

ผลกระทบของห้องอบสองชั้นต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใน  
กระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
**EFFECTS OF DOUBLE DRYING CHAMBER ON TEMPERATURE AND  
RELATIVE HUMIDITY IN BANANA (MUSA ABB) DRYING PROCESS BY  
GREENHOUSE SOLAR DRYING**

เจิมชง ประรณนารักษ์<sup>1</sup> จutiporn อินทะนิน<sup>2</sup> กชศร หัสโรจน์<sup>3</sup> และ พรอริยา ฉิรินัง<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 38 ต.นาวั่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000,  
<sup>1</sup>chermdhong.pra@mail.pbru.ac.th, <sup>2</sup>jutiporn.int@mail.pbru.ac.th

<sup>3</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาการแปรรูปและการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 96 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล  
จ.นครปฐม 73170, kanokorn.hus@rmutr.ac.th

<sup>4</sup>อาจารย์, สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย  
ราชภัฏเพชรบุรี, 38 ม.8 ต.นาวั่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000, pornariya.chi@mail.pbru.ac.th

Chermdhong Prattanaruk<sup>1</sup>, Jutiporn Intanin<sup>2</sup>, Kodchasorn Hussaro<sup>3</sup>, and  
Pornariya Chiranang<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Lecturer, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,  
Phetchaburi Rajabhat University, 38 Moo 8, Muang, Phetchaburi, 76000 Thailand,  
<sup>1</sup>chermdhong.pra@mail.pbru.ac.th, <sup>2</sup>jutiporn.int@mail.pbru.ac.th

<sup>3</sup>Lecturer, Department of Food Processing and Culinary Science, Faculty of Science and  
Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 Phutthamonthon Sai  
5 Salaya, Phutthamonthon Nakhon Pathom, 73170, Thailand, kanokorn.hus@rmutr.ac.th

<sup>4</sup>Lecturer, Department of Applied Food and Nutrition, Faculty of Science Technology,  
Phetchaburi Rajabhat University, 38 Moo 8, Muang, Phetchaburi, 76000, Thailand,  
pornariya.chi@mail.pbru.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่มีห้องอบชั้นเดียวเปรียบเทียบกับห้องอบสองชั้น และใช้กล้วยน้ำว้าเป็นตัวอย่างในการทดสอบด้วยการอบแห้งทั้งการพาความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ใช้ความชื้นกล้วยน้ำว้าเริ่มต้นที่ 65 – 67 % มาตรฐานเปียก (w.b.) อบแห้งจนมีความชื้นต่ำกว่า 20 % (w.b.) จากการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ห้องอบสองชั้นสามารถกระจายความร้อนในห้องอบได้เป็นอย่างดี อุณหภูมิภายในห้องอบมีค่าใกล้เคียงกัน มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ห้องอบชั้นเดียว และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่า โดยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบสองชั้นและเสริมความร้อนด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดร่วมกับการเปิดและไม่เปิดพัดลมระบายอากาศจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 2.52 และ 2.19 kWh/kg ตามลำดับ ซึ่งระบบที่ใช้ความร้อนเสริมและไม่เปิดพัดลมระบายอากาศจะใช้เวลาน้อยกว่า 2 วันในการอบแห้งกล้วยจนความชื้นต่ำกว่า 20 % (w.b.) สำหรับค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยระบบเสริมความร้อนจะมีสีคล้ำที่สุด โดยกล้วยน้ำว้ามีค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**คำสำคัญ:** โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ห้องอบสองชั้น, กล้วยน้ำว้า

### ABSTRACT

The objective of this research was to find out the outputs of dried product by the solar drying using the single-drying chamber comparing to the double-drying chamber. The bananas (Musa ABB) was used as a sampling in the testing of the natural convection and the forced convection. The initial moisture content was 65-67 % w.b., dried until less than 20 % w.b. The studies showed that the double-drying chambers could internally distribute the temperature well, and consistently similar in all layers. Its thermal efficiency is better than the single-drying chamber. Its specific energy consumption was less than the one of the single-drying chamber. The specific energy consumption of the double-drying-chamber conditioned by including the infrared heater and compared between turning on and turning off the ventilation fan was 2.52 and 2.19 kWh/kg, respectively. The solar drying with infrared heater and turn of the ventilation fan, it took less than 2 days to dry the bananas which had moisture content to 20 % w.b. The color values of the product dried with the inclusion of the infrared heater were the darkest color, its lighting value decreased and the red value increased, both statistically significant ( $P \leq 0.05$ )

**KEYWORDS:** Greenhouse solar drying, Double-drying chamber, Banana (Musa ABB)

## 1. บทนำ

ผลผลิตทางการเกษตรโดยทั่วไปจะมีเป็นฤดูกาล แต่การบริโภคผลิตภัณฑ์เกษตรจะมีตลอดทั้งปี จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาที่ดีเพื่อรักษาทั้งคุณภาพและปริมาณคงอยู่ให้ได้มากที่สุด ปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาที่สำคัญอันหนึ่ง คือ ความชื้นในการเก็บรักษาจะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม กล่าวคือ ถ้าความชื้นผลิตภัณฑ์ทางเกษตรต่ำก็จะเก็บรักษาได้นาน แต่การที่จะอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้แห้งมากเกินความจำเป็น นอกจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายและพลังงานในการอบแห้งเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังทำให้เกิดความเสียหาย (แตกหัก) ระหว่างการขนส่งได้ง่าย และทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์อีกด้วย [1] ผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยมีมูลค่าสูงนับแสนล้านบาท โดยข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในปี 2566 ผลผลิตทางการเกษตรในกลุ่มผลไม้ เครื่องเทศ ผัก และยาสูบ เฉพาะที่ส่งออกมีมูลค่ามากกว่า 252,324 ล้านบาท [2] ในจำนวนนี้คิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งกว่า 80,000 ล้านบาท ยังไม่นับรวมผลิตภัณฑ์จำพวกเนื้อสัตว์แห้ง พืชสมุนไพร ข้าว และเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ ซึ่งต้องอบแห้งให้ได้มาตรฐานก่อนจำหน่าย จะเห็นว่ากระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์และความมั่นคงทางอาหารของประเทศสูงมาก

การทำแห้งที่ง่ายที่สุดคือการตากแห้งทั้งในที่ร่มและตากแดดโดยตรง โดยการตากแดดจะช่วยเพิ่มอัตราการระเหยความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่ามาก จึงเป็นที่นิยมในประเทศที่กำลังพัฒนา [3] แม้ว่าการตากแดดจะเป็นวิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และได้ผลดี [1] แต่ความร้อนจากแสงอาทิตย์จะสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก อีกทั้งในระหว่างการตากแห้งผลิตภัณฑ์มักจะถูกรบกวนจากแมลงและสัตว์ต่าง ๆ มีการปนเปื้อนฝุ่นละออง หรือเปียกฝนจนเกิดเชื้อรา [1, 3] ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยทั่วไปจึงนิยมทำเรือนกระจก (Greenhouse) ครอบผลิตภัณฑ์ โดยอาจใช้พลาสติกใสคลุม หรือทำเป็นตู้หรือโครงอาคารที่หุ้มหรือคลุมด้วยวัสดุโปร่งแสง เนื่องจากการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจกมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าการตากแดดโดยตรงมาก จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลงอย่างเห็นได้ชัด [4-6] อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดคือ ระยะเวลาการอบที่มีจำกัดในแต่ละวัน และประสิทธิภาพการอบซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอาทิตย์ สำหรับกระบวนการอบที่ต้องใช้การอบแห้งต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน การเพิ่มแหล่งความร้อนเสริมให้แก่ระบบจึงเป็นเรื่องจำเป็น ซึ่งการอบด้วยอินฟราเรดนอกจากจะช่วยให้อาหารสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องยาวนานแล้ว ยังทำให้ความร้อนภายในห้องอบมีความสม่ำเสมอมากขึ้น [7, 8] โดยหลักการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ คือ เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบกับผิวเครื่องอบแห้ง รังสีอาทิตย์ส่วนที่ทะลุผ่านวัสดุโปร่งแสงเข้าไปภายในห้องอบจะมีทั้งรังสีคลื่นยาวและสั้น โดยรังสีคลื่นสั้นเมื่อสูญเสียพลังงานทำให้มีความยาวคลื่นสูงขึ้น [9] คลื่นบางส่วนที่ไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุคลุมออกไปได้ ก็จะถูกกักเก็บอยู่ภายในห้องอบ [10] อากาศภายในห้องอบเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์แล้ว จะมี

อุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการขยายตัว ความชื้นสัมพัทธ์และความหนาแน่นของอากาศร้อนจึงลดลง อากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นสูง [11] ผ่านผลิตภัณฑ์ และพาเอาความชื้นที่ระเหยกลายเป็นไอออกจาก ผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกนอกห้องอบ ส่วนอากาศที่เย็นกว่าซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะกระจายตัวอยู่ ข้างล่าง ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องอบนี้จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพ ผลิตภัณฑ์มาก เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติบางแบบมีอุณหภูมิ ชั้นบนต่างจากชั้นล่างเกินกว่า  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  [12, 13] จึงเป็นการยากที่จะอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ ใกล้เคียงกันได้ทั้งหมด

