



HUMIDITY CONTROL IN AIR – CONDITIONING BY HOT GAS FROM CONDENSER

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การควบคุมความชื้นในการปรับอากาศโดยก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์

HUMIDITY CONTROL IN AIR – CONDITIONING BY HOT GAS FROM CONDENSER

มานพ พิพัฒน์หัตถกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 0-2104-9099 E-mail: Nop_mt@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ในการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 35400 BTU สารทำความเย็น R22 โดยสร้างอุปกรณ์อุ่นอากาศขนาด 28000 BTU ให้ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศ เรียกอุปกรณ์นี้ว่า HRU (Hot gas recovery unit) สำหรับสภาวะในการศึกษาทำการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องประมาณ $28 - 30^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $68 - 76\%RH$ ทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองประมาณ $22 - 27^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $35 - 45\%RH$ โดย HRU นำพลังงานความร้อนของสารทำความเย็น ในคอนเดนเซอร์มาใช้เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ การทดลองแบ่งเป็น 2 สภาวะ คือ 1.) ระบบปรับอากาศปกติ และ 2.) ระบบปรับอากาศปกติทำงานร่วมกับ HRU จากผลการทดลองพบว่าระบบปรับอากาศปกติ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ตามที่กำหนดได้ จากนั้นเมื่อทดสอบโดยให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP_R) ค่า COP_R ของระบบปรับอากาศปกติมีค่าเท่ากับ 2.67 และ $COP_{R,HRU}$ ของระบบปรับอากาศ ที่ทำงานร่วมกับ HRU มีค่าเท่ากับ 2.57

Abstract

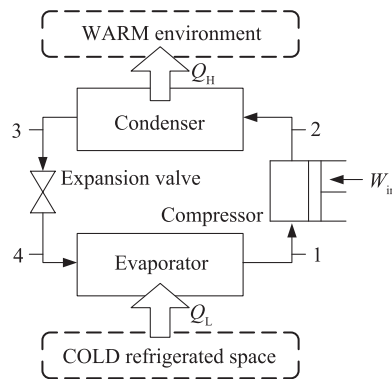
This research studied the temperature and relative humidity control in the split type of air – conditioning. The experiment used an air – conditioning with split type 35400 BTU and working fluid with R22. The air heater constructed from condensing unit 28000 BTU that to use operated with an air – conditioning. The air heater was called HRU (Hot gas recovery unit). The temperature and relative humidity of surrounding were $28 - 30^{\circ}\text{C}$ and $68 - 76\%RH$ respectively. The room temperature about $22 - 27^{\circ}\text{C}$ and relative humidity about $35 - 45\%RH$ were tested. The HRU recovered heat of refrigerant from condensing unit used for control the relative humidity. The experiment was divided in 2 conditions, 1.) an air – conditioning without HRU and 2.) an air – conditioning with HRU. The test results found that the room temperature can be controlled by an air – conditioning without HRU but the relative humidity was not controlled. When an air – conditioning operated with HRU that can be controlled both the temperature and relative humidity. The comparison of coefficient of performance of refrigerator (COP_R) showed that the COP_R of an air – conditioning without HRU was 2.67 and the $COP_{R,HRU}$ of an air – conditioning with HRU was 2.57.

