

การศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งเนื้อหมูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ Drying Kinetics of Pork by Using Solar Dryer

ศิริ ดวงพร^{1*}

Received: February, 2016; Accepted: June, 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของเนื้อหมูที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด และศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เนื้อหมู ขนาด $5 \times 3 \times 1$ ซม. จำนวน 2 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 254 %d.b. อบในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และตากแดด จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 70 %d.b. ทำการทดลองในช่วงเวลา 09.00 - 16.00 น. ผลการวิจัยพบว่า ความชื้นและอัตราความชื้นของเนื้อหมูที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะลดลงเร็วกว่าการตากแดด โดยที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการอบแห้ง 330 นาที ส่วนการตากแดดใช้เวลา 360 นาที เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบในการอบแห้งเนื้อหมูสูงกว่าการตากแดด

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์; พลังงานแสงอาทิตย์; อบแห้งเนื้อหมู

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี

* Corresponding Author E - mail Address: sirido@yahoo.co.th

Abstract

This research aimed to investigate the drying kinetics of pork using solar dryer and open sun drying and the thermal efficiency of solar dryer. The solar dryer and open sun drying were the experiment equipment. A 2 kg pork with a dimension of $5 \times 3 \times 1$ cm., with the initial moisture content of 254 %d.b. were dried by using solar dryer and open sun drying, to a final moisture content of 70 %d.b.. The results of this study showed that the moisture content and moisture rate of pork drying using solar dryer was faster than the open sun drying. The drying time for each drying method were 330 and 360 minutes, respectively. The thermal efficiency of the solar dryer for pork drying is higher than open sun drying.

Keywords: Solar Dryer; Solar Energy; Pork Drying

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตรมีความก้าวหน้ามากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาดในฤดูกาลเก็บเกี่ยว ราคาของผลผลิตทางการเกษตรจะค่อนข้างต่ำ ผลผลิตเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ เพราะผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้จะมีความชื้นสูงทำให้เกิดการสูญเสียผลกำไรในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้มูลค่าของผลผลิตนอกฤดูกาลจะมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการรักษาสภาพผลผลิตทางการเกษตรไว้สำหรับบริโภคตลอดทั้งปีและเพิ่มมูลค่า จึงมีการนำเอาผลผลิตทางการเกษตรมาทำการอบแห้งหรือลดความชื้นเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นภายในของผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำบางส่วนที่อยู่ในผลผลิตทางการเกษตร จะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยลดค่าอุณหภูมิแอกติวิตีในผลผลิตทางการเกษตรมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ จะช่วยให้รักษาคุณภาพได้ระยะเวลายาวนานขึ้น รวมถึงลดน้ำหนักและปริมาณของผลผลิตทางการเกษตร ทำให้การขนส่งและเก็บรักษาได้สะดวก การอบแห้งมีหลายวิธีเรียกชื่อต่าง ๆ กัน ตามลักษณะของการทำแห้ง เช่น การตากแห้ง การอบแห้ง การผึ่งแห้ง การทำแห้ง (Drying) และการดึงน้ำออก (Dehydration) เป็นต้น การพัฒนาวิธีการอบแห้งที่ใช้เทคนิคและหลักวิทยาศาสตร์สามารถควบคุมอัตราเร็วของการอบแห้งได้ ทำให้สามารถผลิตวัสดุแห้งได้เร็วขึ้น และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี มีความชื้นต่ำตามที่ต้องการ หลักการอบแห้งจะอาศัยหลักการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในชิ้นวัสดุทำให้น้ำหรือความชื้นกลายเป็นไอระเหยอออกไปจากผิวหน้าของวัสดุ ความร้อนที่ส่งเข้าไปอาจจะเป็นการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) หรือการแผ่รังสี (Radiation) โดยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย [1] นอกจากนี้การอบแห้งยังทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

ทางกายภาพ เคมี และโภชนาการ เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการลดความชื้นด้วย โดยเฉพาะวัสดุที่มีความไวต่อความร้อน เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารและชีวผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำให้สี คุณค่าทางอาหาร รสชาติ และโครงสร้างมีการสูญเสียเกิดขึ้น [2]

