

## เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพ Solar Dryer Combined with Biogas

สุขฤดี นาทกรณกุล และ บงกช ประสิทธิ์

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

โทร 0-5526-1000-4 ต่อ 3195 โทรสาร 0-5526-1067 e-mail: sukruedee@gmail.com, micky\_sert@hotmail.com

Sukruedee Nathakranakule and Bongkot Prasit

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

Tel: 0-5526-1000-4 Ext. 3195 Fax: 0-5526-1067 e-mail: sukruedee@gmail.com, micky\_sert@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ในประเทศไทยมีการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มานานแล้วแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากยังไม่มี การถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่เกษตรกรอย่างเหมาะสม นอกจากนี้งานวิจัยส่วนมากเน้นผลิตเครื่องอบแห้งเพื่ออุตสาหกรรมขนาดกลาง ซึ่งต้องใช้ต้นทุนในการก่อสร้างค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถเข้าถึงเกษตรกรส่วนใหญ่ซึ่งมีรายได้น้อย อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเครื่องอบแห้งที่มี ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ การก่อสร้างไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูงร่วมกับพลังงานความร้อนเสริมจากระบบแก๊สชีวภาพ (Biogas System) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ กลั้วน้ำว่า พริก และมะม่วงแช่อิ่ม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ (1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) (2) อุโมงค์อบแห้ง (Tunnel Dryer) (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Biogas System) ผลิตภัณฑ์ที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และในเวลาที่ไม่ใช่แสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือมีฝนตกตลอดทั้งวันจะมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบแก๊สชีวภาพ (Biogas System) ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าโดยเฉลี่ย 54.9% ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งเป็น กลั้วน้ำว่า พริก และมะม่วงแช่อิ่มเท่ากับ 42.8%, 33.4% และ 76.9% ตามลำดับ สามารถปรับอุณหภูมิอากาศอบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อการเผยแพร่ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้เพื่ออบแห้งสำหรับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าของ ผลผลิต

\* Corresponding author

สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

### Abstract

In Thailand the solar dryer was employed many years ago but it has not disseminated well due to no appropriate technology transfer to agriculturist. Most of research work emphasized with producing the medium industrial solar dryer which employed high capital cost and unmatched low income agriculture. However, solar tunnel dryer has low construction cost and simple configuration. The objectives of this research were to study and develop the high thermal efficiency solar tunnel dryer combined with a biogas system. The tested product are banana, chilly and glace mango. Solar tunnel dryer consists of 3 parts; (1) Solar collector (2) Tunnel dryer and (3) Auxiliary heat (Biogas System). Products in tunnel dryer can receive solar energy in two ways; (1) the solar energy can strike the drying product directly from transparent roof and (2) heated air from the solar collector passing through drying product which mass flow rate was controlled by blowers. Moreover, the dryer can operate both solar depletion and rainy day that the biogas was employed as an auxiliary heat source passing through heat exchanger. This system can be operated both daytime and nighttime. The results showed that the efficiency of solar collector was 54.6%, the efficiency of solar tunnel dryer system by using banana, chilly and glace mango as drying product was 42.8%, 33.4%, and 76.9%, respectively. The temperature in drying chamber can be adjusted, which appropriate to disseminate to the farmers and interesting people. This leads to increase value added of agricultural product.

### 1. บทนำ

ประชากรของประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตส่วนใหญ่เป็น ข้าว ผัก และผลไม้ แต่ประสบปัญหาเมื่อผลผลิตที่

