

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองหาความเหมาะสมในการผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน 3 ระดับ และขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดลองนำโปรตีนเชอร์แก๊สที่ผลิตได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อนทั้ง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการลวกชาเขียวใบหม่อน กระบวนการคั่วชาเขียวใบหม่อน และกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน โดยมีแผนผังการดำเนินการทดลองแสดงดังภาพ 32



ภาพ 32 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

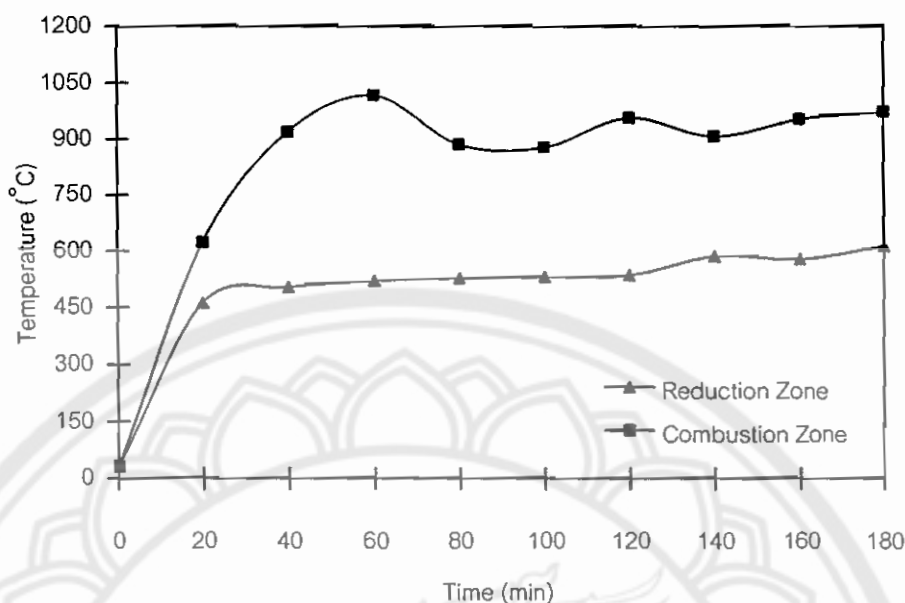
1. ผลการทดลองผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน

การผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สจะควบคุมอัตราการไหลของอากาศต่างกัน 3 ค่า คือ 2.5×10^{-3} 3.5×10^{-3} และ 4.5×10^{-3} m^3/s ตามลำดับ แต่ละอัตราการไหลของอากาศจะกำหนดระยะเวลาการทดลอง 180 นาที และใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงครั้งละ 20 kg เมื่อทดลองครบ 180 นาที จะหยุดเดินเครื่องทันทีและปิดวาล์วเพื่อป้องกันอากาศไหลเข้าสู่เตาผลิตแก๊ส เมื่ออุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สลดลงเข้าสู่สภาวะปกติ จะนำเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ในเตาผลิตแก๊สออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งแต่ละการทดลองจะทำการบันทึกอุณหภูมิเตาผลิตแก๊สทุกๆ 20 นาที และวิเคราะห์หาองค์ประกอบและค่าความร้อนของโปรตีนเชอร์แก๊สโดยโปรแกรม [35] ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.1 ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 2.5×10^{-3} m^3/s

ทดลองใส่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าว 20 kg และหลังจากการทดลองมีเชื้อเพลิงเหลือ 7 kg ดังนั้นคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4.33 kg/hr วัดอุณหภูมิในชั้นเผาไหม้สูงสุด $1,017.1^\circ\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 814.9°C อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงสุด 613.6°C และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 489.9°C การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโปรตีนเชอร์แก๊สในการศึกษาครั้งนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นโดยคุณอุษัช วิชชวรชาติ [35] ได้ มีผลการวิเคราะห์ดังนี้ CO ร้อยละ 27.66 N_2 ร้อยละ 41.34 H_2 ร้อยละ 0.06 CH_4 ร้อยละ 3.31 คิดเป็นค่าความร้อนของโปรตีนเชอร์แก๊ส 5.74 MJ/Nm^3

เมื่อเตาผลิตแก๊สเริ่มทำงานจากภาพ 33 พบว่าอุณหภูมิชั้นเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะสูงที่สุดเท่ากับ $1,017.1^\circ\text{C}$ นาทีที่ 60 และจะเริ่มลดลงในเวลาต่อมาซึ่งอาจจะเกิดจากการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิง โดยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ในช่วงแคบๆ ประมาณ 200°C และอุณหภูมิชั้นรีดักชันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 20 นาทีแรก และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งนาทีที่ 180 จะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 613.6°C ซึ่งโปรตีนเชอร์แก๊สที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอสังเกตได้จากการจุดติดไฟของโปรตีนเชอร์แก๊ส แสดงว่ามีการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงที่ดี

