



การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Efficiency Enhancement of Drying Process using Heat Pump Dryer and Heat Exchanger

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา* อภินันต์ นามเขต และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา
Praphanpong Somsila*, Apinunt Namkhat and Umphisak Teeboonma

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

*E-mail : praphanpong.so.63@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยเลือกใช้ปลานิลเส้นในทดสอบการอบแห้งภายใต้เงื่อนไข อุณหภูมิอบแห้ง 45, 50 และ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในส่วนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ประกอบไปด้วย อัตราการอบแห้ง อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน จากการทดลองพบว่า การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลมส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน และอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลมไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน

คำสำคัญ : ปั๊มความร้อน การอบแห้ง ปลานิล อัตราการไหลของน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

Abstract

This research aims to study the optimization of drying with heat pump dryers in conjunction with heat exchangers. Tilapia noodles are chosen for drying tests under conditions with drying temperatures of 45, 50 and 55 degrees Celsius. Wind speeds of 1.0, 1.5 and 2.0 meters per second and heat exchanger devices the parameters used to analyze the results of the experiment include drying rate. Specific water drawn-out rate the experiment showed that installing heat exchangers can also improve drying efficiency. By an increase in drying temperature or wind speed, resulting in an increase in the drying rate. The power of the heat pump dryer and the specific water drawn rate are increased. While the consumption of specific energy has a decrease in value. It was also found that drying temperature or wind speed had no effect on the heat pump performance coefficient.

Keywords : Heat Pump, Drying, Tilapia, Water Flow Rate, Heat Exchanger



บทนำ

กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการในการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้สามารถเก็บรักษาได้นานมากยิ่งขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง เนื่องด้วยการจำหน่ายผลิตภัณฑ์สดโดยส่วนมากมีราคาจำหน่ายที่ค่อนข้างน้อยกว่าราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปด้วยกระบวนการอบแห้ง เช่น การจำหน่ายปลานิลสดกับการแปรรูปเป็นปลานิลแดดเดียว การพัฒนาเนื้อหมูเป็นเนื้อหมูแดดเดียว การแปรรูปและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยการอบแห้ง เป็นต้น จากคำกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการอบแห้งอย่างเห็นได้ชัด กระบวนการอบแห้งในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยพลังงานชีวมวล การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน เป็นต้น Huelsz and Rechtman (2013) รายงานว่าเป็นที่ทราบกันดีว่าการอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ สำหรับการลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งให้ได้มากยิ่งขึ้น สำหรับเทคนิคการอบแห้งที่ถือได้ว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงคือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน เนื่องด้วยกระบวนการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนสามารถกำจัดความชื้นในอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งได้ด้วยกระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ตำแหน่งอีวาโปเรเตอร์ ส่งผลให้อากาศที่ใช้ในการไหลเวียนในระบบปิดสำหรับกระบวนการอบแห้งมีความชื้นในระดับต่ำ โดยมีผู้ศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้ Taseri et al. (2018) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดจลนศาสตร์การอบแห้งและพารามิเตอร์คุณภาพของกากองุ่นที่ทำให้แห้งด้วยเครื่องปั๊มความร้อนสรุปได้ว่าความเร็วลมในการอบแห้งมีผลเล็กน้อยต่อเวลาในการอบแห้ง แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเกี่ยวกับการใช้พลังงานของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน Singh et al. (2019) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบปั๊มความร้อนแบบแบทช์เครื่องเป่าโดยใช้สารทำความเย็น GWP ต่ำ ศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัตราการดึงความชื้นสูงสุดสำหรับ R32 อัตราการระเหยความชื้นเฉพาะสูงสุดสำหรับ R152a การใช้พลังงานเฉพาะคือต่ำสุดสำหรับ R152a ประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดสำหรับ R152a (ค่าเฉลี่ยคือ 29.74%) และการทำลายแบบ Exergy ต่ำสุดสำหรับ R152a Sian and Wang (2019) ทำการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องอบผ้าแบบปั๊มความร้อน CO₂ และ R-134a ผลจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีการเพิ่มขึ้น 13% และ 8% ในอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ (SMER) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (COP) ส่งผลให้ลดเวลาในการอบแห้งลง 15% นอกจากนี้แม้ว่าการศึกษาเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในภายหลังเกี่ยวกับประสิทธิภาพชั่วคราวของทั้งสองระบบพบว่ามีผลกระทบที่คล้ายคลึงกัน Artnaseaw et al. (2009) ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนสุญญากาศสำหรับการอบแห้งพริก ผลจากการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์การอบแห้งเช่นความดันและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งและเวลาการอบแห้ง และเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นความดันการอบแห้งลดลง Yang et al. (2016) ทดลองควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งและความร้อนสูงพร้อมกันสำหรับเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนแบบวงปิด ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ต่ำเสียบของคอนเดนเซอร์ในร่มและกลางแจ้งให้ความผันผวนที่เล็กกว่ารูปแบบของ Superheat คือ ตรวจสอบเมื่ออุณหภูมิของห้องอบแห้งเปลี่ยนจากอุณหภูมิแวดล้อมเป็น 25/30 °C ตั้งแต่ 25-30°C และจาก 30-25 °C ตามลำดับ Wang et al. (2011) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเครื่องอบแห้งเค้กด้วยปั๊มความร้อนอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้กระบวนการอบแห้งเร็วขึ้น แต่ในระยะแรกของกระบวนการอบแห้งปั๊มความร้อนปริมาณน้ำของเค้ก Hawthorn ไม่ไวต่ออุณหภูมิการอบแห้ง ดังนั้นจึงสามารถใช้อุณหภูมิอากาศแห้งที่ต่ำกว่าเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (COP) ของปั๊มความร้อน Tunckal and Doymaz (2020) วิเคราะห์ประสิทธิภาพและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขึ้นกล้วยในปั๊มความร้อนระบบอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการแพร่กระจายอยู่ในช่วง 1.12×10^{-10} ถึง 1.64×10^{-10} m²/s การพังพา การกระจายตัวของความชื้นบน อุณหภูมิถูกอธิบายโดยสมการประเภท Arrhenius และพบว่า

