



การประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล
PERFORMANCE EVALUATION OF A COMBINED SOLAR AND BIOMASS DRYING SYSTEM

กัณณชัย หอมชาติ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 300000

E-mail: karan.ho4701@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสำหรับอบแห้งมันสำปะหลังเส้นความหนา 8 mm ตู้อบแห้งแบบรับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์มีขนาด $2 \times 3 \times 0.4 \text{ m}^3$ และความจุมันสำปะหลังเส้นสด 50 kg ทำงานร่วมกับเตาแก๊สชีวมวลแบบแก๊สไหลลงชนิดย้อนกลับ(Inverted downdraft) ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสูงกว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ $5\text{--}8^\circ\text{C}$ ทุกช่วงเวลาการทดลอง ส่งผลให้สามารถลดความชื้นมันสำปะหลังเส้นลงจาก 60.5%(w.b.) เป็น 14% (w.b.) ได้ด้วยเวลาอบแห้งสั้นที่สุด 11 h ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา 13 h และการตากแห้งมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมใช้เวลาสูงสุดที่ 14 h ผลการทดลองเห็นได้ชัดว่าความร้อนจากเตาแก๊สชีวมวลในงานวิจัยนี้จึงช่วยเพิ่มอุณหภูมิของตู้อบแห้งและส่งผลให้ลดเวลาการอบแห้งให้สั้นลง ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของงานวิจัยนี้ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.92% สาเหตุเนื่องมาจากการสูญเสียความร้อนค่อนข้างมากของอุปกรณ์ความร้อนของระบบอบแห้งในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ : การอบแห้ง, พลังงานชีวมวล, พลังงานแสงอาทิตย์, มันสำปะหลัง

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the thermal efficiency of the combined solar and biomass drying system for drying the 8 mm thickness of cassava chips. The passive drying system which has volume of $2 \times 3 \times 0.4 \text{ m}^3$ and capacity of 50 kg of fresh cassava chips, it was operated with an inverted downdraft biomass gas stove. The results showed that the average temperature of the combined solar and biomass drying system was $5\text{--}8^\circ\text{C}$ higher than the solar dryer at all times. As a result, the moisture content of the cassava chips decreased from 60.5% (w.b.) to 14% (w.b.) with the least drying time of 11 h, while the solar dryer took 13 h and the solar traditional dryer took the longest 14 h. It was clearly seen that the heat from the biomass gas

stove of this research increased the temperatures of the dryer and reduced drying time. The overall thermal efficiency of this research was lowest 5.92% due to more heat loss from the heating equipment of the drying system.

KEYWORDS: Biomass, Cassava, Drying, Solar Energy

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานในโลกมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อทุกภาคส่วนทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง และรวมทั้งภาคเกษตรกรรมด้วย จากอดีตเรายังพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งประกอบด้วย น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งนับวันปริมาณจะลดลงเรื่อยๆ ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าทั่วโลกให้ความสำคัญต่อการนำพลังงานทดแทนมาใช้มากขึ้น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากขยะ น้ำมันชีวภาพ แก๊สชีวภาพ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ในปี 2557 ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเพียง 9,025 ktoe (พินต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ) คิดเป็น 11.9% จากการใช้พลังงานรวมทั้งหมด 75,840 ktoe และพบว่าพลังงานทดแทนมีการใช้ในรูปแบบของความร้อนมากที่สุดคิดเป็น 64% ของการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมด ซึ่งยังคงเป็นปริมาณที่ค่อนข้างน้อยมาก ภายในปี 2564 ประเทศไทยมีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นให้ได้เป็น 25% ของการใช้พลังงานทั้งหมด [1] พลังงานมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในประเทศทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม ในภาคการเกษตรได้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้นานแล้ว เช่น การใช้ฟืนหรือถ่านสำหรับการหุงต้มหรือปิ้งย่างในครัวเรือน การนำผลผลิตทางการเกษตรมาตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น การตากข้าวเปลือก การตากมันสำปะหลังเส้น การตากกล้วย เป็นต้น การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางเลือกหนึ่ง จึงมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในการอบแห้งแต่เกษตรกรยังคงใช้เทคโนโลยีแบบดั้งเดิมคือตากแห้งกับแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ ปัจจุบันได้มีการวิจัยอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก เช่น การอบแห้งพริกในตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน สามารถลดความชื้นพริกสดจาก 300 % d.b. จนเหลือประมาณ 26 % d.b. ใช้เวลา 3 วัน (18 h) ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ [2] และได้มีการพัฒนาเพื่อทำประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ให้เพิ่มขึ้น ได้มีการติดตั้งปล่องแสงอาทิตย์(Solar chimney) ที่ตู้อบแห้งแสงอาทิตย์สำปะหลังโดย Afriyie et al. [3] ได้ทำการทดสอบขณะอบแห้งเป็นเวลา 7 h พบว่าปล่องแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศสำหรับการอบแห้งโดยตรงและสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้เมื่อความชื้นของอากาศภายนอกต่ำกว่าความชื้นวัตถุดิบ และได้มีการพัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถปรับมุมมองของแผงรับแสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับรังสีแสงของดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลให้แผงรับแสงอาทิตย์สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดียิ่งขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตู้อบแห้งสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแบบแผงยึดตรงกับที่[4] การนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการอบแห้งนอกจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แล้วยังมีการนำเอาความร้อนจากเตาเผาวัสดุชีวมวลมาใช้ในการอบแห้งด้วย เริงชัย และจักรกฤษณ์[5] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer) แบบใช้อากาศร้อนขนาดเล็กโดยใช้ความร้อนจากเตาเผาชีวมวลแห้งมันสำปะหลังสามารถลดปริมาณความชื้นของมันสำปะหลังจาก ประมาณ 60 % มาเป็นประมาณ 14% ใช้เวลาในการอบแห้ง ทั้งหมด 3 h ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทั้งหมด 16 kg ในระยะหลังได้มีการพัฒนาระบบอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

