รายงานการวิจัย

การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Drying Sheet Rubber by Tunnel Solar Dryer

วสันต์ จีนธาดา Wasan Jeentada

พรชัย เพชรสงคราม Pornchai Phetsongkram

ทศพร จันทร์กระจ่าง Thossaporn Chankrachang

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2558 และความอนุเคราะห์จากสหกรณ์สวนยางพิจิตรจำกัด ตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อการสนับสนุนโครงการวิจัยเรื่องการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและความอนุเคราะห์จากสหกรณ์สวนยางพิจิตรจำกัด ตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2558

การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

วสันต์ จีนธาดา พรชัย เพชรสงคราม และ ทศพร จันทร์กระจ่าง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการตากแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดห้องอบแห้ง 1.1 × 1.3 × 0.6 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) บรรจุยางพาราแผ่นได้ครั้งละ 20 แผ่น มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 1.1 × 2.6 × 0.1 เมตร ระบายอากาศด้วยลูกหมุนระบายอากาศขนาด 14 นิ้ว โดยต่อท่อระบายอากาศสูง 2 เมตร การทดลองได้บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ ทุกๆ 1 ชั่วโมง ส่วนน้ำหนักยางพาราแผ่นจะบันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมงในสองวันแรกและทุกๆ 2 ชั่วโมงในวันต่อมา ตั้งแต่เวลา 9:00-16:00 นาฬิกา จนยางพาราแผ่นมีความชื้นน้อยกว่า 3% มาตรฐานแห้งและเนื้อยางพาราแผ่นมีความใสสม่ำเสมอทั่วตลอดทั้งแผ่น จากผลการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 29% ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 33 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61% ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 835 w/m^2 การอบแห้งยางพาราแผ่นของทั้งสองกรณีใช้เวลาในการอบแห้ง 3 วันก็ทำให้ความชื้นของยางพาราแผ่นต่ำกว่า 3% มาตรฐานแห้ง แต่เนื้อของยางพาราแผ่นยังมีความใสไม่ทั่วตลอดทั้งแผ่นและเมื่ออบแห้งยางพาราแผ่นจนความชื้นของยางพาราแผ่นต่ำกว่า 1% มาตรฐานแห้งก็ทำให้ยางพาราแผ่นมีความใสทั่วตลอดทั้งแผ่นโดยที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 4 วัน ส่วนการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงใช้เวลาเฉลี่ย 5 วัน

คำสำคัญ: อบแห้ง; ยางพารา; พลังงานแสงอาทิตย์

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา

Drying Sheet Rubber by Tunnel Solar Dryer

Wasan Jeentada Pornchai Phetsongkram and Thossaporn Chankrachang

ABSTRACT

This study is concerned with experimental analysis of solar Tunnel drying system for Rubber Sheet comparing with natural sun drying. The dryer that consists of the drying room dimension: 1.1 × 1.3 × 0.6 m can load 20 sheets of rubber and the solar collector dimension: 1.1 × 2.6 × 0.1 m. Moreover, the system uses the excess moisture remover by the 14 inch diameter turbine vent attached ventilating pipe of 2 m. The relative humidity, solar radiation and drying temperature were recorded hourly (from 9 am to 4 pm). On the other hand, the rubber sheets weigh were recorded hourly within 1-2 days and every 2 hours in the next day. All of the data was stooped when the rubber moisture content nearly 3% (d.b.) or all transparent rubber sheet. From the results, at the solar radiation of 835 w/m^2 the drying temperature was higher than ambient temperature approximately 27 °C (average ambient temperature of 33 °C) while relative humidity of the dryer was lower than that of ambient around 29% (average ambient relative humidity of 61%). Both rubber sheets from the dryer and the natural sun drying were dried within 3 days at moisture content 3% (d.b.). However, the rubber skin was transparent incompletely. The rubber sheets at lower than moisture content 1% (d.b.) were all transparent when the drying time of the solar dryer within 4 days and 5 days for the natural sun drying.

Keywords: Drying; Rubber; Solar Energy

.....

Faculty of Engineering. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
3.1 แผนการดำเนินงาน	11
3.2 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์	13
3.3 ขั้นตอนการสร้าง/ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.4 วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	29
4.1 ผลการทดลอง	29
บทที่ 5 สรุป	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	37
ภาคผนวก ข แบบเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แผนการดำเนินโครงการ	12

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Hossain and Bala (2007)	3
2.2	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Usub และคณะ (2008)	4
2.3	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Srisittipokakun และคณะ (2012)	4
2.4	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Bala และคณะ (2003)	5
2.5	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ ยุทธศักดิ์ (2549)	6
2.6	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ พูลทวี (2550)	6
2.7	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ รัฐธิปัตย์ (2545)	7
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าความชื้นกับเวลา (ธงไชย, 2530)	9
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนค่าความชื้น (ธงไชย, 2530)	9
3.1	ลำดับวิธีการดำเนินงาน	11
3.2	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	14
3.3	ยางพาราแผ่น	14
3.4	ราวตากยาง	15
3.5	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์	15
3.6	เครื่องวัดความเร็วลม	16
3.7	เซนเซอร์วัดความเข้มแสง	16
3.8	เครื่องชั่งน้ำหนัก	17
3.9	ตู้อบไฟฟ้า	18
3.10	ความร้อนจากดวงอาทิตย์	18
3.11	แบบโครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	19
3.12	ตู้อบแห้งยางพาราแผ่น	20
3.13	การสร้างแผงรับความร้อน	20
3.14	ท่อระบายความชื่นแบบลูกหมุนดูดอากาศ	21
3.15	พื้นที่ในการทดลอง	21
3.16	ทำการประกอบเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.17	การตากยางพาราแผ่นเพื่อให้เสด็จน้ำก่อนเข้าโรงอบแห้งยางพาราแผ่น	22
3.18	การตากยางภายในเครื่องอบแห้งระยะห่างระหว่างแผ่นยาง 10 ซ.ม.	23
3.19	การยางพาราแผ่นโดยตากแดดโดยตรง	23
3.20	เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้งภายในเครื่องอบแห้ง	24
3.21	ตำแหน่งการเก็บค่าอุณหภูมิของเครื่องอบแห้ง	24
3.22	การติดตั้งแผ่นกั้นท่อระบายความชื้น	25
3.23	การชั่งน้ำหนักยางพาราแผ่น	25
3.24	การวัดค่าความเข้มแสง	26
3.25	การวัดความเร็วช่องทางเดินอากาศแผงรับความร้อน	26
3.26	การวัดความเร็วลมบรรยากาศ	27
3.27	ยางพาราแผ่นที่มีน้ำหนักคงที่และความใสของเนื้อยางสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น	27
3.28	นำยางเข้าตู้อบไฟฟ้า	28
4.1	อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	31
4.2	ความชื้นในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	33
4.3	ความชื้นยางพาราแผ่น	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ก่อให้เกิดกิจกรรมทั้งภาคการผลิต ภาคอุตสาหกรรม และภาคการตลาด เกี่ยวข้องกับทุกภาคส่วนทั้งเกษตรกร ผู้ประกอบการ และภาครัฐ ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดคือภาคใต้ รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับ การปลูกยางพารานั้นมีความเสี่ยงน้อยกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเนื่องจากมีอายุการให้ผลผลิต 25-30 ปี ก่อให้เกิดรายได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกษตรกรชาวสวนยางมีอาชีพและรายได้ที่มั่นคง การใช้ยางธรรมชาติในประเทศส่วนใหญ่เป็นยางแผ่นรมควันมากที่สุด รองลงมาเป็นน้ำยางข้น ยางแท่งเอสทีอาร์และยางแผ่นผึ่งแห้งตามลำดับ การผลิตยางแผ่นผึ่งแห้งจะอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 45-65 ºC ใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน เนื้อยางจะมีคุณลักษณะแห้งใส (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2553) หรือการทำให้แห้งโดยการผึ่งลมในที่ร่มจะทำให้เนื้อยางประเภทนี้มีลักษณะสีคล้ำ ส่วนการทำให้แห้งโดยการตากแดดโดยตรงเนื้อยางก็จะมีลักษณะใสแต่จะต้องขนย้ายยางเข้าออกเพื่อตากและเก็บทุกวันจึงไม่สะดวกต่อเกษตร จากปัญหาดังกล่าวนี้จึงได้คิดสร้างเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มาใช้อบแห้งยางพาราแผ่นสำหรับเกษตรกรตามพื้นบ้านเพื่อไม่ต้องขนย้ายยางพารา ลดเวลาในการตากแห้งยางพาราและเพิ่มมูลค่าของยางพาราแผ่นเนื่องจากการผลิตยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ยางพาราแผนมีเนื้อยางใสจึงมีราคาสูงกว่าการผลิตยางพาราแผ่นด้วยวิธีการผึ่งลมในที่ร่ม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์
2. เพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์กับการทำให้แห้งด้วยการตากแดดโดยตรง
3. เพื่อลดระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เครื่องอบแห้งมีขนาดของห้องอบ กว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.3 และสูง 0.5 เมตร สามารถบรรจุยางพาราแผ่นได้ 20 แผ่น
2. ทำการทดลอง ณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

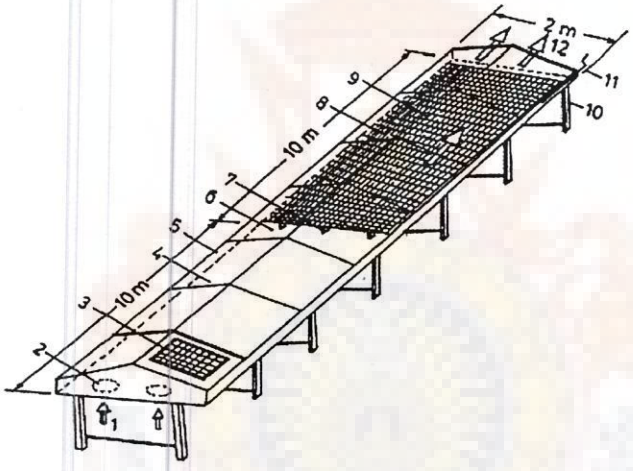
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มคุณภาพของการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้งจากการทำให้แห้งโดยการผึ่งลมในที่ร่ม
2. เพิ่มมูลค่าของการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้งจากกลุ่มชาวบ้าน
3. ลดระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรง
4. เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับชาติหรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

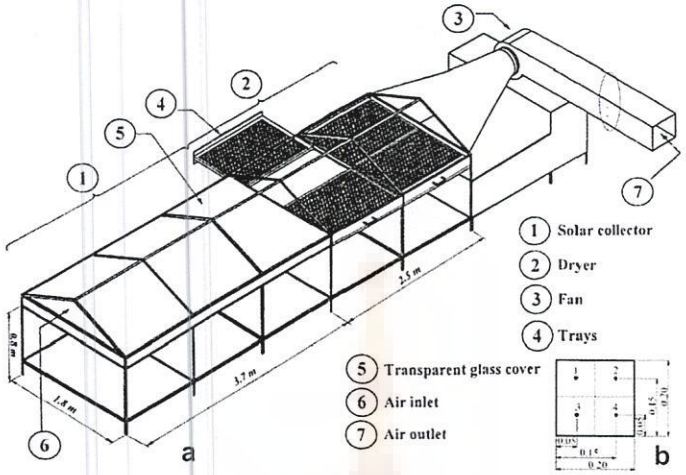
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hossain and Bala (2007) ทำการอบแห้งพริกขี้หนูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้แผ่นพลาสติกปกคลุมเพื่อสะสมพลังลังงานแสงอาทิตย์ในการทำให้อากาศร้อน มีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ เพื่อให้พลังงานแกพัดลม เครื่องอบแห้งกว้าง 2 เมตร ยาว 20 เมตร สามารถอบแห้งพริกได้ 80 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าพริกแดงความชื้นลดลงจาก 2.85-0.05 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานแห้ง) ในเวลา 20 ชั่วโมง ส่วนการตากแดดโดยตรงใช้จะใช้เวลา 32 ชั่วโมง พริกเขียวความชื้นลดลง 7.6-0.06 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานแห้ง) ในเวลา 22 ชั่วโมง ส่วนการตากแดดโดยตรงใช้จะใช้เวลา 35 ชั่วโมง



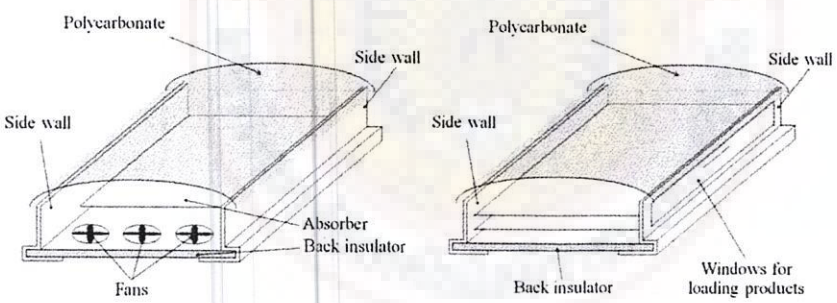
รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Hossain and Bala (2007)

