

การอบแห้งพริกโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น CHILLI DRYING BY PRODUCER GAS FROM AN UP-FLOW GASIFIER

จงจิตร หิรัญลาก ชนากานต์ อาษาสุจิริต และ โจเซฟ เคดารี
Jongjit Hirunlabh, Chanakan Asasutjarit and Joseph Khredari

คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สุขสวัสดิ์ 48 บางมด กรุงเทพฯ 10140

School of Energy and Materials,
King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Suksawat 48, Bangmod, Bangkok 10140, Thailand

ศิรินุช จินดารักษ์
Sirinuch Chindaruksa

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University,
Muang, Phitsanulok 65000, Thailand

บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องใช้ความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) โดยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊สประกอบด้วย ระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สระบบทำความสะอาดแก๊ส ห้องเผาไหม้เครื่องอบแห้ง พัดลมเป่าอากาศ และส่วนประกอบที่สำคัญของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน โปรดิวเซอร์แก๊สนี้มีความร้อนประมาณ $17,319 \text{ kJ/Nm}^3$ ระบบอบแห้งนี้มีการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งเป็นระบบบังคับ โดยใช้พัดลมขนาด 760 W มีระบบควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งตามต้องการได้ และระบบอบแห้งนี้สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ตู้บรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความกว้าง 0.6 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1 เมตร สามารถวางถาดบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 8 ถาด ในการทดลองนี้สามารถควบคุมคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแดงได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะปราศจากสิ่งปนเปื้อนและฝุ่นละออง โดยตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ

เมื่อทำการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงที่มีการผ่านน้ำเมล็ดออกโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊ส พบว่าสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมคือ อัตราการไหลของอากาศ 0.082 kg/s อุณหภูมิในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ย 63°C อบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงสด ปริมาณ 17.2 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น

ร้อยละ 86 มาตรฐานเปียก จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือประมาณร้อยละ 15 มาตรฐานเปียก การอบแห้งนี้เป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่อง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 19 ชั่วโมง

เมื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบอบแห้ง พิจารณาจากพลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊สแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส เตา และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องอบแห้ง มีประสิทธิภาพตามลำดับดังนี้คือ 48.9%, 7.0% และ 9.2% พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง พริกชี้ฟ้าแดง 17.2 kg คิดเป็น 33.5 MJ/kg H_2O evap. ซึ่งมีการใช้พลังงานความร้อนโดยแยกตามแหล่งพลังงานต่างๆ คือ พลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊ส 24 MJ/kg H_2O evap. และพลังงานที่ได้จากมอเตอร์ของพัดลมเป่าอากาศ 9.5 MJ/kg H_2O evap. คิดเป็น 71.6% และ 28.4% ของพลังงานที่สิ้นเปลืองทั้งหมดตามลำดับ โดยมีต้นทุนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 1 kg ออกจากพริกชี้ฟ้าแดงของเครื่องอบแห้งนี้ มีค่า 54.3 Baht/kg H_2O evap. เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี

คำสำคัญ (Keywords) : เครื่องอบแห้ง / โปรดิวเซอร์แก๊ส / การอบแห้ง / พริกชี้ฟ้า / ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ABSTRACT

The objective of this research is to study chilli drying by using producer gas energy from an upflow charcoal gasifier. The combustible producer gas are CO , H_2 , and CH_4 with a low heating value (LHV) about 17,319 kJ/Nm³. This drying system can control the air mass flow rate by using 760 W of blower and it can be continuously operated. The experiments were carried out by using eight-tray cabinet dryer of 0.6 m width, 1 m length and 1 m height. This method can control the quality of chilli, reduce impurities. Operating parameters affecting product quality, drying time and air mass flow rate were investigated.

It was found that the suitable condition for drying chilli from 86%wb to 15%wb can be obtained when the gas producer is operated at the temperature of 63°C and the air mass flow rate of 0.082 kg/s. The drying time for drying chilli using this condition is 19 hours.

The efficiency of this system can be divided into three parts. The efficiency of the combustion room, the heat exchanger and the dryer are 48.9%, 7.0% and 9.2%, respectively. The total energy consumed for drying 17.2 kg of chilli was 33.5 MJ/kg H_2O evap. which was obtained from producer gas and blower in percentages of 71.6% and 28.4%, respectively.