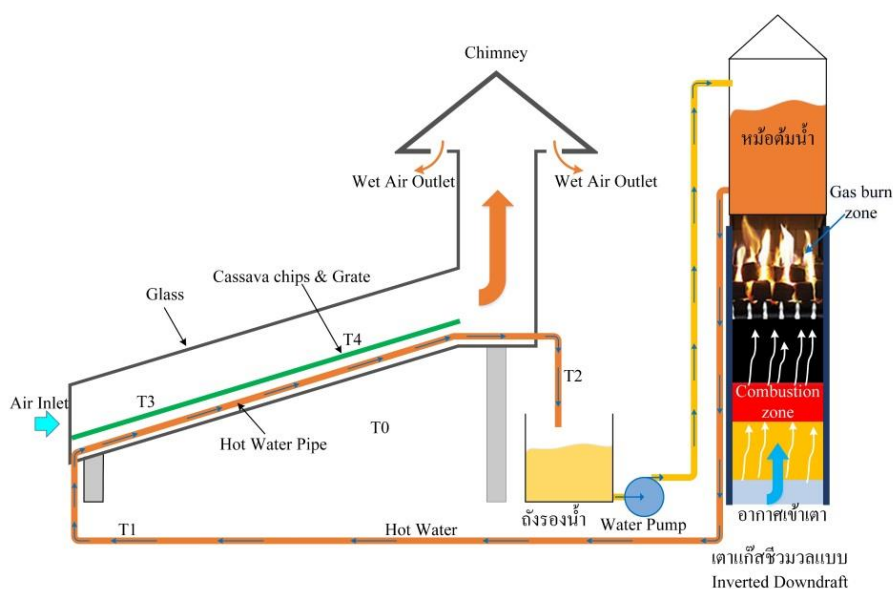
โดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนจากแหล่งอื่น ๆ เช่น แสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนจากขดลวดความร้อน [6-8] และแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดในการอบแห้งซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงกว่าพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว[9] โดยพบว่าให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ Lopez-Vidana [10] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquid petroleum gas, LPG) พบว่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแบบพลังงานร่วมมีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งด้วยแก๊ส LPG และลดการใช้เชื้อเพลิงลง 20% โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งไม่ลดลง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์กับไฟฟ้าให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงแต่ยังคงมีค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้พลังงานทดแทนคือพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากเตาแก๊สชีวมวลให้ความร้อนกับหม้อต้มน้ำหลังจากนั้นความร้อนของน้ำจะถูกถ่ายโอนให้กับอากาศสำหรับอบแห้งมันสำปะหลังเส้นในตู้อบแห้ง หลังจากนั้นตู้อบแห้งจะถูกทดสอบและประเมินประสิทธิภาพระบบอบแห้งในงานวิจัยนี้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีการอบแห้ง 3 แบบเพื่อเปรียบเทียบกัน ประกอบด้วย (1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาแก๊สชีวมวล แสดงรายละเอียดผังอุปกรณ์ในรูปที่ 1 และ (2) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีองค์ประกอบและขนาดเท่าแบบที่ (1) แต่ภายในตู้อบแห้งไม่มีหม้อต้มน้ำร้อน และ (3) การตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รายละเอียดอุปกรณ์และวิธีการทดลองแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 1 ผังอุปกรณ์ตู้อบแห้งมันเส้นพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวลและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 1 แสดงผังอุปกรณ์ต่าง ๆ ของตู้อบแห้งมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวล และแสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ T_0 คืออุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้ง, T_1 คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า, T_2 คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก, T_3 คือ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาแก๊สชีวมวล และ T_4 คือ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตู้อบแห้งในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์และรับพลังงานความร้อนจากชีวมวลผ่านท่อน้ำร้อนเนื่องจากอุณหภูมิของแก๊สร้อนจากเตาแก๊สชีวมวลนั้นสูงมากจึงเป็นไปได้ยากที่จะส่งแก๊สร้อนเข้าตู้อบแห้งโดยตรง ผู้วิจัยได้ออกแบบการถ่ายโอนความร้อน โดยการต้มน้ำร้อนในหม้อต้มด้วยเตาแก๊สชีวมวลแบบแก๊สไหลลงชนิดย้อนกลับ (Inverted downdraft) โดยที่สามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนไม่ให้เกิน 100°C ได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นจึงส่งน้ำร้อนเข้าไปถ่ายโอนความร้อนผ่านท่อน้ำร้อนภายในตู้อบแห้งต่อไป ตู้อบแห้งมีขนาดกว้าง 2 m ยาว 3 m สูง 0.4 m และด้านหน้าสูงจากพื้น 40 cm เอียงทำมุม 15 degree กับแนวราบเพื่อรับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ พื้นและภายในตู้อบแห้งพ่นสีดำด้านพร้อมติดตั้งท่อน้ำร้อนทำจากท่อทองแดงพ่นสีดำด้าน ขนาด 5/8 inch วางตามแนวขวางของตู้อบและขดไปตามแนวขวางของตู้จากด้านล่างขึ้นด้านบนมีระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 15 cm ด้านบนท่อน้ำร้อนมีถาดตะแกรงสำหรับวางมันเส้นจำนวน 6 ถาด ผงและฝาปิดตู้อบแห้งบุด้วยพลาสติกใสหนา บริเวณด้านหน้าของตู้อบแห้งมีช่องเปิดรับอากาศจากภายนอกเข้าตู้อบแห้งสองช่องขนาดกว้าง 8 cm ยาว 15 cm ส่วนด้านบนติดตั้งท่อระบายอากาศขึ้นออกจากตู้อบแห้งขนาด 15.24 cm (6 inch) สูง 50 cm ช่องทางลมเข้าและออกมีระดับความสูงแตกต่างกัน 1.2 m เตาเผาแก๊สชีวมวลเป็นแบบแก๊สไหลลงชนิดย้อนกลับ (Inverted downdraft) ใช้ท่อน้ำจากไม้ยูคาลิปตัสแห้งร่วมกับถ่านไม้คาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง เตาแก๊สชีวมวลบรรจุฟืนแห้งร่วมกับถ่านได้ 2.25 kg ด้านหน้ามีแผ่นปิดเปิดอากาศเข้าเตาเพื่อปรับปริมาณอากาศให้พอเพียงและเหมาะสมต่อการเผาไหม้ แก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาจะถูกเผาไหม้บริเวณด้านบนของเตาและต้มน้ำในหม้อต้มความจุ 30 L ที่วางอยู่ด้านบนเตาให้ร้อนและส่งน้ำร้อนผ่านท่อน้ำร้อนเข้าตู้อบแห้งเพื่อถ่ายโอนความร้อนให้กับมันเส้นในตู้อบแห้งต่อไป น้ำร้อนจากหม้อต้มอุณหภูมิไม่เกิน 100°C ถูกส่งเข้าท่อแบบอิสระที่ด้านหน้าของตู้อบแห้งด้วยระดับความสูงที่แตกต่างของระดับน้ำในหม้อต้มที่สูงกว่าระดับน้ำในท่อน้ำร้อนของตู้อบแห้งและไหลตามท่อทองแดงขึ้นไปด้านบนตามความเอียงของตู้อบแห้งและน้ำร้อนไหลออกจากตู้อบแห้งผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลผ่านลงที่ภาชนะรองรับน้ำ ปรับตั้งอัตราการไหลน้ำร้อนที่ 15 L/h เมื่อน้ำในหม้อต้มมีระดับลดลงก็ปั้มน้ำอุ่นที่ถังรองน้ำส่งกลับไปเติมที่หม้อต้ม(หรือถ้าเกษตรกรไม่ใช้ปั้มน้ำก็สามารถตักน้ำแทนได้)เพื่อรักษาระดับน้ำในหม้อต้มตลอดการทดลอง งานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยีพื้นฐานควบคุมได้ง่ายเพื่อให้เกษตรกรสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ได้ งานวิจัยนี้ใช้พลังงานทดแทนสำหรับให้ความร้อนทั้งหมดและใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณน้อยสำหรับปั้มน้ำเท่านั้นซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานความร้อนที่ใช้อยู่ในตู้อบแห้ง หรือกรณีเกษตรกรอาจจะไม่ใช้ปั้มน้ำก็ได้แต่ใช้การตักน้ำแทนซึ่งจะเป็นการใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 99 ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับการอบแห้ง

