

## การนำความร้อนที่กลับคืนของระบบปรับอากาศสำหรับผลิตน้ำร้อนโดยใช้ถังเก็บน้ำร้อนแบบคู่ (Waste Heat Recovery of Air-Conditioner for Generating Hot Water by Using Double Storage Tanks)

ชานาญ แจ็งสว่าง<sup>1</sup> และนัฐพร ไชยญาติ<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Email : chnjaeng@hotmail.com

<sup>2,\*</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Email : benz178tii@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็นของระบบปรับอากาศขนาด 24,000 BTU/h ด้วยการติดตั้งถังเก็บน้ำขนาด 100 liter จำนวน 2 ถัง เพื่อระบายความร้อนของเครื่องควบแน่นด้วยน้ำร่วมกับอากาศ จากการดำเนินงานวิจัย พบว่า ระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุงมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) ของระบบปรับอากาศ สูงกว่าระบบก่อนปรับปรุงที่อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำน้อยกว่า 49 °C หรือที่ EER ประมาณ 2.630 kW<sub>th</sub>/kW<sub>e</sub> โดยระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังเก็บน้ำแบบคู่ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 8,672.4 Baht/y และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.24 y

**คำสำคัญ:** ระบบปรับอากาศ ถังเก็บน้ำร้อนแบบคู่ สมการสมรรถนะ

### Abstract

This research studies a concept of generating hot water combined with cooling process of a 24,000 BTU/h air-conditioner by using a double storage tanks at each capacity of 100 liter. The double tanks used to extract heat from the condenser by water cool method, which used to assist the air cool process. From study result, it could be found that the energy efficiency ratio (EER) of modified system could be enhanced at hot water temperature in hot water tank lower than 49 °C or the EER around 2.630 kW<sub>th</sub>/kW<sub>e</sub>. The double tanks could be decreased the electrical consumption around 8,672.4 Baht/y, which the payback period was around 2.24 y

**Keywords:** Air-conditioner, Double Storage Tanks, Performance curve

### 1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการใช้พลังงานภายในอาคารของทั้งภาคอุตสาหกรรม บ้านอยู่อาศัย และธุรกิจการค้า มีสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารโดยทั่วไป 50-55% ใช้ไปกับระบบปรับอากาศ 20-25% ใช้กับระบบแสงสว่าง และ 15-35% ใช้ไปกับระบบอื่น ๆ ภายในอาคาร ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก และยังมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี [1] กรอบกับประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าวทั้งปี จึงส่งผลให้อัตราการ

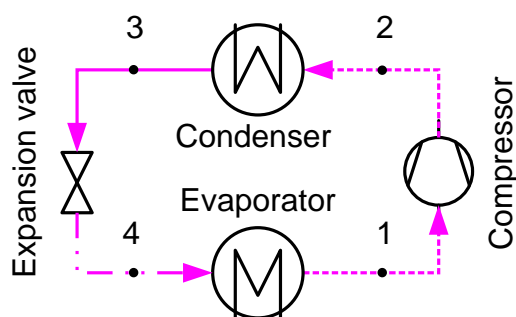
ใช้ระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งระบบปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้พลังงานสูง อีกทั้งยังมีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ทำให้เครื่องอัดไอ (Compressor) ต้องทำงานหนัก เป็นผลให้อัตราการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ทั้งนี้งานวิจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดอัตราการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศลงนั้นประกอบด้วย ถวิภา และจตุวัฒน์ [2] ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานจริงของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ พบว่า ในช่วงกลางคืนสามารถลดอัตราการใช้พลังงานได้ 14.98% ในช่วงกลางวันลดได้ 9.49% และในช่วงตลอด 24 ชั่วโมงลดได้ 4.26% สมจินต์ [3] ศึกษาการปรับอากาศแบบใช้หัวฉีดไอน้ำลดความดัน พบว่า สามารถลดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำจาก 32 °C เป็น 22 °C ดังนั้นการทำความเย็นสูญญากาศของน้ำจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิลงได้ 10 °C นอกจากนี้ การผลิตน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งระบบปรับอากาศร่วมกับการทำความเย็น ยังเป็นอีกแนวทางที่มีการใช้งานกันในปัจจุบัน [4,5] แต่ยังมีประสบปัญหา คือ การสะสมของน้ำร้อนเมื่อไม่มีการนำน้ำร้อนในถังเก็บน้ำไปใช้ และทำให้ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมถึงทำให้เครื่องอัดไอทำงานหนักและเสียหายในที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาจุดเหมาะสมของการผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ทำให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าการทำความเย็นเพียงอย่างเดียว รวมทั้งศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศมาใช้แทนเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าอีกด้วย

