

การอบแห้งปลาสดหมักหะครามด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

DRYING OF SNAKESKIN GOURAMI MARINATED IN SUAEDA MARITIMA BY USING SOLAR ENERGY COMBINED WITH HOT AIR FROM SOLAR COLLECTOR

คณิงนิต ปทุมมาเกษร^{1*} วันชลี เพ็งพงศา¹ ดิณฑภพ จุ่มอิน^{2*} และ สายชล ทองคำ³

Kanuengnit Patoommakesorn¹ Wanchalee Pengpongsa¹ Thinnaphop Chum-in^{2*} and Saichon Tongkam³

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Lecturer, Division of Production Technology, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

² Key Laboratory of Thermal Fluid Science and Engineering of MOE, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

³ อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

³ Lecturer, Division of Food and Nutrition, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

* Corresponding author E-mail : Syck59@hotmail.com, thinnaphop@gmail.com Received : 08 January 2021

Revised : 27 April 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับปลาสดหมักหะคราม โดยเครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ โรงอบแห้งรูปทรงพารา-โบลาขนาดพื้นที่ 3.24 ตารางเมตร ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 1.305 ตารางเมตร และรถเข็นสำหรับใช้คีบปลาสด สำหรับขั้นตอนการทดลองจะนำปลาสดที่หมักด้วยหะครามจำนวน 1 kg ทำการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1, 2 และ 3 m/s จากการทดลองพบว่าความเร็วที่ 3 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วสุดที่ 80 นาที โดยปลาสดหมักหะครามมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 180%db การอบแห้งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง Tow term สมการค่า R² สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมทางด้านพลังงานของเครื่องอบแห้งจากการใช้พลังงานหลัก 3 ส่วน ได้แก่ (1) พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (2) พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนตัวโรงอบแห้ง และ (3) พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อนพบว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นครั้งนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมทางพลังงานค่าเท่ากับ 18.068%

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, หะคราม, ปลาสด

ABSTRACT

This research aims to design and build a solar energy dryer prototype combined with hot air from the solar collector for snakeskin gourami marinated in Suaeda Maritima. The developed dryer consists of 3 main parts, including a drying chamber with an area of 3.24 m², a solar collector with an area of 1.305 m², and a trolley for tipping snakeskin gourami marinated. In the experiment, one kilogram of snakeskin gourami

<http://jeet.siamtechu.net>

marinated in Suaeda was prepared. To study the optimal drying condition, they were dried at different air velocities of 1, 2, and 3 m/s. The results showed that the air velocity of 3 m/s was the fastest drying time of 80 minutes, which snakeskin gourami marinated in Suaeda Maritima has a final moisture content of 180%db. In the drying, two-term equation was the suitable mathematical model in this study. The highest R^2 is 0.9925 and the lowest and RMSE are 0.0001 and 0.0044, respectively. Besides, the energy consumption of the solar dryer was also considered. In this study, the energy sources in the drying process were derived from three parts, including (1) hot air energy from the solar collector, (2) solar energy in the part of the solar chamber, and supplied electrical power to the fan for circulation and suction of hot air. Interestingly, the overall efficiency of energy consumption for the solar dryer was 18.068%.

