TSF-257

การประยุกต์ใช้ก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์เพื่อควบคุมความชื้นในการปรับอากาศ

Applications of Hot Gas from Condenser for Humidity Control in Air – Conditioning

มานพ พิพัฒหัตถกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน แขวงวังใหม่ กรุงเทพฯ 10330
E-mail : manop@pit.ac.th, Tel : 0-2104-9099 (3010), Fax : 0-2219-3872

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์ โดยสร้างชุดอุ่นอากาศ เรียกว่า HRU (Hot Gas Recovery Unit) ระบบทดลองประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 35400 BTU สารทำความเย็น R22 และ HRU ขนาด 28000 BTU แบ่งการทำงานของ HRU ออกเป็น 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับสภาวะในการศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายนอก 28 – 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 68 – 76%RH ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง 22 – 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 35 – 45%RH โดย HRU นำความร้อนของ R22 ในคอนเดนเซอร์มาใช้เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ การทดลองแบ่งออกเป็น 4 สภาวะ ประกอบด้วย ระบบปรับอากาศปกติ, ระบบปรับอากาศปกติทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบปรับอากาศปกติ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ตามที่กำหนดได้ เมื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP_R) ค่า COP_R ของระบบปรับอากาศปกติ มีค่าเท่ากับ 2.67 และ $COP_{R,HRU}$ ของระบบปรับอากาศ ทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.63, 2.58 และ 2.57 ตามลำดับ

คำหลัก: การปรับอากาศ; การควบคุมความชื้น; ความชื้นสัมพัทธ์

Abstract

This research examines the control of temperature and relative humidity in the split type of air – conditioning by using hot gas from condenser. Air – warming equipment was built to work with air – conditioning. This equipment is called HRU (Hot Gas Recovery Unit). The experimental system consisted of an air – conditioning with split type 35400 BTU, working fluid with R22 and 28000 BTU of HRU. For study condition, air temperature outside the room was 28 – 30°C, relative humidity was 68 – 76%RH. The room temperature was controlled at 22 – 27°C, relative humidity was 35 – 45%RH. The HRU utilize thermal energy of R22 in the condenser to control relative humidity. The experiment was divided in 4 conditions, including normal air – conditioning, normal air – conditioning that work with HRU 33, 66 and 100 percent respectively. The test results showed that normal air – conditioning was able to control the

temperature as needed but it was unable to control relative humidity as specified. Later, air – conditioning system was tested in combination with HRU. It was able to control temperature and relative humidity as specified. When compared coefficient of performance of refrigerator (COP_R). COP_R value of normal air – conditioning was 2.67 and $COP_{R,HRU}$ values of air – conditioning working with HRU 33, 66 and 100 percent were 2.63, 2.58 and 2.57 respectively.

***Keywords**:* Air – conditioning; Humidity control; Relative humidity

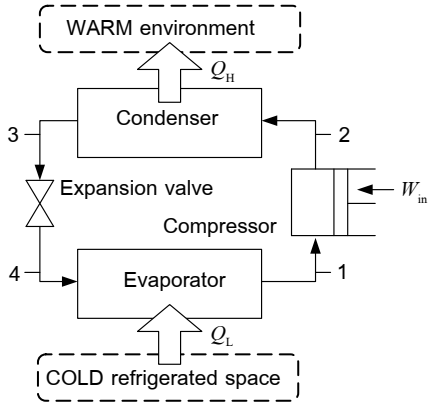
1. บทนำ

โดยปกติการปรับอากาศ จะมีเป้าหมายในการควบคุมสภาวะของอากาศ เช่น อุณหภูมิและความชื้นในบริเวณพื้นที่ควบคุม ให้มีสภาวะตามที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อที่พักอาศัยหรือสำหรับกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการ เช่น การปรับอากาศในที่พักอาศัย จะอ้างอิงจากภาวะสบาย (Comfort zone) ของบุคคล ตาม ASHRAE standard 55 – 1992 ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20 – 27°C และความชื้นสัมพัทธ์ 30 – 60%RH สำหรับในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งในอุตสาหกรรมบางชนิดมีความต้องการควบคุมเฉพาะอุณหภูมิแต่เพียงอย่างเดียว แต่ในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่นการผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือการทอเส้นใย จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายในกระบวนการผลิต ซึ่งขอบเขตความสบายของบุคคลในที่พักอาศัยหรือสถานที่ปฏิบัติงาน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ อุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง), การเคลื่อนไหวของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยปกติแล้วจะสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ ได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่สัมผัสกับคอยล์เย็น ซึ่งแม้ว่าจะมีการควบแน่นของไอน้ำเกิดขึ้นที่บริเวณคอยล์เย็น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ของพื้นที่การทำความเย็นด้วย เมื่ออุณหภูมิของบริเวณที่ต้องการควบคุมลดต่ำลง จะส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น หรือในบางกรณีที่พื้นที่การทำความเย็นมีอุณหภูมิลดต่ำลง อาจทำให้เกิดผิวน้ำแข็งเกาะที่คอยล์เย็น ทำให้ไอน้ำในอากาศที่เป่าผ่านคอยล์เย็นควบแน่นได้ลดลง ดังนั้นถ้าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในบริเวณพื้นที่การทำความเย็น หรือเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่เป่าผ่านคอยล์เย็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งเกาะที่ผิวคอยล์เย็น เมื่อภาระความเย็นลดลง คอยล์เย็นก็จะสามารถดึงความชื้นออกจากอากาศได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ ในบริเวณพื้นที่ควบคุม ลดลงตาม โดยในปี 1997 Xiao Ping Wu & etc. [1] ได้ศึกษาการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปรับอากาศ โดยติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทางด้านลมจ่าย และทางด้านลมกลับ เพื่อช่วยลดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 23.5°C และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจากเดิม 70 – 74% จากนั้นในปี 2001 Niu, J.L. [2] ได้นำสารดูดซับความชื้นและท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วงล้อที่ติดตั้งสารดูดซับความชื้น ทางด้านอากาศร้อนเข้า เป็นการดึงความชื้นสัมพัทธ์ขั้นที่ 1 จากนั้นให้อากาศร้อนผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เป็นการดึงความชื้นสัมพัทธ์ขั้นที่ 2 และเป็นการลดอุณหภูมิของอากาศด้วย จากนั้นจึงให้อากาศผ่านคอยล์เย็นเพื่อลดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ที่ 44.8%RH ต่อมาในปี 2011 Salama M. Abdel-Hady & etc. [3] ได้เสนอแนวคิดในการนำพลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งที่คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเย็น ที่จ่ายให้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งทำการศึกษาตัวแปร 4 ตัวได้แก่ ประเภทของคอยล์ (คอยล์เดี่ยวหรือคอยล์คู่), ปริมาณ

