



อิทธิพลของเงื่อนไขการอบแห้งที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้ง และคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้ง

Effects of Drying Conditions on Drying Performance and quality of dried sliced bananas

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 50200

โทร 053-944146 โทรสาร 053-944145; E-mail; siva@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขการอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้ง การศึกษานี้ดำเนินการทดลองโดยการติดตั้งระบบปั๊มความร้อน 2 ระบบให้กับเครื่องอบแห้ง ระบบแรกคือเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนชนิดความเร็วรอบเครื่องอัดไอแปรผันซึ่งใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดไอเพื่อปรับอัตราการไหลของสารทำงานให้เหมาะสมกับการระเหยภายในห้องอบแห้ง ระบบที่สองคือ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนชนิดความเร็วรอบเครื่องอัดไอคงที่ซึ่งใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่โดยการระบายความร้อนส่วนเกินออกจากห้องอบแห้งด้วยเครื่องควบแน่นที่ติดตั้งอยู่ภายนอก กล้วยน้ำว้าแผ่นที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30-35 มิลลิเมตร และมีความหนาต่อชิ้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าแผ่นจะอยู่ประมาณ 208-250 %dry-basis ทำการอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 16% dry-basis ทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C 50 °C และ 60 °C โดยมีสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80% ตามลำดับ ระบบการทำงานของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นระบบปิด ความเร็วลมที่หน้าห้องอบแห้งคงที่เท่ากับ 1.27 เมตรต่อวินาทีจากผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์ มีสมรรถนะของการอบแห้งสูงกว่า โดยมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยมากกว่า 82% อัตราการดึงความชื้นออกจากอากาศที่ใช้ในการอบแห้งสูงกว่า 56% อัตราการดึงความชื้นจำเพาะเฉลี่ยมากกว่า 165 % และสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่ใช้พลังงานของปั๊มความร้อนเฉลี่ยสูงกว่า 41% สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์เพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบต่อเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้คอนเดนเซอร์ภายนอก และจากการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพด้านสีพบว่า การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทั้ง 2 วิธีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ไปจากสีเนื้อกล้วยน้ำว้าก่อนการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิม ภายได้เงื่อนไขการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิเท่ากัน

Abstract

This present study was conducted for studying the effects of the drying conditions on drying performance and quality of dried sliced bananas. There were two systems of heat pump in the same dryer. The first system was the variable speed drive heat pump dryer (VSD-HPD) which used an inverter to control the speed of the compressor for adjusting the refrigerant mass flow rate to be the suitable for the heating load inside the drying chamber. The second system is the bypass working fluid heat pump dryer (BWF-HPD) which used an external condenser to reject the excess heat to the ambient. The sliced bananas were used as the testing materials. Each sliced bananas had 30-35 mm. in diameter and 5 mm. in thickness. The initial and final moisture content were 208-250% and 16% dry-basis, respectively. The experiments were carried out by using the closed loop system. The drying conditions were the drying temperature of 40°C, 50°C, and 60°C, the fractions of evaporator bypass air of 60%, 70%, and 80%, and the constant air velocity of 1.27 m/s. Experimentally, the criteria for evaluating of the performance were the average drying rate (DR_{avr}), the specific moisture extraction rate ($SMER_{avr}$), and the useful coefficient of performance of heat pump dryer ($COP_{hpd-used}$). It could be presented that the VSD-HPD had higher performance than BWF-HPD. The percentage of the DR_{avr} , $SMER_{avr}$, and $COP_{hpd-used}$ were higher than 56%, 165%, and 41%, respectively. Moreover, it could be concluded that the fraction of evaporator bypass air slightly effected on the performance of the VSD-HPD, but it significantly effected on the performance of the BWF-HPD. Finally, it was found that the changing of color of dried sliced bananas using heat pump dryers was less than using conventional hot air dryer under the same drying air temperature.

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทยมีมาก เครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ที่มีใช้กันมาก คือ เครื่องอบแห้งด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น ก๊าซ, น้ำมันและ ถ่านหินแต่วิธีเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศเพราะมีปัญหาเรื่องการเผาไหม้ บางครั้งพบว่ามึกลิ่นและ มีสารปนเปื้อนติดเนื้อผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้ขดลวดไฟฟ้าอบแห้งเพียงอย่างเดียว มีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก เพราะมีการทิ้งความร้อนออกไปกับอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง และยังต้องรับอากาศสด(Fresh Air) เข้ามาในระบบซึ่งอาจทำให้มีสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในระบบได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีของเครื่องอบแห้ง เพื่อทำการเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ยกระดับราคาสินค้าส่งออกและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีบทบาทที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรของประเทศไทย เทคโนโลยีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนถือว่ามีความเหมาะสมในการอบแห้งผลไม้เพราะทำงานเป็นระบบปิดได้โดยการทิ้งความชื้นที่รับมาจากวัสดุด้วยการควบแน่นของไอน้ำใน

อากาศที่เครื่องทำระเหย จึงให้ทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์และยังใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะมีการฟื้นคืนความร้อนจากอากาศหลังออกจากห้องอบแห้ง เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ใช้วิธีระบายความร้อนส่วนเกินด้วยการบายพาสสารทำความเย็นไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก (Bypass Working Fluid Heat Pump Dryer, BWF-HPD) ส่วนเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยคือแบบที่ใช้วิธีแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระทำความร้อนโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ(Vary Speed Drive Heat Pump Dryer ,VSD-HPD) ที่ได้พัฒนาขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งยังขาดข้อมูลจากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบดังกล่าว ที่สามารถนำมาใช้เป็นเหตุผลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในระดับอุตสาหกรรม เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน มีข้อดีหลายประการดังนั้นจึงมีนักวิจัยมากมายได้ทำการทดลองและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน จากการ

สำรวจและศึกษาวรรณกรรมวิจัย ที่เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้ระบบปิด สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ดังนี้คือ

