การอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม

Solar Energy Assisted Banana Drying

ณัฐวุฒิ ดุษฎี

อาจารย์ ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้ เชียงใหม่

จงจิตร์ หิรัญลาภ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์
พิชัย นามประกาย ศิริชัย เทพา

คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคนิคและความเป็นไปได้ในการอบแห้งผลไม้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นบางส่วน โดยทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้ง จากนั้นทดสอบสมรรถนะของตู้ โดยใช้กล้วยน้ำว้า โดยพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้อบแห้ง อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ อัตราการไหลเวียนกลับของอากาศ โดยพิจารณาในแง่คุณภาพที่ได้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ใช้จากนั้นวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งมีค่าประมาณ 60°C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศประมาณ 10 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมกล้วยแห้ง อัตราส่วนอากาศเวียนกลับประมาณร้อยละ 80 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้น และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำ

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบนี้มีความเหมาะสม โดยมีจุดคุ้มทุน 3.6 ปี ที่ความแตกต่างของราคากล้วยที่อบแห้งในตู้และตากกลางแจ้งเท่ากับ 3 บาทต่อกิโลกรัม และโดยเฉลี่ยจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าของตัวอุ่นอากาศได้ 23 %

คำสำคัญ : อบแห้งกล้วย/ความสิ้นเปลืองพลังงาน/การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์/อบแห้งแสงอาทิตย์

บทความเสนอในที่ประชุมทางวิชาการเรื่อง "ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมเคมี" ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา วันที่ 25-26 มิถุนายน 2535

ABSTRACT

This paper described the potential of solar energy assisted fruit dryer. Local banana was selected for case study. Influence of temperature, air flow rate, fraction of air recycled on product quality drying time and energy consumption were investigated. The experimental results showed that the specific air flow rate of 10 kg/h-kg dry banana and the fraction of air recycled of 80 % should be used. At this condition, the specific energy consumption and drying time were at the minimum values. The drying air temperature should be around 60°C if product quality was maintained. Economic analysis showed that the solar system was feasible. Break event point was 3.6 years if the difference of price between the banana dried in the solar dryer and in the open air was 3 Bath/kg. The average fraction of heating load supplied by solar energy is about 23 %.

Keywords : Banana drying/Energy consumption/Economic analysis/Solar drying

บทนำ

ผลไม้และผลิตภัณฑ์ผลไม้เป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญ ทำรายได้ให้แก่ประเทศชาติมูลค่าปีละหลายร้อยล้านบาท กล้วยอบแห้งเป็นสินค้าแปรรูปทางการเกษตรที่น่าส่งเสริมชนิดหนึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือ น้ำ 68.8 % แป้ง 6.8 % น้ำตาล 18.2 % อื่น ๆ 6.2 % โดยน้ำหนัก (สมบูรณ์ รู่พัฒน์, 2530) ในปัจจุบันส่วนมากจะใช้วิธีการตากแห้งโดยธรรมชาติซึ่งเราไม่สามารถควบคุมคุณภาพให้ปลอดภัยจากแมลงรบกวนและเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ ดังนั้นระบบอบแห้งแบบตู้จึงเหมาะสมที่จะที่จะลดปัญหาดังกล่าวมาแล้ว ในการส่งออกถ้าสามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงก็จะทำให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริมจึงเป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตวิธีหนึ่ง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการอบแห้งกล้วยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม โดยศึกษาถึงคุณภาพของกล้วยอบแห้ง และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำไปเผยแพร่ให้เกษตรกรและผู้สนใจ

การสำรวจเอกสาร

Foster and Peart (1976) ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดพืชด้วยแสงอาทิตย์ ในสหรัฐอเมริกา โดยใช้ตัวรับรังสีและเทคนิคการอบแห้งหลาย ๆ แบบ เช่น ตัวรับรังสีแบบอัดลม ตัวรับรังสีรูปทรงสามเหลี่ยม ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ ตัวรับรังสีบนเครื่องอบแห้ง ตัวรับรังสีบนหลังคาและผนังของโรงเรือน ตัวรับรังสีและตัวเก็บความร้อน นอกจากนี้ยังมีของ Solda et al. (1987) ที่ได้ศึกษาและแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ในลักษณะคล้ายกัน