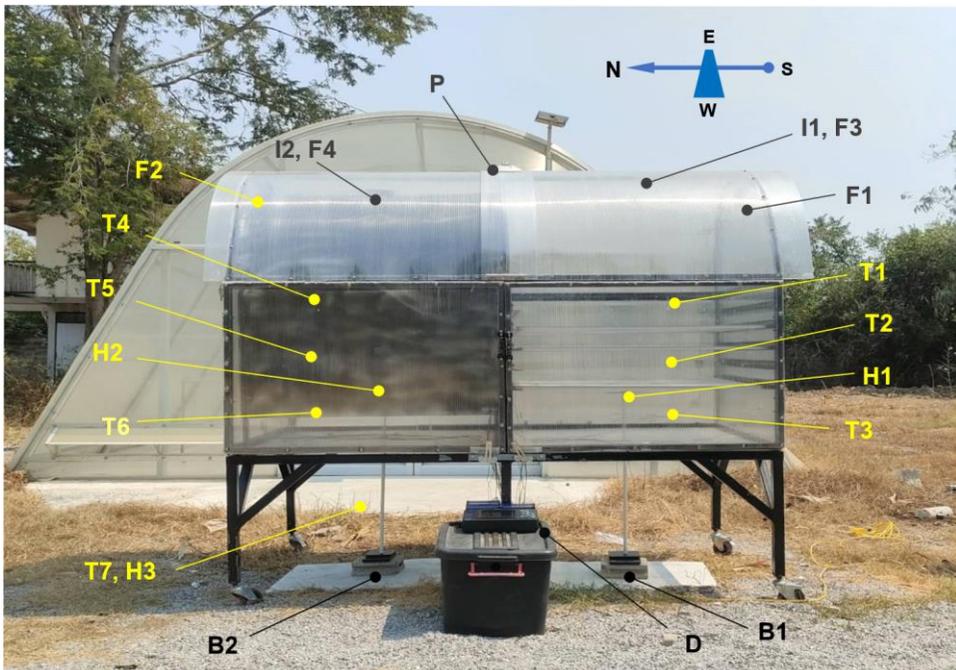
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบ ชั้นเดียวแบบปกติโดยทั่วไปเปรียบเทียบกับห้องอบสองชั้น โดยใช้กล้วยน้ำว้า (Musa ABB Pisang Awak วงศ์ Musaceae) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในการทดสอบ เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ของประเทศ เป็นที่นิยมบริโภค หาได้ง่ายและมีตลอดปี แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้น [14-16] โดยจะ เปรียบเทียบทั้งการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องอบ อัตราการลดความชื้น ประสิทธิภาพ เชิงความร้อนของระบบอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ตลอดจนคุณภาพด้านสีของ ผลิตภัณฑ์การอบแห้ง

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการดำเนินการวิจัยจะใช้เครื่องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลังคาโค้งครึ่งวงกลม เนื่องจาก รูปทรงดังกล่าวทำอุณหภูมิในห้องอบได้สูงและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ [4] โดยโครงสร้างสี่เหลี่ยมของ เครื่องอบแห้งที่ใช้ มีขนาด  $1.00 \times 2.00 \times 0.75\text{ m}$  หลังคาโค้งครึ่งวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.50\text{ m}$  คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตสีขาวใสหนา  $6\text{ mm}$  ทุกด้าน เครื่องอบแห้งแบ่งเป็นสองฝั่งโดยติด ฉนวนกันความร้อนกันระหว่างกลางหนา  $5\text{ cm}$  แต่ละฝั่งเจาะช่องระบายอากาศขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง  $11\text{ cm}$  บนระนาบเรียบห่างจากยอดโค้งของหลังคาลงมา  $5\text{ cm}$  เพื่อติดตั้งพัดลมระบาย อากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $12\text{ cm}$  ชนิดกระแสตรง  $12\text{ V } 0.1\text{ A}$  มีอัตราการระบายอากาศ  $74\text{ m}^3/\text{h}$  ฝั่งละหนึ่งตัว (F1, F2) ดังรูปที่ 1 ช่องอากาศเข้าแต่ละฝั่งอยู่ด้านล่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $3\text{ cm}$  3 ช่อง ประตูห้องอบเป็นแบบบานสวิงเปิดแยกออกจากกัน เครื่องอบแห้งวางบนขาตั้งขนาด  $1.05 \times 2.06 \times 0.76\text{ m}$  ห้องอบฝั่งซ้ายทำเป็นสองชั้น โดยห้องอบชั้นในทำจากโครงเหล็กขนาด  $0.92 \times 0.92 \times 0.56\text{ m}$  หลังคาโค้งรัศมี  $0.46\text{ m}$  หุ้มด้วยแผ่นสแตนเลสหนา  $0.35\text{ mm}$  รอบด้าน เปิดฐานโถง เจาะช่องระบายอากาศกึ่งกลางผิวโค้งด้านบนสำหรับติดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรดพิกัดกำลังทางไฟฟ้า  $126.5\text{ W}$  (I2) พร้อมพัดลมหมุนวนอากาศขนาดผ่านศูนย์กลาง  $12\text{ cm}$  ชนิดกระแสตรง  $12\text{ V } 0.3\text{ A}$  มีอัตราการไหลของอากาศ  $170\text{ m}^3/\text{h}$  (F4) เพื่อดึงอากาศออกจากห้องอบชั้นในให้เคลื่อนที่ขึ้น เพื่อให้

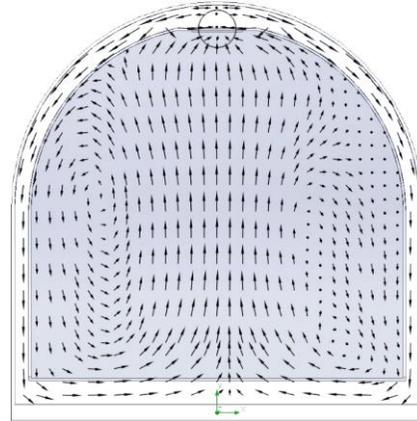
กระแสอากาศปะทะกับผนังโค้งของหลังคา เกิดการหมุนวนย้อนกลับเข้าไปภายในห้องอบแห้ง ห้องอบฝั่งชาวดัดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรด 126.5 W (I1) และพัดลมหมุนวนอากาศชนิดกระแสตรง 12 V 0.3 A (F3) ที่กึ่งกลางผิวโค้งด้านในของหลังคา และทำตารางผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบฝั่งละ 5 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 10.5 cm โดยถาดมีขนาดกว้าง 95 x 95 cm มีขอบหนา 1 cm ภายในห้องอบทั้งสองฝั่งติดตั้ง Thermocouple type K ฝั่งละ 3 จุด ที่ตารางผลิตภัณฑ์ชั้นบน-กลาง-ล่าง เรียงตามแนวตั้ง (T1-T3 สำหรับห้องอบชั้นเดียว และ T4-T6 สำหรับห้องอบสองชั้น) สำหรับวัดอุณหภูมิในห้องอบ ติด Humidity sensor (H1, H2) ฝั่งละ 1 จุดกลางห้องอบ เพื่อวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ พร้อมทั้งติดตั้ง Thermocouple และ Humidity sensor (T7, H3) สำหรับวัดสภาพอากาศแวดล้อมภายนอกเครื่องอบ ด้านล่างเครื่องอบติดตั้งเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 g (B1, B2) เพื่อบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตลอดการทดสอบ ใช้ Pyranometer ของ Kipp and Zonen รุ่น CM11 (P) สำหรับวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ในการเก็บบันทึกความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิทั้ง 7 จุด ใช้เครื่องบันทึกสัญญาณ HIOKI รุ่น LR8401-20 (D) โดยสุ่มเก็บสัญญาณ (Sampling rate) ทุก 1 นาที กรณีความชื้นสัมพัทธ์และน้ำหนักผลิตภัณฑ์ใช้วิธีการวัดและบันทึกผลทุก 30 นาที



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ (ฝั่งซ้าย) ห้องอบสองชั้น (ฝั่งขวา) ห้องอบชั้นเดียว

ห้องอบชั้นในมีรูปทรงสี่เหลี่ยมหลังคาโค้งเช่นเดียวกับตู้อบชั้นนอก หุ้มด้วยสแตนเลสรอบด้าน แต่มีฐานโล่ง เมื่อวางห้องอบชั้นในลงในเครื่องอบแห้ง ผนังห้องอบชั้นในจะขนานไปกับผนังห้องอบ

ชั้นนอกดังแสดงในรูปที่ 2 (ซ้าย) โดยด้านบนห้องอบชั้นในติดตั้งพัดลมในทิศตั้งอากาศชั้นบน เพื่อขับเคลื่อนให้กระแสอากาศปะทะกับหลังคาด้านบนแล้วไหลไปตามผิวโค้งหลังคาและผนังด้านใน ห้องอบชั้นนอก กระแสอากาศจะไหลวนย้อนกลับเข้าสู่อบชั้นในที่ฐานโล่งด้านล่าง ทำให้อากาศเกิดการไหลวนระหว่างห้องอบชั้นในกับชั้นนอก อากาศจะมีการผสมและสัมผัสกันเอง และสัมผัสกับผิววัสดุซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนซึ่งกันและกันดังแสดงในรูปที่ 2 (ขวา)



รูปที่ 2 (ซ้าย) ห้องอบชั้นในภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ (ขวา) ลักษณะการไหลวนของกระแสอากาศในห้องอบสองชั้นเมื่อมองจากด้านข้าง