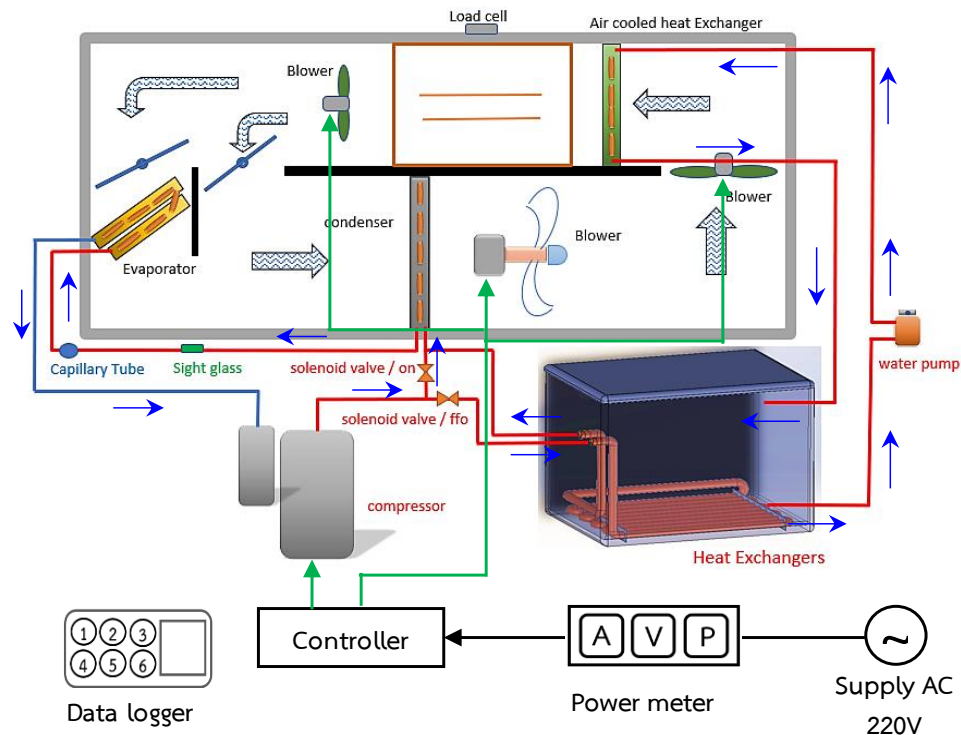
พลังงานการเปิดใช้งานเป็น -51.45 กิโลจูล/โมล ของอัตราส่วนการดึงน้ำออกเพาะเฉลี่ยสูงสุด (SMER) และสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (COP) ของระบบ HPD ได้รับเป็น 0.212 และ 3.059 กิโลกรัม/กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งทำโดยการนำความร้อนของสารทำความเย็นให้มีการระบายทิ้งที่ตำแหน่งคอนเดนเซอร์ตัวที่อยู่ด้านนอก (External condenser) ซึ่งความร้อนดังกล่าวไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ต่อแต่อย่างใด ดังนั้น สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาการใช้พลังงานในส่วนที่ระบายทิ้งด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน

วิธีการวิจัย

1. ชุดทดลอง

ชุดทดลองเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งจะสามารถอธิบายส่วนประกอบในแต่ละส่วน และหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่มีการเลือกใช้สารทำความเย็น R32 เป็นสารทำความเย็นสำหรับเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ขนาด 0.75 kW พัดลมหมุนเวียนอากาศในระบบขนาด 0.21 kW ปั๊มสูบน้ำขนาด 12 VDC/5 A และถังเก็บน้ำร้อนขนาด $0.30 \times 0.58 \times 0.36$ m อุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก (โพลลเซลล์) และชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดทดลองปั๊มความร้อนร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (งานวิจัย)

การทำงานของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน เริ่มต้นจากอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะไหลผ่านคอนเดนเซอร์เพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็น ซึ่งจะมีผลทำให้สารทำความเย็นควบแน่นในขณะที่อากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนก็จะทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์



ระเหยออกมายังผิววนอก และถูกอากาศพัดพาออกจากห้องอบแห้ง อากาศที่ไหลออกจากห้องอบแห้งจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิจะลดลง หลังจากนั้นอากาศชื้นนี้บางส่วนจะไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ อากาศชื้นที่ไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์จะถูกลดอุณหภูมิ ต่ำลง จนกระทั่งเกิดการควบแน่นของน้ำ และในขณะเดียวกันด้านการทำงานของสารทำความเย็นก็จะส่งผลให้สารทำความเย็นเกิดการระเหยตัวกลายเป็นไอ และไอก็จะถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นซึ่งจะทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นอากาศที่ไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ก็จะมารับความร้อนที่คอนเดนเซอร์และไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งต่อไป ในส่วนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน เริ่มต้นจากความร้อนเหลือทิ้งจากการควบคุมอุณหภูมิที่ห้องอบแห้งกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเกินค่าที่กำหนด โซลินอยด์ที่ดันสารทำความเย็นเข้าคอนเดนเซอร์จะปิดและโซลินอยด์ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเปิด จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ในถังเก็บน้ำ ส่งผลให้น้ำได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ ต่อมาเมื่อน้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำการสูบน้ำร้อนไปที่แผงน้ำด้านบนภายในห้องอบแห้งเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนให้ห้องอบแห้งส่งผลให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นเมื่อน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนเรียบร้อยแล้ว จะไหลเวียนกลับมาที่ถังเก็บน้ำตามเดิม ซึ่งกระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนก็จะหมุนเวียนต่อเนื่องเช่นนี้ จนกระทั่งความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ตามที่ต้องการ ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะควบคุมโดยมีคอนเดนเซอร์อีกชุดซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกห้องอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงเกินค่าที่กำหนด โซลินอยด์วาล์วจะเปิดเพื่อให้สารทำความเย็นไหลไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ชุดนอกและในขณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลง โซลินอยด์วาล์วก็จะปิดเพื่อให้สารทำความเย็นไหลเข้ามาระบายความร้อนให้กับห้องอบแห้งเช่นเดิม

