



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัย
และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ **5**
หัวข้อ

“**สู่วิจัย**รับใช้สังคม
ด้วยนวัตกรรม**สร้างสรรค์**”

เล่ม
วิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี

1

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

[ก]



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5
หัวข้อ “สู่วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

เล่ม 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

เผยแพร่ มกราคม พ.ศ. 2562

สมรรถนะทางความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์
จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง
Thermal Performance of Centralized Drying Room
from Geothermal Energy of San Kamphaeng Hot Spring

สุธรรม ชาวงิ้ว และ นัฐพร ไชยญาติ*

Sutham Chao-ngew and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 ม. 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
School of Renewable Energy, Maejo University 63 M.4 Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290
*E-mail: benz178tii@hotmail.com, +66(0) 882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงที่มีขนาด 3.6 m x 6.0 m x 3.0 m โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบผลการศึกษา พบว่า การทดสอบอบแห้งลำไยที่มีน้ำหนักก่อนทำการอบแห้งที่ 95.02 kg มีความชื้นฐานเปียกที่ 85.73% และหลังการอบแห้งน้ำหนักลดลงเหลือ 33.28 kg ความชื้นฐานเปียกลดลงเหลือ 38.00% อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในห้องอบแห้งอยู่ในช่วง 60-75 °C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 40 h กระบวนการอบแห้งมีอัตราการระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.000429 kg/s ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 80 °C และอัตราการไหลเฉลี่ย 1.36 kg/s มีอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนเฉลี่ย 30.07 kW และลมร้อนภายในห้องอบแห้งเฉลี่ย 18.27 kW และมีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 58.79%

คำสำคัญ: ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์, น้ำพุร้อน, การอบแห้ง, พลังงานความร้อนใต้พิภพ

Abstract

This research studies thermal performance of a centralized drying room from geothermal energy of Sankampang hot spring, which a sizing of centralized drying room at 3.6 m x 6.0 m x 3.0 m is tested and measured by the various measurement sensors. The study results, it could be found that a Longan was selected for drying at the weight of 95.02 kg and the wet basis of 85.73%. After the drying process, the weight and web basis values of the Longan was decreased to be 33.28 kg and 38%, respectively. The dry-bulb temperature inside the drying room at the range of 60-75 °C was controlled on the drying period of 40 h. The drying process could extract the water evaporating rate at 0.000429 kg/s under the controlled conditions of hot water temperature and flow rater entering the drying heat exchanger as 80 °C and 1.36 kg/s, respectively. The drying capacities of hot water and hot air circulating in the drying room at approximately 30.07 kW and 18.27 kW were relatively revealed, which the drying efficiency was around 58.79%.

Keywords: Centralized drying room, Hot spring, Drying process, Geothermal energy

1. บทนำ

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรม เป็นอยู่ชาวอู่น้ำหล่อเลี้ยงประชากรโลก ดังนั้นจึงมีผลิตผลทางการเกษตรออกสู่ท้องตลาดเป็นจำนวนมาก ซึ่งในบางครั้งจำนวนผลิตผลในการส่งออกมีปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของผู้บริโภค จึงทำให้ผลิตผลดังกล่าวมีราคาที่ย่ำแย่ เกษตรกรจึงได้มีการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตรด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการตากแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่การลดความชื้นโดยวิธีตากแห้งเป็นวิธีที่ต้องใช้พื้นที่และระยะเวลาในการตากที่มาก อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเกิดความสกปรกหรือมีเชื้อราที่เกิดขึ้นจากฝุ่นระออง แมลงรบกวน หรือสภาพฝนฟ้าอากาศ ซึ่งการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถลดพื้นที่ในการอบแห้ง ป้องกันฝุ่นระอองและแมลงรบกวนได้ อย่างไรก็ตามการอบแห้งมีค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานความร้อน ทำให้มีผู้วิจัยหลายท่านได้นำพลังงานทดแทนสำหรับผลิตพลังงานความร้อนมาใช้ในกระบวนการอบแห้งเช่น งานวิจัยของอนิรุท และสมบัติ (2556) ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ โดยผลการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งที่มีการหุ้มฉนวนที่ตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m^2 ที่อุณหภูมิแวดล้อมของอากาศ $32.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้งอยู่ในช่วง $45\text{-}65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่อัตราเร็วลม $0.56\text{-}0.94 \text{ m/s}$ เวียง และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้ที่มีขนาดกว้าง 6.0 m ยาว 6.0 m และสูง 1.8 m โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้า 100 kg ผลการทดสอบพบว่า กล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ 65% เหลือ 22% ที่อุณหภูมิของลมร้อน $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในระยะเวลา 10 h และอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 48 h กิตติศักดิ์ และวริศ (2559) ได้ทำการศึกษาตู้อบพลาสติกพลังงานความ