1. คำนำ

การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อที่פקอาศัยหรือในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ ซึ่งแตกต่างกันไปตามความต้องการ เช่นในที่พักอาศัยจะมีภาวะสบาย (Comfort zone) ตาม ASHRAE standard 55 - 1992 อยู่ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20 - 27°C และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงตั้งแต่ 30 - 60%RH ซึ่งในอุตสาหกรรมบางชนิดมีความต้องการควบคุมเฉพาะอุณหภูมิแต่เพียงอย่างเดียวแต่ในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ต้องการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายในกระบวนการผลิต ซึ่งขอบเขตความสบายของบุคคล ในพื้นที่การทำงานจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการคือ อุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง), การเคลื่อนไหวของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยปกติ จะสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ที่สัมผัสกับคอยล์เย็น ซึ่งแม้ว่าจะมีการควบแน่นของไอน้ำ เกิดขึ้นที่บริเวณคอยล์เย็น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่การทำงาน เมื่ออุณหภูมิของบริเวณที่ต้องการควบคุมลดต่ำลง ส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น หรือบางกรณีในพื้นที่การทำงานมีอุณหภูมิต่ำลง อาจทำให้เกิดผิวน้ำแข็งเกาะที่คอยล์เย็น ทำให้ไอน้ำในอากาศที่เป่าผ่านคอยล์เย็นควบแน่นได้ลดลง ดังนั้นถ้าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ ในพื้นที่การทำงาน หรือเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ ที่เป่าผ่านคอยล์เย็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งเกาะที่ผิวคอยล์ เมื่อภาระความเย็นลดลง คอยล์เย็นก็จะสามารถดึงความชื้นออกจากอากาศได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ ในพื้นที่การทำงานลดลงตาม ในปี 1997 Xiao Ping Wu และคณะ [1] ได้ศึกษาการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปรับอากาศ โดยอาศัยท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และฮีตเตอร์เข้ามาทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศ โดยติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทางด้านลมจ่ายและทางด้านลมกลับ เพื่อช่วยลดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ในระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 23.5°C และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจากเดิม 70 - 74% จากนั้นในปี 2001 Niu, J.L. [2] ได้นำสารดูดซับความชื้นและท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เข้ามาทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งใช้วิธีการดึงความชื้นแบบ 3 ขั้นตอน โดยใช้วงล้อที่ติดตั้งสารดูดซับความชื้น ทางด้านอากาศร้อนเข้า เป็นการดึงความชื้นสัมพัทธ์ขั้นที่ 1 จากนั้นให้อากาศร้อนผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เป็นการดึงความชื้นสัมพัทธ์ขั้นที่ 2 และเป็นการลดอุณหภูมิของอากาศด้วย จากนั้นจึงให้อากาศผ่านคอยล์เย็นเพื่อลดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ได้ที่ 44.8%RH จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัย ที่ผ่านมามีการนำ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และฮีตเตอร์ มาช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งตัวฮีตเตอร์เองต้องการแหล่งพลังงานจากภายนอก เพื่อให้เกิดความร้อน ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 - 27°C และ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 35 - 45%RH โดยดึงเอาพลังงานความร้อนที่ทิ้งจากคอนเดนเซอร์ มาช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ผ่านอุปกรณ์ดึงความร้อนจากก๊าซร้อนกลับมาใช้ เรียกว่า Hot gas recovery unit (HRU) เพื่อเปรียบเทียบผล ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มีการติดตั้ง HRU เทียบกับการใช้งาน HRU ร่วมกับระบบปรับอากาศ

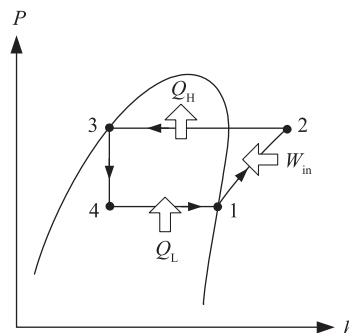
2. ทฤษฎีในการวิเคราะห์ [3 - 5]

วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน 4 อย่าง คือ คอมเพรสเซอร์(Compressor) หรือเครื่องอัด, คอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือ เครื่องควบแน่น, อุปกรณ์ทออตทิ่ง หรือ วาล์วขยายตัว (Expansion valve) และ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หรือ เครื่องระเหย



รูปที่ 1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ

แผนภาพที่มักนิยมใช้ในการวิเคราะห์วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ คือ แผนภาพความดัน - เอนทัลปี ($P - h$ diagram) ดังรูปที่ 2 จากแผนภาพจะเห็นได้ว่า กระบวนการ 3 - 4 จะได้เป็นเส้นตรง เนื่องจากเป็นกระบวนการขยายตัวในอุปกรณ์ทอโรตลิ่ง ส่งผลทำให้ เอนทัลปี (Enthalpy) คงที่ และ ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนภายในคอนเดนเซอร์ และ อีวาพอเรเตอร์ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของเส้นกระบวนการ



รูปที่ 2 $P - h$ diagram ของ วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์ทั้ง 4 อย่าง ในวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถพิจารณาได้ว่า มีการไหลแบบคงตัว (Steady flow) ดังนั้น เมื่อวิเคราะห์การทำงานของแต่ละอุปกรณ์ จะได้ดังสมการที่ (1), (2), (3) และ (4)

$$\text{คอมเพรสเซอร์ : } \dot{W}_C = \dot{m}_R (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$\text{คอนเดนเซอร์ : } \dot{Q}_C = \dot{m}_R (h_2 - h_3) \quad (2)$$