## 2.2 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบจะใช้กล้วยน้ำว้าเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในการศึกษา โดยวางเครื่องอบแห้งขนานไปตามแนวทิศเหนือ-ใต้ (แนวยาวของเครื่องอบแห้งตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร) ใช้กล้วยน้ำว้าระยะสุกที่ 6 ตามเกณฑ์การแบ่งระยะสุกกล้วยของ CSIRO 1972 [17] ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสีของเปลือกกล้วยที่เป็นสีเหลืองทั้งลูกโดยยังไม่มีจุดดำและยังไม่มีกลิ่น จำนวน 398 ลูก (ประมาณ 22 kg) อบทดสอบฝั้ละ 199 ลูก (ประมาณ 11 kg) โดยทำการปกเปลือกก่อนนำกล้วยไปวางบนถาดวางผลิตภัณฑ์ชั้นบนสุด-กลาง-ล่างสุด (ถาดที่ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ นำถาดชั้นที่ 2 และ 4 ออก) แต่ละถาดเรียงกล้วยเป็น 6 แถว แถวละ 11 ลูก และวางกล้วยบนเครื่องชั่ง 1 ลูก รวมเป็น 199 ลูก ในห้องอบแต่ละฝั้ ดำเนินการอบแห้ง ตั้งแต่ 6.00-18.00 น. โดยนำตัวอย่างเก็บรักษาในถุงออลูมิเนียมพอยตีในสภาวะสุญญากาศระหว่างที่หยุดพักจากการอบแห้งในตอนกลางคืน และนำไปอบต่อในวันถัดไปรวมเป็นระยะเวลา 3 วัน จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งที่ได้ไปทดสอบคุณภาพสี โดยแบ่งการทดสอบเป็น 4 การทดสอบ คือ การทดสอบที่ 1 ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยการพาแบบธรรมชาติ (ปิดพัดลมและฮีตเตอร์ทั้งหมด) การทดสอบที่ 2 ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศ การทดสอบที่ 3

ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด และการทดสอบที่ 4 ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยการทดสอบที่ 2 3 และ 4 เปิดพัดลมและฮีตเตอร์ตามเงื่อนไขแต่ละการทดสอบตลอดกระบวนการอบแห้ง

### 2.2.1 การวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์

การหาความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ดัดแปลงจากวิธีของ Kunwisawa et al [14] โดยนำกล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแสงอาทิตย์ครบ 3 วันแล้ว หั่นเป็นแว่นหนาประมาณ 3 mm แล้วนำไปอบต่อด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณความชื้นดังสมการที่ 1 [18]

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

เมื่อ  $M_w$  คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.)

$w$  คือ มวลเปียกของกล้วย (g)

$d$  คือ มวลแห้งของกล้วย (g)

### 2.2.2 การคำนวณอัตราการอบแห้ง

การแสดงผลสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจะแสดงในรูปอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) คือ อัตราส่วนของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกต่อเวลาที่ใช้ในการอบ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้ง โดยคำนวณจากสมการที่ 2 [19, 20]

$$DR = \frac{d(M_{wi} - M_{wf})}{t} \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง ( $g_{water}/h$ )

$d$  คือ มวลแห้งของกล้วย ( $g_{solid}$ )

$M_{wi}$  คือ ความชื้นเริ่มต้น ( $g_{water}/g_{solid}$ )

$M_{wf}$  คือ ความชื้นที่เวลา  $t$  ( $g_{water}/g_{solid}$ )

$t$  คือ เวลาที่ใช้อบแห้ง (h)

### 2.2.3 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) แสดงถึงความสามารถทางพลังงานในการทำแห้งของเครื่องอบแห้ง สำหรับเครื่องอบแห้งโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ต่อพลังงานที่ใส่เข้าสู่ระบบอบแห้งดังสมการที่ 3 [21]

$$\eta = \frac{(m_{wi} - m_{wf}) \times h_{fg}}{(A \times I \times t) + E} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง (%)

$m_{wi}$  คือ มวลของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้ง (kg)

$m_{wf}$  คือ มวลของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง (kg)

$h_{fg}$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kWh/kg)

A คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง ( $m^2$ )

I คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นราบ ( $W/m^2$ )

t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (h)

E คือ พลังงานอื่นๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ในระบบอบแห้ง (Wh)

สำหรับพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ในระบบอบแห้ง ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับพัดลมระบายอากาศ พัดลมหมุนวนอากาศ และฮีตเตอร์อินฟราเรด ซึ่งมีพิกัดกำลังไฟฟ้า 1.2 3.6 และ 126.5 W ตามลำดับ

### 2.2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) แสดงถึงความสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการนำความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยมวลน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ 4 [21]

$$SEC = \frac{(A \times I \times t) + E}{m_{wi} - m_{wf}} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)

ความสิ้นเปลืองพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้ในระบอบอบแห้ง ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับพัดลมระบายอากาศ พัดลมหมุนวนอากาศ และฮีตเตอร์อินฟราเรด ซึ่งมีพิกัดกำลังไฟฟ้า 1.2 3.6 และ 126.5 W ตามลำดับ โดยเปิดพัดลมและฮีตเตอร์ตามเงื่อนไขของแต่ละการทดสอบตลอดกระบวนการอบแห้ง สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบ จะคำนวณจากระยะเวลาอบแห้ง ค่ารังสีอาทิตย์ และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนความชื้นลดลงถึง 20 % (w.b.)

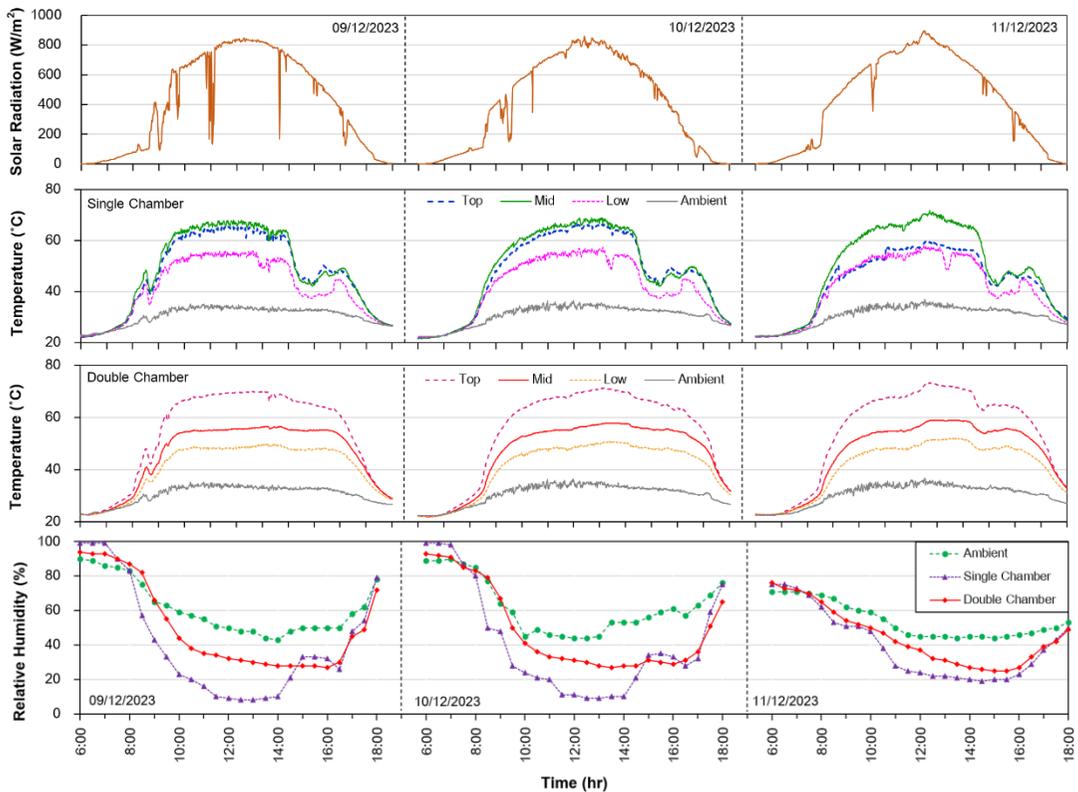
### 2.2.5 การวัดคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

การวัดคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งใช้เครื่องทดสอบ Colorimeter ยี่ห้อ FRU รุ่น WF28 โดยใช้การวัดค่าสีในระบบ CIE L\*a\*b\* ค่า L\* (Lightness Parameter) แสดงถึงค่าความสว่างของวัตถุ ใช้ระดับสีเทาของสี มีค่า 0=ดำ ถึง 100=ขาว a\* (Redness Parameter) แสดงถึงค่าสีแดง (+ a\*) หรือสีเขียว (- a\*) และ b\* (Yellow Parameter) แสดงถึงค่าสีเหลือง (+ b\*) หรือน้ำเงิน (- b\*) ในการวัดสีจะสุ่มวัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากถาดวางตัวอย่างชั้นบนสุดและล่างสุด (ถาดที่ 1 และ 5) ชั้นละ 5 ตัวอย่าง และตัวอย่างบนเครื่องชั่งอีก 1 ตัวอย่าง รวมเป็น 11 ตัวอย่าง หลังจากการอบแห้งในวันที่ 3 เสร็จสิ้น โดยแสดงผลในรูปแบบ mean  $\pm$  SD วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## 3. ผลการวิจัย