กลุ่มแรกจะเป็นการศึกษาที่เน้นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลและประเมินสมรรถนะของการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เพื่อหาเงื่อนไขการอบแห้ง(Drying Condition) ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน ซึ่งในกลุ่มนี้เครื่องอบแห้งนั้นจะเป็น BWF-HPD ที่มีวงจรอากาศเป็นระบบปิด ส่วนมากงานวิจัยในกลุ่มนี้มักใช้สารทำความเย็น R22 เป็นสารทำงาน การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะใช้การระบายความร้อนส่วนเกินออกจากห้องอบแห้งด้วยเครื่องควบแน่นตัวนอก (External Condenser) ได้แก่งานวิจัยของ Teeboonma et. al.,[1] ศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดและราคาที่ถูกต้องที่สุดของเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยปั๊มความร้อน ได้แก่ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก สัดส่วนอากาศที่ข้ามเครื่องทำระเหย อัตราการไหลอากาศ และอุณหภูมิอบแห้ง ในงานวิจัยนี้แบบจำลองการอบแห้งของมะละกอและมะม่วงแช่แข็งด้วยปั๊มความร้อนได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยทดสอบความถูกต้องกับผลการทดลอง เกณฑ์ที่ใช้ในการหาสถานะที่เหมาะสม คือ ราคาทั้งหมดต่อกิโลกรัมน้ำระเหยรายปีต่ำที่สุด ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า สถานะที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งมะละกอแช่แข็ง คือ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก 100 % สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 69 % อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 20.72 kg dry air/kg dry solid และอุณหภูมิอบแห้ง 55 °C สถานะที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งมะม่วงแช่แข็ง คือ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก 100 % สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 71% อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 30.88 kg dry air/kg dry solid และอุณหภูมิอบแห้ง 55 °C Achariyaviriya and Soponronnarit [2] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลกระทบของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อสมรรถนะของ

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นระบบเปิด ระบบปิด และระบบเปิดบางส่วนโดยพิจารณาจากสมรรถนะและอัตราการระเหยความชื้นจากจำเพาะ(SMER) ในงานวิจัยใช้มะละกอแช่แข็งเป็นวัสดุการทดลอง เงื่อนไขของการอบแห้งคือ อุณหภูมิที่ใช้ในอบแห้ง 45 °C และ อัตราการไหลอากาศจำเพาะอยู่ที่ 10.3 kg dry-air/h-kg dry papaya ในส่วนของระบบปิดจากแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า SMER จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยเพิ่มขึ้นอยู่ในระหว่าง 0-75% และ SMER จะลดลงเมื่อสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย เพิ่มขึ้นมากกว่า 80 % จากแบบจำลองพบว่าสัดส่วนข้ามเครื่องทำระเหยที่ดีที่สุดคือ 75% โดยมีค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 0.42 kg/kW-h. Tia et.al., [3] ทำการออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลไม้แบบปั๊มความร้อนระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กทำงานเป็นระบบปิด ระบบปั๊มความร้อนใช้สารทำความเย็น R-22 เครื่องอัดไอเป็นแบบปิดมีขนาด 1.3 kW เครื่องทำระเหยมีขนาด 3.7kW เครื่องควบแน่นตัวในและตัวนอกมีขนาด 4.6 kW และ 2.2kW ตามลำดับ ห้องอบแห้งมีขนาดบรรจุ 100kg ผลไม้สด ทำการอบแห้งสับปะรด กล้วย ถั่วงอก และหัวผักกาด สภาพะของห้องอบแห้งถูกควบคุมให้คงที่ที่ 55°C อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 0.54 m³/s สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 78% พบว่าที่ภาวะที่การอบผลไม้ใกล้เคียงที่สุดของเครื่องอบแห้ง คือ 98kg ให้สมรรถนะในการอบแห้งดีที่สุดโดยมี SMERเป็น 1 kg water evaporated / kWh อัตราการอบแห้งสูงสุด 1.95 kg water evaporated/h ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(SEC) น้อยที่สุดคือ 3.62 MJ/kg water evaporated ค่าCOP_{hp} เป็น 4.99 มีการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งดี ค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 6.94-9.33 Bath/ kg water evaporated ประกอบด้วยค่าไฟฟ้า 60.5-67.8%ค่าลงทุนเบื้องต้น 32% และค่าบำรุงรักษา 6.1% จากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้วัดจากสีจัดทำให้คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

กลุ่มที่สองจะเป็นการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่เน้นด้านการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับ

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากขึ้นสำหรับใช้ในการอุตสาหกรรมการอบแห้ง งานวิจัยเหล่านี้มีการนำเอาเทคโนโลยีการปรับความเร็วรอบ (Vary Speed Drive) เข้ามาปรับความเร็วของเครื่องอัดไอ เพื่อที่จะทำให้เกิดความเหมาะสมกับการระเหยความร้อนในงานอบแห้ง ได้แก่นงานวิจัย Achariyaviriya et. al.,[4] ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับใช้อบถั่วลิสงเฉพาะเนื้อ และประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น โดยทำการทดลองทั้งหมดกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระบบปิด มีเงื่อนไขในการอบแห้งคือใช้อุณหภูมิในการอบแห้งและความเร็วลมที่ 55 องศาเซลเซียสและ 0.7 m/s ตามลำดับสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยจะอยู่ในช่วงระหว่าง 60%-80% ถั่วลิสงเฉพาะเนื้อมีความชื้นเริ่มต้น 551-658 %dry-basis อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 18 %dry-basisพบว่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% ให้สมรรถนะดีที่สุด ใช้เวลาอบแห้ง 24 ชั่วโมง ใช้เวลาอบแห้ง 24 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.263 kg_{water} /h อัตราการระเหยความชื้นจำเพาะเฉลี่ย 0.302 kg_{water} /kW - h ในการศึกษาคุณภาพของเนื้อถั่วลิสงหลัง การอบแห้งซึ่งใช้สีเป็นบรรทัดฐานพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองทอง และเมื่อใช้ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ทำนายได้ดีสอดคล้องกับผลของการทดลอง อานนท์ และคณะ [5] ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เครื่องอบแห้งสามารถอบเนื้อถั่วลิสง 100 kg ห้องอบแห้งมีขนาดเท่ากับ 0.8 x 1.5 x 0.8 m³ บรรจุน้ำแข็ง 2 คันซึ่งมีจำนวน 16 ถาด/คัน และลมร้อนไหลในแนวนานกับชั้นวางวัสดุ ระบบปั๊มความร้อนมีเครื่องควบแน่นและเครื่องทำระเหยขนาดเท่ากับ 12.5 kW และ 10.5 kW ตามลำดับ เครื่องอัดไอมีกำลังสูงสุดเท่ากับ 2.2 kW และใช้ R-134a เป็นสารทำงาน และควบคุมอุณหภูมิเข้าห้องอบแห้งโดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องอัดไอ ทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยการอบเนื้อสับปะรดจำนวน 100 kg ในระบบปิด

อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 70% อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 114-187 kg_{dry air} /h·kg_{dry product} เนื้อสับปะรดมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 600% db. อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 18% db. พบว่าอุณหภูมิเข้าห้องอบแห้งค่อนข้างคงที่ (60 ± 1°C) อัตราการอบแห้งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.40-2.50 kg_{water evap.} /h ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.85-4.33 MJ/kg_{water evap.} และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP_{hp}) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.42-4.14

จากวรรณกรรมวิจัยที่สำรวจมายังมีการศึกษาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่มีเครื่องอัดไอชนิดความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงน้อยดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขการอบแห้งที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งและคุณภาพถั่วลิสงว่าแผ่นอบแห้งโดยศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งและสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนทั้งสองแบบและศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพถั่วลิสงว่าแผ่นอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิม

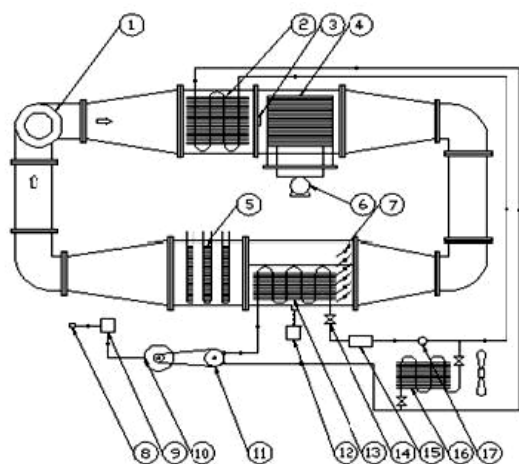
2. วัสดุและวิธีการ

2.1 การพัฒนาระบบการควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้งของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน

เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิมในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถูกนำมาติดตั้งระบบปั๊มความร้อนโดยมีวิธีการควบคุมอุณหภูมิ 3 วิธีไว้ในเครื่องเดียวกันเพื่อให้ผลการทดลองสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกันได้เนื่องจากการทดลองทั้งหมดถูกทดลองจากเครื่องอบแห้งตัวเดียวกันที่มีระบบการทำงาน 3 ระบบโดยมี Schematic diagram ของระบบเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีระบายความร้อนส่วนเกินด้วยการบายพาสสารทำความเย็นไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก (Bypass Working Fluid Heat

Pump Dryer, BWF-HPD) ในแบบนี้จะทำการติดตั้งเครื่องควบแน่นตัวนอกเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้วิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Control) มาควบคุมการเปิด-ปิดของโซลินอยด์วาล์ว ที่ปิดกั้นไม่ให้สารทำความเย็นไหลผ่านไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งยังไม่ถึงค่าที่กำหนด และเปิดทางให้สารทำความเย็นส่วนหนึ่งไหลออกไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก (External Condenser) เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งถึงค่าที่กำหนด เพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกนอกระบบ โดยที่ยังมีสารทำความเย็นส่วนหนึ่งไหลผ่านเครื่องควบแน่นตัวใน จากนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลงต่ำกว่า ค่าที่กำหนด ระบบควบคุมจะปิดโซลินอยด์วาล์ว เพื่อให้สารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องควบแน่นตัวในเพียงตัวเดียวเพื่อจ่ายความร้อนให้กับห้องอบแห้ง



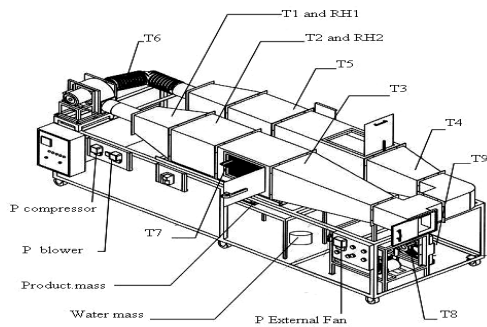
1. บLOWER ขนาด 1/2 แรงม้า (Blower 1/2 HP)
2. เครื่องควบแน่นตัวใน (Internal condenser) ขนาด 3 kW
3. อุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี
4. ถาดอบแห้ง (Tray)
5. ชุดให้ความร้อน (Heater) ขนาด 3 kW
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balancer)
7. บานปรับสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย (Bypass air damper)
8. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบ พี ไอ ดี (PID Temperature controller)
9. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
10. มอเตอร์ (Motor)
11. เครื่องอัดไอ (Compressor)
12. ภาชนะบรรจุ (Vessel) ที่กักตัวออกจากอากาศในเครื่องอบแห้ง
13. เครื่องทำระเหย (Evaporator)
14. วาล์วขยายตัว (Expansion valve)
15. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของสารทำความเย็น (Flow meter)
16. เครื่องควบแน่นตัวนอก (External condenser) ขนาด 3 kW
17. ตัววัดความชื้นและสะสมสารทำความเย็นในสถานะของเหลว

