
การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
สำหรับวิสาหกิจและกลุ่มสหกรณ์สวนยางพาราขนาดย่อม

Drying of Air Dried Sheet Rubber Using Hot Air Dryer and Solar Dryer
for Small Entrepreneurs and Small Rubber Cooperatives

เถลิงราช นิลเชื้อวงศ์¹ อนูปงศ์ เอกผล² สุภวรรณ ภูริระวณิชชกุล^{3*} และ ยุตธนา ภูริระวณิชชกุล⁴

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁴ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาและเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Thaloengrach Ninchuewong¹, Anupong Ekphon², Supawan Tirawanichakul^{3*} and Yutthana Tirawanichakul⁴

^{1,2,3}Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Prince of Songkla University.

⁴Plasma and Energy Technology Research Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science,
Prince of Songkla University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งยางแผ่นดิบคุณภาพดีขนาด 10-15 แผ่นต่องวด โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งและจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของยางแผ่นดิบที่ความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 25-40% dry-basis อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-70°C และความเร็วลมร้อนเท่ากับ 0.7 m/s และค่าความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นแห้งเท่ากับ 0.5% dry-basis ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งยางแผ่นตามธรรมชาติ ขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 8-20 MJ/kg ของน้ำที่ระเหย จากการศึกษาปัจจัยของสภาวะการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของยางแผ่นตามเกณฑ์ของตลาดรับซื้อยาง พบว่า คุณภาพของยางพาราแผ่นผึ่งแห้งที่ได้ผ่านเกณฑ์คุณภาพดี (เกรด 1-3) ทุกเงื่อนไขการทดลอง และความเป็นสีเหลืองยางแผ่นแห้งจะแปรตามอุณหภูมิอบแห้ง

คำสำคัญ : ลมร้อน, คุณภาพ, การอบแห้งยาง, พลังงานแสงอาทิตย์

*Corresponding author. E-mail: supawan.t@psu.ac.th

The aim of this research was to develop dryers for drying air dried sheet (ADS) rubber using hot air and solar drying with the capacity of 10-15 sheets/batch. Based on the comparative study of efficiency of drying process and drying kinetics of rubber sheet with initial moisture content ranging of 25-40% dry-basis, air temperature of 40-70°C, air flow rate of 0.7 m/s and final moisture content of 0.5% dry-basis., the results showed that drying rate of rubber sheet dried with hot air convection was faster than solar drying and conventional natural aeration. The specific energy consumption of hot air drying was in ranges of 8-20 MJ/kg of water evaporated. To study effect of drying condition on quality of dried rubber sheet following the standard ADS grade market level, the results showed that the product quality of air dried rubber sheet samples were in acceptable for the high quality commercial product (grade 1-3) in all drying conditions and yellowness of air dried rubber sheet related to drying temperature.

Keyword : Air dried sheet, Hot air drying, Quality, Solar drying

บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากมีการส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่การเพาะปลูก 11.37 ล้านไร่และใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแผ่นยางประมาณ 3.17 ล้านตัน และรัฐมีนโยบายให้เพิ่มพื้นที่การปลูกต้นยางพาราอีก 14 ล้านไร่ ทั่วประเทศ โดยมีการกระจายในภูมิภาคต่างๆ บนพื้นที่ที่ไม่เคยเพาะปลูกมาก่อน ดังนั้นในอนาคตอีกประมาณ 6-8 ปี จะมีเกษตรกรชาวสวนยางรายย่อยเพิ่มมากขึ้น โดยอาจมีปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพของผลผลิตยางดิบ ได้แก่ น้ำยาง และยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางก้นถ้วย และยางแผ่นรมควัน ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรใหม่ขาดความชำนาญ และไม่มีกระบวนการลดความชื้นยางแผ่นดิบก่อนจัดส่งจำหน่าย ในรูปยางแผ่นผึ่งแห้งให้กับโรงงานและตลาดรับซื้อยาง เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากยางธรรมชาติหรือยางพารามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น อาทิเช่น ด้านการแพทย์ ด้านยานพาหนะ ด้านวิศวกรรม วิศวกรรมอากาศยาน ด้านชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ ด้านสาธารณสุขขั้นพื้นฐาน ด้านการป้องกันภัยต่างๆ ตลอดจนการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการทำผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารและเคมีภัณฑ์ ซึ่งมีมูลค่าการตลาดสูงมาก อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จำเป็นจะต้องมีกระบวนการเตรียมหรือกระบวนการแปรรูปขั้นต้นจากน้ำยางสดก่อน เช่น การผลิตยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet, RSS) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dried sheet, ADS) ยางแห้ง (Block rubber) ยางเครพ (Crepe rubber) และน้ำยางข้น (Concentrated latex) เป็นต้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และขยายขอบเขตงานเพิ่มมากขึ้นจากเดิมที่มีเฉพาะด้านการถนอมอาหารและไปสู่อุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็ก กลางและขนาดใหญ่ เช่น การไล่ความชื้นออกจากขดลวดก่อนแช่น้ำมันหม้อแปลง เพื่อลดการเกิดออกไซด์และการอาร์คไฟฟ้าระหว่างการใช้งาน การเลือกใช้วิทยุการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการผลิต โดยที่ยังคงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (โสภณธรรมฤทธิ์, 2540)