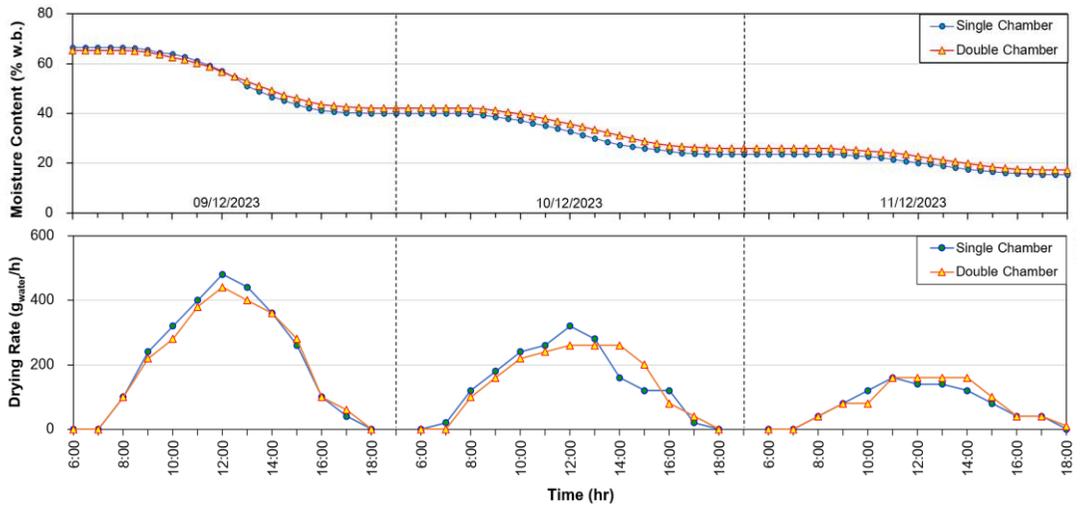
### 3.1 ผลการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

ผลการทดสอบที่ 1 เป็นผลจากการทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาแบบธรรมชาติ ในการทดสอบจะไม่ใช้พัดลมและความร้อนเสริมใด ๆ โดยดำเนินการทดสอบในช่วงวันที่ 9-11 ธันวาคม 2566 ช่วงวันดังกล่าว ท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆเล็กน้อยเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ช่วงเที่ยงสุริยะทั้งสามวันมีค่ามากกว่า 800 W/m<sup>2</sup> รังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งสามวันอยู่ที่ 421.51 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิที่ถาดวางผลิตภัณฑ์ทั้งสามระดับภายในห้องอบชั้นเดียวและห้องอบสองชั้นมีค่าที่ต่างกันมาก โดยอุณหภูมিরะหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์ในห้องอบสองชั้นมีความแตกต่างกันมากกว่าและมีความราบเรียบมากกว่า ดังรูปที่ 3 สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบสองชั้นจะมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบชั้นเดียว อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบทั้งสองแบบยังคงต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก



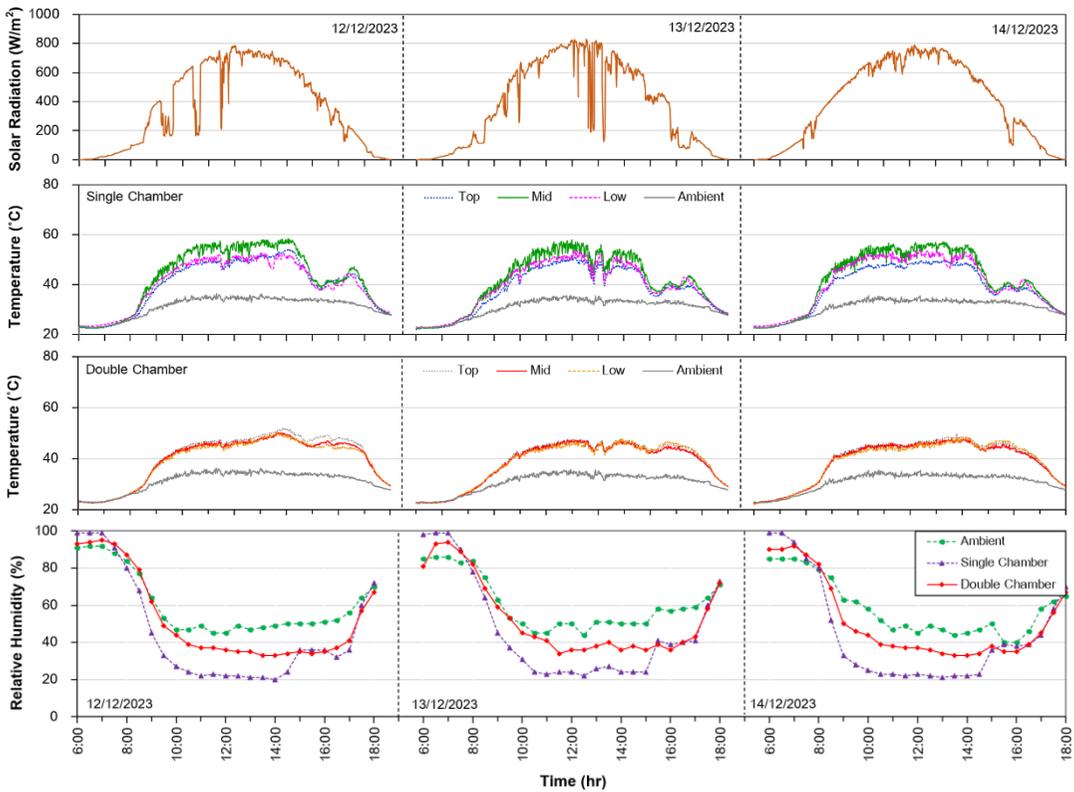
รูปที่ 3 รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบที่ใช้การอบแห้งโดยการพาแบบธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาผลทดสอบการอบลดความชื้นโดยอาศัยการพาแบบธรรมชาติ พบว่า เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นผลิตภัณฑ์จาก 66.5 % (w.b.) และ 65.4 % (w.b.) สำหรับห้องอบ ชั้นเดียวและสองชั้นตามลำดับ จนเหลือ 20 % (w.b.) ซึ่งเป็นความชื้นกล้วยตากที่นิยมใช้เชิงพาณิชย์ ได้ภายในเวลา 3 วัน และมีความชื้นสุดท้ายที่ 15.44 และ 17.18 % (w.b.) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์จะสูงที่สุดในวันแรก และลดลงตามลำดับในวันถัดไป โดยอัตราการอบแห้งในแต่ละวันจะแปรผันตามความเข้มรังสีอาทิตย์ และจะเห็นได้ว่าการอบแห้งโดยการพาแบบธรรมชาติด้วยห้องอบชั้นเดียวสามารถลดความชื้นผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าห้องอบสองชั้นเล็กน้อย

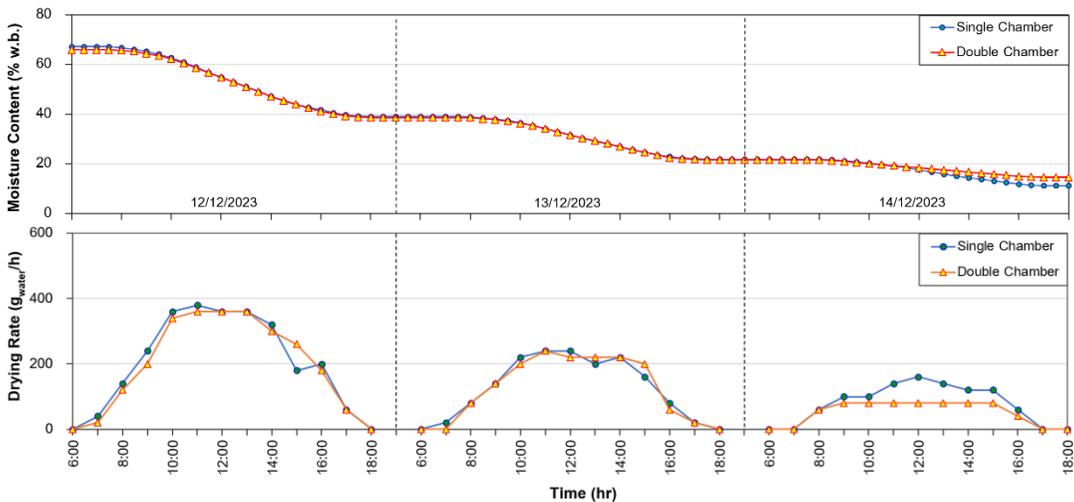


รูปที่ 4 ความชื้นกล้วยน้ำว้าและอัตราการอบแห้งในการอบแห้งแสงอาทิตย์โดยการพาแบบธรรมชาติ

ผลการทดสอบที่ 2 เป็นการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบบังคับโดยเปิดพัดลมระบายอากาศ และพัดลมหมุนวนในห้องอบทั้งสองฝั่งตลอดการทดสอบ ในวันที่ 12-14 ธันวาคม 2566 ตั้งแต่เวลา 6.00 น.-18.00 น. เป็นช่วงที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง มีแดดตลอดทั้งวัน มีเมฆมากเป็นบางช่วง ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดตอนเที่ยงมากกว่า  $780 \text{ W/m}^2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $385.11 \text{ W/m}^2$  โดยอุณหภูมิที่ถาดวางผลิตภัณฑ์ทั้งสามระดับภายในห้องอบสองชั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าในห้องอบชั้นเดียว เป็นเพราะอากาศที่ไหลวนระหว่างห้องอบชั้นนอกและชั้นในผสมและถ่ายเทความร้อนให้กัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบสองชั้นจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงวันที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์น้อยกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในการทดสอบนี้จึงต่ำกว่าการทดสอบที่ 1 อีกทั้งการเปิดพัดลมระบายอากาศ นอกจากทำให้สูญเสียความร้อนออกจากระบบแล้ว ยังเป็นการดึงอากาศใหม่ (Fresh air) ซึ่งมีความชื้นสูงกว่าให้ไหลเข้ามาในห้องอบเป็นปริมาณมาก ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในการทดสอบที่ 2 สูงกว่าการทดสอบที่ 1 และเนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบสองชั้นต่ำกว่าอุณหภูมิในห้องอบชั้นเดียว ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบสองชั้นจึงมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบชั้นเดียว การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในห้องอบชั้นเดียวจึงเร็วกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาที่ความชื้นผลิตภัณฑ์และอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ในห้องอบชั้นเดียวสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าเล็กน้อย เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบชั้นเดียวและสองชั้นสามารถลดความชื้นถึง 20 % (w.b.) ได้ภายในเวลา 3 วัน มีความชื้นสุดท้ายที่ 11.24 และ 14.62 % (w.b.) จากความชื้นเริ่มต้นที่ 67.2 และ 65.9 % (w.b.) ตามลำดับ