รูปที่ 1 Schematic diagram เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ (Vary Speed Drive Heat Pump Dryer, VSD-HPD) ในแบบนี้ระบบควบคุมจะไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับโซลินอยด์ ทั้ง 2 ตัวที่อยู่ระหว่างทางเข้าและทางออกของเครื่องควบแน่นภายนอกเครื่องอบแห้ง ทำให้เครื่องควบแน่นตัวนอกไม่ทำงาน แต่จะใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID มาประยุกต์ใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ ค่าเอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิมีเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก (Analog) โดยจ่ายค่าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-10 VDC โดยส่งสัญญาณแรงดันนี้ไปควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะแปรเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้เครื่องอัดไอให้เหมาะสมกับการระบายความร้อนที่ใช้ในห้องอบแห้ง เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิม (Hot Air Dryer, HAD) ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมสแตทควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดไฟฟ้า และสามารถปรับการนำอากาศที่ใช้ในการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้

2.2 การติดตั้งเครื่องมือวัดและการบันทึกข้อมูล

ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความดันของสารทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 การตรวจวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทำงานร่วมกับ Data Logger และการตรวจวัดความดันของสารทำงานจากมาตรวัดความดัน โดยเก็บข้อมูลทุก 5 นาที ในช่วงแรก ทุก 10 นาที ในช่วงที่ 2 ทุก 20 นาที ในช่วงที่ 3 ทุก 30 นาที ในช่วงที่ 4 - ช่วงที่ 10 จากนั้นเก็บข้อมูลที่ละช่วงจนกระทั่งกลัวว่าแผ่นอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 16 % dry-basis.



T1-T9 คือ จุดที่ทำกรวัดอุณหภูมิของอากาศ
RH1 คือจุดที่ทำกรวัดความชื้นสัมพัทธ์ก่อนเข้าเครื่องควบแน่น
RH2 คือจุดที่ทำกรวัดความชื้นสัมพัทธ์หลังจากออกจากเครื่องควบแน่น

รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

2.3 วัตถุดิบ (Raw material)

ลักษณะของสปีเลือกกล้วยเป็นตัวกำหนดถึงความสุกของกล้วยและ ความสุกจะเป็นตัวกำหนดถึงระดับน้ำตาลในเนื้อกล้วย กล้วยน้ำว้าดิบที่นำมาใช้เป็นวัสดุทดสอบจะมีมาตรฐานเดียวกันได้โดยการเปรียบเทียบระดับสีของเปลือกกล้วยตามระดับสีของเปลือกกล้วยในเชิงพาณิชย์ ในการทดลองนี้กล้วยน้ำว้าถูกนำมาจากแหล่งเดียวกันถูกนำมาเก็บบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25-30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-60 % จนกระทั่งสีของเปลือกเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียวโดยมีสีเขียวปนเล็กน้อย เมื่อทำการวัดค่าสปีเลือกกล้วยได้ค่าความสว่าง (L) มีค่าระหว่าง 58.0 ถึง 62.0 และ มีค่าความเป็นสีเขียว(a*)ระหว่าง -6.0 ถึง -4.0 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าระหว่าง 33.0 ถึง 40.0

2.4 การเตรียมกล้วยน้ำว้าแผ่นก่อนการอบแห้ง

การทดลองนี้ใช้กล้วยน้ำว้ามาเป็นวัสดุทดสอบการอบแห้ง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-35 มิลลิเมตร หั่นเป็นแว่นตามแนวขวางให้ความหนาของกล้วยแผ่นเท่ากันอยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิเมตร ด้วยการเสริมขิมรองที่มีดฝานกล้วย จากนั้นนำมาวางเรียงกันในถาดอบแห้ง นำมาชั่งมวลให้ได้มวลรวมของกล้วยแผ่นประมาณ 0.415 กิโลกรัมต่อถาด แล้วนำเข้าห้องอบแห้งทันทีเพื่อมิให้ความชื้นของกล้วยระเหยไปสู่อากาศแวดล้อม ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยแผ่นอยู่ระหว่าง 210-230 % dry-basis

2.5 การทดลอง

การออกแบบการทดลองถูกออกแบบเพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ที่ต้องการทราบถึงผลของเงื่อนไขการอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะการอบแห้งและคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน 2 แบบ คือ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีระบายความร้อนส่วนเกินด้วยการบายพาสสารทำความเย็นไปยังเครื่องควบแน่นด้านนอก (Bypass working fluid heat pump dryer, BWF-HPD) และเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระทำความร้อน โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ (Variable speed drive heat pump dryer, VSD-HPD) โดยจะพิจารณาที่ค่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย(BP) 3 ค่า คือ 60% 70% และ 80% และค่าอุณหภูมิอบแห้ง 3 ค่า คือ 40°C 50°C และ 60°C ด้านคุณภาพจะพิจารณาจากสีของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งเปรียบเทียบกับสีของกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิม ที่อุณหภูมิ 40°C 50°C และ 60°C มีสัดส่วนอากาศที่นำกลับมาใช้ 85% โดยที่เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิมและเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนทั้ง 2 ระบบอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน ขนาดความจุของห้องอบแห้ง วัดจากด้านในมีขนาด 39 x 38 x 30 cm³ ถาดบรรจุผลิตภัณฑ์ทำจากอลูมิเนียมเคลือบสแตนเลสมีขนาด 38.5 x 37.5 x 1 cm³ แต่ละถาดเว้นช่องว่างให้ลมร้อนผ่าน มีระยะห่างระหว่างถาด 1.5 cm บรรจุถาดเต็มห้องอบแห้งได้ 12 ถาด แต่ละถาดสามารถบรรจุกล้วยน้ำว้าแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-35 mm ความหนา 5 mm ได้ประมาณ 95-100 ชิ้น ซึ่งมวลของกล้วยน้ำว้าแผ่นได้ 0.415 kgต่อ 1 ถาด ดังนั้นการอบแต่ละครั้งจะใช้กล้วยน้ำว้าแผ่นบรรจุจนเต็ม 12 ถาด มีมวลรวมโดยประมาณเป็น 4.7- 5.0 kg