The total production cost including operating expenses, energy, labour and initial investment is about 54.3 Baht/kg H₂O evap. by assuming an operating life of 10 years.

Keywords : Dryer / Producer gas / Drying / Chilli / Energy consumption

บทนำ

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีการบริโภคผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณที่สูงมาก พริกเป็นหนึ่งในจำนวนนั้น ซึ่งมีผู้นิยมบริโภคกันทั้งในรูปพริกสดและพริกแห้ง จากผลการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของพริกแห้งพบว่า มีโปรตีนและวิตามินในปริมาณสูง

การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งในการถนอมคุณค่าของผลผลิตทางการเกษตร การใช้แสงอาทิตย์โดยตรงในการตากกลางแจ้งมีใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว แต่ยังเป็นวิธีที่ไม่ถูกสุขอนามัย เนื่องจากจะเกิดการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกได้ง่าย และยังขึ้นกับสภาพภูมิอากาศด้วย นอกจากนี้แม้จะมีแนวโน้มที่ราคาน้ำมันดิบจะลดลงในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา แต่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงยังคงมีราคาแพงมากโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงผลักดันในประเทศกำลังพัฒนาเหล่านั้นต้องเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในท้องถิ่น ให้เกิดประโยชน์ต่อระบบเศรษฐกิจ และมีความเหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับประชากรในชนบท

การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการผลิตพลังงานจากมวลชีวภาพ แต่ในบางกรณีการผลิตให้เป็นแก๊ส (Gasification) จะมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่า กล่าวคือ โปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) จากกระบวนการผลิตแก๊ส (Gasification Process) จะมีความสะอาด และสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) เช่นใน

กรณีของการผลิตกำลังไฟฟ้า

โปรดิวเซอร์แก๊สจากมวลชีวภาพมีศักยภาพสูง และเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานในพื้นที่ชนบท เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ ทั้งทางด้านประสิทธิภาพของพลังงานและทางด้านเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าโปรดิวเซอร์แก๊สจากมวลชีวภาพ มีข้อได้เปรียบมากกว่า และสามารถสนองตอบต่อความต้องการดังกล่าวข้างต้นได้ การใช้ประโยชน์โปรดิวเซอร์แก๊สจากมวลชีวภาพในชนบท นอกจากนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์แล้ว ยังนำไปใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแก่วัสดุสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อีกหลายรูปแบบ การอบแห้งพริกโดยใช้ความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นวิธีค่อนข้างใหม่ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีปราศจากสิ่งปนเปื้อน จึงเหมาะสำหรับการถนอมอาหาร นอกจากนี้ระบบนี้ยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

การวิจัยนี้ จะพิจารณาถึงประโยชน์ของพลังงานจากมวลชีวภาพ จากถ่านไม้ คือนำถ่านไม้เผาในเตาผลิตแก๊ส (Gasifier) เพื่อผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาวิธีการอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊ส
2. ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้งพริก และหาเงื่อนไขการทำงานที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับตู้อบแห้ง

3. ประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และทางเทคนิค

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตากแห้งพริกตามธรรมชาติในวันที่มีรังสีอาทิตย์เพียงพอ จะใช้เวลาประมาณ 3-8 วัน [1] ซึ่งประสบปัญหา ในด้านการปนเปื้อนของฝุ่นละออง และการรบกวนจากแมลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ยังไม่สามารถทำงานได้ในวันที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ และในฤดูฝน ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากโปรตีนเซอร์แก๊ส เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการตากแห้งตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ และเป็นการพัฒนาการใช้พลังงานความร้อนจากโปรตีนเซอร์แก๊สอีกด้วย โดยมุ่งหวังที่จะให้มีการใช้เครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับปริมาณผลผลิตที่ต้องการ อันจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอบแห้งพริกต่อไป

ธรากร สกุลพานิช และปิยะ วงทิตธิวัช [2] ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สจากกะลามะพร้าว โดยใช้เครื่องผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) ซึ่งได้ถูกออกแบบมาใช้กับไม้พิน จากการศึกษาที่อัตราการไหลของอากาศ 7.7-30.6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดของกะลามะพร้าว 1.3-5 เซนติเมตร และเวลาที่ใช้ในการผลิตแก๊ส 3-6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการผลิตแก๊ส 4 ชั่วโมง จะได้ปริมาณถ่านอยู่ในช่วงร้อยละ 12.8-30 และที่อัตราการไหลอากาศ 15.3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะได้ปริมาณถ่านสูงสุดร้อยละ 30