Usub และคณะ (2008) ทำการอบแห้งไหมดักแด้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ใช้กระจกใสหนา 3 มิลลิเมตรปกคลุมเครื่องอบแห้งเพื่อสะสมความร้อนให้กับอากาศภายในอุโมงค์ มีพัดลมเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ เครื่องอบแห้งมีขนาดความกว้าง 1.8 เมตร ยาว 6.2 เมตร สูง 0.8 เมตร สามารถอบแห้งได้ 30 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าดักแด้ความชื้นลดลง 3.7-0.2 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานเปียก) ใช้เวลา 570 นาที โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 0.3 กิโลกรัม/วินาที ส่วนการตากแดดโดยตรงจะใช้เวลา 945 นาที ซึ่งสามารถประหยัดเวลาไปได้ 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Usub และคณะ (2008)

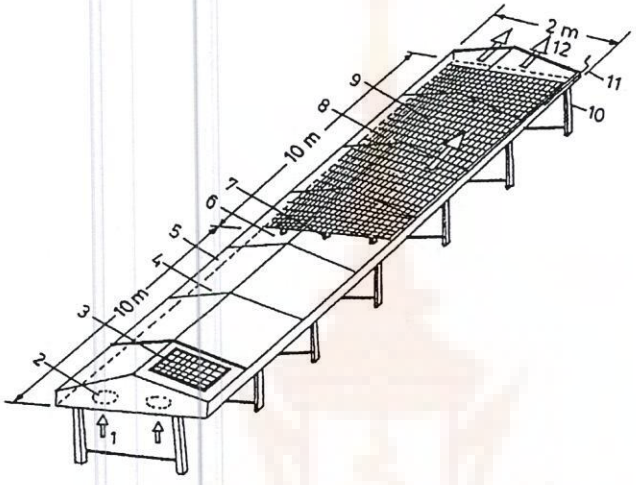
Srisittipokakun และคณะ (2012) อบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตปกคลุมเครื่องอบแห้งเพื่อสะสมความร้อนให้กับอากาศภายในอุโมงค์ มีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงระบายอากาศ 3 ตัว ขับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 15 วัตต์ เครื่องอบแห้งมีขนาดความกว้าง 1.22 เมตร ยาว 12.2 เมตร ผลการทดลองพบว่าฟ้าทะลายโจรความชื้นลดลง 75-7 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานเปียก) ใช้เวลา 2-3 วัน



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Srisittipokakun และคณะ (2012)

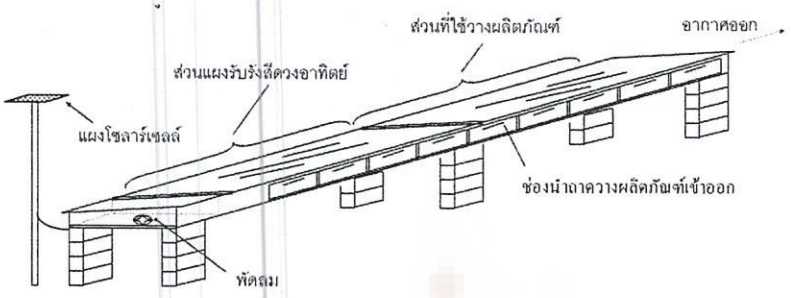
Bala และคณะ (2003) อบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ใช้แผ่นพลาสติกปกคลุมเพื่อสะสมพลังลังงานแสงอาทิตย์ในการทำให้อากาศร้อน มีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว ขนาด 6 นิ้ว 12 โวลต์ 1.2 แอม ขับด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 41.6 วัตต์ เครื่องอบแห้งกว้าง 2 เมตร ยาว 20 เมตร สามารถอบสับปะรดได้ 150 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า

สัปปะรดความชื้นลดลงจาก 87.32-14.13 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานเปียก) ในเวลา 3 วัน ส่วนการตากแดดโดยตรงในเวลาเท่ากันจะมีความชื้นลดลงเหลือ 21.52 กิโลกรัม/กิโลกรัม (ฐานเปียก) เครื่องอบแห้งจะมีอุณหภูมิในช่วง 34.1-64.0 °C สำหรับการเปลี่ยนแปลงในพลังงานแสงอาทิตย์จาก 0-580 W/m^2



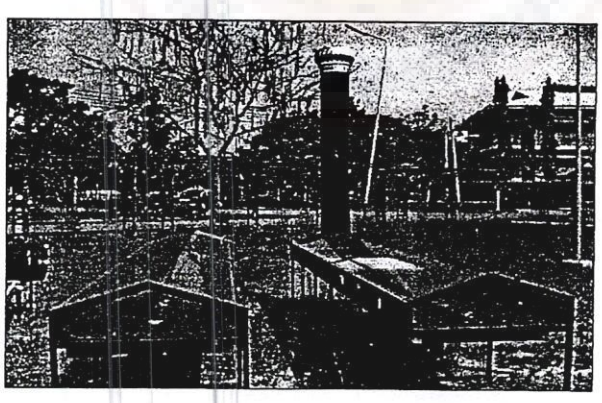
รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ Bala และคณะ (2003)

ยุทธศักดิ์ (2549) ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่ใช้กระจกปิดด้านบน เครื่องอบแห้งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นราบและส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ ที่มีกระจกปิดด้านบนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะทำหน้าที่ผลิตอากาศร้อนและเป่าเข้าไปในส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยพัดลม ซึ่งทำงานด้วยกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ขนาด 15 W ผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบจะแผ่เป็นชั้นบางอยู่บนถาดในส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งรับความร้อนทั้งจากอากาศร้อนที่ไหลมาจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผลิตภัณฑ์โดยตรง ทำการทดลองทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยการทดลองอบแห้งกล้วยครั้งละ 100 กิโลกรัม จำนวน 5 ครั้ง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบแห้งแปรค่าระหว่าง 40°C - 80°C โดยใช้เวลาในการทดลองประมาณ 4-5 วัน เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งตามธรรมชาติที่ใช้เวลา 6-7 วัน



รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ ยุทธศักดิ์ (2549)

พูลทวี (2550) ศึกษาเทคนิคการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ด้วยการใช้ปล่องความร้อน ลูกหมุนดูดอากาศ และสารดูดความชื้น (ซิลิกาเจล) โดยมีผ้าชุบน้ำและกล้วยน้ำหว้าเป็นตัวอย่างในการทดลอง เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดาและการตากแดดโดยตรง ผลการทดลองพบว่า กรณีทดลองอบผ้าม้วนชุบน้ำ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีการเพิ่มปล่องความร้อนและใช้ปล่องความร้อนคู่กับลูกหมุนดูดอากาศ มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดาและการตากแดดโดยตรง 8 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของกรณีใช้สารดูดความชื้นร่วมกับปล่องความร้อนและลูกหมุนดูดอากาศพบว่ามีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดาและการตากแดดโดยตรง 10 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว่า พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้สารดูดความชื้นร่วมกับปล่องความร้อนและลูกหมุนดูดอากาศ จะทำให้มีสมรรถนะสูง สามารถลดความชื้นของกล้วยน้ำว้าจากความชื้นเริ่มต้น 227 เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 52 เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง) ภายในระยะเวลา 4 วัน



รูปที่ 2.6 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ พูลทวี (2550)

รัฐธิปัตย์ (2545) พัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.5 เมตร อบพริกชี้ฟ้าสดได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ พื้นที่รับแสงและพื้นที่อบแห้งวางต่อกันเป็นแนวยาวโดยทั้งสองส่วนคลุมด้วยพลาสติกใสและใช้พัดลมช่วยในการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน จากการศึกษาพบว่าการปิดส่วนต้นทางของพื้นที่รับแสงเพื่อให้อากาศไหลผ่านน้อยที่สุด โดยติดตั้งพัดลม 3 ตัว บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่รับแสงกับพื้นที่อบแห้งซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศ 0.59-1.18 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และใช้อัตราส่วนพื้นที่รับแสงต่อพื้นที่อบแห้ง 3:2 สามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งได้เฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส คือเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียสเป็น 65 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของพริกจาก 72-73 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7-8 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ภายในเวลา 2 วัน

รูปที่ 2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของ รัฐธิปัตย์ (2545)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผลิตภัณฑ์และการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ความร้อนสัมผัสจากอากาศที่ผลิตภัณฑ์ได้รับส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

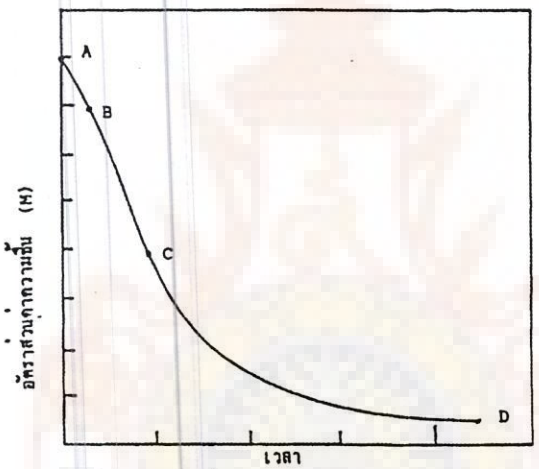
กลไกลการอบแห้งโครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์จากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ประกอบด้วยช่องว่างเป็นรูพรุนหรือหลอดเล็ก การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในอาจเนื่องมาจากการแพร่ของ

ของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น การแพร่ของไอเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอย่อยซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของของเหลวเนื่องจากแคปปิลารี (Capillarity) การไหลของไอหรือของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม ซึ่งเกิดจากความดันภายนอก การหดตัว อุณหภูมิที่สูง และความเป็นแคปปิลารี (Capillarity) การเคลื่อนที่ของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ

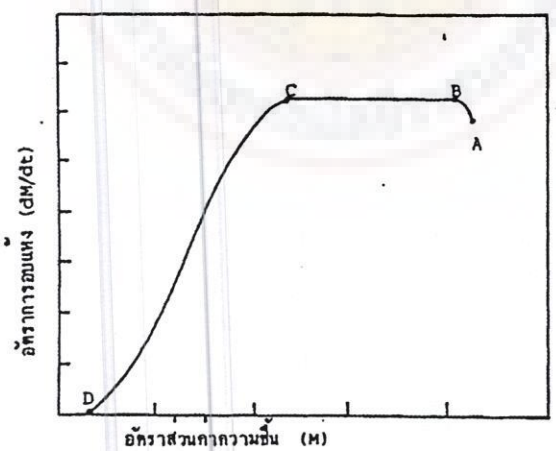
ทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับการอบแห้งจะอธิบายเกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง ทฤษฎีที่อธิบายการส่งผ่านความร้อนและความชื้นในผลิตภัณฑ์รูพรุนมีเช่นทฤษฎีการแพร่ (Diffusion Theory) ทฤษฎีแคปปิลารี (Capillary Therory) ทฤษฎีการกลายเป็นไอและการควบแน่น (Vaporization-Condensation Theory)

วิธีทดลองหาอัตราการอบแห้งโดยทั่วๆ ไปคือการติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นในรูปของความชื้นหรือในรูปอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูป 2.8 เมื่อนำมาเขียนเป็นอัตราการอบแห้ง (dM/dt) จะได้ดังรูป 2.9 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้งจะพบว่าอัตราการอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วง AB เป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ช่วงที่สอง AB เป็นช่วงเส้นตรงซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การอบแห้งช่วงนี้มักพบกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง (มากกว่า 70-75 เปอร์เซ็นต์) การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศจะเท่ากับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มายังผิวหน้า การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์เท่านั้นเปรียบได้กับการระเหยของน้ำจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก ดังนั้นอุณหภูมิผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง อัตราการระเหยที่ผิวหน้าหาได้จากอัตราการแพร่ของความชื้นผ่านชั้นผิวของอากาศรอบๆ ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสัดส่วนกับผลต่างระหว่างความดันย่อยของไอน้ำที่ผิว (อุณหภูมิกระเปาะเปียก) กับของอากาศอบแห้ง อัตราอบแห้งช่วงนี้สามารถอธิบายได้ในรูปความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและความร้อน พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศและผลต่างของอุณหภูมิเรียกว่าสมการการอบแห้งคงที่ จุด C เป็นจุดที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (CD) ความชื้นจุดนี้เรียกว่า ค่าความชื้นวิกฤติ (Critical Moisture Content) ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และสภาวะในการอบแห้ง ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (CD) ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤติ อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในผลิตภัณฑ์มายังผิวหน้าต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวหน้าสู่อากาศ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในตัวผลิตภัณฑ์มาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ในลักษณะของเหลวและ/หรือไอน้ำและจะถูกควบคุมโดยการต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดเกรเดียนท์ความชื้นและอุณหภูมิในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรกขณะที่ผลิตภัณฑ์ยังมีปริมาณความชื้นสูง เมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงมากแล้วน้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ และโมเลกุลของน้ำที่เกาะภายในของผนังของช่องว่างมีความหนาเพียงสองสามโมเลกุล ซึ่งอัตราการอบแห้งลดลงจะถูกควบคุมด้วยตัวแปรภายในได้แก่ การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในโครงสร้างผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า สมการอัตราการอบแห้งลดลง อัตราอบแห้งจะเป็นศูนย์เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ปริมาณความชื้นสมดุล (D) ซึ่งหมายความว่าความดันไอของน้ำภายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำของอากาศที่สภาวะนั้นๆ ปกติแล้วที่สภาวะอากาศหนึ่งๆ ค่าความชื้นวิกฤติและปริมาณความชื้นสมดุล ตลอดจนอัตราการอบแห้งจะเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าความชื้นกับเวลา (ธงไชย, 2530)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนค่าความชื้น (ธงไชย, 2530)

ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุหรือวัสดุแห้ง การบอกความชื้นในวัสดุมี 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักแห้งของวัสดุ ดังสมการ

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$MC_{wb} = m_w/(m_w + m_d) = (m_t - m_d)/m_t \quad (2.1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$MC_{db} = m_w/m_d = (m_t - m_d)/m_d \quad (2.2)$$

เมื่อ MC_{wb} คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

MC_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

m_t คือ มวลของวัสดุที่เวลาใดๆ (kg)

m_w คือ มวลของน้ำในวัสดุ (kg)

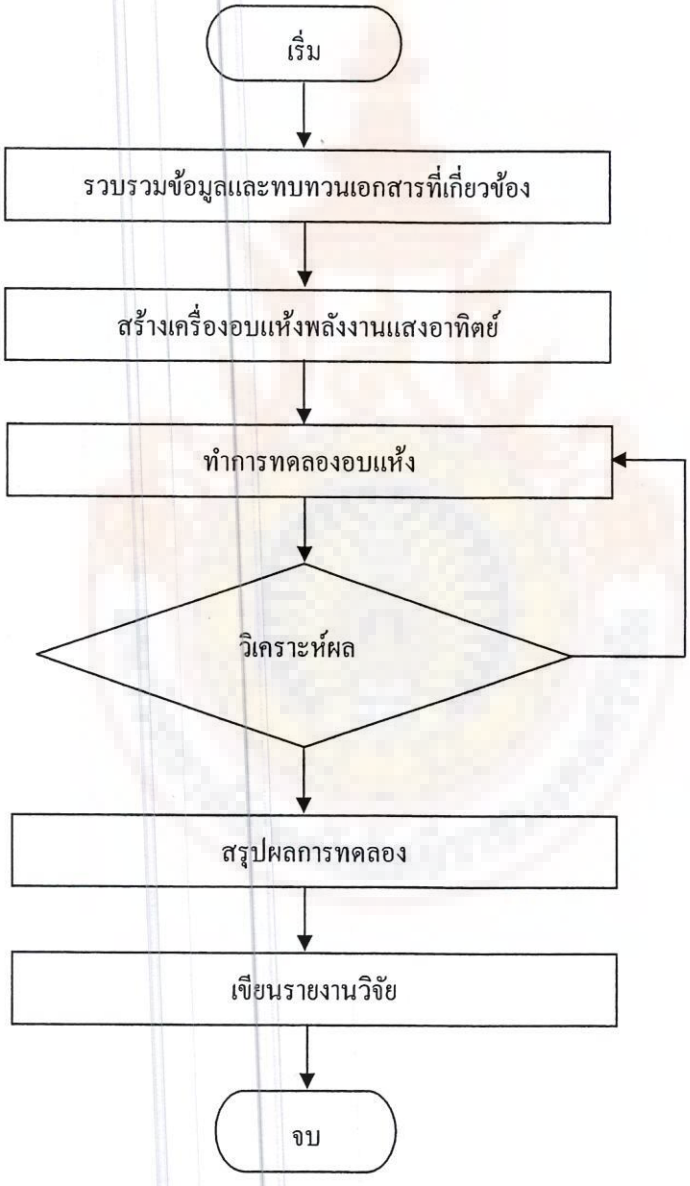
m_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

ความชื้นแบบมาตรฐานแห้งนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะทำให้การคำนวณสะดวกขึ้นเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งมีค่าคงที่ระหว่างการอบแห้ง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ทำการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีลำดับขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1 และแผนการดำเนินโครงการดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลำดับวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	2557			2558								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
รวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง												
สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์												
ทำการทดลองอบแห้ง												
วิเคราะห์ผล												
สรุปผลการทดลอง												
เขียนรายงานวิจัย												

3.2 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

2) ยางพาราแผ่น

3) ราวตากยางพาราแผ่น

4) เครื่องมือวัดอุณหภูมิกะเปาะเปียกและกะเปาะแห้ง

5) เครื่องวัดความเร็วลม

6) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

7) เครื่องชั่งน้ำหนัก

8) ตู้อบแห้งไฟฟ้า

9) ความร้อนจากดวงอาทิตย์

3.2.2 ขอบเขตของเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

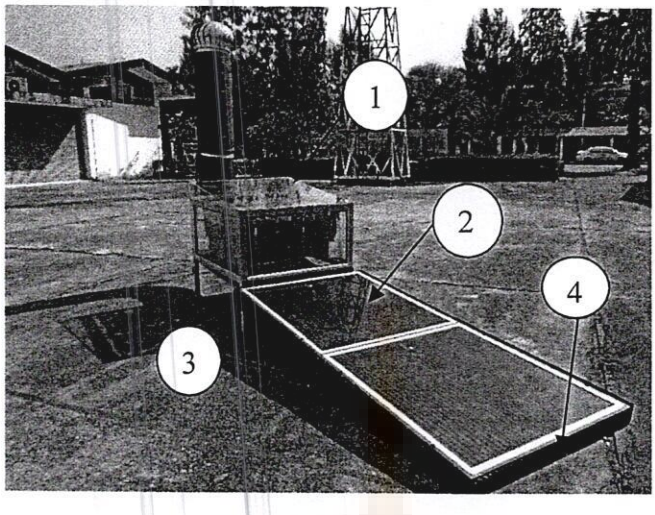
1) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์พื้นที่อบแห้ง ขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.3 และสูง 0.5 เมตร แผงรับความร้อนมีขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.6 เมตร และสูง 0.1 เมตร ใช้ลูกหมุนดูดอากาศระบายความชื้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 นิ้วเครื่องอบแห้งสามารถบรรจุยางพาราแผ่นได้ 20 แผ่น ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีวัสดุดังนี้

จุดที่ 1 ตู้อบแห้งปกคุมด้วยกระจก

จุดที่ 2 แผงรับความร้อนปกคุมด้วยกระจก

จุดที่ 3 ฉนวนยางดำ Aero flex ขนาด 1 นิ้ว

จุดที่ 4 พื้นของแผงรับความร้อนทำด้วยสังกะสีลอนสีดำ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

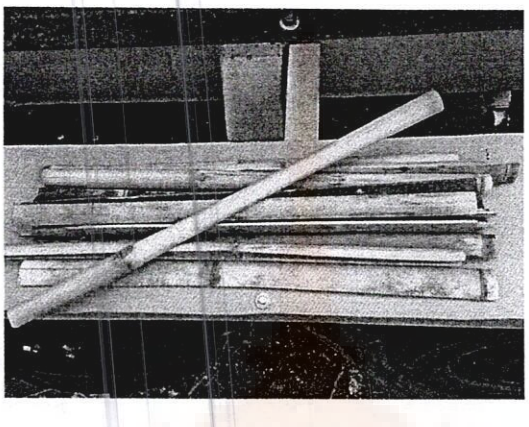
2) ยางพาราแผ่น

ยางแผ่นดิบที่ใช้ในการอบนั้น จะต้องมีความหนาประมาณ 2 - 4 ม.ม. และต้องเป็นยางแผ่นที่มีความสะอาดค่อนข้างสูง เพราะเมื่ออบยางแผ่นเสร็จแล้วจะทำให้ยางมีความใส ทำให้สามารถเห็นขยะภายในเนื้อยาง ขยะในส่วนนี้จะทำให้ราคายางแผ่นตกได้ ราคาของยางแผ่นจะขึ้นอยู่กับความสะอาดภายในเนื้อยางและความสุกของยาง ซึ่งจะแบ่งเป็นเกรดและแต่ละเกรดราคาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับคุณภาพของเนื้อยางในการทดลองจะใช้ยางพาราแผ่น 24 แผ่น ต่อครั้งการทดลอง

รูปที่ 3.3 ยางพาราแผ่น

3) ราวตากยาง

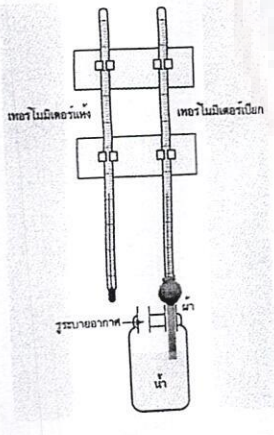
ราวตากยางจะใช้เป็นไม้ไผ่มีขนาดความกว้าง 3 cm ยาว 60 cm เพราะมีความคงทนแข็งแรงเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก ในการทดลองจะใช้ไม้ไผ่แห้งและทำความสะอาดทุกครั้งก่อนนำไปใช้



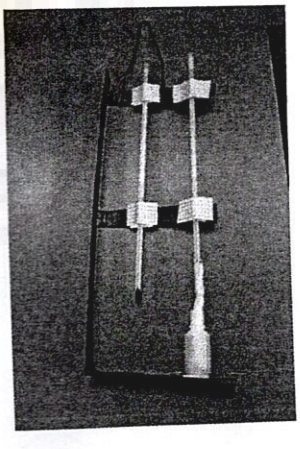
รูปที่ 3.4 ราวตากยาง

4) เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบแอลกอฮอล์ ใช้วัดอุณหภูมิ ต่ำสุด/สูงสุด 0-100 ใช้จำนวน 5 แท่ง ใช้วัดอุณหภูมิแกระเปาะแห้ง 4 แท่ง และวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก 1 แท่ง



(ก)

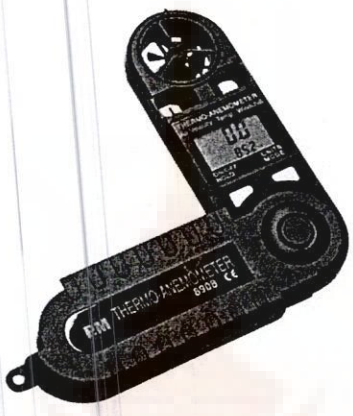


(ข)

รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์

5) เครื่องมือวัดความเร็วลม

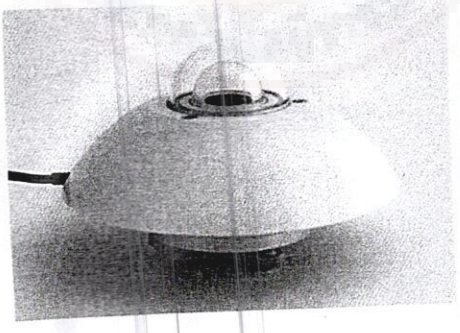
เป็นเครื่องวัดความเร็วและอุณหภูมิแบบพกพา ยี่ห้อ THERMO-ANEMOMETER รุ่น 8908 ขนาด 235 x 45 x 25 ม.ม. สามมารถวัดความเร็วลมได้ สูงสุด/ต่ำสุด 0.5 ~ 44.7 ไมล์ต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเร็วลม

6) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

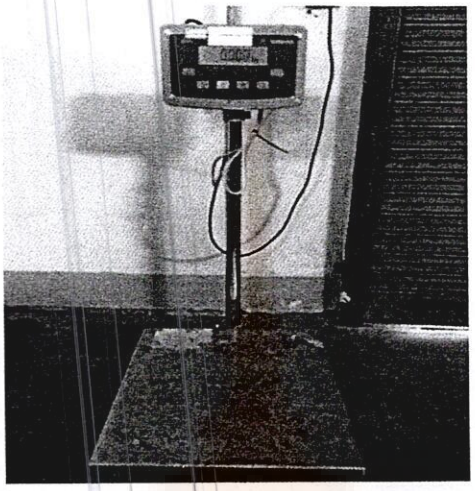
เซนเซอร์วัดความเข้มแสง Solar Radiation Sensor - First Class รุ่น SR 11 ยี่ห้อ Hukseflux เป็นเครื่องวัดความเข้มแสงโดยมีโดมครึ่งวงกลมแก้วแสงมีซีลกันน้ำ แต่สามารถจะนำออกมาซ่อมแซมและมีสกรูสามารถปรับระดับฐานติดตั้งในแนวตั้งด้วยท่อ 3/4 นิ้ว เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้ง



