การอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Drying of kaentawan (Jerusalem artichoke) using solar tunnel dryer

เจริญพร เลิศสถิตธนกร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต. ขามเรียง อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม 44150 โทร 043-754316 โทรสาร 043-754316
E mail: freeconvect@hotmail.com

Charoenporn Lertsatithanakorn
Faculty of Engineering, Mahasarakham university, Khantarawichai, Mahasarakham 44150 Tel: 043-754316 Fax: 043-754316 E mail: freeconvect@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอผลการทดลองหาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สำหรับการอบแห้งแก่นตะวัน เครื่องอบแห้งประกอบด้วยแผ่นปิดที่ทำจากกระจก ครอบคลุมตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ และห้องอบแห้งแบบอุโมงค์ต่ออนุกรมกัน อากาศร้อนถูกจ่ายเข้าห้องอบแห้งโดยใช้พัดลม ทำการศึกษาผลกระทบจากเงื่อนไขการทำงานได้แก่อัตราการไหลอากาศร้อน และความหนาของแก่นตะวัน เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น 75% เมื่อแก่นตะวันมีความหนาเพิ่มขึ้น 1 mm ค่าความชื้นของแก่นตะวัน (ความหนา 1 mm) ลดลงจาก 377 เหลือ 25% db ในเวลา 120 นาที ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ และใช้เวลาอบแห้ง 300 นาที ในการตากแดด เวลาในการอบแห้งลดลง 60% เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมมีค่าสูงสุดที่ 38.3% 23.8% และ 12.2% ตามลำดับ

Abstract

This article presents the field performance of a solar tunnel dryer for drying kaentawan. The dryer consisted of transparent glass covered flat-plate collector and a drying tunnel connected in series to supply hot air directly into the drying tunnel using a fan. The effects of processing conditions such as hot air flow rate and slice thickness were studied. The time required for drying increased by nearly 75% when the keantawan slice thickness was increased by 1 mm. Moisture content of keantawan (1 mm thickness) was reduced from 377 to 25% db in 120 minutes in solar tunnel dryer and it took 300 minutes in open sun drying; drying time was reduced be about 60% Maximum thermal, drying and overall efficiencies were 38.3%, 23.8% and 12.2%, respectively.

1. บทนำ

แก่นตะวันหรือเยรูซาเล็ม อาร์ติโช๊ค (Jerusalem artichoke) [1] เป็นพืชหัว (Tuber) ใต้ดินคล้ายมันฝรั่งที่อยู่ในตระกูลเดียวกับทานตะวัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Helianthus tuberosus L. มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือ แก่นตะวันเป็นพืชเพื่อสุขภาพ สมุนไพร และพลังงานทดแทน เนื่องจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารมนุษย์ สัตว์ การผลิตเอทานอล และการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ โดยในหัวแก่นตะวันพบว่ามีสารสำคัญชนิดหนึ่ง คือ อินนูลิน (Inulin) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทฟรุ๊กโตสต่อกันเป็นสายยาวและที่ปลายมีกูลโคสมาเชื่อมต่อ จากการศึกษาพบว่าอินนูลินสามารถลดน้ำตาลของผู้ป่วยเบาหวานชนิด 2 ได้ การรับประทานแก่นตะวันเพื่อลดน้ำตาลของผู้ป่วยเบาหวาน สามารถทำได้โดยการนำแก่นตะวันไปอบแห้ง แล้วนำมาบดเป็นผง จากนั้นนำไปบรรจุแคปซูล การอบแห้งแก่นตะวันมักใช้การอบด้วยตู้อบไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก วิธีการประหยัดพลังงานวิธีหนึ่งคือการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่หลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งที่สร้างง่ายและสามารถอบผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละมากๆ ได้แก่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จากการสำรวจพบว่ามีการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์กันอย่างแพร่หลาย เช่น Bala et al. [2] ได้ศึกษาการอบแห้งสัปปะรด ปริมาณ 150 kg อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ระหว่าง 34.1 ถึง 64°C Usab et al. [3] ศึกษาการอบแห้งดักแด้หนอนไหม จากการทดลองพบว่าค่า

ความจุความชื้นของหนอนไหมลดลงจาก 3.7 เหลือ 0.2 $kg_{water}/kg_{dry\ matter}$ ในเวลา 570 นาที ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.3 kg/s ในขณะที่การตากแดดใช้เวลา 945 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ถึง 40%

ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยจะศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งได้แก่อัตราการไหลของอากาศ และความหนาของแก่นตะวัน

2. การวิเคราะห์

ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ได้ทำการเก็บแก่นตะวันปริมาณ 10 g จำนวน 5 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้น (W_i) และความชื้นสุดท้าย (W_f) ของตัวอย่างได้ถูกชั่งโดยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (M_d) คำนวณจาก [4]

$$M_d = \frac{(W_i - W_f)}{W_f} \qquad (1)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (η_{th}) คืออัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์หารด้วยรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [3]

$$Q_{th} = m_a c_{pa}(T_{co} - T_{ci}) \qquad (2)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{A_c G} \qquad (3)$$

เมื่อ A_c = พื้นที่ของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

C_{pa} = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

G = รังสีอาทิตย์

m_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

Q_{th} = ความร้อนที่ตัวเก็บรังสีผลิตได้

T_{ci}, T_{co} = อุณหภูมิอากาศที่เข้าและออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการอบแห้ง (η_d) คืออัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์หารด้วยพลังงานที่ห้องอบแห้งได้รับ

$$\eta_d = \frac{wL_v}{A_d G + Q_{th}} \qquad (4)$$

เมื่อ A_d = พื้นที่ห้องอบแห้ง

L_v = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

w = มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์

ประสิทธิภาพรวม (η_o) คืออัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์หารด้วยพลังงานทั้งหมดที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

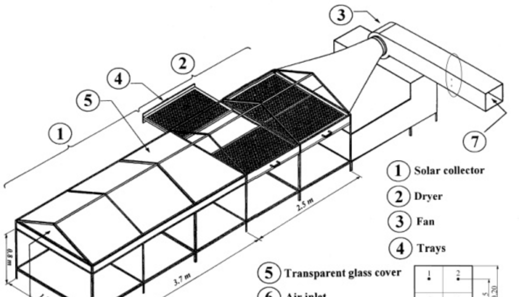
$$\eta_o = \frac{wL_v}{G\left(A_c + A_d\right) + P} \qquad (5)$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับพัดลม

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบสำหรับผลิตอากาศร้อน และส่วนที่สองคือห้องอบแห้งแบบอุโมงค์ ซึ่งจะรับพลังงานความร้อนทั้งจากอากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านกระจกลงสู่ห้องอบแห้ง ทั้งสองส่วนจะมีแผ่นปิดด้านบนที่ทำจากกระจก แสดงดังรูปที่ 1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 6.6 m^2 แผ่นดูดกลืนรังสีทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีหนา 3 mm ทาด้วยสีดำ ส่วนห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นลิ้นชักสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง เครื่องอบแห้งจะมีขนาดยาว 6.2 m และกว้าง 1.8 m ตัวเครื่องอบแห้งทั้งหมดจะตั้งอยู่บนแท่นเหล็กสูงจากพื้น 0.8 m เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีหลักการทำงานคือ อากาศจะถูกดูดให้เคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากด้านหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ด้วยพัดลมที่ติดอยู่ด้านหลังห้องอบแห้ง การควบคุมอัตราการไหลอากาศผ่านเครื่องอบแห้งใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะได้รับความร้อนจะแผ่นดูดกลืนรังสีทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นอากาศจะไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง ซึ่งต่ออนุกรมกันกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในห้องอบแห้งจะได้รับความร้อนในการระเหยน้ำจากสองแหล่ง คือส่วนที่หนึ่งจากอากาศร้อนที่ไหลมาจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และส่วนที่สองจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผลิตภัณฑ์โดยตรง จากนั้นอากาศร้อนจะไหลออกจากห้องอบแห้งออกสู่สภาวะแวดล้อมล้อมภายนอกเครื่องอบแห้ง

