

ลักษณะของการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

Characteristic of Clothes Drying Using Waste Heat from Split-type Air Conditioner

สมชาย สาหะเร้ง¹, ประพัทธ์ สันติวรการ²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาลักษณะของการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยได้ทำการสร้างห้องอบขนาด 0.5x0.5x1.0 ลูกบาศก์เมตรซึ่งทำจากผ้าใบและหุ้มฉนวนด้านในเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยติดตั้งเข้ากับคอนเดนเซอร์คอยล์ของเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 12,647.94 บีทียู/ชั่วโมง และทดลองอบผ้าฝ้ายปริมาณ 2.09 กิโลกรัม ที่ความชื้น 54.8 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการอบผ้า 18 นาที พบว่าความชื้นผ้าลดลงเหลือ 4.63 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการอบแห้ง 2.26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบผ้าโดยใช้เครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในร่ม พบว่าการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ มีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าเครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในร่ม ซึ่งมีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 1.9 และ 0.17 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่การอบแห้งโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศไม่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งผ้าจากการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบผ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ และใช้เงื่อนไขเดียวกันกับการทดลอง พบว่าอัตราการอบแห้งผ้าจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 2.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง นอกจากนี้พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเร็วของลมที่ออกจากคอนเดนเซอร์คอยล์ตามลำดับ โดยอัตราการอบแห้งผ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศ และความเร็วลมที่ออกจากคอนเดนเซอร์คอยล์เพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น

Abstract

This paper presents study results of drying clothes using waste heat from split-type air conditioner. The drying room is designed and made from canvas at the volume size of

0.5x0.5x1.0 m³. The insulator is wrapped inside the room for minimizing heat loss. The drying room is installed connecting to the heating coil of an air conditioner of which its capacity is 12,647.94 BTU/H. The drying experiment is done using 2.09 kg of cotton clothes at 54.8 % of moisture. The moisture of clothes is reduced to 4.63 % due to hot air blowing from the exit of heating coil of the air conditioner. The result shows that the clothes drying rate using waste heat from split – type air conditioner is at 2.26 kg/h and is better than the conventional drying method with commercial electrical dryer and drying in shade, which have drying rate at 1.9 and 0.17 kg/h, respectively.

Considering the mathematical model for clothes drying using waste heat from split – type air conditioner, the drying rate is calculated at the condition that is similar to that of the experiment. The calculated drying rate is 2.3 kg/h and is quite close to that of the experiment. Furthermore, it is found that the air temperature, humidity and velocity at the exit of the heating coil are the major impact factor for the clothes drying rate. The drying rate increases according to the increasing of the air temperature and velocity and decreases according to the increasing of air humidity.

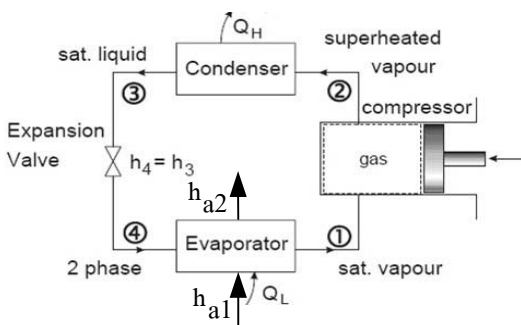
1. บทนำ

โดยปกติการตากผ้าที่ซักแล้วให้แห้งแต่เดิมนั้นใช้วิธีธรรมชาติโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานจากลม แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างมากทำให้มีการนำเครื่องอบผ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่นๆมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่มีผลเมืองหนาแน่น และมีอาคารตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมากจึงทำให้มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ในการตากผ้าด้วยวิธีธรรมชาติ อย่างไรก็ตามผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคารตึกสูงก็สามารถตากผ้า

ได้ตามหน้าต่างหรือระเบียงห้องหรือในร่ม ซึ่งทำให้ใช้เวลาเพื่อทำให้ผ้าแห้งนานมากขึ้น โดยเฉพาะผ้าแห้งนานในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูง เช่น ในฤดูฝน การตากในที่ร่มจะทำให้ผ้าแห้งช้ามากขึ้นแต่ถ้าหากใช้เครื่องอบผ้าไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างยิ่ง

ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น เช่นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในรอบ 1 ปี จะมีลักษณะภูมิอากาศร้อนประมาณ 7-8 เดือน ซึ่งทำให้เครื่องปรับอากาศมีความจำเป็นสำหรับประเทศในแถบนี้เป็นอย่างมาก จากการศึกษาสัดส่วนการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องพักอาศัยในประเทศไทยพบว่าประมาณ 95% เป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split-type) และที่เหลือเป็นเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type) ซึ่งพบว่าสัดส่วนการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2542 ขนาดทำความเย็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้มากที่สุดมีกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.52-4.68 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 33% ของสัดส่วนทางการตลาดทั้งหมด [1] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศมีปริมาณมาก สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นอากาศที่อยู่บริเวณรอบๆคอนเดนเซอร์ จะถูกนำมาใช้ในการระบายความร้อนผ่านทางคอนเดนเซอร์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 10 องศาเซลเซียส [2] ซึ่งความร้อนที่ปล่อยออกมาดังกล่าวเป็นความร้อนที่สูญเสียโดยเปล่าประโยชน์และน่าจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการนำความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศมาใช้ประโยชน์เพื่อการอบแห้งผ้าจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานจากการใช้พลังงานในเครื่องอบผ้าไฟฟ้า ซึ่งจะมีความเหมาะสมสำหรับการอบผ้าในพื้นที่ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นเวลานานๆ โดยในปัจจุบันยังมีการศึกษาการนำความร้อนทั้งมาใช้ในการอบผ้าอยู่น้อยมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็ประโยชน์ในการอบผ้า ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเรื่องนี้ขึ้น โดยมุ่งเน้นทำการศึกษาการอบแห้งผ้าจากความร้อนทั้งที่ได้จากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 1 ตัน โดยคาดว่าจะผลการศึกษาที่ได้น่าจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ให้เกิดการอบผ้าเชิงพาณิชย์จากความร้อนทั้งของเครื่องปรับอากาศต่อไป

2. หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 1 วงจรวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุณหภูมิต่ำ [3]

รูปที่ 1 เป็นแผนภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแสดงเฉพาะอุปกรณ์ที่สำคัญของวัฏจักรเท่านั้น โดยสารทำความเย็นที่สภาวะ 1 มีสถานะเป็นไออิ่มตัวจากนั้นจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้อุณหภูมิและความดันสูงซึ่งมีสถานะเป็นไอคงที่ที่สภาวะ 2 จากนั้นจะไหลเข้าคอนเดนเซอร์คอยล์เพื่อระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น ซึ่งคอนเดนเซอร์คอยล์จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่ไหลในท่อกับอากาศ จากนั้นออกจากคอนเดนเซอร์คอยล์ที่สภาวะ 3 เป็นสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันสูง ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว จากนั้นไหลเข้าสู่วาล์วลดความดันเพื่อทำให้สารทำความเย็นมีความดันและอุณหภูมิต่ำที่สภาวะ 4 จากนั้นไหลเข้าสู่อีวาเปอเรเตอร์คอยล์ จากนั้นอีวาเปอเรเตอร์คอยล์ก็จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ในท่อ ซึ่งจะทำให้สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะ 1 อีกครั้ง จากหลักการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอดังกล่าว สามารถหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ได้ดังนี้

$$COP = \frac{Q_L}{W_{Total}} \quad (1)$$

โดยที่ Q_L คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอีวาเปอเรเตอร์คอยล์ มีหน่วยเป็น kW และ W_{Total} คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ให้กับวัฏจักรมีหน่วยเป็น kW และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอีวาเปอเรเตอร์คอยล์ (Q_L) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_L = \dot{m}_a (h_{a1} - h_{a2}) \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{m}_a$ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่านอีวาเปอเรเตอร์คอยล์ มีหน่วยเป็น kg/s และ h_{a1} , h_{a2} คือเอนทาลปีของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของอีวาเปอเรเตอร์คอยล์มีหน่วยเป็น kJ/kg ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_{a1,a2} = 1.005T_{1,2} + \omega_{1,2}(2501.3 + 1.86T_{1,2}) \quad (3)$$