รูปที่ 3.7 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

7) เครื่องชั่งน้ำหนัก

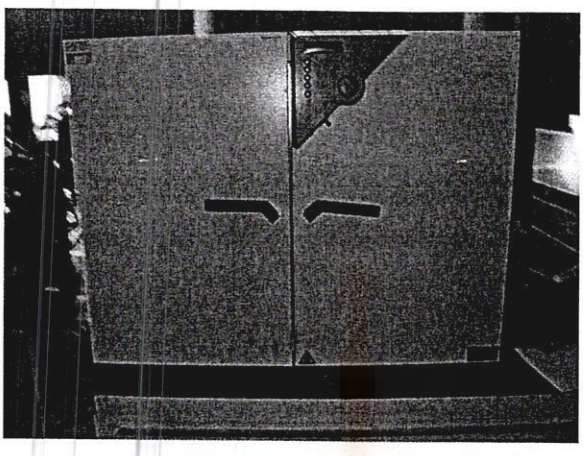
เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Sartorius รุ่น Miras สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 50 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 1/1000 กิโลกรัม



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

8) ตู้อบไฟฟ้า

ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ BINDERรุ่น BINDER FED720 เป็นตู้อบลมร้อนที่มีระบบแพร่กระจายความร้อนเป็นแบบ Forced Convection โดยสามารถปรับความเร็วของพัดลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 % ทำให้ความร้อนกระจายได้ทั่วถึงตลอดทั้งตู้ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Electronically controlled APT.lineTM (Advanced Preheating Camber Technology) ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ให้คงที่และเท่ากันทุกจุด โดยปรับเพิ่มหรือลดอุณหภูมิได้ละเอียด 1 องศาเซลเซียส สามารถตั้งเวลาในการทำงานได้นานถึง 99 ชั่วโมง 59 นาที และตั้งการทำงานแบบต่อเนื่องได้ขนาดภายในตู้ (กว้าง x ลึก x สูง) 1000 x 600 x 1200 มิลลิเมตร. ขนาดภายนอกตู้ (กว้าง x ลึก x สูง) 1234 x 865 x 1528 มิลลิเมตร ใช้ไฟฟ้า 400 โวลต์ 50/60 เฮิร์ทระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส



รูปที่ 3.9 ตู้อบไฟฟ้า

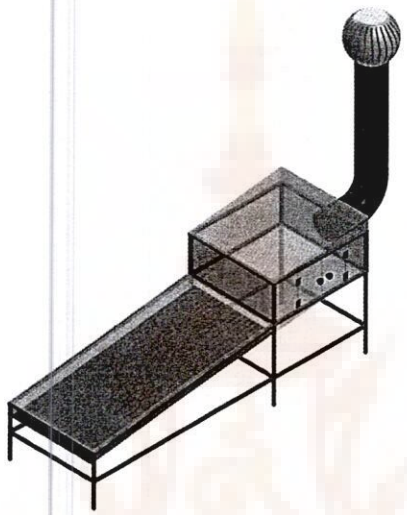
9) ความร้อนจากดวงอาทิตย์

ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถือเป็นองค์ประกอบหลักในการทดลอง โดยอาศัยความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เพื่อสะสมความร้อนให้แก่แผงรับความร้อนและบริเวณพื้นที่อบแห้ง

รูปที่ 3.10 ความร้อนจากดวงอาทิตย์

3.3 ขั้นตอนการสร้าง/ขั้นตอนการดำเนินงาน

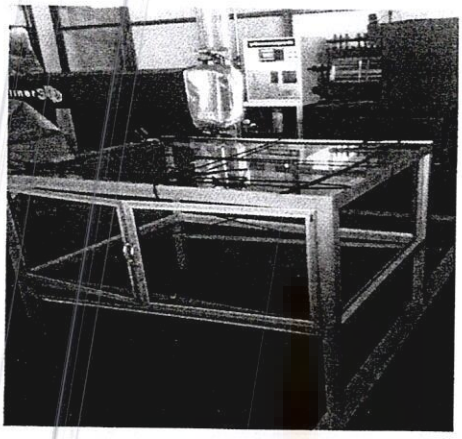
3.3.1 การออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนเครื่องอบแห้งทำการออกแบบเพื่อให้ได้เครื่องอบแห้งที่สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดและเพื่อการใช้งานอย่างสะดวกมีประสิทธิภาพ ลักษณะโครงสร้างโดยรวมที่ทำการออกแบบดังรูป



รูปที่ 3.11 แบบโครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

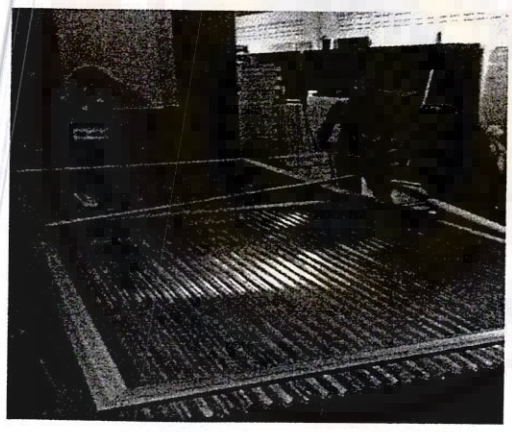
3.3.2 ทำการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน

1) ตู้อบแห้ง เป็นชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ บรรจุยางพาราแผ่น เก็บสะสมความร้อน จากแผงรับ ความร้อน ลักษณะของผนังตู้ทำจากกระจกใส ทำให้สามารถรับความร้อนได้โดยตรงจากแสงอาทิตย์อีกด้วย



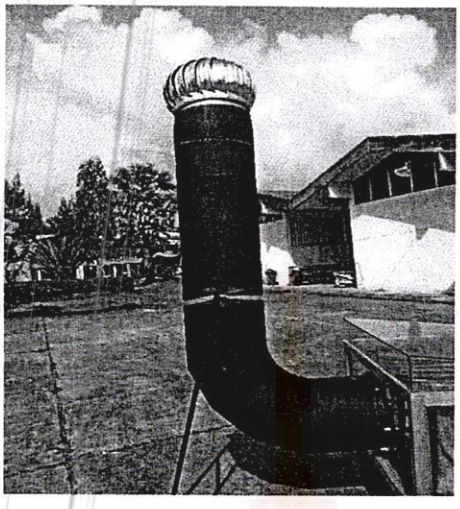
รูปที่ 3.12 ตู้อบแห้งยางพาราแผ่น

2) แผงรับความร้อนเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีช่องทางเดินอากาศ แผ่นสะสะสมความร้อนทำจากแผ่นสังกะสีพ่นด้วยสีดำ ผนังด้านข้างซ้าย-ขวา และด้านล่างจะปิดด้วยฉนวนกันความร้อน ส่วนผนังด้านบนจะปิดด้วยแผ่นกระจกใสเพื่อให้สามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์และเกิดช่องลมทำให้อากาศไหลผ่าน อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจากแผงรับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศภายในตู้อบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า



รูปที่ 3.13 การสร้างแผงรับความร้อน

3) ท่อระบายความชื้นใช้ท่อระบายความชื้นแบบลูกหมุนดูดอากาศ ทำจากโลหะแผ่นขึ้นรูปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อขนาด 14 นิ้ว สูง 1.5 เมตรผิวของท่อถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน

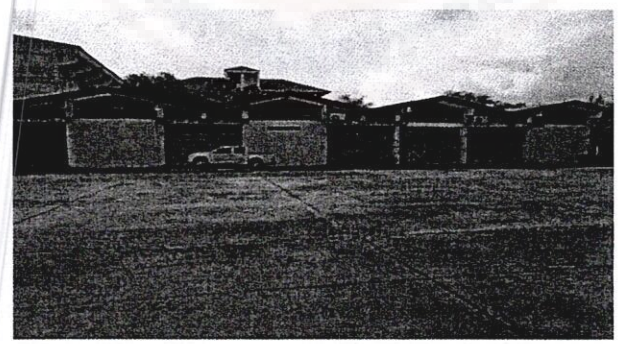


รูปที่ 3.14 ท่อระบายความชื้นแบบลูกหมุนดูดอากาศ

3.4 วิธีการทดลอง

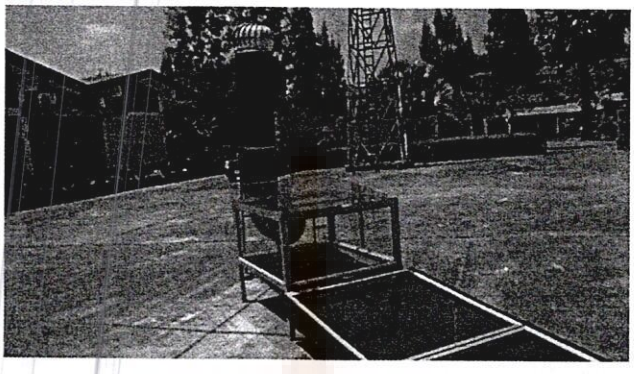
การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ใช้เวลาในการทดลองวันละ 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 นาฬิกาของทุกวัน จะทำการทดลอง 3 ครั้ง จนกว่าน้ำหนักยางจะมีความคงที่หรือที่ความชื้น 1% มาตรฐานแห้ง โดยใช้ยางพารา 20 แผ่นต่อครั้ง การทดลองในเครื่องอบแห้งและทำการตากแห้งยางพาราแผ่นอีก 4 แผ่น ณ ที่บรรยากาศภายนอก เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างระหว่างการตากแห้งแบบธรรมชาติกับการใช้เครื่องอบแห้ง โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) จัดเตรียมพื้นที่ในการทดลอง พื้นที่ในการทดลองควรเป็นพื้นที่ ที่สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวัน พื้นควรปูด้วยคอนกรีตและไม่มีน้ำท่วมขัง



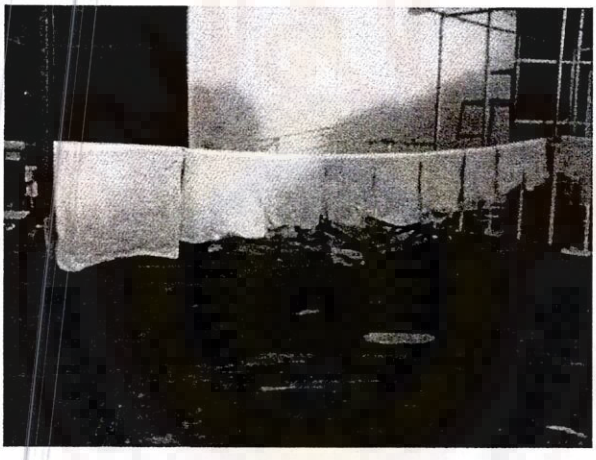
รูปที่ 3.15 พื้นที่ในการทดลอง

2) ประกอบเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



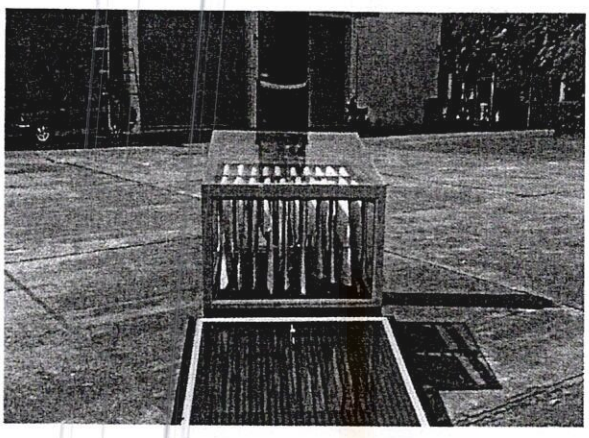
รูปที่ 3.16 ทำการประกอบเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

3) นำยางพาราแผ่นมาทำความสะอาดและตากให้เสด็จน้ำเป็นเวลา 30 นาที

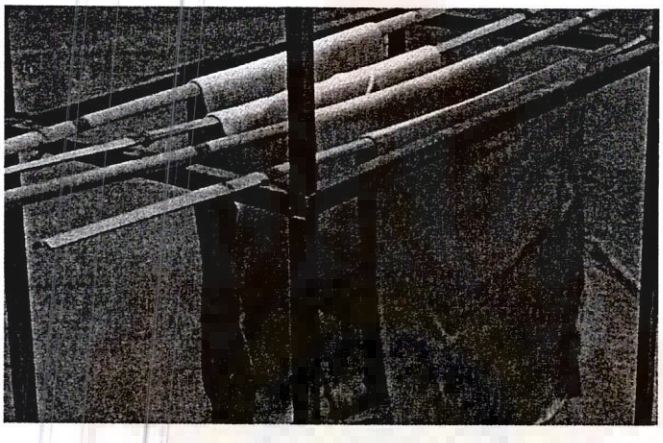


รูปที่ 3.17 การตากยางพาราแผ่นเพื่อให้เสด็จน้ำก่อนเข้าโรงอบแห้งยางพาราแผ่น

4) นำยางพาราเข้าเครื่องอบแห้งจำนวน 20 แผ่น และอีก 4 แผ่น ตากไว้ ณ บรรยากาศภายนอก ดังรูปที่ 3.17, 3.18



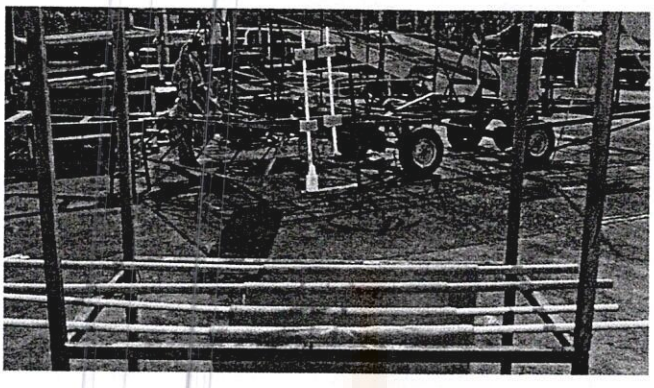
รูปที่ 3.18 การตากยางภายในเครื่องอบแห้งระยะห่างระหว่างแผ่นยาง 10 ซ.ม.



