



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้ง
Energy and Exergy Analyses of Drying Process

นางสาว รุจิรา ตาปราบ
นาย ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้ง
Energy and Exergy Analyses of Drying Process

นางสาว รุจิรา ตาปราบ
นาย ประมวล ศรีกาหลง

RC H

ร 661 ก

2556

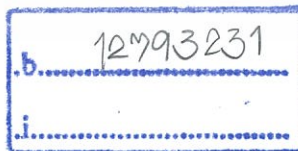
เลขหมู่.....

143553

เลขทะเบียน.....

วัน เดือน ปี.....

17 ต.ค. 2559



ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จได้ ต้องขอบคุณนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร และขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการทำวิจัยประจำปีงบประมาณ 2556

รุจิรา ตาปราบ
เมษายน 2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้ง
แหล่งเงินทุนวิจัย ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงิน 25,000 บาท
ชื่อหน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร
ผู้ดำเนินการวิจัย นางสาว รุจิรา ตาปราบ และนาย ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้งโดยได้เลือกตะไคร้เป็นวัตถุดิบในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยและการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง ทำการเตรียมวัตถุดิบเป็นสองลักษณะคือแบบท่อนและแบบฝอยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพลังงานและของเอ็กเซอร์ยี พบว่า ประสิทธิภาพของเอ็กเซอร์ยีมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพของพลังงานของทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำแห้ง ช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 12.00-14.00 น. นอกจากนี้ การทดลองนี้ยังได้ทดลองทำการอบแห้งเมล็ดข้าวด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา โดยเตรียมวัตถุดิบเป็นสามส่วนคือส่วนเนื้อเมล็ดข้าว ตีข้าวและเปลือกของเมล็ดข้าว จัดบันทึกน้ำหนักและวัตถุดิบของอุปกรณ์ 3 ระดับ เพื่อติดตามอัตราการลดลงของความชื้นในตัวอย่าง พบว่า ที่ระดับ 3 ของอุปกรณ์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 67 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 2 มีอุณหภูมิ 54 องศาและที่ระดับ 1 มีอุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส อัตราการลดลงของความชื้นมีสูงที่ระดับ 3 ในทุกตัวอย่าง แต่การทำแห้งของตีข้าว ที่ระดับ 1 เพียงพอสำหรับการทำแห้ง

คำสำคัญ เอ็กเซอร์ยี พลังงาน การอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title Energy and Exergy Analyses of Drying Process
Researcher Miss Ruchira Taprap and Mr. Pramuan Srikalong
Faculty Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang

ABSTRACT

The energy and exergy of drying process were analyzed in this research. Lemongrass was selected and be prepared for 2 shapes, rod and slice. Two types of drying methods were performed with solar dryer, which be built from researcher team of KMITL, and direct sun drying. The experiment was carried out at the roof of faculty's building during December of the year. The result shows that the energy efficiency has higher value as compared with the exergy efficiency in every sample and all the time of drying. The highest peak was found during 12.00-14.00 pm. Furthermore, the research has been performed the drying of lotus seed with the portable electric dryer. The equipment has three operating levels, i.e. level 1, 2 and 3. The sample weight and temperature were recorded during drying. The temperature at level 3 was 67 °C, level 2 was 54 °C and level 1 was 43 °C. The rate of moisture loss was high at the high level. However, for drying embryo part, level 1 can be used effectively.

Keywords: exergy, energy and drying

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญรูป	iii
1. บทนำ	1
1.1. ความสำคัญและที่มา	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การวิเคราะห์พลังงานและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการอบแห้ง	2
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	4
3.1 วัสดุดิบ	4
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	4
3.3 วิธีการทดลอง	4
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	5
4.1 การทำแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา	5
4.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และแสงอาทิตย์โดยตรง	8
4.3 ประสิทธิภาพของพลังงาน (η) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	10
4.4 ประสิทธิภาพอิเล็กทรอนิกส์ (ϵ) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	11
5. สรุปผลการทดลอง	14
บรรณานุกรม	15

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 4.1	น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งเมล็ดบัว	5
รูปที่ 4.2	น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งดีบัว	6
รูปที่ 4.3	น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งเปลือกเมล็ดบัว	6
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ของการสูญเสียความชื้นกับเวลาของการทำแห้งดีบัว	7
รูปที่ 4.5	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการอบแห้ง	8
รูปที่ 4.6	อุณหภูมิของจุดต่างๆกับระยะเวลาการทดลอง	9
รูปที่ 4.7	น้ำหนักและเวลาการอบแห้งของตะไคร้ (a) Open sun drying (b) Solar dryer	10
รูปที่ 4.8	Energy efficiency of solar dryer (a) Day 1 (b) Day 2	11
รูปที่ 4.9	Exergetic efficiency of solar dryer (a) Day 1 (b) Day 2	12
รูปที่ 4.10	Energy efficiency and exergetic efficiency of rod lemongrass drying with solar dryer. (a) Day 1 (b) Day 2	13
รูปที่ 4.11	Energy efficiency and exergetic efficiency of slice lemongrass drying with solar dryer. (a) Day 1 (b) Day 2	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการแปรรูปอาหาร ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนหรือใช้ความเย็นก็ต้องพึ่งพาพลังงานแทบทั้งสิ้น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนของกระบวนการผลิตได้ แนวคิดการวิเคราะห์พลังงานร่วมกับการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีสามารถระบุหน่วยปฏิบัติการย่อยของกระบวนการผลิตว่าหน่วยใดมีการสูญเสียพลังงานมากหรือน้อยเพียงใดได้ ซึ่งจะนำไปสู่การหามาตรการในการประหยัดพลังงานได้

การทำสมดุลพลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นสิ่งจำเป็นของกระบวนการวิเคราะห์พลังงาน โดยที่พลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารนั้นส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ในกรณีของพลังงานไฟฟ้านั้น การประยุกต์ใช้เอ็กเซอร์ยีสำหรับการวิเคราะห์พลังงานยังไม่เห็นชัดเจนเนื่องจากข้อจำกัดของนิยามของเอ็กเซอร์ยีที่ได้ใช้นิยามที่อ้างอิงกับค่าของเอนทัลปีของกระบวนการและเอนทัลปีของสิ่งแวดล้อมเสมอ พลังงานไฟฟ้าเมื่อจะวิเคราะห์ด้วยกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ค่าของเอนทัลปีจะเปรียบเสมือนเป็นค่าเอนทัลปีที่เป็นอินฟินิตี้ของพลังงานความร้อน เมื่อค่าใดเป็นค่าอนันต์จะทำให้หาค่าไม่ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการที่ยังไม่สามารถนำแนวคิดของการวิเคราะห์มาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าได้อย่างไม่มีข้อจำกัด