การไหลของน้ำ, อุณหภูมิน้ำ และความเร็วของอากาศเย็น เพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถดึงพลังงานความร้อนที่ระบายทิ้ง จากคอนเดนเซอร์มาใช้ได้อย่างเหมาะสม และในปี 2014 Hongming Fan & etc. [4] ได้ศึกษาการนำปั๊มความร้อนหลายเครื่อง เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้คอนเดนเซอร์ 2 เครื่องมาต่อขนานกัน โดยติดตั้งอยู่ทางด้านหลังคอยล์เย็นภายใน และด้านภายนอก ซึ่งปั๊มความร้อนสามารถทำงานได้เป็น 4 แบบ ได้แก่ ทำความร้อน ทำความเย็น และลดความชื้น โดยอุณหภูมิและความชื้น ของอากาศที่จ่ายเข้าจะถูกควบคุมได้อย่างแม่นยำ และมีประสิทธิภาพ โดยการปรับปริมาณลมทางด้านภายในห้องและนอกห้อง จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาได้มีการนำ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, ฮีตเตอร์ และความร้อนที่ระบายทิ้งจากคอนเดนเซอร์ มาช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งตัวฮีตเตอร์เองต้องการแหล่งพลังงานจากภายนอก เพื่อให้เกิดความร้อน ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 – 27°C และ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 35 – 45%RH โดยดึงเอาพลังงานความร้อนที่ทิ้งจากคอนเดนเซอร์ มาช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ผ่านอุปกรณ์ดึงความร้อนจากก๊าซร้อนกลับมาใช้ เรียกว่า Hot Gas Recovery Unit (HRU) เพื่อเปรียบเทียบผล ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มีการติดตั้ง HRU เทียบกับการใช้งาน HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (%) ร่วมกับระบบปรับอากาศ

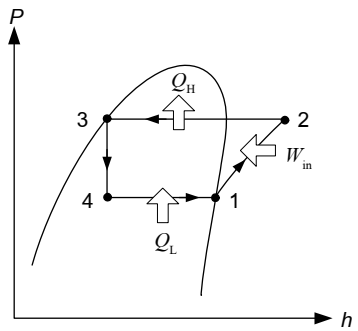
2. ทฤษฎีในการวิเคราะห์ [5 – 7]

วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ ประกอบด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน 4 อย่าง ดังรูปที่ 1 คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) หรือเครื่องอัด, คอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือ เครื่องควบแน่น, อุปกรณ์ทรอตทลิ่ง หรือ วาล์วขยายตัว (Expansion valve) และ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หรือ เครื่องระเหย ซึ่งมีการถ่ายโอนความร้อน Q_L ออกจากพื้นที่การทำความเย็น และระบายความร้อน Q_H สู่ภายนอก โดยการจ่ายงาน W_{in}



รูปที่ 1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ

เมื่อนำกระบวนการต่างๆ ในวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ มาเขียนลงบนแผนภาพ ความดัน – เอนทัลปี (*P – h* diagram) ดังรูปที่ 2 จากแผนภาพเห็นได้ว่า ระหว่างกระบวนการ 3 – 4 จะได้เป็นเส้นตรง เนื่องจากเป็นกระบวนการขยายตัวในอุปกรณ์ทรอตทลิ่ง ซึ่งเอนทัลปี (Enthalpy) มีค่าคงที่ และปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอน ที่คอนเดนเซอร์ และอีวาพอเรเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของเส้นกระบวนการ



รูปที่ 2 *P – h* diagram ของ วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ

เมื่อวิเคราะห์การทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ในวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติให้มีการไหลแบบคงตัว (Steady flow) ได้ดังสมการที่ (1), (2), (3) และ (4)

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

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

วาล์วขยายตัว : $h_3 = h_4$ (3)

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

สามารถที่จะหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP_R) ที่ทำงานในลักษณะของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ ได้ดังสมการที่ (5)

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

เมื่อ

$\dot{W}_C$ = งานที่ต้องจ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์, W

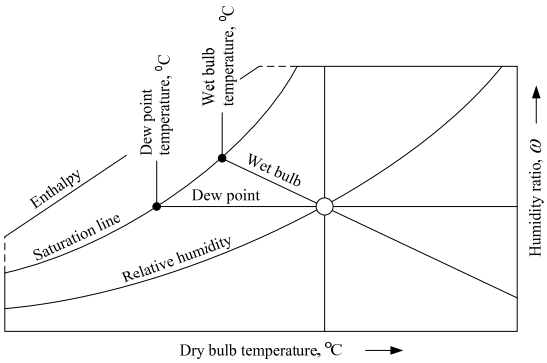
$\dot{Q}_C$ = ความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์, W

$\dot{Q}_E$ = ความร้อนที่ดึงออกจากบริเวณพื้นที่การทำความเย็น ที่อีวาพอเรเตอร์, W

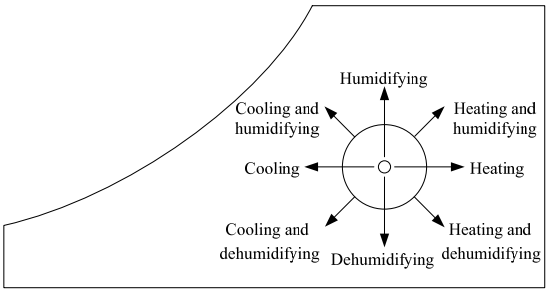
$\dot{m}_R$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น, kg/s

h = เอนทัลปี, kJ/kg

สภาวะของอากาศ สามารถแสดงได้ด้วยจุด บนแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric charts) ในรูปที่ 3 ซึ่งจุดบนแผนภูมิไซโครเมตริก จะแสดงค่าสมบัติของอากาศที่สำคัญ คืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature, TDB), อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature, TWB), อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew – point temperature, TDP), ความชื้นสัมบูรณ์หรือความชื้นจำเพาะ (Absolute or specific humidity, ω) เป็นมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) เป็นปริมาณของความชื้นหรือไอน้ำที่มีอยู่ เทียบกับปริมาณความชื้นมากที่สุด ที่มีอยู่ได้ในอากาศ ที่อุณหภูมิเดียวกัน ในบริเวณ ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เป็นไปตามที่ต้องการต้องอาศัยกระบวนการ ที่เรียกว่ากระบวนการปรับอากาศ ดังรูปที่ 4 โดยกระบวนการปรับอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็นกระบวนการหลัก 4 กระบวนการ ได้แก่ การให้ความร้อน (Heating), การทำความเย็น (Cooling), การลดความชื้น (Dehumidifying) และการเพิ่มความชื้น (Humidifying) ซึ่งในบางครั้งอาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ มากกว่าหนึ่งกระบวนการ เพื่อทำให้อากาศอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และระดับความชื้น ตามที่ต้องการ เช่น การให้ความร้อน และเพิ่มความชื้นกับอากาศ (Heating and humidifying) หรือการให้ความร้อนและลดความชื้น (Heating and dehumidifying) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการปรับอากาศ ให้อยู่ในช่วงภาวะสบายของบุคคล โดยควบคุมให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 – 27°C และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 35 – 45%RH ดังนั้น จึงต้องอาศัยกระบวนการสองกระบวนการ คือ การทำความเย็นและลดความชื้น (Cooling and dehumidifying)



รูปที่ 3 แผนภูมิไซโครเมตริก



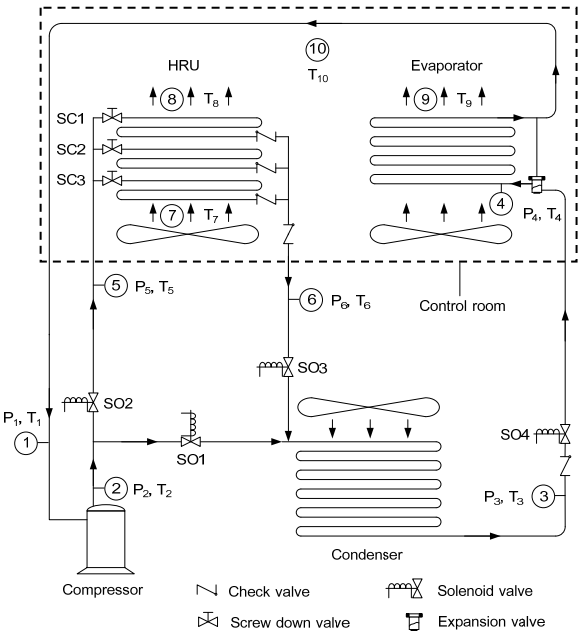
รูปที่ 4 กระบวนการปรับอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก

3. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

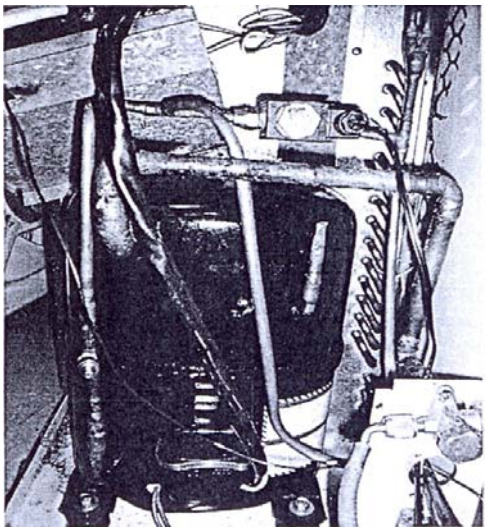
ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองภายในห้องขนาด 3.7 m X 5.0 m X 5.1 m ผนังก่อด้วยอิฐบล็อกหนา 100 mm ผิวฉาบเรียบ ทาสีฟ้าอ่อน โดยกำหนดอุณหภูมิออกแบบภายในห้องที่ 25°C และอุณหภูมิออกแบบภายนอกที่ 35°C ตำแหน่งของห้องทดลองมี

TSF-257

พิกัดทางภูมิศาสตร์คือ ละติจูดที่ 13° 45′ เหนือ และลองจิจูดที่ 100° 31′ ตะวันออกโดยภายในห้องทดลองมีภาระการทำความเย็นจากไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) ขนาด 36 W จำนวน 6 หลอด มีภาระการทำความเย็นจากผู้ปฏิบัติงาน 2 คน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์กำลัง ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.05 HP จำนวน 2 เครื่อง จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถคำนวณภาระการทำความเย็นของพื้นที่การทำความเย็นที่ต้องการได้ ซึ่งได้เลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 35400 BTU เพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ HRU ขนาด 28000 BTU