$$\text{วาล์วขยายตัว : } h_3 = h_4 \quad (3)$$

$$\text{อีวาพอเรเตอร์ : } \dot{Q}_E = \dot{m}_R (h_1 - h_4) \quad (4)$$

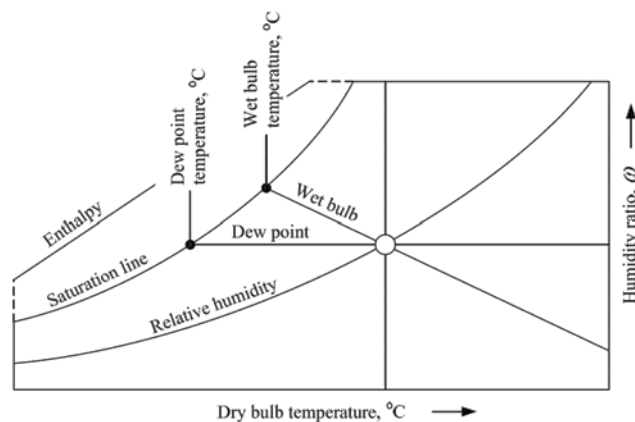
สามารถที่จะหาลัมประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น (COP_R) ที่ทำงานในลักษณะของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ ได้ดังสมการที่ (5)

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_C} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

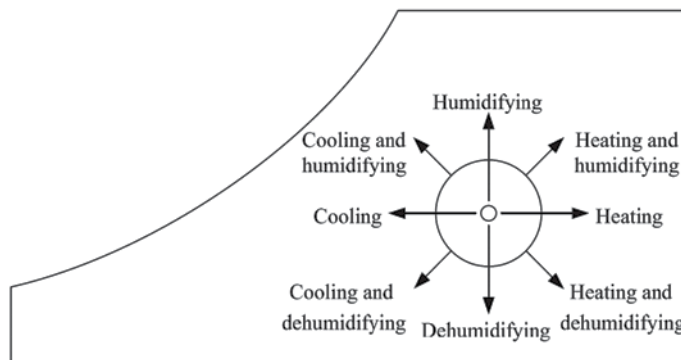
เมื่อ

- $\dot{W}_C$ = งานที่ต้องจ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์, W
 $\dot{Q}_C$ = ความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์, W
 $\dot{Q}_E$ = ความร้อนที่ดึงออกจากบริเวณพื้นที่การทำความเย็น ที่อีวาพอเรเตอร์, W
 $\dot{m}_R$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น, kg/s
 h = เอนทัลปี, kJ/kg

สภาวะของอากาศ สามารถแสดงได้ด้วยจุด บนแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric charts) ในรูปที่ 3 ซึ่งจุดบนแผนภูมิไซโครเมตริก จะแสดงค่าสมบัติของอากาศ ที่สำคัญ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature, TDB) เป็น อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งอยู่ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก, อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature, TWB) เป็น อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ ที่กระเปาะหุ้มไว้ด้วยผ้าชื้นหรือสำลีชุบน้ำ โดยมีกระแสลมความเร็วระหว่าง 5 – 10 m/s ผ่านกระเปาะ, อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew – point temperature, TDP) เป็น อุณหภูมิที่เริ่มมีการควบแน่นเกิดขึ้น เมื่ออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงที่ความดันคงที่, ความชื้นสัมบูรณ์ หรือความชื้นจำเพาะ (Absolute or specific humidity, ω) เป็น มวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) และ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) เป็น ปริมาณของความชื้น หรือไอน้ำที่มีอยู่ เทียบกับปริมาณความชื้นมากที่สุด ที่มีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน



รูปที่ 3 แผนภูมิไซโครเมตริก

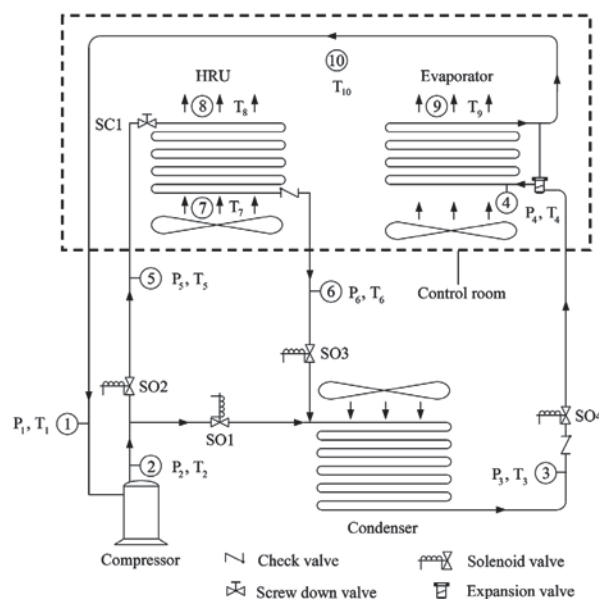


รูปที่ 4 กระบวนการปรับอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก

การรักษาบริเวณ ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามที่ต้องการ ต้องอาศัยกระบวนการ ที่เรียกว่ากระบวนการปรับอากาศ ดังรูปที่ 4 โดยกระบวนการปรับอากาศ สามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการหลัก 4 กระบวนการ ได้แก่ การให้ความร้อน (Heating), การทำความเย็น (Cooling), การลดความชื้น (Dehumidifying) และ การเพิ่มความชื้น (Humidifying) ซึ่งในบางครั้งอาจมีความจำเป็น ที่จะต้องใช้ กระบวนการ สองกระบวนการ หรือมากกว่า เพื่อให้อากาศอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และระดับความชื้น ตามที่ต้องการ เช่น การให้ความร้อน และเพิ่มความชื้นกับอากาศ (Heating and humidifying) หรือ การให้ความร้อนและลดความชื้น (Heating and dehumidifying) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการปรับอากาศ ให้อยู่ในช่วงภาวะสบายของบุคคล โดยควบคุมให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 – 27°C และความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วง 35 – 45%RH จึงต้องอาศัย กระบวนการ 2 กระบวนการ คือ การทำความเย็นและลดความชื้น (Cooling and dehumidifying)

3. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองโดยใช้ห้อง เก็บอุปกรณ์เครื่องมือ ของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยมีขนาดห้อง 3.7 m x 5.0 m x 5.1 m ผนังก่อด้วยอิฐบล็อกหนา 100 mm ผิวฉาบเรียบ ทาสีฟ้าอ่อน กำหนดอุณหภูมิออกแบบภายในห้องที่ 25°C และอุณหภูมิออกแบบภายนอกอยู่ที่ 35°C ตำแหน่งของกรุงเทพฯ พิกัดทางภูมิศาสตร์คือ ละติจูด 13° 45' เหนือ ลองจิจูด 100° 31' ตะวันออก มีภาระการทำความเย็นจากไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) ขนาด 36 W จำนวน 6 หลอด มีภาระการทำความเย็นจากผู้อยู่ปฏิบัติงาน 2 คน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์กำลัง ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.05 HP จำนวน 2 เครื่อง จากข้อมูลดังกล่าวจะทำให้สามารถคำนวณภาระการทำความเย็นของพื้นที่ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 35400 BTU เพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ HRU ขนาด 28000 BTU ในการติดตั้งระบบเพื่อทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 35400 BTU ตามปกติ ในห้องทดลอง โดยทำการติดตั้ง อีว้าพอเรเตอร์ ที่มีชุดพัดลม (Fan coil unit) ขนาด 700 คิวบิกฟุตต่อนาที (cfm) ไว้ภายในห้องที่ต้องการปรับอากาศ และติดตั้ง คอนเดนเซอร์ขนาด 35400 BTU ไว้ที่ด้านนอกของห้อง เพื่อระบายความร้อนสู่บรรยากาศ จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ Hot gas recovery unit (HRU) ไว้ภายในห้อง โดย HRU ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยคอยล์ (Coil) กับชุดพัดลมโดยไม่มีคอมเพรสเซอร์ ซึ่งในส่วนคอยล์ของ HRU จะใช้วาล์ว SO1, SO2, SO3 และ SC1 เป็นตัวปรับการทำงาน ในการควบคุมทิศทางการไหลของสารทำความเย็น จากนั้นติดตั้งระบบไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามปกติ และใช้อุปกรณ์วัดค่าพิกัดกระแสไฟฟ้า (Amp) ที่คอมเพรสเซอร์ รวมถึงติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อวัดหน่วยไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้



