

การอบผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน A clothes dryers using waste heat from split-type air conditioners

สมชาย สาทมะเริง¹, ประพัทธ์ สันติวารกร², สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์³, ฉัตรชัย เบญจปิยพร⁴

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

โทร.และโทรสาร 0-4336-2299 อีเมล somch_s@hotmail.com¹, sprapat@kku.ac.th², somthe@kku.ac.th³, chaben@kku.ac.th⁴

Somchai Satmaroeng¹, Prapat Suntivarakron², Somnuk Theerakulpisut³, Chatchai Benjapiyaporn⁴

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Tel. and Fax: 0-4336-2299 E-mail: somch_s@hotmail.com¹, sprapat@kku.ac.th², somthe@kku.ac.th³, chaben@kku.ac.th⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษการทดลองอบผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยก เครื่องปรับอากาศที่ใช้มีขนาดทำความเย็น 12,647.94 บีทียู/ชั่วโมง ก่อนทำการทดลองอบผ้าได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามปกติ โดยการปรับอุณหภูมิของห้องปรับอากาศให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 โดยอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทางออกคอยล์ร้อนมีค่าเฉลี่ยที่ 42 องศาเซลเซียส เมื่อนำคอยล์ร้อนติดตั้งเพื่อจ่ายลมร้อนให้ห้องอบผ้าซึ่งหุ้มฉนวนและมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร เพื่ออบผ้าขนาด 5 กิโลกรัม ที่ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถอบแห้งผ้าให้มีความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์ภายใน 120 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกคอยล์ร้อนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2 องศาเซลเซียส และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลงเหลือ 2.8 ซึ่งทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศเพิ่มจากเดิม 12.68 เปอร์เซ็นต์

Abstract

This paper presents the results of an experimental study to investigate the use of waste heat from a split-type air conditioner to dry clothes. The air conditioner used in the test is rated at 12,648 Btu/h. The air conditioner was tested in a normal cooling operation by setting the temperature of the air – conditioned room at 25 °C and it was found that the average coefficient of performance of the air conditioner was 3.12 and the average condenser exit air temperature was 42 °C. After installing the condenser of the air conditioning unit to an installed 8 m³ drying chamber, a test was performed to dry 5 kilograms of clothes at

60 % moisture content. It was found that the clothes were dried to a moisture content of 6 % in 120 minutes. The average COP of the unit was 2.8 and the average condenser exit air temperature increased on the average by 2 °C, resulting in an increase in electrical energy consumption of 12.68 %.

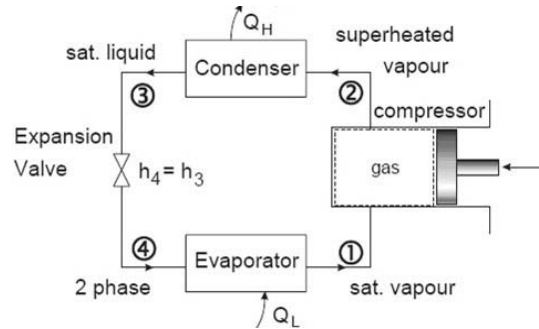
1. บทนำ

โดยปกติการตากผ้าที่ซักแล้วให้แห้งแต่เดิมนั้นใช้วิธีธรรมชาติโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานจากลม แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้ถูกพัฒนาขึ้นมามากทำให้มีการนำเครื่องอบผ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ๆ มาใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่มีผลเมืองหนาแน่น และมีอาคารตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมากจึงทำให้มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ในการตากผ้าด้วยวิธีธรรมชาติ อย่างไรก็ตามผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคารตึกสูงก็สามารถตากผ้าได้ตามหน้าต่างหรือระเบียงห้อง แต่กระนั้นก็ตามเพื่อเป็นการรักษาทัศนียภาพของอาคารอาคารบางแห่งจะไม่อนุญาตให้ตากผ้านอกตัวอาคารจึงต้องทำให้ต้องตากผ้าในที่ร่ม ซึ่งทำให้ใช้เวลาเพื่อให้ผ้าแห้งนานมากขึ้น โดยเฉพาะผ้าแห้งนานในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูง เช่น ในฤดูฝน การตากในที่ร่มจะทำให้ผ้าแห้งช้ามากขึ้น และอาจทำให้เกิดการอับชื้นภายในห้องจากการระเหยของน้ำในผ้าได้ ถ้าหากใช้เครื่องอบผ้าไม่ว่าจะเป็นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานจากก๊าซ จะสามารถอบผ้าให้แห้งได้ภายใน 1 ชั่วโมง แต่จะทำให้มีการใช้พลังงานสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานความร้อนทำให้อากาศร้อนขึ้นประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้อากาศที่อยู่ในเสื้อผ้าย่อยออกมาเรื่อยๆจนกระทั่งผ้าแห้ง นอกจากนั้นความร้อนและความชื้นที่ถูกปล่อยออกมานี้ จะส่งผลทำให้อากาศบริเวณนั้นร้อนและชื้น

ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น เช่นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในรอบ 1 ปี จะมีลักษณะภูมิอากาศร้อนประมาณ 7-8 เดือน ซึ่งทำให้เครื่องปรับอากาศมีความจำเป็นสำหรับประเทศในแถบนี้เป็นอย่างมาก จากการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2541 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศคิดเป็น 23% ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับที่อยู่อาศัย และคิดเป็นประมาณ 68 % ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนพาณิชยกรรมและบริการ และได้มีการประเมินว่าพลังงานไฟฟ้าที่จะถูกนำมาใช้เพื่อการปรับอากาศจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2510 โดยจะเพิ่มขึ้นเป็น 31% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในส่วนที่อยู่อาศัย และจากการศึกษาสัดส่วนการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องพักอาศัยในประเทศไทยพบว่าประมาณ 95% เป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split-type) และที่เหลือเป็นเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type) ซึ่งพบว่าสัดส่วนการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2542 ขนาดทำความเย็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้มากที่สุดมีกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.52-4.68 kWh ซึ่งคิดเป็น 33% ของสัดส่วนทางการตลาดทั้งหมด [1] นอกจากนี้ยังมีการสำรวจการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการสำรวจข้อมูลตามหมู่บ้านต่างๆ และอาคารสำนักงานต่างๆ เป็นเวลา 10 เดือน พบว่าสัดส่วนค่าไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยเป็น 38 % ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดสำหรับบ้านพักอาศัย และ 46% ของการใช้ไฟฟ้า ทั้งหมดสำหรับอาคารสำนักงาน และสัดส่วนเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจะมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ จากการวิเคราะห์พบว่าในช่วงฤดูร้อน จะมีค่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศสูงสุดประมาณ 53 % สำหรับบ้านพักอาศัยและ 54 % สำหรับอาคารสำนักงาน [2] ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นอากาศที่อยู่บริเวณรอบๆ คอนเดนเซอร์ จะถูกนำมาใช้ในการระบายความร้อนผ่านทางคอนเดนเซอร์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 10 องศาเซลเซียส [3] โดยมีอุณหภูมิทางออกของคอนเดนเซอร์ที่ปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉลี่ยประมาณ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนที่ปล่อยออกมาดังกล่าวเป็นความร้อนที่สูญเสียโดยเปล่าประโยชน์จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศมาใช้ประโยชน์เพื่อการอบแห้งผ้าจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานจากการใช้พลังงานในเครื่องอบผ้า ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับการอบผ้าในพื้นที่ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นเวลานานๆ โดยในปัจจุบันยังมีการศึกษาการนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการอบผ้าอยู่น้อยมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการอบผ้า ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษารื่องนี้ขึ้น โดยมุ่งเน้นทางการศึกษาการอบแห้งผ้าจากความร้อนทิ้งที่ได้จากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 1 ตัน โดยคาดว่าผลการศึกษาที่ได้น่าจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ให้เกิดการอบผ้าเชิงพาณิชย์จากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศต่อไป

2. แผนภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

รูปที่ 1 เป็นแผนภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แสดงเฉพาะอุปกรณ์ที่สำคัญของวัฏจักรการทำความเย็นที่ใช้เป็นวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 1. วงจรวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ [4] สามารถหาได้ดังนี้

$$COP = \frac{EER}{3.4188} \quad (1)$$

เมื่อ

$$EER = \frac{12}{(W_{in}/TR)} \quad (2)$$

โดยที่ EER คืออัตราส่วนพลังงานระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (TR มีหน่วยเป็น Btu/h) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (W_{in} มีหน่วยเป็น W) และความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (TR) สามารถหาได้จากสมการ

$$TR = 5.707 \times 10^{-3} \times Q(h_r - h_s) \quad (3)$$

โดยที่ Q คือปริมาตรการไหลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (m^3/min), h_r และ h_s คือเอนทัลปีของอากาศที่ทางเข้า และทางออกคอยล์เย็น (kJ/kg dry air) ตามลำดับ โดยค่าเอนทัลปีสามารถหาได้จาก [5]

$$h_{r,s} = 1.005T + \omega \left(2.501 + 1.805 \times 10^{-3} T_{r,s} \right) \quad (4)$$