รูปที่ 3.19 การยางพาราแผ่นโดยตากแดดโดยตรง

5) ค่าที่บันทึกในการทดลองค่าต่างๆที่ได้จากทดลองจะทำการบันทึกผลตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00 ของทุกวัน

1. การวัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง ที่บรรยากาศภายนอกเพื่อหาค่าความชื้นสัมพัทธ์



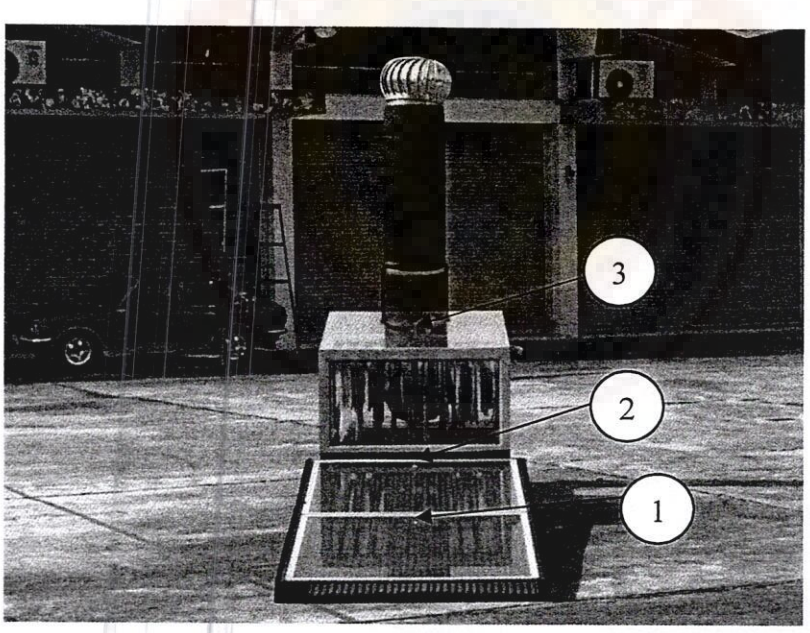
รูปที่ 3.20 เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้งภายในเครื่องอบแห้ง

2. การเก็บค่าอุณหภูมิภายในของเครื่องอบแห้งในการทดลองใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งไว้ที่เครื่องอบแห้ง ณ จุดต่างๆ ได้แก่

จุดที่ 1 ทางเข้าอากาศของแผงรับความร้อน

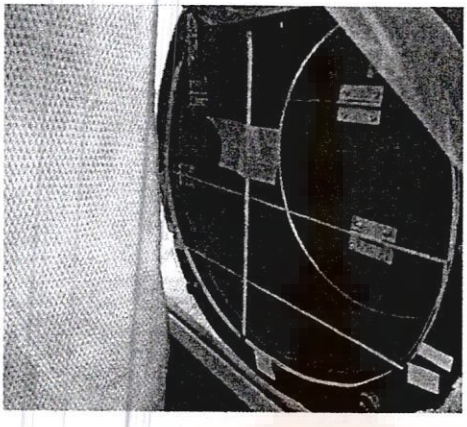
จุดที่ 2 ทางออกของแผงรับความร้อน อยู่ระหว่างแผงรับและบริเวณพื้นที่อบแห้ง

จุดที่ 3 บริเวณพื้นที่อบแห้ง จะทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งเพื่อนำค่าอุณหภูมิไปหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ ตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.21



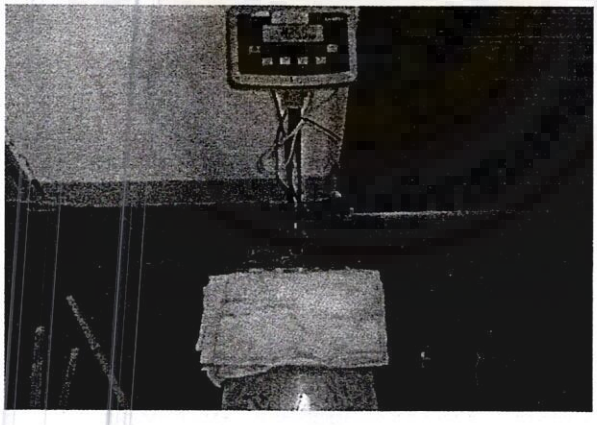
รูปที่ 3.21 ตำแหน่งการเก็บค่าอุณหภูมิของเครื่องอบแห้ง

3. การควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งยางพาราแผ่นควรอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส จึงทำการควบคุมการไหลของอากาศบริเวณพื้นที่อบแห้ง โดยใช้แผ่นกั้นปิดบริเวณท่อระบายความชื้นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.22 การติดตั้งแผ่นกั้นท่อระบายความชื้น

4. การเก็บค่าน้ำหนักยางพาราแผ่น วิธีการเก็บค่านำยางพาราแผ่นภายในเครื่องอบแห้ง โดยเลือกตัวอย่าง 4 แผ่นแรก คือแถวที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นยางชุดเดียวกับที่ชั่งน้ำหนักก่อนทดลอง และยางพาราแผ่นที่ตากแห้งแบบธรรมชาติทั้ง 4 แผ่น การเก็บค่าน้ำหนักยางภายใน 2 วันแรกจะทำการชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่งโมง หลังจากวันที่ 2 จะทำการชั่งน้ำหนักทุกสองชั่วโมง



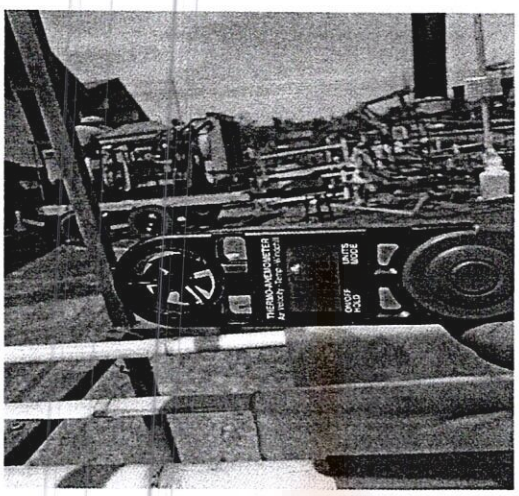
รูปที่ 3.23 การชั่งน้ำหนักยางพาราแผ่น

5. การวัดค่าความเข้มแสงจะทำการเก็บค่าทุก 1 ชั่วโมง ในการทดลองแต่ละวัน

รูปที่ 3.24 การวัดค่าความเข้มแสง

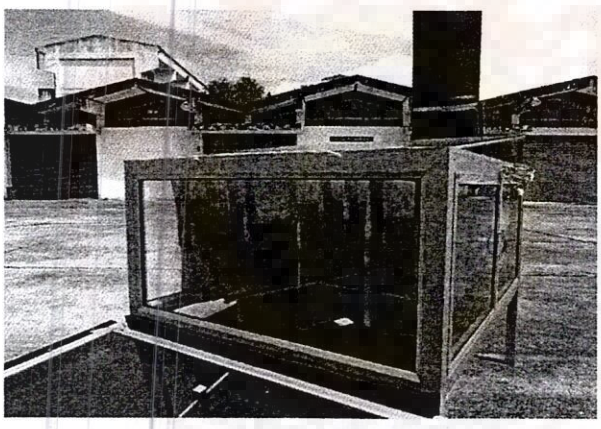
6. การวัดความเร็วลม ทำการวัดความเร็วลมทุก 1 ชั่วโมง ทำการวัดค่าความเร็วลมบริเวณช่องทาง เดินอากาศของแผงรับความร้อนและความเร็วลมของบรรยากาศภายนอก

รูปที่ 3.25 การวัดความเร็วช่องทางเดินอากาศแผงรับความร้อน



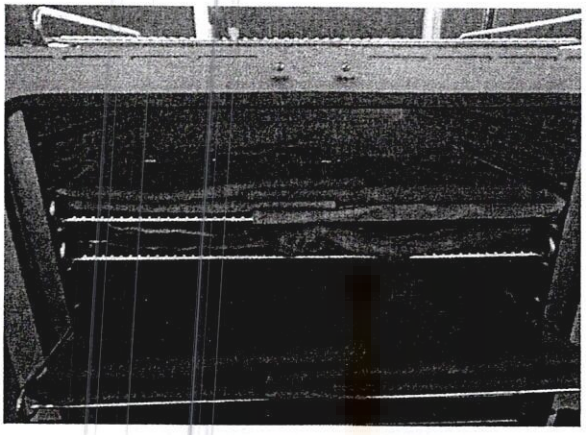
รูปที่ 3.26 การวัดความเร็วลมบรรยากาศ

7. การหามวลแห้งยางพาราแผ่นเมื่อยางพาราแผ่นมีน้ำหนักคงที่และเนื้อยางมีความใส สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เราจะนำยางพาราแผ่นเข้าตู้อบไฟฟ้าเพื่อหามวลแห้งของยางแผ่น



รูปที่ 3.27 ยางพาราแผ่นที่มีน้ำหนักคงที่และความใสของเนื้อยางสม่ำเสมอทั่วทั่งแผ่น

การนำยางพาราแผ่นเข้าตู้อบเราจะเลือกตัวอย่างยางจากเครื่องอบแห้ง จำนวน 4 แผ่น ซึ่งเป็นตัวอย่างเดียวกับยางที่เลือกนำมาชั่งน้ำหนักและยางพาราแผ่นที่ตากแดดโดยตรงอีก 4 แผ่น นำเข้าตู้อบ ปรับอุณหภูมิตู้อบที่ 55 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 48 ชั่วโมงในการอบแห้ง เมื่อนำยางออกจากตู้อบ จะนำยางไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหามวลแห้งของยาง