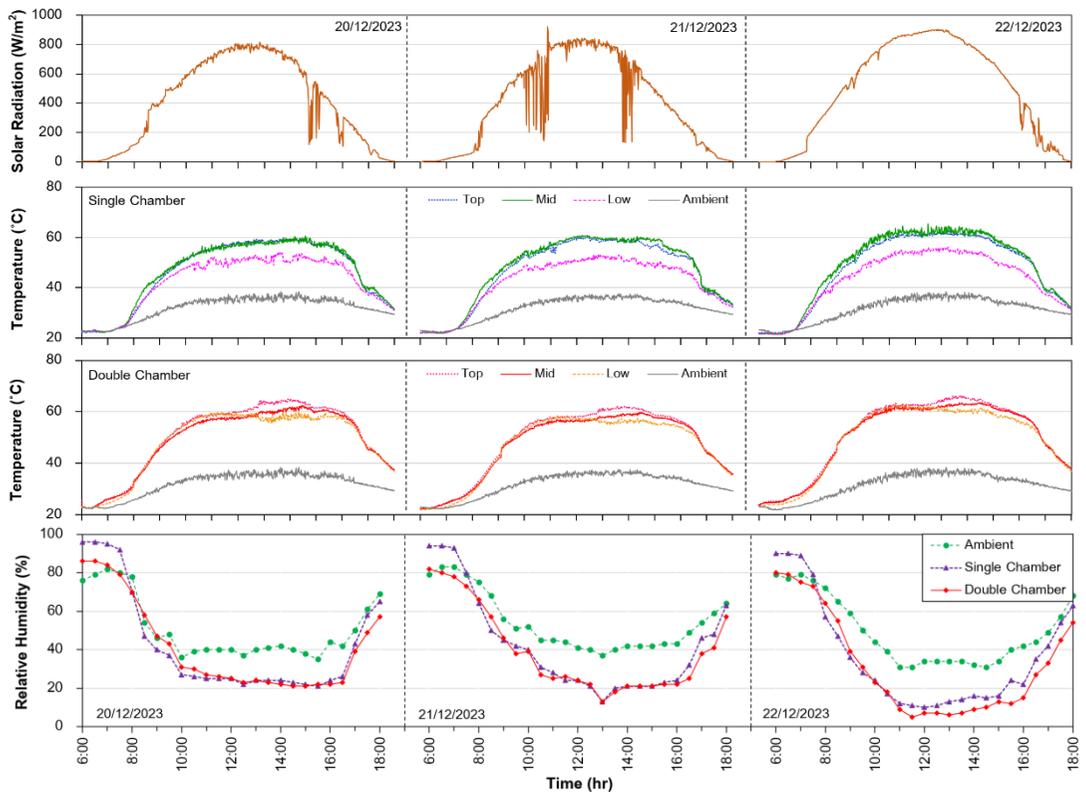


รูปที่ 5 รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบที่ใช้การอบแห้งโดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศ



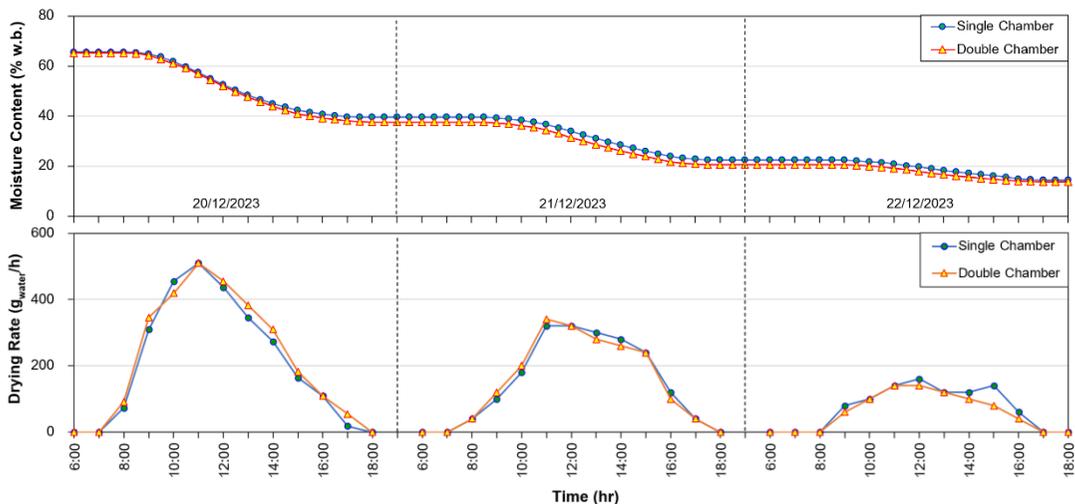
รูปที่ 6 ความชื้นกลัวย่น้ำและอัตราการอบแห้งในการอบแห้งแสงอาทิตย์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศ

ผลการทดสอบที่ 3 เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาแบบบังคับ ด้วยการเปิดพัดลมระบายอากาศและพัดลมหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดในตู้อบทั้งสองฝั่ง การทดสอบนี้ดำเนินการในช่วงวันที่ 20-22 ธันวาคม 2566 ซึ่งช่วงวันดังกล่าวมีสภาพอากาศปลอดโปร่ง ท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆเป็นระยะในบางวัน ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดตอนเที่ยงสุริยะทั้งสามวันมากกว่า  $800 \text{ W/m}^2$  มีความเข้มเฉลี่ยรวมอยู่ที่  $435.71 \text{ W/m}^2$  การเสริมความร้อนด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดช่วยให้อุณหภูมิในห้องอบทั้งสองแบบสูงขึ้น โดยอุณหภูมิสูงสุดในห้องอบสองชั้นสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดของห้องอบชั้นเดียวเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบชั้นเดียวมีค่าเท่ากับ  $45.82 \text{ }^\circ\text{C}$  และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบสองชั้นที่  $47.26 \text{ }^\circ\text{C}$  โดยมีการกระจายตัวของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากอุณหภูมิที่ถาดวางผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามระดับ อุณหภูมิในห้องอบจะสูงขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยช่วงกลางของการอบแห้งในแต่ละวัน อุณหภูมิสูงขึ้นถึง  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  แต่เนื่องจากการทดสอบนี้มีการระบายอากาศ จึงมีอากาศใหม่ซึ่งมีความชื้นสูงกว่าไหลเข้าระบบ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบไม่ลดต่ำลงมากนัก



รูปที่ 7 รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบที่ใช้การอบแห้งโดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด

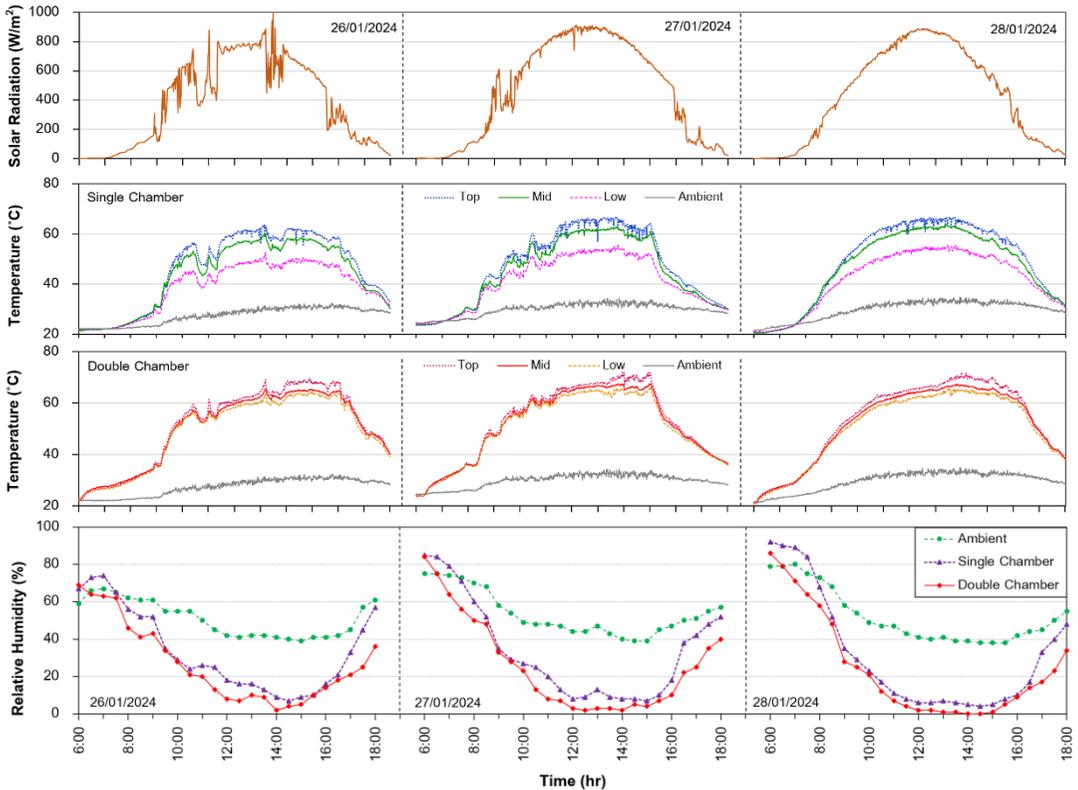
โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอากาศ ทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศเพิ่มขึ้น จึงเป็นสภาวะที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jeentada and Phetsongkram [4] และเป็นไปตามพฤติกรรมของ คุณสมบัติอากาศชื้นในแผนภูมิไซโครเมตริก เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องอบชื้นเดียวกับอุณหภูมิในห้องอบสองชั้นใกล้เคียงกัน จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบทั้งสองฝั่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงในลักษณะเดียวกัน อัตราการอบแห้งของ ผลิตภัณฑ์จึงมีค่าใกล้เคียงกัน ผลิตภัณฑ์ในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบชื้นเดียวและห้องอบสองชั้นมีความชื้นเริ่มต้นที่ 65.61 และ 65.23 % (w.b.) ตามลำดับ โดยห้องอบทั้งสองแบบสามารถลดความชื้นกล้วยน้ำว้าได้ต่ำกว่า 20 % (w.b.) ภายใน 3 วัน และมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 14.46 และ 13.74 % (w.b.) ตามลำดับ ดังผลการทดสอบในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความชื้นกล้วยน้ำว้าและอัตราการอบแห้งในการอบแห้งแสงอาทิตย์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศและหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด

การทดสอบที่ 4 เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้พัดลมหมุนวนอากาศและความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด ทำการทดสอบในวันที่ 26-28 มกราคม 2567 ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. สภาพท้องฟ้าอากาศในวันแรกมีเมฆสลับกับแดดตลอดทั้งวัน และท้องฟ้าปลอดโปร่งในวันที่ 2 และ 3 โดยมีเมฆเป็นครั้งคราวในช่วงเช้าและช่วงเย็น อย่างไรก็ตามทั้งสามวันมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตอนเที่ยงสุริยะมากกว่า  $880 \text{ W/m}^2$  มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ  $426.01 \text{ W/m}^2$  โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์และฮีตเตอร์อินฟราเรดทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบชื้นเดียวและสองชั้นสูงกว่า 65 และ  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  มีอุณหภูมิในห้องอบเฉลี่ยที่  $44.46 \text{ }^\circ\text{C}$  และ  $51.25 \text{ }^\circ\text{C}$

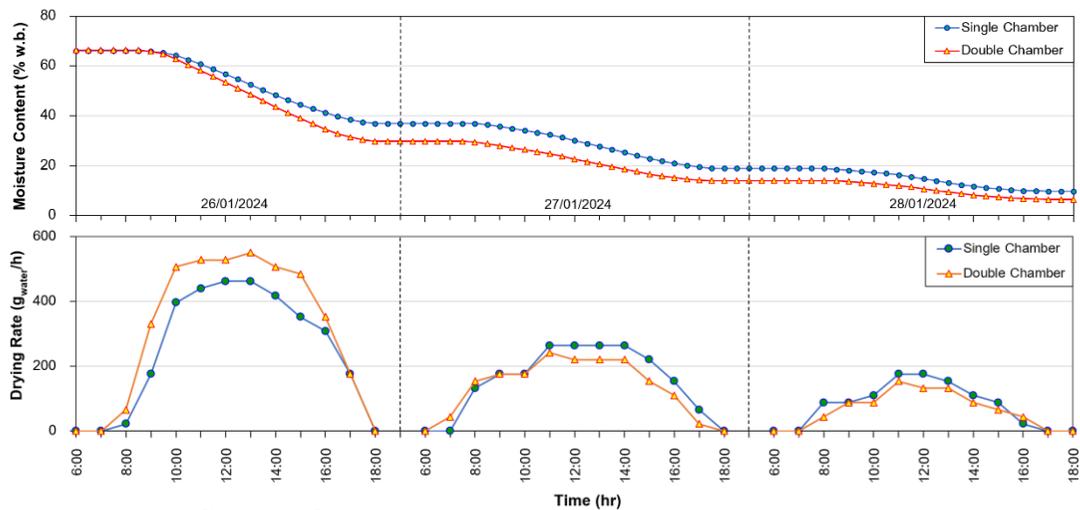
ตามลำดับ กรณีห้องอบสองชั้นซึ่งมีอากาศไหลวนระหว่างผนังของห้องอบชั้นนอกและชั้นใน ทำให้อากาศเกิดการผสมและแลกเปลี่ยนถ่ายโอนความร้อนซึ่งกันและกัน อุณหภูมิที่ถาดวางผลิตภัณฑ์ที่สามาระดับภายในห้องอบสองชั้นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบที่ใช้การอบแห้งโดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด

เนื่องจากการทดสอบนี้ไม่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศ จึงมีการสูญเสียความร้อนออกจากห้องอบน้อยมาก ทั้งยังมีการเสริมความร้อนด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด อุณหภูมิภายในห้องอบที่สูงขึ้นทำให้อากาศขยายตัว ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบลดลง มวลน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกสู่อากาศรอบ ๆ การขยายตัวของอากาศนอกจากทำให้อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้นแล้ว ยังดันอากาศขึ้นออกจากห้องอบตามช่องว่างระหว่างใบพัดลมระบายอากาศอย่างต่อเนื่อง ซ้ำ ๆ อากาศส่วนใหญ่ที่เหลือจะถูกพัดลมหมุนวนในห้องอบผลักอากาศให้เคลื่อนที่วนกลับมารับมวลน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น กรณีนี้อากาศในห้องอบมีความชื้นสูงขึ้นมาก อากาศใหม่ซึ่งมีความชื้นน้อยกว่าจะไหลเข้าห้องอบในปริมาณเท่ากับอากาศที่ระบายออก มวลน้ำ

ในอากาศที่ระเหยออกจึงมากกว่ามวลน้ำในอากาศที่ไหลเข้าห้องอบ ทำให้อัตราส่วนความชื้นของอากาศในห้องอบลดลง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจึงลดต่ำลงอีกตามหลักการไซโครเมตริก จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อากาศภายในห้องอบมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมาก ในขณะที่อุณหภูมิภายในห้องอบค่อนข้างสูง อัตราการถ่ายโอนมวลน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จึงสูงกว่าการทดสอบอื่น ๆ ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบสองชั้นสามารถลดความชื้นให้ต่ำกว่า 20 % (w.b.) ได้ภายในเวลา 2 วัน จากการทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบชั้นเดียวและห้องอบสองชั้นอยู่ที่ 66.10 และ 66.41 % (w.b.) ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งครบสามวันจะมีความชื้นสุดท้ายที่ 9.70 และ 6.41 % (w.b.) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่อัตราการอบแห้ง จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบสองชั้นมีอัตราการอบแห้งในวันแรกสูงกว่าแบบห้องอบชั้นเดียว โดยมีอัตราการอบแห้งสูงสุดในวันแรก 550 g<sub>water</sub>/h ดังรูปที่ 10 มวลน้ำรวมที่ระเหยออกในวันแรกเท่ากับ 4.026 kg จากน้ำหนักเริ่มต้น 10.98 kg



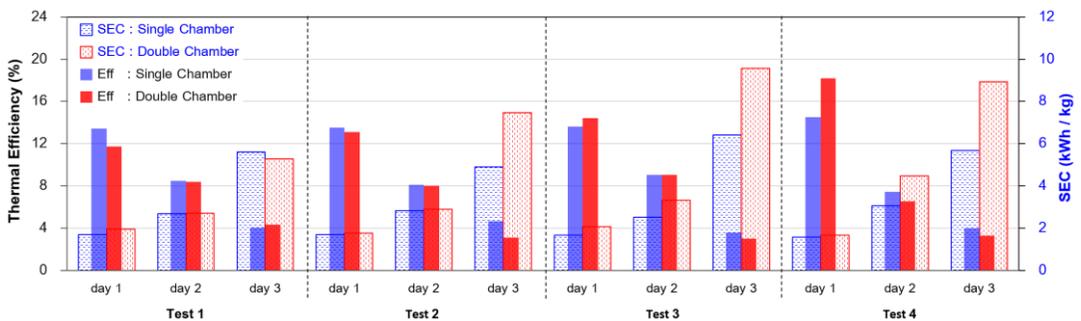
รูปที่ 10 ความชื้นกล้วยน้ำว้าและอัตราการอบแห้งในการอบแห้งแสงอาทิตย์โดยการพาแบบบังคับด้วยพัดลมหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรด

### 3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งกล้วยน้ำว้ารายวันเปรียบเทียบกันทั้ง 4 การทดสอบ แสดงดังรูปที่ 11 จะเห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ (กราฟสีทึบ) จะมีค่าสูงที่สุดในวันแรกและลดลงในวันถัดไป

ทุกการทดสอบ และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กราฟสีโปร่ง) จะต่ำที่สุดในวันแรกและสูงขึ้นในวันถัดไป