F.A. Payne [3] ศึกษาการคำนวณอัตราการไหลของมวลและพลังงานในระบบการเผาไหม้มวลชีวภาพ เทคนิคการคำนวณในการที่จะนำมวลชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย จากค่าความร้อนของการเผาไหม้ในบอมคาลอริมิเตอร์ และปริมาณความชื้นเป็นการทำให้เกิดความสมดุลของสมการจาก

การทดลอง โดยคำนวณอุณหภูมิการเผาไหม้ และส่วนประกอบของไอเสีย สมการตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความร้อนสุทธิของการเผาไหม้มวลชีวภาพต่อปริมาณความชื้นที่ระเหยออกมา โดยมีตัวอย่างการคำนวณ เป็นต้น

Ida Bagus Agra *et al.* [4] ได้ทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงพบว่าความเข้มข้นของ CO สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ และจากการทดลองครั้งนี้ พบว่า เมื่อใช้ขนาดกะลามะพร้าวเล็กกว่า 1.3 เซนติเมตร อัตราการไหลของอากาศที่เข้า 3.7 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง ที่เวลาผ่านมา 80 นาที จึงเริ่มเก็บแก๊สมาวิเคราะห์ มีเปอร์เซ็นต์ CO ในโปรตีนเซอร์แก๊สที่ผลิตได้สูงสุดร้อยละ 33.5

สวิก เพ็งอัน [5] ทำการอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนได้พิกพบ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-60 °C เวลาที่ใช้ในการอบแห้งพริกแดงและพริกสด เท่ากับ 72 และ 108 ชั่วโมงตามลำดับ อัตราส่วนในการแปรน้ำหนัสด่อน้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.20:1 ตามลำดับ

ณอคณ ลิทธิพงษ์ [6] ทำการอบแห้งพริกในโรงอบแห้งขนาดเล็กซึ่งใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงพบว่าประสิทธิภาพในการอบแห้งของพริกใหญ่ และพริกเล็ก ที่ดีที่สุดจะมีค่าเท่ากันคือร้อยละ 82 ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 80 มาตรฐานเปียก และร้อยละ 76.5 มาตรฐานเปียก ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 12 มาตรฐานเปียก และร้อยละ 8.2 มาตรฐานเปียก เวลาในการอบแห้ง 43 ชั่วโมง และ 60 ชั่วโมงพินที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 218 กิโลกรัม และ 162 กิโลกรัมตามลำดับ ผลจากการอบแห้งในโรงบ่มไบยาสูบตัดแปลงที่ใช้พินเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ประสิทธิภาพในการอบแห้งของพริกร้อยละ 14.7 ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 78 มาตรฐานเปียก ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 6 มาตรฐาน

เป็ยก เวลาในการอบแห้ง 111 ชั่วโมง และพื้นที่ใช้
ทั้งหมด 910 กิโลกรัม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้
พลังงานจากโปรตีนเซอร์แก๊ส ส่วนประกอบของระบบ
อบแห้งแสดงในรูปที่ 1 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์
ดังนี้

- ตู้อบแห้งจะมีปริมาตร 0.6 ลูกบาศก์เมตร
โดยมีขนาดกว้าง 0.6 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1 เมตร
มีชั้นโลหะ 8 ชั้น ใช้ในการอบพริกได้ครั้งละ 17
กิโลกรัม ด้านหน้าและด้านหลังของตู้อบแห้งมีประตู
สำหรับนำผลผลิตก้นตู้แห้งเข้า และออกจากตู้อบแห้ง

- พัดลมเป่าอากาศขนาด 760 วัตต์ ให้
ปริมาณลมได้สูงสุด 52 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สำหรับ
อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าห้องตู้อบแห้ง สามารถ
ควบคุมได้โดยใช้เครื่องควบคุมการหมุนของมอเตอร์

- เตาผลิตแก๊สมีรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่า-
ศูนย์กลางภายใน 30 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร
หนา 2.5 เซนติเมตร สามารถป้อนถ่านไม้ได้ครั้งละ 17
กิโลกรัม และมีพัดลมเป่าอากาศขนาด 760 วัตต์ ที่
สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเข้าเตาผลิต
แก๊สด้วยวาล์วปีกผีเสื้อ

