



การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ Performance Enhancement of Solar Dryer using Relative Humidity Control Technique

ศิริชัย ศิริชนะ* รัชดา โสภาคะยัง ชาคริต โพธิ์งาม อภินันต์ นามเขต และ อัมไพศักดิ์ ทีบุญมา

Sirichai Sirichana*, Ratchada Sopakayang, Chakrit Po-Ngam, Apinunt Namkhat and Umphisak Teeboonma

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

*E-mail : sirichaisi@pwa.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเทคนิคการอบแห้งแตกต่างกัน 3 รูปแบบได้ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนแบบบังคับ (ASD) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เทคนิคการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (SD-RH) โดยได้เลือกเนื้อหมูที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 285%db เป็นตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ อัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่า สมรรถนะ SD-RH สูงกว่า ASD และ PSD นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการอบแห้งของเครื่อง SD-RH สูงกว่าอัตราการอบแห้ง PSD และ ASD เท่ากับ 28.6 และ 14.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SD-RH น้อยกว่า PSD และ ASD เท่ากับ 16.5 และ 11.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสุดท้ายยังพบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ SD-RH, ASD และ PSD มีค่าเท่ากับ 7.97, 7.22 และ 6.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : การอบแห้ง การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

Abstract

The performance enhancement of solar dryer using relative humidity control technique was experimental studied in this research. The solar dryer with three different drying techniques in this work was constructed and investigated the performance of passive solar dryers (PSD), active solar dryers (ASD), and solar dryers using the relative humidity control technique (SD-RH). Pork with the initial moisture content of 285% dry basis was selected as the sampling material. The criteria used to evaluate the solar dryer performance are drying rate, solar dryer efficiency, and specific energy consumption. It was found from the experimental results that the SD-RH performance is higher than that of PSD and ASD. Furthermore, it was revealed that the drying rate of SD-RH is higher than that for PSD and ASD by 28.6% and 14.3%, respectively. While, the specific energy consumption of SD-RH is lower than that for PSD and ASD by 16.5% and 11.6%, respectively. In addition, it was also found that solar dryer efficiencies of SD-RH, ASD, and PSD are 7.97%, 7.22%, and 6.87%, respectively.

Keywords : Drying Process, Relative Humidity Control, Solar Dryer, Dryer Efficiency