ในช่วงเริ่มต้นกล้วยน้ำว้ายังมีความชื้นอยู่มาก เมื่ออุณหภูมิของอากาศในห้องอบสูงขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกล้วยน้ำว้ากับอากาศในห้องอบมีมาก จึงเกิดการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่เนื้อผลิตภัณฑ์พร้อมกับการถ่ายโอนมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงมากในการอบแห้งวันแรก จึงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ส่งผลให้การใช้พลังงานในการลดความชื้นต่อหน่วยมวลความชื้นหรือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำ สำหรับในวันถัดไปความชื้นของกล้วยน้ำว้าลดน้อยลง การแพร่ความชื้นในเนื้อกล้วยไปยังผิวของกล้วยเกิดขึ้นอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวด้านนอกของกล้วยจึงเริ่มแห้ง เมื่อความชื้นที่ผิวกล้วยมีน้อย อุณหภูมิที่ผิวกล้วยจะสูงขึ้นมาก ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกล้วยกับอากาศร้อนเกิดขึ้นน้อยลง อัตราการอบแห้งจึงลดลง [1] การใช้พลังงานในการลดความชื้นต่อหน่วยมวลความชื้นจึงสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง โดยความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงความชื้นต่ำที่สุดซึ่งเป็นความชื้นสมดุล [1, 15, 16]



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายวันและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะรายวัน

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะพิจารณาจากระยะเวลาอบแห้ง รังสีอาทิตย์ และพลังงานอื่นๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ในระบบอบแห้ง ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนความชื้นลดลงถึง 20 % (w.b.) โดยระยะเวลาอบแห้ง รังสีอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับพัดลมและฮีตเตอร์อินฟราเรด แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการอบแห้งพบว่า การอบโดยไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ (การทดสอบที่ 1 และ 4) จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบสูงขึ้น การเปิดพัดลมหมุนวนอากาศ (การทดสอบที่ 2, 3 และ 4) ทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบสองชั้นมีค่าสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน การอบโดยใช้ความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ช่วยให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง แม้ว่าการใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดจะทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่การอบแห้งด้วยห้องอบสองชั้นร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดกลับทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลง เห็นได้จากการทดสอบที่ 1 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ของห้องอบสองชั้นอยู่ที่ 2.71 kWh/kg หรือเท่ากับ 9.76 MJ/kg เมื่ออบแห้งโดยเปิดพัดลมหมุนวน อากาศและใช้ความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรด (ดังผลการทดสอบที่ 4) จะทำให้ค่าความ สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเหลือเพียง 2.19 kWh/kg (7.88 MJ/kg) เท่ากับค่าความสิ้นเปลือง พลังงานลดลง 19.19 % กรณีที่เปิดพัดลมระบายอากาศร่วมด้วย (ดังผลการทดสอบที่ 3) จะทำให้มี ความสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 2.79 และ 2.52 kWh/kg สำหรับห้องอบหนึ่งชั้นและสองชั้น ตามลำดับ สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีที่ 4 จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ด้วยห้องอบชั้นเดียวและห้องอบสองชั้นที่ 4.70 และ 6.05 % ตามลำดับ ในขณะที่มี ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 2.76 และ 2.19 kWh/kg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยห้องอบชั้นเดียวกับห้องอบสองชั้น จะเห็นได้ ว่าการอบแห้งด้วยห้องอบสองชั้นมีการใช้พลังงานลดลง 0.57 kWh/kg หรือลดลง 20.65 % เมื่อ พิจารณาผลประหยัดทางพลังงาน โดยเปรียบเทียบเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบห้องอบ ชั้นเดียวกับสองชั้นเมื่อทำเป็นห้องอบสองชั้นทั้งสองฝั่งจะสามารถอบกล้วยน้ำว่าได้ครั้งละ 22 kg การอบแห้งกล้วยน้ำว่าโดยเปิดพัดลมหมุนวนอากาศร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดหนึ่งครั้งใช้เวลา 2 วัน (19.5 ชั่วโมง ตามผลการทดสอบที่ 4) ในหนึ่งปีอบแห้งได้ 135 ครั้ง (คิดที่ 270 วัน ตามสภาพ อากาศและฤดูกาล) จะคิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้ 1,693 kWh ต่อปี

#### ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

Drying Process Parameters	ผลการอบแห้งกล้วยน้ำว่าด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ แบบห้องอบชั้นเดียวและสองชั้น จนได้ความชื้น 20 % (w.b.)							
	การทดสอบ 1		การทดสอบ 2		การทดสอบ 3		การทดสอบ 4	
	ชั้นเดียว	สองชั้น	ชั้นเดียว	สองชั้น	ชั้นเดียว	สองชั้น	ชั้นเดียว	สองชั้น
Average $T_{\text{chamber}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	45.82	47.26	40.51	39.26	45.85	49.14	44.46	51.25
Max $T_{\text{chamber}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	73.19	73.20	58.37	52.19	65.37	66.44	66.67	72.02
Max different $T_{\text{chamber}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	16.17	21.94	10.02	4.31	11.32	8.19	9.91	7.43
Average $I_{\text{solar}}$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	421.51	421.51	385.11	385.11	435.71	435.71	426.01	426.01
Drying time (h)	30.5	32	29	28.5	28.5	27	23	19.5
$E_{\text{fan}} + E_{\text{heater}}$ (kWh)	0	0	0.14	0.14	2.89	3.15	2.99	2.54
Overall $\eta_{\text{th}}$ (%)	4.22	3.73	4.47	4.66	4.68	5.20	4.70	6.05
Overall SEC (kWh/kg)	2.39	2.71	2.27	2.20	2.79	2.52	2.76	2.19

### 3.3 ค่าคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

ผลการวัดค่าสีของกล้วยน้ำว้าหลังการอบแห้งทั้ง 4 การทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 โดยค่าสีของกล้วยน้ำว้าสดก่อนอบแห้งมีค่าความสว่าง  $L^*$  เท่ากับ  $82.17 \pm 1.23$  ค่าสีแดง  $a^*$  เท่ากับ  $1.28 \pm 0.16$  และค่าสีเหลือง  $b^*$  เท่ากับ  $10.91 \pm 0.90$  จากการทดสอบพบว่า กล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีสีเข้มมากขึ้นสังเกตได้จากค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ที่ลดลงและค่าสีแดง ( $a^*$ ) ที่เพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งในการทดสอบที่ 4 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากที่สุด เนื่องจากวิธีการอบแห้งดังกล่าวมีการใช้ความร้อนร่วมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดและไม่มีการระบายอากาศ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบสูงกว่าการอบด้วยวิธีอื่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) มากกว่า [21, 22]

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านสีของกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการอบแห้ง

การทดสอบ	ตัวอย่างจากถาด	ห้องอบหนึ่งชั้น			ห้องอบสองชั้น		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	ชั้นบนสุด	$50.51 \pm 0.49^f$	$11.64 \pm 0.27^d$	$12.60 \pm 0.54^a$	$48.01 \pm 0.45^e$	$11.57 \pm 0.35^c$	$12.73 \pm 0.49^b$
	ชั้นล่างสุด	$53.89 \pm 0.37^{ab}$	$11.85 \pm 0.43^{cd}$	$12.12 \pm 0.24^{ab}$	$54.37 \pm 0.27^b$	$12.08 \pm 0.55^c$	$13.90 \pm 0.46^a$
2	ชั้นบนสุด	$52.43 \pm 0.47^c$	$10.02 \pm 0.41^e$	$11.77 \pm 0.51^{bc}$	$57.77 \pm 0.15^a$	$9.54 \pm 0.40^d$	$11.87 \pm 0.65^c$
	ชั้นล่างสุด	$54.31 \pm 0.39^a$	$10.38 \pm 0.30^e$	$11.98 \pm 0.44^{ab}$	$58.28 \pm 0.34^a$	$8.90 \pm 0.52^e$	$12.82 \pm 0.45^b$
3	ชั้นบนสุด	$51.59 \pm 0.51^d$	$12.01 \pm 0.27^{cd}$	$11.76 \pm 0.44^{bc}$	$52.49 \pm 0.88^d$	$12.85 \pm 0.47^b$	$10.85 \pm 0.46^d$
	ชั้นล่างสุด	$53.42 \pm 0.46^b$	$12.18 \pm 0.40^c$	$11.13 \pm 0.49^c$	$53.51 \pm 0.44^c$	$11.86 \pm 0.49^c$	$10.55 \pm 0.43^d$
4	ชั้นบนสุด	$50.64 \pm 0.34^{ef}$	$13.60 \pm 0.38^a$	$10.38 \pm 0.57^d$	$47.54 \pm 0.40^e$	$14.13 \pm 0.34^a$	$10.17 \pm 0.36^d$
	ชั้นล่างสุด	$51.14 \pm 0.37^{de}$	$12.91 \pm 0.37^b$	$11.64 \pm 0.41^{bc}$	$47.80 \pm 0.29^e$	$13.98 \pm 0.22^a$	$10.16 \pm 0.43^d$

หมายเหตุ: อักขระที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวัดค่าสีผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่า การอบโดยไม่เปิดพัดลมระบายอากาศและพัดลมหมุนวนอากาศ การถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบเป็นการพาแบบธรรมชาติ อุณหภูมิในห้องอบค่อนข้างสูง โดยอุณหภูมิที่ถาดวางผลิตภัณฑ์ชั้นบนสุด (ถาดที่ 1) และชั้นล่างสุด (ถาดที่ 5) แตกต่างกันถึง  $16.17^\circ\text{C}$  และ  $21.94^\circ\text{C}$  สำหรับห้องอบชั้นเดียวและสองชั้นตามลำดับ ดังผลการทดสอบที่ 1 ในตารางที่ 1 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงต่างกัน เห็นได้จากค่าสีของผลิตภัณฑ์ในการทดสอบที่ 1 สีของผลิตภัณฑ์ในห้องอบชั้นเดียวที่ถาดชั้นบนสุดมีค่าความสว่าง 50.51 และชั้นล่างสุดมีค่า 53.89