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โดยปกติเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังสองระยะ คือ มันที่ปลูกในพื้นที่นาข้าวหรือพื้นที่ลุ่มจะเก็บเกี่ยวที่อายุ 6 เดือน เพื่อป้องกันมันสำปะหลังเน่าจากน้ำท่วมและเพื่อเตรียมการปลูกข้าวต่อไป ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกในไร่พื้นที่สูงจะเก็บเกี่ยวที่อายุ 10-12 เดือน ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่าได้ผลผลิตและได้ราคาสูงกว่ามันอายุ 6 เดือน ผู้วิจัยจึงเลือกมันสำปะหลังอายุ 10-12 เดือน ขนาดใกล้เคียงกันเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-8 cm มันสำปะหลังเส้นสำหรับการทดลองนี้หั่นตามขวางความหนาไม่เกิน 8 mm สำหรับความชื้นเริ่มต้นของมันสำปะหลังเส้นสดหาได้จากการนำตัวอย่างมันสำปะหลังเส้นสดมาชั่งน้ำหนักจำนวน 2 kg จำนวน 3 ถาดแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 h หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักมันเส้นแห้งแล้วนำผลที่ได้มาคำนวณได้ค่าความชื้นเฉลี่ยมันสำปะหลังเส้นเริ่มต้น 60.5 % (w.b.) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.75 ในส่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไม้ยูคาลิปตัสแห้ง 26.5 % (w.b.) สำหรับการทดลอง แต่เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสให้ค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ HHV=15,414 kJ/kg (%H=8.05, LHV=15,390 kJ/kg) [11] ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัสความชื้น 14 % (w.b.) เป็นเชื้อเพลิงร่วมซึ่งให้ค่าความร้อนค่อนข้างสูง HHV= 31,832 kJ/kg (LHV=31,828 kJ/kg) [12] โดยมีสัดส่วนโดยน้ำหนักไม้ยูคาลิปตัส 2 ส่วนต่อถ่านไม้ยูคาลิปตัส 1 ส่วน เพื่อให้ได้ความร้อนจากเตาสูงพอสำหรับต้มน้ำให้ร้อนได้เร็ว

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 รูปแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทดลองอบแห้งมันสำปะหลังเส้นทั้งหมด 3 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้งและสังเกตพฤติกรรมการลดความชื้นของมันเส้นของแต่ละรูปแบบการทดลอง รูปแบบการทดลองอบแห้งประกอบด้วย (1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล (Solar & Biomass Dryer) (2) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer) และ (3) การตากแห้งมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (Solar Traditional Dryer) ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองอบแห้งมันสำปะหลังเส้นพร้อมกันในวันและเวลาเดียวกันเพื่อให้มันเส้นรับความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่ากันในวันและเวลาเดียวกัน

