

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระเทียม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากชีวมวล

จงจิตร หิรัญลาภ¹ ไสรจ กิรีเลิศ² โจเซฟ เดตารี³ รัตนชัย ไพรินทร์⁴
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
และ ศิรินุช จินดารักษ์⁵
มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการทำวิจัยในเรื่องนี้คือ การศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งกระเทียม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากชีวมวล ในเวลากลางวันที่มีแสงแดด จะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร วางเอียงทำมุม 14° และติดตั้งอยู่ด้านบนของเครื่องอบแห้ง ส่วนในเวลากลางคืนจะใช้พลังงานจากชีวมวล ซึ่งเป็นแก๊สที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ของถ่านไม้ แก๊สหลักที่เผาไหม้ได้คือ CO, CH₄, และ H₂ ค่าความร้อนรวมของแก๊สจากชีวมวลนี้จะมีค่าเท่ากับ 3.98 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ในการศึกษาจะอบกระเทียม 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 67 มาตรฐานเปียก ถึงความชื้นสุดท้ายร้อยละ 60 มาตรฐานเปียก อัตราการไหลของอากาศ 0.17 กิโลกรัมต่อวินาที การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี

คือ กรณีแรก อบแห้งโดยใช้พลังงานจากชีวมวลเพียงอย่างเดียวที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 55.6 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 14 ชั่วโมง

กรณีที่สอง อบแห้งโดยใช้พลังงานจากชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกันมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 45.4 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 15 ชั่วโมง

จากการศึกษาด้านความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งสองกรณี พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานที่ได้จากชีวมวลมากกว่าร้อยละ 60 แต่ในกรณีที่สองนั้นจะให้ผลตอบแทนสูงกว่า ถ้ากำหนดระยะเวลาในการอบแห้งไว้ที่ 60, 90 และ 140 วันต่อปี ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งกระเทียมจะอยู่ที่ 21.3, 16.4 และ 13.0 บาท/กิโลกรัมของกระเทียมแห้ง, หรือ 94.9, 73.1 และ 58.2 บาท/กิโลกรัมของน้ำที่ระเหย ตามลำดับ เมื่อกำหนดราคาขาย 60 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4, 3 และ 2 ปีตามลำดับ

คำสำคัญ : การอบแห้งกระเทียม/พลังงานแสงอาทิตย์/พลังงานจากชีวมวล/ความสิ้นเปลืองพลังงาน

¹ รองศาสตราจารย์ คณะพลังงานและวัสดุ

⁴ อาจารย์ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

² นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะพลังงานและวัสดุ

⁵ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์

³ ผู้เชี่ยวชาญ คณะพลังงานและวัสดุ

Performance of Garlic Drying by Solar Energy Combined with Producer Gas

Jongjit Hirunlabb¹ Soroj Keereelird² Joseph Khedari³ Rattanachai Pairintra⁴

King Mongkut's University of Technology Thonburi

and Sirinuch Chindaruksa⁵

Naresuan University

Abstract

The main objective of this research is to study and to design a pilot scaled dryer using the combination of solar energy and producer gas for garlic drying. During sunshine, the solar energy is preferably used by passing air through a 2.5 m² solar collector which is located in the top of the dryer at 14° of the inclination, while during no sunshine, the producer gas which is generated from charcoal gasifier is preferably used. The main combustible gases in producer gas are CO, CH₄, and H₂, the total heating value of producer gas is 3.98 MJ/m³.

The experiments were carried out by varying the conditions of garlic drying. The appropriate conditions of 30 kg of garlics drying from the initial moisture content of 67% (wb) to the final moisture content of 60% (wb) were studied. The drying period was divided into 2 cases; the first one, drying by using producer gas only and the second one drying by using the combination of the solar and producer gas energy. In the first case, it was found that the average drying temperature was 55.6 °C and the drying time was 14 hour. For the second case; the average drying temperature was 45.4 °C and the drying time was 15 h, while the drying air flow rate was 0.17 kg/s in the both cases. The study of energy consumption indicated that both cases consumed energy from producer gas more than 60%. The economic analysis for the second, the drying time is fixed at 60, 90 and 140 days/year, the costs of dried garlic are 21.3, 16.4 and 13.0 Baht/kg dried garlic respectively, and the drying costs for evaporation are 94.9, 73.1 and 58.2 Baht/kg H₂O evap. respectively. When the selling price is fixed at 60 Baht, the payback periods are 4, 3 and 2 years.

