อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# โครงการ การศึกษาผลกระทบจากการระบายอากาศ ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศในที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทย

# (The Impact of Ventilation on Relative Humidity of Air-conditioned Room in Houses and Small Offices in Thailand)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 12 มิ.ย. 2558
เลขทะเบียน
เลขเรียกหนังสือ ว TH
2556

โดย ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์

กันยายน 2556

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องปรับอากาศขนาดเล็กเช่น อาคารบ้านพักอาศัยและ สำนักงาน ที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ด้วยการทำชุดเติมอากาศ เพื่อให้ห้องมีปริมาณการระบายอากาศที่สะอาดและเพียงพอต่อความต้องการตามมาตรฐาน และ จากนั้นจะใช้ชุดเติมอากาศ นี้ทำการศึกษาผลจากอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ การหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และรูปแบบของการระบายอากาศ ที่กระทบต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ จากการทดลองพบว่าอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ มีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายใน ห้องปรับอากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำในช่วงกลางวันและมีค่าสูงกว่าใน กลางคืน ช่วงเช้าและเย็น ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ส่วนการหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศในช่วงภาระการทำความเย็นน้อย (Part load) จะส่งผลให้ความชื้นของห้องเพิ่มขึ้น ในส่วนการใช้ชุดเติมอากาศเพื่อศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศพบว่าการนำอากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าห้องจะทำให้ห้องมีความชื้นน้อยกว่าการส่งอากาศเข้าห้องโดยตรง ซึ่งจากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ นอกจากนั้นแนวคิดของชุดเติมอากาศในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศ ในการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน การระบายอากาศ การควบคุมความชื้น

# Abstract

This research aims to improve indoor air quality in small room such a residential and small office that use split type air-conditioners by making ventilation device to make fresh air more hygienic and adequate for standard requirements. Then, this ventilation device will be used to study how outdoor air used in ventilation, the pause of compressor, and patterns of ventilation can affect the room relative humidity. The results showed that outdoor air used in ventilation does have effects on relative humidity: the room relative humidity is low in the afternoon and high in the morning and evening as is the outside relative humidity. The pause of compressor during part load is found to cause room humidity to increase. Finally, the study of ventilation patterns showed that the transfer of ventilation through air-conditioner (from outdoor to indoor) results in lower humidity than when transferring air ventilation directly into the room. This knowledge can be applied to control the humidity when split type air-conditioners are used. Additionally, manufacturers can apply the concept of ventilation device in accompany with general split type air-conditioners.


**Keywords:** Indoor air quality, Split type air-conditioner, Ventilation, Humidity control

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนอุดหนุนการวิจัย กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีพ.ศ. 2555 และงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มวิจัยด้านพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ขอขอบคุณ นายจุฑาวัชร สุวรรณภพ นายนฤพล สร้อยวัน นายกฤษฎา ปิ่นชัยมูล นายณัฐพงศ์ แก้วใส นายอรรถสิทธิ์ ต๊ะศรีนิสิตปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งช่วยเก็บข้อมูลการทดลองและมีส่วนช่วยให้การทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเกิดจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ | จ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | **1** |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 3 |
| **1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ** | **3** |
| **1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย** | **3** |
| **บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี** | **4** |
| 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ | 4 |
| 2.2 คุณสมบัติของอากาศชื้นและกระบวนการในระบบปรับอากาศ | 5 |
| 2.3 ความสบายเชิงความร้อน และคุณภาพของอากาศ | 8 |
| 2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง | 10 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย** | **14** |
| 3.1 ห้องทดลอง บ้านที่ใช้ทดลอง และ ห้องสำนักงานที่ใช้ทดลอง | 14 |
| 3.2 การดำเนินการทดลอง | 17 |
| 3.3 เครื่องมือวัด | 21 |
| **บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์** | **24** |
| 4.1 ผลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง | 24 |
| 4.2 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเครื่องทำงานและหยุดทำงานที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ | 27 |
| 4.3 ผลของการตั้งอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง | 29 |
| 4.4 ผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง | 30 |
| **บทที่ 5 สรุป** | **34** |

| | |
|---|---|
| เอกสารอ้างอิง | 35 |
| ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของการทดลอง | 38 |
| ภาคผนวก ข รูปในงานวิจัย | 51 |
| ภาคผนวก ค มาตรฐานของการระบายอากาศ | 58 |
| ภาคผนวก ง การเผยแพร่งานวิจัย | 62 |
| ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัยวิจัย | 72 |


มหาวิทยาลัยนเรศวร

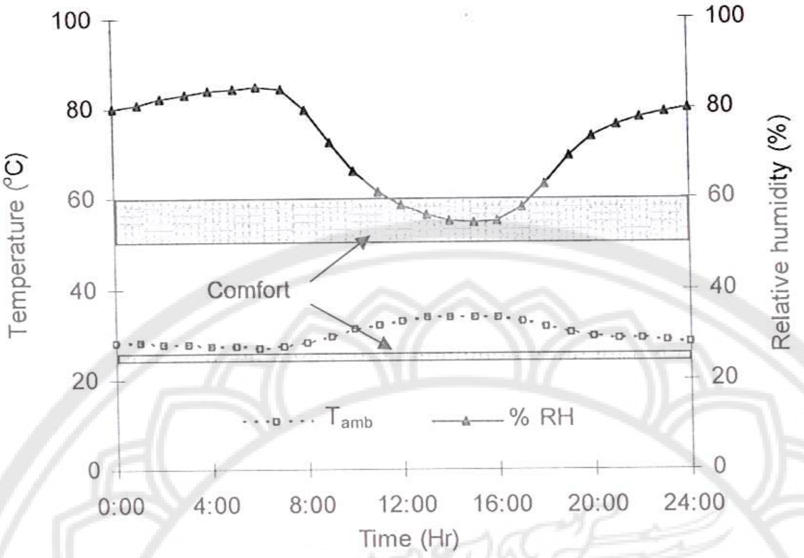
# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การปรับสภาวะอากาศภายในอาคารต้องคำนึงถึง ความสบายทางความร้อน (Thermal comfort)[1] ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเย็น กิจกรรมที่ทำ และเสื้อผ้าที่สวมใส่ หรือแม้กระทั่งความแตกต่างทางเพศและวัย นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องของ คุณภาพของอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality; IAQ)[2] ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาควบคู่กันไปด้วย โดยทั่วไปอากาศมักมีการปนเปื้อนทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และจากที่มนุษย์สร้างขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของฝุ่นควัน ไอ หรือก๊าซ การติดเชื้อทางเดินหายใจและโรคภูมิแพ้ การปนเปื้อนของเชื้อโรคหรือจุลชีวะทางอากาศ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และ ไรฝุ่น เป็นสาเหตุของปัญหาสุขภาพของผู้อยู่อาศัยภายในห้องปรับอากาศ[3,4] การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร[5] เพื่อให้บรรยากาศในอาคารมีคุณภาพดี สามารถทำได้โดยกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือแหล่งกำเนิดมลพิษโดยตรง สร้างสภาวะของอากาศให้มีความต้านทานต่อการเกิดของเชื้อโรค รวมทั้งใช้การระบายอากาศโดยนำอากาศที่สะอาดจากภายนอกเข้ามาเจือจาง โดยปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่นำเข้ามาในอาคารต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดใน ASHRAE Standard 62-1989 หรือ มาตรฐานการระบายอากาศตามกฎกระทรวง

สำหรับการปรับอากาศในที่พักอาศัย และสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทย มักจะนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) เนื่องจากมีราคาถูกและติดตั้งง่ายเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ โดยการปรับสภาวะอากาศสำหรับที่พักอาศัย และอาคารสำนักงานขนาดเล็ก มักจะไม่มีระบบการระบายอากาศที่ดี การระบายอากาศจะอาศัยอากาศจากภายนอกที่แทรกซึมผ่านส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างเข้ามาโดยไม่มีการควบคุมปริมาณการระบายอากาศ หรือหากมีระบบการระบายอากาศมักจะเป็นการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้องปรับอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) โดยตรง ไม่ผ่านเครื่องปรับอากาศก่อน อากาศจากภายนอกนี้จะเข้ามาผสมกับอากาศภายในห้องและสัมผัสกับผู้อาศัยโดยตรง ซึ่งปกติการปรับอากาศมักจะคำนึงเฉพาะการลดอุณหภูมิของห้องเป็นสำคัญ เครื่องปรับอากาศจะทำงานตามระดับอุณหภูมิของห้องที่ตั้งค่าไว้ ดังนั้นการระบายอากาศที่ใช้กับสำนักงานขนาดเล็กรวมถึงที่พักอาศัยในปัจจุบัน ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องจะมีค่าสูงหรือต่ำตามปริมาณความชื้นที่เข้ามาตามช่วงเวลาการใช้งาน ทั้งนี้สภาพของอากาศในประเทศไทยซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละช่วงของวันตามรูปที่ 1.1 โดยในช่วงกลางวันที่มีอุณหภูมิสูงค่าของความชื้นจะต่ำ แต่ในช่วงกลางคืนจะตรงข้ามกัน ดังนั้นการนำอากาศระบายเข้าห้องปรับอากาศโดยตรงไม่มีการควบคุม จะทำให้ไม่สามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ของห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งปกติในประเทศไทยอยู่ในช่วงประมาณ 50-60 %RH[6] ซึ่งผลจากความชื้นนั้นจะทำให้มีการเจริญเติบโตและคงไว้ของเชื้อโรค ของโรคติดเชื้อหรือโรคภูมิแพ้ การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือ ไวรัส และเชื้อโรคต่าง ๆ อีกเป็นจำนวนมาก[7] และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำเกินไป ทำให้มีการระคายเคืองกับดวงตา ผิวแห้งทำให้เกิดอาการคัน[8] ดังนั้นการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับสำนักงานขนาดเล็กรวมถึงที่พักอาศัย หากมีการการระบายอากาศให้ได้ตามข้อกำหนด และควบคุมให้ผ่านเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง อีกทั้งปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีการแข่งขันกันในเรื่องของประสิทธิภาพของการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับ

อากาศด้วยการกรอง ดังนั้นหากมีการควบคุมให้อากาศระบายผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนถูกส่งเข้ากับห้อง นอกจากจะควบคุมความชื้นให้เหมาะสมแล้ว ยังสามารถทำให้คุณภาพของอากาศภายในอาคารดีขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย




**รูปที่ 1.1** ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของประเทศไทย

การควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศในปัจจุบันยังมีค่าใช้จ่ายสูง และต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพิ่มเช่น เครื่องให้ความชื้น เครื่องให้ความร้อน อีกทั้งมักจะทำในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่[9, 10, 11] สำหรับระบบปรับอากาศในบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก แม้ว่ามีงานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัย ทำการศึกษาวิจัยการควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศขนาดเล็ก โดยใช้ผลจากการเพิ่มลดอัตราการไหลของลมเย็นที่คอยล์เย็นมาช่วยในการควบคุมความชื้น[12,13] แต่อย่างไรก็ตามสำหรับภูมิภาคในเขตร้อนชื้นผลของการระบายอากาศย่อมมีผลต่อระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ความแตกต่างกันของการระบายอากาศโดยนำอากาศภายนอกเข้าห้องปรับอากาศโดยตรงกับการนำมาผ่านเครื่องปรับอากาศก่อนส่งเข้าห้องก็ย่อมส่งผลต่อระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่แตกต่างกัน หากประยุกต์ใช้หลักการของการระบายอากาศเข้ามาช่วยปรับปรุงระดับความชื้นของห้องให้เหมาะสมก็จะส่งผลให้มีคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีขึ้น ซึ่งปัจจุบันยังขาดการศึกษาวิจัยในส่วนนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่ จะทำการศึกษาทดลองทั้งในห้องทดลองและในที่พักอาศัยจริง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก ในกรณีที่มีการนำอากาศระบายเข้าห้องปรับอากาศโดยตรง โดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) กับกรณีมีการควบคุมระบบการระบายอากาศด้วยการนำอากาศระบายผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง โดยผสมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกกับลมกลับ (Return air) หลังจากนั้นจึงเข้าเครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น ส่งเป็นลมเย็นออกจากเครื่องปรับอากาศหรือเรียกว่า ลมจ่าย (supply air) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้อากาศระบายเข้ามาช่วยปรับปรุงระดับความชื้นของห้องสำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทยต่อไป ซึ่งนอกจากจะทำให้ห้องมีปริมาณอากาศระบายที่เหมาะสมแล้ว ยังรักษาระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องส่งผลกับคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีขึ้น โดยการระบายอากาศในงานวิจัยนี้จะใช้ทั้งหลักการกรองสิ่งปนเปื้อนรวมถึงการระบายอากาศที่เพียงพอตามมาตรฐานเป็นสำคัญ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลกระทบต่อความชื้นสัมพัทธ์จากการระบายอากาศในระบบปรับอากาศ สำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทย

1.2.2 ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการระบายอากาศโดยนำอากาศเข้าห้องปรับอากาศโดยตรงโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) กับผลของการนำอากาศระบายผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 บุคลทั่วไปทราบถึงวิธีการใช้การระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ

1.3.2 เป็นข้อมูลสำหรับผู้ผลิตในการผลิตเครื่องปรับอากาศ ให้มีชุดการระบายอากาศให้เหมาะกับสภาวะความสบายและคุณภาพอากาศสำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทย

1.3.3 นิสิตนักศึกษา หรือผู้สนใจ นำไปประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศร่วมกับการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อไป

1.3.4 เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในการควบคุมความชื้น

1.3.5 เป็นแนวทางด้านทฤษฎีให้กับการศึกษาค้นคว้าเพื่อการทดลองขั้นสูงต่อไป

### 1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1.4.1 นำเสนอในการประชุมวิชาการ

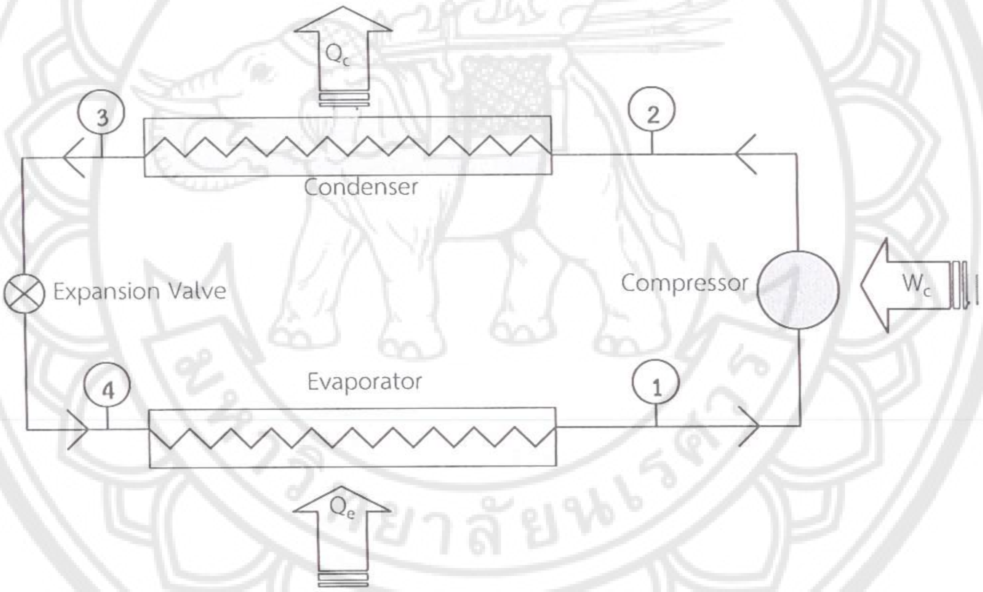
1.4.2 ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# บทที่ 2
# หลักการและทฤษฎี

## 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

เครื่องปรับอากาศนั้นมีพื้นฐานมาจาก วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจในหลักการเบื้องต้นสำหรับ วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ[14] โดยพื้นฐานจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วขยายตัว และอีวาปอเรเตอร์ ดังรูปที่ 2.1 การทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เริ่มจากคอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นซึ่งอยู่ในสภาวะไอที่จุดที่ (1) และอัดเพื่อที่จะทำให้สารทำความเย็นมีความดันและอุณภูมิสูงขึ้น ตามกระบวนการไอเซนทรอปิก (Isentropic Process) ที่จุด (2) จากนั้นสารความเย็นที่เป็นแก๊สจะถูกส่งมาถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัว ตามขบวนการคายความร้อน สารทำความเย็นก็จะควบแน่นจนกลายเป็นสารทำความเย็นที่มีความดันสูงที่จุด (3) จากนั้นถูกส่งผ่าน เอ็กเพนชั่นวาล์ว หรือแคปทิวป์เพื่อลดความดันและเข้าอีวาปอเรเตอร์ ที่จุด (4) ซึ่งในอีวาปอเรเตอร์สารทำความเย็นเหลวจะเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ




รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

สำหรับสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นมักจะระบุในเทอมของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) การทำความเย็น ซึ่ง

$$COP = \frac{\text{ความร้อนที่ได้รับประโยชน์จากระบบ}}{\text{งานที่ใส่ให้กับระบบ}} \tag{2.1}$$

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} = \frac{Q_e}{Q_c - Q_e} = \frac{m_r(i_1 - i_4)}{m_r(i_2 - i_1)} = \frac{(i_1 - i_4)}{(i_2 - i_1)} \tag{2.2}$$

โดยที่ $Q_e$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาปอเรเตอร์, kW

$Q_c$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์, kW

$W_c$ คือ กำลังงานของคอมเพรสเซอร์, kW

$m_r$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s

$i_1, i_2$ คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ, kJ/kg

$i_2, i_3$ คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าและออกจากคอนเดนเซอร์ตาม, kJ/kg

$i_4$ คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากวาล์วขยายตัว, kJ/kg

สำหรับค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ คืออัตราส่วนประสิทธิภาพ (Energy efficiency ratio; EER) มีหน่วยเป็น Btu/hr/W ถ้าค่า EER สูงแสดงว่าเครื่องปรับอากาศนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานดี โดยสำหรับประเทศไทยตามมาตรฐาน มอก. (พ.ศ. 2549) สำหรับเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ค่าของ EER ต้องมากกว่า 10.6 โดยที่ค่าของ EER สามารถหาได้จากสมการ

$$EER = 3.412 \times COP \qquad (2.3)$$

## 2.2 คุณสมบัติของอากาศชื้นและกระบวนการในระบบปรับอากาศ[2]

ในระบบปรับอากาศจะพิจารณาอากาศเป็นอากาศชื้นซึ่งประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้

จุดน้ำค้าง (Dew Point) คือ อุณหภูมิไออิ่มตัวของไอน้ำในอากาศของอากาศในขณะนั้น ซึ่งสามารถหาได้จากตารางไอน้ำหรือสมการ สำหรับอากาศในช่วง 0 °C ถึง 93 °C

$$t_d = 6.54 + 14.526(\ln P_v) + 0.7389(\ln P_v)^2 + 0.09486(\ln P_v)^3 + 0.4569(\ln P_v)^{0.1984} \qquad (2.4)$$

โดยที่ $P_v$ คือ ความดันไอน้ำในอากาศของอากาศในขณะนั้น, kPa

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ สัดส่วนโดยโมลของไอน้ำต่อโมลของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{P_v}{P - P_a} \qquad (2.5)$$

โดยที่ $\phi$ คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์, %

$P$ คือ ความดันบรรยากาศ, kPa

$P_v$ คือ ความดันความดันย่อยของไอน้ำ, kPa

$P_{vs}$ คือ ความดันความดันไออิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้น, kPa

$P_a$ คือ ความดันความดันย่อยของอากาศแห้ง, kPa

สำหรับค่าของความดันไออิ่มตัวของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นหาได้จากตารางไอน้ำ หรือ สมการสำหรับอากาศ ช่วงอุณหภูมิ 0 °C ถึง 200 °C คือ

$$P_{vs} = \exp^{\left(\frac{c_1}{T}+c_2+c_3T+c_4T^2+c_5T^3+c_6\ln T\right)} \tag{2.6}$$

โดยที่ $T$ คือ อุณหภูมิของอากาศ, K

$c$ คือ ค่าคงที่

ซึ่ง $c_1$ = -5008.2206, $c_2$ = 1.3914993, $c_3$ = -0.04860239,

$c_4$ = 4.1764768×10$^{-5}$, $c_5$ = -1.445209×10$^{-8}$ และ $c_6$ = 6.5459673

ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คือ อัตราส่วนของมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งในอากาศ สามารถหาได้จากสมการ

$$\omega = \frac{0.622P_v}{(P-P_v)} = \frac{0.622\phi P_{vs}}{(P-\phi P_{vs})} \tag{2.7}$$

โดยที่ $\omega$ คือ อัตราส่วนความชื้น, kg/kg$_{dry\ air}$

ในระบบปรับอากาศเพื่อที่จะรักษาสภาวะพื้นที่ให้มีอุณหภูมิและความชื้นตามที่ออกแบบ จะต้องกำจัดความร้อนที่เข้าห้องปรับอากาศซึ่งจะประกอบด้วย ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (latent heat) หรือความชื้น อัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนทั้งหมด เรียกว่า ค่าความร้อนสัมผัส (Sensible heat ratio, SHR) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$SHR = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l} \tag{2.8}$$

โดยที่

$Q_s$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัส, kW

$Q_l$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝง, kW

หากเป็นส่วนของความร้อนที่เข้าสู่ห้องปรับอากาศ SHR จะถือว่าเป็นค่าความร้อนสัมผัสของภาระความร้อน (Application SHR) หากพิจารณากระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นที่อีวาปอเรเตอร์ ค่าความร้อนสัมผัสของอีวาปอเรเตอร์จะเรียกว่า ค่าความร้อนสัมผัสของอีวาปอเรเตอร์ (Equipment SHR) ซึ่งหาจากสมการที่ 5.8 เช่นเดียวกัน โดยปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงที่ถ่ายเทที่อีวาปอเรเตอร์ สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$Q_s = m_a c_{pa}(t_{ai} - t_{ao}) \tag{2.9}$$

และ $$Q_l = m_a\left(i_{fg}\right)\left(\omega_i - \omega_o\right) \qquad (2.10)$$

โดยที่ $t_{ai}$ คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทางเข้าอีวาปอเรเตอร์, °C

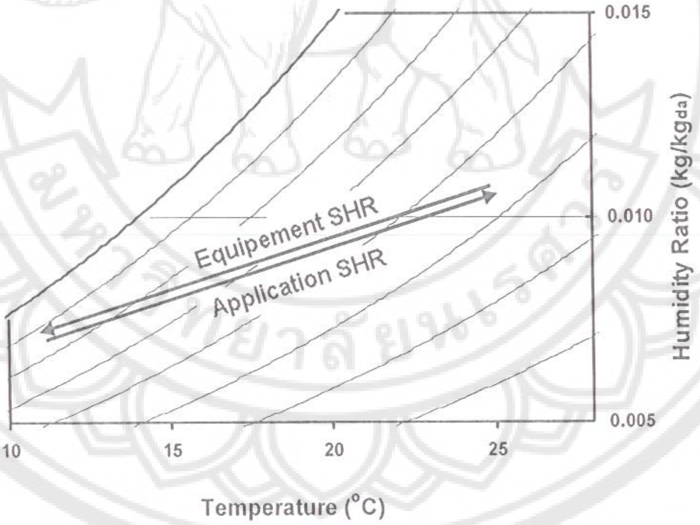
$t_{ao}$ คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทางออกอีวาปอเรเตอร์, °C

$\omega_i$ คือ ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางเข้าอีวาปอเรเตอร์, $kg/\ kg_{dryair}$

$\omega_o$ คือ ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางออกอีวาปอเรเตอร์, $kg/\ kg_{dryair}$

$i_{fg}$ คือ ปริมาณเอนทัลปีจากการกลั่นตัว, kJ/kg

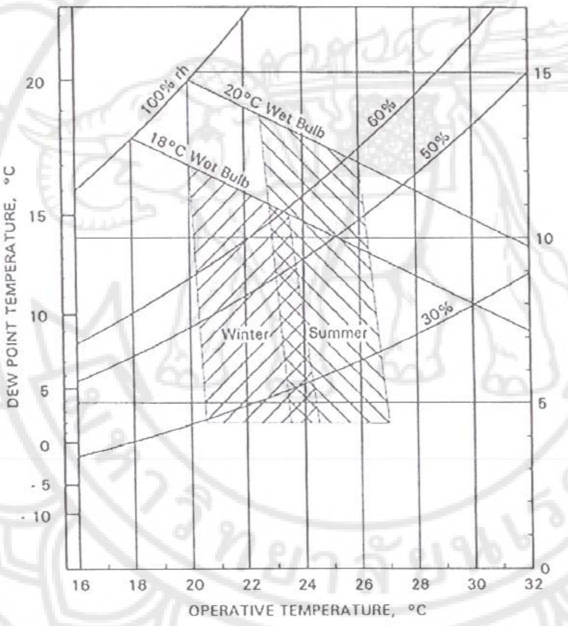
โดยในระบบปรับอากาศปกติ เครื่องปรับอากาศจะส่งลมเย็น (Supply air) เพื่อกำจัดความร้อนที่เข้าห้องปรับอากาศ เมื่อเข้าสู่สภาวะที่ออกแบบและจะดึงลมกลับเข้าผสมกับอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ แล้วอากาศผสมจึงเข้าอีวาปอเรเตอร์ แต่สำหรับการปรับอากาศขนาดเล็ก หรือในบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ ลมเย็นที่ส่งจากอีวาปอเรเตอร์จะผสมกับอากาศระบาย จนเข้าสู่สภาวะที่ออกแบบ ดังนั้น เส้นทางในไซโครเมตริก สำหรับการปรับอากาศขนาดเล็กในสภาวะสมดุล[15] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 ค่าความร้อนสัมผัส ของภาระความร้อน (Application SHR) และค่าความร้อนสัมผัสของอีวาปอเรเตอร์ (Equipment SHR) ในสภาวะสมดุล