กระบวนการทำแห้งหรืออบแห้งเป็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบลดลง ส่งผลให้การเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น แหล่งของความร้อนที่ไม่แพงและหาได้ง่ายในบ้านเรา น่าจะเป็นจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์มาใช้อย่างหมุนเวียนในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีโอกาสพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจเช่นสมุนไพรของไทย เป็นต้น รวมทั้งเปรียบเทียบการอบแห้งจากอุปกรณ์หลายชนิดได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบปกติ การทำแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา การทำแห้งด้วยเตาอบจากแสงอาทิตย์ เพื่อหาความเหมาะสมและหาประสิทธิภาพของการทำแห้งแบบต่างๆ ส่วนวัตถุดิบสำหรับการทดลอง จะเป็นผลผลิตที่หาได้ไม่ยาก มีตลอดฤดูกาลและสามารถใช้เป็นประโยชน์ในแง่สมุนไพรได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งด้วยเตาอบแบบพกพา และการอบแห้งด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้พืชที่เป็นสมุนไพรของไทย ได้แก่ เมล็ดบัว เกสรบัวและตะไคร้ และศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งของผลิตผลทางการเกษตรเหล่านี้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้ง
2. เพื่อหาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้ง
3. เพื่อหากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมกับผลิตผลทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันกระบวนการอบแห้งมีหลายแบบเช่นการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน (conventional drying) การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เซชัน (fluidization drying) การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) ซึ่งแบบหลังนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ยังคงความสดและคงรูปร่างได้ดี ไม่ว่าจะการอบแห้งแบบใดก็ตามต้องมีการใช้พลังงานในกระบวนการเหล่านี้เสมอ แนวคิดการวิเคราะห์พลังงานและควบคุมกับการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีเป็นกลยุทธ์หนึ่งของการประหยัดพลังงาน โดยที่ได้อาศัยกฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ ได้มีนักวิจัยหลายคนที่น่าเอาแนวคิดการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง เช่น Corzo et.al (2008) ได้ใช้การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการทำแห้งแบบชั้นบางของผัก coroba โดยได้ใช้นิยามของ energy utilization (EU) และใช้นิยามของ energy utilization ratio (EUR) ของอุปกรณ์ทำแห้ง และปรับระดับการอบแห้งของอุณหภูมิ 3 ระดับได้แก่ 71 °C 82 °C และ 93 °C ปรับความเร็วของลม 3 ระดับและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเอ็กเซอร์ยีเข้าและออกจากอุปกรณ์ที่ระดับอุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ ผลการทดลองสามารถ บอกสถานะที่เหมาะสมของการทำแห้งตัวอย่างได้ดี ในขณะที่ทำการทดลอง นักวิจัยได้วางแผนเก็บข้อมูลการทำแห้งของผลิตภัณฑ์และศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งของผลิตภัณฑ์นั้นๆได้ เช่นกรณีศึกษาของนักวิจัย Doyaz and Ismail (2011) พวกเขาได้ศึกษา drying characteristic ของลูกเชอร์รี่หวานโดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองของ Henderson and Pabis ที่ระบุว่า $MR = a \exp(-kt)$ และแบบจำลองของ Lewis ที่เขียนเป็นความสัมพันธ์ดังนี้ $MR = \exp(-kt)$ ซึ่งจะเห็นว่าทั้งสองโมเดลนี้มีความใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้พวกเขายังได้ใช้โมเดลของ Page โมเดลของ Logarithmic เป็นต้น จากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นยังพบว่าข้อมูลจากการทดลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ของการอบแห้งที่มีระดับอุณหภูมิต่างๆกันได้ด้วยความสัมพันธ์แบบ Arrhenius ได้

2.1 การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีสำหรับการอบแห้ง

การวิเคราะห์กฎข้อที่ 1 และ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ได้นำมาประยุกต์สำหรับกระบวนการอบแห้งดังนี้

2.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Analysis)

ในระหว่างกระบวนการลดความชื้นในตู้อบแห้ง ความร้อนที่ใช้คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{dc} = \dot{m}_{da}(h_{dci@T} - h_{dco@T}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

พลังงานที่นำมาใช้จากตัวเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาขนาดของรังสีแสงอาทิตย์ โดยใช้สมการดังนี้

$$Q_c = \dot{m}_{da}c_{pda}(T_{co} - T_{ci}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาอัตราส่วนการใช้พลังงานของตู้อบแห้งได้จาก

$$EUR_{dc} = \frac{\dot{m}_{da}(h_{dci@T} - h_{dco@T})}{\dot{m}_{da}c_{pda}(T_{co} - T_{ci})} \dots\dots\dots (3)$$

2.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี (Exergetic Efficiency Analysis)

การคำนวณค่าเอ็กเซอร์ยี จะใช้หลักการทํางานของสมดุลพลังงานด้วยกฎเทอร์โมไดนามิกส์ข้อที่ 2 เนื่องจากเป็นการใช้รูปแบบทั่วไปในการประยุกต์ใช้สมการเอ็กเซอร์ยีสำหรับระบบการไหลที่คงตัวโดยใช้สมการดังนี้

$$\dot{E}x = \dot{m}_{pda} \left[(T - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T}{T_0} \right] \dots\dots\dots (4)$$

สำหรับเอ็กเซอร์ยีที่ไหลเข้าตู้อบแห้ง

$$\dot{E}x_{dci} = \dot{m}_{pda} \left[(T_{dci} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{dci}}{T_0} \right] \dots\dots\dots (5)$$

สำหรับเอ็กเซอร์ยีที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง

$$\dot{E}x_{dco} = \dot{m}_{pda} \left[(T_{dco} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{dco}}{T_0} \right] \dots\dots\dots (6)$$

อย่างไรก็ตามเอ็กเซอร์ยีที่สูญเสียตลอดกระบวนการ กำหนดโดยสมการ

$$\text{Exergy loss} = \text{Exergy inflow} - \text{Exergy outflow} \quad (7)$$

ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีจติก (exergetic efficiency) สามารถกำหนดเป็นอัตราส่วนของการใช้เอ็กเซอร์ยีในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยการอบแห้งของอากาศที่ส่งมาจากระบบ อย่างไรก็ตาม สามารถอธิบายอัตราส่วนของเอ็กเซอร์ยีไหลเข้าจนถึงเอ็กเซอร์ยีไหลออกของตู้อบแห้ง เมื่อพิจารณาจากข้อกำหนดข้างต้นประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีจติกของตู้อบแห้งสามารถคำนวณค่าได้ ฉะนั้นรูปแบบทั่วไปของประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีจติกเขียนได้ดังนี้

$$\text{Exergetic efficiency} = \frac{\text{Exergy outflow}}{\text{Exergy inflow}} \dots\dots\dots (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

ตะไคร้ เมล็ดบัว

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง รุ่น PB1502-L

เครื่องวัดความเข้มแสง รุ่น Digicon LX-70

เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น CEM DT-618

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบพกพา รุ่น

3.3 วิธีการทดลอง

- การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และแสงแดดโดยตรง เตรียมตะไคร้ 2 ลักษณะคือ แบบท่อน และแบบฝอย อย่างละ 100 กรัม 6 ตัวอย่างใส่ใน 6 ถาดนำ 3 ถาดไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และอีก 3 ถาดไปทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง บนดาดฟ้าอาคารเจ้าคุณทหาร