- ไซโคลน (Cyclone) แบบแห้ง เป็นเครื่อง
มือทำความสะอาดแก๊ส ซึ่งใช้หลักของแรงหนีศูนย์กลาง
ที่เกิดจากการหมุนของกระแสแก๊ส โดยปกติไซโคลนใช้
กำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอนมีความ
สามารถในการกำจัดฝุ่นได้สูงสุดถึง 90 เปอร์เซ็นต์

- อิมพินเจอร์ (Impinger) แบบแห้งเป็น
เครื่องมือที่ใช้กำจัดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10
ไมครอน โดยให้แก๊สที่มีอนุภาคฝุ่นผ่านท่อซึ่งส่งไปยัง
คอลัมน์ที่หล่อเย็นด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 0°C เพื่อทำการ
ควบแน่นสิ่งสกปรกภายในกระแสแก๊ส แก๊สที่ได้จะมี

การเก็บตัวอย่างโปรตีนเซอร์แก๊สนำไปวิเคราะห์ด้วย
เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีต่อไป

- ตัวกรอง (Filter) ทำด้วยสาลีบรรจุไว้ใน
หลอดแก้วรูปตัวยู แก๊สที่มีอนุภาคฝุ่นปะปนอยู่จะไหล
ผ่านตัวกรองที่มีรูละเอียดมากๆ อนุภาคฝุ่นที่มีขนาด
ใหญ่กว่าสาลีจะไม่สามารถผ่านไปได้แก๊สที่ไหลผ่านตัว
กรองนี้จะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้าง (dew point)
เพื่อป้องกันการอุดตันของสาลีเร็วเกินไป และจะต้องทำ
ความสะอาดหรือเปลี่ยนใหม่เสมอๆ (ติดตั้งขณะที่มี
การเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง
แก๊สโครมาโตกราฟี)

- ห้องเผาไหม้ หลังจากที่ได้โปรตีนเซอร์แก๊ส
แล้วจะถูกส่งเข้าไปยังห้องเผาไหม้ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่า-
ศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 1.20 เมตร หุ้มด้วยฉนวน
กันการสูญเสียความร้อนหนา 0.05 เมตร เพื่อทำการ
สันดาปให้เกิดความร้อน เพื่อนำไปใช้ในการอบแห้ง

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะเป็น
แบบ cross flow ชนิด air to air ติดตั้งอยู่ด้านบน
ของห้องเผาไหม้ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับ
อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

- เครื่องวัดอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิของการ
ทดลองจะใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบเค (Thermocouple
Type K) ต่อเข้ากับช่องรับสัญญาณอุณหภูมิของ
เครื่องเก็บข้อมูล (Data logger) บริษัท
YOKOGAWA โมเดล 308721 และ โมเดล 4156

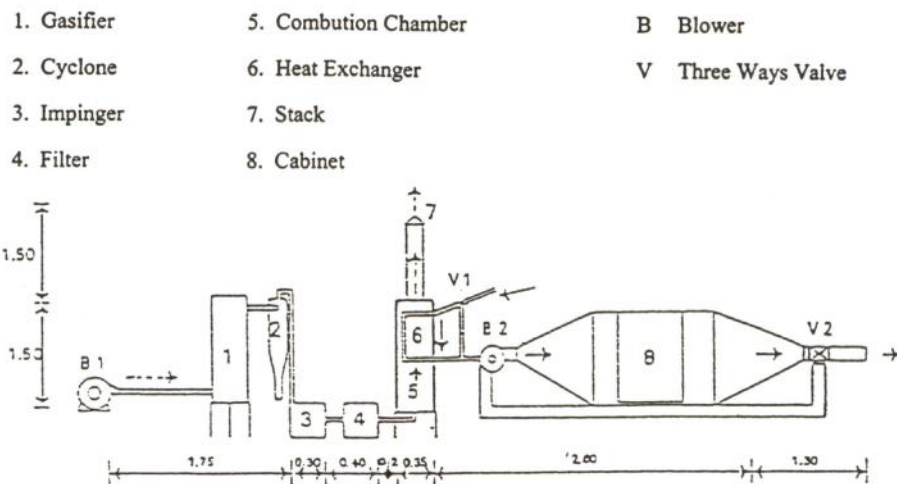
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ใช้เป็นการวัดอุณหภูมิ
กระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งแทนการ
ตรวจแบบอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง

- มาตรวัดไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter)
สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์
ของพัดลมชนิด single-kWh meter โมเดล LOGI
1200 r/kW-h

- เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบลวดความร้อน (hotwire anemometer) โมเดล 24-6111 สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

จะมีการศึกษาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณการใช้พลังงานเพื่อหา

เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม นอกจากนี้จะต้องมีการศึกษาพารามิเตอร์ในการทำงานเพื่อหาศักยภาพสมรรถนะ และประสิทธิภาพของพลังงานของโปรติวเซอร์แก๊สและตู้อบแห้ง รวมทั้งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เหมาะสมด้วย



รูปที่ 1 องค์ประกอบของระบบอบแห้งพริกโดยใช้โปรติวเซอร์แก๊ส

การผลิตแก๊สจะเป็นการเปลี่ยนคาร์บอนที่อยู่ในมวลชีวภาพให้อยู่ในรูปของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (เช่น CO , H_2 และ CH_4) สารระเหยและของเหลวที่ควบแน่นได้ต่าง ๆ ในบริเวณที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ (Combustible Zone) ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นระหว่างออกซิเจนในอากาศและคาร์บอนในมวลชีวภาพดังนี้



ส่วนบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Reduction Zone) จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ซึ่งผลผลิตจากเตาผลิตแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ จะมีค่าความร้อนสูง (High Heating Value) เท่ากับ 4.95 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และมีองค์ประกอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของโปรติวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊ส

องค์ประกอบ	% โดยปริมาตร
Carbon monoxide, CO	23.6
Methane, CH_4	1.7
Hydrogen, H_2	7.4
Nitrogen, N_2	67.3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ทำการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงที่ผ้านำเมล็ดออกก่อนอบแห้ง น้ำหนักประมาณ 17 กิโลกรัม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้ง โดยพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความสิ้นเปลืองพลังงานเป็นหลัก มีการกำหนดเงื่อนไขของการทดลองดังนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

2. อัตราการไหลของอากาศที่ใช้คือ 0.062, 0.082 และ 0.1 กิโลกรัมต่อวินาที

ผลการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม

สำหรับการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงคือ 60 องศาเซลเซียส ถ้าใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแล้วจะได้พริกแดงที่มีคุณภาพต่ำ แห้งช้า (และถ้าอุณหภูมิที่สูงกว่าเป็น 70 องศาเซลเซียส จะให้พริกแห้งสีคล้ำ ไม่ได้คุณภาพตามที่ตลาดต้องการ) จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดง และจากคุณสมบัติของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านภายในห้องอบแห้งเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายใน พบว่าอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งที่ทำให้อุณหภูมิภายในที่สามารถควบคุมได้มีค่าประมาณ 63 องศาเซลเซียส คือที่ 0.082 กิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงโดยใช้เครื่องอบแห้งนี้และให้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของการอบพริก

เงื่อนไขการอบแห้ง	
- อัตราการไหลของอากาศ (กิโลกรัม/วินาที)	0.082
- อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบแห้ง (°C)	63.0
เงื่อนไขสภาวะอากาศแวดล้อมเฉลี่ย	
- อุณหภูมิ (°C)	27.3
- ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	72.7
เงื่อนไขของพริก	
- ความชื้นเริ่มต้น (% มาตรฐานแห้ง)	615.2
- ความชื้นสุดท้าย (% มาตรฐานแห้ง)	17.8
- ความชื้นเริ่มต้น (% มาตรฐานเปียก)	86.0
- ความชื้นสุดท้าย (% มาตรฐานเปียก)	15.1
- น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	17.2
- น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	2.8
- วัสดุแห้ง (กิโลกรัม)	2.4
ปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกกะจูล/กก. ใอน้ำ)	
- โปรตีนเซอร์แก๊ส	24.0
- ไฟฟ้าสำหรับพัดลมเป่าอากาศ	9.5
- รวมทั้งหมด	33.5
เวลาในการอบแห้ง (ชม.)	19

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางนี้ ได้มีการปัดเศษเลขทศนิยม

