

การประยุกต์ใช้โรงเรือนปลูกพืชสำหรับอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ Application of Greenhouse for Drying Banana with Solar Energy

พิมพ์พรรณ ปรีองาม* ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ วัชรพล ชยประเสริฐ

Pimpan Pruengam* Siwalak Pathaveerat and Watchapol Chayaprasert

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*E-mail: fengpppn@ku.ac.th

3Received: Mar 20, 2019

Revised: Jul 14, 2019

Accepted: Oct 30, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดัดแปลงโรงเรือนปลูกพืชที่หุ้มด้วยโพลีคาร์บอเนต มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งกล้วยตากโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งในโรงเรือนมี 2 ลักษณะ คือ (1) แบบฐานเปิด โดยยกโรงเรือนให้สูงจากพื้น และ (2) แบบฐานปิด จะใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนสีดำปิดด้านล่างจำกัดช่องเข้าออกของอากาศ เปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยประมาณ 75% (w.b.) และความชื้นสุดท้ายของกล้วยตากที่ต้องการคือ 56.5% (w.b.) ซึ่งเป็นความชื้นที่อยู่ในช่วงของกล้วยตากที่วางจำหน่าย ทำการทดลองตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลา 5 วัน ผลทดลองพบว่า กล้วยที่อบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิด โรงเรือนแบบฐานเปิด และตากกลางแจ้งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 52.8% (w.b.) 58.8% (w.b.) และ 59.2% (w.b.) ตามลำดับ เนื่องจากในโรงเรือนแบบฐานปิดมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำที่สุด และมีอุณหภูมิในโรงเรือนสูงสุด จึงลดความชื้นได้มากที่สุด ในขณะที่โรงเรือนแบบฐานเปิดมีสภาพในโรงเรือนคล้ายคลึงกับการตากกลางแจ้งจึงทำให้ความชื้นสุดท้ายของกล้วยใกล้เคียงกัน การอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าโรงเรือนแบบฐานเปิด และตากกลางแจ้งเท่ากับ 29.2% และ 34.9% ตามลำดับ

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า พลังงานแสงอาทิตย์ โรงเรือน อบแห้ง

Abstract

The objective of this research was to adapt a farming greenhouse constructed from polycarbonate sheets for production of solar-dried banana. Two types of drying methods were implemented, (1) the open base method in which the base of the greenhouse was slightly raised from the ground and (2) the closed base method in which a black polyethylene sheet covered the base of the greenhouse to limit the inlet airflow. The drying performance of the two methods were compared to open-air sun drying. The initial moisture content of the banana was 70% (w.b.) and the required final moisture content of the dried banana was 56.5% (w.b.), which was the same as commercially available dried banana. The drying experiments were conducted during 8.00 am - 4.00 pm for 5 days. The closed base greenhouse, open base greenhouse and natural sun drying yielded final moisture contents of 52.8% (w.b.), 58.8% (w.b.) and 59.2% (w.b.), respectively. As the closed base greenhouse was able to provide the lowest relative humidity and highest internal temperature, the highest moisture reduction was obtained. As the environmental conditions inside the open base greenhouse were similar to those of the open-air ambient, the final moisture contents of the bananas from both methods were similar. Drying in the closed base greenhouse resulted in a higher thermal efficiency than drying in the open base greenhouse and open-air sun drying by 29.2% and 34.9%, respectively.

Keywords: Cultivated Banana, Drying, Greenhouse, Solar Energy

1. บทนำ

การตากแห้งโดยอาศัยแสงอาทิตย์นั้นมีมานานแล้ว และยังคงเป็นที่นิยมในประเทศที่กำลังพัฒนา [1] แม้ว่าการตากแดดจะเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและได้ผลดี แต่ความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์มักสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก ทำให้ประสิทธิภาพของการตากแห้งต่ำ [1] และระหว่างการตากแดดผลิตภัณฑ์มักถูกรบกวนจากแมลงและสัตว์ต่าง ๆ มีการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง หรือได้รับความเสียหายจากการเปียกฝนจนเกิดเชื้อรา [1], [2], [3] ด้วยปัญหาเหล่านี้ จึงทำให้โรงเรือนอบแห้งแสงอาทิตย์เข้ามามีบทบาทสำคัญในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร [4] ประกอบกับประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงช่วยลดต้นทุนในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรไทยได้เป็นอย่างดี

ลักษณะของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมมี 3 แบบ คือ (1) รูปทรงตัวห้องเป็นสี่เหลี่ยมหลังคาเป็นสามเหลี่ยม หรือหลังคาจั่ว (2) รูปทรงตัวห้องเป็นสี่เหลี่ยมหลังคาเป็นรูปทรงโค้ง (3) รูปทรงพาราโบลา ซึ่งในแบบที่ (1) นั้นมีมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์มากทำให้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ไม่ดี ในขณะที่แบบที่ (2) และ (3) มีมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์น้อย รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี [5] จากงานวิจัยนี้ วสันต์ และ พรชัย [5] พบว่า อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งไม่แตกต่างกัน แต่แบบที่ (2) มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำสุด ซึ่งเป็นผลดีต่อการอบแห้ง