ทำการติดตั้งกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และเปิดเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เก็บข้อมูลตั้งแต่ 10.00 น - 16.00 น .เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ดังนี้
การทำแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

- อุณหภูมิอากาศขณะเข้าในตัวเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{ci})
- อุณหภูมิอากาศขณะออกในตัวเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{co})
- อุณหภูมิอากาศขณะเข้าในตู้อบแห้ง (T_{dci})
- อุณหภูมิอากาศขณะออกในตู้อบแห้ง (T_{dco})
- ความเร็วลมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- น้ำหนักของตะไคร้ขณะที่ทำการอบแห้ง

การทำแห้งตะไคร้ด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง

- อุณหภูมิบรรยากาศ (T_a)
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- ความเข้มแสงของแสงแดด
- ความเร็วลมของบรรยากาศ
- น้ำหนักของตะไคร้ขณะที่ทำการอบแห้ง

- การอบแห้งเมล็ดบัวด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา

เตรียม เมล็ดบัว ตีบัวและเปลือกบัว ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น ทำการอบแห้งตัวอย่างที่ระดับ

อุณหภูมิของอุปกรณ์ 3 ระดับคือ ระดับ 1 ระดับ 2 และ ระดับ 3 อ่านอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์

บันทึกผล ทั้งอุณหภูมิและน้ำหนักของตัวอย่างขณะทำการทดลอง

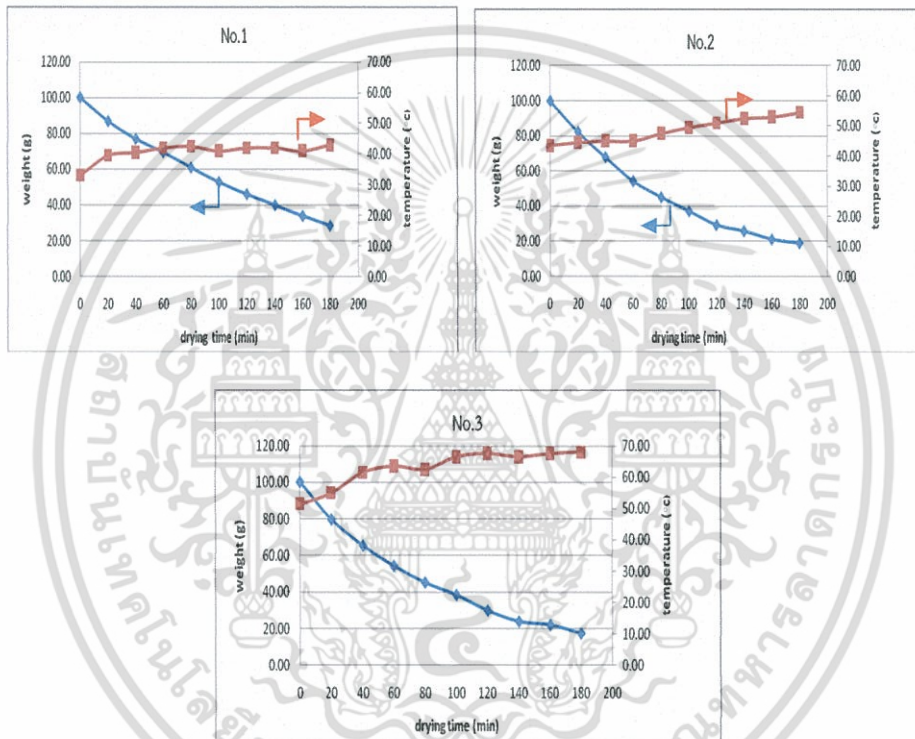
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

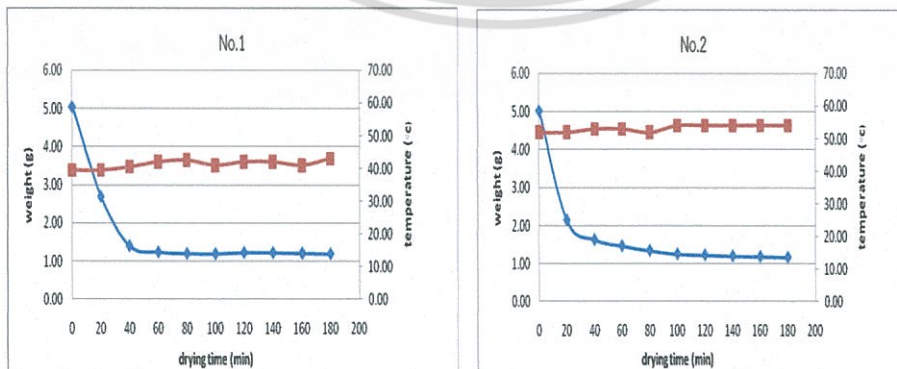
4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทำแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา

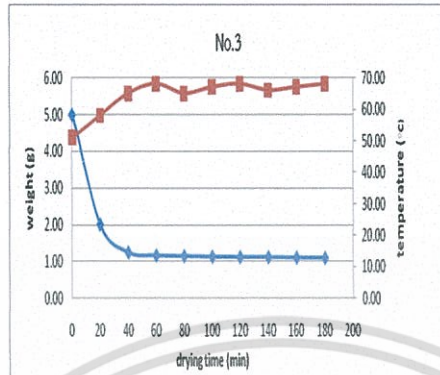
ผลของน้ำหนักและอุณหภูมิในการทำแห้งเมล็ดบัว ตีบบัว และเปลือกเมล็ดบัว ด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพาที่เบอร์ 1, 2 และ 3 โดยทำการอบเมล็ดบัวและเปลือกบัวจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 ± 2 กรัม และตีบบัวจากน้ำหนักเริ่มต้น 5 ± 1 กรัม จนครบ 3 ชั่วโมง ซึ่งแสดงใน รูปที่ 4.1 - 4.3 โดยที่น้ำหนักจะแสดงในแกนตั้ง (Y) ทางด้านซ้ายของกราฟ ส่วนเวลาในการทำแห้งที่แกนนอน (X) และอุณหภูมิ ณ ที่เวลาใดๆ จะแสดงในแกนตั้ง (Y) ด้านขวาของกราฟ