ร้อนจากแผงโซลาร์ร่วมกับขดลวดทำความร้อน โดยมีปริมาณความจุในการอบแห้ง 10 kg ผลการศึกษาพบว่า การอบพลาสติกในช่วงอุณหภูมิ $50\text{-}60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ความร้อนจากแผงโซลาร์เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพ 56.1% ใช้เวลา 220 min และความร้อนจากแผงโซลาร์ร่วมกับขดลวดทำความร้อน มีประสิทธิภาพ 37.96% ใช้เวลา 120 min Lakshmi et. al (2017) ได้ทำการอบแห้งขมิ้นดำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการทดสอบพบว่า ขมิ้นดำ 200 g ใช้เวลาในการอบแห้ง 18.5 h ความชื้นลดลงจาก 73.4% เหลือ 8.5% มีประสิทธิภาพ 25.6% Thanompongchart et. al (2017) ได้ใช้พลังงานชีวมวลในการอบแห้งข้าวเกรียบ จากการศึกษาพบว่า ข้าวเกรียบ 250 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 20 h มีความชื้นก่อนการอบแห้งที่ $85\text{-}90\%$ หลังการอบแห้งความชื้นลดลงเหลือ 10% โดยใช้พลังงานชีวมวล $60\text{-}70 \text{ kg}$ มีประสิทธิภาพ 35% ธนะวิทย์ และกฤษณพงศ์ (2558) ได้ทำการศึกษาเตาอบพลังงานความร้อนจากแก๊สที่มีขนาดกว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m และสูง 1.2 m ผลการศึกษาพบว่า พริก 1 kg ใช้เวลาในการอบ 3 h ความเร็วลมเฉลี่ย 1.3 m/s ที่อุณหภูมิ $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ น้ำหนักพริกหลังการอบแห้งลดลงเฉลี่ย 70% Hamdani, Rizal and Muhammad (2018) ได้ทำการสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งชีวมวลและพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับการอบแห้งปลาที่มีขนาดกว้าง 80 cm และยาว 260 cm ผลการทดสอบพบว่า การอบแห้งปลา 25 kg ในช่วงอุณหภูมิ $40\text{-}50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา $22\text{-}23 \text{ h}$ น้ำหนักของปลาหลังการอบแห้ง 12.5 kg

ทั้งนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลในการอบแห้ง มีข้อจำกัดในการอบแห้ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ในขณะที่มีแสงแดดเท่านั้น และพลังงานชีวมวล ต้องป้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาเมื่อทำการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งโดยการพลังงานความร้อนได้พิภพ ในรูปแบบของน้ำพุร้อนถือได้ว่าเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีการไหลเวียนของน้ำพุร้อนอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ทำให้เกิดพลังงานความร้อนค่อนข้างคงที่สำหรับการอบแห้ง

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง

2. วัตถุประสงค์

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง โดยมีวัตถุประสงค์ดังแสดงต่อไปนี้

1. เพื่อออกแบบและสร้างห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 หลักการออกแบบของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

หลักการออกแบบห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ คือ การรวบรวมแหล่งจ่ายพลังงานความร้อนไว้ที่เดียวกัน นำลมมารับความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และจ่ายเข้าสู่พื้นที่อบแห้งต่อไป ซึ่งการจ่ายลมร้อนต้องการจ่ายลมร้อนให้มีความเร็วลมและอุณหภูมิที่ทั่วทั้งพื้นที่การอบแห้ง เพราะหากมีจุดอับที่ลมร้อนส่งไปไม่ถึง จะทำให้เกิดการเน่าของวัสดุทางการเกษตรได้ในที่สุด ดังนั้นปัญหาหลักของการออกแบบห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ คือ การหาขนาดห้องอบแห้ง ขนาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้อง เนื่องจากน้ำพุร้อนในแต่ละพื้นที่มีอัตราการไหล

และอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamic, CFD) มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของของไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ [นัฐพร, 2561]

3.2 หลักการทำงานของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

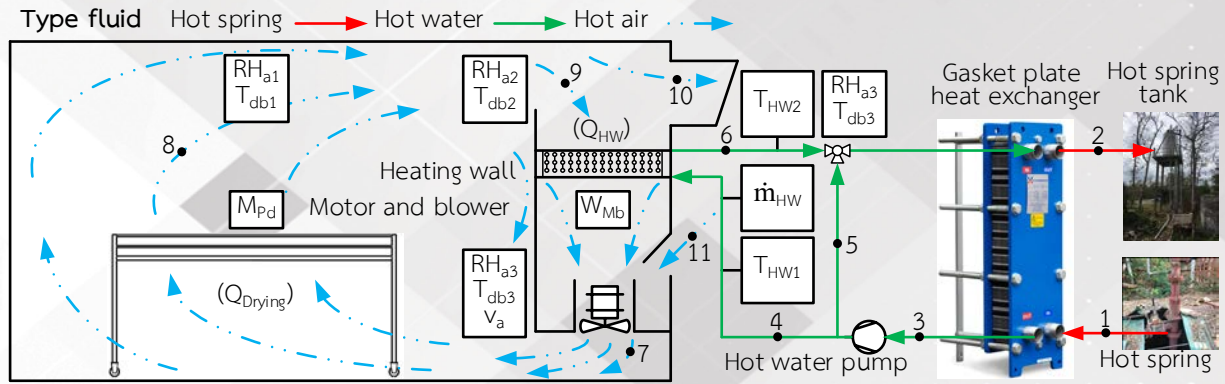
การทำงานของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เริ่มจากน้ำพุร้อนจุดที่ 1 ไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำสะอาด ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบถอดประกอบได้ และนำพุร้อนจะถูกส่งไปยังใช้งานยังแหล่งท่องเที่ยวในจุดที่ 2 น้ำสะอาดเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิจะสูงขึ้นในจุดที่ 3 และเพิ่มความดันโดยปั๊มไหลเข้าไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในจุดที่ 4 และน้ำร้อนจะถูกควบคุมโดยวาล์วควบคุมการไหลในจุดที่ 5 และน้ำร้อนในจุดที่ 6 จะไหลไปรับความร้อนกับน้ำพุร้อนอีกครั้ง ซึ่งในจุดที่ 7 พัดลมจะดูดอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเป่าลมร้อนไปยังจุดที่ 8 ในจุดที่ 9 จะถูกดูดมารับความร้อนอีกครั้ง ในจุดที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงจะไหลออกไปยังปล่องระบายด้านบน และจุดที่ 11 จะนำความชื้นสัมพัทธ์ต่ำของอากาศภายนอกเข้ามาแทนที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงของอากาศภายในห้องอบแห้ง [นัฐพร, 2561]

การพิจารณาประสิทธิภาพห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถพิจารณาจากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{HW} = \dot{m}_{HW} C_{p, bulk, HW} (T_{HW1} - T_{HW2}) \quad (1)$$

$$Q_{Drying} = \dot{m}_{da} [h_{a,o} - h_{a,i}] + (\omega_{a,o} - \omega_{a,i}) h_{fg} \quad (2)$$

$$\eta_{Drying} = Q_{Drying} / (Q_{HW} + W_{Mb}) \quad (3)$$



รูปที่ 1 แผนภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

4. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศมรรถนะทางความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ออกแบบและสร้างห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่มีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 6.0 m และสูง 3.0 m

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ในการทดสอบ

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
ไอซีวีตอุณหภูมิ	วัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าและออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	- ช่วงอุณหภูมิวัดได้ -55 ถึง 125 °C - ความแม่นยำ ± 0.5 °C
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกห้องอบแห้ง	- แรงดันไฟฟ้าเข้า 3.3-6 V - ช่วงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่วัดได้ -40 ถึง 80 °C - ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ 0 ถึง 100% - ความแม่นยำ ± 2 %RH และ ± 0.5 °C
แอนนิโมมิเตอร์	วัดความเร็วลมบริเวณทางออกของผนังฉากลมเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ	- ช่วงความเร็วที่วัดได้ 0.4 ถึง 30.0 m/s - ความแม่นยำ ± (3% + 0.2 m/s)
หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	วัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม	- กระแสที่ทำการแปลง 20/100 Amp
วาล์วสามทาง	ควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อน	- แรงดันไฟฟ้าเข้า 24 V , DC ±15 % - ช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้ - 5 ถึง 185 °C - ความดันสูงสุด 10 bar