## 2.3 ความสบายเชิงความร้อน และคุณภาพของอากาศ

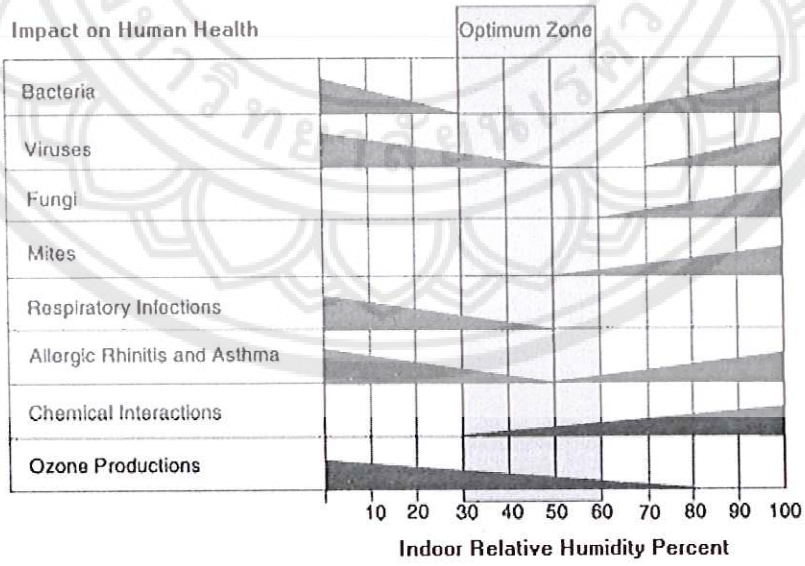
ความสบายเชิงความร้อน (Human thermal comfortable)[16] จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสมดุลทางความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายที่ 98.6°F (36.9°C) ร่างกายมนุษย์จะมีการผลิตความร้อนเนื่องจากการเผาผลาญอาหาร และมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ โดยการนำความร้อนการพาความร้อน และการแผ่รังสี หากร่างกายมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าที่ผลิตขึ้นก็จะรู้สึกเย็น ถ้าผลิตได้มากกว่าก็จะรู้สึกร้อนขึ้น ASHRE Standard[17] ได้ทำการศึกษา วิจัยและได้กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสบายเชิงความร้อน คือ อุณหภูมิ ความชื้น กิจกรรมที่ทำ ลักษณะเสื้อผ้า ความเร็วลมที่สัมผัสร่างกาย และอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยของพื้นผิวในทุก ๆ ด้านที่ล้อมรอบร่างกาย ปกติในการปรับอากาศโดยทั่วไปตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิ และความชื้น โดยช่วงของความสบายในการปรับอากาศสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 5.3 สำหรับประเทศไทย อุณหภูมิในห้องที่มีการปรับอากาศที่ 25-26 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50-60%[18] นั้นเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับความสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศ




รูปที่ 2.3 ช่วงของความสบายเชิงความร้อนตาม ASHRE Standard (Standard 55-1994)

การออกแบบสภาวะของอากาศภายในของอาคารต่าง ๆ ควรต้องคำนึงถึงคุณภาพของอากาศ (Indoor Air Quality: IAQ) [80] โดยปกติสภาพของอากาศภายในอาคารมักจะพิจารณาอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมที่สัมผัสร่างกาย และอุณหภูมิแผ่รังสีของผิวรอบ ๆ ด้านโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ความสบาย (Comfortable) เป็นหลัก ซึ่งการพิจารณา ความสบาย แต่ไม่คำนึงถึงเรื่องของสุขภาพความปลอดภัยเป็นสาเหตุของโรคร้ายต่าง ๆ ในอาคารสมัยใหม่มีวัสดุเครื่องใช้ที่ทำให้เกิดฝุ่น ขนหรือมลพิษต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้คนในอาคารเป็นโรคชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Sick building Syndrome ASHRAE ได้มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา IAQ ที่ยอมรับได้ ต้องไม่มีมลพิษในอากาศที่มีปริมาณความเข้มข้นมากพอจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ การหายใจเป็นไปอย่างสะดวก คนในอาคารอย่างน้อย 80% ต้องไม่แสดงออกถึงความไม่พอใจในสภาพอากาศนั้น

ความชื้นเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญกับ IAQ โดย ASHRAE Standard 62-2001[2] กำหนดช่วงความเหมาะสมของช่วงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 30 %RH- 60 %RH และสำหรับช่วงค่าความชื้นที่มีผลกับสุขภาพของผู้อาศัยในอาคารแสดงได้ตามรูปที่ 5.4 ความชื้นสัมพัทธ์สูงและต่ำเป็นเหตุให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทางกายภาพ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำอาจเป็นสาเหตุของการระคายเคืองนัยน์ตาอีกด้วย และความชื้นที่สูงในระดับที่เหมาะสมจะช่วยลดความรุนแรงของโรคหอบหืด[19] ความชื้นสัมพัทธ์มีผลโดยตรงต่อเยื่อบุเมือกของแต่ละบุคคล ซึ่งมีอาการสัมพันธ์กับอาการของโรคการหดตัวของหลอดลม โรคโพรงจมูกหรือเยื่อจมูกอักเสบ และโรคไข้หวัดใหญ่ ความชื้นสัมพัทธ์มีผลโดยตรงเป็นอย่างมากต่อสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่ความชื้นสูงและอุณหภูมิสูง มันจะลดการระเหยความร้อนของร่างกายอันเป็นเหตุให้เกิดความรู้สึกไม่สบายและนำไปสู่โรคลมชัก อ่อนเพลียเมื่อยล้า[20]




รูปที่ 2.4 ความชื้นสัมพัทธ์กับการเจริญเติบโตของเชื้อโรค (ASHRAE Standard 62-2001)

## 2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

Yamtraipat และคณะ[18] ได้เสนอผลการวิจัยสำหรับความสบายเชิงความร้อนจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 1520 คนจากภูมิภาคที่มีภูมิอากาศต่าง ๆ ในประเทศไทย และทำการการสำรวจในระบบปรับอากาศแบบต่าง ๆ ทั้งในอาคารสำนักงานและที่พักอาศัย โดยนอกจากพิจารณาตัวแปรพื้นฐานคือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วของอากาศ ยังได้พิจารณาตัวแปรด้านของการปรับตัวเข้ากับภูมิอากาศและระดับของความรู้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณา และแบ่งภูมิอากาศในประเทศไทยออกเป็น 3 โซน จากงานวิจัยพบว่าสำหรับประเทศไทยอุณหภูมิในห้องที่มีการปรับอากาศที่ 26 °C และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50-60% นั้นเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับความสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศ

Yamtraipat และ Khedari[21] ได้เสนอการประเมินการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานในประเทศไทย เมื่อตั้งระดับค่าของอุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐาน 25 °C เป็น 26 °C โดยการใช้ข้อมูลจาก 13 อาคารซึ่งมีจำนวนห้องปรับอากาศรวม 147 ห้อง และใช้แบบจำลองเพื่อเทียบกับการใช้พลังงานของประเทศ ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าหากมีการตั้งระดับของอุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐาน 25 °C มาเป็น 26 °C จะทำให้มีการประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศ 804.60 GWh/year นอกจากนั้นจะลดปริมาณการเพิ่มขึ้นของมลภาวะ ($CO_2$) จากโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า 579.31×103 tons/year

Khedari และคณะ[22] นำเสนอการจัดสภาพภูมิอากาศของสถานที่ต่างๆในประเทศไทย ออกเป็นโซนของสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างคล้ายกันตามข้อมูลของ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเป็นข้อมูลการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในที่อยู่อาศัย, ความสบายทางความร้อนและ อื่น ๆ โดยใช้ข้อมูล18 ปีของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ที่บันทึกจากกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยจาก 73 สถานีทำการศึกษาและวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ และได้แยกแผนที่ตามตำแหน่งของแผนที่โดยปรับตามการกั้นเขตจังหวัดและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ออกเป็นสามโซนอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ชื่อ T1, T2 และ T3 กับช่วง 12 - 38 °C, 16 -38 °C และ 20 -38 °C และแผนที่สี่โซนความชื้นสัมพันธ์ที่ชื่อว่า H1, H2, H3 และ H4 คือช่วง 30-100 %RH, 41-100 %RH, 50-100 %RH และ 59-100 %RH ทำให้เห็นถึงความแตกต่าง ของสภาพของอากาศในประเทศไทย ได้เป็นอย่างดี

Arundel และคณะ[23] เสนอผลการศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศที่มีต่อสุขภาพพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลกระทบต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจและโรคภูมิแพ้ โดยการแพร่เชื้อไวรัส และแบคทีเรีย จะน้อยลงในช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์ 40 %RH-70%RH จำนวนของไรฝุ่นจะน้อยสุดเมื่อ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50 %RH และมากสุดที่ 80 %RH ส่วนการขาดงานจะน้อยลงสำหรับที่ทำงานและการติดเชื้อทางเดินหายใจทั้งที่ทำงานและที่พักอาศัยจะน้อยลงในช่วง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับกลาง 40 %RH-70%RH นอกจากนั้นยังเสนอแนะให้มีการเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอาคารสำหรับช่วงฤดูหนาวซึ่งความชื้นต่ำ

Lowen และคณะ[24] ได้ทำการทดลองกับหนูตะเภา เพื่อศึกษาการแพร่เชื้อหวัดทางอากาศ โดยทำการทดลองเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิ 5 °C, 20 °C และ 30 °C ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ไล่ระดับตั้งแต่ 20 %RH - 80 %RH จากผลการทดลองพบว่า เชื้อหวัดจะมีชีวิตอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิ 5 °C นานกว่าที่ 20 °C ประมาณ 40 ชั่วโมง สำหรับการติดเชื้อหวัดจะง่ายกว่าที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 20 %RH -35 %RH มีการติดเชื้อหวัดน้อยลงเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50 %RH แต่จะมีการติดเชื้อหวัดเพิ่มขึ้นอีกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 %RH และจะไม่มีการติดเชื้อหวัดเลย เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 80 %RH ซึ่งผู้ทำวิจัยสรุปว่าการแพร่เชื้อหวัดทางอากาศจะขึ้นกับทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การที่อากาศแห้งและเย็นจะทำให้มีการติดเชื้อหวัดได้ง่าย

Wolkoff และ Soren[25] เสนอผลจากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา เกี่ยวกับผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมีต่อคุณภาพของอากาศภายในอาคารในระยะสั้นและระยะยาวอย่างไร ได้ข้อสรุปว่าการสำรวจคุณภาพของอากาศภายในอาคารในระยะสั้น เพียงแค่อากาศในอาคารมีสภาวะเย็นและแห้ง ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารจะรู้สึกสบาย แต่เมื่อการสำรวจคุณภาพของอากาศภายในอาคารในระยะยาวค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าต่ำ จะพบว่ามีผลกับเยื่อบุในตาส่งผลต่อการระคายเคืองตากับผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 40 %RH จะมีผลต่ออาการระคายเคืองตาน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 30 %RH จึงได้เสนอข้อแนะนำการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เพื่อคุณภาพของอากาศภายในอาคารในระยะยาว

Henderson และคณะ[26] ได้ศึกษาผลกระทบต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ จากการควบคุมสภาวะความสบายทางความร้อนแทนการควบคุมอุณหภูมิคงที่ โดยใช้สภาวะความสบายทางความร้อน 3 แบบในการวิเคราะห์คือ New effective temperature (ET*), Predict mean vote (PMV) และ modified PMV ซึ่งได้เปรียบเทียบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ และใช้ข้อมูลของรัฐฟรอริดา กับไมอามี คำนวณผลของการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในที่พักอาศัย ด้วยแบบจำลอง ด้วยการลดความชื้นสัมพัทธ์จาก 50 % เป็น 40% ผลของการควบคุมควบคุมสภาวะของห้องปรับอากาศด้วยการควบคุมอุณหภูมิคงที่ ภาระการทำความเย็นจะเพิ่ม 11 % ในขณะที่การควบคุมโดย modified PMV คงที่ ภาระการทำความเย็นจะเพิ่ม 3 % และทำการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ 3 แบบคือ SHR สูง, SHR ปานกลาง และแบบ SHR ต่ำซึ่งใช้ ฮีทไปป์ พบว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วย การควบคุมสภาวะของห้องปรับอากาศแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับระบบของเครื่องปรับอากาศระบบ SHR ปานกลาง โดยพบว่าหากควบคุมด้วยระบบอุณหภูมิคงที่ สำหรับเครื่องปรับอากาศระบบ SHR ต่ำ จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 14.6 % ขณะที่ระบบ ที่มี SHR ต่ำจะใช้พลังงานลดลง 3.1 % ในขณะที่การควบคุมโดย modified PMV จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 5.5 % ขณะที่ระบบ ที่มี SHR ต่ำจะใช้พลังงานลดลง 3.1 % คงที่

Zheng และคณะ[27] ได้ใช้แบบจำลองศึกษารูปแบบของภาระการทำความเย็นทั้งในส่วนของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ของอาคารที่ใช้สำหรับพักอาศัยในประเทศฮ่องกง โดยได้นำข้อมูลของสภาวะอากาศทั้งกลางวัน กลางคืน ในแต่ละฤดูมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นนำผลของภาระการทำความเย็นที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลของสภาวะอากาศดังกล่าว มาหาค่าของภาระการทำความเย็น และ SHR ของห้องปรับอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้อีวาปอเรเตอร์ซึ่งใช้ค่าประมาณที่ 0.7-

0.8 ควบคู่กับค่า SHR ของห้องที่ต้องการปรับอากาศ ซึ่งปกติจะประมาณที่ 0.6-0.7 ร่วมกับภาระการทำความเย็นของห้องปรับอากาศ โดยสภาวะอากาศของห้องใช้ค่าอุณหภูมิ 24 °C และ 50 %RH ซึ่งพบว่าการเพิ่มค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศ จาก 0.65 เป็น 0.75 และ 0.85 จะทำให้ค่าของ %RH ห้องเพิ่มจากช่วง 45%-57% เป็น 52%-62% และ 60%-68% ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าของ SHR ของเครื่องปรับอากาศจะมีผลมากกับค่าของความชื้นภายในห้องปรับอากาศ

Xua และคณะ[28] ได้รูปแบบการควบคุมความชื้นของห้องปรับอากาศแบบ H-L แทนการควบแบบเปิด/ปิด สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบรวมชุด (Package unit) ที่ใช้อีวาปอเรเตอร์ และปรับความเร็วรอบได้ทั้งคอมเพรสเซอร์และพัดลม ด้วยการควบคุมทั้งส่วนของคอมเพรสเซอร์และพัดลม โดยหากอุณหภูมิของห้องปรับอากาศยังไม่ได้เท่าที่ต้องการระบบจะทำงานที่ช่วง H คือคอมเพรสเซอร์และพัดลม ทำงานที่ความเร็วรอบสูง (60 % และ 90% ของความเร็วรอบสูงสุด) เมื่ออุณหภูมิของห้องปรับอากาศได้เท่าที่ต้องการ ระบบจะจะทำงานที่ช่วง L คือความเร็วรอบต่ำลงทั้งคอมเพรสเซอร์และพัดลม (30 % และ 20% ของความเร็วรอบสูงสุด) แทนที่จะหยุดคอมเพรสเซอร์ ซึ่งช่วง L นี้ ค่าของ cooling capacity ของเครื่องจะต่ำลงเพราะความเร็วรอบต่ำลงของคอมเพรสเซอร์ และ SHR ของเครื่องจะต่ำลงเพราะความเร็วรอบต่ำลงของพัดลมเป็นหลัก และได้แยกการทดลองทั้งช่วงอุณหภูมิของห้องปรับอากาศสูงที่ 26 °C และต่ำที่ 24 °C รวมถึงช่วงอากาศภายนอกในสภาวะแห้งและชื้น พบว่าการควบคุมแบบ H-L ช่วยให้มีการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นของห้องได้ดีกว่าแบบ เปิด/ปิด โดยเฉพาะการควบคุมความชื้น และสำหรับกับสภาวะอากาศชื้นในการทดลองผลจะออกมาดีกว่าเนื่องจากความเหมาะสมของ SHR ของเครื่อง รวมถึงการควบคุมแบบ H-L ใช้พลังงานรวมลดลง 16 %-18 % และการเพิ่มอุณหภูมิของห้องจาก 24 °C เป็น 26 °C พลังงานรวมโดยเฉลี่ยจะเพิ่ม 4 %-9 %

Lia และ Deng[29,30] ได้หาแนวทางควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของห้องปรับอากาศ ที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบรวมชุด ที่ปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ โดยใช้ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น ร่วมกับระบบการควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และพัดลมที่อีวาปอเรเตอร์ โดยการควบคุมจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของค่า SHR ซึ่งกำหนดให้เท่ากับอัตราส่วนของความร้อนสัมผัสที่ลดจากอากาศกับพลังงานที่เพิ่มขึ้นของสารทำความเย็น โดยการกำหนดค่าของอากาศทางออกที่อีวาปอเรเตอร์มีค่า 95 %RH คงที่ตลอดเวลา และกำหนดค่า SHR ที่เหมาะสมนำมาจากข้อมูลการทดลอง เป็นค่าที่ป้อนเบื้องต้นเมื่อค่า SHR ของห้องเปลี่ยนแปลง ค่าของความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และพัดลมที่อีวาปอเรเตอร์ จะถูกปรับเปลี่ยนเพื่อรักษาค่า SHR ของห้องโดยใช้ช่วงเวลา 3600 sec และรักษาอุณหภูมิและความชื้นของห้องที่ 24 °C และ 50% RH,โดยที่การลดความร้อนสัมผัส จาก 6.0 kW เป็น 4.4 kW และ เพิ่มค่าความร้อนแฝงจาก 1.5 kW ถึง 2.5 kW ส่วนระดับการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และพัดลมที่อีวาปอเรเตอร์จะอยู่ที่ 4488 rpm ถึง 4393 rpm และ 3312 rpm ถึง 1647 rpm ตามลำดับ โดยจากผลการทดลองสามารถควบคุมค่า SHR ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้การใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มาช่วยในการควบคุมพัดลม

Huh และ Brandemuehl[31] ทำการทดลองและทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจุดเหมาะสมในการควบคุมระบบการปรับอากาศโดยพิจารณาทั้งส่วนของความสบายทางความร้อน และการประหยัดพลังงานพิจารณาการควบคุมค่าความร้อนสัมพัทธ์และค่าความร้อนแฝงให้สมดุลกับอุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยการใช้แบบจำลองหาค่าของการใช้พลังงานของทั้ง คอมเพรสเซอร์ พัดลมของอีวาปอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ โดยมีสมมุติฐานที่หากลดความเร็วรอบของพัดลมของอีวาปอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ กำลังที่ใช้กับคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มเนื่องจากอัตราส่วนความดันที่เพิ่มขึ้น ขนาดของระบบที่จำลองสำหรับซูเปอร์มาร์เก็ตขนาด 30 TR ส่วนของคอมเพรสเซอร์ ใช้ข้อมูลจากผู้ผลิต ภาระการทำความเย็นคำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอก ดังนั้นการลดอุณหภูมิห้อง จะเพิ่มภาระการทำความเย็นและพลังงานโดยรวมที่ใช้ แต่สำหรับและความชื้นสัมพัทธ์ถ้าลดลงพลังงานโดยรวมที่ใช้จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากลดพลังงานพัดลมของอีวาปอเรเตอร์ ซึ่งค่าเหมาะสมอยู่ในช่วง 33.5 ถึง 46.9 L/sec

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทดลองทั้งในห้องทดลองและในที่พักอาศัยจริง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก ในกรณีที่มีการนำอากาศระบายเข้าห้องปรับอากาศโดยตรง โดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) กับกรณีมีการควบคุมระบบการระบายอากาศด้วยการนำอากาศระบายผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง โดยผสมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกกับลมกลับ (Return air) หลังจากนั้นจึงเข้าเครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น ส่งเป็นลมเย็นออกจากเครื่องปรับอากาศหรือเรียกว่า ลมจ่าย (supply air) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้อากาศระบายเข้ามาช่วยปรับปรุงระดับความชื้นของห้องสำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 3.1 ห้องทดลอง บ้านที่ใช้ทดลอง และ ห้องสำนักงานที่ใช้ทดลอง

3.1.1 ห้องทดลอง

สำหรับห้องห้องทดลองทำการสร้างชุดทดลองอยู่ภายในห้องขนาด $10 \times 20 \times 3.5\ m^3$ ที่มีการปรับอากาศด้วยระบบชิลเลอร์ โดยชุดทดลองตามรูปที่ 3.1 โดยจะทำการทดลองศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศโดย ตั้งค่าการปรับอากาศของห้องไว้ที่ 25 °C เมื่อทดลองในส่วนนี้แล้วเสร็จ จะนำชุดทดลองนี้ไปติดตั้งในบ้านทดลองต่อไป โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดจะติดตั้งเช่นเดียวกันกับบ้านทดลองในรูปที่ 3.2

3.1.2 บ้านที่ใช้ทดลอง

สำหรับการทดลองนี้ ใช้ห้องนอนในบ้านพักอาศัยโดยมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร โดยผนังทั้งสี่ด้านเป็นผนังคอนกรีตหนา10 เซนติเมตร หน้าต่าง 2 บาน เพดานเป็นยิปซั่มหนา 10 มิลลิเมตร โดยจะแบ่งการทดสอบเป็น 3 แบบคือห้องที่ไม่มีการระบายอากาศห้องที่มีการระบายอากาศเข้า Evaporator โดยตรง และ ห้องที่มีการระบายอากาศเข้า Evaporator กับเข้าห้องในปริมาณที่เท่ากัน ตามรูปที่ 3.2 ในการทดลองนั้น จะทำการวัดและบันทึกค่าต่างๆตามตำแหน่งจากรูปที่ 3.1 ดังนี้คือ

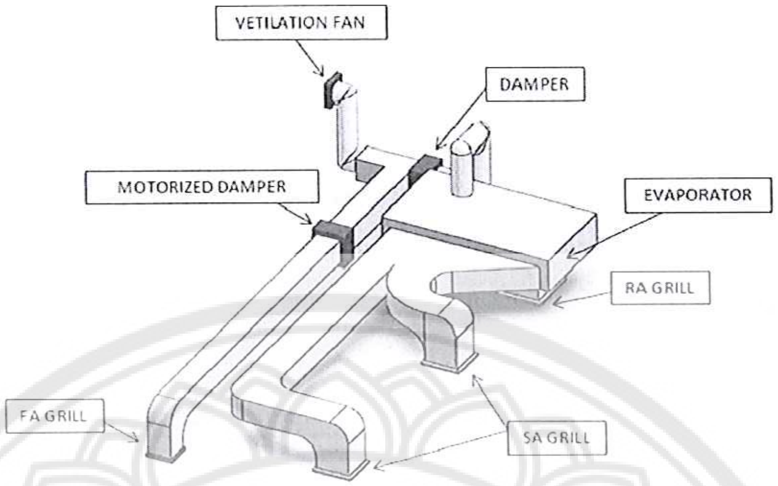
ตำแหน่งที่ 1, 2, และ 3 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง

ตำแหน่งที่ 4 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องปรับอากาศ

ตำแหน่งที่ 5, และ 6 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมภายนอก

ตำแหน่งที่ 7 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัดลมระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง

ตำแหน่งที่ 8 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่องผสมอากาศ Fresh Air กับReturn Air




รูปที่ 3.1 ชุดทดลองผสมอากาศ

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของบ้านทดลองและจุดติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.1.3 ห้องสำนักงานที่ใช้ทดลอง

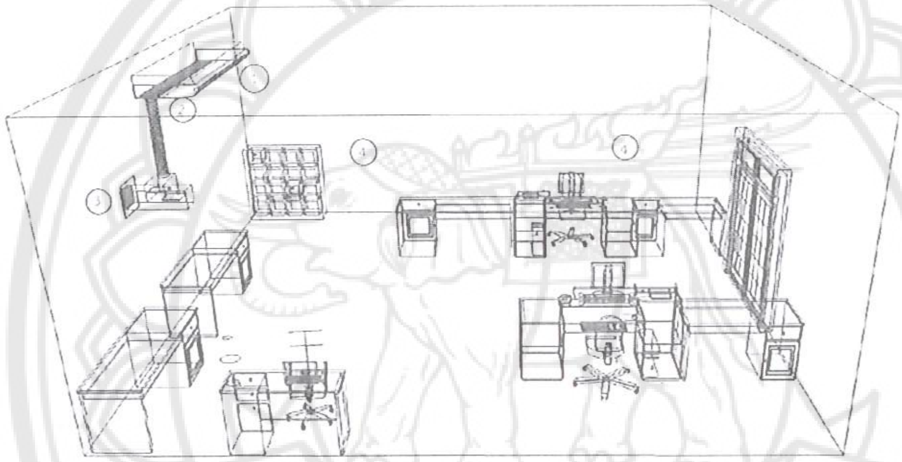
ห้องสำนักงานที่ใช้ทดลองมีขนาด กว้าง 10 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3.5 เมตร เป็นห้องคอนกรีต ภายในห้องทดลองมีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 52,000 BTU ตัว และภายในห้องทดลองจะติดหัววัดตามตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการ อุปกรณ์ชุดเติมอากาศถูกติดตั้งใต้เครื่องปรับอากาศ ตามรูปที่ 3.3 การวัดและบันทึกค่าต่างๆตามตำแหน่งจากรูป 3.3 ดังนี้คือ

ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกคอยล์เย็น

ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าคอยล์เย็น

ตำแหน่งที่ 3 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้อง

ตำแหน่งที่ 4 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้อง



รูปที่ 3.3 ห้องที่ใช้ทดลองและตำแหน่งของหัววัดที่จุดต่างๆ

## 3.2 การดำเนินการทดลอง

3.2.1 ห้องทดลองและ บ้านทดลอง

การทดลอง ทั้งในส่วนห้องทดลองและ บ้านทดลองจะ ศึกษาผลของการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นของห้องที่ไม่มีระบบการระบายอากาศ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นของห้องที่ไม่มีการเปิดระบบระบายอากาศ จะเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ที่25 °C โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C
2) เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
3) ตั้งค่าเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นโดย

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นของห้องที่มีการเปิดระบบระบายอากาศ โดยจะใช้ความเร็วลมที่ 45 cfm (1 คนจะใช้ 15 cfmในห้องมี 3 คน ใช้ 45 cfm)

การทดลองที่ 2.1

ศึกษาผลของการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นของห้องที่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศแบบเข้า Evaporator โดยตรง โดยจะตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 24 °C มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ตั้ง Damper ให้ระบายอากาศเข้า Evaporator
2) ปิด Motorized Damper เพื่อไม่ให้อากาศไหลผ่านเข้าห้องโดยตรง
3) เปิดพัดลมระบายอากาศ
4) ตั้งพัดลมระบายอากาศไว้ที่ความเร็วลมเท่ากับ 45cfm
5) เปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 °C
6) เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
7) ตั้งค่าเครื่องวัดอุณหภูมิแล้วความชื้น

การทดลองที่ 2.2

ศึกษาผลของการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นของห้องที่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศแบบเข้าห้องปรับอากาศโดยตรง 50% และเข้า Evaporator50% โดยจะตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่25 °C มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ตั้ง Damper ให้ระบายอากาศเข้า Evaporator ที่ 50% ของพัดลมระบายอากาศ
2) ปรับ Motorized Damper ให้ระบายอากาศเข้าห้องที่ 50% ของพัดลมระบายอากาศ
3) เปิดพัดลมระบายอากาศ
4) ตั้งพัดลมระบายอากาศไว้ที่ความเร็วลมเท่ากับ 45cfm
5) เปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25°C
6) เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
7) ตั้งค่าเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.2.2 ห้องสำนักงาน

สำหรับห้องสำนักงานจัดทำชุดเติมอากาศและการติดตั้งตามรูปที่ 3.4 ซึ่งภายในชุดเติมอากาศจะมีพัดลมระบายอากาศพร้อมติดตั้งแผ่นกรอง และภายในจะมีแผ่นปรับปริมาณลม โดยในการทดลองจะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลจากรูปแบบของการระบายอากาศ 3 รูปแบบคือ ปิดชุดเติมอากาศ เปิดชุดเติมอากาศโดยปรับแผ่นปรับปริมาณลมให้อากาศเข้าสู่ห้องโดยตรง และเปิดชุดเติมอากาศโดยปรับแผ่นปรับปริมาณลมให้อากาศเข้าสู่ส่วนอีวาปโปเรเตอร์ โดยใช้ปริมาณอัตราการไหลอากาศ 140 cfm (ASHRAE Standard) ตั้งอุณหภูมิการทดลองที่ 25 °C ทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบและในสภาวะ ต่าง ๆ กัน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของการระบายอากาศภายใน Office โดยไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง ซึ่งไม่มีการดูดอากาศภายนอกเข้ามาหรือมีอากาศภายนอกออกไป เพื่อควบคุมอุณหภูมิและดูว่ามีผลกระทบกับความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

2.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

3.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของการระบายอากาศภายใน Office โดยการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง ซึ่งมีการดูดอากาศภายนอกเข้ามาภายในห้องด้วยพัดลมดูดอากาศ จะส่งผลกระทบกับอุณหภูมิและความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องผสมอากาศระบายที่หน้าพัดลมดูดอากาศทางด้านข้างในห้อง

2.) เปิดพัดลมดูดอากาศ

3.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

4.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

5.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

การทดลองที่ 3

ศึกษาผลของการระบายอากาศภายใน Office โดยการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง ซึ่งมีการดูดอากาศภายนอกเข้ามาภายใน Evaporator ก่อนที่จะเข้าห้อง โดยแบ่งลมที่เข้ามาภายใน Evaporator จะส่งผลกระทบกับอุณหภูมิและความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องผสมอากาศระบายที่หน้าพัดลมดูดอากาศทางด้านข้างในห้อง ซึ่งมีท่อลม (flexible duct) ต่อเข้ากับเครื่องผสมอากาศระบายและต่อไปยังทางใต้ของ

เครื่องปรับอากาศซึ่งมีพัดลมดูดอากาศเข้าไปยัง Evaporator

2.) เปิดพัดลมดูดอากาศ

3.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

4.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

5.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

การทดลองที่ 4

ศึกษาผลของการสลับกันโดยไม่มีการระบายอากาศเข้าห้องกับการระบายอากาศเข้าห้อง ซึ่งจะดูการทำงานของเครื่องปรับอากาศและการสลับวิธีทดลองว่ามีผลกระทบกับอุณหภูมิและความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องผสมอากาศระบายที่หน้าพัดลมดูดอากาศทางด้านข้างในห้อง

2.) ปิดพัดลมดูดอากาศเพื่อไม่ให้มีอากาศระบายเข้ามาในห้องทดลอง

3.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

4.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

5.) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จึงทำการสลับมาเปิดพัดลมดูดอากาศเข้าห้อง

6.) ทุกๆ 1 ชั่วโมง จะต้องสลับการเปิดปิดพัดลมดูดอากาศเข้าห้อง

7.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

การทดลองที่ 5

ศึกษาผลของการสลับกันโดยไม่มีการระบายอากาศเข้าห้องกับการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง ซึ่งจะดูการทำงานของเครื่องปรับอากาศและการสลับวิธีทดลองว่ามีผลกระทบกับอุณหภูมิและความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องผสมอากาศระบายที่หน้าพัดลมดูดอากาศทางด้านข้างในห้อง

2.) ปิดพัดลมดูดอากาศเพื่อไม่ให้มีอากาศระบายเข้ามาในห้องทดลอง

3.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

4.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

5.) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จึงทำการสลับมาเปิดพัดลมดูดอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง

6.) ทุกๆ 1 ชั่วโมง จะต้องสลับการเปิดปิดพัดลมดูดอากาศเข้า Evaporator

7.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

การทดลองที่ 6

ศึกษาผลของการสลับกันโดยการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง กับการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง ซึ่งจะดูการทำงานของเครื่องปรับอากาศและการสลับวิธีทดลองว่ามีผลกระทบกับอุณหภูมิและความชื้นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องผสมอากาศระบายที่หน้าพัดลมดูดอากาศทางด้านข้างในห้อง ซึ่งมีท่อลม ( flexible duct ) ต่อเข้ากับเครื่องผสมอากาศระบายและต่อไปยังทางใต้ของเครื่องปรับอากาศซึ่งมีพัดลมดูดอากาศเข้าไปยัง Evaporator

2.) นำท่อลม ( flexible duct ) ที่ต่อกับเครื่องผสมอากาศระบายออกเพื่อให้อากาศ
ภายนอกเข้ามาในห้องโดยตรง

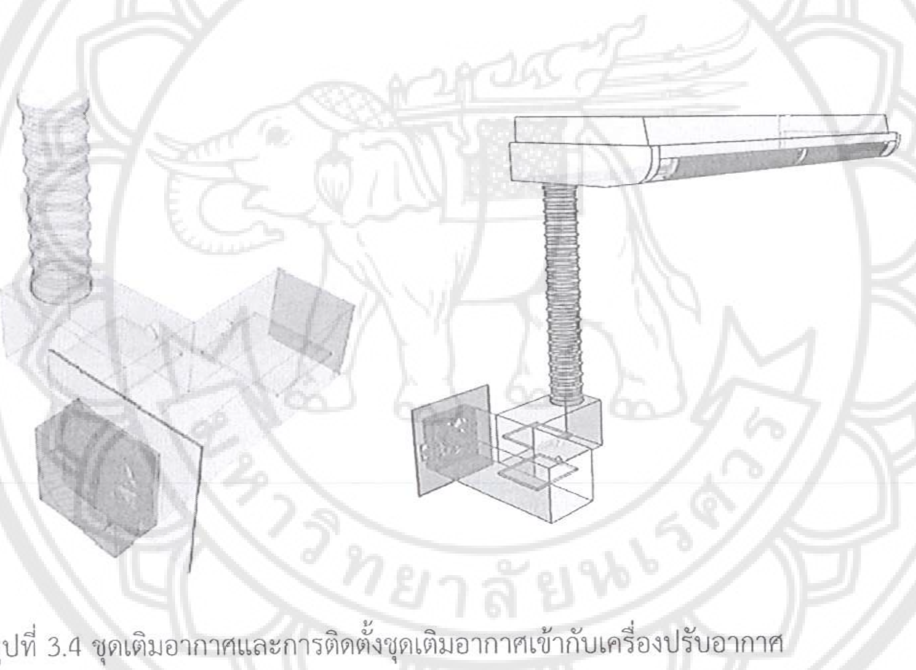
3.) เปิดเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25 °C ตลอดเวลา

4.) เปิดเครื่องมือวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลโดยมีวงจรติดอยู่ที่ปลายหัววัดและต่อกับสายช่องส่งสัญญาณ 5 ตำแหน่ง ซึ่งหัววัด จะนำไปไว้ที่ตำแหน่งต่างๆตามจุดที่ต้องการจะวัด

5) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จึงทำการสลับมาต่อท่อลม ( flexible duct ) เข้ากับเครื่องผสมอากาศระบายและต่อไปยังทางใต้ของเครื่องปรับอากาศซึ่งมีพัดลมดูดอากาศเข้าไปยัง Evaporator

6.) ทุกๆ 1 ชั่วโมงจะต้องสลับการนำท่อลมต่อเข้าออกกับเครื่องผสมอากาศระบาย

7.) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น.

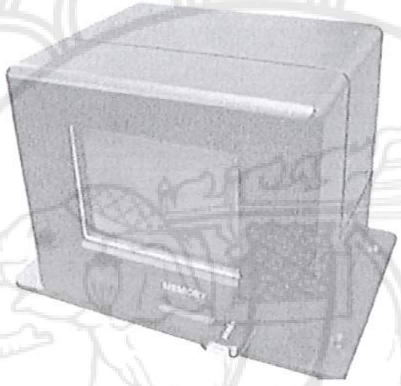


รูปที่ 3.4 ชุดเติมอากาศและการติดตั้งชุดเติมอากาศเข้ากับเครื่องปรับอากาศ

### 3.3 เครื่องมือวัด

3.3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น AP-Log

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ดังรูปที่ 3.5 สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้โดยการเชื่อมต่อกับบอร์ด AP 170x และเชื่อมต่อกับหัววัด AP 1701 สายที่เชื่อมต่อสามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ไกล 100 เมตร เครื่อง AP-Log จะสามารถวัดได้หลายตำแหน่งขึ้นอยู่กับสัญญาณของบอร์ด AP 170x ความละเอียด 0.1 °C และวัดค่าความชื้นได้ ความละเอียด 1 % สามารถตั้งค่าเวลาในการวัดและบันทึกด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์




รูปที่ 3.5 เครื่อง AP-LOG

3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ( SILA AP-104 )

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศตามตำแหน่งต่างๆ โดยจะใช้สายต่อช่องสัญญาณในการวัดแต่ละตำแหน่งไปยังจุดที่ต้องการวัด ซึ่งวัดได้ถึง 5 ตำแหน่งช่องสัญญาณ ใช้หัววัดเป็นแบบดิจิตอลประมวลผลสัญญาณออกมาเป็นแต่ละค่า ซึ่งต้องต่อไปยังคอมพิวเตอร์จะแสดงค่าออกมาในจอสามารถตั้งค่าช่วงเวลาการวัดและบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมและยังวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 120 °C accuracy 0.1 °C และวัดค่าความชื้นได้ตั้งแต่ 10 ถึง 90 % accuracy 1 %

รูปที่ 3.6 เครื่องวัด SILA AP-104

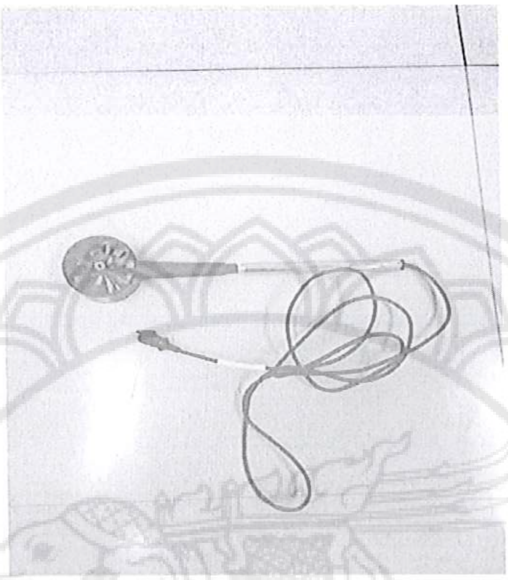
3.3.3 หัววัดอุณหภูมิและความชื้น

หัววัด SHT15 วัดอุณหภูมิตั้งแต่ -40 ถึง 120 องศาเซลเซียส และวัดความชื้นตั้งแต่ 10 ถึง 90% ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ต่อกับเครื่องวัด SILA AP-104 เพื่อส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไปยังเครื่องวัด SILA AP-104 เพื่อให้เครื่องวัด SILA AP-104 แสดงผล

รูปที่ 3.7 หัววัดอุณหภูมิและความชื้น

3.3.4 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม สามารถแสดงผลเป็นแบบดิจิตอลออกมาได้หลายหน่วยวัด ซึ่งสามารถวัดความเร็วลมได้ในช่วง 0.1-20 m/s



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วลม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและการวิเคราะห์

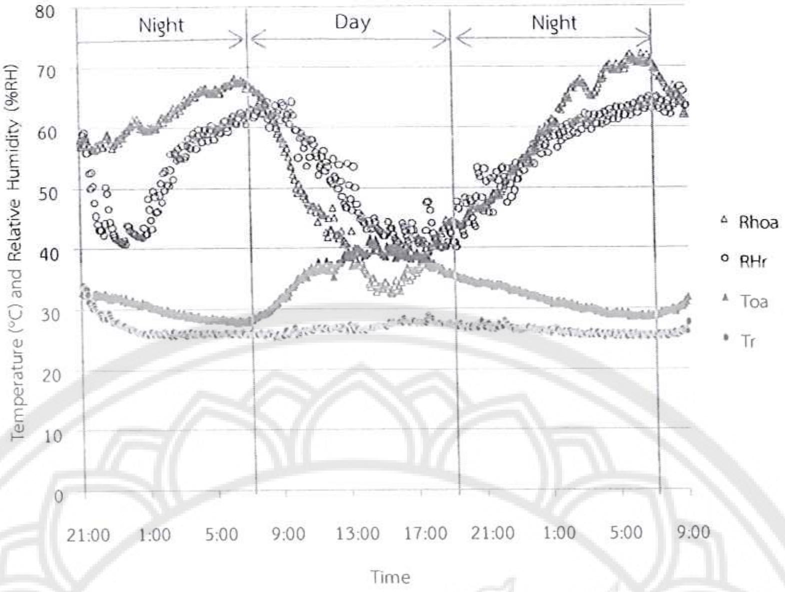
ผลของการทดลองและการวิเคราะห์การศึกษาผลจากการระบายอากาศจะศึกษาทั้งส่วนบ้านพักอาศัยและสำนักงาน การทดลองในห้องที่ปรับสภาวะอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยพิจารณาสภาวะอากาศภายในห้องระหว่างมีการทำงานของเครื่องปรับอากาศควบคู่กับสภาวะอากาศภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ช่วงเวลา หลังจากนั้นจะพิจารณาผลของการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อมีการตัดการทำงานเมื่อห้องมีอุณหภูมิตามต้องการ เนื่องจากการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงภาระการทำงานน้อยกว่าขนาดของเครื่อง (Part load) จะส่งผลต่อระดับความชื้นของห้องมาก (Don & Hugh, 2004) และผลจากการตั้งอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ สุดท้ายจึงจะนำข้อมูลจากการทดลองที่ใช้ชุดเติมอากาศมาวิเคราะห์ผลรูปแบบการระบายอากาศ ต่อระดับความชื้นสำพัทธ์ เพื่อเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้งานต่อไป แยกออกเป็นการพิจารณาเพื่อศึกษาผลของสภาวะอากาศภายนอกในแต่ละช่วงเวลา ผลของการทำงานและหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ และผลของรูปแบบการระบายอากาศ รวมถึงการตั้งอุณหภูมิการปรับอากาศที่ต่างกัน ที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศภายในที่พักอาศัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 4.1 ผลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง

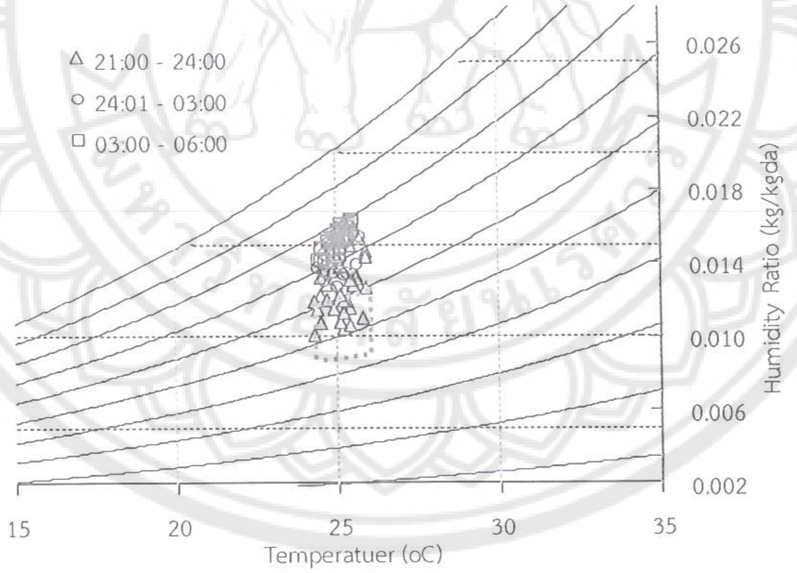
ในการทดลองสำหรับบ้านพักอาศัยจะเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 $^{\circ}$C ตลอดตั้งแต่ วันที่ 27 เมษายน 2556 เวลา 21.00 น. จนถึงวันที่ 29 เมษายน 2556 เวลา 9.00 น. โดยจะมีการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาทีโดยปริมาณอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นเป็นปริมาณ 450 cfm ข้อมูลการทดลองแสดงได้ตามรูปที่ 4.1แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและภายนอกห้องของบ้านพักอาศัย จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง ในช่วงเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่าระบบปรับอากาศไม่สามารถควบคุมความชื้นให้คงที่ได้ แต่ สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิของห้องคงที่ตลอดเวลาตามที่ตั้งไว้ โดยค่าของความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงมากกว่าที่เหมาะสมตามความสบายเชิงความร้อนคือช่วงรุ่งเช้า ตรงกันข้ามกับช่วงบ่ายที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะทำงานตามภาระความร้อนที่เข้าสู่ห้อง โดยในช่วงเวลากลางวันภาระการทำความเย็นจะมากตามความร้อนจากดวงอาทิตย์ และความร้อนจากอุณหภูมิอากาศภายนอกแต่ความชื้นของอากาศภายนอกที่ใช้ระบายมีความชื้นต่ำ ดังนั้นเมื่อมีการปรับอากาศเครื่องปรับอากาศจะทำงานมากในการลดอุณหภูมิห้องซึ่งความชื้นจะถูกลดลงมากตามไปด้วย ตรงกันข้ามกับช่วงเวลากลางคืน ภาระความร้อนน้อยลงเครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลงแต่ความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภานในห้องปรับอากาศสูง เช่นเดียวกันกับข้อมูลตามรูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลการทดลอง ในช่วงกลางคืนของวันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2556 ที่ได้แยกข้อมูลออกเป็นช่วงเวลาสำหรับช่วงกลางคืน เทียบกับขอบเขตของค่าความสบายเชิงความร้อนจากรูปจะเห็นว่ามีเฉพาะช่วงหัวค่ำที่อยู่ในเกณฑ์ ส่วนช่วงกลางดึกถึงช่วงเช้าค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงมากจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น จากข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการที่ต้องหาแนวทางควบคุมความชื้นที่ส่งผลกับคุณภาพของอากาศภายในบ้านพักอาศัย

TH
7647
ห616ส
2556
i 6994914
12 มิ.ย. 2558
สำนักหอสมุด



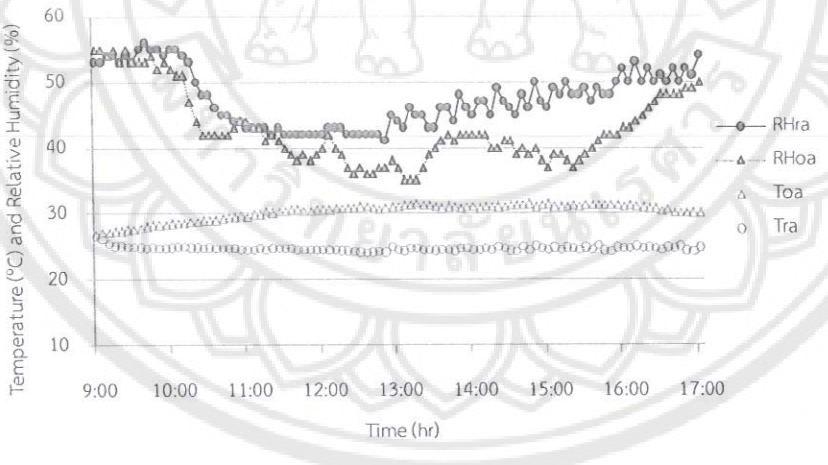



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกกับในห้องปรับอากาศ

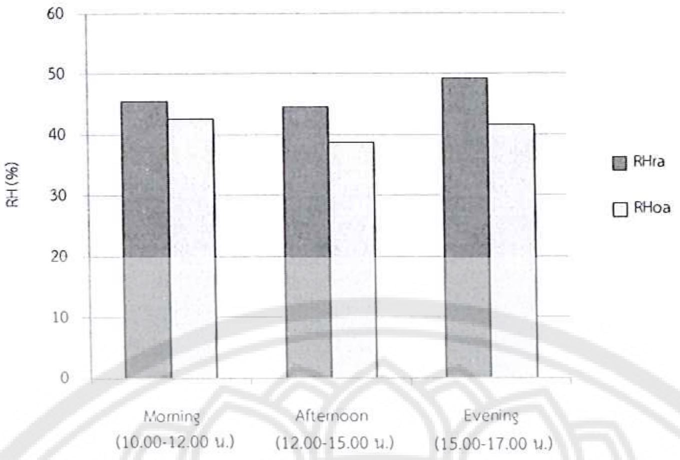



รูปที่ 4.2 สภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศโดยแยกตามช่วงเวลา

การพิจารณาผลจากสภาวะอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้องสำนักงาน จะใช้ผลของการทดลองในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยไม่มีการใช้พัดลมระบายอากาศ ตั้งอุณหภูมิการทดลองที่ 25 °C ผลแสดงตามรูปที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งภายนอก และภายในห้องสำนักงาน จากรูปจะเห็นได้ว่า ระดับอุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ra}$) จะถูกเครื่องปรับอากาศรักษาให้คงที่ แม้ว่าอุณหภูมิภายนอก ($T_{oa}$) จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา คือช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ($RH_{ra}$) ที่มีการปรับอากาศจะมีการการขยับขึ้นลงและเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นของอากาศภายนอก ($RH_{oa}$) แม้ว่าไม่มีการใช้พัดลมระบายอากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกตามช่องเปิดและรอยต่อประตูหน้าต่างจะส่งผลให้มีความชื้นเข้าออกจากห้องด้วย นอกจากนั้นเนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะทำงานตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้เท่านั้น จึงจะเห็นได้ว่าระดับความชื้นจะไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ ส่วนการขยับขึ้นลงของค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็นผลจากการทำงานและหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศซึ่งจะมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและจะทำการวิเคราะห์ผลของส่วนนี้ในหัวข้อถัดไป หากแยกข้อมูลทำการเฉลี่ยค่าในแต่ละช่วงเวลา โดยจะแบ่งเป็นสามช่วงคือช่วงเช้า ( 10.00 – 12.00 น. โดยไม่พิจารณาช่วงเครื่องเริ่มทำงาน) ช่วงบ่าย ( 12.00 – 15.00 น. ) และช่วงเย็น ( 15.00 – 17.00 น. ) ซึ่งนำมาแสดงรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องสำนักงาน มีค่าสูงในช่วงเวลาเช้าและเย็น และช่วงบ่ายมีค่าต่ำลงตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง




**รูปที่ 4.3** การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายนอกกับภายในห้องปรับอากาศ

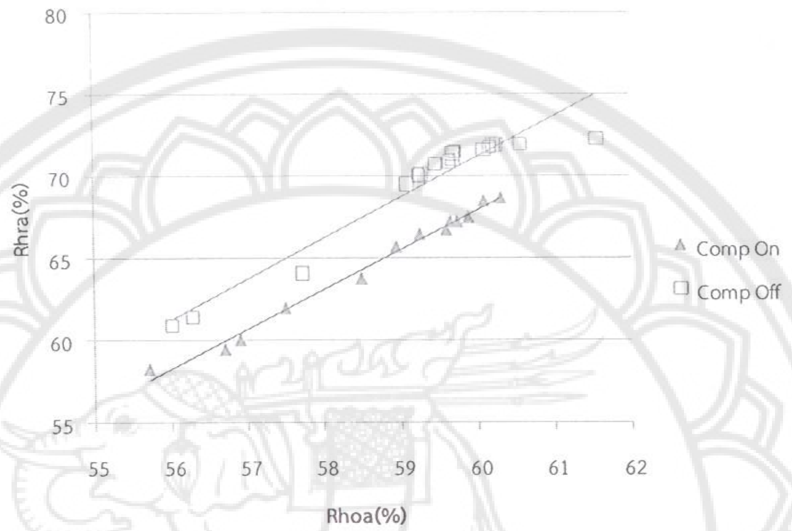



**รูปที่ 4.4** ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องและภายในห้อง ในช่วงเช้า (Morning) บ่าย (Afternoon) และเย็น (Evening)