ประเทศไทยจัดเป็นอันดับต้น ๆ ของโลกที่ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้ง ได้มีการติดตั้งโรงเรือนอบแห้งแบบพาราโบลา หรือที่เรียกว่า พาราโบลาโดม ทั่วประเทศเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์สินค้าเกษตร [6] การออกแบบให้หลังคามีลักษณะโค้งเป็นพาราโบลา มีข้อดีคือ ในด้านการก่อสร้างของโรงเรือนอบแห้งจะช่วยลดการต้านแรงลม โครงสร้างง่าย ลดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้าง [1] และการปิดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate Sheet) ซึ่งมีน้ำหนักเบา นั้น ตัดโค้งง่าย เลือกใช้ชนิดใสเพื่อให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปได้มากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันจะยอมให้รังสีความร้อนภายในห้องอบแห้งผ่านออกมาได้น้อย เกิดเป็นระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (Greenhouse Solar Dryer) นอกจากนี้หลังคารูปทรงพาราโบลาช่วยให้การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ได้ดีตลอดวัน เพราะมีมุมตกกระทบของรังสีด้านข้างของเครื่องอบแห้ง แต่หลังคาที่ออกแบบมีมุมชันจะทำให้รังสีสะท้อนออกมาก [1] ดังแสดงใน Figure 1

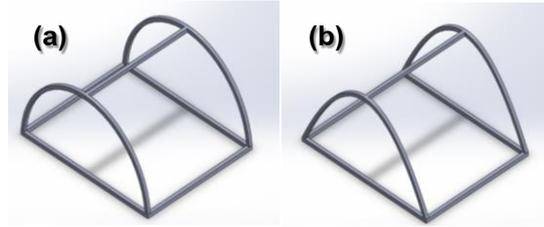


Figure 1 Parabolic greenhouse solar dryer (a) shallow angle and (b) deep angle. (adapted from [1])

หลักการการทำงานของระบบอบแห้งนี้ [7] คือ เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบโรงเรือนจะส่งผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังผลิตภัณฑ์ที่ด้านใน ภายในระบบอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ซึ่งไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปภายนอกได้เนื่องจากเป็นรังสีคลื่นยาว จึงเก็บกักอยู่ในระบบอบแห้ง ขณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิภายในสูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาระบายสู่ภายนอกโรงเรือน อากาศแวดล้อมด้านนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานทั้งจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรง และจากอากาศร้อนภายในส่วนอบแห้ง ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดโดยวิธีธรรมชาติ

ในภาคส่วนการทำการเกษตรนั้น ปัจจุบันผู้บริโภคต้องการผลผลิตที่ปลอดภัยจากสารเคมีควบคุมโรคพืชหรือยาฆ่าแมลงมากขึ้น การปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิดจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพปราศจากสารเคมีตกค้าง ได้รับความนิยมแพร่หลายตั้งแต่ผู้ประกอบการรายใหญ่จนถึงการปลูกในครัวเรือน โรงเรือนปลูกพืชมีหลายรูปแบบ เช่น โรงเรือนหลังคาปิดถาวร โรงเรือนแบบพินเคลื่อน โรงเรือนลูกผสม โรงเรือนตาข่าย ต้องเลือกให้เหมาะกับพืชที่จะปลูก รวมทั้งสภาพภูมิอากาศและเงินทุน [8] พลาสติกที่นิยมใช้ทำโรงเรือน ได้แก่ ตาข่าย โพลีเอทิลีน (Polyethylene) และโพลีคาร์บอเนต ข้อดีของการทำโรงเรือนระบบปิดนี้ คือ สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อม แสงแดด อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมตามคุณลักษณะของพืชและผลไม้แต่ละชนิด และถึงแม้ว่าการปลูกพืชในโรงเรือนจะช่วยป้องกันการระบาดของแมลงศัตรูพืชได้ แต่ก็มียารักษาการระบาดของเพลี้ยอ่อนซึ่งได้สร้างความเสียหายไปทั่วโลก [9] นอกจากนี้ข้อเสียของการปลูกพืชในโรงเรือนคือ มีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดหยดน้ำในโรงเรือน อันเนื่องจากการที่อุณหภูมิในโรงเรือนสูงเกินไป ทำให้ความชื้นภายในโรงเรือนสูงเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ หากเกาะที่ต้นพืชจะทำให้ต้นอ่อนเสียหาย หรือหากเกาะที่โรงเรือนจะทำให้การส่งผ่านของแสงลดลง [10] ปัญหาเหล่านี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบระบาย

อากาศ ดังนั้นทำให้เกษตรกรบางคนเลิกใช้โรงเรือนในการปลูกพืช

ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการระบายอากาศในโรงเรือนอบแห้ง ดังต่อไปนี้ คือ วิฑูรย์ และคณะ [11] ได้ศึกษาผลของการใช้ลูกระบายที่ส่งผลต่อสมรรถนะของตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ พบว่า กรณีมีลูกระบายอากาศจะให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นประมาณร้อยละ 10 และถ้าเพิ่มความสูงของปล่องระบายอากาศขึ้น 2 เมตรจะทำให้น้ำในวัสดุระเหยมากขึ้นประมาณร้อยละ 20 ต่อมา ประพันธ์พงษ์ และ อำไพศักดิ์ [3] ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลหรืออัตราส่วนของขนาดพื้นที่ทางเข้าของอากาศต่อพื้นที่ทางออก ของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ พบว่า อัตราส่วนสมมูลที่ทำให้ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุดคือ 2 ทั้งนี้อัตราส่วนสมมูลมากจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิของอากาศระหว่างทางเข้าและทางออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ทางเข้าน้อยกว่าทางออก อากาศในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ไหลออกไปได้ช้า ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศภายในสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดัดแปลงโรงเรือนปลูกพืชที่หุ้มด้วยโพลีคาร์บอเนต เฉพาะตัวโรงเรือนเปล่าไม่มีอุปกรณ์ระบายอากาศ มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งกล้วยตากโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ให้เกษตรกรมีแนวทางในการเลือกใช้โรงเรือนอีกทาง และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการอบแห้งกล้วยตากพลังงานแสงอาทิตย์ภายในโรงเรือน ในการทดลองนี้เลือกอบแห้งกล้วยน้ำว่าเพราะมีทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย หลังการเก็บเกี่ยวจะเน่าเสียง่าย จึงเหมาะแก่การตากแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และกล้วยตากเป็นผลไม้แห้งที่คนไทยนิยมบริโภคกันอย่างมาก เป็นที่รู้จักกันดีในต่างประเทศ [12]

2. ประเภทของการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

ปัจจุบันเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านรูปแบบ วิธีการ ทำให้สามารถแยกออกเป็นประเภทใหญ่ได้ 3 ลักษณะ คือ

2.1 การอบแห้งแบบ Passive เป็นระบบที่กระแสอากาศร้อนที่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่แบบธรรมชาติ เช่น (1) การตากแห้งแบบธรรมชาติ วัสดุติบรับแสงอาทิตย์โดยตรงและอากาศร้อนจะเคลื่อนที่พาความชื้นออกจากวัสดุติบ ระบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำ ใช้ระยะเวลาในการตากแห้งนาน และมักพบ

สิ่งปนเปื้อนมาก (2) เครื่องตากอบแห้งแบบโดยตรง (Direct Type) วัสดุติบจะอยู่ในวัสดุโปร่งใส รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง เมื่อได้รับความร้อนอากาศภายในเครื่องอบแห้งจะขยายตัวทำให้เกิดการเคลื่อนที่พาความชื้นออกจากวัสดุติบและถ่ายเทความชื้นภายในเครื่องอบแห้ง ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบนี้คืออบแห้งได้รวดเร็วเพราะอุณหภูมิภายในค่อนข้างสูง ผลผลิตสะอาดปราศจากการปนเปื้อน และเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง วัสดุที่ใช้ทำหลังคาต้องมีความโปร่งใส แสงผ่านเข้าง่ายและสะท้อนออกยากทำให้เก็บความร้อนได้เป็นอย่างดี แบบโดยตรงมีการนำไปใช้หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ตู้อบแห้ง และโรงเรือนหลังคาโค้งหรือหลังคาทรงจั่ว ดังแสดงใน Figure 2 (3) แบบใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Indirect Type) แผงรับแสงอาทิตย์หรือ Solar Collector ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ถ่ายเทไปยังอากาศ เมื่ออากาศร้อนขึ้นจะเคลื่อนที่ไปยังห้องอบแห้งซึ่งหุ้มฉนวน จึงทำให้วัสดุอบแห้งไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ดังแสดงใน Figure 3 (4) เครื่องอบแห้งแบบผสม (Mixed Mode Type) มีลักษณะคล้ายแบบที่ (3) แต่ผนังห้องอบแห้งทำด้วยวัสดุโปร่งใสด้วยเพื่อให้ห้องอบแห้งสามารถรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้โดยตรงคล้ายแบบที่ (2)

