

## การทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์

วสันต์ จินธาดา\* จารุวัฒน์ เจริญจิต และ ประทีป ทิพย์ประชา

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 7431 7100 ต่อ 3020 อีเมล: wasan.j@rmutsv.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.011

รับเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2561 แก้ไขเมื่อ 1 มิถุนายน 2561 ดอรับเมื่อ 6 มิถุนายน 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 13 ธันวาคม 2561

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ในการทดลองนี้มีการควบคุมสภาวะการอบแห้งเป็น 3 ช่วง สำหรับวันที่ 1 ความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 550 ซม.<sup>2</sup> ส่วนวันที่ 2-5 ความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 275 ซม.<sup>2</sup> และในช่วงสุดท้ายระหว่างวันที่ 6-8 ความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.1 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 110 ซม.<sup>2</sup> พบว่าพื้นที่ช่องระบายอากาศและความเร็วอากาศมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงแรกของการอบแห้ง (วันที่ 1) เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38% หลังจากนั้น (วันที่ 2-5) มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 48°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 25% และในช่วงสุดท้าย (วันที่ 6-8) มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 54°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 18% ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 31°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 46% รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 708 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> และเปรียบเทียบแบบจำลองอบแห้งขั้นบางกับผลการทดลองพบว่าแบบจำลองของ Page ทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและการผึ่งยางแผ่นในที่ร่มได้แม่นยำกว่าแบบจำลองของ Newton และ Henderson and Pabis โดยมีช่วงค่า  $R^2$  0.9825-0.9841,  $Adjusted R^2$  0.9822-0.9837,  $SSE$  0.04347-0.04918,  $RMSE$  0.03074-0.0327 สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและมีช่วงค่า  $R^2$  0.9672-0.9826,  $Adjusted R^2$  0.9665-0.9823,  $SSE$  0.03055-0.06592,  $RMSE$  0.02577-0.03786 สำหรับการอบแห้งด้วยการผึ่งในที่ร่ม

**คำสำคัญ:** อบแห้ง, ยางแผ่น, พลังงานแสงอาทิตย์, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



## Drying Experiment of Rubber Sheet Using Solar Dryer with Solar Collector Installed on Top Wall of the Dryer

Wasan Jeentada\* Jaruwat Jareanjit and Prateep Tippracha

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0 7431 7100 Ext. 3020, E-mail: wasan.j@rmutsv.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.011

Received 2 February 2018; Revised 1 June 2018; Accepted 6 June 2018; Published online: 13 December 2018

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research aims to study the efficiency of rubber sheet drying using a solar dryer with a top-tier solar collector. Drying conditions were separated into 3 phases. In the first phase (first day), the air velocity in the drying room was controlled at 0.2 m/s with 550 cm<sup>2</sup> open ventilation area. In the second phase, (2<sup>nd</sup>-5<sup>th</sup> day), the subjects was exposed to air velocity of 0.2 m/s with 275 cm<sup>2</sup> open-area ventilation. In the final phase (6<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> day), the air velocity was controlled at 0.1 m/s with the ventilation opening area of 110 cm<sup>2</sup>. It can be seen that the ventilation opening area and the air velocity had an effect on the drying temperature control within the solar dryer. In the first phase, the average drying temperature was 40°C with average relative humidity of 38%. It increased to 48°C while the average relative humidity decreased to 25% in the second phase. At the final phase, the average drying temperature and the average relative humidity were 54°C and 18% respectively; at the average ambient temperature of 31°C, at the average relative humidity of 46% and the average solar radiation of 708 W/m<sup>2</sup>. The mathematical models of moisture ratio for thin-layer drying (Newton, Page and Henderson and Pabis) were applied for the verification of results. It was found that Page model is more consistent than Newton and Henderson and Pabis model with  $R^2$  of 0.9825-0.9841, *Adjusted R<sup>2</sup>* of 0.9822-0.9837, *SSE* of 0.04347-0.04918 and *RMSE* of 0.03074-0.0327 for rubber sheet dried with the solar dryer. In addition, for shade drying, the statistical parameters of Page model are  $R^2$  of 0.9672-0.9826, *Adjusted R<sup>2</sup>* of 0.9665-0.9823, *SSE* of 0.03055-0.06592 and *RMSE* of 0.02577-0.03786.

**Keywords:** Drying, Rubber Sheet, Solar Energy, Solar Dryer

Please cite this article as: W. Jeentada, J. Jareanjit, and P. Tippracha, "Drying experiment of rubber sheet using solar dryer with solar collector installed on top wall of the dryer," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp. 23-33, Jan.-Mar. 2019 (in Thai).