### 4.2 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเครื่องทำงานและหยุดทำงานที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์

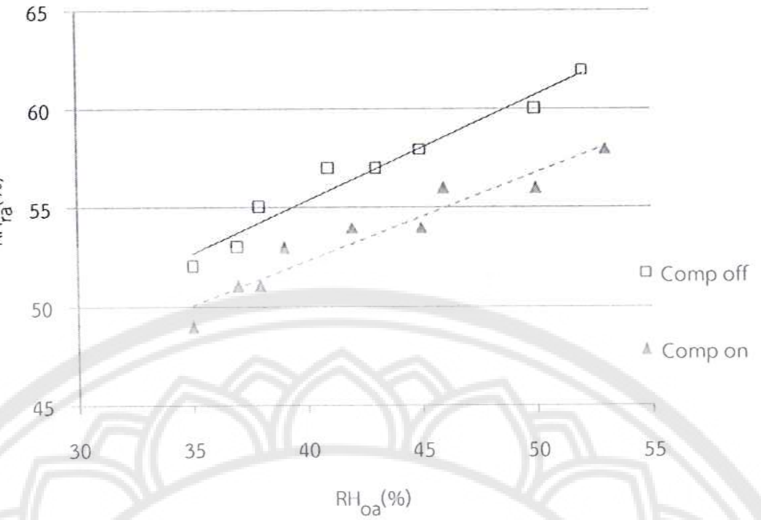
จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นว่าในขณะที่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้น เครื่องจะถูกสั่งงานด้วยอุณหภูมิของห้องจากลมที่กลับเข้าเครื่อง เมื่อห้องปรับอากาศมีระดับของอุณหภูมิตามต้องการแล้วคอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงาน และจะทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ในส่วนของพัดลมในคอยล์เย็นจะยังคงทำงานอยู่ ทำให้น้ำที่กลั่นตัวค้างอยู่ในคอยล์เย็นถูกทำให้ระเหยกลับเข้ามาในห้องดังจะเห็นจากรูปที่ 4.1 และ 4.3 อุณหภูมิห้องปรับอากาศจะขึ้นลงเล็กน้อยในช่วงของอุณหภูมิที่ตั้งค่าเอาไว้ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะเปลี่ยนแปลงมากตามจังหวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เมื่อนำข้อมูลความชื้นสัมพัทธภายในห้องและภายนอกในส่วนบ้านพักอาศัยช่วงการทำงานในเวลากลางคืน โดยเลือกข้อมูลช่วงสภาวะคงตัว ประมาณ 3 นาที ช่วงอุณหภูมิภายนอก 25- 27 $^{\circ}$C ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นเป็นปริมาณ 450 cfm และแยกส่วนระหว่างช่วงคอมเพรสเซอร์ทำงานและหยุดทำงาน จะได้ผลตามรูปที่ 4.5 จากรูปจะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะเปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศไม่ทำงานมีค่าสูงกว่าช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากตอนที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องหยุดการทำงานซึ่งก็คือหยุดกำจัดความร้อนและความชื้น นอกจากความชื้นของห้องที่ยังเกิดขึ้นตลอดเวลาแล้ว ยังมีหยดน้ำเกาะอยู่ภายในแผงคอยล์เย็น ซึ่งหากคอมเพรสเซอร์ของเครื่องยังทำงานอยู่ตลอดเวลาหยดน้ำเหล่านี้จะยังคงมีอุณหภูมิต่ำ และมีหยดน้ำที่กลั่นตัวเพิ่มขึ้นตลอดเวลาและจะไหลออกไปทางท่อน้ำทิ้ง แต่เมื่อคอมเพรสเซอร์ของเครื่องหยุดทำงานพัดลมของคอยล์เย็นยังทำงานอยู่ เมื่อหยดน้ำเหล่านี้ไม่ถูกกำจัดออกและยังมีอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น หยดน้ำจึง

ระเหยกลับเข้ามาในห้องทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ค่อย ๆ สูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับระบบปรับอากาศในการเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น หากขนาดของเครื่องใหญ่เกินไป จะมีช่วงที่ภาระการทำความเย็นน้อยกว่าขนาดเครื่อง (part load) มาก ซึ่งทำให้มีช่วงหยุดทำงานคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้นนอกจากทำให้ความชื้นห้องเพิ่มแล้ว ความชื้นเหล่านี้ยังเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศ สิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้กำจัดภาระความชื้นในอากาศเหล่านี้ซ้ำ




รูปที่ **4.5** ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องบ้านพักอาศัย ในช่วงคอมเพรสเซอร์ทำงานและไม่ทำงาน

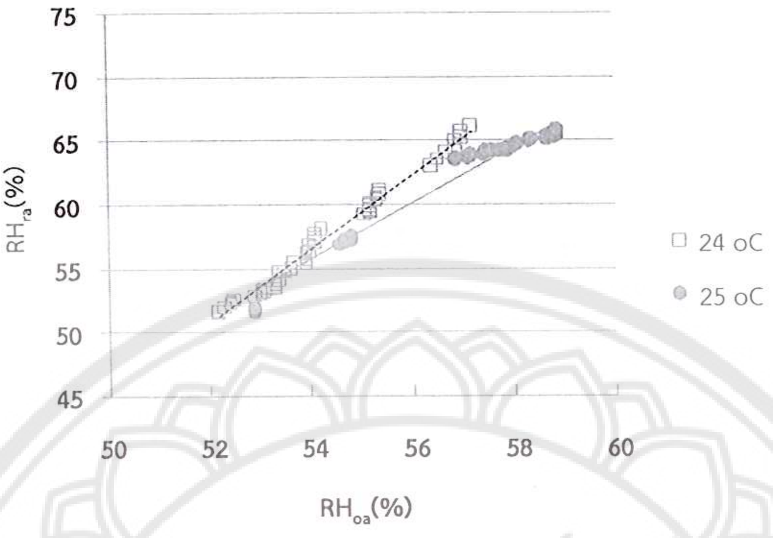
ในการพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในสำนักงานและ ในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงาน (Comp on) และหยุดทำงาน (Comp off) จะทำการคัดข้อมูลในช่วงสภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่าง 34 – 35 $^{o}$C และเลือกรูปแบบในการระบายอากาศโดยปรับให้อากาศเข้าเครื่องคอยล์เย็นโดยนำข้อมูลมาแสดงได้ตามรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องมีแนวโน้มที่เหมือนกันเช่นเดียวกับในบ้านพักอาศัย ด้วยเหตุผลเดียวกันแต่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะอยู่ในช่วงต่ำกว่าเพราะเป็นการใช้งานในช่วงเวลากลางวันในขณะบ้านพักอาศัยเป็นเวลากลางคืน ซึ่งค่าของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะสูงมากเมื่อคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน ส่วนของสำนักงานจะมีผลจากความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่แห้งมากในบางช่วงเวลาที่ภาระในการทำความเย็นมากแต่ความชื้นของอากาศภายนอกน้อยเช่นในช่วงเที่ยงหรือบ่าย ซึ่งส่งผลกับสุขภาพด้วยเช่นเดียวกัน




รูปที่ 4.6 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องห้องสำนักงาน ในช่วงคอมเพรสเซอร์ทำงานและไม่ทำงาน

**4.3 ผลของการตั้งอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง**

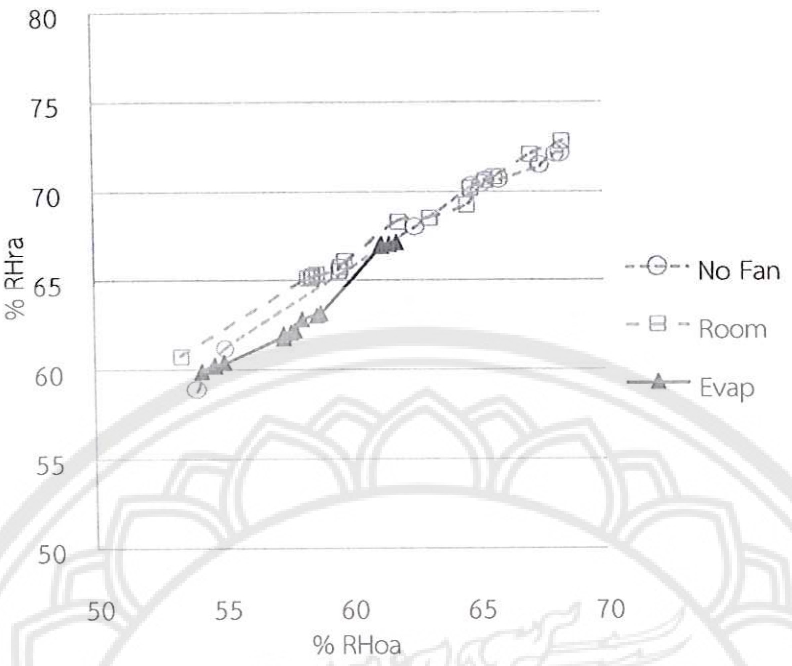
การตั้งค่าอุณหภูมิในการปรับอากาศนอกจากจะมีผลต่อการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแล้วยังส่งผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศด้วยดังแสดงตามรูปที่ 4.7 เป็นผลจากการทดลองโดยใช้ข้อมูล ความชื้นสัมพัทธภายในห้องและภายนอกในส่วนบ้านพักอาศัยช่วงการทำงานในเวลากลางคืนของข้อมูลวันที่ 24 กุมภาพันธุ์ 2556 ที่ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 24 $^{\circ}$C และวันที่ 1 มีนาคม 2556 ที่ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25 $^{\circ}$C โดยเลือกข้อมูล ช่วงสภาวะคงตัว ประมาณ 3 นาที ช่วงอุณหภูมิภายนอก 27- 28 $^{\circ}$C ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นเป็นปริมาณ 450 cfm จากรูปจะพบว่าการตั้งค่าอุณหภูมิทั้ง 24 $^{\circ}$C และ 25 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธภายในห้องจะเปลี่ยนแปลงตามภายนอกเช่นเดียวกันแต่ การตั้งค่าอุณหภูมิทั้ง 24 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะสูงกว่าแม้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศต่ำลง จะทำให้เครื่องทำงานนานขึ้นกำจัดความชื้นมากขึ้นก็ตามทั้งนี้เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ จะมีความสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิด้วย กล่าวคือหากอุณหภูมิเพิ่มในกรณีที่ความชื้นในอากาศคงที่ ค่าของความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำลงซึ่งหมายถึงการที่อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต่ำลงแม้ว่าจะทำให้ลดความชื้นจำเพาะ (ปริมาณไอน้ำในอากาศ) ภายในห้องลง แต่หากคำนึงถึงความชื้นสัมพัทธ์ (เทียบสภาวะของอากาศกับสภาวะที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ) ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ก็จะสูงกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C ซึ่งค่าของความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลกับการเติบโตของเชื้อโรค ไรฝุ่น อาการระคายเคืองตา ตามที่กล่าวมาข้างต้น




รูปที่ 4.7 ผลของการตั้งระดับอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

### 4.4 ผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง

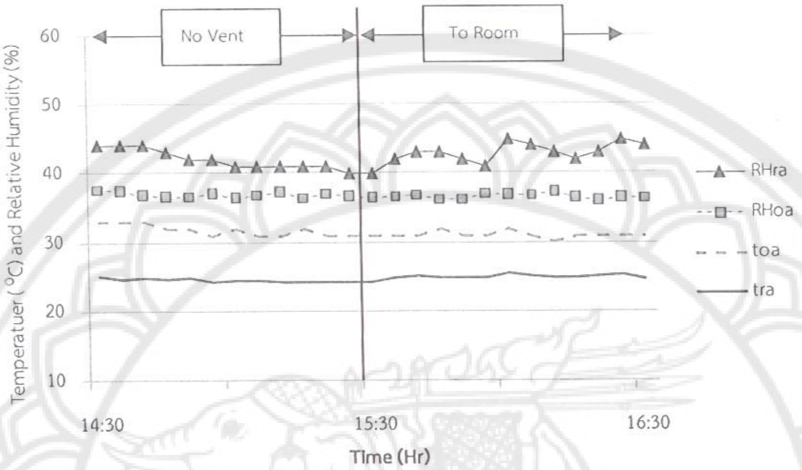
การระบายอากาศโดยการเติมอากาศจากภายนอกเข้าสู่อาคารที่เพียงพอต่อความต้องการนอกจากจะทำให้สามารถปรับปริมาณ และเลือกตำแหน่งของอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาได้แล้ว ยังเป็นการสร้างความดันให้กับห้องเพื่อหลีกเลี่ยงอากาศจากภายนอกในส่วนอื่นที่อาจจะไม่เหมาะสมเข้าห้องได้ นอกจากนั้นยังสามารถกรองสิ่งสกปรกที่จะเข้าสู่ห้องอีกทางหนึ่งด้วย ในหัวข้อนี้จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลที่กระทบต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจากรูปแบบของการระบายอากาศ สำหรับรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องปรับอากาศเมื่อมีรูปแบบการระบายอากาศต่าง ๆ กัน จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ทั้งในระบบที่มีและไม่มีการระบายอากาศทางกล (มีพัดลมระบายอากาศ) ซึ่งกรณีที่มีระบบการระบายอากาศหากนำอากาศระบายผ่านคอล์ยเย็นก่อนจะสามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องได้ ทั้งนี้เนื่องจากการนำอากาศระบายเข้าคอล์ยเย็นก่อนเข้าสู่ห้องเป็นการนำความชื้นออกก่อนที่จะเข้าห้องปรับอากาศแต่กรณีให้อากาศระบายเข้าห้องโดยตรงอากาศภายในห้องจะรับความชื้นก่อนที่จะถูกกำจัด แม้ว่าท้ายที่สุดปริมาณความชื้นปริมาณดังกล่าวก็จะถูกกำจัดที่คอล์ยเย็นเช่นเดียวกัน สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบการระบายอากาศทางกลความชื้นยังสามารถเข้าสู่ห้องปรับอากาศได้ตามรอยแยกของโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นจากผลการทดลองที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกับกรณีให้อากาศระบายเข้าห้องโดยตรง




รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องปรับอากาศเมื่อมีรูปแบบการระบายอากาศต่าง ๆ กัน

ส่วนผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสำนักงาน โดยการใช้ชุดเติมอากาศปรับรูปแบบการระบายอากาศ 3 รูปแบบคือ ปิดชุดเติมอากาศ เปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง และเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศส่วนคอยล์เย็นโดยการพิจารณาจะใช้ข้อมูลจากการทดลองในวันที่มีการสลับเงื่อนไขระหว่างรูปแบบการระบายอากาศที่ต่างกันโดย เริ่มการทดลองที่รูปแบบการระบายอากาศแบบหนึ่ง และเปลี่ยนรูปแบบการระบายอากาศอีกแบบหนึ่ง สลับแต่ละรูปแบบ ใช้ช่วงเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะเลือกข้อมูลที่ในช่วงการที่สลับเงื่อนไข มีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน (อุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิภายนอกห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง) เพื่อพิจารณาผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ จากรูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ในการทดลองซึ่งสลับกันระหว่างปิดชุดเติมอากาศ (No Vent) กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง (To Room) ในวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีช่วงที่สภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกันในช่วงเวลาตั้งแต่ 14.30 – 16.30 น. จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องช่วงระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง มีค่าสูงกว่าช่วงไม่มีการระบายอากาศ เพียงเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณ 0.85 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้น(อัตราส่วนของมวลไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง) จะได้ 0.25 $g/kg_{dryair}$ ซึ่งแสดงว่าสำหรับห้องสำนักงานที่ใช้ทดลองนี้ปริมาณอากาศที่เข้าสู่ห้องในกรณีไม่มีพัดลมระบายอากาศนั้นใกล้เคียงกันกับมีระบบการระบายอากาศ เนื่องจากห้องโดยทั่วไปแม้ไม่มีระบบการระบายอากาศ อากาศยังสามารถแทรกซึมผ่านเข้าออกประตู หน้าต่าง เนื่องจากความแตกต่างความดัน และความ

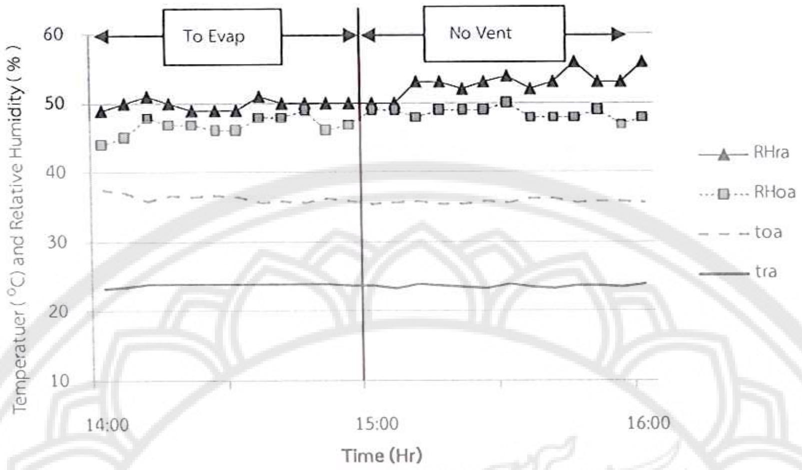
เข้มข้นของก๊าซต่าง ๆ ของภายในกับภายนอกห้อง ซึ่งในบางกรณีอากาศอาจเข้าสู่ห้องมากหรือน้อยกว่าความต้องการก็ได้ แต่หากมีระบบการระบายอากาศเราสามารถควบคุมปริมาณ และตำแหน่งที่ต้องการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าห้องได้ ตรงกันข้ามกับการให้อากาศไหลเข้าออกห้องโดยธรรมชาติ อากาศจะแทรกซึมที่จุดต่าง ๆ ตามรอยต่อ ทำให้ไม่สามารถควบคุมทั้งปริมาณและ ความสะอาดซึ่งส่งผลต่อ ความสบายเชิงความร้อนและคุณภาพอากาศภายในอาคาร



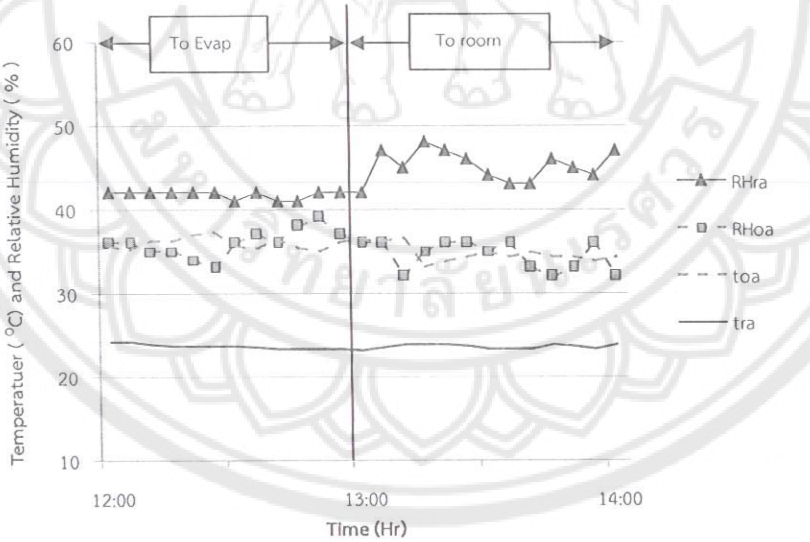

รูปที่ 4.9 ข้อมูลการทดลองเมื่อปิดชุดเติมอากาศ กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง

สำหรับการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ซึ่งสลับรูปแบบระหว่าง ปิดชุดเติมอากาศ (No Vent) กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็น (To Evap) จะใช้ข้อมูลการทดลองวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2556 ในช่วงเวลา 14:00 ถึง 16:00 น. ตามรูปที่ 4.10 แสดงถึงความแตกต่างกันของระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง จะเห็นว่าในห้องสำนักงานที่ทดลองนี้ ระบบการระบายอากาศโดยการระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นจะทำให้ห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าไม่มีระบบการระบายอากาศประมาณ 2.7 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้นจะได้ 0.43 $g/kg_{dryair}$ ทั้งนี้เนื่องจากว่าความชื้นในอากาศได้ถูกนำไปกำจัดที่เครื่องปรับอากาศก่อนที่จะเข้าสู่ห้อง สุดท้ายตามรูปที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบกรณีเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง กับการระบายอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นโดยใช้ข้อมูลการทดลองวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2556 ที่มีช่วงเวลาการสลับรูปแบบการระบายอากาศอยู่ระหว่างช่วง 12:00 ถึง 14:00 น.ที่มีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน ตามรูป จะเห็นได้ว่าระบบการระบายอากาศโดยการระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นจะทำให้ห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ของห้องต่ำกว่ากรณีระบายอากาศเข้าห้องโดยตรงจากสภาวะอากาศตามการทดลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงประมาณ 3 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้นจะได้ 0.52 $g/kg_{dryair}$ ซึ่งโดยหลักการแล้วความชื้นที่ถูกกำจัดที่เครื่องปรับอากาศจะใกล้เคียงกันเพียงแต่การระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นก่อนจะเป็นการกำจัดความชื้นก่อนส่งเข้าห้องนั่นเอง ซึ่งจากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของห้อง หรือใช้ร่วมกันกับ

หลักการอื่น ๆ เช่นการเพิ่มลดปริมาณสารทำความเย็นในระบบอินเวอร์เตอร์ การปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องปรับอากาศ จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมความชื้นในอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ดียิ่งขึ้น




รูปที่ 4.10 ข้อมูลการทดลองเมื่อปิดชุดเติมอากาศ กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็น




รูปที่ 4.11 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง กับการระบายอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็น

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก โดยศึกษาผลกระทบต่อความชื้นสัมพัทธ์จากการระบายอากาศในระบบปรับอากาศ สำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทยและเปรียบเทียบผลของการระบายอากาศโดยนำอากาศเข้าห้องปรับอากาศโดยตรงโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) กับผลของการนำอากาศระบายผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง ในช่วงเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่าระบบปรับอากาศไม่สามารถควบคุมความชื้นให้คงที่ได้ แต่ สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิของห้องคงที่ตลอดเวลาตามที่ตั้งไว้ โดยค่าของความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงมากกว่าที่เหมาะสมตามความสบายเชิงความร้อนคือช่วงรุ่งเช้า ตรงกันข้ามกับช่วงบ่ายที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำมาก ค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในบ้านและภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้น มีผลกระทบจากการทำงานและหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งส่งผลให้ความชื้นของห้องเพิ่มขึ้นในขณะคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน รวมถึงการตั้งค่าอุณหภูมิห้องปรับอากาศที่ค่าสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะสูงกว่า แม้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศต่ำลงจะทำให้เครื่องทำงานนานขึ้นกำจัดความชื้นมากขึ้นก็ตาม แต่หากคำนึงถึงความชื้นสัมพัทธ์ ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ก็จะสูงกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต่ำ กรณีที่มีระบบการระบายอากาศหากนำอากาศระบายผ่านคอล์ยเย็นก่อนจะสามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องได้ ทั้งนี้เนื่องจากการนำอากาศระบายเข้าคอล์ยเย็นก่อนเข้าสู่ห้องเป็นการนำความชื้นออกก่อนที่จะเข้าห้องปรับอากาศ แต่กรณีให้อากาศระบายเข้าห้องโดยตรงอากาศภายในห้องจะรับความชื้นก่อนที่จะถูกกำจัด สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบการระบายอากาศทางกล ความชื้นยังสามารถเข้าสู่ห้องปรับอากาศได้ตามรอยแยกของโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นจากผลการทดลองที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกับกรณีให้อากาศระบายเข้าห้องโดยตรง ในส่วนสุดท้ายจากการใช้ชุดเติมอากาศเพื่อศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศพบว่าการนำอากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าห้องจะทำให้ห้องมีความชื้นน้อยกว่าการส่งอากาศเข้าห้องโดยตรงซึ่ง จากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อไปได้ นอกจากนั้นแนวคิดของชุดเติมอากาศในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศในการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป หรือนำหลักการไปใช้ออกแบบเพิ่มส่วนการเติมอากาศในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพให้กับอากาศในอาคารต่อไป

# เอกสารอ้างอิง


1. Djongyang, N., Tchinda, R. and Njomo, D., 2010, “Thermal comfort: A Review paper”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, No. 9, pp. 2626–2640.
2. ASHRAE, 1997, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York
3. Baughman, A. and Arens, E., 1996, “Indoor Humidity and Human Health-Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants”, ASHRAE Transactions, Vol. 102, No. 1, pp. 193-211.
4. Baughman, A. and Arens, E., 1996, “Indoor Humidity and Human Health-Part II: Buildings and their Systems”, ASHRAE Transactions, Vol. 102, No. 1, pp. 212-221.
5. Mcquiston, F.C. and Parker, J.D., 1977, Heating Ventilation and Air Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
6. Khedari, J., Hirunlabh, J., Yamtraipat, N. and Pratintong, N., 2000, “Thailand Ventilation Comfort Chart”, Energy and Buildings, Vol. 32, No. 3, pp. 245-249.
7. Anthony, V., Elia, M., Sterling, T., Judith, H., Biggin, T. and Theodor, D., 1986, “Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments”, Environmental Health Perspectives, Vol. 65, No. 1, pp. 351-361.
8. Doty, R.L., Cometto-Muniz, J.E., Jalowayski, A.A., Dalton, P., Kendall-Reed, M. and Hodgson, M., 2004, “Assessment of Upper Respiratory Tract and Ocular Irritative Effects of Volatile Chemicals in Humans”, Critical Reviews in Toxicology, Vol. 34, No. 2, pp. 85-142
9. Sookchaiya,T,Monyakul,V. and Thepa, S., 2010, “Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions”, Energy and Buildings, Vol. 42, pp. 1692-1702.
10. Shiming,D., Zheng, L. and Minglu, Q., 2009, “Indoor thermal comfort characteristics under the control of a direct expansion air conditioning unit having a variable-speed compressor and a supply air fan” Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 2187–2193
11. Xu, X., Xia, L., Chan, M. and Deng, S., 2010, “Inherent correlation between the total output cooling capacity and equipment sensible heat ratio of a direct expansion air conditioning system under variable-speed operation (XXG SMD SHR DX AC unit) ”, Applied Thermal Engineering, Vol. 30,pp. 1601-1607
12. Rachapradit, N., Thepa, S. and Monyakul V., 2007,“Effect of Refrigerant Flow and Air Flow on Performance of Inverter Slit Type Air-Conditioner”, International Conference on Engineering Applied Sciences and Technology, November 21–23, Bangkok, Thailand, pp. 323-326.

