การศึกษาอิทธิพล อุณหภูมิ ความดันของอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ ในกระบวนการเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมปั๊มความร้อน

Study of temperature and pressure on vacuum pump efficiency in vacuum heat pump dryer process.

นพพร กุดทิง*[1], ฉัตรชัย เบญจปิยะพร[1], อภิชาติ อาจนาเสียว[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000
* ติดต่อ : โทรศัพท์: 088-0653387
E-mail: en_pachiko@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการศึกษา ปั๊มสุญญากาศในเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อน โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบลิควิดริง (Liquid ring) เป็นตัวดูดอากาศออกจากห้องอบแห้งเพื่อให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งอิทธิพลของพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ คือ อุณหภูมิ ความดันอากาศ และการระบายความร้อน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการ ทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดันต่างๆ ในการอบแห้ง ที่สภาวะอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่างๆและการระบายความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศ จะช่วยเป็นแนวทางในการออกแบบหรือการตัดสินใจในการอบแห้ง ที่สภาวะอุณหภูมิและคว ามดันต่างๆ และเลือกการใช้งาน น้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศให้เหมาะสมเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพใช้สูงและประหยัดพลังงาน

คำหลัก: การทดลอง, ประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศ, เครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อน

Abstract

This paper is present temperature and pressure on vacuum pump efficiency in vacuum heat pump dryer and use a liquid ring vacuum pump in system . the liquid ring vacuum pump is suction air of the drying chamber to vacuum. The influence of parameters affect on vacuum pump efficiency, temperature pressure of air and heat transfer rate. The result presents the relation between temperature and pressure of air at a variety of cooling water temperature for vacuum pump efficiency. This use for guide and design the drying at variety of temperature and the pressure which use optimize parameters for cooling water in vacuum pump, high system efficiency and save energy.

Keywords: Experimental, Vacuum pump efficiency, Vacuum heat pump dryer.

1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทอบแห้งได้มี ความน่าสนใจและนิยมเพิ่มขึ้น จึงได้มีเทคโนโลยีในการอบแห้งหลากหลายประเภท เช่น การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งแบบลมร้ อน และการอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นอีกหนึ่งประเภทที่ยอมรับและน่าสนใจเพราะลักษณะจำเพาะของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ มีอัตราการลดความชื้นที่รวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ และการไม่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ในห้องอบแห้งทำให้ช่วยในการรักษา

คุณภาพของวัสดุ เช่น รูปร่าง สี กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการ [1] ข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ การใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย [2] และได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้ง ตลอด เช่น การออกแบบปั้มหัวฉีดสำหรับประยุกต์เพื่อใช้งานกับเครื่องอบแห้งสุญญากาศ เป็นการออกแบบสร้างทดสอบปั้มหัวฉีดสำหรับทดสอบการอบแห้งสุญญากาศเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั้มหัวฉีดน้ำเพื่อเลือกชุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ในการทดสอบอบแห้งสุญญากาศ [5] สมรรถนะการอบพริกด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมปั้มความร้อน เป็นการออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อนสามารถสร้างเครื่องอบแห้งสุญญากาศที่ใช้ปั้มความร้อนเป็นแหล่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและแหล่งเย็นสำหรับหล่อเย็นปั้มสุญญากาศ ทำให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง การหดตัว การคืนรูป สี และ ลักษณะของพื้นผิวพริก พบว่าเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อความดันในการอบแห้งลดลงหรืออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การหดตัวและการคืนรูปไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้ นการหดตัวจะเพิ่มขึ้นส่วนการคืนรูปจะ ลดลง [4] การอบแห้งโดยกระบวนการสุญญากาศมีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการอบแห้งโดยกระบวนการลมร้อน ดังนั้นอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุ ภายใต้กระบวนการอบแห้งแบบสุญญากาศ จากที่ได้กล่าวไปจะเห็นได้ว่า การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุอย่างเดียวนั้นไม่ได้หมายความว่าเครื่องอบแห้งสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพที่ดี ความเร็วรอบและคุณสมบัติของไหล เช่น อุณหภูมิ ความดัน มีผลต่อการทำงานของปั้มสุญญากาศ[3]