บทนำ

เกษตรกรเป็นอาชีพที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากเป็นผู้ผลิตอาหารสำหรับหล่อเลี้ยงผู้คนทุกสาขาอาชีพ หากปราศจากเกษตรกรหรือแม้แต่การที่เกษตรกรนั้นไม่สามารถดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรได้ ไม่ว่าจะด้วยเหตุผลประการใดก็ตามยกตัวอย่างเช่น ประสบภัยแล้ง น้ำท่วม โรคระบาด หรือแม้แต่ภัยสงคราม เป็นต้น จะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอาหารผู้คนในพื้นที่จะประสบกับความยากลำบากในการดำรงชีวิตเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากในปัจจุบันนั้นผู้คนโดยส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพต่าง ๆ เพียงอย่างเดียวไม่ได้มีการทำการเกษตรร่วมด้วย หรือสถานที่อยู่อาศัยคับแคบทำให้ขาดแคลนพื้นที่สำหรับการปลูกพืช เลี้ยงสัตว์ ไร่สำหรับดำรงชีพ หรือมีแต่ไม่เพียงพอสำหรับการบริโภคในครัวเรือนจึงต้องพึ่งพาอาหารสำหรับบริโภคจากเกษตรกรเป็นหลัก ในการจัดการผลผลิตทางการเกษตรกระบวนการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ การเก็บเกี่ยวในประเทศที่กำลังพัฒนา พบว่ามีผลผลิตเสียหายจากการเก็บเกี่ยวกว่าร้อยละ 40 ของผลผลิตทั้งหมด (El-sebaili and Shalaby, 2012; Ahmed, 2013) และในกรณีที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยผลผลิตจะเกิดการเสียหายได้กว่าร้อยละ 80 ของผลผลิต หรือเกิดการเน่าเสีย เนื่องจากการเก็บรักษาที่ไม่ดีเท่าที่ควร สาเหตุการเน่าเสียส่วนใหญ่เกิดจากน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สูงเกินไป ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ใช้น้ำดังกล่าวในการเจริญเติบโตจึงเกิดการเน่าเสีย (Ahmed, 2010) วิธีการในการเก็บรักษาผลผลิตให้นานขึ้นโดยไม่เกิดการเน่าเสียคือการไล่น้ำที่มีอยู่ในผลผลิตหรือการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลง (Nwajinka and Onuegbu, 2014; Okoroigwe et al., 2013; Janjai and Bala, 2012; Gutti et al., 2012) การลดความชื้นที่ถือปฏิบัติกันมาโดยตลอด คือ การนำผลิตภัณฑ์ตากแดดโดยตรง ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นสิ่งกำหนดระยะเวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ แห้ง กล่าวคือหากท้องฟ้าเปิดไม่มีเมฆบดบังแสงอาทิตย์จะทำให้แสงแดดนั้นสัมผัสกับผลิตภัณฑ์เต็มที่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นแห้งเร็วกว่ากรณีที่มีเมฆหรือเงาอื่น ๆ บดบัง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การนำผลิตภัณฑ์ตากแห้งกับแสงแดดโดยตรงจะประสบปัญหาหลายด้าน เช่น มีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อน แมลงรบกวน สัตว์และเลื้อม ใช้น้ำที่ตากมาก หรือแม้แต่ปัญหาเรื่องกลิ่น เป็นต้น (Janjai and Bala, 2012; Gutti et al., 2012; Hajar et al., 2018) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาหรือผลกระทบที่กล่าวมาทำให้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นสำหรับใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้ความสะอาดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นดีขึ้นเป็นอย่างมาก (Muruganatham et al., 2021; Nabnean and Nimnuan, 2020) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องอบแห้งนั้น ต้องอาศัยความร้อนในการไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ในการสร้างความร้อนมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ไฟฟ้า เป็นต้น (Nukulwar and Tungika, 2022; Ankur et al., 2022) พลังงานความร้อนที่กล่าวมาข้างต้นนั้น มีแหล่งต้นกำเนิดมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีความผันผวนทางด้านราคาเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลง หรือสงครามทางด้านเศรษฐกิจจากประเทศมหาอำนาจ ทำให้เกษตรกรมีภาระจากต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตส่งผลให้กำไรลดลง หลายภาคส่วนจึงหันมาส่งเสริมให้เกษตรกรใช้พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ หรือเชื้อเพลิงชีวมวล แต่ก็ยังประสบปัญหาของกลิ่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือแม้กระทั่งฝุ่นควัน จากผลกระทบทางด้านมลภาวะและต้นทุนที่กล่าวมา เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้รับความสนใจจากเกษตรกรเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไม่มีต้นทุนด้านพลังงานในการดำเนินการ ไร้ซึ่งมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เต็มที่ตลอดทั้งปี มีค่าพลังงานตกกระทบเฉลี่ย 18 MJ/m²-day ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงอย่างมาก

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกตามรูปแบบการประยุกต์ใช้ได้ 3 รูปแบบหลัก คือ 1) การตากแดดโดยตรง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดความชื้นจะถูกนำมาตากแดดโดยตรง อุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ได้รับจะเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 2) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติผลิตภัณฑ์ที่ต้องการไล่ความชื้นจะถูกนำเข้าไปในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก เป็นผลให้ความหนาแน่นของอากาศที่อยู่ภายในห้องอบแห้งนั้นลดลงจึงเกิดการยกตัวขึ้นอากาศที่มีความหนาแน่นมากกว่าก็จะเลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ เป็นผลให้เกิดการเหนี่ยวนำ



