



การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดมสำหรับอบแห้งยางแผ่น



โดย
นายณัฐวุฒิ จันทร์เพ็ญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโคมสำหรับอบแห้งยางแผ่น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF PARABOLIC GREENHOUSE SOLAR DRYER FOR DRYING
PARA RUBBER SHEET



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (PHYSICS)
Department of PHYSICS
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2021
Copyright of Silpakorn University

620720020 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ยางพาราแผ่นดิบ, พลังงานแสงอาทิตย์, การอบแห้ง

นาย ญัฐวุฒิ จันทร์เพ็ญ: การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาราโบล่าโดมสำหรับอบแห้งยางแผ่น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบล่าโดมสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น ซึ่งสามารถอบแห้งยางพาราได้ครั้งละ 500 แผ่น พร้อมทั้งได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบแห้งดังกล่าวไม่ให้สูงเกิน 50°C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่เกิน 70% ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่สามารถใช้ในการอบแห้งยางพารา ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และได้ทำการทดลองอบแห้งยางพาราจำนวน 500 แผ่น ผลที่ได้พบว่าเครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นของยางพาราแผ่นจาก 28.11% w.b. ถึงความชื้นสุดท้ายที่ 0.67 % w.b. ในเวลา 4 วัน และยางพาราที่ได้มีสีเหลืองและใส ซึ่งถือว่าเป็นยางแผ่นแห้งคุณภาพดี ในการสาธิตเผยแพร่เครื่องอบแห้ง ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องแบบนี้ในจังหวัดต่างๆ 5 แห่ง และแต่ละแห่งได้ทำการอบแห้งยางพารา ผลที่ได้พบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวมีสมรรถนะที่ดี



620720020 : Major (PHYSICS)

Keyword : solar dryer para rubber sheet solar energy solar drying

MR. NATTAWUT CHANPEN : DEVELOPMENT OF PARABOLIC GREENHOUSE SOLAR DRYER FOR DRYING PARA RUBBER SHEET THESIS ADVISOR : PROFESSOR DR. SERM JANJAI

In this study, a large – scale solar dryer equipped drying air temperature controller was developed. The dryer is capable of drying 500 para rubber sheets. The temperature & relative humidity controller is able to control the drying air temperature and relative humidity, not exceeding 50°C and 70 % respectively which is a maximum permissible temperature and relative humidity for drying the rubber sheets. This dryer was constructed at Silpakorn University in Nakhon Phathom. Afterward, it was used to dry 500 para rubber sheets. It was found that the moisture content of the sheets of 28.11 % w.b. was reduced to the final value of 0.67 % w.b. in 4 days. In addition, the color of dried rubber sheets is clearly yellow which is considered to be high quality dried sheets. To disseminate the dry, this type of dry was constructed at 5 locations in Thailand. The dryers were experimented to dry rubber sheets. It was also found that all dryers performed well.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาโท โดยผู้วิจัยได้รับเงินทุนผู้ช่วยวิจัย จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการทำงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดลองตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย และ อาจารย์ ดร.อรรวรรณ์ อัมพร ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาช่วยให้คำแนะนำด้านวิชาการ และจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน ปานแก้ว ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว คณาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่เป็นแรงบันดาลใจและกำลังใจ และคอยให้การสนับสนุนในการทำวิจัย

นาย ณัฐวุฒิ จันทร์เพ็ญ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ยางพารา.....	3
2.1.1 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....	4
2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางสด.....	4
2.1.3 ยางพาราแผ่นดิน (สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร, 2554).....	6
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	7
2.2.1 การนำความร้อน.....	7
2.2.1.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน.....	7
2.2.2 การพาความร้อน.....	8
2.2.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ.....	9
2.2.2.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ.....	11

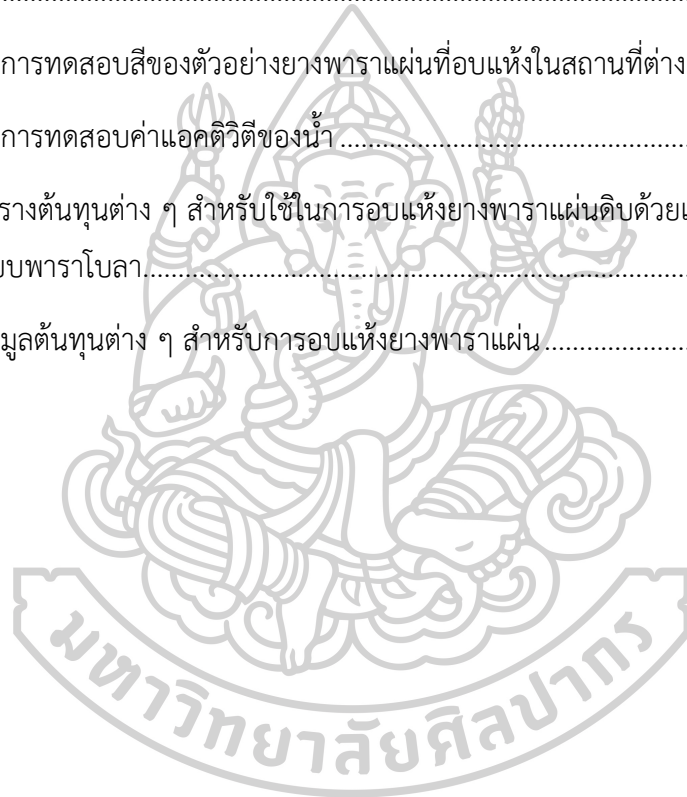
2.2.2.3 การพาความร้อนที่เกิดจากลม	12
2.2.3 การแผ่รังสี	13
2.2.3.1 รังสีความร้อน (thermal radiation).....	13
2.2.3.2 สภาพดูดกลืนรังสี (absorptivity) สภาพสะท้อนรังสี (reflectivity) และสภาพส่งผ่านรังสี (transmissivity)	13
2.3 พื้นฐานการอบแห้ง.....	15
2.3.1 อากาศชื้น	15
2.3.2 วัสดุชื้น	16
2.3.2.1 ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content, DB)	16
2.3.2.2 ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content, WB)	17
2.3.3 น้ำในวัสดุชื้น.....	17
2.3.4 แอคติวิตีของน้ำ (Water activity : a_w).....	18
2.3.5 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content : EMC)	19
2.3.6 การอบแห้ง (drying)	21
2.3.7 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์	24
2.3.8 ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	24
2.3.8.1 เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติ	24
2.3.8.2 เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยบังคับอากาศ.....	28
2.3.8.3 เครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดม (parabola dome dryer) (Janjai et al., 2009)	31
2.3.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 การดำเนินงานและผลการวิจัย.....	40
3.1 โครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	40
3.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่สำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่น	42

3.2.1	พืดลมสำหรับระบายอากาศ.....	42
3.2.2	อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุม.....	45
3.2.2.1	ตู้ควบคุม	45
3.2.2.2	โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ (Solar charge controller).....	49
3.2.2.3	แบตเตอรี่	49
3.2.2.4	โซลาเซลล์	49
3.2.2.5	พืดลมระบายอากาศ.....	50
3.3	การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสำหรับอบแห้ง ยางพาราแผ่น	50
3.3.1	อุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูล	51
3.3.1.1	เครื่องไพราโนมิเตอร์ (pyranometer).....	51
3.3.1.2	เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple).....	51
3.3.1.3	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer).....	52
3.3.1.4	อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	54
3.3.1.5	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล.....	54
3.3.1.6	ตู้อบไฟฟ้า.....	55
3.3.1.7	เครื่องวัดสี.....	55
3.3.1.8	เครื่องวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ	56
3.4	การเก็บข้อมูลและวิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งฯ.....	56
3.5	ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	59
3.5.1	ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ พาราโบลา ครั้งที่ 1 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ระหว่างวันที่ 22-25 สิงหาคม พ.ศ. 2562.....	60

3.5.2 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน	64
3.5.3 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์	69
3.5.4 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	74
3.5.5 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี	79
3.5.6 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี	84
3.5.7 การทดสอบสีของยางพารา	89
3.5.8 ผลการทดสอบค่าแอมพิริตี้ของน้ำ	92
3.5.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น	93
3.5.10 การประเมินต้นทุนการอบแห้ง (Drying cost)	93
3.5.11 การประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PB)	95
3.5.12 การประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR)	96
บทที่ 4 สรุป	97
รายการอ้างอิง	99
ประวัติผู้เขียน	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา (วรารภรณ์ ขจรไชยกูล, 2552)	5
ตารางที่ 2 แบบจำลองของซอร์บชันไอโซเทอม (Sorption isotherm model).....	20
ตารางที่ 3 ลักษณะของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ เปรียบเทียบกับการตากแดด ธรรมชาติ.....	90
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสีของตัวอย่างยางพาราแผ่นที่อบแห้งในสถานที่ต่าง ๆ	91
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่าแอกติวิตีของน้ำ	92
ตารางที่ 6 ตารางต้นทุนต่าง ๆ สำหรับใช้ในการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์แบบพาราโบลา.....	94
ตารางที่ 7 ข้อมูลต้นทุนต่าง ๆ สำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่น.....	95



สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างเคมีของยางธรรมชาติ (จุฑารัตน์ น้อยหนู, 2558)	5
รูปที่ 2 การนำความร้อนผ่านกำแพงใน 1 มิติ ดัดแปลงจาก (Cengel & Ghajar, 2007).....	8
รูปที่ 3 (ก) การไหลแบบราบเรียบ และ (ข) การไหลแบบปั่นป่วน ดัดแปลงจาก (Cengel & Ghajar, 2007).....	9
รูปที่ 4 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ.....	11
รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (Cengel & Ghajar, 2007).....	13
รูปที่ 6 รังสีต่าง ๆ ที่ตกกระทบวัตถุที่มีคุณสมบัติให้รังสีผ่านได้บางส่วน (Cengel & Ghajar, 2007).....	14
รูปที่ 7 องค์ประกอบของอากาศชื้น.....	16
รูปที่ 8 น้ำแต่ละชั้นในวัสดุชื้น.....	18
รูปที่ 9 Sorption isotherm (Hossain et al., 2001).....	19
รูปที่ 10 desorption isotherm และ adsorption isotherm (Hossain et al., 2001).....	20
รูปที่ 11 กราฟการแห้ง แสดงการลดลงของความชื้นตามเวลา เมื่อ M คือ ความชื้นของ ผลิตภัณฑ์ M_e คือ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ และ t คือ เวลา (Sodha et al., 1987).....	22
รูปที่ 12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งกับเวลา เมื่อ $\frac{dM}{dt}$ คือ อัตราการแห้ง และ t คือ เวลา (Sodha et al., 1987)	23
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้ง ($\frac{dM}{dt}$) กับความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Sodha et al., 1987).....	23
รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	24
รูปที่ 15 เครื่องอบแห้งแบบหลังคาเป็นกระจก (Tomar et al., 2017)	25
รูปที่ 16 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายชั้น ดัดแปลงจาก (Singh et al., 2004).....	26

รูปที่ 17 แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของเครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติซึ่งมีส่วนรับรังสีและส่วนสำหรับวางผลิตภัณฑ์อยู่แยกกัน	26
รูปที่ 18 เครื่องอบแห้งตู้ทึบแสงซึ่งมีตัวทำอากาศร้อนและปล่องช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศ (Alonge & Oniya, 2012)	27
รูปที่ 19 เครื่องอบแห้งแบบตู้หลายชั้น (Gatea, 2011)	28
รูปที่ 20 เครื่องอบแห้งแบบตู้ที่รับรังสีอาทิตย์โดยตรงและมีพัดลมระบายอากาศ (Ndukwu et al., 2021).....	29
รูปที่ 21 เครื่องอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากตัวทำอากาศร้อน และมีแหล่งกำเนิดความร้อนเสริม (Smitabhindu et al., 2008).....	30
รูปที่ 22 เครื่องอบแห้งแบบตู้และใช้พัดลมระบายอากาศที่ทำงานด้วยพลังงานลม (Singh & Kumar, 2012).....	31
รูปที่ 23 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดม (Janjai et al., 2009)	32
รูปที่ 24 เครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยที่พัฒนาโดย ทนงศักดิ์ ลาโพธิ์ & ยุทธนา ภูริระวณิชกุล (2554).....	33
รูปที่ 25 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับโดยมีการเสริมแผงรับรังสีอาทิตย์ ที่พัฒนาโดย วสันต์ จินธาดา และคณะ (2559).....	34
รูปที่ 26 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ (Jeentada et al., 2019).....	35
รูปที่ 27 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมที่ใช้แผ่นรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ สำหรับอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ พัฒนาโดย Andharia et al. (2020)	36
รูปที่ 28 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการให้ความร้อนเสริมและระบบควบคุมอุณหภูมิ ที่พัฒนาโดย บุญยัง สิงห์เจริญ และคณะ (2559).....	37
รูปที่ 29 เครื่องอบแห้งขนาดเล็กที่ติดตั้งระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิสำหรับเพาะเห็ด ที่พัฒนาโดย บุญยัง สิงห์เจริญ & สันติ साแก้ว (2558).....	38
รูปที่ 30 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ที่ทำการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ ที่พัฒนาโดย (Mataram et al., 2021).....	39
รูปที่ 31 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	41

รูปที่ 32	ชั้นตากยงสำหรับบรรจุยางพาราแผ่นเพื่อทำการตากแห้ง	41
รูปที่ 33	ชั้นตากยง ก. ชั้นตากยงแถวกลาง ข. ชั้นตากยงแถวริม	42
รูปที่ 34	การต่อแผงโซลาเซลล์กับพัดลมระบายอากาศพื้นฐานทั้งหมด 9 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ด้านหลัง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	43
รูปที่ 35	การต่อแผงโซลาเซลล์กับพัดลมผสมอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ ทั้งหมด 6 ตัว.....	44
รูปที่ 36	ตำแหน่งของพัดลมระบายอากาศ (ก) และพัดลมระบายอากาศเสริมที่ควบคุมด้วยระบบ ควบคุม (ข).....	45
รูปที่ 37	ตำแหน่งของพัดลมผสมอากาศทั้ง 6 ตัว ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลา	45
รูปที่ 38	แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ฯ.....	46
รูปที่ 39	ตำแหน่งของเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น DHT22 ภายในเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์และบริเวณสิ่งแวดล้อม	47
รูปที่ 40	ตู้ควบคุมการทำงานของพัดลม ก) ด้านหน้าของตู้ควบคุม และ ข) ด้านในของตู้ควบคุม	47
รูปที่ 41	การต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอย่าง ละเอียด.....	48
รูปที่ 42	โซลาชาร์จคอนโทรลเลอร์ (Solar charge controller).....	49
รูปที่ 43	แบตเตอรี่แบบกรด-ตะกั่ว	49
รูปที่ 44	แผงโซลาเซลล์.....	50
รูปที่ 45	พัดลมระบายอากาศ.....	50
รูปที่ 46	เครื่องไพราโนมิเตอร์ Kipp and Zonen (model CMP11).....	51
รูปที่ 47	เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple).....	52
รูปที่ 48	ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และสิ่งแวดล้อม	52
รูปที่ 49	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ไฮโกรมิเตอร์แบบคาปาซิทีฟ (ยี่ห้อ E+Elektronik รุ่น EE23)	53

รูปที่ 50 ตำแหน่งของเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบคาปาซิทีฟภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และสิ่งแวดลอม	53
รูปที่ 51 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล (datalogger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100	54
รูปที่ 52 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Satorius รุ่น BSA 3202S-CW	54
รูปที่ 53 ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP	55
รูปที่ 54 เครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ	55
รูปที่ 55 แกนสีของระบบ CIELAB (ค.ศ. 1976) (Hunter and Pointer, 2011; Janjai et al., 2011)	56
รูปที่ 56 เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ ยี่ห้อ ROTRONIC รุ่น hygropalm	56
รูปที่ 57 การแขวนยางพาราแผ่นดิบบนชั้นตากยางพารา	57
รูปที่ 58 ยางพาราแผ่นดิบที่แขวนบนชั้นตากภายในเครื่องอบแห้งฯ (ก) และยางพาราแผ่นดิบไปตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ (ข)	57
รูปที่ 59 การวัดสีแผ่นยางพารา	58
รูปที่ 60 วัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ของแผ่นยางพารา	58
รูปที่ 61 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบล โดมตันแบบที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	59
รูปที่ 62 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นครั้งที่ 1	60
รูปที่ 63 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง 61	61
รูปที่ 64 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	62
รูปที่ 65 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	63
รูปที่ 66 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน	64
รูปที่ 67 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบ	65

รูปที่ 68 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	66
รูปที่ 69 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	67
รูปที่ 70 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน	68
รูปที่ 71 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์.....	69
รูปที่ 72 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบ	70
รูปที่ 73 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	71
รูปที่ 74 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	72
รูปที่ 75 การลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์.....	73
รูปที่ 76 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	74
รูปที่ 77 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ	75
รูปที่ 78 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นในระหว่างการทดลอง	76
รูปที่ 79 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นในระหว่างการทดลอง	77
รูปที่ 80 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	78
รูปที่ 81 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดสุราษฎร์ธานี	79
รูปที่ 82 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่จังหวัด สุราษฎร์ธานี	80

รูปที่ 83 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	81
รูปที่ 84 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่น ในระหว่างการทดลอง.....	82
รูปที่ 85 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี	83
รูปที่ 86 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด จังหวัดจันทบุรี.....	84
รูปที่ 87 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบที่จังหวัดจันทบุรี	85
รูปที่ 88 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	86
รูปที่ 89 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง	87
รูปที่ 90 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี	88
รูปที่ 91 การวัดสียางพาราแผ่นด้วยเครื่องวัดสีี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ.....	89
รูปที่ 92 ตัวอย่างยางพาราแผ่น ก) ยางพาราแผ่นที่อบแห้งในเครื่องอบแห้งฯ ข) ยางพาราแผ่นที่ตากแห้งโดยแดดธรรมชาติ.....	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย จากข้อมูลในปี 2562 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ทำการเพาะปลูกยางพาราทั้งหมด 23 ล้านไร่ (อรมน ทรัพย์ทวีธรรม, 2562) เป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศอินโดนีเซีย แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาราคายางตกต่ำ เนื่องมาจากความผันผวนทางเศรษฐกิจและความผันผวนของตลาดโลก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางและรายได้ของประเทศ

ในประเทศไทยมีการผลิตยางพาราแผ่น ยางก้อน และยางเครพ โดยยางพาราแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ประเทศไทยส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ (Padungsereevit, 2010) ในการผลิตยางพาราแผ่นต้องอาศัยกระบวนการที่สำคัญคือ การอบแห้ง (drying) โดยทั่วไปการอบแห้งจะใช้วิธีตากแดดตามธรรมชาติแล้วจึงนำไปผึ่งลมต่อ และการให้ความร้อนจากการเผาไม้ฟืนซึ่งเป็นการรมควันแผ่นยาง โดยวิธีตากแดดตามธรรมชาติมีข้อดีคือทำให้ได้สะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียคือแผ่นยางอาจจะเปื่อยผุพังได้ สำหรับการให้ความร้อนจากการเผาไม้ฟืน มีข้อดีคือควันจากไม้ฟืนจะช่วยให้สามารถเก็บรักษายางพาราแผ่นได้นานและไม่เสียหายจากการเปื่อยผุพัง แต่ก็มีข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายด้านไม้ฟืนที่นำมาใช้เผาเพื่อรมควัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศอีกด้วย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรทำให้ได้รับรังสีอาทิตย์ (solar radiation) ในปริมาณมาก ดังนั้นในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) สำหรับอบแห้งยางพาราขึ้นหลายรูปแบบ เช่น เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว หรือเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่นๆ (Hussadin & Pongtornkulpanich, 2015 ; Brey Mayer, 1993) แต่เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นเครื่องอบแห้งขนาดเล็กที่มีความจุน้อย (อบแห้งยางพาราได้ 2-3 แผ่น หรือ 10-100 แผ่น) ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตยางพาราแผ่นได้ ดังนั้นเครื่องอบแห้งส่วนใหญ่จึงไม่มีการนำมาใช้งานจริง จากการสำรวจของผู้วิจัยพบว่าเกษตรกรรายย่อยจะผลิตยางพาราแผ่นครั้งละประมาณ 500 แผ่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เสนอที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถอบแห้งยางพาราแผ่นได้ครั้งละ 500 แผ่นพร้อมทั้งได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้มีความเหมาะสมกับการอบแห้งยางพาราแผ่นเพื่อนำมาใช้กับเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และสามารถอบแห้งยางพาราแผ่นได้จำนวนมาก
- 2) เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นในการอบแห้งยางพาราแผ่น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้เหมาะสมแก่การอบแห้งยางพาราแผ่นจำนวน 500 แผ่น



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับยางพารา พื้นฐานการอบแห้ง ประเภทเครื่องอบแห้ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ยางพารา

ยางพารามีชื่อสามัญหรือชื่อพื้นเมืองว่า ยางพารา (Para rubber) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Hevea brasiliensis* (Willd.Ex Adr. De Juss.) Muell. มีชื่อวงศ์ว่า Euphorbiaceae ยางพาราเป็นไม้ยืนต้น มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มแม่น้ำแอมะซอน ประเทศบราซิลและประเทศเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งคนพื้นเมืองเรียกว่า "คาอู" (caotchu) แปลว่า ต้นไม้ร้องไห้ จนถึงปี พ.ศ. 2313 (ค.ศ. 1770) โจเซฟ ปริสต์ลีย์ พบว่ายางสามารถนำมาลบรอยดำของดินสอได้ จึงเรียกว่ายางลบ (rubber) ซึ่งเป็นศัพท์ที่ใช้ในประเทศอังกฤษและประเทศเนเธอร์แลนด์เท่านั้น ศูนย์กลางของการเพาะปลูกและซื้อขายยางในอเมริกาใต้แต่ดั้งเดิมอยู่ที่รัฐปารา (Pará) ของประเทศบราซิล ยางชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า ยางพารา (ประมุข & ศรีบุญเรือง, 2020)

ยางพาราเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2442 โดยพระยารัชฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดีได้นำต้นยางพาราต้นแรกของประเทศมาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง จึงได้รับเกียรติว่าเป็น "บิดาแห่งยาง" จากนั้นพระยารัชฎานุประดิษฐ์ ได้ส่งคนไปเรียนวิธีปลูกยางพาราเพื่อมาสอนประชาชน พร้อมนำพันธุ์ยางพาราไปแจกจ่าย และส่งเสริมให้ราษฎรปลูกทั่วไป ซึ่งในยุคนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นยุคตื่นยางพาราและชาวบ้านเรียกยางพารานี้ว่า "ยางเทศา" ต่อมาราษฎรได้นำเข้ามาปลูกเป็นสวนยางพารามากขึ้น และได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราไปในจังหวัดภาคใต้รวม 14 จังหวัด ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไปถึงจังหวัดที่ติดชายแดนประเทศมาเลเซีย (สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการ เกษตร, 2554) การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศได้เจริญรุดหน้าเรื่อยมาจนทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางพาราได้มากที่สุดในโลก (สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการ เกษตร, 2554) ยางพารานับเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นมูลค่ามหาศาล ในอดีตนั้นยางพาราสามารถปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคใต้ แต่ในปัจจุบันยางพาราได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกไปทั่วประเทศ ทั้งในพื้นที่ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.1.1 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ง่าย กล่าวคือ เมื่อมีแรงดึงหรือแรงมากระทำส่งผลให้ยางเปลี่ยนสภาพ หลังจากที่มีแรงเหล่านั้นหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและสภาพเดิมได้

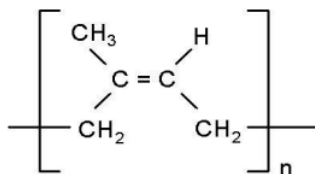
2) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง เมื่อยางถูกยืดออกโครงสร้างของยางสามารถตกลึกได้ง่าย การตกลึกนี้จะทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นยางสามารถทนทานต่อแรงดึงได้สูงมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ได้และยังสามารถทนทานต่อการฉีกขาดได้ดี จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ลูกโป่ง และ ยางรัดของ เป็นต้น

3) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 10^{15} - 10^{16} Ω/cm จึงนิยมนำไปทำเป็นฉนวนกันไฟฟ้า

4) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติรักษาความยืดหยุ่นหรือสามารถทนการหักงอได้แม้จะมีอุณหภูมิต่ำ โดยยางธรรมชาติสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -55°C - 70°C หากเก็บยางไว้ในที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจะส่งผลให้เกิดการตกลึกและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่หากเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้โครงสร้างของยางเกิดการเสื่อมสภาพได้

2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

น้ำยางที่ได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีครีม สามารถไหลเองได้ มีความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (Centipoises) ความหนาแน่น 0.975 g/cm^3 และมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 6.5-7.0 น้ำยางมีคุณสมบัติเป็นสารแขวนลอย รูปร่างของอนุภาคยางเป็นทรงกลมขนาด 0.05 - $5 \mu\text{m}$ เป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1;4-พอลิไอโซพรีนที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบซิส (cis-1;4 polyisoprene) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (Monomer) ของไอโซพรีน (Isoprene) ซึ่งมีคาร์บอน (Carbon; C) 5 อะตอมกับไฮโดรเจน (Hydrogen; H) 8 อะตอมต่อกันจำนวนมากเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว (จุลารัตน์ น้อยหนู, 2558)



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างเคมีของยางธรรมชาติ (จุฑารัตน์ น้อยหนู, 2558)

ส่วนประกอบของน้ำยางสดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้ (วารกรณ์ ขจรไชยกูล, 2552)

- ส่วนประกอบที่เป็นยาง (Dry Rubber Content; DRC) ซึ่งเป็นอนุภาคของไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกัน 2000-5000 อนุภาคต่อ 1 หน่วยโมเลกุล
- ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non- Rubber Content)

นอกจากส่วนที่เป็นยางแล้วยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ น้ำหรือเซรัม (Serum) ลูทอยด์ และสารอื่น ๆ เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น โดยปริมาณส่วนประกอบในน้ำยางแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา (วารกรณ์ ขจรไชยกูล, 2552)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
ซีเถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1

น้ำยางธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (จุฑารัตน์ น้อยหนู, 2558) คือ

1) น้ำยางสด

น้ำยางสดจะประกอบด้วยเนื้อยาง เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำ น้ำยางสดจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45% เท่านั้นและยังไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเนื่องจากเกิดการเน่าบูดได้ ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์แต่จะนำไปแปรรูปเป็นวัตถุดิบขั้นต้นของยางแทน เช่น น้ำยางข้น ยางแผ่นดิบรมควัน ยางแท่ง และยางเครป เพื่อนำไปสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ในภายหลัง

2) น้ำยางข้น

ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจะเปลี่ยนน้ำยางสดให้กลายเป็นน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% เนื่องจากการนำเอาน้ำยางสดไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ จะต้องนำไปส่งที่โรงงานผลิตซึ่งโรงงานที่ผลิตนั้นค่อนข้างอยู่ไกลจากสวนยางพาราและใช้เวลานานในการขนส่ง ทำให้น้ำยางสดที่ส่งไปไม่ได้คุณภาพ โดยน้ำยางข้นแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia: HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารแอมโมเนีย 0.7% ในการรักษาสภาพร่วมกับกรดลอริก 0.035% จึงทำให้น้ำยางสามารถเก็บได้นานไม่เสียง่ายจึงนิยมนำไปผลิตเป็นถุงมียาง กาวยาง หรือถุงยางอนามัย เป็นต้น และน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia: LA) คือ เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารแอมโมเนีย 0.2% ในการรักษาสภาพร่วมกับทีเอ็มทีดี 0.013% ซิงค์ออกไซด์ 0.013% และกรดลอริก 0.035% จะมีอายุการเก็บรักษาน้ำยางได้น้อยจึงนิยมนำไปผลิตเป็นยางพองน้ำ

2.1.3 ยางพาราแผ่นดิบ (สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร, 2554)

ยางพาราแผ่นดิบ หมายถึง ยางแผ่นที่เกษตรกรผลิตขึ้นแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งต่าง ๆ สำหรับยางแผ่นดิบที่คุณภาพดีจะเป็นยางแผ่นที่สะอาด ขนาดแผ่นได้มาตรฐานไม่หนาจนเกินไป มีความยืดหยุ่นดี ไม่มีรอยของสิ่งสกปรก โดยจะมีขั้นตอนการผลิตยางแผ่นดิบดังต่อไปนี้

1) การเก็บรวบรวมน้ำยาง

จะทำความสะอาดถึงเก็บน้ำยางก่อนใช้ทุกครั้ง หลังจากนั้นจะนำน้ำยางที่รับซื้อจากชาวเกษตรกรมากรองน้ำยางด้วยลวดเบอร์ 40 และ 60 เพื่อเอาสิ่งสกปรกออก

2) การเจือจางน้ำยาง

ดวงยางที่กรองเรียบร้อยแล้วใส่ลงไปในพานะที่เรียกว่าตะกง ๆ ละ 3 ลิตร และผสมกับน้ำสะอาด 2 ลิตร จะทำให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำยางกับน้ำเป็น 3:2 ส่วน

3) การใช้น้ำกรดและการผสมน้ำกรด

จะทำการผสมกรดฟอร์มิกชนิดความเข้มข้น 90% ปริมาตร 390 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำยางในตะกงและจะทำการกวนด้วยใบพาย ในขณะที่กวนน้ำยางจะเกิดเป็นฟองอากาศขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้ใบพายกวาดฟองอากาศออกจากตะกงให้หมด หลังจากนั้นนำฝาครอบมาปิดตะกงเพื่อให้ยางจับตัวเป็นแผ่น ใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที

4) การเตรียมแผ่นยาง

เมื่อยางจับตัวกันเป็นแผ่นแล้ว หลังจากนั้นจะเติมน้ำสะอาดลงไปในตะกงเพื่อให้สามารถแกะยางออกจากตะกงได้ง่าย หลังจากนั้นจะนำยางออกมาวางบนโต๊ะที่สะอาดและนวดให้บางด้วยอุปกรณ์ จนยางแผ่นดิบมีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตรแล้วนำเข้าเครื่องรีดเส้น 3-4 ครั้งจนยาง

แผ่นดิบมีความหนา 3-4 มิลลิเมตร จึงนำเข้าเครื่องรีดดอกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำ ซึ่งช่วยให้แผ่นยางแห้งเร็วขึ้น สุดท้ายนำยางแผ่นดิบที่ได้นำไปทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าก่อนนำไปผึ่งให้แห้ง

