การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวแตนโดยใช้ปั๊มความร้อนลดความชื้น

Development of Khao-Tan Cabinet Dryer Using Heat Pump Dehumidifier

สัมพันธ์ ไชยเทพ [1]**และ ศิริชัย สายอ้าย**[1]

Sumpun Chaitep[1] and Sirichai Saiaye[1]

Abstract

This paper presents the result to design, testing, performance and economics evaluation of small-scale heat pump dehumidifier dryer in the Agricultural Industry. The dryer capacity is 50 kg of wet khao-tan per batch with khao-tan initial and final moisture content are 81% and 13% (db.) respectively. The heat pump modified from a window type air conditioning package with a capacity of 9,000 BTU/h with R-22 as a working fluid. In the experimental, khoa-tan was dried in closed loop system under fixed conditions of bypass air ratio (BPA) at 4 levels of 0, 25, 50 and 75%. It was found that a parameters affecting performance of heat pump dehumidifier dryer were temperature and relative humidity of hot air into drying room, temperature and relative humidity of air into and out of heat pump dehumidifier, the air mass flow rate appropriate of heat pump dehumidifier dryer is 75% (BPA).

Key words: Heat pump, Dehumidifier, Dryer, Khao-tan

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอผลการออกแบบ สร้าง ทดสอบสมรรถนะ และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับนำไปใช้กับกลุ่มเกษตรกร เครื่องอบแห้งมีความสามารถในการอบข้าวแตนเปียกครั้งละ 50 กิโลกรัม อบจนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 13-17% (db.) ระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ดัดแปลงมาจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างที่มีภาระการทำความเย็น 9,000 Btu/h การทดลองมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนอากาศที่ไม่ไหลผ่านอีแวปปอเรเตอร์ 4 ระดับคือ 0 25 50 และ 75% พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนคืออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าและหลังออกจากปั๊มความร้อน โดยที่สภาวะที่เหมาะสมในเครื่องอบแห้งคืออัตราส่วนอากาศที่ไม่ไหลผ่านอีแวปปอเรเตอร์ 75%

คำสำคัญ: ปั๊มความร้อน ,การลดความชื้น ,เครื่องอบแห้ง ,ข้าวแตน

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากที่สุดของประเทศไทย เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักประจำวันของประชาชนไทยทั้งประเทศ และเป็นสินค้าออกที่นำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับหนึ่งในบรรดาสินค้าส่งออกด้านการเกษตรของประเทศทั้งหมด นอกจากการนำข้าวมาบริโภคเป็นอาหารหลักในชีวิตประจำวันแล้ว คนไทยยังนิยมแปรรูปข้าวเป็นอาหารทั้งคาวและหวานเพื่อการบริโภคและการจำหน่ายอีกมากมายเช่น ข้าวแตน มีปริมาณการผลิตส่วนใหญ่จะไม่แน่นอนขึ้นกับตลาดท้องถิ่น แต่มูลค่าการผลิตในแต่ละปี ประมาณ 72,000-120,000 บาทต่อครอบครัว (http://www.nstda.or.th/rural)

ข้าวแตน หรือ ข้าวแต๋น หรือ รังแตน คืออาหารว่างที่ทำจากข้าวเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก โดยนำข้าวเหนียวมานึ่งสุกคลุกผสมกับส่วนประกอบอื่นเช่น น้ำแตงโมหรือน้ำผลไม้อื่น เกลือ น้ำอ้อย งา กะทิ แล้วทำให้เป็นแผ่น หรือรูปแบบอื่น ทำให้แห้งโดยความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือจากแหล่งพลังงานอื่น ทอดให้พอง ปรุงแต่งด้วยเครื่องปรุงต่าง ๆ เช่น น้ำตาลมะพร้าว เคี่ยว หมูหยองน้ำพริกเผา ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตจะเป็นการตากแห้ง ซึ่งมักจะเกิดปัญหาในฤดูฝนและฤดูหนาว เนื่องจากภาคเหนือมีปริมาณมีปริมาณความชื้นในอากาศสูงและแสงแดดมีไม่เพียงพอ จึงทำให้การตากแห้งข้าวแตนไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่ เก็บรักษาไว้ไม่ได้นาน ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน และเกิดความเสียหายจากเชื้อรา (ศิริชัย สายอ้าย ,2547)

ปั๊มความร้อน (Heat pump) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้ความร้อนและรับความร้อนภายในเครื่องเดียวกันได้ เมื่อนำมา

[1]โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

[1]Agricultural Engineering Department, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

