



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การลดระยะเวลาอบแกนอะลูมิเนียมโดยเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน

Reduce the Drying Time of Aluminum Rod by Using Thermosyphon Air Pre Heater

ประชา ยืนยงกุล* ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์ สมเกียรติ วงษ์พานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Pracha Yeunyongkul* Passawat Watcharadumrongsak Somkiat Wongpanich

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiangmai 50300

* Corresponding author.

E-mail: ypracha@rmutl.ac.th; Telephone: 0 5392 1444

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการลดระยะเวลาการอบแกนอะลูมิเนียมโดยเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน เพื่อลดระยะเวลาและพลังงานในการอบแกนอะลูมิเนียมโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ออกแบบเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน โดยหลักเศรษฐศาสตร์ความร้อน เพื่อหาการประหยัดสุทธิสูงสุด พบว่า กัลกความร้อนที่มีค่าการประหยัดสุทธิสูงสุดทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 19.05 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกัลกความร้อนและส่วนควบแน่น คือ 300 10 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ สารทำงานคือ R134a อัตราส่วนการเติมสารทำงานร้อยละ 50 โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย จำนวนท่อกัลกความร้อน 80 ท่อ ขึ้นทดสอบเป็นแท่งอะลูมิเนียมกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร น้ำหนักรวมต่อท่อ 0.1 กิโลกรัม จำนวน 10 ท่อ ทดสอบโดยนำแกนอะลูมิเนียมที่ผ่านการล้างน้ำไปอบในตู้อบแบบเดิม และตู้อบที่ติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน เปรียบเทียบผลการทดสอบทั้ง 2 ระบบที่ความเร็วของอากาศ 1 2 และ 3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และอุณหภูมิอากาศ 70 76 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า แกนอะลูมิเนียมที่อบในตู้อบแบบติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อนที่ 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอากาศ 70 76 และ 80 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมที่สุด คือใช้เวลาในการอบแกนอะลูมิเนียมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแท่งอะลูมิเนียมในตู้อบแบบเดิม คือ 13.3 17.8 และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน ชนิดไหลสวนทางที่ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s คือร้อยละ 33.3 31.8 และ 29.6 ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อนด้านควบแน่น ที่ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s สูงขึ้น 12.2 11.8 และ 10.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

คำสำคัญ

กัลกความร้อน เครื่องอุ่นอากาศ ระยะเวลาอบ ประสิทธิภาพ

Abstract

This research is to reduce the drying time of aluminum rod by using the thermosyphon air pre-heater. The test is to reduced time and energy consumption for dried aluminum system. The thermosyphon heat exchanger was performed using the thermo-economical method. For the optimum system size, it was found that the thermosyphons were made of copper tube with the outside diameter of 19.05 millimeter and 0.8 millimeter wall thickness with a total of 80 tubes when the evaporator section length, adiabatic section length and condenser section length was 300, 10 and 300 millimeter, respectively. The working fluid was R-134a, filling ratio was 50% by evaporator section volume. The specimens were made of aluminum tube with the outside diameter of 30 millimeter, 400 millimeter total length and 0.1 kilogram weight per tube with a total of 10 tubes. The experiments were divided to two main parts: one with the conventional system and the other with the thermosyphon heat exchanger. Each main experiment was divided to various sub-experiments that

were conducted at the air velocity of 1, 2 and 3 m/s and air temperature of 70, 76 and 80 °C, respectively. The result was shown that drying time of the thermosyphon heat exchanger system with the air velocity of 1 m/s and the air temperature with 70, 76 and 80 °C was optimum. The drying time were decreased when compared with conventional system about 13.3, 17.8 and 11.5 %, respectively. Effectiveness of the thermosyphon heat exchanger, counter flow type heat exchanger with the air velocity of 1, 2 and 3 m/s were 33.3 31.8 and 29.6 %, respectively. In addition, the outlet temperature of air which recovers heat from the condenser section of the thermosyphon heat exchanger with the air velocity 1, 2 and 3 m/s, was increased by about 12.2, 11.8 and 10.1 °C, respectively.