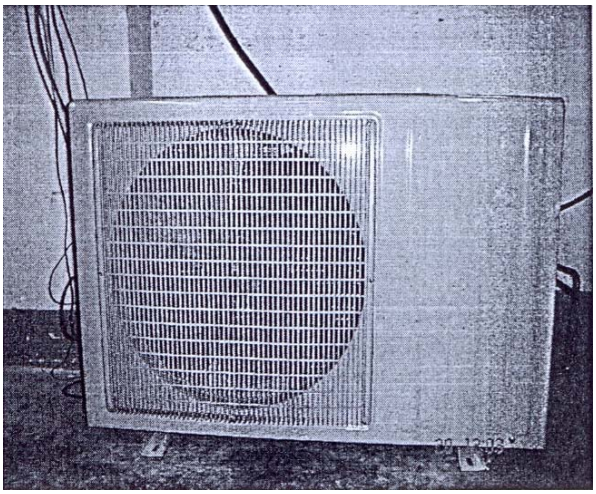


รูปที่ 5 Schematic diagram ของชุดทดลอง

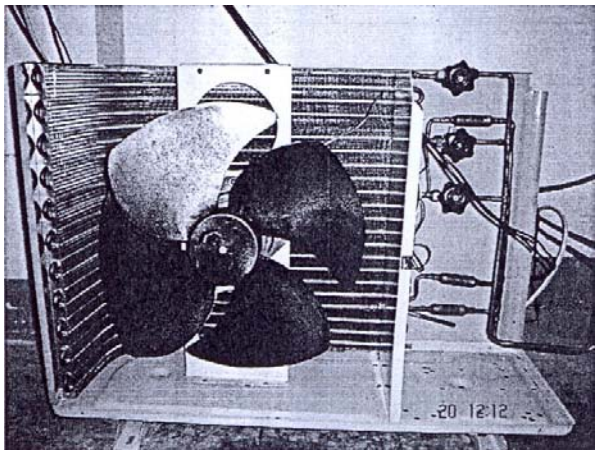


รูปที่ 6 คอมเพรสเซอร์ R22

รูปที่ 7 การติดตั้งคอนเดนเซอร์

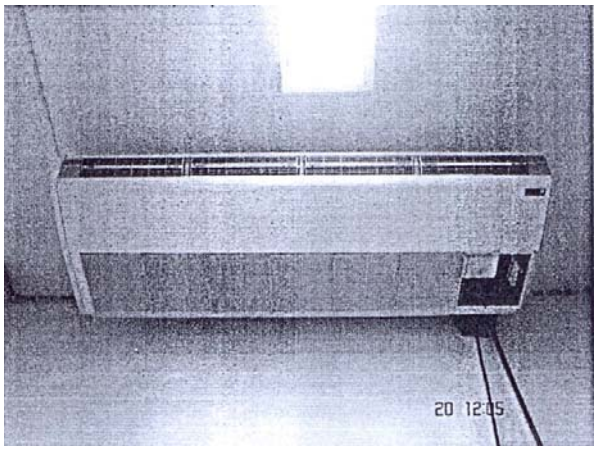


รูปที่ 8 ลักษณะภายนอกของ HRU

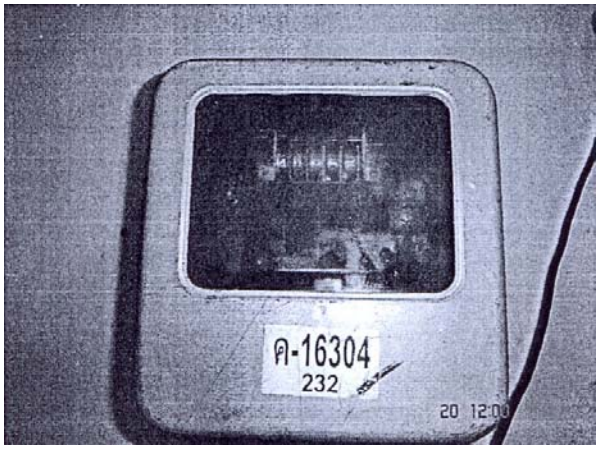


รูปที่ 9 ลักษณะภายในของ HRU

จากนั้นติดตั้งระบบเพื่อทำการทดลอง ดังรูปที่ 5 โดยทำการติดตั้ง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 35400 BTU ตามปกติในห้องทดลอง ทำการติดตั้งอีวาพอเรเตอร์ ที่มีชุดพัดลม (Fan coil unit) ขนาด 700 คิวบิกฟุตต่อนาที (cfm) ไว้ภายในห้องที่ต้องการปรับอากาศ และทำการติดตั้ง คอนเดนเซอร์ขนาด 35400 BTU ไว้ที่ด้านนอกของห้อง เพื่อระบายความร้อนสู่บรรยากาศ จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ HRU ไว้ภายในห้อง โดย HRU ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยคอยล์ (Coil) กับชุดพัดลมโดยไม่มีคอมเพรสเซอร์ ซึ่งในส่วนคอยล์ของ HRU จะใช้วาล์ว SO1, SO2 และ SO3 ในการควบคุมทิศทางการไหลของสารทำความเย็น และใช้วาล์ว SC1, SC2 และ SC3 ในการปรับภาระการทำงานของ HRU ที่ 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6 – 11



รูปที่ 10 การติดตั้งอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 11 ลักษณะภายนอกของมิเตอร์ไฟฟ้า

จากนั้นทำการติดตั้งระบบไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยใช้อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power) และพิกัดกระแสไฟฟ้า (Amp) ที่คอมเพรสเซอร์รวมถึงติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อวัดจำนวนหน่วยไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ โดยการทดลองจะเริ่มจากให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่สภาวะปกติ โดยไม่มีการใช้งาน HRU ก่อน แล้วจึงบันทึกค่าต่างๆ ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง จากนั้นให้เครื่องปรับอากาศ ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ HRU ที่ 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ เริ่มต้น ทำการวัดอุณหภูมิ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้อง ที่สภาวะเริ่มต้น จากนั้น เดินเครื่องปรับอากาศในสภาวะปกติโดยไม่มีการทำงานของ HRU แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ที่จุด 1 – 4, ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ

ภายในห้อง (T_{10}) และ อุณหภูมิของลมเย็น ที่ผ่านอีวาพอเรเตอร์ (T_9), ทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ในห้องโดยใช้อุปกรณ์วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิตอล, ทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power) และพิกัดกระแสไฟฟ้า (Amp) ที่คอมเพรสเซอร์โดยใช้อุปกรณ์วัดแบบดิจิตอล และทำการบันทึกค่าหน่วยไฟฟ้า (kWh) จากมิเตอร์ไฟฟ้าจากนั้นเมื่อทำการบันทึกค่าต่างๆ ตามที่ต้องการของระบบปรับอากาศปกติแล้ว จึงพักการทำงานให้ห้องกลับสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง แล้วจึงเดินเครื่องปรับอากาศร่วมกับการทำงานของ HRU ซึ่งทิศทางการไหลของสารทำความเย็นที่ผ่าน HRU สามารถควบคุมได้จากวาล์ว SO1, SO2 และ SO3 โดยเมื่อใช้งาน HRU วาล์ว SO1 จะถูกปิด ในขณะที่วาล์ว SO2 และ SO3 จะเปิด ส่วนภาระการทำงานของ HRU สามารถปรับได้จาก วาล์ว SC1, SC2 และ SC3 ที่ 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 5 เมื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านอุปกรณ์ HRU ทำการบันทึกค่า อุณหภูมิ (T) และ ความดัน (P) ที่จุด 5 และ 6 รวมถึงบันทึกค่าอุณหภูมิ (T) ของอากาศ ที่ทางเข้าและทางออกของ HRU ที่จุด 7 และ 8 ทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณ เพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบโดยจากค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น ($\dot{m}_R$) ได้จากสมการที่ (1) ในขณะที่ ความร้อนที่ถ่ายโอนออกจากพื้นที่การทำความเย็น ที่อีวาพอเรเตอร์ ($\dot{Q}_E$) คำนวณได้จากสมการที่ (4) และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นของระบบปรับอากาศปกติ (COP_R) คำนวณได้จากสมการที่ (5) จากนั้นเมื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU จะเห็นได้ว่ามีความร้อนบางส่วนถูกถ่ายโอนกลับสู่บริเวณพื้นที่การทำความเย็น ซึ่งเป็นความร้อนที่ระบายออกที่ HRU ($\dot{Q}_{HRU}$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