5) การผึ่งแห้งแผ่นยาง

นำยางแผ่นที่ทำความสะอาดแล้วไปผึ่งไว้ในที่ร่มพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้โดนแสงแดด โดยทั่วไปจะแขวนบนราวไม้ไผ่ หลังจากที่ยางแผ่นดิบไว้ประมาณ 6 ชั่วโมงสามารถจำหน่ายเป็นยางแผ่นดิบได้ โดยทั่วไปจะยางแผ่นดิบที่ผึ่งแห้งแล้วระดับหนึ่งนำไปทำเป็นยางแผ่นรมควัน หรือยางแผ่นตากแห้งเพื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการนำพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนจากรังสีอาทิตย์มาใช้ในการระเหยน้ำในวัสดุที่ใช้สำหรับการอบแห้ง โดยพลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงไปยังตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำ อัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์เครื่องอบแห้ง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงได้ การถ่ายเทความร้อนแบ่งเป็น 3 วิธีดังนี้

2.2.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนเกิดขึ้นได้กับสารทั้ง 3 สถานะได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมที่มีพลังงานจลน์สูงกว่าไปยังโมเลกุลหรืออะตอมใกล้เคียงที่มีพลังงานจลน์ต่ำกว่า สำหรับกรณีการนำความร้อนในของเหลวและก๊าซจะเกิดจากการชนกันของอะตอมหรือโมเลกุลทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้น สำหรับการนำความร้อนในของแข็งจะเกิดจากการสั่นของอะตอมหรือโมเลกุล

2.2.1.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

การหาอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน โดยการนำความร้อนจะขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองตัวกลาง และความหนาของตัวกลาง (รูปที่ 2) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราการนำความร้อน} \propto \frac{(\text{พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ})(\text{ความแตกต่างของอุณหภูมิ})}{\text{ความหนาของตัวกลาง}}$$

$$\text{หรือ } \dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta X} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1)$$

เมื่อ \dot{Q}_{cond} คือ อัตราการนำความร้อน (W)

T_1 คือ อุณหภูมิที่ตัวกลางที่ 1 (K)

T_2 คือ อุณหภูมิที่ตัวกลางที่ 2 (K)

$\Delta T = T_1 - T_2$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่ตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 (K)

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

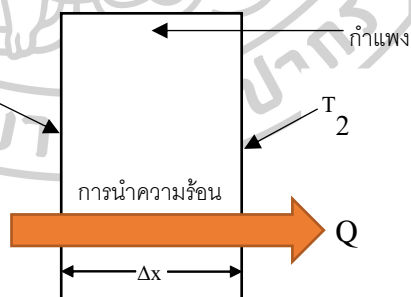
A คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ (m^2)

k คือ ค่าคงตัวซึ่งเป็นสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ของสสารที่เป็นตัวกลาง ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

ถ้าให้ $\Delta X \rightarrow 0$ สมการ (1) จะเขียนในรูปสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dX} \quad (2)$$

เรียกสมการ (2) ว่า สมการกฎการนำความร้อนของฟูริเยร์



รูปที่ 2 การนำความร้อนผ่านกำแพงใน 1 มิติ ดัดแปลงจาก (Cengel & Ghajar, 2007)

2.2.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางที่เป็นของไหล เช่น ก๊าซ และ ของเหลว โดยไอแซค นิวตัน (Isaac Newton) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้เสนอสมการการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนซึ่งเป็นการสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิที่บริเวณผิวของของแข็งกับอุณหภูมิของของไหล เรียกสมการนี้ว่า “กฎการเย็นตัวของนิวตัน” (Newton's law of cooling)

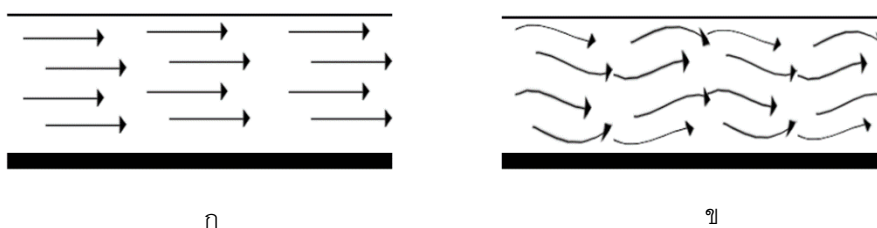
$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} A (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

เมื่อ	\dot{Q}_{conv}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (W)
	h_{conv}	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
	T_s	คือ อุณหภูมิของผิวของแข็ง (K)
	T_{∞}	คือ อุณหภูมิของของไหลที่ห่างจากผิวของแข็งหรืออยู่นอกชั้นขอบเขต (K)
	A	คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ (m^2)

สำหรับการพาความร้อนสามารถแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวกลางได้ 3 ประเภทดังนี้

2.2.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ

การพาความร้อนแบบบังคับ เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลโดยมีแรงภายนอกมากกระทำ ส่งผลให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น การใช้พัดลมสำหรับ บังคับอากาศให้ไหลผ่านตัววัตถุ หรือการใช้น้ำกับของไหลเพื่อบังคับทิศทางของไหล โดยการพาความร้อนขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลของของไหล โดยทั่วไปของไหลสามารถแบ่งลักษณะการไหลได้ 2 ประเภท คือ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ซึ่งของไหลจะไหลเป็นระเบียบ (รูป 3 (ก)) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ซึ่งของไหลจะไหลไม่เป็นระเบียบ (รูป 3 (ข))



รูปที่ 3 (ก) การไหลแบบราบเรียบ และ (ข) การไหลแบบปั่นป่วน
ดัดแปลงจาก (Cengel & Ghajar, 2007)

การไหลของของไหลจะขึ้นกับแฟคเตอร์ต่าง ๆ เช่น ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่ของไหลสัมผัส ความเร็วของไหล อุณหภูมิของของไหล และชนิดของของไหล โดยแรงเฉื่อย (inertia force) และแรงหนืด (viscous force) จะเป็นตัวกำหนดลักษณะการไหล โดยเรียกอัตราส่วนของแรงดังกล่าวนี้ว่า เลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds number, Re) สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (4)$$

เมื่อ	Re	คือ เลขเรย์โนลด์ส์ (-)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg m^{-3})
	V	คือ ความเร็วภาวะบัลค์ (bulk state) ของของไหล (m s^{-1})
	L	คือ ความยาวบ่งลักษณะของระบบ (characteristic length) (m)
	μ	คือ ความหนืดเชิงพลวัต (dynamic viscosity) ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)
	ν	คือ ความหนืดเชิงจลน์ (kinematic viscosity) ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

เลขเรย์โนลด์ส์สามารถใช้ในการบอกรูปแบบการไหลของของไหลได้ ในกรณีที่เลขเรย์โนลด์ส์มีค่า $0 < Re < 2000$ จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ และ $Re > 4000$ จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน จากสมการอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน พบว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_{conv} มีความสำคัญ ซึ่งในการคำนวณหาค่า h_{conv} ต้องอาศัยเลขนุสเซลต์ (Nusselt number, Nu) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Nu = \frac{h_{\text{conv}} \cdot L}{k} = h_{\text{conv}} \frac{L}{k} = \frac{k}{L} Nu \quad (5)$$

เมื่อ	Nu	คือ เลขนุสเซลต์ (-)
	L	คือ ความหนาของชั้นของของไหล (m)
	k	คือ สภานำความร้อนของของไหล ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

นอกจากนี้เลขนุสเซลต์สามารถหาได้จากการวิเคราะห์เชิงมิติ (dimensional analysis) ของสมการอนุรักษ์มวลสาร พลังงาน และโมเมนตัมที่เกิดกับการพาความร้อนแบบบังคับ พบว่า

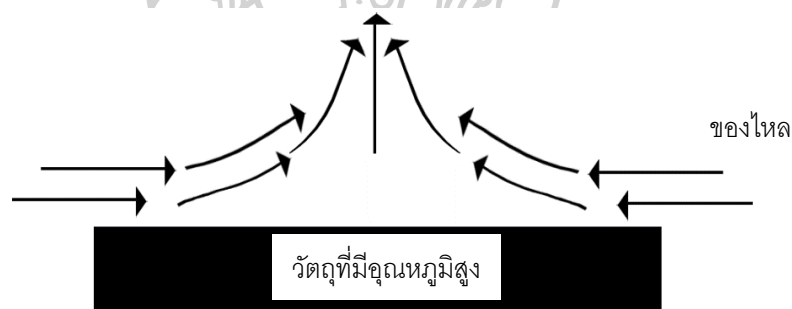
(Cengel & Ghajar, 2007) เลขนุสเซลต์ (Nu) มีความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) และเลขพรานด์เทิล (Pr) ในรูปสมการเอมไพริคัลดังนี้

$$Nu = CRe^m Pr^n \quad (6)$$

เมื่อ C, m และ n เป็นค่าคงตัวเอมไพริคัล ซึ่งขึ้นกับชนิดของการไหล (แบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน) โดยทั่วไปค่าคงที่เอมไพริคัลดังกล่าวจะหาได้จากการทดลอง

2.2.2.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

การพาความร้อนแบบธรรมชาติเกิดขึ้นเมื่อของแข็งที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าของแข็งดังกล่าว ต่อมาความร้อนจากของแข็งได้ถ่ายเทให้กับอากาศที่อยู่ใกล้ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศมีค่าสูงขึ้นและมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศที่อยู่สูงขึ้นไปส่งผลให้เกิดแรงลอยตัว (buoyancy force) อากาศจึงลอยตัวสูงขึ้นจากผิวของแข็งและอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดการพาความร้อนจากผิวของแข็งสู่อากาศที่อยู่ด้านบน (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ในส่วนของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ นักวิทยาศาสตร์ได้รวบรวมปัจจัยต่าง ๆ ไว้ในตัวแปรที่ไม่มีหน่วย ชื่อ เลขกราชอฟ (Grashof number) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (7)$$

เมื่อ Gr คือ เลขกราชอฟ (-)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($m s^{-2}$)

ν คือ ความหนืดเชิงจลน์ ($m^2 s^{-1}$)

β	คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของของไหล (coefficient of volume expansion) (K^{-1})
T_s	คือ อุณหภูมิของผิวของแข็ง (K)
T_∞	คือ อุณหภูมิของของไหลที่ห่างจากผิวของแข็งมาก ๆ จนของแข็งไม่มีอิทธิพลต่อของไหล (K)
L	คือ ความยาวบ่งลักษณะของระบบ (m)

เลขกราชอฟมีไว้สำหรับบอกลักษณะการไหลของของไหลเช่นเดียวกับเลขเรย์โนลด์สในกรณีของการไหลในการพาความร้อนแบบบังคับ โดยเลขกราชอฟที่มีค่าต่ำ ๆ จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ เมื่อเลขกราชอฟมีค่ามากกว่าค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า เลขกราชอฟวิกฤต (critical Grashof number, Gr_c) การไหลจะเปลี่ยนเป็นแบบปั่นป่วน

การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนแบบธรรมชาติสามารถหาได้จากสมการกฎการเย็นตัวของนิวตันและหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากเลขนุสเซลต์ เช่นเดียวกับการหาอัตราการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับ โดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติพบว่าเลขนุสเซลต์มีความสัมพันธ์กับเลขกราชอฟและเลขพรานด์เทิล ตามสมการ

$$Nu = C(GrPr)^n \quad (8)$$

เมื่อ C และ n เป็นค่าคงตัวเอมไพริคัล ซึ่งขึ้นกับลักษณะทางเรขาคณิตและการไหลของระบบ โดยในทางปฏิบัติจะหาค่า C และ n จากการทดลอง

2.2.2.3 การพาความร้อนที่เกิดจากลม

ในทางปฏิบัติจริงของการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดการสูญเสียความร้อนภายในเครื่องอบแห้งให้กับของไหลที่อยู่ด้านนอก เช่น ลม โดยสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนโดยลมจากสมการเอมไพริคัล ดังนี้ (Duffie et al., 2020)

$$h_w = 5.7 + 3.8V \quad ; 0 \leq V \leq 7 \text{ m s}^{-1} \quad (9)$$

เมื่อ h_w คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยลม ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)

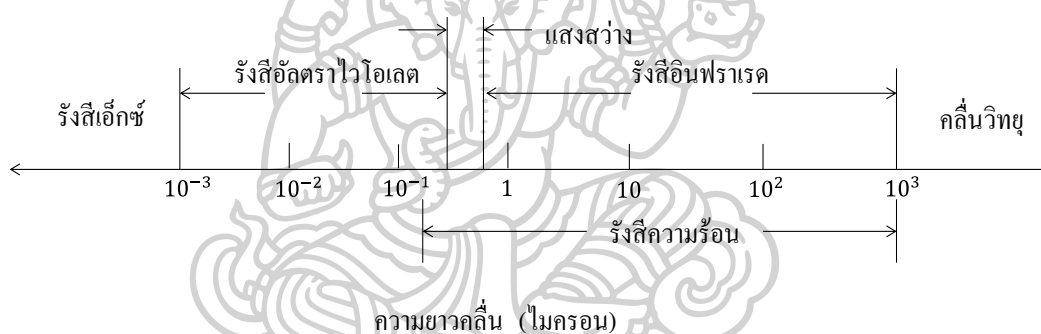
V คือ ความเร็วลม (m s^{-1})

2.2.3 การแผ่รังสี

หากพิจารณาในสภาวะสุญญากาศ ถ้ามีวัตถุร้อนที่มีอุณหภูมิ T_1 อยู่ในตู้ซึ่งผนังภายในมีอุณหภูมิ T_2 และ $T_1 > T_2$ วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังตู้จนกว่าอุณหภูมิของทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน โดยการนำความร้อนหรือการพาความร้อนไม่สามารถเกิดขึ้นในกรณีสุญญากาศได้ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เรียก “การแผ่รังสี”

2.2.3.1 รังสีความร้อน (thermal radiation)

รังสี (radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบคลื่นด้วยความเร็วแสง $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ในสุญญากาศโดยประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำกัน มีทิศทางตั้งฉากกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถพบได้ตั้งแต่ความยาวคลื่นสั้นกว่า $10^{-3} \text{ }\mu\text{m}$ จนถึงความยาวคลื่นยาวกว่า $10^3 \text{ }\mu\text{m}$ โดยแบ่งได้เป็นช่วง ๆ ซึ่งแต่ละช่วงมีชื่อเรียกต่างกันไป (รูปที่ 5)

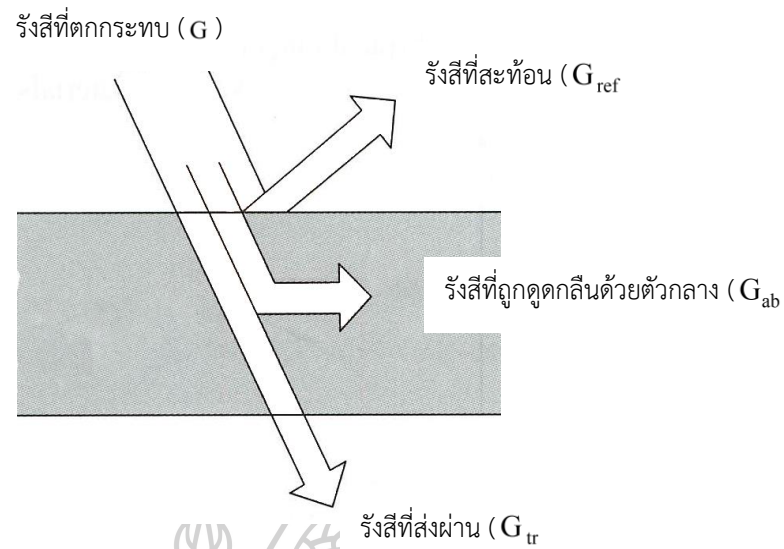


รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (Cengel & Ghajar, 2007)

รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น $0.1\text{-}100 \text{ }\mu\text{m}$ โดยความยาวคลื่นในช่วงนี้ครอบคลุมแสงสว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรด รังสีความร้อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุล หรืออิเล็กตรอนของสสาร เมื่อสสารดูดกลืนรังสีความร้อนแล้วจะสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ เมื่อเกิดการแผ่รังสีจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อน

2.2.3.2 สภาพดูดกลืนรังสี (absorptivity) สภาพสะท้อนรังสี (reflectivity) และสภาพส่งผ่านรังสี (transmissivity)

เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุที่มีคุณสมบัติให้รังสีผ่านได้บางส่วน รังสีที่ตกกระทบนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น รังสีที่ตกกระทบกับผิววัตถุ รังสีสะท้อนออกจากผิววัตถุ รังสีที่ถูกดูดกลืนด้วยวัสดุ และรังสีที่ผ่านวัตถุออกไปด้านหลัง (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 รังสีต่าง ๆ ที่ตกกระทบวัตถุที่มีคุณสมบัติให้รังสีผ่านได้บางส่วน (Cengel & Ghajar, 2007)

โดยสามารถหาสภาพสะท้อนรังสี สภาพดูดกลืนรังสี และสภาพส่งผ่านรังสี ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{สภาพสะท้อนรังสี } (\rho) = \frac{\text{รังสีที่สะท้อน}}{\text{รังสีที่ตกกระทบ}} = \frac{G_{\text{ref}}}{G} \quad (10)$$

$$\text{สภาพดูดกลืนรังสี } (\alpha) = \frac{\text{รังสีที่ถูกดูดกลืน}}{\text{รังสีที่ตกกระทบ}} = \frac{G_{\text{ab}}}{G} \quad (11)$$

$$\text{สภาพส่งผ่านรังสี } (\tau) = \frac{\text{รังสีที่ส่งผ่าน}}{\text{รังสีที่ตกกระทบ}} = \frac{G_{\text{tr}}}{G} \quad (12)$$

เมื่อ G คือ รังสีที่ตกกระทบ (W m^{-2})

G_{ref} คือ รังสีที่สะท้อน (W m^{-2})

G_{ab} คือ รังสีที่ถูกดูดกลืน ($W m^{-2}$)

G_{tr} คือ รังสีที่ส่งผ่าน ($W m^{-2}$)

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานสามารถเขียนความสัมพันธ์ของรังสีต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$G_{ab} + G_{ref} + G_{tr} = G \quad (13)$$

เมื่อสมการ (13) ทหารด้วย G จะได้ว่า

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (14)$$

กรณีของวัตถุทึบแสง $\tau = 0$ จะได้ว่า

$$\alpha + \rho = 1 \quad (15)$$

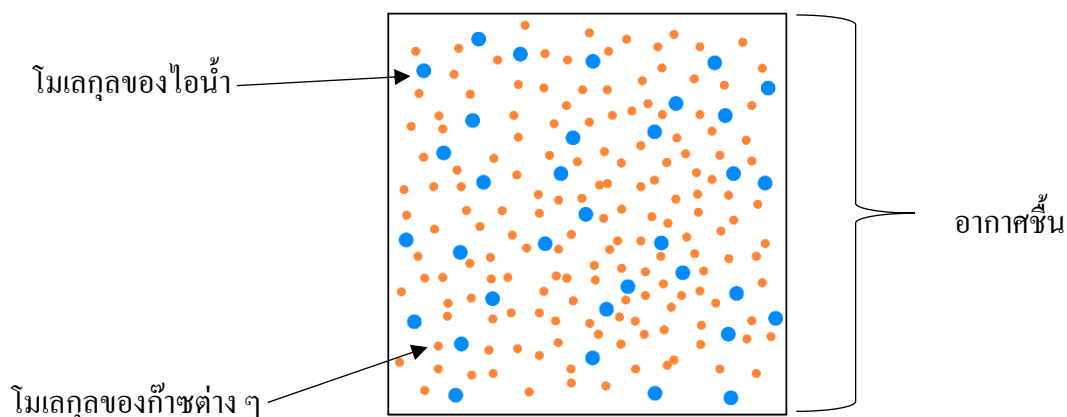
กรณีของวัตถุดำ รังสีที่ตกกระทบจะถูกดูดกลืนทั้งหมด ดังนั้น $\alpha = 1$ และไม่มีรังสีที่สะท้อน หรือ $\rho = 0$ และไม่มีรังสีที่ส่งผ่านหรือ $\tau = 0$

2.3 พื้นฐานการอบแห้ง

หัวข้อนี้จะอธิบายทฤษฎีการอบแห้ง สมบัติของอากาศชื้น วัสดุชื้น และการอบแห้ง รวมถึงประเภทของเครื่องอบแห้ง ตามรายละเอียดดังนี้

2.3.1 อากาศชื้น

อากาศชื้น (humid air) ประกอบไปด้วย ไอน้ำ และ อากาศแห้ง โดยอากาศแห้งหมายถึง โมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ซึ่งในงานด้านการอบแห้ง จะเรียกก๊าซทั้งหมดนี้ว่า อากาศแห้ง (dry air) โดยอากาศแห้งสามารถดูดกลืนไอน้ำแล้วกลายเป็นอากาศชื้น ถ้าอากาศแห้งดูดซับไอน้ำจนถึงปริมาณสูงสุด โดยที่ไม่สามารถดูดซับไอน้ำเพิ่มได้อีก จะเรียกสภาวะดังกล่าวว่า “สภาวะอิ่มตัว” เมื่อมีไอน้ำส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ไอน้ำส่วนเกินเกิดการควบแน่นเปลี่ยนจากไอน้ำกลายเป็นของเหลว หากทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้มีค่าสูงขึ้น อากาศแห้งจะสามารถดูดซับไอน้ำได้มากขึ้น หรือหากลดอุณหภูมิของอากาศจะส่งผลให้อากาศแห้งดูดซับไอน้ำได้น้อยลง



รูปที่ 7 องค์ประกอบของอากาศชื้น

2.3.2 วัสดุชื้น

วัสดุชื้น (moist materials) หมายถึงวัสดุที่มีองค์ประกอบทั้งของแข็งและความชื้น ซึ่งความชื้นคือน้ำที่กระจายตัวอยู่ในของแข็งนั้น วัสดุชื้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ วัสดุที่สามารถดูดและคายความชื้นในอากาศได้ หรือเรียกว่าวัสดุชื้นประเภทไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic material) และ วัสดุที่ไม่สามารถดูดซับความชื้นได้ หรือเรียกว่า วัสดุชื้นประเภทนอนไฮโกรสโคปิก (Non hygroscopic material) โดยสามารถจำแนกปริมาณความชื้นได้เป็น 2 กรณีดังนี้

2.3.2.1 ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content, DB)

เป็นอัตราส่วนของมวลน้ำต่อมวลของของแข็ง สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$M = \frac{m_w}{m_s} \quad (16)$$

เมื่อ	M	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg kg^{-1})
	m_w	คือ มวลของน้ำ (kg)
	m_s	คือ มวลของของแข็ง (kg)

2.3.2.2 ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content, WB)

เป็นอัตราส่วนของมวลน้ำต่อมวลวัสดุชื้น สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$M' = \frac{m_w}{m_H} \quad (17)$$

เมื่อ M' คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg kg^{-1})
 m_H คือ มวลของวัสดุชื้น (kg)

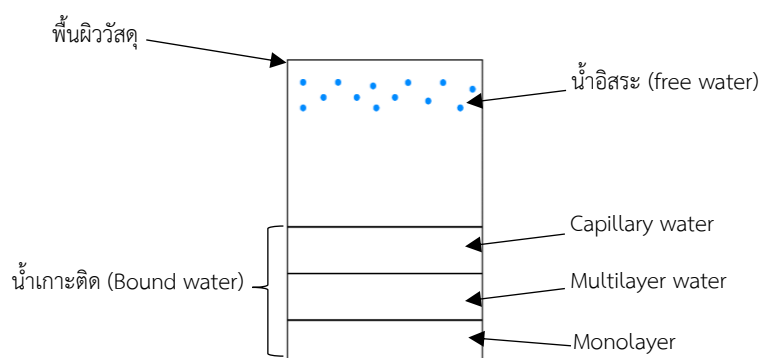
ความชื้นมาตรฐานแห่งนี้ใช้ในงานทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่ความชื้นมาตรฐานเปียกจะนิยมใช้บอกความชื้นในเชิงการค้า และมักคูณด้วย 100 ซึ่งจะได้ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ความชื้นทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$M = \frac{M'}{1 - M'} \quad (18)$$

2.3.3 น้ำในวัสดุชื้น

น้ำที่อยู่ภายในวัสดุชื้นจะมีการยึดเกาะกับของแข็งที่อยู่ภายในวัสดุชื้น ซึ่งมีลักษณะที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุชื้น โดยน้ำในวัสดุชื้นจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับของแข็งแตกต่างกัน สามารถแบ่งได้ 3 ชนิดดังนี้

- 1) น้ำอิสระ (free water) เป็นน้ำที่อยู่บริเวณชั้นนอกสุดของผลิตภัณฑ์ มีแรงยึดเหนี่ยวน้อย โดยน้ำอิสระจะมีผลต่อลักษณะ เนื้อสัมผัสและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องระเหยน้ำอิสระออกเพื่อป้องกันจุลินทรีย์ต่าง ๆ นำไปใช้ในการเจริญเติบโต
- 2) น้ำเกาะติด (Bound water) เป็นน้ำที่ยึดเกาะกับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และแยกออกได้ยาก ยึดเกาะกับสารอื่น ๆ ด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง โดยสามารถแบ่งได้ 3 ชั้นย่อย คือ Capillary water, Multilayer water และ Monolayer
- 3) ไอน้ำ



รูปที่ 8 น้ำแต่ละชั้นในวัสดุขึ้น

2.3.4 แอคติวิตีของน้ำ (Water activity : a_w)

น้ำในวัสดุขึ้นแต่ละชนิดมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างและลักษณะของวัสดุขึ้นนั้น โดยปริมาณของน้ำในวัสดุขึ้นคือสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของจุลชีพ (micro-organism) และจุลชีพแต่ละชนิดก็ต้องการปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน และยังขึ้นกับความแอคทีฟของน้ำ หรือที่เรียกว่า แอคติวิตีของน้ำ (a_w) ซึ่ง a_w เป็นปัจจัยชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุดในอาหารที่จุลชีพสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ได้ โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$a_w = \frac{P_{vp}}{P_{vs}} \quad (19)$$

เมื่อ a_w คือ แอคติวิตีของน้ำ (-)

P_{vp} คือ ความดันไอน้ำของวัสดุขึ้น (kPa)

P_{vs} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว (kPa)

จากสมการ (19) ความดันไอน้ำหรือน้ำอิสระแปรผันตรงกับค่า a_w ดังนั้นในสภาวะสมดุลทางความชื้นระหว่างวัสดุขึ้นกับอากาศแวดล้อมของวัสดุนั้น ความดันไอน้ำของวัสดุขึ้นจะเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$a_w = rh \quad (20)$$

เมื่อ rh คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (-)

2.3.5 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content : EMC)

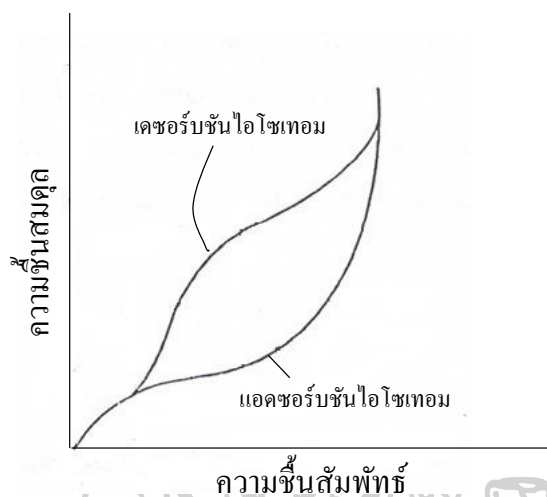
น้ำที่อยู่ในวัสดุชื้นที่อุณหภูมิ T_1 จะมีความดันไอน้ำ P_1 หากนำวัสดุชื้นไปวางในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ T_2 มีความดันไอน้ำ P_2 ถ้าความชื้นของวัสดุชื้นและสภาพแวดล้อมมีค่าต่างกัน จะเกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างสองตัวกลางจนกระทั่งวัสดุชื้นและสภาพแวดล้อมมีความดันไอน้ำเท่ากัน ($P_1=P_2$) เรียกสภาวะนี้ว่า “ความชื้นสมดุล” โดยความชื้นสมดุลของวัสดุชื้นจะขึ้นกับลักษณะของวัสดุชื้นด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม ณ ขณะนั้น หากนำความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิคงที่มาเขียนกราฟ จะเรียกรูปดังกล่าวว่า “ซอร์บชันไอโซเทอม (sorption isotherm)” (รูปที่ 9)



ความชื้นสมดุลสามารถเกิดจากการที่วัสดุชื้นคายความชื้นหรือดูดความชื้น ซึ่งซอร์บชันไอโซเทอมสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

- 1) เดซอร์บชันไอโซเทอม (desorption isotherm) เกิดขึ้นเมื่อนำวัสดุที่มีความชื้นสูงมาไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำกว่า และทำการบันทึกการลดลงของความชื้นจนถึงสภาพสมดุลความชื้น
- 2) แอดซอร์บชันไอโซเทอม (adsorption isotherm) เกิดขึ้นเมื่อนำวัสดุที่มีความชื้นต่ำมาไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงกว่า และทำการบันทึกการลดลงของความชื้นจนถึงสภาพสมดุลความชื้น

เมื่อนำข้อมูลกราฟซอร์บชันไอโซเทอมทั้ง 2 ประเภทมาทำการเขียนกราฟ โดยให้แกน Y เป็นค่าความชื้นสมดุลและแกน X เป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ฮีสเทอเรซิส (hysteresis) (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 desorption isotherm และ adsorption isotherm (Hossain et al., 2001)

แบบจำลองของซอร์บชันไอโซเทอม (Sorption isotherm model)

วัสดุชั้นแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการดูดและการคายความชื้นแตกต่างกันส่งผลให้ซอร์บชันไอโซเทอมแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงมีนักวิจัยด้านการอบแห้งได้เสนอแบบจำลองของซอร์บชันไอโซเทอมของผลิตภัณฑ์ในรูปสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์หรือแอกติวิตีของน้ำในผลิตภัณฑ์ (a_w) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยแบบจำลองที่นิยมใช้มีดังนี้

ตารางที่ 2 แบบจำลองของซอร์บชันไอโซเทอม (Sorption isotherm model)

แบบจำลอง	
แบบจำลองของเดย์ และเนวสัน (Day and Nelson model)	$a_w = 1 - \exp(-b_0 T^{b_1} M_e^{b_2 T^{b_3}})$
แบบจำลองของสมิธ (Smith model)	$M_e = (b_0 + b_1 T) - (b_2 + b_3 T) \ln(1 - a_w)$
แบบจำลองของฮาลเซย์ที่ถูกดัดแปลง (Modified Halsey model)	$a_w = \exp\left[\frac{-\exp(b_0 + b_1 T)}{M_e^{b_2}}\right]$

แบบจำลอง	
แบบจำลองของซังและฟอสต์ที่ถูกดัดแปลง (Modified Chung of Pfof model)	$a_w = \exp \left[\frac{-b_0}{T + b_1} \exp(-b_2 M_e) \right]$
แบบจำลองของออสวินที่ถูกดัดแปลง (Modified Oswin model)	$a_w = \frac{1}{1 + \left[\frac{b_0 + b_1 T}{M_e} \right]^{b_2}}$
แบบจำลอง GAB (GAB model)	$M_e = \frac{b_0 b_1 b_2 a_w}{(1 - b_2 a_w)(1 - b_2 a_w + b_1 b_2 a_w)}$