Keywords

thermosyphon; air pre heater; drying time; effectiveness

1. บทนำ

การแก้ไขปัญหาการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม ทำได้หลายวิธี เช่น การประหยัดพลังงาน การปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพ และการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูง ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตสู่บรรยากาศ การดึงความร้อนทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่สามารถลดการใช้พลังงานป้อนเข้าระบบให้น้อยลง นั่นคือประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น ส่งผลให้บริษัทหรือสถานประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ เครื่องพิมพ์สำเนา หรือเครื่องถ่ายเอกสาร ในขั้นตอนการอบแกนเครื่องพิมพ์ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียม หลังจากผ่านกระบวนการล้าง พบว่าใช้พลังงานปริมาณมากในการอบแห้งอะลูมิเนียมเพื่อให้แห้งสนิท และในขณะเดียวกันพบว่าอากาศร้อนหลังจากผ่านกระบวนการอบยังมีอุณหภูมิสูง แต่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ดังนั้นการดึงความร้อนจากอากาศร้อนที่ทิ้งสู่บรรยากาศกลับมาอุ่นอากาศก่อนเข้าตู้อบ จะช่วยลดเวลาในการอบและลดการใช้พลังงาน โดยอุปกรณ์ในการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ที่มีประสิทธิภาพสูงคือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อน [2-4]

2. ทฤษฎีและวิธีการวิจัย

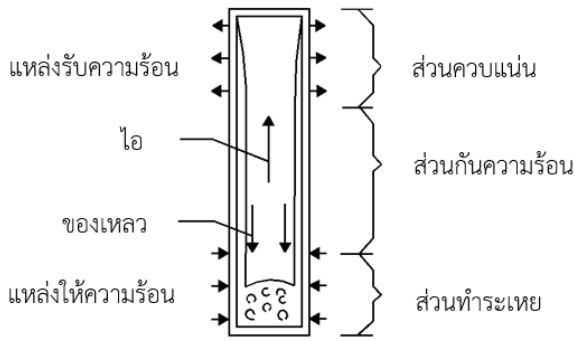
2.1 ทฤษฎี

ท่อความร้อนแบบกัลกความร้อน เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก สามารถทำงานได้โดยใช้หลักการของ

การส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายใน กัลกความร้อน ซึ่งสารทำงานจะระเหยตัวโดยรับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่น โดยถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1

ส่วนประกอบของท่อความร้อนแบบกัลกความร้อนมีลักษณะเป็นท่อสุญญากาศที่มีสารทำงานอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นท่อระบบปิด ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบกัลกความร้อน คือ เมื่อท่อความร้อนได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหย จะทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและลอยขึ้นสู่ด้านบนไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อสารทำงานถ่ายเทความร้อนสู่สารตัวกลางที่เย็นกว่าจะทำให้เกิดการควบแน่นของสารทำงาน และไหลกลับลงสู่ส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [5]

รูปที่ 2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อน เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งถ่ายความร้อนระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็น โดยอาศัยกัลกความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อนจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยท่อความร้อนที่อยู่ภายในตัวเครื่อง ท่อความร้อนที่ใช้สามารถเลือกใช้ได้ทั้งท่อความร้อนแบบมีวัสดุพรุน และท่อความร้อนแบบกัลกความร้อนโดยการส่งถ่ายความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบคือ การส่งถ่ายความร้อนแบบไหลสวนทางกันและการส่งถ่ายความร้อนแบบไหลตามกัน [5-7]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของกาลักความร้อน [5]

การหาอัตราการส่งถ่ายความร้อน [8]

อัตราการส่งถ่ายความร้อนด้านของไหลเย็น

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c C_p (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1)$$

อัตราการส่งถ่ายความร้อนด้านของไหลร้อน

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_h C_p (T_{e,i} - T_{e,o}) \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{Q}_e$ คือ อัตราการส่งถ่ายความร้อนที่ส่วนทำระเหย W
 $\dot{Q}_c$ คือ อัตราการส่งถ่ายความร้อนที่ส่วนควบแน่น W $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล kg/s C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ J/kg °C $T_{e,i}$ คือ อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าส่วนทำระเหย °C $T_{e,o}$ คือ อุณหภูมิอากาศร้อนออกส่วนทำระเหย °C $T_{c,i}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกเข้าส่วนควบแน่น °C $T_{c,o}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกออกส่วนควบแน่น °C