ออกมาจำหน่ายไม่หมด ผักและผลไม้ที่เหลือจะเน่าเสียและมีราคาต่ำ ดังนั้นการแปรรูปผักและผลไม้ที่เหลือเพื่อเก็บไว้จำหน่ายหรือเก็บไว้บริโภคระยะยาวในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นจึงจำเป็น การอบแห้งผักและผลไม้เป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจ ส่วนใหญ่ในการอบแห้งจะใช้พลังงานจากฟืน ไฟฟ้าและน้ำมัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เปลี่ยนรูปจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งแทนไฟฟ้าและน้ำมัน ซึ่งเป็นพลังงานที่มีราคาสูง ทั้งยังปลอดภัยให้กับสิ่งแวดล้อม และจากกลุ่มผู้ผลิตกล้วยตากที่มีอยู่หลายกลุ่มโดยเฉพาะในเขตบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ส่วนใหญ่ใช้วิธีการตากแห้งแบบธรรมชาติ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เปื้อนฝุ่นละออง มีแมลงรบกวน หรือวางไข่ไว้ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายภายหลังได้และยังมีปัญหาอันเนื่องมาจากฝนตกทำให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการตากแห้ง ถ้ามีการส่งเสริม เผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ สะอาดถูกสุขอนามัย และไม่เกิดปัญหาดังที่กล่าวข้างต้น และปัจจุบันก็ได้มีการส่งเสริมเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งในภาคชุมชนเกษตรกรและภาคอุตสาหกรรม กอปรกับทางศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับทุนสนับสนุนจากทบวงมหาวิทยาลัยปี 2544 ในโครงการ “การพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร” และทำการเผยแพร่ระบบการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สู่ชุมชนเกษตรกร 10 ระบบ ในจังหวัดพิษณุโลกและในเขตภาคเหนือ ถือเป็น การส่งเสริมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มมูลค่าของผลผลิตนั้น และเพิ่มรายได้ให้ประชากรในท้องถิ่น ทำให้มีมาตรฐานการดำรงชีพที่ดีขึ้น และผลผลิตที่ได้มีมาตรฐานและถูกสุขอนามัย

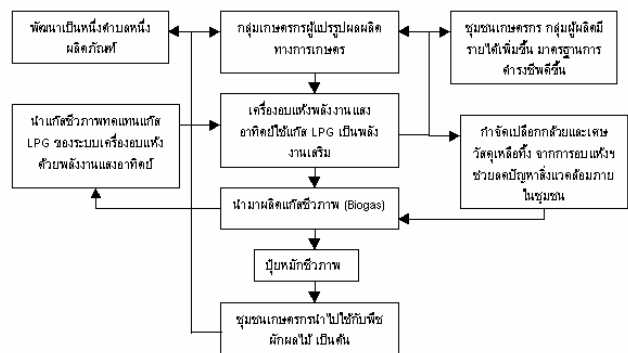
การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักในกระบวนการอบแห้ง และมีพลังงานเสริมคือพลังงานจาก LPG ช่วยในเวลาที่ไม่ได้มีแสงแดด หรือฝนตกทำให้สามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งถ้าสามารถลดการใช้พลังงานเสริมจาก LPG และใช้พลังงานแก๊สชีวภาพแทน จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต และการใช้พลังงานสะอาดทั้งระบบ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตกล้วยตากของกลุ่มผู้ผลิตในแต่ละครั้งจะเหลือเปลือกกล้วยจากการผลิตในช่วงฤดูการปกติ ประมาณ 1-2 ตัน/วัน ในช่วงฤดูแล้งการผลิตใช้ต้นทุนต่ำเพราะใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนจะเหลือเปลือกกล้วยประมาณ 3-4 ตัน/วัน หรือคิดเป็น 120 ตัน/เดือน (จากระบบที่เผยแพร่ลงสู่ชุมชน 10 ระบบ ในโครงการที่กล่าวข้างต้น

ของกลุ่มผู้ผลิตจะมีเปลือกกล้วยตากครั้งละประมาณ 100 กิโลกรัม หรือ 500 กิโลกรัมต่อเดือน) จากปัญหาที่มีปริมาณมากดังกล่าว ซึ่งเปรียบเสมือนขยะจากการผลิตกล้วยตากได้กลายเป็นปัญหาที่สำคัญของทุกกลุ่ม ผู้ผลิตเกษตรกรพยายามแก้ปัญหาโดยนำไปทำปุ๋ยหมัก เพื่อกำจัดขยะแต่ก็ไม่สามารถกำจัดได้หมดกำจัดได้เพียงเล็กน้อย