เทคโนโลยีการอบแห้งโดยการใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้ขึ้นกับการจัดการ

และพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าในการนำมาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน Mohanraj *et al* (2008) ได้ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งเนื้อมะพร้าวภายใต้สภาพภูมิอากาศของอินเดีย พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 24% โดยสามารถลดความชื้นประมาณ 51.8% เหลือ 7.8-9.7% wet-basis ภายในเวลา 82 ชั่วโมง Hill *et al* (2008) ได้ทำการทดลองอบแห้งเมล็ดโกโก้โดยใช้เตาอบระบายความร้อนและเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รวมแบบจำลองการอบแห้งของ Page และ Two-term ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าแบบจำลองใหม่สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดโกโก้แบบธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขที่ทำการทดสอบได้ดี Gülsah *et al* (2011) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดถั่วในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตเป็นวัสดุเปลี่ยนเฟส ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานความร้อนไว้ขณะที่มีแสงแดด และเมื่อพระอาทิตย์ตกดิน อุณหภูมิจะลดลง วัสดุเปลี่ยนเฟสจะคายความร้อนให้ระบบ ดังนั้นหลังจากพระอาทิตย์ตกดินกระบวนการอบแห้งก็ยังสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ วัสดุเปลี่ยนเฟส และจากการทดลองพบว่าแบบจำลองของ Midilli สามารถอธิบายกลไกการอบแห้งได้ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงสุด และ ค่า χ^2 ที่ต่ำที่สุด

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อพัฒนาระบบเครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งอย่างง่ายเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับชาวเกษตรกรสวนยาง และทำการทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติที่เป็นวิธีดั้งเดิม โดยพิจารณาคุณภาพของแผ่นยางหลังการอบแห้งจากแต่ละเครื่องอบแห้ง ได้แก่ ความชื้น สี ความหนาของแผ่นยาง การหดตัว ฟองอากาศและการยืดหยุ่นของแผ่นยางก่อนและหลังการอบแห้ง รวมถึงการเกิดเชื้อราบนยางพาราแผ่น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

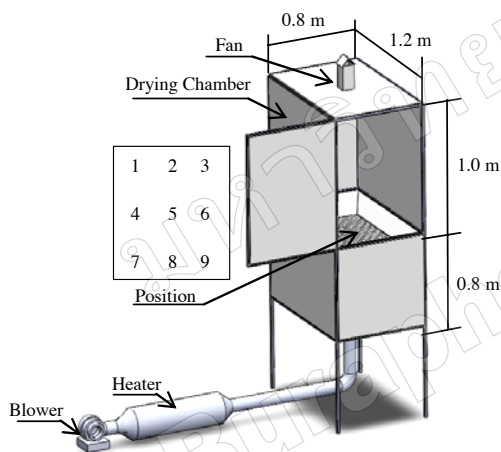
วัสดุ

แผ่นยางพาราดิบขนาด 90x50 cm² น้ำหนัก 1.1±0.1 kg ต่อแผ่นยางดิบ เป็นยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 จากสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านทรายขาว จำกัด ต.ทุ่งหวัง อ.เมือง จ.สงขลา