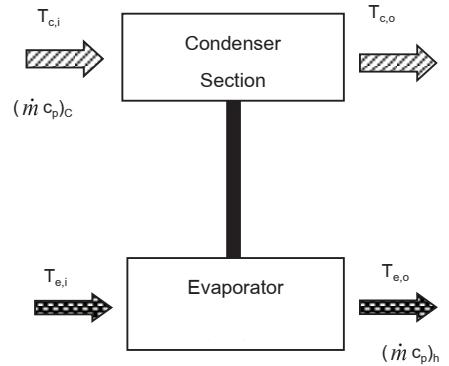
การหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและหน่วยการถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [1]

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหลสวนทาง ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (effectiveness, ε) และ หน่วยการถ่ายเท (number of transfer units, NTU) หาได้จากสมการ (3)

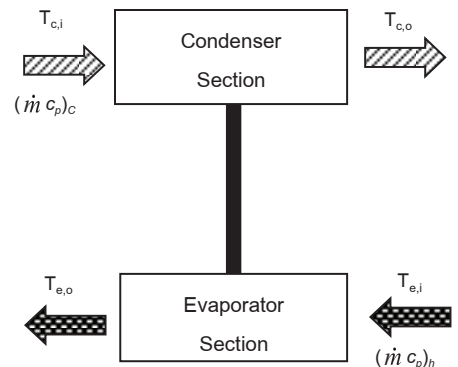
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]} \quad (3)$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (4)$$

$$c = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (5)$$



(ก) ชนิดไหลสวนทาง



(ข) ชนิดไหลสวนทางกัน

รูปที่ 2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกาลักความร้อน [5-7]

$$C = \dot{m}C_p \quad (6)$$

เศรษฐศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [9,10]

วิธีการพิจารณามูลค่าที่สามารถประหยัดได้สุทธิจาก มูลค่าที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดึงความร้อนกลับแล้วคิดออกมาเป็นตัวเงิน ลบด้วยค่าใช้จ่ายในการสร้างและการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อใช้เป็นวิธีการสำหรับเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมที่สุด ในการเลือกระบบทางวิศวกรรม รวมถึงโครงการวิจัยในการตัดสินใจสร้างและออกแบบขนาดหรือดำเนินโครงการ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ โดยพิจารณาจากผลความคุ้มค่าที่ทำให้เกิดการเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ดังสมการ (7)

$$S = P_1 C_E \dot{H} \dot{Q} - P_2 C_{HX} \quad (7)$$

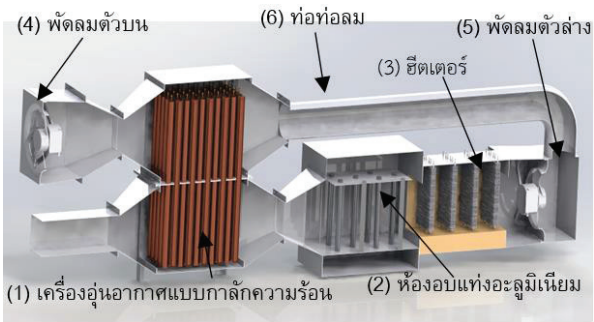
โดยที่ S คือ มูลค่าการประหยัดสุทธิ (บาท) P_1 และ P_2 คือ ค่าแฟกเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ C_E คือ ราคาของพลังงานที่ดึงกลับมาได้โดย HPHE (บาท/Wh) H คือ เวลาทำงานต่อปี (h/yr) $\dot{Q}$ คือ อัตราการดึงความร้อนกลับ (W) C_{HX} คือ ต้นทุนเริ่มต้นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน (heat pipe heat exchanger, HPHE) (บาท) [11,12]