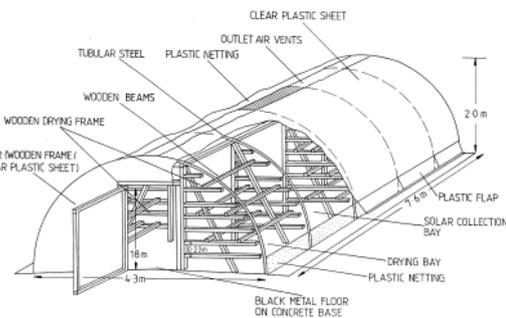


Figure 2 Natural-circulation solar dome dryer. [13]

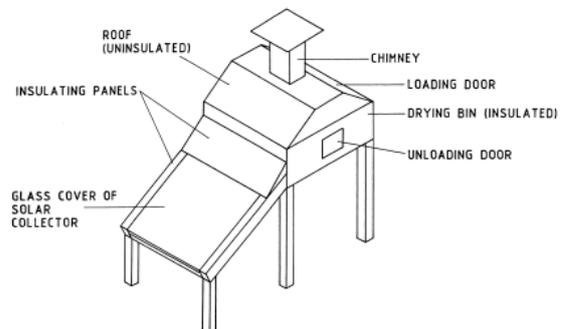


Figure 3 A distributed-type natural-circulation solar maize dryer. [13]

2.2 การอบแห้งแบบ Active เป็นระบบที่คล้ายกับแบบ Passive แต่เพิ่มพัดลมช่วยให้อากาศเคลื่อนที่หมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น ดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านอุปกรณ์รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่ต้องการลดความชื้น

2.3 แบบ Hybrid เป็นการประยุกต์ใช้งานแหล่งความร้อนอื่นกับเครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์ไม่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้สูงขึ้น

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

โรงเรือนอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นโรงเรือนสำหรับปลูกพืช ขนาด 3 x 2 x 2 m ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังแสดงใน Figure 4 วางในแนวเหนือใต้เพื่อทำให้ได้รับรังสีดวงแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน [2] การทดลองแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบฐานเปิด โดยยกโรงเรือนให้สูงจากพื้น และแบบฐานปิด จะใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนสีดำปิดด้านล่างจำกัดช่องเข้าออกของอากาศ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง



Figure 4 (a) Open base and (b) closed base greenhouse for plant.

ในกรณีฐานปิดใช้อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 2 [3] เพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือน และควบคุมทิศทางการไหลของลม โดยใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนสีดำปิดโดยรอบ เว้นทางเข้าเปิดพื้นที่ช่องอากาศด้านล่างให้มีขนาดเป็นสองเท่าของช่องระบายอากาศออกที่ด้านบน ดังแสดงใน Figure 5

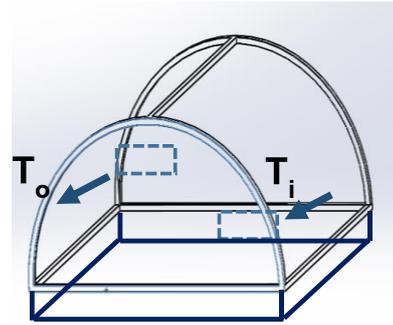


Figure 5 Air ventilation in the greenhouse.

ชั้นวางตะแกรงสำหรับตากกล้วย เป็นโครงทำจากเหล็กกล่อง ขนาด 70x70x140 cm มี 3 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 30 cm ดังแสดงใน Figure 6



Figure 6 Shelves for drying bananas.

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การบันทึกผลสถานะแวดล้อมภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger - Fristaden Lab รุ่น SSN-23) เพื่อเก็บผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทุกๆ 1 s ทั้ง 2 จุด ดังแสดงใน Figure 5 เป็นเวลา 5 วัน

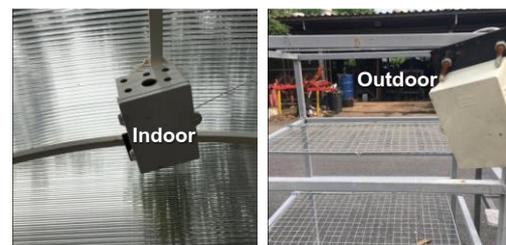


Figure 7 Installation data logger in both indoor and outdoor of greenhouse.

2. เก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วย (Solar power - Lutron รุ่น SPM-1116SD) ทุกๆ 10 S ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลา 5 วัน ตั้งแต่วันที่ 22-26 กุมภาพันธ์ 2559 เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพ

3.2.2 การอบแห้งกล้วยตากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้

1. หาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว่าโดยการสุ่มกล้วย 1 ลูก จากแต่ละหวี ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งใช้กล้วยน้ำว่าประมาณ 12 kg

2. นำกล้วยมาอบแห้งเป็นเวลา 5 วัน ตั้งแต่วันที่ 22-26 กุมภาพันธ์ 2559 ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. ในโรงเรือนที่ฐานเปิด

3. ทุกๆ 2 h สุ่มเก็บกล้วย เพื่อนำมาหาความชื้นและ สุ่มเก็บกล้วย มาวัดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้วยด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว

4. ทำการทดลองซ้ำ โดยอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิด และตากกลางแจ้ง เพื่อเปรียบเทียบ

3.2.3 การวัดสมบัติทางกายภาพของกล้วยหลังอบแห้ง

1. การหาปริมาณความชื้นของกล้วย โดยนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 6 h นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ (1)

$$M_w = \frac{w - d}{w} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)
 w คือ มวลเปียกของกล้วย (g)
 d คือ มวลแห้งของกล้วย (g)

นำกล้วยตากแปรรูปจากแหล่งต่าง ๆ มาหาความชื้น เพื่อเป็นค่าอ้างอิงความชื้นสุดท้ายในการทดลอง

2. การหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของกล้วย โดยละเอียดดังนี้ การหดตัว คือ การมีขนาดเล็กลง ซึ่งในทางกายภาพสามารถวัดได้ทั้งเชิงเส้น อันได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความสูง ที่มีขนาดลดลงจากเดิม

ในการทดลองนี้พิจารณาให้กล้วยมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำการวัดความยาว และเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้วย ทุก ๆ 2 h แล้วคำนวณหาปริมาตรของกล้วยจากสูตรปริมาตรทรงกระบอก ดังสมการที่ (2)

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} \quad (2)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรกล้วย (mm^3)
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกล้วย (mm)
 L คือ ความยาวของกล้วย (mm)
 และคำนวณเปอร์เซ็นต์การหดตัวของกล้วย ดังสมการที่ (3)

$$S = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \quad (3)$$

เมื่อ S คือ เปอร์เซ็นต์การหดตัว
 V_0 คือ ปริมาตรกล้วยเริ่มต้น (mm^3)
 V_1 คือ ปริมาตรกล้วยในช่วงต่อมา (mm^3)

3.2.4 การวัดประสิทธิภาพของโรงเรือน

1. การคำนวณอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) คือ ปริมาณน้ำในกล้วยที่ระเหยออกไปต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเป็นตัวชี้บ่งของความสามารถในการระเหยน้ำของการตากกลางแจ้งหรืออบแห้งในโรงเรือนได้เร็วหรือช้า โดยคำนวณจากสมการที่ (4) [14]

$$DR = \frac{M_{wi} - M_{wf}}{t} \quad (4)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (g/h)
 M_{wi} คือ ความชื้นเริ่มต้น (g water/100 g banana)
 M_{wf} คือ ความชื้นที่เวลา t (g water/100 g banana)
 t คือ เวลาที่ใช้อบแห้ง (h)

2. การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณหาสมรรถนะของระบบอบแห้งได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากกล้วยต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบ ดังสมการที่ (5) [15], [16]

$$\eta = \frac{m h_{fg}}{3.6 \times IA} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง
 \dot{m} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h)
 h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (2260 kJ/kg)

A คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของการอบแห้ง (6 m²)
I คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนพื้นราบต่อตารางเมตรต่อวัน (W/m²)

4. ผลการทดลอง

4.1 การตรวจวัดค่าความชื้นแฉงอากาศ

จากการตรวจวัดค่าความชื้นของรังสีแฉงอากาศในช่วงเวลา ระหว่าง 8.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ ใช้ทำการทดลองพบว่าข้อมูลที่ได้เป็นไปตาม Figure 8

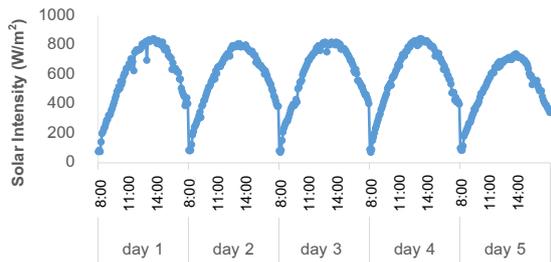


Figure 8 The variation of solar intensity. (February 22-26, 2017)

จาก Figure 8 พบว่าค่าความชื้นรังสีแฉงอากาศที่เวลา 8.00 น. ของบริเวณสถานที่ทำการทดลองจะเริ่มต้นที่ ประมาณ 90 W/m² และมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งประมาณช่วง ระหว่าง 12.00 ถึง 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าความชื้นรังสีแฉงอากาศสูงสุดประมาณ 740-840 W/m² จากนั้นค่าที่วัดได้จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเวลาประมาณ 16.00 น. ที่มีค่าลดลงประมาณ 385 W/m²

4.2 การตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ

สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าในโรงเรือนในทุกๆ ช่วงเวลา ดังแสดงใน Figure 9 และโรงเรือนแบบฐานปิดจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ซึ่งต่ำกว่าภายนอกประมาณ 22.5% ในขณะที่โรงเรือนแบบฐานเปิดมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าภายนอกเพียง 14%