ประมาณ 10% เท่านั้น อย่างไรก็ตามยังเหลือเปลือกกล้วยที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้หมดอีกเป็นจำนวนมากกลายเป็นปัญหา

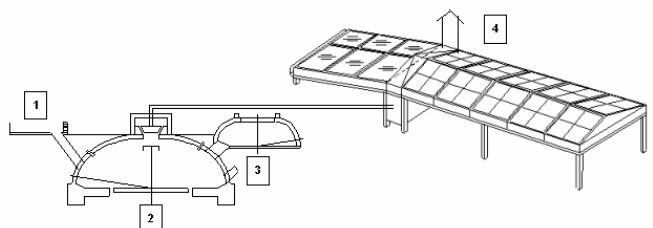
สุขอนามัยและสิ่งแวดล้อมส่งกลิ่นเหม็น ถึงแม้เกษตรกรจะนำไปฝังกลบ แต่เนื่องจากการผลิตกล้วยตากเป็นรายได้หลักทำให้เปลือกกล้วยเพิ่มขึ้นทุกๆเดือน จนกลายเป็นปัญหาสำคัญในขณะนี้ และจากสภาพดิน ฟ้า อากาศ ที่มีฝนตกเป็นช่วงๆ ในแต่ละวัน เกษตรกรจำเป็นต้องมีระบบใช้ความร้อนเสริมเช่นกัน โดยใช้ LPG ซึ่งทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้นดังนั้นถ้ามีการศึกษาเพื่อพัฒนาการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากเปลือกกล้วยและวัสดุเหลือทิ้งจากการอบแห้งแล้วประยุกต์ใช้แปรรูปผลผลิตทางการเกษตรพร้อมทั้งส่งเสริมให้กับกลุ่มผู้ผลิตดังกล่าว จะเป็นประโยชน์ทั้ง 2 ด้าน คือการพัฒนาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน กล่าวคือในด้านเศรษฐกิจ เกษตรกรหรือกลุ่มผู้ผลิตสามารถผลิตได้เต็มประสิทธิภาพโดยไม่ต้องกังวลกับปัญหาเปลือกกล้วยอีกต่อไป เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 30% และหากนำก๊าซจากเปลือกกล้วยมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนจะสามารถลดต้นทุนการผลิตจากแก๊ส LPG ตามขนาดของบ่อหมักจะช่วยเพิ่มความเข้มแข็งในด้านการตลาดเนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถพัฒนาเป็นหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนในด้านสิ่งแวดล้อมของชุมชนการผลิตแก๊สชีวภาพจากเปลือกกล้วย นอกจากจะได้ แก๊สชีวภาพแล้วกากจากการหมักสามารถนำมาเป็นปุ๋ยให้ความเจริญเติบโตกับพืชได้เป็นอย่างดีช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมสุขอนามัยในบริเวณการผลิต

## 2. ทฤษฎีหรือกรอบแนวคิดของโครงการ



รูปที่ 1 แสดงทฤษฎีหรือกรอบแนวคิดของโครงการ

- 1 บ่อเติมวัสดุ
- 2 บ่อหมักก๊าซชีวภาพ
- 3 บ่อสั่น
- 4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ร่วมกับบ่อแก๊สชีวภาพ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ (1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) (2) อุโมงค์อบแห้ง (Tunnel Dryer) (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Biogas System) ผลิตภัณฑ์ที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง เนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือมีฝนตกตลอดทั้งวันจะใช้แหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบเผาแก๊สชีวภาพ (Biogas System) ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน

### 3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**วัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร และคณะ [1]** ออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ (1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) (2) อุโมงค์อบแห้ง (Tunnel Dryer) (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Biogas System) ผลิตภัณฑ์ที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง เนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือมีฝนตกตลอดทั้งวันจะใช้แหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบเผาแก๊สชีวภาพ (Biogas System) ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าโดยเฉลี่ย 54.6% สามารถปรับอุณหภูมิอากาศอบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อการเผยแพร่ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้เพื่ออบแห้งสำหรับแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต

**วัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร และคณะ [2]** พัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะแก้ปัญหาของเกษตรกรในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร โดยมีการปรับจากระบบเดิมที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์รวมและวางขนานกับพื้นดิน เป็นระบบที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แยกและวางทำมุม 17 องศา กับพื้นดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นจากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงได้ถึงเฉลี่ย 50 °C สามารถใช้ในการอบแห้งได้หลายผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริม และมีการปรับค่าความเร็วลมได้หลายระดับเพื่อความเหมาะสมโดยการเลือกเปิดพัดลม 1,2 หรือ 3 ตัว พร้อม

กันก็ได้ จากการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรพบว่าระบบมีความเหมาะสมในการส่งเสริมให้กับเกษตรกร เนื่องจากเกษตรกรสามารถเข้าใจในการใช้งานและดูแลรักษาจนถึงซ่อมแซมระบบได้เพราะระบบถูกออกแบบให้

ง่ายต่อการใช้งาน และใช้วัสดุที่เกษตรกรคุ้นเคยและหาง่ายในท้องถิ่น

**พัชริน ดำรงกิตติกุล และพรพิมล อัจฉรินทร์ภักดี [3]** ศึกษาการทำงานของระบบก๊าซชีวภาพแบบถูขนานสำหรับฟาร์มสุกรที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะเชียงใหม่ พบว่ากากที่ได้จากบ่อก๊าซชีวภาพของฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีน้ำ 86% ส่วนที่เป็นของแข็ง 14% ซึ่งกากดังกล่าวมีธาตุไนโตรเจน 0.37% ฟอสฟอรัส 0.35% และธาตุโปแตสเซียม 0.21% นอกจากนั้นยังพบว่าหลังจากผ่านการหมักแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 อาทิตย์พบว่าไม่มีเมล็ดวัชพืชเจริญได้เลย และการเจริญของเมล็ดวัชพืชในมูลสุกรจะถูกยับยั้งทั้งหมดเมื่อผ่านการหมักที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 อาทิตย์

**สัมฤทธิ์ ไม้พวง และคณะ [4]** การใช้ประโยชน์และการกำจัดเปลือกกล้วย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ระยะเวลาการกักเก็บในการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในขนาด 5 ลิตร พบว่าอยู่ในช่วง 16-25 วัน และให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 10.75 mL ต่อเปลือกกล้วย 1 กรัม ในกรณีใช้ TS 5% (10.75 L ต่อ กิโลกรัม) ซึ่งในระยะหลังจาก 25 วันไปแล้ว แม้ว่าจะไม่เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นอีกแต่สภาพของเปลือกกล้วยที่หมักก็ยังไม่ย่อยสลายเพียงพอ มีลักษณะอยู่ตรงบริเวณเปลือกกล้วย แต่ส่วนที่เรียกว่ามีของหิวกล้วยคงไม่ค่อยสลาย มีเยื่อใยเหลือมากทำให้เกิดการลอยขึ้นบนผิวน้ำแม้ว่าจะมีการสับก็ไม่ทำให้การย่อยสลายดีขึ้นมากนักและการทดลองในบ่อหมักขนาด 16 m<sup>3</sup> โดยเติมสารเข้มข้น TS 5% แบบสด-ไม่สับ ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ปริมาณก๊าซชีวภาพในการเติมแบบต่อเนื่องปริมาตรก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนปริมาตรคงที่หลังจากหมักไปแล้วประมาณ 4 สัปดาห์ อยู่ในช่วง 1.408-1.692 ลิตรต่อวัน อุณหภูมิตลอดการทดลองค่อนข้างคงที่ในช่วง 32.2-35.7 °C และ pH อยู่ในช่วง 5.21-6.32 มีความเป็นกรดตลอด ส่วนการเติมแบบไม่ต่อเนื่อง เติบโตทุก ๆ 4 วัน ปริมาตรก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2-3 หลังจากเติมในแต่ละครั้ง ซึ่งปริมาณก๊าซในวันที่ 2-3 อยู่ในช่วง 2.162-2.387 ลิตร

