การอบแห้งชาเขียวใบหม่อนโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส

สินเดิม ดีโต*, ศิรินุช จินดารักษ์*, จอมภพ แววศักดิ์**

A Mulberry Green Tea Drying using Producer Gas

Sindoem Deeto*, Sirinuch Chindaruksa*, Jompob Waewsak**

*ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

**ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

ชาเขียวใบหม่อนเป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพโดยมีแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสูง ในอุตสาหกรรมการผลิตชาเขียวใบหม่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการอบแห้งจะใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงหลักคิดเป็นร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่นเพื่อผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สในการทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อน

จากการทดลองอบแห้งชาเขียวใบหม่อนโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานพบว่าการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก (ร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง) ลดลงเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก (ร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง) ภายในระยะเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C จะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการใช้แก๊สหุงต้มและโปรดิวเซอร์แก๊สประมาณ 5.56 และ 10.61 MJ/kg H_2O_{evap} และต้นทุนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าประมาณ 1.25 และ 0.99 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาการคืนทุนของการใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชั่นในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจะคืนทุนภายใน 2.43 ปี หรือ 2 ปี 5 เดือน 4 วัน

คำสำคัญ: ชาเขียวใบหม่อน / โปรดิวเซอร์แก๊ส / การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ / ความชื้นเริ่มต้น / ความชื้นสุดท้าย / ระยะเวลาคืนทุน

Abstract

The mulberry green tea, which constitutes of both a plenty of ingredients and various types of vitamin are now receiving more attention and promotion for a healthy purpose as well as being the most popular product in today market. The mulberry green tea production process mostly consumes a lot of liquefied petroleum gas (LPG) that could be estimated more than 80% of total energy consumption. Consequently, the purpose of this research is to utilize producer gas from biomass energy conversion technology namely, gasification, for instead of LPG in mulberry green tea production process.

Experimental results showed that a mulberry green tea drying using producer gas from the initial moisture content of 75.02 %wb (271.06 %db) down to the final moisture content of 3.87 %wb (4.03 %db) spent drying time about 60 minutes at drying air temperature of 100°C. Furthermore, the specific energy consumption of a mulberry green tea drying using producer gas and LPG was about 5.56 and 10.61 MJ/kg H_2O_{evap} whereas the drying cost was about 1.25 and 0.99 Baht/kg, respectively. An economical analysis indicated that the payback period of a mulberry green tea drying using a gasification system was about 2.43 years or 2 years 5 months 4 days.

Keywords: mulberry green tea / producer gas / specific energy consumption / initial moisture content / final moisture content / payback period

---

บทนำ

ชาเขียวใบหม่อนเป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคกันมาอย่างช้านานสำหรับชาวญี่ปุ่นเพราะเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพโดยในชาเขียวใบหม่อนจะมีแร่ธาตุและวิตามินที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายสูงกว่าชาทั่วๆ ไป เช่น แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 และวิตามินซี ในปัจจุบันการบริโภคชาเขียวใบหม่อนเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (ชาเขียวใบหม่อน 2547) ทำให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตชาเขียวใบหม่อนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อนนั้นจะมีการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงใน 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนการลวก การคั่ว และการอบแห้งใบหม่อน ซึ่งจะต้องใช้แก๊สหุงต้มปริมาณมากและราคาแก๊สหุงต้มก็ยังเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตชาเขียวใบหม่อนมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย

การหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตร

กรรมและมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมากมาย เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กะลามะพร้าว กากและกะลาปาล์ม ฯลฯ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้เป็นพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) สามารถนำมาเผาไหม้ให้ความร้อนได้โดยตรง แต่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ต่ำ เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนจากเตามาก จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปแก๊สเชื้อเพลิง (producer gas) โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่จำกัดอากาศ และเรียกกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้อยู่ในรูปแก๊สเชื้อเพลิงว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น ซึ่งสามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สได้ร้อยละ 50–70 และสามารถนำโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ไปใช้แทนแก๊สหุงต้มในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการใช้แก๊สหุงต้มเป็นแหล่งพลังงานมากที่สุดหรือคิดเป็นร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตชาเขียวใบหม่อนได้เป็นอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากระบบแก๊สซิฟิเคชั่นสำหรับกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อนเพื่อทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม

วัสดุ และอุปกรณ์

สำหรับกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

1.) ระบบแก๊สซิฟิเคชั่นในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

- พัดลมป้อนอากาศ (blower) เป็นพัดลมแบบเหวี่ยง (centrifugal fan) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ควบคุมปริมาณอากาศด้วยการใช้วาล์วผีเสื้อ

- แก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง (downdraft gasifier) ขนาดปริมาตร 0.28 m^3 (สุรีย์ จรูญศักดิ์ 2543; วิภาวรรณ แสงสง่า 2544) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ถังบรรจุเชื้อเพลิง (fuel hopper) สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm ความสูงรวมทั้งสิ้น 125 cm แบ่งออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนสูงประมาณ 30 cm ภายในหล่อด้วยปูนทนไฟหนา 3 cm ส่วนบนสุดมีฝาเปิด-ปิดเป็นช่องใส่เชื้อเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm

- ชั้นเผาไหม้และชั้นรีดักชั่น โครงสร้างภายนอกสร้างจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm ความสูง 55 cm ภายในชั้นเผาไหม้และชั้นรีดักชั่น สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 5 mm หุ้มโดยรอบด้วยปูนทนไฟหนา 5 cm หัวฉีดอากาศทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 mm จำนวน 6 ตัว ส่วนคอด (throat) หรือ check plate ใช้แผ่น

สแตนเลส หนา 9 mm เส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่าง 8.5 cm ด้านล่างสุดเป็นตะแกรง รองรับเชื้อเพลิงทำจากเหล็กเส้นขนาด 9 mm ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้น 6 mm

- ชั้นเก็บเถ้า (ash pit) สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกสูง 20 cm พื้นรองรับเถ้าเป็นเหล็กแผ่นหนา 6 mm

- ไซโคลน (cyclone) สร้างจากแผ่นสแตนเลส หนา 1 mm ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ความสูง 40 cm ช่องแก๊สเข้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2x4 cm

- เชื้อเพลิง (fuel) ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเป็นเศษวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่นโดยทั่วไป โดยมีรูปลักษณ์ภายนอกที่สม่ำเสมอ ความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 11 มาตรฐานแห้ง และมีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 17.93 MJ/kg โดยทำให้มีขนาดประมาณ 5-8 cm ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ดี

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบแก๊สซิฟิเคชั่นแสดงดัง Figure 1

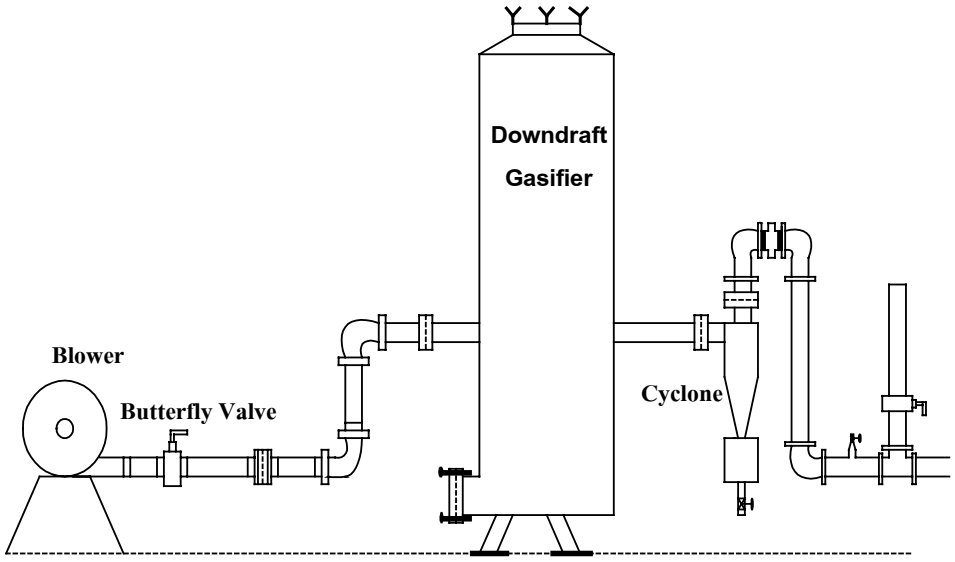

Figure 1 Gasification System

2.) เครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานแสดงดังFigure 2 ซึ่งมีองค์ประกอบแสดงรายละเอียดดัง Table 1