Keywords : Garlic drying, solar energy, producer gas, energy consumption

¹ Associate Professor, School of Energy and Materials

⁴ Lecturer, School of Bioresource and Technology

² Graduate Student, School of Energy and Materials

⁵ Lecturer, Faculty of Science

³ Expert of School of Energy and Materials

คำนำ

การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ตามธรรมชาติเป็นวิธีดั้งเดิมและประหยัดที่สุด เพื่อใช้กับผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้วิธีวางแผ่ลงบนพื้นหรือบนภาชนะที่ใส่องรับ และทำให้แห้งโดยตากแดดหรือตากลม ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถป้องกันฝุ่นละออง นก หรือแมลงต่างๆ ได้ จึงทำให้ผลผลิตมีคุณภาพต่ำ ไม่สะอาด และเกิดการเน่าเสียเนื่องจากไม่สามารถลดความชื้นลงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ และประการที่สำคัญที่สุดคือไม่สามารถทำงานหรืออบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำให้แห้งโดยเฉพาะหลังจากที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือในช่วงฤดูฝน สามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพ

สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีทรัพยากรชีวมวลอยู่มากมาย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานได้ เช่น แกลบ, ถ่านไม้, ชังข้าวโพด, ชานอ้อย เป็นต้น เพื่อเป็นการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี ทำให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้มีการศึกษาใช้ถ่านไม้มาผลิตเป็นพลังงานจากชีวมวล โดยกระบวนการโปรติวเซอร์แกส ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนอันหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เพื่อนำมาใช้ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรขึ้น

กระบวนการเกิดโปรติวเซอร์แกส เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวล ให้เป็นพลังงานในรูปของแกส ซึ่งสามารถจะนำประโยชน์ไปใช้ได้อย่างกว้างขวางกว่ารูปชีวมวลเดิม อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเผาไหม้ได้ง่าย และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นอีกด้วย การนำโปรติวเซอร์แกสไปประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) 2. ใช้ในรูปของพลังงานกล (Shaft-Power) โดยนำโปรติวเซอร์แกสไปเดินเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งสามารถใช้เดินได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล แกสที่สามารถเผาไหม้ได้หลักๆ ในโปรติวเซอร์แกส คือ CO, CH₄ และ H₂ นอกจากนี้เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านหินแล้ว แกสที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) ได้ โดยร่วมกับกระบวนการทางเคมีอื่นๆ ซึ่งจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นเมทานอล (Methanol)

กระเทียมมีบทบาทสำคัญมากในทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นที่ยอมรับโคคมากในหมู่คนไทย ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของกระเทียมสด, กระเทียมแห้งหรือแม้แต่กระเทียมแคปซูลก็ตาม จากผลของการวิเคราะห์กระเทียมพบว่า มีสารอาหารที่ใช้บำรุงร่างกาย โดยจะมีคุณค่าของโปรตีน วิตามินสูงมากและยังเป็นผลดีต่อสุขภาพ โดยเฉพาะการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกายอีกด้วย โดยทั่วไปนิยมปลูกกันมากทางภาคเหนือของประเทศไทย ฤดูเก็บเกี่ยวกระเทียมจะมี 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์และเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมของทุกๆ ปี โดยปกติแล้วกระเทียมจะทำให้แห้งโดยการตากแดด 50-60 วันหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว ในตอนแรกความชื้นในกระเทียมเมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จใหม่ๆ จะอยู่ประมาณ ร้อยละ 67 มาตรฐานเปียก ซึ่งต้องทำให้ความชื้นลดลงอยู่ประมาณ ร้อยละ 60 มาตรฐานเปียก เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้กระเทียมเน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษา จากการตากแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลาในการตากแห้งนานมาก จึงได้มีความพยายามในการศึกษาหาวิธีการอบแห้งเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งให้ลดลง ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดี ซึ่งเป็นที่มาในการศึกษางานวิจัยนี้

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาการใช้พลังงานร่วมกันระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานจากชีวมวลที่ได้จากกระบวนการแกสซิฟิเคชัน (Gasification) ของถ่านไม้ เพื่อนำไปใช้ในการอบแห้งกระเทียม ขณะเดียวกันศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้โปรตีนเซอร์แกส ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังวิเคราะห์และประเมินทางเศรษฐศาสตร์กระบวนการอบแห้งด้วย