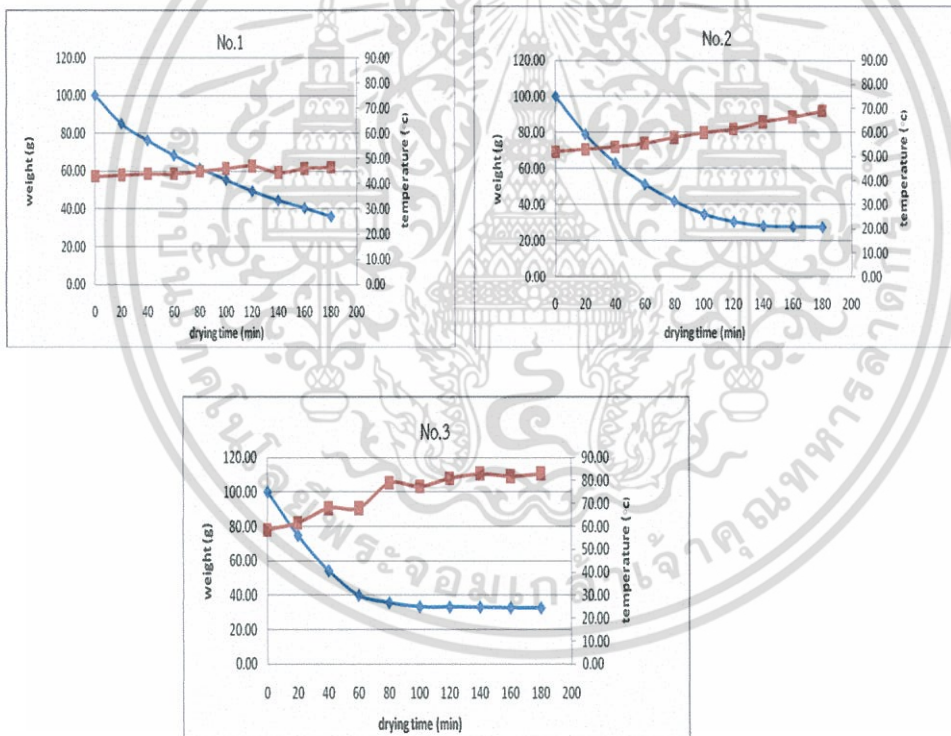
รูปที่ 4.1 น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งเมล็ดบัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



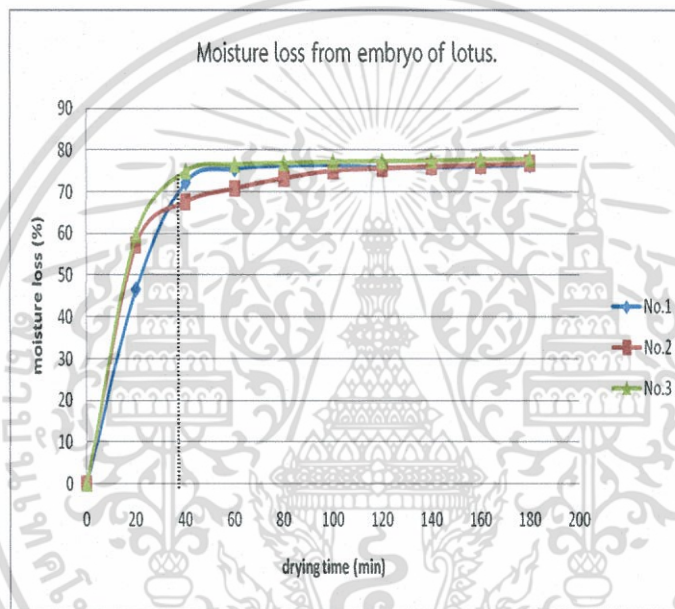
รูปที่ 4.2 น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งดีบัว



รูปที่ 4.3 น้ำหนักและอุณหภูมิของการอบแห้งเปลือกเมล็ดบัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งที่ระดับเลข 1 ของอุปกรณ์อบแห้งใช้เวลาประมาณสองเท่าของการอบแห้งที่ระดับเลข 3 ของทุกตัวอย่างการทดลอง ยกเว้นกรณีของดีบัว เนื่องจากดีบัวมีความชื้นน้อยกว่า เมล็ดบัวและเปลือกเมล็ดบัว อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 43 องศา 54 องศา และ 67 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1 ระดับ 2 และระดับ 3 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาหาการสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์ไปสร้างกราฟเทียบกับเวลาของการอบแห้งของดีบัว ได้ความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียความชื้นกับเวลาของการทำแห้งดีบัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a.



b.

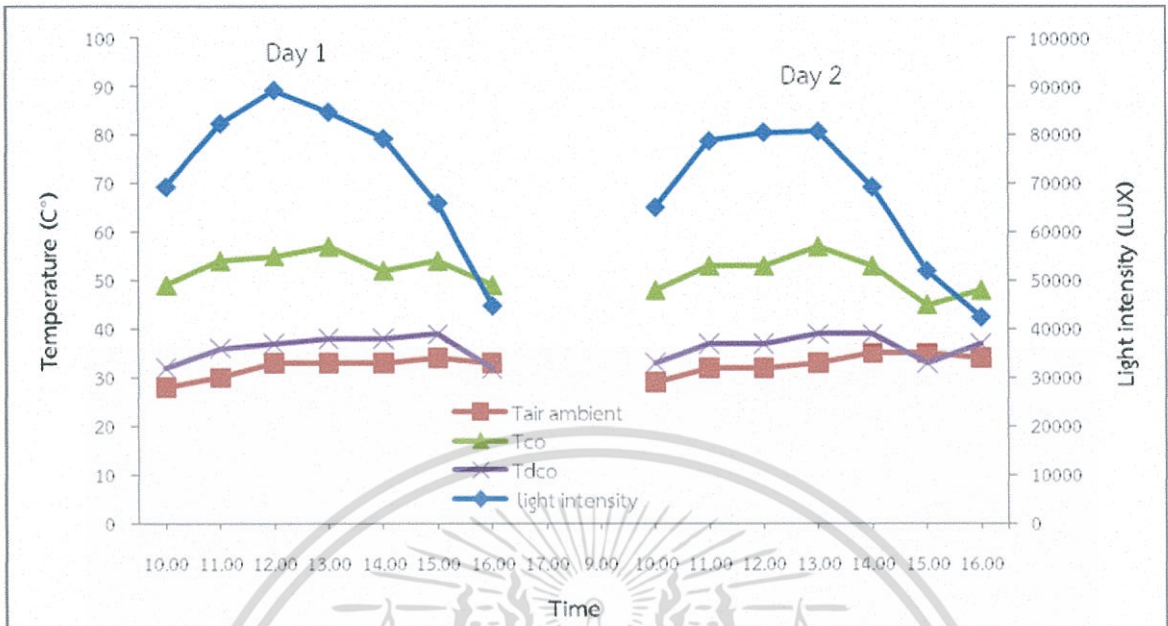
รูปที่ 4.5 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการอบแห้ง

4.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และแสงอาทิตย์โดยตรง

การทำแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้แสงอาทิตย์โดยตรงนั้นจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องหรือแสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีการขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา โดยจะมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงทุกๆ 1 ชั่วโมงและมีการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 วัน โดยวันที่ทำการทดลองได้แก่ วันที่ 21 มกราคม 2556 และวันที่ 22 มกราคม 2556 ดังผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.6