### 4. นิยามสูตรประสิทธิภาพและสัญลักษณ์ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

4.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้ง [5]

$$\eta_{\text{sys}} = ((M_w h_{fg}) / (G_c A_c)) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $\eta_{\text{sys}}$  = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง, %  
 $M_w$  = น้ำหนักของน้ำที่ระเหย, kg  
 $h_{fg}$  = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg-H<sub>2</sub>O  
 $G_c$  = ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนพื้นราบ, kW/m<sup>2</sup>  
 $A_c$  = พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง, m<sup>2</sup>

## 6. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่อุโมงค์อบแห้ง เพื่อหาประสิทธิภาพ

### 4.2 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ [6]

$$\eta_c = ((\dot{m} C_p (t_{oc} - t_{ic})) / (G_t A_c)) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $\eta_c$  = ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, %  
 $\dot{m}$  = อัตราการไหลเชิงมวลอากาศ, kg/s  
 $G_t$  = รังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบตัวรับรังสี,  $W/m^2$   
 $A_c$  = พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง,  $m^2$   
 $t_{ic}$  = อุณหภูมิอากาศไหลเข้าตัวรับรังสีดวงอาทิตย์,  $^{\circ}C$   
 $t_{oc}$  = อุณหภูมิอากาศไหลออกตัวรับรังสีดวงอาทิตย์,  $^{\circ}C$   
 $C_p$  = ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่,

J/kg.  $^{\circ}C$

### 4.3 สัญลักษณ์ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

$T_{icav}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าตัวรับรังสีดวงอาทิตย์,  $^{\circ}C$   
 $T_{ocav}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกตัวรับรังสีดวงอาทิตย์,  $^{\circ}C$   
 $T_{dlav}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับล่าง),  $^{\circ}C$   
 $T_{dmav}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับกลาง),  $^{\circ}C$   
 $T_{duav}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับบน),  $^{\circ}C$   
 $T_{ab}$  = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม,  $^{\circ}C$

## 5. วิธีการดำเนินการวิจัย

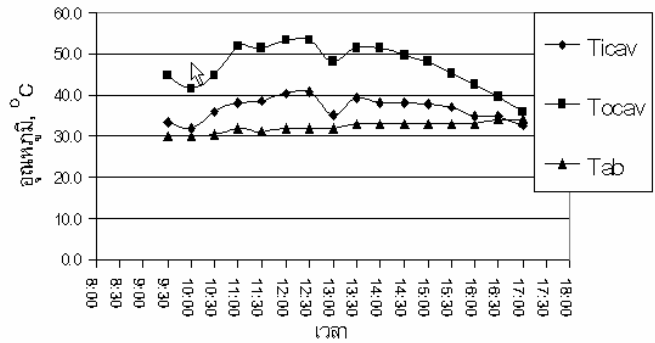
ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายน 2547 ซึ่งเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์การไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

5.1 ทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer) (โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่อุโมงค์อบแห้ง) เพื่อหาประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบแห้ง

5.2 อบแห้งผลิตภัณฑ์ (กล้วยน้ำว้า) จำนวน 150 กิโลกรัม และพริก จำนวน 20 กิโลกรัม คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ความร้อนเสริมจากระบบแก๊สชีวภาพ

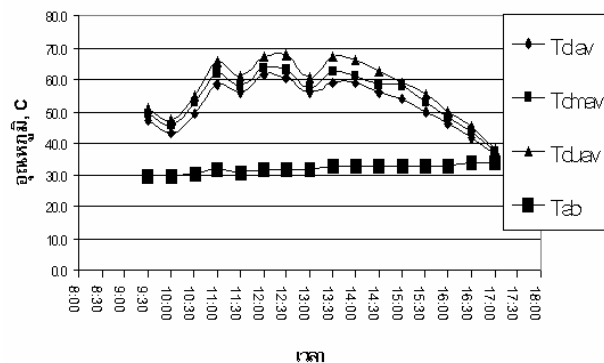
5.3 ทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์ (มะม่วงแช่อิ่ม) จำนวน 50 กิโลกรัม คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งฯ