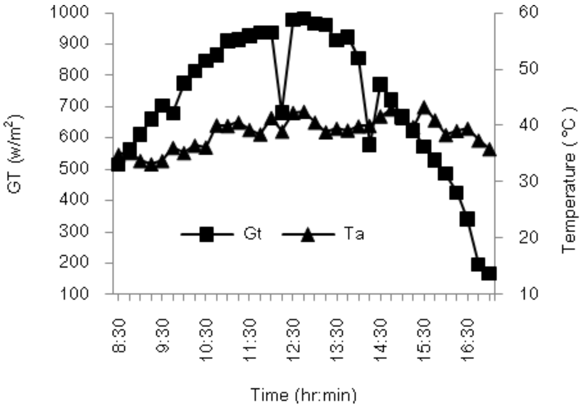
การทดลองอบแห้งแก่นตะวันได้ดำเนินการในช่วงเดือน สิงหาคม 2552 ในการทดลองได้ทำได้วัดสภาวะแวดล้อมได้แก่ รังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ส่วนที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ได้ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสี อุณหภูมิกระจก ทำการชั่งน้ำหนักแก่นตะวันระหว่างอบแห้ง โดยใช้เครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) แก่นตะวันที่ใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ KKU Ac 001 นำแก่นตะวันมาล้างทำความสะอาดแล้วหั่นให้มีขนาดความหนา 1 และ 2 mm โดยความชื้นเริ่มต้นของแก่นตะวันมีค่าเท่ากับ 377% db แก่นตะวันที่ถูกหั่นให้ได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วจะนำไปวางเรียงในห้องอบให้มีลักษณะเป็นชั้นบาง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

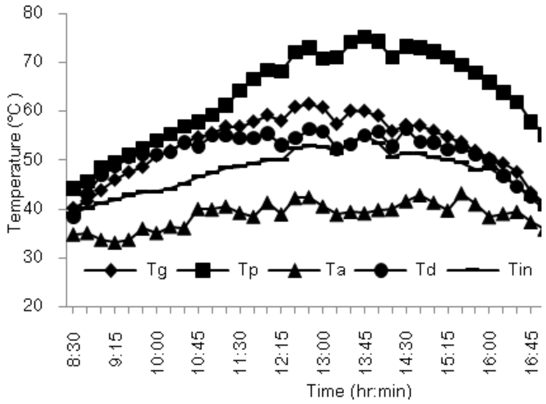
4. ผลการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมของวันที่ทดลอง รังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุดที่ 980 W/m^2 เวลา 12.45 น. ขณะอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดที่ 41°C



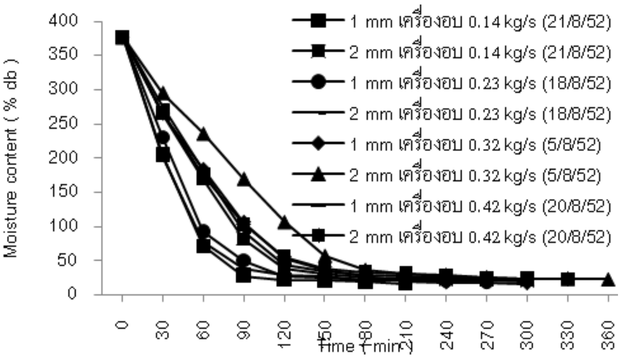
รูปที่ 2 รังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมวันที่ทำการทดลอง (21สิงหาคม 2552)

รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งฯ พบว่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสี (Tp) มีค่าสูงสุดที่ 76°C กระจกมีอุณหภูมิ (Tg) สูงรองจากอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสี ส่วนอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าห้องอบแห้งมีค่าสูงสุดที่ 54.9°C และอุณหภูมิอากาศในห้องอบมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 56.4°C ทั้งนี้เนื่องจากอากาศในห้องอบแห้งได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกลงมายังห้องอบแห้งจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าห้องอบแห้ง



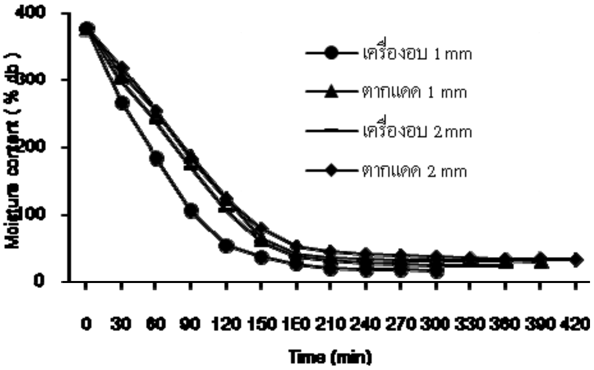
รูปที่ 3 อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.14 kg/s

รูปที่ 4 แสดงอัตราการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ ค่าความชื้นเริ่มต้นของแก่นตะวันมีค่าเท่ากับ 377%db พบว่าที่อัตราการไหล 0.14 kg/s สามารถลดความชื้นของก่นตะวันได้เร็วที่สุด โดยมีความชื้นสุดท้าย 16.8%db ทั้ง 2 ความหนา นอกจากนั้นยังพบว่าแก่นตะวันหนา 1 mm ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าแก่นตะวันหนา 2 mm แก่นตะวันที่มีความหนา 2 mm โดยใช้เวลาอบแห้งนานกว่าแก่นตะวันที่มีความหนา 1 mm อยู่ 70% เนื่องจากน้ำในแก่นตะวันที่บางกว่าจะสามารถระเหยออกจากเนื้อแก่นตะวันได้เร็วกว่าแก่นตะวันที่หนากว่า