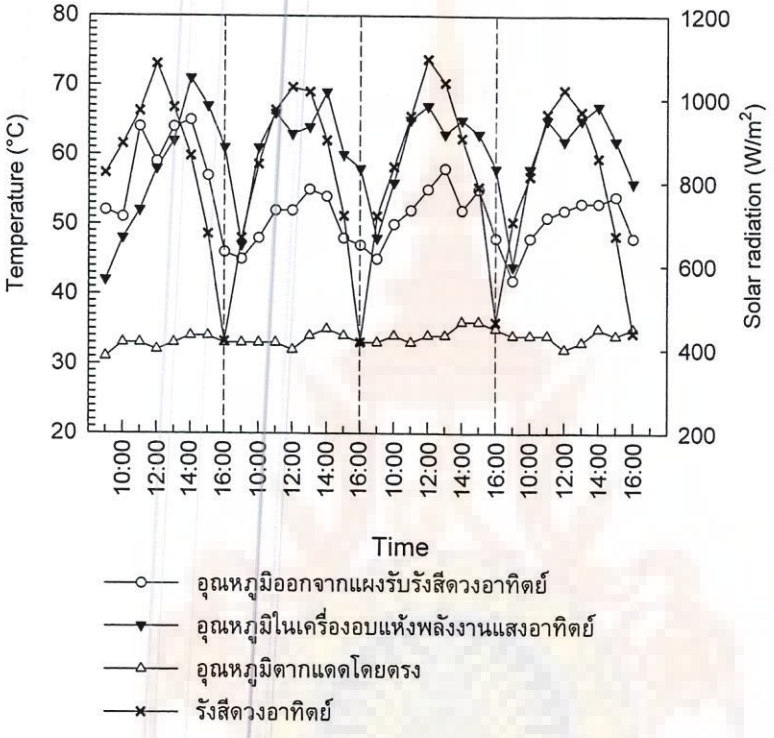
รูปที่ 3.28 นำยางเข้าตู้อบไฟฟ้า

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

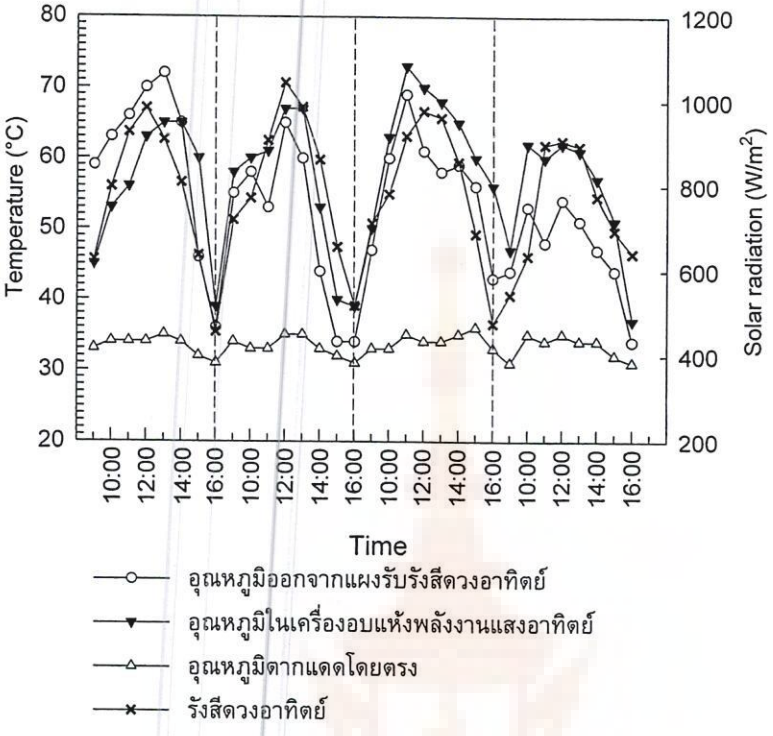
4.1 ผลการทดลอง

การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 60 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 32% ในขณะที่สภาวะอากาศของการตากแดดโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61% ที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 835 w/m^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.2 โดยการเฉลี่ยค่าในช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา ของทุกวันที่ทำการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิที่ทางออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาประมาณ 09:00-14:00 นาฬิกา ของวันแรกที่เริ่มทำการอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นยังสูงมีความชื้นระเหยออกมามากจึงทำให้อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทางออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ส่วนการอบแห้งหลังจากวันแรกอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งก็จะสูงกว่าอุณหภูมิที่ทางออกแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากมีปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นระเหยออกมาน้อยพร้อมกับบริเวณของห้องอบแห้งก็ออกแบบให้สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ด้วยจึงทำให้อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ทางออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ การลดลงของความชื้นในยางพาราแผ่นนั้นใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 3 วันก็จะทำให้ยางพาราแผ่นมีความชื้นลดลงเหลือต่ำกว่า 3% มาตรฐานแห้ง ทั้งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรง เมื่อนำยางพาราแผ่นไปจำหน่ายก็จะถูกลดระดับคุณภาพของยางพาราแผ่นและทำให้ราคาของยางพาราแผ่นลดลงเนื่องจากยางพาราแผ่นมีความใสไม่ทั่วตลอดทั้งแผ่นจึงต้องอบแห้งยางพาราแผ่นจนเนื้อยางพารามีความใสทั่วตลอดทั้งแผ่นซึ่งพบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 4 วัน มีความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงต่ำกว่า 1% มาตรฐานแห้ง และการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงใช้เวลาเฉลี่ย 5 วัน มีความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงต่ำกว่า 1% มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และเมื่อนำยางพาราแผ่นไปจำหน่ายก็สามารถจำหน่ายยางพาราแผ่นได้ในระดับคุณภาพดีมีราคาสูงขึ้นจึงอธิบายได้ว่าการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยแสงอาทิตย์ต้องอบแห้งจนมีความชื้นของยางพาราแผ่นเหลือน้อยกว่า 1% มาตรฐานแห้ง จึงจะทำให้ยางพาราแผ่นมีความใสทั่วตลอดทั้งแผ่น การทดลองนี้ก็ยังพบว่าการอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถ้าให้แสงอาทิตย์สัมผัสกับยางพาราแผนโดยตรงก็จะทำให้ยางพาราแผ่นเหนียวเยิ้มเหมือนจะละลายจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่ยางพาราแผ่นสัมผัสอยู่กับไม้

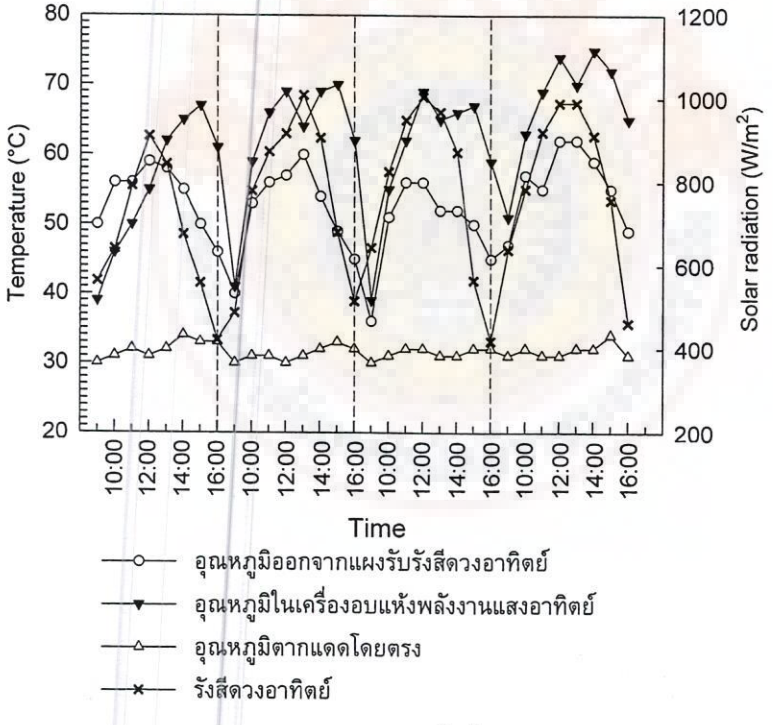
แขวนยางพาราแผ่นไม่ว่าจะเป็นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หรือการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงเนื่องจากบริเวณนั้นจะสัมผัสกับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาเนื้อยางพาราแผ่นบริเวณนั้นจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆ จากปัญหาดังกล่าวนี้ก็จะนำไปสู่การพัฒนาเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตยางพาราแผ่นมีคุณภาพดีต่อไป



(ก) การทดลองครั้งที่ 1

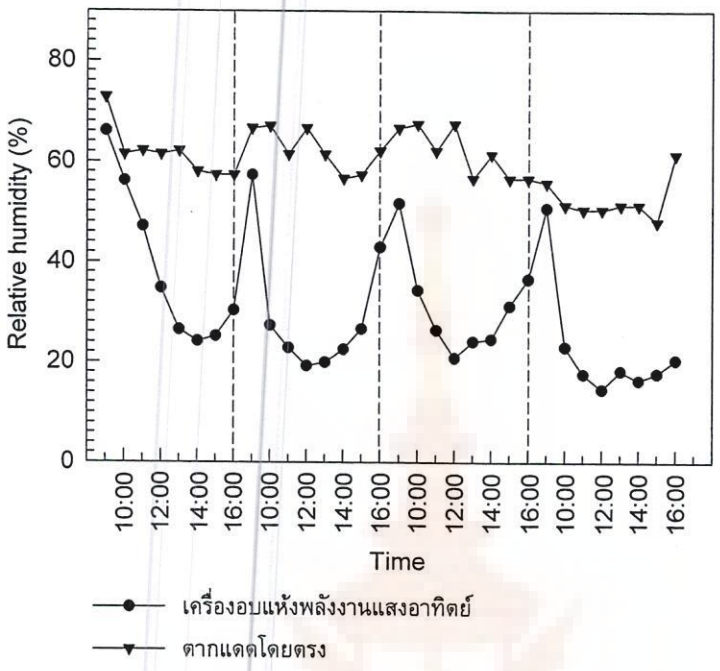


(ข) การทดลองครั้งที่ 2

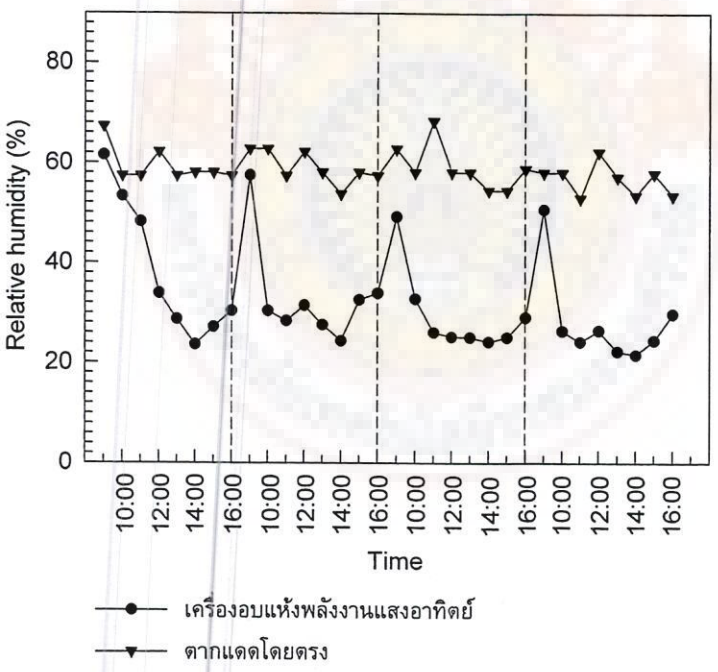


(ค) การทดลองครั้งที่ 3

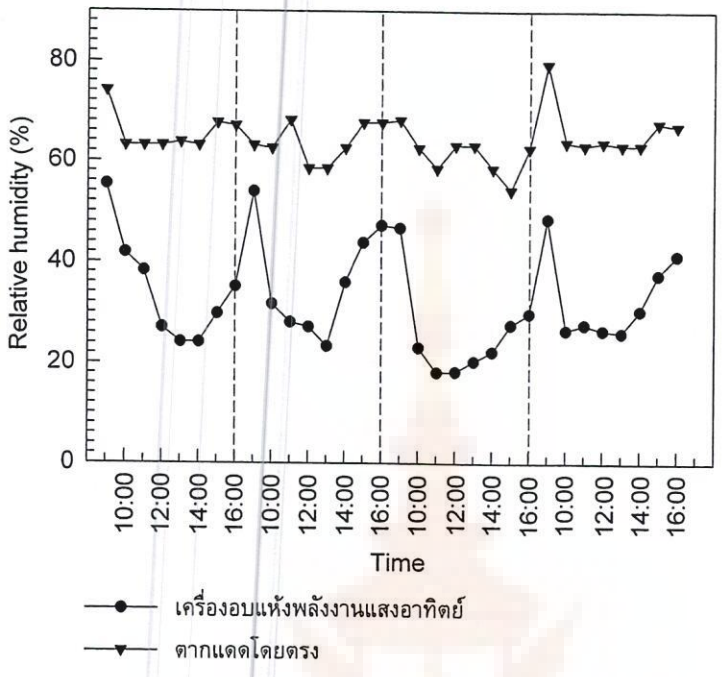
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



(ก) การทดลองครั้งที่ 1

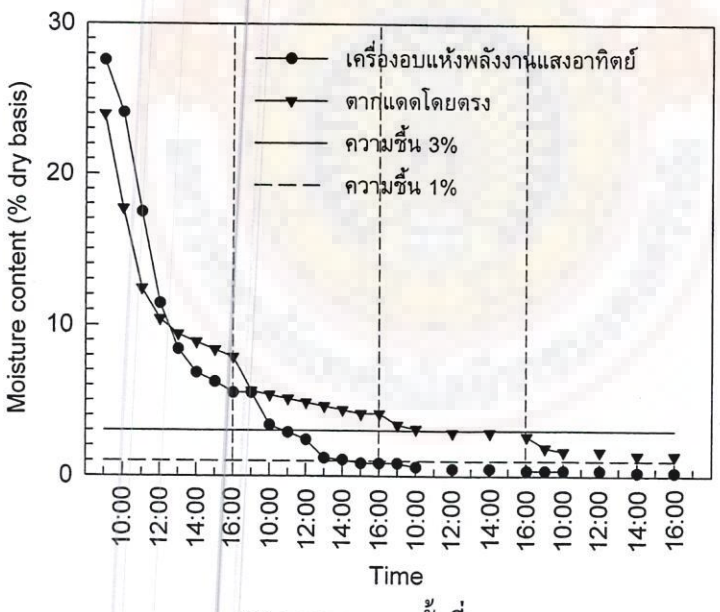


(ข) การทดลองครั้งที่ 2

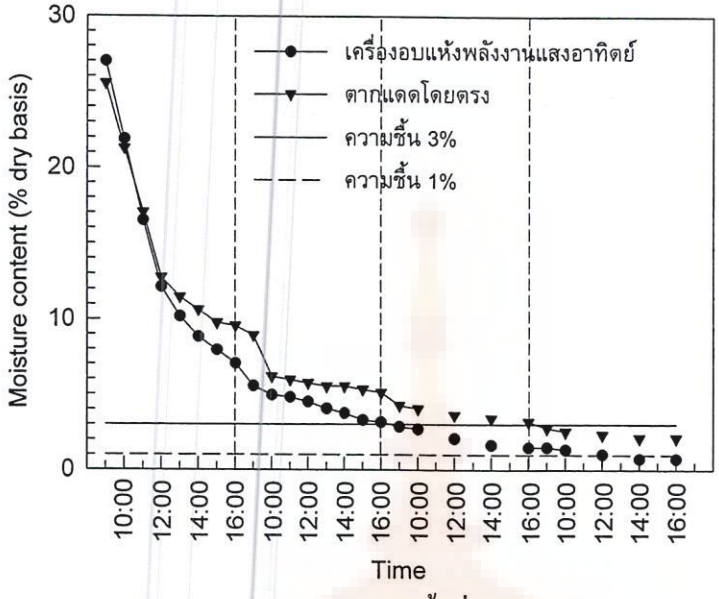


(ค) การทดลองครั้งที่ 3

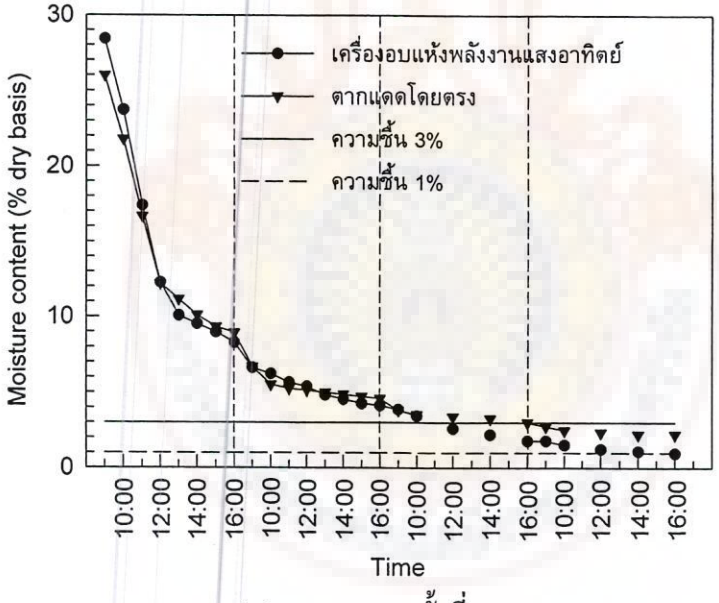
รูปที่ 4.2 ความชื้นในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