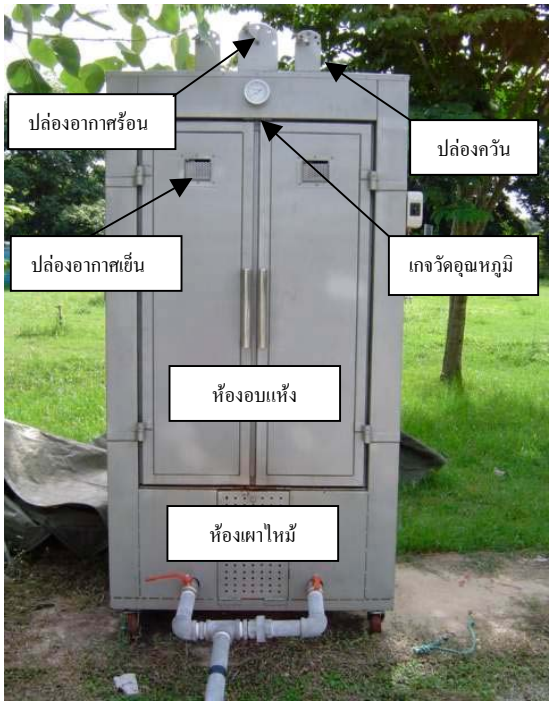

Figure 2 A Mulberry Green Tea Dryer

Table 1 Components of Mulberry Green Tea Dryer

Components	Details
1. Drying Chamber	Size 65x90x130 cm, a perpendicular steel structure of 3.75 cm and cover with a plate-steel of 0.2 cm thickness
2. Product Tray	Size 55x70x5 cm, an aluminum structure of 0.15 cm thickness
3. Air Circulatory Fan	Diameter 25 cm, rotated with motor 2 phase 0.5 hp
4. Air Inlet Channel	Size 5x8 cm, 2 channel adjustable
5. Air Outlet Channel	Size 8x10 cm, adjustable

Table 1 Components of Mulberry Green Tea Dryer (cont.)

Components	Details
6. Temperature Gage	Display in Celsius degree (°C)
7. Combustion Chamber	Size 65x90x30 cm, a perpendicular steel structure of 3.75 cm and cover with a plate-steel of 0.2 cm thickness
8. Burner	2 head, a steel pipe diameter 3.75 cm
9. Plate Heat Exchanger	Size 55x70 cm, a plate-steel of 0.5 cm thickness
10. Tube Heat Exchanger	Size 2x5x130 cm, a steel pipe of 16 tubes
11. Producer Gas Valve	Diameter 3.75 cm, a ball valve for adjust a producer gas flow rate
12. Flue Gas Channel	Size a diameter 5 cm, adjustable
13. Insulator	Cover overall a cabinet of 25 cm
14. Product Capacity	A mulberry green tea 10 kg
15. Control Temperature	Control by adjust a producer gas valve, air inlet channel and air outlet channel

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองจะทำการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $2.5x10^{-3}$ m^3/s โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงครั้งละ 20 kg และโปรดิวเซอร์แก๊สที่ทำการผลิตออกมามีองค์ประกอบของแก๊สที่เผาไหม้ได้หลักๆ คือ CO, H_2 และ CH_4 ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 5.74 MJ/m^3 โปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ถูกนำไปเป็นแหล่งพลังงานทดแทนแก๊สหุงต้มที่ใช้ในขั้นตอนการอบแห้งของกระบวนการผลิตชาเขียวใบ ซึ่งมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและแบบท่อก่อนเข้าสู่ห้องอบแห้งและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้ได้ โดยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งก็คือการปรับความแรงของเปลวไฟที่ได้จากโปรดิวเซอร์แก๊ส หรือทำการปรับอัตราการไหลอากาศจากภายนอกผสมกับอากาศร้อนก่อนเข้าสู่ห้องอบแห้งก็ได้ และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนคือ 100 °C ซึ่งมีขั้นตอนการบันทึกข้อมูลการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนดังนี้

1. เริ่มบันทึกอุณหภูมิและวัดอัตราการไหลอากาศทุกๆ 20 นาที
2. จุดไฟที่หัวเผาไหม้ รอจนกระทั่งภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเท่ากับ 100°C

3. นำใบหม่อนที่ผ่านขั้นตอนการคั่วแล้วหาความชื้นเริ่มต้น และใส่ในตู้อบแห้งถาดละ 1 กิโลกรัม จำนวน 10 ถาด

4. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างและนำไปไว้ที่ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง พร้อมทั้งนำออกมาชั่งทุกๆ 30 นาที เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการเปิดประตูตู้อบแห้งสำหรับการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของตัวอย่าง

5. ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้คงที่ โดยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส หรือควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าตู้อบแห้ง

6. วิเคราะห์และสรุปผล

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ผลการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน

ในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนนั้นอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 100°C และใช้เวลาในการอบแห้งนาน 60 นาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะอบแห้งชาเขียวใบหม่อนแสดงดังกราฟ Figure 3 จะเห็นได้ว่าในช่วง 40 นาทีแรกเป็นการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 100°C เมื่ออุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งสูงถึง 100 °C จึงเริ่มทำการอบแห้งโดยนำชาเขียวใบหม่อนจำนวน 10 กิโลกรัม ใส่ถาดจำนวน 10 ถาด แล้วนำไปใส่ไว้ในห้องอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 10°C เนื่องจากภายในตู้อบแห้งมีความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศขาเข้าตู้อบแห้งเริ่มต้นอยู่ที่ 35°C และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นนี้อันเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งและผนังตู้ที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

ในการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจำนวน 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นของชาเขียวใบหม่อนเริ่มต้นร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) ซึ่งปริมาณความชื้นของชาเขียวใบหม่อนจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงเวลาต่อมาแสดงดังกราฟ Figure 4 จนสามารถลดความชื้นของชาเขียวใบหม่อนลงเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก) ภายในระยะเวลา 60 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่างภายในตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนเพื่อหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง บริเวณส่วนต่างๆ ของห้องอบแห้ง คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนเพื่อใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของความชื้นที่เปลี่ยนไปของชาเขียว