ตารางที่ 1 เครื่องมือวัดและคุณสมบัติที่ใช้ในการทดลอง

Devices	Technical properties	Accuracy
Heat pump	3.5 kW, 50 Hz, Compressor power 0.75 kW, R32 refrigerant	-
Fan	0.125 kW (Sum all fan), 50 Hz, Speed adjustment	-
Electricity meter	Power, Amp, Volt, PF, Hz, Supply 220V, 50Hz	±1%
Temperature/Thermocouple	Temperature: -40 - +120 °C/Type K -200-1300 °C	±2 °C /±0.01 °C
Relative Humidity (%RH)	Relative humidity: 0-100%	±4 %RH
Anemometer	Range 0-20 m/s	± 0.01m/s
Load cell	Output (mV/V) 2.0, 5-12V, 10kg	±0.02%
Pressure gauge	Measuring pressure maximum 55 bar	±3%

2. วิธีการทดลอง

การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 มีเงื่อนไขการทดลอง ประกอบไปด้วย อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 45, 50 และ 55 °C และความเร็วลมภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ตามลำดับ ซึ่งแต่ละเงื่อนไขการทดลองได้ทำการอบแห้งปลาเนื้อแห้งที่มีความชื้นและน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากัน โดยทำการอบแห้งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลประกอบด้วย



อุณหภูมิความดันสารทำความเย็น การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และพลังงานไฟฟ้า โดยตัวแปรทุกค่าใช้เซ็นเซอร์ ในการตรวจวัดและต่อเข้ากับชุดบันทึกข้อมูล ในส่วนความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของปลานิลเส้นใช้วิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC สำหรับการดำเนินการทดลองเริ่มต้นจากเปิดเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนและเดินระบบการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นปรับตั้งอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมรวมทั้งกดบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ และเดินเครื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งพิจารณาจากค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการบันทึกเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วก็นำปลานิลเส้นเข้าห้องอบแห้งและดำเนินการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3. การวิเคราะห์ผล

ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง ประกอบไปด้วย ความชื้น Moisture Content, (MC) สัดส่วนความชื้น Moisture Ratio, (MR) อัตราการอบแห้ง Drying Rate, (DR) อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ Specific Moisture Extraction Rate, (SMER) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, (SEC) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน Coefficient Of Performance Of Heat Pump, (COP_h) โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1-6

$$MC = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (2)$$

$$DR = \frac{m_i - m_f}{T} \quad (3)$$

$$SMER = \frac{m_i - m_f}{E} \quad (4)$$

$$SEC = \frac{3.6E}{m_i - m_f} \quad (5)$$

$$COP_h = \frac{Q_c}{P_c} \quad (6)$$

โดยที่ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (%dry basis)

m_i คือ น้ำหนักเริ่มต้น (kg)

T คือ เวลาที่ใช้ (min)

Q_c คือ ความร้อนที่คอนเดนเซอร์ (kW)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (%dry basis)

m_f คือ น้ำหนักสุดท้าย (kg)

E คือ พลังงานที่ใช้ (kWh)

P_c คือ กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)