Keywords: Solar dryer, Suaeda, Snakeskin gourami

1. บทนำ

สำหรับแนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับปลาสดหมักหะขามในงานวิจัยนี้ เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสไปทำวิจัยร่วมกับชุมชนในเขตอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสงคราม พบปัญหาหลักของเกษตรกรผู้แปรรูปและผู้ค้าปลาสลิด คือ การขาดการวางแผน การผลิตและการแปรรูปที่ดี ความสะอาดและปลอดภัยของปลาสลิดที่เพาะเลี้ยงในพื้นที่ การทำปลาสลิดแดดเดียวด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีในชุมชนเป็นโรงอบแห้งขนาดใหญ่และใช้งานไม่สะดวก ขั้นตอนการอบแห้งจำเป็นต้องพลิกกลับปลาเพื่อให้ปลาแห้งอย่างทั่วถึง ทำให้เกษตรกรต้องทำงานซ้ำ ผลิตรักษะที่ได้ยังแห้งไม่เพียงพอ ซึ่งหากเกษตรกรจำหน่ายไม่หมดก็จะต้องนำมอบแห้งซ้ำอีกรอบ นอกจากนี้โรงอบแห้งยังอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวทำให้ไม่สามารถอบปลาสลิดได้อย่างต่อเนื่องในกรณีที่มีสภาพดินฟ้าอากาศไม่เอื้ออำนวย หรือมีแดดน้อยในบางวันก็จะทำให้การอบแห้งไม่มีประสิทธิภาพ และอาจทำให้ปลาสลิดเน่าเสียก่อนได้ [1]

การอบแห้งพืชผลทางการเกษตรและอาหารถือเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรและอาหารสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง ที่ผ่านมามีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ดังเช่น ชีรเดช ไชยบุบ และคณะ (2553) [2] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าสำหรับปลา โดยพลังงานหลักมาจากแสงอาทิตย์และใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม สามารถอบแห้งปลาได้ 50 kg โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้เวลา 6 ชั่วโมงในการอบแห้ง มีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะในการอบแห้งน้อยสุดเท่ากับ 42.57 MJ/kg H₂O (evap) และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54% ต่อมาเวียง อากรช และคณะ (2559) [3] ได้ศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้ ซึ่งเป็นโรงอบแห้งขนาดใหญ่ ใช้สำหรับการอบแห้งพริกจำนวน 100 kg จากความชื้นเริ่มต้น 78% ให้เหลือ 12% ซึ่งเป็นการผสมผสานการอบแห้งร่วมกันสองระบบจากแสงอาทิตย์และตู้อบลมร้อน ซึ่งการใช้พลังแสงอาทิตย์ถือเป็นการใช้พลังงานทดแทนที่สะอาดและประหยัดได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีเครื่องอบแห้งแบบกะทัดรัดโดยใช้ตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ชนิดอากาศร้อนไหลลง ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยวรณัฐ แจ้งสว่าง (2556) [4] เครื่องอบแห้งได้มีการออกแบบให้มีการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยให้มีการอุ่นอากาศภายนอกก่อนเข้าไปยังโรงสะสมความร้อน และจัดรูปแบบการไหลของอากาศแบบกระจายลมร้อน ก่อนเข้าไปยังโรงอบแห้ง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนที่จ่ายเข้าไปยังโรงอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 37% ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในแต่ละชั้นมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยดังกล่าวจะพบว่ากรอบการออกแบบและชั้นวางผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีหลายชั้นอาจพบปัญหาเรื่องของการกระจายความร้อนที่ไม่ทั่วถึงเท่ากันอีกทั้งถ้าทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทปลาอาจต้องเพิ่มเวลากลับด้านปลาอีกด้วย

<http://jeet.siamtechu.net>

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กลง แต่ประกอบด้วยทั้งหมด 3 ระบบคือ (1) โรงอบแห้งที่เป็นทรงพาราโบลาที่ทำการลดขนาดลงเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกและกะทัดรัด เหมาะสำหรับการอบแห้งจำนวนไม่มาก และช่วยให้การกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้นเมื่อนำลมร้อนเข้าสู่ตู้อบแห้ง (2) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) สำหรับการอุ่นลมร้อน เพื่ออุ่นให้อากาศร้อนก่อนนำเข้าสู่โรงอบแห้ง นอกจากนี้วิธีการจัดเรียงปลาสำหรับเข้าสู่ภายในโรงอบแห้งจะทำการแขวนพลาสติกโดยใช้ตะขอเกี่ยวในแนวตั้ง ทำให้ไม่จำเป็นต้องพลิกกลับเนื้อพลาสติก ประหยัดเวลาและลดขั้นตอนในการทำงานลง นอกจากนี้ยังเพิ่มล้อเลื่อนเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายเข้าออกได้อย่างสะดวก และง่ายต่อการล้างทำความสะอาดได้ง่ายอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับพลาสติกหมักขยะคราม

2.2 เพื่อหาความเร็วลมและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพลาสติกหมักขยะคราม

2.3 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามและสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบหลัก

3.1.1 พลาสติก

3.2.2 น้ำใบชะครามตามวิธีการทดลองของ สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช [1]

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล OHAUS Valor1000 สำหรับชั่งน้ำหนักของพลาสติกก่อนและหลังการอบแห้ง

3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง

3.2.3 เครื่องวัดความเร็วลม Anemomaster LITE 6006 วัดความเร็วลมแบบ hot-wire สำหรับวัดความเร็วลมเข้าและออกของเครื่องอบแห้ง

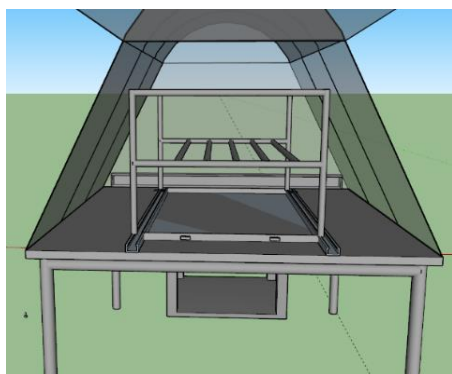
3.2.4 เครื่องวัดความชื้นแบบ Smart Sensor AR867 สำหรับตรวจวัดความชื้นภายในเครื่องอบแห้ง

3.2.5 เครื่องบันทึกข้อมูล เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลค่าความชื้น อุณหภูมิสำหรับการทดสอบ

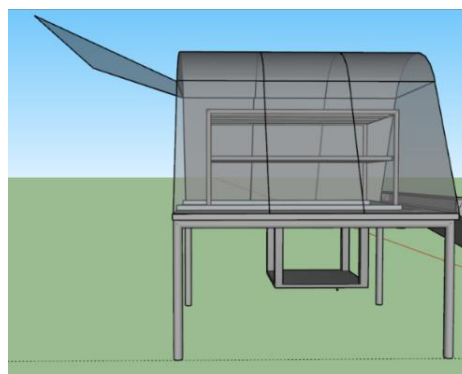
3.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ Ponpe DT-321S CEM สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม

3.3 การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ โรงอบแห้งรูปทรงพาราโบลาอ้างอิงจากเสริม จันทรฉาย (2560) [7] และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่จากพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ออกแบบรถเข็นสำหรับใช้เป็นราวหนีบพลาสติกหมักขยะคราม โดยใช้วิธีการคิปลาทนการวางในแนวนอน เพื่อแก้ปัญหาความจำเป็นที่จะต้องพลิกกลับปลาในระหว่างการอบแห้ง และได้ทำการใส่ล้อเข้าไปเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งานเมื่อต้องการลำเลียงพลาสติกหมักขยะครามเข้าโรงอบแห้ง



(ก) ด้านหน้าของห้องอบแห้ง



(ข) ด้านข้างของห้องอบแห้ง

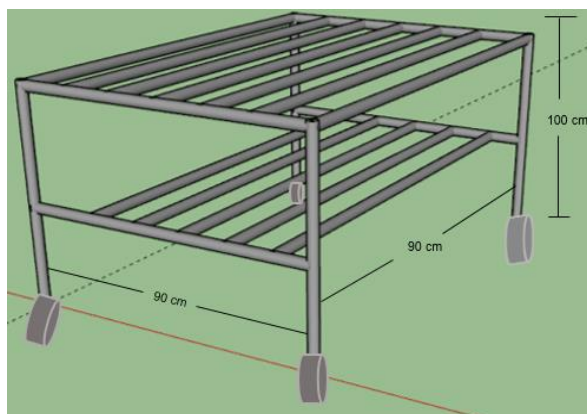


(ค) โรงอบแห้งที่เชื่อมต่อกับตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