Soponronnarit et al. (1990) ทำการเปรียบเทียบตัวรับรังสีแผ่นเรียบทำอากาศร้อนแบบต่าง ๆ สรุปได้ว่าตัวรับรังสีแบบมีฝาปิดกระจกมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีแบบเปลือยมาก ตัวรับรังสีแบบเปลือยไม่ว่าจะทาสีหรือไม่ทาสีที่ตัวดูดรังสีซึ่งทำจากแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ประสิทธิภาพจะไม่แตกต่างกันมากนัก จากการศึกษาพบว่าแบบมีฝาปิดมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์สูง

Soponronnarit (1991) ได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สรุปว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น แบบการไหลของอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับการไหล แบบบังคับการไหลจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่า และจากการเปรียบเทียบแบบที่ให้ความร้อนโดยตรงและแบบที่ให้ความร้อนโดยอ้อม พบว่าแบบให้ความร้อนโดยตรงให้ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่า แต่ควบคุมอุณหภูมิได้ยากกว่า

Biondi (1988) ได้ศึกษาสมรรถนะของตัวรับรังสี 7 แบบ ในรูปของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของตัวรับรังสีคือ อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ และสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของตัวรับรังสีคือ รูปทรง ชนิดของวัสดุที่สร้าง เงื่อนไขของสภาวะแวดล้อม ขนาด อัตราการไหลของของไหล อุณหภูมิของของไหลที่เข้าสู่ตัวรับรังสี คุณสมบัติของของไหลที่ใช้ จากการศึกษาที่อุณหภูมิของของไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นจุดที่ประสิทธิภาพสูงที่สุด และพบว่าตัวรับรังสีแบบมีชั้นอากาศนิ่งและอากาศไหลด้านล่างของตัวรับรังสีมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

ในการศึกษาการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศแบบธรรมชาติ ชนิดเครื่องอบแห้งแบบตู้ มีผลงานที่น่าสนใจเช่นของ Grag and Krishnan (1974) ซึ่งรูปทรงเครื่องอบแห้งจะคล้ายของ Watabutr (1981) กล่าวคือเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีผิวเอียงด้านเดียว แบบของ Pablo (1978), Harahap and Musted (1978) จะเป็นชนิดที่มีผิวเอียง 2 ด้านในเครื่องเดียวกันและของ Wagner and Bryant (1977) เป็นแบบชนิดที่ตัวรับรังสีมีทั้งในแนวตั้ง

และแนวนอน ส่วนการศึกษาและพัฒนาการอบแห้งแบบบังคับการไหลของอากาศ สามารถสรุปได้คร่าว ๆ ได้แก่ผลงานของ Soponronnarit et al. (1986) และ Thongprasert et al. (1985) ซึ่งเป็นระบบที่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาผลงานด้านอบแห้งแสงอาทิตย์ที่มีการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้คือ Solda et al. (1987) ได้รวบรวมผลงานที่วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแสงอาทิตย์ประมาณ 10 โครงการ พบว่าส่วนใหญ่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐ-ศาสตร์ มีบางโครงการเท่านั้นที่ไม่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพราะว่าพืชที่นำมาทดลองนั้นมีการปลูกเป็นฤดูกาลดังนั้นจำนวนวันที่ใช้แสงอาทิตย์จึงมีน้อย การศึกษาของ Soponronnarit et al. (1991) พบว่าระบบดังกล่าวมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เช่นกัน

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในระดับเกษตรกรรมหรือกึ่งอุตสาหกรรม ที่มีราคาถูกและการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก แต่การเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรยังมีน้อย

