การศึกษาอุณหภูมิในตู้อบแห้งจากการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

A Study of Drying Cabinet Temperature by Utilizing Waste Heat from Split Type Air Conditioning System

สิริสวัสดิ์ จึงเจริญนิรชร

Sirisawat Juengjaroennirachon

แขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Program in Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

Email: sirisawat74@hotmail.com

Received: March 02, 2020; Revised: March 22, 2020; Accepted: April 16, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 7.33 กิโลวัตต์ (25,000 บีทียูต่อชั่วโมง) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ สร้างตู้อบแห้งขนาด 0.6 X 0.6 X 0.7 เมตร จากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 3 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 20 เซนติเมตร และสร้างถังกักเก็บพลังงานความร้อนจากสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำในการกักเก็บพลังงานความร้อน ในการทดลองดึงพลังงานความร้อนมาใช้งานในตู้อบแห้ง ใช้น้ำอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 0.98 กิโลกรัมต่อวินาที จากการทดลองพบว่าถังกักเก็บพลังงานความร้อนสามารถกักเก็บพลังงานความร้อนในรูปของน้ำร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 68.23 องศาเซลเซียส และในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 59.27 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ตู้อบแห้ง, ความร้อนทิ้ง, ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

Abstract

This research involved the technical feasibility study of thermal energy storage of waste heat recovery from air conditioning system for utilization. The experimental designed equipment consisted of a split type air conditioning system with a capacity of 7.33 kW (25,000 BTU/hr), air cooled condenser, and R-22 refrigerant was used in the system. In experimental study, drying cabinet was made from 1 mm. thick stainless steel board and had a width of 0.6 m., a length of 0.6 m. and height of 0.7 m. There were 3 trays in drying cabinet with 20 cm spacing between each tray. The thermal energy storage tank was made from 1 mm thick stainless steel. The thermal energy storage tank had a diameter of 450 mm and a height of 450 mm and was filled with water. In the experimental, the heat energy from water was used in the drying

cabinet at the flow rate of 15 liters/min and the air flow rate passing through the drying cabinet was 0.98kg/s. The results showed that the thermal energy storage tank, the average of hot water temperature was 68.23 °C. and the average air temperature inside the drying cabinet was 59.27 °C.

Keywords : Drying cabinet, Waste heat, Split type air conditioning system

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับอาคาร สำนักงาน และที่อยู่อาศัย เพราะระบบปรับอากาศมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ระบบปรับอากาศที่ได้รับความนิยมส่วนมากจะเป็นแบบแยกส่วน (Split type) เพราะเป็นระบบปรับอากาศที่ติดตั้งง่าย ราคาไม่สูง ระบบปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นที่ใช้ในอาคาร สำนักงาน และที่อยู่อาศัย ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของระบบปรับอากาศนั้น เป็นพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เมื่อพิจารณาการทำงานของระบบพบว่า ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้หลักการนำอากาศจากสิ่งแวดล้อมเป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ [1] ซึ่งความร้อนส่วนนี้จะระบายทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ถ้าหากนำความร้อนส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับชุดกักเก็บพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศ [2] การใช้ถังกักเก็บพลังงานความร้อนเพื่อนำความร้อนในรูปแบบของน้ำร้อนมาใช้ประโยชน์ [3] และการนำความร้อนที่ถ่ายเทออกมาจากระบบปรับอากาศมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรประเภทกล้วย และพริก [4-7]

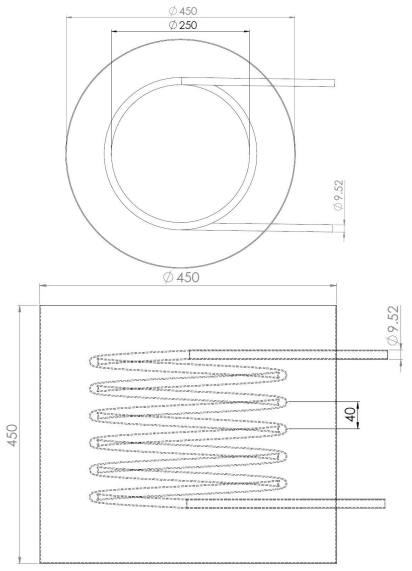
ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้ง และศึกษาอุณหภูมิในตู้อบแห้งจากการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