เมื่อ ω คือความชื้นจำเพาะอากาศ (kg ของไอน้ำ/kg ของอากาศแห้ง), $T_{r,s}$ คืออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า และทางออกคอยล์เย็น (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

3. การอบแห้ง

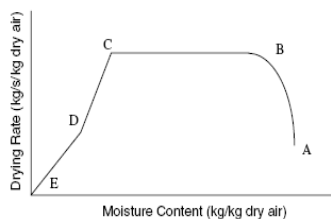
วัสดุซึ่งมีความชื้นอยู่ภายในเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ และวัสดุอบแห้งดังกล่าวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นจะระเหยกลายเป็นไอออกไปจากวัสดุสู่บรรยากาศรอบข้าง กระบวนการอบแห้งวัสดุใดๆ จะมีความ

เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลของน้ำหรือไอน้ำออกจากวัสดุไปบรรยากาศรอบข้าง ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลผ่านวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ และอากาศที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุเป็นแบบการพาความร้อน การลดความชื้นภายในวัสดุอบแห้งจะมีลักษณะเป็นไปตามรูปที่ 2 ซึ่งเราสามารถแบ่งขั้นตอนการลดของความชื้นได้เป็น 3 ระยะคือ

(1) ระยะเริ่มต้นของการอบแห้ง (Setting Down Period) ซึ่งเป็นช่วง A-B ระยะนี้ในชั้นอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะเข้าสู่ภาวะสมดุลทางความร้อนและมีการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุ ค่าอัตราการอบแห้งของวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

(2) ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (Constant Rate Period) ซึ่งเป็นช่วง B-C ระยะนี้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะมีค่าคงที่ และความชื้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุอยู่ในสภาวะอิ่มตัว การกระจายความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอโดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้งมายังพื้นผิววัสดุ มีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่พื้นผิววัสดุ อัตราการอบแห้งในระยะนี้จะมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ

(3) ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วง C-D ระยะนี้จะเริ่มเมื่อความชื้นบนพื้นผิวไม่อิ่มตัว อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้ง ไปยังบริเวณพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้ง จุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยที่คงที่มายังช่วงที่มีอัตราการระเหยลดลงเราเรียกว่า จุดความชื้นวิกฤติ คือ จุด C การระเหยของไอน้ำจะสิ้นสุดเมื่อถึงจุด E ซึ่งก็คือจุดที่เราเรียกว่า ความชื้นสมดุล คือค่าจำกัดความชื้นของวัสดุที่ยังคงมีอยู่ภายในเนื้อวัสดุ ภายหลังจากได้ผ่านกระบวนการอบแห้งภายใต้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ค่าค่าหนึ่ง



รูปที่ 2. แผนภาพการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในวัสดุเมื่อนำไปอบแห้งด้วยความร้อน

โดยทั่วไปการหาความชื้นของวัสดุ (M_p) แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ แบบมาตรฐานแห้ง และมาตรฐานเปียก โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$M_p (\%db) = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (5)$$

$$M_p (\%wb) = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ W_w, W_d น้ำหนักวัสดุเปียกและแห้ง, (kg) ตามลำดับ

นอกจากนี้การบ่งชี้ความสามารถของเครื่องอบ สามารถบอกในรูปแบบของอัตราดึงความชื้นจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER), [6] ได้ซึ่งคือพลังงานที่ทำให้ให้น้ำภายในวัสดุระเหยออกต่อ น้ำ 1 กิโลกรัม ซึ่งพลังงานที่ปั๊มความร้อนใช้ จะเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งสามารถหาค่า SMER ได้จากสมการ (7)

$$SMER_{hp} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_{total}} \quad (kg / kWh) \quad (7)$$

$$\dot{m}_d = \frac{(Initial\ weight - Final\ weight)}{Drying\ time} \quad (kg_{water} / h) \quad (8)$$

โดยที่ $\dot{m}_d, \dot{W}_{total}$ คือ อัตราการระเหยของความชื้นของวัสดุ, งานที่ใช้ในระบบทั้งหมด ตามลำดับ

