8           | 0.82                                 |
| ต้นสน(White pine)                 | 30             | 0.112       | 430                         |               |                                      |
| Acoustic tile                     | 30             | 0.06        | 290                         | 1.3           | 1.6                                  |
| ใยหิน:                            |                |             |                             |               |                                      |
| อัดหลวม ๆ (Loosely packed)        | -45            | 0.149       |                             |               |                                      |
|                                   | 0              | 0.154       | 470-570                     | 0.816         | 3.3-4                                |
|                                   | 100            | 0.161       |                             |               |                                      |
| ใยหินซีเมนต์                      | 20             | 0.74        |                             |               |                                      |
| แผ่นวัสดุ                         | 51             | 0.166       |                             |               |                                      |
| Felt ,40 laminations/in           | 38             | 0.057       |                             |               |                                      |
|                                   | 150            | 0.068       |                             |               |                                      |
|                                   | 260            | 0.083       |                             |               |                                      |
| 20 laminations/in                 | 38             | 0.078       |                             |               |                                      |
|                                   | 150            | 0.095       |                             |               |                                      |
|                                   | 260            | 0.112       |                             |               |                                      |
| ลอน , 4 piles/in                  | 38             | 0.087       |                             |               |                                      |
|                                   | 93             | 0.100       |                             |               |                                      |
|                                   | 150            | 0.119       |                             |               |                                      |
| ซีเมนต์ใยหิน                      | -              | 2.08        |                             |               |                                      |
| ไม้บัลซ่า, 2.2 lb/ft <sup>3</sup> | 32             | 0.040       | 35                          |               |                                      |
| การ์ดบอร์ด, ขึ้นลอน               | -              | 0.064       |                             |               |                                      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ต่อ)

| สสาร                               | อุณหภูมิ<br>°C | k<br>W/m.°C | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | c<br>kJ/kg.°C | $a \times 10^7$<br>m <sup>2</sup> /s |
|------------------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|
| ซีโลเท็กซ์                         | 32             | 0.048       |                             |               |                                      |
| กอร์กบอร์ด, 2.2 lb/ft <sup>3</sup> | 30             | 0.043       | 160                         |               |                                      |
| กอร์ก, regranulated                | 32             | 0.045       | 45-120                      | 1.88          | 2-5.3                                |
| Ground                             | 32             | 0.043       | 150                         |               |                                      |
| เพชร, ประเภท IIa                   |                |             |                             |               |                                      |
| ฉนวน                               | 30             | 2300        | 3500                        | 0.509         | 12,900                               |
| คินไดอะตอมเมเซียส<br>(sil-o-cell)  | 0              | 0.061       | 320                         |               |                                      |
| สักหลาด, ผม                        | 30             | 0.036       | 130-200                     |               |                                      |
| หนัง                               | 30             | 0.052       | 330                         |               |                                      |
| ไฟเบอร์, บอร์ดฉนวน                 | 20             | 0.048       | 240                         |               |                                      |
| ใยหิน, 1.5 lb/ft <sup>3</sup>      | 23             | 0.038       | 24                          | 0.7           | 22.6                                 |
| ใยแก้ว, บุท่อลม                    | 30             | 0.038       | 32                          | 0.84          | 14.1                                 |
| ใยแก้ว, เป่าหลวม ๆ                 | 30             | 0.043       | 16                          | 0.84          | 32                                   |
| น้ำแข็ง                            | 0              | 2.22        | 910                         | 1.93          | 12.6                                 |
| อินซูลีเท็กซ์,แห้ง                 | 32             | 0.064       |                             |               |                                      |
|                                    |                | 0.144       |                             |               |                                      |
| นุ่น                               | 30             | 0.035       |                             |               |                                      |
| แมกนีเซีย, 85เปอร์เซ็นต์           | 38             | 0.067       | 270                         |               |                                      |
|                                    | 93             | 0.071       |                             |               |                                      |
|                                    | 150            | 0.074       |                             |               |                                      |
|                                    | 204            | 0.08        |                             |               |                                      |
| ใยหิน, 10lb/ft <sup>3</sup>        | 32             | 0.040       | 160                         |               |                                      |
| เนื้อหลวม                          | 150            | 0.067       | 64                          |               |                                      |
|                                    | 260            | 0.087       |                             |               |                                      |
| ซีเลีย                             | 23             | 0.059       |                             |               |                                      |
| ซิลิกา แอร์โรเจล                   | 32             | 0.024       | 140                         |               |                                      |
| สติโรโฟม                           | 32             | 0.033       |                             |               |                                      |