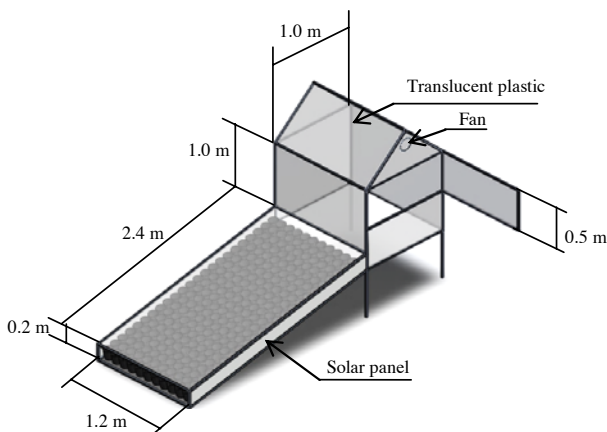
อุปกรณ์

เครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนแสดงดังภาพที่ 1 โดยพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) ห้องอบแห้งมีปริมาตร $0.9 \times 1.2 \times 2.4 \text{ m}^3$ ภายในบุฉนวนใยแก้วหนา 5 cm
- (2) เครื่องทำความร้อนขนาด $2 \times 1,000 \text{ W}$
- (3) พัดลมขนาด 1 hp จำนวน 1 ตัว และพัดลมระบายอากาศ
- (4) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Acuweigh รุ่น Saw Division ค่าความละเอียด $\pm 0.005 \text{ kg}$
- (5) เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ SEC ความละเอียด $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียก
- (6) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer, YK-2001AS) ความละเอียด $\pm 0.01 \text{ m/s}$



ภาพที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งยางพาราด้วยลมร้อน



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 2 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งเป็นดังต่อไปนี้

- (1) ห้องอบแห้งมีปริมาตร $1 \times 1.2 \times 1.5 \text{ m}^3$ ซึ่งหุ้มด้วยพลาสติกใส
- (2) แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด $0.2 \times 1.2 \times 2.4 \text{ m}^2$ โครงเหล็กฉากบรรจุกระจกป้องกันสีดำจำนวน 260 กระจกด้านบนปิดด้วยพลาสติกใสขนาดความหนา 0.1 mm ผิวด้านนอกทำด้วยสังกะสีวางทำมุมเอียง 14 องศากับแนวระดับต่อเข้ากับเครื่องอบแห้งทางด้านข้าง 1 แผง
- (3) ราวตากยางสำหรับภายในตู้ทำจากไม้ไผ่
- (4) พัดลมระบายอากาศ

วิธีการวิจัย

เตรียมยางพาราแผ่นดิบขนาดกว้างยาวเท่ากับ $90 \times 50 \text{ cm}^2$ จากนั้นนำยางพาราแผ่นดิบมาสะอาดดีน้ำโดยการวางพาดบนราวให้น้ำส่วนเกินจากการชำระล้างหยดออกประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้ง วัดความยาว ความหนา ความกว้างของแผ่นยางหลังอบแห้งด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยวิธีการตามมาตรฐานของ ASAE (ASAE, 1982) ในส่วนของพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง จำเป็นต้องบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างตลอดระยะเวลาการอบแห้ง ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทางเข้าเครื่องอบแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งภายในตู้อบแห้ง

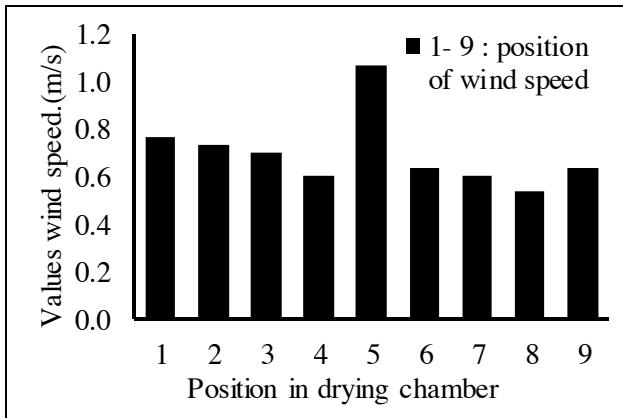
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จลนพลศาสตร์การอบแห้งและสมการทางคณิตศาสตร์ (สมการเอมพิริคัล)

