# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลืองสำหรับครัวเรือน

ภูวดล เพ็ญนาดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
มิถุนายน 2563

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลืองสำหรับครัวเรือน

ภูวดล เพ็ญนาดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
มิถุนายน 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

# Comparison Efficiency of Cashew Nut Oven With Clean and Conventional Energy For Households

Phuwadol Pennadee

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering Program (Engineering Management)
faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University
June 2020

Copyright of Uttaradit Rajabhat University

วิทยานิพนธ์ เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลือง
สำหรับครัวเรือน

ของ

ภูวดล เพ็ญนาดี

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ )
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์)
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล คงนุ่น)
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ )
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และเลขานุการ

| | |
|---|---|
| ..... | ..... |
| (อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ) | (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์) |
| ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำหลักสูตร | คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |
| ..... | ..... |
| (อาจารย์ ดร.เชาวฤทธิ์ จั่นจีน) | (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองเดช วงศ์หล้า) |
| คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย | อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

# บทคัดย่อ


| | |
|---|---|
| ชื่อเรื่อง | การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลืองสำหรับครัวเรือน |
| ผู้วิจัย | ภูวดล เพ็ญนาดี |
| ปริญญา | หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม) |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล คงนุ่น |

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและต้นทุนการผลิตในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ด้วยการปรับปรุงตู้อบให้เป็นระบบปิด โดยเปลี่ยนชุดให้ความร้อนจากก๊าซ LPG เป็นก๊าซชีวมวล จากนั้นเก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยในพื้นที่ตำบลหาดหล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ และทดลองด้วยการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ครั้งละ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในตู้อบ 50 องศาเซลเซียส รวบรวมข้อมูล 3 ช่วงเวลา ได้แก่ 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พร้อมทั้งประเมินผลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จากก๊าซชีวมวล

ผลการวิจัยพบว่า ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยก๊าซชีวมวลมีประสิทธิภาพดีกว่าตู้อบด้วยก๊าซ LPG ปัญหาต้นทุนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต้องใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ในกระบวนการอบไล่น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1,500 บาทต่อเดือน และหากกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยนำพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวมวลมาใช้แทนก๊าซ LPG โดยใช้เวลาในการอบ 45 นาที จะใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เท่ากับ 0.4 กิโลกรัมต่อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หนึ่งกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 4 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้มี สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG พบว่ามีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงน้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาน้อยกว่า 15 นาที และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สัมผัสกับก๊าซเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงตู้อบครั้งนี้ จำนวน 18,624 บาท

สามารถผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือได้ 288 กิโลกรัมต่อปี ราคาขายอยู่ที่ 500 บาทต่อกิโลกรัม กลุ่มผู้ผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์รายย่อยสามารถคืนทุนได้ภายใน 0.77 ปี

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, ตู้อบ, พลังงานสะอาด, มะม่วงหิมพานต์, ชีวมวล

# Abstract


| | |
|---|---|
| Title | Comparison Efficiency of Cashew Nut Oven With Clean and Conventional Energy For Households |
| Author | Phuwadol Pennadee |
| Degree | Master of Engineering Program (Engineering Management) |
| Advisor | Dr. Yosphatrachai Kanitpunyacharoen |
| Co-Advisor | Assistant Professor Dr.Weerapon Kongnun |

The purposes of this research were to study problems and cost of producing roasted cashew nut with LPG, to compare efficiency of cashew nut ovens using different kinds of energy, and to evaluate the economic value of cashew nut processing. This study was an experimental research in that the oven was improved to be a closed-system oven by changing LPG to biomass energy. The data were collected from a group of small manufacturers in Hat La Sub-District, Tha Pla District, Uttaradit Province. The experiment started with roasting 1 kg. of cashew nut in a 50 °C oven and recording the data at 30, 45 and 60 minutes respectively as well as evaluating the economic value of cashew nut processing from biomass energy.

The results reveal that the biomass energy oven is more efficient than LPG oven. The problems of cashew nut producing cost is the use of LPG for roasting cashew nut that costs 1,500 baht/month. Meanwhile, roasting 1 kg. of cashew nut for 45 minutes uses 0.4 kg. of biomass energy and costs 4 baht/product. Moreover, the color, smell, taste and texture of the product produced from the biomass energy oven meet the local standard. Therefore, the biomass energy oven costs 60% less when compared to LPG oven and saves 15 minutes, and the product does not contact the gas. The total cost of making the oven is 18,624 baht and it is able to produce 288 kg. of roasted cashew nut per year. The product price is 500 baht/kg., so the payback period is 0.77 year.

Keyword : Efficiency, Clean Energy, Cashew Nut, Biomass Energy

# กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล คงนุ่น ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึง ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณสาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ช่วยเหลือในด้านข้อมูลและสถานที่ ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอ กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย และให้กำลังใจเสมอมา ทำให้ผู้วิจัย สามารถฝ่าฟันอุปสรรคนานาประการจนสำเร็จ ประโยชน์อันใดจากงานวิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตาบูชา แด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภูวดล เพ็ญนาดี

# สารบัญ


**บทที่** **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

คำถามการวิจัย ..... 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 2

ขอบเขตของการวิจัย ..... 2

นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 2

สมมุติฐานการวิจัย ..... 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ..... 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 5

ทฤษฎีการอบแห้ง ..... 5

หลักการก๊าซชีวมวล ..... 25

หลักการก๊าซ LPG ..... 28

ตู้อบและเทคโนโลยีการอบ ..... 39

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 45

บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย ..... 53
วิธีการวิจัย ..... 53
วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย ..... 55
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ..... 57
บทที่ 4 ผลการทดลอง ..... 60
ผลการทดลอง ..... 60
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อแสนอแนะ ..... 66
สรุปผลการวิจัย ..... 66
อภิปรายผล ..... 66
ข้อเสนอแนะ ..... 68
บรรณานุกรม ..... 70
ภาคผนวก ..... 73
ภาคผนวก ก ศึกษากระบวนผลิต และสภาพปัญหา ..... 74
ภาคผนวก ข ปรับปรุง และพัฒนาตู้อบ ..... 76
ภาคผนวก ค การทดลองอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG ..... 78
ภาคผนวก จ การทดลองอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล ..... 80
ประวัติย่อผู้วิจัย ..... 83

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

ตารางที่ 1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (1 kg.)..... 61

ตารางที่ 2 เชื้อ LPG ที่ใช้ในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (1 kg.)..... 61

ตารางที่ 3 น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ (1 kg.)..... 62

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล และตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG ที่ช่วงเวลา 30 นาที..... 63

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวล และตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลหลังอบ ช่วงเวลา 45 นาที..... 63

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวล และตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลหลังอบ ช่วงเวลา 60 นาที..... 64

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายตู้อบที่ปรับปรุงแล้ว..... 65

# สารบัญภาพ

**ภาพที่** **หน้า**


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย ..... 4

ภาพที่ 2 เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ..... 14

ภาพที่ 3 กระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ..... 17

ภาพที่ 4 เก็บเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แก่จัดที่หล่นจากต้น ..... 18

ภาพที่ 5 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยแดดทิ้งไว้ 3–4 วัน ..... 18

ภาพที่ 6 ต้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ตากแห้งแล้ว ..... 19

ภาพที่ 7 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ต้มสุกแล้วมากะเทาะเปลือกออก ..... 19

ภาพที่ 8 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่กะเทาะเปลือกเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 20

ภาพที่ 9 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบเสร็จแล้วมาลอกเยื่อสีชมพูออก ..... 20

ภาพที่ 10 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปคัดแยกเกรด ..... 21

ภาพที่ 11 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปแปรรูป ..... 21

ภาพที่ 12 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทอดเสร็จแล้วมาพักให้เย็น ..... 22

ภาพที่ 13 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เย็นแล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซ LPG ..... 22

ภาพที่ 14 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำการบรรจุหีบห่อพร้อมจำหน่าย ..... 23

ภาพที่ 15 การผลิตพลังงานก๊าซชีวมวล ..... 27

ภาพที่ 16 ก๊าซ LPG ..... 28

ภาพที่ 17 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ..... 29

ภาพที่ 18 กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ..... 36

ภาพที่ 19 กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ ..... 38

ภาพที่ 20 องค์ประกอบพื้นฐานของตู้อบลมร้อน ..... 40

ภาพที่ 21 วิธีดำเนินการวิจัยกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ..... 54

ภาพที่ 22 ตู้อบมีขนาดภายใน 42 x 40 x 25 เซนติเมตร และขนาดภายนอกตู้อบ 77 x 70 x 66 เซนติเมตร ..... 55

ภาพที่ 23 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Infrared Thernal Camera) รุ่น THT 46 ฟังค์ชั่น วัดอุณหภูมิพื้นผิว และการถ่ายภาพความร้อนในแบบเรียลไทม์ วัด: -20 องศาเซลเซียส ถึง 350 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ ±2%/±2°C ความละเอียดการแสดงผล 160x120 pixels ความเร็วในการจับภาพ 50 Hz ..... 55

ภาพที่ 24 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบใช้มือถือ DMM AC/DC ยี่ห้อ:UT240A UNI-T การวัดอเนกประสงค์ แรงดันไฟฟ้า AC/DC (V) กระแสไฟ AC/DC (A) ความต้านทาน (Ω) ความจุ (F) ความถี่ (Hz) อุณหภูมิ (°C) ความถูกต้องที่สุด กระแสไฟ AC (A) 40A/600A ± (2.5% + 5) กระแสไฟตรง (A)40A/600A ..... 56

ภาพที่ 25 เกจวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ MIC รุ่น TC430-3004 อุณหภูมิสูงสุด 300°C ความแม่นยำ ±1.5% เกรียวออกหลัง ..... 56

ภาพที่ 26 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล Digital balance scale 10kg ความละเอียด 1g SF-400 A... 56

ภาพที่ 27 ปรับปรุงตู้อบ ..... 57

ภาพที่ 28 ทดลองอบโดยตู้อบเชื้อเพลิง LPG ..... 57

ภาพที่ 29 ทดลองอบโดยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวล ..... 58

ภาพที่ 30 เก็บรวบรวมข้อมูล ..... 58

ภาพที่ 31 ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล ..... 67

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการอบมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อน และอื่น ๆ อีกมากมาย โดยแต่ละกระบวนการมีการนำเชื้อเพลิงต่าง ๆ มาใช้ในการให้ความร้อนในกระบวนการอบแตกต่างกันไป เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซ LPG ฯลฯ (นพรัตน์ อมัติรัตน์, 2554, น.1) ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยบ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดหล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ได้ทำการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อจำหน่ายเป็นสินค้า OTOP ประจำจังหวัดอุตรดิตถ์ และกระบวนการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ใช้ตู้อบลมร้อนอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG เป็นหลัก โดยใช้ระยะเวลาในการอบไล่น้ำมันประมาณ 1 ชั่วโมงต่อครั้ง ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูงและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสภาวะเศรษฐกิจอีกทั้งเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากทุก ๆ การเผาไหม้ก๊าซ LPG ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 1.1339 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า

ปัญหาค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงของกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมข้างต้น การัณย์ หอมชาติ (2561) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพตู้อบด้วยการอบผสมผสานพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบสูงกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวถึง 5-8 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก ศิรินุช จินดารักษ์ และจอมภพ แววศักดิ์ (2548) ที่พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นถึง 19.8 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ว่าความร้อนจากชีวมวลยังสัมผัสกับผลิตภัณฑ์หากนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และไม่พบการนำก๊าซชีวมวลมาใช้โดยตรง

ปัญหาค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ข้างต้น ผู้วิจัยตระหนักถึงความต้องการจำเป็นในการใช้พลังงานของกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน หากแต่การนำความร้อนจากชีวมวลมาใช้กับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จำเป็นต้องออกแบบระบบให้ความร้อนที่ได้ต้องไม่สัมผัสกับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนรวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงได้รวมทั้งเป็นพลังงานหมุนเวียน ไม่มีวันหมด ต้นทุนต่ำ ตลอดจนไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

## คำถามการวิจัย

ประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวล กับพลังงาน LPG มีความแตกต่างกันอย่างไร

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและต้นทุนการผลิตในการใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG ในพื้นที่บ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG กับ ชีวมวล
3. เพื่อประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับ ก๊าซชีวมวลในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

## ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG กับ ก๊าซชีวมวล ครั้งนี้ผู้วิจัยมีขอบเขตการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. มิติตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
   1.1 ขนาดภายในตู้อบ 42 x 40 x 25 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
   1.2 ขนาดภายนอกตู้อบ 77 x 70 x 66 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
   1.3 หัวแก๊สอินฟาเรด 1 หัวล่าง ขนาด 150 มิลลิเมตร
   1.4 ท่อส่งแก๊ส 2 ท่อ ขนาด ½ นิ้ว
2. เชื้อเพลิงแท่งชีวมวลจากเศษไม้ไผ่ที่ได้จากอุตสาหกรรมไม้ไผ่ผลิตไม้ตะเกียบและไม้เสียบลูกชิ้นในท้องถิ่นขนาดความยาว 1-1.5 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
3. ประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์วัดจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

## นิยามศัพท์เฉพาะ

ตู้อบ หมายถึง อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่เมล็ดมะม่วงหิมพานต์และป้องกันสิ่งปนเปื้อนภายนอกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรมะม่วงหิมพานต์

ประสิทธิภาพตู้อบ หมายถึง อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลต่อหน่วยการผลิตมีหน่วยเป็นกิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ และลักษณะผลิตภัณฑ์เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีความสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน วัดได้จากลักษณะสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส

ก๊าซชีวมวล หมายถึง ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นของเตาผลิตก๊าซสังเคราะห์จากไม้

ผลตอบแทน หมายถึง ผลต่างรายได้จากการเปลี่ยนพลังงานเชื่อเพลิงจากก๊าซ LPG เป็นพลังงานก๊าซชีวมวล