## 1. บทนำ

ยางแผ่นดิบ (Air Dried Sheet; ADS) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ได้จากต้นยางพารา โดยการนำน้ำยางพารามาผ่านกระบวนการรีดแผ่นแล้วลดความชื้นของยางพาราแผ่นด้วยการผึ่งในที่ร่มโดยการนำยางแผ่นไปตากแดด 1 วัน ส่วนวันที่ 2 เป็นต้นไปจะนำไปผึ่งในที่ร่มจนยางแผ่นแห้งหรือการใช้ลมร้อน การผึ่งในที่ร่มเป็นการผลิตยางแผ่นดิบที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำให้แห้ง แต่ยางแผ่นดิบจะสีด้าคล้ำและเนื้อยางจะไม่ใสทั่วตลอดทั้งแผ่น เมื่อนำไปจำหน่ายจะถูกลดราคาลงตามคุณภาพของยางแผ่นดิบ การใช้ลมร้อนก็มีหลายวิธี เช่น ใช้ลมร้อนจากฮีตเตอร์ ลมร้อนจากปั๊มความร้อน ลมร้อนจากแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งลมร้อนจากแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นลมร้อนที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างกว้างขวาง การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ควรให้แสงแดดสัมผัสกับยางแผ่นเพราะจะทำให้ยางแผ่นเหนียวเยิ้ม มีคุณภาพลดลง [1] จึงควรใช้แต่ลมร้อนมาอบแห้งยางแผ่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบแสงแดดไม่สัมผัสกับวัสดุจึงเหมาะกับการอบแห้งยางแผ่น เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน เพื่อให้อากาศที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วไหลเข้าไปยังห้องอบแห้ง Ninchuewong *et al.* [2] Jeentada *et al.* [3] Dejchanchaiwong *et al.* [4] อบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ แต่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะแยกแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ออกจากตัวห้องอบแห้ง จึงทำให้เครื่องอบแห้งใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก และยังมีเครื่องอบแห้งที่ผลิตทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของ Yahya *et al.* [5] อบแห้งมันสำปะหลัง Eltawil *et al.* [6] อบแห้งสระแห่น Rabha และ Muthukumar [7] อบแห้งพริกแดง Wang *et al.* [8] อบแห้งมะม่วง Baniasadi *et al.* [9] อบแห้งแอปเปิ้ลคอตด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง โดยแยกแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ออกจากตัวห้องอบแห้ง การใช้แบบจำลองอบแห้งชั้นบาง

(Thin-layer Drying Model) ต้นแบบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองเป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุพอรุนในระหว่างกระบวนการอบแห้ง [10] Jeentada *et al.* [11] อบแห้งยางแผ่นด้วยตู้อบแห้งใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์พบว่าแบบจำลองอบแห้งชั้นบางของ Modified Henderson and Pabis, Verma *et al.*, Midilli *et al.*, Weibull Distribution และ Page ทำนายอัตราส่วนความชื้นของยางแผ่นได้ดี Dejchanchaiwong *et al.* [4] อบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้พลังงานความร้อนจากแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าแบบจำลองอบแห้งชั้นบางของ Page และ Two-term ทำนายอัตราส่วนความชื้นของยางแผ่นได้ดี แบบจำลองอบแห้งชั้นบางที่มีรูปแบบสมการง่าย ซึ่งประกอบด้วยหนึ่งเทอมในสมการเพื่อทำนายอัตราส่วนความชื้นของวัสดุพอรุนที่นิยมใช้คือแบบจำลองของ Newton, Page และ Henderson and Pabis [12] บทความนี้เป็นการทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประหยัดพื้นที่ติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่เข้าอบแห้ง และเปรียบเทียบผลการอบแห้งยางแผ่นที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองอบแห้งชั้นบางของ Newton, Page และ Henderson and Pabis

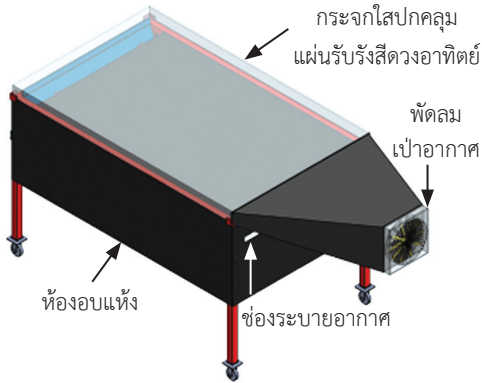
## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 วัสดุ

ยางแผ่นที่ผ่านกระบวนการรีดแผ่นของสหกรณ์กองทุนสวนยางพิจิตร จำกัด ต.พิจิตร อ.นาหม่อม จ.สงขลา มีขนาดความกว้าง 45–50 ซม. ยาว 95–100 ซม.หนา 2–4 มม. มีความชื้นเฉลี่ย 34% มาตรฐานแห้ง

### 2.2 อุปกรณ์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ มีขนาดห้องอบแห้ง 130 × 210 × 70 ซม. (กว้าง × ยาว × สูง) บรรจุยางแผ่นได้ 30 แผ่น