เมื่อ	M_e	คือ ความชื้นสมดุลมาตรฐานแห้ง (kg kg^{-1})
	a_w	คือ แอคติวิตีของน้ำ (-)
	T	คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	b_0, b_1, b_2 และ b_3	คือ ค่าคงตัวซึ่งขึ้นกับผลิตภัณฑ์

2.3.6 การอบแห้ง (drying)

การอบแห้ง คือ วิธีการลดความชื้นหรือน้ำในวัสดุขึ้นให้ลดลงโดยการให้น้ำระเหยออกมาซึ่งอาศัยความร้อน เรียกว่า การอบแห้งโดยใช้ความร้อน (thermal drying) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมไปสู่วัสดุขึ้นอาจเกิดโดยการพาความร้อน การนำความร้อน หรือการแผ่รังสี หรือหลายวิธีร่วมกัน โดยระหว่างการอบแห้งจะเกิดขึ้น 2 กระบวนการพร้อมกันคือ

- 1) กระบวนการถ่ายพลังงาน เกิดขึ้นจากความร้อนจากการที่สิ่งแวดล้อมถ่ายเทไปยังวัสดุขึ้น
- 2) กระบวนการถ่ายเทความชื้น เกิดจากการถ่ายเทความชื้นจากภายในตัววัสดุขึ้นออกมายังผิวของวัสดุและถ่ายเทออกไปยังสิ่งแวดล้อม

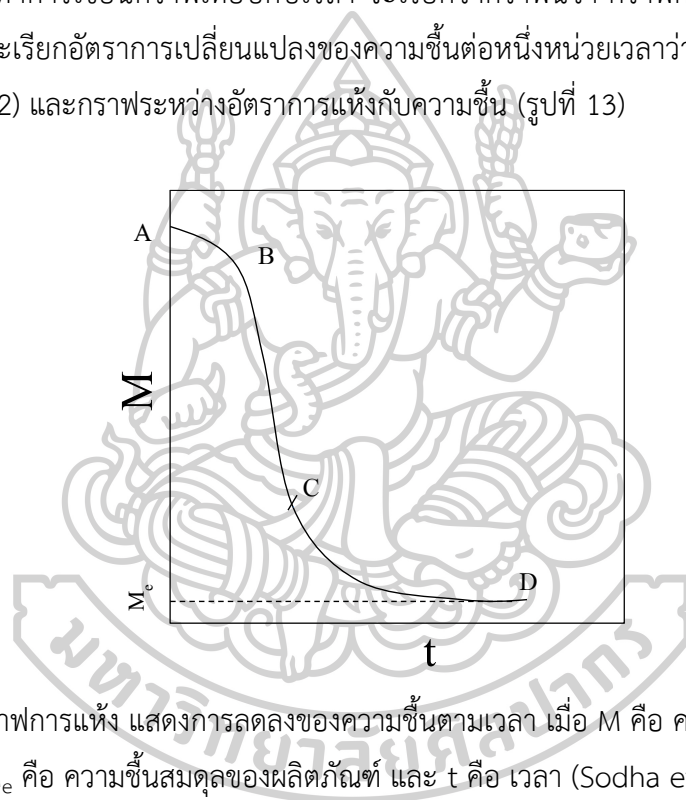
ปัจจัยที่ส่งผลให้น้ำในวัสดุขึ้นออกมายังสิ่งแวดล้อมคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันอากาศ และโครงสร้างของวัสดุขึ้น โดยกลไกที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของความชื้นออกมายังสิ่งแวดล้อมนั้นมีดังนี้

- 1) การแพร่ของของเหลว (liquid diffusion)
- 2) การแพร่ของไอน้ำ (vapour diffusion)
- 3) ความแตกต่างของความดันไฮโดรสแตติกส์ (hydrostatic pressure)

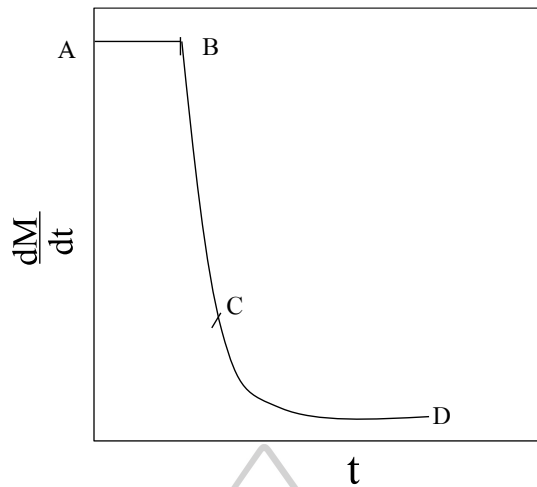
กลไกที่สำคัญทั้ง 3 จะเกิดขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือพร้อมกันทั้ง 3 กลไกก็ได้ ในระหว่างการอบแห้ง นั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปทำให้โครงสร้างของวัสดุชื้นเปลี่ยนไปด้วย ส่งผลให้กลไกการถ่ายเทความชื้น เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุชื้นระหว่างการอบแห้ง

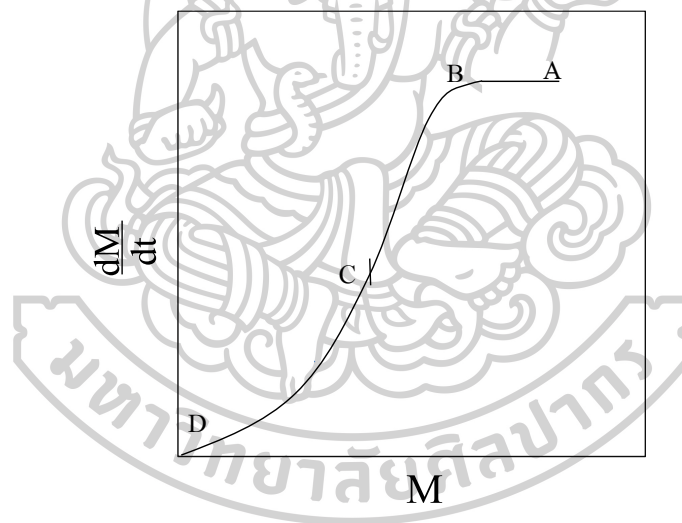
วัสดุชื้นที่มีความชื้นสูง เช่น ผลิตผลทางการเกษตร ผัก ผลไม้ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปอบแห้งจะเกิดการคายความชื้น ส่งผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงตามเวลา หากนำการลดลงของความชื้นในผลิตภัณฑ์มาทำการเขียนกราฟเทียบกับเวลา จะเรียกว่ากราฟนี้ว่า กราฟการแห้ง (drying curve) (รูปที่ 11) และเรียกอัตรการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อหนึ่งหน่วยเวลาว่า อัตราการแห้ง (drying rate) (รูปที่ 12) และกราฟระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้น (รูปที่ 13)



รูปที่ 11 กราฟการแห้ง แสดงการลดลงของความชื้นตามเวลา เมื่อ M คือ ความชื้นของ ผลิตภัณฑ์ M_e คือ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ และ t คือ เวลา (Sodha et al., 1987)



รูปที่ 12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งกับเวลา เมื่อ $\frac{dM}{dt}$ คือ อัตราการแห้ง และ t คือ เวลา (Sodha et al., 1987)



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้ง ($\frac{dM}{dt}$) กับความชื้นของผลิตภัณฑ์

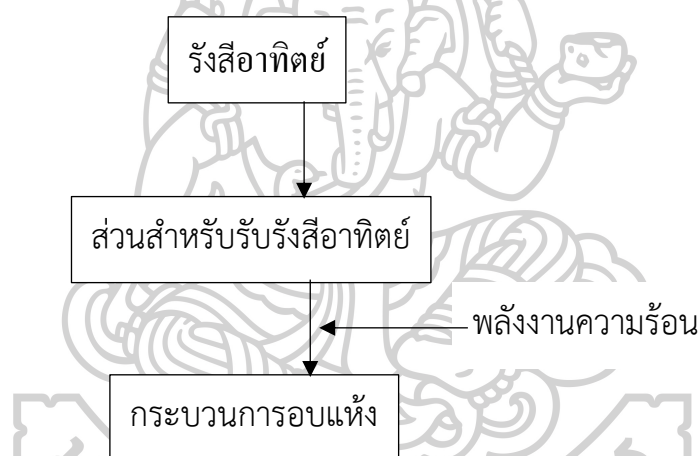
(Sodha et al., 1987)

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant drying rate period, A->B) จะเป็นการระเหยน้ำจากผิวของวัสดุ โดยน้ำดังกล่าวจะเป็นน้ำอิสระ และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling rate period, B->D) โดยสามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงที่อัตราการแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว (B->C) และช่วงที่อัตราการแห้งลดลงอย่างช้า ๆ (C->D) จะเป็นการระเหยน้ำที่อยู่ภายในวัสดุ โดยจะเป็นน้ำที่มีแรงยึดเกาะกับโครงสร้างของแข็งของวัสดุ (bound

water) โดยทั่วไปจะเรียกความชื้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งเปลี่ยนจากช่วงอัตราการแห้งคงที่ไปสู่ช่วงอัตราการแห้งลดลงว่า “ความชื้นวิกฤต” (critical moisture content) (Sodha et al., 1987)

2.3.7 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดีมากมายเช่น สามารถแก้ปัญหาความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการตากแห้งตามธรรมชาติ ป้องกันการรบกวนจากสัตว์ แมลง และจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (ฝนตก ลมพัด) ได้ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนสำหรับรับรังสีอาทิตย์ และส่วนสำหรับวางผลิตภัณฑ์ เมื่อเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับรังสีอาทิตย์ ต่อมารังสีอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 14)



รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.3.8 ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งจากการพาความร้อนได้เป็น 2 ประเภทคือ เครื่องอบแห้งที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection solar dryer) และเครื่องอบแห้งที่ใช้การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection solar dryer) โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

2.3.8.1 เครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติ

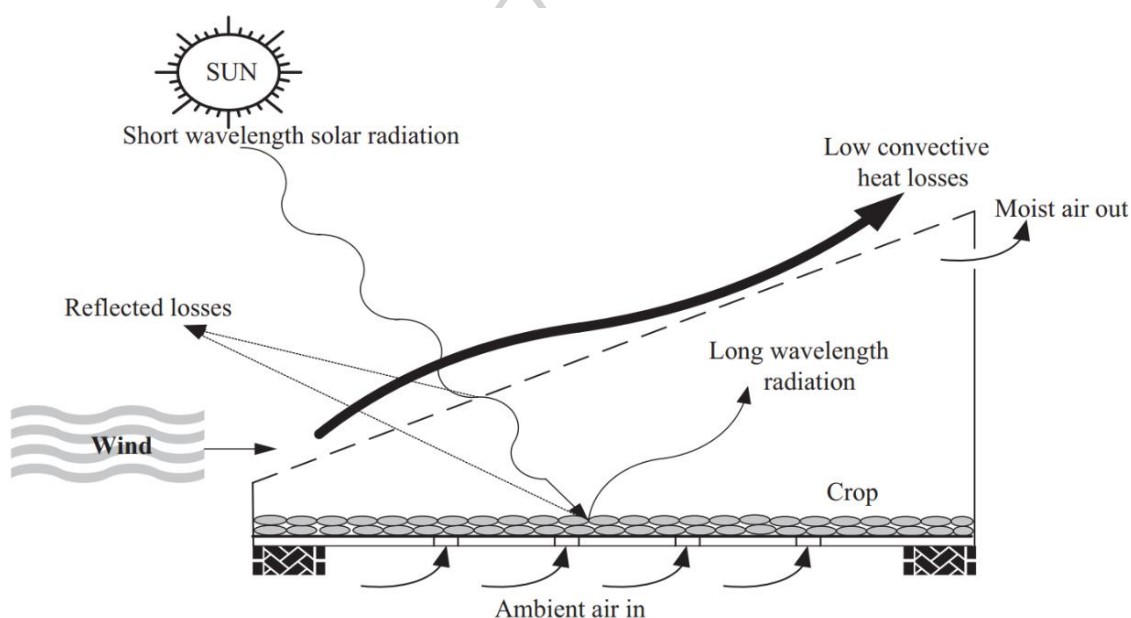
หลักการไหลของอากาศของเครื่องอบแห้งประเภทนี้เป็นปรากฏการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ คือ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูง (อากาศร้อน) จะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น) โดยอากาศที่เข้ามาในเครื่องอบแห้งๆ และมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีหน้าที่รับความชื้นที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์และเคลื่อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม หลังจากนั้นจะมีอากาศเย็นเข้ามาแทนที่อากาศ

ร้อนที่ออกไป โดยเครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติสามารถแบ่งได้อีก 3 แบบ ดังนี้

- 1) เครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง (direct mode natural convection solar dryer)

ลักษณะการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติจะทำการวางผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง เช่น

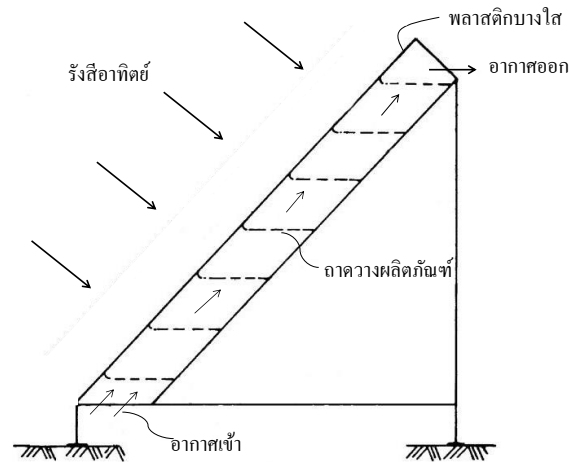
- เครื่องอบแห้งแบบหลังคาเป็นกระจก (Tomar et al., 2017)



รูปที่ 15 เครื่องอบแห้งแบบหลังคาเป็นกระจก (Tomar et al., 2017)

เครื่องอบแห้งแบบหลังคาเป็นกระจก ภายในมีชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง 2 แถว ด้านข้างมีช่องอากาศไหลเข้า และมีช่องอากาศไหลออกที่จั่วของเครื่องอบแห้งฯ

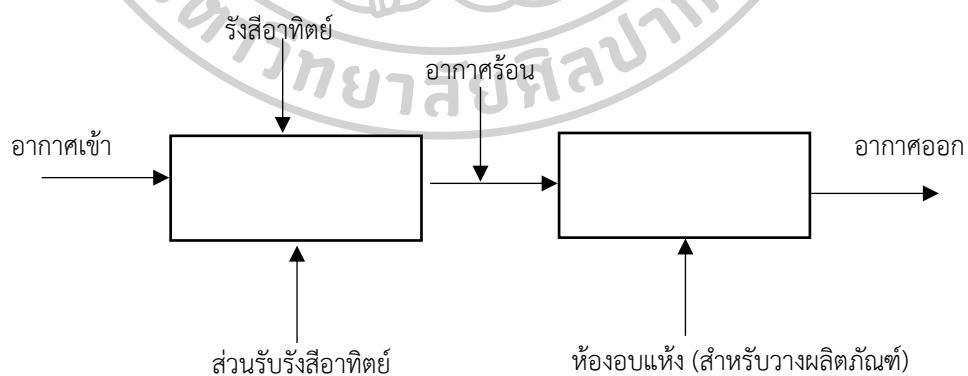
- เครื่องอบแห้งแบบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายชั้น (multi-shelf solar dryer) (Singh et al., 2004)



รูปที่ 16 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายชั้น
ดัดแปลงจาก (Singh et al., 2004)

- 2) เครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติแบบรับพลังงานรังสีอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode natural convection solar dryer)

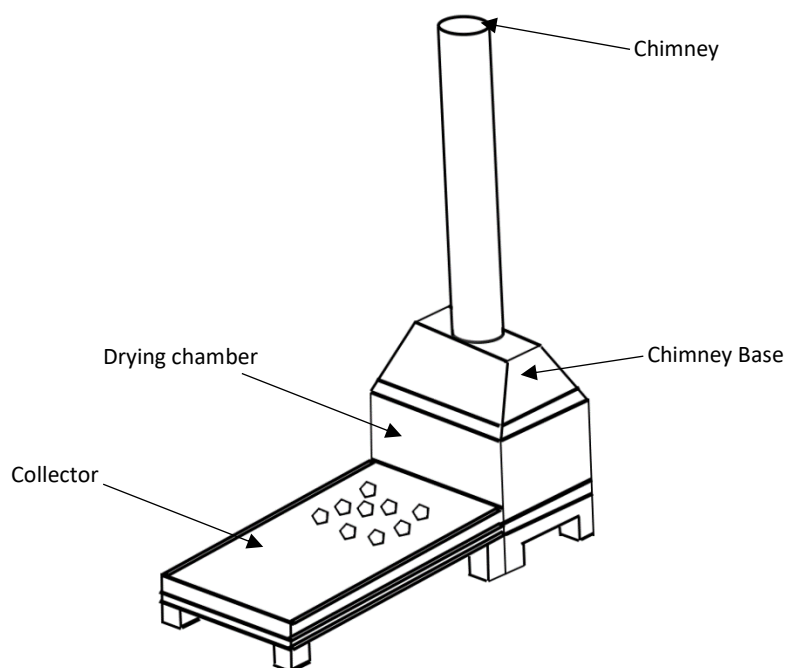
เครื่องอบแห้งประเภทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจเสียหายได้ โดยจะให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ (solar air heater หรือ solar collector) โดยองค์ประกอบมีดังนี้



รูปที่ 17 แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของเครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติซึ่งมีส่วนรับรังสีและส่วนสำหรับวางผลิตภัณฑ์อยู่แยกกัน

ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติแบบรับพลังงานรังสีอาทิตย์ทางอ้อมเช่น

- เครื่องอบแห้งแบบตู้ทึบแสงซึ่งมีตัวทำอากาศร้อนและปล่องช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศ (Alonge & Oniya, 2012)



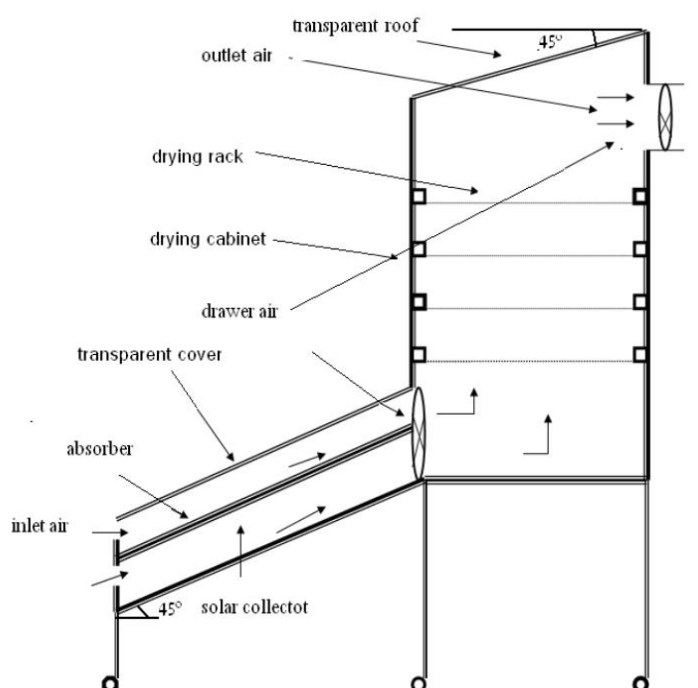
รูปที่ 18 เครื่องอบแห้งตู้ทึบแสงซึ่งมีตัวทำอากาศร้อนและปล่องช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศ (Alonge & Oniya, 2012)

- 3) เครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติแบบผสม (mixed mode natural convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทดังกล่าวประกอบด้วยส่วนรับรังสีอาทิตย์ และส่วนสำหรับวางผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับแบบรับรังสีอาทิตย์ทางอ้อม แต่ในกรณีนี้เครื่องอบแห้งส่วนวางผลิตภัณฑ์นั้นสามารถให้แสงตกกระทบกับตัวผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง โดยมีตัวอย่างดังนี้

- เครื่องอบแห้งแบบตู้หลายชั้น (multi-stacked dryer) (Gatea, 2011)

ลักษณะของเครื่องอบแห้งประเภทนี้จะมีชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายชั้น โดยหลังคาเป็นกระจกใสเพื่อให้รังสีอาทิตย์โดนผลิตภัณฑ์โดยตรง และมีการติดตั้งตัวทำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ด้วย



รูปที่ 19 เครื่องอบแห้งแบบตู้หลายชั้น (Gatea, 2011)

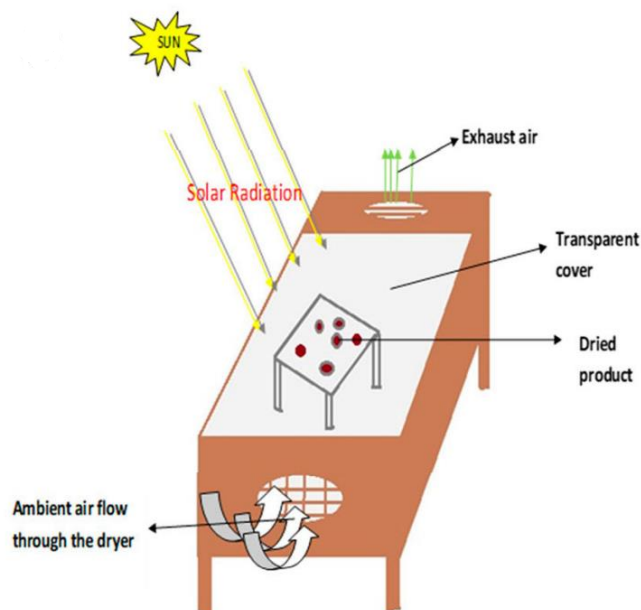
2.3.8.2 เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยบังคับอากาศ

เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยบังคับอากาศจะใช้พัดลมหรือเครื่องเป่าลมในการบังคับทิศทางของอากาศที่ไหลเข้าหรือออกเครื่องอบแห้งๆ โดยเครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยบังคับอากาศสามารถแบ่งได้อีก 3 แบบดังนี้

- 1) เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยการบังคับอากาศแบบรับพลังงานรังสีอาทิตย์โดยตรง (direct mode forced convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้รังสีอาทิตย์สามารถตกกระทบกับผลิตภัณฑ์ได้โดยตรงและมีพัดลมในการควบคุมอากาศด้วย ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งมีดังต่อไปนี้

- เครื่องอบแห้งแบบตู้ซึ่งรับรังสีอาทิตย์โดยตรงและมีพัดลมระบายอากาศ (Ndukwu et al., 2021)

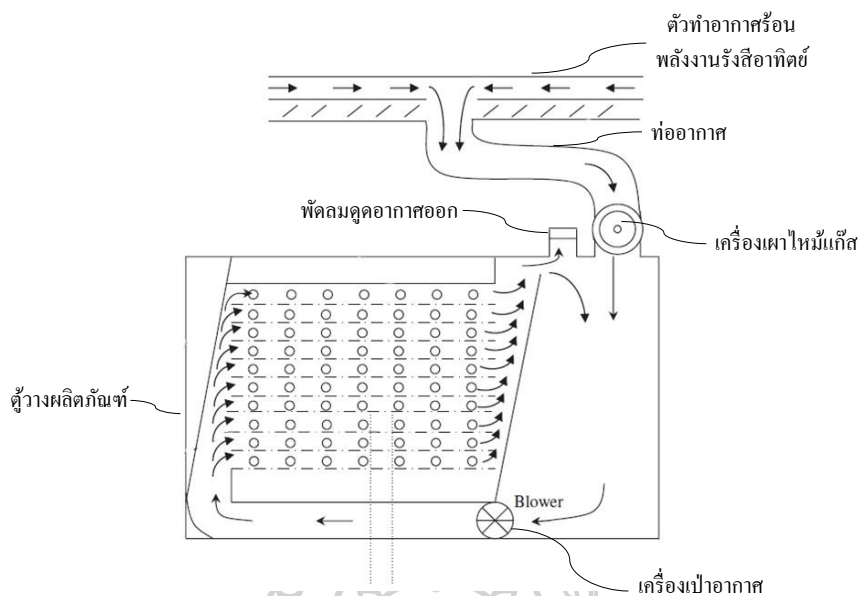


รูปที่ 20 เครื่องอบแห้งแบบตู้ที่รับรังสีอาทิตย์โดยตรงและมีพัดลมระบายอากาศ
(Ndukwu et al., 2021)

- 2) เครื่องอบแห้งประเภทที่ใช้การพาความร้อนโดยการบังคับอากาศแบบรับรังสีอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode forced convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะมีส่วนสำหรับรับรังสีอาทิตย์แยกจากส่วนที่วางผลิตภัณฑ์ โดยรังสีอาทิตย์จะไม่ตกกระทบโดนผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยจะรับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์และมีพัดลมเป่าหรือดูดอากาศให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งมีดังต่อไปนี้

- เครื่องอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากตัวทำอากาศร้อนและมีแหล่งกำเนิดความร้อนเสริม (Smitabhindu et al., 2008)



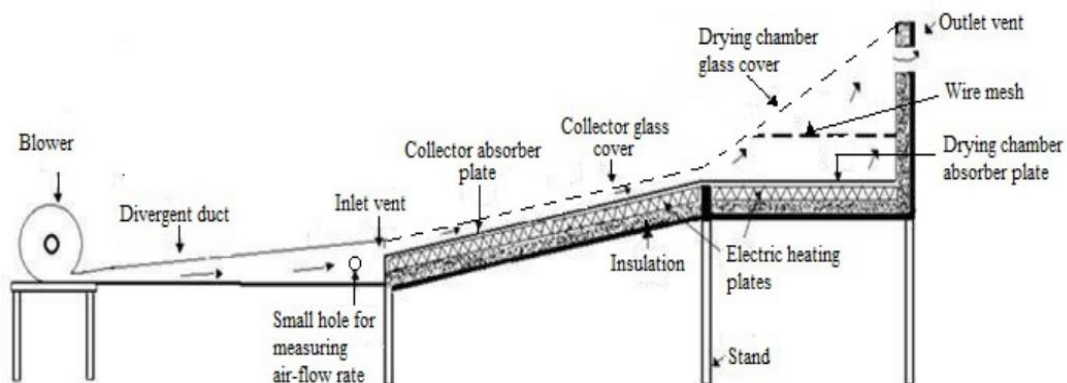
รูปที่ 21 เครื่องอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากตัวทำอากาศร้อน และมีแหล่งกำเนิดความร้อนเสริม (Smitabhindu et al., 2008)

3) เครื่องอบแห้งประเภทใช้การพาความร้อนโดยการบังคับอากาศแบบผสม (mixed mode forced convection dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วยส่วนรับรังสีอาทิตย์ และส่วนสำหรับวางผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับแบบรับรังสีอาทิตย์ทางอ้อม แต่ในกรณีนี้ส่วนวางผลิตภัณฑ์นั้นสามารถให้แสงตกกระทบกับผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง และมีพัดลมเป่าหรือดูดอากาศให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งมีดังต่อไปนี้

- เครื่องอบแห้งแบบตู้ที่ใช้พัดลมระบายอากาศที่ทำงานด้วยพลังงานลม (Singh & Kumar, 2012)

เครื่องอบแห้งนี้มีตัวทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวทำความร้อนเสริม โดยผนังด้านหน้าห้องอบแห้งเป็นกระจกใสเพื่อให้รังสีอาทิตย์สามารถตกกระทบบนผลิตภัณฑ์ได้ อากาศร้อนที่เกิดจากตัวทำความร้อนจะถูกดูดด้วยพัดลมเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่เข้ามายังห้องอบแห้งและนำความชื้นของผลิตภัณฑ์ออกไปสู่สิ่งแวดล้อม

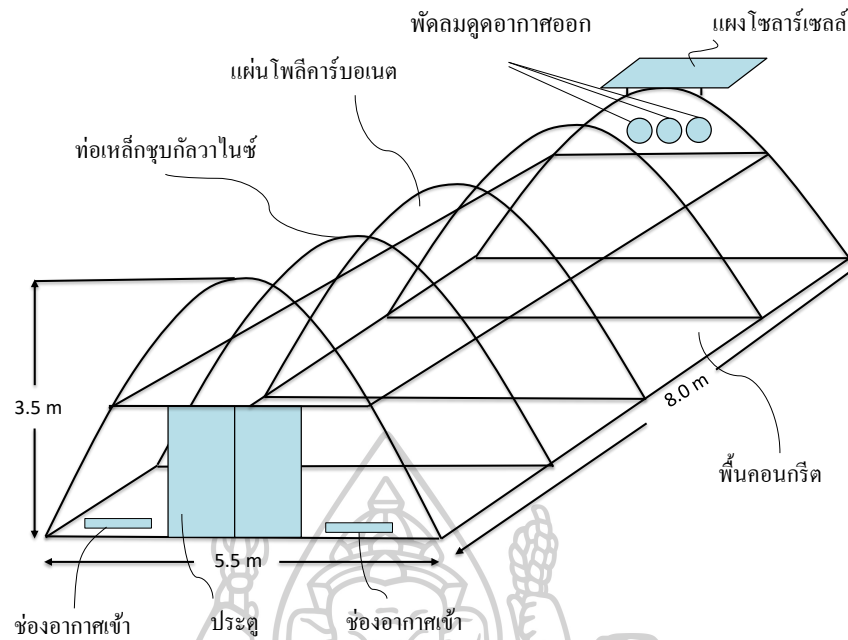


รูปที่ 22 เครื่องอบแห้งแบบตู้และใช้พัดลมระบายอากาศที่ทำงานด้วยพลังงานลม

(Singh & Kumar, 2012)

2.3.8.3 เครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดม (parabola dome dryer) (Janjai et al., 2009)