วิธีดำเนินการ

การดำเนินงานได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบผลไม้ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม ที่คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ ซึ่งรายละเอียดของเครื่องอบแห้งแสดงในรูปที่ 1 เครื่องอบแห้งที่พัฒนามีความจุประมาณ 40 กิโลกรัม มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนอบแห้ง และส่วนตัวรับรังสี เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการใช้ กล่าวคือในวันที่ไม่มีแสงแดด หรือช่วงกลางคืน ไม่สามารถใช้เครื่องได้ ดังนั้นจึงใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการอุ่นอากาศร้อน อากาศจะถูกดูดผ่านตัวรับรังสีทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งถ้าอุณหภูมิยังไม่ถึงอุณหภูมิที่ต้องการก็จะใช้ขดลวดความร้อนทำหน้าที่อุ่นอากาศให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการโดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เป็นตัวควบคุม ดังนั้นอากาศที่ใช้จะมีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา และอากาศร้อนนี้จะถูกเป่าผ่านถาดของผลิตภัณฑ์ อากาศที่ผ่านถาดของผลิตภัณฑ์นี้จะมีความชื้นสูงและอุณหภูมิลดลง แต่เนื่องจากอุณหภูมินี้ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว ดังนั้นจึงนำเอาอากาศนี้บางส่วนนำมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยส่วนมากจะมีอัตราส่วนของอากาศที่ทิ้งต่ออากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ 20:80 โดยปริมาตร

วิธีทดลองและเก็บข้อมูล

เพื่อเป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้ง จึงมีการทดสอบหาประสิทธิภาพการเปลี่ยน

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อน นำผลที่ได้มาวิเคราะห์สมการถดถอยหาสมการของประสิทธิภาพของตัวรับรังสีหลังจากนั้นมีการทดลองอบแห้งกล้วย โดยทำการอบแห้งครั้งละ 25 กิโลกรัม ที่เงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งมีการเก็บและวัดข้อมูลที่มีรายละเอียดดังนี้

1. การวัดอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิ กระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะมี 2 กระแสคือ กระแสอากาศที่ผ่านตัวรับรังสี และกระแสอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ และจากการออกแบบของระบบทำให้สามารถวัดความเร็วของกระแสอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่และกระแสอากาศที่ทิ้งซึ่งผลรวมทั้งสองกระแสก็คือกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อทราบกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้งก็สามารถคำนวณกระแสอากาศที่ผ่านตัวรับรังสีได้ โดยใช้กฎทรงมวลและทรงพลังงาน นอกจากนั้นมีการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศแวดล้อมและอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้ว นอกจากนี้ยังบันทึกอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านถาดผลิตภัณฑ์ด้วย กระแสอากาศวัดโดยเครื่องวัดความเร็วลมในท่อโดยใช้ Hot wire anemometer มีความละเอียด ± 1 m/s และวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple Type K ต่อเข้ากับ Data logger ซึ่งมีความละเอียด $\pm 1^{\circ}C$ ของค่าที่อ่านได้

2. การวัดการสูญเสียความร้อน ใช้เครื่องมือวัดฟลักซ์ของความร้อนจากผนังของตัวตู้ โดยติดหัววัดที่ผนังตู้และอ่านค่าจากเครื่อง

3. การวัดความเข้มรังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสี ใช้ Pyranometer ของ KIPP & ZONEN, Type CM11 โดยต่อเข้ากับ Data logger หรือใช้ข้อมูลที่บันทึกโดย Solar Intregrator มีความละเอียด ± 1 W/m^2

4. การวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า วัดโดย Kilowatt-hour meter

5. การวัดความชื้นของกล้วย โดยการวัดปริมาณน้ำที่ระเหยไป ความชื้นเริ่มต้นวัดโดยการนำตัวอย่างของกล้วยมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ บรรจุในกระป๋อง ชั่งน้ำหนักแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ $103^{\circ}C$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ผลและวิจารณ์

การทดสอบประสิทธิภาพตัวรับรังสีใช้วิธีที่คล้ายกับของ ASHRAE STANDARD 93-97 แบบทดสอบกลางแจ้ง จากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิอากาศเข้าตัวรับรังสี ประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิอากาศเข้าตัวรับรังสีเท่ากับ