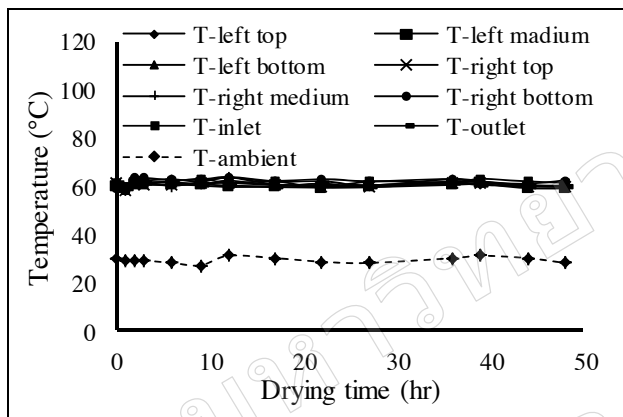
ดังที่กล่าวไว้แล้วในวิธีดำเนินการวิจัย ผลการวัดการกระจายความเร็วและอุณหภูมิอบแห้งภายในเครื่องอบแห้งลมร้อนแสดงดังภาพที่ 3-4

จากภาพที่ 3 หมายเลข 1-9 คือ ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าความเร็วลมซึ่งค่าความเร็วลมกระจายทั่วบริเวณมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.7 m/s และจากภาพที่ 4 ผลการทดสอบการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อนพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิมิมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการอบแห้งยางพาราแผ่น

จากการทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ ความชื้นเริ่มต้น 25-40% dry-basis ความเร็วลม 0.7 m/s ความชื้นสุดท้ายของยางอยู่ในช่วง 0.5%



ภาพที่ 3 การกระจายของความเร็วลมบริเวณภายในตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อน



ภาพที่ 3 การกระจายของอุณหภูมิบริเวณภายในตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C

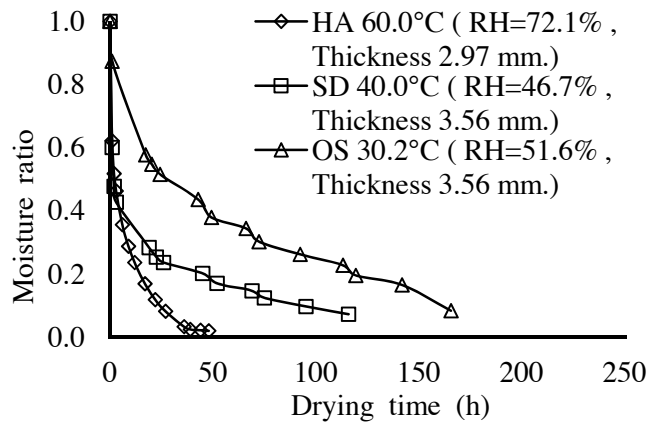
dry-basis สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งที่เวลาต่างๆ ตามสมการที่ (1)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (ไร้หน่วย), M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (% dry-basis), M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry-basis), M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (% dry-basis) โดยการหาค่าของความชื้นสมดุลจะเลือกใช้สมการของ Halsey model (Tirawanichakul *et al.*, 2011) แสดงดังสมการที่ (2)

$$M_{eq} = \left[\frac{-0.377}{(-33174.96 \cdot 1T + 107.421T^2) \ln RH} \right] 2.264 \quad (2)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (K) และ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (decimal)

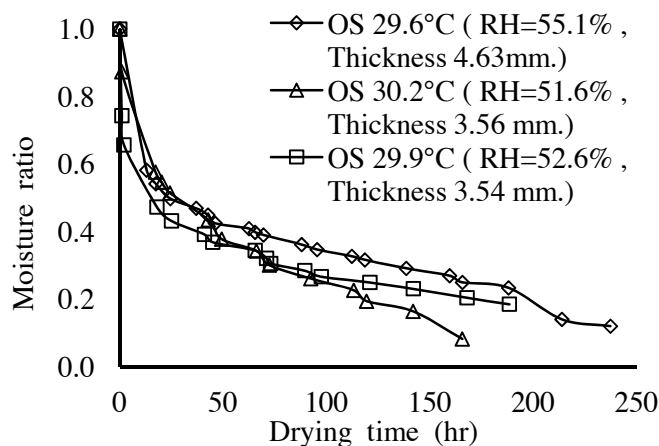


ภาพที่ 5 ปัจจัยของความหนาของแผ่นยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของยางพาราแผ่นโดยการตากแดด