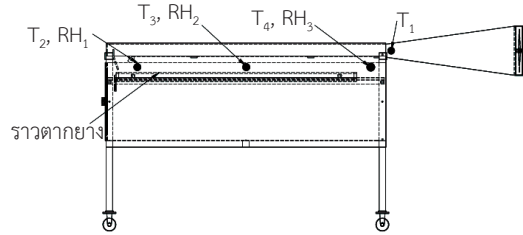


(ก) ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



(ข) รูปจริงเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผนังห้องอบแห้งทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 1 มม. ผนังด้านบนห้องอบแห้งปกคลุมด้วยกระจกใสหนา 6 มม. เพื่อใช้เป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ใช้พัดลมเป่าอากาศยี่ห้อ Mitsubishi ขนาด 12 นิ้ว เป่าอากาศให้ไหลผ่านแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์เข้าไปยังห้องอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 มีช่องระบายอากาศยาว 110 เมตร ความสูงของช่องระบายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนได้ 3 ระดับ คือ เปิดช่องระบายอากาศสูง 1 ซม., 2.5 ซม. และ 5 ซม. บันทึกค่าการทดลองด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น MV 2000 ค่าความผิดพลาด  $\pm 0.15\%$  สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ และ  $\pm 0.05\%$  สำหรับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K วัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ยี่ห้อ Primus รุ่น HM-004-01 ค่าความผิดพลาด  $\pm 2\%$  RH เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น CM P11 ค่าความผิดพลาด  $\pm 2\%$  เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA4102 ค่าความผิดพลาด



รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

$\pm 0.01$  กรัม ซึ่งมวลได้สูงสุด 4100 กรัม มีตำแหน่งวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในเครื่องอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 2

### 2.3 วิธีการทดลอง

การอบแห้งยางแผ่นมีการควบคุมสภาวะอบแห้งเป็น 3 ช่วง คือ วันที่ 1 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 5 ซม. คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 550 ซม.<sup>2</sup> วันที่ 2-5 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 2.5 ซม. คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 275 ซม.<sup>2</sup> วันที่ 6-8 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.1 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 1 ซม. คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 110 ซม.<sup>2</sup> ทำการทดลองอบแห้งยางแผ่นที่สภาวะนี้ซ้ำ 3 ครั้งๆ ละ 30 แผ่น เพื่อยืนยันผลการทดลอง บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ทุกๆ 1 นาที แล้วนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าเป็นทุกๆ 30 นาที บันทึกค่ามวลของยางแผ่นทุกๆ 1 ชั่วโมง ในวันที่ 1 และวันที่ 2 ของการอบแห้ง และบันทึกค่ามวลของยางแผ่นทุกๆ 2 ชั่วโมง ในวันที่ 3 เป็นต้นไป โดยการนำยางแผ่นในเครื่องอบแห้ง 4 แผ่น คือ ตำแหน่งกลางเครื่องอบ 2 แผ่น ตำแหน่งกลางส่วนหน้าเครื่องอบ 1 แผ่น ตำแหน่งกลางส่วนหลังเครื่องอบ 1 แผ่น และยางแผ่นดิบที่ฝั่งในที่ร่ม 4 แผ่น จากการฝั่งยางแผ่นดิบในที่ร่มทั้งหมด 4 แผ่น มาเป็นยางแผ่นตัวอย่างของการทดลอง ทำการทดลองในช่วงเดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Moisture Content on Dry

वलันต์ จินฉาดดา และคณะ, “การทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์.”

Basis) เป็นอัตราส่วนของมวลน้ำในวัสดุต่อมวลแห้งของวัสดุ [4], [13] คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$M_d = \left( \frac{m_w}{m_d} \right) \times 100\% = \left( \frac{m_t - m_d}{m_d} \right) \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ  $M_d$  คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

$m_w$  คือ มวลน้ำของวัสดุ (กรัม)

$m_d$  คือ มวลแห้งของวัสดุ (กรัม) หาดตามมาตรฐานของ

ASAE 1982 [14]

$m_t$  คือ มวลของวัสดุที่เวลาใดๆ (กรัม)

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) คือปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ในวัสดุที่กำลังอบแห้งเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ในวัสดุ [10], [15] คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$MR = \left( \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $MR$  คือ อัตราส่วนความชื้น (Dimensionless)

$M_t$  คือ ความชื้นของวัสดุที่เวลาใดๆ (g Water/g Dry Matter)

$M_i$  คือ ความชื้นของวัสดุเริ่มต้น (g Water/g Dry Matter)

$M_{eq}$  คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุที่สภาวะการอบแห้ง (g Water/g Dry Matter)

อัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณในรูปแบบสมการที่ถ่ายจากสมการที่ (3)