3.3.1 โรงอบแห้ง มีลักษณะเป็นโดมโค้งพาราโบลาทำมุม 58 องศากับฐานอะลูมิเนียม มีขนาด 180x180 cm มีขาตั้งสูง 98 cm ดังรูปที่ 1 โรงอบแห้งออกแบบโดยใช้โครงเหล็กและใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบใส Light Transmission (LT) 83% ขนาดความหนา 5 mm เนื่องจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนความร้อนที่ดี มีน้ำหนักเบา และตัดโค้งได้ง่าย ส่วนด้านหน้าโรงอบแห้งทำประตูเปิด-ปิดสำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกได้ ส่วนด้านหลังของโดม เครื่องอบแห้งทำการเชื่อมต่อกับตัวเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนพื้นของโรงอบแห้งเป็นแผ่นเหล็กชุบมีขนาด 180x180x3 cm

3.3.2 รถเข็นสำหรับแขวนพลาสติกหมักขยะครามเพื่อลำเลียงเข้าสู่โรงอบแห้งทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิมเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน โดยรถเข็นมีลักษณะเป็นราวแขวน 2 ชั้น ชั้นละ 5 ราว และราวถูกเจาะรูสำหรับที่แขวนไม้หนีบ ราวละ 5 รู ดังรูปที่ 2



(ก) แบบภาพวาดของรถเข็นแขวนพลาสติก



(ข) รถเข็นแขวนพลาสติก

รูปที่ 2 ลักษณะรถเข็นสำหรับแขวนพลาสติกหมักขยะคราม

3.3.3 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ที่มีอากาศเป็นตัวกลางพาความร้อนเข้าโรงอบแห้งด้วยพัดลมเหล็กดูดอากาศขนาด 4 นิ้ว จำนวน 4 ตัว โครงของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 mm มีขนาด 145x90x15 cm ส่วนภายในตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ถูกแบ่งเป็นชั้น โดยมีกระจกหนา 0.5 cm วางปิดด้านบน ชั้นถัดมาเป็นช่องอากาศร้อนไหลผ่าน 2.5 cm โดยเจาะทะลุให้พอดีกับโรงอบแห้งและติดพัดลมเพื่อดูดอากาศร้อนเข้าโรงอบแห้งได้ ชั้นถัดมาเป็นแผ่นอลูมิเนียมเคลือบด้วยสีดำนว่นขนาด 0.2 cm และชั้นถัดมาเป็นช่องสำหรับใส่ทรายขนาด 10 cm ทั้งนี้มีฉนวนกันความร้อนติดรอบทั้งโครงเหล็ก

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมพลาสติกหมักขยะคราม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพลาสติกตามวิธีการของ สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช [1] โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมส่วนผสมในการผลิตพลาสติกหมักขยะคราม โดยชั่งตวงส่วนประกอบทั้งหมด
2. นำขยะครามเด็ดเอาแต่ใบมาล้างและพักไว้ นำไปบดให้ละเอียดน้ำ 1/2 ถ้วย เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำขยะครามที่บดละเอียดไปผสมกับกระเทียม (บด) ร้อยละ 1 พริกไทย (บด) ร้อยละ 0.5 และใส่เกลือทะเลร้อยละ 1 น้ำมันพืช ร้อยละ 0.5 ซอสปรุงรส ร้อยละ 0.5 แล้วนำไปคลุกเคล้ากับพลาสติกที่เตรียมไว้
4. หมักพลาสติกกับเครื่องปรุงทั้งหมด หมักในตู้เย็น 1 คืน
5. นำพลาสติกหมักขยะครามมาล้างน้ำสะอาดและพักไว้ให้สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมนำไปอบแห้ง

3.4.2 การหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะคราม

การหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะครามโดยการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้นตามวิธีการ AOAC, 2000