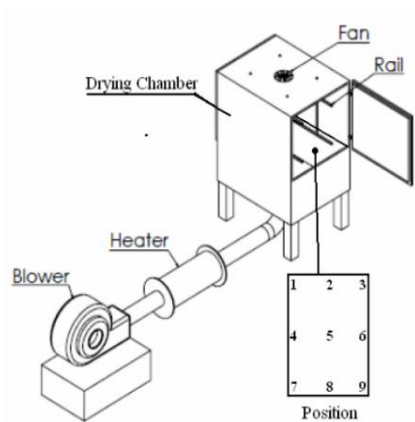
เครื่องอบแห้งนี้มีลักษณะเป็นเรือนกระจก (greenhouse) ซึ่งทำด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต (polycarbonate sheet) มีหลังคาโค้งรูปทรงแบบพาราโบลา ผลิตภัณฑ์จะถูกนำตากแห้งไว้ภายใน โดยมีช่องลมด้านหน้าไว้สำหรับให้อากาศเข้าและด้านหลังมีพัดลมไว้สำหรับดูดอากาศออก เมื่อรังสีอาทิตย์ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตเข้ามายังผลิตภัณฑ์และพื้นภายในเครื่องอบแห้ง จะส่งผลให้ภายในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา (รังสีคลื่นยาว) แต่รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปยังสิ่งแวดล้อมได้จึงถูกสะสมไว้ภายในเครื่องอบแห้งทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์และอากาศสูงขึ้น น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยออกมายังอากาศและถูกพัดลมที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหลังดูดออกไปยังสิ่งแวดล้อม และอากาศจากสิ่งแวดล้อมจะเข้ามาจากด้านหน้าเพื่อมาแทนที่อากาศร้อนที่ถูกดูดออกไป กระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงจนกระทั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์คงที่ (รูปที่ 23)



รูปที่ 23 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลโดม (Janjai et al., 2009)

2.3.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทนงศักดิ์ ลาโพธิ์ & ยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล (2554) ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบ 20 แผ่น โดยเครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนมีขนาด $0.9 \times 1.2 \times 2.4 \text{ m}^3$ ภายในบุด้วยฉนวนใยแก้วหนา 5 cm และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดห้องอบแห้ง $1 \times 1.2 \times 1.5 \text{ m}^3$ ภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 5 cm และมีแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด $0.2 \times 1.2 \times 2.4 \text{ m}^3$ (รูปที่ 24)



รูปที่ 24 เครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยที่พัฒนาโดย ทนงศักดิ์ ลาโพธิ์ & ยุทธนา ภูริระวิชย์กุล (2554)

ยางแผ่นดิบที่นำมาอบแห้งในงานวิจัยนี้มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 15-20% มาตรฐานแห้ง ผลการเปรียบเทียบระบบอบแห้งทั้งสองพบว่ายางแผ่นดิบที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้ง ด้วยลมร้อนแห้งเร็วกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีความชื้นสุดท้ายที่ 1.5% มาตรฐานแห้ง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบคือ 80 ชั่วโมง

วสันต์ จินธาดา และคณะ (2559) ได้ทำการทดลองอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับและเปรียบเทียบกับตากแห้งโดยแดดธรรมชาติ เครื่องอบแห้งมี ขนาด $1.95 \times 1.8 \times 1.95 \text{ m}^3$ มีกระจกใสหนา 5 มิลลิเมตรปกคลุมอยู่ ด้านข้างและด้านบนปิดด้วย สังกะสีและมีแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด $1.95 \times 1.8 \times 0.1 \text{ m}^3$ มีไว้สำหรับรับรังสีอาทิตย์และส่งความ ร้อนไปยังแผ่นยาง ซึ่งสามารถอบแห้งยางแผ่นดิบได้ครั้งละ 40 แผ่น เครื่องอบแห้งจะใช้พัดลมดูด อากาศกระแสตรง 12 โวลต์ ขนาด 6 นิ้วทั้งหมด 3 ตัว รับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 แผง (รูปที่ 25) โดยในการทดลองจะแบ่งยางพาราแขวนเป็น 2 ชั้น ๆ ละ 20 แผ่น แต่ ละแผ่นห่างกัน 15 cm ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 09:00-16:00 น. และบันทึกน้ำหนักของยางพารา ทุก ๆ 1 ชั่วโมงเพื่อดูการเปลี่ยนแปลง และอบยางพาราแผ่นจนกว่ามีความชื้นต่ำกว่า 3% มาตรฐาน แห้ง



รูปที่ 25 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับโดยมีการเสริมแผงรับรังสีอาทิตย์
ที่พัฒนาโดย วสันต์ จินธาดก และคณะ (2559)

ผลการทดลองที่ได้พบว่า ยางพาราแผ่นดิบที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดความชื้นของแผ่นยางพาราจนมีค่าต่ำกว่า 3% มาตรฐานแห้งใช้เวลาทั้งหมด 5 วันแต่ลักษณะของยางพาราที่ได้ยังไม่ใสตลอดทั้งแผ่น แต่เมื่ออบแห้งทั้งหมด 7 วันจะทำให้ได้แผ่นยางที่ใส และคุณภาพดี ซึ่งการอบแห้งยางพาราด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ควรให้ตัวยางรับแสงแดดโดยตรง เนื่องจากจะทำให้แผ่นยางมีลักษณะเหนียวเยิ้มได้ (Jeentada et al., 2016)

Jeentada et al. (2019) ได้ทำการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้เวลาในการอบแห้งยางพาราทั้งหมด 8 วันซึ่งแต่ละวันจะควบคุมให้ความเร็วของอากาศมีค่าแตกต่างกัน วันแรกของการอบแห้งความเร็วอากาศในห้องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.2 m/s และทำการเปิดช่องระบายอากาศ 550 cm² วันที่ 2-5 ความเร็วอากาศในห้องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.2 m/s และทำการเปิดช่องระบายอากาศ 275 cm² และสำหรับวันที่ 6-8 ความเร็วอากาศในห้องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.1 m/s และทำการเปิดช่องระบายอากาศ 110 cm²



รูปที่ 26 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ (Jeentada et al., 2019)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ มีขนาดห้องอบแห้ง $130 \times 210 \times 70 \text{ m}^3$ (รูปที่26) สามารถอบแห้งยางแผ่นดิบได้ครั้งละ 30 แผ่น ในระหว่างการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ทุก ๆ 1 นาที และได้ทำการชั่งน้ำหนักของยางพาราที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทดลอง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผนังด้านบนห้องอบแห้งเป็นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ใช้เวลา 8 วันในการอบแห้งยางแผ่นดิบจนกระทั่งได้รับความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 1% มาตรฐานแห้ง

Andharia et al. (2020) ได้ทำการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม ที่ประกอบด้วยแผ่นรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Solar Flat-plate Collector) มีพื้นที่รับแสงเท่ากับ 8 cm^2 จำนวน 4 แผง มีหน้าที่สร้างความร้อนให้แก่เครื่องอบแห้ง โดยแผ่นรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะต่อกับเครื่องอบแห้งผ่านท่ออ่อน (flexible pipe) มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียความร้อน และโครงสร้างของเครื่องอบแห้งทำด้วยแท่งอลูมิเนียมและปกคลุมด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้แสง UV ผ่านไปตกกระทบแผ่นยางโดยตรง พื้นที่ห้องอบแห้ง 2.88 m^2 มีขนาด $2.4 \times 1.2 \times 1.5 \text{ m}^3$ สำหรับการทดลองจะทำการอบแห้งยางแผ่นดิบจำนวน 6 กิโลกรัม และเปรียบเทียบกับการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ ในระหว่างการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งทั้งหมด 5 ตำแหน่งและสิ่งแวดล้อม 1 ตำแหน่ง ด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (K-type thermocouples) และทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของ

อากาศภายในเครื่องอบแห้งทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และสิ่งแวดล้อม 1 ตำแหน่ง ด้วย เครื่องวัดความชื้น (Hygrometer) สำหรับเครื่องอบแห้งดังกล่าวได้ใช้พัดลมดูดอากาศ 1 ตัว ติดตั้งไว้ด้านบนห้องอบแห้ง เพื่อดูดอากาศขึ้นออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยพัดลมรับไฟฟ้าจากแผงโซลาเซลล์จำนวน 2 แผง



รูปที่ 27 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมที่ใช้แผ่นรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ สำหรับอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ พัฒนาโดย Andharia et al. (2020)

ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 421–837 W/m² อุณหภูมิอากาศเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 25.3–29.9 °C อุณหภูมิอากาศออกของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 45.4–78.8 °C และอุณหภูมิภายในเครื่องแห้งมีค่าเท่ากับ 47.0–66.2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายวันมีค่าเท่ากับ 58.4% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายในเครื่องอบแห้งเท่ากับ 20.3% ในการทดลองจะใช้ยางแผ่นดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 40% w.b. สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งใช้เวลาทั้งหมด 17 ชั่วโมงในการระเหยความชื้นของแผ่นยางพาราให้เหลือ 4% w.b. และวิธีการตากแดดตามธรรมชาติใช้ระยะเวลา 40 ชั่วโมงสำหรับระเหยความชื้นให้เหลือ 4 % w.b.

ต่อมาผู้วิจัยได้ค้นคว้าเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปเป็นแหล่งความรู้และพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาให้เหมาะสมกับการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

บุญยัง สิงห์เจริญ และคณะ (2559) ได้ทำการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และหลอดไส้หรือหลอดให้ความร้อนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟบ้านเพื่อใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดเพียงพอ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อแก้ปัญหาการเกิดเชื้อราในแผ่นยางพาราและทำให้สามารถเก็บได้นานยิ่งขึ้น เครื่องอบแห้งมีขนาด $0.6 \times 0.8 \times 1 \text{ m}^3$ และมีระบบควบคุมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้

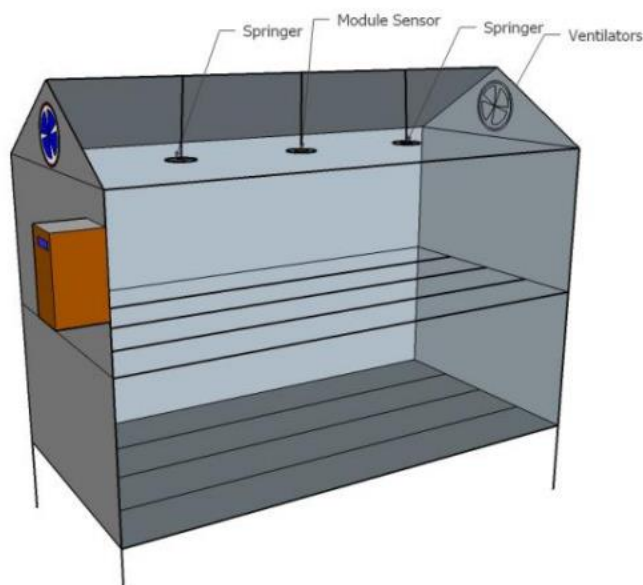


รูปที่ 28 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการให้ความร้อนเสริมและระบบควบคุมอุณหภูมิ ที่พัฒนาโดย บุญยัง สิงห์เจริญ และคณะ (2559)

โดยผู้วิจัยได้ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งให้มีค่าคงที่เท่ากับ $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และทำการบันทึกอุณหภูมิอากาศสิ่งภายในเครื่องอบแห้งทุก ๆ 3 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งยางพาราได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยเวลากลางคืนยางพาราจะได้รับความร้อนจากหลอดไฟหรือหลอดให้ความร้อน โดยการใช้ไฟฟ้าในแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ยที่ 160 วัตต์ ระยะเวลาในการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบอยู่ที่ 5 วัน โดยยางที่อบแห้งแล้วมีลายดอกเด่นชัด ไม่มีสิ่งสกปรก และมีความยืดหยุ่นสูงจัดเป็นยางคุณภาพดี

บุญยัง สิงห์เจริญ & สันติ สาแก้ว (2558) ได้ทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเพาะเห็ดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะเห็ด ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งระบบตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นไว้ภายในโรงเรือนเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น หากมีการเปลี่ยนแปลงหรือผิดไปจากที่ต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าที่ควบคุมให้สภาวะกลับมาคงเดิม เช่น เมื่อภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนดพัดลมจะทำงานเพื่อระบายอากาศออกและจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลบมามีค่าตามที่กำหนด หรือความชื้น

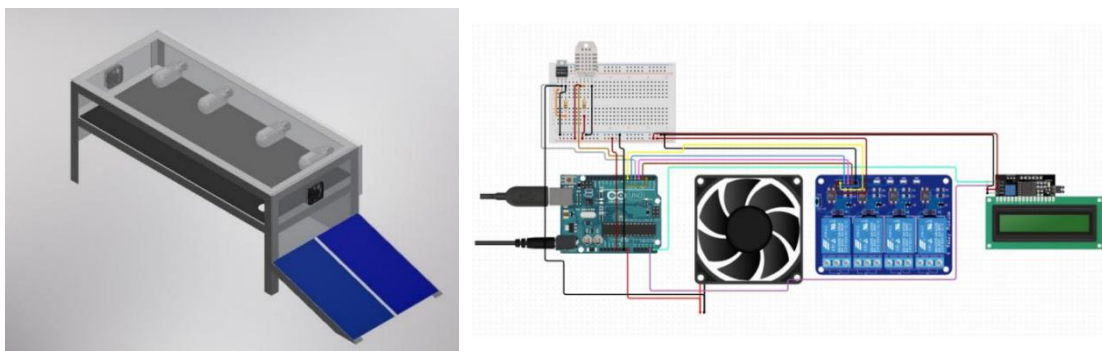
ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งปั๊มน้ำทำงานเพื่อปล่อยน้ำเข้าโรงเรือนส่งผลให้ความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยโครงสร้างของโรงเรือนมีขนาด $1 \times 2 \times 1.8 \text{ m}^3$ (รูปที่ 29)



รูปที่ 29 เครื่องอบแห้งขนาดเล็กที่ติดตั้งระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิสำหรับเพาะเห็ด ที่พัฒนาโดย บุญยง สิงห์เจริญ & สันติ สาแก้ว (2558)

ผลการทดสอบพบว่าระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมพัดลมระบายอากาศและปั๊มน้ำให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้เห็ดที่ทำการปลูกในโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นนั้นมีน้ำหนักที่มากกว่าเห็ดที่ปลูกในโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุม โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองเท่ากัน

Mataram et al., (2021) ได้ทำการสร้างและออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ ที่มีห้องอบแห้งขนาด 2100 cm^2 ประกอบไปด้วยพัดลมดูดอากาศสองตัวติดตั้งบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องอบแห้งฯ ในงานวิจัยทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งให้มีค่าอยู่ระหว่าง $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโย (Arduino) สำหรับการควบคุมอัตราการหมุนของพัดลมและยังมีการติดตั้งหลอดไส้ที่สามารถให้ความร้อนเพิ่มเพื่อนำไปใช้ในช่่วงเวลากลางคืน ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะได้รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยพัดลมจะหมุนเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงและจะหมุนช้าเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำ ผลการทดลองพบว่า การควบคุมอัตราการหมุนของพัดลม และการเปิดปิดของหลอดไส้ในช่่วงเวลากลางคืนสามารถควบคุมให้อุณหภูมิไม่ค่าอยู่ในช่่วง $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ ได้



รูปที่ 30 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ที่ทำการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ
ที่พัฒนาโดย (Mataram et al., 2021)

เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่นักวิจัยต่างๆได้พัฒนาที่ผ่านมา มีขนาดค่อนข้างเล็ก และไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ ดังนั้นงานนี้ผู้วิจัยจะทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ พร้อมทั้งเสนอที่จะพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องอบแห้งด้วย ดังละเอียดที่จะกล่าวถึงในบทถัดไป



บทที่ 3

การดำเนินงานและผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาขนาดใหญ่ ซึ่งมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งๆ และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งๆ สำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่น โดยรายละเอียดมีดังนี้

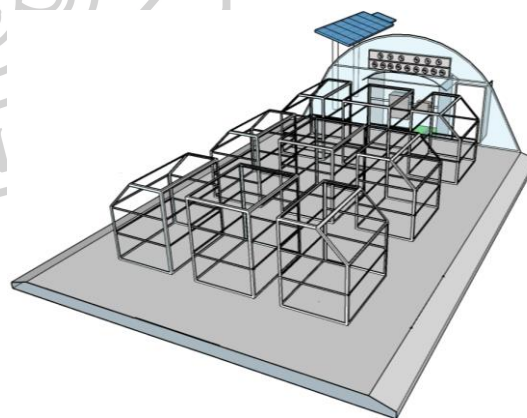
3.1 โครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโตม โดยการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งๆ ให้มีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่น โดยพื้นของเครื่องอบแห้งๆ ทำด้วยปูนซีเมนต์ขัดมันผิวเป็นสีดำ โครงหลังคาทำด้วยเหล็กชุบกลวไนซ์ตัดให้เป็นรูปทรงพาราโบลาซึ่งยึดติดกับพื้นปูนซีเมนต์มีไว้สำหรับยึดติดกับหลังคาโดยจะใช้เป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตหนา 6mm เนื่องจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนและสามารถให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปยังเครื่องอบแห้งๆ ได้ ทำให้ภายในเครื่องอบแห้งๆ มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ส่งผลให้สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น แผ่นโพลีคาร์บอเนตยังมีน้ำหนักเบา แข็งแรง ไม่แตกหักง่ายและสามารถตัดเป็นรูปทรงพาราโบลาได้ง่าย โดยเครื่องอบแห้งๆ มีประตูด้านหน้าและด้านหลังที่ทำด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตตันใสมีความหนา 3 mm โดยด้านหลังจะมีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด 9 ตัวสำหรับระบายอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อม และภายในเครื่องอบแห้งๆ มีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง 6 ตัวสำหรับผสมอากาศ (รายละเอียดจะพูดในหัวข้อที่ 3.2) ที่รับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ นอกจากนี้ด้านนอกยังมีห้องเก็บระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยจะประกอบไปด้วย ระบบควบคุม และ แบตเตอรี่ ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโตมสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่นดิบแสดงไว้ดังรูปที่ 31

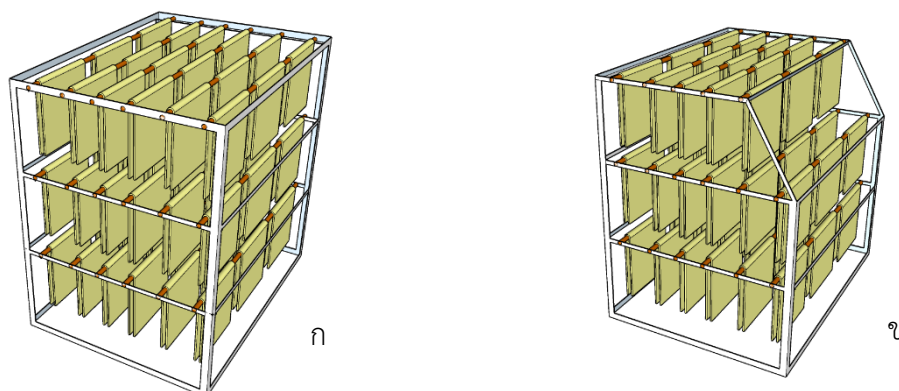


รูปที่ 31 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

ในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งฯ จะใช้ราวไม้ไผ่สำหรับการสำหรับแขวนแผ่นยาง โดยจะแขวนยางแผ่นดิบ 3 แผ่นต่อไม้ไผ่ 1 ลำ แล้วนำไปแขวนบนชั้นตากยาง (รูปที่ 32) สำหรับบรรจุยางเพื่อทำการตากแห้ง โดยชั้นตากยางเป็นโครงเหล็กสี่เหลี่ยมขนาด $1.5 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ สำหรับการอบแห้งยางแผ่นทั้งหมด 500 แผ่น จะใช้ชั้นตากยางทั้งหมด 9 ชั้น จะแบ่งเป็น 3 แถว ๆ ละ 3 ชั้น โดยแถวกลางมีลักษณะเป็นเหลี่ยม และแถวด้านข้างทั้งสองมีลักษณะของด้านบนลาดเอียงลงมา 45 องศา (รูปที่ 32) และชั้นตากยางแต่ละตัวจะแบ่งเป็นชั้นย่อย 3 ชั้น มีไว้สำหรับห้อยแผ่นยางพารา



รูปที่ 32 ชั้นตากยางสำหรับบรรจุยางพาราแผ่นเพื่อทำการตากแห้ง



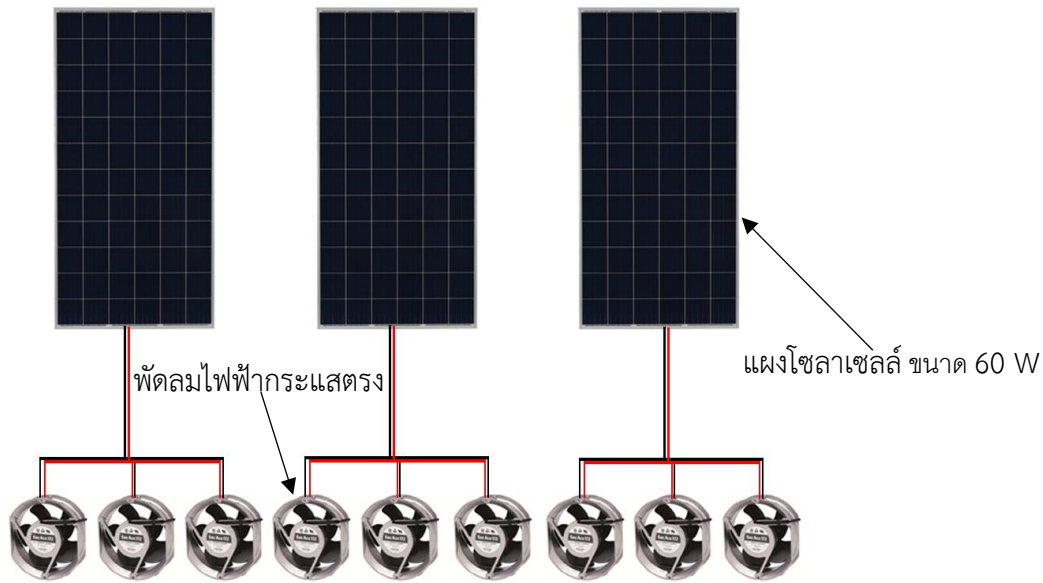
รูปที่ 33 ชั้นตากยาง ก. ชั้นตากยางแถวกลาง ข. ชั้นตากยางแถวริม

3.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ สำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่น

3.2.1 พัดลมสำหรับระบายอากาศ

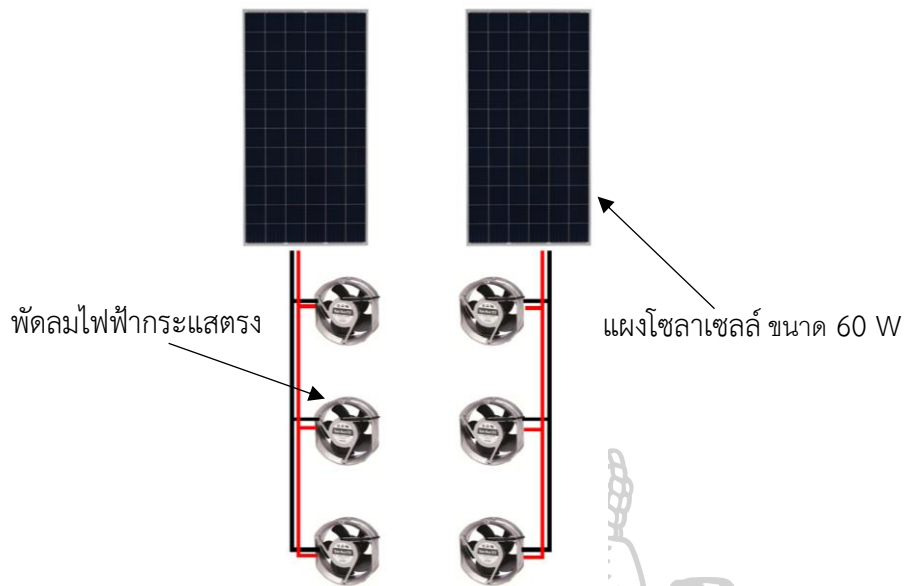
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ โดยควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (direct current fan : DC) ขนาด 14.4 W ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดีโน (Arduino) ซึ่งพัดลมทั้งหมดจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) พัดลมที่ติดตั้งกับเครื่องอบแห้งทั้งหมด 15 ตัวประกอบไปด้วยพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งด้านหลังเครื่องอบแห้งฯ และพัดลมผสมอากาศที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง 2) พัดลมของระบบควบคุมมีทั้งหมด 6 ตัว (พัดลมเสริม) โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

- 1) พัดลมสำหรับระบายอากาศพื้นฐานทั้งหมด 9 ตัว เป็นพัดลมไฟฟ้าขนาด 14.4 W ติดตั้งบริเวณด้านหลังของเครื่องอบแห้งฯ ทำหน้าที่สำหรับระบายอากาศขึ้นภายในเครื่องอบแห้งฯ ออกสู่ภายนอก โดยพัดลมจะรับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาเซลล์ทั้งหมด 3 แผง แผงละ 60 W (โซลาเซลล์ 1 แผงสำหรับพัดลม 3 ตัว) พัดลมทั้ง 9 ตัวจะทำงานตลอดเวลาที่มีแสง โดยความเร็วของพัดลมขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ขณะนั้น ถ้าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าสูงขึ้น พัดลมจะหมุนเร็วขึ้นเพื่อระบายอากาศออก ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ ไม่สูงจนเกินไป หากความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ จะมีค่าต่ำ พัดลมจะหมุนช้าลงทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ ไม่ต่ำจนเกินไป โดยพัดลมจะมีวงจรไฟฟ้าต่อกับแผงโซลาเซลล์ดังรูปที่ 34



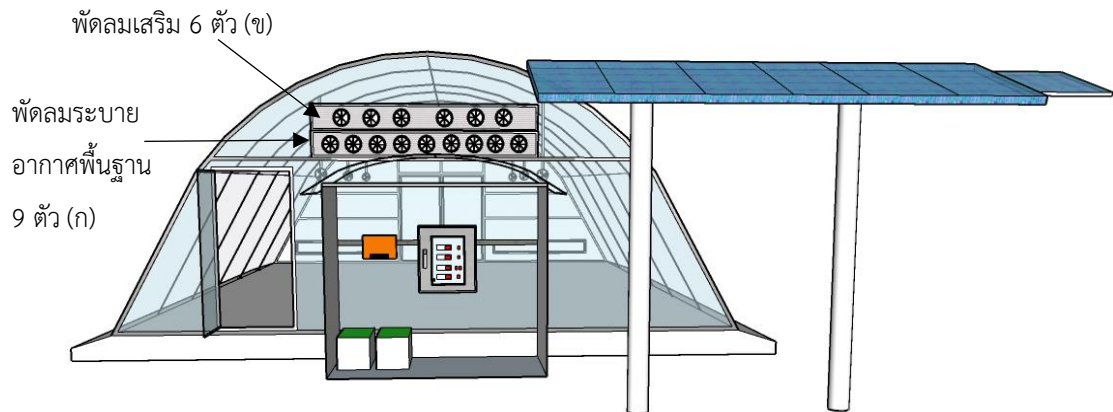
รูปที่ 34 การต่อแผงโซลาเซลล์กับพัดลมระบายอากาศพื้นฐานทั้งหมด 9 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ด้านหลัง
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

- 2) พัดลมสำหรับผสมอากาศทั้งหมด 6 ตัว เป็นพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 14.4 W ติดตั้งไว้ภายในเครื่องอบแห้งฯ ทำหน้าที่กำหนดทิศทางการไหลของอากาศจากบริเวณด้านหน้าเครื่องอบแห้งฯ ให้ไหลผ่านยางพาราที่ทำการตากแห้งอยู่ โดยพัดลมทั้ง 6 ตัวรับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาเซลล์ขนาด 60 W จำนวน 2 แผง (โซลาเซลล์ 1 แผงสำหรับพัดลม 3 ตัว) ซึ่งความเร็วการหมุนของพัดลมนั้นจะขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ในขณะนั้นเช่นเดียวกัน โดยพัดลมจะมีวงจรไฟฟ้าต่อกับแผงโซลาเซลล์ดังรูปที่ 35

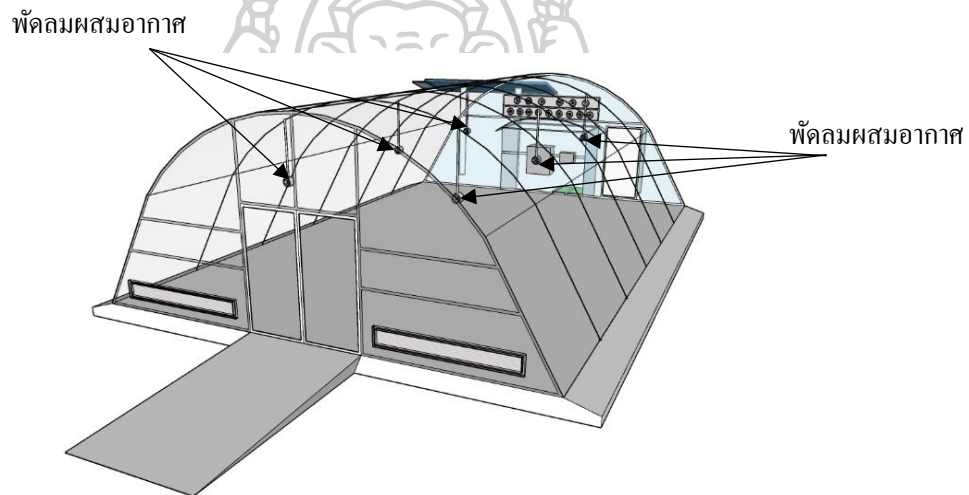


รูปที่ 35 การต่อแผงโซลาเซลล์กับพัดลมผสมอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ ทั้งหมด 6 ตัว

- 3) พัดลมเสริม 6 ตัวสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ อย่างละเอียดเป็นพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 14.4 W จำนวน 6 ตัว ติดตั้งไว้บริเวณด้านหลังของเครื่องอบแห้งฯ (ด้านบนพัดลมพื้นฐาน 9 ตัว) ตามรูปที่ 36 โดยพัดลมเสริมจะถูกควบคุมการเปิด-ปิดด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน (Arduino) โดยพัดลมทั้ง 6 ตัวรับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาเซลล์ขนาด 60 W จำนวน 2 แผง (โซลาเซลล์ 1 แผงสำหรับพัดลม 3 ตัว) ซึ่งจะทำให้การตั้งคำสั่งให้พัดลมทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าสูงกว่า 50°C หรือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูงกว่า 75% และจะหยุดทำงานเมื่อมีค่าต่ำกว่ากำหนด



รูปที่ 36 ตำแหน่งของพัดลมระบายอากาศ (ก) และพัดลมระบายอากาศเสริมที่ควบคุมด้วยระบบควบคุม (ข)