เมื่อ $T_{1,2}$ คืออุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกของอีวาเปอเรเตอร์คอยล์มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$ และ $\omega_{1,2}$ คืออัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้าและทางออกของอีวาเปอเรเตอร์คอยล์ตามลำดับ

3. ทฤษฎีการอบแห้ง

วัสดุที่มีความชื้นอยู่ภายในเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ และวัสดุอบแห้งดังกล่าวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นจะระเหยกลายเป็นไอออกไปจากวัสดุสู่บรรยากาศรอบข้างซึ่งเราสามารถแบ่งขั้นตอนการลดของความชื้นได้เป็น 2 ระยะคือ

(1) ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (Constant Rate Period) ซึ่งระยะนี้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุที่อบแห้งจะมีค่าคงที่ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้งมายังพื้นผิววัสดุมีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุ อัตราการอบแห้งในระยะนี้จะมีค่าคงที่

(2) ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำลดลง (Falling Rate Period) ระยะนี้จะเริ่มเมื่อความชื้นบนพื้นผิวไม่อิ่มตัว อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้ง ไปยังบริเวณพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จึงลดลง

โดยทั่วไปการหาความชื้นของวัสดุ (M_p) แบ่งออกได้ 2 แบบ คือแบบมาตรฐานแห้ง (%db) และมาตรฐานเปียก (%wb) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [4]

$$M_p (\%db) = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (4)$$

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

โดยที่ W_w, W_d คือน้ำหนักวัสดุเปียกและแห้งตามลำดับ

3.1 ความชื้นสมดุลของผ้าฝ้าย

ในการอบแห้งผ้าฝ้ายจำเป็นต้องทราบความชื้นสมดุล ซึ่ง Henderson [5] ได้ทดลองและสร้างสมการเพื่อหาความชื้นสมดุลของผ้าฝ้าย ซึ่งพบว่าความชื้นสมดุลผ้าฝ้าย ($M_e, \%db$) สามารถหาได้จากสมการ

$$M_e = A_I \cdot \left(\frac{1}{T} \ln \left(\frac{I}{I - RH} \right) \right)^{A_2} \quad (6)$$

โดยที่ T คืออุณหภูมิของอากาศมีหน่วยเป็นเคลวิน และ RH คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ A_1 และ A_2 เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1.564 และ 0.524 ตามลำดับ

3.2 ประสิทธิภาพการอบแห้ง

การบ่งชี้ความสามารถของเครื่องอบแห้ง สามารถบอกในรูปแบบของอัตราดึงความชื้นจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ได้ซึ่งคือพลังงานที่ทำให้ให้น้ำภายในวัสดุระเหยออกต่อน้ำ 1 กิโลกรัม ซึ่งค่า SMER สามารถหาได้จาก [6]

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_{total}} \quad (7)$$

เมื่อ $\dot{m}_d$ คืออัตราการระเหยความชื้นของวัสดุมีหน่วยเป็น (kg/h) $\dot{W}_{total}$ คือพลังงานที่ใช้ในระบบทั้งหมดมีหน่วยเป็น kW และอัตราการระเหยความชื้น หรืออัตราการอบแห้งสามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{m}_d = \frac{(W_o - W_f)}{t_f} \quad (8)$$

ซึ่ง W_o คือน้ำหนักวัสดุเริ่มต้น W_f คือน้ำหนักวัสดุเมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง และ t_f คือเวลาสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง

3.3 อัตราการอบแห้งผ้า

สำหรับการอบแห้งผ้าพบว่ากระบวนการถ่ายความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นระหว่างลมร้อนและผิวของผ้าจะเป็นกระบวนการถ่ายโอนความร้อนและมวลโดยการพา ซึ่งสมการอัตราการอบแห้งผ้าสามารถหาได้จาก [7]

$$\dot{m}_d = k_m A (C_w - C_a) \quad (9)$$

เมื่อ A คือพื้นที่ผิวของผ้า k_m คืออัตราการถ่ายโอนมวลเฉลี่ย (m/s) C_w และ C_a คือความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวผ้าและอากาศร้อน (kg/m^3) ตามลำดับ ซึ่งอัตราการถ่ายโอนมวลเฉลี่ย (k_m) สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของเชอวูดนัมเบอร์ (Sherwood number) [8] คือ

$$Sh = \frac{k_m D_h}{D} = 0.664 Re^{0.5} Sc^{0.33} \quad (10)$$

เมื่อ D คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างอากาศและน้ำมีหน่วยเป็น m^2/s และ D_h คือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกระหว่างผ้า 2 ชั้นมีหน่วยเป็นเมตร และ Re คือค่าเรโนลด์นัมเบอร์สามารถหาได้จากสมการ

$$Re = \frac{VD_h}{\nu} \quad (11)$$

V คือความเร็วลมที่ไหลผ่านผ้ามีหน่วยเป็น m/s และ ν คือความหนืดจลน์ของอากาศมีหน่วยเป็น m^2/s นอกจากนี้ค่าสมิทน์นัมเบอร์ (Schmidt number, Sc) สามารถหาได้จากสมการ

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (12)$$

ความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวผ้า (C_w) สามารถหาได้จาก [9]

$$C_w = \frac{M_w P_{sat}}{RT_{wb}} \quad (13)$$

โดยที่ M_w คือน้ำหนักโมลโมเลกุลของน้ำ P_{sat} คือความดันไอน้ำอิ่มตัวมีหน่วยเป็น Pa และ R คือค่าคงที่ของก๊าซ และ T_{wb} คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ผิวผ้ามีหน่วยเป็นเคลวิน และความเข้มข้นไอน้ำของอากาศร้อน C_a สามารถหาได้จาก

$$C_a = C_{sat} \phi_a \quad (14)$$

เมื่อ C_{sat} คือความเข้มข้นไอน้ำอิ่มตัวของอากาศร้อนมีหน่วยเป็น kg/m^3 และ ϕ_a คือความชื้นสัมพัทธ์อากาศร้อน [9]

4. ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำของการอบแห้งวัสดุที่เป็นเส้นใย

ในการอบแห้งผ้าฝ้ายนั้นเป็นกระบวนการถ่ายโอนมวลที่เกิดขึ้นระหว่างลมร้อนกับวัสดุที่เป็นเส้นใยจะเป็นการถ่ายโอนมวลแบบการพาโดย Efremov [10] ได้อธิบายพฤติกรรมของการถ่ายโอนมวลระหว่างจุดเริ่มต้นอบแห้ง กระทั่งถึงจุดสิ้นสุดการอบแห้งในรูปแบบ

ของอัตราส่วนระหว่างความชื้นในวัสดุ ณ เวลาต่างๆ ต่อความชื้นเริ่มต้น ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \frac{N_0}{M_0} \sigma \left(E_0 - E - \sqrt{\pi} \exp \left(-0.57(E+1.1)^2 \right) \right) \quad (15)$$

โดยที่ M คือความชื้นภายในผ้า ณ เวลาต่างๆ (%db) และ M_0 คือความชื้นเริ่มต้นภายในผ้า (%db) และ E_0 คือ ค่าเวลาไร้มิติการอบแห้งในช่วงเริ่มต้น สามารถหาได้จาก

$$E_0 = \frac{t_f}{\sigma} \quad (16)$$

โดยที่ t_f คือเวลาสิ้นสุดการอบแห้งมีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (8) และ σ คือลักษณะเวลา และ E คือค่าเวลาไร้มิติ ณ เวลาใด ๆ สามารถหาได้จาก

$$E = \frac{t_f - t_i}{\sigma} \quad (17)$$

เมื่อ t_i คือเวลา และ σ สามารถหาได้จาก [11]

$$\sigma = 2 \cdot \left[\frac{N_0 t_f - M_0 + M_e}{N_0 \sqrt{\pi}} \right] \quad (18)$$