การนำความร้อนที่ได้จากวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอบแห้งผ้า พบว่าได้มีการศึกษามากมายแล้วในต่างประเทศ โดย Ahmadul Ameen [7] ได้ทำการศึกษานำความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 7.03 กิโลวัตต์ นำมาอบแห้งผ้าน้ำหนัก 1.817 กิโลกรัม (ผ้าแห้ง) พบว่าเวลาที่ใช้ออบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ, โดยเครื่องอบผ้าไฟฟ้า และตากผ้าในที่ร่ม พบว่าใช้เวลาเพื่อการอบแห้งผ้าเป็น 2, 2.5, 6 ชั่วโมงตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้งเป็น 0.424, 0.319 และ 0.139 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้ Shiming Deng [8] ได้ทำการศึกษารอบผ้าโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศในลักษณะที่คล้ายๆกัน โดยใช้เครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 6.4 กิโลวัตต์ นำมาอบแห้งผ้าน้ำหนัก 1.680 กิโลกรัม (ผ้าแห้ง) เปรียบเทียบกับการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้า และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี พบว่าการอบแห้งผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 12.68 % เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้า

4. อุปกรณ์การทดลอง

4.1 เครื่องปรับอากาศ

ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ยี่ห้อ Uni star รุ่น AR-135 R ชุดคอยล์เย็นมีขนาดทำความเย็น 3.70 กิโลวัตต์ ชนิดสารทำความเย็น R-22 โดยความเร็วลมเฉลี่ยที่ด้านลมกลับมีค่าเท่ากับ 1.15 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็นเท่ากับ 15.52 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

ชุดคอยล์ร้อนใช้คอมเพรสเซอร์รุ่น RH207VHET กระแส 5.5 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 240 โวลต์ โดยปรับอุณหภูมิอากาศภายในห้องเฉลี่ยเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส

4.2 พัดลมระบายลมร้อนช่วย

พัดลมที่ใช้ในการทดลองได้ติดตั้งที่ด้านบนของห้องอบ โดยใช้พัดลมยี่ห้อ Hatori มอเตอร์ขนาด 124 วัตต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 0.4 เมตร ความเร็วลมสูงสุด 8 เมตร/วินาที โดยมีวงจรปรับความเร็ว

ด้วย ซึ่งสามารถปรับความเร็วลมได้ระหว่าง 0 ถึง 8 เมตร/วินาที ดังนั้น ปริมาตรการไหลสูงสุดเท่ากับ 94.24 ลูกบาศก์เมตร/นาที่

4.3 ห้องอบผ้า

โครงสร้างของห้องอบผ้าทำจากไม้อัด ซึ่งมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร โดยทำการหุ้มฉนวนด้านในของห้องอบด้วยโพลีเอทิลีนหนา 5 มม. ซึ่งมีค่าการต้านทานความร้อนเท่ากับ $2.98 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ (รูปที่ 3)

4.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

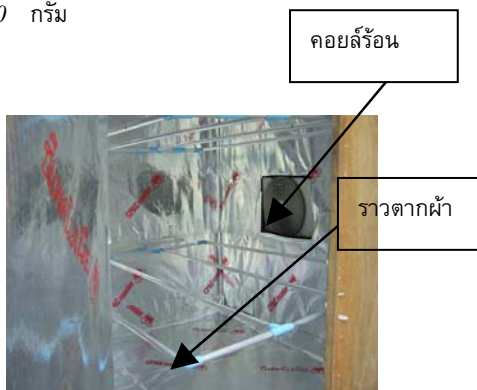
การทดลองนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด T ในการวัดอุณหภูมิโดยช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานอยู่ระหว่าง -270 ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยสามารถแสดงผลเป็นแบบดิจิตอลได้โดยต่อเข้ากับเครื่อง Scanning Thermocouple Thermometer ยี่ห้อ Barnant รุ่น 692-8015 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$

4.5 เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

การทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล (Thermo hygrometer) ยี่ห้อ Digi sense ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเป็น $\pm 0.2\%$ โดยช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 %

4.6 เครื่องชั่งน้ำหนักผ้า

การทดลองนี้ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ยี่ห้อ DIGI รุ่น DG-071 โดยสามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 กิโลกรัม และมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 10 \text{ กรัม}$



รูปที่ 3. ภายในห้องอบผ้าหุ้มด้วยฉนวน

4.7 เครื่องมือวัดความเร็ว

การทดลองนี้ใช้ Anemometer แบบอนาล็อก ยี่ห้อ MUA รุ่น 0506 ซึ่งความเร็วที่สามารถวัดได้สูงสุดเท่ากับ 30 เมตร/วินาที