4.3 ทดสอบการอบแห้งลำไยด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ จนกระทั่งลำไยมีความชื้นต่ำกว่า 40% wet basis

4.2 ติดตั้งอุปกรณ์จุดตรวจวัดค่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 อันประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลม กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมของห้องอบแห้ง โดยอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบอบแห้งลำไยด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

5. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง ดังแสดงต่อไปนี้

5.1 ผลการออกแบบและสร้างห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการออกแบบและสร้างห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เมื่อแล้วเสร็จมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบและสร้างประกอบด้วย ผนังห้องและประตูใช้แผ่นฉนวนกันความร้อนสำเร็จรูป (Isowall) หนา 3 in ฉนวนฉลอมมีขนาดกว้าง 0.955 m ยาว 3.450 m และสูง 2.500 m อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและครีป (Fin tube heat exchanger) มีขนาดกว้าง 0.90 m ยาว 1.20 m และสูง 0.20 m พัดลมแบบหมุนตามแนวแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 in มีปริมาณลม 155 cmm กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม 2 hp และชั้นตะแกรงวางผลิตผลทางการเกษตรที่มีขนาดกว้าง 1.2 m ยาว 2.0 m และสูง 1.0 m



รูปที่ 2 ลักษณะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เมื่อแล้วเสร็จ

5.2 ผลการทดสอบห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

นำลำไยจำนวน 95.02 kg วางบนชั้นตะแกรง ดังแสดงในรูปที่ 3 จนกระทั่งลำไยมีความชื้นต่ำกว่า 40% wet basis ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลำไยก่อนทำการอบแห้ง

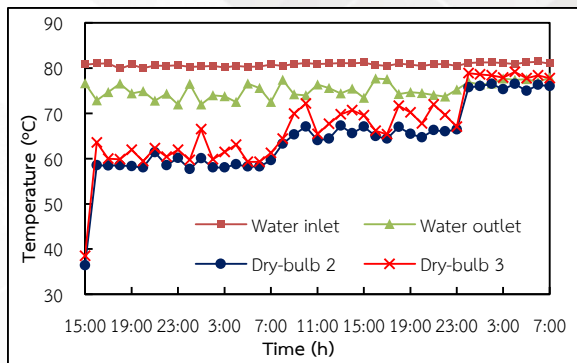


รูปที่ 4 ลำไยหลังทำการอบแห้ง

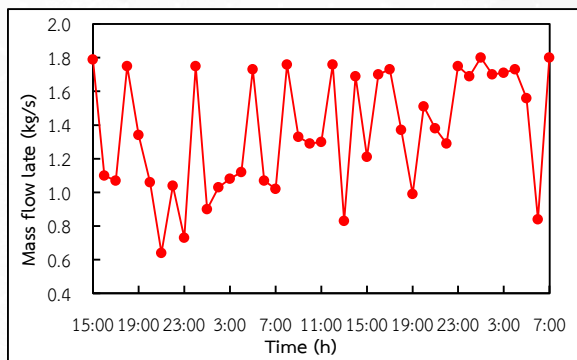
จากผลการทดสอบอบแห้งลำไยที่จุดตรวจวัดต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนบริเวณทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{HW,i}$) มีค่าเฉลี่ยประมาณ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อน้ำร้อนไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{HW,o}$) อุณหภูมิจะลดลงประมาณ $5\text{-}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิกะเปาะแห้งบริเวณทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{db,2}$) อยู่ในช่วงระหว่าง $60\text{-}75\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากการถ่ายเทความร้อนกับน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิกะเปาะแห้งบริเวณทางออก ($T_{db,3}$) เพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยประมาณ $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนภายในห้องต่ำกว่า 50% ดังแสดงในรูปที่ 5