สิ่งแวดล้อม ซึ่งจากจุดนี้สามารถนำไปวิเคราะห์สมการถดถอยได้ดังสมการ

$$e_c = 15.1 + 1550\ \dot{m} - 12700\ \dot{m}^2 \quad (1)$$

ดังนั้น สามารถนำไปหาความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จากสมการ

$$Q_a = e_c A_c G_T \quad (2)$$

เมื่อ e_c = ประสิทธิภาพตัวรับรังสี, เศษส่วน
A_c = พื้นที่ตัวรับรังสี, m^2
G_T = ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์, W/m^2
$\dot{m}$ = อัตราการไหลของอากาศ, kg/s
Q_a = ความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์, W

ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 การทดลองมีทั้งหมด 6 การทดลอง อุณหภูมิที่ทดลองมี 2 อุณหภูมิคือ 60 และ 70°C ความชื้นเริ่มต้น 239-300 % มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลอากาศจำเพาะแปรค่าระหว่าง 9.6 - 20.8 kg dry air/h-kg dry banana อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 60-80 % เมื่อดูผลการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า พลังงานที่ใช้อยู่ในรูปความร้อน โดยแบ่งเป็นความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า 69-75 % ความร้อนจากแสงอาทิตย์ 19 - 25 % และไฟฟ้าสำหรับพัดลม 5 - 7 % จากการจำลองแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลอากาศเฉลี่ยที่กรุงเทพฯเวลา 6.00 - 16.00 น. พ.ศ. 2530 พบว่าทั้งปีสามารถประหยัดไฟฟ้าของตัวอุ่นอากาศได้ 23 % ดังรูปที่ 2 (ณัฐวุฒิ ตุษฎี 2534) ซึ่งค่านี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

จากการทดลองไม่สามารถสรุปหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดได้แต่สามารถสรุปเป็นแนวโน้มได้ว่าสภาวะเหมาะสมในการอบแห้งคือที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C อัตราส่วนอากาศไหลเวียนกลับ 80% อัตราการไหลจำเพาะ 10.5 kg/h-kg dry banana และเวลาอบแห้ง 48 ชั่วโมงนั้น จะได้คุณภาพของกล้วยที่ดีมีสีเหลือง ผิวเป็นมันสม่ำเสมอ ผิวภายนอกจะไม่แข็งและไส้นิ่ม

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การอบแห้งกล้วยอาจทำได้โดยการตากแห้งโดยธรรมชาติ หรือการอบในตู้ ซึ่งคุณภาพของการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบแห้งจะมีคุณภาพที่สูงกว่า และราคาในการจำหน่ายจึงสูงกว่าด้วย ดังนั้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้ง โดยคำนวณหาระยะเวลาคุ้มทุน

สมมุติฐานและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ก. การวิเคราะห์รายได้

เนื่องจากต้นทุนในการซื้อกล้วยมาผลิตไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ดังนั้นในรายงานฉบับนี้จะวิเคราะห์ในรูปของรายได้ที่เพิ่มขึ้น เมื่อคุณภาพของกล้วยสูงขึ้นเมื่อใช้เครื่องอบแห้ง เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยธรรมชาติ โดยคิดที่ราคาแตกต่าง 1 - 8 Bath/kg

ข. การวิเคราะห์เงินลงทุนของระบบอบแห้ง

1. เงินลงทุนคงที่ ระบบอบแห้งประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนตัวรับรังสีและส่วนอบแห้ง ซึ่งในส่วนอบแห้งยังประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ ดังนี้คือ ตู้และชั้นอบแห้งขนาด 1 x 1 x 0.6 m^3 พัดลมเป่าอากาศขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 746 วัตต์ ชุดลวดความร้อนไฟฟ้าขนาด 2,400 วัตต์ และระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

2. เงินลงทุนแปรผัน ในการอบแห้งกล้วยหนึ่งครั้ง จะใช้เวลา 3-4 วัน เฉลี่ยแล้วในหนึ่งปีทำการอบแห้งได้ 108 ครั้ง ในหนึ่งครั้งสิ้นเปลืองไฟฟ้าประมาณ 35 kW-h ถ้าคิดว่าการอบแห้งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กจะเสียค่าไฟฟ้า kW-h ละ 1.23 บาท ดังนั้นในหนึ่งปี จะเสียค่าไฟฟ้า 6,125 บาท