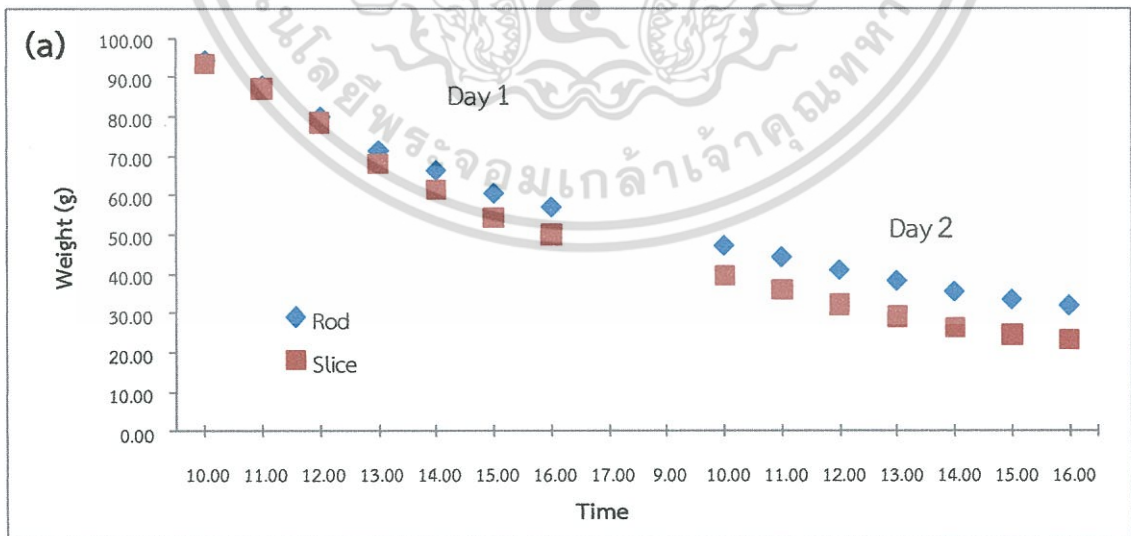
จากรูปที่ 4.6 อุณหภูมิและความเข้มแสงจากทั้งสองวันจะไม่เท่ากันแม้ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยจะมีช่วงที่อุณหภูมิและความเข้มแสงขึ้นสูงสุดในช่วง 11.00 – 14.00 น. ทั้ง 2 วัน วันที่ 1 อุณหภูมิบรรยากาศที่สูงที่สุด 34 °C อุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปในตู้อบที่สูงที่สุด 59 °C และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากตู้อบที่สูงที่สุด 38 °C และความเข้มแสงที่สูงที่สุด 88000 LUX จะมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 23 °C และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 32 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 53% วันที่ 2 อุณหภูมิบรรยากาศที่สูงที่สุด 35 °C อุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปในตู้อบที่สูงที่สุด 63 °C และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากตู้อบที่สูงที่สุด 42 °C และความเข้มแสงที่สูงที่สุด 99700 LUX จะมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 24 °C และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 31 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 57%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

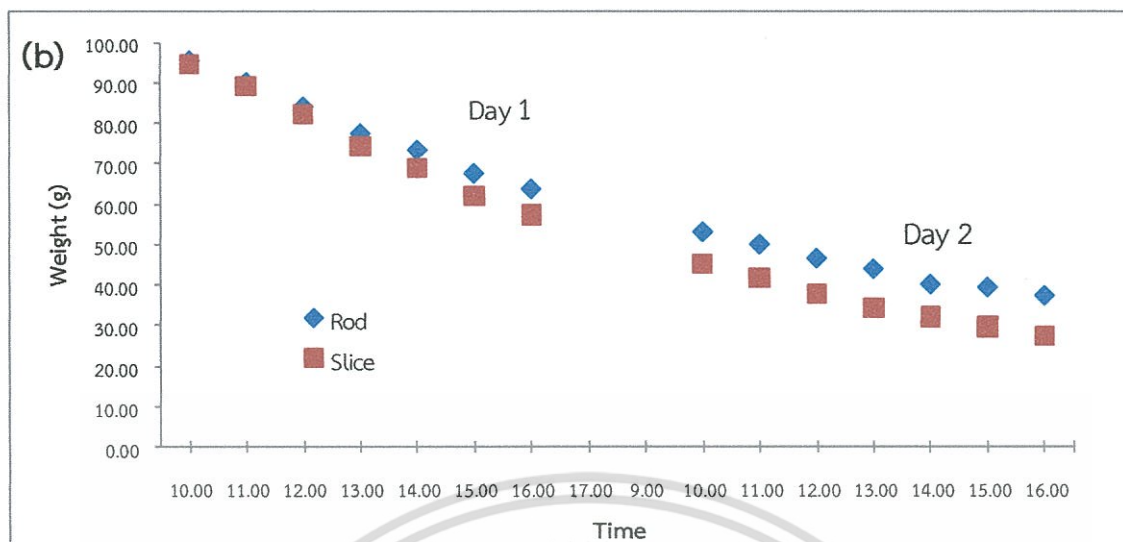


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิของจุดต่างๆกับระยะเวลาการทดลอง

การลดลงของน้ำหนักของตะไคร้ที่ใช้ทำแห้งในช่วงวันที่ 21 มกราคม และวันที่ 22 มกราคมโดยที่ตะไคร้มี 2 ลักษณะ โดยมี ตะไคร้แบบท่อน และแบบฝอย ด้วยวิธีการทำแห้ง 2 วิธีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง โดยที่น้ำหนักเริ่มต้นใช้น้ำหนักตะไคร้หนัก 100 g แสดงในรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