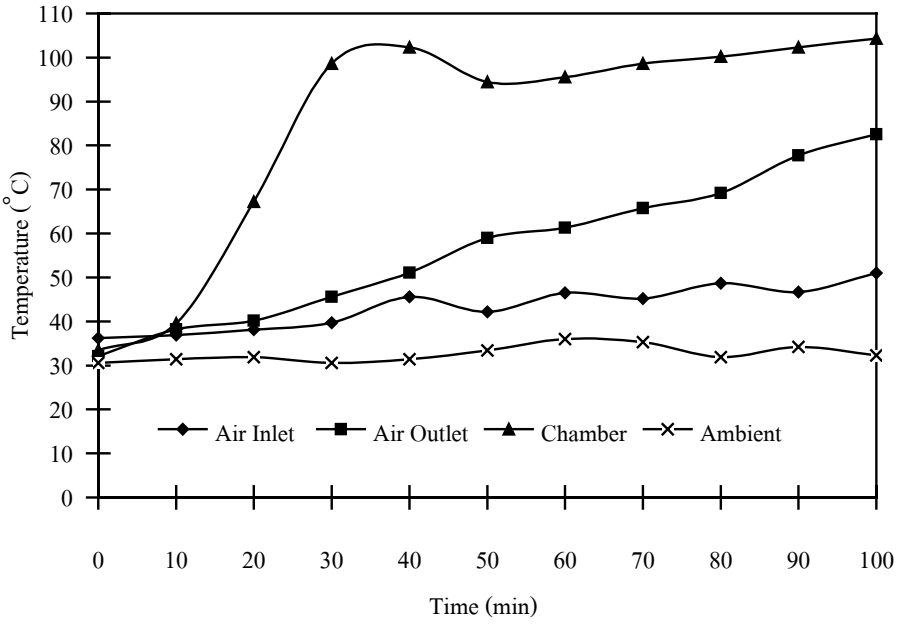

Figure 3 Temperature Profile of Mulberry Green Tea Drying

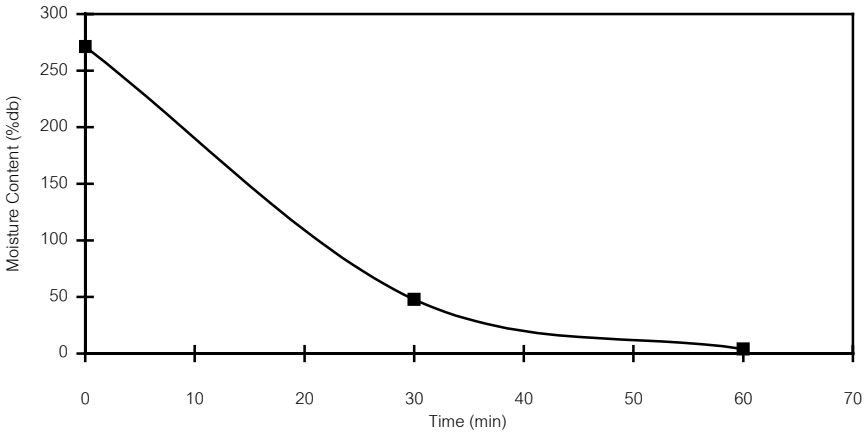

Figure 4 Moisture Profile of Mulberry Green Tea Drying

Table 2 Comparison of Mulberry Green Tea Drying with Producer Gas and LPG

Descriptions	Producer Gas	LPG
Average Chamber Temperature (°C)	98.8	100
Drying Time (min.)	60	65
Moisture Content (%wb)		
- Initial Moisture Content	75.02	75
- Final Moisture Content	3.87	4
Condition of Products (kg)		
- Initial weight	10	26
- dry matter	3	9
Fuel Consumption (kg)	4	2
Electrical Consumption (kWh)	0.7	0.3
Energy Consumption (MJ/kg H_2O_{evap})	10.61	5.56

จากผลการทดลองดัง Table 2 พบว่าในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มได้ ซึ่งตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถอบชาเขียวใบหม่อนได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นชาเขียวใบหม่อนร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) โดยสามารถลดความชื้นชาเขียวใบหม่อนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก) มีระยะเวลาในการอบแห้ง 60 นาที และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 98.8°C น้ำหนักสุดท้ายชาเขียวใบหม่อนหลังอบแห้งมีค่าเท่ากับ 3 กิโลกรัม ในสภาวะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ 30°C และอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องอบแห้งเฉลี่ย 0.59 kg/s ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้มและโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 5.56 และ 10.61 MJ/kg H_2O_{evap} และต้นทุนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าเท่ากับ 1.25 และ 0.99 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งชาเขียวใบหม่อนด้วยโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่าเท่ากับร้อยละ 28.06 เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานของระบบในส่วนของตัวเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์ ระบบท่อส่งแก๊ส และการใช้ปริมาณแก๊สไม่เต็มที่ จึงทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจึงมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง แต่ต้นทุนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนสำหรับการใช้

โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงพบว่ามีค่าต่ำกว่าการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 20 ของต้นทุนการอบแห้ง

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม ซึ่งเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนนี้สามารถอบแห้งได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1 ชั่วโมง กำหนดให้อบแห้งวันละ 10 ครั้ง สามารถอบแห้งได้วันละ 100 กิโลกรัม และทำงาน 260 วัน/ปี สามารถวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของระบบอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานได้ดังนี้

การวิเคราะห์ด้านต้นทุนคงที่รายปี

1. เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งและระบบผลิตแก๊ส 100,000 บาท

คิดเป็นเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง 30,000 บาท และเงินลงทุนสร้างระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส 70,000 บาท กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี โดยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) 2548) 9.5 % สามารถคำนวณได้จาก

เงินลงทุนรายปี $=100,000\ CRF\ (9.5\%,10)$

$=100,000(i(1+i)^n)/((1+i)^n-1)$

$=100,000(0.095(1+0.095)^{10})/((1+0.095)^{10}-1)$

เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งและระบบผลิตแก๊สรายปี 15,900 บาท

2. มูลค่าซากคิดเป็น 10 % ของเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งและระบบผลิตแก๊ส 10,000 บาท

มูลค่าซากรายปี $=10,000\ SFF\ (9.5\%,10)$

$=10,000(i/((1+i)^n-1))$

$=10,000(0.095/\ (1+0.095)^{10}-1)$

มูลค่าซากของเครื่องอบแห้งและระบบผลิตแก๊สรายปี 640 บาท

3. ค่าบำรุงดูแลรักษารายปี 5% ของมูลค่าเครื่อง 5,000 บาท

ค่าบำรุงดูแลรักษาของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ คือ ฉนวนตัวเตา น็อตยึดระหว่างชั้น ปะเก็น และปูนทนไฟ แล้วยังมีในส่วนของตัวเครื่องอบแห้ง คือ ฉนวนตัวเครื่องอบแห้ง ค่าทำความสะอาดภายในห้องอบแห้ง และถาดผลิตภัณฑ์

<u>การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันรายปี</u>

1. ค่าไฟฟ้ารายปี 5,041.4 บาท

ค่าไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เครื่องอบแห้งและมอเตอร์พัดลมป้อนอากาศเข้าระบบผลิตแก๊สรวมทำงานครั้งละ 7 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2548) 2.77 บาท/หน่วย