จากตารางพบว่าอัตราการไหลของโปรติวเซอร์ แก๊สภายในห้องอบแห้ง 0.082 กิโลกรัมต่อวินาที มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยประมาณ 63 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 19 ชั่วโมง มีการป้อนถ่านไม้เข้าเตาผลิตแก๊ส 3 ครั้ง เป็นการให้ความร้อนจากโปรติวเซอร์แก๊สทั้งหมด มีความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมด 33.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย แบ่งเป็นพลังงานจากโปรติวเซอร์แก๊สร้อยละ 71.6 และจากไฟฟ้าร้อยละ 28.4 พิจารณาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่าพริกชี้ฟ้าแห้งที่ได้มีสีแดงสด คุณภาพดี ตรงกับความต้องการของตลาด

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

1. ในการศึกษาได้มีการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งสำหรับอบแห้งพริกชี้ฟ้า โดยมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

1. เงินลงทุนของตู้อบแห้ง 65,000 บาท
2. อัตราดอกเบี้ย ร้อยละ 12 ต่อปี
3. อายุการใช้งานทางเศรษฐศาสตร์ของตู้อบแห้ง 10 ปี
4. ค่าดำเนินการและซ่อมบำรุงต่อปี เท่ากับร้อยละ 10 ของค่าลงทุนของตู้อบแห้ง
5. ไม่คิดมูลค่าซาก
6. ค่าไฟฟ้าสำหรับพัดลมเป่าอากาศ และค่าถ่านไม้รวม 113,292 บาท/ปี
7. ค่าแรงงาน 33,120 บาท/ปี
8. เวลาการใช้งานตู้อบแห้ง 19 ชั่วโมงต่อวัน สามารถทำการอบแห้งพริกได้ 4,123.2 กิโลกรัม/ปี หรือ 17.2 กิโลกรัม/วัน ซึ่งจะให้ผลผลิตพริกแห้ง 679.2 กิโลกรัม/ปี

2. การประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Levelized Annual Cost, LAC) ของเครื่องอบแห้งพลังงาน

$$\text{ค่าใช้จ่ายรายปี} = \text{Present Worth} \times \text{Capital Recovery Factor}$$

เมื่อ Present Worth คือ เงินลงทุนทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง คิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยกำหนด Escalation rate ร้อยละ

4

$$\text{Capital Recovery Factor} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

i = อัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน (ร้อยละ)

n = อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง
แทนค่า

ค่าใช้จ่ายรายปี

$$= 1,065,428.59 \times \frac{[0.12 \times (1+0.12)^{10}]}{(1+0.12)^{10} - 1}$$

$$= 186,828.7 \text{ บาท}$$

เมื่อค่าใช้จ่ายรายปีเท่ากับ 186,828.7 บาท ทำให้ทราบต้นทุนในการผลิตของระบบรวมเท่ากับ 54.3 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนของตู้อบแห้ง 3.3 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย ค่าดำเนินการและซ่อมบำรุงเท่ากับ 13.2 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย ต้นทุนทางด้านพลังงานเท่ากับ 37.7 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย คิดเป็นร้อยละ 6.1 ร้อยละ 24.3 และร้อยละ 69.6 ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมดตามลำดับ

สรุป

การอบแห้งพริกโดยใช้โปรติวเซอร์แก๊สในการทดลองนี้ พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งพริก สดจากความชื้นร้อยละ 86 มาตรฐานเปียก หรือร้อยละ 615.2 มาตรฐานแห้ง จนได้พริกแห้งที่ความชื้นร้อยละ 15.1 มาตรฐานเปียก หรือร้อยละ 17.8 มาตรฐานแห้ง โดยการอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 63 °C เป็นเวลา 19 ชั่วโมง และมีอัตราการไหลของอากาศ 0.082 กิโลกรัมต่อวินาที

ประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ห้องเผาไหม้ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และ

ตูบแห้ง มีค่าร้อยละ 48.9 ร้อยละ 7 และร้อยละ 9.2 ตามลำดับ ประมาณการใช้พลังงานทั้งหมดต่อการอบแห้งพริก 17.2 กิโลกรัม เท่ากับ 33.5 เมกกะจูล/กิโลกรัมน้ำระเหย โดยใช้จากโปรตีนเซอร์แก๊สเท่ากับ 24 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และจากพัฒนาเป่าอากาศเท่ากับ 9.5 เมกกะจูล/กิโลกรัมน้ำระเหย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 71.6 และร้อยละ 28.4 ตามลำดับ