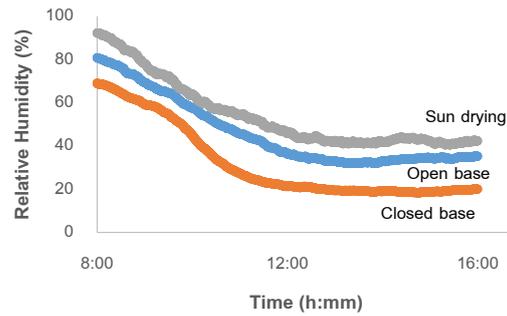


Figure 9 Average relative humidity of the air. (February 22-26, 2017)

อุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความชื้นรังสีแฉงอากาศ โดยที่อุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนแบบฐานเปิดจะมีค่าสูงกว่าอากาศแวดล้อมด้านนอกเพียงเล็กน้อยในทุกๆ ช่วงเวลา สำหรับโรงเรือนแบบฐานปิดจะมีค่าเริ่มต้นใกล้เคียงกับอากาศภายนอกเช่นกัน จนกระทั่งเวลา 10.00 น.จะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก 6-17.5 °C ดังแสดงใน Figure 10

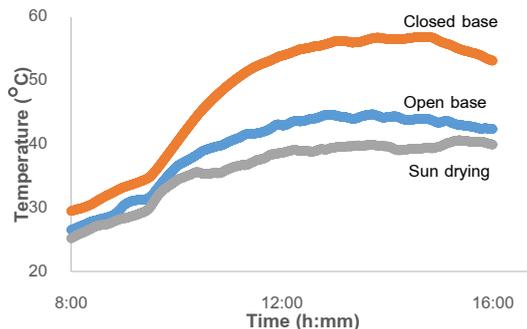


Figure 10 Average temperature of the air. (February 22-26, 2017)

4.3 ผลการอบแห้งกล้วยตาก

ทำการทดลองตากกล้วยเป็นเวลา 5 วัน โดยแบ่งช่วงเวลาเก็บตัวอย่างในแต่ละวันเป็น 5 ช่วง คือ เวลา 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. กล้วยมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 75% (w.b.) ความชื้นสุดท้ายของกล้วยที่ตากในโรงเรือนแบบฐานปิดและแบบฐานเปิดมีค่าประมาณ 52.8% (w.b.) และ 58.8% (w.b.) ตามลำดับ และความชื้นสุดท้ายของกล้วยที่ตากกลางแจ้ง คือ 59.2% (w.b.) ดังแสดงใน Figure 11 ซึ่งจะเห็นว่าความชื้นของกล้วยในแต่ละช่วงเวลาที่ตากกลางแจ้งและอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานเปิดมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และพบว่าค่าความชื้นลดลงช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งใน

โรงเรือนแบบฐานปิด ทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานกว่าหากต้องการลดความชื้นให้ได้ปริมาณเท่ากัน และจากการนำกล้วยตากจากแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ มาทดสอบหาค่าความชื้น พบว่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าตากแห้ง ที่จำหน่ายมีความชื้นประมาณ 56.5% (w.b.) ซึ่งที่ระดับความชื้นนี้จะใช้เวลาอบกล้วยภายในโรงเรือนแบบฐานปิดเพียง 4 วัน

ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนมีผลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้งและระยะเวลาอบแห้ง

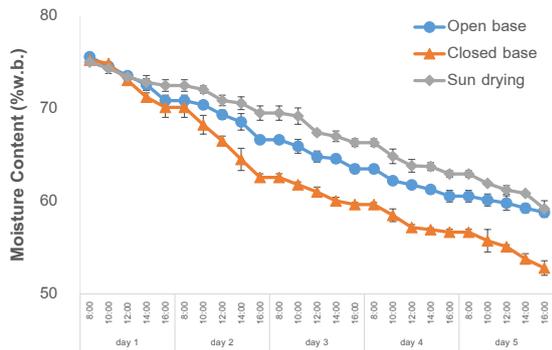


Figure 11 Moisture content of banana after drying at different methods.

ขณะที่ทำการอบแห้งในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยการตากกลางแจ้ง อบแห้งในโรงเรือนแบบฐานเปิด และอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน คือ ในวันแรกจะมีอัตราการอบแห้งสูง และค่อย ๆ ลดลงจนสิ้นสุดวันที่อบแห้ง เช่น ในโรงเรือนแบบฐานปิด ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดมีค่าลดลงจากวันแรก 99.6 g/h เป็น 48.8 g/h ในวันสุดท้าย เนื่องมาจากภายในกล้วยน้ำว้ามีความชื้นสูง ทำให้การถ่ายเทมวลของน้ำจากกล้วยน้ำว้าออกจากไปยังผิวหน้าเกิดขึ้นได้ง่าย และรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณน้ำภายในลดลง มวลน้ำที่ตึงออกได้ก็น้อยลงด้วย ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำระเหยออกจากกล้วยน้ำว้าลดลง อัตราการอบแห้งก็จะลดลงด้วย นอกจากนี้อัตราการอบแห้งในแต่ละวันสอดคล้องกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ คือ ชั่วโมงที่มีอัตราการอบแห้งสูงสุดเกิดในช่วง 12.00 ถึง 14.00 น. ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด ดังแสดงใน Figure 12