### 2. หลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัฏจักรการทำงานของระบบอัดไอ (Vapor compression cycle) คือ พื้นฐานของระบบทำความเย็นในปัจจุบัน ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

จากรูปที่ 1 เมื่อสารทำความเย็นออกจากเครื่องระเหย (Evaporator) จะมีสถานะเป็นไอ เนื่องจากได้รับความร้อนที่เครื่องระเหย เข้าสู่เครื่องอัดไอ (Compressor) เพื่อเพิ่มความดัน และอุณหภูมิให้สูงขึ้น โดยที่เครื่องอัดไอนี้มีการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบ จากนั้นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ และมีความดันสูงจะเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อทำการควบแน่นสารทำความเย็นให้มีสถานะเป็นของเหลว ทั้งนี้เมื่อมีสถานะเป็นของเหลวแล้วยังมีความดันที่สูง จึงจำเป็นต้องเข้าสู่ วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เพื่อลดความดัน จากนั้นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวไกลังจะเดือดเป็นไอ จะเข้าสู่เครื่องระเหยเพื่อรับความร้อนจากอากาศของบริเวณที่ต้องการทำความเย็น เข้าสู่กระบวนการเดิมต่อไป

โดยกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาแสดงเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

เครื่องระเหย

$$Q_E + \dot{m}_{ref} h_4 = \dot{m}_{ref} h_1 \quad (1)$$

$$Q_E = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \quad (2)$$

เครื่องอัดไอ

$$W_{sys} + \dot{m}_{ref} h_1 = \dot{m}_{ref} h_2 \quad (3)$$

$$W_{sys} = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_1) \quad (4)$$

เครื่องควบแน่น

$$\dot{m}_{ref} h_2 = Q_C + \dot{m}_{ref} h_3 \quad (5)$$

$$Q_C = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3) \quad (6)$$

วาล์วลดความดัน

$$h_3 = h_4 \quad (7)$$

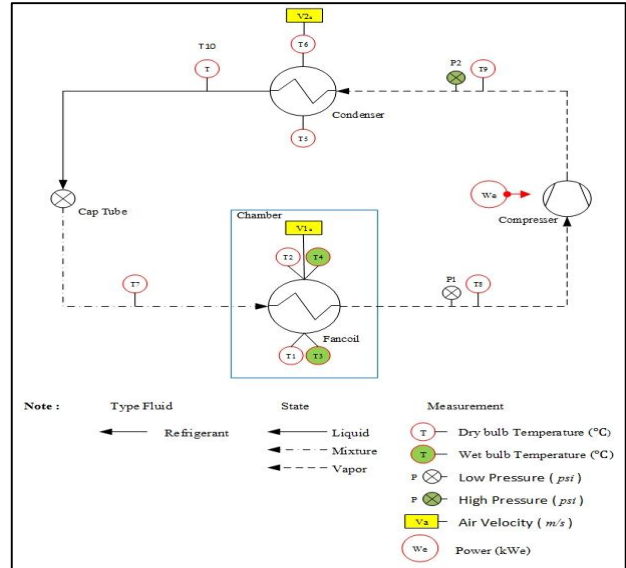
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