(ก) การทดลองครั้งที่ 1



(ข) การทดลองครั้งที่ 2



(ค) การทดลองครั้งที่ 3

รูปที่ 4.3 ความชื้นยางพาราแผ่น

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 60 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 32% การตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61% ที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 835 w/m^2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 29% การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หรือการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงเมื่ออบแห้งจนความชื้นของยางพาราแผ่นลดลงต่ำกว่า 3% มาตรฐานแห้ง ยางพาราแผ่นก็ยังมีความใสไม่ทั่วตลอดทั้งแผ่นซึ่งใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 3 วัน ทำให้ยาพาราแผ่นที่นำไปจำหน่ายจะถูกลดคุณภาพลงและก็จะถูกลดราคาลง แต่เมื่ออบยางพาราแผ่นจนมีความใสทั่วตลอดทั้งแผ่นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 4 วัน การตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 5 วัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรงเฉลี่ย 1 วัน การอบแห้งยางพาราแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถ้าให้แสงอาทิตย์สัมผัสกับยางพาราแผนโดยตรงก็จะทำให้ยางพาราแผ่นเหนียวเยิ้มเหมือนจะละลายซึ่งจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่ยางพาราแผ่นสัมผัสอยู่กับไม้แขวนยางพาราแผ่นไม่ว่าจะเป็นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หรือการตากแห้งด้วยการตากแดดโดยตรง

เอกสารอ้างอิง

พูลทวี ศรพรหม, 2550. การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ยุทธศักดิ์ บุญรอด, 2549. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่ใช้กระจกปิดด้านบน, วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

รัฐธิปัตย์ ปางวัชรากร, 2545. การพัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์, วิทยานิพนธ์ สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2553. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553.

Bala B.K., Mondol M. R. A., Biswas B.K., Chowdury B. L. D., Janjai S., 2003. Solar drying of pineapple using solar tunnel drier, Renewable Energy, 28, pp. 183–190.

Hossain M. A., Bala B. K., 2007. Drying of hot chilli using solar tunnel drier, Solar Energy, 81, pp. 85–92.

Srisittipokakun N., Kirdsiri K., Kaewkhao J., 2012. Solar drying of Andrographis paniculata using a parabolic-shaped solar tunnel dryer, Procedia Engineering, 32, pp. 839 – 846.

Usub T., Lertsatitthanakorn C., Poomsa-ad N.,Wiset L., Yang L., Siriamornpun S., 2008. Experimental performance of a solar tunnel dryer for drying silkworm pupae, biosystems engineering, 101, pp. 209 – 216.

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ตาราง ก.1 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 1

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 1	9:00	45	50	39	33	66.1	5.30	4.15	27.59	1.1
	10:00	49	56	46	37	56.2	5.15	4.15	24.10	1.3
	11:00	51	56	50	38	47.1	4.88	4.15	17.47	2
	12:00	52	59	55	38	34.8	4.63	4.15	11.45	1.2
	13:00	53	58	62	40	26.5	4.50	4.15	8.43	1.1
	14:00	51	55	65	41	24.2	4.44	4.15	6.87	1
	15:00	49	50	67	43	25.2	4.41	4.15	6.27	0.8
	16:00	45	46	61	41	30.4	4.38	4.15	5.54	1
วันที่ 2	9:00	38	40	41	33	57.4	4.35	4.15	4.82	0.8
	10:00	46	53	59	38	27.4	4.29	4.15	3.37	1
	11:00	49	56	66	41	22.9	4.27	4.15	2.89	1.1
	12:00	51	57	69	41	19.3	4.25	4.15	2.41	0.9
	13:00	53	60	64	38	20	4.20	4.15	1.20	1
	14:00	52	54	69	43	22.6	4.20	4.15	1.08	1.2
	15:00	48	49	70	46	26.7	4.19	4.15	0.84	1.1
	16:00	44	45	62	47	43	4.19	4.15	0.84	0.8
วันที่ 3	9:00	35	36	39	30	51.7	4.19	4.15	0.84	0.6
	10:00	45	51	55	38	34.4	4.18	4.15	0.60	0.8
	11:00	50	56	62	40	26.5		4.15		1
	12:00	51	56	69	42	20.9	4.17	4.15	0.48	1.2
	13:00	48	52	65	41	24.2		4.15		1.1
	14:00	49	52	66	42	24.7	4.17	4.15	0.48	1.1
	15:00	48	50	67	46	31.3		4.15		1.2
	16:00	43	45	59	42	36.7	4.17	4.15	0.36	1.2

ตาราง ก.1 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 4	9:00	42	47	51	40	43	50.8	4.17	4.15	0.36
	10:00	52	57	63	39	50	23.1	4.17	4.15	0.36
	11:00	51	55	69	40	52	17.7		4.15	
	12:00	58	62	74	41	57	14.6	4.17	4.15	0.36
	13:00	57	62	70	41	58	18.3		4.15	
	14:00	55	59	75	43	56	16.4	4.16	4.15	0.24
	15:00	53	55	72	42	52	17.8		4.15	
	16:00	46	49	65	39	48	20.5	4.16	4.15	0.24

ตาราง ก.2 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 2

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 1	9:00	49	52	42	36	67.5	4.24	3.34	26.99	0.5
	10:00	44	51	48	38	53.3	4.07	3.34	21.89	0.6
	11:00	56	64	52	40	48.2	3.89	3.34	16.49	0.8
	12:00	50	59	58	40	33.9	3.74	3.34	12.14	0.7
	13:00	54	64	62	41	28.7	3.68	3.34	10.19	1.0
	14:00	55	65	71	45	23.6	3.63	3.34	8.85	1.1
	15:00	49	57	67	44	27.2	3.60	3.34	7.95	0.6
	16:00	40	46	61	41	30.4	3.57	3.34	7.05	0.2
วันที่ 2	9:00	40	45	47	39	60.5	3.52	3.34	5.55	0.4
	10:00	42	48	61	41	30.4	3.50	3.34	4.95	0.3
	11:00	44	52	66	44	28.4	3.50	3.34	4.80	0.5
	12:00	44	52	63	43	31.5	3.49	3.34	4.50	0.6
	13:00	47	55	64	42	27.6	3.47	3.34	4.05	0.5
	14:00	46	54	69	44	24.4	3.46	3.34	3.75	0.6
	15:00	42	48	60	41	32.6	3.45	3.34	3.30	0.3
	16:00	42	47	58	40	33.9	3.44	3.34	3.15	0.4
วันที่ 3	9:00	41	45	48	37	49.2	3.43	3.34	2.85	0.3
	10:00	43	50	56	38	32.8	3.43	3.34	2.70	0.2
	11:00	44	52	65	42	26.1		3.34		0.6
	12:00	47	55	67	43	25.2	3.41	3.34	2.10	1.1
	13:00	49	58	63	40	25.1		3.34		1.2
	14:00	48	52	65	41	24.2	3.39	3.34	1.65	0.2
	15:00	50	55	63	40	25.1		3.34		1.7
	16:00	43	48	58	38	29.1	3.39	3.34	1.50	1.2

ตาราง ก.2 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 4	9:00	38	42	44	34	50.7	3.39	3.34	1.50	0.5
	10:00	41	48	58	37	26.4	3.38	3.34	1.35	0.6
	11:00	44	51	65	41	24.2		3.34		0.8
	12:00	45	52	62	40	26.5	3.37	3.34	1.05	0.7
	13:00	45	53	65	40	22.3		3.34		0.6
	14:00	46	53	67	41	21.6	3.36	3.34	0.75	0.8
	15:00	48	54	62	39	24.5		3.34		1.2
	16:00	43	48	56	37	29.8	3.36	3.34	0.75	0.6

ตาราง ก.3 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 3

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 1	9:00	48	59	45	36	55.4	4.66	3.63	28.41	0.2
	10:00	54	63	53	39	41.9	4.49	3.63	23.72	1.2
	11:00	52	61	52	37	38.3	4.26	3.63	17.38	1.0
	12:00	60	70	63	41	27.1	4.07	3.63	12.28	0.9
	13:00	61	72	65	41	24.2	3.99	3.63	10.07	1.1
	14:00	57	65	65	41	24.2	3.97	3.63	9.52	1.5
	15:00	42	46	60	40	29.8	3.95	3.63	8.97	0.5
	16:00	34	36	39	26	35.2	3.93	3.63	8.28	1.5
วันที่ 2	9:00	45	55	58	47	54	3.87	3.63	6.62	0.3
	10:00	50	58	60	41	31.7	3.85	3.63	6.21	0.7
	11:00	47	53	61	40	28.1	3.83	3.63	5.66	1.0
	12:00	55	65	67	44	27.2	3.82	3.63	5.38	0.9
	13:00	51	60	67	42	23.4	3.80	3.63	4.83	1.2
	14:00	40	44	53	37	36	3.79	3.63	4.55	0.9
	15:00	33	34	40	29	43.9	3.78	3.63	4.28	1.3
	16:00	33	34	39	29	47.3	3.78	3.63	4.14	0.7
วันที่ 3	9:00	41	47	50	38	46.8	3.77	3.63	3.86	0.3
	10:00	52	60	63	39	23.1	3.75	3.63	3.45	0.4
	11:00	61	69	73	43	18.2		3.63		0.7
	12:00	53	61	70	41	18.3	3.72	3.63	2.62	1.1
	13:00	51	58	68	41	20.4		3.63		0.9
	14:00	52	59	65	40	22.3	3.71	3.63	2.21	0.5
	15:00	50	56	60	39	27.6		3.63		0.4
	16:00	40	43	56	37	29.8	3.69	3.63	1.79	0.3

ตาราง ก.3 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ครั้งที่ 3 (ต่อ)

Date	time (hr)	T1 (°C)	T2 (°C)	$T3_d$ (°C)	$T3_w$ (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)
วันที่ 4	9:00	39	44	47	36	48.6	3.69	3.63	1.79	0.4
	10:00	45	53	62	40	26.5	3.68	3.63	1.52	0.8
	11:00	42	48	60	39	27.6		3.63		0.5
	12:00	46	54	62	40	26.5	3.67	3.63	1.24	0.4
	13:00	41	51	61	39	26		3.63		0.5
	14:00	41	47	57	38	30.4	3.67	3.63	1.10	0.6
	15:00	40	44	51	36	37.6		3.63		0.5
	16:00	32	34	37	26	41.4	3.66	3.63	0.97	0.3

ตาราง ก.4 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 1

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 1	9:00	30	25	72.8	4.94	3.99	23.96	0.5	564
	10:00	31	26	61.5	4.69	3.99	17.69	0.4	641
	11:00	32	26	62.2	4.48	3.99	12.42	0.7	792
	12:00	31	26	61.5	4.4	3.99	10.41	0.7	910
	13:00	32	26	62.2	4.36	3.99	9.41	0.6	844
	14:00	34	27	58.1	4.34	3.99	8.91	1.0	676
	15:00	33	26	57.4	4.32	3.99	8.41	0.9	559
	16:00	33	26	57.4	4.3	3.99	7.90	0.4	422
วันที่ 2	9:00	30	25	66.7	4.21	3.99	5.65	0.5	487
	10:00	31	26	67.1	4.2	3.99	5.40	0.4	780
	11:00	31	25	61.5	4.19	3.99	5.14	0.2	874
	12:00	30	25	66.7	4.18	3.99	4.89	0.6	917
	13:00	31	25	61.5	4.17	3.99	4.64	0.7	1008
	14:00	32	26	56.7	4.16	3.99	4.39	0.5	907
	15:00	33	26	57.4	4.15	3.99	4.14	0.3	681
	16:00	32	26	62.2	4.15	3.99	4.14	0.3	514
วันที่ 3	9:00	30	25	66.7	4.12	3.99	3.39	0.4	644
	10:00	31	26	67.5	4.11	3.99	3.14	0.4	825
	11:00	32	26	62.2		3.99		0.4	949
	12:00	32	26	67.5	4.1	3.99	2.89	1.0	1004
	13:00	31	25	56.7		3.99		0.9	968
	14:00	31	25	61.5	4.1	3.99	2.89	0.4	873
	15:00	32	25	56.7		3.99		1.3	565
	16:00	32	25	56.7	4.09	3.99	2.63	1.1	418