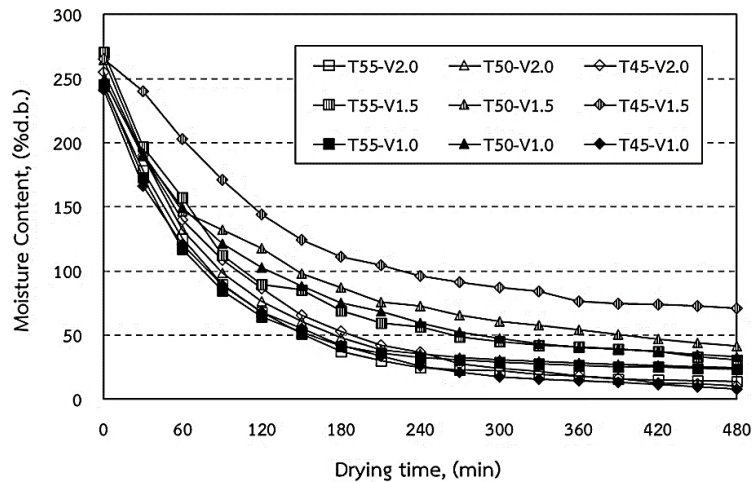
ผลการวิจัย

การทดลองอบแห้งปลานิลเส้นโดยใช้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 45, 50 และ 55 °C และความเร็วลมเท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ตามลำดับ มีผลการศึกษาดังนี้

ภาพที่ 2 แสดงค่าความชื้นที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยมีความชื้นเริ่มต้นของปลานิลเส้นอยู่ที่ 270.70-241.46%db โดยจะทำการอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 25.27%db จากข้อมูลการทดลองพบว่า การปรับอุณหภูมิและความเร็วลมเพิ่มขึ้น

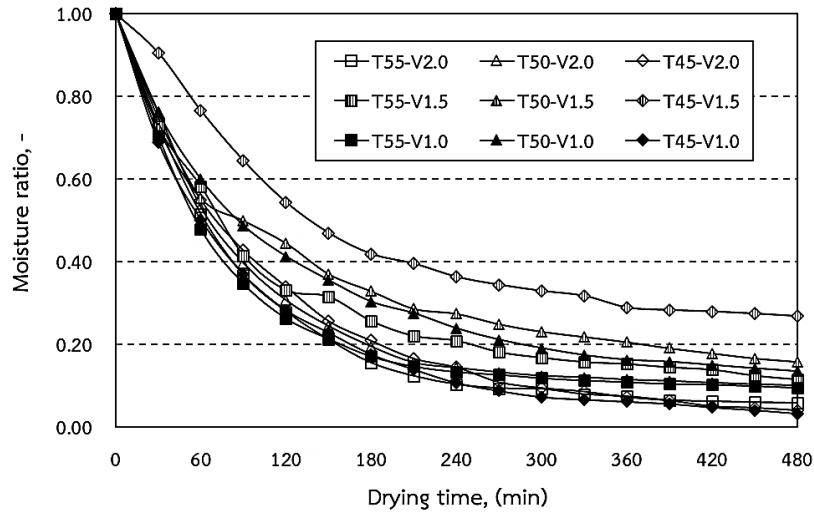


ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าที่ลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับอย่างต่อเนื่องและสมดุลของอุณหภูมิอบแห้งทำให้ความชื้นผลิตภัณฑ์จะถูกกลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน โดยลักษณะของการแห้งตัวจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 300-360 นาทีเป็นต้นไป เนื่องจากผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนมีผลต่อผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก กล่าวคือเมื่อผลิตภัณฑ์รับความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ซึ่งหากพิจารณาจะพบว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ๆ ความชื้นจะลดลงเร็วกว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C ใช้เวลาในการอบแห้งที่สุก ร่องลงมาคือ 50 และ 45 °C ตามลำดับ