2.3.2 ขั้นตอนการทดลองและเก็บข้อมูล

เริ่มต้นด้วยการเตรียมการทดลองโดยเลือกหัวมันสำปะหลังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกัน 5-8 cm ทำความสะอาดและหั่นตามขวางความหนาไม่เกิน 8 mm แยกตัวอย่างมันเส้นส่วนหนึ่งเพื่อนำไปวัดค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของวัตถุดิบ ชั่งน้ำหนักถาดตะแกรงแต่ละถาดและชั่งน้ำหนักวัตถุดิบมันเส้นให้น้ำหนักใกล้เคียงกันแล้ววางเรียงมันเส้นลงถาดตะแกรง รวมเป็น 6 ถาดต่อตู้อบแห้ง 1 ตู้ ชั่งน้ำหนักฟืนและถ่านไม้แล้วบรรจุลงในเตาแก๊สชีวมวลหลังจากนั้นก่อไฟและตั้งหม้อต้มน้ำ เมื่อน้ำเริ่มร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 60°C เปิดวาล์วให้น้ำร้อนไหลเข้าตู้อบแห้งหลังจากนั้นปรับวาล์วน้ำร้อนด้านทางออกให้ได้อัตราการไหล 15 L/h เติมน้ำในเตาเพื่อรักษาอุณหภูมิให้น้ำสูงกว่า 80°C และปั๊มน้ำกระแสตรง 12 VDC ขนาด 100 W จะสูบน้ำร้อนจากถังรองที่ไหลออกจากตู้อบแห้งป้อนกลับไปในหม้อต้มเพื่อรักษาระดับน้ำในหม้อต้มตลอดการทดลอง ทำการทดลองวันแรกในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2560 เริ่มทดลองเวลา 8.30 น. สิ้นสุดที่ 16.30 น. ทดลอง 8 ชั่วโมงต่อวัน วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล K-type และบันทึกอุณหภูมิ

ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดการทดลองด้วย Data logger ยี่ห้อ Graphtec รุ่น midi LOGGER GL820 ซึ่งน้ำหนักมันเส้นรวมถาดตะแกรง เพื่อความรวดเร็วทุก ๆ 2 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ Electronic balance ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 20,000 g ความละเอียด 0.1 g หลังเสร็จสิ้นการทดลองน้ำหนักที่ได้จะลบน้ำหนักถาดตะแกรงเปล่าออกแล้วจะได้น้ำหนักสุทธิของมันเส้นแต่ละถาด สำหรับการทดลองนี้จะอบแห้งมันเส้นทุก ๆ ถาดให้มีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 14 % (w.b.) ตามมาตรฐานมันเส้นทั่วไป (ที่มา : กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์) [13]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 การวัดความชื้นผลิตภัณฑ์

ความชื้นของวัสดุ (Moisture Content) [14] นั้น เป็นการบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุสามารถหาได้ 2 วิธี คือ ความชื้นมาตรฐานแห้งและมาตรฐานเปียก ในการค้าขายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจะนิยมบอกปริมาณความชื้นแบบมาตรฐานเปียก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความชื้นแบบมาตรฐานเปียก

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) เท่ากับอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุเทียบกับน้ำหนักวัสดุสดเป็นหลัก คำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุสด (kg)

d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (kg)

โดยที่น้ำหนักวัสดุแห้ง d หาได้จากการอบแห้งวัสดุในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 h

2.4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งสามารถหาได้จากสัดส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในวัสดุกับพลังงานที่เข้าสู่ระบบ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta_{solar} = \frac{\dot{m}_w h_{fg}}{AI_T} \times 100\% \quad (2)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta_{hybrid} = \frac{\dot{m}_w h_{fg}}{AI_T + \dot{m}_{bio} LHV_{bio} + W_p} \times 100\% \quad (3)$$

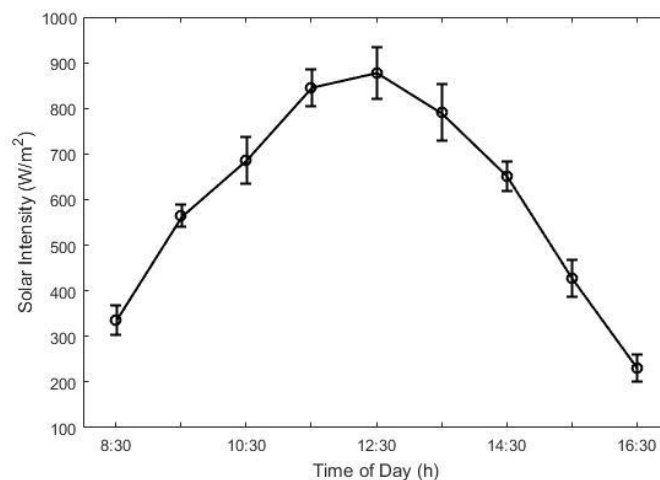
- เมื่อ η_{solar} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (%)
 η_{hybrid} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล (%)
 $\dot{m}_w$ คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยได้จากการคำนวณน้ำหนักวัสดุที่ลดลงหารด้วยเวลา (kg/s)
 $\dot{m}_{bio}$ คือ อัตราป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลได้จากการคำนวณน้ำหนักชีวมวลต่อเวลาที่ใช้คัมน์น้ำ (kg/s)
 LHV_{bio} คือ ค่าความร้อนต่ำเชื้อเพลิงชีวมวล (kJ/kg)
 h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำที่ความดันบรรยากาศเท่ากับ 2,257 (kJ/kg)
 I_T คือ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ได้จากค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาจากการวัด (W/m^2)
 A คือ พื้นที่ตู้อบแห้ง (m^2)
 W_p คือ กำลังขับปั้มน้ำ (W)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ประกอบด้วย ความเข้มของแสงอาทิตย์ในวันที่ทำการทดลอง อุณหภูมิตู้อบแห้ง ความชื้นมันเส้น และประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์