13. Rachapradit, N., Thepa, S. and Monyakul V., 2011 "An Influence of Air Volume Flow Rate and Temperature Set point on Performance of Inverter Split Type Air-Conditioner", Paper waited in the publication queue in Experimental technique.

14. Sugarman, C.S., 2004, HVAC Fundamentals, CRC Press, New York, pp. 47-57.

15. Liang, X., Chana, M.Y. and Shiming, D., 2008, "Development of a Method for Calculating Steady State Equipment Sensible Heat Ratio of Direct Expansion Air Conditioning Units", Applied Energy, Vol. 85, No. 12, pp. 1198-1207.

16. Djongyang, N., Tchinda, R. and Njomo, D., 2010, "Thermal comfort: A Review paper", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, No. 9, pp. 2626–2640.

17. ASHRAE, 2005, Fundamentals Handbook, thermal comfort, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, Chapter 8, pp. 8.1-8.29

18. Yamtraipat, N., Khedari, J. and Hirunlabh, J., 2005, "Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Additional Factors of Acclimatization and Education Level", Solar Energy, Vol. 78, No. 4, pp. 504-517.

19. Strauss, R.H, McFadden, E.R., Ingram, R.H., Deal, E.C. and Jaeger, J.J., 1978, "Influence of Heat and Humidity on the Airway Obstruction Induced by Exercise in Asthma", The Journal of Clinical Investigation, Vol. 61, No. 2, pp. 433 - 440.

20. Wolkoff, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A. and Nielsen, G.D., 2006, "Organic Compounds in Office Environments – Sensory Irritation, Odor, Measurements and the Role of Reactive Chemistry", Indoor Air, Vol. 16, No. 1, pp. 7–19.

21. Yamtraipat, N., Khedari, J., Hirunlabh, J. and Kunchornrat, J., 2006, "Assessment of Thailand Indoor Set-Point Impact on Energy", Energy Policy, Vol. 34, No. 7. pp. 765-770.

22. Khedari, J., Sangprajak, A. and Hirunlabh J., 2002, "Thailand climatic zones", Renewable Energy, Vol. 25, No. 2, pp. 267–280.

23. Arundel A.V., Sterling E.M., Biggin J.H. and Sterling T.D., 1986, "Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environment", Environmental Health Perspectives, Vol. 65, No. 1, pp. 351-361.

24.Lowen, A., Mubareka1, S., Steel1, J. and Palese, P., 2007, "Influenza Virus Transmission is Dependent on Relative Humidity and Temperature", Plos Pathogens, Vol. 3, No. 10, pp. 1470-1476.

25. Wolkoff, P. and Kjaergaard S.K., 2007, "The Dichotomy of Relative Humidity on Indoor Air Quality", Environment International, Vol. 33, No. 6, pp. 850–857.

26. Henderson, H.I., Rengarajan, K. and Shirey, D.B., 1998, "The Impact of Comfort Control on Air Conditioner Energy Use in Humid Climate", ASHRAE Transitions, Vol. 98, No. 2, pp. 104-113.

27. Zheng, L., Chena, W., Denga, S. and Linb, Z., 2006, "The Characteristics of Space Cooling Load and Indoor Humidity Control for Residences in the Subtropics", Building and Environment, Vol. 41, No. 9, pp. 1137–1147.

28. Xua, X., Deng, S. and Chana, M., 2008, "A New Control Algorithm for Direct Expansion Air Conditioning Systems for Improved Indoor Humidity Control and Energy Efficiency", Energy Conversion and Managements , Vol. 49, No. 4, pp. 578-586.

29. Lia, Z. and Deng, S., 2007, "A DDC-Based Capacity Controller of a Direct Expansion (DX) Air Conditioning (A/C) Unit for Simultaneous Indoor Air Temperature and Humidity Control Part I: Control Algorithms and Preliminary Controllability Tests", International Journal of Refrigeration, Vol. 30, No. 1, pp. 113-123.

30. Lia, Z. and Deng, S., 2007, "A DDC-Based Capacity Controller of a Direct Expansion (DX) Air Conditioning (A/C) Unit for Simultaneous Indoor Air Temperature and Humidity Control Part II: Further Development of the Controller to Improve Control Sensitivity", International Journal of Refrigeration, Vol. 30, No. 1, pp. 124-133.

31. Huh, J.H. and Brandemuehl, M.J., 2008, "Optimization of Air-Conditioning System Operating Strategies for Hot and Humid Climates", Energy and Buildings, Vol. 40, No. 7, pp. 1202–1213.

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# ภาคผนวก ก

# ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของการทดลอง

ตารางที่ ก.1ตัวอย่างตารางแสดงเงื่อนไขการทดลอง

| เงื่อนไขการทดลอง | | |
|---|---|---|
| | รูปแบบการทดลอง | อุณหภูมิ(°C) |
| 10/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 11/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 12/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 13/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 14/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 15/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 16/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 25 |
| 17/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 25 |
| 18/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 25 |
| 19/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 25 |
| 20/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 25 |
| 21/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 22/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 24 |
| 23/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 24 |
| 24/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 25/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 24 |
| 26/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 27/2/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 24 |
| 28/2/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 24 |
| 1/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 25 |
| 2/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 25 |
| 3/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 25 |
| 4/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator | 25 |
| 5/3/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 25 |
| 6/3/2013 | ไม่มีการระบายอากาศ | 25 |
| 7/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 24 |
| 8/3/2013 | เปิดพัดลมเข้า Evapurator และห้องอย่างละครึ่ง | 24 |

**ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างตารางแสดงเงื่อนไขการทดลอง (ต่อ)**

| วันที่ | รูปแบบการระบายอากาศ | อุณหภูมิ (˚C) |
|---|---|---|
| 17/12/2555 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 18/12/2555 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 19/12/2555 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 20/12/2555 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 07/01/2556 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 08/01/2556 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |
| 09/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 14/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 15/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 17/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 28/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 29/01/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 05/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 06/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 07/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 08/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 11/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 13/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 20/02/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 26/02/2556 | สลับการระบายอากาศ ( Evaporator – Close ) | 25 |
| 27/02/2556 | สลับการระบายอากาศ ( Room – Close ) | 25 |
| 28/02/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Room ) | 25 |
| 01/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Room ) | 25 |
| 05/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Close ) | 25 |
| 07/03/2556 | สลับการระบายอากาศ ( Room – Close ) | 25 |
| 12/03/2556 | มีการระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง | 25 |
| 13/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Room ) | 25 |
| 14/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Room ) | 25 |
| 15/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Close ) | 25 |
| 18/03/2556 | สลับการระบายอากาศ( Evaporator – Close ) | 25 |
| 19/03/2556 | สลับการระบายอากาศ ( Room – Close ) | 25 |
| 20/03/2556 | สลับการระบายอากาศ ( Room – Close ) | 25 |
| 26/03/2556 | มีการระบายอากาศเข้า Evaporator ก่อนเข้าห้อง | 25 |
| 27/03/2556 | ไม่มีการระบายอากาศเข้าห้อง | 25 |

ตารางที่ ก 2 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลที่ 5 นาทีเวลา 21.00 น. – 06.00 น

| Time | $T_{ra}$ | $T_{ma}$ | $T_{ra}$ | $T_{oa}$ | $T_{sa}$ | $T_{fa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{ma}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21:00:00 | 26.8 | 30.4 | 25.1 | 30.8 | 30.1 | 31.6 | 43.4 | 58.5 | 47.1 | 54.1 | 61.2 |
| 21:05:00 | 27 | 30.2 | 25.9 | 30.7 | 30.1 | 31.6 | 46.4 | 58.7 | 50.9 | 54.5 | 60.4 |
| 21:10:00 | 27.7 | 28 | 26.6 | 30.6 | 16.2 | 31.3 | 49.5 | 51.2 | 53 | 54.7 | 69.1 |
| 21:15:00 | 26.4 | 26.3 | 26.2 | 30.7 | 11.7 | 31.1 | 50 | 53.2 | 51.3 | 54.8 | 86.5 |
| 21:20:00 | 25.6 | 25.5 | 25.8 | 30.6 | 10.7 | 31 | 50 | 52.2 | 50.3 | 55 | 89.3 |
| 21:25:00 | 25.3 | 25.4 | 25.5 | 30.7 | 10.5 | 30.8 | 50.4 | 53.3 | 50.1 | 54.9 | 90.4 |
| 21:30:00 | 25.4 | 25.5 | 25.6 | 30.6 | 10.7 | 30.7 | 50.6 | 54.3 | 50.3 | 55.3 | 90.9 |
| 21:35:00 | 25.1 | 25 | 23.3 | 30.4 | 10 | 30.6 | 49.7 | 52.8 | 53.2 | 55.6 | 90.9 |
| 21:40:00 | 24.6 | 24.6 | 22.9 | 30.5 | 9.3 | 30.5 | 48.9 | 52 | 53.2 | 55.6 | 91 |
| 21:45:00 | 24.8 | 25 | 23.1 | 30.5 | 9.6 | 30.5 | 50.6 | 53.5 | 54.9 | 55.6 | 91.4 |
| 21:50:00 | 24.2 | 24.2 | 22.6 | 30.3 | 9.3 | 30.4 | 49.9 | 52.4 | 54 | 55.8 | 91.5 |
| 21:55:00 | 24.1 | 24.2 | 22.3 | 30.3 | 9.3 | 30.3 | 50.4 | 53.2 | 54.4 | 55.9 | 91.4 |
| 22:00:00 | 23.9 | 24 | 22.2 | 30.3 | 9 | 30.2 | 50.3 | 52.9 | 54.3 | 56 | 91.5 |
| 22:05:00 | 23.6 | 24 | 22.1 | 30.4 | 8.8 | 30.2 | 50 | 52.4 | 53.7 | 55.9 | 91.5 |
| 22:10:00 | 23.5 | 23.8 | 21.9 | 30.3 | 8.8 | 30.1 | 49.8 | 52.2 | 53.8 | 56.2 | 91.6 |
| 22:15:00 | 25.2 | 24.8 | 23.8 | 30 | 19.1 | 30 | 58.6 | 63.2 | 60.7 | 56.3 | 92.1 |
| 22:20:00 | 25.7 | 25.5 | 24.4 | 30 | 13.3 | 29.9 | 59.9 | 63.8 | 62.4 | 56.4 | 91.3 |
| 22:25:00 | 24.2 | 24.5 | 23.3 | 30.3 | 10.5 | 29.9 | 56.6 | 58.7 | 59 | 56.1 | 91 |
| 22:30:00 | 23.5 | 24.2 | 22.5 | 30.1 | 9.9 | 29.9 | 54.4 | 55.6 | 56.8 | 56.2 | 91.1 |
| 22:35:00 | 24 | 24.1 | 22.9 | 29.9 | 18.5 | 29.8 | 56.8 | 58.9 | 59.2 | 56.4 | 91.8 |
| 22:40:00 | 25.9 | 25.4 | 24.6 | 29.8 | 20.5 | 29.7 | 63.7 | 67.8 | 63.6 | 56.6 | 92.2 |
| 22:45:00 | 25.1 | 25.6 | 24.4 | 29.9 | 13.8 | 29.8 | 63.1 | 64 | 63.6 | 56.4 | 91.4 |
| 22:50:00 | 23.8 | 24.7 | 23.1 | 30 | 10.7 | 29.8 | 58.7 | 58.8 | 59.6 | 56.2 | 90.9 |
| 22:55:00 | 23.1 | 24.1 | 22.5 | 30 | 9.8 | 29.7 | 55.9 | 55.5 | 57 | 56.3 | 90.9 |
| 23:00:00 | 25.1 | 25.5 | 24.5 | 29.7 | 20.2 | 29.6 | 64 | 65.7 | 63.6 | 56.7 | 92.1 |

**ตารางที่ ก 2 ตารางแ**สดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลที่ 5 นาทีเวลา 21.00 น. – 06.00 น (ต่อ)

| Time | $T_{ra}$ | $T_{ma}$ | $T_{ra}$ | $T_{oa}$ | $T_{sa}$ | $T_{fa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{ma}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23:05:00 | 24.8 | 25.3 | 24.1 | 29.8 | 13.3 | 29.6 | 63.3 | 64.2 | 64 | 56.6 | 91.7 |
| 23:10:00 | 23.4 | 24.3 | 22.9 | 30 | 13.7 | 29.6 | 59 | 58.7 | 59.9 | 56.3 | 91.5 |
| 23:15:00 | 25.1 | 25.4 | 24.5 | 29.7 | 20.4 | 29.5 | 66.5 | 68 | 64.8 | 56.7 | 92.1 |
| 23:20:00 | 25 | 25.3 | 24.3 | 29.7 | 13.8 | 29.5 | 65 | 65.7 | 65.1 | 56.7 | 91.3 |
| 23:25:00 | 23.5 | 24.4 | 23 | 29.9 | 15.6 | 29.6 | 60.2 | 60.1 | 60.7 | 56.2 | 91.6 |
| 23:30:00 | 25.2 | 25.5 | 24.7 | 29.6 | 20.6 | 29.5 | 67.4 | 68.1 | 65.5 | 56.6 | 92.1 |
| 23:35:00 | 25 | 25.4 | 24.2 | 29.6 | 13.7 | 29.5 | 65 | 65.6 | 64.9 | 56.9 | 91.4 |
| 23:40:00 | 23.6 | 24.5 | 23.2 | 29.6 | 10.8 | 29.5 | 59.9 | 59.9 | 60.4 | 56.9 | 90.9 |
| 23:45:00 | 25 | 25.3 | 24.4 | 29.4 | 20.2 | 29.4 | 66.2 | 67.4 | 64.8 | 57.5 | 92.1 |
| 23:50:00 | 25.9 | 26 | 25.2 | 29.4 | 17.9 | 29.4 | 69.7 | 71.3 | 68.8 | 57.5 | 91.2 |
| 23:55:00 | 24.3 | 24.9 | 23.7 | 29.6 | 12.4 | 29.3 | 63 | 63.2 | 63.1 | 57.2 | 90.4 |
| 0:00:00 | 23.8 | 24.5 | 23.5 | 29.4 | 19.3 | 29.3 | 62 | 63.2 | 62.4 | 57.3 | 91.6 |
| 0:05:00 | 25.4 | 25.5 | 24.8 | 29.2 | 21 | 29.2 | 68 | 70.3 | 67.4 | 57.9 | 92.2 |
| 0:10:00 | 25.1 | 25.4 | 24.4 | 29.3 | 14.3 | 29.2 | 67.1 | 68 | 67.2 | 58 | 91 |
| 0:15:00 | 23.5 | 24.4 | 23.2 | 29.4 | 18.6 | 29.1 | 62.4 | 62.2 | 62.4 | 57.9 | 91.5 |
| 0:20:00 | 25.2 | 25.5 | 24.7 | 29 | 20.9 | 29 | 68.7 | 70.5 | 67.9 | 59.3 | 92.2 |
| 0:25:00 | 25.3 | 25.5 | 24.6 | 28.9 | 14.6 | 28.9 | 68.5 | 69.7 | 68.9 | 59.6 | 91.1 |
| 0:30:00 | 24 | 24.6 | 23.8 | 29 | 20.1 | 28.9 | 65.9 | 67 | 65.3 | 59.5 | 91.8 |
| 0:35:00 | 25.5 | 25.6 | 25 | 28.7 | 21.6 | 28.7 | 70.6 | 72.7 | 69.8 | 60 | 92.1 |
| 0:40:00 | 25.1 | 25.2 | 24.4 | 29 | 14.5 | 28.6 | 67.9 | 69.5 | 68.4 | 59.6 | 90.6 |
| 0:45:00 | 25.1 | 25.4 | 24.6 | 28.9 | 21 | 28.7 | 69.9 | 71.5 | 69.5 | 59.4 | 92.1 |
| 0:50:00 | 25.9 | 25.8 | 25.3 | 28.7 | 18.7 | 28.6 | 72.4 | 74.4 | 71.3 | 59.8 | 91.6 |
| 0:55:00 | 24.2 | 24.7 | 23.7 | 29 | 19.8 | 28.9 | 66.2 | 67.6 | 65.9 | 59.1 | 91.7 |
| 1:00:00 | 25.5 | 25.7 | 25 | 28.7 | 21.6 | 28.9 | 70.9 | 72.4 | 70.6 | 59.6 | 92.2 |
| 1:05:00 | 24.9 | 25.2 | 24.2 | 28.7 | 14.4 | 28.7 | 68.1 | 69.5 | 67.8 | 60.6 | 90.9 |

**ตารางที่ ก 2 ตารางแ**สดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลที่ 5 นาทีเวลา 21.00 น. – 06.00 น(ต่อ)

| Time | $T_{ra}$ | $T_{ma}$ | $T_{ra}$ | $T_{oa}$ | $T_{sa}$ | $T_{fa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{ma}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1:45:00 | 24.4 | 24.9 | 24 | 28.4 | 14.3 | 28.2 | 69 | 70.6 | 67.9 | 63.6 | 90.6 |
| 1:50:00 | 25.2 | 25.5 | 24.9 | 28.2 | 21.7 | 28.2 | 73.1 | 75 | 71.7 | 64.1 | 92.2 |
| 1:55:00 | 25.6 | 25.8 | 25 | 28.1 | 17.3 | 28.2 | 73.1 | 74.8 | 72 | 64.5 | 91.1 |
| 2:00:00 | 24.4 | 24.8 | 24.1 | 28.3 | 21 | 28.3 | 70.2 | 72 | 68.9 | 64 | 91.8 |
| 2:05:00 | 25.5 | 25.7 | 25.1 | 28.1 | 22.3 | 28.4 | 73.9 | 75.5 | 72.4 | 64.9 | 92.2 |
| 2:10:00 | 25 | 25.2 | 24.4 | 28.2 | 15 | 28.3 | 70.7 | 72.7 | 69.5 | 65 | 90.2 |
| 2:15:00 | 25.1 | 25.4 | 24.8 | 27.8 | 21.6 | 28.2 | 72.9 | 74.9 | 71.6 | 66.2 | 92.1 |
| 2:20:00 | 26 | 25.9 | 25.4 | 27.7 | 21.5 | 28.2 | 74.9 | 77.4 | 73.8 | 66.7 | 91.7 |
| 2:25:00 | 24.3 | 24.6 | 24 | 28.2 | 20.6 | 28.4 | 70.1 | 71.8 | 68.4 | 65.1 | 91.3 |
| 2:30:00 | 25.4 | 25.6 | 25 | 28 | 22.2 | 28.3 | 73.8 | 76.2 | 72.6 | 66 | 92.2 |
| 2:35:00 | 25.7 | 25.8 | 25.2 | 28.1 | 18.2 | 28.3 | 74.2 | 76.2 | 73.1 | 65.5 | 90.8 |
| 2:40:00 | 24.5 | 24.9 | 24.3 | 28.3 | 21.5 | 28.5 | 71.9 | 74.1 | 70.1 | 65.3 | 91.8 |
| 2:45:00 | 25.6 | 25.6 | 25.2 | 28.1 | 22.6 | 28.6 | 75 | 77.3 | 73.1 | 65.6 | 92.1 |
| 2:50:00 | 25.2 | 25.3 | 24.6 | 28.3 | 15.9 | 28.7 | 72.4 | 74.4 | 70.9 | 65.3 | 89.8 |
| 2:55:00 | 25 | 25.3 | 24.7 | 28.2 | 21.6 | 28.7 | 73.5 | 75.5 | 71.8 | 65.1 | 92.1 |
| 3:00:00 | 25.8 | 25.9 | 25.3 | 28 | 23 | 28.6 | 75.6 | 77.7 | 74.4 | 65.6 | 92 |
| 3:05:00 | 25.1 | 25.2 | 24.5 | 28.3 | 15.6 | 28.8 | 72.5 | 74.2 | 70.5 | 65.1 | 89.5 |
| 3:10:00 | 25.2 | 25.4 | 24.8 | 28.2 | 21.9 | 28.7 | 74.2 | 76 | 72.7 | 65 | 92.1 |
| 3:15:00 | 25.9 | 26 | 25.4 | 27.9 | 22.7 | 28.5 | 76.1 | 77.8 | 74.6 | 65.7 | 91.9 |
| 3:20:00 | 24.4 | 24.7 | 24.1 | 28.3 | 20.9 | 28.7 | 70.6 | 72.8 | 68.9 | 65.2 | 91.3 |
| 3:25:00 | 25.5 | 25.6 | 25 | 28 | 22.3 | 28.5 | 74.8 | 76.6 | 73.4 | 65.5 | 92.2 |
| 3:30:00 | 26 | 26 | 25.4 | 27.9 | 20.5 | 28.6 | 76.5 | 78.4 | 75.1 | 66.5 | 91 |
| 3:35:00 | 24.2 | 24.6 | 23.9 | 28.3 | 20.6 | 28.7 | 70.4 | 72.8 | 68.1 | 65.3 | 91.1 |
| 3:40:00 | 25.4 | 25.6 | 25 | 27.9 | 22.2 | 28.4 | 74.9 | 76.8 | 73.3 | 66.9 | 92.3 |
| 3:45:00 | 26 | 26 | 25.4 | 27.8 | 21.8 | 28.5 | 76.5 | 78.6 | 75.1 | 66.6 | 91.4 |

ตารางที่ ก 2 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลที่ 5 นาทีเวลา 21.00 น. – 06.00 น(ต่อ)

| Time | $T_{ra}$ | $T_{ma}$ | $T_{ra}$ | $T_{oa}$ | $T_{sa}$ | $T_{fa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{ma}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3:50:00 | 24.3 | 24.7 | 24 | 28.2 | 20.9 | 28.4 | 71.3 | 73.4 | 69.1 | 65.9 | 91.3 |
| 3:55:00 | 25.4 | 25.5 | 25 | 27.9 | 22.4 | 28.3 | 75.4 | 77.4 | 73.6 | 67.4 | 92.3 |
| 4:00:00 | 25.8 | 25.8 | 25.2 | 27.6 | 19 | 28 | 76 | 77.9 | 74.7 | 68.7 | 90.9 |
| 4:05:00 | 24.6 | 24.9 | 24.3 | 27.8 | 21.6 | 28.1 | 72.9 | 75.2 | 70.9 | 67.6 | 91.7 |
| 4:10:00 | 25.6 | 25.7 | 25.1 | 27.5 | 22.8 | 28.1 | 76.2 | 78.1 | 74.5 | 68.4 | 92.3 |
| 4:15:00 | 25.4 | 25.5 | 24.8 | 27.6 | 17 | 28 | 74.4 | 76.5 | 72.2 | 68.5 | 90.1 |
| 4:20:00 | 24.9 | 25.2 | 24.6 | 27.5 | 21.7 | 28.1 | 74.2 | 76.5 | 72.4 | 68.5 | 92.1 |
| 4:25:00 | 25.7 | 25.8 | 25.2 | 27.5 | 23.1 | 28.1 | 76.8 | 78.9 | 75.3 | 68.9 | 92.2 |
| 4:30:00 | 24.9 | 25 | 24.2 | 27.5 | 15.3 | 28 | 72.7 | 74.7 | 70.6 | 69.5 | 89.7 |
| 4:35:00 | 25.2 | 25.4 | 24.8 | 27.4 | 22.1 | 28 | 75.6 | 77.8 | 73.7 | 69.8 | 92.3 |
| 4:40:00 | 25.9 | 25.9 | 25.3 | 27.2 | 23.4 | 27.9 | 77.5 | 79.8 | 75.9 | 70.4 | 92.1 |
| 4:45:00 | 24.9 | 25.1 | 24.4 | 27.4 | 15.5 | 28 | 73.1 | 75.3 | 70.9 | 70 | 89.5 |
| 4:50:00 | 25.1 | 25.3 | 24.8 | 27.2 | 22 | 27.9 | 75.5 | 77.7 | 73.7 | 70.2 | 92.3 |
| 4:55:00 | 25.7 | 25.8 | 25.2 | 27.2 | 23.3 | 27.9 | 77.6 | 79.6 | 76 | 70.2 | 92.2 |
| 5:00:00 | 25.5 | 25.6 | 25 | 27.3 | 18.2 | 27.8 | 75.9 | 78 | 74.4 | 69.9 | 89.8 |
| 5:05:00 | 24.7 | 25 | 24.5 | 27.4 | 21.7 | 27.9 | 74.8 | 77.1 | 72.5 | 69.1 | 91.9 |
| 5:10:00 | 25.6 | 25.6 | 25.1 | 27.2 | 23 | 28 | 77.2 | 79.5 | 75.6 | 69.6 | 92.3 |
| 5:15:00 | 25.6 | 25.5 | 25 | 27.3 | 18.7 | 27.8 | 76.2 | 77.9 | 74.4 | 69.2 | 90.3 |
| 5:20:00 | 24.7 | 24.9 | 24.5 | 27.3 | 21.7 | 27.9 | 74.7 | 76.9 | 72.4 | 68.8 | 92 |
| 5:25:00 | 25.6 | 25.6 | 25.1 | 27.2 | 23 | 27.9 | 77.1 | 79.5 | 75.5 | 69.5 | 92.3 |
| 5:30:00 | 26 | 25.9 | 25.3 | 27.2 | 20.6 | 27.9 | 78.1 | 79.9 | 76.3 | 69.7 | 90.2 |
| 5:35:00 | 24.5 | 24.7 | 24.2 | 27.3 | 21.7 | 27.8 | 74.3 | 76.2 | 71.4 | 69.4 | 91.6 |
| 5:40:00 | 25.5 | 25.5 | 25 | 27.1 | 22.7 | 27.8 | 77 | 79.2 | 75.3 | 70.1 | 92.4 |
| 5:45:00 | 25.9 | 25.9 | 25.4 | 27.1 | 23.7 | 27.8 | 78.3 | 80.4 | 76.8 | 70.7 | 91.7 |
| 5:50:00 | 24.6 | 24.7 | 24.2 | 27.1 | 21.6 | 27.7 | 74 | 76.5 | 71.5 | 70.4 | 91.3 |