ประยุกต์ใช้กับการอบแห้ง ความร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์ (Condenser) สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับอากาศอบแห้ง อีแวปปอเรเตอร์ (Evaporator) มีความสามารถในการดึงพลังงานความร้อนกลับมาในรูปความร้อนแฝงจากอากาศร้อนชื้นที่ออกจากการอบแห้งซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตคือไอน้ำที่กลั่นตัว ด้วยเหตุนี้การอบแห้งโดยปั๊มความร้อนจัดว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าสูงสุด (Brodowicz *et al*, 1993 and Soponronnarit *et al*, 1997) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวแตนโดยปั๊มความร้อน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวแตน และประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งให้เหมาะสมกับกลุ่มเกษตรกร

อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบเครื่องอบแห้งจะคำนวณจากปริมาณการผลิตข้าวแตนของเกษตรกรประมาณ 50 กิโลกรัมต่อวัน ลดความชื้นประมาณ 81% (db) เหลือไม่เกิน 17% (db) ถาดบรรจุข้าวแตนมีขนาด 1.05×0.64 m^2 จำนวน 12 ถาด รวมพื้นที่อบแห้ง 8 m^2 ส่วนห้องอบแห้งมีขนาด $1.22 \times 1.22 \times 1.22$ m ผนังหุ้มฉนวนหนาด้านละ 3 cm ส่วนของระบบทำความร้อนมีองค์ประกอบของเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type air conditioning package) ขนาดการทำความเย็น 9,000 Btu/h มีพัดลมหมุนเวียนอากาศแบบใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade centrifugal fan) ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 HP ที่ความเร็วรอบ 1430 rpm มีปริมาณลมหมุนเวียนประมาณ 0.512 kg/s ดังแสดงในรูป

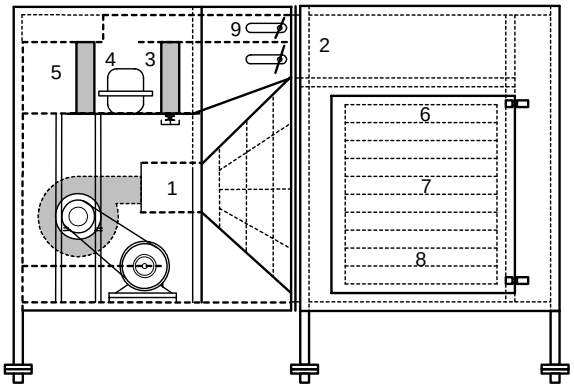

Figure 1 Measurement positions in heat pump dehumidifier dryer.

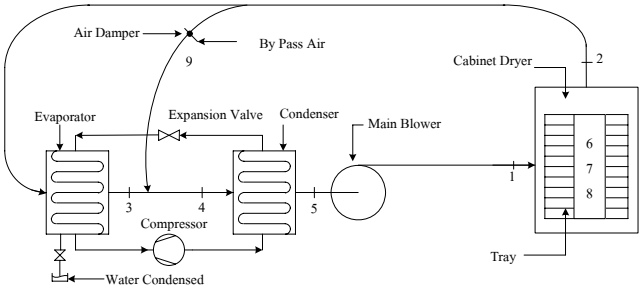

Figure 2 Air cycle measurement positions in heat pump dehumidifier dryer.

โดยการทดลองอบแห้งข้าวแตนเปียก จะทำการอบแห้งอย่างต่อเนื่องจนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 13-17% (db) การทดสอบจะปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศไม่ผ่านอีแวปปอเรเตอร์ (BPA) เป็น 4 ระดับคือ 0 25 50 และ 75% โดยเก็บข้อมูลการทดลองคืออุณหภูมิของอากาศไหลผ่านระบบปั๊มความร้อน อุณหภูมิของการอบแห้ง ความเร็วลมร้อนก่อนและหลังอบแห้ง การควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองพบว่าอากาศร้อนภายในระบบ อัตราการไหลเชิงมวลอากาศ 0.512 kg/s และปรับค่า BPA 0 25 50 และ 75% ซึ่งจะได้อัตราการไหลเชิงมวลผ่านอีแวปปอเรเตอร์อยู่ระหว่าง 0.128-0.512 kg/s พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนอบแห้งเฉลี่ย 57-60°C และ 27.5-33.6% การกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสม่ำเสมอ มีความแตกต่างกันไม่เกิน 5°C สามารถทำให้ข้าวแตนแห้งใกล้เคียงกัน