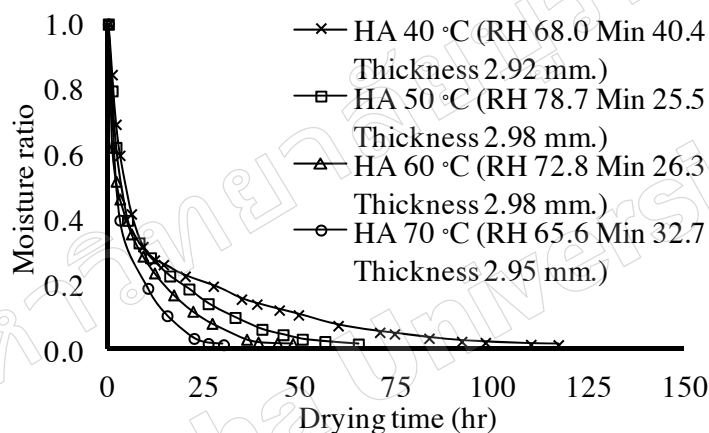
จากภาพกราฟรูปที่ 5 ถึงภาพกราฟรูปที่ 7 แสดงผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยลมร้อน (Hot Air; HA) ที่อุณหภูมิ 40-70°C การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying; SD) และการตากแดดตามธรรมชาติ (Open Sun; OS) ตามลำดับ

ภาพที่ 5 แสดงปัจจัยของความหนาของยางพาราแผ่นต่อการลดลงของความชื้น เมื่อใช้แหล่งพลังงานเป็นแบบตากแดดตามธรรมชาติ พบว่าอัตราการอบแห้งจะขึ้นกับความหนาของยางพาราแผ่นมากกว่าปัจจัยอื่น โดยที่ความหนาของยางพาราเท่ากับ 3.54 mm และมีความบางที่สุดจะสามารถลดความชื้นได้เร็วที่สุดขณะที่ภาพที่ 6 แสดงผลของปัจจัยของแหล่งพลังงานความร้อนในการอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้แหล่งพลังงานจากเครื่องทำความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดการทดลอง ทำให้การลดลงของความชื้นของแผ่นยางพาราดิบเป็นไปอย่างรวดเร็วและอัตราการอบแห้งดีกว่าการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งอัตราการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ช้ากว่าอัตราการอบแห้งด้วยลมร้อนประมาณ 20% ขณะที่การอบแห้งยางแผ่นด้วยการตากแดดตามธรรมชาตินั้นใช้เวลานานที่สุดในการอบแห้งดังจะเห็นได้จากกราฟภาพที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกราฟภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

จากภาพกราฟรูปที่ 7 เป็นผลการทดลองอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแผ่นยางที่ทดลองในอุณหภูมิอบแห้ง 40 57 ถึง 70°C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกอัตราการอบแห้ง



ภาพที่ 6 ปัจจัยของแหล่งพลังงานความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของยางพาราแผ่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 40-70°C ความเร็วลม 0.7 m/s



ภาพที่ 7 ปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของยางพาราแผ่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 40-70°C

ที่เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง พบว่าอัตราการอบแห้งของยางพาราแต่ละแผ่นจะมีอัตราการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง เกิดการระเหยของน้ำอิสระที่ผิวของวัสดุเท่านั้นเนื่องจากปริมาณน้ำในเนื้อยางแผ่นดิบยังอยู่ในปริมาณสูง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการอบแห้งจะเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างของวัสดุมายังอากาศแวดล้อม กระบวนการที่เกิดขึ้นในช่วงหลังจะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของวัสดุ และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ดังนั้นในช่วงหลังจึงพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูงกว่าจะมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในช่วงอุณหภูมิ 40-70°C จะพบว่า การลดลงของความชื้น ที่อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นจะสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ

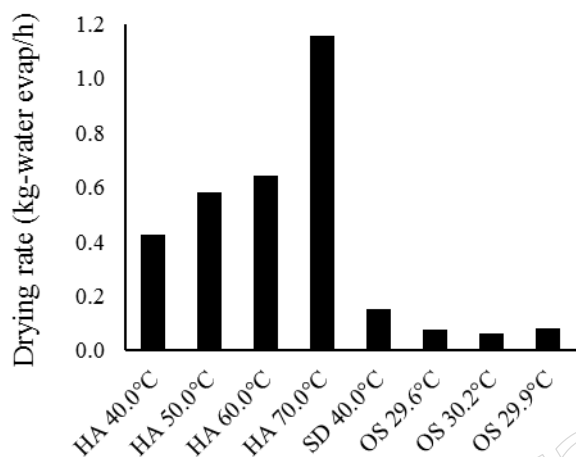
ปัจจุบันพบว่ายางพาราแผ่นมีราคาเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม หรือมากกว่านั้น ทำให้เกษตรกรเริ่มตื่นตัวสนใจที่พัฒนากระบวนการอบแห้งเพื่อให้ได้คุณภาพยางพาราแผ่นที่ดีขึ้นและสามารถขายให้ได้ราคาที่ดีขึ้น

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง (Drying rate) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้ง จากข้อมูลการทดลองทำการคำนวณหาอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่ใช้ในการอบแห้ง ตามสมการที่ (3) และ (4) ดังนี้

$$\text{Drying rate} = \frac{(M_{in} - M_r)W_d}{\text{Drying time}} \quad (3)$$

$$SEC = \frac{3.6P}{(M_{in} - M_f)W_d} \quad (4)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบแห้ง (kg), M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างหลังอบแห้ง (kg), P คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kW-h), W_d คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (kg), 3.6 คือ ตัวเลขแปลงหน่วยพลังงาน



ภาพที่ 8 ปัจจัยของแหล่งพลังงานความร้อนต่ออัตราการอบแห้งของยางพาราแผ่น

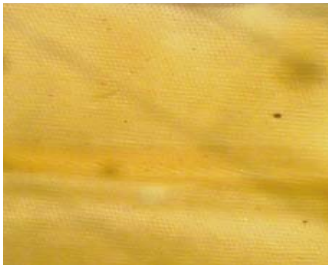
จากภาพกราฟแท่งรูปที่ 8 แสดงอัตราการอบแห้งของยางพาราแผ่นที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ในช่วง 40-70°C และมีความเร็วลม 0.7 m/s จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดตามธรรมชาติ โดยมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าเป็น 4-5 เท่าและ 10 เท่าของการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดตามธรรมชาติตามลำดับ อย่างไรก็ตามแม้ว่าอัตราการอบแห้งด้วยลมร้อนจะรวดเร็วกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการอื่น ก็อาจจะไม่เป็นที่ยอมรับได้ในคุณภาพทางกายภาพ ดังนั้นหากต้องการพิจารณาคุณภาพทางกายภาพตั้งรายละเอียดถึงผลการทดลองในตอนต่อไป

จากตารางที่ 1 แสดงคุณภาพของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ พบว่า ยางพาราแผ่นที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งนานอาจมีเชื้อราเกิดขึ้นในที่นี้สภาวะที่มีระยะเวลาอบแห้งนานถึง 237.5 ชั่วโมง เกิดเชื้อราที่ผิวแผ่นยางเล็กน้อยทำให้ราคาขายลดต่ำลง เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านการหดตัวของยางพาราแผ่น พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะมีการหดตัวน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนความยืดหยุ่นของยางพาราแผ่นยังคงยอมรับได้

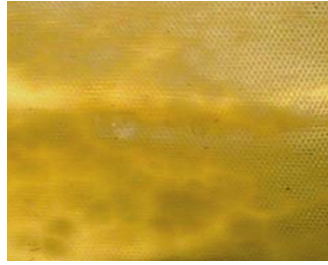
ตารางที่ 1 คุณภาพของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