การควบคุมอุณหภูมิในช่วงเวลาใด ๆ เพื่อใช้ในการอบแห้งลำไย สามารถทำได้ด้วยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อน จากวาล์วควบคุม (3-way control valves) ซึ่ง

อัตราการไหลที่ถูกควบคุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.6-1.8 kg/s ดังแสดงในรูปที่ 6

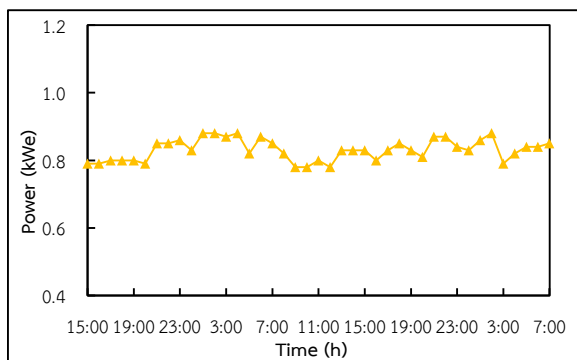


รูปที่ 5 อุณหภูมิจุดต่าง ๆ ภายในห้องอบแห้ง



รูปที่ 6 อัตราการไหลของน้ำร้อน

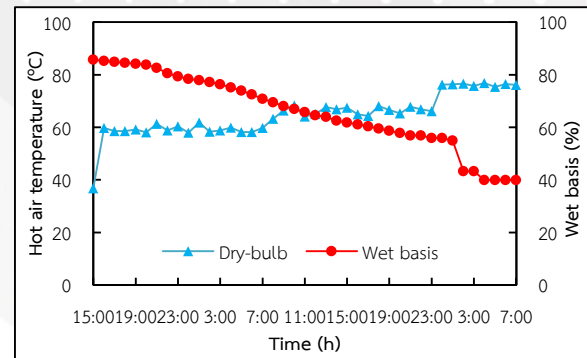
การอบแห้งลำไยมีการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบ คือ พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน เพื่อใช้ในการกระจายลมร้อนไปยังพื้นที่อบแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 kW_e และมีรายละเอียดข้อมูล ณ เวลาใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน

5.3 การวิเคราะห์ผลการอบแห้งลำไยด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การทดสอบอบแห้งลำไยในปริมาณ 95.02 kg ที่มีการทดสอบโดยกำหนดช่วงอุณหภูมิภายในห้องออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ ในช่วงแรกทำการกำหนดอุณหภูมิที่ 60 °C ในช่วงนี้จะทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 16 h ช่วงที่ 2 ทำการเพิ่มความร้อนภายในห้องอบแห้งเป็น 65 °C อีก 16 h ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์มีการระเหยออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์ และในช่วงสุดท้ายได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในห้องเป็น 75 °C เพื่อไล่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุด ในระยะเวลา 8 h รวมระยะเวลาทั้งหมด 40 h ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยน้ำหนักหลังการอบแห้งลำไยลดลงเหลือ 33.28 kg มีอัตราการระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.000429 kg/s

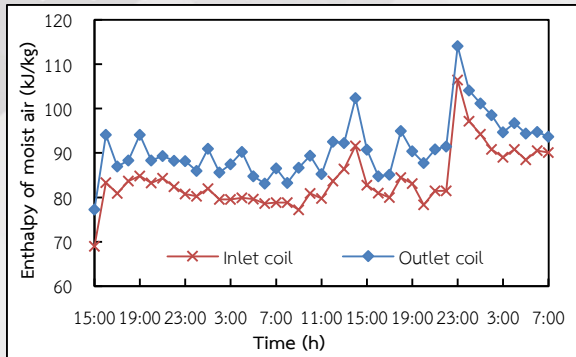


รูปที่ 8 ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของการอบแห้งลำไย

นอกจากนี้รูปที่ 8 ยังแสดงปริมาณความชื้นของลำไย ณ ช่วงเวลาการอบแห้งต่าง ๆ โดยพบว่า ลำไยมีความชื้นฐานเปียกเริ่มต้นที่ 85.73% เมื่ออบแห้งแล้วเสร็จมีความชื้นฐานเปียกลดลงเหลือประมาณ 38.00% ดังแสดงในรูปที่ 9