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (3)$$

เนื่องจากค่าของความชื้นสมดุลของวัสดุที่สภาวะการอบแห้ง ( $M_{eq}$ ) มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นของวัสดุที่เวลาใดๆ ( $M_t$ ) และความชื้นของวัสดุเริ่มต้น ( $M_i$ ) [16], [17]

แบบจำลองอบแห้งชั้นบางเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุในช่วงเวลาของกระบวนการอบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ (4)–(6)

Newton [18]–[20]

$$MR = \exp(-kt) \quad (4)$$

Page [4], [9], [18]–[20]

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

Henderson and Pabis [4], [9], [18]–[20]

$$MR = a \exp(-kt) \quad (6)$$

เมื่อ  $MR$  คือ อัตราส่วนความชื้น (No Unit)

$a, n, k$ , คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง (No Unit)

$t$  คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

การวิเคราะห์ความแม่นยำแบบจำลองอบแห้งชั้นบางกับผลการทดลองใช้โปรแกรม MATLAB หาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองวิเคราะห์ค่า Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Adjusted Coefficient of Determination (*Adjusted*  $R^2$ ), Sum of Squared Error (*SSE*) และ Root Mean Square Error (*RMSE*) ของแต่ละแบบจำลองมาเปรียบเทียบกันโดยเลือกที่ค่า  $R^2$  กับ *Adjusted*  $R^2$  มากที่สุดและ *SSE* กับ *RMSE* น้อยสุด คำนวณได้จากสมการที่ (7)–(10)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}, i} - MR_{\text{pred}, i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}, i} - \overline{MR_{\text{exp}}})^2} \quad (7)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - (1 - R^2) \left( \frac{N-1}{N-m-1} \right) \quad (8)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}, i} - MR_{\text{pred}, i})^2 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}, i} - MR_{\text{pred}, i})^2}{N} \right)} \quad (10)$$

เมื่อ  $MR_{\text{exp}, i}$  คือ ค่าอัตราส่วนความชื้นของการทดลอง



$MR_{pred, i}$  คือ ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของแบบจำลองอบแห้งชั้นบาง

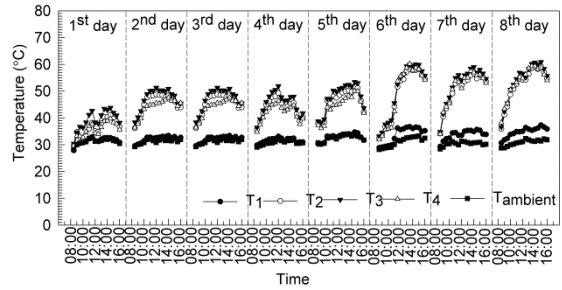
$\overline{MR}_{exp}$  คือ ค่าอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของการทดลอง

$N$  คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

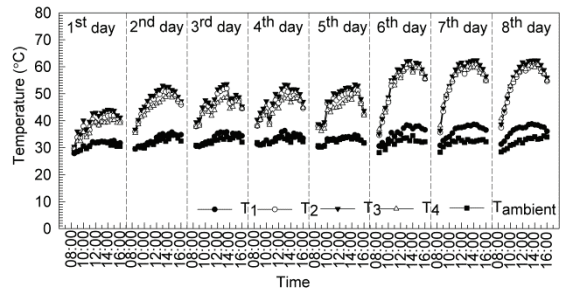
$m$  คือ จำนวนตัวแปรในแบบจำลองอบแห้งชั้นบาง

**3. ผลการทดลองและอภิปรายผล**

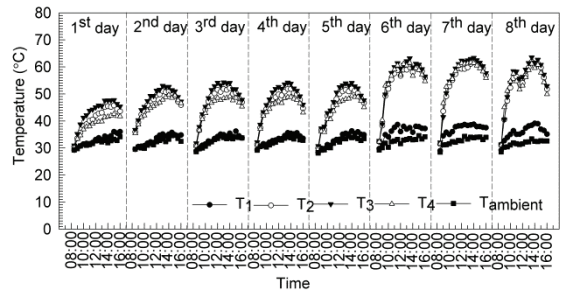
การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ครั้ง พบว่าวันที่ 1 เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-48°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 40°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 22-68% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38% ที่สภาวะสิ่งแฉดล้อมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-34°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 31°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 37-70% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 47% รังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 138-1032 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 673 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> วันที่ 2-5 เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 31-54°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 48°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 16-72% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 25% ที่สภาวะสิ่งแฉดล้อมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-35°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 31°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 35-71% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 46% รังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 117-1107 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 739 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> วันที่ 6-8 เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 31-64°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 54°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 10-64% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 18% ที่สภาวะสิ่งแฉดล้อมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-35°ซ อุณหภูมิเฉลี่ย 31°ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 35-71% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 45% รังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 93-1095 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 713 วัตต์/เมตร<sup>2</sup> ดังแสดงในรูปที่ 3-9 สังเกตเห็นว่าการเปิดช่องระบายอากาศมากจะทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งต่ำ แต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นในการอบแห้งเพื่อการระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้ง และต้องการอบแห้งยางแผ่นที่อุณหภูมิต่ำในวันแรกเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศในเนื้อยางแผ่น ซึ่งเกิดจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นในเนื้อยางเกิดการระเหยจึงเกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อยาง ส่วนการเปิดช่องระบายอากาศน้อยจะทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูง ซึ่งสภาวะนี้จะใช้อบแห้ง