2.6 การหาค่าความชื้น

สุ่มตัวอย่างกล้วยแผ่น นำไปชั่งน้ำหนัก(w) แล้วจึงนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C ทำการอบเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนัก(d) ค่าความชื้นของ

กล้วยแผ่นสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (1) ซึ่งค่าที่ได้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง (M_d , % dry basis)

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (1)$$

2.7 การประเมินสมรรถนะการอบแห้งและคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้ง

2.7.1 การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะในการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะพิจารณาจาก

อัตราการผลิตความชื้นจำเพาะ

อัตราการผลิตความชื้นจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) คือ สัดส่วนของค่าปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมน้ำระเหย ต่อ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ สัดส่วนของมวลน้ำที่ระเหยจากวัสดุต่อระยะเวลาอบแห้ง, มีหน่วยเป็น กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง

อัตราการผลิตความชื้น

อัตราการผลิตความชื้น (Moisture extraction rate, MER) คือ สัดส่วนของมวลของน้ำที่ควบแน่นจากอากาศที่เครื่องควบแน่นต่อระยะเวลาอบแห้ง, มีหน่วยเป็น กิโลกรัม น้ำที่ควบแน่นต่อชั่วโมง ในทางอุดมคติระบบปิดมีอัตราการดึงความชื้นออกจากอากาศเท่ากับอัตราการอบแห้ง

สัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทางความร้อนจะหาได้จาก สัดส่วนของพลังงานความร้อนที่เครื่องจักรความร้อนจ่ายให้เพื่อใช้ประโยชน์จริงต่อพลังงานที่ป้อนให้เครื่องจักรความร้อน แต่ในระบบปั๊มความร้อนมักใช้สัมประสิทธิ์สมรรถนะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ดังนั้นจึงสามารถหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient Of Performance, $COP_{\text{hpd-used}}$) ของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน ได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อน

ร้อนที่ได้รับที่เครื่องควบแน่นตัวในต่อพลังงานที่ใช้ที่เครื่องอัดไอ

2.7.2 การประเมินคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้ง

การประเมินคุณภาพกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งจะพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพด้านสีซึ่งสามารถใช้เป็นปัจจัยในการจัดแบ่งชั้นคุณภาพและกำหนดราคาซื้อขายระบบที่ใช้ในการประเมินคุณลักษณะทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของค่าสีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือ ระบบสีฮันเตอร์ (Hunter color system) ระบบนี้จะวัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยมีความหมายดังนี้คือ ค่า L^* เป็นค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L^* เท่ากับ 0 เป็นสีมืดที่สุด ค่า L^* เท่ากับ 100 เป็นสีขาวมากที่สุด ค่า a^* เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียวโดยที่ค่า a^* เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่า a^* เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว และค่า b^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินโดยค่า b^* เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่า b^* เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทั้งแบบ BWF-HPD และ VSD-HPD ที่อุณหภูมิ 40 °C, 50 °C และ 60 °C ถูกนำมาพิจารณาโดยแสดงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 นอกจากนี้ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งจากการทดลองได้แสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 จากการพิจารณาตารางที่ 3 พบว่าการใช้ปั๊มความร้อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C ไม่สามารถทำความชื้นสุดท้ายให้เหลือ 16% dry-basis ได้ตามเงื่อนไข และการทดลอง BWF-HPD อุณหภูมิ 40 °C ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่กำหนด 40 °C ได้ ส่วนการทดลอง VSD-HPD ที่อุณหภูมิ 40 °C ลดความชื้นของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งได้เพียง 33 % dry-basis เนื่องจากความชื้นในอากาศที่สูงดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและผลการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 60°C

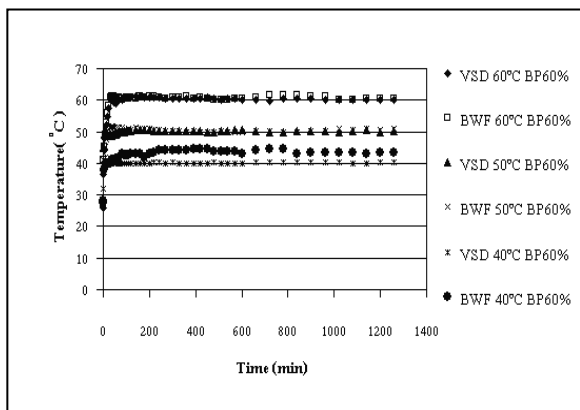
Description	Percent BP of VSD-HPD			Percent BP of BWF-HPD			Unit
	60%	70%	80%	60%	70%	80%	
sliced banana							
Initial mass of product	4.845	4.872	4.815	4.885	4.685	4.744	kg
Final mass of product	1.721	1.868	1.736	1.709	1.768	1.762	kg
Initial moisture content (Mi)	226.0	214.7	218.4	230.9	208.6	213.5	% dry-basis
Final moisture content (Mf)	15.8	14.2	14.8	15.7	16.4	16.4	% dry-basis
Drying Time (DT)	7	7	7	13	16	18	h
Moisture extraction rate (MER _{avr})	0.357	0.337	0.29	0.228	0.176	0.151	kg _{w-condensate} /kW-h
Specific moisture extraction rate (SMER _{avr})	0.549	0.566	0.535	0.207	0.177	0.171	kg _{w-evaporated} /h
COP _{hpd-used avr}	2.427	1.967	1.42	1.711	1.573	1.375	Dimensionless
Energy consumption of compressor	5.53	5.33	5.59	14.76	15.86	16.7	kW-h
Energy consumption of blower	0.156	0.156	0.167	0.304	0.387	0.436	kW-h
Energy loss of external fan	-	-	-	0.265	0.272	0.289	kW-h

ตารางที่ 2 เงื่อนไขและผลการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C