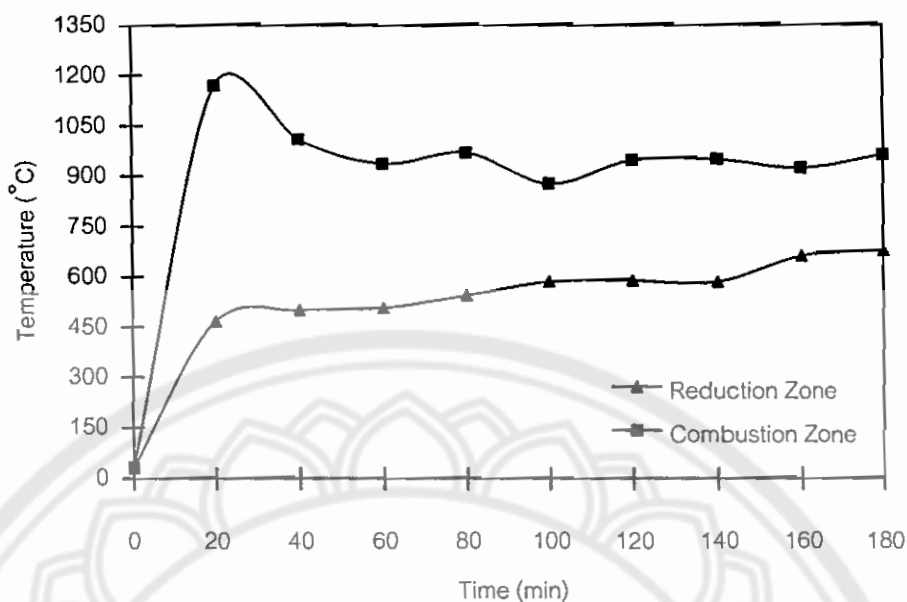


ภาพ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สซิฟิเคอร์
(อัตราการไหลอากาศ $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

1.2 ที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

โดยการทดลองใส่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าว 20 kg และหลังจากการทดลองมีเชื้อเพลิงเหลือ 5.5 kg ดังนั้นคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4.83 kg/hr วัดอุณหภูมิในชั้นเผาไหม้สูงสุดได้ $1,169.0^\circ\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 877.5°C อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงสุด 678.3°C และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 514.7°C ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่า CO ร้อยละ 23.74 N_2 ร้อยละ 49.65 H_2 ร้อยละ 0.09 CH_4 ร้อยละ 5.93 คิดเป็นค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส 4.92 MJ/Nm^3

เมื่อเตาผลิตแก๊สเริ่มทำงานจากภาพ 34 พบว่าอุณหภูมิชั้นเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะสูงที่สุดเท่ากับ $1,169.0^\circ\text{C}$ นาที่ที่ 20 และจะเริ่มลดลงในเวลาต่อมาซึ่งอาจเกิดจากการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิง โดยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าที่อัตราการไหลอากาศ $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ และอุณหภูมิชั้นรีดักชันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 20 นาที่แรก และอุณหภูมิจะมีความสม่ำเสมอโดยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งนาที่ที่ 180 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 678.3°C ซึ่งโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จะขาดหายเป็นบางช่วง สังเกตได้จากการจุดติดไฟของโปรดิวเซอร์แก๊ส

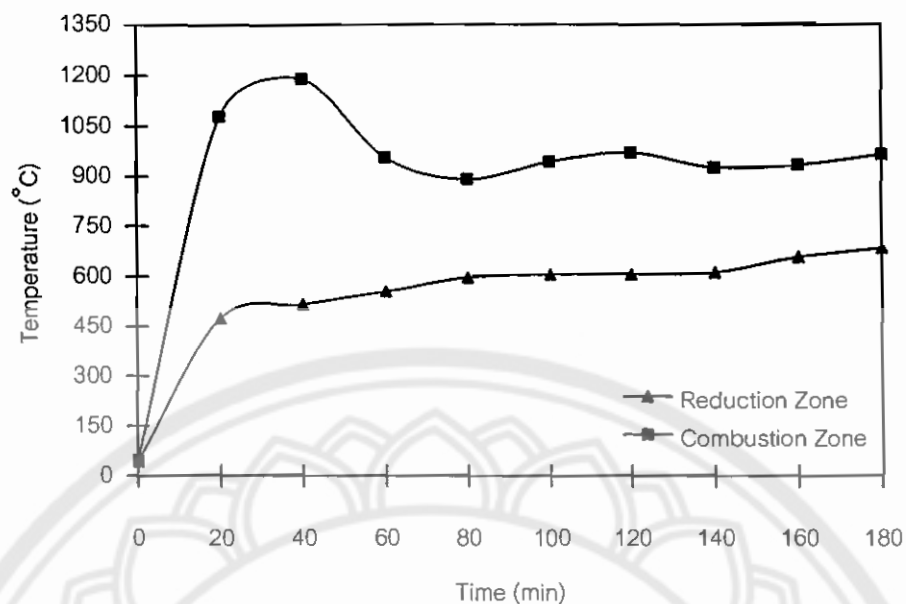


ภาพ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สซิฟิเคอร์
(อัตราการไหลอากาศ $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

1.3 ที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ $4.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

โดยการทดลองใส่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าว 20 kg และหลังจากการทดลองมีเชื้อเพลิงเหลือ 4.5 kg ดังนั้นคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 5.16 kg/hr วัดอุณหภูมิในชั้นเผาไหม้สูงสุด $1,190.0^\circ\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 890.7°C อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงสุดได้ 685.9°C และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 535.1°C ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่า CO ร้อยละ 20.79 N_2 ร้อยละ 55.90 H_2 ร้อยละ 0.09 CH_4 ร้อยละ 5.19 คิดเป็นค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส 4.31 MJ/Nm^3

เมื่อเตาผลิตแก๊สเริ่มทำงานจากภาพ 35 พบว่าอุณหภูมิชั้นเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะสูงที่สุดเท่ากับ $1,190.0^\circ\text{C}$ นาทีที่ 40 และจะเริ่มลดลงในเวลาต่อมาอาจเกิดจากการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิง โดยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วง 60 นาทีแรกและเริ่มคงที่ในเวลาต่อมา และอุณหภูมิชั้นรีดักชันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 20 นาทีแรก และอุณหภูมิจะมีความสม่ำเสมอโดยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งนาทีที่ 180 จะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 685.9°C ซึ่งโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จะขาดหายเป็นช่วงๆ และจะมีลักษณะดังกล่าวบ่อยกว่าที่อัตราการไหลอากาศ $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ อันเนื่องมาจากการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงที่ติดขัดซึ่งสังเกตได้จากการติดไฟของโปรดิวเซอร์แก๊ส



ภาพ 35 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สซิฟิเคอร์
(อัตราการไหลอากาศ $4.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