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

F. Pinaga, J.V. Czrbonell, J.L. Pena and J.J Miguel [1] สร้างแบบจำลองการอบแห้งกระเทียมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดกลืนกักเก็บพลังงาน และศึกษาการอบแห้งกระเทียมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์การกักเก็บพลังงานในซิลิกาเจล ใช้แบบจำลองทดลองในระบบปิดอากาศหมุนเวียนแบบต่อเนื่องระหว่างอาหาร และแผ่นดูดกลืนซึ่งบรรจุซิลิกาเจล พลังงานในกระบวนการอบแห้ง และข้อมูลความสมดุล ทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพัฒนาจากผลการทดลอง พบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเท่ากับ 746 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

วิรัช อรุณลักษณะดำรง [2] ศึกษาเตาผลิตแกสแบบไหลขึ้นเพื่อการเผาไหม้โดยตรง ใช้เตาผลิตแกสสูง 175 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 65 เซนติเมตรในเตาก่อด้วยอิฐทนไฟหนา 10 เซนติเมตร โดยรอบและตลอดทั้งเตา พบว่าจุดที่เหมาะสมในด้านของขนาดเชื้อเพลิง และปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมของเตาผลิตแกสอยู่ในช่วงขนาดความยาวของเชื้อเพลิง 2-3 เซนติเมตร และปริมาณอัตราการไหลของอากาศ 0.44-0.51 กิโลกรัมต่อนาที ในช่วงนี้ให้ผลผลิตแกสคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 28.7

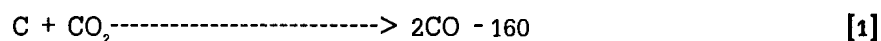
P.S. Madamba, P.H. Driscoll and K.A. Buckle [3] วิเคราะห์การผันแปรของความสัมพันธ์ระหว่างความหนา และความพรุนของกระเทียมที่มีผลจากความชื้นและความหนาของแผ่นกระเทียม ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะแปรผันโดยตรงกับความหนาของกระเทียม สำหรับปริมาณความชื้นและความหนาแน่นจะแปรผกผันกับความพรุนของกระเทียม

S.C. Bhattacharya and N. Shah [4] ใช้โปรตีนเซอร์แกสเพื่อใช้ในการอบแห้งข้าวโพดระบบที่ใช้เป็นเครื่องผลิตโปรตีนเซอร์แกสแบบอากาศไหลขึ้น เชื้อเพลิงที่ใช้คือแกลบและซังข้าวโพด พบว่าค่าความร้อนของแกลบคือ 15.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่า Fixed Carbon ร้อยละ 16.12 ในขณะที่ซังข้าวโพดมีค่าความร้อน 19.7 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่า Fixed Carbon ร้อยละ 11.7 เตาที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ผึ่งเตามีน้ำหล่อเย็น ผลิตโปรตีนเซอร์แกสผ่านสลับเบอร์ที่ใช้น้ำ และผ่านตัวกรองที่ใช้แกลบ เพื่อลดความร้อนและทาร์ในแกส จากการทดลองใช้อบแห้งข้าวโพด 1,500 ตัน ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 22 มาตรฐานเปียก ให้เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ในช่วงระยะเวลา 4 เดือน พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า 48 ชั่วโมงในแต่ละการทดลอง จากการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบที่ใช้แกสซิฟิเคชันมีค่าใช้จ่าย 40.38 บาทต่อวัน ในขณะที่ระบบที่ใช้น้ำมันมีค่าใช้จ่าย 55.74 บาทต่อวัน

Lalit R. Verma [5] ศึกษาเตาชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติของการเผาไหม้ชีวมวลของฟางข้าวหนัก 212 กิโลกรัม ความชื้นร้อยละ 16 มาตรฐานเปียก ความหนาแน่น 88.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าพลังงานความร้อน 2,820 เมกกะจูล ได้ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ 996 เมกกะจูล ประสิทธิภาพของเตาร้อยละ 35 ค่าความร้อนต่ำสุดของการเผาไหม้ 14.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม การเปลี่ยนแปลงของอากาศเมื่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการอบแห้ง 54.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ 20.4 ทำการอบแห้งข้าวเปลือกเมล็ดยาว 15,000 กิโลกรัม อบแห้งจากความชื้นประมาณ ร้อยละ 22 มาตรฐานเปียก จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 13 มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้ง 5 วัน