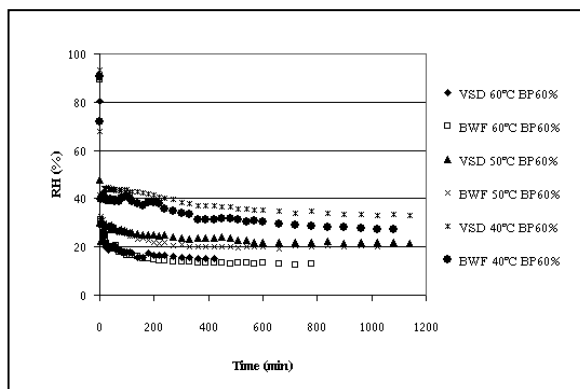
Description	Percent BP of VSD-HPD			Percent BP of BWF-HPD			Unit
	60%	70%	80%	60%	70%	80%	
sliced banana							
Initial mass of product	4.985	4.925	4.882	4.903	4.919	4.937	kg
Final mass of product	1.830	1.739	1.825	1.907	1.849	1.784	kg
Initial moisture content (Mi)	230.5	242.0	229.8	208.9	224.9	227.5	% dry-basis
Final moisture content (Mf)	21.3	20.7	23.3	20.1	22.1	24.3	% dry-basis
Drying Time (DT)	19	18	20	17	19	20	h
Moisture extraction rate (MER _{avr})	0.177	0.173	0.156	0.173	0.158	0.151	kg _{w-condensate} /kW-h
Specific moisture extraction rate (SMER _{avr})	0.314	0.334	0.303	0.26	0.275	0.275	kg _{w-evaporated} /h
COP _{hpd-used avr}	2.599	2.125	1.604	2.149	2.091	2.044	dimensionless
Energy consumption of compressor	9.43	9.12	9.62	10.92	10.45	10.40	kW-h
Energy consumption of blower	0.45	0.428	0.479	0.402	0.455	0.483	kW-h
Energy loss of external fan	-	-	-	0.218	0.241	0.256	kW-h

ตารางที่ 3 เงื่อนไขและผลการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 40°C

Description	Percent BP of VSD-HPD			Percent BP of BWF-HPD			Unit
	60%	70%	80%	60%	70%	80%	
sliced banana							
Initial mass of product	4.919	4.858	4.902	4.699	4.758	4.799	kg
Final mass of product	1.798	1.954	1.951	1.893	1.858	1.895	kg
Initial moisture content (Mi)	263.7	235.9	247.9	213.4	227.2	226.6	% dry-basis
Final moisture content (Mf)	32.9	35.1	38.4	26.2	27.7	28.9	% dry-basis
Drying Time (DT)	19	19	20	18	21	25	h
Moisture extraction rate (MER _{avr})	0.161	0.15	0.147	0.158	0.138	0.111	kg _{w-condensate} /kW-h
Specific moisture extraction rate (SMER _{avr})	0.410	0.389	0.384	0.351	0.334	0.304	kg _{w-evaporated} /h
COP _{hpd-used avr}	2.240	1.871	1.453	2.121	2.236	2.304	dimensionless
Energy consumption of compressor	7.16	7.02	7.20	7.28	7.80	8.42	kW-h
Energy consumption of blower	0.452	0.453	0.475	0.424	0.498	0.603	kW-h
Energy loss of external fan	-	-	-	0.280	0.396	0.528	kW-h



รูปที่ 3 อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งจากการทดลองที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%

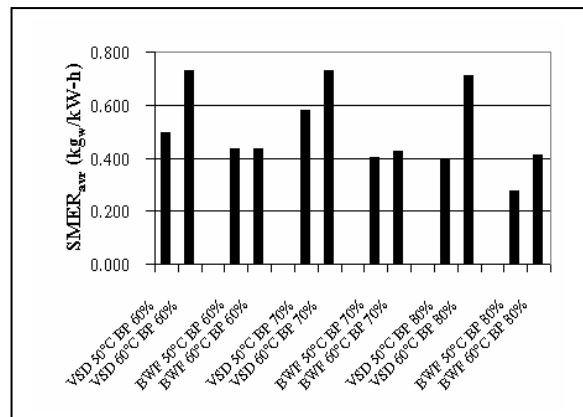


รูปที่ 4 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งจากการทดลองที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%

3.1 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

3.1.1 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีต่ออัตราการดึงความชื้นออกจากวัสดุจำเพาะ จากรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยคงที่ใดๆ จากการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C พบว่าจากการอบแห้งโดยใช้ VSD-HPD ที่อุณหภูมิ 60°C ค่า $SMER_{avr}$ มีค่ามากกว่าค่า $SMER_{avr}$ ที่ใช้อุณหภูมิ 50°C ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้อุณหภูมิต่ำที่สูง สามารถไล่ความชื้นออกจากสัณฐานน้ำว่าแผ่นอบแห้งได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

มากกว่าเล็กน้อย ส่วนการใช้ BWF-HPD ก็มีผลไปในทางเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันน้อยกว่าการอบแห้งโดยใช้ VSD-HPD โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ BWF-HPD ที่ BP มีค่าน้อยๆ อิทธิพลของอุณหภูมิจะมีผลน้อยลงเนื่องจากอัตราการอบแห้งถูกจำกัดที่อัตราการดึงน้ำออกที่เครื่องทำระเหย

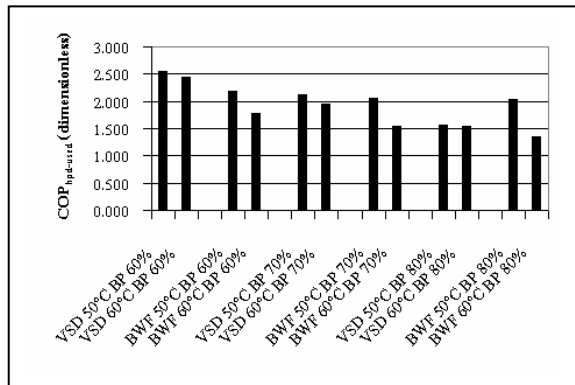


รูปที่ 5 อัตราการดึงความชื้นจำเพาะเฉลี่ยจากการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 50°C และ 60°C สัดส่วนอากาศข้าม เครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80% (ความชื้นสุดท้าย 24% dry basis)