4.8 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง

ผ้าที่ใช้ในการทดลองทำจากผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักผ้าแห้งรวม 5 กิโลกรัม จำนวน 30 ชิ้น โดยผ้าทั้งหมดถูกแขวนด้วยไม้แขวนแบบพลาสติก ซึ่งน้ำหนักรวม 1.810 กิโลกรัม ซึ่งผ้าทั้งหมดจะถูกแขวนกับราวตากผ้าที่ทำจากอลูมิเนียมกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว โดยเมื่อเริ่มทดลองผ้าที่อบน้ำหนักรวมประมาณ 8 กิโลกรัม เนื่องจากน้ำที่อยู่ในผ้า ซึ่งจะทำให้การอบแห้งให้เหลือประมาณ 5 กิโลกรัมของน้ำหนักผ้าแห้ง

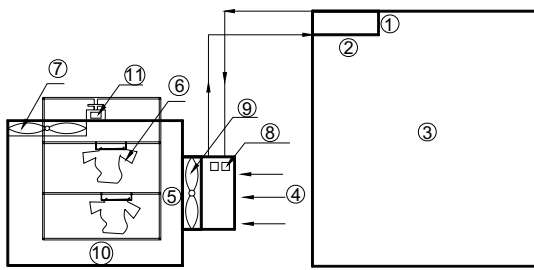
5. วิธีการทดลอง

การศึกษาดังกล่าวนี้ได้ทำการสร้างห้องอบผ้าขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร โดยทดสอบร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 3.70 กิโลวัตต์ โดยต่อเข้ากับบริเวณคอยล์ร้อนของเครื่องปรับอากาศ (รูปที่ 5) ซึ่งลักษณะการติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อนจะนำห้องอบผ้ามาต่อที่ด้านหน้าของคอยล์ร้อน ซึ่งลมร้อนที่ได้จากการระบายความร้อนจะเข้าสู่ห้องอบผ้าโดยตรง และด้านหลังของคอยล์ร้อนจะสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง (รูปที่ 5, ตำแหน่งที่ 4) ผ้าที่ใช้ทดลองเป็นผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผ้าชนิดที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น และสวมใส่สบาย จำนวน 5 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผ้าจะได้ประมาณ 30 ชิ้น ได้นำผ้าไปซัก และปั่นให้หมาดจะได้น้ำหนักสุทธิเริ่มต้นก่อนการอบผ้าเท่ากับ 8 กิโลกรัม จากนั้นนำไปแขวนในห้องอบผ้า โดยแขวนผ้าแบ่งเป็น 2 ชั้นๆ ละ 15 ผืน (รูปที่ 4) ซึ่งลักษณะการแขวนผ้าได้จัดเรียงให้ผ้าอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับทิศทางการไหลของลมร้อนที่ระบายออกจากคอยล์ร้อน อีกทั้งขณะทดลองได้ติดตั้งพัดลมระบายอากาศร้อนช่วย ที่ด้านบนห้องอบผ้า โดยปรับให้มีความเร็วลมที่ทางออก (รูปที่ 5, ตำแหน่งที่ 7) 2.0 เมตร/วินาที



รูปที่ 4. การจัดเรียงผ้าภายในห้องอบผ้า

หลังจากนั้นทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิอากาศดังนี้คือจุดที่ 1-5 และ 7 โดยที่ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องแสดงผลแบบดิจิตอล จากนั้นบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุก 10 นาที ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จุดที่ 1 และ 2 จะนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และจุดที่ 3-6 จะเก็บข้อมูลไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับกรอบผ้าแบบอื่นๆต่อไป นอกจากนี้ได้วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ณ จุดที่ 1 และ 2 เพื่อใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นตามสมการที่ 1-4 ไปด้วย

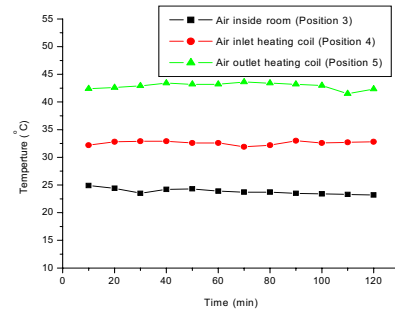


รูปที่ 5. ส่วนประกอบต่างๆ ของห้องอบผ้า เมื่อจุดที่ 1 คือทางออกคอยล์เย็น, จุดที่ 2 คือทางเข้าคอยล์เย็น, จุดที่ 3 คือภายในห้องปรับอากาศ, จุดที่ 4 คือทางเข้าคอยล์ร้อน, จุดที่ 5 คือทางออกคอยล์ร้อน, จุดที่ 6 คือเสื้อผ้าที่ใช้ทดลอง, จุดที่ 7 คือทางออกห้องอบ, จุดที่ 8 คือมอเตอร์วัดกำลังและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์, จุดที่ 9 คือพัดลมคอยล์ร้อน, จุดที่ 10 คือภายในห้องอบผ้า, จุดที่ 11 คือเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