รูปที่ 5 Schematic diagram ของชุดทดลอง

ขั้นตอนในการทดสอบ จะเดินเครื่องปรับอากาศที่สภาวะปกติ โดยไม่มีการใช้งาน HRU ก่อนแล้วจึงบันทึกค่าต่างๆ ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมงแล้วจึงให้เครื่องปรับอากาศ ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ HRU โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ เริ่มต้น ทำการวัดอุณหภูมิ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องที่สภาวะเริ่มต้น จากนั้น เดินเครื่องปรับอากาศในสภาวะปกติ โดยไม่มีการทำงานของ HRU แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ที่จุด 1 – 4, ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในห้อง (T_{10}) และ อุณหภูมิของลมเย็นที่ผ่านอีวาพอเรเตอร์ (T_g), ทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ในห้องโดยใช้ อุปกรณ์วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิตอล, ทำการบันทึกค่าพิกัดกระแสไฟฟ้า (Amp) ที่คอมเพรสเซอร์ โดยใช้ อุปกรณ์วัดพิกัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล และทำการบันทึกค่าหน่วยไฟฟ้า (kWh) จากมิเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นเมื่อทำการบันทึกค่าต่างๆ ตามที่ต้องการของระบบปรับอากาศปกติแล้ว จึงพักการทำงานให้ห้องกลับสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง แล้วจึงเดินเครื่องปรับอากาศ ร่วมกับการทำงานของ HRU ซึ่งการไหลของสารทำความเย็นที่ผ่าน HRU สามารถควบคุมได้จากวาล์ว SO1, SO2, SO3 และ SC1 จากรูปที่ 5 เมื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านอุปกรณ์ HRU ทำการบันทึกค่า ความดัน (P) และ อุณหภูมิ (T) ที่จุด 5 และ 6 รวมถึง บันทึกค่าอุณหภูมิ (T) ของอากาศ ที่ทางเข้า และ ทางออกของ HRU ที่จุด 7 และ 8 ทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณ เพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบ โดยจากสมการที่ (1) สามารถ คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น ($\dot{m}_R$) ในขณะที่ ความร้อนที่ตึงออกจากบริเวณพื้นที่ การทำความเย็น ที่อีวาพอเรเตอร์ ($\dot{Q}_E$) คำนวณได้จากสมการที่ (4) และ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นของระบบปรับอากาศปกติ (COP_R) คำนวณได้จากสมการที่ (5) จากนั้นเมื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU จะเห็นได้ว่า ความร้อนบางส่วนถูกถ่ายโอนกลับสู่บริเวณพื้นที่ การทำความเย็น ซึ่งเป็น ความร้อนที่ระบายออก ที่ HRU ($\dot{Q}_{HRU}$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\dot{Q}_{HRU} = \dot{m}_R (h_5 - h_6) \quad (6)$$

และ สามารถคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ที่ทำงานร่วมกับ HRU ($COP_{R,HRU}$) ได้จากสมการที่ (7)

$$COP_{R,HRU} = \frac{\dot{Q}_E - \dot{Q}_{HRU}}{\dot{W}_C} = \frac{(h_1 - h_4) - (h_5 - h_6)}{h_2 - h_1} \quad (7)$$

โดยสามารถคำนวณค่า Energy efficiency rating (EER) ได้จากสมการที่ (8)

$$EER = 3.412COP_R \quad (8)$$

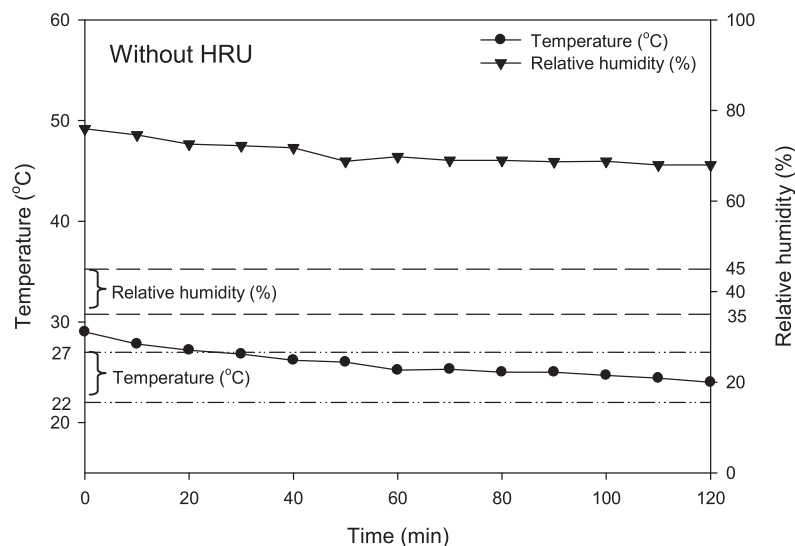
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองโดยทำการเก็บข้อมูล อุณหภูมิ, ความดัน, ความชื้นสัมพัทธ์, พิกัดกระแสไฟฟ้า และ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ทุกๆ 10 นาที ทำการทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะแบ่งการวิเคราะห์ผล ออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านการปรับอากาศ และ ด้านสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

