

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นการถนอมรักษาคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มมูลค่าของผลิตผลให้สูงขึ้น ในปัจจุบันการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรมีหลากหลายวิธี การอบแห้ง เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการแปรรูป ผลิตผลทางการเกษตร แต่ในกระบวนการอบแห้งจะต้องใช้เวลานานและพลังงานความร้อนมาก ในการอบแห้งแต่ละครั้ง ความร้อนที่ได้มาจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ เช่น แก๊สธรรมชาติ การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงและวัสดุเกษตร แต่วิธีเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศเพราะมีปัญหาเรื่องการเผาไหม้ บางครั้งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีกลิ่น ไม่พึงประสงค์ และมีสารปนเปื้อน ตกค้างที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้ขดลวดไฟฟ้าอบแห้งเพียงอย่างเดียว เป็นวิธีการที่สิ้นเปลือง พลังงานค่อนข้างมาก เพราะมีการทิ้งความร้อนไปกับอากาศชั้นที่ออกจากห้องอบแห้ง และยังต้องรับอากาศ ใหม่ (Fresh air) เข้ามาในระบบ ซึ่งอาจทำให้มี สิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในระบบได้ นอกจากนั้นอุณหภูมิอากาศแวดล้อมยังส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน อีกด้วย ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม และหาแนวทางต่าง ๆ เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานให้สูงขึ้นควบคู่กับการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เทคโนโลยีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนถือได้ว่าเป็นความเหมาะสมในการอบแห้ง ผลิตผลทางการเกษตร เพราะสามารถทำงานที่อุณหภูมิอบแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ และ .ศิวะ อัจฉริยวิริยะ , 2543) นอกจากนี้ยังทำงานเป็นระบบปิดได้โดยการเพิ่มความชื้นที่รับมาจากวัสดุด้วยการควบแน่นของอากาศที่เครื่องทำระเหย จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งสีและคุณภาพ ที่ดี และยังเป็น วิธีที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพราะมีการฟื้นคืนความร้อนกลับคืนสู่ระบบอบแห้ง ได้อย่างต่อเนื่อง

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน จำเป็นต้องมีการทำงานของเครื่องอัดไอตลอดกระบวนการอบแห้ง ซึ่งต่างจากระบบปรับอากาศที่จะตัดการทำงานของเครื่องอัดไอออกเมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ เพราะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนใช้เครื่องทำระเหยควบแน่นความชื้นที่ออกจากห้องอบแห้งเพื่อลดความชื้นในระบบตลอดเวลาของการอบแห้ง การปรับลดอุณหภูมิห้องอบแห้งในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีทั้งแบบ ที่มีเครื่องอัดไอความเร็วรอบคงที่

ใช้วิธีระบายความร้อนส่วนเกินด้วยการทำบายพาสสารทำความเย็นไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก (Bypass working fluid heat pump dryer, BWF-HPD) และแบบที่มีการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้ในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนของปั๊มความร้อน (Variable speed drive heat pump dryer, VSD-HPD) เพื่อแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระทางความร้อน แต่ปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและการสิ้นเปลืองพลังงานของการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทั้งสองแบบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการอบแห้งวัสดุเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยตัวอย่างวัสดุเกษตรที่นำมาอบแห้งคือ กล้วยน้ำว้าแผ่น (Banana slices) โดยทำการ ศึกษา ถึงผลกระทบของวิธีการควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้ง โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบ BWF-HPD และ VSD-HPD ว่าแบบใด มีผลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ดีที่สุด นอกจากนั้นยังได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนทั้งแบบ BWF-HPD และ VSD-HPD เพื่อเป็นข้อมูลที่จะช่วยในการตัดสินใจเลือกเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เหมือนจิต แจ่มศิลป์ (2547) ได้ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องอบแห้งมะละกอแช่อบแบบปั๊มความร้อน ที่มีเครื่องควบแน่นตัวนอกในการระบายความร้อนส่วนเกิน สารทำงานที่ใช้ คือ R-22 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ ซึ่งระบบอบแห้งที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบปิด ระบบเปิด และระบบปิดบางส่วน เกณฑ์ในการพิจารณาใช้สมรรถนะของการอบแห้ง คือ เวลาที่ใช้อบแห้ง อัตราการอบแห้ง และอัตราการระเหย จำเพาะ พบว่าเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนระบบอบแห้งแบบปิดเป็นระบบที่ให้สมรรถนะสูงที่สุด โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ออบแห้ง 55°C อัตราการไหลของอากาศ $1400 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{h}$ และสัดส่วนของอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 70 % โดยใช้เวลาการอบแห้ง 34.8 ชั่วโมง อัตราการอบแห้ง $0.451 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ และอัตราการระเหยจำเพาะ $0.295 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW-h}$