$$EER = Q_E / W_{sys} \quad (8)$$

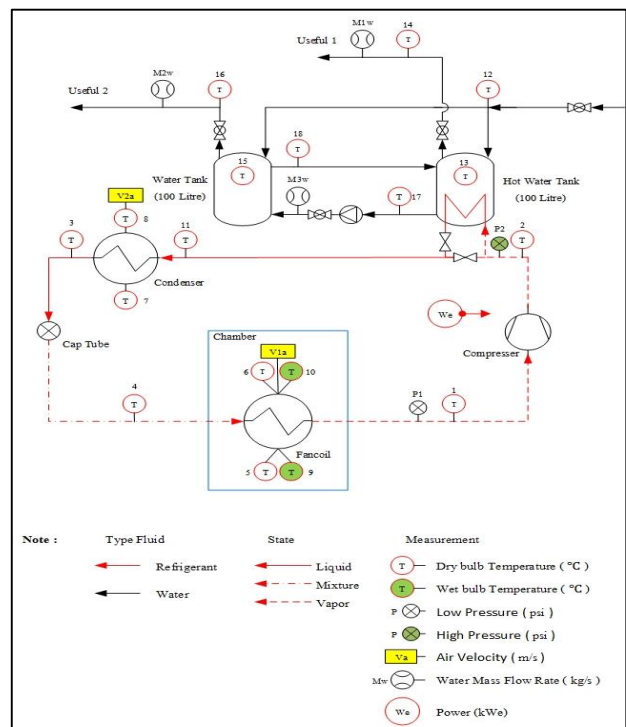
### 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย ขั้นตอนแรก คือ ทดสอบระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยค่าที่ทำการวัดประกอบด้วย อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า จากนั้นขั้นตอนที่สอง คือ การทดสอบระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับอากาศ โดยรายละเอียดการทำงานและจุดตรวจวัดต่างๆ ของระบบก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

รูปที่ 4 และ 5 แสดงภาพถ่ายอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับชุด Fan coil unit และ Condensing unit ของชุดทดสอบที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2 โดยแกมการทำงานของระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุง



รูปที่ 3 โดยแกมการทำงานของระบบปรับอากาศหลังปรับปรุง



รูปที่ 4 Fan coil unit ของชุดทดสอบ



รูปที่ 5 Condensing unit ของชุดทดสอบ

โดยผลการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่า EER ของระบบก่อนและหลังปรับปรุง เพื่อประเมินหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อน ที่ยังคงทำให้ค่า EER ของระบบปรับอากาศที่ใช้ น้ำระเหยความร้อนร่วมกับอากาศระเหยความร้อน มีค่าไม่น้อยกว่าระบบปรับอากาศที่ใช้ อากาศระเหยความร้อนเพียงอย่างเดียว รวมทั้งวิเคราะห์ผลด้าน เศรษฐศาสตร์ต่อไป

#### 4. ผลและการวิเคราะห์ผลการศึกษา

จากการทดสอบและการเก็บข้อมูลของระบบปรับอากาศก่อนและ หลังการปรับปรุง สามารถนำมาวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

##### 4.1 ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศก่อนและหลังปรับปรุง

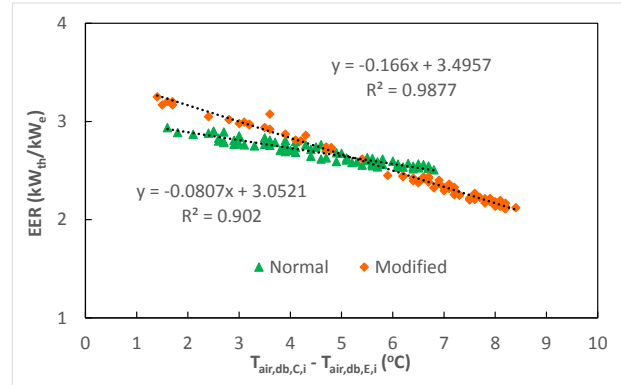
งานวิจัยนี้นำเสนอประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของค่า EER และผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่อง ควบแน่น ( $T_{air,db,C,i}$ ) และเครื่องระเหย ( $T_{air,db,E,i}$ ) หรือสมการสมรรถนะ (Performance curve) ซึ่งเมื่อนำผลการทดสอบมาหาความสัมพันธ์ ดังกล่าว พบว่า ความสัมพันธ์ของค่า EER และผลต่างอุณหภูมิอากาศ มี ลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยสมการสมรรถนะของระบบ ปรับอากาศทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$EER_{Normal} = -0.0807x + 3.0521 \quad (R^2 = 0.902) \quad (9)$$

$$EER_{Modified} = -0.0166x + 3.4957 \quad (R^2 = 0.9877) \quad (10)$$

จากรูปที่ 6 พบว่า ในช่วงที่ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่อง ควบแน่นกับเครื่องระเหยที่มีค่าน้อย ค่า EER จะมีค่ามาก แต่เมื่อผลต่าง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า EER น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการย้อนกลับ ของวัฏจักรของคาร์โนต์ (Carnot cycle) ที่ระบุว่า หากต้องการผันความร้อน อุณหภูมิทำให้เป็นความร้อนคุณภาพสูง ต้องป้อนพลังงานให้แก่ระบบ และหากผลต่างของอุณหภูมิสูงขึ้น ต้องทำการป้อนพลังงานสูงตามไปด้วย