ขั้นตอนการใช้เครื่องและวิธีทดสอบ

ตู้อบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์ (รูปที่ 1) จะประกอบด้วย แผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร จะวางเอียงทำมุม 14° ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนของตู้อบแห้ง ที่มีขนาด 0.6 ลูกบาศก์เมตร ($1 \times 1 \times 0.6$ ลูกบาศก์เมตร) จะมีภาคเหล็กสำหรับวางกระเทียมอยู่ภายใน จำนวน 8 ถาด อากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะถูกดูดผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์โดยพัดลมขนาด 760 วัตต์ (B2) อัตราการไหลของอากาศร้อนถูกกำหนดไว้ที่ 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 และ 0.17 กิโลกรัมต่อวินาที น้ำหนักกระเทียมเริ่มต้น 30 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ ร้อยละ 67 มาตรฐานเปียก เตาเผาจะหล่อขึ้นด้วยซีเมนต์ทนไฟมี 3 ท่อน โดยมีความสูงผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร สูงท่อนละ 36 เซนติเมตร บรรจุกถ่านไม้ได้ 16 กิโลกรัม จากการวิเคราะห์พบว่าถ่านไม้จะประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 79.6 ไฮโดรเจนร้อยละ 3.0 ออกซิเจนร้อยละ 13.2 ไนโตรเจนร้อยละ 0.29 และซัลเฟอร์ร้อยละ 0.28 ค่าความร้อนของถ่านไม้ประมาณ 6,855 แคลอรี/กรัม เตาพลังงานจากชีวมวล (Gasifier) จะมีโยแกว้ใช้เป็นฉนวนในการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนที่ผิวเตา อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะได้จากพัดลมขนาด 760 วัตต์ (B1) เตานี้จะมีตะแกรงยึดอยู่ด้านบน ซึ่งเป็นทางไหลผ่านของแก๊ส แก๊สเผาไหม้หลักคือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Reduction ในชั้นแก๊สซิฟิกเคชันและสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 1



โดยค่าพลังงาน 160 เมกกะจูลต่อโมล เป็นพลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน (Endothermic Reaction)

ในการศึกษาการอบแห้งกระเทียมนี้เพื่อกำหนดสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับกระเทียม โดยจะศึกษาเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, อุณหภูมิ, ความสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเพื่อจะได้ทราบถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และระยะเวลาในการคืนทุนของระบบอบแห้ง

การศึกษาการอบแห้งกระเทียมจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ขั้นตอน

ในกรณีแรก จะอบกระเทียมให้แห้งโดยใช้อากาศร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของพลังงานชีวมวล อากาศร้อนจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะนำไปใช้อบแห้ง แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือใช้อบแห้ง ระหว่างเวลา 06.00 น. ถึง 13.00 น. และ 13.00 น. ถึง 20.00 น. เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่บรรจุในเตาเผาไหม้แต่ละครั้งสามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สได้ประมาณ 7 ชั่วโมง

สำหรับกรณีที่สอง อบกระเทียมให้แห้งโดยใช้พลังงานร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ กับพลังงานจากชีวมวลจะใช้อบแห้งระหว่างเวลา 02.00 น. ถึง 09.00 น. ในตอนเช้าหลังจากมีแสงอาทิตย์แล้วช่วง 09.00 น. ถึง 17.00 น. จะใช้พลังงานความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบนี้ ซึ่งมีเงินทุนที่ใช้สร้างตู้อบแห้ง 70,000 บาท ได้มีการกำหนดสมมุติฐานไว้ดังนี้

1. อายุการใช้งานของตู้อบแห้ง 10 ปี, คือค่าบำรุงรักษาร้อยละ 10 ของมูลค่าเครื่องอบแห้ง และอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งานร้อยละ 15 ต่อปี
2. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้ง คือ ค่าไฟฟ้า ค่าถ่านไม้ ประมาณ 35,000 บาท/ปี ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้รวมค่าแรงคนงานไว้
3. เวลาที่ใช้ปฏิบัติงานกำหนดไว้ที่ 14 ชั่วโมง/วัน ในขณะที่ระยะเวลารวมทั้งเครื่องทำงานนั้นมีหลายช่วงคือ 60, 90 และ 140 วัน/ปี