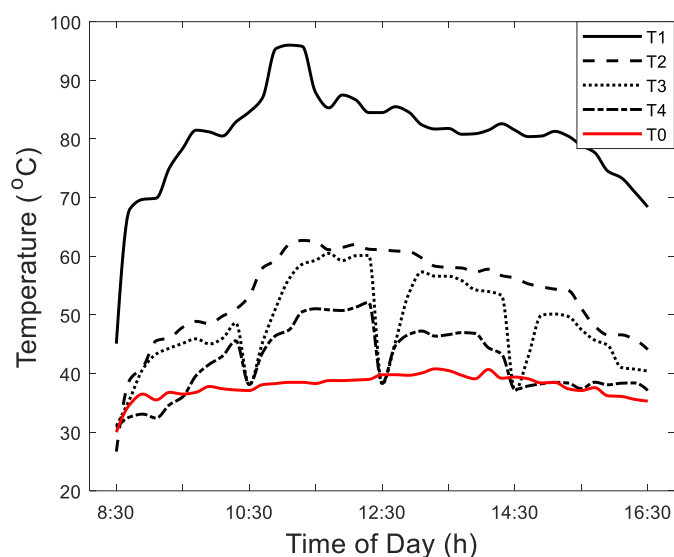
ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในวันที่ 16-17 กุมภาพันธ์ 2560 ท้องฟ้ามีลักษณะโปร่งไม่มีเมฆสภาวะอากาศบริเวณโดยรอบการทดลองมีอุณหภูมิอยู่ที่ช่วง $23.6-32.4^{\circ}C$ และอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ช่วง 48-57 (%RH) เป็นสภาวะอากาศช่วงปลายฤดูหนาวอากาศแห้งความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ จากรูปที่ 2 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดการทดลอง 2 วัน วัดด้วยเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometers) ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น CPM 3 Second Class ค่า Sensitivity $5-20 \mu V/W/m^2$ ค่าการวัดสูงสุด $2000 W/m^2$ ทำการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ช่วงเวลา 8.30-16.30 น. ของวันที่ 16-18 กุมภาพันธ์ 2560 นำผลที่ได้นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงเวลาแล้วนำมาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 2 ช่วงเริ่มต้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย $350 W/m^2$ และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลาจนถึงเวลา 12.30 น. ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเฉลี่ย $898 W/m^2$ หลังจากนั้นความเข้มจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าต่ำสุดที่เวลา 16.30 น. ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย $230 W/m^2$



รูปที่ 2 ความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ย วันที่ 16-17 กุมภาพันธ์ 2560

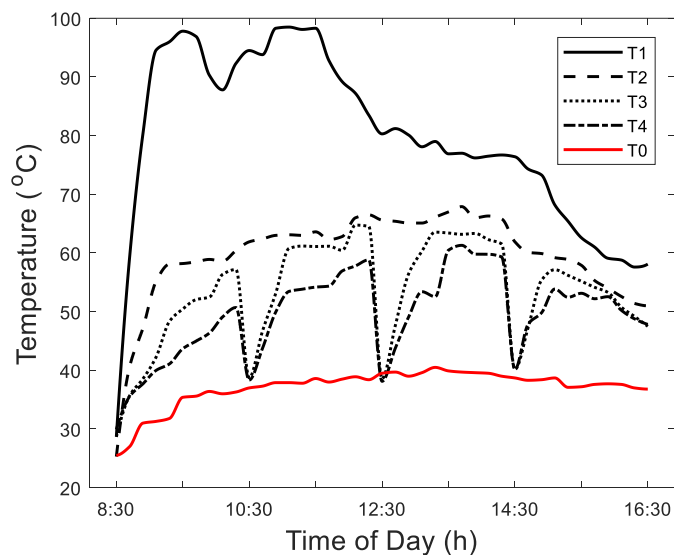
3.2 อุณหภูมิตู้อบแห้ง

จากรูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้งของการทดลองวันแรกในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2560 ของตู้อบแห้งแบบที่ (1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล (Solar & Biomass Dryer, T_3) และตู้อบแห้งแบบที่ (2) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer, T_4) ส่วนแบบที่ (3) การตากแห้งมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (Solar Traditional Dryer) ไม่มีการวัดอุณหภูมิจะให้อุณหภูมิโดยรอบของการทดลองแทน สำหรับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 1 เมื่อ T_0 คืออุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้ง, T_1 คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า, T_2 คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก เริ่มการทดลองหลังจากพื้นเริ่มลุกไหม้ อุณหภูมิในหม้อต้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวล (T_3) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ด้านทางออกจากตู้อบแห้ง (T_2) และมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_4) ทุกช่วงเวลาตลอดการทดลอง จากกราฟสังเกตพบที่เวลา 10.30, 12.30 น., และ 14.30 น. อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งทั้งสองตู้ลดลงมาใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก (T_0) เนื่องจากการเปิดฝาทู้อบแห้งเพื่อยกถาดตะแกรงบรรจุมันเส้นมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ สองชั่วโมง ลักษณะอุณหภูมิตู้อบแห้ง Solar & Biomass Dryer, T_3 ในช่วงเวลา 11.00 -14.00 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในสูงกว่า 60°C เป็นผลเนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ช่วงเวลาดังกล่าวสูงกว่า 750 W/m^2 หลังจากนั้นอุณหภูมิลดลงต่อเนื่อง ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ T_4 จะต่ำกว่าตู้อบแห้ง Solar & Biomass Dryer $5-8^\circ\text{C}$ ทุกช่วงเวลา เมื่อเวลา 16.00 น. แดดค่อนข้างอ่อนจึงหยุดเติมพื้นอุณหภูมิน้ำร้อนจึงลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิตู้อบแห้งลดลงด้วยจึงหยุดการทดลองที่เวลา 16.30 น. ข้อสังเกตจากกราฟพบว่าอุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้ง (T_0) ซึ่งวัดอยู่ที่บริเวณด้านล่างตู้อบแห้งได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง $35-40^\circ\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณรอบนอกที่ไกลออกไปสาเหตุเนื่องมาจากมีการการถ่ายโอนความร้อนภายในตู้อบแห้งออกมาภายนอกซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานในการอบแห้งและจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการอบแห้งลดลง



รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้ง Solar & Biomass Dryer, T_3 และ Solar Dryer, T_4 วันที่ 1 (16 กุมภาพันธ์ 2560)

รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้งของการทดลองวันที่สอง วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2560 ของตู้อบแห้งแบบที่ (1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล (Solar & Biomass Dryer, T_3) และตู้อบแห้งแบบที่ (2) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer, T_4)

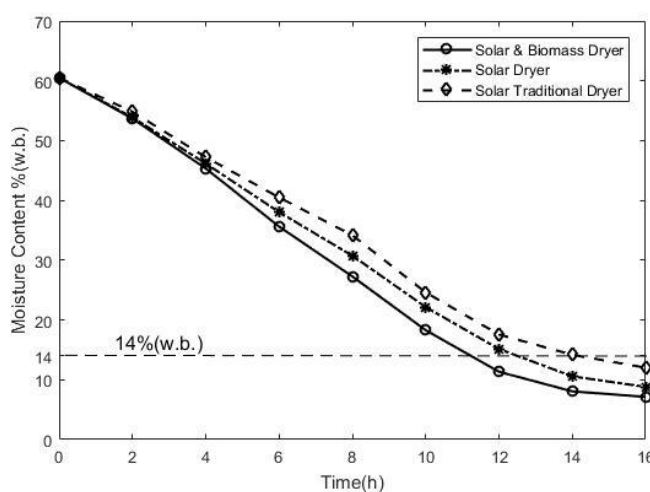


รูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้ง Solar & Biomass Dryer, T_3 และ Solar Dryer, T_4 วันที่ 2 (17 กุมภาพันธ์ 2560)

กราฟจากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มทำการทดลองหลังจากพินในเตาถูกไหม้แล้วอุณหภูมิร้อนจากหม้อต้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วว่าการทดลองในวันแรก หลังจากนั้นแนวโน้มของกราฟคล้ายกับการทดลองในวันแรก แต่เนื่องมาจากความชื้นในมันเส้นต่ำกว่าวันแรกเป็นผลให้ความร้อนที่สูญเสียในรูปไอน้ำลดลงจึงส่งผลให้ความร้อนภายในตู้อบแห้งสูงกว่าวันแรกทุกช่วงเวลา ที่เวลา 14.30 น. ความชื้นในมันเส้นต่ำกว่าค่าที่ต้องการคือต่ำกว่า 14 % (w.b.) ตามมาตรฐานมันเส้นทั่วไปแล้วจึงหยุดเติมฟืนส่งผลให้อุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งหยุดการทดลองเมื่อถึงเวลา 16.30 น. เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาแก๊สชีวมวลตลอดการทดลอง 2 วัน (หรือ 16 ชม.) ใช้ไม้ยูคาลิปตัสแห้งความชื้น 26.5% (w.b.) ทั้งหมด 12 kg และถ่านไม้ยูคาลิปตัสความชื้น 14% (w.b.) ทั้งหมด 6 kg

3.3 ความชื้นของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 5 แสดงกราฟเปรียบเทียบความชื้นมันเส้นหนาไม่เกิน 8 mm การอบแห้งมีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ (1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล (Solar & Biomass Dryer) (2) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer) และ (3) การตากแห้งมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (Solar Traditional Dryer)



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความชื้นมันสำปะหลังเส้นอบแห้ง

กราฟจากรูปที่ 5 จะไม่พบช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง เนื่องจากการเก็บข้อมูลจะเก็บทุก 2 h จึงไม่เห็นปรากฏการณ์ดังกล่าว หลังจากนั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะเส้นกราฟมีแนวโน้มคล้ายกันทั้ง 3 เส้น คือ ช่วง 10 h แรกความชื้นในมันเส้นอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาทั้ง 3 การทดลอง แสดงให้เห็นว่าช่วงดังกล่าวเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่คือเป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าและความร้อนที่ถ่ายโอนให้กับวัสดุจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นความชื้นมันเส้นเริ่มลดได้ช้าลง แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง และความชื้นมันเส้นเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงท้ายที่อุณหภูมิตู้อบแห้งนั้น ๆ กรณีการอบแห้งแบบที่ 3 มันเส้นอบแห้งแบบตากพลังงานแสงอาทิตย์มีความชื้นสูงกว่าทุก ๆ การทดลองที่เวลาการอบแห้งเท่ากันเนื่องจากมันเส้นได้รับความร้อนเท่ากันกับตู้อบแห้งพลังงาน

