

การอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อน

Solar Drying of Pork Using a Solar Tunnel Dryer with Thermal Storage

ถาวร อุทัย,¹ ณัฐพล ภูมิสะอาด,² เจริญพร เลิศสถิตธนกร^{2,*}

Tawon Usub,¹ Nattapol Poomsa-ad,² Charoenporn Lertsatitthanakorn^{2,*}

Received: 15 October 2012 ;Accepted: 10 December 2012

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อนในการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียว ผลการทดลองพบว่า สามารถอบแห้งเนื้อหมูได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยลดความชื้นเนื้อหมูจาก 2.34 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ลงเหลือ 0.75 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ในเวลา 190 นาที ที่อัตราไหลของอากาศ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 51.2 ของเวลาที่ใช้ในการตากแดด นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อัตราไหลของอากาศสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อัตราไหลของอากาศต่ำ การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.33 ปี

คำสำคัญ: หมูแดดเดียว เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุสะสมความร้อน

Abstract

The objective of this study was to conduct an experimental analysis to investigate the performance of a solar tunnel dryer with thermal storage which was used to dry pork. The results reveal that the drying unit had a loading capacity of 20 kg of pork. Moisture content of the pork was reduced from 2.34 (decimal dry basis) to 0.75 (decimal dry basis) in 190 min at the corresponding air flow rate of 0.3 kg/s about 51.2% of drying time in open sun drying. Moreover, the drying air flow rate affected the drying time. The higher air flow rate took shorter time than the lower air flow rate. The economic analysis indicates that the payback period is 0.33 year.

Keywords: Dried Pork, Solar Dryer, Thermal Storage

บทนำ

เนื้อหมูเป็นวัสดุอาหารประเภทโปรตีนที่มีคุณภาพสูงชนิดหนึ่งที่มีนัยยะบริโภคเป็นอาหารมาช้านาน ในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตหมูอยู่ที่ 10 -12 ล้านตัว เกินความต้องการในการบริโภคภายในประเทศ จนต้องส่งออกต่างประเทศทั้งในรูปเนื้อหมูปรุงสุกและเนื้อหมูดิบ การเกิดภาวะผลผลิตล้นตลาดจนราคาตกต่ำ การแปรรูปเนื้อหมูด้วยการตากแห้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยยืดเวลาในการเก็บรักษาและช่วยเพิ่ม

มูลค่าของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษากระบวนการผลิตเนื้อหมูแดดเดียว พบว่าขั้นตอนการผลิตที่ต้องใช้เวลามากคือการตากแดด เนื้อหมูต้องผ่านการตากแดดประมาณ 6-7 ชั่วโมง และระหว่างการตากแดดก็อาจมีแมลงต่างๆ มารบกวนหรือมีฝุ่นมาปนเปื้อนได้ ดังนั้นหากมีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งที่เหมาะสมมาใช้ จะช่วยลดเวลาในการผลิตและของเสียลงได้ และผลผลิตจะถูกสุขอนามัยมากขึ้น เทคโนโลยีการอบแห้งที่น่าสนใจและเหมาะกับการนำมาใช้ในสภาวะพลังงานมีราคา

¹ ครู, แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Teacher, Department of Auto mechanic, Kalasin Technical College, Muang District, Kalasin 46000

² Assist. Prof., Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khantawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

* Corresponding author; Charoenporn Lertsatitthanakorn, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khantawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. freeconvect@hotmail.com,

แสง ได้แก่เทคโนโลยีการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเครื่องอบแห้งที่สร้างง่าย มีการบำรุงรักษาที่น้อยมาก สามารถอบผลิตภัณฑ์ได้มาก และหลายรูปแบบ แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก็มีข้อจำกัดในการทำงานเฉพาะที่มีรังสีอาทิตย์เท่านั้น หากมีรังสีอาทิตย์น้อย หรือเวลาที่ดวงอาทิตย์ตกแล้ว เครื่องอบแห้งก็ไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นหากมีการเพิ่มวัสดุสะสมความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จะทำให้เพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อนในการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียว โดยศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อระยะเวลาในการอบแห้งและศึกษาถึงระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องอบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียว

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเนื้อหมูก่อนอบ

ใช้เนื้อหมูที่มีขายตามท้องตลาดมาหั่นเป็นชิ้นบางขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร และหนา 0.3 เซนติเมตร หมักด้วยเครื่องปรุงรสเก็บไว้ในถังที่ปิดสนิท ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน เนื้อหมูที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าวแล้วจะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 2.34 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ก่อนการทดลองอบแห้งปล่อยให้เนื้อหมูมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม สำหรับการหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหมูจะสุ่มจากเนื้อหมูที่เตรียมไว้สำหรับการอบแห้ง นำมาสับให้ละเอียด ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม นำไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง¹

เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์(Solar collector) และห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์(Dryer) ซึ่งจะถูกรวบรวมให้อยู่ในรูปของกรอบด้วยแผ่นปิดทำจากกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ทำเป็นอุโมงค์ตลอดความยาวของทั้งสองส่วน หน้าตัดอุโมงค์เป็นรูปสามเหลี่ยม มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.30 ตารางเมตร ส่วนสูงของหน้าจั่วเท่ากับ 20 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้งโดยใช้พัดลมดูดอากาศ

ที่ติดตั้งอยู่ด้านท้ายของเครื่องอบแห้ง พัดลมได้รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 200 วัตต์ ติดตั้งอยู่ด้านข้างของเครื่องอบแห้ง โดยหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางด้านทิศใต้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีพื้นที่รับแสงขนาด 6.6 ตารางเมตร ประกอบด้วยแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำจากเหล็กแผ่นหนา 1.0 มิลลิเมตร ทาสีดำด้านบน ด้านล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ บรรจุทรายหนา 2.5 เซนติเมตร ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อน สำหรับห้องอบแห้งมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 4.5 ตารางเมตร ประกอบด้วยตะแกรงสแตนเลสสำหรับวางผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ตะแกรง โดยชุดตะแกรงสแตนเลสนี้ สามารถเลื่อนเข้าออกได้ เพื่อความสะดวกในการตากและเก็บผลิตภัณฑ์ ตัวเครื่องอบแห้งจะวางอยู่ในแนวนอน สูงจากระดับพื้นดิน 0.8 เมตร ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะอยู่ทางทิศตะวันออก² ดังแสดงใน Figure 1

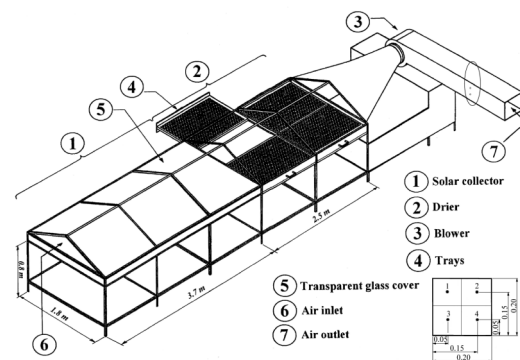


Figure 1 General view of solar tunnel drier and positions of the velocity measurement

วิธีการทดลอง

นำเนื้อหมูที่หมักไว้มาเรียงตากบนตะแกรงสแตนเลส จากนั้นนำเข้าเครื่องอบแห้ง ในการอบแห้งแต่ละครั้งจะใช้เนื้อหมูประมาณ 20 กิโลกรัม ทดลองอบแห้งที่ละอัตราไหลของอากาศ ได้แก่ 0.1 0.2 และ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที จนกระทั่งเนื้อหมูมีความชื้นลดลงเหลือ 0.75 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) การทดลองจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 08.30 ถึง 18.00 น. การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ส่วนการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องวัดรังสีอาทิตย์(EKO รุ่น MS-802)ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล(YOKOKAWA รุ่น MX100) และการวัดความเร็วลมจะใช้เครื่องวัดแบบลวดความร้อน(TESTO รุ่น 445)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของอัตราไหลของอากาศ

การทดลองอบแห้งหมูแดดเดียว ทำการทดลองในช่วงเดือนเมษายน 2551 ด้วยอัตราไหลของอากาศ 3 ค่า ได้แก่ อัตราไหลของอากาศที่ 0.1 0.2 และ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที เลือกผลการทดลองของวันที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ติดต่อกันทั้งวันในแต่ละอัตราไหลของอากาศมาวิเคราะห์ โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมของวันทำการทดลองทั้ง 3 อัตราไหลของอากาศ ดังแสดงใน Figure 2

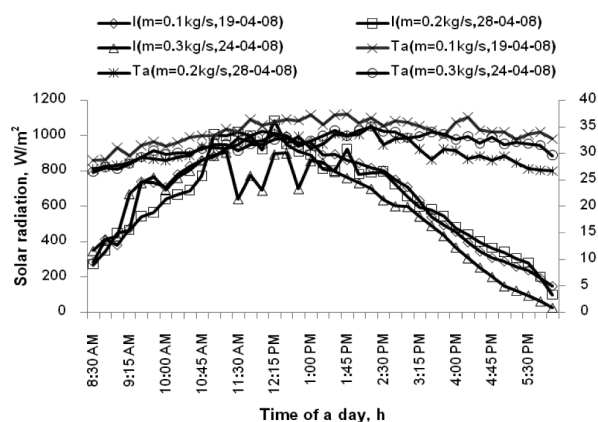


Figure 2 Variations of ambient air temperature (T_a) and solar radiation on different dates