เมื่อ M_e คือความชื้นสมดุลของผ้าฝ้าย และในกรณีของอัตราการอบแห้งในช่วงคงที่ซึ่ง Efremov [12] ได้เสนอค่าของ N_0 ไว้ดังนี้คือ

$$N_0 = \frac{hA}{h_{fg}} (T_a - T_{wb}) \quad (19)$$

โดยที่ A คือพื้นที่มีหน่วยเป็น m^2 และ h_{fg} คือค่าความร้อนของการระเหยน้ำมีหน่วยเป็น kJ/kg และ h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพา มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot ^\circ C$ และ T_a , T_{wb} คือ

อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ผิวผ้ามีหน่วยเป็น $^\circ C$ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพา (h) สามารถหาได้จากสมการ

$$h = 0.0204 G^{0.8} \quad (20)$$

และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน (G) มีค่าคือ

$$G = \rho V \quad (21)$$

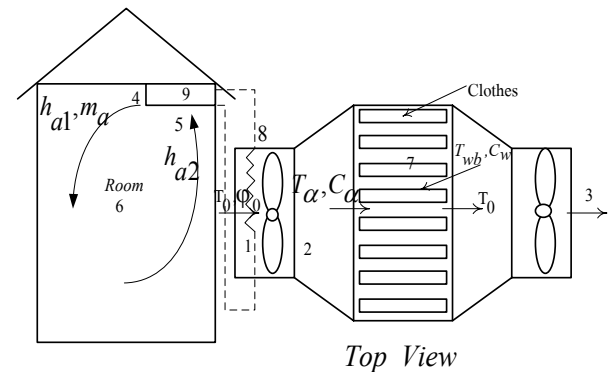
โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของอากาศมีหน่วยเป็น kg/m^3 และ V คือความเร็วลมร้อนมีหน่วยเป็น m/s ตามลำดับ [13]

5. อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Uni star รุ่น AR-135 R ชุดอิวาเปอร์เรเตอร์คอยล์มีขนาดทำความเย็น 1 ตัน ชนิดสารทำความเย็น R-22 และได้นำห้องอบผ้าที่ทำจากผ้าใบขนาด 0.5x0.5x1.0 ลูกบาศก์เมตร มาต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์คอยล์โดยตรง และได้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศช่วยที่ทางออกขนาด 180 วัตต์ ซึ่งการวัดความเร็วของลมที่ทางออกห้องอบได้ใช้เครื่องมือ anemometer ซึ่งรวมบทความวิชาการ เล่มที่ 3 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

ความเร็วที่สามารถวัดได้สูงสุดเท่ากับ 30 เมตร/วินาที และผ้าที่ใช้ทดลองเป็นผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ แขนงภายในห้องด้วยไม้แขวนพลาสติกจำนวน 8 ชั้น แขนงกับราวตากผ้าที่ทำจากท่อเหล็ก ซึ่งราวตากผ้าดังกล่าวได้ทำให้มีโครงสร้างที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่ติดตั้งไว้ด้านบนห้องอบ เพื่อชั่งน้ำหนักผ้าขณะทดลอง นอกจากนี้ยังได้มีการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ต่อเข้ากับเครื่อง Scanning Thermocouple Thermometer ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 0.1 \text{ } ^\circ C$ อีกทั้งได้วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Thermo hygrometer) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเป็น $\pm 0.2\%$ ที่ทางเข้าและทางออกอิวาเปอร์เรเตอร์คอยล์เพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจวัดประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

6. วิธีการทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ของห้องอบผ้า เมื่อจุดที่ 1 คือทางเข้าคอยล์จุดที่ 2 คือทางออกคอนเดนเซอร์คอยล์ จุดที่ 3 คือทางออกห้องอบ จุดที่ 4 ร้อนทางออกอิวาเปอร์เรเตอร์คอยล์ จุดที่ 5 คือทางเข้าอิวาเปอร์เรเตอร์คอยล์ จุดที่ 6 ภายในห้องปรับอากาศ จุดที่ 7 คือเสื้อผ้าที่ใช้ทดลอง จุดที่ 8 คือคอนเดนเซอร์คอยล์ จุดที่ 9 คืออิวาเปอร์เรเตอร์คอยล์

การศึกษาทดลองนี้ได้ทำการสร้างห้องอบผ้าขนาด 0.5x0.5x1.0 ลูกบาศก์เมตร โดยทดสอบร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 1 ตัน โดยต่อเข้ากับบริเวณคอนเดนเซอร์คอยล์ของเครื่องปรับอากาศ (รูปที่ 2) ซึ่งลมร้อนที่ได้จากการระบายความร้อนจะเข้าสู่ห้องอบผ้าโดยตรง ผ้าที่ใช้ทดลองเป็นผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 - 10 ชั้น จากนั้นได้นำผ้าไปซักและปั่นให้หมาดจะได้น้ำหนักสุทธิเริ่มต้นก่อนการอบผ้าเท่ากับ 2.09 กิโลกรัม จากนั้นนำไปแขวนในห้องอบผ้า โดยแขวนผ้าเป็น 1 แถวๆ ละ 8 ผืน ซึ่งลักษณะการแขวนผ้าได้จัดเรียงให้ผ้าอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับทิศทางการไหลของลมร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์คอยล์ อีกทั้งขณะทดลองได้ติดตั้งพัดลมระบายอากาศร้อนช่วย ที่ด้านหลังห้องอบผ้า โดยที่ความเร็วลมที่เข้าและออกห้องอบเท่ากันซึ่งเท่ากับ 1.85 เมตร/วินาที (รูปที่ 2, ตำแหน่งที่ 2 และ 3) หลังจากนั้นทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิอากาศดังนี้คือจุดที่ 1-6 โดยที่ท่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องแสดงผลแบบดิจิตอล จากนั้นบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุก 2 นาที ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการ

ทดลอง จุดที่ 4 และ 5 จะนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และจุดที่ 2-3 จะเก็บข้อมูลไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ นอกจากนี้ได้วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ณ จุดที่ 4 และ 5 เพื่อใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นตามสมการ

1-3 ไปด้วย การตรวจสอบน้ำหนักผ้าขณะทดลองจะใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลชั่งน้ำหนักผ้าโดยตรง ซึ่งในการออกแบบห้องอบผ้าจะสามารถชั่งน้ำหนักผ้าได้ตลอดเวลาขณะทดลอง โดยเครื่องชั่งน้ำหนักจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านบนห้องอบผ้า จากนั้นเมื่อเริ่มการทดลอง จะทำการบันทึกน้ำหนักผ้าทุกๆ 2 นาที จนกระทั่งเหลือน้ำหนักสุทธิ 1.41 กิโลกรัม ซึ่งหมายความว่าน้ำที่อยู่ภายในผ้าได้ระเหยออกจากผ้าเป็นน้ำหนัก 0.68 กิโลกรัม ซึ่งจะเหลือความชื้นในผ้าเท่ากับ ความชื้นสมดุล จึงหยุดบันทึกการทดลอง