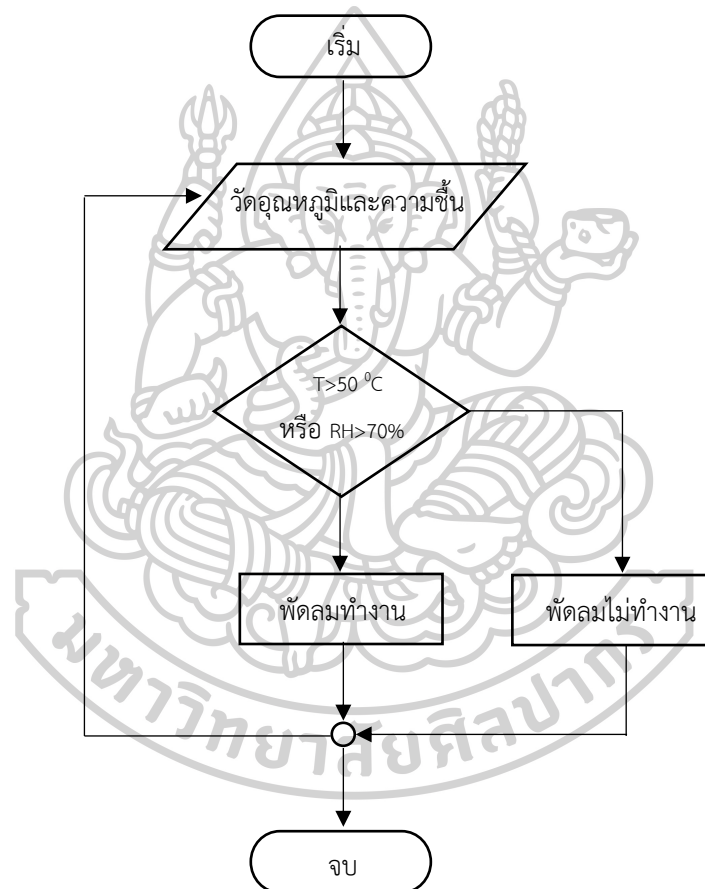
รูปที่ 37 ตำแหน่งของพัดลมผสมอากาศทั้ง 6 ตัว ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลา

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุม

3.2.2.1 ตู้ควบคุม

ในการควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ผู้วิจัยจะติดตั้งพัดลมกระแสตรงจำนวน 6 ตัว (พัดลมเสริม) ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่กรด-ตะกั่วขนาด 200 Ah จำนวน 2 ลูก ซึ่งประจุไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 60 W จำนวน 2 แผง และมีระบบควบคุมการเปิด - ปิดพัดลมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ (Arduino) สำหรับรับคำสั่ง ซึ่งมีเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น DHT22 จำนวน 4 ตัว ติดตั้งไว้ภายในเครื่องอบแห้งฯ 3 จุด และสิ่งแวดล้อม 1 จุด โดยระบบควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดพัดลม 6 ตัวดังกล่าว เพื่อทำการดูดอากาศออกจาก

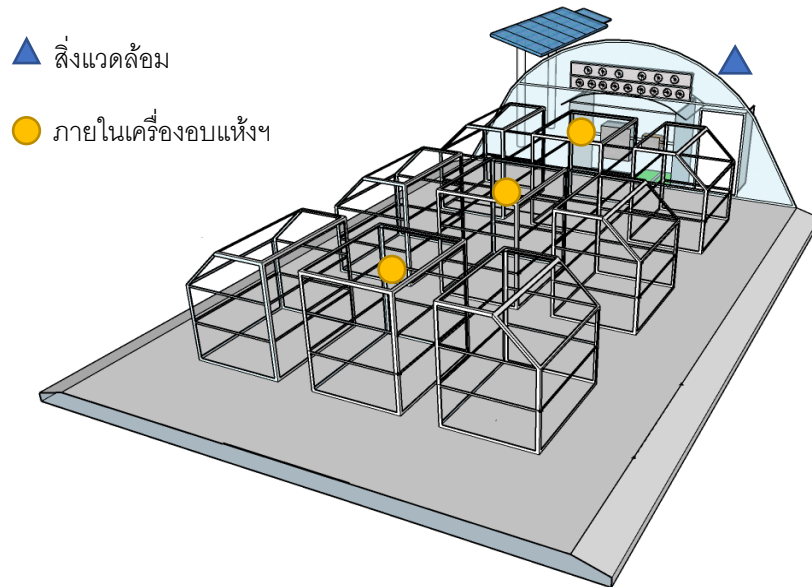
เครื่องอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 50°C หรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่ามากกว่า 70% พัดลมจะทำงานและจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิและอากาศความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่า 50°C และ 70% ตามลำดับ แผนผังการทำงานของระบบควบคุม เป็นไปตามรูปที่ 38 สำหรับพลังงานส่วนเกินจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ให้พัดลมจะถูกประจุลงแบตเตอรี่ เพื่อเก็บไว้ใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดหรือความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำ เมื่อโซลาร์เซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของพัดลม แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลมผ่านโซลาชาร์จคอนโทรลเลอร์เพื่อให้พัดลมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



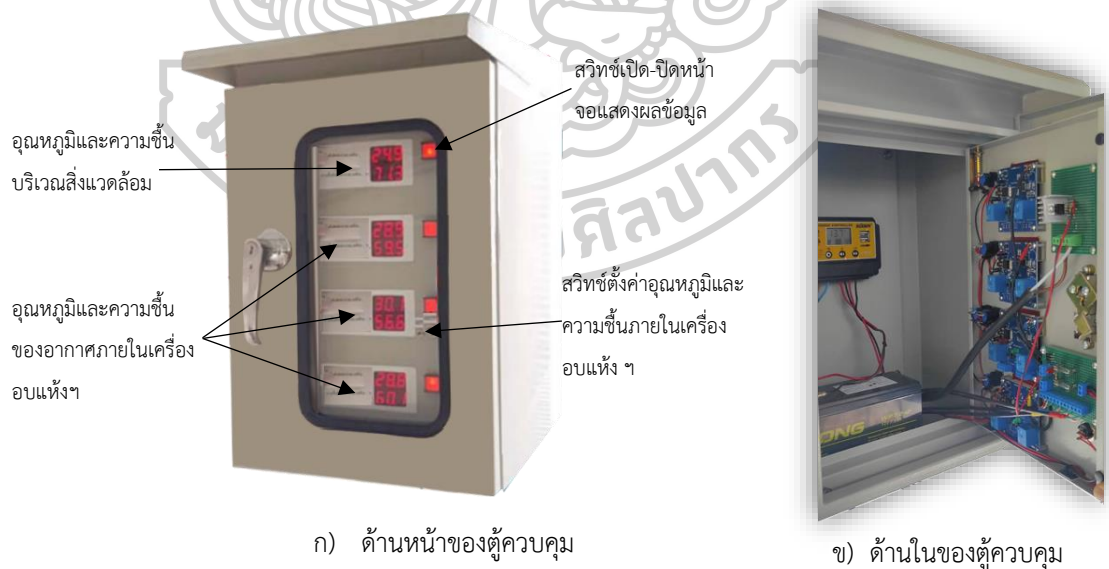
รูปที่ 38 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ฯ

ตู้ระบบควบคุมถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายเหมาะสมกับผู้ใช้งานโดยเฉพาะเกษตรกรชาวสวนยาง มีหน้าจอแสดงผลไว้แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ และบริเวณสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่รูปที่ 39 และมีปุ่มตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับได้ว่าพัดลมระบายอากาศทั้ง 6 ตัวจะทำงานเมื่ออุณหภูมิและความชื้นมีค่าเท่าไร (รูปที่ 40) ระบบควบคุมได้รับไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ขนาด 15 W

จำนวน 1 แผง โดยประจุผ่านอุปกรณ์โซลาเซลล์คอนโทรลเลอร์ลงแบตเตอรี่ 12 V 7.2 Ah จำนวน 1 ลูก โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศดังภาพที่ 41

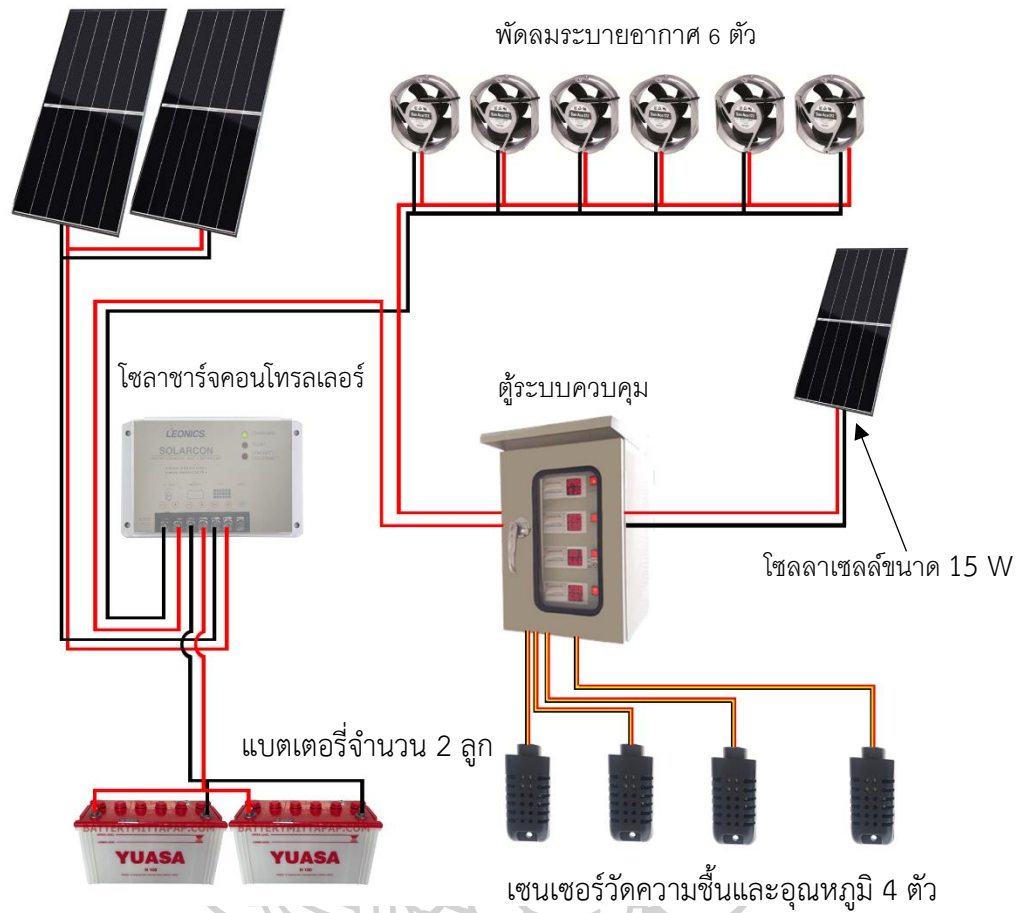


รูปที่ 39 ตำแหน่งของเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น DHT22 ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และบริเวณสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 40 ตู้ควบคุมการทำงานของพัดลม ก) ด้านหน้าของตู้ควบคุม และ ข) ด้านในของตู้ควบคุม

โซลาเซลล์ขนาด 60 W



รูปที่ 41 การต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอย่าง
ละเอียด

3.2.2.2 โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ (Solar charge controller)

เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติควบคุมการประจุไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่แบตเตอรี่เพื่อเก็บไว้ใช้ในภายหลัง และยังช่วยป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ย้อนกลับมายังแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 42 โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ (Solar charge controller)

3.2.2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีหน้าที่เก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้แบตเตอรี่แบบกรด-ตะกั่วขนาด 200 Ah จำนวน 2 ลูก โดยจะเก็บกระแสไฟฟ้าไว้สำหรับจ่ายให้กับพัดลมเสริมทั้ง 6 ตัว ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดและตอนกลางคืน เพื่อระบายอากาศภายในเครื่องอบแห้งออกป้องกันไม่ให้ความชื้นภายในเครื่องอบแห้งสูงเกินไปเนื่องจากจะส่งผลให้ยางแผ่นที่ตากเกิดเชื้อรา หรือเสียหายได้ โดยแบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้พัดลมเสริม 6 ตัวทำงานติดต่อกันได้ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 43 แบตเตอรี่แบบกรด-ตะกั่ว

3.2.2.4 โซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โซลาร์เซลล์จำนวน 7 แผง โดยแบ่งเป็น แผงที่มีขนาด 60 W ทั้งหมด 6 แผง ไว้สำหรับให้กำลังไฟฟ้า

แก่พัดลมทั้งหมด 21 ตัว (9 ตัวหลักสำหรับระบายอากาศพื้นฐาน 6 ตัวหลักสำหรับผสมอากาศ และ 6 ตัวเสริมสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในเครื่องอบแห้งอย่างละเอียด) และแผงขนาด 15 W จำนวน 1 แผงสำหรับให้กระแสไฟฟ้ากับระบบควบคุม



รูปที่ 44 แผงโซลาเซลล์

3.2.2.5 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมกระแสตรงจำนวน 21 ตัว แบ่งตามหน้าที่ไว้ดังนี้ 1) สำหรับระบายอากาศพื้นฐาน 9 ตัว 2) สำหรับผสมอากาศ 6 ตัว และ 3) พัดลมเสริม 6 ตัว โดยในงานวิจัยนี้ใช้พัดลมยี่ห้อ Sanyo Denki รุ่น San Ace 172 ขนาด 14.4 W



รูปที่ 45 พัดลมระบายอากาศ

3.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา จะทำการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่น ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดม (ต้นแบบ) ทั้งหมด 2 ครั้งการทดลอง ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และหลังจากนั้นจะนำเครื่องอบแห้งดังกล่าวไปทำการติดตั้งและทดลองทั้งหมด 5 สถานที่คือ จังหวัดน่าน

จังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดจันทบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูล

ในระหว่างการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งได้แก่ ความชื้นรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม น้ำหนักของยางพาราที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าสีของยางพาราแผ่น และค่าปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในยางพาราแผ่น ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์มีดังนี้

3.3.1.1 เครื่องไพราโนมิเตอร์ (pyranometer)

รังสีอาทิตย์มีความสำคัญต่อกระบวนการการอบแห้งเป็นอย่างมาก โดยเครื่องอบแห้งฯ ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และใช้ผลิตรกระแสไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศทั้ง 21 ตัว ดังนั้นรังสีอาทิตย์มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับกระบวนการอบแห้ง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ของบริษัท Kipp and Zonen (model CMP11)



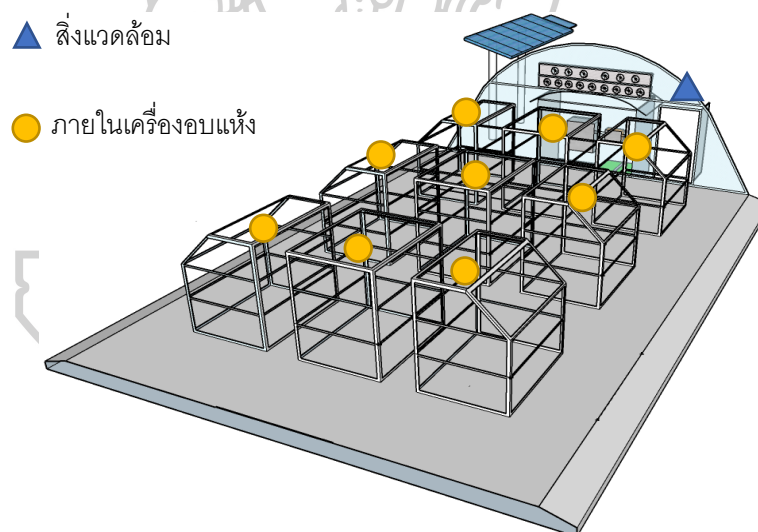
รูปที่ 46 เครื่องไพราโนมิเตอร์ Kipp and Zonen (model CMP11)

3.3.1.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple)

อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมสำคัญมากกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิจะส่งผลกับระยะเวลาการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ และสิ่งแวดล้อมโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple) (รูปที่ 47) โดยทำการตรวจวัดทั้งหมด 10 ตำแหน่ง (รูป 48)



รูปที่ 47 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple)

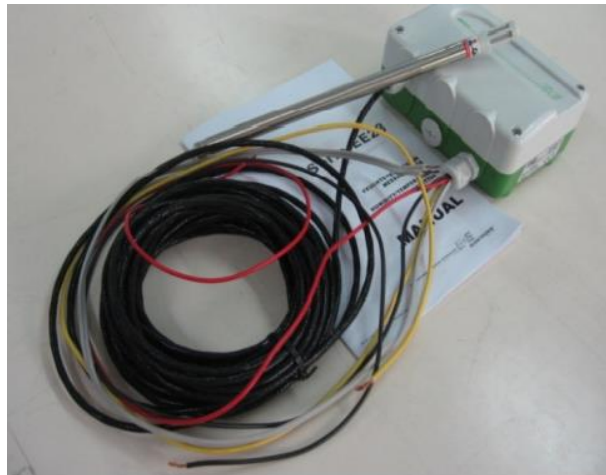


รูปที่ 48 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และสิ่งแวดล้อม

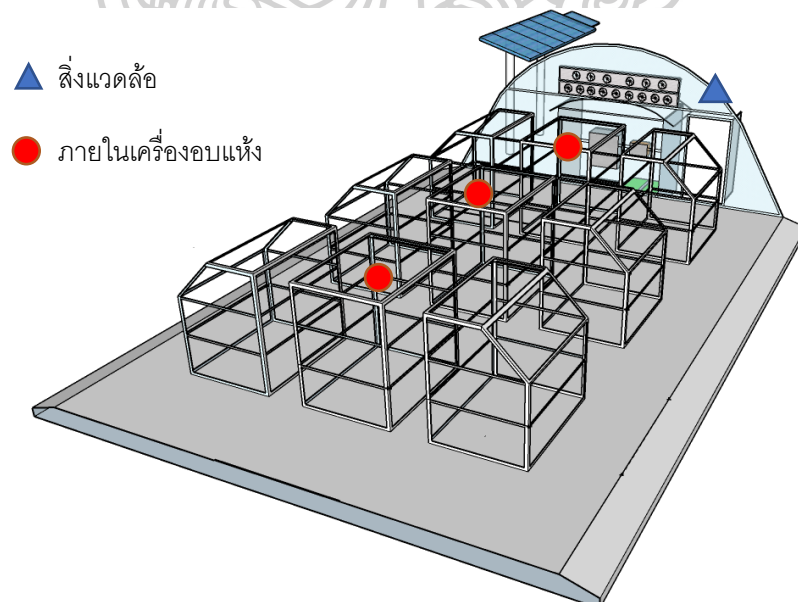
3.3.1.3 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระยะเวลาของการอบแห้งยางพาราแผ่นเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากยางพาราแผ่นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นของอากาศสูงกว่าความชื้นของยางพาราจะส่งผลให้ยางพาราแผ่นเกิดการดูดความชื้นของอากาศเข้ามาทำให้ยางมีความชื้นสูง แต่ถ้ายางพาราแผ่นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ ความชื้นในแผ่นยางพาราจะคายออกมา

อากาศจนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุลทางความชื้นกับอากาศแวดล้อม ดังนั้นหากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าต่ำจะส่งผลให้ยางพาราแห้งเร็วขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบคาปาซิทีฟ (ยี่ห้อ E+Elektronik รุ่น EE23) (รูปที่ 48) เพื่อทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ และสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 4 ตำแหน่งตามรูปที่ 49



รูปที่ 49 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ไฮโกรมิเตอร์แบบคาปาซิทีฟ (ยี่ห้อ E+Elektronik รุ่น EE23)



รูปที่ 50 ตำแหน่งของเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบคาปาซิทีฟภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และสิ่งแวดล้อม

3.3.1.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ในระหว่างการทดลองผู้วิจัยได้ทำการบันทึกข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ทุก ๆ 5 นาทีตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยการทดลองจะเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. ของแต่ละวัน โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล (datalogger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100



รูปที่ 51 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล (datalogger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100

3.3.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

ในระหว่างการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักของยางพาราแผ่นทุก 2 ชั่วโมงตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Satorius รุ่น BSA 3202S-CW



รูปที่ 52 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Satorius รุ่น BSA 3202S-CW

3.3.1.6 ตู้อบไฟฟ้า

ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP จะใช้สำหรับอบแห้งตัวอย่างทางพาราแผ่นที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหามวลแห้งและนำไปคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก



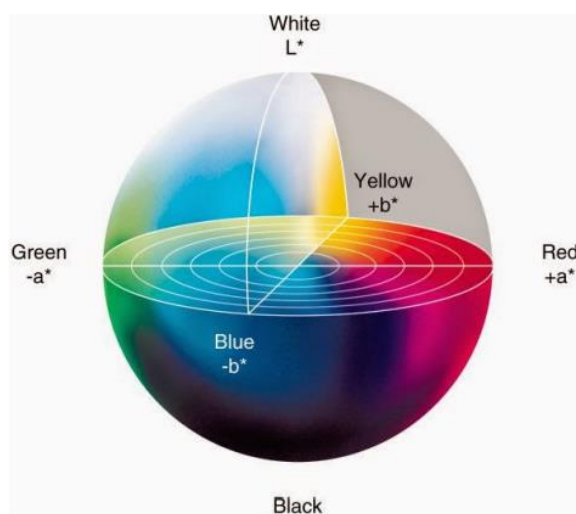
รูปที่ 53 ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP

3.3.1.7 เครื่องวัดสี

ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ (รูปที่ 54) ซึ่งเป็นการใช้ระบบสีแบบ CIELAB (ค.ศ. 1976) (Hunter and Pointer, 2011; Janjai et al., 2011) จะทำการบรรยายสีในรูปแบบ 3 มิติ โดยการใช้สัญลักษณ์ L^* แทนความสว่างแปรจากดำไปขาว (0 ถึง 100), a^* บ่งบอกถึงสีที่ปรากฏแปรจากเขียวไปแดง (-60 ถึง +60) และ b^* แทนความบริสุทธิ์ของสี แปรจากน้ำเงินไปเหลือง (-60 ถึง +60) โดยแกนสีเป็นไปตามรูปที่ 55



รูปที่ 54 เครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ



รูปที่ 55 แกนสีของระบบ CIELAB (ค.ศ. 1976) (Hunter and Pointer, 2011; Janjai et al., 2011)

3.3.1.8 เครื่องวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ

ค่าแอกติวิตีของน้ำเป็นปัจจัยชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่จุลชีพสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ ยี่ห้อ ROTRONIC รุ่น hygropalm



รูปที่ 56 เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ ยี่ห้อ ROTRONIC รุ่น hygropalm

3.4 การเก็บข้อมูลและวิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา สำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่น ที่แขวนบนชั้นตากยางเรียบร้อยแล้ว เข้าไปในเครื่องอบแห้งฯ พร้อมทั้งนำตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบไปตากนอกเครื่องอบแห้ง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการ

ทดลอง โดยจะเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08:00-18:00 น. ของทุก ๆ วันจนกระทั่งยางพาราแผ่นดิบแห้ง โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

- 1) นำยางพาราแผ่นดิบขนาด $42 \times 85 \text{ cm}^2$ จำนวน 500 แผ่น โดยใช้ยางแผ่นดิบที่ได้จาก อ.บ้านคา จ.ราชบุรี แขนวนบนชั้นตากยาง



รูปที่ 57 การแขวนยางพาราแผ่นดิบบนชั้นตากยางพารา

- 2) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบ 9 แผ่น สำหรับอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ และ ตัวอย่างแวล้อม 1 แผ่นด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิตอล เพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้นของ ยางพาราแผ่นดิบก่อนทำการอบแห้ง
- 3) นำยางพาราแผ่นดิบที่แขวนบนชั้นตากยางเข้าไปในเครื่องอบแห้งๆ เวลา 08:00 น. (รูปที่ 57 ก) พร้อมทั้งนำยางพาราแผ่นดิบไปตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติใกล้กับเครื่องอบแห้งๆ (รูปที่ 57 ข) เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง



ก



ข

รูปที่ 58 ยางพาราแผ่นดิบที่แขวนบนชั้นตากยางภายในเครื่องอบแห้งๆ (ก) และยางพาราแผ่นดิบไปตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ (ข)

- 4) ทำการเปิดระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งๆ ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิตอล
- 5) ตลอดการทดลอง (08:00 -18:00) จะทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างยางพาราที่ทำการอบในเครื่องอบแห้งๆ และตากด้วยแดดธรรมชาติทุก ๆ 2 ชั่วโมง โดยยางพาราแผ่นจะอบแห้งในเครื่องอบแห้งๆ ตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน
- 6) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 จนกว่าน้ำหนักของยางพาราแผ่นคงที่
- 7) นำตัวอย่างยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติที่แห้งแล้วไปทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี



รูปที่ 59 การวัดสีแผ่นยางพารา

- 8) นำตัวอย่างยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติที่แห้งแล้วไปทำการวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ด้วยเครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ



รูปที่ 60 วัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ของแผ่นยางพารา

- 9) นำตัวอย่างแผ่นยางพาราที่แห้งแล้วไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหามวลแห้ง หลังจากนั้นจะนำมวลแห้งที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียกของแผ่นยางพารา สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$M' = \frac{m_w}{m_H} \quad (21)$$

เมื่อ M' คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg kg^{-1})
 m_w คือ มวลของน้ำ (kg)
 m_H คือ มวลของวัสดุชิ้น (kg)

3.5 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา (เครื่องต้นแบบ) ที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (รูปที่ 61) หลังจากที่เครื่องอบแห้งฯ ต้นแบบสามารถใช้งานได้แล้ว ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องอบแห้งฯ ตามต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นไปติดตั้งที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน, วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์, วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะทอน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอกาฬสินธุ์ จังหวัดจันทบุรี เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นว่าสามารถใช้งานได้ดีหรือไม่

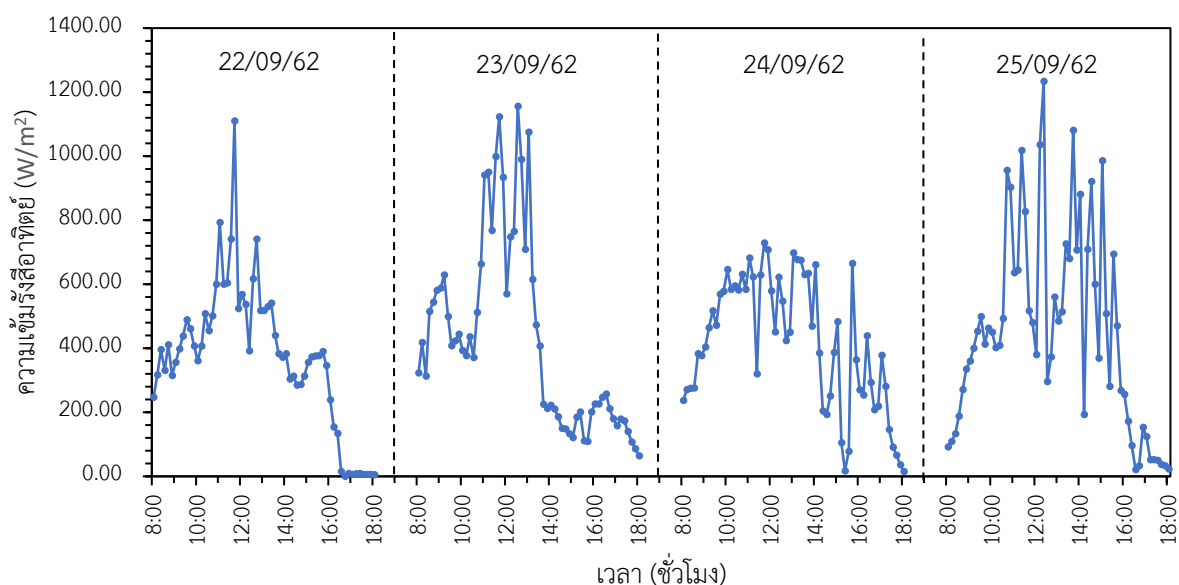


รูปที่ 61 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา
 โดมต้นแบบที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ ข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ข้อมูลอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อม ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสิ่งแวดล้อม และการลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ในช่วงเวลา 08.00-18.00 น. ในระหว่างการทดลองมาเขียนกราฟเทียบกับเวลา โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

3.5.1 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ครั้งที่ 1 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ระหว่างวันที่ 22-25 สิงหาคม พ.ศ. 2562

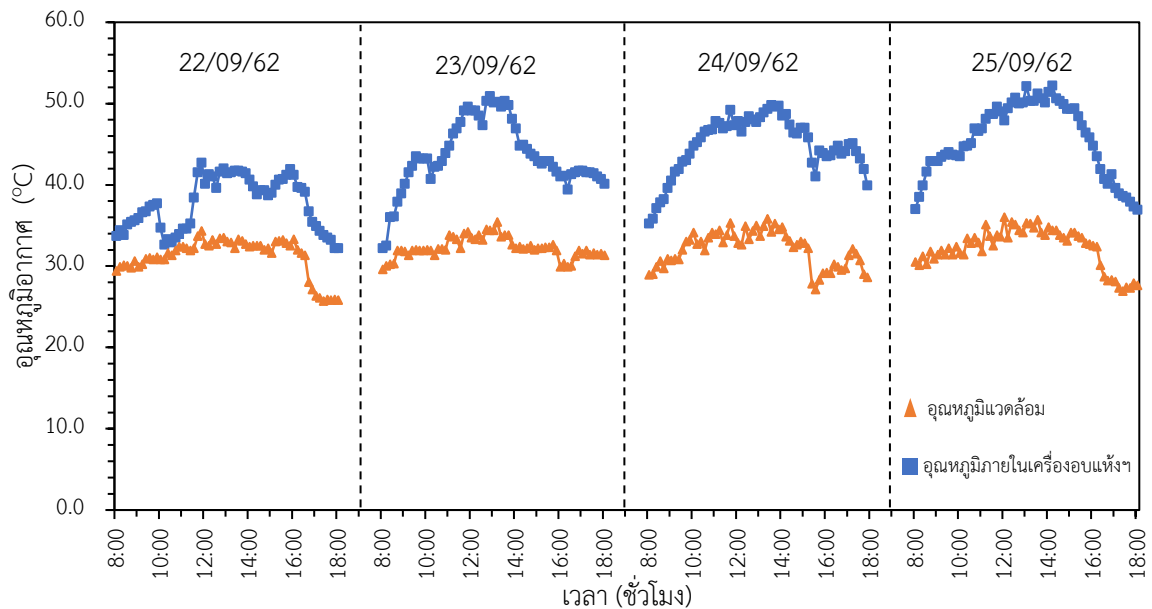
รูปที่ 62 แสดงถึงความเข้มรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 วันของการทดลอง พบว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงการทดลองเนื่องจากเกิดฝนตกและมีเมฆมาก โดยปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ระหว่าง $400-1200 \text{ W/m}^2$ โดยระหว่างวันจะมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเที่ยงวันและจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 18:00 น.