4.1 ด้านการปรับอากาศ

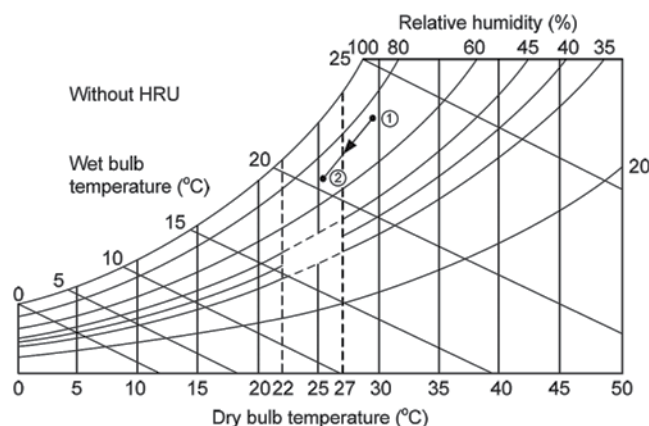
ในการทดลองเริ่มจากการเดินเครื่องปรับอากาศปกติโดยไม่มีการใช้อุปกรณ์ HRU อุณหภูมิเริ่มต้น ทำการทดลองของห้อง อยู่ที่ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76%RH จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มเดินเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิของห้องจะค่อยๆ มีค่า ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที อุณหภูมิของห้องจะลดลง จนกระทั่งอยู่ในช่วงที่ต้องการคือ 22 – 27°C โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของ ห้องอยู่ที่ 25.6°C แต่เมื่อพิจารณา ถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเห็นได้ว่า ระบบปรับอากาศปกติจะสามารถทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ ลดลงได้ในช่วง 50 นาทีแรก เนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศภายในห้องที่เป่าผ่านคอยล์เย็นของอีวาพอเรเตอร์ แต่เมื่อ

หลังจากเวลา 50 นาที เมื่ออุณหภูมิของห้องลดลงการควบแน่นของไอน้ำที่คอยล์เย็นก็ลดลงตาม ประกอบกับเมื่ออากาศภายในห้องมีอุณหภูมิต่ำลง ปริมาณความชื้นมากที่สุด ที่มีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกันก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้ระบบปรับอากาศปกติไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 35 – 45%RH ที่ต้องการได้ โดยระบบปรับอากาศปกติสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ได้ต่ำสุดที่ 68%RH และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.19%RH



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศปกติ

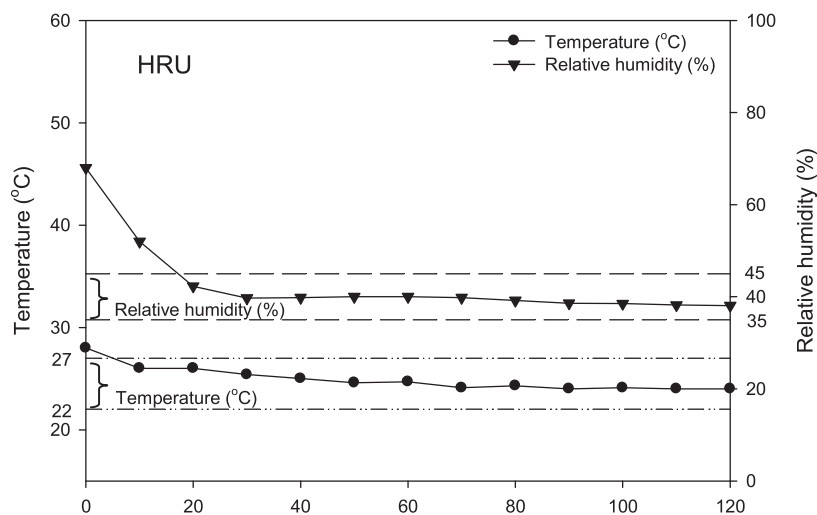
เมื่อนำกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบปรับอากาศปกติ มาเขียนลงบนแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 7 จากสถานะเริ่มต้น ที่จุดที่ 1 อุณหภูมิ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76%RH จนกระทั่งถึงจุดที่ 2 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 25.6°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.19%RH โดยอาศัยกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ การทำความเย็น และ ลดความชื้น ซึ่งในระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มี HRU นั้นสามารถลดอุณหภูมิ ให้เข้าสู่ขอบเขตที่กำหนดได้ แต่ไม่สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 7 แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบปรับอากาศปกติ

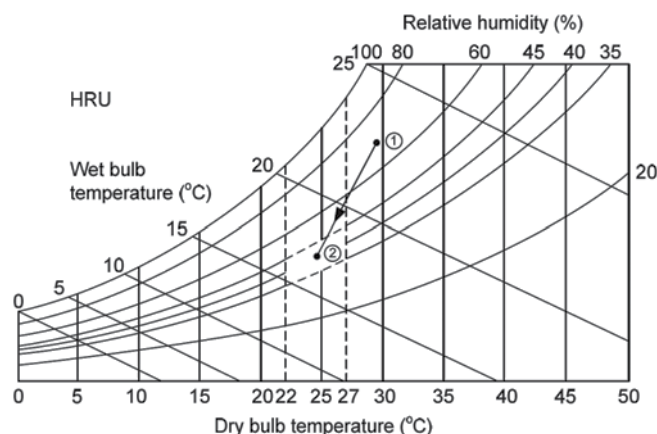
จากนั้นปล่อยให้ห้องทดลอง กลับสู่สถานะเริ่มต้น และทำการทดลองใหม่ โดยให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 68%RH จากรูปที่ 8 จะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิของห้อง

จะลดลง จนกระทั่งอยู่ในช่วงที่ต้องการคือ $22 - 27^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มี HRU จะเห็นว่าในระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะสามารถลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าเนื่องจากมีค่า %RH ที่สภาวะเริ่มต้นต่ำกว่า และ มีการไหลเวียนของอากาศทางด้านในห้องเพิ่มขึ้น จากชุดพัฒนาของ HRU ทำให้การกระจายของลมเย็น ที่อยู่ในห้องทำได้ดีขึ้น เมื่อถึงถึงความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะสามารถทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงได้อย่างรวดเร็ว และ เข้าสู่ช่วงที่ต้องการคือ $35 - 45\%RH$ ภายในเวลา 20 นาที เนื่องจากการดึงความร้อนจากก๊าซร้อนมาช่วยอุ่นอากาศภายในห้อง ผ่านอุปกรณ์ HRU ด้วยคุณสมบัติของอากาศร้อนที่เบากว่าอากาศเย็น ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่เป่าผ่านคอยล์เย็นสูงขึ้น ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ที่อยู่ในอากาศได้เพิ่มขึ้นนั่นเอง ทำให้ระบบที่มีการติดตั้ง HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.68°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $40.51\%RH$ และ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด $38.1\%RH$



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ HRU

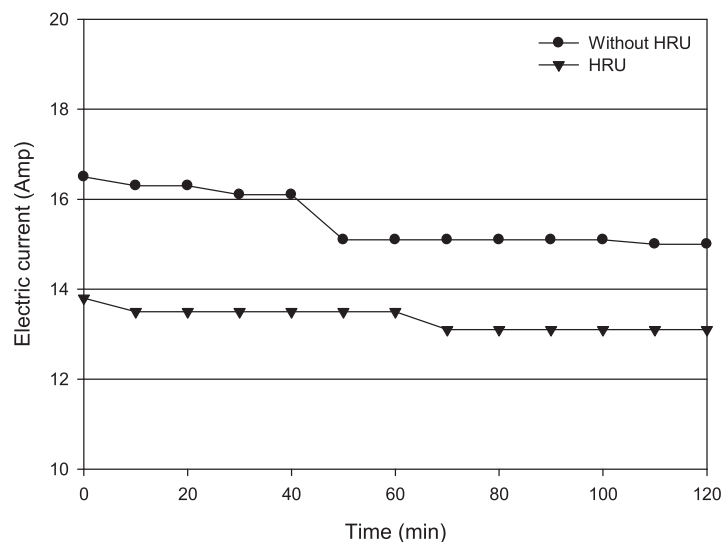
เมื่อนำกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ HRU มาเขียนลงบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 9 จากสภาวะเริ่มต้น ที่จุดที่ 1 อุณหภูมิ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ $68\%RH$ จนกระทั่งถึงจุดที่ 2 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24.68°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $40.51\%RH$ ซึ่งจะเห็นว่า ระบบที่มีการติดตั้ง HRU สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตามที่ต้องการ