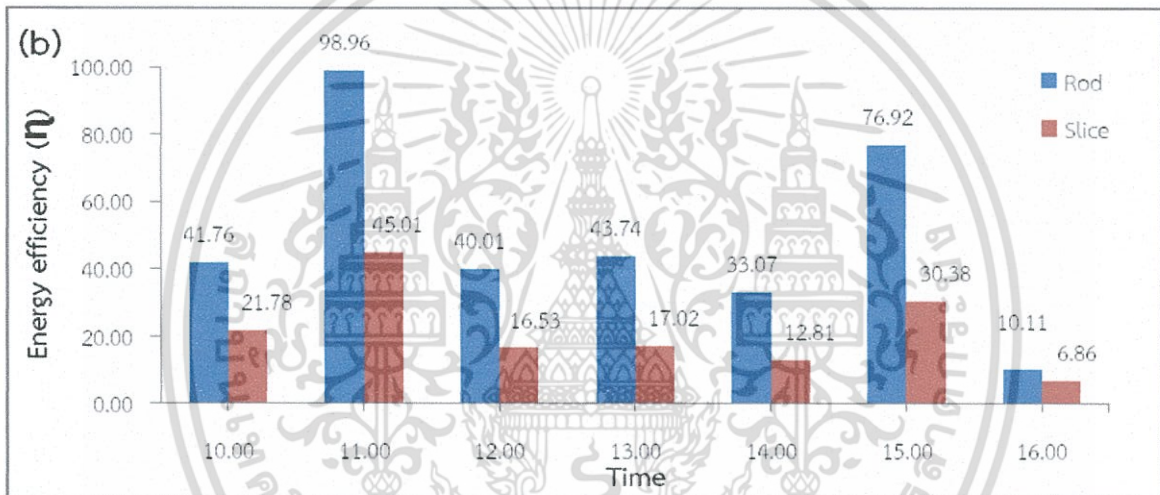
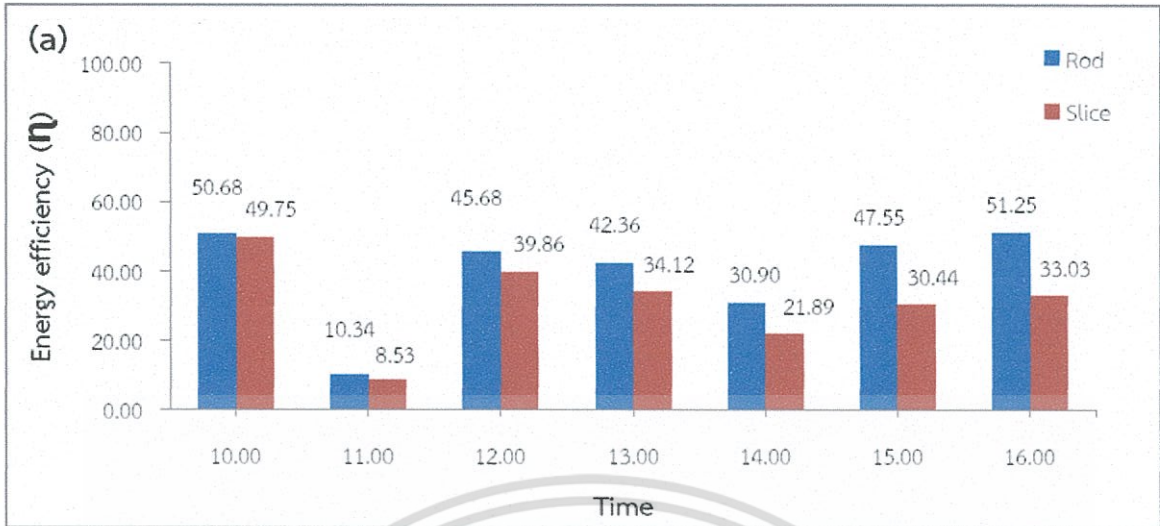
รูปที่ 4.7 น้ำหนักและเวลาการอบแห้งของตะไคร้ (a) Open sun drying (b) Solar dryer

4.3 ประสิทธิภาพของพลังงาน (η) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพ เป็นการวัดสมรรถนะในการใช้ทรัพยากรของกระบวนการ ว่าในการทำงานให้เสร็จขึ้นหนึ่ง ๆ ต้องใช้ทรัพยากรการผลิตไปเท่าใด โดยประสิทธิภาพใช้สำหรับแสดงความสามารถในการทำงาน การมีประสิทธิภาพสูงแสดงถึงกระบวนการที่มีการใช้ทรัพยากรในการผลิตงานอย่างคุ้มค่า และการมีประสิทธิภาพต่ำแสดงถึงกระบวนการที่มีการใช้ทรัพยากรในการผลิตงานไม่คุ้มค่า ซึ่งเกิดจากมี “ความสูญเสีย” เกิดขึ้นอยู่ในกระบวนการ เช่น energy efficiency หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์กับพลังงานที่ป้อนเข้าไป โดยได้แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใน รูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้พลังงานการทำแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเวลา รูป (a) ตะไคร้แบบท่อนมีประสิทธิภาพที่มากกว่าตะไคร้แบบฝอย โดยตะไคร้แบบท่อนมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่มากที่สุด ณ. ช่วงเวลา 16.00 น. มีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 51.25 % และมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด ณ. ช่วงเวลา 11.00 น. มีประสิทธิภาพ 10.34 % และตะไคร้แบบฝอยมีประสิทธิภาพที่มากที่สุด ณ. ช่วงเวลา 10.00 น. มีประสิทธิภาพ 49.75 % และประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด ณ. ช่วงเวลา 11.00 น. มีประสิทธิภาพ 8.53 % รูป (b) ตะไคร้แบบท่อนมีประสิทธิภาพที่มากกว่าตะไคร้แบบฝอย โดยตะไคร้แบบท่อนมีประสิทธิภาพที่มากที่สุด ณ. ช่วงเวลา 11.00 น. มีประสิทธิภาพ 98.96 % และมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด ณ. ช่วงเวลา 16.00 น. มีประสิทธิภาพ 10.11 % และตะไคร้แบบฝอยมีประสิทธิภาพที่มากที่สุด ณ. ช่วงเวลา 11.00 น. มีประสิทธิภาพ 45.01 % และประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด ณ. ช่วงเวลา 16.00 น. มีประสิทธิภาพ 6.86 %