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลของการวิเคราะห์ โดยใช้เครื่อง Gas-Chromatography พบว่าแก๊สที่เผาไหม้ได้หลักๆ จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล คือ CO ร้อยละ 23.6, CH₄ ร้อยละ 0.78 และ H₂ ร้อยละ 0.2 ค่าความร้อนรวมของแก๊สประมาณ 3.98 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร พลังงานจากชีวมวลสามารถนำมาใช้อบแห้งได้หลังจากที่กระเทียมอยู่ในสภาวะไกลท์ที่จะมีความแห้งคงที่ โดยเฉพาะถ้าน้อยกว่าหนึ่งชั่วโมงในกระบวนการอบแห้ง ผลผลิตที่ได้มักจะประสบปัญหาที่เกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, อัตราการไหลของอากาศร้อนและเวลาในการอบแห้ง เมื่อทำการอบแห้งกระเทียมที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองพบว่ากระเทียมที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่ากระเทียมที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส คือ กระเทียมที่ได้จะมีเปลือกหุ้มกลีบอ่อน กลีบกระเทียมสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย และเนื้อภายในจะมีสีขาวนวล ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ในขณะที่ถ้าอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เปลือกจะไม่อ่อนและกลีบกระเทียมแกะออกจากกันได้ยาก แต่ถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส จะได้กระเทียมที่มีลักษณะเป็นเหมือนกระเทียมลวกไม่เป็นที่นิยมของตลาด และจากการศึกษาถึงอัตราการไหลอากาศร้อนที่เหมาะสม พบว่าที่ 0.17 กิโลกรัมต่อวินาที จะเป็นอัตราการไหลอากาศร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งได้ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้มาจาก 3 แหล่งด้วยกันคือ 1. พลังงานจากชีวมวล 2. พลังงานแสงอาทิตย์ 3. พลังงานไฟฟ้า ตารางที่ 1 แสดงถึงผลการทดลองของการอบกระเทียมทั้งสองกรณี

ตารางที่ 1 ผลการทดลองจากการอบแห้งกระเทียมโดยใช้พลังงานจากชีวมวลและพลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียด	การทดลองแบบที่	
	1	2
สภาวะการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)	0.17	0.17
อุณหภูมิในตู้อบ (°C) ช่วงแรก (พลังงานจากชีวมวลเท่านั้น) ช่วงสอง(พลังงานจากชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์)	56.1 55.1	51.4 39.2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (ความชื้น %)	30.2 °C (66.4)	28.5 °C(64.3)
สภาวะของกระเทียม น้ำหนักเริ่มแรก (ความชื้น % wb) น้ำหนักหลังอบ (ความชื้น % wb)	28.3 kg (67.2) 21.1 kg (59.8)	31.2 kg (67.2) 25.5 kg (59.9)
ความเข้มของแสงอาทิตย์ (MJ/m ² /day)		12.7
ความสิ้นเปลืองพลังงาน (อัตราส่วนร้อยละ) (MJ/kg น้ำที่ระเหย) พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	 64.5 (76.1) 20.3 (23.9) 84.8 (100.0)	 4.3 (10) 26.8 (61.9) 12.1 (27.9) 43.3 (100.0)
เวลาในการอบแห้ง (ช.ม.) ช่วงแรก ช่วงหลัง เวลารวม	 7 7 14	 7 8 15

จากตารางพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกระเทียมของทั้งสองกรณีไม่ต่างกันมากนัก คือ กรณีที่ 1 ใช้พลังงานจากชีวมวลเพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง กรณีที่ 2 ใช้พลังงานจากชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมง รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งสำหรับกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งของกรณีที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 และสามารถที่ใช้พลังงานจากชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งกระเทียมได้อย่างต่อเนื่องและเหมาะสม ซึ่งช่วงแรกอบแห้งโดยใช้พลังงานจากชีวมวลเป็นเวลา 7 ชั่วโมงและอบแห้งต่อด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากพลังงานจากชีวมวลคือมากกว่าร้อยละ 60 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด แต่ข้อได้เปรียบของกรณีที่ 2 คือถ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากชีวมวลสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ที่ความเข้มพลังงานรังสีอาทิตย์ 12.7 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