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

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

$$COP_{R,HRU} = \frac{\dot{Q}_E - \dot{Q}_{HRU}}{\dot{W}_C} \qquad (7)$$

และสามารถคำนวณค่า Energy efficiency rating (EER) ได้จากสมการที่ (8)

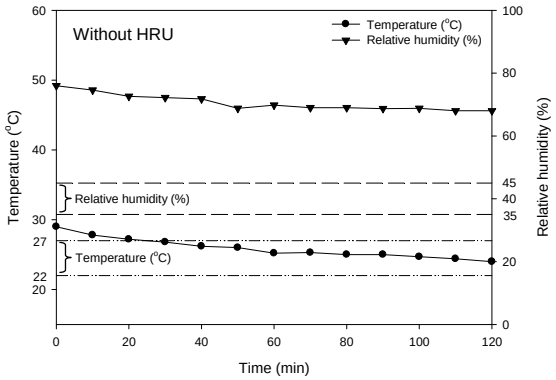
$$EER = 3.412 COP_R \qquad (8)$$

4. ผลการทดลอง

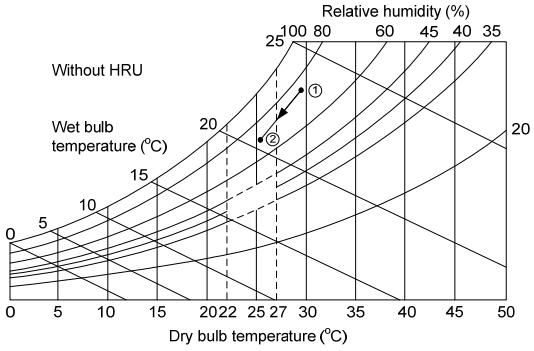
โดยผลการทดลองที่ได้ จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านการปรับอากาศ และ ด้านสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

4.1 ด้านการปรับอากาศ

ในการทดลอง เริ่มต้นจากการให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่สภาวะปกติ โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์ HRU อุณหภูมิเริ่มต้นของห้องอยู่ที่ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76%RH จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มเดินเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิของห้องจะค่อยๆ มีค่าลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที อุณหภูมิของห้องจะลดลง จนกระทั่งอยู่ในช่วงที่ต้องการคือ 22 – 27°C โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องอยู่ที่ 25.6°C แต่เมื่อพิจารณา ถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเห็นได้ว่า ในระบบปรับอากาศปกติจะสามารถทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงได้ในช่วง 50 นาทีแรก เนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศภายในห้องที่เป่าผ่านคอยล์เย็นของอีวาพอเรเตอร์ แต่เมื่อหลังจากเวลา 50 นาที เมื่ออุณหภูมิของห้องลดลงการควบแน่นของไอน้ำที่คอยล์เย็นก็ลดลงตาม ประกอบกับเมื่ออากาศภายในห้องมีอุณหภูมิลดต่ำลง ปริมาณความชื้นมากที่สุด ที่มีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกันก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้ระบบปรับอากาศปกติไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ให้อยู่ในช่วง 35 – 45%RH ตามที่ต้องการได้ โดยระบบปรับอากาศปกติสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ได้ต่ำสุดที่ 68%RH และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.19%RH