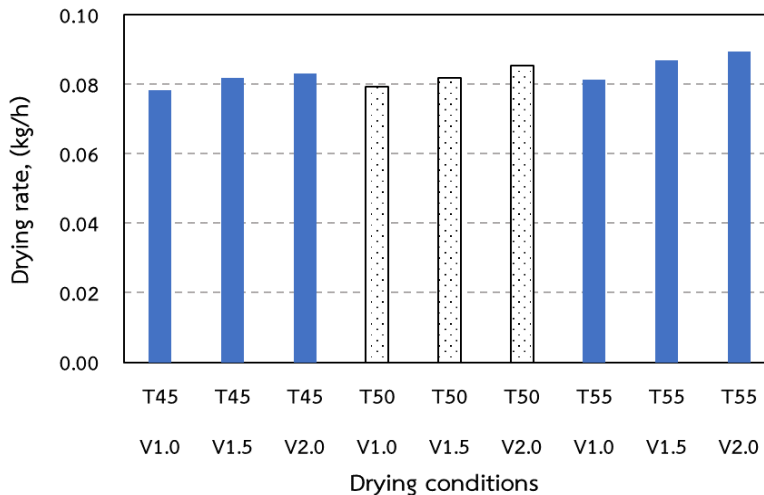


ภาพที่ 2 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลการทดลองพบว่า อัตราความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเกิดจากได้รับค่าความร้อนที่สูงขึ้น โดยเมื่อมีการปรับอุณหภูมิและความเร็วลมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าที่ลดลงและยังส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการลดลงของความชื้นผลิตภัณฑ์อบแห้งยังมีค่าที่สอดคล้องกับหลักการถ่ายเทความร้อนกล่าวคือความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์ยังมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามและยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งมีการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากยิ่งขึ้น ดังข้อมูลในภาพที่ 4 ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมให้สูงขึ้นระยะเวลาการอบแห้งจะสั้นลงนั่นเอง โดยอุณหภูมิที่ 55 °C ใช้เวลาน้อยที่สุด ร่องลงมาคือ 50 °C และ 45 °C ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนในห้องอบแห้งสามารถช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้ห้องอบได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การอบแห้งในช่วงแรกที่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในข้อมูลที่ 4 และ 6 ตามลำดับ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากห้องอบแห้งได้รับความร้อนจาก 2 แหล่ง ได้แก่ คอนเดนเซอร์ที่ได้รับความร้อนจากการอัดสารทำความเย็นและถ่ายเทความร้อนผ่านการไหลของอากาศด้วยพัดลม และระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนเหลือทิ้งของระบบให้กับน้ำแล้วสูบน้ำร้อนดังกล่าวไปช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้กับห้องอบแห้ง