5.4 ทดสอบระบบพลังงานความร้อนเสริมจาก Biogas ร่วมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เปลือกกล้วยเป็นวัสดุทดสอบในการหมัก



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าและทางออกของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

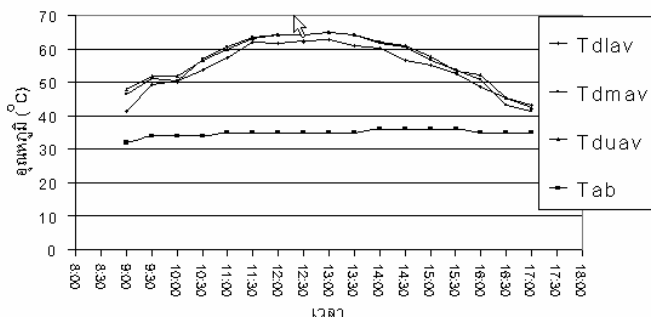
จากกราฟอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์  $53.5^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทางเข้าสูงสุดของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์  $40.7^{\circ}C$  แตกต่างกันโดยเฉลี่ย  $12.8^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ทางเข้าของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์  $36.7^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ทางออกของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์  $47.1^{\circ}C$  แตกต่างกันโดยเฉลี่ย  $10.4^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย  $32.2^{\circ}C$



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิอากาศภายในอุโมงค์อบแห้งและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

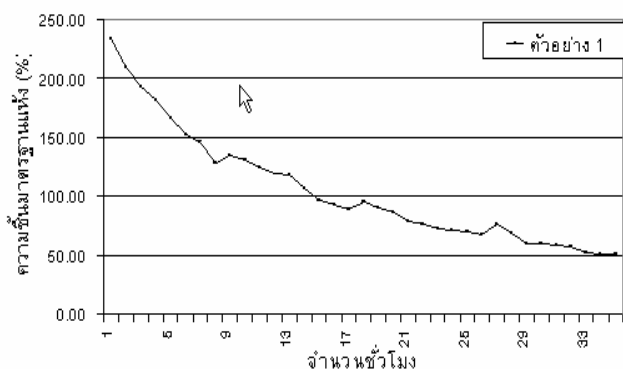
จากกราฟอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับล่าง)  $61.7^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับกลาง)  $63.8^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับบน)  $67.7^{\circ}C$  ซึ่งอุณหภูมิอากาศในระดับต่างๆ ของอุโมงค์อบแห้งไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับล่าง)  $52.1^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับกลาง)  $54.7^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับบน)  $57.4^{\circ}C$  อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย  $32.2^{\circ}C$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $620.0 W/m^2$  โดยเฉลี่ยทั้งวันมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์  $489.8 W/m^2$  ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $65.5\%$  และประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย  $54.9\%$

6.2 ออบแห้งผลิตภัณฑ์ (กล้วยน้ำว้า) จำนวน 150 กิโลกรัม และพริก จำนวน 20 กิโลกรัม คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้ความร้อนเสริมจากระบบ แก๊สชีวภาพ



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิภายในอุโมงค์อบแห้ง และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

จากกราฟอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับล่าง)  $62.7^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับกลาง)  $65.0^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับบน)  $64.7^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของอุโมงค์อบแห้งไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับล่าง)  $54.3^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับกลาง)  $56.1^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอุโมงค์อบแห้ง (ระดับบน)  $56.6^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย  $34.9^{\circ}\text{C}$

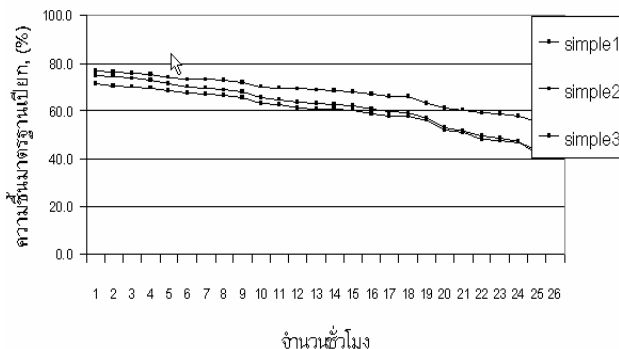


รูปที่ 6 ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (กล้วยน้ำว้า)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้งเป็นกล้วยน้ำว้า เท่ากับ 42.8%