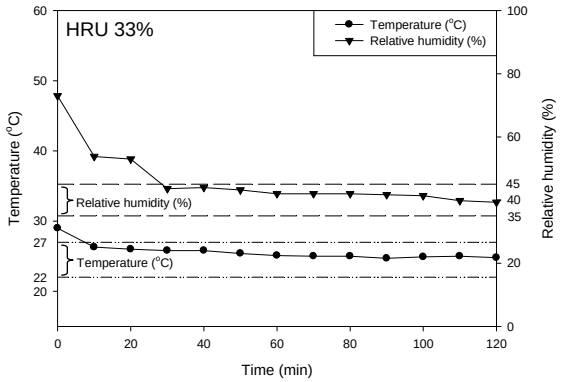


รูปที่12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศปกติ

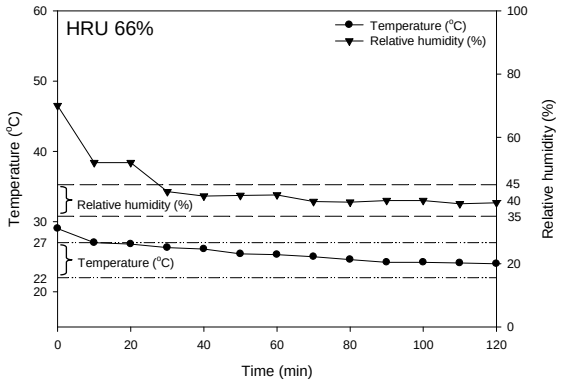


รูปที่ 13 แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบปรับอากาศปกติ

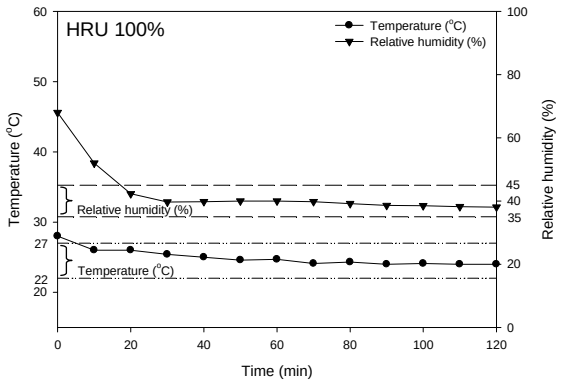
เมื่อนำกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบปรับอากาศปกติมาเขียนลงบนแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 13 จากสภาวะเริ่มต้น ที่จุดที่ 1 อุณหภูมิ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76%RH จนกระทั่งถึงจุดที่ 2 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 25.6°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.19%RH โดยอาศัยกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ การทำความเย็น และ ลดความชื้น ซึ่งในระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มี HRU นั้นสามารถลดอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด แต่ไม่สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ HRU 33%



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ HRU 66%



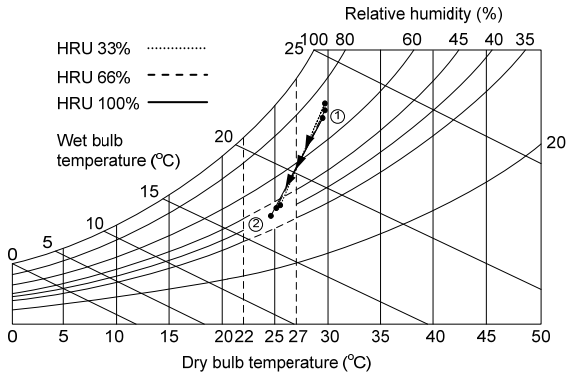
รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ HRU 100%

จากนั้นปล่อยให้ห้องทดลอง กลับสู่สภาวะเริ่มต้น และทำการทดลองใหม่ โดยให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (%) ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 28 – 29°C และมีความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น ในช่วง 68 – 73%RH จากรูปที่ 14, 15 และ 16 จะเห็นได้ว่า ในระบบปรับ

อากาศที่ทำงานร่วมกับ HRU เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิของห้องจะลดลง จนกระทั่งอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ 22 – 27°C เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มี HRU จะเห็นได้ว่า เมื่อติดตั้ง HRU ให้ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศปกติ จะสามารถลดอุณหภูมิ ได้เร็วกว่า เนื่องจาก ในการทดลอง ระบบที่มีการติดตั้ง HRU มีค่า %RH ที่สภาวะเริ่มต้นต่ำกว่า ประกอบกับมีการไหลเวียนของกระแสลมเย็นทางด้านในห้องเพิ่มขึ้น จากชุดพัดลมของ HRU ทำให้การกระจายของลมเย็น ที่อยู่ภายในห้องทำได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะสามารถทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงได้อย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ช่วงที่ต้องการ คือ 35 – 45%RH ภายในช่วงเวลา 20 – 30 นาที เนื่องจาก มีการดึงความร้อนจากก๊าซร้อนมาช่วยอุ่นอากาศภายในห้อง ผ่านอุปกรณ์ HRU ด้วยคุณสมบัติของอากาศร้อนที่เบากว่าอากาศเย็น ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่เป่าผ่านคอยล์เย็นสูงขึ้น ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ที่อยู่ภายในอากาศได้เพิ่มขึ้นนั่นเอง ทำให้ระบบที่มีการติดตั้ง HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่ง HRU 100% มีแนวโน้มที่จะลดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้รวดเร็วกว่า HRU 33 และ 66% โดย HRU 33, 66 และ 100% จะมีค่า อุณหภูมิเฉลี่ย, ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด เป็น

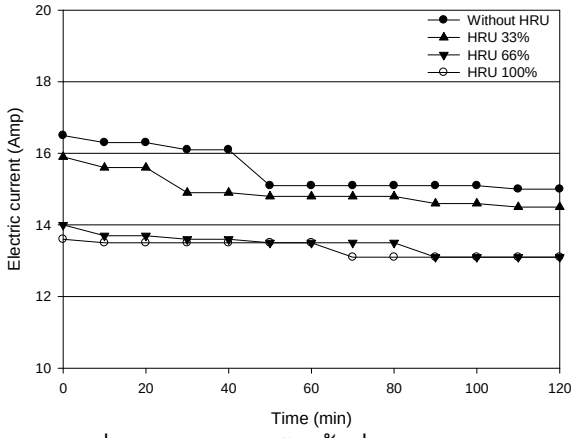
HRU 33% : 25.31°C, 43.90%RH และ 39.30%RH
HRU 66% : 25.25°C, 42.42%RH และ 39.00%RH
HRU 100%: 24.68°C, 40.51%RH และ 38.10%RH

เมื่อนำกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ HRU 33, 66 และ 100% มาเขียนลงบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 17 จากสภาวะเริ่มต้นจุดที่ 1 ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น จนกระทั่งถึงจุดที่ 2 ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่มีการติดตั้ง HRU สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 17 แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบ HRU