ตาราง 3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ

Description	Air Flow Rate (m^3/s)		
	2.5×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.5×10^{-3}
Fuel Consumption Rate (kg/hr)	4.33	4.83	5.16
Combustion Zone Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
Maximum	1,017.1	1,169.0	1,190.0
Minimum	622.7	877.2	891.8
Average	841.9	877.5	890.7
Reduction Zone Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
Maximum	613.6	678.3	685.9
Minimum	462.7	466.8	472.7
Average	489.9	514.7	535.1
CO Yield (%Vol.)	27.66	23.74	20.79
High Heating Value (HHV*, MJ/Nm^3)	5.74	4.92	4.31

* At 25°C 1 atm

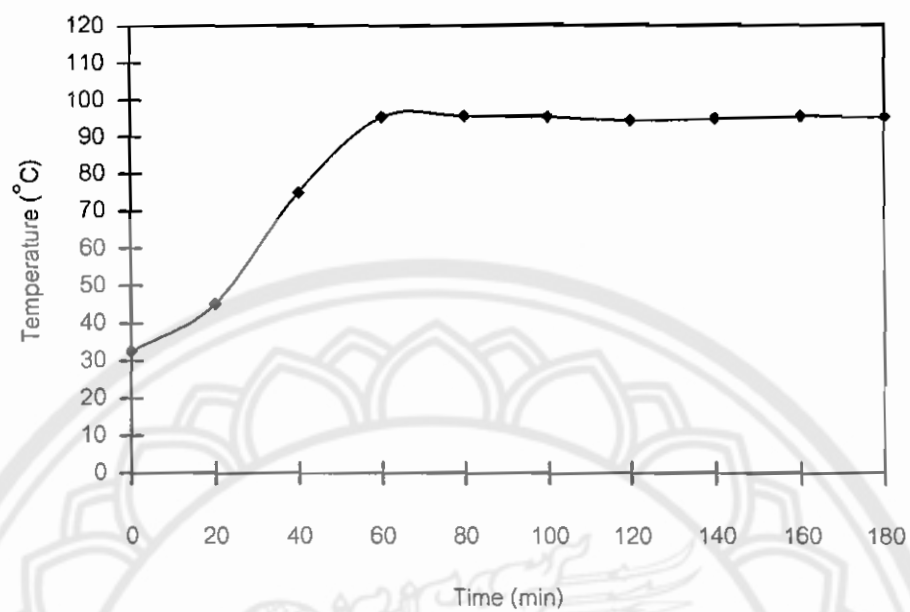
จากตาราง 3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลอากาศทั้ง 3 ค่า พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแปรผันตามอัตราการไหลของอากาศ โดยที่อัตราการไหลอากาศต่ำๆ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็จะต่ำ ส่วนที่อัตราการไหลอากาศสูงอัตราการสิ้นเปลืองก็จะสูงตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้ามาทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากอุณหภูมิของชั้นเผาไหม้ที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และเปอร์เซ็นต์ของแก๊สที่เผาไหม้ได้ในโปรดิวเซอร์แก๊สซึ่งสังเกตจากเปอร์เซ็นต์ของ CO เป็นหลัก กล่าวคือที่อัตราการไหลอากาศ $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ เปอร์เซ็นต์ของ CO มีค่าสูงที่สุดมีผลให้ค่าความร้อนสูง (HHV) ของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้มีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย ซึ่งที่อัตราการไหลอากาศดังกล่าวเหมาะที่จะนำเอาโปรดิวเซอร์แก๊สไปใช้ประโยชน์เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงที่สุดนั่นเอง

2. ผลการทดลองการนำโปรดิวเซอร์แก๊สใช้ในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อน

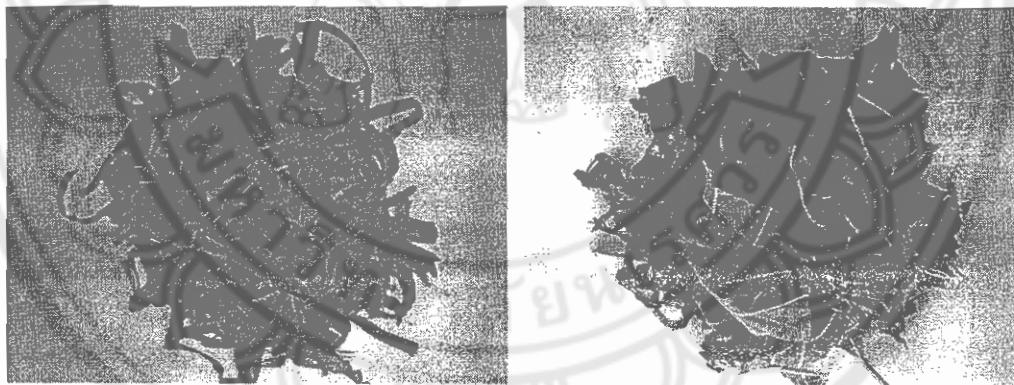
ในกระบวนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแล้วนำโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ไปใช้โดยทันที ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อสร้างความร้อนทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ในกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อนทั้ง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการลวกชาเขียวใบหม่อน กระบวนการคั่วชาเขียวใบหม่อน และกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 กระบวนการลวกชาเขียวใบหม่อน

ในกระบวนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากกะลามะพร้าว นั้น จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการลวกชาเขียวใบหม่อนโดยทันที ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) จากการทดลองพบว่าจะต้องใช้เวลา 60 นาที ในการต้มน้ำปริมาตร 18 ลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 32°C ให้มีอุณหภูมิ 95°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลวกชาเขียวใบหม่อน และควบคุมให้มีอุณหภูมิเช่นนี้ต่อไปอีก 120 นาที โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการลวกชาเขียวใบหม่อน จะเป็นไปตามกราฟดังภาพ 36 และทำการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการลวกชาเขียวใบหม่อนทั้งที่ใช้แก๊สหุงต้มและใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงมีผลการทดลองแสดงดังตาราง 4