รูปที่ 62 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นครั้งที่ 1

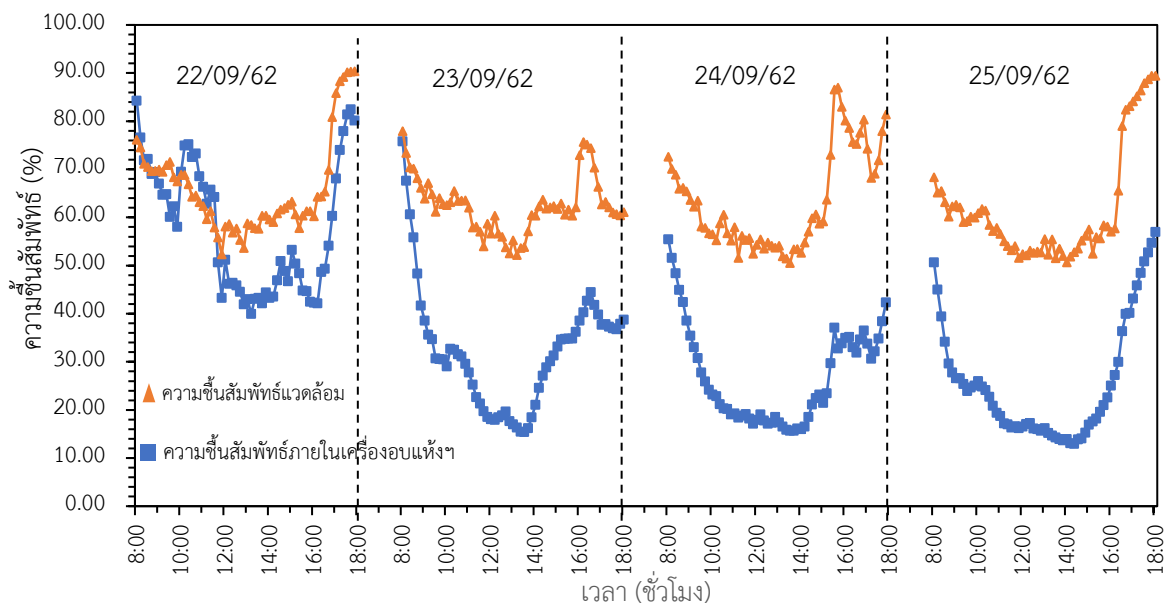
รูปที่ 63 แสดงถึงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงขึ้น โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งวันแรกทำการทดลองมีค่าต่ำกว่าวันอื่น ๆ เนื่องจากวันแรกมีฝนตกและมีเมฆมากประกอบกับความชื้นที่ยางพาราคายออกมีค่ามากส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำกว่าวันอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ประมาณ 5-20°C ซึ่งอุณหภูมิภายในระบบอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 30-50°C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าอยู่ระหว่าง 25-35°C



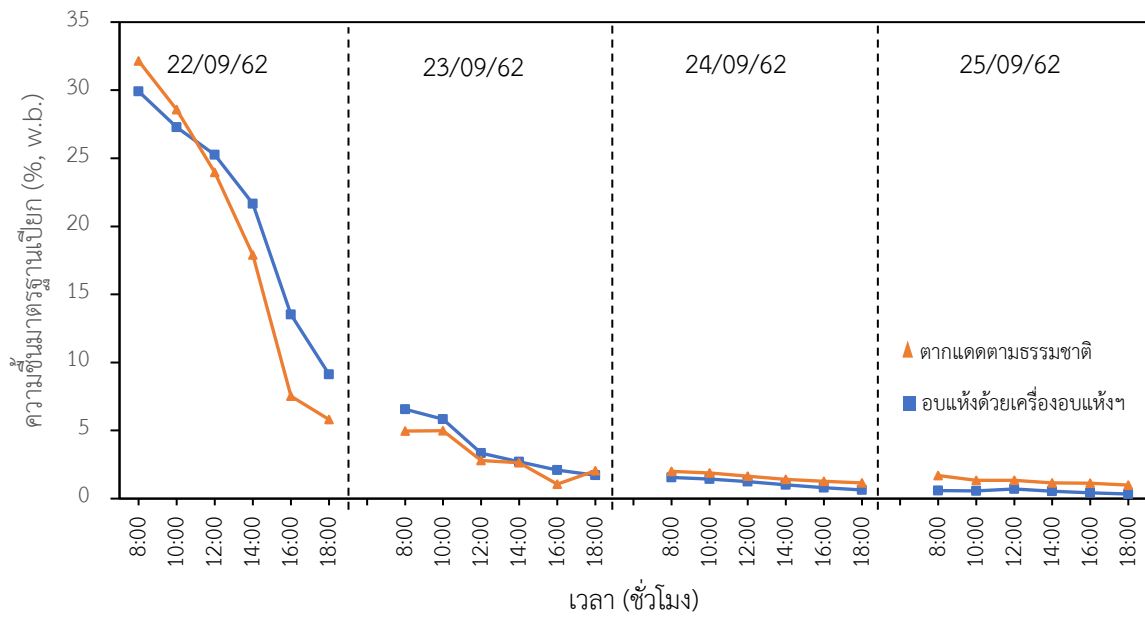
รูปที่ 63 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 64 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศสิ่งแวดล้อมก่อน 12:00 น.ของวันแรกมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีฝนตกและมีเมฆมากประกอบกับยางพาราแผ่นดิบที่นำมาอบแห้งนั้นมีความชื้นสูงและมีการคายความชื้นออกมายังอากาศภายในเครื่องอบแห้ง สำหรับวันที่ 2-4 ของการทดลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมประมาณ 10% - 50% โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 10-40% และ 50-80% สำหรับอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ตามลำดับ



รูปที่ 64 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 65 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้งฯ เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 29.91 % w.b. และ 32.15% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ และตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ พบว่าวันแรกของการทดลองความชื้นของยางพาราลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นผลมาจากยางพารามีปริมาณความชื้นสูง และวันที่ 2-4 ของการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของความชื้นในยางพาราจะมีคาลดลง หากพิจารณาจากกราฟการลดลงของความชื้นวันที่ 2 นั้น ความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีการลดลงอย่างต่อเนื่องหากเปรียบเทียบกับยางพาราที่ทำการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงที่เป็นผลมาจากความชื้นในอากาศที่สูงขึ้นเนื่องจากฝนตก และทำให้ยางพาราเกิดการดูดความชื้นเข้าไปทำให้ความชื้นของยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาการทดลองทั้งหมด 4 วันในการอบแห้งยางพารา มีความชื้นสุดท้ายคือ 0.33% w.b. และ 0.98% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ



รูปที่ 65 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดตามธรรมชาติ ของการทดลองที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างเครื่องอบแห้งตามต้นแบบที่พัฒนาให้เหมือนกันทั้ง 5 แห่ง และทำการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบ และมีผลการทดลองดังนี้

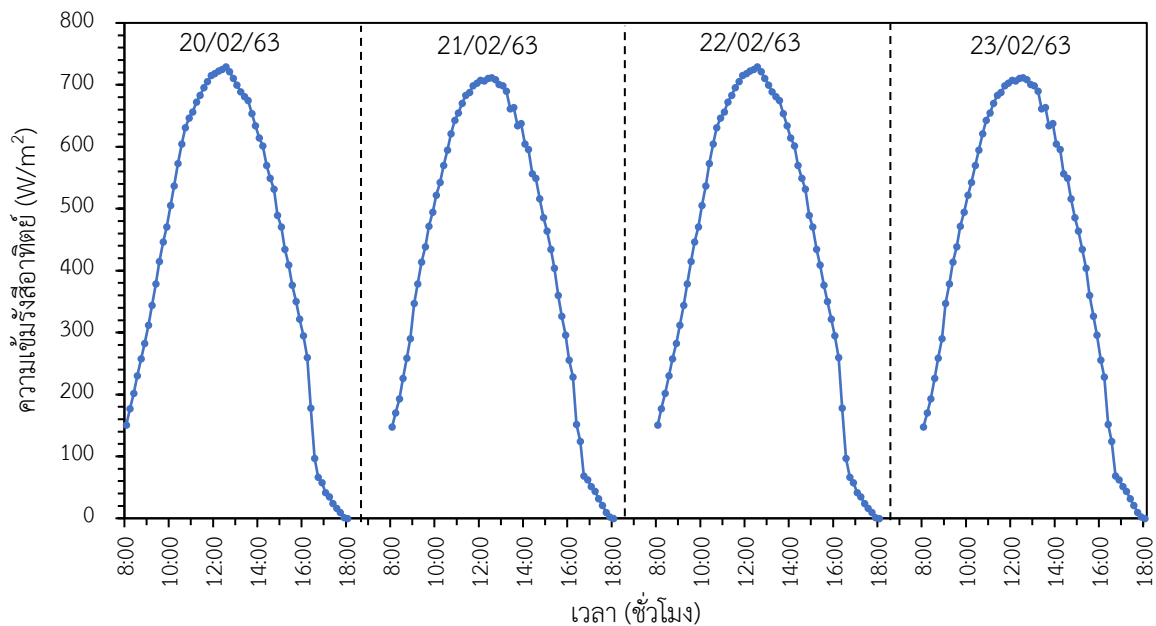
3.5.2 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ จังหวัดน่าน ได้ใช้ยางพาราแผ่นดิบที่รับซื้อมาจากชาวสวนยางโดยตรง ซึ่งทำมาจากน้ำยางสดสายพันธุ์ 251 ผ่านขั้นตอนการทำยางแผ่นแล้วจะได้ยางแผ่นดิบที่มีความหนา 3-4 มิลลิเมตรและนำไปทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดก่อนที่จะนำไปอบแห้ง โดยจะใช้ยางแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่นสำหรับการทดลองอบแห้ง 1 ครั้ง เริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. จนกว่าน้ำหนักของยางแผ่นดิบจะคงที่ โดยผลการทดลองมีดังนี้



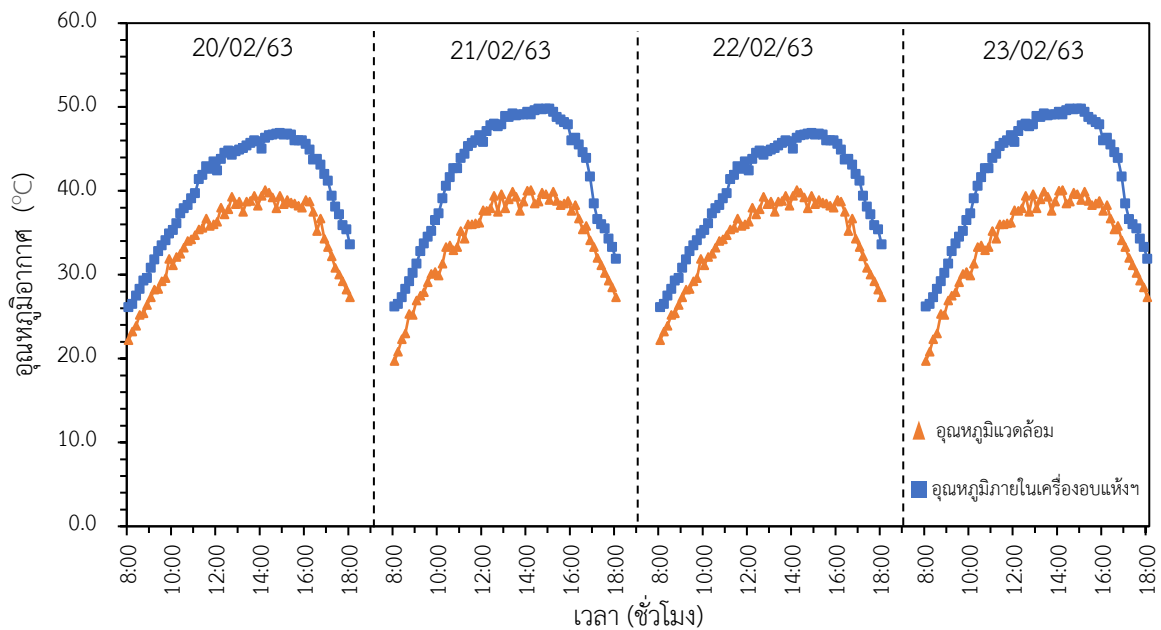
รูปที่ 66 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

จากรูปที่ 67 พบว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดการทดลองทั้ง 4 วัน มีค่าสม่ำเสมอ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $150 - 729 \text{ W/m}^2$ โดยมีปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดที่ 729 W/m^2 ในช่วงเวลา 12:00 น. หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 18:00 น.



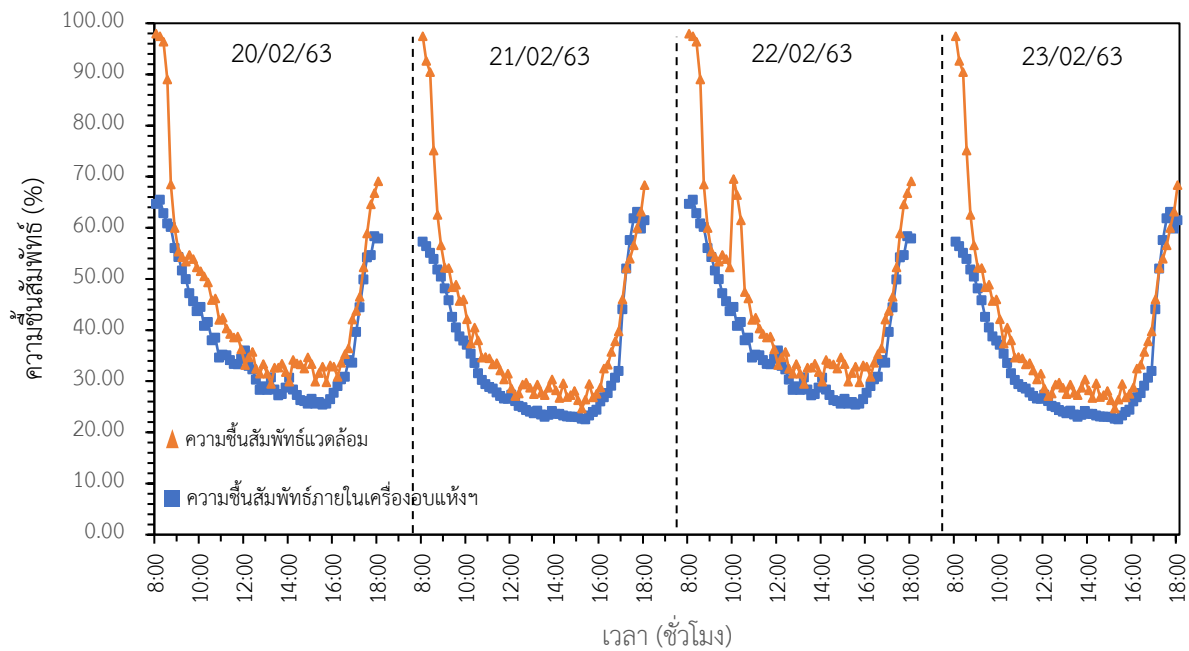
รูปที่ 67 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบ

รูปที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่า อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งๆ มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย แต่สำหรับการอบแห้งที่จังหวัดน่านมีปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่สูงมากจึงส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อยประมาณ 5-10°C เท่านั้น โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 25-50°C และ อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ระหว่าง 20-40°C



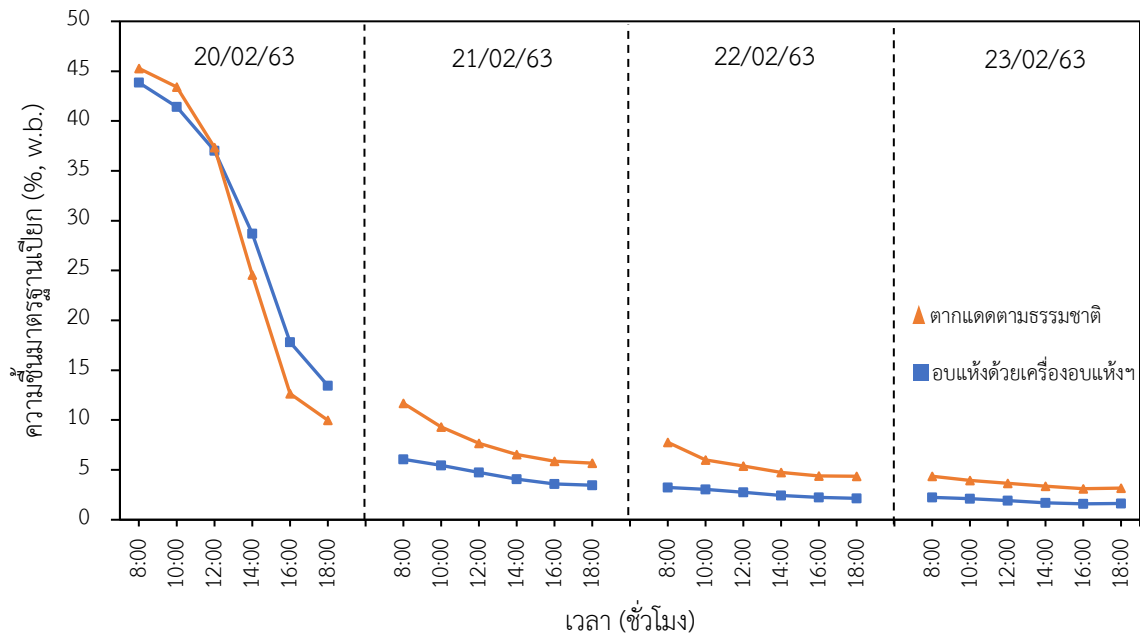
รูปที่ 68 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเกิดจากการที่บริเวณภาคเหนือมีสภาพอากาศแห้งส่งผลให้ความชื้นของอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 25-65% และ 30-97% สำหรับอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศสิ่งแวดล้อมตามลำดับ



รูปที่ 69 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 70 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 43.85% w.b. และ 45.28% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ และตากแดดตามธรรมชาติตามลำดับ สำหรับวันแรกของการทดลอง พบว่าความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากยางแผ่นดิบมีปริมาณความชื้นสูงจึงคายความชื้นออกมาได้มาก และวันที่ 2-4 ของการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของความชื้นในยางพารามีค่าลดลง แต่สำหรับวิธีการตากแดดตามธรรมชาติวันที่ 2-4 ของการทดลองนั้น ความชื้นในยางพาราแผ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 08:00 น. เนื่องจากในช่วงกลางวันและช่วงเช้าอากาศสิ่งแวดล้อมมีความชื้นสูงจึงทำให้ยางพาราแผ่นที่ตากด้วยแดดธรรมชาติดูดความชื้นเข้าไป โดยทั้ง 2 วิธีใช้เวลาอบแห้งทั้งหมด 4 วัน และมีความชื้นสุดท้ายคือ 1.62% w.b. และ 3.16 % w.b. สำหรับยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ และตากแดดตามธรรมชาติตามลำดับ จากความชื้นสุดท้ายของยางพาราแผ่นจะเห็นได้ว่า ยางแผ่นที่มีความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกันเมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นภายในยางแผ่นได้ดีกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ



รูปที่ 70 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดตามธรรมชาติ ของการทดลองที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน



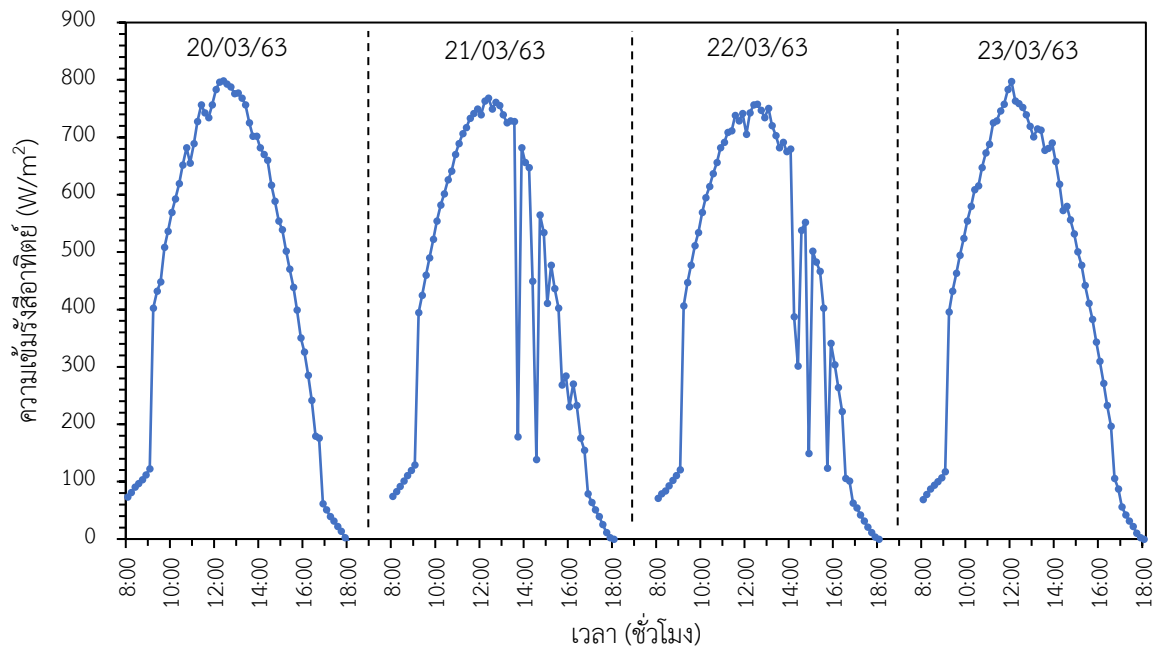
3.5.3 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลคงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา จังหวัดบุรีรัมย์ ได้ใช้ยางแผ่นดิบที่ทำจากน้ำยางสดสายพันธุ์ 251 โดยจะรับซื้อมาจากชาวสวนยางและนำมาผ่านกระบวนการทำยางแผ่น ซึ่งยางพาราแผ่นที่ได้มีความหนาอยู่ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ก่อนที่จะนำไปทดลองยางพาราแผ่นดิบจะผ่านกระบวนการทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด สำหรับการทดลองอบแห้งครั้งนี้ใช้ยางพาราแผ่นจำนวน 500 แผ่น โดยจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. จนกว่าน้ำหนักของยางแผ่นดิบจะคงที่ โดยผลการทดลองมีดังนี้



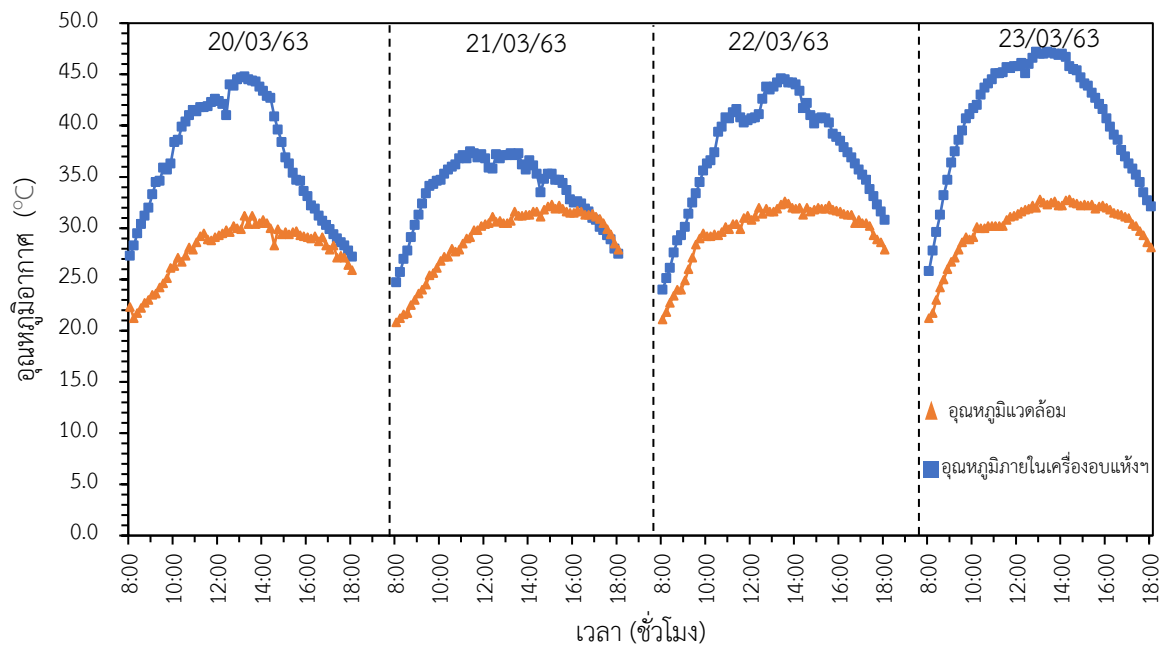
รูปที่ 71 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา
ตำบลคงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์

จากรูปที่ 72 พบว่าปริมาณความชื้นรังสีอาทิตย์ตลอดการทดลองทั้ง 4 วัน มีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะวันที่ 2 และ 3 ของการทดลองอบแห้ง เนื่องจากในระหว่างการทดลองมีเมฆมากทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ลดลงต่ำกว่าวันอื่น ๆ โดยตลอดทั้ง 4 วันของการทดลองมีปริมาณความชื้นรังสีอาทิตย์อยู่ระหว่าง $100-800 \text{ W/m}^2$ และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 800 W/m^2 ในช่วงเที่ยงวันหลังจากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ



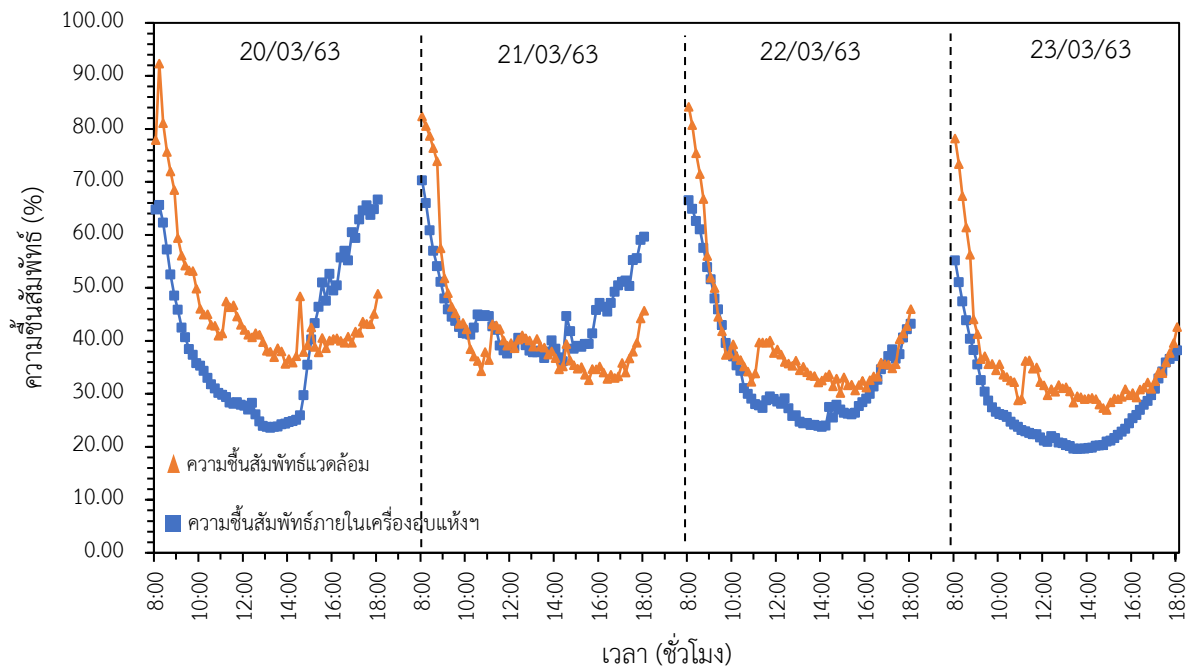
รูปที่ 72 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบ

รูปที่ 73 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมพบว่าอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 5-15°C เท่านั้น และหากพิจารณาวันที่ 2 ของการทดลองจะเห็นว่าหลังจาก 14:00 น. อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งๆ มีค่าลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นผลมาจากการที่ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำลง โดยอุณหภูมิภายในระบบอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 30-45°C และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าอยู่ระหว่าง 25-35 °C



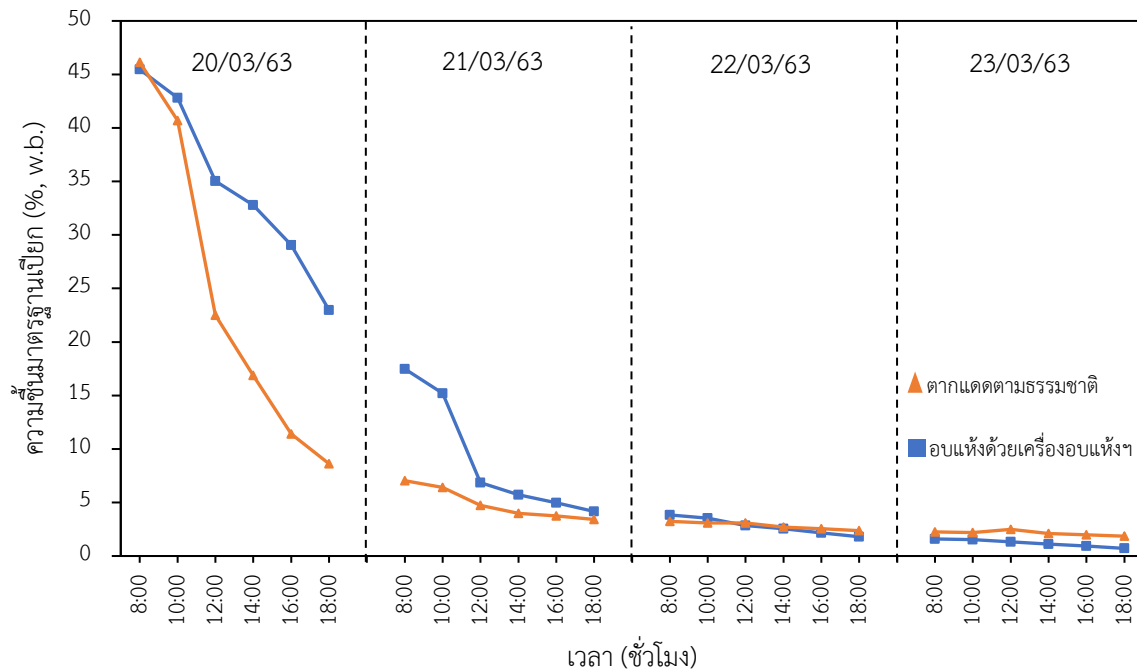
รูปที่ 73 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 74 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากสภาพอากาศในวันที่ทำการทดลองค่อนข้างแห้ง หากพิจารณาจากกราฟของวันที่ 1 และ 2 ของการทดลองพบว่าตั้งแต่เวลา 14:00 น. เป็นต้นไป ความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอากาศสิ่งแวดล้อมเป็นผลที่สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งๆ ที่มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในขณะที่วยางพาราแผ่นดิบที่อบแห้งอยู่ภายในเครื่องอบแห้งก็มีการคายความชื้นออกมาส่งผลให้ความชื้นในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าความชื้นในอากาศแวดล้อม โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 25-70% และ 30-97% สำหรับอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ตามลำดับ