**ตารางที่ ก 2 ตารางแ**สดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลที่ 5 นาทีเวลา 21.00 น. – 06.00 น (ต่อ)

| Time | $T_{ra}$ | $T_{ma}$ | $T_{ra}$ | $T_{oa}$ | $T_{sa}$ | $T_{fa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{ma}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5:55:00 | 25.5 | 25.5 | 25 | 27 | 22.7 | 27.6 | 77.5 | 79.8 | 75.7 | 70.9 | 92.4 |
| 6:00:00 | 25.9 | 25.8 | 25.5 | 27 | 22.8 | 27.6 | 79 | 81.1 | 76.8 | 70.9 | 91.9 |

**ตารางที่ ก 3 ตารางแ**สดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลในสำนักงาน

| เวลา | $t_{rea}$ | $t_{sa}$ | $t_{oa}$ | $t_{ra}$ | $t_{oa}$ | $RH_{rea}$ | $RH_{sa}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9:15:00 | 24.2 | 10.2 | 28.4 | 24.2 | 32.3 | 48 | 85 | 59 | 45 | 49 |
| 9:20:00 | 24.2 | 10.2 | 29.5 | 24.3 | 32.1 | 47 | 85 | 56 | 44 | 50 |
| 9:25:00 | 24.2 | 10 | 29.4 | 24.2 | 32.3 | 47 | 85 | 55 | 44 | 48 |
| 9:30:00 | 24.2 | 10 | 28.8 | 24.3 | 32.4 | 47 | 85 | 58 | 44 | 49 |
| 9:35:00 | 24.3 | 10.5 | 29.4 | 24.3 | 32.8 | 48 | 85 | 57 | 44 | 49 |
| 9:40:00 | 24.4 | 11.3 | 30.6 | 24.5 | 33.9 | 51 | 85 | 54 | 49 | 46 |
| 9:45:00 | 24.4 | 11 | 30.1 | 24.5 | 34 | 51 | 85 | 56 | 47 | 47 |
| 9:50:00 | 24.2 | 10.7 | 31.4 | 24.4 | 34.9 | 49 | 85 | 51 | 46 | 43 |
| 9:55:00 | 24.2 | 10.2 | 31 | 24.4 | 35.3 | 48 | 85 | 51 | 44 | 42 |
| 10:00:00 | 24.2 | 10.3 | 30.9 | 24.4 | 34.9 | 48 | 85 | 52 | 44 | 43 |
| 10:05:00 | 24.4 | 10.5 | 30.7 | 24.4 | 34.8 | 47 | 85 | 52 | 43 | 43 |
| 10:10:00 | 24.3 | 10.4 | 31 | 24.3 | 35 | 47 | 85 | 51 | 43 | 42 |
| 10:15:00 | 24.2 | 10.2 | 31.3 | 24.2 | 35.6 | 46 | 85 | 48 | 43 | 39 |
| 10:20:00 | 24.2 | 10.3 | 31.9 | 24.2 | 36.2 | 46 | 85 | 48 | 43 | 39 |
| 10:25:00 | 24.2 | 10.3 | 32.7 | 24.1 | 37.4 | 47 | 85 | 48 | 43 | 38 |
| 10:30:00 | 24.3 | 10.4 | 32.2 | 24.2 | 38.4 | 46 | 85 | 48 | 43 | 36 |
| 10:35:00 | 24.5 | 10.4 | 32.8 | 24.3 | 39 | 46 | 84 | 44 | 42 | 32 |
| 10:40:00 | 24.4 | 10.5 | 33.1 | 24.3 | 39.3 | 46 | 85 | 42 | 42 | 31 |
| 10:45:00 | 24.3 | 9.9 | 33.1 | 24.2 | 39.7 | 46 | 85 | 40 | 42 | 29 |

**ตารางที่ ก 3 ตารางแ**สดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลในสำนักงาน ( ต่อ )

| เวลา | $t_{rea}$ | $t_{sa}$ | $t_{oa}$ | $t_{ra}$ | $t_{oa}$ | $RH_{rea}$ | $RH_{sa}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10:50:00 | 24.2 | 10 | 33.2 | 24.1 | 40.3 | 45 | 85 | 43 | 42 | 30 |
| 10:55:00 | 24.3 | 9.3 | 33.4 | 24.3 | 40.7 | 45 | 85 | 32 | 42 | 22 |
| 11:00:00 | 24.2 | 9.8 | 33.6 | 24.2 | 40.8 | 45 | 85 | 36 | 41 | 25 |
| 11:05:00 | 24.1 | 9.9 | 33.8 | 24.1 | 41.9 | 44 | 85 | 34 | 41 | 23 |
| 11:10:00 | 24.1 | 9.6 | 33.6 | 24.1 | 42.5 | 44 | 85 | 29 | 41 | 19 |
| 11:15:00 | 24 | 9.8 | 34.3 | 24.1 | 43 | 44 | 84 | 30 | 40 | 20 |
| 11:20:00 | 24 | 9.7 | 34.5 | 24 | 42.7 | 44 | 85 | 30 | 40 | 20 |
| 11:25:00 | 24.3 | 10.1 | 33.8 | 24.1 | 41.4 | 44 | 85 | 34 | 41 | 23 |
| 11:30:00 | 24.2 | 10 | 34.3 | 24 | 42.2 | 44 | 85 | 34 | 41 | 23 |
| 11:35:00 | 24.1 | 9.8 | 34.3 | 24.1 | 42.1 | 44 | 85 | 34 | 40 | 23 |
| 11:40:00 | 24 | 9.7 | 34.7 | 24 | 42.6 | 44 | 84 | 33 | 40 | 22 |
| 11:45:00 | 24.1 | 10.1 | 33.5 | 24 | 41.4 | 44 | 85 | 34 | 40 | 23 |
| 11:50:00 | 24.3 | 10 | 34.4 | 24.1 | 41.3 | 44 | 85 | 33 | 41 | 24 |
| 11:55:00 | 24.2 | 10 | 34.4 | 24.1 | 41.8 | 44 | 85 | 33 | 41 | 23 |
| 12:00:00 | 23.9 | 9.9 | 35.3 | 23.9 | 43.5 | 44 | 85 | 32 | 41 | 21 |
| 12:05:00 | 23.9 | 10 | 35 | 23.8 | 43 | 44 | 85 | 32 | 41 | 22 |
| 12:10:00 | 23.9 | 9.5 | 35 | 23.7 | 42.2 | 44 | 84 | 31 | 41 | 22 |
| 12:15:00 | 23.8 | 9.9 | 34.9 | 23.7 | 41.6 | 44 | 85 | 30 | 41 | 21 |
| 12:20:00 | 23.7 | 9.2 | 34.7 | 23.6 | 41.7 | 44 | 85 | 31 | 41 | 22 |

**ตารางที่ ก 3** ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลในสำนักงาน ( ต่อ )

| เวลา | $t_{rea}$ | $t_{sa}$ | $t_{oa}$ | $t_{ra}$ | $t_{oa}$ | $RH_{rea}$ | $RH_{sa}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12:25:00 | 23.7 | 9.7 | 35 | 23.6 | 41.6 | 44 | 84 | 28 | 40 | 20 |
| 12:30:00 | 23.6 | 8.8 | 35.4 | 23.5 | 41.8 | 44 | 85 | 29 | 40 | 21 |
| 12:35:00 | 23.7 | 9.1 | 35.4 | 23.6 | 42.5 | 43 | 85 | 28 | 40 | 20 |
| 12:40:00 | 23.4 | 8.6 | 35.5 | 23.4 | 43.1 | 44 | 85 | 27 | 40 | 18 |
| 12:45:00 | 23.4 | 8.9 | 35.1 | 23.4 | 41.5 | 43 | 85 | 28 | 40 | 20 |
| 12:50:00 | 23.4 | 9.2 | 34.6 | 23.3 | 42.5 | 43 | 85 | 27 | 40 | 18 |
| 12:55:00 | 23.3 | 8.7 | 35.9 | 23.3 | 43 | 43 | 85 | 26 | 40 | 18 |
| 13:00:00 | 23.4 | 9.4 | 36.2 | 23.5 | 43.4 | 44 | 85 | 26 | 40 | 18 |
| 13:05:00 | 23.6 | 9.1 | 35.5 | 23.6 | 43 | 43 | 85 | 25 | 40 | 17 |
| 13:10:00 | 23.5 | 9.3 | 36.7 | 23.6 | 43.9 | 43 | 85 | 24 | 40 | 16 |
| 13:15:00 | 23.4 | 8.7 | 36.2 | 23.4 | 43.2 | 43 | 85 | 24 | 40 | 17 |
| 13:20:00 | 23.3 | 9 | 36.2 | 23.4 | 43.2 | 43 | 86 | 26 | 39 | 18 |
| 13:25:00 | 23.3 | 8.7 | 35.9 | 23.4 | 42 | 43 | 85 | 23 | 39 | 16 |
| 13:30:00 | 23.6 | 18.2 | 36.6 | 24.1 | 43.3 | 47 | 73 | 23 | 43 | 17 |
| 13:35:00 | 23.8 | 9.4 | 36.5 | 23.9 | 42.9 | 45 | 85 | 24 | 42 | 17 |
| 13:40:00 | 23.5 | 9.7 | 36 | 23.7 | 43.1 | 45 | 85 | 25 | 42 | 17 |
| 13:45:00 | 23.9 | 13.9 | 36 | 24.4 | 40.9 | 49 | 75 | 24 | 45 | 19 |
| 13:50:00 | 23.9 | 9.6 | 36.1 | 24 | 39.3 | 47 | 85 | 23 | 43 | 20 |
| 13:55:00 | 23.7 | 12.1 | 36.5 | 23.7 | 38.8 | 46 | 85 | 20 | 43 | 18 |

**ตารางที่ ก 3** ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลในสำนักงาน ( ต่อ )

| เวลา | $t_{rea}$ | $t_{sa}$ | $t_{oa}$ | $t_{ra}$ | $t_{oa}$ | $RH_{rea}$ | $RH_{sa}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14:00:00 | 24.3 | 11.4 | 36 | 24.5 | 38.1 | 48 | 83 | 22 | 45 | 20 |
| 14:05:00 | 23.9 | 9.7 | 36.2 | 23.9 | 38 | 46 | 85 | 21 | 44 | 20 |
| 14:10:00 | 24.4 | 12.4 | 36.1 | 24.8 | 37.9 | 49 | 80 | 21 | 45 | 19 |
| 14:15:00 | 24 | 10.1 | 35.5 | 24.1 | 37.1 | 47 | 85 | 23 | 44 | 21 |
| 14:20:00 | 23.6 | 16.7 | 35.3 | 23.8 | 36.8 | 47 | 86 | 23 | 43 | 22 |
| 14:25:00 | 24.1 | 10.6 | 35.2 | 24.6 | 36.9 | 48 | 84 | 23 | 45 | 22 |
| 14:30:00 | 24.2 | 16 | 33.6 | 25 | 36.8 | 51 | 71 | 26 | 46 | 22 |
| 14:35:00 | 24 | 19.2 | 33.6 | 24.6 | 36.5 | 49 | 82 | 28 | 45 | 24 |
| 14:40:00 | 24.4 | 11.3 | 34 | 25 | 36.7 | 49 | 84 | 28 | 45 | 25 |
| 14:45:00 | 23.8 | 10.2 | 33.5 | 24.5 | 36.5 | 48 | 85 | 30 | 44 | 26 |
| 14:50:00 | 24.2 | 11.9 | 32.9 | 25 | 35.9 | 50 | 83 | 31 | 47 | 27 |
| 14:55:00 | 24.1 | 23.2 | 33.6 | 24.9 | 36.2 | 52 | 60 | 31 | 48 | 27 |
| 15:00:00 | 24.2 | 10.9 | 32.9 | 24.8 | 35.5 | 49 | 85 | 31 | 45 | 27 |
| 15:05:00 | 23.9 | 17.7 | 35.4 | 24.2 | 36.3 | 49 | 85 | 27 | 46 | 26 |
| 15:10:00 | 24.4 | 11.5 | 35.9 | 24.6 | 36.3 | 50 | 84 | 28 | 47 | 28 |
| 15:15:00 | 24 | 20.8 | 35.5 | 24.3 | 36.6 | 51 | 72 | 27 | 49 | 26 |
| 15:20:00 | 24.3 | 11.4 | 36.1 | 24.3 | 36.6 | 50 | 84 | 27 | 47 | 27 |
| 15:25:00 | 23.8 | 17.7 | 35.6 | 24.1 | 36.5 | 49 | 85 | 27 | 46 | 27 |
| 15:30:00 | 24.3 | 11.4 | 35.9 | 24.5 | 36.5 | 50 | 84 | 27 | 47 | 26 |

**ตารางที่ ก 3** ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองการเก็บข้อมูลในสำนักงาน ( ต่อ )

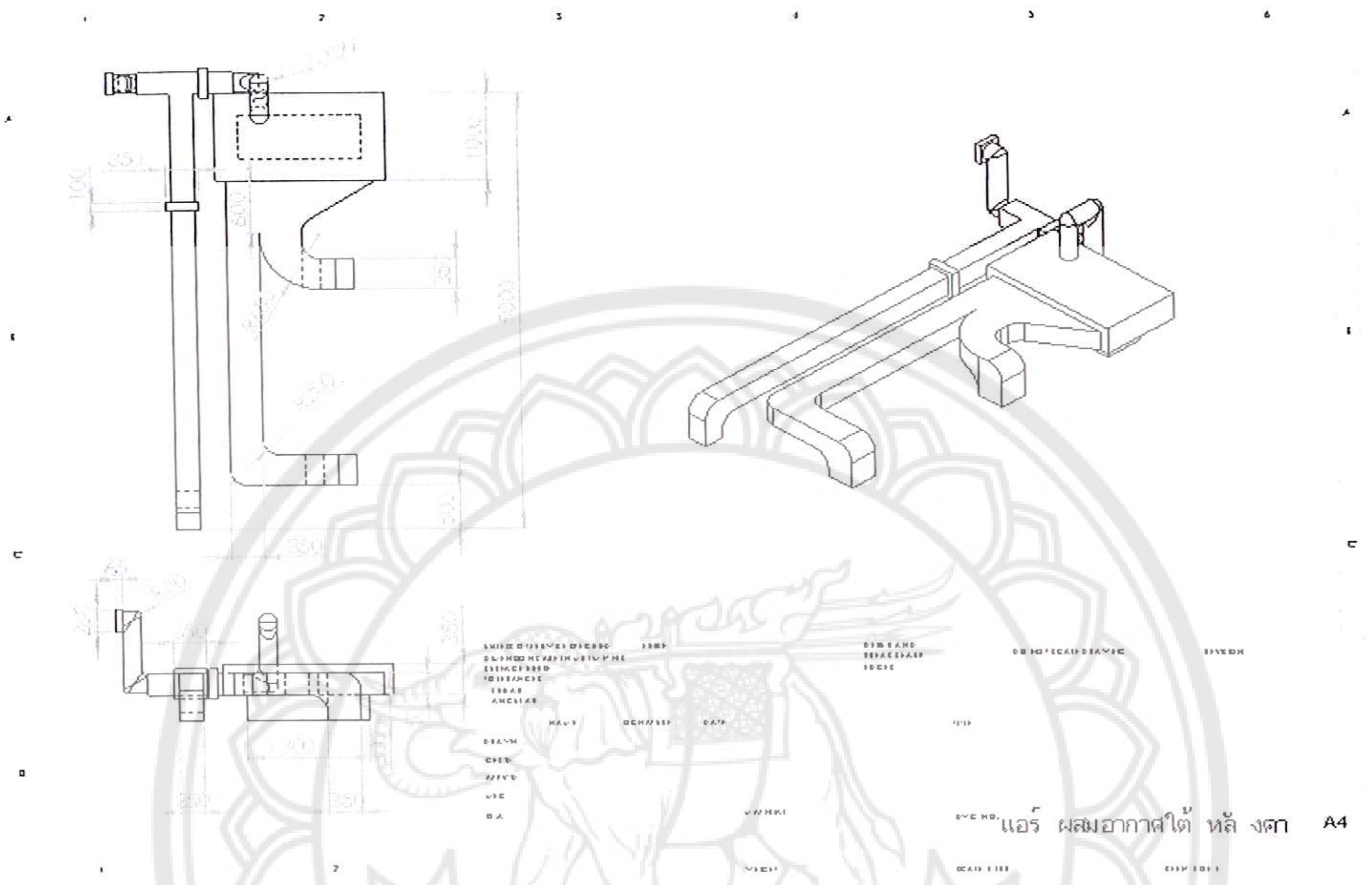
| เวลา | $t_{rea}$ | $t_{sa}$ | $t_{oa}$ | $t_{ra}$ | $t_{oa}$ | $RH_{rea}$ | $RH_{sa}$ | $RH_{oa}$ | $RH_{ra}$ | $RH_{oa}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15:35:00 | 24.2 | 19.4 | 35.7 | 24.6 | 36.4 | 53 | 68 | 27 | 50 | 26 |
| 15:40:00 | 24.2 | 10.6 | 35.6 | 24.2 | 36.4 | 50 | 85 | 29 | 47 | 28 |
| 15:45:00 | 24.4 | 13.8 | 35.2 | 24.7 | 35.8 | 53 | 80 | 29 | 49 | 28 |
| 15:50:00 | 24.1 | 11 | 35.4 | 24.2 | 35.6 | 50 | 85 | 29 | 47 | 29 |
| 15:55:00 | 24.4 | 13.2 | 34.9 | 24.8 | 35.7 | 53 | 81 | 29 | 49 | 28 |
| 16:00:00 | 24.2 | 20.7 | 35.5 | 24.5 | 35.8 | 53 | 76 | 28 | 50 | 28 |
| 16:05:00 | 24.4 | 11.7 | 35.9 | 24.5 | 36.1 | 51 | 85 | 28 | 49 | 28 |
| 16:10:00 | 24.2 | 18.1 | 34.7 | 24.5 | 35.5 | 54 | 71 | 29 | 51 | 28 |
| 16:15:00 | 24 | 16.9 | 34.3 | 24 | 35.1 | 51 | 85 | 30 | 49 | 29 |
| 16:20:00 | 24.3 | 11.9 | 34.6 | 24.5 | 35 | 52 | 84 | 30 | 49 | 30 |
| 16:25:00 | 24.3 | 15.7 | 34.5 | 24.9 | 34.9 | 54 | 76 | 31 | 51 | 31 |
| 16:30:00 | 24.1 | 20 | 34.2 | 24.3 | 34.8 | 53 | 82 | 31 | 51 | 30 |
| 16:35:00 | 24.4 | 11.8 | 34.1 | 24.6 | 34.5 | 52 | 85 | 27 | 49 | 27 |

* **หมายเหตุ ข้อมูล**การทดลองทั้งหมดอยู่ที่ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

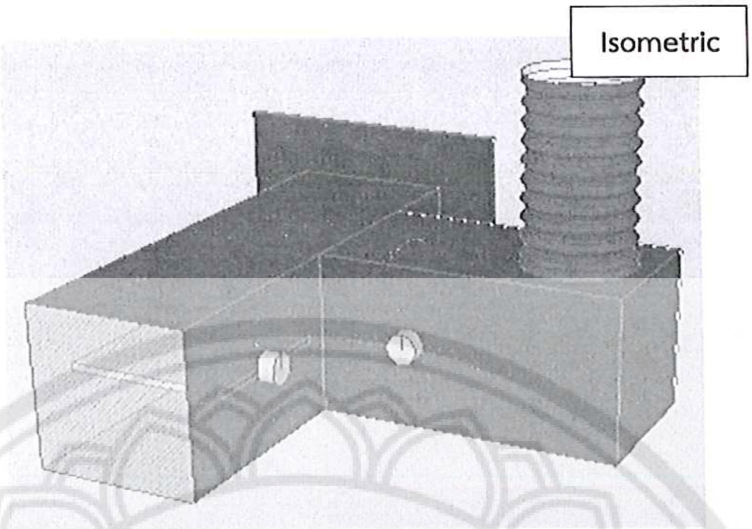
# ภาคผนวก ข

# รูปในงานวิจัย

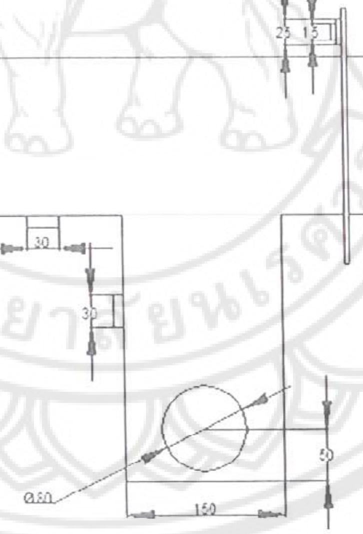
มหาวิทยาลัยนเรศวร



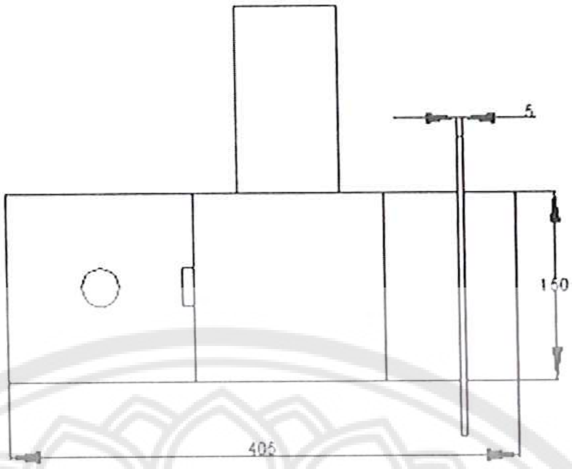

รูป ข.1 ชุดทดลองระบบปรับอากาศและระบายอากาศ



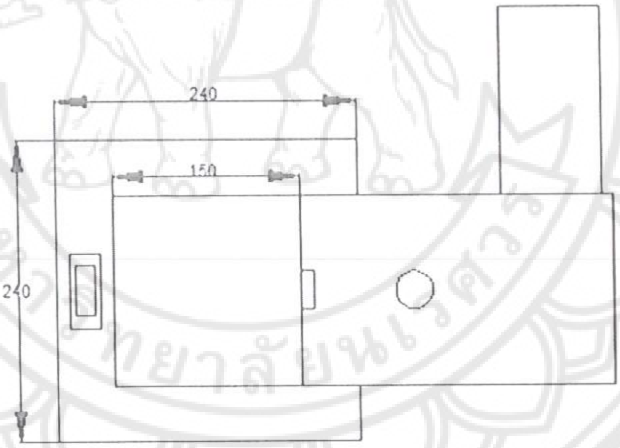

รูป ข.2 ชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 1




รูป ข.3 ชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 2

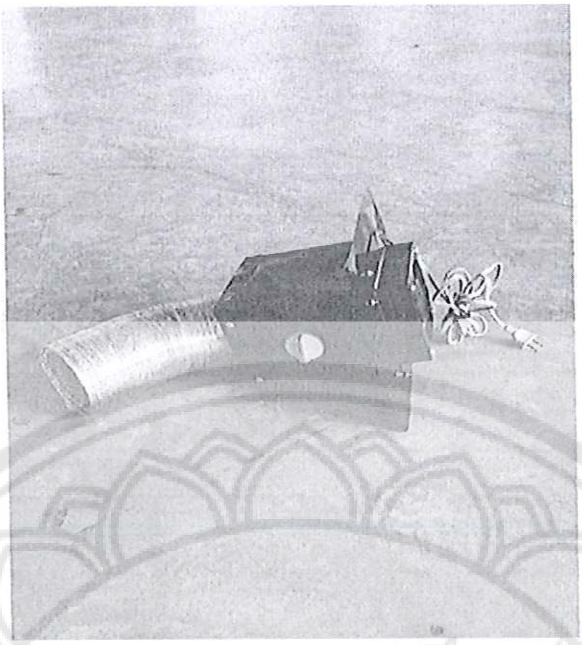



รูป ข.4 ชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 3



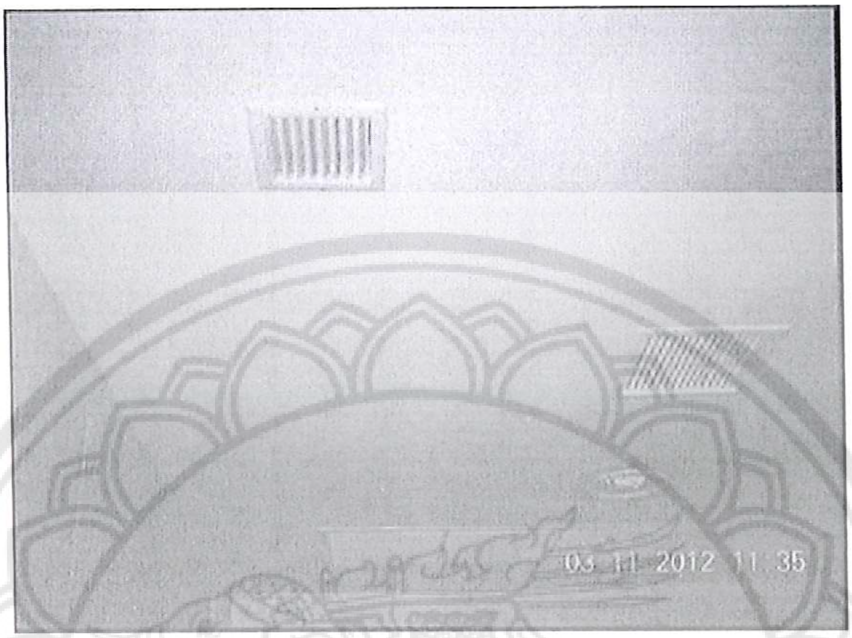

รูป ข.5 ชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 4

มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูป ข.6 ชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 1