Drying temperature (°C) and RH (%)	Drying time (hr)	Visual observation of physical quality						SEC (MJ/kg-water evap.)
		Mould	Brightness and color		Bubble	Elastic modulus	Shrinkage (%)	
			Initial	Final		Final		
Hot-Air Drying								
40.0, 68.0	117.1	No	Dense/white	Bright gel/brown	No	good	9.89	5.31
50.0, 78.7	89.1	No	Dense/white	Bright gel/yellow	No	good	3.87	11.45
60.0, 72.8	48.0	No			No	good	4.56	12.10
70.0, 65.6	30.0	No			Yes	good	2.19	9.85
Solar Drying								
40.0, 46.7	116.3	No	Dense/white	Sticky/yellow	No	Fair	0.59	-
Open Sun Drying (Conventional drying)								
29.6, 55.1	237.5	little	Dense/white	Bright gel/yellow	No	good	-	-
30.2, 51.6	166.1	No			No	good	-	-
29.9, 52.6	188.5	No			No	good	-	-

Note : SEC means specific energy consumption in MJ/kg of water evaporated



(ก) ตากแดด อุณหภูมิเฉลี่ย
40.0°C และ RH 46.7%



(ข) แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ย
30.2°C และ RH 51.6%



(ค) ลมร้อน อุณหภูมิเฉลี่ย
40.0°C และ RH 68%



(ง) ลมร้อน อุณหภูมิเฉลี่ย
50.0°C และ RH 78.7%



(จ) ลมร้อน อุณหภูมิเฉลี่ย
60.0°C และ RH 72.8%



(ฉ) ลมร้อน อุณหภูมิเฉลี่ย
70.0°C และ RH 65.6%

ภาพที่ 9 ลักษณะของแผ่นยางหลังการอบแห้งตามเงื่อนไขและเครื่องอบแห้งต่างๆ

ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งในภาพรวมแล้วคุณภาพของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ตลาดรับซื้อยอมรับได้ (พิจารณาจากราคาที่ได้จากการที่นักวิจัยนำไปขายที่ตลาดกลางยางพารา จ.สงขลา และจากการพูดคุยกับผู้ประเมินราคายางพาราแผ่นของตลาดกลางยางพารา จ.สงขลา)

จากภาพที่ 9 (ก) และ (ข) แสดงสีของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบตากแดดธรรมชาติ ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 72 ชั่วโมง พบว่ายางพาราแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงมีสีขาวขุ่นเหลืออยู่ประมาณ 45% และสำหรับยางพาราแผ่นที่ผ่านการตากแดดตามธรรมชาติ ยางพาราแผ่นจะมีสีขาวขุ่นมากกว่าประมาณมากกว่า 70% ถ้าต้องการให้สภาพดังกล่าวหายไป คือกลายเป็นเจลเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาานมากขึ้น แต่ถ้าไปขายทันทีที่ตลาดกลางยางพารา พบว่า ราคาของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน จะมีราคาสูงกว่ายางพาราแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนยางพาราแผ่นที่อบแห้งแบบตากแดดธรรมชาติ จะมีราคาต่ำที่สุด ตามลำดับ

จากภาพที่ 9 (ค)-(ฉ) แสดงสีของยางพาราแผ่นหลังอบแห้งด้วยลมร้อนเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 40-70°C เมื่ออบแห้ง

จนได้ความชื้นสุดท้ายเป็น 0.5% dry-basis ผลการพิจารณาคูณลักษณะภายนอกของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งด้วยสายตากพบว่าสีของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนจะมีเหลืองแดงไปทางสีน้ำตาลที่อุณหภูมิต่ำ และจะมีลักษณะเป็นเจลใสและมีสีเหลืองที่อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยา browning คล้ายกับกรณีการเกิดความเหลืองในวัสดุอาหารและเมล็ดพืชแบบปฏิกิริยาไม่ต้องใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic reaction) ดังรายงานวิจัยที่มีมา (Soponronnarit *et al.*, 1998; Tirawanichakul *et al.*, 2004; Tirawanichakul *et al.*, 2008) แต่เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นเป็น 70°C จะเกิดฟองอากาศภายในยางพาราแผ่นขึ้น ซึ่งเกิดจากการระเหยของไอน้ำและสารเคมีในเนื้อยาง ดังนั้นจึงเป็นแนวทางสำหรับเกษตรกรที่เลือกสภาวะในการอบแห้งยางพาราแผ่น ควรเลือกใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60°C ซึ่งในการอบแห้งลักษณะนี้จะมีส่วนคล้ายกับกระบวนการตากยางแผ่นดิบของชาวเกษตรกรสวนยางพาราทั่วไป โดยจะใช้การตากยางกลางแจ้งประมาณหนึ่งวันและต่อมาก็ตากยางแผ่นต่อในที่ร่มอีกประมาณ 2-6 วัน ขึ้นกับสภาวะอากาศในฤดูกาลนั้นๆ แต่จะเห็นได้ว่าการทำการอบแห้งแบบดังกล่าว จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราหรือการต้องระมัดระวังพื้นที่อาจตกมาในบางช่วงเนื่องจากต้องการยางแผ่นกลางแจ้งและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการ

อบแห้งได้ ทำให้ยางแห้งไม่สม่ำเสมอ เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราเมื่อนำไปเก็บรักษา ก่อนส่งขายยังตลาดกลางยางพาราหรือสหกรณ์สวนยางในพื้นที่ ดังนั้นแนวทางการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C จึงน่าเป็นวิธีการที่เสนอแนะให้เกษตรกรชาวสวนยางเกิดการพัฒนาระบบการอบแห้งได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยคนกลางที่นำไปผ่านกระบวนการอบแห้งอีกครั้ง ช่วยให้เกิดการลดขั้นตอนการผลิตยางแผ่นคุณภาพดี เกิดการหมุนเวียนของทุนทรัพย์สำหรับหมู่บ้านและตำบลเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในด้านของพลังงานความร้อนและการสร้างตู้อบแห้ง เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต้องมีการลงทุนในเรื่องการสร้างตู้อบแห้งและแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งน่าจะทำการศึกษาวเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความชื้นเริ่มต้น 25-40% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 0.5% dry-basis อุณหภูมิอบแห้ง 40-70°C ความเร็วลม 0.7 m/s สรุปผลได้ดังนี้

- 1) การทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยแหล่งพลังงานตามธรรมชาติ จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด
- 2) การทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-60°C เพื่อให้ได้คุณภาพทางกายภาพยางแผ่นผึ่งแห้งดีที่สุด
- 3) ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้ง พบว่าอบแห้งด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ จะให้คุณภาพของยางพาราแผ่นดีกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยแห่งชาติ คลัสเตอร์ยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2554-2555 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในโครงการทุนตรี-โท 5 ปี ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านทรายขาว จำกัด ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ที่ให้

ความอนุเคราะห์ยางแผ่นดิบสำหรับการดำเนินการทดลอง และสุดท้าย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนบางส่วนสนับสนุนงานนี้ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ของ นักศึกษาปริญญาโท

เอกสารอ้างอิง

- สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ 338 หน้า.
- ASAE standard. (1982). *Moisture Measurement*, 29th ed., St. Joseph, Miami, USA.
- Hii, C.L., Law, C.L., & Cloke, M. (2008). Modelling of thin-layer drying kinetics of cocoa beans during artificial and natural drying. *Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 1-10.
- Gülsah, C., & Cengiz, Y. (2011). The drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, 89, 103-108.
- Mohanraj, M., & Chandrasekar, P. (2008). Comparison of drying characteristics and quality of copra obtained in a forced convection solar drier and sun drying. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67, 381-385.
- Soponronnarit, S., Srisubatil, N. & Yoovidhya, T. (1998). Effect of temperature and relative humidity on yellowing rate of paddy. *Journal of Stored Products and Res.*, 34, 323-330.
- Tirawanichakul, Y., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W. & Soponronnarit, S. (2004). Simulation and grain quality for in-store drying of paddy. *Journal of Food Eng.*, 64, 405-415.
- Tirawanichakul, S., NA Phatthalung, W. & Tirawanichakul, Y. (2008). Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation/hot air convection. *Walailak Journal of Science & Technology*, 5(1), 77-100.

Tirawanichakul, Y., Suchonpanit, W., & Tirawanichakul, S. (2011). Sorption Isotherm and Liquid Diffusion Model for Unsmoked Sheet Rubber Drying. In *Proceeding The 2011 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*, (pp. 167-173). HatYai, Songkhla, Thailand, May 25-26, 2011.

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University