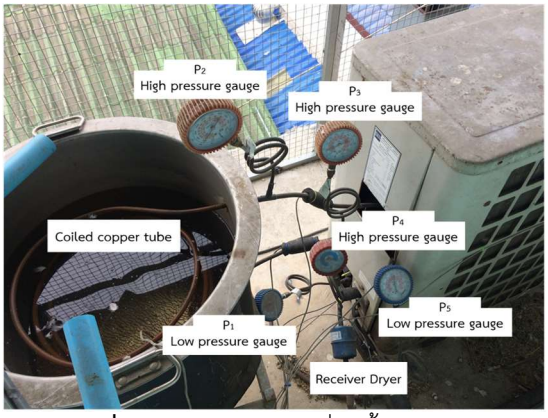
การศึกษาอุณหภูมิในตู้อบแห้งจากการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 7.33 กิโลวัตต์ (25,000 บีทียูต่อชั่วโมง) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างถังกักเก็บพลังงานความร้อน และตู้อบแห้ง ดังนี้

2.1 การออกแบบและสร้างถังกักเก็บพลังงานความร้อน

ถังกักเก็บพลังงานความร้อนสร้างจากสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อน ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.52 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 250 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 40 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 1 ถูกติดตั้งระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2 โดยภายในถังบรรจุน้ำ 40 ลิตร [3]



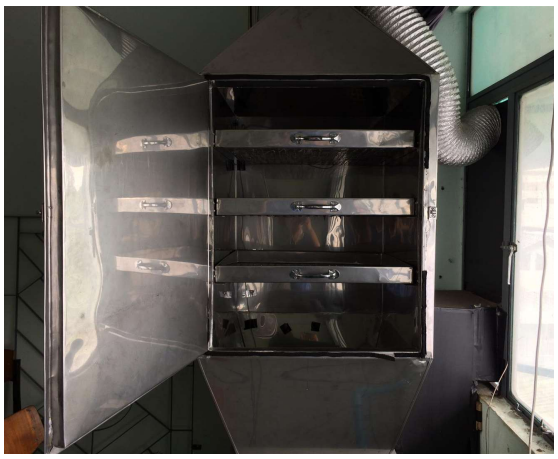
รูปที่ 1 รายละเอียดของถังกักเก็บพลังงานความร้อน [3]



รูปที่ 2 ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความร้อน [3]

2.2 การออกแบบและสร้างตู้อบแห้ง

สร้างตู้อบแห้งขนาด 0.6 X 0.6 X 0.7 เมตร จากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 3 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 20 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3



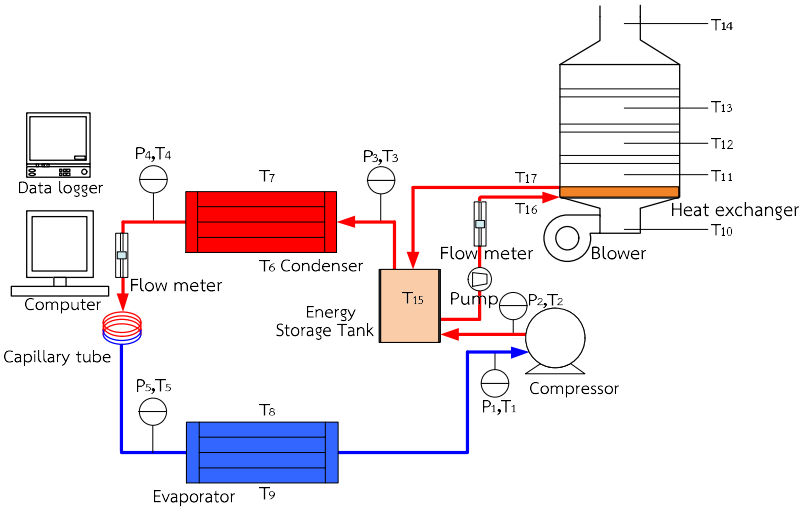
รูปที่ 3 ตู้อบแห้ง

2.3 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความร้อนร่วมกับตู้อบแห้ง