รูปที่ 3 อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 1



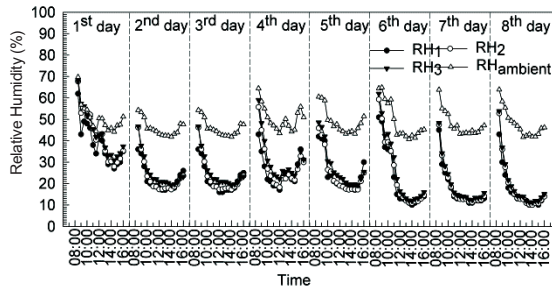
รูปที่ 4 อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 2



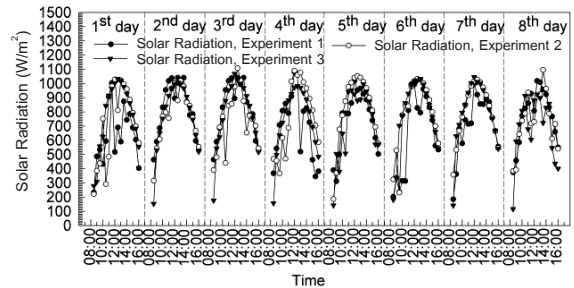
รูปที่ 5 อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 3

ยางยาวพาราแผ่นในวันที่ 2 เป็นต้นไป เพื่อต้องการให้เกิดการแพร่ความชื้นในเนื้อยางแผ่นมายังผิวของยางแผ่นได้เร็วขึ้น การลดลงของความชื้นยางแผ่นของการอบแห้งวันที่ 1 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งความชื้นจะลดลงได้ช้ากว่าการผึ่งในที่ร่ม เนื่องจากการอบแห้งในวันแรกความชื้นจะอยู่ที่บริเวณผิวยางแผ่นซึ่งความชื้นจะระเหยได้ดี ถ้ามีความเร็วอากาศไหลผ่านสูงขณะที่สิ่งแฉดล้อมมีความเร็วอากาศเฉลี่ย 1 เมตร/วินาที สูงกว่าความเร็วอากาศในเครื่องอบแห้ง วันที่ 2-8

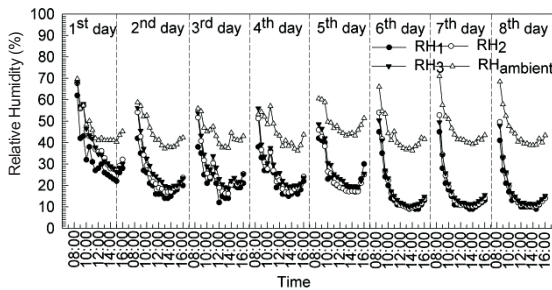
วสันต์ จินธาดา และคณะ, “การทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์.”



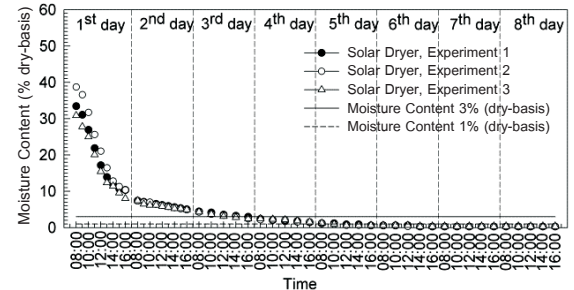
รูปที่ 6 ความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 1



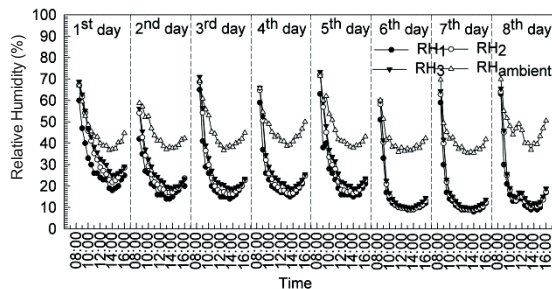
รูปที่ 9 รังสีดวงอาทิตย์การทดลองครั้งที่ 1-3



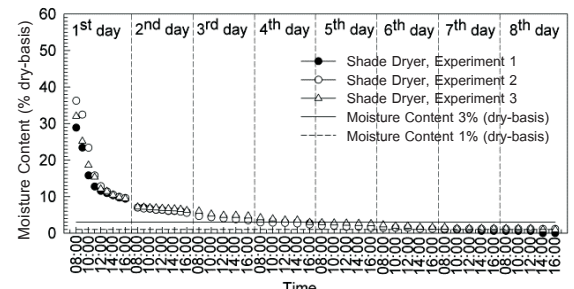
รูปที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 10 ความชื้นยางแผ่นของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 1-3