และในห้องอบสองชั้นมีค่าความสว่างชั้นบนสุดที่ 48.01 และชั้นล่างสุดที่ 54.37 รวมถึงค่าสีแดงและสีเหลืองที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kunwisawa et al [14] ที่ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสีของกล้วยหอมทองแผ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 °C พบว่า กล้วยแผ่นจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในห้องอบที่อุณหภูมิต่างกันมากให้มีค่าคุณภาพสีใกล้เคียงกันจึงมีความยุ่งยากสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในห้องอบสองชั้นที่มีการเปิดพัดลมหมุนวนอากาศทำให้อุณหภูมิในห้องอบใกล้เคียงกัน ในการทดสอบที่ 2 และ 4 กล้วยน้ำว่าในห้องอบสองชั้นจะมีค่าคุณภาพสีของกล้วยน้ำว่า ได้แก่ ค่าความสว่างและค่าสีแดงใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในขณะที่การทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการอบแห้งโดยเปิดพัดลมหมุนวนอากาศและพัดลมระบายอากาศ ค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงกันมากแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ในการทดสอบอบกล้วยน้ำว่าสดจนได้ความชื้น 20 % (w.b.) ด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้ห้องอบชั้นเดียวเปรียบเทียบกับห้องอบสองชั้นพบว่า

4.1 การอบแห้งโดยการพาแบบธรรมชาติทั้งแบบห้องอบชั้นเดียวและสองชั้นจะมีอุณหภูมิภายในห้องอบค่อนข้างสูง และมีผลต่างอุณหภูมิมระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์มาก โดยผลต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 16.17 และ 21.94 °C ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มคล้ำไม่สม่ำเสมอหรือใกล้เคียงกัน

4.2 การอบผลิตภัณฑ์ในห้องอบสองชั้นโดยเปิดพัดลมหมุนวนอากาศช่วยให้อุณหภูมิมระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์ในห้องอบราบเรียบสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ข้อดีของห้องอบที่มีอุณหภูมิมระหว่างชั้นใกล้เคียงกัน คือ สามารถทำตารางผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งซ้อนกันได้หลายชั้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแห้งสม่ำเสมอเท่า ๆ กัน และมีสีผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

4.3 การอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ แม้ว่าการใช้ความร้อนร่วมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดจะทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่การอบผลิตภัณฑ์โดยใช้ห้องอบสองชั้นกลับทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลง จากการศึกษาพบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานลดลงถึง 20.65 % เมื่อใช้ห้องอบสองชั้นร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมหมุนวน ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้ 1,693 kWh ต่อปี

#### 5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการเปิดพัดลมระบายอากาศทำให้สูญเสียความร้อนออกนอกระบบ อีกทั้งอากาศภายนอกที่ไหลเข้าห้องอบมีความชื้นสูงกว่า การเปิดพัดลมระบายอากาศจึงควรทำเป็นช่วงใน

ระยะเวลาสั้น ๆ โดยอาจเพิ่มระบบควบคุมการเปิดปิดพัดลมระบายอากาศและฮีตเตอร์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้นและใช้งานได้สะดวกมากขึ้น นอกจากนี้การใช้ฮีตเตอร์เป็นความร้อนเสริมเป็นทางเลือกหนึ่งในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาที่ไม่ใช่แสงแดด

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้สนับสนุนเงินวิจัยประจำปีงบประมาณ 2567 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานและดำเนินการทางเอกสารวิจัย

### References

- [1] Soponronnarit S. Drying of cereal grains and certain foods. 7<sup>th</sup> ed. Bangkok, Thailand: King Mongkut's University of Technology Thonburi Press; 1997. (In Thai)
- [2] Office of Agricultural Economics Ministry of Agriculture and Cooperatives. Export [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 14]. Available from: <https://impexpth.oae.go.th/export> (In Thai)
- [3] Janjai S. Solar Drying Technology. Nakhon Pathom, Thailand: Phetkasem Printing; 2017. (In Thai)
- [4] Jeentada W, Phetsongkram P. Geometrical effects of solar greenhouse dryer on rubber sheet drying. The journal of kmutnb 2017;27(1):89-99. (In Thai)
- [5] Witinantakit K, Uengkimbuan N, Rungsawang S. Mathematical modeling of shiitake mushroom drying using infrared vacuum technique. SWU Engineering Journal 2019; 14(3):1-13. (In Thai)
- [6] Pengpoo A, Jamjang K. The Production of banana flour with antioxidant from 4 type of bananas. The 3<sup>rd</sup> Kamphaeng Phet Rajabhat University National conference; 2016; Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet, Thailand. p. 410-15. (In Thai)
- [7] Jaekhom S, Witinantakit K, Sitranon J, Suwannatud T. Study and comparison herb drying using vacuum combined far infrared radiation and hot air. Journal of Renewable Energy for Community 2019;2(2):71-7. (In Thai)
- [8] Witinantakit K, Jaekhom S. Mathematical modeling of combined infrared and vacuum drying of galangals. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(3):29-44. (In Thai)

- [9] Piwsaoad J. Performance of a greenhouse solar dryer for drying para rubber sheets [Doctor of Philosophy in Physics]. Nakhon Pathom, Thailand: Silpakorn University; 2014. (In Thai)
- [10] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ministry of Energy. Handbook of heat production from solar energy. Bangkok, Thailand: Department of Alternative Energy Development and Efficiency; 2019. (In Thai)
- [11] Taikhao A, Teekasap S. Natural convection and forced convection solar dryers. EAU Heritage Journal Science and Technology 2013;7(1):23-31. (In Thai)
- [12] Srichat A, Vengsungnle P, Hongtong K, Kaewka W, Jongpluempiti J. A comparison of temperature for parabola and sinusoidal greenhouse solar dryer by CDF. IOP Conference Series: Material Science and Engineering 2019;501:012006.
- [13] Chawda K, Khare T. Thermal performance analysis of greenhouse solar dryers using computational fluid dynamics and comparison with different geometrical structures. International Research Journal of Engineering and Technology 2021;8(4);2007-18.
- [14] Kunwisawa J, Prachayawarakorn J, Soponronnarit S. Effect of drying temperature on volatile compounds and physical qualities of banana slices. KMUTT Research and Development Journal 2007;30(4):611-21. (In Thai)
- [15] Doungporn S, Loykaew A, Panprom P, Thaipituk P. Drying of gros michel banana by using solar combined with Infrared dryer. The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University 2019;16(1):12-24. (In Thai)
- [16] Im-erb N, Witinantakit K. The study of drying kinetics and qualities of dried banana slices by vacuum-infrared dryer. Srinakharinwirot University Engineering Journal 2021; 16(3):24-36. (In Thai)
- [17] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Banana ripening guide. Banana Research Advisory Committee, Technical Bulletin 3. Melbourne, Australia: Banana Research Advisory Committee; 1972.
- [18] Bala BK. Drying and storage of cereal grain. New Delhi: Oxford and IBH Publishing; 1997.
- [19] Pruengam P, Pathaveerat S, Pukdeewong P. Fabrication and testing of double-sided solar collector dryer for drying banana. Case Studies in Thermal Engineering 2021;27: 101335.

- [20] Ninchuewong T, Ekphon A, Tirawanichakul S, Tirawanichakul Y. Drying of air dried sheet rubber using hot air dryer and solar dryer for small entrepreneurs and small rubber cooperatives. Burapha Sciecn Journal 2012;17(2):50-59. (In Thai)
- [21] Ongprasert T, Jitjack K. A study of solar greenhouse drying in association with infrared heater for dehydration cherry tomatoes. Kasem Bundit Engineering Journal 2020;10(3):62-83. (In Thai)
- [22] Jaekhom S, Witinantakit K. Drying kinetics of chicken using superheated steam technique. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(3):201-17. (In Thai)

### ประวัติผู้เขียนบทความ



**เจิมธง พรารถนารักษ์** สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวิ่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 E-mail: [chermdhong.pra@mail.pbru.ac.th](mailto:chermdhong.pra@mail.pbru.ac.th)  
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทดแทน เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และมหาสมุทร การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า พลศาสตร์ของระบบพลังงาน และการควบคุม



**จutipพร อินทะนิน** สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวิ่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 E-mail: [jutiporn.int@mail.pbru.ac.th](mailto:jutiporn.int@mail.pbru.ac.th)  
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทดแทน เทคโนโลยีชีวมวล วัสดุวิศวกรรม อลูมิเนียมพลังงานในอาคารและโรงงาน เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม



**กชศร หัสโรค์** สาขาวิชาวิทยาการแปรรูปและการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 E-mail: [hussarokanokorn@gmail.com](mailto:hussarokanokorn@gmail.com)  
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทดแทน การจัดการสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม การจัดการพลังงาน วัสดุนาโน และการจัดการก๊าซเรือนกระจก



พรอริยา จิรินัง สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 E-mail: pornariya.chi@mail.pbru.ac.th  
งานวิจัยที่สนใจ: การแปรรูปอาหาร อาหารเพื่อสุขภาพ ความยั่งยืนทางอาหาร ฤทธิ์ทางชีวภาพของสมุนไพร การวิเคราะห์ทางเคมีอาหาร การยืดอายุการเก็บอาหาร

---

**Article History:**

Received: February 23, 2024

Revised: June 11, 2024

Accepted: June 18, 2024