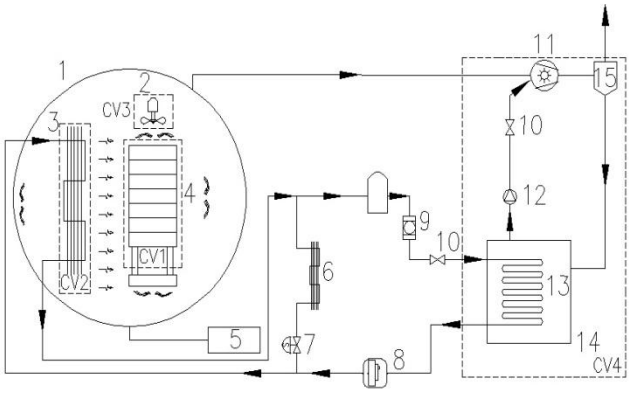
งานวิจั ยนี้จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับ อิทธิพล การระบายความร้อน อุณหภูมิ ความดันของอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปั้มสุญญากาศ ในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมปั้มความร้อนเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพปั้มสุญญากา ศ อีกอย่างยังเป็นแนวทางในการเลือกการใช้ งานและออกแบบระบบอบแห้งสุญญากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

2. **เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ทดลองในงานวิจัยเป็นเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อนได้ถูกออกแบบและสร้างภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังแสดงในรูปที่ 1 รูปเครื่อง และไดอะแกรมรูปเครื่องตามรูปที่ 2

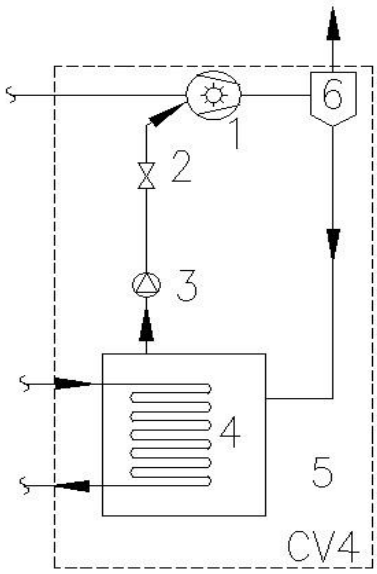
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับปั้มความร้อน



รูปที่ 2 ส่วนประกอบ วงจรการทำงานและปริมาตรควบคุมของเครื่องอบแห้ง(1)dryer chamber,(2)blower,(3)internal condenser,(4)load cell,(5)condensate

collector,(6)external condenser,(7)solenoid valve,(8)compressor ,(9)filter dryer,(10) expansion valve,(5)evaporator,(6) compressor,(7)solenoid valve,(11)vacuum pump,(12)service liquid pump,(13) evaporator,(14)cooling water tank,(15) separator

ซึ่งประกอบด้วย อบแห้งทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางของ 1 เมตร ความยาว 1.2 เมตร คอนเดนเซอร์ในห้องอบขนาด 3.4 กิโลวัตต์ คอนเดนเซอร์ภายนอกขนาด 2.8 กิโลวัตต์ คอมเพรสเซอร์ขนาด 1.9 กิโลวัตต์ ปั๊มสุญญากาศขนาด 1.4 กิโลวัตต์ และถังน้ำหล่อเย็นขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.3 เมตร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบปั๊มสุญญากาศในเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อนดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาตรควบคุม 4 (1) vacuum pump, (2) valve, , (3) service liquid pump, (4) evaporator, (5) cooling water tank, (6) separator