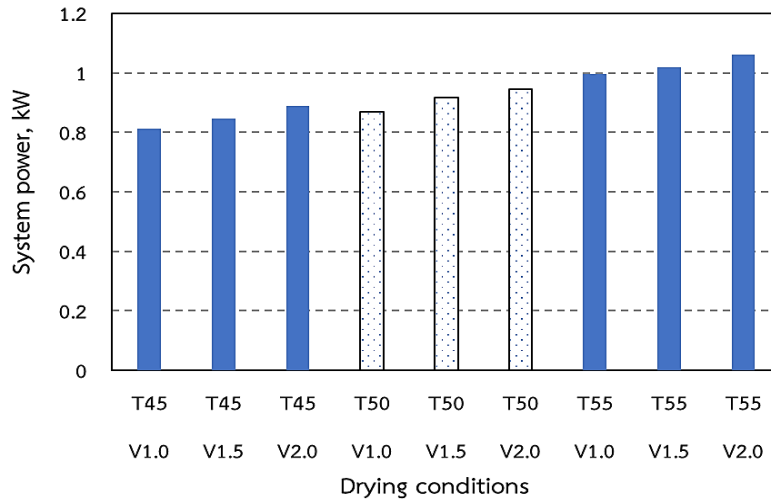


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง



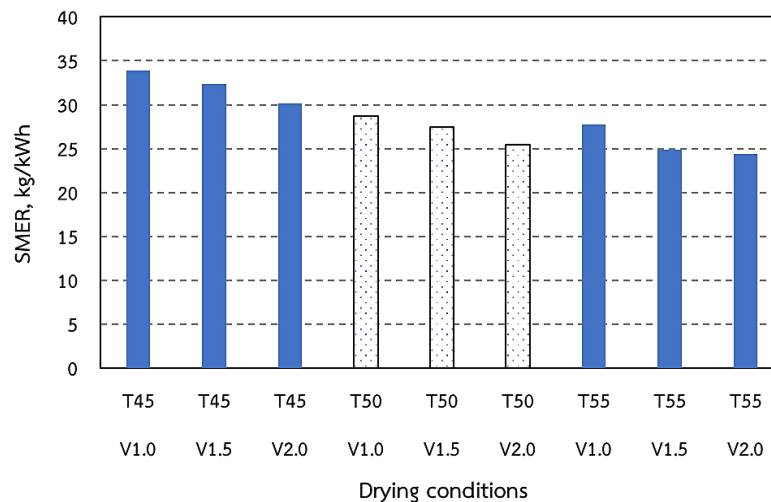
ภาพที่ 4 อัตราการอบแห้งที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 5 แสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมหรืออุณหภูมิอบแห้งจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องอัดความดันให้สารทำความเย็นมีความดันสูงเพียงพอและสอดคล้องกับอุณหภูมิไออิ่มตัวเพื่อให้ได้อุณหภูมิอบแห้งตามที่ต้องการ และในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้ภาระความร้อนที่ไอวาโปเรเตอร์เพิ่มขึ้น ระบบต้องฉีดสารทำความเย็นในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และในทำนองเดียวกัน หากเพิ่มความเร็วลมก็จะส่งผลให้ภาระความร้อนที่ไอวาโปเรเตอร์เพิ่มขึ้น ระบบจะต้องฉีดสารทำความเย็นในปริมาณที่มากขึ้นเพียงพอ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ระบบใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนั้นข้อมูลในภาพที่ 5 ยังบ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10% จะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5-7% ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วลม 50% จะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 3-5% ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนมากกว่าความเร็วลม



ภาพที่ 5 กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

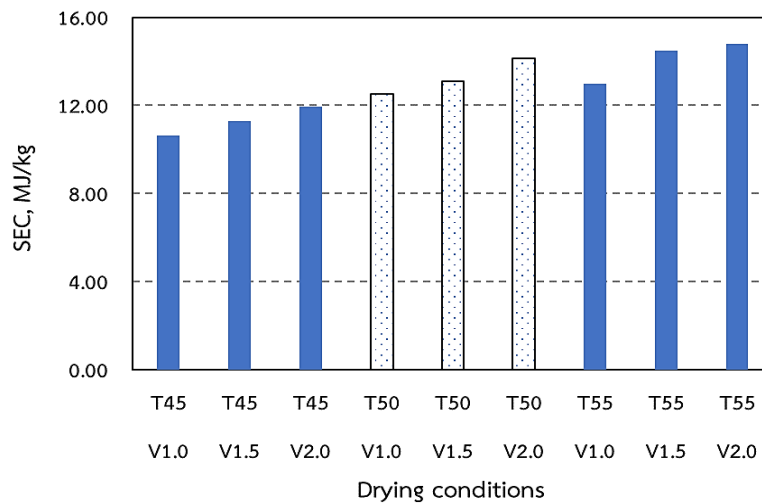
ภาพที่ 6 แสดงอัตราการดื่งน้ำออกจำเพาะของเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลการทดลองจะพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมจะมีผลทำให้อัตราการดื่งน้ำออกจำเพาะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในภาพที่ 7 โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้อัตราการดื่งน้ำออกจำเพาะมีค่าที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจะมีค่าลดลง



ภาพที่ 6 อัตราการดื่งน้ำออกจำเพาะที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