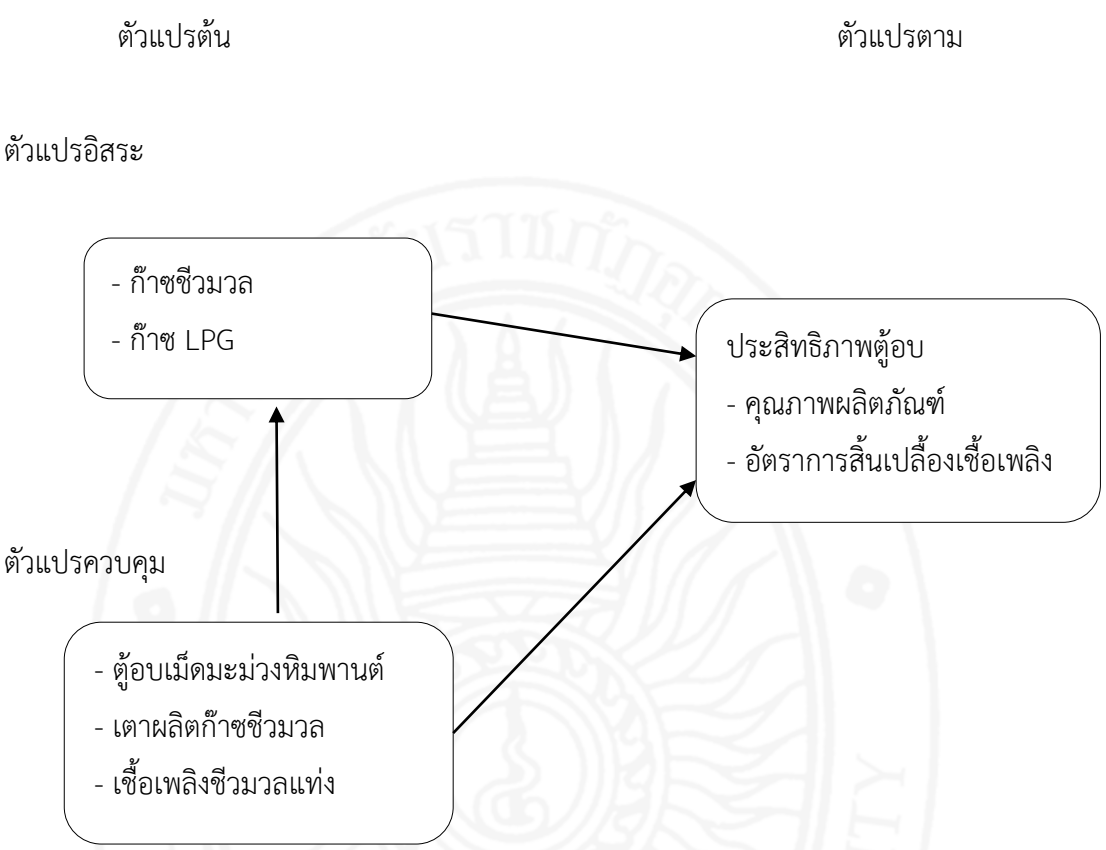
## สมมุติฐานการวิจัย

ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยก๊าซชีวมวลมีประสิทธิภาพการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มากกว่าตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยก๊าซ LPG

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ข้อมูลการอบผลิตภัณฑ์ด้วยก๊าซชีวมวลที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่มาจากก๊าซ LPG ได้
2. ได้ต้นแบบตู้อบผลิตภัณฑ์ด้วยก๊าซชีวมวลสำหรับการพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
3. ได้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยการอบจากพลังงานสะอาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

## กรอบแนวคิดในการวิจัย




ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า แนวคิด ทฤษฎี จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งมีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีการอบแห้ง
2. หลักการก๊าซชีวมวล
3. หลักการก๊าซ LPG
4. ตู้อบและเทคโนโลยีการอบ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ทฤษฎีการอบแห้ง

**การอบแห้ง (Drying)**

การอบแห้ง คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบ เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้น การอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (Yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ การอบแห้งจึงเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เป็นกระบวนการย้ายมวลประกอบด้วยการกำจัดน้ำหรือตัวทำละลายอื่นโดยการระเหยจากของแข็ง กึ่งของแข็งหรือของเหลว กระบวนการนี้มักใช้เป็นขั้นตอนการผลิตสุดท้ายก่อนขายหรือบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องเป็นของแข็งจึงพิจารณาว่า "อบแห้งแล้ว" ในรูปแผ่นต่อเนื่อง (เช่น กระดาษ) ชิ้นยาว (เช่น ไม้) อนุภาค (เช่น เมล็ดธัญพืชหรือเกล็ดข้าวโพด) หรือผง (เช่น ทราย เกลือ ผงซักล้าง นมผง) แหล่งกำเนิดความร้อนและตัวดึงไอที่ผลิตจากกระบวนการดังกล่าวมักเกี่ยวข้องด้วย ในผลิตภัณฑ์

ชีวภาพอย่างอาหาร ธัญพืชและเภสัชภัณฑ์อย่างวัคซีน น้ำเป็นตัวทำละลายที่ต้องกำจัดแทบทั้งสิ้น โดยกระบวนการที่สามารถไล่น้ำมันหลังจากการทอดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบไล่น้ำมันนั้นต้องใช้วิธีการอบแห้งเข้ามาช่วย ซึ่งหลังจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่านการทอดเกลือแล้ว มักจะมีการอบด้วยเตาอบ ที่อุณหภูมิต่ำ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง จะเป็นการไล่น้ำมันและน้ำที่มีการตกค้างจากการอมน้ำมันของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ วิธีการอบแห้งเพื่อไล่น้ำมันนี้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์กรอบมากขึ้น กรอบนานขึ้น ลดกลิ่นเหม็นเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน โดยการอบแห้งเพื่อไล่น้ำมันจะมีกระบวนการทำให้น้ำมันระเหยออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อน ผลิตภัณฑ์จะได้ความชื้นที่ลดลง ผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสีย ผลิตภัณฑ์มีการคงสภาพความกรอบยาวนานขึ้น กระบวนการแบบนี้เป็นตัวอย่างที่เด่นชัด ของปรากฏการณ์ถ่ายเทมวลและความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงเฟสเพราะระเหยน้ำมันออกไปโดยการให้ความร้อน การอบแห้งทำได้หลายวิธีเช่น การตากแดด (Sun Drying) ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Hot Air Drier) ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum Shelf Drier) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying) การทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze Drying) การอบแห้ง (Baking) ซึ่งอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะมีปริมาณน้ำมันและความชื้นที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์หรืออาหารลดลง จึงทำให้ยืดอายุอาหารและตัวผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน เพราะเมื่อผลิตภัณฑ์และอาหารมีน้ำมันลดลงก็จะทำให้ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์และอาหารได้

**ประเภทของการอบแห้ง**

แบ่งออกเป็น 5 ประเภท พิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของแข็งเปียกกับก๊าซร้อนเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง

1. การอบแห้งแบบไหลเวียนผ่านผิว (Cross-Circulation Drying)

คือ การอบแห้งที่ความร้อนไหลขนานกับผิวของของแข็ง อาจจะไหลผ่านผิวด้านบนหรือผ่านผิวด้านล่าง หรือผ่านทั้งสองด้าน ตัวอย่างเครื่องอบแห้งประเภทนี้ คือ เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)

ข้อควรระวังในการใช้งาน ควรเรียงวัสดุของแข็งเป็นชั้นเดียว หรือเป็นชั้นบาง ๆ

2. การอบแห้งแบบไหลเวียนแทรกผ่าน (Through-Circulation Drying)

คือ การที่ของแข็งที่จะทำการอบแห้ง ถูกวางบนตะแกรงและให้ก๊าซร้อนเคลื่อนที่แทรกผ่านชั้นของแข็ง ความร้อนอาจเคลื่อนที่จากผิวด้านบนสู่ผิวด้านล่างของของแข็ง และผ่านตะแกรงออกไป

ข้อควรระวังในการใช้งาน ควรปรับความเร็วของก๊าซร้อนไม่ให้สูงเกินไป ถ้าก๊าซร้อนมีความเร็วสูง จะพัดพาของแข็งออกจากเครื่องได้

3. การอบแห้งแบบโปรย (Showering Drying)

คือ การอบแห้งที่ของแข็งถูกตักขึ้นและโปรยลงสู่ด้านล่าง จะมีก๊าซร้อนเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มของแข็ง ตัวอย่างเครื่องอบแห้งประเภทนี้ คือ เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer)

ข้อควรระวังในการใช้งาน วัสดุที่เป็นผงละเอียดต้องใช้ความระมัดระวังในการอบแห้ง เพราะก๊าซร้อนอาจพัดพาวัสดุออกจากเครื่องอบ ทำให้เกิดการสูญเสียของแข็ง

4. การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Drying)

คือ การอบแห้งที่วัสดุของแข็งถูกวางบนตะแกรงเป็นชั้นของแข็งและมีการให้ก๊าซร้อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเหมาะสมผ่านตะแกรงเข้าสู่ด้านล่างของชั้นของแข็งและออกไปทางด้านบน ส่งผลให้กลุ่มของแข็งมีลักษณะเป็นฟลูอิดไดซ์

ข้อควรระวังในการใช้งาน ควรปรับความเร็วของก๊าซร้อนให้เหมาะสม ไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้ของแข็งไม่เกิดเอนเทรนเมนต์ของวัสดุที่เป็นผงละเอียด

5. การอบแห้งแบบนิวเมติก (Pneumatic Drying)

คือ การอบแห้งที่มีการขนส่งวัสดุของแข็งเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยใช้ความเร็วของก๊าซร้อนทำให้ของแข็งเคลื่อนที่ไปยังปลายทาง พร้อมกับการลดความชื้นภายในวัสดุของแข็งนั้น

**ชนิดของเครื่องอบแห้ง**

แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ซึ่งพบใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Drying)

เป็นการอบแห้งที่อาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน อาจเป็นก๊าซหุงต้มหรือคอล์ยไอน้ำ ลมร้อนจะไหลผ่านของแข็งที่วางเป็นชั้นบาง ๆ ในชั้นอาจมีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุนก็ได้ มีระบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในเครื่องโดยใช้แผ่นเหล็กบาง ๆ กั้น เพื่อให้ลมร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วน นิยมใช้ ในโรงงานที่มีกำลังผลิตไม่สูงมากนัก เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารและยา การแปรรูปไม้ เป็นต้น

2. เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Belt Drier)

เป็นการอบแห้งที่ของแข็งจะถูกวางเรียงให้กระจายสม่ำเสมอบนสายพานที่มีลักษณะเป็นตะแกรง โปร่ง ให้อากาศผ่านได้ บริเวณที่อบแห้งมีลักษณะเป็นอุโมงค์อบแห้งที่มีลมร้อนเป็นตัวกลางถ่านเทความชื้นออกจากของแข็ง แหล่งความร้อนอาจเป็นแก๊สหรือไอน้ำร้อน นิยมใช้ อบแห้งกับวัสดุที่เป็นเมล็ด แผ่น เพสท์ เค้กกรอง เป็นต้น

3. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เป็นการอบแห้งที่ใช้กับสารที่เป็นสารละลายและสเลอร์รี่ (เป็นสารแขวนลอยในของเหลว) ซึ่งจะถูกทำให้กระจายและกลายเป็นอนุภาคหรือหยดน้ำเล็ก ๆ และพ่นเข้าไปในกระแสของลมร้อน กระบวนการทำงาน สารละลายถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีด (Nozzle หรือ Atomizer) ที่ติดตั้งอยู่ด้านบน

ของคอลัมน์ทรงกระบอก ซึ่งฉีดสารละลายป้อนให้เป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ และเคลื่อนตกลงมาด้านล่างโดยสัมผัสกับอากาศร้อน ทำให้น้ำในละอองระเหยเป็นไอออกไปอย่างรวดเร็วได้เป็นผลวัสดุที่แห้งและเคลื่อนที่ตกลงมาทางด้านล่างและถูกนำออกจากเครื่องอบแห้ง นิยมใช้ อุตสาหกรรมการผลิตกาแฟกึ่งสำเร็จรูป นมผง ผงซักฟอก เป็นต้น

4. เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (Rotary Drier)

หลักการทำงาน เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวถังอบ เป็นทรงกระบอกวางนอนหรือวางเอียงเล็กน้อย ป้อนวัสดุที่ต้องการอบเข้าด้านบนของเครื่อง จะมีการเป่าลมร้อนเข้าบริเวณแกนกลางของเครื่องอบหรือผ่านทางด้านล่าง ผ่านชั้นของผลผลิต ถังอบหมุนรอบตัวอย่างช้า ๆ หรือหมุนเป็นช่วง ๆ ภายในถังจะมีการติดตั้งครีบตักวัสดุขึ้นไปแล้วโปรยจากด้านบน วัสดุจะมีการคลุกเคล้ากันตลอดเวลาทำให้การอบแห้งสม่ำเสมอ วัสดุที่อบแห้งเสร็จแล้วจะเคลื่อนที่ออกทางช่องเปิดด้านล่าง นิยมใช้ ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ เกลือ น้ำตาล เป็นต้น

5. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Drier)

หลักการทำงาน ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกหนึ่งลูก หรือสองลูก ลูกกลิ้งมักทำด้วยเหล็กปอดสนิม ผิวเรียบ ภายในลูกกลิ้งกลวงและได้รับความร้อนจากด้านในด้วยไอน้ำ หรือไฟฟ้า มีระบบป้อนสารละลายทำให้สารละลายเหลวข้น เคลือบผิวลูกกลิ้งเป็นฟิล์มบาง เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวของลูกกลิ้งไปยังฟิล์มของสารละลายด้วยการนำความร้อน เมื่อลูกกลิ้งเคลื่อนที่ไปครบรอบสารละลายจะแห้งพอดีแล้วถูกขูดออกด้วยใบมีด สารละลายแห้งมีลักษณะเป็นแผ่นบาง อาจนำมาผ่านการบดให้เป็นผงละเอียด นิยมใช้ ทำแห้งสารละลายที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด เช่น น้ำแป้งสุก ผลไม้บด เช่น กล้วย ทุเรียน

6. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Dryer)

หลักการทำงาน ของแข็งเปียกถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเครื่อง อากาศร้อนถูกป้อนเข้าสู่ทางด้านล่างของเครื่องโดยความเร็วที่เหมาะสม เพื่อควบคุมให้ของแข็งเกิดการฟลูอิดไดซ์ ในเครื่องอบแห้งมีการติดแผ่นกระจาย เพื่อทำหน้าที่กระจายทิศทางการไหลของอากาศให้มีความสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ฟลูอิดไดซ์ ของแข็งขนาดใหญ่ที่แห้งขึ้นออกทางด้านข้างค่อนมาด้านล่าง ของแข็งขนาดเล็กที่แห้งขึ้นอาจติดรวมไปกับอากาศ จึงมีการติดตั้งระบบไซโคลนเพื่อดักของแข็งขนาดเล็กให้แยกออกมาจากอากาศร้อน ก่อนปล่อยอากาศร้อนทิ้งไป

**การทำแห้ง (Dehydration)**

การทำแห้งเป็นการดึงเอาน้ำอิสระ (Free Water) ในอาหารซึ่งเป็นน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ออกไปส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็นน้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร (bound water) ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นกล้ามเนื้อสัตว์ซึ่งจุลินทรีย์ ไม่สามารถดึงออกมาใช้ประโยชน์หรือเพื่อการดำรงชีพได้ ซึ่งการทำแห้งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. การทำแห้งด้วยแสงแดด (Sun Drying) เป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันมาแต่โบราณ โดยนำเนื้อสัตว์มาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ล้างด้วยน้ำทะเล หรือล้างด้วยน้ำธรรมดาแล้วคลุกเคล้าเกลือแล้วจึงนำไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดด วิธีการนี้ประหยัดพลังงานความร้อนแต่เนื้อตากแห้งที่ได้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูง หากตากไม่แห้งพอเมื่อเก็บไว้นานวันอาจเสียได้ง่าย