จากผลการทดลอง การอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิดมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยสูงกว่าโรงเรือนแบบฐานเปิด และตากกลางแจ้ง เท่ากับ 25.2% และ 29.5% ตามลำดับ

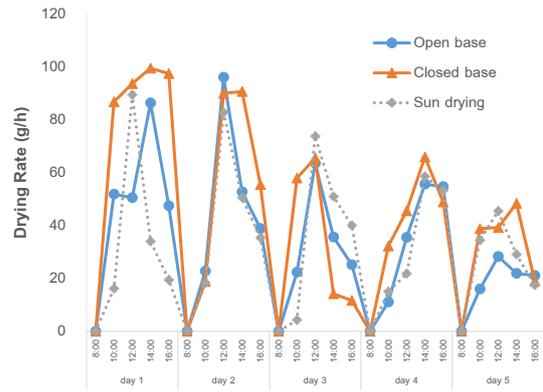


Figure 12 Drying rate of dried banana during drying.

จาก Figure 13 จากผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ทุกๆ 2 ชั่วโมง ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดระยะเวลาอบแห้ง 584 W/m² พื้นที่รับแสง 6 m² พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงสุดในวันแรกและมีแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการอบแห้งในแต่ละวันมีค่าลดลง โดยวันแรกมีค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด และวันสุดท้ายมีอัตราการอบแห้งต่ำสุด การอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานปิดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าโรงเรือนแบบฐานเปิด และตากกลางแจ้ง เท่ากับ 29.2% และ 34.9% ตามลำดับ

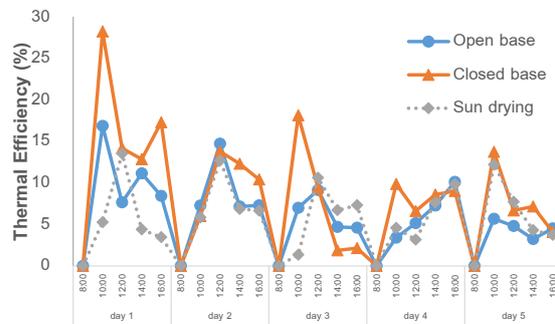


Figure 13 Thermal efficiency of solar dryer.

จาก Figure 14 เมื่อกล้วยได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะทำให้น้ำที่อยู่ภายในกล้วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในและภายนอกของเซลล์ในเนื้อกล้วย โมเลกุลของน้ำจากภายในเนื้อกล้วยจึงเคลื่อนที่ออกไปยังอากาศ ทำให้น้ำในกล้วยมีปริมาตรลดลงและเกิดการหดตัว กล้วยเป็นผลไม้ที่มีน้ำมากจึงเกิดการหดตัวได้มาก เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาอบแห้ง เป็นผลมาจากความชื้นของกล้วยที่ลดลง จากผลการทดลอง พบว่า กล้วยที่อบแห้ง

ในโรงเรือนแบบฐานปิดมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ยสูงกว่าโรงเรือนแบบฐานเปิด และตากกลางแจ้ง เท่ากับ 11.5% และ 15.7% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศอบแห้ง

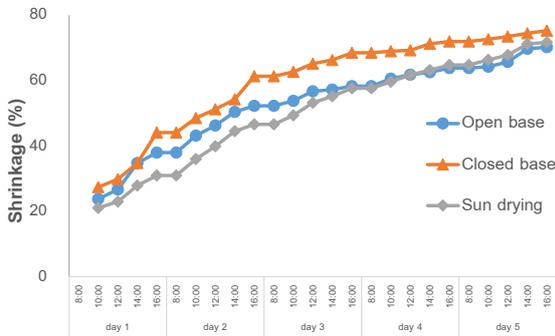


Figure 14 Drying time effect on value of shrinkage.

จาก Figure 15 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวและปริมาณความชื้นของกล้วยที่อบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลง การลดลงของความชื้นในช่วง 60-75% (w.b.) กล้วยจะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง แต่เมื่อความชื้นลดลงต่ำกว่า 60% (w.b.) เปอร์เซ็นต์การหดตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเกือบคงตัว

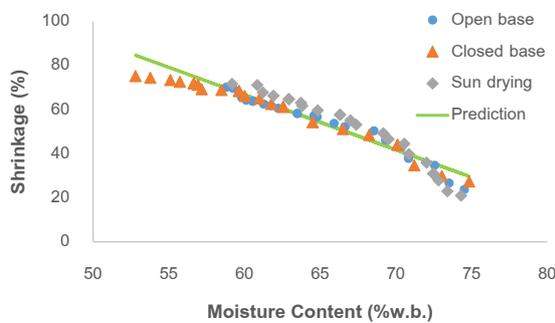


Figure 15 Relationship between percentage of shrinkage and moisture content of dried banana.