แสงอาทิตย์แต่เนื่องจากลานตากมีลักษณะเปิดจึงส่งผลให้สูญเสียความร้อนให้กับอากาศโดยรอบได้ง่ายกว่าแบบอื่นจึงส่งผลดังกล่าว ส่วนมันเส้นในตู้อบแห้งแบบที่ 1 มีความชื้นต่ำที่สุดทุกช่วงเวลาเนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าแบบอื่นซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากเตาแก๊สชีวมวล สำหรับความชื้นมันเส้นที่ต้องการตามมาตรฐานมันเส้นทั่วไปคือต่ำกว่า 14 % (w.b.) จากการทดลองพบว่า การทดลองแบบที่ 1 ใช้เวลาสั้นที่สุดคือ 11 h ถัดมาคือ การทดลองแบบที่ 2 ใช้เวลา 13 h ส่วนการทดลองแบบลานตากแบบที่ 3 ใช้เวลาสูงสุดที่ 14 h จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความร้อนที่ได้รับเพิ่มจากเตาแก๊สชีวมวลช่วยเพิ่มอุณหภูมิตู้อบแห้งส่งผลให้ช่วยลดเวลาการอบแห้งได้ค่อนข้างมาก นอกจากนั้นส่วนหนึ่งเป็นผลกระทบของอากาศบริเวณโดยรอบการทดลองอยู่ในช่วงฤดูหนาวลักษณะอากาศค่อนข้างแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจึงส่งผลให้การทดลองทั้ง 3 แบบใช้เวลาอบแห้งค่อนข้างสั้น รูปที่ 6 แสดงลักษณะมันสำปะหลังเส้นอบแห้งที่ได้จากการทดลองของตู้อบแห้งในงานวิจัยนี้ รูปที่ 6 (ก) แสดงลักษณะของมันสำปะหลังเส้นอบแห้งที่ได้จากตู้อบแห้ง Solar & Biomass Dryer และตู้อบแห้ง Solar Dryer สีและลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังเส้นอบแห้งคล้ายกันคือสีค่อนข้างขาวออกเหลือง ส่วนมันสำปะหลังเส้นแห้งที่ตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์รูปที่ 6 (ข) จะมีฝุ่นเกาะเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลมาจากมันเส้นตากแห้งสัมผัสกับฝุ่นในอากาศส่วนมันเส้นจากตู้อบแห้งไม่มีฝุ่นมาสัมผัสกับเนื้อมันสำปะหลังเส้น จากการสังเกตพบว่าสีออกเหลืองของมันสำปะหลังเส้นจากการทดลองทั้งหมดนั้นเกิดจากยางของมันสำปะหลังสัมผัสกับอากาศและแสงอาทิตย์ นอกจากนี้จากการสังเกตระหว่างการทดลองยังพบว่าการตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีแมลงมารบกวนบ้างในระหว่างการทดลองวันแรก

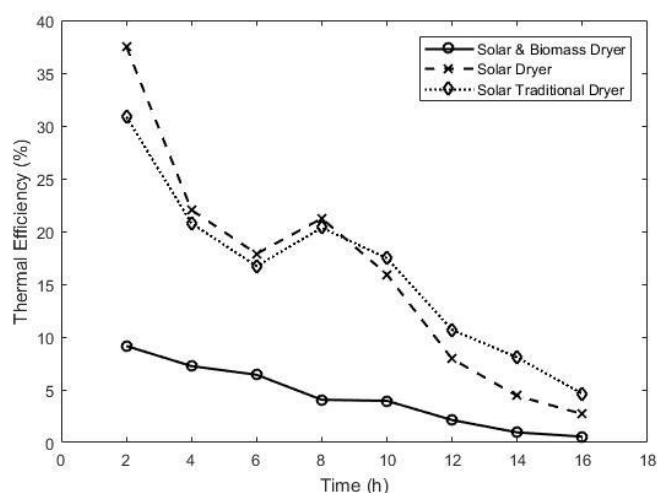


รูปที่ 6 ลักษณะมันสำปะหลังเส้นอบแห้งจากการทดลอง (ก) Solar & Biomass Dryer (ข) Solar Traditional Dryer

3.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในสมการที่ (2)-(3) โดยคำนวณหาประสิทธิภาพทุก ๆ ช่วง 2 h ผลที่ได้จากการคำนวณแสดงในรูปที่ 7 จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งแต่ละแบบและแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่เนื่องจากการสูญเสียของวัสดุแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน อีกทั้งความเข้มของแสงอาทิตย์ก็ไม่คงที่ด้วย จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วง 2 h แรกของการทดลองทุกแบบจะมีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเนื่องมาจากน้ำในวัสดุสามารถระเหยออกได้ง่ายและมีปริมาณมาก โดยที่ใช้พลังงานความร้อนไม่มากนัก โดยที่ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด 37.52%

รองลงมาคือ การตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 30.87% ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำสุด 9.15% หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากน้ำที่ผิววัสดุระเหยออกไปหมดแล้วยังคงเหลือน้ำด้านในเนื้อวัสดุซึ่งระเหยออกมาได้ยากกว่าจึงต้องใช้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นในการอบแห้ง อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งในตู้อบแห้งและตากแห้งแบบลานตากในช่วงท้ายของการอบแห้งในวันแรกกลับมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาก่อนหน้านั้นซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากภายในตู้อบแห้งและในเนื้อวัสดุยังคงมีความร้อนสะสมอยู่จึงส่งผลให้น้ำในวัสดุยังคงระเหยต่อเนื่อง แต่ความร้อนที่เข้ามาในตู้อบแห้งช่วงเวลาดังกล่าวกลับลดลงส่งผลให้เมื่อคำนวณออกมาจึงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองในวันที่ 2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกการทดลองมีสาเหตุเช่นเดียวกันกับการทดลองวันแรกคือน้ำด้านในเนื้อวัสดุมีปริมาณน้อยลงจึงระเหยออกมาได้ยากยิ่งขึ้นจึงต้องใช้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นในการอบแห้งนั่นเอง จากกราฟจะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุดทุกช่วงเวลา ถึงแม้ว่าการระเหยของน้ำในวัสดุจะมีมากกว่าการทดลองอื่นก็ตามทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ป้อนให้กับตู้อบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งแบบอื่น ๆ นั่นเอง จากการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมตลอดการอบแห้งให้ได้ความชื้น 14 % (w.b.) ของการอบแห้งแต่ละแบบพบว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด 20.2% รองลงมาคือ การตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 19.24% ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำสุด 5.92% สาเหตุที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมากเนื่องจากความร้อนจากเตาแก๊สชีวมวลที่ถ่ายโอนให้กับตู้อบแห้งนี้มีการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศโดยรอบปริมาณมากจึงส่งผลดังกล่าว ในอนาคตอาจจะเปลี่ยนรูปแบบการถ่ายโอนความร้อนด้วยวิธีอื่นแทนเพื่อให้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้เลือกมันสำปะหลังอายุ 10-12 เดือน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-8 cm หั่นมันสำปะหลังตามขวางความหนาไม่เกิน 8 mm ทำการทดลองในวันที่ 16-17 กุมภาพันธ์ 2560 ท้องฟ้ามีลักษณะโปร่ง ไม่มีเมฆสภาวะอากาศบริเวณโดยรอบการทดลองมี