ไพโรจน์ จันทรแก้ว (2548) ได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับลำไยเฉพาะเนื้อ ที่ไม่ต้องมีเครื่องควบแน่นตัวนอกในการระบายความร้อนส่วนเกิน แต่ใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้า ให้ปรับรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งให้คงที่ พบว่าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับลำไย

เฉพาะเนื้อ ประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาด $0.4 \times 0.5 \times 0.4 \text{ m}^2$ ที่สามารถบรรจุลำไยเฉพาะเนื้อได้จำนวน 10 ถาด (น้ำหนักลำไยเฉพาะเนื้อ 7.7 - 9 kg) ใช้ปั๊มความร้อนขนาด 1 ตันความเย็น และสารทำงานคือ R-134a ควบคุมอุณหภูมิอบแห้งโดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องอัด และมีพัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งหน้าขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า ในส่วนการทดสอบทำการทดลองอบแห้งวงจรรอบแบบปิด อุณหภูมิอบแห้ง 55°C ความเร็วก่อนเข้าห้องอบแห้ง 0.7 m/s โดยใช้สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60 %, 70% และ 80 % มีความชื้นเริ่มต้น 551 - 658 % dry-basis . อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 18 % dry-basis . พบว่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% ให้สมรรถนะดีที่สุด ใช้เวลาอบแห้ง 24 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ย $0.263 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ การระเหยจำเพาะเฉลี่ย $0.302 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW-h}$ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่คำนวณจากวงจรสารทำงานเฉลี่ย 7.096 ในการศึกษาคุณภาพของเนื้อลำไยหลัง การอบแห้งซึ่งใช้สีเป็นบรรทัดฐานพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองทอง และผลจากการจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ทำนายได้ดีสอดคล้องกับผลของการทดลอง

วสิน เรืองกำเนิด (2548) ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง และสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรที่ใช้ วิธีควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบแน่นตัวนอก กับวิธีควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเครื่องอัดไอน้ำ พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพร ทำการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C และ 50°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60 %, 70 % และ 80 % โดยใช้ใบมะกรูดเป็นวัสดุทดสอบ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C มีสมรรถนะการอบแห้งดีกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C ด้านคุณภาพใบมะกรูดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของท้องตลาด และที่สัดส่วน อากาศข้ามเครื่องทำระเหย 70 % ให้สมรรถนะ การอบแห้ง ดีที่สุด โดยมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย $0.45 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ อัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ย $0.46 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย $0.26 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW} - \text{h}$ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ 2.98 และเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ ควบคุมอุณหภูมิทั้ง 2 วิธี ในสถานะการทดลองเดียวกัน เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้ วิธีควบคุมอุณหภูมิโดยอินเวอร์เตอร์มีสมรรถนะการอบแห้งโดยรวมดีกว่า เนื่องจากวิธีควบคุมอุณหภูมิดังกล่าว จะลดอัตราการไหลของสารทำงานทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามภาระของระบบอบแห้ง

อานนท์ สาตช่วง (2549) ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เครื่องอบแห้งออกแบบให้สามารถอบเนื้อลำไยเฉพาะเนื้อ 100 kg ห้องอบแห้งมีขนาดเท่ากับ $0.8 \times 1.5 \times 0.8 \text{ m}^3$ บรรจุถาดขึ้น 2 ชั้น แต่ละชั้นบรรจุถาด 16 ถาด/ชั้น ให้ลมร้อนไหลในแนวนานกับชั้นวางวัสดุ ระบบปั๊มความร้อนมีเครื่องควบแน่นและเครื่องทำระเหยขนาดเท่ากับ 12.5 kW และ 10.5 kW ตามลำดับ เครื่องอัดไอน้ำมีกำลังสูงสุดเท่ากับ 2.2 kW และใช้ R-134a เป็นสารทำงาน และควบคุมอุณหภูมิเข้าห้องอบแห้งโดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องอัดไอ ทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยการอบเนื้อลำไยประมาณ 100 kg ในระบบปิด อุณหภูมิอบแห้ง 60°C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 70% อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $114\text{--}187 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{dry product}}$ เนื้อลำไยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 600% dry-basis อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 18% dry-basis พบว่าอุณหภูมิอากาศเข้าห้องอบแห้งค่อนข้างคงที่ ($60 \pm 1^\circ\text{C}$) อัตราการอบแห้งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $2.40\text{--}2.50 \text{ kg}_w \text{ evaporated}/\text{h}$ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง $3.85\text{--}4.33 \text{ MJ}/\text{kg}_w \text{ evaporated}$ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย ($\text{COP}_{\text{hp-avr}}$) อยู่ระหว่าง 3.42-4.14

เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์ (2550) ศึกษาผลกระทบของวิธีการควบคุมอุณหภูมิและเงื่อนไขการอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยการติดตั้งระบบปั๊มความร้อน 2 ระบบให้กับเครื่องอบแห้ง ระบบแรกคือเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนชนิดความเร็วรอบเครื่องอัดไอแปรผันซึ่งใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดไอเพื่อปรับอัตราการไหลของสารทำงานให้เหมาะสมกับภาระความร้อนภายในห้องอบแห้ง ระบบที่สองคือ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนชนิดความเร็วรอบเครื่องอัดไอคงที่ซึ่งใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่โดยการระบายความร้อนส่วนเกินออกจากห้องอบแห้งด้วย เครื่องควบแน่น ที่ติดตั้งอยู่ภายนอก วัสดุที่ใช้ในการทดลองอบแห้งคือ กล้วยน้ำว้าแผ่น ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 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 m/s จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิด้วยอินเวอร์เตอร์ มีสมรรถนะของการอบแห้งสูงกว่าวิธีการควบคุมอุณหภูมิด้วยคอนเดนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอก สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยมีผลกระทบต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิด้วยอินเวอร์เตอร์เพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบต่อปั๊มความร้อนที่ควบคุม

อุณหภูมิด้วยคอนเดนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกค่อนข้างมาก นอกจากนี้ ยังพบว่า การอบแห้งกล้วย น้ำว่าแผ่นที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า 60°C ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความชื้นสุดท้ายของกล้วยน้ำว่า แผ่นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

Achariyaviriya, S. and Soponronnarit, S. (1998) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลกระทบของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นระบบเปิด ระบบปิด และระบบเปิดบางส่วนโดยพิจารณาจากสมรรถนะจาก อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (SMER) ในงานวิจัยใช้มะละกอเชื่อมเป็นวัสดุวิจัย เงื่อนไขของการอบแห้งคือ อุณหภูมิอบแห้ง 45°C และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ อยู่ที่ $10.3 \text{ kg dry air/h/kg dry papaya}$ ในส่วนของระบบปิด จากแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า SMER จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยเพิ่มขึ้นอยู่ในระหว่าง 0-75 % และ SMER จะลดลงเมื่อสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 % จากแบบจำลองพบว่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ดีที่สุดคือ 75 % โดยมีค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ $0.42 \text{ kg}_w \text{ evaporated/kW-h}$

Tia, W. et al. (2001) ทำการออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลไม้แบบปั๊มความร้อนระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กทำงานเป็นระบบปิด ระบบปั๊มความร้อนใช้สารทำความเย็น R-22 เครื่องอัดไอเป็นแบบปิดมีขนาด 1.3 kW เครื่องทำระเหยมีขนาด 3.7 kW เครื่องควบแน่นตัวในและตัวนอกมีขนาด 4.6 kW และ 2.2 kW ตามลำดับ ห้องอบแห้งมีขนาดบรรจุผลไม้สด 100 kg ทำการอบแห้งสับปะรด กล้วย ถั่วอก และหัวผักกาด สภาพของห้องอบแห้งถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 55°C อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ และสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 78% พบว่าที่สถานะการอบแห้งที่ใช้ผลไม้ใกล้เคียงเต็มพิกัดของเครื่องอบแห้ง คือ 98 kg ให้สมรรถนะของการอบแห้งดีที่สุดโดยมีค่า SMER เป็น $1 \text{ kg}_w \text{ evaporated/kW-h}$ อัตราการอบแห้งสูงสุด $1.95 \text{ kg}_w \text{ evaporated/h}$ ค่า SEC น้อยที่สุดคือ $3.62 \text{ MJ/kg}_w \text{ evaporated}$ ค่า COP_{hp} เป็น 4.99 มีการนำความร้อนที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์อยู่ในช่วง 73-89% มีการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่ดี ค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 6.94-9.33 Bath/kg_{w evaporated} ประกอบด้วยค่าไฟฟ้า 60.5-67.8 % ค่าลงทุนเบื้องต้น 32% และค่าบำรุงรักษา 6.1% จากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้วัดจากสีจัดว่าให้คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