จากข้อมูลพื้นฐานที่กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการอบแห้งกระเทียมและจุดคุ้มทุนของทั้ง 2 กรณี โดยทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งที่ระยะเวลาในการอบแห้งแบ่งออกเป็น 60 วัน, 90 วัน และ 140 วันต่อปี ซึ่งเวลาที่ทำการอบแห้งนี้จะขึ้นอยู่กับฤดูกาลของผลผลิตกระเทียม และในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งกระเทียมนี้ จะคิดที่ราคาขายของกระเทียม 40 บาท, 60 บาท และ 80 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการอบแห้งกระเทียม

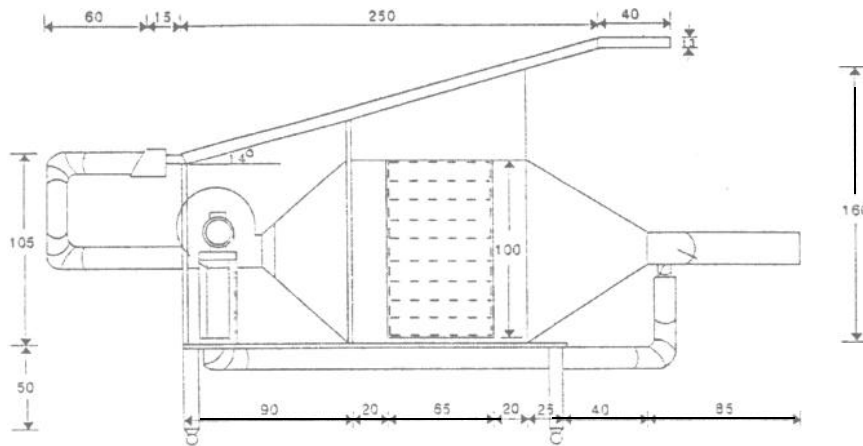
เวลาทำงาน (วัน)	60		90		140	
กรณี	1	2	1	2	1	2
ค่าใช้จ่ายทั้งปี	42,412	32,466	52,624	37,105	69,644	46,437
ค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำ (บาท/กิโลกรัม น้ำระเหย)	135.9	94.9	112.4	13.5	95.7	58.2
ค่าใช้จ่ายกระเทียมแห้ง (บาท/กิโลกรัมกระเทียมแห้ง)	30.6	21.2	25.3	16.4	21.6	13
ระยะเวลาคุ้มทุน (ปี)						
40 uIn	-	-	-	7.5	-	5
60 uIn	9	4	6	3	5	2
80 uIn	4	2.5	3	1.8	2.5	1.3

จากตารางที่ 2 พบว่า ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งนี้ จะขึ้นอยู่กับเวลาในการผลิต ราคาขายของกระเทียมแห้ง ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกระเทียมสดต่อปีนี้น้อยมาก (มากที่สุดเพียง 140 วัน) ถ้าได้มีการนำเครื่องอบแห้งนี้ไปใช้อบแห้งผลผลิตทางการเกษตรอื่น เช่น พริกหรือหอม แบ่งแล้วจะเป็นการลดระยะเวลาคืนทุน และทำให้มีการใช้เครื่องอบแห้งได้อย่างคุ้มค่าแก่การลงทุนอีกด้วย

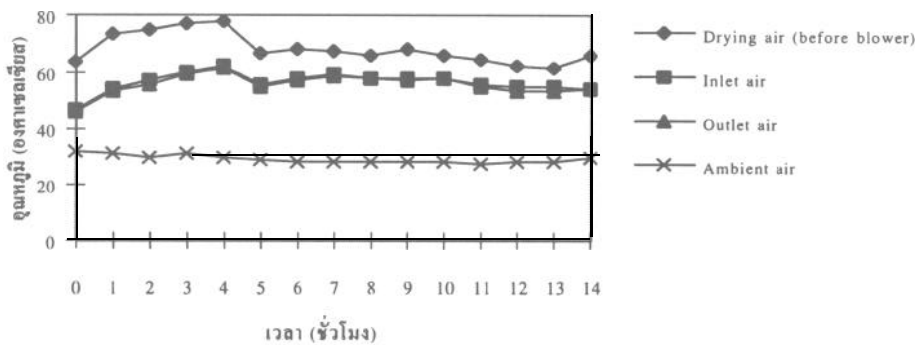
สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานจากชีวมวล พบว่าสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างต่อเนื่อง โดยจะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในเวลาที่มิแสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานจากชีวมวล เมื่อใช้เครื่องอบแห้งกระเทียมที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 67 มาตรฐานเปียก จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 60 มาตรฐานเปียก พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมคือ 0.17 กิโลกรัมต่อวินาที ใช้เวลาในการอบแห้ง 14 และ 15 ชั่วโมง เมื่อทำการอบแห้งด้วยพลังงานจากชีวมวลและพลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานจากชีวมวลกับพลังงานแสงอาทิตย์ตามลำดับ และในการอบแห้งที่ใช้พลังงานร่วม