การเคลื่อนตัวของอากาศเป็นวัฏจักรตามธรรมชาติ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการนี้จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการตากแดดโดยตรง (Gutti et al., 2012; Hajar et al., 2018; Muruganatham et al., 2021; Nabnean and Nimnuan, 2020) ปัญหาที่พบจากการใช้งานเครื่องอบแห้งรูปแบบนี้ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งค่อนข้างสูง สาเหตุมาจากการไหลเวียนอากาศเป็นไปตามธรรมชาติ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพื่อพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งในบางช่วงเวลาของการอบแห้งไม่เพียงพอ เกิดความชื้นสะสมที่ผิวผลิตภัณฑ์นานเกินไปเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่สามารถใช้ประโยชน์จากความชื้นที่เกิดขึ้นในการเจริญเติบโตจนเกิดการเน่าเสียได้ (Ahmed, 2010) และ 3) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งจะคล้ายคลึงกับเครื่องอบแห้งรูปแบบที่ 2 เพียงแต่จะมีพัดลมเป็นอุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการสร้างหรือบังคับการไหลเวียนอากาศสำหรับพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ข้อดีของรูปแบบนี้คือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ แต่อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะต่ำกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ การอบแห้งรูปแบบนี้ช่วยแก้ปัญหาความชื้นสูงที่มีภายในห้องอบแห้งได้ดี แต่สิ่งที่ตามมาจากการใช้พัดลมเพื่อพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งตลอดเวลาของการอบแห้ง คือ พัดลมจะพาทั้งความชื้นและอุณหภูมิความร้อนออกไปพร้อมกัน เป็นผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีอัตราการอบแห้งที่ดีกว่าการตากแดดโดยตรง และการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (ศิริชัยและคณะ, 2565) และหากต้องการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับให้มีอัตราการอบแห้งที่ดีขึ้นต้องทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

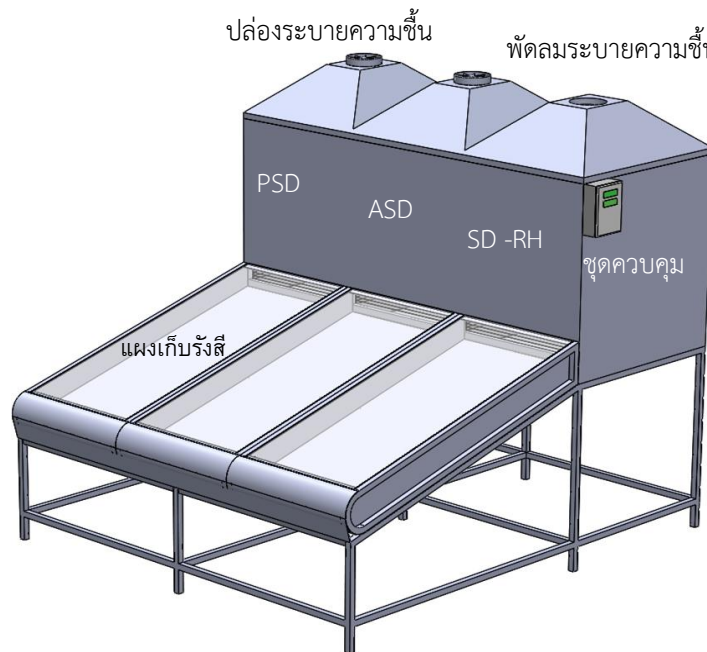
จากข้อสมมุติฐานที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับโดยสร้างชุดควบคุมการทำงานของพัดลมที่จะพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ซึ่งพัดลมจะทำงานเมื่อผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างทางออกและทางเข้าห้องอบแห้งมากกว่าค่าที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับที่อัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ เพื่อจะได้มีข้อมูลสำหรับพัฒนาและต่อยอดองค์ความรู้ด้านเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่สำคัญคือ 1) ชุดแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ โครงสร้างทำจากเหล็กฉนวนด้านข้างและด้านล่างปิดด้วยแผ่นสังกะสีภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 10 มิลลิเมตร ด้านบนปิดทับด้วยกระเบื้องใสหนา 5 มิลลิเมตร ใช้สำหรับสร้างสภาวะเรือนกระจกและป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากแผงเก็บรังสี กระจกมีพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ 0.68 ตารางเมตร แผงเก็บรังสีถูกติดตั้งให้เอียงรับแสงอาทิตย์โดยทำมุมเท่ากับ 15 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ 2) ห้องอบแห้งเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ เพื่ออบแห้งลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผนังทุกด้านห่อหุ้มด้วยสังกะสีภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 5 มิลลิเมตร ด้านบนเป็นปล่องระบายความชื้น และความร้อน ทำการติดตั้งพัดลมไว้ที่ด้านบน 3) ชุดควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศสำหรับพาความร้อนและความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ชุดควบคุมจะมีการตรวจวัดค่าความชื้น ซึ่งเมื่อถึงเกณฑ์ที่กำหนดชุดควบคุมจะสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ภายในชุดควบคุมมีการติดตั้งวัดอุณหภูมิสำหรับบันทึกค่าพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลม

ในการทดลองได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 3 เครื่อง โดยมีห้องอบแห้งเรียงชิดติดกันดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะใช้สำหรับการทดสอบภายใต้สภาวะพลังงานตกกระทบ อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (Passive Solar Dryer, PSD) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ (Active Solar Dryer, ASD) ที่มีอัตราการไหลอากาศคงที่เท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลที่ให้สมรรถนะเครื่องอบแห้งสูง (ศิริชัยและคณะ, 2565) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Solar Dyer Equipped With Relative Humidity Control, SD-RH) ซึ่งพัฒนาระบายอากาศจะทำงานเมื่อผลต่างค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างทางออกและทางเข้าห้องอบแห้งมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 แบบจำลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2. วิธีการทดลอง

2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เนื้อหมูในการทดลอง โดยเนื้อหมูถูกหั่นเตรียมไว้ขนาดเฉลี่ย ยาว 10 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดเนื้อหมูแดดเดียวที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด



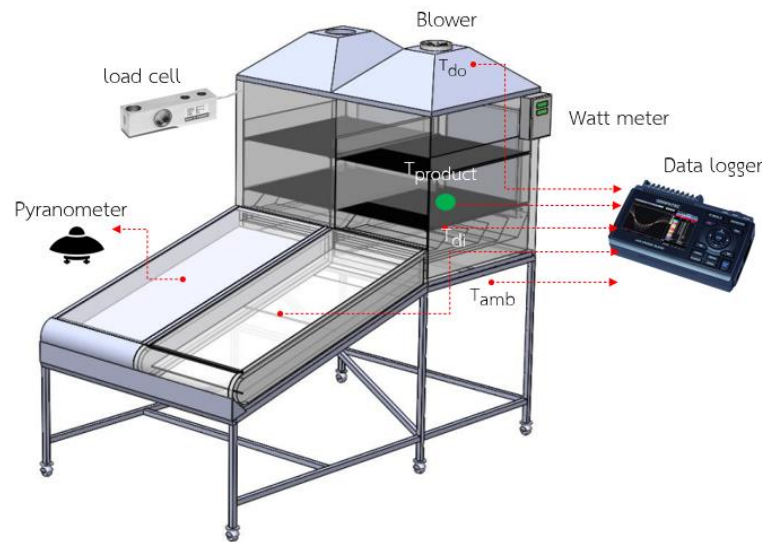
ภาพที่ 2 ขนาดเนื้อหมูที่ใช้ในการทดลอง

2.2 เงื่อนไขการทดลอง

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดลองภายใต้พลังงานตกกระทบตามสภาพแวดล้อมจริง เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับที่มีอัตราการไหลอากาศคงที่เท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมการทำงานของพัดลมด้วยผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมเนื้อหมู และชุดทดลอง ติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3 ได้แก่ อุปกรณ์วัดและบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ และพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ ทำการวัดและบันทึกค่าทุก ๆ 5 นาที โดยเริ่มดำเนินการทดลองในช่วงเวลา 09.30-16.00 น. และทำการวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเครื่อง



ภาพที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยความชื้นของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งมีรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content, M) คือ ดัชนีบ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (1)

$$M = \frac{m_i - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %db

m_i คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์เริ่มต้น, kg

m_d คือ น้ำหนักแห้งผลิตภัณฑ์, kg



ความชื้นผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ วิเคราะห์จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2)

$$M_t = \frac{m_t - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้งที่เวลาใด ๆ, %db

m_t คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ, kg

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) คือ ปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงค่าสมรรถนะการอบแห้ง หรือความสามารถในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาอบแห้ง โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (3)

$$DR = \frac{m_i - m_t}{T} \quad (3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง, kg/h

T คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, h

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar dryer efficiency, η) คือ พารามิเตอร์บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้งต่อพลังงานทั้งหมดที่เครื่องอบแห้งใช้ ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (4)

$$\eta = \frac{m_w h_{fg}}{AI + E_F} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, %

m_w คือ ปริมาณน้ำระเหย, kg

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิอบแห้ง, MJ/kg

A คือ พื้นที่แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์, m^2

I คือ พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ, MJ/m^2

E_F คือ พลังงานไฟฟ้าที่พัดลมระบายอากาศใช้, MJ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ (5)

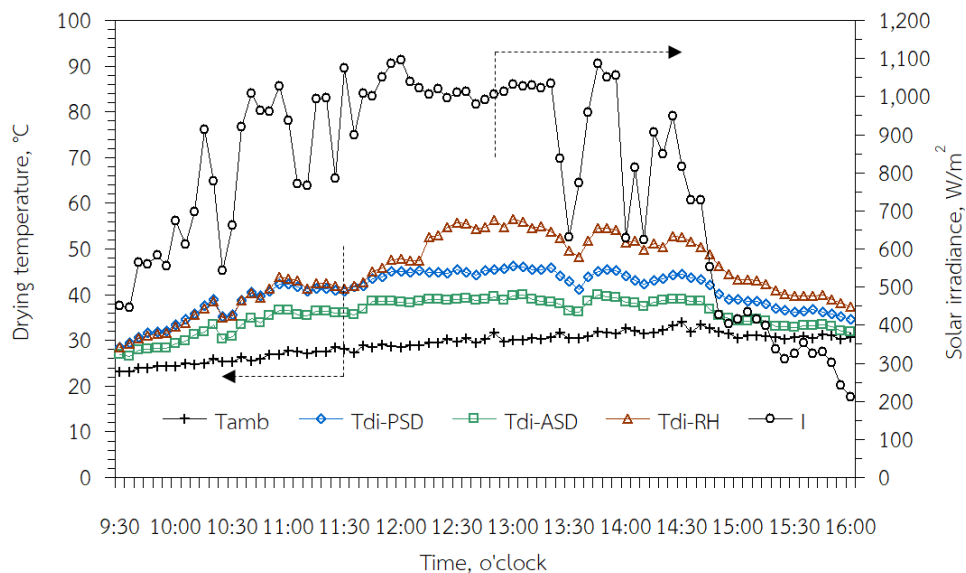
$$SEC = \frac{E_F + AI}{m_w} \quad (5)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg evap-water

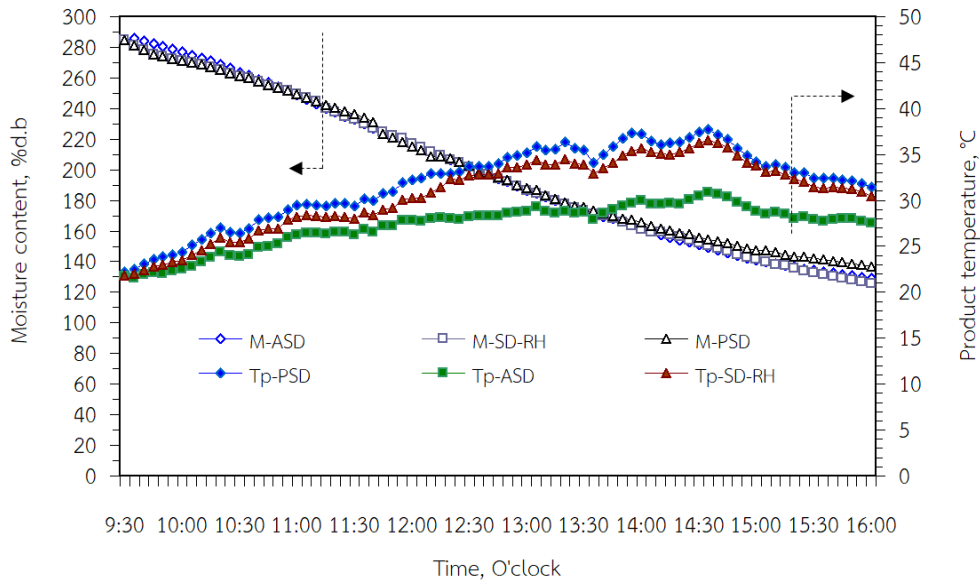
ผลการวิจัย

ผลการทดลองที่นำเสนอประกอบด้วยสภาวะเงื่อนไขพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 4-6

ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานตกกระทบ อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งแต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่าพลังงานตกกระทบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และลดลงในช่วงบ่าย และในแต่ละช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ เช่น ช่วงเวลาที่มีเมฆบดบัง ซึ่งในการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเท่ากับ 769 W/m^2 ในส่วนของอุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตามพลังงานตกกระทบเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ $29 \text{ }^\circ\text{C}$ สำหรับอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าห้องอบแห้งก็เปลี่ยนแปลงตามพลังงานตกกระทบ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ $42 \text{ }^\circ\text{C}$ ในขณะที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ (ASD) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (SD-RH) มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ $36 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $46 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ จากข้อมูลการทดลองจะสังเกตเห็นอย่างชัดเจนว่าเครื่องอบแห้งที่มีการระบายอากาศคงที่มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำ ซึ่งเกิดจากการระบายอากาศตลอดเวลาจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากระบบไปด้วยในขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบคงที่เมื่อพิจารณาในช่วงช่วงเช้า ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ $Q = mC_p\Delta T$ จึงส่งผลให้เครื่องอบแห้งที่มีอัตราการระบายอากาศคงที่เท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่าน้อยกว่า PSD และ SD-RH เท่ากับร้อยละ 16.7 และ 27.8 ตามลำดับ

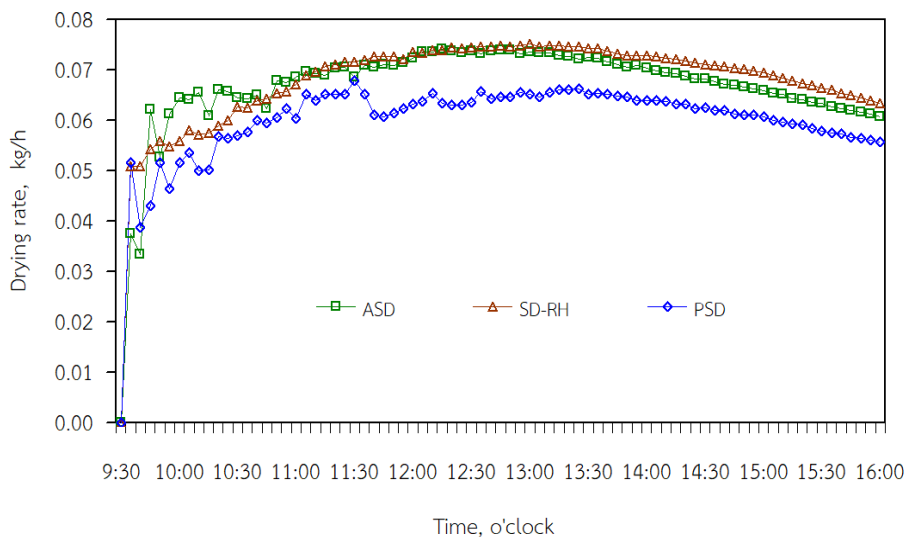


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานตกกระทบและอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งที่แต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลา

ภาพที่ 5 นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงตามเวลา และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะพบว่าความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่อบแห้งด้วย SD-RH จะมีค่าต่ำที่สุดหรือกล่าวอีกนัยคือสามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด และถัดมาคือการอบด้วย ASD โดย PSD จะเป็นเครื่องอบแห้งที่สามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอัตราการอบแห้งในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราการการอบแห้งในแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 6 แสดงข้อมูลอัตราการการอบแห้งที่แต่ละเงื่อนไขของแต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่า SD-RH จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่า ASD และ PSD ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังแสดงในภาพที่ 5 เช่นกัน และเมื่อนำเสนอสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกมิติสามารถสรุปข้อมูลได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวิธีการ

รายการ	วิธีการ		
	PSD	ASD	SD-RH
น้ำหนักผลิตภัณฑ์เริ่มต้น, kg	1.00	1.00	1.00
น้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย, kg	0.65	0.61	0.58
เวลาอบแห้ง, h	6.50	6.50	6.50
พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยทั้งวัน, W/m ²	769.00	769.00	769.00
อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย, °C	29.00	29.00	29.00
อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ย, °C	42.00	36.00	46.00
ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์, kg	0.35	0.39	0.42
พลังงานไฟฟ้าของพัดลม, MJ	0.00	0.82	0.37
พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้, MJ	12.24	12.24	12.24
อัตราการอบแห้ง, kg/h	0.05	0.06	0.07
ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง, %	6.87	7.22	7.97
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg evap-water	34.96	33.48	30.01

จากข้อมูลที่สรุปในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ คือ 6.5 ชั่วโมง จะพบว่า สมรรถนะ SD-RH สูงกว่า ASD และ PSD นอกจากนั้น ยังพบว่า อัตราการอบแห้งของเครื่อง SD-RH สูงกว่าอัตราการอบแห้ง PSD และ ASD เท่ากับ 28.6 และ 14.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SD-RH น้อยกว่า PSD และ ASD เท่ากับ 16.5 และ 11.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสุดท้ายยังพบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ SD-RH สูงกว่า ASD และ PSD เท่ากับ 9.4 และ 13.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยใช้เนื้อหมูเป็นตัวช่วยในการทดลอง นอกจากนั้นในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ แบบบังคับ และแบบที่ติดตั้งชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ผลจากการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบายอากาศโดยใช้ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เป็นดัชนีบ่งชี้มีอัตราการแห้ง และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไหลเวียนอากาศธรรมชาติ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ที่ไหลเวียนอากาศแบบบังคับด้วยอัตราการไหลคงที่ นอกจากนั้นยังพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมการระบายอากาศด้วยความชื้นสัมพัทธ์อากาศยังมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ศิริชัย ศิริชนะ, ทรงสุภา พุ่มชุมพล, อำไพศักดิ์ ทีบุญญา, อภินันต์ นามเขต และ ปฎิวัติ วรามิตร. (2565). การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 7* (น. 125-132.)
- Ahmed, A.G. (2010). Design, construction and performance evaluation of solar maize dryer. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 23, 39-46.
- Ahmed, A.G. (2013). Drying characteristic of apple slices undertaken the effects of passive shelf solar dryer and open sun drying. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(3), 250-254.
- Ankur, G.B., Das, A.B and Jayanta, D.M. (2022). Sustainability and 4E analysis of novel solar photovoltaic-thermal solar dryer under forced and natural convection drying. *Renewable Energy*, 188, 1008-1021.
- El-sebaili, AA. and Shalaby SM. (2012). Solar drying of agricultural products: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 37-43.
- Gutti, B., Kiman, S. and Mustafa, BG. (2012). Design and construction of forced/natural convection solar vegetable dryer with heat storage. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(10), 1213-1217.
- Hajar, E., Mohammed, B., Rachid, T. and Bargach, M.N. (2018). Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 58-64.
- Janjai, S. and Bala, BK. (2012). Solar drying technology. *Food Engineering Review*, 4, 16-54.
- Muruganatham, P.K., Kamalakannan, R. S. and Mohana, S. (2021). Performance analysis of a tubular solar dryer for drying mexican mint (*Plectranthus amboinicus*)-An experimental approach. *Energy reports*, 7, 7-12.
- Nabnean, S. and Nimnuan, P. (2020) Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22.
- Nukulwar, M.R. and Tungika, V.B. (2022). Recent development of the solar dryer integrated with thermal energy storage and auxiliary units. *Thermal Science and Engineering Progress*, 29, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101192>
- Nwajinka, C.O. and Onuegbu, C.U. (2014). Development of a solar cabinet dryer for root crops chips in Nigeria. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 22(2), 47-58.



Okoroigwe, E. C., Eke, M. N. and Ugwu, H. U. (2013). Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries. *International Journal of Physical Sciences*, 8(25), 1341-1349.