3.1.2 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน ($COP_{hpd-used}$) พิจารณารูปที่ 6 พบว่า จากการทดลองโดยใช้ VSD-HPD ที่อุณหภูมิต่ำ 50°C จะให้ค่า $COP_{hpd-used}$ สูงกว่าการใช้ VSD-HPD ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สำหรับการทดลองโดยใช้ BWF-HPD จะให้ผลเช่นเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนอัดไอน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแต่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นใกล้เคียงกันเนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหยมีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่าผลของอุณหภูมิต่ำที่มีต่อค่า $COP_{hpd-used}$ ของการใช้ VSD-HPD น้อยกว่าการใช้ BWF-HPD เนื่องจากเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิต่ำของการใช้ VSD-HPD มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังงานของเครื่องอัดไอน้อยกว่าที่ใช้ BWF-HPD จึงมีผลทำให้ค่าการ

เปลี่ยนแปลง $COP_{hpd-used}$ ของการใช้ VSD-HPD น้อยกว่าการใช้ BWF-HPD

ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่า $COP_{hpd-used}$ ของ VSD-HPD และ BWF-HPD ที่อุณหภูมิ 40°C ต่ำกว่าอุณหภูมิ 50°C ในตารางที่ 3 มีสาเหตุมาจากเครื่องอัดไอหมุนโดยใช้ความเร็วรอบต่ำกว่าค่าที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องอัดไอ(Sanden. Co., Ltd. 2004) กำหนดให้ใช้คือ 500 รอบต่อนาที และการอบแห้งด้วย VSD-HPD ที่อุณหภูมิ 40°C อินเวอร์เตอร์ใช้ความถี่ต่ำกว่า 8 Hz จึงต้องบูสทอร์คเพื่อให้มีกำลังขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ทำให้ใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้น และความร้อนที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์สูงขึ้นจึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น

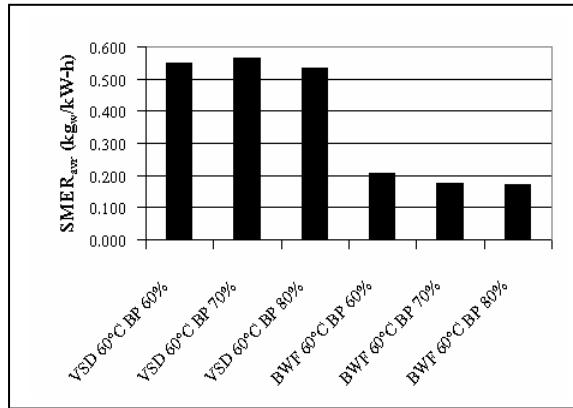


รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน($COP_{hpd-used}$) จากการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80% (ความชื้นสุดท้าย 24% dry-basis)

3.2 ผลกระทบของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน

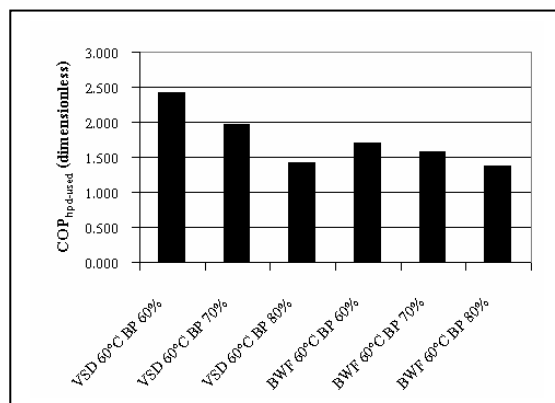
3.2.1 อิทธิพลของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่ออัตราการดึงความชื้นจำเพาะเฉลี่ย ($SMER_{avr}$) จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง แสดงให้เห็นอิทธิพลของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อค่า $SMER_{avr}$ ของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทั้ง 2 ระบบดังรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาการอบแห้งโดยใช้ VSD-HPD นั้นสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยมีอิทธิพลต่อค่า $SMER_{avr}$ เล็กน้อย ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอของ VSD-HPD ใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่า

การอบแห้งโดยใช้ VSD-HPD ให้ค่า $SMER_{avr}$ สูงกว่าการอบแห้งโดยใช้ BWF-HPD ทั้งนี้เนื่องจากผลจากการที่ใช้เวลาในการอบแห้งนาน



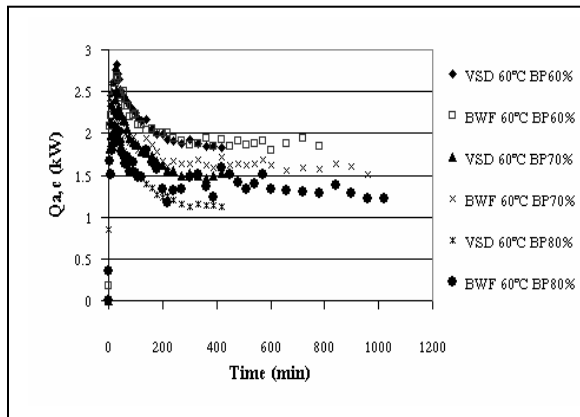
รูปที่ 7 อัตราการดึงความชื้นจำเพาะเฉลี่ย($SMER_{avr}$)จากการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80%

3.2.2 ผลกระทบของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน($COP_{hpd-used}$) เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย(BP)ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน($COP_{hpd-used}$) ของ VSD-HPD และ BWF-HPD จะเห็นได้ว่า BP มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า $COP_{hpd-used}$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน($COP_{hpd-used}$) จากการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80%

จากการพิจารณารูปที่ 8 ค่าของ BP เพิ่มขึ้นทำให้ค่า $COP_{hpd-used}$ ลดลง สามารถอธิบายได้จากการใช้ BP ที่ 60% มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าการใช้ BP 70% และ BP 80 % (ดูรูปที่ 9 ประกอบ) ส่งผลให้ค่า $COP_{hpd-used}$ ลดลงเมื่อใช้ BP เพิ่มขึ้น ดังแสดงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นตัวใน ($Q_{a,c}$) ที่เปลี่ยนไปตามเวลา