รูปที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งแก่นตะวันที่ความหนา 1 mm และ 2 mm ที่แปรเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศ

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์กับการตากแดดที่ความหนาแก่นตะวัน 1 mm และ 2 mm จากการทดลองพบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์จะใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดด โดยสามารถลดเวลาลงได้ประมาณ 60% เมื่อเทียบกับการตากแดด



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์กับการตากแดดที่ความหนาแก่นตะวัน 1 mm และ 2 mm (อัตราการไหลอากาศ 0.32 kg/s) กับการตากแดด

รูปที่ 6 แสดงภาพแก่นตะวันก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จากภาพจะเห็นได้ว่าแก่นตะวัน เมื่ออบแห้งแล้วจะมีลักษณะบิดเบี้ยว ไม่เป็นแผ่นแบนตรงเหมือนก่อนอบ

(a)

(b)

รูปที่ 6 ภาพแก่นตะวันก่อนอบและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 38.3% ที่อัตรากรไหลอากาศ 0.42 kg/s ประสิทธิภาพการอบแห้งมีค่าสูงสุดที่ 23.8% ที่อัตราการไหลอากาศ 0.14 kg/s ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการอบแห้งที่อัตราการไหลอากาศ 0.14 kg/s สามารถอบแห้งได้เร็วที่สุด และแก่นตะวันหนา 1 mm มีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงกว่า 2 mm สุดท้ายประสิทธิภาพรวมมีค่าสูงสุดที่ 12.2% ที่อัตราการไหลอากาศ 0.14 kg/s ทั้งนี้เนื่องจากมีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุด และยังใช้พลังงานในการขับพัดลมน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมสูงสุดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่อัตราการไหลต่างๆ

Air flow rate (kg/s)	Thickness (mm)	η_{th} (%)	η_d (%)	η_o (%)
0.14	1	19.2	23.8	12.2
	2		17.9	9.2
0.23	1	25.3	13.2	7.2
	2		12.4	6.7
0.32	1	31.2	14.7	8.4
	2		13.4	7.6
0.42	1	38.3	12.4	7.4
	2		10.8	6.4

5. สรุป

จากการทดลองอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์พบว่าสามารถลดความชื้นแก่นตะวันจาก 377 เหลือ 25% db ในเวลา 120 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าตากตากแดดประมาณ 60% อัตราการไหลของอากาศและความหนาของแก่นตะวันมีผลต่ออัตราการอบแห้ง พบว่าแก่นตะวันที่บางจะอบแห้งได้เร็วกว่าแก่นตะวันที่หนา ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่อัตราการไหลอากาศสูงสุด ขณะที่ประสิทธิภาพการอบแห้งและประสิทธิภาพรวมสูงสุดเกิดที่อัตราการไหลอากาศต่ำสุด ซึ่งจากการอบแห้งแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์พบว่าสามารถใช้ในการอบแห้งแก่นตะวันได้ดี อย่างไรก็ตามในอนาคตควรมีการศึกษาการเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ และคุณภาพของแก่นตะวันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายกิจติพงษ์ อาบเงิน และนายปฏิวัติ วงษ์ปัจฉิม ที่ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

1. นิมิต วรสูต และสนั่น จอกลอย, “อินนูลิน : สาระสำคัญสำหรับสุขภาพในแก่นตะวัน,” แก่นเกษตร, ปีที่ 34, หน้า 85-91, 2549.
2. Bala, B.K., Mondol, M.R.A., Biswa, B.K., Das Chowdury, B.L. and Janjai, S., “Solar drying of pineapple using solar tunnel drier,” Renewable Energy, Vol. 28, pp. 183-190, 2003.
3. Usub, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa-as, N., Wiset, L., Yang, L. and Siriamornpun, S., “Experimental performance of a solar tunnel dryer for drying silkworm pupae,” Biosystems Engineering, Vol.101, pp. 209-216, 2008.
4. Leon, M.A., Kumar, S. and Bhattacharya, S.C., “A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers,” Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 6, pp. 367-393, 2002.