ภาพ 36 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในการลวกชาเขียวใบหม่อน



(ก) ก่อนการลวก

(ข) หลังการลวก

ภาพ 37 ชาเขียวใบหม่อนก่อนและหลังการลวก

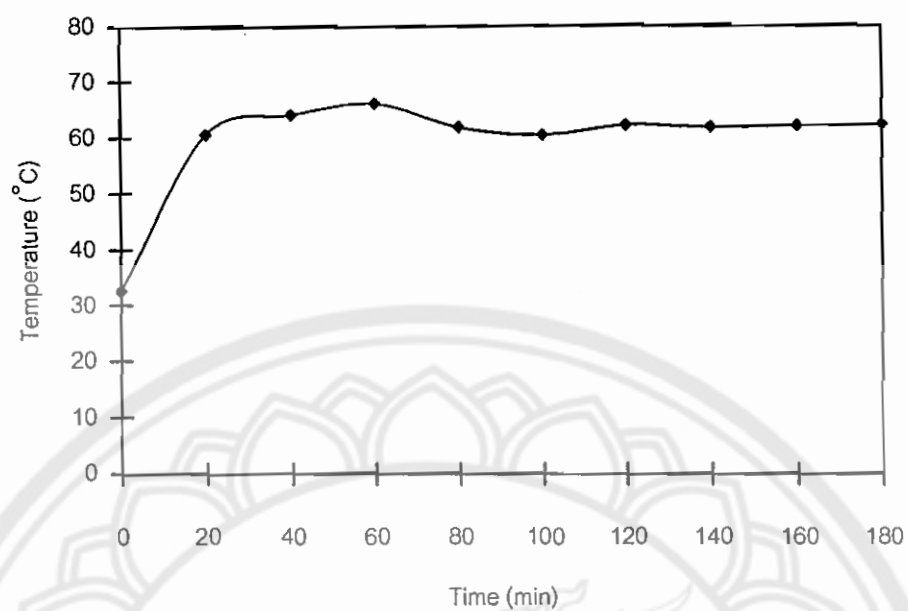
ตาราง 4 รายละเอียดในการลวกขาเขียวใบหม่อน

Description	Producer Gas	LPG
Fuel Consumption (kg)	13.5	2.5
Fuel Cost (baht/kg)	2	15.8 [29]
Water Volume (litre)	18	18
Water Temperature (°C)	95.3	96.0
Ambient Temperature (°C)	34.4	28.3
Time (min)	180	180

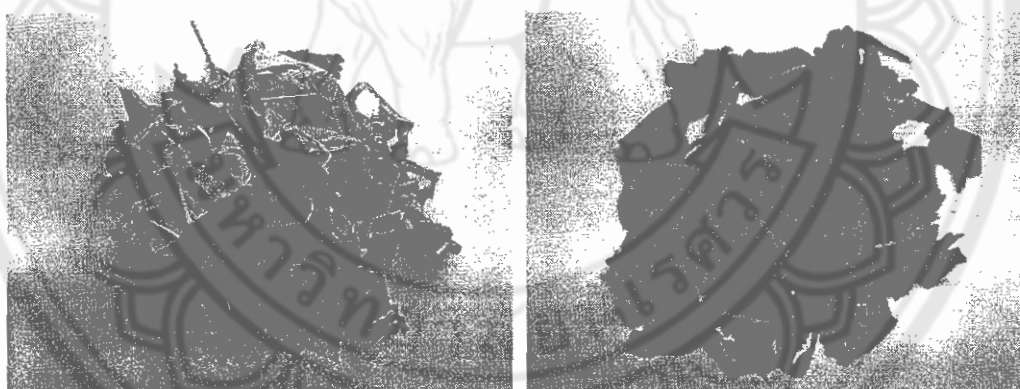
จากผลการทดลองแสดงดังตาราง 4 พบว่าในกระบวนการลวกขาเขียวใบหม่อน 500 กิโลกรัม ที่ความชื้นขาเขียวใบหม่อนเริ่มต้นร้อยละ 273.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 73.19 มาตรฐานเปียก) ลวกน้ำอุณหภูมิประมาณ 95°C ซึ่งจะมีค่าความชื้นร้อยละ 523.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 83.95 มาตรฐานเปียก) โดยใช้เวลาสำหรับกระบวนการลวกขาเขียวใบหม่อนทั้งสิ้น 180 นาที และใช้กะละมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสำหรับการลวกขาเขียวใบหม่อนทั้งสิ้น 13.5 กิโลกรัม คิดอัตราการสิ้นเปลืองของกะละมะพร้าวและแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง (LPG) ต่อการลวกขาเขียวใบหม่อน 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.027 กิโลกรัม และ 0.003 กิโลกรัม และทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้แก๊สหุงต้มกับการใช้กะละมะพร้าวผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การลวกขาเขียวใบหม่อน 1 ปี (ทำการลวกขาเขียวใบหม่อนวันละ 500 กิโลกรัม และใน 1 ปีทำงาน 260 วัน) จะต้องใช้กะละมะพร้าวทั้งสิ้น 3,510 กิโลกรัม สามารถทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ได้เท่ากับ 650 กิโลกรัม

2.2 กระบวนการคั่วขาเขียวใบหม่อน

ในกระบวนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากกะละมะพร้าวนั้น โปรดิวเซอร์แก๊สจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการคั่วขาเขียวใบหม่อนโดยทันทีซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อสร้างความร้อนแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) และควบคุมอุณหภูมิผิวกระทะให้มีค่าเท่ากับ 60°C เพื่อใช้ในกระบวนการการคั่วขาเขียวใบหม่อน และใช้ระยะเวลาในกระบวนการคั่วขาเขียวใบหม่อนทั้งสิ้น 180 นาที ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวกระทะแสดงตามกราฟดังภาพ 38 และทำการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการคั่วขาเขียวใบหม่อนทั้งที่ใช้แก๊สหุงต้มและใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงซึ่งผลการทดลองแสดงดังตาราง 5