เมื่อเปิดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ แรงดันต่ำ สถานะแก๊สที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูง และแรงดันสูงสถานะแก๊สไปที่ถังกักเก็บพลังงานความร้อน สารทำความเย็นจะถูกน้ำที่บรรจุภายในถังดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นก่อนที่จะไปลดแรงดันที่แคปปิลารี่ทิ้ว และสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์เพื่อดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิลดต่ำลง และสารทำความเย็นจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเป็นวัฏจักรต่อไป ในขณะเดียวกันน้ำร้อนที่อยู่ภายในถังกักเก็บพลังงานจะไหลผ่านเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งโดยใช้ปั๊มน้ำเป็นตัวสร้างแรงดันน้ำ และพัดลมจะถูกใช้เป็นตัวเป่าอากาศเพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง ส่งผลให้อากาศภายในตู้อบแห้ง มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำที่ออกมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งจะไหลกลับถังกักเก็บพลังงานความร้อน

2.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองดึงพลังงานความร้อนมาใช้งานในตู้อบแห้ง ใช้น้ำอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 0.98 กิโลกรัมต่อวินาที และควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 24 - 26 องศาเซลเซียส วัดความดันของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้บูดองเกจ วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นและน้ำด้วยโฟลมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น อากาศ และน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนด้วยเทอร์โมคับเปิ้ล Type K โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Brainchild รุ่น VR18 ความแม่นยำ ±1 องศาเซลเซียส วัดอัตราการไหลของอากาศด้วยเอนาโมมิเตอร์ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-43 และใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ DIGICON รุ่น DW 657 ในส่วนของการเก็บข้อมูลการทดลองนั้นทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยบันทึกค่าทุก 15 นาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4 และในขั้นตอนของการทดลองนั้น ได้ดำเนินการทดลองซ้ำ



รูปที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดัน

โดยที่ $P_1 - P_5$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_5$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_6 - T_{14}$ คืออุณหภูมิของอากาศ $T_{15} - T_{17}$ คืออุณหภูมิของน้ำ

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอจากการทดลองสามารถพิจารณาได้ดังนี้ [1,3]

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (1)

$$Q_{cond} = \dot{m}_r((h_2 - h_3) + (h_3 - h_4)) \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งจากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2)

$$Q_{heat\ exchanger\ device} = \dot{m}_w C_{pw}(T_{16} - T_{17}) \quad (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (3)

$$Q_{evap} = \dot{m}_r(h_1 - h_5) \quad (3)$$

งานคอมเพรสเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4)

$$W_{comp} = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \quad (4)$$

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 5

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (5)$$

เมื่อ

COP คือ สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศ

C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ

h คือ เอนทาลปี

$\dot{m}_r$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลของน้ำ

Q_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์

$Q_{heat\ exchanger\ device}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง

Q_{evap} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์

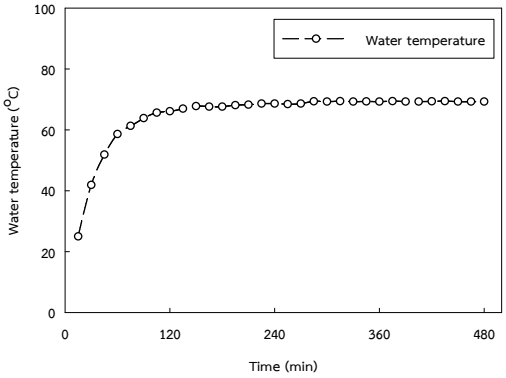
T_{16} คือ อุณหภูมิของน้ำทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