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน เริ่มต้นพัดลมดูดอากาศตัวบนหมายเลข (4) และพัดลมตัวล่างหมายเลข (5) ทำงานพร้อมกันโดยดูดอากาศภายนอกเข้ามาผ่านฮีตเตอร์หมายเลข (3) ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและไหลผ่านห้องอบแห้งอะลูมิเนียมหมายเลข (2) ทำให้แห้งอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นจะระเหยออกจากผิวแห้งอะลูมิเนียม อากาศร้อนหลังจากไหลผ่านแห้งอะลูมิเนียมจะพาความชื้นและความร้อนออกจากห้องอบแห้งไปตามปล่องลมทางออกผ่านด้านล่างของเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อนหมายเลข (1) และไหลออกสู่ภายนอกระบบ เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านด้านทำระเหยของเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อนหมายเลข (1) ทำให้เกิดการส่งถ่ายความร้อนขึ้นไปสู่ด้านควบแน่น ขณะที่พัดลมดูดอากาศตัวบนหมายเลข 4 จะดูดอากาศภายนอกเข้ามาและไหลผ่านด้านควบแน่นของกลุ่มท่อความร้อนแบบกัลกความร้อน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้น และไหลไปตามท่อลมหมายเลข (6) เข้าสู่ห้อง ฮีตเตอร์หมายเลข (3) อีกครั้ง จากการทำงานเช่นนี้จะลดระยะเวลาการทำงานของฮีตเตอร์ และลดระยะเวลาในการอบแห้งอะลูมิเนียม เหตุผลที่ต้องปล่อยอากาศที่ผ่านการอบแห้งอะลูมิเนียมออกนอกระบบ โดยไม่นำมาอบแห้งอะลูมิเนียมอีกครั้ง เนื่องจากอากาศที่ผ่านการอบแห้งอะลูมิเนียมมีความชื้นจากไอน้ำที่ระเหยปะปน

ตัวแปรการทดลอง

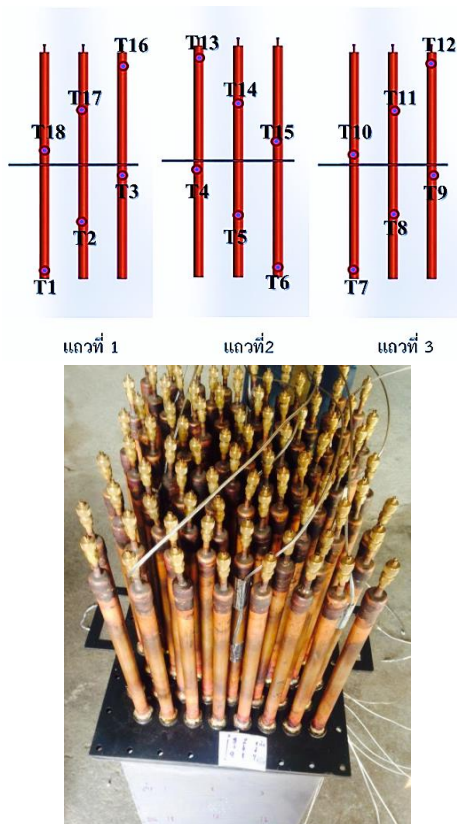
- วัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อนแบบกัลกความร้อน คือท่อทองแดง หนา 2 มิลลิเมตร ความยาวรวม 1,100 มิลลิเมตร
- การจัดวางท่อแบบเหลื่อม (Staggered)



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของชุดทดสอบ

- อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ร้อยละ 50 ของปริมาตรในส่วนทำระเหย
- มุมเอียงของท่อความร้อนแบบกัลกความร้อนทำมุม 90 องศา กับแนวระนาบ
- ความเร็วอากาศขาเข้าของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 1 2 และ 3 เมตรต่อวินาที
- กำหนดให้อุณหภูมิภายในห้องอบเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 3 °C
- อุณหภูมิของอากาศร้อนหลังการอบเข้าส่วนทำระเหย เท่ากับ 70 76 และ 80 °C
- ห้องทดลองมีขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 0.8 เมตร และสูง 0.8 เมตร
- น้ำหนักแห้งอะลูมิเนียมรวมไม่เกิน 8.5 กิโลกรัม
- จำนวนแห้งอะลูมิเนียม 10 แ่ง
- แห้งอะลูมิเนียมล้งน้ำมีอุณหภูมิผิวเท่ากับ 26 °C อบจนผิวแห้งอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับ 55 °C
- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อน ออกแบบโดยใช้หลักการของเศรษฐศาสตร์ความร้อน (Thermoeconomical method) พบว่าสารทำงานที่เหมาะสมของการกัลกความร้อน คือ R134a เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 28.57 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากันคือ 500 มิลลิเมตร จำนวนท่อของกัลกความร้อน คือ 80 ท่อ

ตำแหน่งการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) แสดงดังรูปที่ 4 รวมทั้งหมด 18 จุด และบันทึกข้อมูลในเครื่อง



รูปที่ 4 การติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ

บันทึกข้อมูล (data logger) โดยเชื่อมต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