ภาพ 38 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมูลกระทะในการคั่วชาเขียวใบหม่อน



(ก) ก่อนการคั่ว

(ข) หลังการคั่ว

ภาพ 39 ชาเขียวใบหม่อนก่อนและหลังการคั่ว

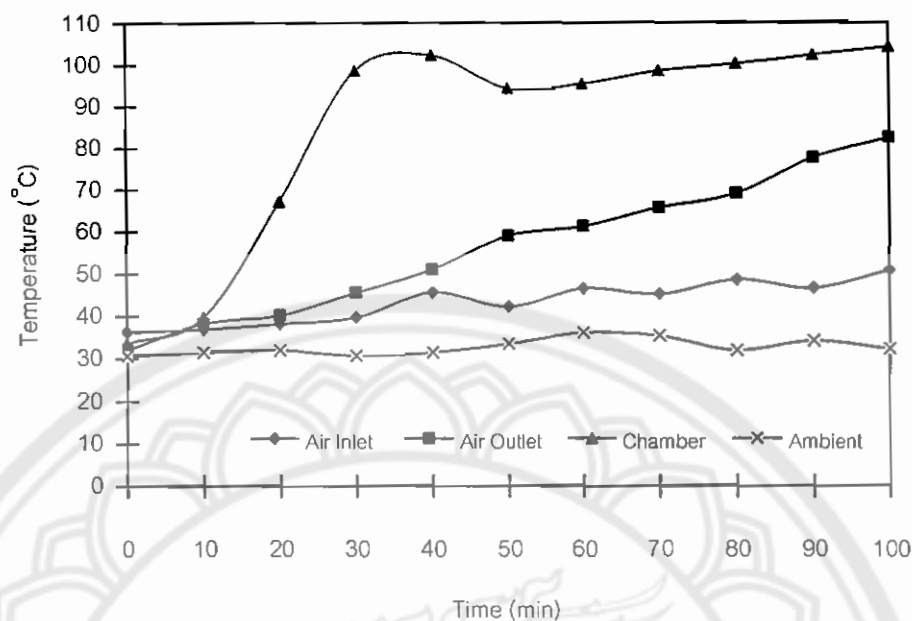
ตาราง 5 รายละเอียดในการคั่วชาเขียวใบหม่อน

Description	Producer Gas	LPG
Fuel Consumption (kg)	25	6
Fuel Cost (baht/kg)	2	15.8 [29]
Pan Surface Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	59.5	59.7
Ambient Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	34.2	32.9
Time (min)	180	180

จากผลการทดลองแสดงดังตาราง 5 พบว่าในกระบวนการคั่วชาเขียวใบหม่อน 500 กิโลกรัม ใช้เวลาทั้งสิ้น 180 นาที และการคั่วชาเขียวใบหม่อนที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 402.81 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 80.11 มาตรฐานเปียก) โดยคั่วที่อุณหภูมิผิวกระทะเท่ากับ 60°C จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) และใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสำหรับการคั่วชาเขียวใบหม่อนทั้งสิ้น 25 กิโลกรัม คิดอัตราการสิ้นเปลืองของกะลามะพร้าวและแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง (LPG) ต่อการคั่วชาเขียวใบหม่อน 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.05 กิโลกรัม และ 0.012 กิโลกรัม และทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้แก๊สหุงต้มกับการใช้กะลามะพร้าวผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การคั่วชาเขียวใบหม่อน 1 ปี (ทำการคั่วชาเขียวใบหม่อนวันละ 500 กิโลกรัม และใน 1 ปีทำงาน 260 วัน) จะต้องใช้กะลามะพร้าวทั้งสิ้น 6,500 กิโลกรัม สามารถทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ได้เท่ากับ 1,560 กิโลกรัม

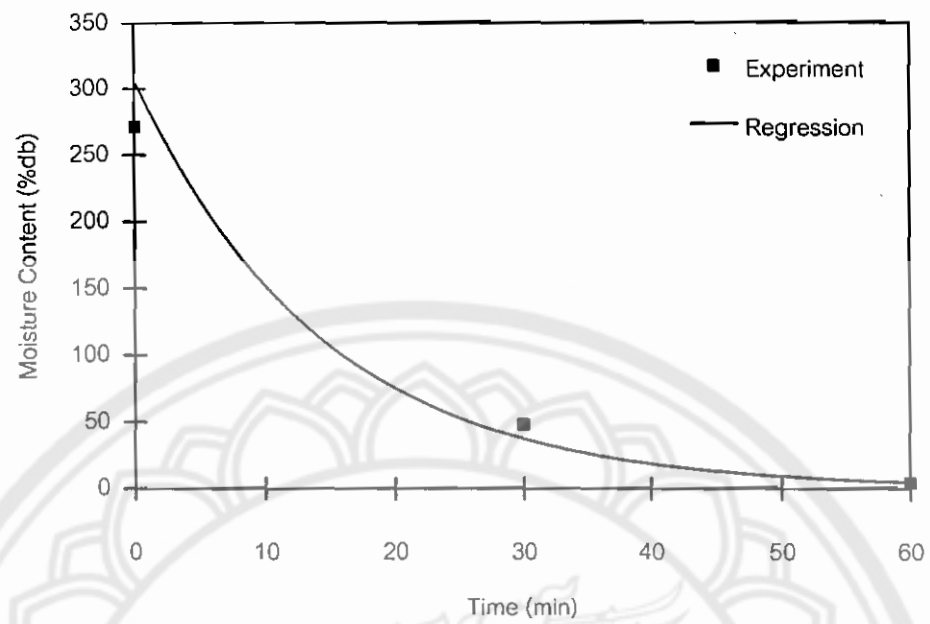
2.3 กระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน

ในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนเฉลี่ย 100°C และใช้เวลาอบแห้ง 60 นาที จากกราฟภาพ 40 จะเห็นว่าในช่วง 40 นาทีแรกเป็นการเพิ่มอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 100°C จึงเริ่มทำการอบแห้ง เมื่อนำชาเขียวใบหม่อนจำนวน 10 กิโลกรัม ใส่ภายในห้องอบแห้งจำนวน 10 ถาด พบว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 10°C เนื่องจากภายในตู้อบแห้งมีความชื้นเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะอบแห้งชาเขียวใบหม่อนแสดงดังกราฟภาพ 40

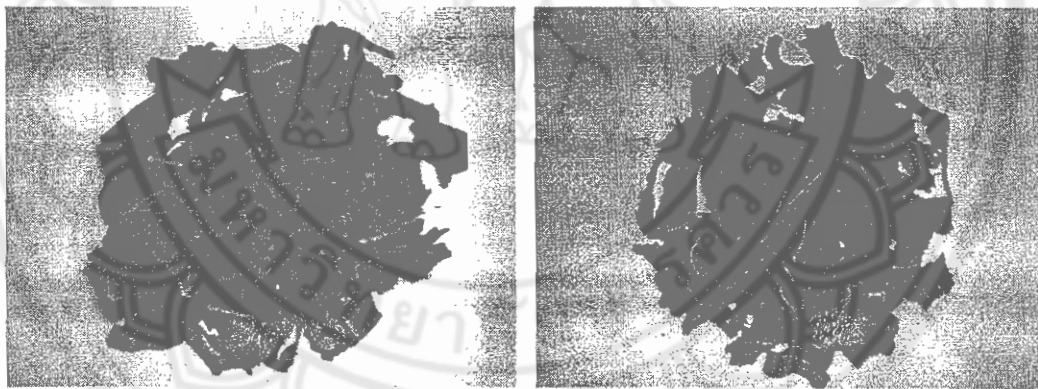


ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน

ในการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจำนวน 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นของชาเขียวใบหม่อนเริ่มต้นร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) ซึ่งปริมาณความชื้นของชาเขียวใบหม่อนจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและค่อยๆ ลดลงในช่วงเวลาต่อมาดังกราฟภาพ 41 จนสามารถลดความชื้นของชาเขียวใบหม่อนลงเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก) ภายในระยะเวลา 60 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่างภายในตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนเพื่อหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง คือ ด้านบน กลาง และด้านล่างของตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อน



ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของชาเขียวใบหม่อนในการอบแห้ง



(ก) ก่อนการอบแห้ง

(ข) หลังการอบแห้ง

ภาพ 42 ชาเขียวใบหม่อนก่อนและหลังการอบแห้ง

ตาราง 6 รายละเอียดในการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน

Description	Producer Gas	LPG
Fresh Mulberry Green Tea (kg)	10	26
Dried Mulberry Green Tea (kg)	3	9
Initial Moisture Content (%wb)	75.02	75
Final Moisture Content (%wb)	3.87	4
Fuel Consumption (kg)	4	2
Fuel Cost (baht/kg)	2	15.8 [29]
Time (min)	60	65
Chamber Temperature (°C)	98.8	100

จากผลการทดลองแสดงดังตาราง 6 พบว่าในกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มได้ ซึ่งตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถอบแห้งชาเขียวใบหม่อนได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นชาเขียวใบหม่อนร้อยละ 271.06 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 75.02 มาตรฐานเปียก) โดยสามารถลดความชื้นชาเขียวใบหม่อนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.03 มาตรฐานแห้ง (ร้อยละ 3.87 มาตรฐานเปียก) หลังอบแห้งชาเขียวใบหม่อนเป็นระยะเวลา 60 นาที และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยประมาณ 99.7 °C น้ำหนักสุดท้ายชาเขียวใบหม่อนหลังอบแห้งมีค่าเท่ากับ 3 กิโลกรัม อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ 30°C ที่อัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องอบแห้งเฉลี่ย 0.59 kg/s

สำหรับกระบวนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนสามารถอบแห้งได้วันละ 100 กิโลกรัม (ครั้งละ 10 กิโลกรัม วันละ 10 ครั้ง) จะใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สทั้งสิ้น 40 กิโลกรัม คิดอัตราการสิ้นเปลืองของกะลามะพร้าวและแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง (LPG) ต่อการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม และ 0.077 กิโลกรัม และทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้แก๊สหุงต้มกับการใช้กะลามะพร้าวผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การอบแห้งชาเขียวใบหม่อน 1 ปี (ทำการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนวันละ 100 กิโลกรัม และทำงาน 5 วันต่อสัปดาห์ ใน 1 ปีทำงาน 260 วัน) จะต้องใช้กะลามะพร้าวทั้งสิ้น 10,400 กิโลกรัม โดยสามารถทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ได้เท่ากับ 2,080 กิโลกรัม

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

1. ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อน

$$\eta_{\text{cabinet}} = \frac{w h_{fg}}{\dot{m} C_p (\Delta T)} \times 100$$

w คือ น้ำที่ต้องระเหยออก = 1.94×10^{-3} kg/s

h_{fg} คือ ความร้อนของการระเหยน้ำ = 2.257 MJ/kg

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลอากาศ = 0.59 kg/s

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิประมาณ 63.6°C = 1.007 kJ/kg $^\circ\text{C}$

(ΔT) คือ ค่าความต่างอุณหภูมิ = 63.6°C

$$\eta_{\text{cabinet}} = \frac{1.94 \times 10^{-3} \times 2.257}{0.59 \times 1.007 \times (96.2 - 32.6)} \times 100$$

$$= 11.58 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของตู้อบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.58