จากรูปที่ 6 ยังพบอีกว่า ระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุงมีค่า EER น้อยกว่าระบบปรับอากาศหลังปรับปรุง ในช่วงที่ผลต่างอุณหภูมิอากาศมี ค่าน้อย แต่เมื่อผลต่างอุณหภูมิสูงขึ้นที่ประมาณ 5.66 °C ระบบปรับอากาศ ที่ระเหยความร้อนด้วยน้ำร่วมกับอากาศจะมีค่า EER น้อยกว่า ระบบที่ระเหยความร้อนด้วยอากาศเพียงอย่างเดียว โดยค่า EER ของ ระบบปรับอากาศที่จุดตัดของสมการสมรรถนะก่อนและหลังปรับปรุงมีค่า 2.630 kW<sub>th</sub>/kW<sub>e</sub>

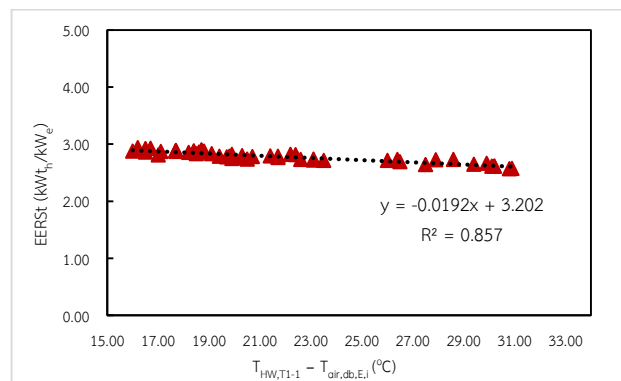


รูปที่ 6 กราฟสมรรถนะการทำงานของระบบปรับอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง

#### 4.2 การวิเคราะห์จุดเหมาะสมของอุณหภูมิน้ำร้อนในถัง

จากสมการสมรรถนะของระบบปรับอากาศที่ระเหยความร้อนด้วย น้ำและอากาศร่วมกันในรูปที่ 6 นำมาหาความสัมพันธ์ของสมการ สมรรถนะใหม่ โดยใช้ความสัมพันธ์ในแกนนอนเป็นผลต่างอุณหภูมิ น้ำในถังเก็บน้ำ ( $T_{HW}$ ) กับอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องระเหย ( $T_{air,db,E,i}$ ) และแกนตั้ง เป็นค่า EER ผลที่ได้พบว่า ความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวยังคงมี ลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$y = -0.0192x + 3.202 \quad (R^2 = 0.857) \quad (11)$$



รูปที่ 7 กราฟสมการสมรรถนะของระบบปรับอากาศที่ใช้อุณหภูมิน้ำในถังเป็นตัวแปรต้น

จากรูปที่ 7 กราฟแสดงผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังกับ อุณหภูมิที่เข้าเครื่องระเหยที่ค่า EER เท่ากับ 2.630 kW<sub>th</sub>/kW<sub>e</sub> จะพบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนในถังมีค่าประมาณ 49 °C ที่อุณหภูมิอากาศภายในห้อง เฉลี่ยประมาณ 25 °C ซึ่งค่าดังกล่าว คือ จุดที่ทำให้ระบบปรับอากาศยังคง ผลิตน้ำร้อนได้ และไม่ทำให้ค่า EER ของระบบปรับอากาศที่ระเหยความร้อนด้วยน้ำและอากาศร่วมกัน มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบปรับอากาศที่ ระเหยความร้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดสอบนี้สอดคล้อง งานวิจัยของ Nattaporn และ Tanongkiat [6] ที่ใช้ปั๊มความร้อนแบบอัด โอมายช่วยในนำความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศ มาเพิ่มคุณภาพความร้อนในถังเก็บน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C โดยการศึกษาพบว่า หาก อุณหภูมิน้ำระเหยความร้อนออกจากระบบปรับอากาศมีค่าเกิน 45 °C ค่า EER ของระบบที่ใช้ น้ำระเหยความร้อน จะมีค่าน้อยกว่าระบบปรับอากาศ ที่ใช้อากาศระเหยความร้อน