2.1 วิธีการทดลอง

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดต่างๆตั้งต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในห้องอบแห้ง
2. อุณหภูมิที่ทางเข้าน้ำหล่อเย็นของปั๊มสุญญากาศ
3. อุณหภูมิที่ทางออกน้ำหล่อเย็นของปั๊มสุญญากาศ
4. อัตราการไหลที่ทางเข้าของปั๊มสุญญากาศ
5. ความดันในห้องอบ
6. ความดันทางออกของปั๊มสุญญากาศ
7. กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน

เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรต่างที่จะใช้คำนวณในทฤษฎี เมื่อทำการติดตั้ง อุปกรณ์ในการวัดต่างๆ แล้วทำการตั้งค่าต่างๆในการทดลองดังต่อไปนี้

1. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิอบแห้ง 50,55,60 °C ความดัน 0.2-0.5 bars และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 18 °C
2. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิอบแห้ง 50,55,60 °C ความดัน 0.2-0.5 bars และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 20 °C
3. ทำการท ดลองและเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิอบแห้ง 50,55,60 °C ความดัน 0.2-0.5 bars และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 22 °C

แล้วนำ ข้อมูลจากการทดลอง ไปคำนวณตาม สมการที่ (1)และ (2)เพื่อหาประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศหาได้จาก

$$\eta = \frac{P_{is}}{P} \qquad (1)$$

η : isothermal copling efficiency

P : driving power(kW)

P_{is} : isothermal compression power (kW)

และ P_{is} หาได้จาก

$$P_{is} = \frac{10^{-3}}{27} \times p_a \times \dot{S} \times \ln \frac{p_e}{p_a} \text{(kW)} \qquad (2)$$

$\dot{S}$: suction capacity at suction pressure p_a $\left(m^3/hr\right)$

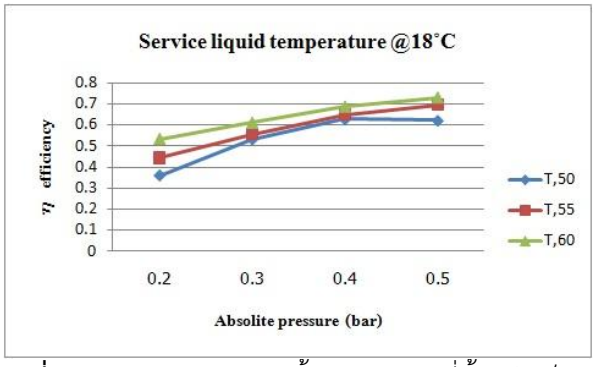
p_a : suction pressure Torr (mmHg (abs))

p_e : compression pressure Torr (mmHg (abs))

$\frac{10^{-3}}{27}$: conversion constant

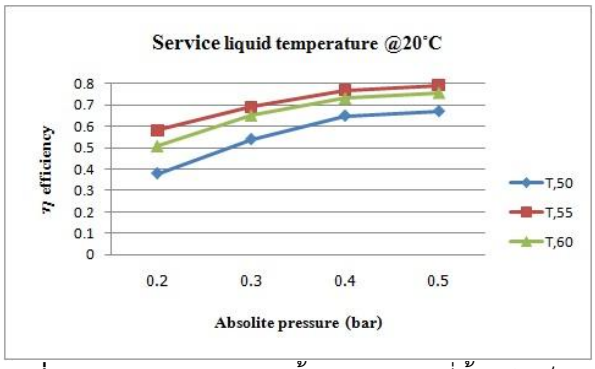
3. ผลการทดลอง

จากการทดลอง อบแห้ง สุญญากาศร่วมกับปั๊มความร้อนโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองที่สภาวะน้ำหล่อเย็นของปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 18 °C, 20 °C และ 22 °C ได้ผลดัง แสดงใน รูปที่ 4 ถึง 6 และจะเห็นว่าประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศเพิ่มขึ้นเมื่อความดันในห้องอบแห้ งเพิ่มขึ้นที่สภาวะอุณหภูมิ อบแห้งต่างๆดังนี้ อุณหภูมิอบแห้งที่ทำให้ปั๊มสุญญากาศ มีประสิทธิภาพ สูงที่สภาวะน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 18 °C คือ 60 °C, 55 °C และ 50 °C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4