2. ประสิทธิภาพระบบอบแห้งชาเขียวใบหม่อน

$$\eta_{\text{sys}} = \frac{w h_{fg}}{m_{\text{fuel}} \text{HHV}_{\text{fuel}} + E_e} \times 100$$

m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิง = 3 kg

HHV_{fuel} คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง = 17.93 MJ/kg

E_e คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมป้อนอากาศในส่วนของระบบผลิตแก๊สและพัดลมระบายอากาศภายในเครื่องอบแห้ง

$$\eta_{\text{sys}} = \frac{7 \times 2.257}{(3 \times 17.93) + [(0.4 + 0.3) \times 3.6]} \times 100$$

$$= 28.06 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบอบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าเท่ากับร้อยละ 28.06

3. ประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

$$\varepsilon = \frac{\Delta T \text{ (minimum fluid)}}{\Delta T \text{ (maximum temperature difference in heat exchanger)}}$$

$$\varepsilon_{\text{plate}} = \frac{(T_{hi} - T_{ho})}{(T_{hi} - T_{ci})}$$

T_{hi} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า = 630°C

T_{ho} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก = 137.3°C

T_{ci} คือ อุณหภูมิอากาศเย็นขาเข้า = 32.6°C

$$\varepsilon_{\text{plate}} = \frac{(630 - 137.3)}{(630 - 32.6)}$$

$$\varepsilon_{\text{plate}} = \frac{(492.7)}{(597.4)}$$

$$= 0.82$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมีค่าเท่ากับ 0.82

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

$$\varepsilon_{\text{tube}} = \frac{(T_{hi} - T_{ho})}{(T_{hi} - T_{ci})}$$

T_{hi} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า = 137.3°C

T_{ho} คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก = 79.6°C

$$\varepsilon_{\text{tube}} = \frac{(137.3 - 79.6)}{(137.32 - 32.6)}$$

$$\varepsilon_{\text{tube}} = \frac{(57.5)}{(104.7)}$$

$$= 0.55$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อมี่ค่าเท่ากับ 0.55

และประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนหาได้ดังนี้

$$\varepsilon_{\text{heat exchanger}} = \varepsilon_{\text{plate}} \cdot \varepsilon_{\text{tube}}$$

$$\varepsilon_{\text{heat exchanger}} = 0.82 \times 0.55$$

$$\varepsilon_{\text{heat exchanger}} = 0.45$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนมีค่าเท่ากับ 0.45

4. ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของระบบแก๊สซิฟิเคชันเพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตชาเขียวใบหม่อน พิจารณาถึงการทดแทนแก๊สหุงต้มจากการใช้โปรดิวเซอร์แก๊สเพื่อหาจุดคุ้มทุนของการใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากกำลังการผลิตชาเขียวใบหม่อนในขั้นตอนการลวกและการคั่วกับขั้นตอนการอบแห้งนั้นไม่สามารถใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันเพียงระบบเดียวได้ ดังนั้นในการพิจารณานี้ได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของขั้นตอนการลวกและการคั่วชาเขียวใบหม่อน และกลุ่มสอง เป็นการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของขั้นตอนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

สำหรับการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการผลิตชาเขียวใบหม่อนขั้นตอนการลวกและการคั่วกับขั้นตอนการอบแห้ง มีสมมุติฐานดังนี้

- กำหนดอายุการใช้งานของระบบแก๊สซิฟิเคชัน	10 ปี
- กำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน	9.75 % [30]
- ราคาแก๊สหุงต้ม	15.8 บาท/กิโลกรัม [29]
- ค่าไฟฟ้า (อุตสาหกรรมขนาดเล็ก)	2.77 บาท/หน่วย [31]
- ราคาเชื้อเพลิง	2 บาท/กิโลกรัม
- ทำการผลิตชาเขียวใบหม่อน	260 ครั้ง/ปี
- ค่าแรงงานเดินเครื่องและดูแลระบบแก๊สซิฟิเคชัน	150 บาท/วัน

1. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของขั้นตอนการลวกและการคั่วชาเขียวใบหม่อน สามารถนำโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ไปใช้แทนแก๊สหุงต้มได้เลยโดยไม่ต้องมีการปรับปรุง และสามารถลวกและคั่วชาเขียวใบหม่อนได้วันละ 500 กิโลกรัม ในอุตสาหกรรมการผลิตชาเขียวใบหม่อนทั่วไปใช้แก๊สหุงต้ม 8.5 กิโลกรัม สำหรับขั้นตอนดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เงินลงทุนในการสร้างระบบแก๊สซิฟิเคชัน	70,000 บาท
2. มูลค่าซาก 10% ของเงินลงทุนในการสร้าง	7,000 บาท

ค่าบำรุงดูแลรักษาระบบแก๊สซิฟิเคชันประกอบด้วย ค่าขนวนตัวเตาผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส สีทาป้องกันสนิมในส่วนในระบบท่อส่งแก๊ส และค่าซ่อมบำรุงระบบท่อและวาล์วต่างในระบบ

3. ค่าบำรุงรักษารายปี	1,000 บาท
4. ค่าไฟฟ้าสำหรับพัดลมป้อนอากาศรายปี (ทำงานครั้งละ 2 หน่วย)	1,440.4 บาท

5. ค่าเชื้อเพลิง (ทำงานครั้งละ 38.5 กิโลกรัม)	20,020 บาท
6. ค่าแรงงานเดินเครื่องและดูแลระบบ	39,000 บาท

จากเงินลงทุนสามารถคิดเป็นเงินลงทุนรายปีได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{เงินลงทุนรายปี} &= 70,000 \text{ CRF } (9.75\%, 10) \\
 &= 70,000(i(1+i)^n)/((1+i)^n - 1) \\
 &= 70,000(0.0975(1+0.0975)^{10})/((1+0.0975)^{10} - 1) \\
 &= 11,355.82 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