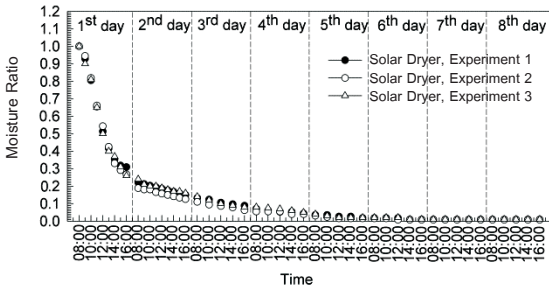
รูปที่ 8 ความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 3



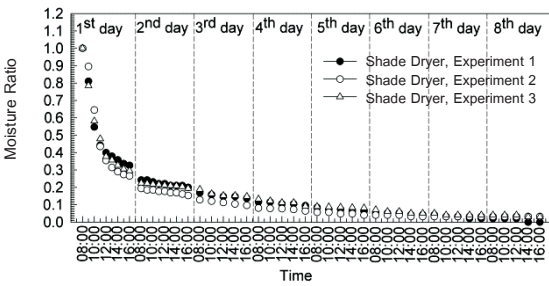
รูปที่ 11 ความชื้นยางแผ่นของการผึ่งในที่ร่มการทดลองครั้งที่ 1-3

ความชื้นของยางแผ่นจะเกิดการแพร่ความชื้นจากด้านในเนื้อยางแผ่นดิบมายังผิวนอกของยางแผ่นดิบ การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแพร่ความชื้นได้ดีจึงทำให้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งความชื้นลดได้เร็วกว่าการผึ่งในที่ร่ม แต่วันที่ 6-8 จะลดพื้นที่ซึ่งระบายอากาศและความเร็วอากาศในห้องอบแห้งให้น้อยลง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งให้สูงขึ้นเพื่อให้เกิด

การแพร่ความชื้นได้ดี การอบแห้งยางแผ่นให้เนื้อยางแผ่นไสทั่วตลอดทั้งแผ่นเป็นยางแผ่นดิบคุณภาพดีใช้เวลาในการอบแห้ง 8 วัน เหลือความชื้นยางแผ่นดิบต่ำกว่า 1% มาตรฐานแห้งดังแสดงในรูปที่ 10-13 ส่วนยางแผ่นดิบที่ได้จากผึ่งในที่ร่มเนื้อยางแผ่นยังไม่ไสทั่วตลอดทั้งแผ่น จึงเป็นยางแผ่นดิบที่มีคุณภาพรองลงมาจากยางแผ่นดิบคุณภาพดี เมื่อนำไป



รูปที่ 12 อัตราส่วนความชื้นยางแผ่นของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 1-3



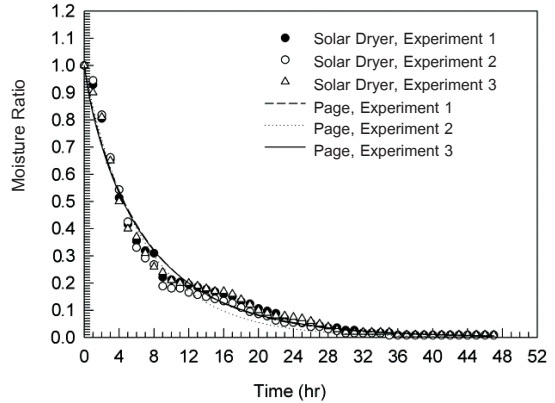
รูปที่ 13 อัตราส่วนความชื้นยางแผ่นของการผึ่งในที่ร่มการทดลองครั้งที่ 1-3

จำหน่ายจะมีราคาถูกกว่ายางแผ่นดิบคุณภาพดี

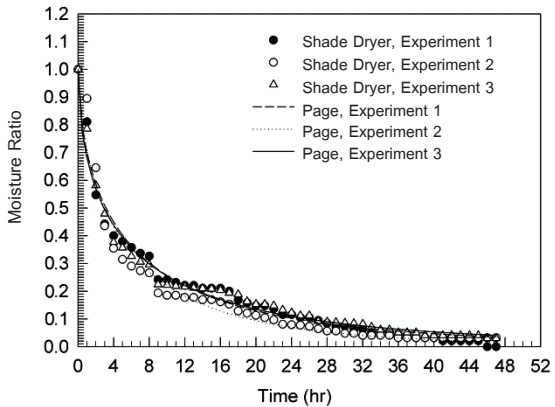
การเปรียบเทียบแบบจำลองอบแห้งชั้นบางพบว่า แบบจำลองของ Page ทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและการผึ่งในที่ร่ม ได้ดีกว่าแบบจำลองของ Newton และ Henderson and Pabis แบบจำลองของ Page มีช่วงค่า  $R^2$  0.9825–0.9841,  $Adjusted R^2$  0.9822–0.9837,  $SSE$  0.04347–0.04918,  $RMSE$  0.03074–0.0327 สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและมีช่วงค่า  $R^2$  0.9672–0.9826,  $Adjusted R^2$  0.9665–0.9823,  $SSE$  0.03055–0.06592,  $RMSE$  0.02577–0.03786 สำหรับการอบแห้งด้วยการผึ่งในที่ร่ม ดังแสดงในรูปที่ 14–15 และ มีค่าคงที่ดังแสดงในตารางที่ 1 กับ 2