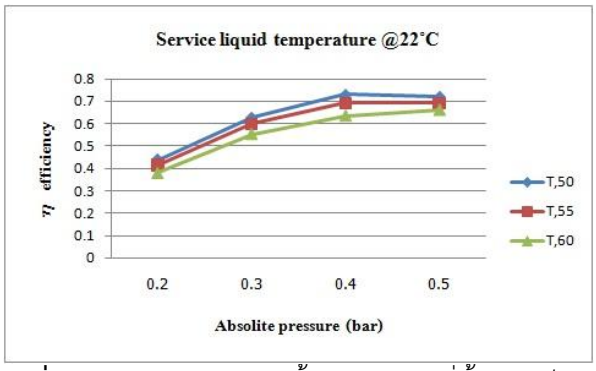
รูปที่ 4 แสดงประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศที่น้ำหล่อเย็น 18 °C ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C, 55 °C และ 50 °C

อุณหภูมิอบแห้งที่ทำให้ปั๊มสุญญากาศมีประสิทธิภาพสูง ที่สภาวะน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 20 °C คือ 55 °C, 60 °C และ 50 °C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศที่น้ำหล่อเย็น 20 °C ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C, 55 °C และ 50 °C

อุณหภูมิอบแห้งที่ทำให้ปั๊มสุญญากาศมีประสิทธิภาพสูง ที่สภาวะน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศเท่ากับ 18 °C คือ 50 °C, 55 °C และ 60 °C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศที่น้ำหล่อเย็น 20 °C ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C, 55 °C และ 50 °C

4. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อน ทดลองโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ในช่วง 50 - 60 °C ความดัน 0.2-0.5 bars และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศ เท่าอยู่ในช่วง 18 - 22 °C จากการศึกษาพบว่าเมื่อความดันในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ ที่สภาวะอุณหภูมิอบแห้งต่างๆ น้ำหล่อเย็นต่างๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพปั๊มสุญญากาศสูงดังต่อไปนี้

1. ที่สภาวะอุณหภูมิอบแห้ง 60 °C อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมคือ 18 °C
2. ที่สภาวะอุณหภูมิอบแห้ง 55 °C อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมคือ 20 °
3. ที่สภาวะอุณหภูมิอบแห้ง 50 °C อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมคือ 22 °

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถ ช่วยเป็นแนวทางในการออ กแบบหรือการตัดสินใจในการอบแห้ง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงานได้

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย เบญจปิยะพร อาจารย์ที่ปรึกษา และ อ.ดร. อภิชาติ อาจนาเสียว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำที่ปรึกษา แนะนำ และตรวจสอบ แก้ไข จนลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน (EMCO) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าลงทะเบียนบทความวิชาการและอื่นๆ ตลอดจนบทความนี้สำเร็จไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Alibas I.(2007). Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. Journal of Agricultural Engineering Research, 96, 495–502.

[2] Zhangjing C; Fred M L (2001). Vacuum drying of small wood components at room temperature. Forest Products Journal, 51(10), 55–57.

[3] John F. O'Hanlon.(1937). A User's Guide to Vacuum Technology. John Wiley & Sons, New York: Chichester.Brisbane.Toronto.

[4] Apichart Artnaseaw.(2010). Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Khon Kaen University.

[5] สัมพันธ์ ไชยเทพ และ พยุงศักดิ์ บุญสิทธิ์ . (2545). การออกแบบปั๊มหัวฉีดน้ำสำหรับประยุกต์เพื่อใช้กับเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ . การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, (14–16 ตุลาคม),มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี, ภูเก็ต หน้า TF124.