2. การทำแห้งด้วยความร้อน (Hot air Drying) วิธีการนี้เป็นการนำวิธีการแรกมาปรับปรุงโดยใช้อุปกรณ์เข้าช่วยเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งตามที่ต้องการและมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยวิธีนี้สะอาดลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดดการทำแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วมักใช้วิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่านทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบใช้อุณหภูมิประมาณ 50 – 70 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 5.6 - 8.5 แต่จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้นถึงร้อยละ 20.4 - 24.2 กรณีที่เป็นเนื้อสุกรตากแห้งอาจเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย เมื่อเก็บไว้ 3 - 5 วัน แต่ป้องกันได้โดยการเติมสารกันหืน เช่น BHA หรือ BHT ประมาณร้อยละ 0.01 ผสมเนื้อหมักเกลือก่อนตากแห้ง

3. การทำแห้งด้วยความเย็น (Freeze Drying) หรือการแช่แข็งแล้วทำให้แห้งในสุญญากาศเป็นวิธีการทำให้เนื้อสัตว์แห้งโดยการระเหิด (Sublimation) น้ำออกจากชิ้นเนื้อในสภาวะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศโดยการที่ชิ้นเนื้อจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดเยือกแข็งโดยเร็วจนน้ำภายในชิ้นเนื้อกลายเป็นน้ำแข็งน้ำแข็งเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นและควบคุมความดันของสุญญากาศให้เหมาะสมหรือควบคุมความดันให้เท่ากับหรือต่ำกว่าความดัน ณ จุดเปลี่ยนสภาวะของน้ำ (Triple Point of Water) น้ำแข็งจะสามารถระเหิดกลายเป็นไอน้ำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อนเตาอบลมร้อน เครื่องตากแห้งระบบแก๊ส

เตาอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เหมาะกับสินค้าทางการเกษตรต่าง ๆ โดยผลิตผลเหล่านี้ต้องนำไปแปรรูปต่อไปอีกครั้งมีเปลือกหุ้มอยู่หรือต้องนำไปชำระล้างอีกครั้งก่อนการบริโภคต่อไปรวมถึงผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาหาร เช่น ใช้อบแห้งลำไย อบแห้งกระเทียมอบแห้งหอม อบแห้งข้าวโพด อบแห้งเมล็ดข้าว อบแห้งเมล็ดถั่ว อบแห้งเมล็ดงาอบแห้งธัญพืชต่าง ๆ อบแห้งวัสดุต่าง ๆ เช่น อบแห้งพลาสติก

**ประโยชน์ของตู้อบแห้ง**

1. ช่วยให้เรายังคงสามารถดำเนินการผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่องต่อไป แม้จะอยู่ในระหว่างสภาวะที่เกิดฝนตก หรือไม่มีแดดเพียงพอสำหรับตากสินค้าของเรา เราจึงไม่จำเป็นต้องหยุดการผลิตสินค้า

2. ช่วยลดความสูญเสียและความเสียหายเนื่องจากสินค้าบางชนิด หากไม่รีบทำการผลิตภัณฑ์นั้นแห้งก่อนจะเกิดการเน่าเสียหรือด้อยคุณภาพได้

3. เนื่องจากเป็นเตาอบแห้งชนิดถอดประกอบเองได้ จึงมีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ในสายการผลิตอื่นก็ทำได้ง่าย โดยสามารถถอดเก็บได้อย่างสะดวก

4. ไม่ต้องลงทุนด้วยเงินจำนวนมากสำหรับสร้างโรงอบโรงตากมีเพียงโรงเรือนโล่ง ๆ ก็สามารถดำเนินการผลิตสินค้าด้วยการอบแห้งได้ตลอดปี

**การอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์ (SOLAR DRYING)**

การอบแห้งในระบบปิดที่มีการระบายอากาศ (Enclosed Ventilated Area) พัฒนาขึ้นมาจากการตากแห้ง (Sun Drying) ซึ่งเป็นวิธีไล่ความชื้นในผลผลิตทางการเกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บอาหาร ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศภายในอุปกรณ์อบแห้ง และสมบัติทางกายภาพ/เคมีของสิ่งที่ต้องการจะอบ โครงสร้างอุปกรณ์อบแห้ง (Solar Dryer) มี 3 แบบ ได้แก่ ตู้อบแห้ง (Cabinet) กระโจมอบแห้ง (Tent) และอุโมงค์อบแห้ง (tunnel) ซึ่งสามารถสร้างเป็นโรงเรือนอบแห้ง (Greenhouse) ที่ผสมผสานอุปกรณ์อบแห้งหลายแบบเข้าด้วยกัน ด้านที่รับแสงทำจากวัสดุโปร่งแสง เช่น พอลิเอทีลีนอะครีลิก หรือกระจก ภายในอุปกรณ์อบแห้งได้รับการออกแบบให้มีอากาศร้อนหมุนเวียนอาศัยหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Passive Solar Drying) หรือติดตั้งพัดลม เพื่อเหนี่ยวนำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ (Active Solar Drying) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับลมร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการอบแห้งอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ เช่น ช่วงฝนตก หรือเพื่อลดความชื้นในอากาศก่อนป้อนเข้าสู่อุปกรณ์อบแห้ง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง

**โดมอบและเทคโนโลยีการอบ**

โดมอบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อบให้แห้งด้วย ด้วยหลักการ แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปในโดม ซึ่งฝาด้านบนโดมจะมีลักษณะใสอาจทำจากกระจกหรือโปลีคาร์บอเนตก็ได้ เมื่อแสงแดดผ่านเข้าไปในโดมจะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น ซึ่งเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุที่ต้องการอบแห้ง น้ำที่ระเหยจากวัตถุจะลอยตัวละเหยออก อากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดการหมุนเวียนภายในตู้อบ โดยปรกติจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 60 - 70 องศาเซลเซียส หากทำระบบใหญ่อาจเรียกว่าโรงอบ และปรกติทำมาจากกระจกหรือโปลีคาร์บอเนต ส่วนอลูมิเนียมพื้นในโดมอบอาจทาสีดำเพื่อให้ดูดกลืนแสงแดดได้ดีขึ้น

**การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**

ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1. การอบแห้งระบบ Passive

การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่

1.1 เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

1.2 ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้อบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น

1.3 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2. การอบแห้งระบบ Active

การอบแห้งระบบ Active คือระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3. การอบแห้งระบบ Hybrid

การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย

**หลักการทำงาน**

ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนถูกถ่ายเทให้วัตถุ โดยกระบวนการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ความร้อนที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวไวความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากของเหลวเป็นไอ หรือจากของแข็งเป็นไอ

1. ระบบถ่ายเทความร้อนที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ

1.1 การพาความร้อนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Convection) ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักของอากาศที่ร้อนและเย็น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างช้า ๆ ช่องให้อากาศเย็นไหลเข้า(Intake Port) มักจะอยู่ส่วนล่างของตู้อบ อากาศร้อนบางส่วนไหลออกทางช่องระบายอากาศด้านบนทำให้ระบบนี้มีผลเสียอยู่หลายประการ

1.2 การพาความร้อนโดยใช้พัดลม (Mechanical Convection) นิยมใช้มอเตอร์หมุนพัดลมชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ซึ่งไม่ต้องการการดูแลมากเพราะไม่ได้ใช้แปรงถ่าน มอเตอร์ดังกล่าวจะทำหน้าที่หมุนพัดลม ซึ่งอาจถูกติดไว้ที่ส่วนล่างของตู้อบเพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวดิ่ง (Vertical Convection) หรือติดตั้งไว้ที่ส่วนบนของตู้อบ เพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวระดับ (Horizontal Convection) การใช้พัดลมทำให้เกิดผลดีอยู่ 4 ประการคือ

1.2.1 ใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นสั้นกว่า เนื่องจากอากาศภายนอกที่ถูกดูดเข้ามาภายในตู้อบจะผ่านตัวกำเนิดความร้อนโดยตรง

1.2.2 อุณหภูมิภายในตู้อบเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปิดประตูตู้อบ เพราะอากาศที่ถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมถูกทำให้อุ่นขึ้นก่อน เมื่อผ่านห้องเพิ่มความร้อนล่วงหน้า(Preheating Chamber) ตลอดเวลา

1.2.3 อุณหภูมิทุก ๆ จุดภายในตู้อบค่อนข้างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะใส่วัตถุอบเต็มที่ เนื่องจากพัดลมช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า

1.2.4 มีเวลาสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ 1 $^{\circ}C$ หลังจากเปิดประตูตู้อบกว้างที่สุดนาน 1 นาที (Recovery Time)

2. ตัวไวความร้อน (Temperature Sensor) มีหน้าที่ป้อนสัญญาณให้วงจร หรือระบบควบคุมอุณหภูมิ หรือป้อนสัญญาณให้ระบบอ่านค่าอุณหภูมิ ตัวไวความร้อนที่นิยมใช้มีหลายชนิด

2.1 เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด เชื่อมต่อกัน รอยต่ออันหนึ่งอยู่ที่อุณหภูมิต่ำเรียกว่า “รอยต่อเย็น” หรือ “Cold Junction” หรือ “Reference Junction” รอยต่ออีกอันหนึ่งอยู่ในที่อุณหภูมิสูงกว่าเรียกว่า “รอยต่อร้อน” หรือ “Hot Junction” หรือ “Thermocouple” ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อทั้งสองทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แต่จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสองเท่ากัน ในทางทฤษฎีต้องรักษาอุณหภูมิของรอยต่อเย็นให้คงที่เพื่อเป็นตัวอ้างอิง แต่ในทางปฏิบัติกระทำได้ยาก จึงต้องใช้ตัวต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิต่อชดเชยความไม่คงที่ของรอยต่อเย็นหรืออาจชดเชยความผิดพลาดโดยใช้โลหะผสมที่มีความต้านทานต่ำกว่าโลหะที่ใช้ทำเทอร์มอคัปเปิลทำสายต่อในวงจร

2.2 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) เทอร์มิสเตอร์มาจากคำว่า “Thermal” ซึ่งหมายถึง ความร้อนผสมกับคำว่า “Resistor” ซึ่งหมายถึงตัวต้านทาน ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงหมายถึง สารที่เปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสารเหล่านี้อาจเป็นสารกึ่งตัวนำหรือโลหะผสม เทอร์มิสเตอร์ มีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดที่ความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Negative Coefficient Thermistor) ชนิดที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Positive Coefficient Thermistor) สำหรับประเภทหลังมักเป็นสารผสมของ Ba, Pb และ Strontium Titanate แต่ไม่นิยมใช้เทอร์มิสเตอร์แบบแรกเป็นออกไซด์ของเหล็ก แมงกานีส ซิลิเคท โคบอลท์ ทองแดง ไททาเนียม ฯลฯ ออกไซด์เหล่านี้ถูกห่อหุ้มไว้ด้วย อีพอกซี (Epoxy) เซรามิก (Ceramic) หรือแก้ว เพื่อป้องกันการเสียหายจากการกระแทกหรือถูกกัดกร่อน มีขนาดเล็กตั้งแต่ 1-2.5 มม. จนถึงขนาด 5-25 มม. มีความต้านทานประมาณ 10 กิโลโอห์มที่ 0 °C และ 200 โอห์มที่ 100 °C เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ในช่วง –100 ถึง 300 °C โดยไม่จำเป็นต้องใช้เทอร์มิสเตอร์หลายอัน เนื่องจากมีความต้านทานภายในตัวเองสูง ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความต้านทานที่ลดลงจะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Curve) ก็ตาม แต่ในช่วงอุณหภูมิที่แคบ (0-100 °C) สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์มิสเตอร์มีความถูกต้องสูงมาก (ผิดพลาดไม่เกิน 0.001 °C) เทอร์มิสเตอร์จึงเหมาะสำหรับการ ใช้งานในช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) แบ่งเป็น2 แบบคือ แบบกล (Mechanical Type) ที่อาศัยการเคลื่อนที่ของกลไก และแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Solid State Type)

3.1 แบบกล ทำงานโดยการตัด (OFF) หรือต่อ (ON) กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวกำเนิดความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสของสวิทช์ไฟฟ้าซึ่งถูกควบคุมโดยตัวไวความร้อน แบบกลส่วนใหญ่มีความไวในการควบคุมอุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะสำหรับควบคุมอุณหภูมิในเครื่องมือที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมากนัก

3.2 แบบอิเล็กทรอนิกส์ มีอยู่หลายชนิด ตัวอย่างเช่น แบบเปิดปิด (ON/OFF) ทำงานโดยการรับสัญญาณจากตัวไวความร้อน แล้วตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าของตัวกำเนิดความร้อนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด ตัวอย่างเช่นเอสซีอาร์ (SCR) ไตรแอก หรือทรานซิสเตอร์ ฯลฯ ในขณะที่เปิดวงจรไฟฟ้าตัวกำเนิดความร้อนจะดึงกระแสไฟฟ้าอย่างเต็มที่และต่อเนื่องตามวัตต์ของตัวกำเนิดความร้อน ดังนั้นจึงเกิดการกระชากกระแสไฟฟ้ามาก และอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมสำหรับการใช้งานในตู้อบแห้ง (ตำราเครื่องมือวิทยาศาสตร์. ออนไลน์. 2558)

**เมล็ดมะม่วงหิมพานต์**

ภาพที่ 2 เมล็ดมะม่วงหิมพานต์
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

มะม่วงหิมพานต์ เป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทย และกำลังได้รับความสนใจทั้ง ภาครัฐบาลและเอกชนที่จะพัฒนาให้เป็นพืชเศรษฐกิจเพื่อเป็นสินค้าส่งออก จากการวิจัยพบว่า มะม่วงหิมพานต์ สามารถเจริญได้ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่น ๆ ของประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพืชที่ทนแล้ง ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ดูแลง่าย ขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่ระบายน้ำดี หน้าดินลึกไม่เป็นดินดาน ไม่เป็นดินด่างจัด หรือกรดจัด การปลูกมะม่วงหิมพานต์นอกจากเป็นการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรแล้วยังเป็นการเพิ่มการปลูกป่า ทำให้สภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมดีขึ้น

มะม่วงหิมพานต์ ชื่อสามัญ Cashew, Cashew Nut (แคชชูนัท) และชื่อทางวิทยาศาสตร์ Anacardium occidentale มีผลเป็นชมภู่และเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นรูปไตยื่นออกมาจากผลชมภู่อีกที ลักษณะเป็นไม้ผลยืนต้น ตระกูลเดียวกับมะม่วงปัจจุบันเติบโตแพร่หลายทั่วไปในภูมิภาคเขตร้อน เป็นไม้ผลพื้นเมืองของอเมริกาใต้ มีปลูกกันทั่วไปตั้งแต่เม็กซิโกจนถึงเปรู ต่อมาได้ ขยายพันธุ์ออกไปอย่างกว้างขวางในทวีปอาฟริกา อเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ ตามหมู่เกาะต่าง ๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิค ตลอดจนถึงทวีปเอเชีย ประเทศที่นับได้ว่าเป็นผู้ส่งออกผลิตผลจากมะม่วงหิมพานต์รายใหญ่ของโลก ได้แก่ อินเดีย โมแซมบิค แทนซาเนีย บราซิล เป็นต้น