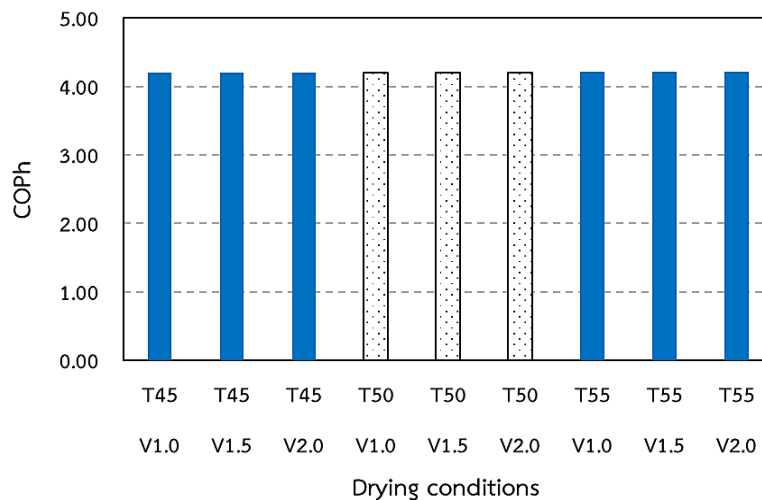
ภาพที่ 7 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะนั้นมีผลสอดคล้องกับกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนดังภาพที่ 5 ด้วยเช่นกัน กล่าวคือ เมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานก็จะเพิ่มขึ้นตาม แต่ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้

อัตราการอบแห้งลดลงดังข้อมูลในภาพที่ 4 ทั้งนี้ ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้สูงขึ้นทำให้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง และยังมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณ 5-10% ในส่วนนี้การใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลต่อประสิทธิภาพของการอบแห้งมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 8 แสดงสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งที่บ่มความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งที่บ่มความร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปให้คอมเพรสเซอร์ในการเพิ่มอุณหภูมิสำหรับใช้ในการอบแห้งนั้นมีค่าการแปรผันของพลังงานในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งที่บ่มความร้อนเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



ภาพที่ 8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะที่บ่มความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาเครื่องอบแห้งบ่มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 เป็นสารทำงาน ซึ่งเลือกใช้ปลานิลเส้นเป็นตัวอย่งในการทดสอบ โดยมีเงื่อนไขการทดลองประกอบด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 45, 50 และ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบบ่มความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นยังส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งบ่มความร้อน และอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง และยังพบว่าอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลมมีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะบ่มความร้อนน้อยมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Artnaseaw, A., Theerakulpisut, S. and Benjapiyaporn, C. (2009). Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli. *Biosystems engineering*, 105(1), 130-138.
- Huelsz, G. and Rechtman, R. (2013). Heat transfer due to natural convection in an inclined square cavity using the lattice Boltzmann equation method. *International Journal of Thermal Sciences*, 65, 111-119.
- Sian, R. A. and Wang, C. (2019). Comparative study for CO₂ and R-134a heat pump tumble dryer-A rational approach. *International Journal of Refrigeration*, 106, 474-491.
- Singh, A., Sarkar, J. and Sahoo, R. R. (2019). Comparative analyses on a batch-type heat pump dryer using low GWP refrigerants. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 1-13.
- Taşeri, L., Aktaş, M., Şevikc, S., Gülcüa, M., Seçkina, G. U. and Aktekelid, B. (2018). Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer. *Food Chemistry*, 260, 152-159.
- Tunckal, C. and Doymaz, I. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. *Renewable Energy*, 150, 918-923.
- Wang, D. C., Zhang, G., Han, Y.P., Zhang, J.P. and Tian, X. L. (2011). Feasibility analysis of heat pump dryer to dry hawthorn cake. *Energy Conversion and Management*, 52, 2919-2924.
- Yang, Z., Zhu, Z. and Zhao, F. (2016). Simultaneous control of drying temperature and superheat for a closed-loop heat pump dryer. *Applied Thermal Engineering*, 93, 571-579.