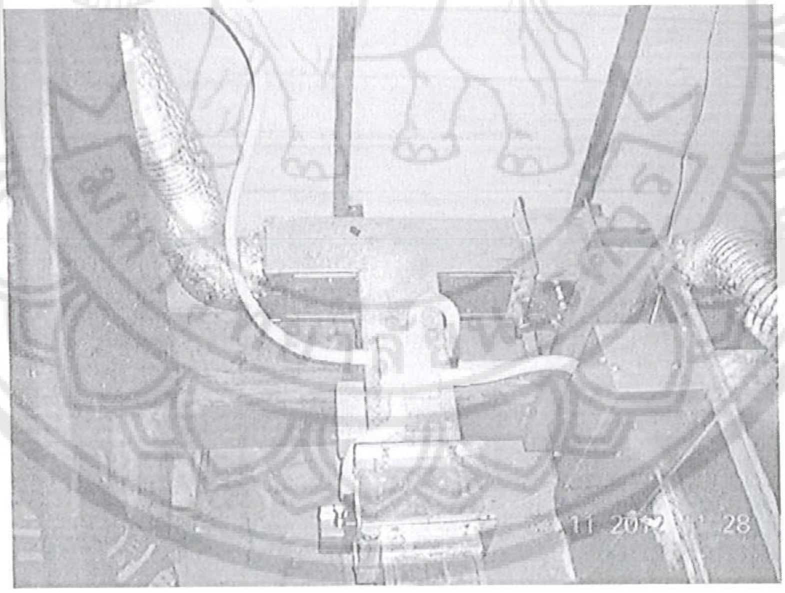
รูป ข.7 แบบชุดผสมอากาศระบาย ก่อนเข้าเครื่อง Evaporator 2



รูป ข.8 ช่องอากาศระบาย บานเกล็ดลมกลับ และหัวจ่ายลม

รูป ข.9 ชุดทดลองระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

รูป ข.10 ท่อลมระบบปรับอากาศและระบายอากาศ



รูป ข.11 ต้นแบบชุดควบคุมการแบ่งอากาศ

# ภาคผนวก ค

# มาตรฐานของการระบายอากาศ

ตารางที่ ค.1 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบการปรับภาวะอากาศ

| Application | | Estimated Maximum[2] Occupancy P/1000 ft$^2$ or 100 m$^2$ | Outdoor Air Requirements cfm/person |
|---|---|---|---|
| Dry Cleaners, Laundries[3] | | | |
| | Commercial laundry | 10 | 25 |
| | Commercial dry cleaner | 30 | 30 |
| | Storage, pick up | 30 | 35 |
| | Coin-operated laundries | 20 | 15 |
| | Coin-operated dry cleaner | 20 | 15 |
| Dwelling Units in Buildings Greater Than Four Stories or Attached to I-Occupancy Facilities | | | |
| | Bedrooms & living areas[24] | | 15 |
| Food and Beverage Service | | | |
| | Dinning rooms | 70 | 20 |
| | Cafeteria, fast food | 100 | 20 |
| | Bars, cocktail lounges[4] | 100 | 30 |
| | Kitchens(cooking)[23] | 20 | 15 |
| Garages, Repair, Service Stations | | | |
| | Enclosed parking garage[5] | | 1.50 cfm/ft.sq. |
| | Auto repair rooms | | 1.50 cfm/ft.sq. |
| Hotels, Motels, Resorts, Congregate Residences with More Than Four Stories[6] | | | |
| | Bedrooms | | 30 cfm/room |
| | Living Rooms | | 30 cfm/room |
| | Bath[7] | | 35 cfm/room |
| | Lobbies | 30 | 15 |
| | Conference rooms | 50 | 20 |
| | Assembly rooms | 120 | 15 |
| | Gambling casinos[4] | 120 | 30 |
| Offices | | | |
| | Office space[9] | 7 | 20 |
| | Reception area | 60 | 15 |
| | Telecommunication centers and data entry areas | 60 | 20 |
| | Conference rooms | 50 | 20 |
| Public Spaces | | | |
| | Corridors and utilities | | 0.05 cfm/ft.sq. |
| | Public restroom[10] | | 50 cfm/wc or urinal |
| | Lockers and dressing rooms | | 0.50 cfm/ft.sq. |
| | Smoking lounge[11] | 70 | 60 |
| | Elevators[12] | | 1.0 cfm/ft.sq. |
| Retail Stores, Sales Floors, and Show Room Floors | | | |
| | Basement and street | 30 | 0.30 cfm/ft.sq. |
| | Upper floors | 20 | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Storage rooms | 15 | 0.15 cfm/ft.sq. |
| | Dressing rooms | | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Malls and arcades | 20 | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Shipping and receiving | 10 | 0.15 cfm/ft.sq. |
| | Smoking lounge[11] | 70 | 60 |
| | Warehouses | 5 | 0.05 cfm/ft.sq. |

ตารางที่ ค.1 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบการปรับภาวะอากาศ (ต่อ)

| Application | | Estimated Maximum[2] Occupancy P/1000 ft² or 100 m² | Outdoor Air Requirements cfm/person |
|---|---|---|---|
| **Dry Cleaners, Laundries[3]** | | | |
| | Commercial laundry | 10 | 25 |
| | Commercial dry cleaner | 30 | 30 |
| | Storage, pick up | 30 | 35 |
| | Coin-operated laundries | 20 | 15 |
| | Coin-operated dry cleaner | 20 | 15 |
| **Dwelling Units in Buildings Greater Than Four Stories or Attached to I-Occupancy Facilities** | | | |
| | Bedrooms & living areas[24] | | 15 |
| **Food and Beverage Service** | | | |
| | Dinning rooms | 70 | 20 |
| | Cafeteria, fast food | 100 | 20 |
| | Bars, cocktail lounges[4] | 100 | 30 |
| | Kitchens(cooking)[23] | 20 | 15 |
| **Garages, Repair, Service Stations** | | | |
| | Enclosed parking garage[5] | | 1.50 cfm/ft.sq. |
| | Auto repair rooms | | 1.50 cfm/ft.sq. |
| **Hotels, Motels, Resorts, Congregate Residences with More Than Four Stories[6]** | | | |
| | Bedrooms | | 30 cfm/room |
| | Living Rooms | | 30 cfm/room |
| | Bath[7] | | 35 cfm/room |
| | Lobbies | 30 | 15 |
| | Conference rooms | 50 | 20 |
| | Assembly rooms | 120 | 15 |
| | Gambling casinos[4] | 120 | 30 |
| **Offices** | | | |
| | Office space[9] | 7 | 20 |
| | Reception area | 60 | 15 |
| | Telecommunication centers and data entry areas | 60 | 20 |
| | Conference rooms | 50 | 20 |
| **Public Spaces** | | | |
| | Corridors and utilities | | 0.05 cfm/ft.sq. |
| | Public restroom[10] | | 50 cfm/wc or urinal |
| | Lockers and dressing rooms | | 0.50 cfm/ft.sq. |
| | Smoking lounge[11] | 70 | 60 |
| | Elevators[12] | | 1.0 cfm/ft.sq. |
| **Retail Stores, Sales Floors, and Show Room Floors** | | | |
| | Basement and street | 30 | 0.30 cfm/ft.sq. |
| | Upper floors | 20 | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Storage rooms | 15 | 0.15 cfm/ft.sq. |
| | Dressing rooms | | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Malls and arcades | 20 | 0.20 cfm/ft.sq. |
| | Shipping and receiving | 10 | 0.15 cfm/ft.sq. |
| | Smoking lounge[11] | 70 | 60 |
| | Warehouses | 5 | 0.05 cfm/ft.sq. |

ตารางที่ ค.2 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับสภาวะอากาศ 2

| ลำดับ | สถานที่ (ประเภทการใช้) | ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร |
|---|---|---|
| ๑ | ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า) | ๒ |
| ๒ | โรงงาน | ๒ |
| ๓ | สำนักงาน | ๒ |
| ๔ | สถานอาบ อบ นวด | ๒ |
| ๕ | สถานที่สำหรับติดต่อธุรกิจในธนาคาร | ๒ |
| ๖ | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด | ๒ |
| ๗ | ห้องปฏิบัติการ | ๒ |
| ๘ | ร้านตัดผม | ๓ |
| ๙ | สถานกีฬาในร่ม | ๔ |
| ๑๐ | โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู) | ๔ |
| ๑๑ | ห้องเรียน | ๔ |
| ๑๒ | สถานบริหารร่างกาย | ๕ |
| ๑๓ | ร้านเสริมสวย | ๕ |
| ๑๔ | ห้องประชุม | ๖ |
| ๑๕ | ห้องน้ำ ห้องส้วม | ๑๐ |
| ๑๖ | สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม (ห้องรับประทานอาหาร) | ๑๐ |
| ๑๗ | ไนท์คลับ บาร์ หรือสถานลีลาศ | ๑๐ |
| ๑๘ | ห้องครัว | ๓๐ |
| ๑๙ | สถานพยาบาล | |
| | - ห้องคนไข้ | ๒ |
| | - ห้องผ่าตัดและห้องคลอด | ๘ |
| | - ห้องช่วยชีวิตฉุกเฉิน | ๕ |
| | - ห้อง ไอ.ซี.ยู. และห้อง ซี.ซี.ยู. | ๕ |

# ภาคผนวก ง

# การเผยแพร่งานวิจัย

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# บันทึกข้อความ

**ส่วนราชการ** สำนักงานอธิการบดี กองบริหารการวิจัย งานการจัดการผลผลิตการวิจัย โทร.๘๖๔๑

**ที่** ศธ ๐๕๒๗.๐๑.๓๓(๔)/ว๑๒๖๔ **วันที่** ๑๘ เมษายน ๒๕๕๖

**เรื่อง** ตอบรับการนำเสนอผลงานทางวิชาการและการตีพิมพ์ผลงาน การประชุมทางวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ ๙

**เรียน** นายนินนาท ราชประดิษฐ์

ตามที่ท่านสมัครเข้าร่วมนำเสนอผลงาน ในการประชุมทางวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ ๙ "ความรู้สู่เชิงพาณิชย์ นำเศรษฐกิจไทยก้าวไกลอาเซียน" ในระหว่างวันอาทิตย์ที่ ๒๘ – วันจันทร์ที่ ๒๙ กรกฎาคม ๒๕๕๖ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ๗๒ พรรษาฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยส่งผลงาน งานวิจัย เรื่องการศึกษาผลกระทบของรูปแบบการระบายอากาศ ที่มีต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เข้าร่วมนำเสนอประเภท Oral Presentation

ในการนี้ คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณาผลงานของท่านเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และขอแจ้งให้ท่านทราบว่าผลงานวิจัยของท่านได้รับการคัดเลือกให้นำเสนอผลงานและตีพิมพ์ลงใน Abstract และ Proceedings การประชุมทางวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ ๙

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ ทั้งนี้ ท่านสามารถตรวจสอบกำหนดการนำเสนอและรายละเอียดการเตรียมข้อมูลการนำเสนอได้ทางเว็บไซต์ http://dra.research.nu.ac.th/nurc9/

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย

ที่ ศธ ๐๕๒๗/ว๙๒๖๙

มหาวิทยาลัยนเรศวร
ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมืองพิษณุโลก
จังหวัดพิษณุโลก ๖๕๐๐๐

๑๘ กรกฎาคม ๒๕๕๖

**เรื่อง** แจ้งผลการประกวดบทความ ในงานประชุมวิชาการ การประชุมวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ ๙

**เรียน** นินนาท ราชประดิษฐ์ ,จุฑาวัชร สุวรรณภพ และ นฤพล สร้อยวัน

ตามที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร กำหนดจัดการประชุมวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ ๙ : ความรู้สู่เชิงพาณิชย์ นำเศรษฐกิจไทยก้าวไกลอาเซียน (Research-Based Commercialization for ASEAN Economic Development) ในระหว่างวันอาทิตย์ที่ ๒๘ – วันจันทร์ที่ ๒๙ กรกฎาคม ๒๕๕๖ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ๗๒ พรรษาฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และท่านได้ส่งบทความเข้าร่วมนำเสนอและประกวดบทความดีเด่น ในงานประชุมวิชาการดังกล่าวด้วย นั้น

ในการนี้ มหาวิทยาลัยฯ ขอแจ้งว่าบทความวิจัยของท่าน เรื่อง การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการระบายอากาศ ที่มีต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้รับการพิจารณาให้ได้รับรางวัล รางวัลบทความดีเด่น รองอันดับ ๒ กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในงานประชุมวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ ๙ : ความรู้สู่เชิงพาณิชย์ นำเศรษฐกิจไทยก้าวไกลอาเซียน (Research-Based Commercialization for ASEAN Economic Development) โดยท่านจะได้รับ

๑. เงินรางวัล จำนวนเงิน ๒,๐๐๐ บาท
๒. ใบเกียรติบัตรรางวัล รางวัลบทความดีเด่น รองอันดับ ๒ กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
๓. การตีพิมพ์ผลงานลงในวารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับพิเศษ ประจำปี ๒๕๕๖

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักงานอธิการบดี กองบริหารการวิจัย
โทร. ๐ ๕๕๙๖ ๘๖๔๑ โทรสาร ๐ ๕๕๙๖ ๘๖๓๖

# การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

นินนาท ราชประดิษฐ์* จุฑาวัชร สุวรรณภพ และ นฤพล สร้อยวัน

# The Study of Impacts of Ventilation Patterns on the Level of Relative Humidity in Office Using Split Type Air-Conditioner

Ninnart Rachapradit*, Jutawat Suwannapob and Naruepon Soiwan

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Pitsanulok

*Corresponding Author. E-mail address: ninnart@hotmail.com

Received 30 April 2013; accepted 12 July 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ด้วยการทำชุดเติมอากาศเพื่อให้ห้องมีปริมาณการระบายอากาศที่สะอาดและเพียงพอต่อความต้องการตามมาตรฐาน และจากนั้นจะใช้ชุดเติมอากาศนี้ทำการศึกษาผลจากอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ การหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และรูปแบบของการระบายอากาศที่กระทบต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงาน จากการทดลองพบว่าอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ มีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานโดยความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำในช่วงกลางวันและมีค่าสูงกว่าในช่วงเช้าและเย็น ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ส่วนการหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศในช่วงภาระการทำความเย็นน้อย (Part load) จะส่งผลให้ความชื้นของห้องเพิ่มขึ้น ในส่วนการใช้ชุดเติมอากาศเพื่อศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศพบว่าการนำอากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าห้องจะทำให้ห้องมีความชื้นน้อยกว่าการส่งอากาศเข้าห้องโดยตรง ซึ่งจากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ นอกจากนั้นแนวคิดของชุดเติมอากาศในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศในการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน การระบายอากาศ การควบคุมความชื้น

Abstract

This research aims to improve indoor air quality in office-buildings that use split type air-conditioners by making ventilation device to make fresh air more hygienic and adequate for standard requirements. Then, this ventilation device will be used to study how outdoor air used in ventilation, the pause of compressor, and patterns of ventilation can affect the room relative humidity. The results showed that outdoor air used in ventilation does have effects on relative humidity: the room relative humidity is low in the afternoon and high in the morning and evening as is the outside relative humidity. The pause of compressor during part load is found to cause room humidity to increase. Finally, the study of ventilation patterns showed that the transfer of ventilation through air-conditioner (from outdoor to indoor) results in lower humidity than when transferring air ventilation directly into the room. This knowledge can be applied to control the humidity when split type air-conditioners are used. Additionally, manufacturers can apply the concept of ventilation device in accompany with general split type air-conditioners.

**Keywords:** Indoor air quality, Split type air-conditioner, Ventilation, Humidity control

## บทนำ

ประเทศไทยมีภูมิประเทศอยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีสภาวะอากาศเป็นแบบเขตร้อนชื้น เครื่องปรับอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน ทั้งสำหรับที่พักอาศัยและสถานที่ทำงาน ซึ่งปกติเป็นการใช้เครื่องปรับอากาศโดยมีจุดประสงค์ในการลดอุณหภูมิภายในห้องลง รูปแบบของระบบปรับอากาศและเครื่องปรับอากาศมีใช้หลากหลายรูปแบบ แต่สำหรับในสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทยมักจะนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type air-conditioner) เนื่องจากมีราคาถูกและติดตั้งง่ายเมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ สำหรับหลักการในการปรับสภาวะอากาศภายในอาคารจะต้องคำนึงถึง ความสบายทางความร้อน (Thermal comfort) (Djongyang et al., 2010) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมที่ปะทะร่างกาย กิจกรรมที่ทำ และเสื้อผ้าที่สวมใส่ หรือแม้กระทั่งความแตกต่างทางเพศและวัย นอกจากนั้นในปัจจุบันมีการตื่นตัวในเรื่องของคุณภาพของอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality; IAQ) (ASHRAE, 1997) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาควบคู่กันไปด้วย โดยทั่วไปอากาศภายในอาคารมักมีการปนเปื้อนทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และจากที่มนุษย์สร้างขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของฝุ่นควัน ไอ หรือก๊าซ การติดเชื้อทางเดินหายใจและโรคภูมิแพ้ การปนเปื้อนของเชื้อโรคหรือ

จุลชีวะทางอากาศ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และ ไรฝุ่น เป็นสาเหตุของปัญหาสุขภาพของผู้อยู่อาศัยภายในห้องปรับอากาศ (Baughman & Arens, 1996) การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อให้บรรยากาศในอาคารมีคุณภาพดี สามารถทำได้โดยกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือแหล่งกำเนิดมลพิษโดยตรง สร้างสภาวะของอากาศให้มีความต้านทานต่อการเกิดของเชื้อโรค รวมทั้งใช้การระบายอากาศ โดยนำอากาศที่สะอาดจากภายนอกเข้ามาเจือจาง (Mcquiston, 1977) ซึ่งปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่นำเข้ามาในอาคารต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดใน ASHRAE Standard 62-1989 หรือ ตามมาตรฐานการระบายอากาศตามกฎกระทรวง สำหรับอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในประเทศไทย มักจะไม่มีระบบการระบายอากาศที่ดีหรือหากมีระบบการระบายอากาศส่วนใหญ่เป็นการระบายอากาศออกจากห้องด้วยพัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) จากหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความหนาแน่นของอากาศมากไปที่ที่มีอากาศหนาแน่นน้อยกว่า เมื่อมีการระบายอากาศออกจากห้องห้องจะมีความดันต่ำ และหนาแน่นน้อยกว่าบรรยากาศภายนอก อากาศจากภายนอกจะเข้าสู่ห้องปรับอากาศโดยแทรกซึมผ่านส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างเข้ามา ดังนั้น จึงไม่สามารถเลือกตำแหน่งอากาศที่สะอาดเข้ามาได้ สำหรับการระบายอากาศที่ใช้การเติมอากาศเข้าห้องเพื่อให้ความดันของห้องเป็นบวกมักจะใช้กับกรณีของห้องสะอาด (Clean room) นอกจากนั้นในการระบายอากาศสำหรับอาคารขนาดเล็กที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มักจะไม่มีการควบคุมปริมาณการระบายอากาศ ซึ่งประเทศไทยอากาศภายนอกที่ค่อนข้างชื้น ความชื้นเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศ หากปริมาณการระบายอากาศมากเกินก็เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศเช่นกัน สำหรับการปรับอากาศมักจะคำนึงเฉพาะการลดอุณหภูมิของห้องเป็นสำคัญ เครื่องปรับอากาศจะทำงานตามระดับอุณหภูมิของห้องที่ตั้งค่าไว้ จะทำให้ไม่สามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ของห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ปกติในประเทศไทยอยู่ในช่วงประมาณ 50-60 %RH (Khedari et al., 2000) ซึ่งผลจากความชื้นนั้นจะทำให้มีการเจริญเติบโตและคงไว้ของเชื้อโรคของโรคติดเชื้อหรือโรคภูมิแพ้ การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือ ไวรัส และเชื้อโรคต่าง ๆ อีกเป็นจำนวนมาก (Anthony et al., 1986) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำเกินไป ทำให้มีการระคายเคืองกับดวงตา ผิวแห้งทำให้เกิดอาการคัน (Doty et al., 2004) สำหรับการควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศยังมีค่าใช้จ่ายสูง และต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพิ่มเช่น เครื่องให้ความชื้น เครื่องให้ความร้อน อีกทั้งมักจะทำในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (Sookchaiya et al., 2010; Shiming et al., 2009; Xuet et al., 2010) สำหรับในระบบปรับอากาศขนาดเล็กที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแม้ว่ามีงานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัย ทำการศึกษาวิจัยการควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศขนาดเล็กโดยใช้ผลจากการเพิ่มลดอัตราการไหลของลมเย็นที่คอยล์เย็นมาช่วยในการควบคุมความชื้น (Rachapradit et al., 2007; Rachapradit et al., 2012) แต่อย่างไรก็ตามจากความสำคัญที่จำเป็นต้องมีการระบายอากาศ ซึ่งความแตกต่างกันของรูปแบบการระบายอากาศ ก็ย่อมส่งผลต่อระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่แตกต่างกัน หากประยุกต์ใช้หลักการของการระบายอากาศเข้ามาช่วยปรับปรุงระดับความชื้นของห้องให้เหมาะสมก็จะส่งผลให้มีคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีขึ้น ซึ่งปัจจุบันยังขาดการศึกษาวิจัยในส่วนนี้ นอกจากนั้นปัจจุบันเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการแข่งขันและพัฒนาในเรื่องประสิทธิภาพของการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับอากาศด้วยการกรองแต่เป็นเพียงเฉพาะส่วนของตัวเครื่องปรับอากาศ ดังนั้น เมื่อจำเป็นต้องมีการระบายอากาศให้ได้ตามข้อกำหนด หากพิจารณาควบคุมความสะอาดของอากาศบริสุทธิ์ที่เข้ามาด้วยก็จะช่วยทำให้คุณภาพของอากาศภายในอาคารดีขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพอากาศด้วยการทำชุดเติมอากาศที่มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน เพื่อให้ห้องมีปริมาณการระบายอากาศเพียงพอต่อความต้องการ และมีระบบการกรองสิ่งสกปรก นอกจากนั้นจะใช้ชุดเติมอากาศนี้ทำการศึกษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับอาคารขนาดเล็ก ในกรณีที่มีการนำอากาศเข้าห้องโดยตรงกับกรณีมีการควบคุมระบบการระบายอากาศด้วยการนำอากาศผ่านเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าสู่ห้อง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้อากาศเข้ามาช่วยปรับปรุงระดับความชื้นของห้องสำหรับที่พักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กในประเทศไทยต่อไป ซึ่งนอกจากจะทำให้ห้องมีปริมาณอากาศที่เหมาะสมแล้วยังรักษาระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องส่งผลกับความสบายทางความร้อน และทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารดีขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย โดยการระบายอากาศในงานวิจัยนี้จะใช้ทั้งหลักการกรองสิ่งปนเปื้อน รวมถึงการระบายอากาศที่เพียงพอตามมาตรฐานเป็นสำคัญ

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศที่กระทบต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ โดยจัดทำชุดเติมอากาศและการติดตั้งตามรูปที่ 1 ซึ่งภายในชุดเติมอากาศจะมีพัดลมระบายอากาศพร้อมติดตั้งแผ่นกรอง และภายในจะมีแผ่นปรับปริมาณลม โดยในการทดลองจะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลจากรูปแบบของการระบายอากาศ 3 รูปแบบ คือ ปิดชุดเติมอากาศ เปิดชุดเติมอากาศโดยปรับแผ่นปรับปริมาณลมให้อากาศเข้าสู่ห้องโดยตรงและเปิดชุดเติมอากาศโดยปรับแผ่นปรับปริมาณลมให้อากาศเข้าสู่ส่วนอีวาปโปเรเตอร์ โดยใช้ปริมาณอัตราการไหลอากาศ 140 cfm (ASHRAE Standard) ตั้งอุณหภูมิการทดลองที่ 25 °C ทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ กัน ทำการทดลองโดยเก็บข้อมูลการทดลองในช่วงวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2555 ถึงวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2556

ซึ่งทำการทดลองตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. มีข้อมูลในสภาวะต่าง ๆ กัน โดยใช้ห้องทดลองตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดดังนี้

1. ห้องทดลองและตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล

ห้องที่ใช้ทดลองมีขนาด กว้าง 10 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3.5 เมตร เป็นห้องคอนกรีต ภายในห้องทดลองมีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 52,000 BTU ตัว และภายในห้องทดลองจะติดหัววัดตามตำแหน่งต่าง ๆ ตามจุดที่ต้องการ อุปกรณ์ชุดเติมอากาศถูกติดตั้งใต้เครื่องปรับอากาศ ตามรูปที่ 1 ในการทดลองนั้น จะทำการวัดและบันทึกค่าต่าง ๆ ตามตำแหน่งจากรูป 2 ดังนี้ คือ

ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกคอยล์เย็น (T และ RH )

ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าคอยล์เย็น (T และ RH )

ตำแหน่งที่ 3 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้อง (T และ RH )