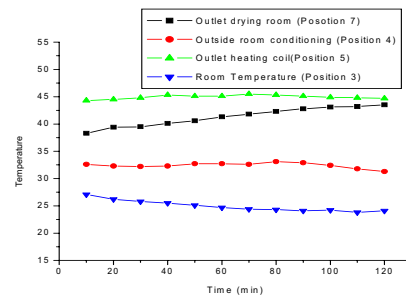
การตรวจสอบน้ำหนักผ้าขณะทดลองจะใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลชั่งน้ำหนักผ้าโดยตรง ซึ่งในการออกแบบห้องอบผ้าจะสามารถชั่งน้ำหนักผ้าได้ตลอดเวลาขณะทดลอง เครื่องชั่งน้ำหนักจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านบนห้องอบผ้า (ดังรูปที่ 5) โดยในช่วงแรกน้ำหนักผ้าซึ่งรวมทั้งชุด ซึ่งประกอบด้วย เสื้อผ้าที่ใช้ทดลอง ไม้แขวนผ้า ราวตากผ้า ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นไม้แขวนหนัก 1.810 กิโลกรัม ผ้าเปียกน้ำหนัก 8.0 กิโลกรัม และราวตากผ้าหนัก 3.5 กิโลกรัม เมื่อรวมน้ำหนักอุปกรณ์การทดลองทั้งหมดจะมีน้ำหนักเท่ากับ 13.31 กิโลกรัม จากนั้นเมื่อเริ่มการทดลองจะทำการบันทึกน้ำหนักผ้าทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งเหลือน้ำหนักสุทธิ 10.30 กิโลกรัม ซึ่งหมายความว่าน้ำที่อยู่ในผ้าได้ระเหยออกจากผ้าหมดเป็นน้ำหนัก 3.0 กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับปริมาณของน้ำที่อยู่ในผ้าหลังจากปั่นหมาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงหยุดบันทึกการทดลอง โดยน้ำหนักผ้าที่ได้จะมีน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม

6. ผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 3.7 กิโลวัตต์ โดยอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องปรับอากาศเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 60 % พบว่าลมร้อนที่ออกจากคอยล์ร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส (รูปที่ 6) และเมื่อติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อน พบว่าทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนที่ออกจากคอยล์ร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 44 องศาเซลเซียส (รูปที่ 7) โดยช่วงแรกอุณหภูมิอากาศที่ทางออกของห้องอบจะมีค่าประมาณ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบประมาณ 8 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6. อุณหภูมิอากาศ ณ จุดต่างๆ เมื่อไม่ติดตั้งห้องอบผ้า



รูปที่ 7. อุณหภูมิอากาศ ณ จุดต่างๆ เมื่อติดตั้งห้องอบผ้า

หลังจากนั้นจึงค่อยๆ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น จนกระทั่งอุณหภูมิอากาศทางออกห้องอบผ้าเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ทางออกคอยล์ร้อน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อน กับผ้าเปียกภายในห้องอบผ้า ทำให้อุณหภูมิทั้ง 2 จุดมีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปผ้าเริ่มแห้ง ซึ่งทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับผ้า จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกห้องอบผ้าเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเท่ากันในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ผ้าแห้ง

ตารางที่ 1. สมบัติที่สมรรถนะการทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อน

ข้อมูล	ก่อนติดตั้งห้องอบ	หลังติดตั้งห้องอบ
อุณหภูมิอากาศทางเข้าคอยล์ร้อน	32 °C	32 °C
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าคอยล์ร้อน	60%	62%
กระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์	5.5 แอมแปร์	6.0 แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์	240 โวลต์	240 โวลต์
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์	1320 วัตต์	1440 วัตต์
ชั่วโมงการทำงานของคอมเพรสเซอร์	120 นาที	120 นาที