การนำเข้ามาในประเทศไทยนั้น สันนิฐานว่า พระยารัษฎานุประดิษฐ์ (คอซิมบี ณ ระนอง) ได้นำเข้า มาจากอินเดีย เมื่อปี พ.ศ. 2444 พร้อม ๆ กับยางพารา และหลังจากนั้นได้มีผู้นำเข้ามาอีก

หลายครั้งจากอินเดีย ไลบีเรีย เป็นต้น โดยกรมวิชาการเกษตร (กรมกสิกรรมเดิม) เป็นผู้ทดลองศึกษาค้นคว้าคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถปลูกให้ได้ผลผลิตสูงในประเทศไทย ปัจจุบันมะม่วงหิมพานต์ได้ปลูกกระจายไปทั่วประเทศ แต่ปลูกมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

**ลักษณะทั่วไปทางพฤกษศาสตร์**

**มะม่วงหิมพานต์**

เป็นไม้ผลยืนต้น ตระกูลเดียวกับมะม่วงมีขึ้นอยู่ทั่วไปในประเทศที่มีอากาศร้อนและฝนตกชุก เป็นต้นไม้ที่ไม่ผลัดใบ สูงราว 6-12 เมตร แผ่กิ่งก้านสาขาเป็นพุ่มกว้างออกไปโดยรอบ 4-10 เมตร กิ่งทอดยาว แผ่ออกข้าง ๆ ในกิ่งใหญ่ หรือส่วนโคนของกิ่งใหญ่ ๆ ถ้าปล่อยตามธรรมชาติจะไม่มีกิ่งแขนงเกิด แต่ถ้าได้รับ การตัดแต่งหรือบังคับ ก็จะมีกิ่งแขนงแตกออกตามทิศทางที่เราต้องการได้ มีใบหนาคล้ายรูปไข่ ปลายใบป้อม โคนใบแหลมยาวประมาณ 10-12 เซนติเมตร กว้างประมาณ 5-7.5 เซนติเมตร ออกช่อดอกที่ปลายกิ่ง ช่อดอกยาว ประมาณ 15-25 เซนติเมตร บางดอกมีแต่เกสรตัวผู้ บางดอกมีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย อยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดังนั้น การผสมพันธุ์จึงทำการผสมในช่อเดียวกัน ลักษณะดอกเป็นช่อ ในหนึ่งดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 กลีบ กลีบดอกสีขาวนวล 5 กลีบ เมื่อแรกบานกลีบดอกจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีชมพูอมเหลือง แต่ละดอกมีขนาด เล็กมาก เมื่อเวลาดอกบาน กลีบดอกทั้ง 5 ม้วนเข้าหากลีบเลี้ยง คงโผล่ให้เห็นยอดเกสรตัวเมียชัดเจน เกสรตัวผู้อยู่ภายในดอก 9 อัน และมีรังไข่อยู่ที่ก้านเกสรตัวเมีย

ผลมีลักษณะที่แปลก ส่วนที่เป็นผลคือก้านของดอกที่ขยายตัวพองขึ้นและส่วนที่เป็นผลจริง ๆ คือ เมล็ดที่รูปร่างเหมือนไตติดอยู่ตรงปลายสุด เมื่อยังอ่อนมีสีเขียว และขยายเติบโตจนใหญ่กว่าผลใน ระยะแรก (ที่เกิดจากการขยายตัวของก้านดอก) เมื่อได้ขนาดก็หยุดเจริญเปลี่ยนสีเป็นสีเทา และพร้อมกันนี้ดอกที่ เป็นผลปลอมก็เริ่มขยายเบ่งตัวพองโตขึ้นจนใหญ่กว่าเมล็ด เมล็ดขนาดยาวประมาณ 3 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร ถ้าผ่าเมล็ดออกเปลือกเมล็ดจะหนาราว 2-3 มิลลิเมตร เมล็ดในมีสีขาวนวลประกบกัน 2 ซีก เปลือกหุ้มเมล็ดมียางสีน้ำตาลอ่อน มีลักษณะเป็นกรด ถ้าถูกผิวหนังจะทำให้พองเป็นแผลเปื่อย แต่มีประโยชน์ ในทางอุตสาหกรรมมาก

**ประโยชน์ของมะม่วงหิมพานต์**

ผล ใช้รับประทานเป็นอาหาร ทำแยม น้ำส้มสายชู เครื่องดื่ม และไวน์ น้ำของผลมะม่วงหิมพานต์ ใช้เป็นยาแก้โรคกระเพาะ แก้อาเจียน เจ็บคอ ขับปัสสาวะ และขับเหงื่อ

เปลือกหุ้มเมล็ด นำมาสกัดได้กรดน้ำมัน ซึ่งมีประโยชน์ทางอุตสาหกรรมใช้ทำผ้าเบรค แผ่นคลัช หมึกพิมพ์ กระเบื้องยางปูพื้น สีทาบ้าน และอื่น ๆ ไม่น้อยกว่า 400 ชนิด นอกจากนี้ยังทำเป็นยาแก้โรคเหน็บชา โรคเลือดคั่ง และโรคผิวหนัง

เยื่อหุ้มเมล็ดใน ใช้เป็นอาหารสัตว์

เมล็ดใน ใช้รับประทานมีคุณค่าทางอาหารสูง ใกล้เคียงไข่ นม เนื้อ ไม่เพิ่มไขมันในเส้นเลือดและตับ เป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายที่สุดดีกว่าพืชตระกูลถั่วทั่ว ๆ ไป

ใบและยอดอ่อน รับประทานบรรเทาโรคท้องร่วง บิด ริดสีดวง

ใบแก่ นำมาลดให้ละเอียด ใช้พอกแผลที่เกิดจากไฟไหม้ หรือนำมาขยี้และใช้สีฟังทำให้ฟันสะอาด

ลำต้น ทำหีบใส่ของ ลังไม้ เรือ แอก ดุมล้อเกวียน

ยางจากเปลือกลำต้น ทำหมึกประทับตราผ้า น้ำมันขัดเงา เคลือบหนังสือ น้ำประสานในการบัดกรีโลหะ และใช้ทำกาว

เปลือกลำต้น แก้ปวดฟัน ต้มกินแก้โรคท้องร่วง และผิวหนังพุพอง

ราก เป็นยาฝาดสมานแผล และแก้โรคท้องร่วง

**พันธุ์**

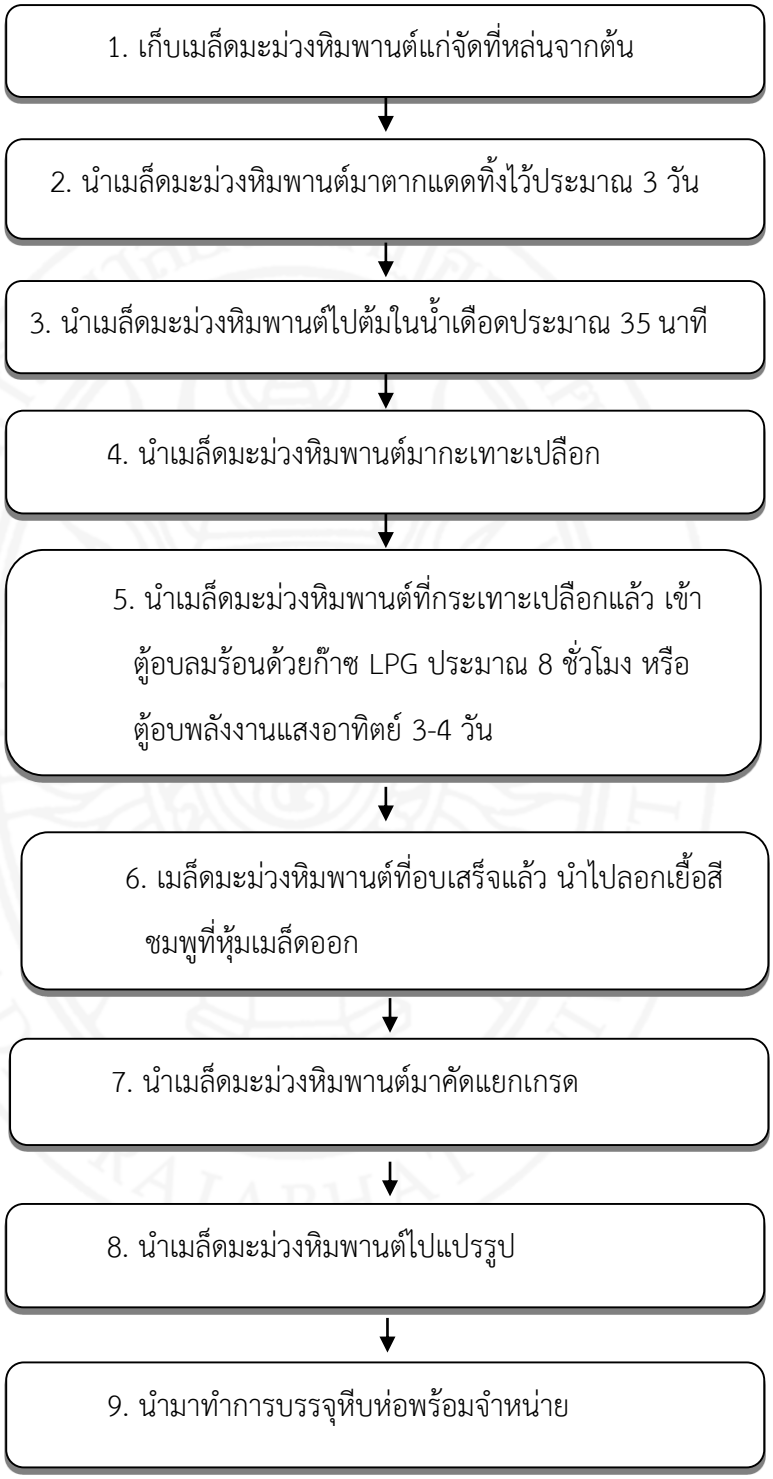
มะม่วงหิมพานต์ที่ปลูกอยู่ทั่วโลกมีไม่ต่ำกว่า 400 พันธุ์ แต่พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีไม่มากนัก ซึ่งได้จากการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะดีตรงตามความต้องการ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน กรมวิชาการได้ทำการคัดเลือก และได้ผ่านการรับรองพันธุ์แล้ว จำนวน 2 พันธุ์คือ พันธุ์ศรีสะเกษ 60-1 และศรีสะเกษ 60-2 เหมาะสมสำหรับขยายพันธุ์แบบติดตา ต่อกิ่ง หรือขยายพันธุ์โดยไม่ใช้เพศอื่น ๆ

**การปลูกมะม่วงหิมพานต์ภายในอำเภอท่าปลา**

นายไพรัช อุสาหะ เกษตรอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์กล่าวว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอท่าปลาเป็นพื้นที่เขา ดินลูกรัง ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกมะม่วงหิมพานต์เพราะเป็นพืชทนแล้งและให้ผลตอบแทนสูง ปัจจุบันได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมะม่วงหิมพานต์จำนวน 3,036 ราย ในพื้นที่กว่า 20,000 ไร่และมีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้แล้วถึง 10,000 ไร่ คิดเป็นผลผลิตทั้งหมดประมาณ 5,000 ตัน ซึ่งถ้ากะเทาะเมล็ดแล้วจะได้ประมาณ 1,000-1,300 ตัน (ผลผลิตทั้งเปลือก 5 กิโลกรัมเมื่อกะเทาะแล้วจะได้เมล็ดมะม่วง 1.3 กิโลกรัม) จำหน่ายเมล็ดที่กะเทาะ กิโลกรัมละ 25-27 บาท รวมแล้วเป็นมูลค่ากว่า 30 ล้านบาท

การปลูกมะม่วงหิมพานต์ใน อ.ท่าปลา เกษตรกรนิยมปลูกโดยการเพาะเมล็ดเพราะเป็นวิธีที่ง่ายสะดวกรวดเร็ว ได้ปริมาณต้นกล้าที่มากและแข็งแรง พันธุ์ที่นิยมปลูกคือพันธุ์ ศ.ก.60-1 และ ศ.ก.60-2 เพราะมีลักษณะลำต้นแข็งแรง ทนทานและให้ผลผลิตต่อต้นปริมาณมาก ในการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์นั้นจะมีส่วนที่เหลือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเนื้อผลและเยื่อลอกทำเป็นปุ๋ยหมัก เปลือกหลังจากกะเทาะหรือกากนั้น จะจำหน่ายให้พ่อค้ากิโลกรัมละ 50 สตางค์ เพื่อขายส่งโรงงานสกัดเป็นน้ำมันเบรค

**กระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**




ภาพที่ 3 กระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

**การแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**

1. เก็บเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แก่จัดที่หล่นจากต้นมะม่วงหิมพานต์

ภาพที่ 4 เก็บเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แก่จัดที่หล่นจากต้น
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

2. นำเม็ดมะม่วงหิมพานต์มาตากให้แห้งด้วยแดดทิ้งไว้ประมาณ 3 - 4 วัน

ภาพที่ 5 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยแดดทิ้งไว้ 3 – 4 วัน
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

3. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ตากแห้งแล้วมาต้มในน้ำเดือดประมาณ 30 – 35 นาที

ภาพที่ 6 ต้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ตากแห้งแล้ว
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

4. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ต้มสุกแล้วมากะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ภาพที่ 7 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ต้มสุกแล้วมากะเทาะเปลือกออก
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

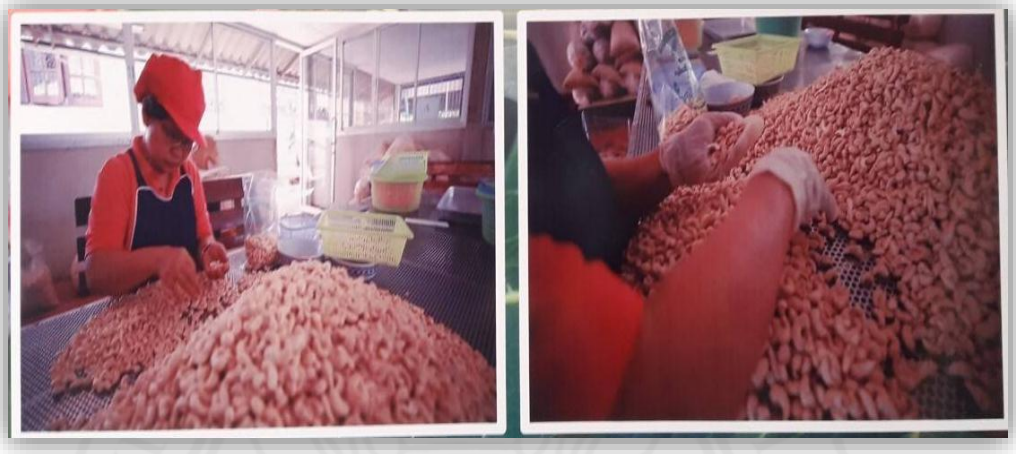
5. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่กะเทาะเปลือกแล้วมาเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทิ้งไว้ประมาณ 3 – 4 วัน