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตประจำวัน อย่างมากมาย ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการถนอมอาหาร มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ในรูปของการตากแห้งผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเก็บรักษาผลผลิตไว้นานยิ่งขึ้น แต่ในกระบวนการ ตากแห้งก็จะพบปัญหา คือ ไม่สามารถทำได้ถ้าหากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย ผลผลิตที่ได้คุณภาพ ไม่ค่อยคงที่หรือสม่ำเสมอ [3] - [4] นอกจากนี้การตากแห้งไม่สามารถป้องกันการรบกวนจากแมลง แมลงวัน และฝุ่นละอองได้ ดังนั้นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นทางเลือก ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

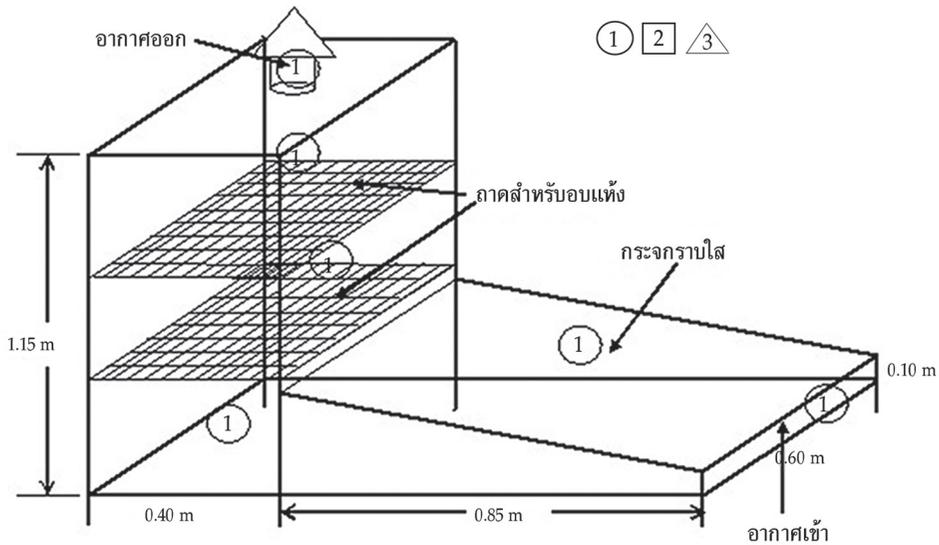
เนื้อหมูเป็นเนื้อสัตว์ที่อุดมด้วยโปรตีนและสารอาหารต่าง ๆ มากมาย การบริโภคเนื้อหมูส่วนใหญ่ จะนำเนื้อหมูสดมาปรุงเป็นอาหารต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเนื้อหมูเพื่อทำผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ อีกหลายอย่าง การทำหมูแดดเดียวก็เป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อหมูรูปแบบหนึ่ง การตากแห้งเนื้อ หมูแดดเดียวมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพและความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีความชื้น ค่อนข้างมาก การเก็บรักษาได้ไม่นาน จากการศึกษางานวิจัยของ Usub, T. et al. [5] และงานวิจัยของ Sucreep, N. and Rattanawong, B. [6] พบว่า การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยให้ได้ความชื้น ที่เหมาะสม สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

จากสภาพปัญหาและผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้ออบแห้งเนื้อหมูโดยเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับรังสีความร้อนจาก แสงอาทิตย์โดยตรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของเนื้อหมูในรูปของความชื้น อัตราความชื้น อัตราการอบแห้ง สัมประสิทธิ์การแพร่ และศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง ซึ่งผลจากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ มีลักษณะ เป็นตู้ โดยตัวโครงทำด้วยเหล็กกล่อง ผนังปิดด้านแผนสังกะสี มีประตูเปิด - ปิดอยู่ด้านหลังของกล่อง แล้วบุด้านฉนวนกันความร้อน ทาสีดำด้าน ตัวเครื่องอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นบริเวณรับ รังสีแสงอาทิตย์ ด้านบนปิดด้านกระจกราบใส ขนาด 60 x 90 เซนติเมตร และส่วนที่ 2 จะเป็นห้องอบแห้ง ขนาด 40 x 60 x 115 เซนติเมตร มีชั้นสำหรับวางวัสดุที่จะอบ 2 ชั้น มีช่องอากาศเข้าปากทางเข้าส่วนด้านล่าง ของส่วนรับรังสีและอากาศออกตรงด้านบนของส่วนอบแห้ง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบแปลนโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งการวัดเพื่อเก็บข้อมูล
 ① ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ② ตำแหน่งที่วัดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ (ตั้งด้านนอกเครื่องอบ) และ ③ ตำแหน่งที่วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ตั้งด้านนอกเครื่องอบ)