Teeboonma, U. et al. (2002) ศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดและราคาที่ถูกที่สุดของเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยปั๊มความร้อน ได้แก่ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก สัดส่วนอากาศที่ข้ามเครื่องทำ

ระเหย อัตราการไหลอากาศ และอุณหภูมิอบแห้ง ในงานวิจัยนี้ แบบจำลองการอบแห้งของมะละกอ และมะม่วงแช่แข็งด้วยปั๊มความร้อนได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยทดสอบความถูกต้องกับผลการทดลอง เกณฑ์ที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสม คือ ราคาทั้งหมดต่อกิโลกรัมน้ำระเหยรายปีต่ำที่สุด ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งมะละกอแช่แข็ง คือสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก 100 % สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 69 % อัตราการไหลอากาศจำเพาะ $20.72 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}}$ และอุณหภูมิอบแห้ง 55°C สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งมะม่วงแช่แข็ง คือ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้อีก 100 % สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 71 % อัตราการไหลอากาศจำเพาะ $30.88 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}}$ และอุณหภูมิอบแห้ง 55°C

Shuangquan Shao et al. (2004) ได้ทดสอบระบบการทำงานของระบบ Inverter Air Cooling Heat Pump ซึ่งเป็นระบบการทำงานที่นำความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่นมาผลิตน้ำร้อนไว้ใช้ภายในบ้าน โดยการติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเข้าไปที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องควบแน่น ระบบ Air Cooling Heat Pump นี้สามารถปรับเส้นทางการไหลของสารทำงานทำให้ทำงานได้ห้ารูปแบบ คือทำความเย็นอย่างเดียว, ทำความเย็นรวมกับทำน้ำร้อน, ทำความร้อนอย่างเดียว, ทำความร้อนรวมกับทำน้ำร้อน และทำน้ำร้อนอย่างเดียว อุณหภูมิความร้อนที่ทำได้คือ 45°C อุณหภูมิเย็นที่ทำได้คือ 7°C และอุณหภูมิน้ำร้อน 45°C ระบบแบบใหม่นี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ เนื่องจากการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่น ไปให้ความร้อนกับน้ำ ทำให้สารทำงานก่อนเข้าเครื่องทำระเหยเป็นของเหลวอิ่มตัว (Subcooling) เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิลดลงเอนโทรปี (h) จึงเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพพลังงานจึงเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) เท่ากับ 4 และสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ถึง 31.1%

C. Aprea et al. (2005) ได้วิเคราะห์สมรรถนะการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์แบบสโครว์ (Scroll Compressor) ในวัฏจักรทำความเย็นที่ใช้ในการทำน้ำร้อนและน้ำเย็น โดยประเมินค่าการประหยัดพลังงานจากการใช้ อินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของระบบ เปรียบเทียบกับการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Thermostatic เปิด ปิด การทำงานของคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นการควบคุมแบบเก่าทำการทดลองที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น 0.18, 0.24 และ 0.28 kg/s อุณหภูมิของน้ำที่เครื่องทำระเหย เมื่อเครื่องทำน้ำที่เป็น water chiller $7, 11$ และ 15°C อุณหภูมิของน้ำที่เครื่องควบแน่น เมื่อเครื่องทำน้ำที่เป็นปั๊มความร้อน 35 และ 40°C ความถี่กระแสไฟฟ้าในการทำงานของ คอมเพรสเซอร์แบบ

สโกรวอยู่ ในช่วง 15-50 Hz พบว่าควบคุมอุณหภูมิโดย อินเวอร์เตอร์ สามารถประหยัดพลังงาน
เฉลี่ย 20% เมื่อเทียบกับการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Thermostatic