ภาพที่ 8 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่กะเทาะเปลือกเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

6. เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบเสร็จแล้ว นำไปลอกเยื่อออกสีชมพูที่หุ้มเมล็ดออก

ภาพที่ 9 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบเสร็จแล้วมาลอกเยื่อสีชมพูออก
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

7. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ลอกเยื่อสีชมพูออกแล้วไปคัดแยกเกรด



ภาพที่ 10 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปคัดแยกเกรด
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

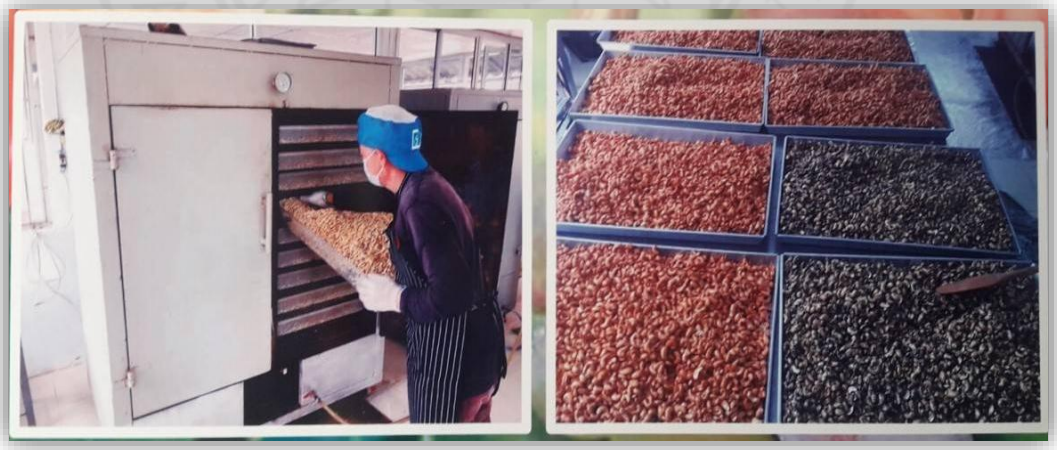
8. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปแปรรูป

ภาพที่ 11 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปแปรรูป

9. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทอดเสร็จแล้วมาพักไว้ให้เย็น

ภาพที่ 12 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทอดเสร็จแล้วมาพักให้เย็น
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

10. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เย็นแล้วนำมาเข้าตู้อบแห้งเพื่อไล่น้ำมันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาอบ 60 นาที



ภาพที่ 13 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เย็นแล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซ LPG
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

11. นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบแห้งไล่น้ำมันเสร็จแล้วมาทำการบรรจุหีบห่อพร้อมจำหน่าย

ภาพที่ 14 นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำการบรรจุหีบห่อพร้อมจำหน่าย
ที่มา: กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไก่ต้อย

**ระบบการผลิตระดับอุตสาหกรรม**

ระบบ หมายถึง องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน และขึ้นต่อกัน โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ร่วมกันทำงานอย่างผสมผสานกัน เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้โดยทั่วไประบบ จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท กล่าวคือ *ระบบปิด และระบบเปิด* ในองค์การแบบปิด ( Closed System ) จะไม่เกี่ยวข้องและไม่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ส่วนในองค์การแบบเปิด ( Open System )จะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากสิ่งแวดล้อม หากพิจารณาโดยละเอียด พบว่า

1. ระบบปิด (Closed System) คือ ระบบที่มีความสมบูรณ์ภายในตัวเอง ไม่พยายามผูกพันกับระบบอื่นใด และแยกคนเองออกจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในสังคม

2. ระบบเปิด (Open System) คือ ระบบที่ต้องอาศัยการติดต่อสัมพันธ์กับบุคคล องค์การหรือหน่วยงานอื่น ๆ ในลักษณะเป็นการแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ซึ่งกันและกัน และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นมีความสมดุล รวมทั้งสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก็มีผลหรืออิทธิพลต่อการทำงานต่อการทำงานขององค์การเช่นกันจากความหมายของระบบที่ได้ให้คำนิยามนั้น ย่อมแสดงให้เห็นว่า ทุกระบบต้องมีองค์ประกอบหรือสิ่งต่าง ๆ เพื่อดำเนินสัมพันธ์กันเป็นกระบวนการ เพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ ตามวัตถุที่องค์การได้ตั้งไว้ ดังนั้นภายในระบบจึงมีองค์ประกอบดังนี้

2.1 สิ่งที่ป้อนเข้ามา (Input) ปัจจัยต่าง ๆ และองค์ประกอบแรกที่จะนำไปสู่การดำเนินงานของระบบ โดยรวมไปถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อันเป็นที่ต้องการของระบบนั้นด้วย ในระบบการศึกษาตัวป้อนเข้าไป ได้แก่ นักเรียน สภาพแวดล้อมของนักเรียน โรงเรียน สมุด ดินสอ และอื่น ๆ เป็นต้น

2.2 กระบวนการ (Process) เป็นองค์ประกอบที่สองของระบบ หมายถึง วิธีการต่าง ๆ ที่จะนำไปสู่ผลงานหรือผลผลิตของระบบ และในระบบการศึกษาได้แก่ วิธีการสอนต่าง ๆ เป็นต้น

2.3 ผลงาน (Output) หรือ ผลิตผล (Product) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสุดท้ายของระบบ หมายถึง ความสำเร็จในลักษณะต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพ หรือประสิทธิผล ในระบบการศึกษา ได้แก่ นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในลักษณะต่าง ๆ หรือนักเรียนที่มีความรู้ ความสามารถที่จะดำรงชีวิตในอนาคตได้ตามอัตภาพ เป็นต้นทั้ง 3 องค์ประกอบ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ขาดสิ่งใดไม่ได้ นอกจากนั้นทั้ง 3 องค์ประกอบยังมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานขององค์การด้วย ในขณะที่องค์การต้องดำเนินกิจกรรมนั้น สิ่งที่ช่วยให้องค์การสามารถตรวจสอบว่ากิจกรรมต่าง ๆ นั้นบรรลุวัตถุประสงค์ หรือไม่ มีส่วนใดที่ต้องแก้ไขปรับปรุง จึงต้องอาศัย ข้อมูลป้อนกลับ (Feedback)ซึ่งจะช่วยให้องค์การสามารถปรับปรุง ตัวป้อง (Input) กระบวนการ (Process)

เพราะฉะนั้น ระบบการปฏิบัติงานขององค์การนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ สิ่งที่ป้องเข้าไป (Input) กระบวน (Process) และผลงาน (Output) โดยแต่ละส่วนจะต้องมีความสัมพันธ์และผสมผสานเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายขององค์การ

การใช้พลังงานจากแหล่ง พลังงานสะอาด เป็นการแก้ปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ถูกต้องและยั่งยืน ที่สุด พลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียน เป็นพลังงานธรรมชาติจากแสงอาทิตย์ ลม และชีวมวล ซึ่งสามารถใช้ได้ไม่มีวันหมด นอกจากนี้เทคโนโลยีใหม่ๆ ที่ช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้พลังงานความร้อนร่วมซึ่งเปลี่ยนรูปความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ผลิตให้เป็นพลังงาน ก็ถือว่าเป็นพลังงานสะอาดเช่นกัน โดยพลังงานสะอาดนี้จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ได้

ประเทศไทยมีช่วงเวลาที่มี แสงเป็นเวลานานในแต่ละวัน อีกทั้งยังมีปริมาณความเข้มของแสงสูงจึงมีศักยภาพสูงในการใช้พลังงานจากแสง อาทิตย์ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยียังมีราคาค่อนข้างแพงจึงควรได้รับการสนับสนุนจากทุก ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้มีการใช้อย่างแพร่หลายขึ้น

พลังงานชีวมวลก็เป็นอีก แหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากเรามีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย มันสำปะหลัง และเศษไม้ เป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในปัจจุบันในประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแล้ว แต่ยังมี

สัดส่วนไม่มากนักเมื่อเทียบกับการผลิตด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิล จึงควรสนับสนุนให้มีการผลิตเพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่มีวัตถุดิบเพียงพอซึ่งนอกจากจะช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน แล้วยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรจากการขายวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ อีกด้วย

**เหตุผลที่ควรเลือกใช้พลังงานสะอาด**

1. ช่วยลดการปล่อย $CO_2$ เพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
2. เพื่อสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในทางปฏิบัติ
3. เพื่อเป็นการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมน้อยกว่าโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
4. ช่วยให้คุณภาพอากาศในชุมชนบริเวณโรงไฟฟ้าดีขึ้น
5. ช่วยสร้างงานในภาคพลังงานหมุนเวียนและภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

**พลังงานสะอาด**

พลังงานสะอาดหรือที่เรียกอีกอย่างว่า Green Energy หมายถึงพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำมาใช้ไม่มีวันหมด และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่นพลังงานสะอาดที่เกิดจากชีวภาพได้แก่การหมัก จนก่อให้เกิดเป็นพลังงานทดแทนอย่างไบโอเอทานอล เกิดจากกระแสลม เช่นกังหันลม เกิดจากความร้อนใต้พื้นโลก เกิดจากกระแสน้ำ ซึ่งบางประเทศนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ หรือเกิดจากพลังงานที่มาจากแสงอาทิตย์ ตัวอย่างก็ได้แก่ แผงโซล่าเซลล์นั่นเอง การที่เราหันมาเอาใจใส่พลังงานสะอาดอย่างจริงจัง นอกจากจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ยังช่วยโลกของเราให้คงความอุดมสมบูรณ์ เป็นการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ถูกต้องและยั่งยืนที่สุด ซึ่งการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานธรรมชาติ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับผลิตพลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คุ้มค่า และเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานสะอาดอย่างแท้จริง

## หลักการก๊าซชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิต พลังงานได้สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ชีวมวลเล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร

(Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural Residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

ความชื้น (Moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance)ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles Matter และ Fixed Carbon Volatiles Matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่ายดังนั้น ชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles Matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

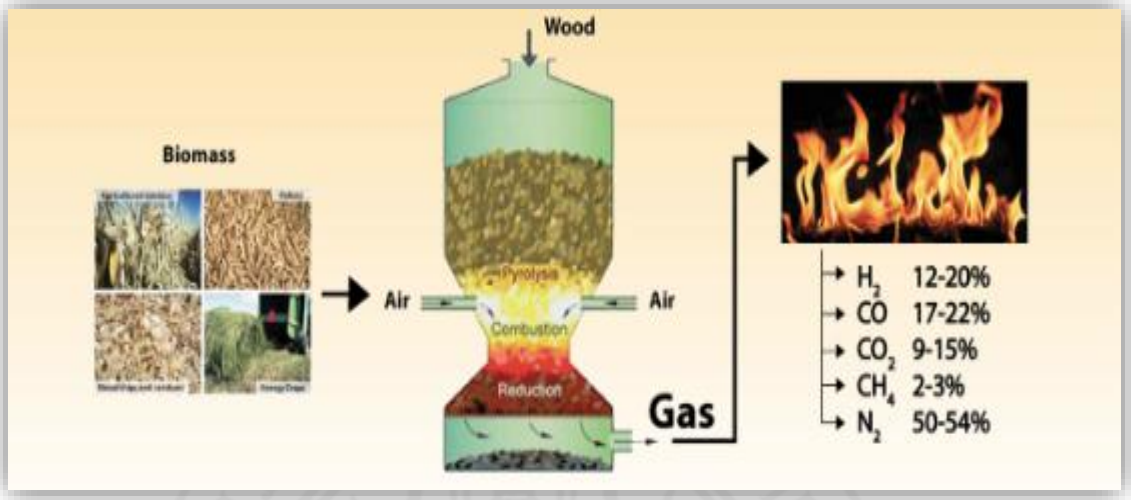
ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash)ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ

1. การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวลความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความ ดันสูงไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือเศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2. การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (Bogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (Gas Turbine)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Process) คือ การเปลี่ยนรูปพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลางของกระบวนการ เช่น อากาศ หรือไอน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น จะมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) อย่างสิ้นเชิงโดยการเผาไหม้ เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในชีวมวล ไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยอาศัยปฏิกิริยา 2 กระบวนการ โดยก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งานกว่าชีวมวล




ภาพที่ 15 การผลิตพลังงานก๊าซชีวมวล
ที่มา: เทคโนโลยีการผลิตพลังงานก๊าซชีวมวล, 2556

สรุปได้ว่าการผลิตแก๊สชีวมวล เป็นกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลโดยจำกัดอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการสันดาป ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นก๊าซ เชื้อเพลิงโพรดิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และ ไฮโดรเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใน เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตไฟฟ้า จากก๊าซชีวมวลนี้ เป็นระบบขนาดเล็ก เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชุมชน การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงแข็งให้ กลายเป็นก๊าซ ด้วยกระบวนการความร้อน โดยใน 1 กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยกระบวนการย่อยแยกเป็น 4 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการอบแห้ง ( Drying Process)

เป็นขั้นตอนแรกของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลที่เริ่มจุดไฟที่เตาเผา อุณหภูมิในเขตนี้จะอยู่ในระหว่าง 100-135 °C ความชื้นของชีวมวลจะถูกระเหยออกไปเป็นส่วนใหญ่

2. กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process)

การกลั่นสลายของเหลวที่อยู่ในชีวมวลอุณหภูมิในเขตนี้อยู่ระหว่าง 450-600 °C ผลผลิตที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันดิน และสารระเหยอื่น ๆ และมีก๊าซเชื้อเพลิง เพียงเล็กน้อย

3. กระบวนการเผาไหม้ (Combustion or Oxidation Process)

ในขั้นตอนนี้จะเป็น เขตที่ให้พลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์จาก ปฏิกิริยา การเผาไหม้ของคาร์บอนและก๊าซ ออกซิเจน

4. กระบวนการรีดักชัน (Reduction Process)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล อุณหภูมิในเขตนี้จะอยู่ใน ระหว่าง 600-700 °C เกิดก๊าซติดไฟ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน ($H_2$) และมีเทน ($CH_4$) (การผลิตพลังงานก๊าซชีวมวล, 2558)

**หลักการก๊าซ LPG**

ก๊าซ LPG หมายถึง “ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โปรเปนโปรปิลีนนอร์มัลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่” โดยทั่วไปเรามักเรียกก๊าซปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า ก๊าซ แก๊ส แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้ม ส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกันดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือ แอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อ มาจาก Liquefied Petroleum Gas ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.5-2 เท่าของอากาศ

การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากก๊าซจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันเพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันก๊าซเหลวนี้จะกลายเป็นไอ สามารถนำไปใช้งานได้

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบัน ใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และในรถยนต์ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ขนส่งสะดวกไม่เปลืองที่เก็บ และที่สำคัญคือ เผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ

ภาพที่ 16 ก๊าซ LPG

ที่มา: LPG Production Storage and Transportation, 2558

**คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว**

1. คุณสมบัติทางเคมี ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

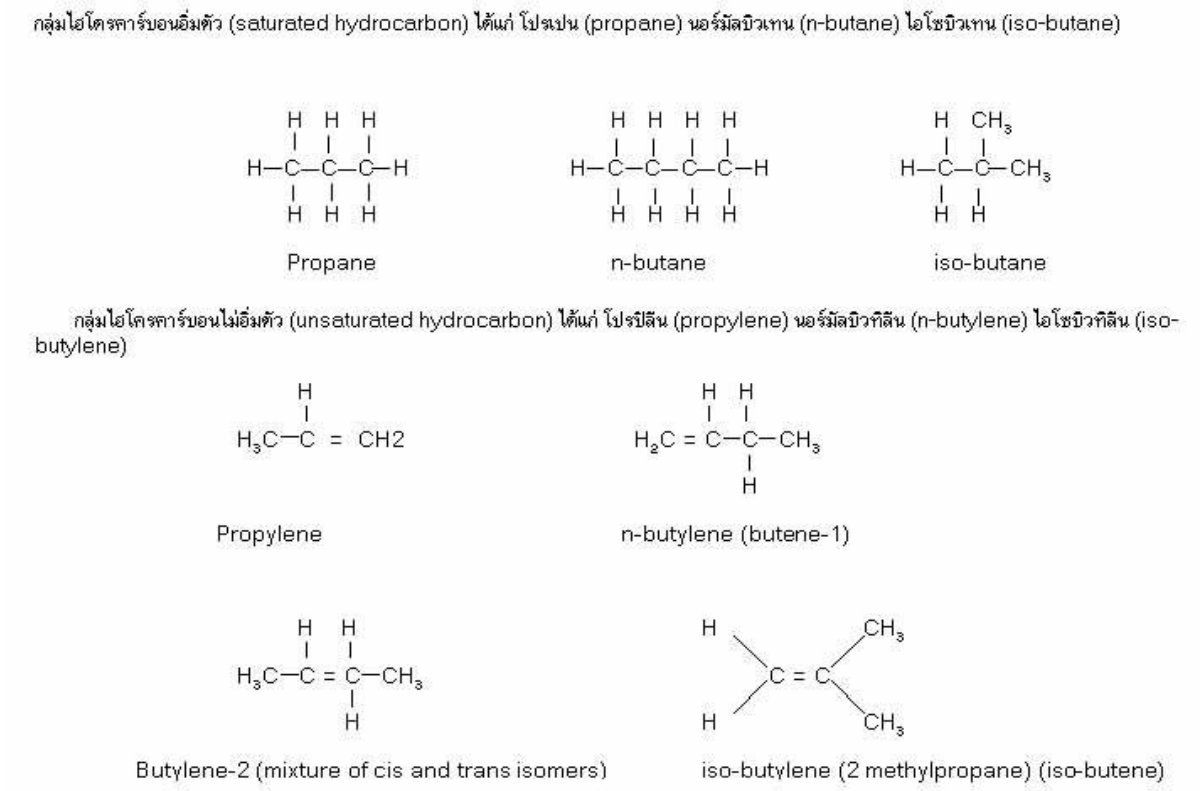
โปรเปน (propane) = $C_3H_8$

โปรปิลิน (porpylene) = $C_3H_6$

บิวเทน (butane) = $C_4H_{10}$

บิวทิลีน (butylene) = $C_4H_8$

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโครคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) ได้แก่ โปรเปน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (N-Butane) ไอโซบิวเทน (Iso-Butane)




ภาพที่ 17 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว
ที่มา: LPG Production Storage and Transportation, 2558

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรเปน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของ C3 และ C4 ขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติ หากได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ จะประกอบด้วยบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่ และอาจมีการผสม C3 และ C4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-Saturated Hydrocarbon) ซึ่งมักประกอบด้วย โปรปิลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (N-Butylene) ไอโซบิวทิลีน (Iso-Butylene) และ Butylene-2

2. คุณสมบัติทางกายภาพ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ ดังนั้น จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวทั้งสองสถานะ ดังนี้

2.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นของเหลว

**จุดเดือด และสภาวะวิกฤติ**

เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมาก คือ โปรเปน มีจุดเดือด เท่ากับ –42 °C นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ -0.5 °C ไอโซบิวเทน เท่ากับ – 11.7 °C ดังนั้น แอลพีจี มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศเว้นเสียแต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวอยู่ในถังภายใต้ ความดันหรือนำถังไปแช่เย็นเอาไว้ ค่าความดันที่ทำให้แอลพีจีเป็นของเหลว คือ ค่าความดันไอ (Vapor Pressure) เช่น ที่อุณหภูมิ 15 °C ความดันไอของโปรเปนเท่ากับ 7.3 บรรยากาศ และที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความดันไอก็จะสูงขึ้นด้วย

โปรเปนที่อุณหภูมิ 96.67 °C ความดันที่ใช้อัดเท่ากับ 41.94 บรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โปรเปนจะไม่เป็นของเหลว แม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94 บรรยากาศก็ตาม อุณหภูมิ 96.67 °C และความดัน 41.94 บรรยากาศ ก็คือ สภาวะวิกฤติสำหรับโปรเปน

**ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ**

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเช่น ที่อุณหภูมิ 15.5 °C ความหนาแน่นของโปรเปนมีค่าเท่ากับ 507 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับส่วนกลับของความหนาแน่นก็คือ ปริมาตรจำเพาะ โปรเปนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ดังนั้นถ้าต้องการเก็บโปรเปนไว้ใช้ 10 วัน โดยในแต่ละวันมีความต้องการ 0.5 ตัน จะต้องใช้ถังที่มีขนาดความจุอย่างน้อยที่สุด 10 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อุณหภูมิใด อุณหภูมิหนึ่งกับน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C อย่างเช่น ค่าความถ่วงจำเพาะของโปรเปนเหลวที่อุณหภูมิ 15 °C มีค่าเท่ากับ 0.5077 ส่วนนอร์มัลบิวเทน เท่ากับ 0.5844 และไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5631

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นของเหลวจะเบากว่าน้ำ ถ้าเกิดมีก๊าซรั่วขึ้นในขณะที่อุณหภูมิโดยรอบในขณะนั้นต่ำมาก และก๊าซปิโตรเลียมเหลวเกิดไหลลงไปในรางระบายน้ำ

คูคลองก๊าซปิโตรเลียมเหลวก็จะลอยไปกับน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอัคคีภัยในท้องที่ห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วออกไปได้นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อค่าความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของสารเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะลดลง

**ความหนืด**

ความหนืด (ความข้นใส) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่มีต่อภาชนะหรือท่อ ของไหลต่างชนิดกัน จะมีความหนืดแตกต่างกันจะเห็นได้ว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสภาพของเหลวจะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส์) จากคุณสมบัติอันนี้ ทำให้ก๊าซเหลวรั่วซึมได้ง่ายกว่าของเหลวชนิดอื่น และนอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดต่ำ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปั๊ม จึงมีการสึกหรอสูง เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว จึงต้องออกแบบให้ทนต่อการสึกหรอและแรงดันสูงได้ อนึ่ง อุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของของไหล กล่าวคือ
ของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง แต่ถ้าเป็นก๊าซ
เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดก็สูงขึ้นด้วย

**ความดันไอ (Vapor Pressure)**

ก๊าซแอลพีจีเมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิดภายใต้ความดันจะมีสถานะเป็นของเหลว แอลพีจีเหลวจะระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วน ที่เป็นของเหลวจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation Point) จึงจะหยุดระเหย ค่าความดันของก๊าซแอลพีจีที่จุดอิ่มตัวนี้เรียกว่า “ค่าความดันไออิ่มตัว”

ค่าความดันไออิ่มตัวเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูง แสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว และเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยตรง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูง ค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้นด้วย

**ความร้อนแฝงในการระเหย**

ความร้อนแฝงในการระเหย คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยต่อหน่วยน้ำหนักของสาร เพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่จุดเดือดปกติ (ณ ความดันบรรยากาศ) หรือปริมาณความร้อนที่ต้องถูกดึงออกต่อหน่วยน้ำหนักของสาร เพื่อให้ได้กลั่นตัวเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศ และค่าความร้อนแฝงจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนแฝงน้อยกว่าน้ำมาก

ดังนั้น เมื่อก๊าซถูกปล่อยออกจากภาชนะเก็บ ก๊าซเหลวจะระเหย การที่ก๊าซเหลวระเหยได้ต้องได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดึงความร้อนไปจะมีความเย็นจัด เพราะฉะนั้นถ้าก๊าซเหลวรั่วถูกผิวหนังหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทำให้ผิวหนังหรือส่วนของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัด จนถึงกับไหม้

**ความร้อนจำเพาะ**

ค่าความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่/กิโลกรัม/องศาเซลเซียส หรือ บีทียู/ปอนด์/องศาฟาเรนไฮต์ เช่น เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสค่าความร้อนจำเพาะของโปรเปนเท่ากับ 0.6023 นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ 0.5748 ไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5824 commercial propane เท่ากับ 0.60 และ Commercial Butane เท่ากับ 0.57

**สัมประสิทธิ์การขยายตัว**

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 15 °C ประมาณ 0.300/°C สำหรับโปรเปน และ 0.002/$^0$C สำหรับบิวเทนอุณหภูมิ ยิ่งสูงการขยายตัวยิ่งมากตัวเลขนี้จำเป็นอย่างยิ่งใช้ในการคำนวณปริมาตรสูงสุดที่สามารถจะบรรจุก๊าซลงภาชนะหรือถังเก็บได้ในสภาพอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังนั้น การบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงในถังจะต้องเหลือที่ว่างเหนือก๊าซเหลวไว้ โดยในส่วนของช่องว่างนี้จะมีไอก๊าซอยู่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความดัน ที่เกิดการขยายตัวของของเหลวในกรณีที่ก๊าซได้รับความร้อนผิดปกติ นอกจากนี้ระบบท่อส่งต่าง ๆ ที่ส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำเป็นต้องมีกลอุปกรณ์นิรภัย แบบระบาย (Hydrostatic Relief Valve) ไว้ในระบบด้วย ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่ง

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่ออยู่ในสถานะเป็นก๊าซ

**ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ**

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของอากาศ = 1)

ที่อุณหภูมิ 15.50 °C (600 °F) ณ ความดันบรรยากาศ
โปรเปน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 1.5
บิวเทน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 2.0

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้นก๊าซจะไปรวมตัวอยู่ในที่ต่ำ และถ้าบริเวณที่ต่ำนั้นเป็นรางระบายน้ำหรือคูคลอง ก๊าซอาจจะไหลตามน้ำไป ทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ ณ จุดซึ่งห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซรั่วได้ความหนืด ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของก๊าซจะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

**ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซแอลพีจี (Compressibility Factor)**

สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ldeal Gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดันและปริมาตรสามารถแสดงโดย สมการสภาวะ (Equation of State) คือ PV = nRT (P = ความดัน ,

V = ปริมาตร , n = จำนวนโมล, R = Gas Constant T = อุณหภูมิ) แต่สำหรับก๊าซแอลพีจีจะมีลักษณะเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ดังนั้น เพื่อให้สามารถใช้สมการสภาวะได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility Factor, Z) เข้าไปในสมการคือ PV = ZnRT สำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 °C ณ ความดันบรรยากาศ โปรเปนนอร์มัลบิวเทน และไอโซ บิวเทน มีค่า Z = 0.984 , 0.969 และ 0.971 ตามลำดับ

**ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air)**

ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดง ค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ เรียกว่าค่าขอบบน ส่วนทางด้านต่ำเรียกว่าค่าขอบล่าง ก๊าซแอลพีจี จะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือถ้ามีก๊าซแอลพีจีต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วนในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็จะไม่ติดไฟ

**อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)**

เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโปรเปน คือ 460-580 °C และของบิวเทนคือ 410-550 °C ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280-430 °C และน้ำมันดีเซล250-340 °C ดังนั้นเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงกล่าวได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีความปลอดภัยสูงกว่า

**อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame Temperature)**

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของแอลพีจีสูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่าง ๆ ได้ เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเลียม และแก้ว เป็นต้น โดยโปรเปน มีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 °C และ บิวเทน1,900 °C ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผา อบสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**ค่าอ๊อกเทน (Octane Number)**

ก๊าซแอลพีจี มีค่าอ๊อกเทนสูง ประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าอ๊อกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก

**อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio)**

แอลพีจีเหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซ ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก กล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 °C (60 °F) โปรเปนเหลว 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นก๊าซ จะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วย ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้น แอลพีจีในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้ารั่วออกมาจะมีอันตรายมากกว่าที่เป็นก๊าซ เพราะจำนวนที่ออกมาเป็นของเหลว เมื่อกลายเป็นก๊าซจะเพิ่มปริมาตร มากขึ้น ปริมาณก๊าซมาก อันตรายและความรุนแรงก็ย่อมมีมาก

**ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)**

โปรเปน $C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

บิวเทน $C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปใน ห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่แน่นอน ในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซดค์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้

ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโปรเปน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โปรเปนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว แอลพีจีต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

**ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion)**

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี หมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซแอลพีจีหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ (25 °C) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

**สี กลิ่น และการละลาย**

แอลพีจีบริสุทธ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัท ผู้ผลิตก๊าซแอลพีจีจึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์ว ใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อทำให้ก๊าซแอลพีจีมีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคบแทน (Mercaptan)

นอกจากนี้ก๊าซแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจาก ยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็น หรือซีลต่าง ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซแอลพีจี ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

คุณสมบัติทั่วไปของ LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ให้การเผาไหม้ที่สะอาด ให้พลังงานความร้อนสูง ในสถานะที่เป็นไอ ก๊าซจะมีความหนาแน่นที่หนักกว่าอากาศ ไอก๊าซจะหนักประมาณ 2 เท่าของอากาศฉะนั้นเมื่อก๊าซรั่วจึงจะไหลไปรวมกันอยู่ ณ ที่ต่ำ จึงไม่ควรตั้งถังก๊าซไว้ในห้องใต้ดิน ใกล้หลุมบ่อหรือรางระบายน้ำ และเมื่อมีสถานะที่เป็นของเหลว ก๊าซจะมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อมีสภาพเป็นน้ำก๊าซ จึงลอยอยู่เหนือน้ำ ถ้าก๊าซรั่วลงไปใน คูคลอง หรือท่อน้ำ มีจุดเดือดต่ำ มีจุดเดือดและกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ ศูนย์องศาเซลเซียล ในเมืองไทยที่มีอุณหภูมิประมาณ 20 กว่าองศาเซลเซียล ก๊าซจะกลายเป็นไอทันที ที่พ้นจากความดัน และจะดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ทำให้บริเวณใกล้เคียงมีความเย็นจัด ดังนั้นถ้าส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายคนเราสัมผัสกับน้ำก๊าซ จะทำให้ร่างกายส่วนนั้นเย็นจัดถึงไหม้ได้