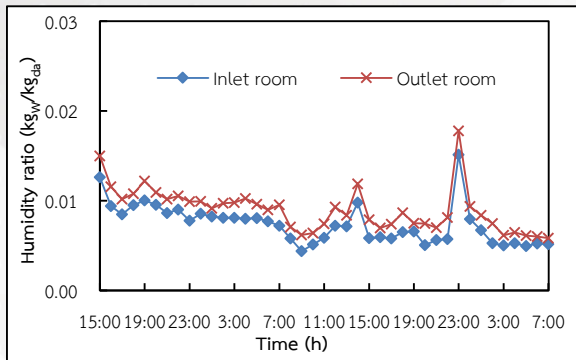
จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ซึ่งมีผลต่อเอนทัลปีของลมร้อน ณ บริเวณทางเข้า ($h_{a,i}$) มีค่าเฉลี่ย 83.88 kJ/kg เอนทัลปีของลมร้อนบริเวณทางออกผนังแจกลม ($h_{a,o}$) มีค่าเฉลี่ย 90.96 kJ/kg ดังแสดงในรูปที่ 9

และมีอัตราการไหลของอากาศแห้งบริเวณทางออกของผนัง แจกกลม (\dot{m}_{da}) มีค่าเฉลี่ย 1.7 kg_{da}/s



รูปที่ 9 เอนทัลปีและอัตราการไหลของลมร้อน

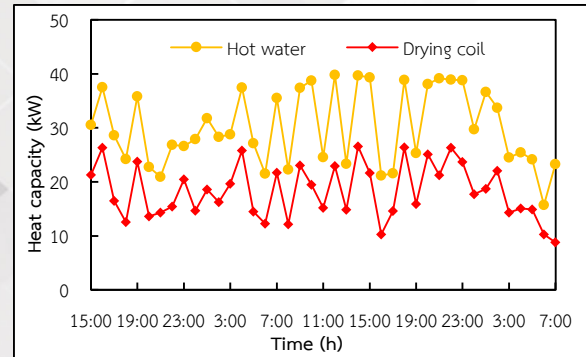
นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนความชื้นของลมร้อน บริเวณทางเข้าผนังแจกกลม ($\omega_{a,i}$) มีค่าประมาณ 0.007 kg_w/kg_{da} และทางออก ($\omega_{a,o}$) มีค่าประมาณ 0.009 kg_w/kg_{da} ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยกำหนดให้เอนทัลปีการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (h_{fg}) มีค่า 2,386.61 kJ/kg



รูปที่ 10 อัตราส่วนความชื้นของลมร้อน

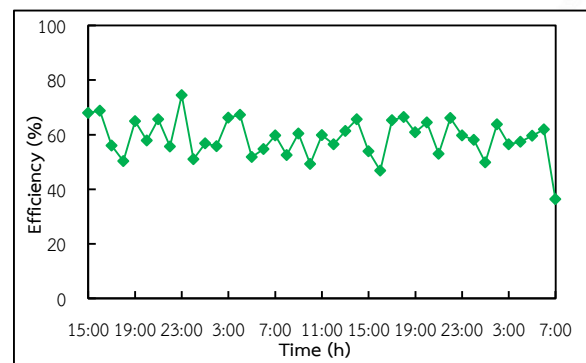
เมื่อนำข้อมูลต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาประเมินอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน (Q_{HW}) พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน ของน้ำร้อนที่จ่ายให้แก่ห้องอบแห้งมี ค่าเฉลี่ย 30.07 kW และอัตราการถ่ายเทความร้อนของลม ร้อนภายในห้องอบแห้ง (Q_{Drying}) มีค่าเฉลี่ย 18.27 kW ซึ่งค่า

ดังกล่าวจะผันตามอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อนที่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง

เมื่อนำผลการประเมินอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ ป้อนให้แก่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน และ ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ในการอบแห้งของลมร้อน มา คำนวณหาประสิทธิภาพการอบแห้ง พบว่า ประสิทธิภาพ ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีค่าเฉลี่ย 58.79% โดย ประสิทธิภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับ การควบคุมอุณหภูมิของห้อง อบแห้งแบบรวมศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพของกรอบแห้งลำไย

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จาก พลังงานความร้อนใต้พิภพ พบว่า ลำไยจำนวน 95.02 kg ที่ ความชื้นฐานเปียก 85.73% เมื่อทำการอบแห้งด้วยลมร้อน