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าการปล่อยออกของวัสดุ

| ผิว  | T (°F)    | ค่าการปล่อยออก(E) |
|--|-----------|-------------------|
| โลหะและออกไซด์อื่น ๆ                                       |           |                   |
| อะลูมิเนียม  |           |                   |
| Highly polished plate, 98.3 % pure                         | 440-1070  | 0.039-0.057       |
| แผ่นเหล็กแข็งพาสซีฟ  | 212       | 0.09              |
| Heavily oxidized   | 299-940   | 0.20-0.31         |
| Al-airfoced rooting  | 100       | 0.216             |
| ทองเหลือง  |           |                   |
| Highly polished  |           |                   |
| 73.2% Cu, 26.7%Zn  | 476-674   | 0.028-0.031       |
| 62.4% Cu, 36.8%Zn,0.4%Pb,0.3%Al                            | 494.71    | 0.033-0.037       |
| 82.9% Cu, 17.0% Zn   | 530       | 0.03              |
| Hard-rolled, polished, but direction of polishing visible  | 70        | 0.038             |
| แผ่นเรียบด้าน  | 120-660   | 0.22              |
| โครเมียม (ดูโลหะผสมนิกเกิลสำหรับเหล็กกล้า Ni-Cr) ถูกขัดมัน | 100-2000  | 0.08-0.36         |
| ทองแดง   |           |                   |
| ผิวขัดมัน  | 242       | 0.023             |
|  | 212       | 0.052             |
| แผ่นเรียบ, ให้ความร้อนนาน, ปกคลุมด้วยความหนาของชั้นออกไซด์ | 77        | 0.78              |
| ทอง, บริสุทธิ์, ขัดมันมาก                                  | 440-1160  | 0.018-0.035       |
| เหล็กและเหล็กกล้า (ไม่รวมสแตนเลส)                          |           |                   |
| เหล็กกล้า, ถูกขัดมัน                                       | 212       | 0.066             |
| เหล็ก, ถูกขัดมัน   | 800-1880  | 0.14-0.38         |
| เหล็กหล่อ  | 72        | 0.44              |
| ผิวออกไซด์   |           |                   |
| Iron place] pickled] then rusted red                       | 212       | 0.31              |
| เหล็ก, ผิวสีดำเทา  | 1700-2040 | 0.87-0.95         |
| Rough ingul iron   | 75        | 0.8               |
| แผ่นเหล็กกล้าแข็งแรง, มีชั้นออกไซด์หยาบ                    |           |                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ข-2 แสดงค่าการปล่อยออกของวัสดุ (ต่อ)

| ผิว                                 | T (°F)   | ค่าการปล่อยออก(E) |
|-------------------------------------|----------|-------------------|
| โลหะและออกไซด์อื่น ๆ                |          |                   |
| ตะกั่ว                              |          |                   |
| ไม่ทำการออกซิไดซ์, 99.96% บริสุทธิ์ | 240-440  | 0.057-0.075       |
| ออกซิไดซ์สีเทา                      | 75       | 0.28              |
| ออกซิไดซ์, 300°F                    | 390      | 0.63              |
| แมกนีเซียม,แมกนีเซียมออกไซด์        | 530-1520 | 0.55-0.20         |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้