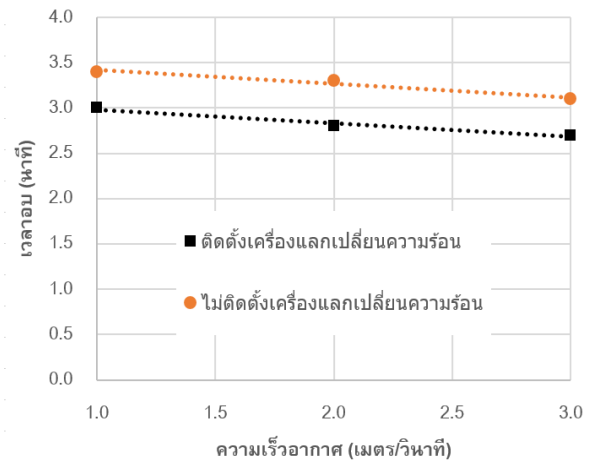
อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

- 1) เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Fluke ความละเอียด 0.001 °C
- 2) สายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ชนิดทนความร้อนสูง Type K ใช้วัดอุณหภูมิในช่วง -30 °C ถึง 600 °C
- 3) นาฬิกาจับเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Casio stop watch) รุ่น hs-3v ความละเอียด 0.01s
- 4) เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น Testo ช่วงวัด 435 20 ถึง 0 ความเร็วลม m/s ความละเอียด 0.1 m/s

ขั้นตอนการทดลอง

ทดสอบหาอุณหภูมิที่ทำให้แท่งอะลูมิเนียมแข็งสนธิ

- 1) จากสภาพงานจริงอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบอะลูมิเนียม คือ 76 °C และแท่งอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการล้างก่อนเข้าห้องอบ



รูปที่ 5 ผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 70 °C

- 2) ทดสอบอบจนกระทั่งแท่งอะลูมิเนียมแข็ง พบว่าอุณหภูมิที่ผิวแท่งอะลูมิเนียม คือ 55 °C

กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

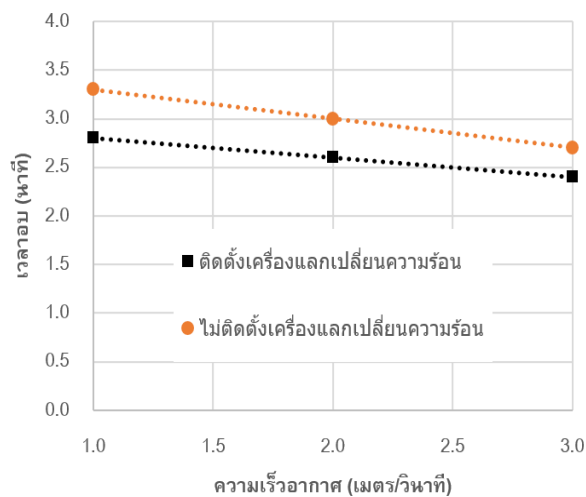
- 1) ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิอากาศของแท่งอะลูมิเนียมและสายวัดอุณหภูมิอากาศด้านออกจากตู้อบอะลูมิเนียม เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)
- 2) ปรับความเร็วอากาศตามที่กำหนด
- 3) ปรับอุณหภูมิฮีตเตอร์ตามที่กำหนด
- 4) ทดสอบจนอุณหภูมิผิวของแท่งอะลูมิเนียมเท่ากับ 55 °C บันทึกเวลา และอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ

กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

- 1) ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4 รวมทั้งสายวัดอุณหภูมิอากาศด้านนอกของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของเครื่องปรับอากาศ และสายวัดอุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)
- 2) ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากผลการทดลองในรูปที่ 5-7 เป็นผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบแท่งอะลูมิเนียม โดยทดสอบความเร็ว และอุณหภูมิต่างกัน โดยหลักการส่งถ่ายความร้อน ถึงแม้จะทราบอยู่แล้วว่าเมื่อความเร็วและอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้