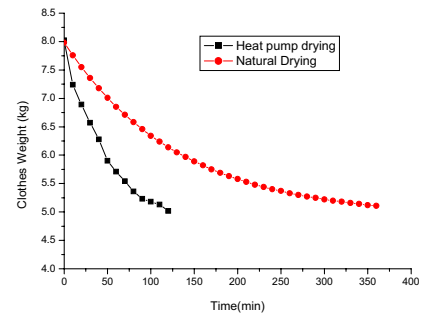
พลังงานไฟฟ้าที่ คอมเพรสเซอร์ใช้จริง	2.64 kWh	2.88 kWh
COP	3.12	2.8

ในระหว่างการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิ, ความชื้นเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา จากตารางที่ 1 พบว่าขณะที่ยังไม่ติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อนเครื่องปรับอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 และเมื่อติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อนทำให้เครื่องปรับอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 ซึ่งลดลงจากเดิม 10.2 % สาเหตุที่ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงเนื่องจากได้ติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อน ทำให้การระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศไม่สะดวก จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในห้องอบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลง [9] เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ จะพบว่าเมื่อติดตั้งห้องอบเข้าไปแล้วจะทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น จาก 2.640 kWh เป็น 2.880 kWh และถ้ากำหนดให้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2.18 บาท/หน่วย จะคิดเป็นค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังติดตั้งห้องอบผ้าเป็น 5.75 และ 6.27 บาท/ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อติดตั้งห้องอบแล้วจะมีค่าใช้จ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 9.04 ของค่าไฟฟ้าปกติ

จากผลการทดลองพบว่าการอบผ้าแห้งด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ ใช้เวลา 120 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้าขนาด 2,200 วัตต์ และการตากผ้าในที่ร่ม พบว่าเวลาที่ใช้ออบผ้าของการอบด้วยเครื่องอบไฟฟ้า และการตากในที่ร่มเป็น 105 และ 360 นาทีตามลำดับ ซึ่งทำให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอบผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศใช้เวลาที่เร็วกว่าการตากในที่ร่ม และใช้เวลาที่ใกล้เคียงกับการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้า ดังข้อมูลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ตารางเปรียบเทียบการอบแห้งแบบต่างๆ

ประเภทการอบแห้งผ้า	เวลาอบแห้ง	น้ำหนักผ้าเปียกเริ่มต้น	น้ำหนักผ้าแห้งอบแห้งเสร็จ	พลังงานที่ใช้	อัตราการอบแห้ง
ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ	120 min.	8.02 kg.	5.02 kg.	3.14 kWh	1.5 kg/h
ตากผ้าในที่ร่ม	360 min.	7.98 kg.	5.11 kg.	-	0.478 kg/h
เครื่องอบไฟฟ้า	105 min.	8.0 kg.	4.98 kg.	3.85 kWh	1.71 kg/h



รูปที่ 8. กราฟความสัมพันธ์เวลาและน้ำหนักผ้าขณะทำการทดลอง

จากตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการอบแห้งผ้า และอัตราการอบแห้งทั้ง 3 กรณี โดยที่การอบแห้งผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศได้คิดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมที่ทางออกห้องอบเอาไว้ด้วย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการอบผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 1.51 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณได้จากสมการที่ 8) ซึ่งมีค่ามากกว่าการตากผ้าในที่ร่ม และมีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้าขนาด 2200 วัตต์ เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผ้ากับเวลา จะได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นกราฟแสดงน้ำหนัก และเวลาของการอบแห้งผ้าจากความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ กับการอบแห้งผ้าในที่ร่ม สำหรับข้อมูลการอบแห้งผ้าในเครื่องอบไฟฟ้าไม่สามารถนำมาวัดน้ำหนักของผ้าในแต่ละช่วงเวลาได้ จึงไม่ได้นำมาแสดงในที่นี้ จากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำหนักของผ้าเริ่มต้นที่ประมาณ 8 กิโลกรัม จะค่อยลดลง จนกระทั่งถึง 5 กิโลกรัม ที่น้ำหนักที่ผ้าแห้งแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.68 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอบไฟฟ้าขนาด 2,200 วัตต์ด้วย

โดยทั่วไปการอบแห้งผ้าโดยการตากในที่ร่มจะใช้เวลาประมาณ 360 นาที และการอบแห้งผ้าจากความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศใช้เวลา 120 นาที และเมื่อคิดค่าอัตราการระเหยความชื้นจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ของการอบแห้งจะพบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบไฟฟ้ามีค่า SMER เท่ากับ 0.77 kg/kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งจากความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีค่า SMER เท่ากับ 1.13 kg/kWh