3.4.3 วิธีการอบแห้ง

เริ่มจากการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และดำเนินการทดลองโดยการนำเอาพลาสติกหมักกับขยะครามครั้งละ 1-2 kg จำนวนตัวอย่างของพลาสติกหมักขยะครามที่นำมาทดลองประมาณ 8 ตัว การทดลองทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง พร้อมทำการศึกษาช่วงความเร็วลม 1, 2 และ 3 m/s และอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจากนั้นจึงทำการอบแห้งไปเรื่อยๆ จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของพลาสติกหมักขยะครามอบแห้งมี

<http://jeet.siamtechu.net>

ความชื้นไม่เกิน 65% มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มผช.298/2557) [5] ในระหว่างทำการทดลองจะดำเนินการเก็บข้อมูลน้ำหนักปลาทุกๆ 20 นาที และนำไปหาค่าความชื้นฐานแห้งตามสมการที่ (1) [4]

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

เมื่อ M_d = ความชื้นฐานแห้ง (%db) d = มวลแห้งของวัสดุ (kg)
 w = มวลของวัสดุชิ้น (kg)

3.4.3 การตรวจวัด

1. อุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลทั้งในโรงอบแห้งและสิ่งแวดล้อม โดยภายในโรงอบแห้งจะทำการวัดอุณหภูมิ โดยทำการควบคุมให้อุณหภูมิในโรงอบแห้งให้มีค่าคงที่ 50-70 °C
2. ความเร็วลม การวัดความเร็วลมภายในโรงอบแห้งจะทำการวัด โดยใช้เครื่องมือ Anemomaster LITE 6006 วัดความเร็วลมแบบ hot-wire
3. ความชื้น การวัดความชื้นของอากาศจะทำการวัดทั้งภายในโรงอบแห้งและสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบบ Smart Sensor AR867 ซึ่งสามารถใช้วัดได้อุณหภูมิและความชื้น 2 เซนเซอร์ ทุกๆ 20 นาที

3.5 ประสิทธิภาพรวมด้านพลังงานของเครื่องอบแห้ง

ค่าของพลังงานความร้อนที่ใช้ออบแห้งเทียบกับมวลน้ำที่ระเหย 1 kg สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [2, 6]

$$\text{พลังงานที่ใช้ (MJ/kgH}_2\text{O}_{\text{evp}}) = \frac{\text{พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)}}{\text{มวลทั้งหมดที่ลดลง (kg)}} \quad (2)$$

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%) ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง หาได้จากพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากพลาสติกหมักขยะครามเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่ตู้อบแห้งได้รับ ดังสมการที่ (3) [2, 6]

$$\eta = \frac{w \cdot h_{fg}}{Q_E + Q_S + Q_C} \quad (3)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%) Q_E = พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมหมุนเวียนอากาศ (MJ)
 w = ปริมาณน้ำระเหย (kg) Q_S = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)
 h_{fg} = สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg) Q_C = พลังงานที่ได้จากเก็บรังสีอาทิตย์ (MJ)

3.6 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง ซึ่งเป็นสมการการถดถอยไม่เชิงเส้นทั้งหมด (non-regression) [8] ดังตารางที่ 1 สำหรับการหาค่าคงที่แต่ละสมการจะใช้วิธีการ Levenberg–Marquardt (LM) และความสามารถในการประมาณค่าจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (reduced chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

Name of models	Model equation
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Tow term	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$
Logistic	$MR = a / (1 + \exp(-kt))$

4. ผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดลองในช่วงเวลาระหว่าง 11.00-14.00 น. วันที่ 2 กรกฎาคม 2563 สภาพอากาศโดยทั่วไปมีแดดครึ้มมีเมฆมากแสงแดดน้อยมากหรือบางวันไม่มีแสงแดดเลยระหว่างการทดลอง