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1-4 พบว่าเมื่อใช้ราคาที่แตกต่างของกล้วยที่อบแห้งโดยธรรมชาติและอบโดยใช้ตู้อบแห้ง 1-8 Baht/kg จุดคุ้มทุนจะอยู่ในช่วง 1.4 - 10.8 ปี ซึ่งจุดที่น่าสนใจที่อัตราความแตกต่างของราคา 2-3 บาท โดยจะมีจุดคุ้มทุน 5.4 และ 3.6 ปี ตามลำดับ และเมื่อแยกวิเคราะห์เฉพาะตัวรับรังสีพบว่าจะมีจุดคุ้มทุน 0.8 ปี

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ทางด้านพลังงานและเศรษฐศาสตร์ พบว่า ระบบอบแห้งมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ที่จะนำไปเผยแพร่ต่อไป แต่เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเป่า

ลมร้อนยังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า และเมื่อพิจารณาช่องว่างระหว่างชั้นวางวัสดุแล้ว พบว่าควรจะเพิ่มถาดเข้าไปอีก 4 ถาด ทำให้สามารถอบกล้วยได้ 37 kg รวมเป็น 12 ถาด และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ที่ความแตกต่างของราคาระหว่างอบแห้งในตู้และกลางแจ้ง 2-3 Baht จะมีจุดคุ้มทุน 4.1 และ 2.7 ปี ตามลำดับ ซึ่งลดลงกว่าเดิมมาก

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

หนังสืออ้างอิง

ณัฐวุฒิ ดุษฎี, 2534, การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สมบูรณ์ ภู่พัฒน์, 2530. "คุณค่าทางอาหารของผลไม้เมืองร้อนและกึ่งโซนร้อน" สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Biondi, P., L. Cicala, G. Farina, 1988, Performance analysis of solar air heaters of conventional design, Solar Energy, 41(1), 101-107.

Foster, G.H., and R.M. Peart, 1976. Solar grain drying : Progress and potential, Agricultural Information Bulletin No. 401, U.S.D.A, Warshington, D.C.

Grag, H.P., A.Krishnan, 1974, Solar drying of agricultural products : drying of chillies in a solar cabinet dryer, Ann. Arid Zone, 13(4), 285.

Harahap, F., and J. Musted, 1978, Some data of solar drying, In Proc. Solar Drying Workshop, UNESCO, Manila, 18-20 October 1978.

Pablo, I.S., 1978, The practicability of solar drying of tropical fruits and marine products for income generation in rural areas, In Proc. Solar Drying Workshop, UNESCO, Manila, 18-21 October 1978.

Solda M., N. Bansal, A. Kamer, P. Bansal, and M. Malik, 1987, Solar crop drying. CRC Press, Inc., Florida, pp 141.

Soponronnarit, S., W. Subannapong, J. Tiansuwan, 1990, Studies of bare and glass-cover flat-plate solar air heater, RERIC International Energy Journal 12(1), 1-19.

Soponronnarit, S., 1991. Solar drying in Thailand, Paper presented at the ASIA ENERGY' 91 Conference, 17-20 October 1991, Bangkok.

Soponronnarit, S., W. Watabutr, A. Therdyothin and B. Kunjara, 1986, A drying-storage solar hut : the technical aspect, Renewable Energy Review Journal, 8(1), 49-60.

Thongprasert, S., M. Thongprasert, S. Boonyavanichkul and J. Mahittafongkul, 1985, An economic study on a solar rice dryer, Report submitted to National Energy Administration, Bangkok (In Thai).

Watabutr, W., 1981, Performance testing of solar cabinet dryer, Master thesis, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok (in Thai).

Wagner, R.H., and H.C. Bryant, 1977, Application of solar energy continuous belt dehydration, Final Report, Phases, Rep. No. ORO/5119-1, U.S. Department of Energy, Warshington, D.C.