### การอบแห้งพริก

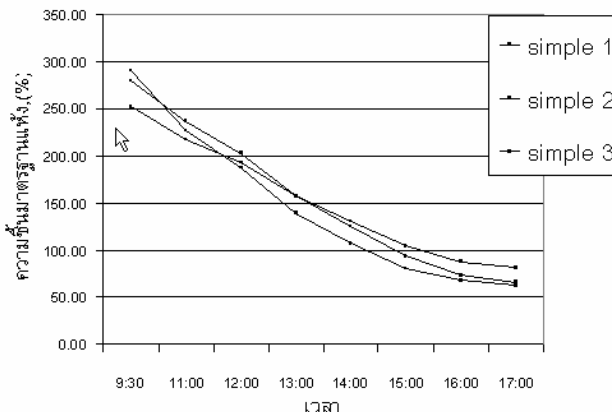
ทำการอบแห้งพริก จำนวน 20 กิโลกรัม ทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่มีระบบความร้อนเสริม เป็นการทดสอบภาคสนามกลางแจ้งเหมือนการอบแห้งผลิตภัณฑ์จริงโดยจะทำการอบแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์พริกที่มีคุณภาพและสามารถนำออกจำหน่ายได้จริงโดยใช้เวลาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2-3 วัน ทำการเก็บผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกเย็น เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์แบบไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 7 ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (พริก)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้งเป็นพริกจินดา เท่ากับ 33.4%

6.3 ทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์ มะม่วงแช่อิ่ม จำนวน 50 กิโลกรัม เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 8 ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (มะม่วงแช่อิ่ม)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้งเป็นมะม่วงแช่อิ่ม เท่ากับ 76.9% ประสิทธิภาพของมะม่วงแช่อิ่มสูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอื่นเนื่องจากเครื่องอบแห้งฯ สามารถระเหยน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ (มะม่วงแช่อิ่ม) ออกได้เร็วโดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 7.5 ชั่วโมงในขณะที่กล้วยน้ำว้าใช้เวลาในการอบแห้ง 31 ชั่วโมง และพริกใช้เวลาในการอบแห้ง 21.5 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ

มาก ทำให้ประสิทธิภาพของระบบฯ สูงกว่าการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชนิด  
อื่นๆ ซึ่งในการทดสอบและสังเกตเกิดจาก ผลิตภัณฑ์ที่ใช้วางในการ  
อบแห้งมีขนาดเล็กและบางทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำออกได้  
เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ

6.4 ทดสอบระบบพลังงานความร้อนเสริมจาก Biogas ร่วมกับเครื่อง  
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เปลือกกล้วยเป็นวัสดุทดสอบใน  
การหมัก