2. ค่าเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส 20,800 บาท

ค่าเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สครั้งละ 40 กิโลกรัม อัตราค่ากะลามะพร้าว 2 บาท/กิโลกรัม

3. ค่าแรงงานเดินเครื่องและดูแลระบบผลิตแก๊ส 39,000 บาท

ค่าแรงงานเดินเครื่องและดูแลระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สอัตรา 150 บาท/วัน

<u>ผลตอบแทนสุทธิรายปี</u>

สำหรับการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจะใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงครั้งละ 8 กิโลกรัม โดยอัตราค่าเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน 2548) 16.8 บาท/กิโลกรัมอบแห้งวันละ 10 ครั้ง และทำงาน 260 วัน/ปี และผลตอบแทนสุทธิรายปีเท่ากับ 32,864.4 บาท

รวมเงินลงทุนรายปี=เงินลงทุนในการสร้างระบบแก๊สซิไฟเออร์และตู้อบแห้ง
+เงินลงทุนในการดูแลรักษารายปี+เงินลงทุนค่าไฟฟ้ารายปี
+ค่าเชื้อเพลิงรายปี-มูลค่าซากรายปี+เงินค่าแรงงานเดินเครื่อง
=15,900+5,000+5,041.4+20,800-640+39,000
=85,101.4 บาท

เมื่อพิจารณาถึงการทดแทนแก๊สหุงต้มโดยใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชั่นในขั้นตอนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจำนวน 100 กิโลกรัม ภายใต้สมมติฐานเกี่ยวกับราคาการทดแทนแก๊สหุงต้มและจำนวนครั้งในการผลิตต่อปี สำหรับการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน 100 กิโลกรัม ใช้แก๊สหุงต้ม 8 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายสำหรับแก๊สหุงต้มเท่ากับ 32,864.4 บาทต่อปี เมื่อค่าเงินลงทุนรายปีของการใช้ระบบแก๊สซิไฟเออร์มีมูลค่า 85,101.4 บาทต่อปี ดังนั้นจะได้จุดคุ้มทุนของการใช้ระบบนี้อยู่ที่ 2.43 ปี หรือ 2 ปี 5 เดือน 4 วัน

สรุปผลการทดลอง

ตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถอบแห้งชาเขียวใบหม่อนได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นชาเขียวใบหม่อนร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) โดยสามารถลดความชื้นชาเขียวใบหม่อนลงเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก) เมื่อทำการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนเป็นระยะเวลานาน 60 นาที และอุณหภูมิอากาศ

ภายในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 100°C น้ำหนักสุดท้ายชาเขียวใบหม่อนหลังอบแห้งมีค่าเท่ากับ 3 กิโลกรัม และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 5.56 และ 10.61 MJ/kg H_2O_{evap} ต้นทุนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าเท่ากับ 1.25 และ 0.99 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานหลักนี้จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2.43 ปี หรือ 2 ปี 5 เดือน 4 วัน

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอากาศร้อนที่ออกจากระบบอบแห้งมีอุณหภูมิ 80°C จึงควรมีการออกแบบระบบให้มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในระบบอบแห้งอีก หรือนำไปอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนชัย ไพรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เตาแก๊สซิไฟเออร์เพื่อใช้ในการทดลอง และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ชาเขียวใบหม่อน. (2547). ประโยชน์ชาเขียว. จาก http://www.greenteathai.com/faq.htm

สุรีย์ จรูญศักดิ์. (2543). การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิกส์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิภาวรรณ แสงสง่า. (2544). การเปรียบเทียบการผลิตเซรามิกส์โดยใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบ Updraft และ Downdraft. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2548). อัตราค่าไฟฟ้า. จาก: http://www.pea.co.th

ธนาคารกรุงเทพ จำกัด(มหาชน). (2548). อัตราดอกเบี้ยเงินกู้. จาก: http://www.bangkokbank.com

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2548). ราคาแก๊สหุงต้ม. จาก: http://www.eppo.go.th

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2537). การอบแห้งเมล็ดพืช. (พิมพ์ครั้งที่ 6). คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2544). การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Charles Y. Wereko-Brobby and Essel B. Hagan. (1996). Biomass Conversion and Technology. Singapore: John Willey and Sons.

สินเดิม ดีโต. (2548). การศึกษาการใช้โปรดิวเซอร์แก๊สในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.