อุณหภูมิอยู่ที่ช่วง $23.6-32.4^{\circ}\text{C}$ และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ช่วง 48-57 (%RH) ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดสูงสุดเฉลี่ย 898 W/m^2 ที่เวลา 12.30 น.ต่ำสุด 230 W/m^2 ที่เวลา 16.30 น.เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาแก๊สชีวมวลตลอดการทดลอง 2 วัน ใช้ไม้ไผ่คาลิปดัสแห้งทั้งหมด 12 kg และถ่านไม้ยูคาลิปดัส 6 kg ผลการทดลองพบว่าในช่วงเวลา 11.00 -14.00 น.ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวลมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงกว่า 60°C ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้จะต่ำกว่าตู้อบแห้งพลังงานร่วม $5-8^{\circ}\text{C}$ ทุกช่วงเวลา และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งของการทดลองวันที่ 2 สูงกว่าวันแรกทุกช่วงเวลา ในส่วนของความสามารถของการลดความชื้นมันสำปะหลังเส้นของตู้อบแห้งแต่ละแบบสามารถลดความชื้นมันสำปะหลังจาก $60.5\%(\text{w.b.})$ เป็น $14\%(\text{w.b.})$ ตามมาตรฐานมันเส้นทั่วไปได้ผลดังนี้ มันสำปะหลังเส้นของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีความชื้นต่ำที่สุดทุกช่วงเวลาเป็นผลมาจากความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากเตาแก๊สชีวมวลจึงใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุดคือ 11 h ถัดมาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 13 h ส่วนการตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาสูงสุดที่ 14 h นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุดทุกช่วงเวลาสาเหตุเนื่องจากอุปกรณ์ให้ความร้อนของระบบอบแห้งในงานวิจัยนี้สูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมากจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของงานวิจัยนี้ต่ำ โดยที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ช่วง 2 h แรกของการทดลองทุกแบบ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด 37.52% รองลงมาคือการตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 30.87% ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำสุด 9.15% สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมตลอดการอบแห้งให้ความชื้น $14\%(\text{w.b.})$ ของการอบแห้งแต่ละแบบพบว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด 20.2% รองลงมาคือ การตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 19.24% ส่วนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำสุด 5.92% สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากอุปกรณ์ให้ความร้อนในระบบอบแห้งนี้มีการสูญเสียความร้อนปริมาณค่อนข้างมากให้กับอากาศโดยรอบจึงส่งผลโดยตรงให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของระบบอบแห้งนี้ต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) งบประมาณปี 2559 และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

Reference

- [1] *Development Plan for Renewable Energy and Alternative Energy 2015-2036*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2015.
- [2] Jareanjit, J., Dusamoh, Y., Detsopha, S. and Chuyin, S. *A Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow*. KRU Engineering Journal, 2011, Vol.38 (1), pp. 35-42.
- [3] Afriyie, J.K., Nazha, M.A.A., Rajakaruna, H. and Forson, F.K. *Experimental investigations of a chimney-dependent solar crop dryer*. Renewable Energy, 2009, Vol.34, pp. 217-222.

-
- [4] Kalasi, W. and Thungsotanon, D. *Solar Dryer Machine: Adjustable Plate Angle*. The 22 nd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Thammasat University Rangsit Center, Pathumthani, 15-17 October 2008, pp. 378-383.
- [5] Intawong, R. and Sirikaew, J. *Model of Cassava Chip Dryer Prototype by Using Heat Source from Cassava Rhizome*. Bachelor Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khonkaen University, 2012.
- [6] Chouicha, S., Boubekri, A., Mennouche D. and Berrbeuh, M. H. *Solar drying of sliced potatoes an experimental investigation*. Energy Procedia, 2013, Vol. 36, pp. 1276 – 1285.
- [7] Boughali, S., Benmoussa, H., Bouchekima, B., Mennouche, D., Bouguettaia H. and Bechki, D. *Crop drying by indirect active hybrid solar – Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara*. Solar Energy, 2009, Vol. 83, pp. 2223–2232.
- [8] Yaibok, T., Phethuayluk, S., WeawSak, J., Mani, M. and Buaphet, P. *Development the fish drying process with a solar-electrical combined energy dryer under the Southern of Thailand climate*. Thaksin Journal, 2009, Vol.12 (3), pp.109-118.
- [9] Pamosasmit, S. Wiriyaumpaipong, S. and Teeboonma, U. *Performance study of solar-infrared dryer*. The 20th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, 27-29 July 2006, pp. 1-5.
- [10] Lopez-Vidana, E. C., Mendez-Lagunas, L. L. and Rodriguez-Ramirez, J. *Efficiency of a hybrid solar–gas dryer*. Solar Energy, 2013, Vol. 93, pp. 23–31.
- [11] Arjham W. et al. *Study of a small-scale biomass power plant for rural communities*. Research Report, National Research Council of Thailand, 2008.
- [12] Kuhanchana, C. *A Study on the Properties of Charcoal and Vinegar from Azadirachta indica, Eucalyptus camaldulensis, Nypa fruticans, and Bambusa blumeana using three Different Types of Kilns*. National Research Council of Thailand, 2009.
- [13] Department of foreign Trade, Ministry of Commerce. *Clean Cassava Chip*, 2014. Available from: <https://tapioca.dft.go.th/content.aspx?gid=3&id=23> [18 Feb 2018].
- [14] Soponronnarit, S. *Drying of seeds and certain foods*. 7th Edition. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 1997.