ตาราง ก.4 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 1 (ต่อ)

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 4	9:00	31	24	55.9	4.06	3.99	1.88	0.7	639
	10:00	32	24	51.4	4.05	3.99	1.63	0.5	784
	11:00	31	23	50.5		3.99		0.7	920
	12:00	31	23	50.5	4.05	3.99	1.63	0.8	989
	13:00	32	24	51.4		3.99		0.8	990
	14:00	32	24	51.4	4.04	3.99	1.38	0.6	912
	15:00	34	25	48.1		3.99		0.6	758
	16:00	31	25	61.5	4.04	3.99	1.38	0.5	462

ตาราง ก.5 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 2

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 1	9:00	31	26	67.3	5.90	4.70	25.53	0.3	822
	10:00	33	26	57.4	5.70	4.70	21.28	0.5	892
	11:00	33	26	57.4	5.50	4.70	17.02	1.1	971
	12:00	32	26	62.2	5.30	4.70	12.77	1.0	1085
	13:00	33	26	57.4	5.24	4.70	11.49	0.9	980
	14:00	34	27	58.1	5.20	4.70	10.64	1.4	864
	15:00	34	27	58.1	5.16	4.70	9.79	0.3	677
	16:00	33	26	57.4	5.15	4.70	9.57	1.3	420
วันที่ 2	9:00	33	27	62.8	5.12	4.70	8.94	0.4	667
	10:00	33	27	62.8	4.99	4.70	6.17	0.8	844
	11:00	33	26	57.4	4.98	4.70	5.96	1.1	974
	12:00	32	26	62.2	4.97	4.70	5.74	1.2	1028
	13:00	34	27	58.1	4.96	4.70	5.53	0.9	1017
	14:00	35	27	53.8	4.96	4.70	5.53	1.1	901
	15:00	34	27	58.1	4.95	4.70	5.32	1.2	720
	16:00	33	26	57.4	4.94	4.70	5.11	0.9	417
วันที่ 3	9:00	33	27	62.8	4.90	4.70	4.26	0.2	719
	10:00	34	27	58.1	4.89	4.70	4.04	0.5	838
	11:00	33	28	68.4		4.70		1.2	959
	12:00	34	27	58.1	4.87	4.70	3.62	1.0	1096
	13:00	34	27	58.1		4.70		0.7	1039
	14:00	36	28	54.5	4.86	4.70	3.40	0.4	906
	15:00	36	28	54.5		4.70		0.3	790
	16:00	35	28	58.8	4.85	4.70	3.19	0.5	466

ตาราง ก.5 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 2 (ต่อ)

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 4	9:00	34	27	58.1	4.83	4.70	2.77	0.2	707
	10:00	34	27	58.1	4.82	4.70	2.55	0.3	815
	11:00	34	26	53		4.70		0.7	964
	12:00	32	26	62.2	4.81	4.70	2.34	0.3	1022
	13:00	33	26	57.2		4.70		0.9	970
	14:00	35	27	53.5	4.80	4.70	2.13	0.7	859
	15:00	34	27	57.9		4.70		0.9	673
	16:00	35	27	53.5	4.80	4.70	2.13	0.6	440

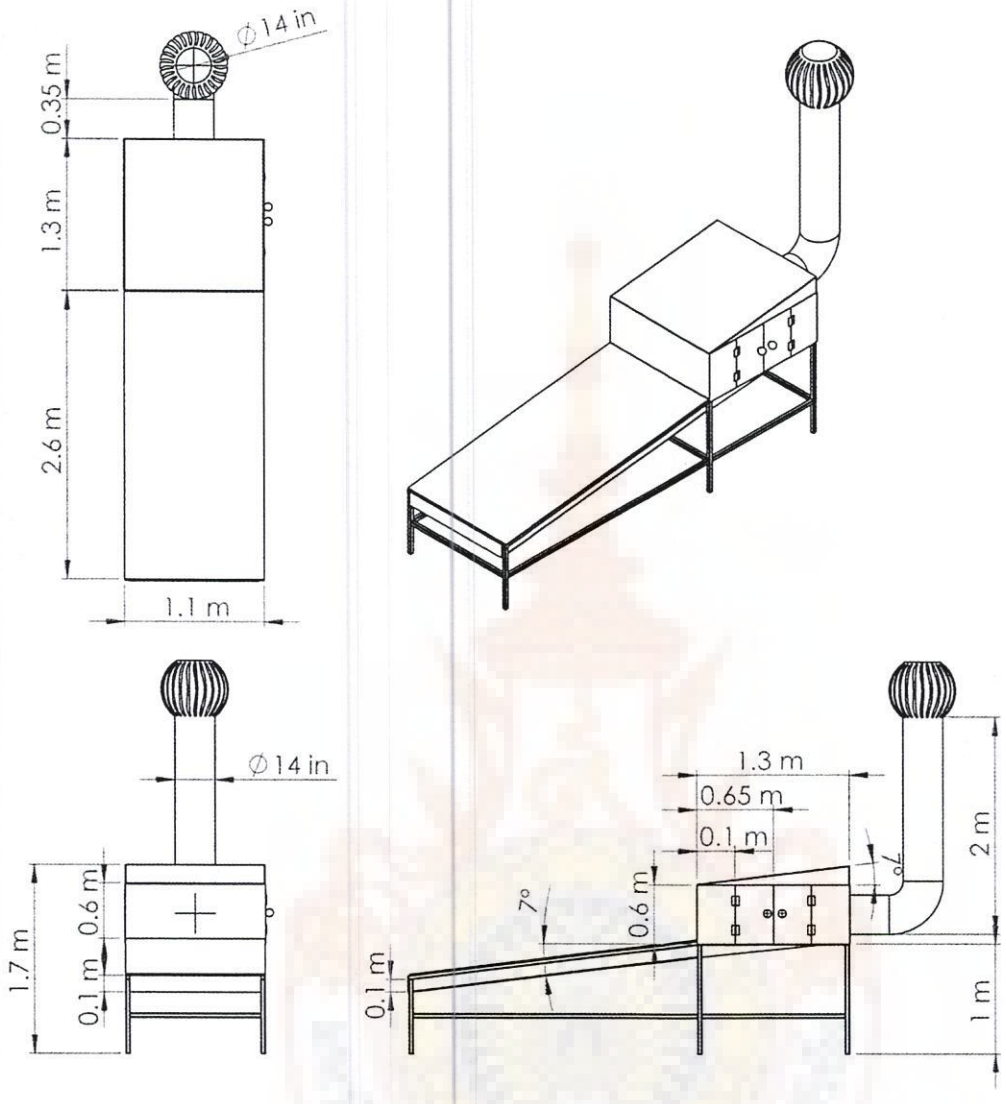
ตาราง ก.6 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 3

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 1	9:00	33	29	74.1	4.96	3.81	30.18	0.7	628
	10:00	34	28	63.2	4.64	3.81	21.78	0.8	799
	11:00	34	28	63.2	4.445	3.81	16.67	0.9	928
	12:00	34	28	63.2	4.275	3.81	12.20	0.8	984
	13:00	35	29	63.8	4.235	3.81	11.15	1.1	910
	14:00	34	28	63.2	4.195	3.81	10.10	1.2	809
	15:00	32	27	67.7	4.165	3.81	9.32	1.0	639
	16:00	31	26	67.1	4.15	3.81	8.92	0.6	456
วันที่ 2	9:00	34	28	63.2	4.065	3.81	6.69	0.9	721
	10:00	33	27	62.6	4.02	3.81	5.51	1.5	771
	11:00	33	28	68.2	4.01	3.81	5.25	1.4	909
	12:00	35	28	58.6	4.005	3.81	5.12	1.6	1044
	13:00	35	28	58.6	4	3.81	4.99	1.7	988
	14:00	33	27	62.6	3.995	3.81	4.86	1.4	863
	15:00	32	27	67.7	3.99	3.81	4.72	1.3	657
	16:00	31	26	67.1	3.985	3.81	4.59	1.3	518
วันที่ 3	9:00	33	28	68.2	3.955	3.81	3.81	1.2	712
	10:00	33	27	62.6	3.945	3.81	3.54	1.4	782
	11:00	35	28	58.6		3.81		1.5	919
	12:00	34	28	63.2	3.94	3.81	3.41	1.4	978
	13:00	34	28	63.2		3.81		1.3	962
	14:00	35	28	58.6	3.935	3.81	3.28	1.3	858
	15:00	36	28	54.3		3.81		1.1	688
	16:00	33	27	62.6	3.925	3.81	3.02	1.6	476

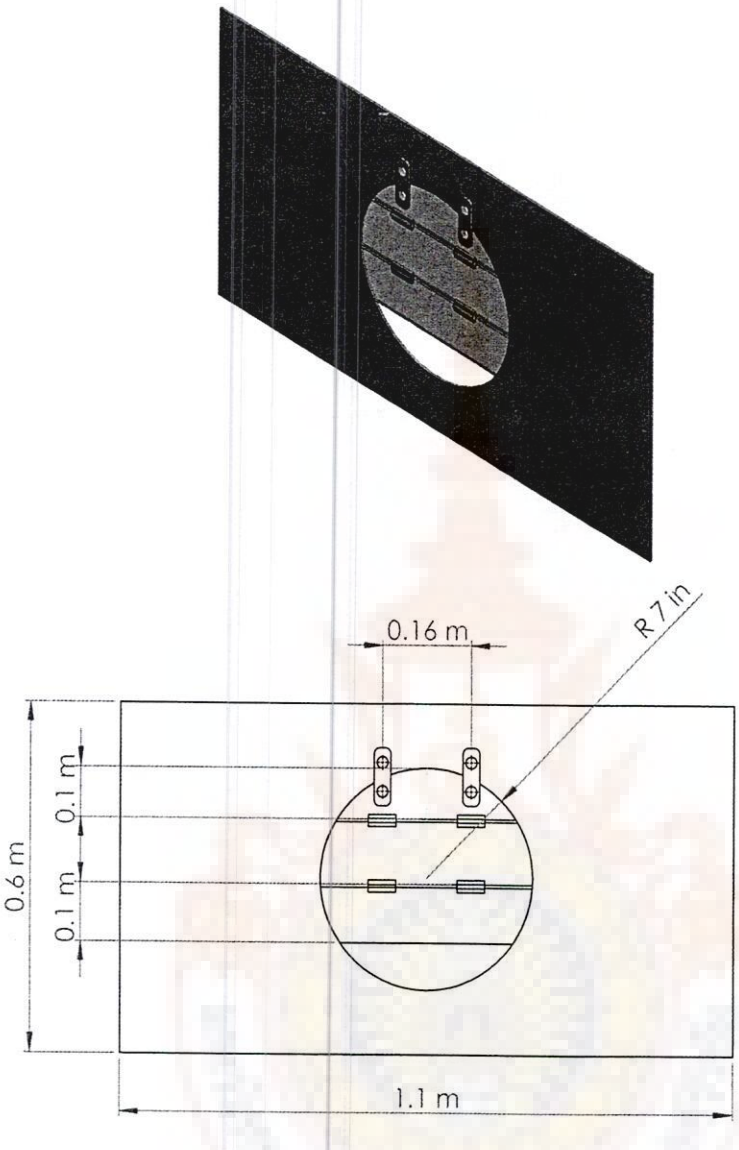
ตาราง ก.6 อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยการตากแดดโดยตรงครั้งที่ 3 (ต่อ)

Date	time (hr)	T_d (°C)	T_w (°C)	RH (%)	m_t (kg)	m_d (kg)	MC_{db} (%)	V_{inlet} (m/s)	Solarradiation (W/m^2)
วันที่ 4	9:00	31	28	79.5	3.915	3.81	2.76	0.8	545
	10:00	35	29	63.8	3.905	3.81	2.49	0.7	636
	11:00	34	28	63.2		3.81		0.9	899
	12:00	35	29	63.8	3.9	3.81	2.36	1.0	908
	13:00	34	28	63.2		3.81		0.9	895
	14:00	34	28	63.2	3.895	3.81	2.23	0.9	775
	15:00	32	27	67.7		3.81		1.1	694
	16:00	31	26	67.1	3.895	3.81	2.23	0.7	642

ภาคผนวก ข
แบบเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



รูป ข.1 แบบเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



รูป ข.1 แบบแผ่นกั้นท่อระบายความชื้น