มีอัตราการขยายตัวสูง การเติมก๊าซลงในภาชนะจึงไม่ควรเติมเต็ม ควรเติมประมาณ 85 % ของภาชนะ เพื่อให้มีช่องว่างไว้สำหรับขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วไหลจึงต้องใส่สารเคมี Ethyl Mercaptan หรือ Thiophaneลงไปเพื่อให้มีกลิ่นฉุน

โดยปกติก๊าซฯไม่เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง แต่ถ้ามีการหายใจเข้าสู่ปอดเป็นระยะเวลานานทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน และอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้หากร่างกายขาดอากาศเป็นระยะเวลานานเกินควร นอกจากนี้ยังอาจเกิดพิษทางอ้อมจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

LPG สามารถละลายยางธรรมชาติได้ดี ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจึงต้องเป็นยางสังเคราะห์

LPG มีความดันสูง ภาชนะที่บรรจุ อุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องออกแบบให้แข็งแรงสามารถทนความดันได้ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว

LPG มีความเข้มข้นใสต่ำ จึงรั่วซึมได้ง่าย และไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องแน่นหนาและทนทานเป็นพิเศษ

ส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ ที่ทำให้ติดไฟ อัตราส่วนของก๊าซในอากาศที่ทำให้ติดไฟคือ 1.5-9 ส่วนใน 100 ส่วน ของส่วนผสมจะเห็นได้ว่าถ้ามีก๊าซน้อยกว่า หรือมากกว่าสัดส่วนดังกล่าวก๊าซจะไม่ติดไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซติดไฟไม่ได้ง่ายนัก

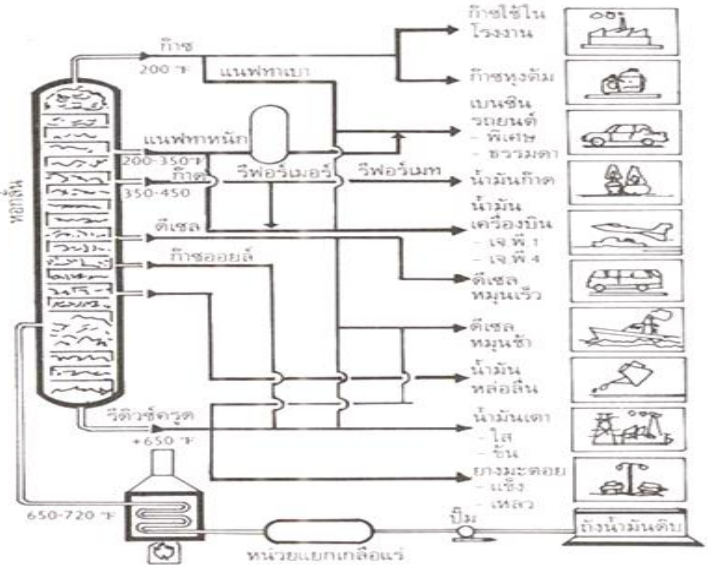
อัตราการขยายตัวของก๊าซ จากของเหลวเป็นไอ น้ำก๊าซ 1 ลิตร เมื่อกลายเป็นไอ ขยายตัวได้ถึง 250ลิตร เมื่อน้ำก๊าซรั่วจึงมีอันตรายมากกว่าไอก๊าซรั่วให้ความร้อนสูง

1. อุณหภูมิเปลวไฟ 1,900-2,000 °C
2. ค่าความร้อนของการเผาไหม้ ที่ 25 °C อยู่ระหว่าง 11,700-11,900 kcal/kg (21,000-21,400 Btu/lb ) ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของโพรเพน กับบิวเทน

**แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)**

1. ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งจะได้ก๊าซโปรเปนและบิวเทนประมาณ 1-2% แต่ก่อนที่จะนำ น้ำมันดิบเข้ากลั่น ต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ออกเสียก่อน หลักจากนั้นนำน้ำมันดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 340-400 °C จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งภายในประกอบด้วยถาด (tray) เป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไป เมื่อเย็นตัวลงจะกลั่นตัวเป็น ของเหลวบนถาดตามชั้นต่าง ๆ และจะอยู่ชั้นใดขึ้นอยู่กับช่วงจุดเดือนต่ำจะลอยขึ้นสู่เบื้องบนของหอกลั่นคือไฮโดรคาร์บอนมีสถานะเป็นก๊าซ (LPG รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือนปานกลางและสูงก็จะแยกตัวออกมาทางตอนกลางและตอนล่างของหอกลั่น ซึ่งได้แก่แนพทา (naphtha) น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา ตามลำดับ

ไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซที่ออกจากด้านบนของหอกลั่นรวมเรียกว่า “ก๊าซปิโตรเลียม” ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1 อะตอม ถึง 4 อะตอม และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ไนโตรเจน ($N_2$) ไฮโดรเจน ($H_2$) และอื่น ๆ ปนอยู่ จำเป็นต้องกำจัดหรือแยกออกโดยนำก๊าซปิโตรเลียมผ่านเข้าหน่วยแยกก๊าซแอลพีจี (gas recovery unit) เพื่อแยกเอาโปรเปนและบิวแทน (หรือแอลพีจี) ออกมา จากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งเข้าหน่วยฟอก ซึ่งใช้โซดาไฟ (caustic soda) เพื่อแยกเอากรด (acid gas) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ออก หลังจากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บและมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดัน

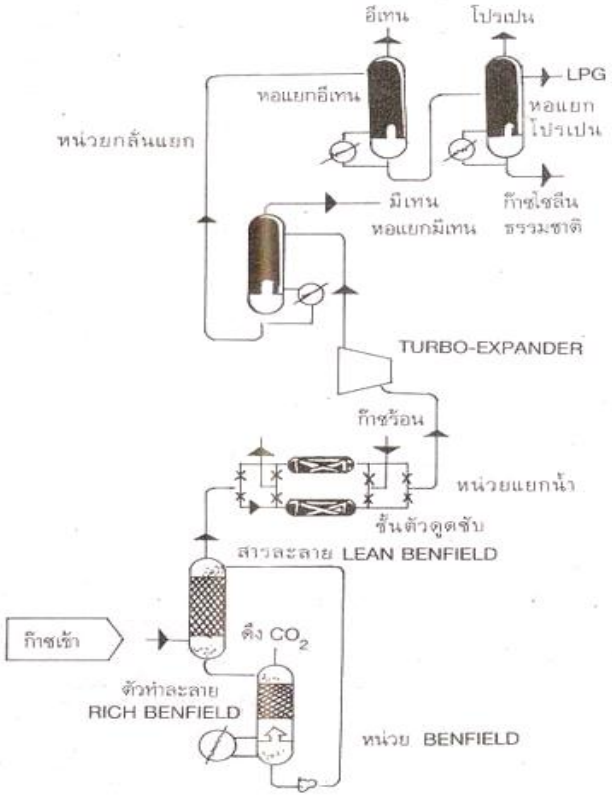



ภาพที่ 18 กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน

ที่มา: LPG Production Storage and Transportation, 2558

2. ได้จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจะมีก๊าซโปรเปนและบิวเทนในก๊าซธรรมชาติประมาณ 6-10% ก๊าซธรรมชาติ ที่นำขึ้นมาจะส่งเข้าสู่โรงแยกก๊าซ (Gas Separation Plant) เพื่อทำการแยกเอาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติ ออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โปรเปน (Propane) บิวเทน (Butane) แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas) และก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline, NGL)

กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ เริ่มต้นด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และน้ำที่เจือปน อยู่ในก๊าซธรรมชาติออก ก่อน โดยกระบวนการ Benfield ซึ่งใช้โปตัสเซียมคาร์บอเนต (K2CO3) เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการดูดซับ (Absorption Process) โดยใช้สารจำพวก Molecular Sieve ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ก๊าซธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้จะผ่านเข้าไปใน Turbo-Expander เพื่อลดอุณหภูมิจาก 250OK เป็น 170OK และลดความดันลงจาก 43 บาร์ เป็น 16 บาร์ก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน (De-Methanizer) มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไป และส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป (Ethane Plus Stream) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่หอแยกอีเทน (De-Ethanizer) และหอแยกโปรเปน (De-Propanizer) เพื่อแยกอีเทนและโปรเปนออกตามลำดับต่อไปในหอแยกโปรเปนนี้ โปรเปนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอ ส่วนแอพีจี ซึ่งเป็นส่วนผสมของโปรเปนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอ และส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่างคือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline)




ภาพที่ 19 กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ
ที่มา: LPG Production Storage and Transportation, 2558

**การเก็บรักษา**

LPG นั้นมีความปลอดภัยค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานอย่างอื่น เพราะว่าโปรเพนนั้นมีอุณหภูมิจุดระเบิดสูง โดยอยู่ที่ประมาณ 850-950 (450-510°C) เปรียบเทียบกับ 495 °F (257 °C) สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิง นั่นหมายถึง ทำให้มันจุดระเบิดง่าย นอกจากนั้นแล้วถังที่ใช้เก็บโปรเพนนั้น แข็งแรงกว่า ถังน้ำมันด้วยซ้ำ เพราะว่า มันต้องรองรับความกดดันได้ เมื่อโปรเพนอยู่ในรูปของเหลวภายใต้แรงกดดัน นอกจากนั้นถังก็ยังรองกับการกระแทกได้มากกว่าถังน้ำมันด้วยเช่นกัน

สำหรับการเก็บรักษาแก๊สอย่างปลอดภัยนั้น มีข้อควรระวังอยู่บ้างเช่นกัน เช่น จะต้องจำไว้เสมอว่าถังแก๊สนั้นจะไม่มีทางอยู่ในลักษณะที่ว่างปล่าวจริงๆ นั่นหมายถึง เมื่อเราเติมแก๊ส แก๊สส่วนใหญ่จะถูกอยู่ภายใต้ความกดให้อยู่ในรูปของเหลว แต่ในความกดดันที่ปลอดภัยนั้นทำให้ ไม่ใช่ทั้งหมดของโปรเพนที่ถูกอัดอยู่ในรูปของเหลว มันจะมีโปรเพนจำนวนน้อยอยู่ในรูปแก๊ส และเมื่อโปรเพนถูกใช้ไป จะทำให้ความกดดันเพิ่มขึ้น ทำให้โปรเพนที่อยู่ในรูปของเหลวมีน้อยลง ในขณะเดียวกันส่วนที่

เป็นแก๊สก็จะเพิ่มมากขึ้นเพราะฉะนั้นถังควรถูกเติมที่ความจุไม่เกิน 80% เท่านั้น นอกจากนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจะส่งผลทำให้มีความเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังเช่นกัน ถ้าคุณเติมถังเต็ม 100% ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ และทิ้งรถไว้ในวันที่มีอากาศร้อนในวันถัดมา ความดันจะเพิ่มขึ้นจะอาจจะ เกิดอันตรายมาก (LPG Production Storage and Transportation, 2558)

## ตู้อบและเทคโนโลยีการอบ

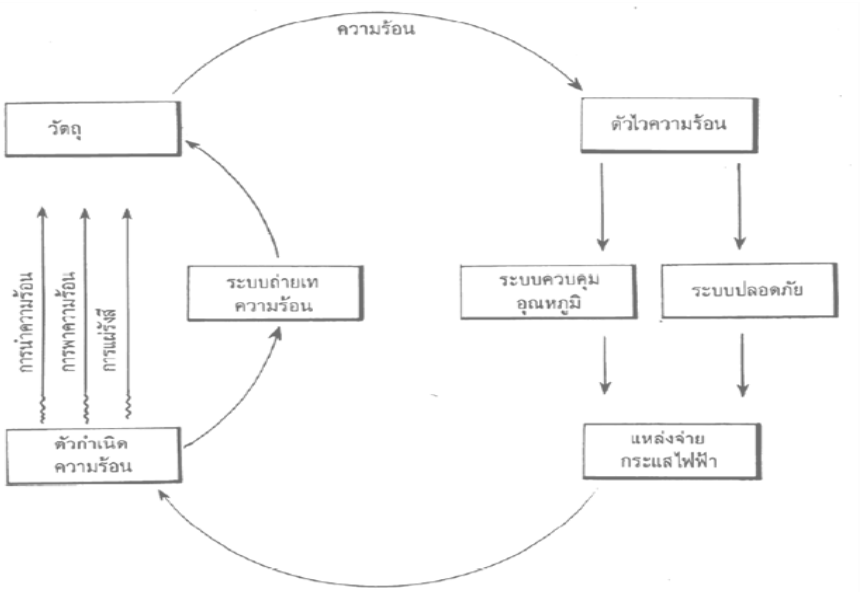
ตู้อบลมร้อนเป็นเครื่องมือพื้นฐานชนิดหนึ่งที่พบในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั่ว ๆ ไป เพราะใช้สำหรับการอบวัสดุและอุปกรณ์ ต่าง ๆ ให้แห้ง ใช้รักษาอุณหภูมิของปฏิกิริยาในการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการบางชนิดให้คงที่ ใช้อบฆ่าทำลายเชื้อโรค ใช้อบเพาะเชื้อจุลชีพ ใช้เผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า (Ashing) เพื่อการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม ใช้หาความชื้นในตัวอย่าง ใช้เผากากกัมมันตรังสี ฯลฯ

**หลักการทำงาน**

ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนถูกถ่ายเทให้วัตถุ โดยกระบวนการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน(Convection) และการแผ่รังสี(Radiation) ความร้อนที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวไวความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากของเหลวเป็นไอ หรือจากของแข็งเป็นไอ

**ชนิดและองค์ประกอบ**

ตู้อบลมร้อนมีหลายแบบ และมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามอุณหภูมิใช้งานของตู้อบลมร้อน โดยเรียกตู้อบที่ให้อุณหภูมิได้สูงถึง 3,000 °C ว่า “ตู้เผา” (Furnace) ตู้อบที่ให้อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 300 °C ว่า “ตู้อบแห้ง” (Drying Oven) หรือ “ตู้อบฆ่าเชื้อ” (Sterilizing Oven) และเรียกตู้อบที่มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 100 °C ว่า “ตู้เพาะเชื้อ” (Incubating Oven) แต่ตู้อบลมร้อนบางชนิดมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้างจึงอาจเป็นทั้งตู้อบแห้งและตู้เพาะเชื้อ ตู้อบลมร้อนมีองค์ประกอบหลักที่คล้ายกันจะแตกต่างกันในส่วนของการออกแบบและวัสดุที่ใช้ทำดังนี้