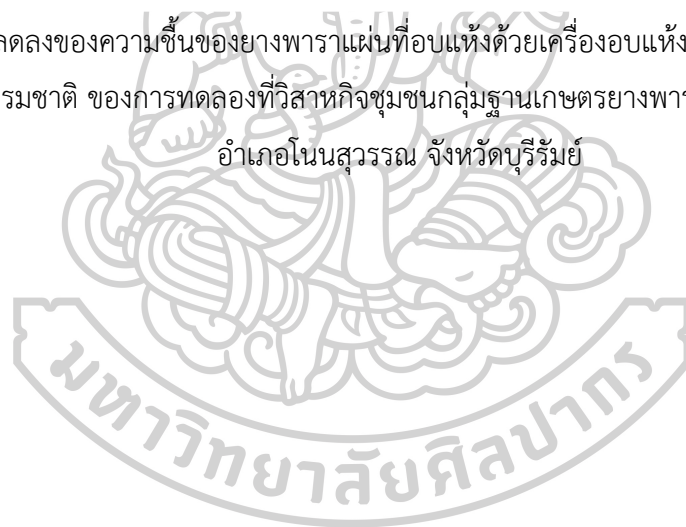


รูปที่ 74 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 75 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นดิบที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 45.46% w.b. และ 46.13% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ สำหรับวันแรกของการทดลอง พบว่าความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากยางพาราแผ่นดิบมีปริมาณความชื้นสูงจึงมีการคายความชื้นออกมาได้มาก แต่ความชื้นของตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ จะลดลงช้ากว่าตัวอย่างยางพาราที่ตากแดดตามธรรมชาติเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าบริเวณภายนอก โดยการอบแห้งยางแผ่นดิบใช้เวลาทั้งหมด 4 วัน มีความชื้นสุดท้ายคือ 0.71% w.b. และ 1.85 % w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ แม้ว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าต่ำแต่สามารถอบแห้งยางพาราแผ่นดิบให้แห้งภายใน 4 วันได้ โดยมีอัตราการคายความชื้นใกล้เคียงกับการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ และยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ ยังมีความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่ายางพาราแผ่นที่ตากด้วยแดดธรรมชาติ



รูปที่ 75 การลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดธรรมชาติ ของการทดลองที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์



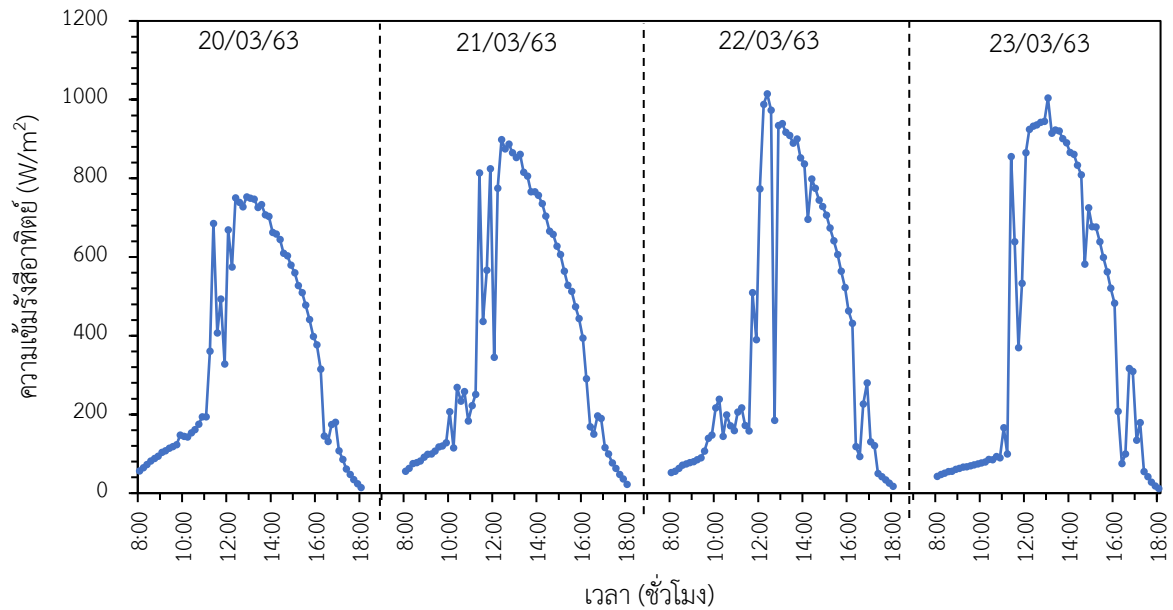
3.5.4 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้ใช้ยางแผ่นดิบที่รับซื้อมาจากชาวสวนยาง โดยทำจากน้ำยางสดที่หาได้ตามพื้นที่เป็นพันธุ์ 251 ซึ่งยางแผ่นดิบมีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำยางแผ่นดิบไปทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดและเส็ดน้ำก่อนนำไปอบแห้ง สำหรับการทดลองอบแห้งครั้งนี้ใช้ยางพาราแผ่นจำนวน 500 แผ่น โดยจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. จนกว่าน้ำหนักของยางแผ่นดิบจะคงที่ โดยผลการทดลองมีดังนี้



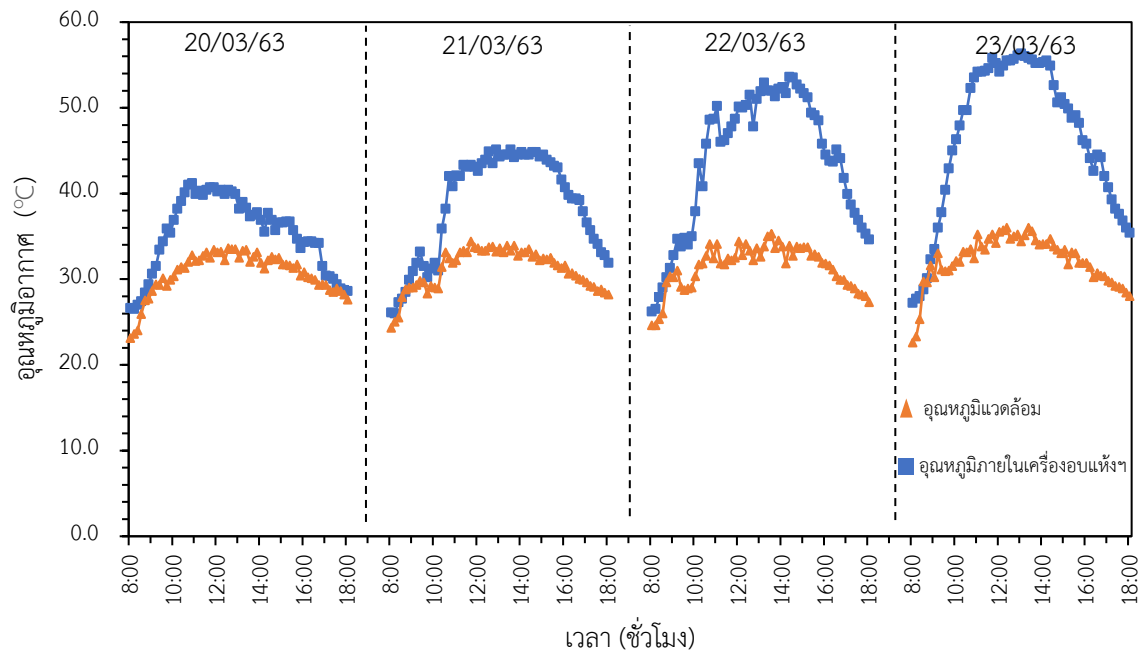
รูปที่ 76 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

รูปที่ 77 พบว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดการทดลองทั้ง 4 วันในช่วงเวลา 08:00-12:00 น. มีค่าไม่สม่ำเสมอเนื่องจากในระหว่างการทดลองมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าเป็นจำนวนมาก โดยปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12:00 น. เท่ากับ 1000 W/m^2 และจะลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงบ่ายจะถึง 18:00 น. ในแต่ละวันของการทดลองมีปริมาณความเข้มอยู่ระหว่าง $50-1000 \text{ W/m}^2$



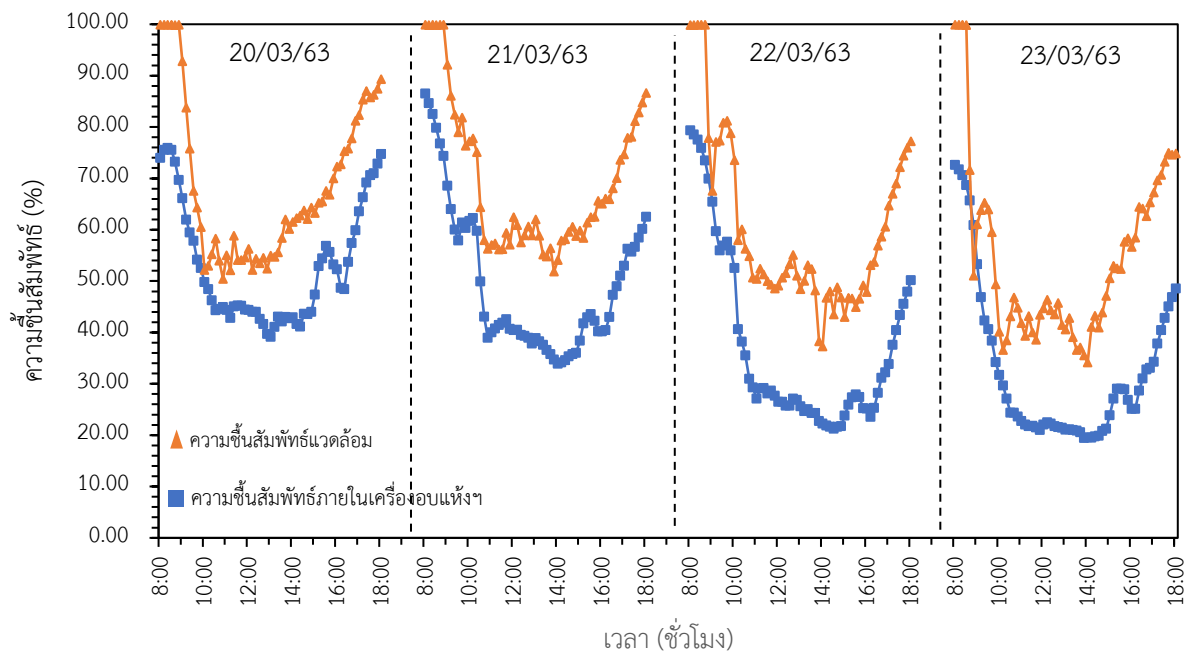
รูปที่ 77 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางพาราแผ่นดิน

รูปที่ 78 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมพบว่าอุณหภูมิของทั้ง 4 วันที่ทำการทดลองแปรผันตรงกับปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อพิจารณาวันแรกของการทดลองซึ่งมีอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ ต่ำสุดจะเห็นว่ามีผลสอดคล้องกับปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ต่ำสุดเช่นเดียวกัน เป็นผลมาจากความชื้นของยางพาราแผ่นที่มีปริมาณมากระเหยออกมายังอากาศจึงทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ ต่ำกว่าวันอื่น ๆ โดยอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 5-25°C โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 30-50 °C และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าอยู่ระหว่าง 25-35 °C



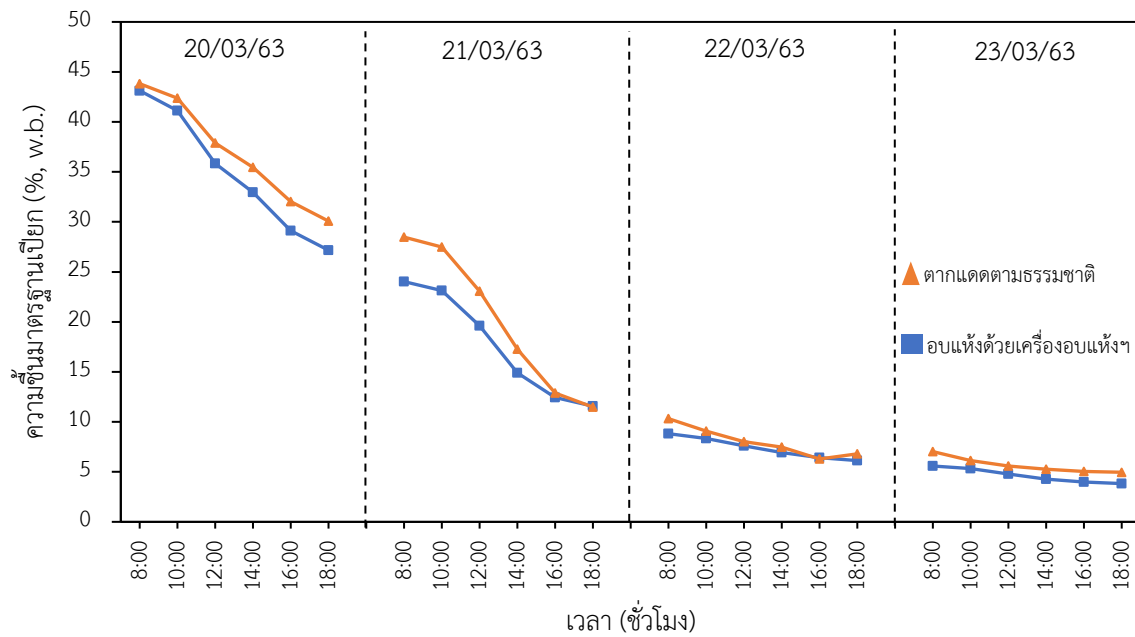
รูปที่ 78 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 79 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมในช่วงเวลา 08:00-09:00 น. มีค่าสูงโดยเฉพาะอากาศแวดล้อมที่มีค่าสูงถึง 100 % เนื่องจากเกิดฝนตก และหลังจากนั้นจะมีค่าต่ำลง โดยปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมประมาณ 15-35% โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 20-60% และ 35-99% สำหรับอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ตามลำดับ



รูปที่ 79 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 80 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 43.12% w.b. และ 43.82% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ สำหรับวันแรกของการทดลอง พบว่าความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากยางพาราแผ่นดิบมีปริมาณความชื้นสูงน้ำจึงสามารถระเหยออกมาได้ในปริมาณมาก จากการพิจารณากราฟการแห้งพบว่ายางแผ่นดิบที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ มีอัตราการลดลงของความชื้นสูงกว่ายางพาราแผ่นดิบที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ โดยการอบแห้งใช้เวลาทั้งหมด 4 วัน ยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายคือ 3.82% w.b. และ ยางพาราที่อบแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีความชื้นสุดท้ายคือ 4.95% w.b.



รูปที่ 80 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ ของการทดลองที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



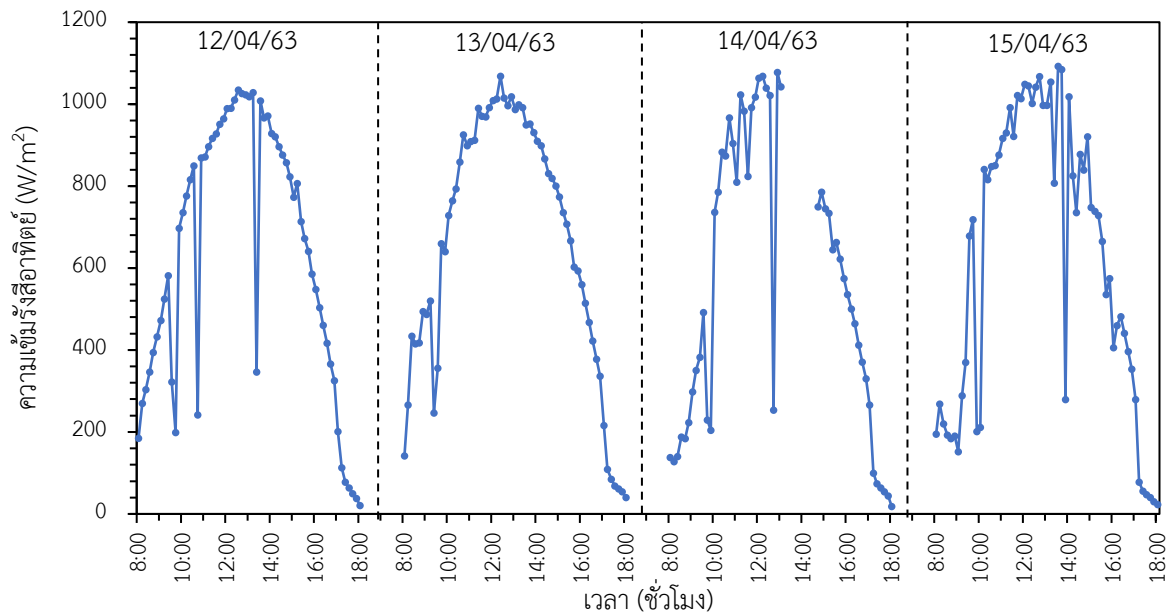
3.5.5 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่ สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานีได้ใช้ยางจากสหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี โดยเป็นยางพันธุ์ 251 ซึ่งยางพาราแผ่นดิบมีความหนา 2-3 มิลลิเมตร โดยมีการทำความสะอาดยางพาราแผ่นดิบก่อนนำไปทดลองอบแห้ง สำหรับการทดลองอบแห้งครั้งนี้ใช้ยางพาราแผ่นจำนวน 500 แผ่น โดยจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. จนกว่าน้ำหนักของยางแผ่นดิบจะคงที่ โดยผลการทดลองมีดังนี้



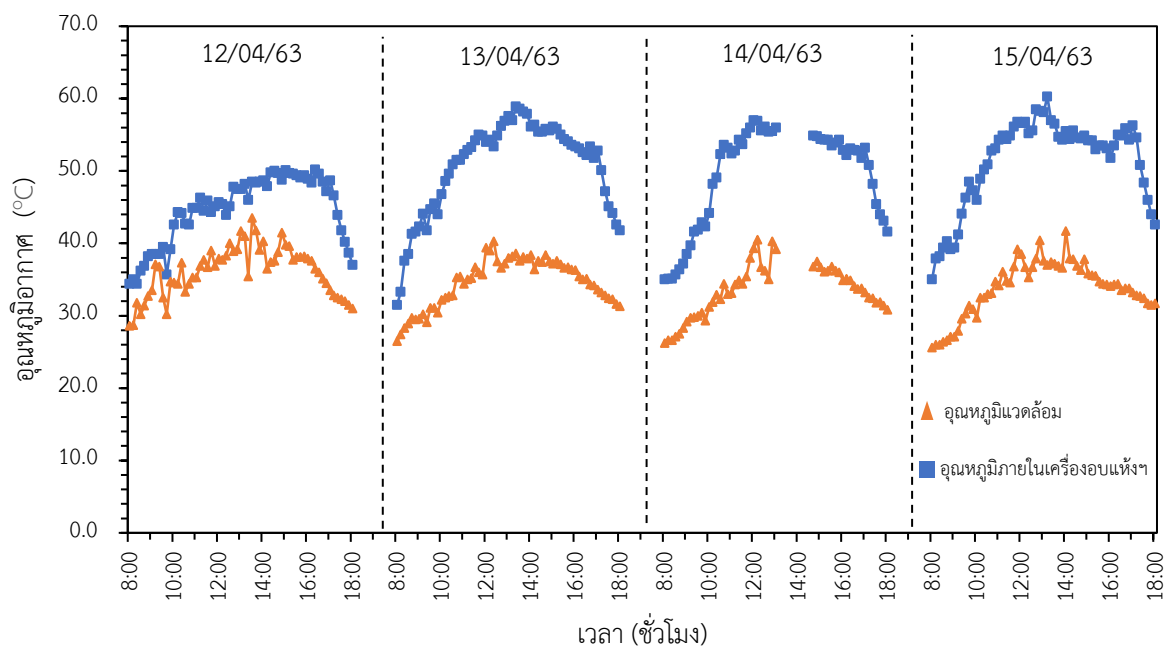
รูปที่ 81 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่ กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

จากรูปที่ 82 พบว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดการทดลองทั้ง 4 วัน มีค่าไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากบางช่วงเวลามีเมฆมากส่งผลให้ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ลดต่ำลง โดยมีปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 1040 W/m^2 ในช่วงเที่ยง และจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเย็น หากพิจารณาจากกราฟสำหรับวันที่ 3 ของการทดลองพบว่าช่วงเวลา 13:00-14:30 น. เกิดการขาดหายไปของข้อมูลเนื่องจากเกิดความเสียหายกับตัว Data logger โดยในแต่ละวันของการทดลองมีปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ระหว่าง $185-1040 \text{ W/m}^2$



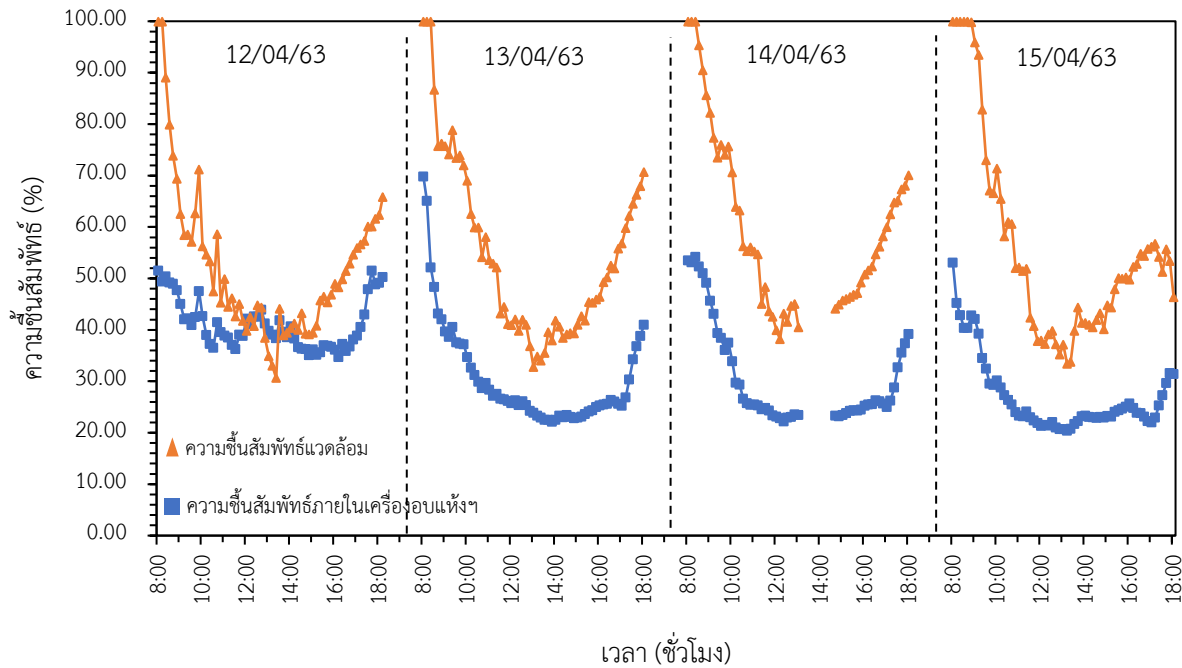
รูปที่ 82 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

รูปที่ 83 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมพบว่าอุณหภูมิของทั้ง 4 วันที่ทำการทดลองมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ กราฟการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมประมาณ 10-20°C โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 35-50°C และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าอยู่ระหว่าง 26-35°C ตลอดช่วงระยะเวลาทำการทดลอง



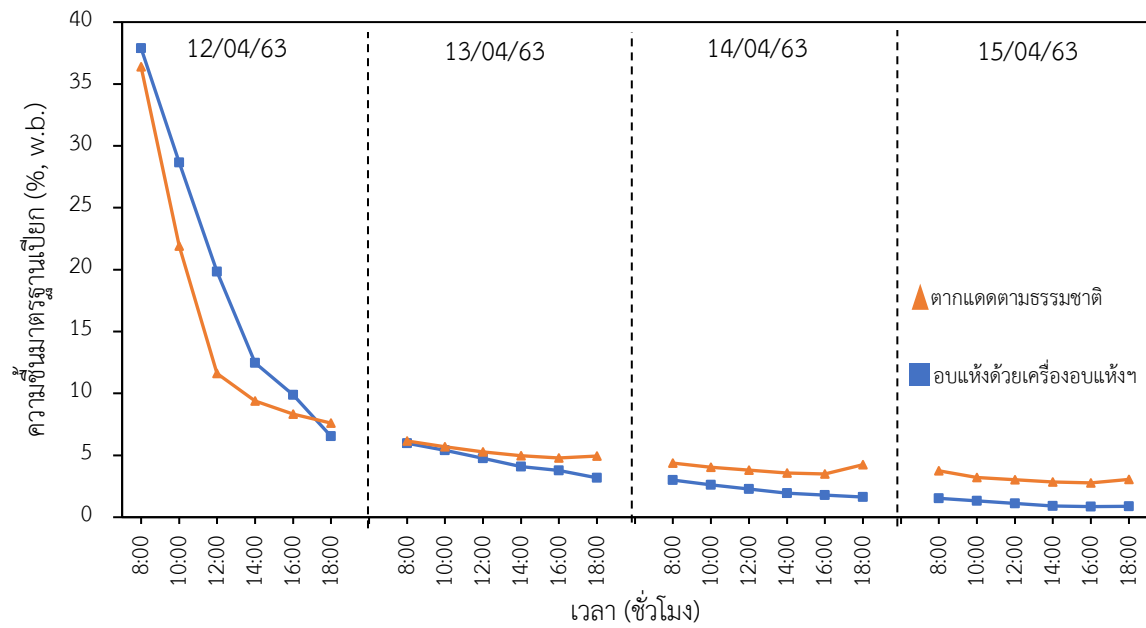
รูปที่ 83 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

จากรูปที่ 84 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมในช่วงเวลา 08:00-09:00 น. มีค่าสูงถึง 100 % เป็นผลมาจากช่วงเช้าอากาศแวดล้อมชื้นและมีไอน้ำเกาะบริเวณวัดความชื้น และหลังจากนั้นจะมีค่าต่ำลง โดยวันแรกของการทดลองอบแห้งความชื้นภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าสูงเนื่องจากยางพาราแผ่นที่นำมาอบแห้งมีปริมาณความชื้นสูงและได้มีการคายความชื้นออกมายังอากาศภายในเครื่องอบแห้งในปริมาณมาก โดยตลอดระยะเวลาของการทดลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าต่ำกว่าความชื้นของอากาศแวดล้อมประมาณ 10-50% โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 25-60 % w.b. และ 30-99 % สำหรับอากาศภายในระบบอบแห้งและอากาศแวดล้อมตามลำดับ



รูปที่ 84 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่น
ในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 85 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 37.88% w.b. และ 36.74% w.b. สำหรับยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ สำหรับวันแรกของการทดลอง พบว่าความชื้นของยางพาราลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากยางพาราแผ่นดิบมีปริมาณความชื้นสูงจึงน้ำสามารถระเหยออกมาได้ในปริมาณมาก โดยความชื้นในแผ่นยางพาราที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ ลดลงเร็วกว่ายางที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ โดยการอบแห้งใช้เวลาทั้งหมด 4 วัน ยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.87% w.b. และ ยางพาราที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 3.05% w.b.