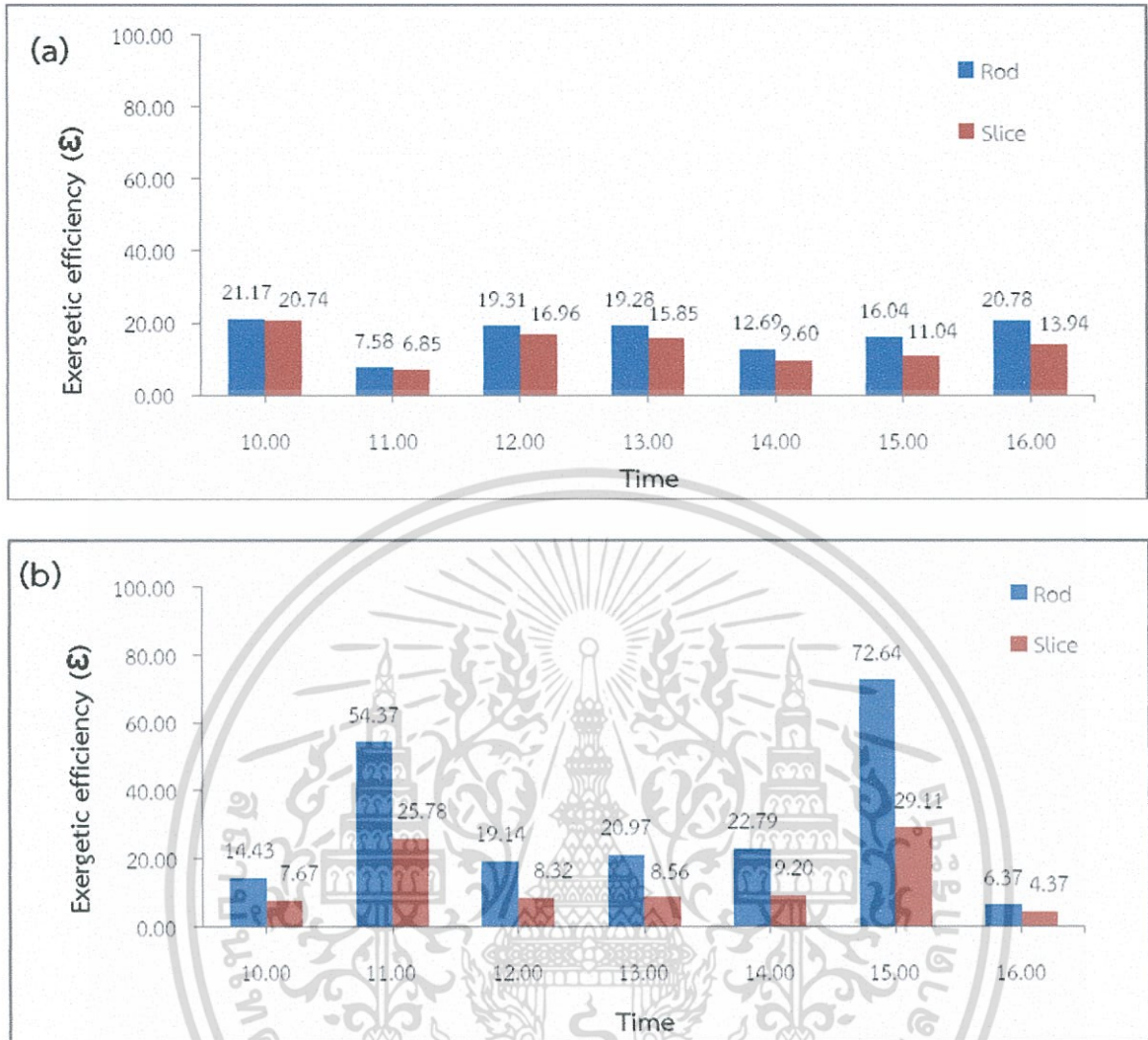
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Energy efficiency of solar dryer (a) Day 1 (b) Day 2

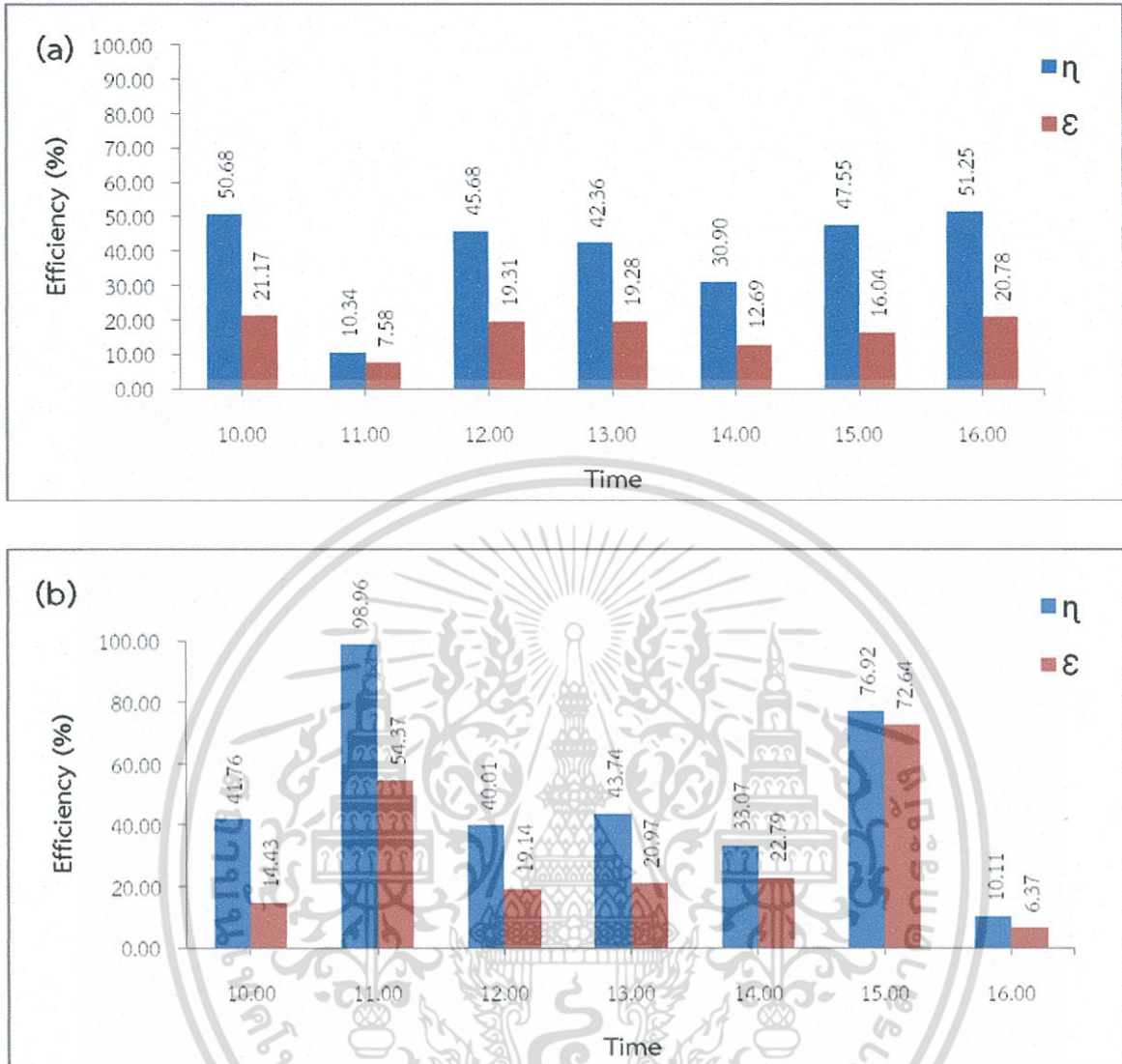
4.4 ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิก (e) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอ็กเซอร์ยี (exergy) คือศักยภาพในการทำงาน (work potential) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการประเมินประโยชน์ที่ได้รับจากการทำงานของเครื่องมือ โดยประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนของการใช้เอ็กเซอร์ยีในการทำงานของเครื่องมือ ซึ่งจะอธิบายถึงอัตราส่วนของเอ็กเซอร์ยีไหลเข้าจนถึงเอ็กเซอร์ยีไหลออกสำหรับตู้อบแห้ง โดยแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 Exergetic efficiency of solar dryer (a) Day 1 (b) Day 2