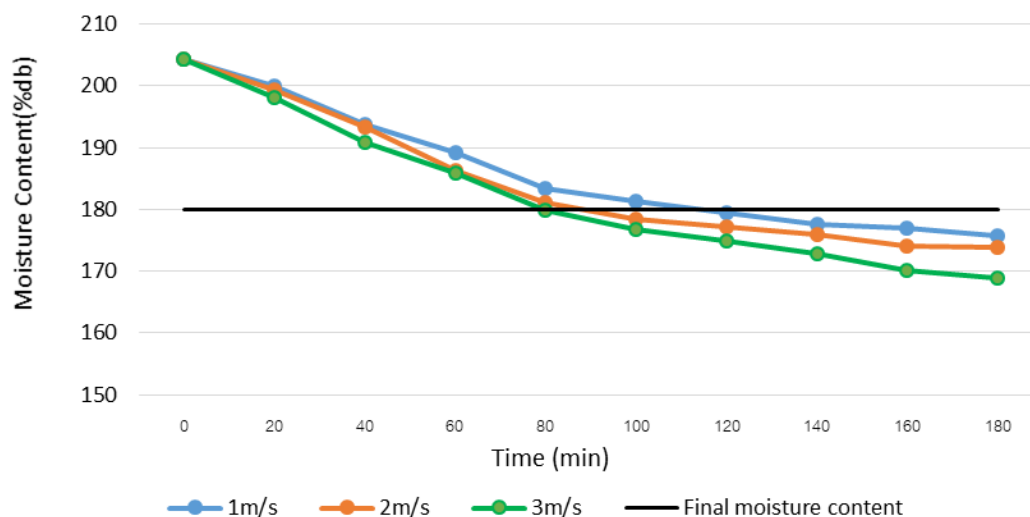
4.1 ผลการทดสอบการหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะคราม

จากการทดลองพบว่าพลาสติกหมักขยะครามมีความชื้นเริ่มต้นแห้งเริ่มต้นประมาณ 191.55 – 217.91%db หรือเฉลี่ยประมาณ 204.73%db สำหรับการทดลองอบแห้งปลาในงานวิจัยนี้จะอบจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มพช.298/2557) [5] ถึงแม้ว่าเมื่อทำการคำนวณแล้วในงานวิจัยนี้พบว่าพลาสติกหมักขยะครามควรมีความชื้นฐานแห้งสุดท้ายอยู่ที่ 185%db แต่ในการทดลองจริงผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้ความชื้นฐานแห้งต่ำกว่า คือ 180%db ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้

4.2 ผลการทดลองอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามสำหรับใช้ทำปลาแดดเดียวโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสี

ในการทดลองอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งไม่สามารถทำการควบคุมและปรับตั้งค่าได้เพราะขึ้นอยู่แสงแดดตามธรรมชาติในขณะนั้น ดังนั้นเมื่อทำการวัดอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพบว่ามีค่าเฉลี่ย 51.74-52.18 °C โดยอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเฉลี่ย 29.08-33.14 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 29.08-32.81% การทดลองมีการปรับค่าความเร็วลมที่ 1, 2 และ 3 m/s เพื่อต้องการทราบผลความแตกต่างของค่าความชื้นของพลาสติกที่ลดลงและความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้อบแห้งรวมทั้งต้องสังเกตถึงคุณภาพภายนอกของพลาสติกพร้อมค่าความเร็วลมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลการทดลองการอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงในรูปที่ 3 การลดลงของค่าความชื้นในช่วง 80 นาทีแรกพบว่าค่าความชื้นของพลาสติกหมักขยะครามมีการลดลงอย่างรวดเร็ว จากการปรับค่าความเร็วลมที่ 1, 2 และ 3 m/s และพบว่าค่าความเร็วลมที่ 3 m/s มีค่าความชื้นของพลาสติกลดลงเร็วกว่าค่าความเร็วลมอื่น ๆ เนื่องจากการไหลและการถ่ายเทของอากาศเข้าและออกจากเครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ภายในห้องอบและตัวพลาสติกได้ดีกว่าจึงทำให้ใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่าความเร็วลมที่ 1 และ 2 m/s ผลการทดลองความชื้นพลาสติกหมักขยะครามมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 180%db ที่ช่วงเวลา 80, 100 และ 120 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าความเร็วที่ 3 m/s จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเร็วสุดและเหมาะสม

http://jeet.siamtechu.net



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของพลาสติกหมักขยะครามเมื่อเทียบกับเวลาของการอบแห้ง