4. สรุป

การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผึ่งด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบแบบจำลองอบแห้งชั้นบางกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งการทดลองครั้งที่ 1-3



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบแบบจำลองอบแห้งชั้นบางกับการผึ่งในที่ร่มการทดลองครั้งที่ 1-3

ที่มีการควบคุมสภาวะอากาศในห้องอบแห้งด้วยการเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง และเปลี่ยนแปลงพื้นที่ช่องระบายอากาศของห้องอบแห้งเป็น 3 ช่วง คือ วันที่ 1 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 5 ซม. คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 550 ซม.<sup>2</sup> ที่ปริมาตรห้องอบแห้ง 1,911×103 ซม.<sup>3</sup> (ปริมาตรห้องอบแห้งต่อพื้นที่ช่องระบายอากาศเท่ากับ 3475 ซม.<sup>3</sup> : 1 ซม.<sup>2</sup>) เป็นช่วงสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อยางแผ่น วันที่ 2–5 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.2 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 2.5 ซม.

วสันต์ จินธาดา และคณะ, “การทดลองอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผึ่งด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์.”



ตารางที่ 1 ค่าคงที่แบบจำลองออบแห้งชั้นบางของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง

การทดลอง	สมการ	$R^2$	Adjusted $R^2$	SSE	RMSE	$a$	$k$	$n$
ครั้งที่ 1	Newton	0.9791	0.9791	0.05709	0.03485	-	0.1403	-
	Page	0.9841	0.9837	0.04347	0.03074	-	0.1837	0.8746
	Henderson and Pabis	0.9792	0.9787	0.05686	0.03516	0.9895	0.1387	-
ครั้งที่ 2	Newton	0.9821	0.9821	0.05035	0.03273	-	0.1506	-
	Page	0.9825	0.9822	0.04918	0.0327	-	0.1641	0.9579
	Henderson and Pabis	0.9829	0.9825	0.04828	0.0324	1.032	0.1557	-
ครั้งที่ 3	Newton	0.9752	0.9752	0.0659	0.03744	-	0.1415	-
	Page	0.9828	0.9824	0.04575	0.03154	-	0.1953	0.8494
	Henderson and Pabis	0.9757	0.9751	0.06463	0.03748	0.9755	0.1376	-

ตารางที่ 2 ค่าคงที่แบบจำลองออบแห้งชั้นบางของการอบแห้งด้วยการผึ่งในที่ร่ม

การทดลอง	สมการ	$R^2$	Adjusted $R^2$	SSE	RMSE	$a$	$k$	$n$
ครั้งที่ 1	Newton	0.8502	0.8502	0.2831	0.07761	-	0.1392	-
	Page	0.9799	0.9794	0.03805	0.02876	-	0.355	0.5481
	Henderson and Pabis	0.9135	0.9116	0.1636	0.05963	0.7658	0.09787	-
ครั้งที่ 2	Newton	0.905	0.905	0.1911	0.06377	-	0.1719	-
	Page	0.9672	0.9665	0.06592	0.03786	-	0.3431	0.6443
	Henderson and Pabis	0.9161	0.9143	0.1688	0.06059	0.8824	0.1452	-
ครั้งที่ 3	Newton	0.8196	0.8196	0.3176	0.0822	-	0.1437	-
	Page	0.9826	0.9823	0.03055	0.02577	-	0.3852	0.5497
	Henderson and Pabis	0.8898	0.8874	0.1941	0.06496	0.7514	0.09624	-

คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 275 ซม.<sup>2</sup> (ปริมาตรห้องอบแห้งต่อพื้นที่ช่องระบายอากาศเท่ากับ 6,949 ซม.<sup>3</sup> : 1 ซม.<sup>2</sup>) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าการอบแห้งในวันแรกโดยไม่ทำให้น้ำเยิ้มเป็นฟองอากาศและน้ำเยิ้มเหนียวเยิ้ม วันที่ 6-8 ควบคุมความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 0.1 เมตร/วินาที เปิดช่องระบายอากาศ 1 ซม. คิดเป็นพื้นที่ช่องระบายอากาศ 110 ซม.<sup>2</sup> (ปริมาตรห้องอบแห้งต่อพื้นที่ช่องระบายอากาศเท่ากับ 17,373 ซม.<sup>3</sup> : 1 ซม.<sup>2</sup>) เป็นการควบคุมให้เครื่องอบแห้งให้อุณหภูมิสูง เพื่อต้องการให้เกิดการแพร่ความชื้นในน้ำเยิ้มมายังผิวเยิ้มให้เร็วขึ้น โดยไม่ทำให้น้ำเยิ้มเป็นฟองอากาศและน้ำเยิ้มเหนียวเยิ้ม จะเห็นได้ว่าพื้นที่ช่องระบายอากาศและความเร็วอากาศมีผลต่อการควบคุม

อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนแบบจำลองออบแห้งชั้นบางของ Page สามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งเยิ้มด้วยเครื่องอบแห้งและการผึ่งในที่ร่มได้ดีกว่าแบบจำลองของ Newton และ Henderson and Pabis

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] W. Jeentada, P. Phetsongkram, and T. Chankrachang,



- “Experiment of rubber sheet drying using solar dryer,” in *Proceeding 29th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, pp. 29–34, 2015 (in Thai).
- [2] T. Ninchue Wong, A. Ekphon, S. Tirawanichakul, and Y. Tirawanichakul, “Drying of air dried sheet rubber using hot air dryer and solar dryer for small entrepreneurs and small rubber cooperatives,” *Burapha Science Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 50–59, 2012 (in Thai).
- [3] W. Jeentada, P. Phetsongkram, and T. Chankrachang, “Drying of para rubber sheet using forced convection solar dryer,” *Burapha Science Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 87–99, 2016 (in Thai).
- [4] R. Dejchanchaiwong, A. Arkasuwon, A. Kumar, and P. Tekasakul, “Mathematical modeling and performance investigation of mixed-mode and indirect solar dryers for natural rubber sheet drying,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 34, pp. 44–53, 2016.
- [5] M. Yahya, A. Fudholi, H. Hafizh, and K. Sopian, “Comparison of solar dryer and solar-assisted heat pump dryer for cassava,” *Solar Energy*, vol. 136, pp. 606–613, 2016.
- [6] M. A. Eltawil, M. M. Azam, and A. O. Alghannam, “Energy analysis of hybrid solar tunnel dryer with PV system and solar collector for drying mint (*Mentha Viridis*),” *Journal of Cleaner Production*, vol. 181, pp. 352–364, 2018.
- [7] D. K. Rabha and P. Muthukumar, “Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax-based latent heat storage system,” *Solar Energy*, vol. 149, pp. 214–226, 2017.
- [8] W. Wang, M. Li, R. H. E. Hassanien, Y. Wang, and L. Yang, “Thermal performance of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 134, pp. 310–321, 2018.
- [9] E. Baniyadi, S. Ranjbar, and O. Boostanipour, “Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage,” *Renewable Energy*, vol. 112, pp. 143–150, 2017.
- [10] S. Surbkar and R. Assawarachan, “Mathematical drying models for porous materials,” *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, vol. 17, pp. 59–68, 2011 (in Thai).
- [11] W. Jeentada, P. Kongboon, S. Boonyanuwat, and C. Sirirak, “Thin-layer drying models for para rubber sheet,” *KKU Engineering Journal*, vol. 41, pp. 99–108, 2014 (in Thai).
- [12] E. O. M. Akoy, “Experimental characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices,” *International Food Research Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 1911–1917, 2014.
- [13] G. Srivichai, “A study of performance of the induction heating dryer,” *The Journal of KMUTNB.*, vol. 26, no. 3, pp. 375–383, 2016 (in Thai).
- [14] C. Chen, “Evaluation of air oven moisture content determination methods for rough rice,” *Biosystems Engineering*, vol. 86, no. 4, pp. 447–457, 2003.
- [15] I. Ceylan and A. E. Gurel, “Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 106, pp. 899–905, 2016.
- [16] D. Jain and P. B. Pathare, “Study the drying kinetics of open sun drying of fish,” *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no. 4, pp. 1315–1319,



- 2007.
- [17] Q. L. Shi, C. H. Xue, Y. Zhao, Z. J. Li, and X. Y. Wang, "Drying characteristics of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier," *Journal of Food Engineering*, vol. 84, no. 1, pp. 12–20, 2008.
- [18] M. Kalender, "Thin-layer infrared drying characteristics of construction gypsum plaster and selection of a suitable drying model," *Construction and Building Materials*, vol. 155, pp. 947–955, 2017.
- [19] J. Jiang, L. Dang, H. Tan, B. Pan, and H. Wei, "Thin layer drying kinetics of pre-gelatinized starch under microwave," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 72, pp. 10–18, 2017.
- [20] K. B. Koua, W. F. Fassinou, P. Gbaha, and S. Toure, "Mathematical modelling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1594–1602, 2009.