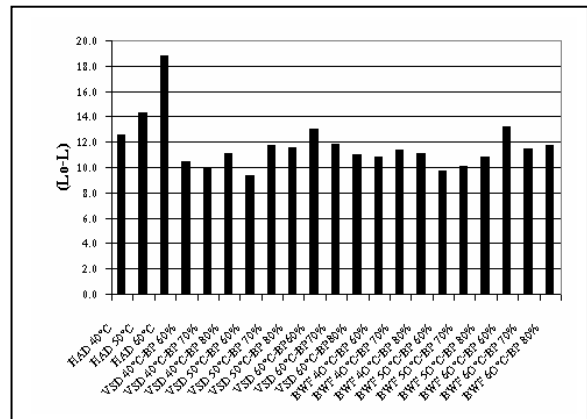


รูปที่ 9 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศก่อนเข้า ห้องอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% 70% และ 80%

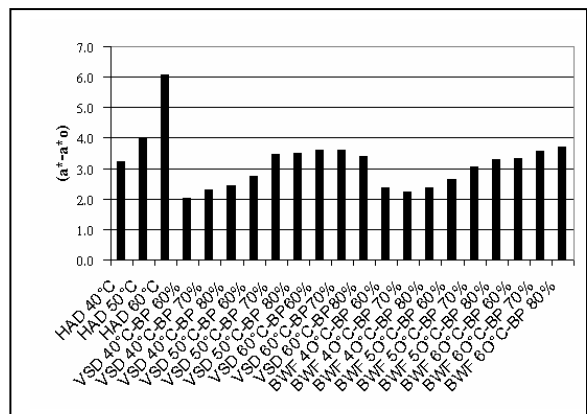
3.3 คุณภาพของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบสีของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วย BWF-HPD และ VSD-HPD กับค่าสีจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60°C พบว่ากล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนมีค่าความสว่าง (L) มากกว่ากล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าน้อยกว่า จะเห็นได้ว่าสีของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทั้ง BWF-HPD และ VSD-HPD มีสีที่อ่อนกว่าเครื่องอบแห้งลมร้อนจากขดลวดความร้อน ที่ได้ผลเช่นนี้เนื่องจากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนในช่วงทำของกล้วยน้ำว้าแผ่น ใช้เวลาน้อยกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจึงเป็นการลดปฏิกิริยาเมลลาร์ดลง (วิชณี คันทะพานิชกุล [6]) จะเห็นได้ว่าการที่ใช้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนจะให้ค่าความสว่างและค่าสีที่

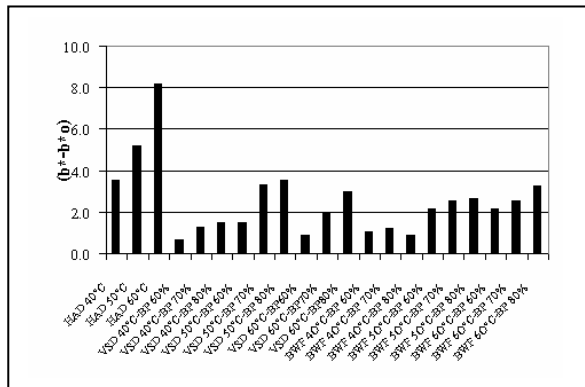
แตกต่างจากค่าเดิมของกล้วยน้ำว้าแผ่นก่อนอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนน่าจะเป็นที่ยอมรับของตลาดได้ดีกว่า ดังแสดงข้อมูลในรูปที่ 10 รูปที่ 11 และรูปที่ 12



รูปที่ 9 ค่าความแตกต่างของความสว่าง L^* - L ของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและปั๊มความร้อน



รูปที่ 10 ค่าความแตกต่างของค่าความเป็นสีแดง a^* - a^* ของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและปั๊มความร้อน



รูปที่ 11 ค่าความแตกต่างของความเป็นสีเหลือง $b^* - b_0^*$ ของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและปั๊มความร้อน

4. บทสรุป

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นโดยใช้ BWF-HPD และ VSD-HPD สามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นโดยใช้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน ควรใช้ VSD-HPD ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C โดยใช้สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 60% เพราะให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะใช้งาน ที่สูงกว่าการใช้ BWF-HPD ถึง 41% ทั้งนี้การอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นโดยใช้ VSD-HPD ยังให้ค่าอัตราการดึงความชื้นจำเพาะเฉลี่ยสูงกว่าการใช้ BWF-HPD ถึง 2.5 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าคุณภาพสีของกล้วยน้ำว้าแผ่นอบแห้งที่ใช้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนทั้ง 2 ระบบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีไปจากสีเนื้อกล้วยน้ำว้าก่อนการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Teeboonma, U., Soponronnarit, S. and Tiansuwan, J. 2002. Optimization of heat pump fruit dryer. Proc. 13th International Drying Symposium, August 26-30, Beijing, China.
- [2] Achariyaviriya, S. and Soponronnarit, S. 1998. Simulation of heat pump dryer. Proc. International Agricultural Engineering Conference, Vol.1. December 7-10. Bangkok, Thailand. Page 425-432
- [3] Tia, W., Soponronnarit, S., and Kaewassadorn, W. 2001. Heat pump fruit dryer for small scale industry. The first regional conference on Energy Technology towards and Clean Environment ,Chiangmai Thailand ,pp. 67-71
- [4] Achariyaviriya, A., Achariyaviriya, S., Namsanguan, Y. and Chunkaew, P. 2005. Modified Heat Pump Dryer for Longan Flesh Drying: Prototype Design and Simulation. Proc. International American Drying Conference, August 21-23. Montréal, Canada. Paper C-6
- [5] อานนท์ สาตช่วงและคณะ. (2006). การออกแบบและต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก .การประชุมวิชาการ การถ่ายทอดผลงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 5, เชียงใหม่ ประเทศไทย pp. 154-169
- [6] รัชณี คัมพะพานิชกุล .2533. เคมี่อาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 400 หน้า