T_{17} คือ อุณหภูมิของน้ำทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

W_{comp} คือ งานคอมเพรสเซอร์

3. ผลทดลอง

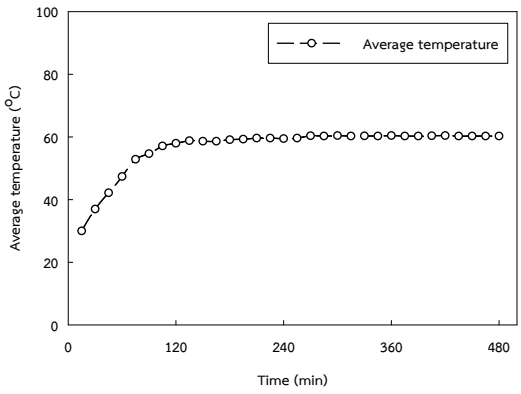
จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการดึงพลังงานความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้



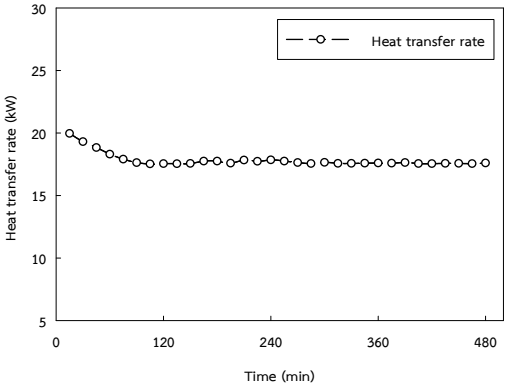
รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำในถังกักเก็บพลังงานความร้อน

รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิน้ำในถังกักเก็บพลังงานความร้อน พบว่าน้ำที่บรรจุอยู่ภายในถังอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส น้ำจะดูดซับอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ ซึ่งน้ำจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าคงที่ จึงรักษาระดับอุณหภูมิไว้ โดยที่น้ำภายในถังกักเก็บพลังงานมีอุณหภูมิเฉลี่ย 68.23 องศาเซลเซียส

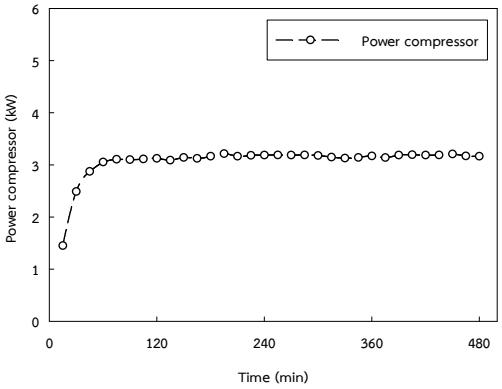
รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตู้อบแห้ง พบว่าน้ำจากถังกักเก็บพลังงานความร้อนเมื่อไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง และมีอากาศอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 32.76 องศาเซลเซียส ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง อากาศที่แลกเปลี่ยนออกมาจะมีอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 59.27 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตู้อบแห้ง



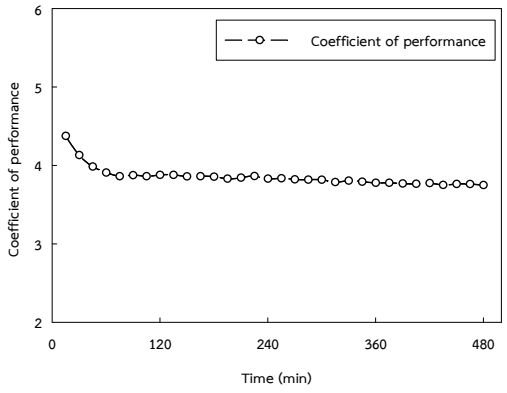
รูปที่ 7 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์



รูปที่ 8 กำลังงานขับคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 7 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความร้อนร่วมกับตู้อบแห้ง เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (1) พบว่า สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงสถานะแก๊ส จะถูกน้ำที่บรรจุภายในถังดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็น โดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ย 18.21 กิโลวัตต์ และเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน จะใช้กำลังงานในการขับคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 3.13 กิโลวัตต์ แสดงดังรูปที่ 8

รูปที่ 9 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความร้อนร่วมกับตู้อบแห้ง พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเฉลี่ย 3.85



รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอุณหภูมิในตู้อบแห้งจากการดึงพลังงานความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 7.33 กิโลวัตต์ (25,000 บีทียูต่อชั่วโมง) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ สร้างตู้อบแห้งขนาด 0.6 X 0.6 X 0.7 เมตร จากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 3 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 20 เซนติเมตรและสร้างถังกักเก็บพลังงานความร้อนจากสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร [3] ในการทดลองดึงพลังงานความร้อนมาใช้งานในตู้อบแห้งใช้น้ำอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 0.98 กิโลกรัมต่อวินาที จากการทดลองพบว่าถังกักเก็บพลังงานความร้อนสามารถกักเก็บพลังงานความร้อนในรูปของน้ำร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 68.23 องศาเซลเซียส และในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 59.27 องศาเซลเซียส ซึ่งจากอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบแห้งนั้น มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศมาอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรประเภทกล้วย เนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงเพียงพอที่จะนำไปอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [5,7,9] ที่ใช้อุณหภูมิช่วง 40-60 องศาเซลเซียส ในการอบกล้วยน้ำว้า โดยที่ระบบปรับอากาศแบบใช้คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 18.12 กิโลวัตต์ ใช้กำลังงานในการขับคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 3.13 กิโลวัตต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศเฉลี่ย 3.85

5. ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถนำน้ำร้อนในถังกักเก็บพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายรูปแบบ เช่น สามารถนำไปอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรประเภทกล้วยได้ เพราะอุณหภูมิของอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในถังกักเก็บพลังงานสูงเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [7,9] ที่ใช้อุณหภูมิช่วง 40-60 องศาเซลเซียส ในการอบกล้วยน้ำว้า อีกทั้งระบบนี้ยังสามารถอบได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่ระบบปรับอากาศตัดการทำงาน เพราะมีน้ำร้อนกักเก็บภายในถัง และศึกษาการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน รวมไปถึงในส่วนของเหลวที่บรรจุในถังกักเก็บพลังงานความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนเครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] W. F. Stoecker, and J. W. Jones, Refrigeration & Air Conditioning, (2nd edition). McGraw-Hill, Singapore, 1982.

[2] M.-J. Hsiao, C.-HC. Heng, M.-C. Huang, and S.-L. Chen, “Performance enhancement of a subcooled cold storage air conditioning system”, Energy Conversion and Management, vol. 50, no. 12, pp. 2992–2998. Dec. 2009.

[3] S. Juengjaroennirachon and T. Suparos, “A Study of Thermal Energy Storage of Waste Heat Recovery from Air Conditioning System”, in Proceeding of The 10th Engineering Science Technologyand Architecture Conference 2019, Nakhon Ratchasima Thailand, August. 31, 2019, pp. 151-157 (in Thai).

[4] S. Sansiribhan, “Development of Dryer Using Combined Condenser Heat Waste and Solar Energy”, M.S. Thesis, Department of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2003 (in Thai).

[5] S. Juengjaroennirachon, “Performance Analysis of Drying System using Waste Heat Recovery from Air Conditioning System”, M.S. Thesis, Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2007 (in Thai).

[6] S. Juengjaroennirachon and T. Suparos, “A Study of Waste Heat Energy using from Air Conditioning System for Drying of Agricultural Products”, in Proceeding of National Conference of Sri-Ayutthaya Rajabhat University Group 2017, Chanthaburi Thailand, December. 19-20, 2017, pp. 540-549 (inThai).

[7] S. Juengjaroennirachon and T. Suparos, “A study of drying of banana using waste heat from split type air conditioning system”, Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal, Vol. 12 no 1, pp. 100-111. Jan.-Jun. 2019 (inThai).

[8] W. William, C. William, M. Johnson and A. Tomzyk, Refrigeration & Air Conditioning Technology, (4th edition) . Albany Thomson Learning, 2000.

[9] N. Roonprasang, “Drying of Banana Using Solar Dryer Combined with Parabolic Trough and Phase Change Energy Storage System” , M.S. Thesis, Department of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2004 (in Thai).