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวและปริมาณความชื้นของกล้วย ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$Y = -2.493X + 216.3; \quad R^2 = 0.92 \quad (6)$$

สมการที่ (6) นี้ พิจารณากล้วยน้ำว้าในช่วงความชื้น 52.8 - 74.8% (w.b.)

5. สรุปและเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้โรงเรือนปลูกพืช มีความมุ่งหมายคือดัดแปลงให้โรงเรือนปลูกพืชให้เป็นโรงเรือนอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การอบแห้งกล้วยน้ำว้าในโรงเรือนแบบฐานปิดโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งในโรงเรือนแบบฐานเปิด หรือการตากกลางแจ้ง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 รหัสโครงการ วศ.กพส. 6/2559 และขอพระคุณ คุณสมชาย มารุ่งโรจน์ บริษัท เทคโนโลยีสตรี จำกัด ที่ได้มอบโรงเรือนปลูกพืชให้ใช้ในการทดลอง รวมทั้ง ผศ.กรต กุญชร ณ อยุธยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ต่าง ๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Janjai, S. 2013. **Solar Drying Technology**. Nakhon Pathom: Silpakorn University Press. (in Thai)
- [2] Soponronnarit, S. 1997. **Drying of cereal grains and certain foods**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi Press. (in Thai)
- [3] Somsila, P. and Teeboonma, U. 2013. Effect of Aspect Ratio on Efficiency of Airflow Circulation inside Solar Dryer. **UBU Engineering Journal** 6(2): 46-54. (in Thai)
- [4] Somsila, P and Teeboonma, U. 2013. Temperatures and Air Velocity Characteristic inside Greenhouse Solar Dryer of Triangle Roof Type. In: **Proceeding of the 9th National Research Conference of Mahasarakham University**, 12-13 September 2013. Mahasarakham, Thailand. (in Thai)
- [5] Jeentada, W. and Phetsongkran, P. 2017. Geometrical Effects of Solar Greenhouse Dryer on Rubber Sheet Drying. **The journal of KMUTNB** 27(1): 89-99. (in Thai)

- [6] Buranasing, N. 2017. **Solar Drying System: Innovation to Reduce Global Warming.** <http://www.parliament.go.th/library>. Accessed 31 May 2018. (*in Thai*)
- [7] Piwsaoad, J. 2014. **Performance of a Greenhouse Solar Dryer for Drying Para Rubber Sheets.** PhD Dissertation, Department of Physics, Silpakorn University. (*in Thai*)
- [8] Santasup, C. 2013. **Plant Production Technology in Greenhouse.** http://mis.agri.cmu.ac.th/download/publication/3057_file.pdf. Accessed 20 May 2018. (*in Thai*)
- [9] Shahzad, W.M., Razaq, M. Hussain, A., Yaseen, M., Afzal, M. and Mehmood, K.M. 2013. Yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) affected by aphid feeding and sowing time at Multan, Pakistan. **Pakistan Journal of Botany** 45, 2005-201.
- [10] Bualek, S. 1996. Use of plastic in agriculture: Plastic for Building Greenhouse. **MTEC journal** 3(2): 56-61. (*in Thai*)
- [11] Witoon Obrom and et al. 2005. **Comparative The Performance of Cabinet Solar Dryer between Hood and without Hood.** [http://www.ptwit.ac.th/ee00/acrobat/PSSDV\(18\).dpf](http://www.ptwit.ac.th/ee00/acrobat/PSSDV(18).dpf). Accessed 10 December 2007. (*in Thai*)
- [12] Janjai, S. and Mahayothee, B. 2016. Development of Dried Banana Production in A Dried Banana Community of Bangkratum District, Phitsanulok Province. **Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University** 3(6): 310-322. (*in Thai*)
- [13] Ekechukwu, O.V. and Norton, B. 1999. Review of Solar-Energy Drying Systems II: An Overview of Solar Drying Technology. **Energy Conversion & Management** (40) 615-655.
- [14] Kar, A., & Gupta, D.K. 2003. Air Drying of Osmoded Button Mushroom. **Journal of Food Science and Technology** 40(1), 23-27.
- [15] Hudakorn, T. 2009. A Study on Performance of a V-groove Flat Plate Solar Collector for a Solar Dryer In: **Proceeding of the 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand**, 4-7 November 2009. Chiang Mai, Thailand. (*in Thai*)
- [16] Puban, S and Chantawong, V. 2015. Drying of Katoy Squid Using Solar Thermal Energy. **The Journal of Industrial Technology** 11(1), 78-87. (*in Thai*)