#### 4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็น เปรียบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องทำความร้อนที่ใช้ขดลวดไฟฟ้า (Electrical heater) เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของชุดทดสอบ โดยรายละเอียดผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	ความร้อน ทิ้ง	ขดลวด ไฟฟ้า	หน่วย
ถังเก็บน้ำ 100 liter จำนวน 2 ถัง	15,000	-	Baht
บอลวาล์ว ขนาด 3/4 inch	450	-	Baht
ท่อน้ำและอื่นๆ	2,000	-	Baht
ปั๊มน้ำร้อนขนาด 1/2 hp	2,000	-	Baht
มูลค่าการลงทุนของระบบ	19,450	-	Baht
ค่าไฟฟ้าฐาน [7]	-	3.96	Baht/kWh
กำลังไฟฟ้าที่ Heater ใช้ [8]	-	3	kW <sub>e</sub> /hr
เวลาการทำงาน	-	2	hr/d
	-	365	d/y
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	-	2190	kWh/y
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	-	8672.4	Baht/y
ระยะเวลาคืนทุน	2.24	-	y

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ คือ ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลประหยัดการผลิตน้ำร้อน จากเครื่องทำความร้อนที่ใช้ขดลวดไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือน ที่มีผู้อาศัยจำนวน 4 คน มีการใช้เครื่องทำความร้อนเป็นเวลารวมทั้งหมด 2 hr/d (0.5 hr/d-man) และใช้งานทุกวัน (365 d/y) และเมื่อใช้ความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศมาผลิตน้ำร้อนทดแทนระบบเดิม พบว่า ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็น มีผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 8,672.4 Baht/y ที่ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.24 y

## 5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 24,000 BTU/h โดยใช้ถังเก็บน้ำขนาด 100 litre จำนวน 2 ถัง พบว่า ระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำระบายความร้อนร่วมกับอากาศจะมีค่า EER น้อยกว่าระบบปรับอากาศที่ใช้อากาศระบายความร้อนเพียงอย่างเดียว ที่อุณหภูมิน้ำร้อนในถังประมาณ 49 °C หรือที่ค่า EER ประมาณ 2.630 kW<sub>th</sub>/kW<sub>e</sub> และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า เมื่อนำระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศ มาทดแทนการผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำร้อนในบ้านเรือนที่มีผู้อาศัย 4 คน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 8,672.4 Baht/y และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.24 y

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, “สถิติการใช้พลังงานของประเทศไทยเบื้องต้น”, กระทรวงพลังงาน, 2555.
- [2] ถิวิภา ผาติดำรงกุล และจตุวัฒน์ วิโรดมพันธ์, “ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ”, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2012
- [3] สมจินต์ พวงเจริญชัย, “ระบบปรับอากาศแบบใช้หัวฉีดไอน้ำลดความดัน”, ปรัญญวิศวกรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2009.

- [4] บริษัท ทีซีเอส เอ็กเซลแลนท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด, “Hot Water from Air Condition”, 2558
- [5] P. Robert and E. P. Schowalter, “Heat Pump System for Laundry”, ASHRAE Journal, 1997, Vol.39, No.7, pp.77-79.
- [6] N. Chaiyat, T. Kiatsiriroat, “Recovering and upgrading waste heat of air-conditioner by combining R-123 vapor compression heat pump” In: Proceeding of the 9<sup>th</sup> Conference on Energy Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment, Prachuap Khiri Khan, Thailand March 11-12, 2010
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. “ชี้แจงค่า Ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม 2558”, 2558
- [8] Exchange rate, [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://www.bot.or.th/>. (วันที่ 29 กันยายน 2558).



ชำนาญ แจ้งสว่าง, วิทยาลัยพลังงาน  
ทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
สาขางานวิจัย: ระบบปรับอากาศ, การ  
อนุรักษ์พลังงานในอาคาร, ไฟฟ้ากำลัง



ผศ.ดร.นัฐพร ไชยญาติ, วิทยาลัยพลังงาน  
ทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
สาขางานวิจัย: Organic Rankine Cycle,  
Thermal design, Combined cooling  
heating and power (CCHP)