Ilhan Ceylan et al. (2007) วิเคราะห์แบบจำลองเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนซึ่งควบคุม
อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งด้วยระบบ PID โดยอบแห้งผลไม้เขตร้อนสามชนิดได้แก่ กีวี, อโวคา
โด และ กล้วย อุณหภูมิอากาศในการอบแห้ง $40^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0.03-0.39 m/s
ความชื้นเริ่มต้นของ กีวี, อโวคาโด และ กล้วย คือ 4.31, 1.51 และ 4.71 $\text{g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ อบจนแห้ง
เหลือ 0.75, 0.35 และ 0.5 $\text{g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ ในเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะวิเคราะห์อัตราส่วน
ความชื้นโดยใช้แบบจำลองแบบเบบจำลองแบบเอมไพริคัล (Empirical Values) ซึ่งวิเคราะห์
ความสัมพันธ์ของ Standard Error of Estimation (SEE) และ Determination of Coefficients (R^2) โดย
ใช้แบบจำลองของ Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Wang and Singh และ Logarithmic
นำมาเปรียบเทียบโดยในกีวีแบบจำลองที่ให้ผลใกล้เคียงที่สุดคือ แบบจำลองของ Newton ซึ่งมีค่า R^2
0.99796 และ SEE 0.01355 ส่วน อโวคาโด และ กล้วย แบบจำลองของ Page ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งมีค่า
 R^2 0.99982 และ 0.99851 ส่วน SEE เท่ากับ 0.00384 และ 0.01225 ตามลำดับ

Ilhan Ceylan et al. (2007) ได้วิเคราะห์ค่าพลังงาน และ Exergy ของการอบแห้งไม้ด้วยปั๊ม
ความร้อน แบบปิดบางส่วน โดยมีการนำอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งมาใช้ใหม่ 60 %
(Recirculation Air Ratio, RAR 0.60) ไม้ที่ใช้คือ ไม้สน และ ไม้ Poplar โดยไม้ที่ใช้มี ความหนา 2.5
cm. ยาว 1 m. และกว้าง 20 cm. ไม้สนมีความชื้นเริ่มต้น 0.6 และ ไม้ Popla มีความชื้นเริ่มต้น 1.28
 $\text{kg water/kg dry matter}$ อบจนถึงความชื้นสุดท้าย 0.15 $\text{kg water/kg dry matter}$ อุณหภูมิลมร้อน
เฉลี่ย 40°C ใช้ความเร็วลมเฉลี่ย 0.8 m/s แล้วนำข้อมูลมาคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊ม
ความร้อน (COP_{hp}) ของไม้สน เท่ากับ 1.87 ไม้ Poplar เท่ากับ 1.86 และ อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ
(Specific moisture extraction rate, SMER) ของไม้สน เท่ากับ 0.188 kg/kWh ไม้ Poplar เท่ากับ
0.243 kg/kWh ผลการทดสอบ ไม้สน ใช้เวลาในการอบแห้ง 50 ชั่วโมง ส่วน ไม้ Poplar ใช้เวลาใน
การอบแห้ง 70 ชั่วโมง พบว่า การใช้พลังงานในห้องอบจะลดลงตามปริมาณความชื้นในท่อนไม้ที่
ลดลง การที่พลังงานในไม้และในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงาน

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งของวิธีการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งแบบ Bypass working fluid heat pump dryer (BWF-HPD) และ Variable speed drive heat pump dryer (VSD-HPD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนชนิด Variable speed drive heat pump dryer (VSD-HPD) และ Bypass working fluid heat pump dryer (BWF-HPD) ไปใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง
- 1.4.2 ได้ข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจเลือกกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในขั้นตอนการออกแบบเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม
- 1.4.3 ได้ทราบแนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่เหมาะสม

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการทดลองสามารถปรับให้ควบคุมอุณหภูมิได้ทั้งระบบ BWF-HPD และ VSD-HPD
- 1.5.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งโดยการทดลอง และการจำลองสภาพการอบแห้ง
- 1.5.3 การอบแห้งใช้กล้วยน้ำว้าวัสดุทดสอบ
- 1.5.4 การอบแห้งเป็นแบบระบบปิด
- 1.5.5 เงื่อนไขของการอบแห้งจะพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้ง 50-60 °C ความเร็วรอบเริ่มต้นของเครื่องอัดไอ 2000-1000 rpm ความชื้นสุดท้าย 16 % dry-basis
- 1.5.6 พิจารณาที่ค่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย (BP) 60% 70% และ 80%