Table 1 Experimental results of banana drying

Description	Test no.					
	1	2	3	4	5	6
Drying air condition						
Temperature (°C)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	70.0
Specific mass flow rate (kg dry air/h-kg dry banana	13.0	10.3	13.6	9.6	20.8	13.2
Fraction of air recycled (%)	60.0	70.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Ambient condition						
Temperature (°C)	29.0	31.0	32.0	31.3	30.2	26.9
Relative humidity (%)	70.2	68.0	71.0	70.4	72.6	76.1
Condition of banana						
Before drying (% db.)	243.0	242.0	248.0	296.0	299.6	239.0
After drying (% db.)	69.3	56.4	63.6	59.3	53.1	41.2
Initial weight (kg)	25.0	32.2	25.3	25.0	24.9	25.1
Energy consumption						
Heater (kW-h)	26.4	30.9	28.0	30.1	41.2	50.3
Motor (kW-h)	2.0	2.5	2.2	2.2	3.8	2.5
Solar collector (kW-h)	7.4	11.1	7.2	8.2	12.5	0.0
Total (kW-h)	35.3	44.5	37.4	40.5	57.8	52.8
Specific total energy (MJ/kg-H_2O evap.)	10.3	9.2	10.2	10.5	14.1	13.0
Based on 239-60 % db.	-	-	-	11.3	16.6	11.5
Based on 234-69 % db.	10.3	8.4	9.2	-	-	-
Drying time (h)	24.0	30.0	28.0	37.0	36.0	33.0
Total time (h)	32.0	38.0	36.0	53.0	52.0	41.0

Table 2 Fixed cost analysis of solar dryer

Items	Description	Units/set	Baht
1	Cabinet Dryer (Insulation, duct, tray, frame)	1	10,000
2	Blower & Motor	1	4,000
3	Solar collecter	1	6,000
4	Temperature controls	1	3,000
5	Electric heater	1	1,000
6	Construction cost	1	8,000
	Total		32,000

Table 3 Economic assumptions

Description	Solar system	Solar collecter
Life time	10 years	10 year
Interest	15 %	15 %
First cost	32,000 Baht	6,000 Baht
Salvage value (10 % of first cost)	3,200 Baht	600 Baht

Table 4 Economic evaluation of solar dryer and collector

Economic variables	Formula	Solar system	Solar collector
Annual first cost, P	P x CRF (15 %, 10)	6,376	1,196
Annual salvage value, S	S x SFF (15 %, 10)	158	30
Annual O & M		1,000	0
Annual energy used for drying	(108x46x1.23)	6,110	0
Annual electrical saving	(0.23x6110)	0	1,405
Total annual cost	Annual first Cost + Annual O & M + Annual variable cost - Annual salvage value	13,328	1,166
Annual product yield(kg)	(10.5x108)	1,134	
Annual income (3 baht/kg)	(1134x3)	3,402	
Break even point (year)	Total annual cost = Total annual income	3.6	0.8 (1166/1409)