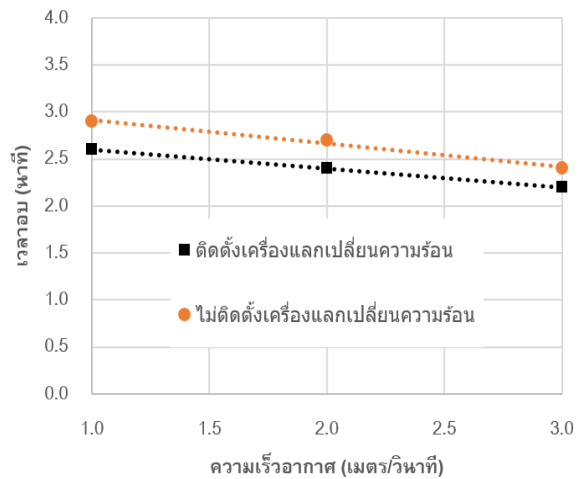


รูปที่ 6 ผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 76 °C

เวลาในการอบลดลง แต่งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง โดยนำหลักวิชาการไปประยุกต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและลดการใช้พลังงาน และเหตุที่ต้องแปรค่าความเร็ว และอุณหภูมิก็เพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานได้จริง

รูปที่ 5 แสดงผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 70 °C พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบของทั้งระบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น กล่าวคือเวลาอบของระบบที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความเร็วอากาศ 1 2 และ 3 m/s คือ 3.4 3.3 และ 3.1 นาที ตามลำดับ ขณะที่เวลาอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 3 2.8 และ 2.7 นาที ตามลำดับ ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือร้อยละ 13.3 17.9 และ 14.8 ตามลำดับ เนื่องจากระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศใหม่ที่เข้าไปในห้องอบอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับส่วนควบแน่นของเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อน จึงทำให้เวลาอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อนลดลง

รูปที่ 6 แสดงผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 76 °C พบว่าแนวโน้มมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศ 70 °C เวลาอบของระบบที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความเร็วอากาศ 1 2 และ 3 m/s

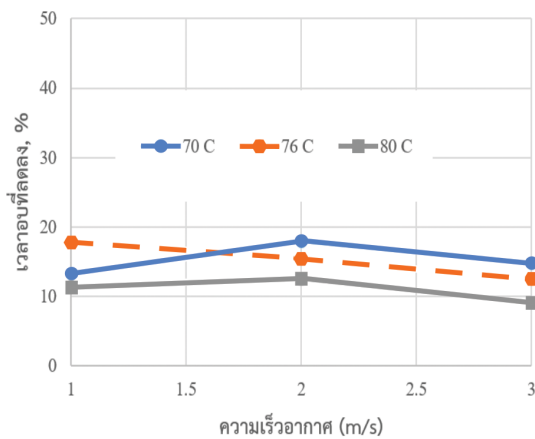


รูปที่ 7 ผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 80 °C

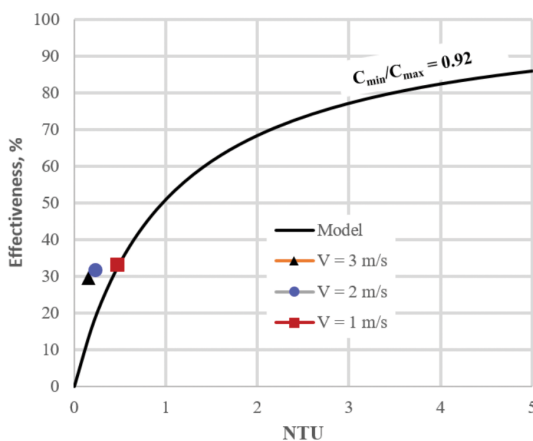
คือ 3.3 3 และ 2.7 นาที ตามลำดับ ขณะที่เวลาอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 2.8 2.6 และ 2.4 นาที ตามลำดับ ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือร้อยละ 17.8 15.4 และ 12.5 ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่อุณหภูมิอากาศ 80 °C พบว่าแนวโน้มมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศ 70 และ 76 °C เวลาอบของระบบที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความเร็วอากาศ 1 2 และ 3 m/s คือ 2.9 2.7 และ 2.4 นาที ตามลำดับ ขณะที่เวลาอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ 2.6 2.4 และ 2.2 นาที ตามลำดับ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการอบของระบบที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือร้อยละ 11.5 12.5 และ 9.1 ตามลำดับ

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นความแตกต่างของเวลาอบระหว่างกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลงเนื่องจากระบบติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 ดังนั้น ความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนลดลงเช่นกัน จึงส่งผลต่อเวลาอบด้วย