ในการทดสอบเป็นการเติมวัสดุเปลือกกล้วยที่ได้จากการปลอก  
กล้วยที่สุกพอประมาณจากการทำกล้วยตากจำนวน 230 กิโลกรัม  
ผสมกับมูลสุกร 150 กิโลกรัมเพื่อให้มูลสุกรเป็นตัวช่วยในการย่อย  
สลายของระบบโดยเติมในอัตราส่วน วัสดุ (เปลือกกล้วย และมูลสุกร)  
1 ส่วน และน้ำ 1 ส่วน (อัตราส่วน 1:1) การเติมวัสดุต่อวันประมาณ  
40-50 กิโลกรัม ใน 7 วันแรกอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบค่อยๆเกิดการ  
ย่อยสลายได้ดีและหลังจาก 7 วันไปแล้ว ก็เติมวัสดุวันละ 5-10 กิโลกรัม  
อย่างต่อเนื่องผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 เช่นเดิม จากการทดสอบพบว่า  
บ่อหมักจะใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 10-15 วัน จึงจะมีแก๊สชีวภาพ  
ที่สามารถจุดติดไฟได้ และแก๊สที่เกิดขึ้นเกิดอย่างต่อเนื่อง (ถ้ามีการ  
เติมวัสดุอย่างต่อเนื่องเช่นกัน) ในการทดสอบวัดแรงดันแก๊สเท่ากับ  
102.27 kPa,abs ในวันที่ 15 ของการหมัก เกิดการเผาไหม้ได้ยาวนาน  
ประมาณ 1 ชั่วโมง และเปิดแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบพลังงาน  
ความร้อนเสริมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า แก๊สชีวภาพ  
สามารถจุดติดไฟและใช้เป็นพลังงานความร้อนเสริมได้ ไม่มีกลิ่น และ  
แก๊สที่ออกมาเป็น แก๊สมีเทน  $CH_4$  เปลวไฟสีน้ำเงิน และสามารถ  
ส่งผ่านความร้อนจากตู้พลังงานความร้อนเสริมให้กับอุโมงค์อบแห้ง  
รักษาอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้อยู่ในระดับ 40-50 องศาเซลเซียสโดย  
เฉลี่ย (ในช่วงเวลา 16.00-17.00 น.) ข้อสังเกตถ้าใช้เปลือกกล้วย  
ดิบในการหมักจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ช้าถ้าเป็นได้ควรใช้เปลือก  
กล้วยที่สุกพอประมาณจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีและถ้าสับหรือ  
หั่นเปลือกกล้วยจะทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้นและเกิดแก๊สเร็วขึ้น



รูปที่ 9 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับบ่อแก๊สชีวภาพ  
และผลิตภัณฑ์อบแห้งในโครงการวิจัย

7. สรุป  
จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าโดย  
เฉลี่ย 54.9% ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงาน  
แสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งเป็น กล้วยน้ำว้า พริก  
และม่วงแช่ห่อ เท่ากับ 42.8%, 33.4% และ 76.9% ตามลำดับ  
สามารถปรับอุณหภูมิอากาศอบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อการ  
เผยแพร่

ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้เพื่ออบแห้งสำหรับการแปรรูป  
ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต

8. กิตติกรรมประกาศ  
คณะผู้ดำเนินการวิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการ  
วิจัยแห่งชาติที่อนุญาตให้ทุนสนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา  
สาขาสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์ งบประมาณแผ่นดิน  
ประจำปี 2547 และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุน  
งานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผู้ที่มีส่วนร่วมช่วยเหลือในการทดลองและเก็บข้อมูล  
ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนาม และขอขอบคุณทีมงาน  
นักวิจัยทุกท่าน เจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกท่านที่มีส่วน  
ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, บงกช ประสิทธิ์, สุขฤดี นาดกรณกุล  
และพิสิษฐ์ มณีโชติ, "รายงานการวิจัย การวิจัยพัฒนา  
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อการแปรรูปผลิต  
ผลทางการเกษตร," วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัย  
นเรศวร, 2546.
2. วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, ศิริสุข จินดารักษ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ,  
ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และ อัญชลี เทียนภู, "รายงาน  
การวิจัยโครงการ การพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่ การใช้  
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูป  
ผลิตผลทางการเกษตร," ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงาน  
แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2544.
3. พัชริน ดำรงกิตติกุล และพรพิมล อัญจันทร์ภักดี, "การทำงาน  
ของระบบก๊าซชีวภาพแบบคูขนานสำหรับฟาร์มสุกร ที่  
สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะเชียงใหม่ในช่วง  
ระหว่างเดือนมกราคม-ตุลาคม 2534," โครงการก๊าซชีวภาพไทย-  
เยอรมัน. กุมภาพันธ์ 2535, 2535.
4. สัมฤทธิ์ โม้พวง และคณะ, "การใช้ประโยชน์และการ  
กำจัดเปลือกกล้วย," ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2540, 2540.
5. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบาง  
ประเภท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
6. Duffie, J.A. and W.A. Beckman, 1980. Solar  
Engineering of Thermal Processes. John Wiley and  
Sons, New York.