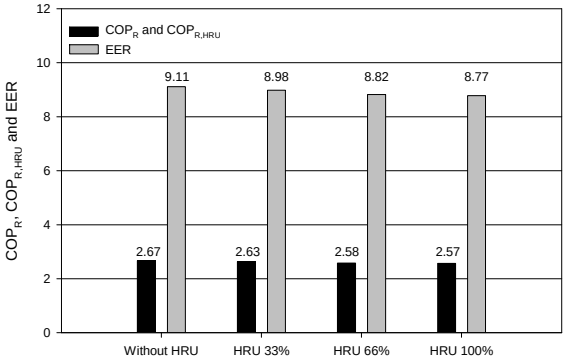
4.2 ด้านสัมประสิทธิ์สมรรถนะ



รูปที่ 18 พิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์

ในระบบปรับอากาศปกติ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน จากรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่า พิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ จะมีค่าสูงสุดที่ 16.3 แอมป์ เนื่องมาจาก เมื่อเริ่มต้นการทำงานอุณหภูมิของห้องในสภาวะเริ่มต้น จะยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ ประกอบกับคอมเพรสเซอร์เอง มีค่าความเสียดทานภายใน ส่งผลทำให้ใช้พิกัดกระแสไฟฟ้า ในช่วงของการเริ่มต้นการทำงานมาก จากนั้นเมื่ออุณหภูมิของห้องลดลง จะทำให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลงตาม โดยในระบบปรับอากาศปกติ จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.45 แอมป์ เช่นเดียวกันกับ ในระบบปรับอากาศ ที่ทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100% ซึ่งจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทำงานสูงสุดอยู่ที่ 15.9, 14 และ 13.5 แอมป์ และจะค่อยๆ ลดลง เมื่ออุณหภูมิภายในห้อง

ลดลง โดยจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.86, 13.41 และ 13.30 แอมป์ ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าในระบบที่มีการติดตั้ง HRU จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ ต่ำกว่าในระบบปรับอากาศปกติ เนื่องมาจากภาระความร้อนบางส่วน ได้ถูกถ่ายโอนกลับเข้าสู่พื้นที่การทำความเย็น เพื่อช่วยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ส่งผลทำให้ภาระการทำงานที่คอมเพรสเซอร์ลดลง โดยในระบบปรับอากาศที่ทำงานร่วมกับ HRU 100% จะมีพิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 19 COP_R, $COP_{R,HRU}$ และ EER ของระบบปรับอากาศปกติ และระบบ HRU

จากรูปที่ 19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP_R) และ EER โดยระบบปรับอากาศปกติ มีค่า COP_R เท่ากับ 2.67 และ EER เท่ากับ 9.11 ในขณะที่ระบบที่มีการติดตั้ง HRU แม้ว่าจะมีพิกัดกระแสไฟฟ้า ที่คอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าระบบปกติ แต่ความร้อนบางส่วน ได้ถูกถ่ายโอนกลับเข้าสู่พื้นที่การทำความเย็นทำให้ค่า COP_R และ EER ลดลง โดยในระบบที่มีการติดตั้ง HRU 33, 66 และ 100% จะมีค่า $COP_{R,HRU}$ เท่ากับ 2.63, 2.58 และ 2.57 โดยมีค่า EER เท่ากับ 8.98, 8.82 และ 8.77 ตามลำดับ

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา การประยุกต์ใช้ก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22 – 27°C และความชื้นสัมพัทธ์ 35 – 45%RH โดยเปรียบเทียบผลระหว่าง ระบบปรับอากาศปกติ และระบบปรับอากาศที่ทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า ในระบบปรับอากาศปกติ ที่ไม่มีการติดตั้ง HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิ ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ ในขณะที่เมื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU สามารถควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ แต่จะมีค่า COP_R ลดลง โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลระบบปรับอากาศปกติ และ HRU

√ = ควบคุมได้ X = ควบคุมไม่ได้	Without HRU	HRU (33%)	HRU (66%)	HRU (100%)
การควบคุมอุณหภูมิ (22 – 27 °C)	√	√	√	√
การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (35 – 45%RH)	X	√	√	√
อุณหภูมิเฉลี่ยของห้อง (°C)	25.6	25.31	25.25	24.68
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%RH)	70.19	43.90	42.42	40.51
พิกัดกระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (Amp)	15.45	14.86	13.41	13.30
COP_R, $COP_{R,HRU}$	2.67	2.63	2.58	2.57
EER	9.11	8.98	8.82	8.77

6. 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] Salama M. Abdel-Hady; Soubhi A. Hassanein; Waleed A. Abdel-Fadeel and Hesham S. Abdel-Mohsen "Experimental analysis of energy recovery for humidity control in split A/C system" Energy and Buildings, Volume 43, Issue 11, November 2011, Pages 3053-3058

[4] Hongming Fan; Shuangquan Shao and Changqing Tian "Performance investigation on a multi-unit heat pump for simultaneous temperature and humidity control" Applied Energy, Volume 113, January 2014, Pages 883-890.

[5] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, "Thermodynamics An Engineering Approach 6th ed.", Singapore: McGraw – Hill, 2007.

[6] W.F. Stoecker and J.W. Jones, "Refrigeration and Air Conditioning 2nd ed.", Singapore: McGraw – Hill, 1983.

[7] C.P. Arora, "Refrigeration and Air Conditioning 2nd ed.", Singapore: McGraw – Hill, 2001.