7. สรุป

จากผลการศึกษาทดลองการนำความร้อนทั้งมาใช้นโยบายเพื่อการอบแห้งผ้าครั้งนี้ พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อน คือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลงจากเดิม 3.12 เป็น 2.8 ทั้งนี้เนื่องจากการติดตั้งห้องอบผ้าเข้ากับคอยล์ร้อนทำให้การระบายความร้อนที่คอยล์ร้อนไม่ดี อีกทั้งการแขวนผ้าภายในห้องอบทำให้เป็นสิ่งที่ขัดขวางด้านทวนการไหลของอากาศร้อน ถึงแม้จะมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศร้อนช่วยที่ด้านบนห้องอบ เพราะการระบายความร้อนของคอยล์ร้อนที่ดีต้องมีการระบาย

ความร้อนที่รวดเร็ว และไม่มีความร้อนตกค้างที่บริเวณใกล้ๆคอยล์ร้อน จึงทำให้เกิดการสะสมของความร้อนภายในห้องอบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลง โดยทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.6 kWh เป็น 2.8 kWh เพิ่มขึ้น 7.14 % แต่อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับการอบผ้าแห้งด้วยเครื่องอบไฟฟ้า จะพบว่าการอบแห้งด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงาน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.68 ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบไฟฟ้าเท่านั้น อีกทั้งยังใช้เวลาอบแห้งที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอบแห้งพบว่า การอบแห้งด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ และเครื่องอบแห้งไฟฟ้า พบว่ามีอัตราการอบแห้งเป็น 1.5 และ 1.71 kg/h ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของ Ahmadul Ameen [7] ซึ่งทำการทดลองในลักษณะคล้ายๆกัน และมีอัตราการอบแห้งเป็น 0.424 kg/h พบว่าการทดลองครั้งนี้มีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่า เนื่องจากสภาพอากาศที่ใช้ทดลองไม่เหมือนกัน ซึ่งการทดลองครั้งนี้ทดลองที่สภาพอากาศอุณหภูมิอากาศที่ออกจากคอยล์ร้อน 44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 60 % แต่การทดลองของ Ahmadul Ameen [7] ทดลองที่สภาพอากาศอุณหภูมิอากาศที่ออกจากคอยล์ร้อน 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 85 % เนื่องจากผลต่างของเงื่อนไขดังกล่าว จึงพบว่าตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิอากาศร้อน เวลา และความชื้นสัมพัทธ์ อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบว่า การอบแห้งผ้าด้วยความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศใช้เวลาเร็วกว่า การตากผ้าในที่ร่ม และใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งผ้าด้วยเครื่องอบไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ยังไม่มีย่อสรุปที่ชัดเจนถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การอบแห้งโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และขนาดห้องอบผ้าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดต่างๆ ในประเทศ ซึ่งจะต้องทำการวิจัยศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ EMCO ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

9. อ้างอิง

- [1] Management Information Service Co., Ltd. "Minimum efficiency performance standard for Air conditioner in Thailand" Manager Magazine, Oct., 1997
- [2] ธนาคาร วงศ์วัฒนาเสถียร, "การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในจังหวัดขอนแก่น" วิศวกรรมสาร ม.ข. ปีที่ 29 ฉบับที่ 1-2 (113-129) มค.-พค- 2545
- [3] Zuhail Oktay, Testing of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer, Applied thermal engineering 23 (2003) 153-162
- [4] ประพันธ์ ธนาปียกุล, เทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, เทคนิค 241, ตุลาคม 2547
- [5] He-Sheng Ren, Construction of a generalized psychometric chart for different pressures, International journal of Mechanical Engineering Education 32/3 212-222

- [6] Zuhail and Anit, Performance evaluation of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer, Energy conversion and Management 44 (2003) 1193-1207
- [7] Ahmadul Ameen, Investigation into the effectiveness of heat pump assisted clothes dryer for humid tropics, Energy conversion and Management 45 (2004) 1397-1405
- [8] Shiming Deng, An experimental study clothes drying using rejected heat (CDURH) with split-type residential air conditioners, Applied thermal engineering 24 (2004) 2789-2800
- [9] ตระการ ก้าวสิกรรม, วัฏจักรการทำความเย็นในทางปฏิบัติ, เทคนิค 240, กันยายน 2547 (129-136)
- [10] Ogur Bozkir, Thin layer drying and mathematical modeling for washed dry apricots, Journal of food engineering (2005)