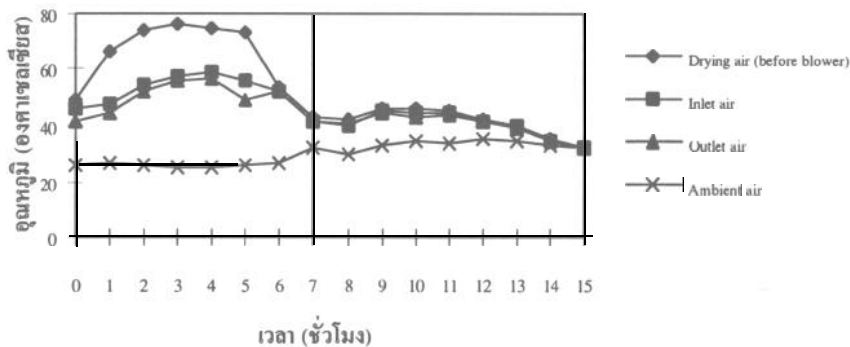
ระหว่างพลังงานจากชีวมวลกับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งที่ทำการอบแห้ง 60, 90 และ 140 วันต่อปี พบว่าค่าใช้จ่ายในการอบแห้งกระเทียม คือ 94.9, 73.1 และ 58.2 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหยตามลำดับ ระยะเวลาคืนทุนคือ 4 ปี, 3 ปี และ 2 ปี ตามลำดับเมื่อกำหนดราคาขายเท่ากับ 60 บาทต่อกิโลกรัม



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโปรคิวเซอร์แกส



รูปที่ 2 อุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโปรคิวเซอร์แกส



รูปที่ 3 อุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโปรคิวเซอร์แกส

เอกสารอ้างอิง

1. Pinaga, F., Carbonell, J.V. and Mipuel, J.L., 1984, "Experimental simulation of solar drying of garlic using and absorbent energy storage bed," *Journal of Food Engineering*, Vol.1.3, pp. 187-203.
2. วิรัช อรุณลักษณ์ดำรง, 2531, เตาเผาก๊าซแบบไหลขึ้นเพื่อการเผาไหม้โดยตรง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
3. Madamba, P.S., Driscoll, R.H. and Buckle, K.A., 1993, "Bulk density porosity and resistance to airflow of garlic slices." *Drying Technology*, Vol. 11, No. 7 pp. 1837-1854.
4. Bhattacharya, S.C. and Shah, N., 1986, "Utilization of producer gas for drying agricultural crop," *Journal of Asean Conference on Energy from Biomass*, Vol.1.15, No.7, pp.1-10.
5. Verma, L.R., 1986, "Drying using a biomass furnace," *Journal of Asean Conference on Energy from Biomass*, Vol. 18, No. 9, pp. 247-254.
6. ณัฐวุฒิ คุชฎี, พิชัย นามประกาย, ศิริชัย เทพา, จงจิตร หิรัญลาก และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535, "การอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม," *การประชุมทางวิชาการเรื่องความก้าวหน้าทางวิศวกรรมเคมี* วันที่ 25-26 มิถุนายน 2535, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 1-12.
7. Pairintra, R. et al, 1991, "Case Study on Pyrolysis Zone and Pyrolysis Products from Up-flow Biomass Gasifier" *The Society of Agricultural Structures*, 21 (1)pp. 103-110 Japan.
8. Keereelird, S. 1996, "Garlices by Solar Energy Combined with Producer Gas" *Thesis Master of Engineering Program*, School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi.
9. Tanthasakun, S., 1993, "Steam Gasification in up-flow Biomass Gasifier" *Thesis Master of Engineering Program*, School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technogy Thonburi.
10. วันชัย วิจิรวนิช และช่อม พลอยมีค่า, 2535, *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 45-75.