- 1.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Xplorer GLX รุ่น PS 2002
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Pioneer ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA214C
- 1.4 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert
- 1.5 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ยี่ห้อ TESTO รุ่น 625
- 1.6 เครื่องวัดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ KIPPZEN รุ่น CMP3
- 1.7 ชุดคอมพิวเตอร์
- 1.8 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ WISCO รุ่น DL2100
- 1.9 สายเทอร์โมคัปเปิล type k

2. วิธีการทดลอง

- 2.1 วิธีวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นโดยดำเนินการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามขั้นตอนดังนี้
 - 2.1.1 เตรียมเนื้อหมู โดยนำมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีขนาดเท่ากัน
 - 2.1.2 ชั่งน้ำหนักด้วยออลูมิเนียมเปล่าที่สะอาดและแห้งสนิท บันทึกผล
 - 2.1.3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเนื้อหมู ประมาณ 14 กรัม ลงในถ้วยออลูมิเนียม
 - 2.1.4 บันทึกผลของน้ำหนักที่แน่นอนเก็บไว้
 - 2.1.5 นำถ้วยออลูมิเนียมที่มีเนื้อหมู อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.1.6 เมื่ออบครบ 72 ชั่วโมงแล้ว นำถ้วยออลูมิเนียมออกจากตู้อบลมร้อนรอจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม

2.1.7 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่มีเนื้อหมูและบันทึกเก็บผลที่ได้ไว้

2.1.8 นำผลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่มีเนื้อหมูครั้งสุดท้าย คำนวณหาค่าน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมเปล่า และคำนวณหาตัวอย่างเนื้อหมูก่อนอบ คำนวณหาค่าความชื้นเริ่มต้น จากสมการที่ (1)

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

เมื่อ

M_d	คือ	ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)
w	คือ	มวลของตัวอย่างเนื้อหมูก่อนอบ (kg)
d	คือ	มวลของตัวอย่างเนื้อหมูหลังอบในตู้อบลมร้อน (kg)

2.2 การอบแห้งเนื้อหมูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และตากแดด ดำเนินการทดลองตั้งแต่เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 เตรียมเนื้อหมูที่จะอบโดยหั่นให้ได้ขนาดเท่า ๆ กัน $1 \times 3 \times 5$ เซนติเมตร เพื่อนำไปอบในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด (อย่างละ 1 กิโลกรัม)

2.2.2 คิดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และบันทึกข้อมูลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 1

2.2.3 ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อหมู วัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก อุณหภูมิแวดล้อม วัดค่าความชื้นของแสงอาทิตย์ และค่าความชื้นของอากาศทุก ๆ 30 นาที แล้วบันทึกข้อมูล

2.2.4 อบแห้งไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเนื้อหมูมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 70 %d.b.

2.2.5 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในระหว่างเดือน มกราคม - กุมภาพันธ์ 2557 เลือกผลการทดลองมานำเสนอ 3 วัน โดยเลือกข้อมูลของวันที่มีค่าความชื้นของรังสีแสงอาทิตย์ใกล้เคียงโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

2.3 ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของเนื้อหมู โดยคำนวณหาค่าความชื้น อัตราความชื้น และอัตราการอบแห้งของเนื้อหมูที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด แล้วนำเสนอในรูปแบบของกราฟเทียบกับเวลา โดยคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 ความชื้นของเนื้อหมูที่เวลาใด ๆ คำนวณจากสมการที่ (2)

$$MC = \frac{[(M_{in} + 1)W_t]}{W_{in}} - 1 \quad (2)$$

เมื่อ

MC	คือ	ความชื้นของเนื้อหมูที่เวลาใด ๆ (%d.b.)
M_{in}	คือ	ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหมู (%d.b.)
W_{in}	คือ	มวลเริ่มต้นของเนื้อหมู (kg)
W_t	คือ	มวลของเนื้อหมูที่เวลาใด ๆ (kg)

2.3.2 ศึกษาอัตราความชื้นของเนื้อหมู คำนวณจากสมการที่ (3)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (3)$$

เมื่อ

MR	คือ	อัตราความชื้น
M_{in}	คือ	ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหมู (%d.b.)
M_{eq}	คือ	ความชื้นสมดุลของเนื้อหมู (%d.b.)
M_t	คือ	ความชื้นของเนื้อหมูที่เวลาใด ๆ (%d.b.)

สำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนาน ค่าความชื้นสมดุล (M_{eq}) จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า M_{in} และ M_t [7] และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการอบแห้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการอบแห้ง [8] ดังนั้นสมการของ MR จึงตัดค่า M_{eq} ออก

2.3.3 อัตราการอบแห้งของเนื้อหมูที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด คำนวณจากสมการที่ (4) [8] - [9]

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (4)$$

เมื่อ

DR	คือ	อัตราการอบแห้ง
M_{t+dt}	คือ	ความชื้นที่เวลาใด ๆ (%d.b.)
M_t	คือ	ความชื้นที่เวลา $t + dt$ (%d.b.)
dt	คือ	ช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น (นาท)

2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมูในงานวิจัยนี้ใช้สมการที่พัฒนา มาจากสมการของ Fick โดยกำหนดให้อัตราความชื้นเฉลี่ยของวัสดุแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวไม่จำกัด ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้ [10]

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2}\right] \quad (5)$$

เมื่อ

MR	คือ	อัตราความชื้น
M_{in}	คือ	ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหมู (%d.b.)
M_{eq}	คือ	ความชื้นสมดุลของเนื้อหมู (%d.b.)
M_t	คือ	ความชื้นของเนื้อหมูที่เวลาใด ๆ (%d.b.)

D_{eff}	คือ	สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น
t	คือ	ระยะเวลาในการอบแห้ง (s)
L	คือ	ความกว้างของเนื้อหมูที่อบแห้ง (m)

พิจารณาเฉพาะเทอมที่ 1 ของสมการจะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้งต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการ The Regular Regime Method เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ กับเวลาในการอบแห้งจะได้ค่าคงที่ 2 ค่า จากความชันของกราฟทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมู [11] ได้จากสมการที่ (6)

$$D_{eff} = slope\left(\frac{\pi^2}{L^2}\right) \quad (6)$$

2.5 ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง ในกรณีที่เป็นการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ หาได้จากสมการที่ (7) [12]

$$\eta = \frac{wL}{LA t} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ

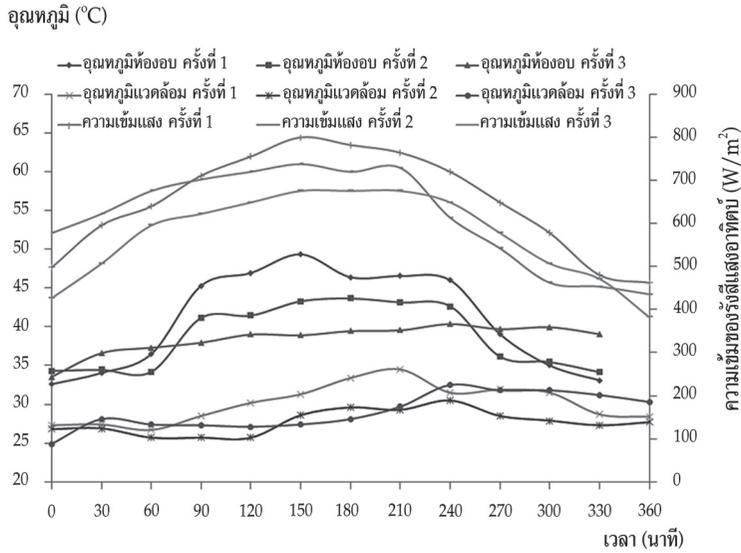
η	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง (%)
w	คือ	มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ (kg)
L	คือ	ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (kJ/kg)
I	คือ	ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับ (W/m^2)
A	คือ	พื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ (m^2)
t	คือ	เวลา (s)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดลอง

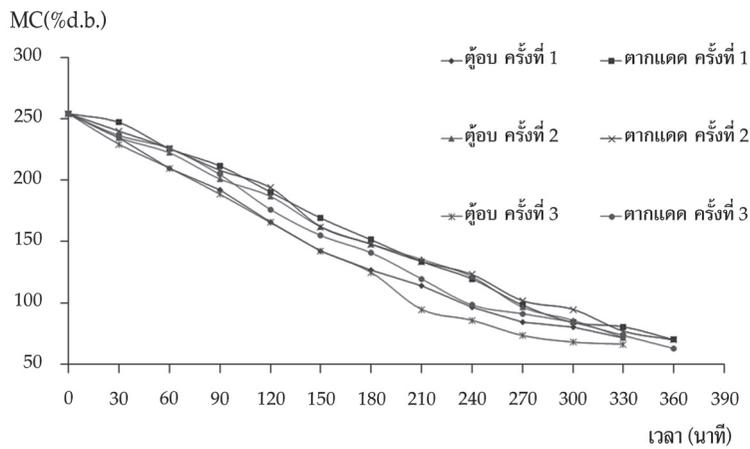
1. จลนศาสตร์การอบแห้งของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด

1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องอบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาพบว่า อุณหภูมิห้องอบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ มีค่าสูงในช่วงตอนกลางวัน (ช่วงนาฬิกาที่ 180 - 240 หรือ 12.00 - 13.00 น.) โดยอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมทุกช่วงเวลา ดังรูปที่ 2



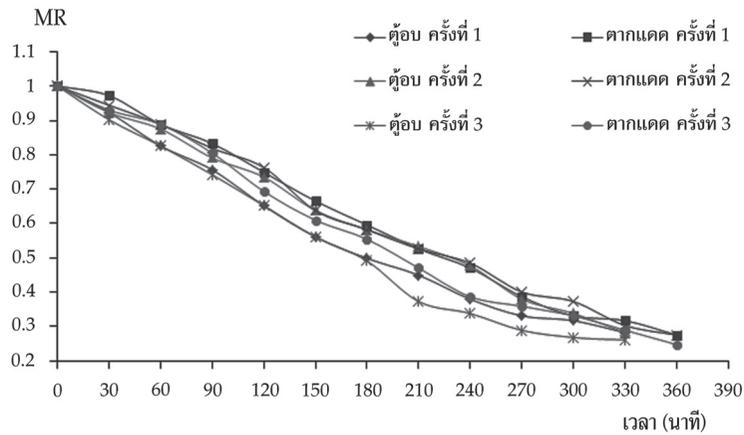
รูปที่ 2 อุณหภูมิของห้องอบแห้ง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความชื้นของรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาใด ๆ

1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงเร็วกว่าการตากแดด โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการอบแห้ง 330 นาที ส่วนการตากแดดใช้เวลา 360 นาที ดังรูปที่ 3



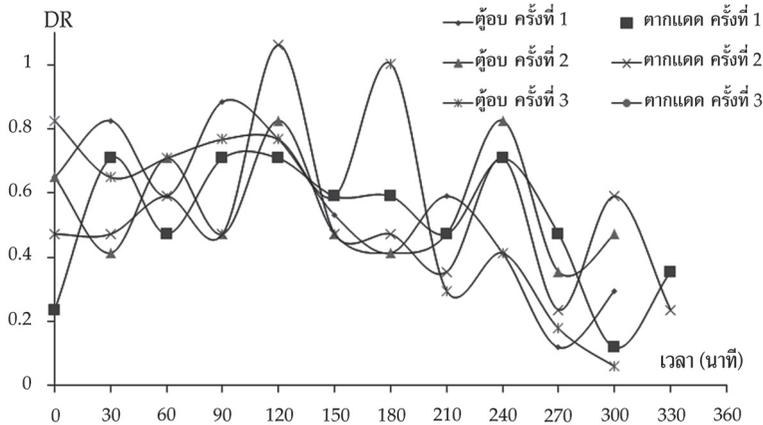
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด

1.3 อัตราความชื้นของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ลดลงเร็วกว่าการตากแดด ดังรูปที่ 4



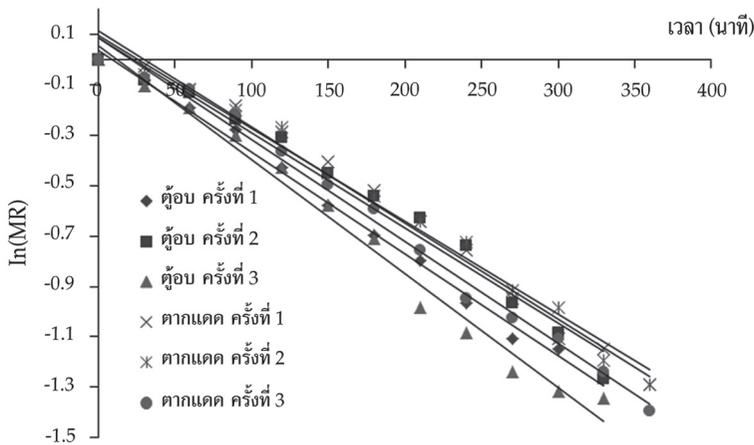
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราความชื้นของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด

1.4 อัตราการอบแห้งของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราการอบแห้งต่ำ ช่วงกลางวันจะเพิ่มขึ้น ในช่วงเย็นอัตราการอบแห้งจะลดลงเร็ว ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด

1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมู ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการ The Regular Regime Method เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ กับเวลาในการอบแห้งได้ดังรูปที่ 6



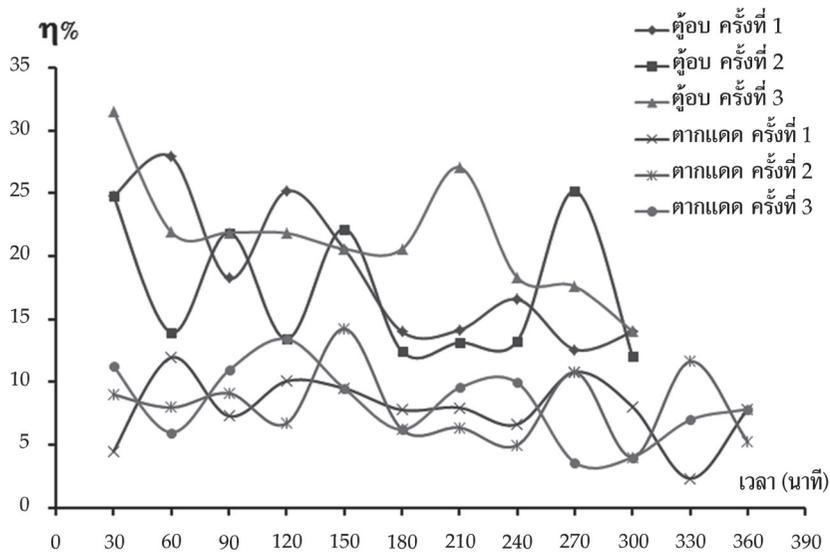
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของ $\ln(MR)$ กับเวลาในการอบแห้งเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด

จากความชันของกราฟทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมู โดยพบว่า สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าการตากแดด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด

รูปแบบการอบแห้ง	ความชันของกราฟ	R^2	D_{eff}
ตุ๋อบ ครั้งที่ 1	-0.00403	0.9952	4.080×10^{-08}
ตุ๋อบ ครั้งที่ 2	-0.00377	0.9766	3.817×10^{-08}
ตุ๋อบ ครั้งที่ 3	-0.00452	0.9846	4.576×10^{-08}
ตากแดด ครั้งที่ 1	-0.00380	0.9848	3.847×10^{-08}
ตากแดด ครั้งที่ 2	-0.00369	0.9851	3.736×10^{-08}
ตากแดด ครั้งที่ 3	-0.00403	0.9910	4.080×10^{-08}

2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าการตากแดด โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.52% ที่นาทีที่ 30 ต่ำสุดเท่ากับ 12.04% ที่นาทีที่ 300 ส่วนการตากแดดพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 14.24% ที่นาทีที่ 150 ต่ำสุดเท่ากับ 2.33% ที่นาทีที่ 330 ได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดด

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ความชื้นและอัตราการความชื้นของเนื้อหมูที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเนื้อหมูที่ตากแดด พบว่า มีแนวโน้มการลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 254 %d.b. จนได้ค่าความชื้นสุดท้ายประมาณ 70 %d.b. โดยความชื้นจะลดลงค่อนข้างเร็วในช่วงแรก เมื่อการอบแห้งดำเนินต่อไป ค่าความชื้นจะมีอัตราการลดลงที่ค่อนข้างช้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Viriyaaompaivong, S. [5] งานวิจัยของ Sucreep, N. and Rattanawong, B. [13] และงานวิจัยของ Usub, T. et al. [6] การที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากอากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ทำให้อากาศมีความหนาแน่นลดลงลอยตัวขึ้นสูง ผ่านชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง อากาศร้อนนี้จะพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์แล้วไหลออกจากเครื่องอบแห้งไปสู่อากาศแวดล้อม โดยตอนเริ่มต้นของการอบแห้งที่ผิวของผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นอยู่ค่อนข้างมาก ปริมาณน้ำในเนื้อหมูสูง ความร้อนทำให้น้ำระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความชื้นลดลงแบบเป็นเชิงเส้นเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ หลังจากช่วงแรกของการอบแห้งผ่านไป ความชื้นของเนื้อหมูจะลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยอัตราการลดลงของความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงกับเวลาที่เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งในที่สุดความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลง [14] เนื่องจากความเข้มข้นของความชื้นและความดันไอระหว่างอากาศกับวัสดุมีความแตกต่างกันน้อยลง ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารน้อยลง ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลงเช่นกัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อเวลาการอบแห้ง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง

2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าการตากแดด โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.52% ส่วนการตากแดดมีค่าเท่ากับ 14.24% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Phongtarakulpanit, A. et al. [15] ที่พบว่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 34.77% การที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบปิด ซึ่งความร้อนจะถูกเก็บสะสมไว้ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประสิทธิภาพของการอบแห้งนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีของแสงอาทิตย์ที่ได้รับและการสะสมความร้อนของเครื่องอบแห้ง

สรุปผล

1. เนื้อหมูที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความชื้นและอัตราการความชื้นลดลงเร็วกว่าการตากแดด โดยที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการอบแห้ง 330 นาที ส่วนการตากแดดใช้เวลา 360 นาที
2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบในการอบแห้งเนื้อหมูสูงกว่าการตากแดด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

References

- [1] Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I. (2001). Mathematical Modeling of Thin Layer Solar Drying of Sultana Grapes. *Energy*. Vol. 26. pp. 457-465
- [2] Perera, C.O. and Rahman, M. S. (1997). Heat Pump Dehumidifier Drying of Food. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 8. pp. 75-79
- [3] Soponronnarit, S., Achariyaviriya, S. and Tasaso, P. (1992). Optimum Strategies for Drying Papaya Glace. *ASEAN Food Journal*. Vol. 7. No. 1. pp. 17-22
- [4] Condori, M., Echazu, R. and Saravia, L. (2001). Solar Drying of Sweet Pepper and Garlic Using the Tunnel Greenhouse Dryer. *Renewable Energy*. Vol. 22. pp. 447-460
- [5] Viriyaaompaivong, S. (2004). Solar Dryer by Forced Convection. Faculty of Engineering, Mahasarakham University. (In Thai)
- [6] Usab, T., Poomsa-ad, N. and Lertsatitthanakorn, C. (2013). Solar Drying of Pork Using a Solar Tunnel Dryer with Thermal Storage. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*. Vol 32. No. 4. pp. 489-493 (In Thai)
- [7] Mahmutođlu, T., Emir, F. and Saygı, Y.B. (1996). Sun/Solar Drying of Differently Treated Grapes and Storage Stability of Dried Grapes. *Journal of Food Engineering*. Vol. 29. pp. 289-300

- [8] Doymaz, I., Tuğrul, N. and Pala, M. (2006). Drying Characteristics of Dill and Parsley Leaves. *Journal of Food Engineering*. Vol. 77. pp. 559-565
- [9] Celma, A.R., Rojas, S. and López, F., Montero, I. and Miranda, T. (2007). Thin Layer Drying Behaviour of Sludge of Olive Oil Extraction. *Journal of Food Engineering*. Vol. 80. pp. 1261-1271
- [10] Crank, J. (2001). *The Mathematics of Diffusion*. second ed. Oxford, Oxford University Press
- [11] Karathanos, V.T., Villalobos, G. and Saravacos, G.D. (1990). Comparison of Two Methods of Estimation of the Effective Moisture Diffusivity from Drying Data. *Journal of Food Science*. Vol. 55. No. 1. pp. 218-231
- [12] Banout, J., Ehl, p., Havlik, j., Lojka, B., Polesny, Z. and Verner, V. (2011). Design and Performance Evaluation of a Double-Pass Solar Drier for Drying of Red chilli (*Capsicum annum L.*). *Solar Energy*. Vol. 85. pp. 506-515
- [13] Sucreep, N. and Rattanawong, B. (2012). *Pork Drying by Using Hang Solar Dryer*. Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University. (In Thai)
- [14] Devahastin, S. (2012). *Drying of Food and Biomaterials*. Bangkok: Top. pp. 23-26 (In Thai)
- [15] Phongtarakulpanit, A., Prasit, B., Mansiri, K. and Srikeaw, S. (2005). *A Design of Plant Paper Solar Dryer*. School of Renewable Energy Technology, Naresuan University. pp. 22-25 (In Thai)