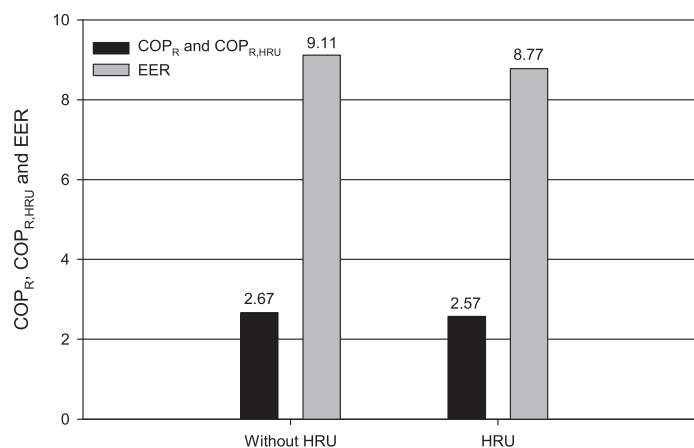
รูปที่ 9 แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบ HRU

4.2 ด้านสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

ในระบบปรับอากาศปกติ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน จากรูป ที่ 10 จะเห็นได้ว่า พิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ จะมีค่าสูงสุดที่ 16.3 แอมป์ เนื่องจาก เมื่อเริ่มต้นการทำงานอุณหภูมิของห้องในสภาวะเริ่มต้น จะยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ ประกอบกับ คอมเพรสเซอร์เอง มีค่าความเสียดทานภายใน ส่งผลทำให้ใช้พิกัดกระแสไฟฟ้า ในช่วงของการเริ่มต้นการทำงานมาก จากนั้น เมื่ออุณหภูมิของห้องลดลง จะทำให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลงตาม โดยในระบบปรับอากาศปกติ จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.45 แอมป์ เช่นเดียวกันกับ ในระบบปรับอากาศ ที่ทำงานร่วมกับ HRU ซึ่งจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทำงานสูงสุดอยู่ที่ 13.5 แอมป์ และจะค่อยๆ ลดลง เมื่ออุณหภูมิภายในห้องลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าในระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าในระบบปรับอากาศปกติ เนื่องจากภาระความร้อนบางส่วน ได้ถูกถ่ายโอนกลับเข้าสู่พื้นที่การทำความเย็น เพื่อช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ส่งผลทำให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง โดยในระบบปรับอากาศที่ทำงาน ร่วมกับ HRU จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย อยู่ที่ 13.3 แอมป์



รูปที่ 10 พิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์



รูปที่ 11 COP_R , $COP_{R,HRU}$ และ EER ของระบบปรับอากาศปกติ และ ระบบ HRU

จากรูปที่ 11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP_R) และ EER โดยระบบปรับอากาศปกติ มีค่า COP_R เท่ากับ 2.67 และ EER เท่ากับ 9.11 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบที่มีการติดตั้ง HRU แม้ว่าจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ ต่ำกว่าระบบปกติ แต่ความร้อนบางส่วน ได้ถูกถ่ายโอนกลับเข้าสู่พื้นที่ การทำความเย็นทำให้ค่า COP_R และ EER ลดลง โดยในระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะมีค่า $COP_{R,HRU}$ เท่ากับ 2.57 และ EER เท่ากับ 8.77 ตามลำดับ

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 – 27°C และ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 35 – 45%RH เพื่อเปรียบเทียบผล ระหว่างระบบปรับอากาศปกติ และระบบ HRU ซึ่งสรุปผลได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลของระบบปรับอากาศปกติ และ HRU

$\checkmark$ = ควบคุมได้ X = ควบคุมไม่ได้	ระบบปรับอากาศปกติ	ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU
การควบคุมอุณหภูมิ (22 – 27 °C)	$\checkmark$	$\checkmark$
การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (35 – 45%RH)	X	$\checkmark$
อุณหภูมิเฉลี่ยของห้อง (°C)	25.6	24.68
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%RH)	70.19	40.51
พิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (Amp)	15.45	13.3
COP_R , $COP_{R,HRU}$	2.67	2.57
EER	9.11	8.77

เอกสารอ้างอิง

- [1] Xiao Ping Wu; Peter Johnson; and Aliakbar Akbarzadeh, “Application of heat pipe heat exchangers to humidity control in air – conditioning systems”, Applied Thermal Engineering, 17(6), 1997, pp. 561 – 568
- [2] Niu, J.L., “Technology options for humidity control for hotels in South – eastern China climate”, HKIE Transactions, 8(2), 2001, pp. 20 – 24
- [3] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, “Thermodynamics An Engineering Approach 6th ed.”, Singapore: McGraw – Hill, 2007.
- [4] W.F. Stoecker and J.W. Jones, “Refrigeration and Air Conditioning 2nd ed.”, Singapore: McGraw – Hill, 1983.
- [5] C.P. Arora, “Refrigeration and Air Conditioning 2nd ed.”, Singapore: McGraw – Hill, 2001.