รูปที่ 8 เปรียบเทียบผลของความเร็วอากาศต่อเวลาอบที่ลดลง



รูปที่ 9 ผลของจำนวนหน่วยการถ่ายเทต่อประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนรอนแบบกัลกความร้อน ที่อุณหภูมิอากาศ 70 °C

เมื่อเปรียบเทียบผลของความเร็วอากาศต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเวลาอบแห้งอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิอากาศ 70 76 และ 80 °C ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเวลาอบแห้งอะลูมิเนียมของระบบที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทุก ๆ ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s มีความแตกต่างแบบไม่มีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มแบบเดียวกันในทุกอุณหภูมิ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิอากาศ 70 76 และ 80 °C คือ 1 m/s

จากรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของหน่วยการถ่ายเทต่อประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อนชนิดการไหลแบบสวนทางที่ค่า $C_{min}/C_{max} = 0.92$ เส้นแบบจำลอง (model) เป็นไปตามสมการ (3) ถึง

สมการ (6) [1] พบว่าที่ความเร็วอากาศ 1 2 และ 3 m/s มีค่า NTU = 0.16 0.24 และ 0.47 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันมีค่าร้อยละ $\varepsilon = 33.3$ 31.8 และ 29.5 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่างานวิจัยนี้ค่าความเร็วที่เหมาะสมคือ 1 m/s เนื่องจากมีค่า ε สูงสุด คือร้อยละ 33.3 และจากรูปยังพบว่าผลการทดลองที่ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s มีแนวโน้มที่สอดคล้องตามแบบจำลองตามสมการ (3)

4. สรุป

- 1) ความเร็วอากาศที่เหมาะสมในการลดเวลาอบแห้งอะลูมิเนียม กรณีใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อน คือ 1 m/s ซึ่งทำให้เวลาอบแห้งอะลูมิเนียมลดลงที่ 70 76 และ 80 °C คือร้อยละ 13.3 17.8 และ 11.5 ตามลำดับ
- 2) ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกัลกความร้อน ชนิดไหลสวนทางที่ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s คือร้อยละ 33.3 31.8 และ 29.6 ตามลำดับ
- 3) อุณหภูมิของอากาศที่ 70 76 และ 80 °C ไม่มีผลต่อคุณภาพอะลูมิเนียม เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ไม่สามารถทำให้องค์ประกอบของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลง
- 4) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศแบบกัลกความร้อนด้านควบแน่น ที่ความเร็ว 1 2 และ 3 m/s สูงขึ้น 12.2 11.8 และ 10.1 °C ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cengel AP, Ghajar JA. *Heat and Mass Transfer : Fundamentals and Applications*. New York: Mc Graw Hill; 2011.
- [2] Dunn P, Reay DA. *Heat pipes*. Oxford: Pergamon Press; 1982.

- [3] Maezawa S. Heat pipe: Its origin, development and present situation. In *Proc. of The 6th International Heat Pipe Symposium*. Chiang Mai, Thailand; 2000. p. 1–13.
- [4] ESDU. Heat Pipes - Performance of Two-phase Closed Thermosyphons. London: IHS ESDU; 1983.
- [5] ประดิษฐ์ เทอดทูล. ท่อความร้อน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 1993.
- [6] ประดิษฐ์ เทอดทูล. การเดือด. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 1998.
- [7] สัมพันธ์ ฤทธิเดช. เทคโนโลยีท่อความร้อน. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2010.
- [8] Incropera FP, Dewitt DP. *Introduction to heat transfer*. New York: John Wiley & Sons; 2002.
- [9] Soylemez MS. On the optimum heat exchanger sizing for heat recovery. *Energy Manage*. 2000; 41: 1419–1427.
- [10] Soylemez MS. On the thermoeconomical optimization of Heat Pipe Heat Exchanger HPHE for waste heat recovery. *Energy Manage*. 2003; 44: 2509–2517.
- [11] Yeunyongkul P, Sakulchangajatai P, Terdtoon P. Mathematical Model of the Optimum Heat Pipe Heat Exchanger for a Condenser of Vapor-Compression Refrigeration Cycle. *Energy research journal*. 2010; 2: 104–110.
- [12] Yeunyongkul P, Sakulchangajatai P, Ghajar AJ. Experimental Investigation of Closed Loop Oscillating Heat Pipe as the Condenser for Vapor Compression Refrigeration. In *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Purdue; 2010.