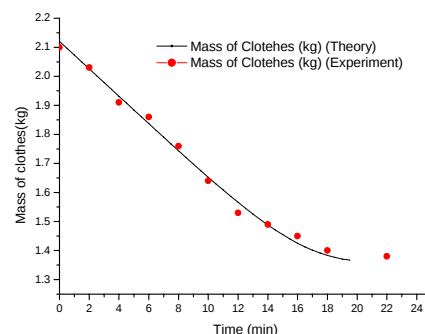
7. ผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องปรับอากาศเฉลี่ย 34.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 60 % พบว่าลมร้อนที่ ออกจากคอนเดนเซอร์คอยล์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 41.5 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นพบว่าค่าเท่ากับ 3.1 จากนั้นได้คำนวณหาขนาดห้องอบผ้าที่เหมาะสมซึ่งพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งคือความเร็วลมที่ไหลผ่านผ้า โดยเมื่อพื้นที่หน้าตัดห้องอบผ้าลดลง จะเป็นสาเหตุทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วลมจะทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำในผ้าให้กับอากาศเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากว่าขนาดความกว้างของห้องอบผ้าเล็กที่สุดซึ่งเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องระบายลมร้อนของคอนเดนเซอร์คอยล์ซึ่งเท่ากับ 0.5 เมตร และความสูงที่สามารถทำได้เท่ากับความสูงของเสื้อเมื่อแขวนในห้องอบซึ่งเท่ากับ 1.0 เมตร ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดห้องอบจึงเท่ากับ 0.5x1.0 ตารางเมตร

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะห่างระหว่างผ้าที่เหมาะสม โดยทดลองอบผ้าเริ่มต้นที่ 4, 6, และ 10 ชั้นตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อจำนวนผ้าที่แขวนในห้องเพิ่มขึ้นเป็น 8 ชั้น ซึ่งระยะห่างระหว่างผ้าเท่ากับ 0.037 เมตร และได้อัตราการอบแห้งเท่ากับ 2.26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มจำนวนผ้าเป็น 10 ชั้น จะทำให้อัตราการอบแห้งผ้าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มจำนวนผ้าจะทำให้ทำให้ลมร้อนไหลเข้าช่องว่างระหว่างผ้าไม่สะดวกทำให้ลมบางส่วนที่เหลือไหลผ่านบริเวณด้านบนและด้านล่างของห้องอบแทนจึงทำให้อัตราการอบแห้งลดลงเมื่อจำนวนผ้าเพิ่มเป็น 10 ชั้นตามลำดับ

พิจารณาจากรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและการอบผ้าจริง โดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ พบว่าอัตราการอบแห้งผ้าโดยใช้การคำนวณมีค่าเท่ากับ 2.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองซึ่งเท่ากับ 2.26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบการอบผ้าซึ่งใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศกับการอบด้วยเครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในที่

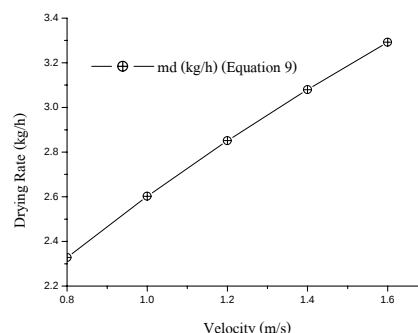
ร่มพบว่าอัตราการอบแห้งที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบผ้าไฟฟ้า และการตากผ้าในที่ร่ม ดังในตารางที่ 1



รูปที่ 3 เปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ โดยการทดลองและการคำนวณ

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการอบแห้งแบบต่างๆ

ประเภทการอบแห้ง	เวลาอบแห้ง (h)	น้ำหนักเริ่มต้น (kg)	น้ำหนักสุดท้าย (kg)	พลังงานที่ใช้ (kWh)	อัตราการอบแห้ง (kg /h)
ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ	0.30	2.09	1.41	0.011	2.26
ตากผ้าในที่ร่ม	4.00	2.09	1.40	-	0.17
เครื่องอบไฟฟ้า	0.33	2.05	1.42	0.66	1.90

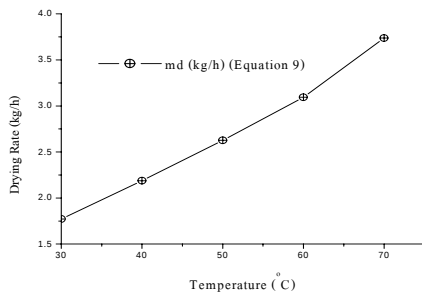


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความเร็วลมที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น

8. ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้ง

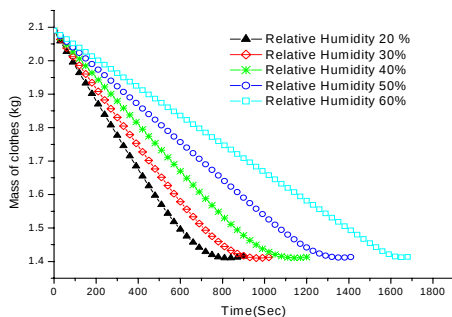
จากผลการคำนวณจากสมการที่ 9 เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น พบว่าจะทำให้มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4 และผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้งผ้าพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วเพิ่มขึ้นทุก ๆ 0.2 เมตรต่อวินาที จะทำให้

อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น 11.8 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเร็ว 1.20, 1.40 และ 1.60 จะมีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ย 9.03 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น

รูปที่ 5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้อัตราการอบแห้งผ้าเพิ่มขึ้น และผลจากการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 20.67 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผ้า และความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น

จากรูปที่ 6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผ้า และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่ใช้อบแห้งเพิ่มขึ้น และเป็นผลทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

8. สรุป

ผลจากการศึกษาทดลองเรื่องการนำความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมาใช้ประโยชน์เพื่อการอบแห้งผ้าครั้งนี้ พบว่าเมื่อนำห้องอบผ้าที่มีขนาด 0.5x0.5x1.0 ลูกบาศก์เมตร ติดตั้งเข้ากับคอนเดนเซอร์คอยล์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่อย่างใด ทั้งนี้ เนื่องจากได้ออกแบบให้มีการระบายความร้อนออกจากห้องอบผ้าอย่างต่อเนื่อง โดยติดตั้งพัดลมเพื่อระบายความร้อนที่ทางออกห้องอบ ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 0.01 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 1.5 ของเครื่องอบผ้าเชิงพาณิชย์เท่านั้น ผลที่ได้จากการทดลองอบผ้าพบว่าระยะห่างของผ้าที่เหมาะสมเท่ากับ 0.037

เมตร และมีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 2.26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งดีกว่าการอบแห้งผ้าโดยใช้เครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในร่มที่มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 1.9 และ 0.17 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ อีกทั้งเมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองอบผ้าและการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังพบว่าอัตราการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งของผ้าได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความเร็วลมที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น โดยอัตราการอบแห้งจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศ และความเร็วลมที่ไหลผ่านระหว่างผ้า 2 ชั้น และแปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Management Information Service Co., Ltd. "Minimum efficiency performance standard for Air conditioner in Thailand" Manager Magazine, Oct., 1997
- [2] Zuhail Oktay, Testing of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer, Applied thermal engineering 23 (2003) 153-162
- [3] นิวัฒน์ ตำนานทอง, อุณหพลศาสตร์ 1, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] ผศ.อนุตร จำลองกุล. 2545. พลังงานหมุนเวียน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ปทุมธานี
- [5] Luiza Helena, Equilibriums moisture isotherms of textiles materials, Acta Scientiarum, Maringa, Vol23, n.6, P.1363-1368,2001
- [6] Zuhail and Anit, Performance evaluation of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer, Energy conversion and Management 44 (2003) 1193-1207
- [7] Incropera, F. P., and DeWitt, D.P., "Fundamental of heat of mass transfer", 4th ed., John Wiley and Sons, New Work, 1996
- [8] Adrian Bejan, Convection heat transfer, Second edition, Durham, North Carolina.
- [9] M. Negati Ozisik, Heat Transfer, North Carolina State University.
- [10] G. I. Efremov, Kinetics of drying of fibre materials, Fibre Chemistry. Vol. 33, No. 4, 2001
- [11] G. I. Efremov, Mathematical modeling of processes, Fibre Chemistry. Vol. 30, No. 6, 1998
- [12] G. I. Efremov, kinetics of drying of fibre materials and fibre-forming polymers with warming, Fibre Chemistry. Vol. 35, No.1, 2003
- [13] วิรุพห์ ตันทะพาณิชกุล, เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร (2548),