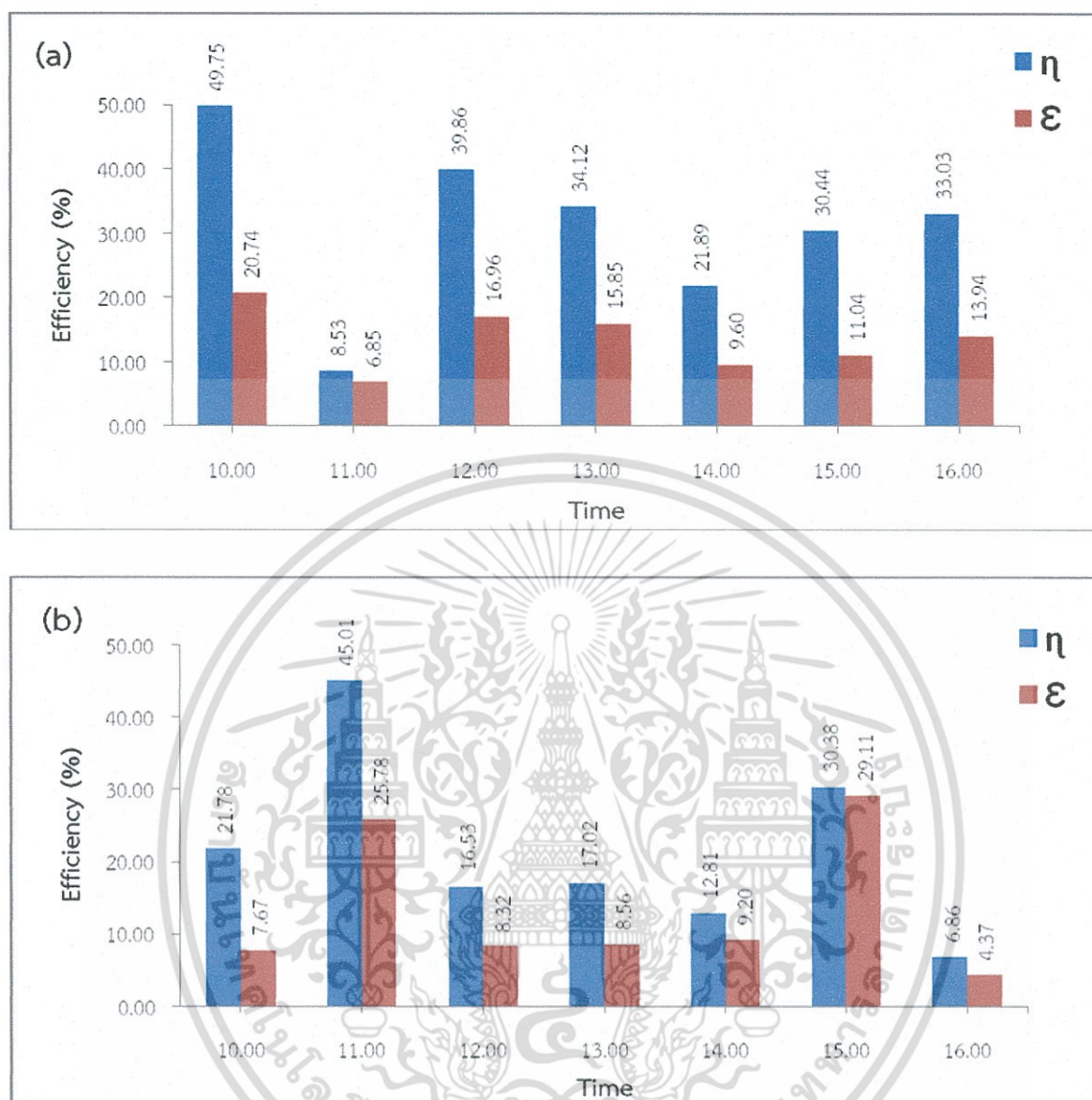
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 Energy efficiency and exergetic efficiency of rod lemongrass drying with solar dryer. (a) Day 1 (b) Day 2

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จติกของตะไคร้ลักษณะฝอยที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง และประโยชน์ที่ได้รับสำหรับการทำงานของเครื่องอบที่ทำแห้งตะไคร้ลักษณะฝอย โดยแสดงผลการคำนวณในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 Energy efficiency and exergetic efficiency of slice lemongrass drying with solar dryer. (a) Day 1 (b) Day 2

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเมล็ดบัว ตีบัว และเปลือกเมล็ดบัวด้วยเตาอบไฟฟ้าแบบพกพา การทดลองพบว่าที่ระดับ 1 ของเตาอบมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 43 องศาเซลเซียส ส่วนระดับ 2 และระดับ 3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 54 และ 67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และลักษณะทางกายภาพหลังการทำแห้งที่ดีที่สุดคือระดับ 3 รองลงมาคือระดับ 2 และระดับ 1 เมื่อนำเวลากับอัตราการสูญเสียความชื้นที่ใช้ในการทำแห้งมาพลอตเป็นกราฟจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิและเวลา มีอิทธิพลต่ออัตราการสูญเสียความชื้นในเมล็ดบัว ตีบัว และเปลือกเมล็ดบัว โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสูญเสียความชื้นเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการทำแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้แสงอาทิตย์โดยตรง โดยการทำแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้แสงอาทิตย์โดยตรงมีการใช้พลังงานในการทำแห้งสูงอยู่ในช่วง 12.00 - 14.00 น. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวอย่างทั้งสองรูปร่าง การทดลองวันที่หนึ่ง ช่วงเวลาที่ 11.00 น. เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของการทำแห้งตะไคร้แบบท่อนดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 39.82 % และมีค่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกเฉลี่ย 16.69 % การทดลองวันที่สอง ช่วงเวลาที่ 16.00 น.เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของการทำแห้งดีที่สุดในวันที่สอง และมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย 49.22 % และมีค่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกเฉลี่ย 30.10 % ส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของการทำแห้งตะไคร้แบบฝอย การทดลองวันที่หนึ่ง ช่วงเวลาที่ 11.00 น.เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของการทำแห้งตะไคร้แบบฝอยดีที่สุด โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย 31.09 % และมีค่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกเฉลี่ย 13.57 % และการทดลองในวันที่สอง ช่วงเวลาที่ 15.00 น.เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกของการทำแห้งดีที่สุด โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย 21.48 % และมีค่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จิดิกเฉลี่ย 13.28 %

บรรณานุกรม

- Akpinar, EK. 2010. Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management* 51:2407-2418.
- AtulSharma, C.R. Chen., Nguyen, V.L. 2009. Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1185-1210.
- Doymaz, I. and Ismail, O., 2011, Drying characteristics of sweet cherry, *Food and Bioproducts Processing*, 89: 31-38.
- Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A. and Pereira, A., 2008, Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices, 86: 151-161.
- Energy saving. พลังงานแสงอาทิตย์ 2012. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php?a=10&n=107&cno=2628>. ค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2556.
- Jairaj, K.S., Singh, S.P., Srikant, K. 2009. A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy* 83, 1698-1712
- Pehlivan, D., Togrul, I.T. 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering* 65, 413-425.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