ด้านประสิทธิภาพการอบแห้ง พบว่าอัตราการอบแห้งโดยเฉลี่ย 2.19-2.30 kg water evap/h ในระบบปั๊มความร้อนได้ปริมาณน้ำที่ควบแน่นออกจากระบบ ซึ่งในช่วงแรกอากาศจะถูกอุ่น จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งไม่สูงมากนัก แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมงแล้ว ค่า MER จะมีค่าสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดการควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์ออกจากอากาศหลังอบแห้ง โดยเฉลี่ย 1.26-1.59 kg water cond/h และผลของการควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์สามารถดึงความชื้นได้ประมาณ 31-43 %ของน้ำที่ระเหยออกจากข้าวแตน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดี อีแวปปอเรเตอร์จึงสามารถดึงความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำได้ดี

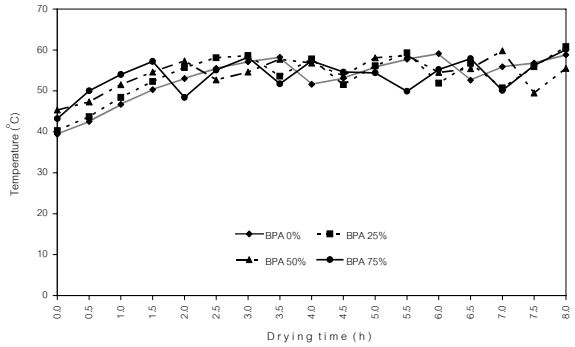

Figure 3 Temperature of drying air

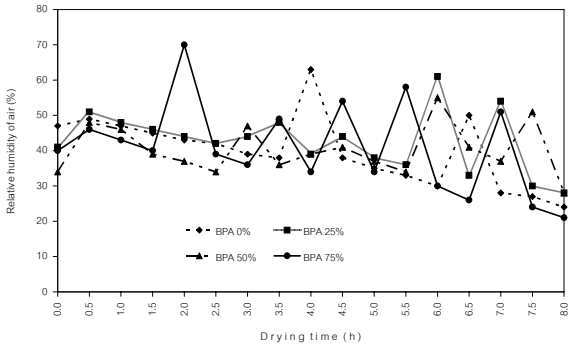

Figure 4 Relative humidity of testing air

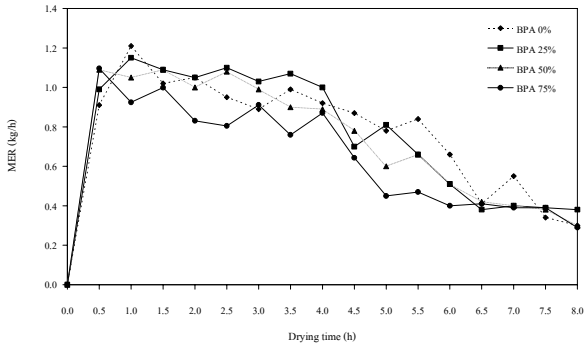

Figure 5 Moisture extractions rate

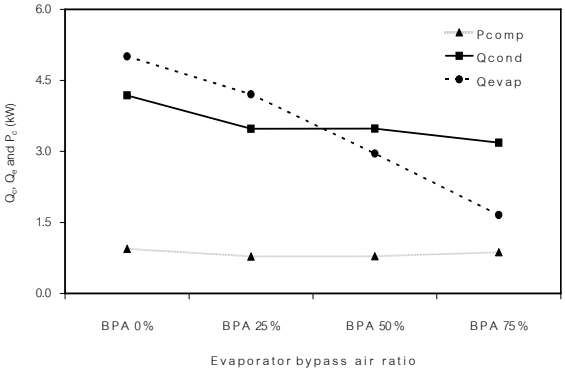

Figure 6 Heat transfer rate and power from heat pump

เมื่อวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 13.0-14.5 kWh/การอบแห้งครั้ง ซึ่งแตก ต่างกันไม่มากในทุกค่า BPA ถึงแม้ว่ากระบวนการอบแห้งจะดำเนินไปในสภาวะไม่คงที่ก็ตาม และจากการทดลองทำให้ทราบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (SEC) มีค่า 2.53-2.98 MJ/kg water evap เมื่อคิดเป็นอัตราการระเหยน้ำจากข้าวแตน (SMER) จะมีค่าเฉลี่ย 1.21-1.42 kg water evap/kWh ขณะที่ระบบปั๊มความร้อนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ (Q_{cond}) 3.19-4.21 kW โดยที่อัตราการดึงความชื้นอากาศหลังอบแห้งของอีแวปปอเรเตอร์ (Q_{evap}) มีค่า 1.66-5.01 kW และสมรรถนะ (COP) ของระบบปั๊มความร้อนจากอีแวปปอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์จะมีค่าเฉลี่ย 1.91-5.30 และ 3.66-4.44 ตามลำดับ