อุณหภูมิในช่วง 60-75 °C เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 40 h น้ำหนักของลำไยลดลงเหลือ 33.28 kg ที่ความชื้นฐานเปียกที่ 38.00% มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของลมร้อนภายในห้องเท่ากับ 18.27 kW ซึ่งมีการป้อนความร้อนจากน้ำร้อน 30.07 kW และพลังงานไฟฟ้าจากพัดลมในการกระจายลมร้อนภายในห้อง 0.82 kW_e ทำให้ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีค่าประมาณ 58.79%

7. สรุป

ผลจากการศึกษาสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่มีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 6.0 m และสูง 3.0 m โดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลำไยก่อนการอบแห้ง 95.02 kg มีความชื้นฐานเปียก 85.73% และหลังการอบแห้งน้ำหนักลดลงเหลือ 33.28 kg ความชื้นฐานเปียก 38.00% โดยใช้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 60-75 °C เป็นระยะเวลา 40 h
2. อัตราการระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.000429 kg/s
3. อุณหภูมิของน้ำร้อนบริเวณทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 80 °C มีอัตราการไหลของน้ำร้อนเฉลี่ย 1.36 kg/s และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย 30.07 kW
4. อัตราการถ่ายเทความร้อนของลมร้อนภายในห้องอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 18.27 kW
5. ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์พลังงานความร้อนใต้พิภพเท่ากับ 58.79%

8. ข้อเสนอแนะ

ผลผลิตทางการเกษตรแต่ละชนิดมีการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งไม่เหมือนกัน ดังนั้นควรศึกษาวิธีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรต่าง ๆ ก่อนทำการอบแห้ง เพื่อให้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบแห้ง จึงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งได้มากยิ่งขึ้น

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงานที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

- อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และสมบัติ ทีฆทรัพย์. (2556). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*. 7 (1) : 23-31.
- เวียง อากรชี่ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ วิบูลย์ เทเพนทร์ อนุชา เขาวีโชติ อุทัย ธาณี และอัศคพล เสนาณรงค์. (2559). การศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยปีที่ 22* ฉบับที่ 1, 39-45.
- กิตติศักดิ์ ศรีสวัสดิ์ และวริศ จิตต์ธรรม (2559). การศึกษาตู้อบพลาสติกพลังงานความร้อนจากแผงโซลาร์ร่วมกับขดลวดทำความร้อน. 9 (2) : 20-30.
- Lakshmi.D.V.N., Muthukumar P., Layek A., and Nayak P. (2017). Drying kinetics and quality analysis of black turmeric (*Curcuma caesia*) drying in a mixed mode forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage. *Renewable Energy*., 120 : 23-34.
- Thanompongchart P., Pintana P., Phimphilai K., and Tippayawong N. (2017). Utilization of Biomass

Energy in Drying of Glutinous Rice Crakers. **Energy Procedia** 138 : 331-336.

ธนะวิทย์ ทองวิเชียร และกฤษณะพงศ์ สังขวาสี. (2558). เตาอบพลังงานความร้อนจากแกลบ. **การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ.8** : 89-94.

Hamdani, Rizal T.A., and Muhammad Z. (2018) Fabrication and testing of hybrid solar-biomass dryer for drying fish. **Case Studies in Thermal Engineering**. 12 : 489-496

นัฐพร ไชยญาติ. (2561). เทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy Technology). พิมพ์ครั้งที่ 8. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. : มหาวิทยาลัยแม่โจ้

i	เข้า
HW	น้ำร้อน
Mb	มอเตอร์และพัดลม
o	ออก
Pd	ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

11. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

Cp	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
h	เอนโทรปี (kJ/Kg)
M	น้ำหนัก
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)
T	อุณหภูมิ (°C)
v	ความเร็วลม (m/s)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)
W	กำลังไฟฟ้า (kW _e)

ตัวกรีก

η	ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (%)
\dot{m}	อัตราการไหล
ω	อัตราส่วนความชื้น

ตัวห้อย

a	อากาศ
bulk	ค่าเฉลี่ย
db	กระเปาะแห้ง
Drying	ห้องอบแห้งอบรวมศูนย์
fg	การควบแน่นของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์