จาก Figure 2 จะเห็นว่าค่ารังสีอาทิตย์จะมีค่าต่ำในช่วงเช้าและเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดเวลาประมาณ 12.30 น. และลดลงตามลำดับในช่วงบ่าย ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่มีค่าสูงสุดในเวลาใกล้เคียงกัน

สำหรับอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุด 69 62 และ 60 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.1 0.2 และ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะมีค่าลดลง สอดคล้องกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีค่าสูงสุดที่ 46 41 และ 40 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.1 0.2 และ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 3 และ 4

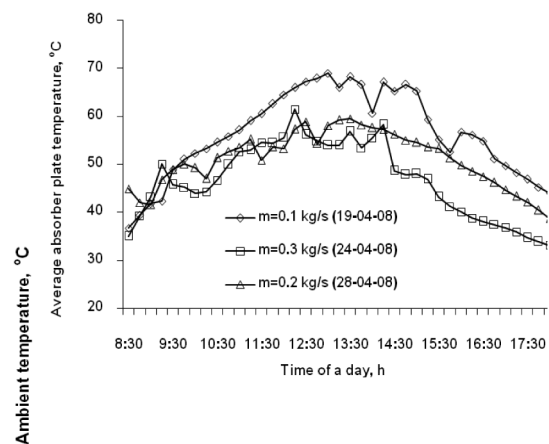


Figure 3 Variations of absorber plate temperature with drying time for different air flow rates

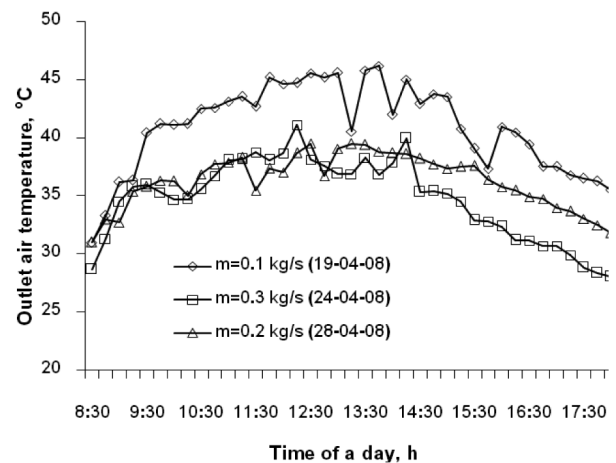


Figure 4 Variations of outlet air temperature of collector with drying time for different air flow rates

ในขณะที่อุณหภูมิของทราย พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทรายจะสะสมความร้อนไว้โดยได้รับความร้อนมาจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จนกระทั่งเวลาประมาณ 15.00 น. ทรายจะเริ่มคายความร้อนออกมา โดยอุณหภูมิของทรายมีค่าสูงที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ ดังแสดงใน Figure 5 ความร้อนที่ทรายสะสมไว้จะถ่ายเทกลับสู่อากาศที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งเห็นได้จากอุณหภูมิอากาศทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์หลังเวลา 18.00 น. ยังมีค่าสูงอยู่ สามารถใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้

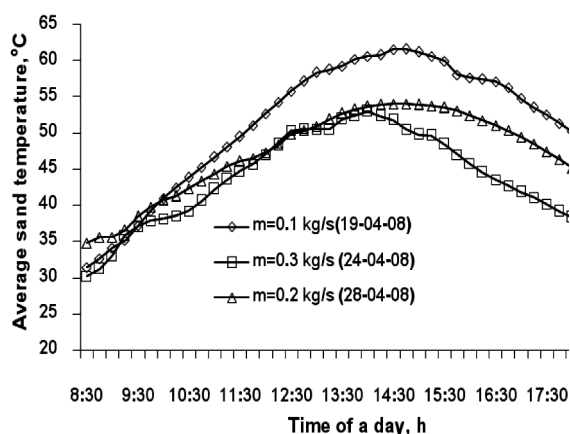


Figure 5 Variations of sand temperature with drying time for different air flow rates

การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูกับเวลาในการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศ 0.1 0.2 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที และการตากแดด ดังแสดง Figure 3 จากการทดลองพบว่า อัตราไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ โดยการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศ 0.1 0.2 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที และการตากแดด จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 250 215 190 และ 370 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นขอบเขตความเร็วและความร้อนระหว่างอากาศกับผิวของเนื้อหมูมีค่าลดลง เป็นเหตุให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลมีค่ามากขึ้น³

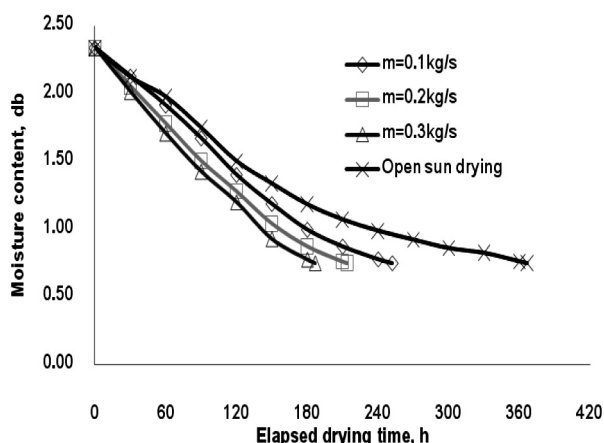


Figure 6 Variations of moisture content with drying time for different air flow rates

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งเนื้อหมูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์ ด้วยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน ทั้งกรณีคิดและไม่คิดดอกเบี้ย โดยคำนวณจากสมการ⁴

$$J = B \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

เมื่อ J คือเงินลงทุนเริ่มต้น B คือกำไรสุทธิต่อปี i คืออัตราดอกเบี้ย และ n คือระยะเวลาคืนทุน

ในการวิเคราะห์นี้ตั้งสมมติฐานว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์ทำงาน 240 วันต่อปี (ช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว) หนึ่งวันจะอบแห้งเนื้อหมูได้ 2 ครั้ง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารประมาณร้อยละ 7 จากตารางที่ 1 พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์มีต้นทุนการผลิต 99,800 บาท ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนในการสร้างเครื่องเกือบครึ่งเป็นต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมค่าติดตั้งประมาณ 200 บาท/วัตต์ แม้อูโมงค์จะมีต้นทุนเริ่มแรกสูงแต่ในระยะยาวนั้นคุ้มค่าเพราะไม่มีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาที่ยังต่ำด้วย ดังนั้นในการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียวจึงมีระยะเวลาคืนทุน กรณีไม่คิดดอกเบี้ย 0.31 ปี และกรณีคิดดอกเบี้ย 0.33 ปี

Table 1 Computation of payback period of the STD for drying pork

Items	
Cost of fresh pork strips, Baht/kg	120
Cost of dried pork strips, Baht/kg	300
Drying batch, batch/year	480
Product net weight per kg fresh pork	0.54
Capacity of dryer,kg/batch	20
Cost of dryer,Baht	99,800
Salvage value, Baht	0
Life of dryer,year	10
Depreciation,Baht	9,980
Cost of maintenance,Baht/year	500

Table 1 Computation of payback period of the STD for drying pork (Cont.)

Labour cost, Baht	71,040
Cost of fresh pork, Baht/year	1,152,000
Total income, Baht/year	1,555,200
Elapsed drying time, hour/batch	3.4
Total cost, Baht	1,233,520
Net income, Baht	321,680
Payback period(no interest rate), year	0.31
Payback period(interest rate 7%), year	0.33

สรุป

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อนที่สร้างขึ้นนี้สามารถอบแห้งเนื้อหมูได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยลดความชื้นจาก 2.34 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ลงเหลือ 0.75 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ในเวลา 190 นาที ที่อัตราไหลของอากาศ 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 51.2 ของเวลาที่ใช้ในการตากแดด นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อัตราไหลของอากาศสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อัตราไหลของอากาศต่ำ การวิเคราะห์ระยะเวลาการคืนทุน พบว่า มีระยะเวลาการคืนทุน 0.33 ปี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. McNeal, JE. Official Methods of Analysis. 15th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc.; 1990.
2. Garg, HP, Kumar, P. Studies on semi-cylindrical solar tunnel dryers : Estimation of solar irradiance. Renewable Energy 1998; 13(3): 393-400.
3. Fikiin, AG. Fikiin, KA. and Triphonov, SD. Equivalent thermophysical properties and surface heat transfer coefficient of fruit layers in trays during cooling. Journal of Food Engineering 1999;40:7-13.
4. Newnan, DG. Engineering economic analysis, 2nd ed. California: Engineering Press, Inc.; 1983.