ต้นทุนในการผลิตพริกแห้งมีค่าเท่ากับ 54.3 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย เมื่อทำการอบแห้งพริกได้ 4,123.2 กิโลกรัมต่อปี และอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในเชิงเทคนิคเป็นส่วนใหญ่ โดยมีการนำเอามวลชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาให้ใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7] ขึ้นตอนต่อไปที่สามารถพัฒนาศักยภาพได้คือ

1. ควรมีการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าวโพด ชานอ้อย ผักตบชวา ชี้อยู่ เป็นต้น มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อจะได้ลดต้นทุนค่าพลังงานลง

2. เครื่องอบแห้งนี้สามารถทำงานได้ดีในเชิงเทคนิค คือ สามารถใช้ออบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด แต่เป็นเครื่องอบแห้งขนาดเล็กซึ่งสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ไม่มากนัก ทำให้ต้นทุนในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์มีค่าสูง การลดต้นทุนในการอบแห้งสามารถทำได้โดย

- 2.1 ควรศึกษาการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการอบแห้งพริกในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เมื่อมีการขยายขนาดของเครื่องอบแห้งให้ใหญ่ขึ้นราคาของเครื่องอบแห้งจะถูกลง การขยายขนาดของเครื่องอบแห้งเพื่อให้อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น หรือการ

สร้างครั้งละหลายๆ เครื่อง จะสามารถประหยัดวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้ง ทำให้การลงทุนค่าเครื่องอบแห้งลดลงได้

- 2.2 การใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น แทนวัสดุที่ใช้ เช่น ตะแกรงที่ใช้วางวัสดุสามารถใช้ไม้ไผ่สานแทนตะแกรงสแตนเลส เป็นต้น สามารถทำให้ราคาในการสร้างเครื่องลดลง

3. ควรนำเอาความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้แก๊สในเตาเผาแก๊สกลับมาใช้อีก เช่น การนำไปอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยการสร้างตูบแห้งเพิ่มและนำความร้อนทิ้งจากปล่องเตาเผาไหม้แก๊สมานำมาผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แล้วนำอากาศร้อนไปใช้ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่างๆ เช่น กระเทียม หอมแดง กล้วย เห็ดหอม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. พจนา วงษ์ศิริ, 2527, การอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบรังสี, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ธรากร สกุลพานิช และปิยะ วงษ์ศิริ, 2530, การศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากกะลามะพร้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. Payne, F.A., 1984., "Energy and mass flow computation in biomass combustion system," Journal of transaction of the ASAE, Vol. 27, No. 3, pp. 1532-1538.
4. Ida B.A., 1986, "Gasification of small charcoal particles in a baffled concentric tube reactor," Journal of Asean conference on Energy from Biomass, Vol. 25,

No. 7, pp. 96-100.

5. สวิก เพ็งอัน, 2531, "การอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนได้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนอำเภอสันกำแพงในโรงบ่มใบยาสูบต้นแบบ," เอกสารการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่องเครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม, วันที่ 6-7 ตุลาคม 2531, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 5-8
6. ณอคคุณ สิทธิพงศ์, 2531, "โครงการเครื่องอบแห้งพืชหลายชนิด," การประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่องเครื่องมือและเทคโนโลยีพลังงานการเก็บเกี่ยวเหมาะสม, วันที่ 6-7 ตุลาคม 2531, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 2-5
7. J. Hirunlabh, T. Paraboon, S. Pairintra, P. Namprakai and J. Khedari, 1997 "A new type of modular dryer combining solar energy and producer gas" an International Journal of Drying Technology, Vol. 15(324), pp. 1203-1211.
8. N. Coovatanachi, "1983 The potential of producer gas as an alternative source of energy", Papers of Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 1-3.
9. Sepaldage, B.P., "1985 Experiences from the operation of gasifier system of power generation at the Giriulla Mills, Sri Lanka", Second International Producer Gas Conference, Bandung
10. Fritz, J.J., J.I. Gordon and V.T. Nguyen, 1979 "Status review of wood biomass: Gasification, pyrolysis and gasification technologies", MTR79WOO354,
11. T. Kiatsiriroat, 1994 "Design of thermal systems", King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.