รูปที่ 85 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้งเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ ของการทดลองที่สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี



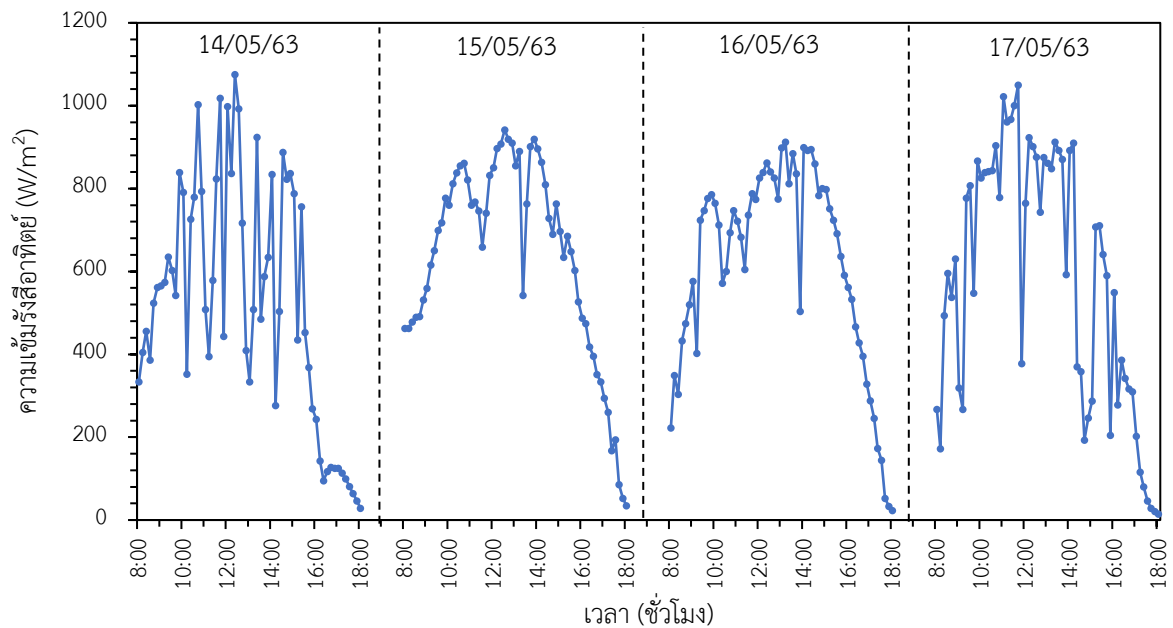
3.5.6 ผลการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ที่ สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี

การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด จังหวัดจันทบุรีได้ใช้ยางแผ่นดิบที่รับซื้อจากชาวบ้านในพื้นที่ ซึ่งยางแผ่นดิบที่ซื้อมานั้นผ่านการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว โดยทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่น เริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08:00-18:00 น. จนกว่าน้ำหนักของยางแผ่นดิบจะคงที่ โดยผลการทดลองมีดังนี้



รูปที่ 86 การทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นดิบที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด จังหวัดจันทบุรี

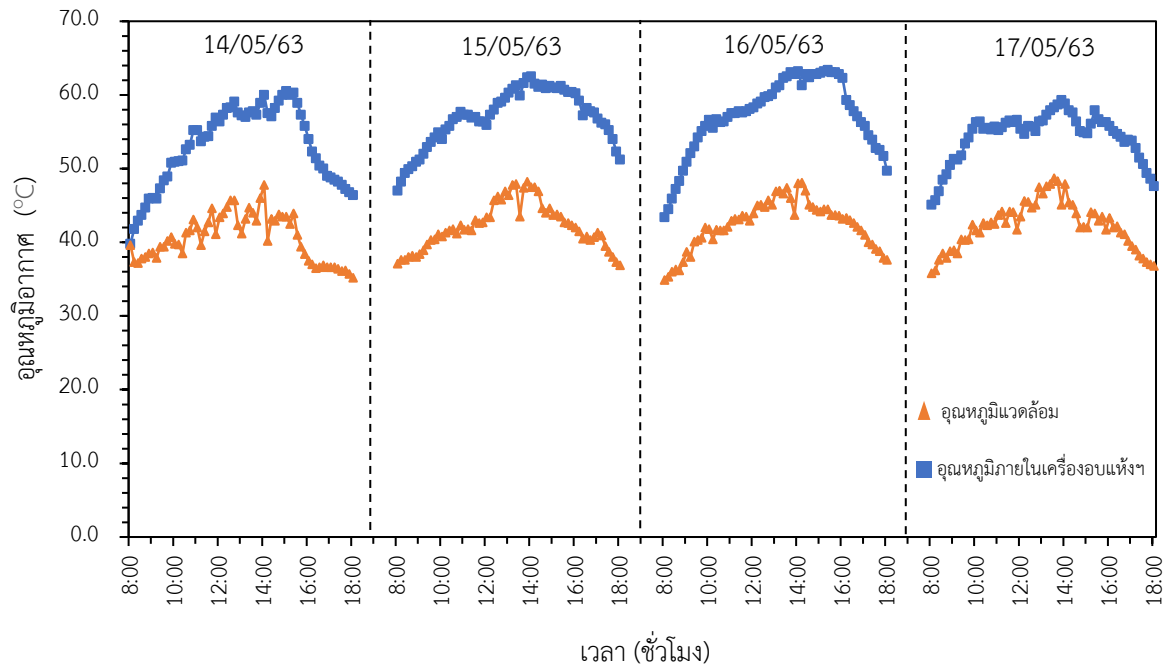
จากรูปที่ 87 พบว่าปริมาณความเข้มข้นสีอาทิตย์ตลอดการทดลองทั้ง 4 วัน มีค่าไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเกิดฝนตกเป็นระยะ ๆ ตลอดการทดลอง โดยมีปริมาณความเข้มข้นสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 1040 W/m^2 ในช่วงเที่ยง และจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเย็น ปริมาณความเข้มข้นสีอาทิตย์อยู่ในช่วง $300-1000 \text{ W/m}^2$ สำหรับวันแรกของการทดลอง และวันที่ 2-4 มีค่าต่ำลงอยู่ระหว่าง $300-850 \text{ W/m}^2$ ซึ่งเกิดจากการที่มีฝนตกและมีเมฆมากตลอดการทดลอง



รูปที่ 87 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระหว่างการทดลองการอบแห้งยางแผ่นดิบที่จังหวัดจันทบุรี

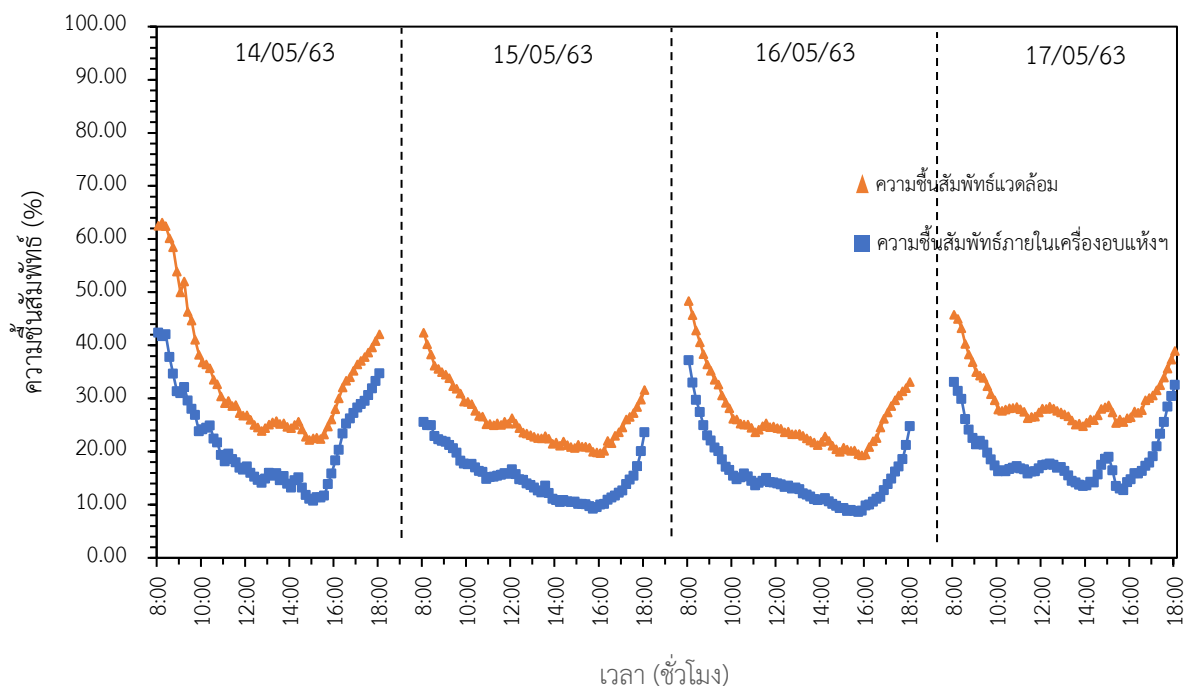
รูปที่ 88 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมพบว่าอุณหภูมิทั้ง 4 วันที่ทำการทดลองมีความไม่สม่ำเสมอซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมประมาณ $10-20^{\circ}C$ โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าประมาณ $30-60^{\circ}C$ และอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าประมาณ $35-42^{\circ}C$





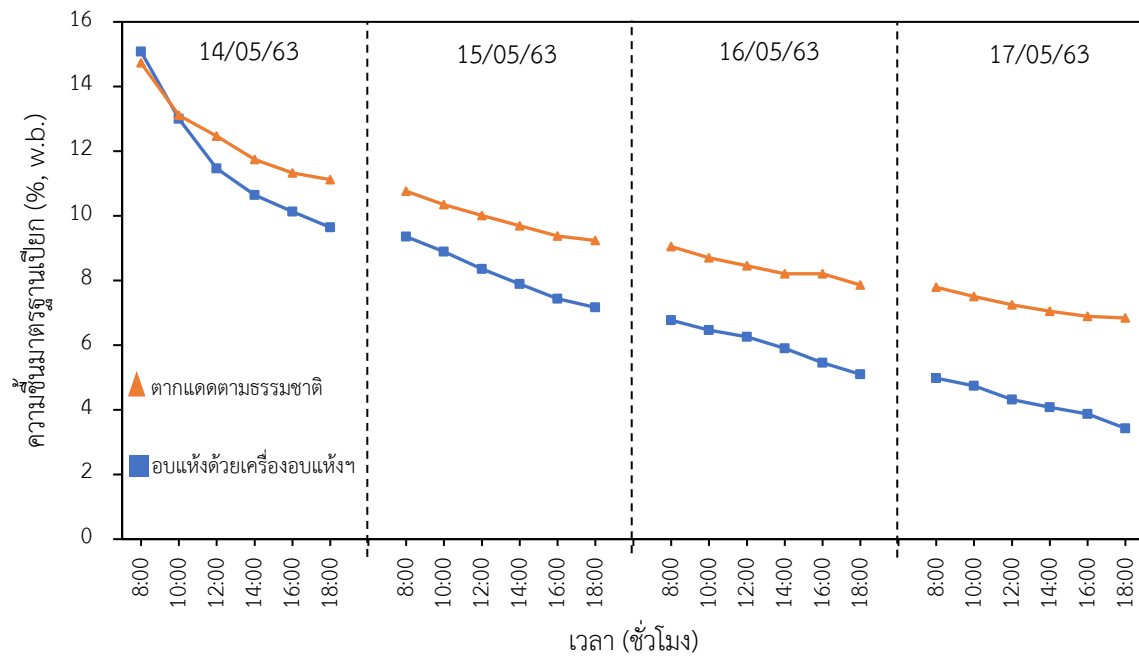
รูปที่ 88 อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 89 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกเครื่องอบแห้งฯ ประมาณ 10-15% โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 10-45% และ 25-65% สำหรับอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ตามลำดับ

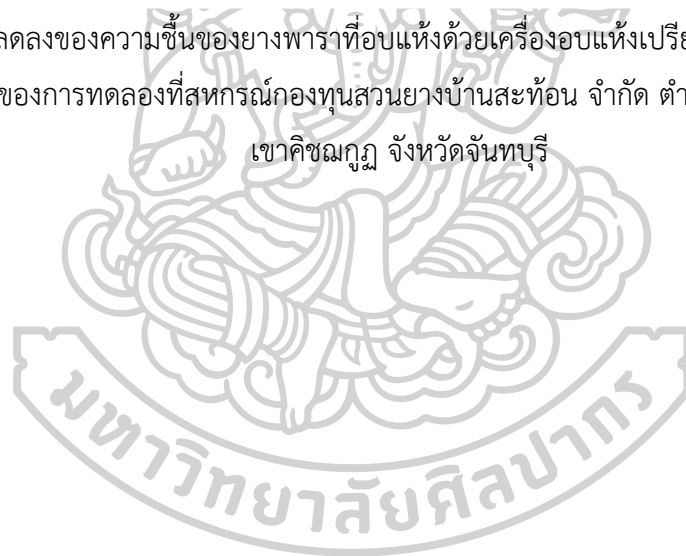


รูปที่ 89 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งยางพาราในระหว่างการทดลอง

รูปที่ 90 แสดงการลดลงของความชื้นของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดตามธรรมชาติ โดยความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นดิบมีค่าเท่ากับ 15.07% w.b. และ 14.72% w.b. สำหรับยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ ตามลำดับ จากกราฟการแห้ง พบว่าวันแรกของการทดลองความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นผลมาจากยางแผ่นดิบมีปริมาณความชื้นสูงน้ำจึงสามารถระเหยออกมาได้มาก ตลอดระยะเวลาการทดลองความชื้นในแผ่นยางพาราที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ ลดลงเร็วกว่ายางที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ เนื่องจากวันที่ทำการทดลองมีฝนตกเป็นระยะ ๆ ส่งผลให้ยางแผ่นดิบที่ตากแดดตามธรรมชาติเปียกฝน แต่หากพิจารณายางแผ่นดิบที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ จะเห็นได้ว่าความชื้นในแผ่นยางตัวอย่างลดลงเรื่อย ๆ เป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งฯ ยังมีค่าสูงแม้ฝนตก โดยการอบแห้งใช้เวลาทั้งหมด 4 วัน ยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายคือ 5.09% w.b. และ ยางพาราที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีความชื้นสุดท้ายคือ 9.23% w.b.



รูปที่ 90 การลดลงของความชื้นของยางพาราที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ ของการทดลองที่สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี





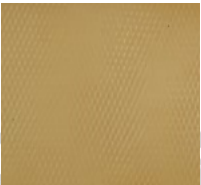

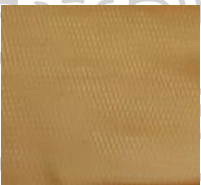
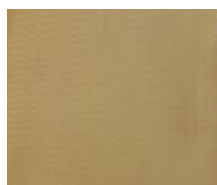




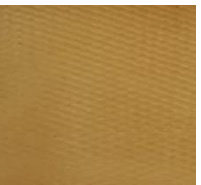
3.5.7 การทดสอบสีของยางพารา

การทดสอบสีเป็นการประเมินคุณภาพของยางพาราอย่างหนึ่ง สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ ซึ่งเป็นการใช้ระบบสีแบบ CIELAB (ค.ศ. 1976) (Hunter and Pointer, 2011; Janjai et al., 2011) เป็นการบรรยายสีในรูปแบบ 3 มิติ โดยการใช้สัญลักษณ์ L^* แทนความสว่างแปรจากดำไปขาว (0 ถึง 100), a^* บ่งบอกถึงสีที่ปรากฏ แปรจากเขียวไปแดง (-60 ถึง +60) และ b^* แทนความบริสุทธิ์ของสี แปรจากน้ำเงินไปเหลือง (-60 ถึง +60) ทางผู้วิจัยได้นำแผ่นยางพาราที่แห้งแล้วไปทำการวัดสีเพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 7 ตัวอย่าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับยางพาราแผ่นดิบที่ทำการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ โดยมีลักษณะสีแสดงดังตารางที่ 3 และผลการทดสอบสีดังตารางที่ 4 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ มีความใสและเหลืองกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางพาราแผ่นที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ



รูปที่ 91 การวัดสียางพาราแผ่นด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ

ตารางที่ 3 ลักษณะของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ เปรียบเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ

สถานที่การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	สีของยางพาราแผ่น	
	ภายในเครื่องอบแห้งๆ	สิ่งแวดล้อม
การทดลองอบแห้งที่มหาวิทยาลัยศิลปากร		
กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน		
วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์		
กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์		
สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี		
สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาชัยชุมภู จังหวัดจันทบุรี		

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสีของตัวอย่างยางพาราแผ่นที่อบแห้งในสถานที่ต่าง ๆ

สถานที่การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	ตำแหน่งอบแห้ง	ผลการวัดสีในระบบ CIELAB		
		L*	a*	b*
การทดลองอบแห้งที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร	ภายในเครื่องอบแห้ง	35.55	0.69	7.7
	สิ่งแวดล้อม	33.09	11.19	-1.83
กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน	ภายในเครื่องอบแห้ง	28.44	-0.13	6.34
	สิ่งแวดล้อม	19.4	1.6	7.5
วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลง้อจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์	ภายในเครื่องอบแห้ง	24.43	0.9	8.54
	สิ่งแวดล้อม	28.38	0.33	7.72
กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	ภายในเครื่องอบแห้ง	23.19	0.84	6.67
	สิ่งแวดล้อม	23.61	2.28	8.78
สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวีจำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี	ภายในเครื่องอบแห้ง	24.15	-0.21	5.59
	สิ่งแวดล้อม	26.81	0.77	7.44
สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อนจำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี	ภายในเครื่องอบแห้ง	29.98	-0.15	6.14
	สิ่งแวดล้อม	24.91	2.08	7.99

จากตารางที่ 3 ผลของการวัดค่าสีของยางแผ่นที่ทำการอบแห้งที่สถานที่ต่าง ๆ ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาและการตากแดดตามธรรมชาติ พบว่ายางพาราแผ่นที่ทำการอบแห้งแต่ละสถานที่ที่มีค่าสีที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยรวมสีของยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ มีสีเหลืองใสและสว่างกว่ายางพาราแผ่นที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติที่มีสีเหลืองเข้มไปทางสีน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสีในตารางที่ 4

3.5.8 ผลการทดสอบค่าแอกติวิตีของน้ำ

สำหรับการวัดคุณภาพของยางพาราแผ่นที่ผ่านกระบวนการอบแห้งนั้นต้องพิจารณาปริมาณแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ในตัวแผ่นยางพาราด้วยเนื่องจากปริมาณแอกติวิตีของน้ำบ่งบอกถึงปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในยางพาราแผ่น โดยต้องมีค่าต่ำกว่า 0.6 ถึงจะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง ทั้งนี้ผลการวัดค่าแอกติวิตีของน้ำของการทดลอง 6 ครั้ง พบว่ายางพาราแผ่นดิบที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา มีค่าแอกติวิตีของน้ำน้อยกว่าหากเปรียบเทียบกับ การตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติในระยะเวลาการอบแห้งทั้งหมด 4 วัน โดยผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 5 พบว่ายางพาราแผ่นที่ตากด้วยแดดธรรมชาติมีค่าแอกติวิตีของน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับยางพาราแผ่นที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ ทั้งนี้หลังจากทางผู้วิจัยได้เก็บยางพาราแผ่นที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองวิธีเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่ายางพาราแผ่นที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีราขึ้นตามแผ่นยางแต่ยางพาราแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฯ ยังคงสภาพเดิมไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น (รูป 96) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสำหรับการตากแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยแดดธรรมชาติ 4 วัน ไม่สามารถทำให้ยางพาราแผ่นดิบแห้งสนิทได้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าแอกติวิตีของน้ำในแผ่นยางพาราที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่าแอกติวิตีของน้ำ

สถานที่การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	ค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w)
การทดลองอบแห้งที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร	0.51
กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน	0.58
วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลงอีจาน อำเภอนนทบุรี จังหวัดบุรีรัมย์	0.59
กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	0.59
สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี	0.59
สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะท้อน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอกาญจนบุรี จังหวัดจันทบุรี	0.57
ตัวอย่างของยางพาราแผ่นที่ตากแห้งตามแดดธรรมชาติ	0.61



ก

ข

รูปที่ 92 ตัวอย่างยางพาราแผ่น ก) ยางพาราแผ่นที่อบแห้งในเครื่องอบแห้งๆ ข) ยางพาราแผ่นที่ตากแห้งโดยแดดธรรมชาติ

3.5.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น

สำหรับการนำเครื่องอบแห้งๆ ไปใช้งานจริงกับเกษตรกรชาวสวนยางนั้นนอกจากจะให้ความสำคัญกับสมรรถนะของเครื่องอบแห้งๆ ในเชิงวิทยาศาสตร์แล้วยังต้องคำนึงถึงสมรรถนะเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย เนื่องจากเครื่องอบแห้งๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นต้องสามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบไปด้วยการหาค่าทางเศรษฐศาสตร์คือ การประเมินต้นทุนทางการอบแห้ง (Drying cost, Z) การประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PB) และ การประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) โดยผลการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

3.5.10 การประเมินต้นทุนการอบแห้ง (Drying cost)

ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณต้นทุนรายปี (Annual cost) โดยอาศัยสมการ (Andsley and Wheeler, 1978)

$$C_{\text{annual}} = \left[C_t + \sum_{i=1}^N (C_{\text{main},i} + C_{\text{op},i}) \omega^i \right] \left[\frac{\omega - 1}{\omega(\omega^N - 1)} \right] \quad (22)$$

$$\text{โดยที่ } \omega = \frac{100 + i_{in}}{100 + i_{if}} \quad (23)$$

เมื่อ C_{annual} คือ ต้นทุนรายปีของเครื่องอบแห้ง (บาท)

C_t คือ ต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง (บาท)

$C_{\text{main},i}$ คือ ต้นทุนการบำรุงรักษาของปีที่ i (บาท)

$C_{\text{op},i}$ คือ ต้นทุนค่าเดินเครื่องอบแห้งปีที่ i (บาท)

N คือ อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง (ปี)

i_{in} คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

i_{if} คือ อัตราเงินเฟ้อ (%)

สำหรับการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา มีต้นทุนต่าง ๆ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ตารางต้นทุนต่าง ๆ สำหรับใช้ในการอบแห้งยางพาราแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

ต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง	407,400 บาท
ต้นทุนการบำรุงรักษาของปีที่ i	4,074 บาท
ต้นทุนค่าเดินเครื่องอบแห้งปีที่ i	944,649 บาท
อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	15 ปี
อัตราดอกเบี้ย	5.75 %
อัตราเงินเฟ้อ	3%

$$\text{จากสมการที่ (23) จะได้ว่า } \omega = \frac{100 + i_{in}}{100 + i_{if}} = \frac{100 + 5.75}{100 + 3} = \frac{105.75}{103} = 1.02669$$

จากการคำนวณพบว่าต้นทุนรายปีของเครื่องอบแห้ง (C_{annual}) มีค่าเท่ากับ 962,623 บาท จากนั้นทำการคำนวณต้นทุนการอบแห้ง (drying cost) จากสมการ

$$Z = \frac{C_{\text{annual}}}{m_{\text{dry}}} \quad (28)$$

เมื่อ Z คือ ต้นทุนการอบแห้ง (THB kg^{-1})

m_{dry} คือ มวลของวัสดุแห้งที่ได้ต่อปี (kg)

ในการอบแห้งยางแผ่นดิบในระยะเวลา 1 ปี สามารถอบแห้งยางพาราแผ่น (แห้ง) พร้อมจำหน่ายทั้งหมด 18000 กิโลกรัม/ปี ดังนั้นต้นทุนการอบแห้ง (drying cost) มีค่าเท่ากับ 53 บาท/กิโลกรัม

3.5.11 การประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PB)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่รายได้ของกิจการอบแห้งยางพาราให้ผลตอบแทนเท่ากับเงินที่ลงทุนไป หากเครื่องอบแห้งๆ ที่มีระยะเวลาคืนทุนต่ำจะบ่งบอกถึงเป็นเครื่องอบแห้งที่น่าสนใจสำหรับการลงทุนเพื่อประกอบการ โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Payback period} = \frac{C_t}{C_{\text{annual}} - P_i} \quad (29)$$

เมื่อ C_t คือ ต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง (Total capital cost) (บาท)

C_{annual} คือ ค่าใช้จ่ายรายปี (บาท)

P_i คือ รายรับที่ได้จากการจำหน่ายยางแผ่น (บาท)

สำหรับการหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาค่าคำนวณจากสมการที่ 29 โดยมีต้นทุนต่าง ๆ ดังตารางที่ 7 จากการคำนวณพบว่าระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งๆ มีค่าเท่ากับ 7.64 ปี

ตารางที่ 7 ข้อมูลต้นทุนต่าง ๆ สำหรับการอบแห้งยางพาราแผ่น

ราคายางพาราแผ่นดิบ	36.95 บาท/กิโลกรัม
ค่าจ้างแรงงาน 2 คน	600 บาท/วัน
จำนวนรอบการอบใน 1 ปี	45 รอบ
ปริมาณยางพาราแผ่นดิบต่อ 1 รอบ	500 แผ่น
ราคายางพาราแผ่นแห้ง	56.44 บาท/กิโลกรัม

3.5.12 การประเมินอัตราผลการตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR)

การประเมินอัตราผลการตอบแทนภายในหมายถึง การประเมินว่าการลงทุนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาให้ผลตอบแทนเท่าใด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$-C_T + \sum_i^N \frac{C_i}{(1+IRR)^i} = 0 \quad (30)$$

เมื่อ C_i คือ กระแสเงินสดที่เกิดจากการลงทุนสร้างระบบอบแห้งในแต่ละปี (บาท)

C_T คือ เงินลงทุนติดตั้งระบบอบแห้งยางพารา (บาท)

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (%)

จากการคำนวณพบว่าค่าของIRR มีค่าเท่ากับ 14%



บทที่ 4

สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่โดม ขนาด 8.0×12.4 เมตร และติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งๆ ให้เหมาะสมสำหรับการอบแห้งยางแผ่นดิบจำนวน 500 แผ่น โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งให้ไม่เกิน $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 75% ซึ่งจะเป็นการควบคุมการ เปิด-ปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งเสริมเข้าไปทั้งหมด 6 ตัว โดยควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน่ (Arduino)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะระบบอบแห้งพลังงานงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น โดยการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ การอบแห้งยางแผ่นดิบ 500 แผ่นด้วยเครื่องอบแห้งๆ (เครื่องต้นแบบ) ทีมมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และส่วนที่สองคือ ทำการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งๆ ซึ่งติดตั้งตามเครื่องต้นแบบที่มหาวิทยาลัยศิลปากร ทั้งหมด 5 แห่งได้แก่ที่ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพาราพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน, วิสาหกิจชุมชนกลุ่มฐานเกษตรยางพารา ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์, กลุ่มเกษตรกรทำสวนชัยเกษม อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, สหกรณ์กองทุนสวนยางทรัพย์ทวี จำกัด อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านสะทอน จำกัด ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี โดยจะทำการวัดค่าต่าง ๆ ในระหว่างการอบแห้งได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์อากาศสิ่งแวดล้อม น้ำหนักของยางพาราที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าสีของยางพาราแผ่น และค่าปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองพบว่าระบบอบแห้งที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาให้มีค่าไม่เกิน $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งๆ ให้มีค่าไม่เกิน 75% ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งระหว่างการอบแห้งยางแผ่นดิบด้วยเครื่องอบแห้งๆ กับการตากแดดตามธรรมชาติพบว่า ใช้เวลาในการอบแห้งเท่า ๆ กันคือ 4 วัน แต่ยางแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งๆ นั้นแห้งตลอดทั้งแผ่น และมีความชื้นมาตรฐานเปียกที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางแผ่นดิบที่ทำการอบแห้งด้วยการตากแดดธรรมชาติที่บางจุดของยางแผ่นยังคงมีไอน้ำหลงเหลืออยู่ สอดคล้องกับผลการวัดค่าปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ (a_w) ของยางแผ่นพาราแผ่นที่ทำการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติมีค่ามากที่สุด และผลจากการทดสอบสีเครื่องวัดสี

ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ ซึ่งใช้ระบบ CIELAB พบว่ายางพาราที่อบแห้งด้วยระบบอบแห้ง มีสีเหลืองใส และสว่างกว่ายางพาราที่ตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติที่มีสีเหลืองเข้มไปทางน้ำตาล

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่นพบว่ามิตันทุนในการอบแห้ง (drying cost) ยางแผ่นดิบพร้อมขายด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาอยู่ที่ 53 บาท/กิโลกรัม โดยเครื่องอบแห้งมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period) อยู่ที่ 7.64 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) มีค่าเท่ากับ 14%

ข้อเสนอแนะ : เนื่องจากมีการทำเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดยสาธิตเผยแพร่ที่ 5 จังหวัด ซึ่งยังค่อนข้างน้อย ผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้ทำการสาธิตเผยแพร่ให้กว้างขวางกว่านี้



รายการอ้างอิง

- Alonge, A., & Oniya, O. (2012). *An indirect passive solar dryer for drying*. Paper presented at the Advanced Materials Research.
- Andharia, J. K., Bhattacharya, P., & Maiti, S. (2020). Development and performance analysis of a mixed mode solar thermal dryer for drying of natural rubber sheets in the north-eastern part of India. *Solar energy*, 208, 1091-1102.
- Breymayer, M. (1993). Solar-assisted smokehouse for the drying of natural rubber on small-scale Indonesian farms. *Renewable energy*, 3(8), 831-839.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). Heat and mass transfer. *A practical approach*.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*: John Wiley & Sons.
- Gatea, A. A. (2011). Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer for evaporating moisture in beans. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 3(4), 65-71.
- Hossain, M., Bala, B., Hossain, M., & Mondol, M. (2001). Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 103-107.
- Hussadin, M., & Pongtornkulpanich, A. (2015). Solar-biomass drying system for para rubber sheet. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*, 10(1), 37-46.
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B., Nagle, M., & Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar energy*, 83(9), 1550-1565.
- Jeentada, W., Jareanjit, J., & Tippracha, P. (2019). Drying experiment of rubber sheet using solar dryer with solar collector installed on top wall of the dryer. *วารสารวิชาการ พระจอมเกล้า พระนครเหนือ*, 29(1), 23-33.
- Jeentada, W., Phetsongkram, P., & Chankrachang, T. (2016). Drying of para rubber sheet using forced convection solar dryer. *Burapha Science Journal (วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา)*, 21(1), 87-99.
- Mataram, N., Adjie, M. D., & Nurroh kayati, A. (2021). Design and Build of a Solar Panel

- Integration Dryer and Temperature Controller with Autocad Inventor. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1).
- Ndukwu, M. C., Simo-Tagne, M., & Bennamoun, L. (2021). Solar drying research of medicinal and aromatic plants: An African experience with assessment of the economic and environmental impact. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 13(2), 247-260.
- Padungsereevit, K. (2010). ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย. University of the Thai Chamber of Commerce,
- Singh, S., & Kumar, S. (2012). Comparative thermal performance study of indirect and mixed-mode solar dryers. *International Journal of Sustainable Energy Development*, 1(1/2), 6-13.
- Singh, S., Singh, P. P., & Dhaliwal, S. (2004). Multi-shelf portable solar dryer. *Renewable energy*, 29(5), 753-765.
- Smitabhindu, R., Janjai, S., & Chankong, V. (2008). Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renewable energy*, 33(7), 1523-1531.
- Sodha, M., Ram, S., Bansal, N., & Bansal, P. (1987). Effect of PVC greenhouse in increasing the biogas production in temperate cold climatic conditions. *Energy conversion and management*, 27(1), 83-90.
- Tomar, V., Tiwari, G., & Norton, B. (2017). Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar energy*, 154, 2-13.
- เสริม จันทร์ฉาย. (2560). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ *Solar drying technology*. บริษัท เพชรเกษมพรีนติ้ง จำกัด: หน่วยวิจัย พลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร
- เสริม จันทร์ฉาย และคณะ. (2559). การ พัฒนาการ ผลิต กล้วย ตาก ใน ชุมชน กล้วย ตาก อำเภอ บางกระทุ่ม จังหวัด พิษณุโลก. *Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University*, 3(6), 310-322.
- จตุรรัตน์ น้อยหนู. (2558). การศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์แล้ว. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราช มงคล ธัญบุรี. คณะ วิศวกรรมศาสตร์. สาขา วิชา วิศวกรรม วัสดุ,
- ทองศักดิ์ ลาโพธิ์, & ยุทธนา ภูริระวณิชกุล. (2554). การพัฒนาระบบแห้งสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและ พลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 2554.

- บุญยัง สิงห์เจริญ, สรายุตร์ สวัสดิ์วงศ์ชัย, & วงกร ลิ้มศิริ. (2559). คู่มือยางพาราด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการระดับชาติ "ราชชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 8" วิจัยเพื่อประเทศไทย 4.0, 2559.
- บุญยัง สิงห์เจริญ, & สันติ साแก้ว. (2558). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, 2558.
- ประมุข, จ. ค., & ศรีบุญเรือง, พ. ว. (2020). การ ดัดสันใจ ปลุก ยางพารา ของ เกษตรกร ใน ตำบล คลอง ไทร อำเภอกำแพง จังหวัด สุราษฎร์ธานี. วารสาร เกษตร พระจอมเกล้า, 38(2), 226-234.
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. (2552). ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี = *Rubber products : manufacturing & technology*: กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.
- วสันต์ จินชาดา, พรชัย เพชร สงคราม, & ทศพร จันทร์กระจ่าง. (2016). การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยพาความร้อนแบบบังคับ. วารสาร วิทยาศาสตร์ บุรพา, 21(1), 87-99.
- สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร. (2554). อุตสาหกรรมต้นน้ำ. Retrieved from http://rubber.oie.go.th/box/ELib_Document/2438/%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%9A.pdf
- อรมน ทรัพย์วีธรรม. (2562). อนาคตยางพาราไทย ในตลาดจีนยังสดใสด้วย FTA. Retrieved from <https://www.prachachat.net/columns/news-299731>



ภาคผนวก



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐวุฒิ จันทร์เพ็ญ
วัน เดือน ปี เกิด	11 กันยายน 2539
สถานที่เกิด	เลขที่ 253 หมู่ 6 ตำบลสุโขทัย อำเภอสุโขทัย จังหวัดนราธิวาส
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 253 หมู่ 6 ตำบลสุโขทัย อำเภอสุโขทัย จังหวัดนราธิวาส