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

ค่าคงที่ต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2 โดยแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้คือ แบบจำลอง Tow term โดยมีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

Name of Models	Constants							R^2	RMSE	χ^2
	a	b	c	k	k_1	k_2	n			
Newton				0.00112				0.9124	0.0186	0.0020
Page				0.00642			0.64079	0.9618	0.0100	0.0006
Henderson and Pabis	0.97974			0.00095				0.9101	0.0153	0.0013
Logarithmic	0.18049	0.18523	0.82474	0.0122				0.9876	0.0057	0.0002
Tow term	0.81766				0.00318	-0.0041		0.9925	0.0044	0.0001
Logistic	1.95429			-0.0017				0.8985	0.0163	0.0015

4.4 พลังงานที่ใช้ออบแห้งและประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องอบแห้ง

จากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งมีการใช้พลังงานทั้งหมด 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (2) พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนตัวโรงเรือนอบแห้ง และ (3) พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อน โดยประสิทธิภาพทางด้านพลังงานในส่วนที่ (1) และ (2) มีค่าเท่ากับ 72.788% และ 27.703% ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องอบแห้งสำหรับงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 18.068% ข้อมูลทางด้านพลังงานได้ถูกระบุไว้ในตารางที่ 3

Parameters	Values
1. Solar collector	
Energy input (MJ)	5.278
Energy output (MJ)	3.842
Collector Efficiency (%)	72.788
2. Drying section	
Energy input (MJ)	13.104
Energy output (MJ)	3.630
Drying efficiency (%)	27.703
3. Other inputs energy	
Electrical energy (MJ)	1.711
4. Output-output dryer (MJ)	3.630
Overall drying efficiency (%)	18.068

5. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องต้นแบบอบแห้งพลังงานแสงร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการอบพลาสติกหมักขยะครามในครั้งนี้ พบว่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 51.74-52.18 °C สำหรับการอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามจำนวน 1 kg พบว่าความเร็วลมที่ 3 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วสุด คือ 80 นาที โดยพลาสติกหมักขยะครามแดดเดียวยังคงมีคุณภาพที่ดี และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง Tow term โดยมีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง χ^2 และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 เครื่องอบแห้งมีการใช้พลังงานจากทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนของโรงอบแห้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อน โดยพลังงานจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และโรงอบแห้ง มีประสิทธิภาพทางพลังงานเท่ากับ 72.788% และ 27.703% ตามลำดับ และเครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพโดยรวมสำหรับงานวิจัยนี้เท่ากับ 18.068%

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณรายได้ประจำปี 2562 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ สถาบันวิจัยและพัฒนาที่คอยให้ข้อเสนอเพื่อปรับปรุงแก้ไข รวมทั้งทีมงานวิจัยที่ร่วมทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวหมักขยะคราม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- [2] วีระเดช ใหญ่บึก และคณะ. (2553). การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12 (3): 109 – 118.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [3] เวียง อากรชี่ และคณะ. (2559). การศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้. วารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 22 (1): 39 – 45.
- [4] วรณช แจงสว่าง. (2556). ตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ชนิดอากาศร้อนไหลลงแบบกะทัดรัด. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 24 (1): 37 – 41.
- [5] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มผช.298/2557). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.tistr.or.th/tistrblog/wp-content/uploads/2018/06/25.pdf> (10 ก.ย. 2563).
- [6] กลยุทธ์ ดีจริง และ เอกสิทธิ์ สุทธะพินทุ. (2561). “การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม”: จลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้ง และสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ”. วารสารเกษตรพระวรุณ, 15(1): 216-228.
- [7] เสริม จันทร์ฉาย. (2560). เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม : บริษัทเพชรเกษมพรินติ้ง จำกัด.
- [8] Hii, C.L., C.L. Law, and M. Cloke. (January 2009). “Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa.” Journal of Food Engineering, 90(2): 191-198.