ผลการประเมินค่าใช้จ่าย พบว่าในการอบแห้งข้าวแตนเท่ากับ 3.48 บาทต่อกิโลกรัมข้าวแตนแห้ง โดยแบ่งเป็นค่าเครื่องอบแห้ง ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 1.84 1.24 และ 0.41 บาทต่อกิโลกรัมข้าวแตนแห้ง ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1.38 ปี มีอัตราผลตอบแทนคืนทุน 66.85%

Table1 Effects of khao-tan drying in the heat pump dehumidifier dryer

Description	Evaporator bypass air ratio (BPA)			
	0%	25%	50%	75%
Drying condition :				
Inlet air temperature (^{o}C) (Inlet relative humidity (%))	59.3) 27.5(	59.3) 30.6(	59.6) 29.7)	57.7 (33.6)
Outlet air temperature (^{o}C) (Outlet relative humidity (%))	53.2 (39.9)	53.6 (42.8)	54.3 (40.2)	53.7 (42.3)
Khao tan condition:				
Initial weight (kg) (Final weight (kg))	49.4 (31.9)	49.8 (30.7)	49.5 (31.2)	50.0 (31.6)
Initial moisture content (%db.) (Final content (%db.))	80.7 (17.4)	80.7 (12.1)	80.7 (14.6)	80.7 (14.9)
Air mass flow rate (kg/s)	0.512	0.384	0.256	0.128
Energy consumption (kWh)	14.5	14.0	13.0	13.0
Moisture extraction rate (kg water cond/h)	1.59	1.59	1.52	1.26
Specific moisture extraction rate (kg water evap/kWh)	1.21	1.36	1.41	1.42
Specific energy consumption (MJ/kg water evap)	2.98	2.64	2.55	2.53
Heat pump condition :				
Evaporator				
Inlet air temperature (^{o}C) (Inlet relative humidity (%))	53.2 (39.9)	53.6 (42.8)	54.3 (40.2)	53.7 (42.3)
Outlet air temperature (^{o}C) (Outlet relative humidity (%))	44.4 (59.5)	44.0 (67.6)	44.7 (63.4)	44.1 (65.0)
Condenser				
Inlet air temperature (^{o}C) (Inlet relative humidity (%))	51.8 (41.1)	52.9 (44.0)	53.7 (40.8)	53.2 (43.0)
Outlet air temperature (^{o}C) (Outlet relative humidity (%))	59.9 (28.3)	59.6 (33.0)	60.5 (29.2)	59.4 (32.1)
$Q_{evap,average}$(kW) ($Q_{cond,average}$ (kW))	5.01 (4.21)	4.21 (3.56)	2.95 (3.52)	1.66 (3.19)
$P_{comp,average}$ (kW) ($P_{motor,average}$ (kW))	0.94 (0.54)	0.78 (0.55)	0.79 (0.56)	0.87 (0.54)
$COP_{ref,average}$ ($COP_{hp,average}$)	5.30 (4.43)	5.38 (4.44)	3.76 (4.43)	1.91 (3.66)

สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการอบแห้งโดยใช้ระบบปั๊มความร้อนลดความชื้นในระบบปิด จะมีข้อดีคือการอบแห้งไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศแวดล้อมภายนอก การอบแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงทำให้สีของผลิตภัณฑ์ยังคงเดิม การอบแห้งที่อุณหภูมิที่ไม่สูงจะมีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสะอาด จึงเหมาะสำหรับการอบแห้งวัสดุในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ๆ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) เครือข่ายภาคเหนือ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กลุ่มเกษตรกรแม่บ้านทุ่งม่านเหนือ อำเภอเมือง ลำปาง และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

ศิริชัย สายอ้าย .2547. การพัฒนาตู้อบแห้งข้าวแตนโดยใช้ปั๊มความร้อน .วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 152.หน้า

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ .2548 .เศรษฐกิจ ข้าว .แหล่งที่มา http://www.nstda.or.th/rural

Brodowicz, K. and Dyakowski, T. 1993. Heat Pumps. Butterworth-Heinemann Ltd : Oxford. 210 Pages.

Soponronnarit, S., Kanphukdee, T. and Wetchacama, S., 1997. Seed Drying Using a Heat Pump. RERIC International Energy Journal, Vol.20 (1), pp. 15-28.