CRF = Capital-recovery factor

SFF = Sinking fund factor

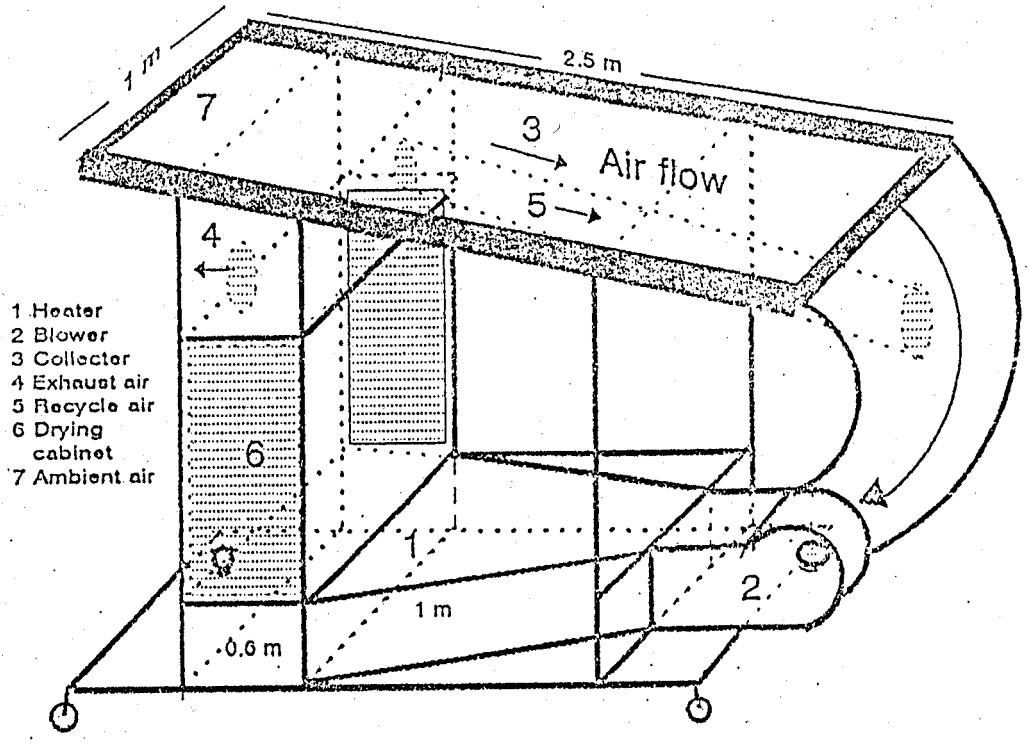

Figure 1 Solar dryer

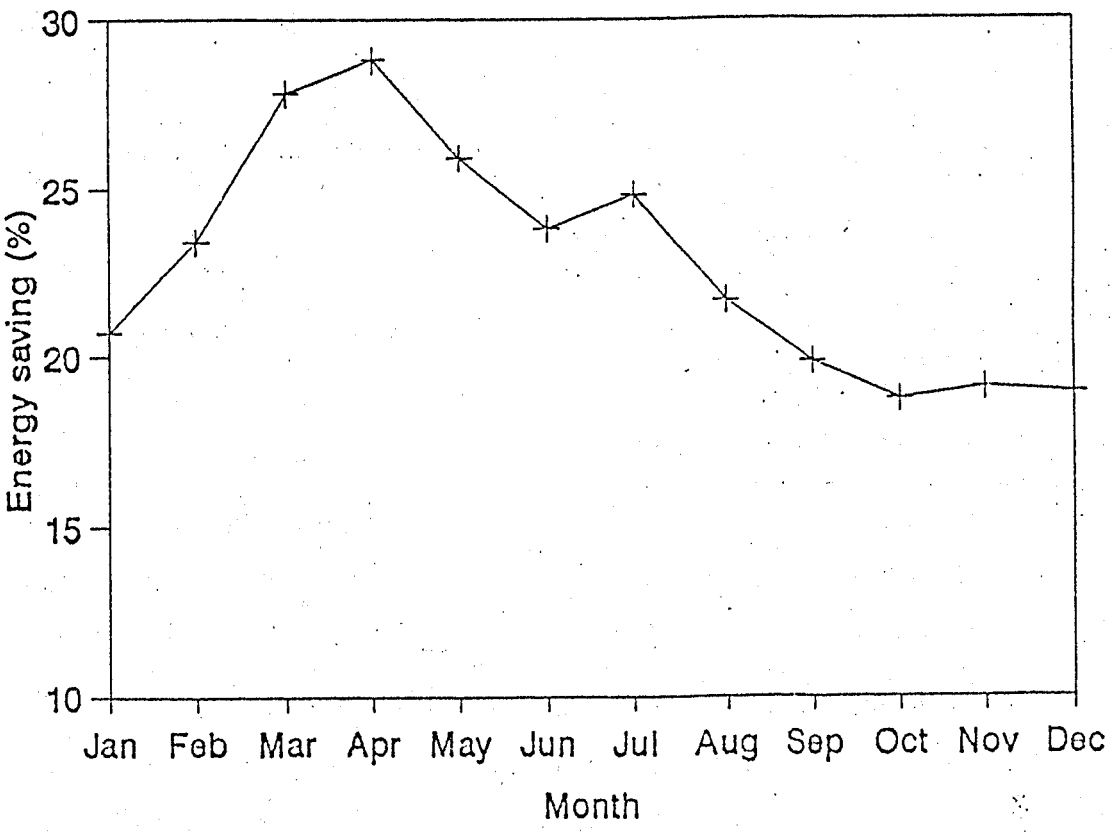

Figure 2 Monthly average energy saving