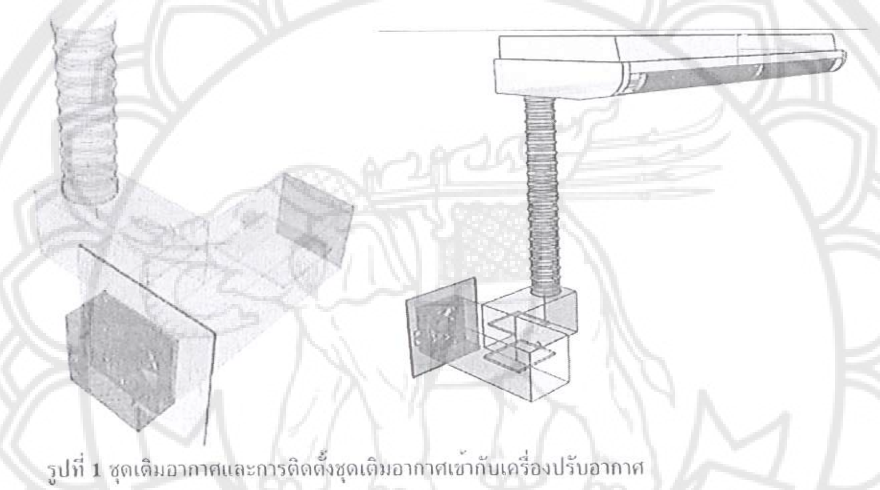
ตำแหน่งที่ 4 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้อง (T และ RH )

2. อุปกรณ์ เครื่องมือวัด

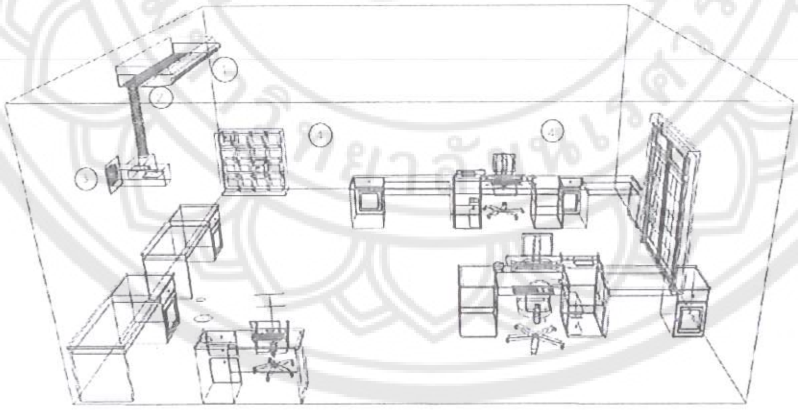
2.1 ชุดเติมอากาศ

2.2 AP-105 บอร์ด วัดอุณหภูมิ และหัววัดแบบดิจิตอล ช่วงการวัด -40 ถึง 120 °C และ 0 ถึง 99% มีค่าความแม่นยำ 1%

2.3 Testo 435 เครื่องวัดความเร็วลมมัลติฟังชั่น ช่วงการวัดความเร็วลม 0.25 ถึง 20 m/s ค่าความละเอียด 0.01 m/s ช่วงการวัดอุณหภูมิ -50 ถึง 150 °C ค่าความละเอียด 0.1 °C และ ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 0 ถึง 100 %RH ค่าความละเอียด 0.1 %RH



รูปที่ 1 ชุดเติมอากาศและการติดตั้งชุดเติมอากาศเข้ากับเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 2 ห้องที่ใช้ทดลองและตำแหน่งของหัววัดที่จุดต่าง ๆ ของการทดลอง

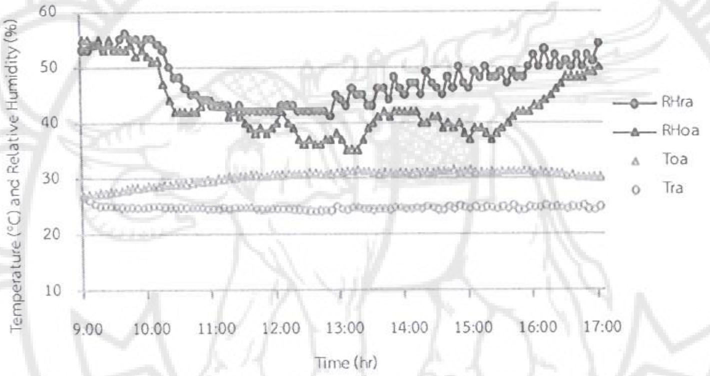
## ผลการทดลองและการวิเคราะห์

สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์ โดยจะพิจารณาผลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศของสำนักงานก่อน โดยพิจารณาสภาวะอากาศภายในห้องระหว่างมีการทำงานของเครื่องปรับอากาศควบคู่กับสภาวะอากาศภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา หลังจากนั้นจะพิจารณาผลของการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อมีการตัดการทำงานเมื่อห้องมีอุณหภูมิตามต้องการ เนื่องจากการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงภาระการทำงานน้อยกว่าขนาดของเครื่อง (Part load) จะส่งผลต่อระดับความชื้นของห้องมาก (Don & Hugh, 2004) สุดท้ายจึงจะนำข้อมูลจากการทดลองที่ใช้ชุดเติมอากาศมาวิเคราะห์ผล

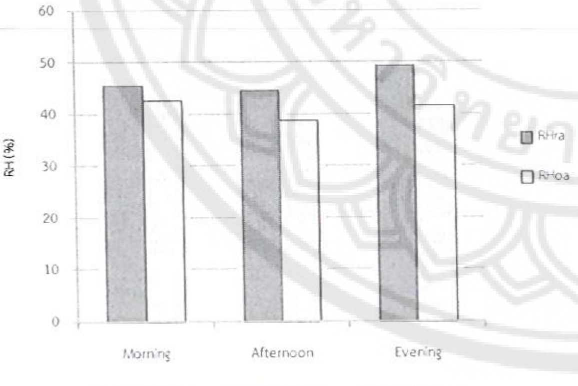
รูปแบบการระบายอากาศ ต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้งานต่อไป โดยจะทำการเลือกผลจากการทดลองทั้งหมดประมาณ 34 วันและจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ดังนี้

1. ผลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศของสำนักงาน

การพิจารณาผลจากสภาวะอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายในห้อง จะใช้ผลของการทดลองในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2556 โดยไม่มีการใช้พัดลมระบายอากาศ ตั้งอุณหภูมิการทดลองที่ 25 °C ผลแสดงตามรูปที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งภายนอก และภายในห้องสำนักงาน จากรูปจะเห็นได้ว่า ระดับอุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ra}$) จะถูกเครื่องปรับอากาศรักษาให้คงที่ แม้ว่าอุณหภูมิภายนอก ($T_{oa}$) จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ($RH_{ra}$) ที่มีการปรับอากาศจะมีการการขยับขึ้นลงและเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นของอากาศภายนอก ($RH_{oa}$) แม้ว่าไม่มีการใช้พัดลมระบายอากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกตามช่องเปิดและรอยต่อประตูหน้าต่างจะส่งผลให้มีความชื้นเข้าออกจากห้องด้วย นอกจากนั้นเนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะทำงานตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้เท่านั้น จึงจะเห็นได้ว่าระดับความชื้นจะไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ ส่วนการขยับขึ้นลงของค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเป็นผลจากการทำงานและหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศซึ่งจะมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและจะทำการวิเคราะห์ผลของส่วนนี้ในหัวข้อถัดไป หากแยกข้อมูลทำการเฉลี่ยค่าในแต่ละช่วงเวลา โดยจะแบ่งเป็นสามช่วง คือ ช่วงเช้า (10.00 - 12.00 น. โดยไม่พิจารณาช่วงเครื่องเริ่มทำงาน) ช่วงบ่าย (12.00 - 15.00 น.) และช่วงเย็น (15.00 - 17.00 น.) ซึ่งนำมาแสดงรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องสำนักงาน มีค่าสูงในช่วงเวลาเช้าและเย็นและช่วงบ่ายมีค่าต่ำลงตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง




รูปที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายนอกกับภายในห้องปรับอากาศ

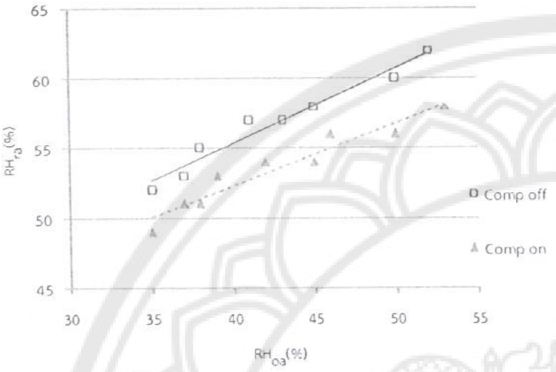



รูปที่ 4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องและภายในห้อง ในช่วงเช้า (Morning) บ่าย (Afternoon) และเย็น (Evening)

2. ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเครื่องทำงานและหยุดทำงานที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสำนักงาน

ในการพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องและ ในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงาน (Comp on) และหยุดทำงาน (Comp off) จะทำการคัดข้อมูลในช่วงสภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่าง 34 - 35 °C และเลือกรูปแบบในการระบายอากาศโดยปรับให้อากาศเข้าเครื่องคอยล์เย็นโดยนำข้อมูลมาแสดงได้ตามรูปที่ 5 จะเห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องมีแนวโน้มที่เหมือนกันกล่าวคือ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องสูงจึง ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสูงตามไปด้วย โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศไม่ทำงาน มีค่าสูงกว่าช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากตอนที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องหยุดการทำงานซึ่งก็คือหยุดกำจัดความร้อนและความชื้น นอกจากความชื้นของห้องที่ยังเกิดขึ้นตลอดเวลาแล้วยังมีหยดน้ำเกาะอยู่ภายในแผงคอยล์เย็น ซึ่งหากคอมเพรสเซอร์ของเครื่องยังทำงานอยู่ตลอดเวลาหยดน้ำเหล่านี้จะยังคงมีอุณหภูมิต่ำ และมีหยดน้ำที่กลั่นตัวเพิ่มขึ้นตลอดเวลาและไหลออกไปทางท่อน้ำทิ้งแต่เมื่อคอมเพรสเซอร์ของเครื่องหยุดทำงานพัดลมของคอยล์เย็นยังทำงานอยู่ เมื่อหยดน้ำเหล่านี้ไม่ถูกกำจัดออกและยังมีอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น หยดน้ำจึงระเหยกลับเข้ามาในห้องทำให้ความ

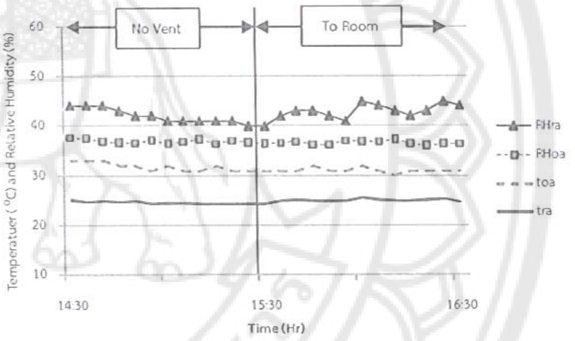
ชื้นสัมพัทธ์ค่อย ๆ สูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับระบบปรับอากาศในการเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น หากขนาดของเครื่องใหญ่เกินไป จะมีช่วงที่ภาระการทำความเย็นน้อยกว่าขนาดเครื่อง (part load) มาก ซึ่งทำให้มีช่วงหยุดทำงานคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้นนอกจากทำให้ความชื้นห้องเพิ่มแล้ว ความชื้นเหล่านี้ยังเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้กำจัดภาระความชื้นในอากาศเหล่านี้ซ้ำ



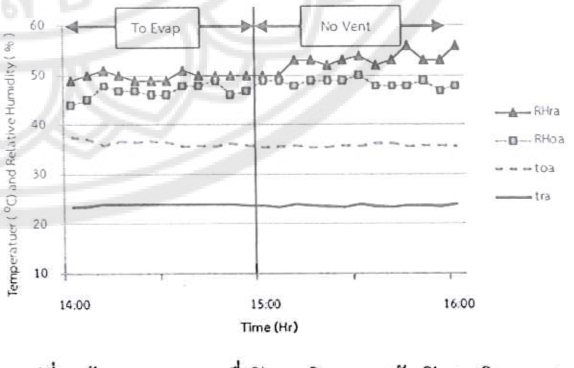

รูปที่ 5 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องห้องสำนักงานในช่วงคอมเพรสเซอร์ทำงานและไม่ทำงาน

3. ผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสำนักงาน

การระบายอากาศโดยการเติมอากาศจากภายนอกเข้าสู่อาคารที่เพียงพอต่อความต้องการนอกจากจะทำให้สามารถปรับปริมาณและเลือกตำแหน่งของอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาได้แล้ว ยังเป็นการสร้างความดันให้กับห้องเพื่อหลีกเลี่ยงอากาศจากภายนอกในส่วนอื่นที่อาจจะไม่เหมาะสมเข้าห้องได้ นอกจากนั้นยังสามารถกรองสิ่งสกปรกที่จะเข้าสู่ห้องอีกทางหนึ่งด้วย ในหัวข้อนี้จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลที่กระทบต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจากรูปแบบของการระบายอากาศ โดยการใช้ชุดเติมอากาศปรับรูปแบบการระบายอากาศ 3 รูปแบบ คือ ปิดชุดเติมอากาศ เปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรงและเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศส่วนคอยล์เย็นโดยการพิจารณาจะใช้ข้อมูลจากการทดลองในวันที่มีการสลับเงื่อนไขระหว่างรูปแบบการระบายอากาศที่ต่างกันโดยเริ่มการทดลองที่รูปแบบการระบายอากาศแบบหนึ่งและเปลี่ยนรูปแบบการระบายอากาศอีกแบบหนึ่ง สลับแต่ละรูปแบบ ใช้ช่วงเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะเลือกข้อมูลที่ในช่วงการที่สลับเงื่อนไขมีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน (อุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิภายนอกห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง) เพื่อพิจารณาผลของรูปแบบการระบายอากาศที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ จากรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ในการทดลองซึ่งสลับกันระหว่างปิดชุดเติมอากาศ (No Vent) กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง (To Room) ในวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2556 ซึ่งมีช่วงที่สภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกันในช่วงเวลาตั้งแต่ 14.30 – 16.30 น. จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องช่วงระบายอากาศเข้าห้องโดยตรง มีค่าสูงกว่าช่วงไม่มีการระบายอากาศเพียงเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณ 0.85 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้น (อัตราส่วนของมวลไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง) จะได้ 0.25 g/kgdryair ซึ่งแสดงว่าสำหรับห้องสำนักงานที่ใช้ทดลองนี้ปริมาณอากาศที่เข้าสู่ห้องในกรณีไม่มีพัดลมระบายอากาศนั้นใกล้เคียงกันกับมีระบบการระบายอากาศ เนื่องจากห้องโดยทั่วไปแม้ไม่มีระบบการระบายอากาศ อากาศยังสามารถแทรกซึมผ่านเข้าออกประตู หน้าต่าง เนื่องจากความแตกต่างความดันและความเข้มข้นของก๊าซต่าง ๆ ของภายในกับภายนอกห้อง ซึ่งในบางกรณีอากาศอาจเข้าสู่ห้องมากหรือน้อยกว่าความต้องการก็ได้ แต่หากมีระบบการระบายอากาศเราสามารถควบคุมปริมาณ และตำแหน่งที่ต้องการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าห้องได้ ตรงกันข้ามกับการให้อากาศไหลเข้าออกห้องโดยธรรมชาติ อากาศจะแทรกซึมที่จุดต่าง ๆ ตามรอยต่อ ทำให้ไม่สามารถควบคุมทั้งปริมาณและความสะอาดซึ่งส่งผลต่อความสบายเชิงความร้อนและคุณภาพอากาศภายในอาคาร



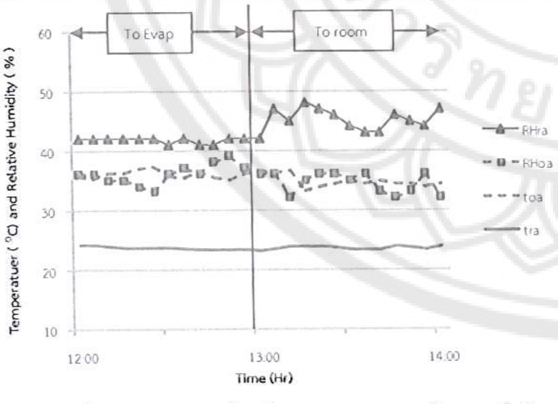

รูปที่ 6 ข้อมูลการทดลองเมื่อปิดชุดเติมอากาศ กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรง




รูปที่ 7 ข้อมูลการทดลองเมื่อปิดชุดเติมอากาศ กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็น

สำหรับการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ซึ่งสลับรูปแบบระหว่าง ปิดชุดเติมอากาศ (No Vent) กับเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วน คอยล์เย็น (To Evap) จะ

ใช้ข้อมูลการทดลองวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ.2556 ในช่วงเวลา 14.00 ถึง 16.00 น. ตามรูปที่ 7 แสดงถึงความแตกต่างกันของระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง จะเห็นว่าในห้องสำนักงานที่ทดลองนี้ ระบบการระบายอากาศโดยการระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นจะทำให้ห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าไม่มีระบบการระบายอากาศประมาณ 2.7 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้นจะได้ 0.43 g/kgdryair ทั้งนี้เนื่องจากว่าความชื้นในอากาศได้ถูกนำไปกำจัดที่เครื่องปรับอากาศก่อนที่จะเข้าสู่ห้อง สุดท้ายตามรูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบกรณีเปิดชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรงกับการระบายอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นโดยใช้ข้อมูลการทดลองวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ.2556 ที่มีช่วงเวลาการสลับรูปแบบการระบายอากาศอยู่ระหว่างช่วง 12.00 ถึง 14.00 น. ที่มีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน ตามรูปจะเห็นได้ว่าระบบการระบายอากาศโดยการระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นจะทำให้ห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ของห้องต่ำกว่ากรณีระบายอากาศเข้าห้องโดยตรงจากสภาวะอากาศตามการทดลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงประมาณ 3 %RH หรือหากเปรียบเทียบในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้นจะได้ 0.52 g/kgdryair ซึ่งโดยหลักการแล้วความชื้นที่ถูกกำจัดที่เครื่องปรับอากาศจะใกล้เคียงกันเพียงแต่การระบายอากาศเข้าส่วนคอยล์เย็นก่อนจะเป็นการกำจัดความชื้นก่อนส่งเข้าห้องนั่นเอง ซึ่งจากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของห้อง หรือใช้ร่วมกันกับหลักการอื่น ๆ เช่น การเพิ่มลดปริมาณสารทำความเย็นในระบบอินเวอร์เตอร์ การปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องปรับอากาศ จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมความชื้นในอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ดียิ่งขึ้น




**รูปที่ 8** ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ชุดเติมอากาศโดยให้อากาศเข้าห้องโดยตรงกับการระบายอากาศโดยให้อากาศเข้าส่วนคอยล์เย็น

## สรุป (Conclusion)

จากการศึกษาด้วยการทำการทดลองพบว่าการระบายอากาศมีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงาน โดยความชื้นสัมพัทธ์ในห้องที่ปรับอากาศความชื้นจะต่ำในช่วงกลางวันและมีค่าสูงกว่าในช่วงเช้าและเย็น ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้น มีผลกระทบจากการทำงานและหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งส่งผลให้ความชื้นของห้องเพิ่มขึ้นในขณะคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน ในส่วนสุดท้ายจากการใช้ชุดเติมอากาศเพื่อศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศพบว่าการนำอากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าห้องจะทำให้ห้องมีความชื้นน้อยกว่าการส่งอากาศเข้าห้องโดยตรงซึ่ง จากหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมความชื้นของที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อไปได้ นอกจากนั้นแนวคิดของชุดเติมอากาศในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศในการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปหรือนำหลักการไปใช้ออกแบบเพิ่มส่วนการเติมอากาศในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพให้กับอากาศในอาคารต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนอุดหนุนการวิจัย กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ปี พ.ศ. 2555 และงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มวิจัยด้านพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## เอกสารอ้างอิง

Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A Review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(9), 2626-2640.

ASHRAE. (1997). *Fundamentals Handbook American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.* New York.

Baughman, A. & Arens, E. (1996). Indoor Humidity and Human Health-Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. *ASHRAE Transactions, 102*(1), 193-211.

Mcquiston, F.C. & Parker, J.D. (1977). *Heating Ventilation and Air Conditioning Analysis and Design.* New York: John Wiley & Sons.

Khedari, J., Hirunlabh, J., Yamtraipat, N. & Pratintong, N. (2000). Thailand Ventilation Comfort Chart. *Energy and Buildings, 32*(3), 245-249.

Anthony, V., Elia, M., Sterling, T., Judith, H., Biggin, T. & Theodor, D. (1986). Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments. *Environmental Health Perspectives, 65*(1), 351-361.

Doty, R.L., Cometto-Muniz, J.E., Jalowayski, A.A., Dalton, P., Kendall-Reed, M. & Hodgson, M. (2004). Assessment of Upper Respiratory Tract and Ocular Irritative Effects of Volatile Chemicals in Humans. *Critical Reviews in Toxicology, 34*(2), 85-142.

Sookchaiya,T,Monyakul,V. & Thepa, S. (2010). Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings*, (42), 1692-1702.

Shiming,D., Zheng, L. & Minglu, Q. (2009). Indoor thermal comfort characteristics under the control of a direct expansion air conditioning unit having a variable-speed compressor and a supply air fan. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2187-2193.

Xu, X., Xia, L., Chan, M. & Deng, S. (2010). Inherent correlation between the total output cooling capacity and equipment sensible heat ratio of a direct expansion air conditioning system under variable-speed operation (XXG SMD SHR DX AC unit). *Applied Thermal Engineering*, 30, 1601-1607.

Rachapradit, N., Thepa, S. & Monyakul V. (2007, November). Effect of Refrigerant Flow and Air Flow on Performance of Inverter Slit Type Air-Conditioner. Paper presented at International Conference on Engineering Applied Sciences and Technology, Bangkok, Thailand, pp. 323-326.

Rachapradit, N., Thepa, S. & Monyakul V. (2012). An Influence of Air Volume Flow Rate and Temperature Set point on Performance of Inverter Split Type Air-Conditioner. *Experimental technique*, 36, 18-25.

Don B. Shirey III. & Hugh I. Henderson Jr. (2004). Dehumidification Performance at Part-load. *ASHRAE Journal, 46*(4), 42-47.

# ภาคผนวก จ

# ประวัติผู้วิจัยวิจัย

## ประวัติผู้วิจัย

**1. ชื่อ – นามสกุล** (ภาษาไทย) นายนินนาท ราชประดิษฐ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Ninnart Rachapradit
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3659900284533
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
สถานที่ติดต่อ
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
โทรศัพท์ 055-964212 โทรสาร 055-964230
โทรศัพท์เคลื่อนที่086-5918559 E – mail ninnart@hotmail.com

**2. ประวัติการศึกษา**

| ปีการศึกษา | คุณวุฒิ | สถาบันการศึกษา |
|---|---|---|
| 2533 | วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2543 | วศ.ม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ) | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2553 | ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน) | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

**3. ประสบการณ์การทำวิจัย (ในตำแหน่งหัวหน้าโครงการ)**

| ปีงบประมาณ | โครงการ | แหล่งทุน | สถานะการดำเนินงาน |
|---|---|---|---|
| 2544 | การระบายอากาศร้อนภายในช่องหลังคาโดยหลังคาโดยหลังคารับรังสีอาทิตย์แบบอากาศออกด้านข้าง | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร | จบโครงการ |
| 2551 | การศึกษาการใช้เครื่องรับรังสีอาทิตย์แบบมีการเก็บความร้อนสำหรับเตาอบไม้ | สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.;IRPUS) | จบโครงการ |
| 2553 | การควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร | จบโครงการ |

สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ Air-condition, Ventilation, Energy, Passive cooling, Renewable Energy and solar Energy

**4. ภาระงานในปัจจุบัน**

สอนวิชา Air-condition and Ventilation, Thermodynamics, Static mechanic, piping system design

5. ผลงานวิจัย

ก. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

ข. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

- J. Khedari, N. Rachapradit and J. Hirunlabh, 2003, Field study of performance of solar chimney with air-conditioned building, Energy 28 (11) , pp. 1099–1114.
- N. Rachapradit, S. Thepa, and V. Monyakul, 2007, "Effect of Refrigerant Flow and Air Flow on Performance of Inverter Slit Type Air-Conditioner", International Conference on Engineering Applied Sciences and Technology, November 21–23, Bangkok, Thailand, pp. 323-326.
- N. Rachapradit, S. Thepa, and V. Monyakul,, 2008, "Experimental and Analytical Study on Inverter Split Type Air-Conditioner", International Conference of the Council of Deans of Architecture School of Thailand, May 23-25, Pitsanuloke, Thailand, pp. 302-310.
- N. Rachapradit, S. Thepa, and V. Monyakul, 2011 "An Influence of Air Volume Flow Rate and Temperature Set point on Performance of Inverter Split Type Air-Conditioner", Experimental technique, 36, 18-25.

ค. ผลงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

ง. ผลงานอื่นๆ เช่น ตำรา บทความ สิทธิบัตร ฯลฯ

จ. รางวัลผลงานวิจัยที่เคยได้รับ

- ชนะเลิศการนำเสนอผลงานวิจัย ประเภท Oral Presentation การประชุมวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 7 วันที่ 29–30 กรกฎาคม 2554 และ ได้คัดเลือกผลงานลงตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับพิเศษ ประจำปี พ.ศ. 2554 ในหัวข้อวิจัยเรื่อง "Humidity Control Using Air Volume Flow Rate Adjustment for Inverter Air-Conditioner"