เมื่อ CRF คือ Capital Recovery Factor

i คือ อัตราดอกเบี้ย = 9.75%

n คือ จำนวนปี = 10 ปี

$$\begin{aligned}
 \text{มูลค่าซากรายปี} &= 7,000 \text{ SFF } (9.75\%, 10) \\
 &= 7,000(i/((1+i)^n - 1)) \\
 &= 7,000(0.0975/((1+0.0975)^{10} - 1)) \\
 &= 444.51 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

เมื่อ SFF คือ Sinking Fund Factor

$$\begin{aligned}
 \text{รวมเงินลงทุนรายปี} &= \text{เงินลงทุนในการสร้างระบบแก๊สซิฟิเคชัน} \\
 &+ \text{เงินลงทุนในการดูแลรักษารายปี} + \text{เงินลงทุนค่าไฟฟ้า} \\
 &+ \text{รายปี} + \text{ค่าเชื้อเพลิงรายปี} - \text{มูลค่าซากรายปี} + \text{เงิน} \\
 &+ \text{ค่าแรงงานเดินเครื่อง} \\
 &= 11,355.82 + 1,000 + 1,440.4 + 20,020 - \\
 &+ 444.51 + 39,000 \\
 &= 52,351.71 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตชาเขียวใบหม่อนของอุตสาหกรรมทั่วไปมีค่าใช้จ่ายสำหรับแก๊สหุงต้ม 34,918 บาทต่อปี เมื่อคำนวณเงินลงทุนรายปีของการใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันมีมูลค่า 52,351.71 บาทต่อปี พบว่า จุดคุ้มทุนของการใช้ระบบนี้อยู่ที่ประมาณ 1.49 ปี หรือ 1 ปี 5 เดือน 26 วัน

2. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของขั้นตอนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน ซึ่งได้ออกแบบเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนที่ใช้โปรตีนเทอร์แกสเป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นจึงมีเงินลงทุนในส่วนของการสร้างเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนเพิ่มขึ้นมีมูลค่าในส่วนของตัวเองเครื่องอบแห้ง 30,000 บาท ซึ่งกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 10 ปี และเครื่องอบแห้งชาเขียวใบหม่อนนี้สามารถอบแห้งได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งวันละ 10 ครั้ง สามารถอบแห้งได้วันละ 100 กิโลกรัม สมมติฐานของการใช้ระบบนี้ คือ

1. เงินลงทุนในการสร้างระบบแก๊สซิไฟเออร์และตู้อบแห้ง 100,000 บาท
2. มูลค่าซาก 10% ของเงินลงทุนในการสร้าง 10,000 บาท
ค่าบำรุงดูแลรักษานอกจากระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์แล้วยังมีในส่วนของตัวเองเครื่องอบแห้ง คือ อนุพันธ์ในส่วนของตัวเองและค่าทำความสะอาดไส้ผลิตภัณฑ์และภายในตู้อบแห้ง
3. ค่าบำรุงรักษารายปี 3% 3,000 บาท
ค่าไฟฟ้าประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าของระบบผลิตโปรตีนเทอร์แกส และค่าไฟฟ้าสำหรับพัดลมในส่วนของตัวเอง
4. ค่าไฟฟ้ารายปี (ทำงานครั้งละ 7 หน่วย) 5,041.4 บาท
5. ค่าเชื้อเพลิง (ทำงานครั้งละ 40 กิโลกรัม) 20,800 บาท
6. ค่าแรงงานเดินเครื่องและดูแลระบบ 39,000 บาท

จากเงินลงทุนสามารถคิดเป็นเงินลงทุนรายปีได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{เงินลงทุนรายปี} &= 100,000 \text{ CRF } (9.75\%, 10) \\
 &= 100,000(i(1+i)^n)/((1+i)^n - 1) \\
 &= 100,000(0.0975(1+0.0975)^{10})/((1+0.0975)^{10} - 1) \\
 &= 16,100 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{มูลค่าซากรายปี} &= 10,000 \text{ SFF } (9.75\%, 10) \\
 &= 10,000(i/((1+i)^n - 1)) \\
 &= 10,000(0.0975/(1+0.0975)^{10} - 1) \\
 &= 635 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{รวมเงินลงทุนรายปี} &= \text{เงินลงทุนในการสร้างระบบแก๊สซิฟิเคชันและตู้อบแห้ง} \\
 &+ \text{เงินลงทุนในการดูแลรักษารายปี} + \text{เงินลงทุนค่าไฟฟ้า} \\
 &\text{รายปี} + \text{ค่าเชื้อเพลิงรายปี} - \text{มูลค่าซากรายปี} + \text{เงิน} \\
 &\text{ค่าแรงงานเดินเครื่อง} \\
 &= 16,100 + 3,000 + 5,041.4 + 20,800 - 635 + 39,000 \\
 &= 83,306.4 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาถึงการทดแทนแก๊สหุงต้มโดยใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันในขั้นตอนการอบแห้งชาเขียวใบหม่อนจำนวน 100 กิโลกรัม ภายใต้สมมุติฐานเกี่ยวกับราคาการทดแทนแก๊สหุงต้มและจำนวนครั้งในการผลิตต่อปีเหมือนกับขั้นตอนการลอกและการคั่วชาเขียวใบหม่อน สำหรับการอบแห้งชาเขียวใบหม่อน 100 กิโลกรัม ใช้แก๊สหุงต้ม 8 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายสำหรับแก๊สหุงต้มเท่ากับ 32,864.4 บาทต่อปี เมื่อคำนวณเงินลงทุนรายปีของการใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันมีมูลค่า 83,306.4 บาทต่อปี ดังนั้นจะได้จุดคุ้มทุนของการใช้ระบบนี้อยู่ที่ 2.53 ปี หรือ 2 ปี 6 เดือน 10 วัน