ภาพที่ 20 องค์ประกอบพื้นฐานของตู้อบลมร้อน
ที่มา: ตำราเครื่องมือวิทยาศาสตร์, 2558

**องค์ประกอบพื้นฐานของตู้อบลมร้อน**

1. ผนังตู้อบ โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีการกระจายความร้อนภายในได้ดี และป้องกันการสูญเสียความร้อนจากภายในสู่ภายนอก วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นโลหะที่ไม่เป็นสนิม ไม่เปลี่ยนรูปร่างและทำความสะอาดง่าย ตัวอย่างเช่น เหล็กกล้าไร้สนิม หรือเหล็กพ่นสีกันสนิม ผนังตู้อบอาจมี 2-3 ชั้น และมีฉนวนหนา 1-2.5 นิ้ว อยู่ระหว่างกลาง ฉนวนกันความร้อนที่ใช้ควรมีความคงทนต่อความร้อน ไม่ดูดความชื้น และนำความร้อนไม่ดี ตัวอย่างเช่น ใยแก้ว(Glass Wool) และอิฐทนไฟ (Fire Brick) เป็นต้น

2. ตัวกำเนิดความร้อน มีทั้งที่ใช้แท่งความร้อนหรือลวดความต้านทาน(Resistance Wire) ที่ทำจากโลหะผสมระหว่างนิเกิลกับโครเมียม(นิโครม) เนื่องจากมีความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีหลาย ๆ ชนิด ตัวอย่างเช่น คลอรีน (Chlorine) โบรมีน(Bromine) ไอโอดีน(Iodine) และฟลูออรีน (Fluorine) ฯลฯ แต่ถ้าต้องการอุณหภูมิสูงกว่านี้ต้องใช้ตัวกำเนิดความร้อนที่ทำจาก Silicon Carbide, Molybdenum Disilicate หรือ Iron-Chromium-Aluminum การติดตั้งตัวกำเนิดความร้อนอาจพบได้ 2 แบบคือแบบฝังในผนัง(Embeded Type) แบบไม่ฝังในผนัง(Opened Type) ซึ่งแบบ ไม่ฝังในผนังมีข้อดีในด้านการลดการสูญเสียความร้อนให้กับผนังตู้อบ ทำให้สามารถใช้ตัวกำเนิดความร้อนกำลัง(วัตต์)ต่ำ ซึ่งช่วยประหยัดกระแสไฟฟ้าและยืดอายุการใช้งานของตัวกำเนิด

ความร้อนได้มาก ตัวกำเนิดความร้อนอีกชนิดก็คือ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ ทั้ง LPG และก๊าซชีวมวล

3. ช่องระบายอากาศ (Air Damper) ส่วนใหญ่ติดตั้งที่ด้านบนของตู้อบ มีส่วนน้อยติดตั้งไว้ที่ด้านหลังตู้อบ มีหน้าที่ระบายควัน ไอน้ำ หรือไอสารเคมีออกจากตู้อบ ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการมีความชื้นในตู้อบมาก ช่องระบายอากาศส่วนใหญ่ปรับขนาดของรูระบายได้ เพื่อให้ไอน้ำระบายออกได้อย่างเหมาะสม โดยที่สูญเสียความร้อนออกทางช่องระบายอากาศน้อยที่สุด

4. ระบบถ่ายเทความร้อนที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ

4.1 การพาความร้อนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Convection) ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักของอากาศที่ร้อนและเย็น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างช้า ๆ ช่องให้อากาศเย็นไหลเข้า(Intake Port) มักจะอยู่ส่วนล่างของตู้อบ อากาศร้อนบางส่วนไหลออกทางช่องระบายอากาศด้านบนทำให้ระบบนี้มีผลเสียอยู่หลายประการ

4.2 การพาความร้อนโดยใช้พัดลม (Mechanical Convection) นิยมใช้มอเตอร์หมุนพัดลมชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ซึ่งไม่ต้องการการดูแลมากเพราะไม่ได้ใช้แปรงถ่าน มอเตอร์ดังกล่าวจะทำหน้าที่หมุนพัดลม ซึ่งอาจถูกติดไว้ที่ส่วนล่างของตู้อบเพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวดิ่ง (Vertical Convection) หรือติดตั้งไว้ที่ส่วนบนของตู้อบ เพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวระดับ (Horizontal Convection) การใช้พัดลมทำให้เกิดผลดีอยู่ 4 ประการคือ

4.2.1 ใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นสั้นกว่า เนื่องจากอากาศภายนอกที่ถูกดูดเข้ามาภายในตู้อบจะผ่านตัวกำเนิดความร้อนโดยตรง

4.2.2 อุณหภูมิภายในตู้อบเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปิดประตูตู้อบ เพราะอากาศที่ถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมถูกทำให้อุ่นขึ้นก่อน เมื่อผ่านห้องเพิ่มความร้อนล่วงหน้า(Preheating Chamber) ตลอดเวลา

4.2.3 อุณหภูมิทุก ๆ จุดภายในตู้อบค่อนข้างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะใส่วัตถุอบเต็มที่ เนื่องจากพัดลมช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า

4.2.4 มีเวลาสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ 1 $^{o}$C หลังจากเปิดประตูตู้อบกว้างที่สุดนาน 1 นาที (Recovery Time)

5. ตัวไวความร้อน (Temperature Sensor) มีหน้าที่ป้อนสัญญาณให้วงจร หรือระบบควบคุมอุณหภูมิ หรือป้อนสัญญาณให้ระบบอ่านค่าอุณหภูมิ ตัวไวความร้อนที่นิยมใช้มีหลายชนิด

5.1 เทอร์มอคับเปิล (Thermocouple) ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด เชื่อมต่อกัน รอยต่ออันหนึ่งอยู่ที่อุณหภูมิต่ำเรียกว่า “รอยต่อเย็น” หรือ “Cold Junction” หรือ “Reference Junction” รอยต่ออีกอันหนึ่งอยู่ในที่อุณหภูมิสูงกว่าเรียกว่า “รอยต่อร้อน” หรือ “Hot Junction” หรือ “Thermocouple” ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อทั้งสองทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

ไหลในวงจร แต่จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสองเท่ากัน ในทางทฤษฎีต้องรักษาอุณหภูมิของรอยต่อเย็นให้คงที่เพื่อเป็นตัวอ้างอิง แต่ในทางปฏิบัติกระทำได้ยาก จึงต้องใช้ตัวต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิต่อชดเชยความไม่คงที่ของรอยต่อเย็นหรืออาจชดเชยความผิดพลาดโดยใช้โลหะผสมที่มีความต้านทานต่ำกว่าโลหะที่ใช้ทำเทอร์มอคัปเปิลทำสายต่อในวงจร

5.2 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) เทอร์มิสเตอร์มาจากคำว่า “Thermal” ซึ่งหมายถึงความร้อนผสมกับคำว่า “Resistor” ซึ่งหมายถึงตัวต้านทาน ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงหมายถึง สารที่เปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสารเหล่านี้อาจเป็นสารกึ่งตัวนำหรือโลหะผสม เทอร์มิสเตอร์ มีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดที่ความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Negative Coefficient Thermistor) ชนิดที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Positive Coefficient Thermistor) สำหรับประเภทหลังมักเป็นสารผสมของ Ba, Pb และ Strontium Titanate แต่ไม่นิยมใช้เทอร์มิสเตอร์แบบแรกเป็นออกไซด์ของเหล็ก แมงกานีส ซิลิเคท โคบอลท์ ทองแดง ไททาเนียม ฯลฯ ออกไซด์เหล่านี้ถูกห่อหุ้มไว้ด้วย อีพอกซี (Epoxy) เซรามิก (Ceramic) หรือแก้ว เพื่อป้องกันการเสียหายจากการกระแทกหรือถูกกัดกร่อน มีขนาดเล็กตั้งแต่ 1-2.5 มม. จนถึงขนาด 5-25 มม. มีความต้านทานประมาณ 10 กิโลโอห์มที่ 0 °C และ 200 โอห์มที่ 100 °C เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ในช่วง –100 ถึง 300 °C โดยไม่จำเป็นต้องใช้เทอร์มิสเตอร์หลายอัน เนื่องจากมีความต้านทานภายในตัวเองสูง ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความต้านทานที่ลดลงจะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Curve) ก็ตาม แต่ในช่วงอุณหภูมิที่แคบ (0-100 °C) สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์มิสเตอร์มีความถูกต้องสูงมาก (ผิดพลาดไม่เกิน 0.001 °C) เทอร์มิสเตอร์จึงเหมาะสำหรับการ ใช้งานในช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

6. ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) แบ่งเป็น2 แบบคือ แบบกล (Mechanical Type) ที่อาศัยการเคลื่อนที่ของกลไก และแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Solid State Type)

6.1 แบบกล ทำงานโดยการตัด (OFF) หรือต่อ (ON) กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวกำเนิดความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสของสวิทช์ไฟฟ้าซึ่งถูกควบคุมโดยตัวไวความร้อน แบบกลส่วนใหญ่มีความไวในการควบคุมอุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะสำหรับควบคุมอุณหภูมิในเครื่องมือที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมากนัก

6.2 แบบอิเล็กทรอนิกส์ มีอยู่หลายชนิด ตัวอย่างเช่น แบบเปิดปิด (ON/OFF) ทำงานโดยการรับสัญญาณจากตัวไวความร้อน แล้วตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าของตัวกำเนิดความร้อนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด ตัวอย่างเช่นเอสซีอาร์ (SCR) ไตรแอก หรือทรานซิสเตอร์ ฯลฯ ในขณะที่เปิดวงจรไฟฟ้าตัวกำเนิดความร้อนจะดึงกระแสไฟฟ้าอย่างเต็มที่และต่อเนื่องตามวัตต์ของตัวกำเนิดความร้อน ดังนั้นจึงเกิดการกระชากกระแสไฟฟ้ามาก และอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมสำหรับการใช้งานในตู้อบแห้ง (ตำราเครื่องมือวิทยาศาสตร์, 2558)

**มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.)**

**ความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชม**

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คือ ข้อกำหนดด้านคุณภาพที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้เป็นที่เชื่อถือ เป็นที่ยอมรับ และสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุมชนให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และสอดคล้องกับนโยบาย OTOP โดยในแต่ละผลิตภัณฑ์ก็จะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไป

**ประโยชน์ที่ได้รับจาก มผช**.

1. ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชน มีความเข้าใจ และมีความรู้ในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ
2. สินค้าที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น
3. สินค้าเป็นที่น่าเชื่อถือ และเป็นที่ต้องการของตลาด
4. สามารถนำผลิตภัณฑ์เข้าคัดสรร OTOP Product Champion (ระดับดาว)
5. ได้รับการสนับสนุนเพื่อการพัฒนาที่เหมาะสมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

**หลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการรับรองมาตรฐานชุมชน**

1. ขอบข่าย

1.1 เอกสารนี้กำหนดนิยาม คุณสมบัติของผู้ยื่นคำขอ การรับรอง การตรวจติดตามผล การยกเลิกการรับรอง และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน

2. นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในเอกสารนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน หมายถึง การให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้ผลิตในชุมชน ที่เกิดการรวมกลุ่มกันประกอบกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งทั้งที่จดทะเบียนอย่างเป็นทางการหรือที่ไม่มีการจดทะเบียนเป็นการวมกลุ่มเองโดยธรรมชาติ หรือชุมชนในโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านการคัดเลือกจากจังหวัด และ/หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ประกาศกำหนดไว้

2.2 ผู้ยื่นคาขอ หมายถึง ผู้ผลิตที่อยู่ในชุมชนและ/หรือจากโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านการคัดเลือกจากคณะกรรมการอำนวยการ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ แห่งชาติ

2.3 ผู้ได้รับการรับรอง หมายถึง ผู้ยื่นคำขอที่ผ่านการตรวจประเมินแล้ว และได้รับการรับรองจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

3. คุณสมบัติของผู้ยื่นคาขอ

3.1 ผู้ยื่นคำขอต้องมีคุณสมบัติในข้อหนึ่งข้อใด ดังต่อไปนี้

3.1.1 เป็นผู้ผลิตในชุมชนของโครงการ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ ได้รับ

การคัดเลือกจากคณะกรรมการอำนวยการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ แห่งชาติ(กอ.นตผ.)

3.1.2 เป็นกลุ่มหรือสมาชิกของกลุ่มเกษตรกร กลุ่มสหกรณ์ หรือกลุ่มอื่น ๆ ตามกฎหมายวิสาหกิจชุมชน เช่น กลุ่มอาชีพ กลุ่มอาชีพก้าวหน้า กลุ่มธรรมชาติ เป็นต้น

4. การรับรอง

4.1 การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน ประกอบด้วยการดำเนินการดังนี้

4.1.1 ตรวจสอบสถานที่ผลิตและเก็บตัวอย่างจากสถานที่ผลิตส่งตรวจสอบ

4.1.2 ตรวจติดตามผลคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้รับการรับรอง โดยสุ่มซื้อตัวอย่างที่ได้รับการรับรองจาก สถานที่จำหน่าย เพื่อตรวจสอบ

4.2 การขอการรับรอง ให้ยื่นคาขอต่อสานักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือสานักงานอุตสาหกรรมจังหวัด หรือจังหวัด พร้อมหลักฐานและเอกสารต่างๆ ตามแบบที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

4.3 เมื่อได้รับคำขอตามข้อ 4.2 แล้ว สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะนัดหมายการตรวจสอบสถานที่ผลิต เก็บตัวอย่างส่งทดสอบ หรือทดสอบ ณ สถานที่ผลิต

4.4 ประเมินผลการตรวจสอบว่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้กำหนดไว้หรือไม่

4.5 ใบรับรองผลิตภัณฑ์ มีอายุ 3 ปี นับตั้งแต่วันที่ระบุในใบรับรอง

4.6 การขอต่ออายุใบรับรองหรือการออกใบรับรองฉบับใหม่เมื่อใบรับรองฉบับเก่าสิ้นอายุ ให้ดำเนินการตามข้อ 4.2 ถึง 4.4

5. เงื่อนไขและการตรวจติดตาม

5.1 ผู้ได้รับการรับรอง ต้องรักษาไว้ซึ่งคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ ตลอดระยะเวลาที่ได้รับการรับรอง

5.2 การประเมินผลการตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มซื้อเพื่อตรวจติดตามผลต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด

6. การยกเลิกการรับรอง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จะยกเลิกใบรับรอง กรณีใดกรณีหนึ่งดังต่อไปนี้

6.1 ผลิตภัณฑ์ที่ตรวจติดตามผลไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 2 ครั้งติดต่อกัน

6.2 ผู้ได้รับการรับรองขอยกเลิกใบรับรอง

6.3 มีการประกาศแก้ไขหรือยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้กำหนดไว้

6.4 เมื่อใบรับรองครบอายุ 3 ปี นับจากวันที่ได้รับการรับรอง

6.5 กรณีมีการกระทำอันเป็นการฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด เช่น การอวดอ้างเกินความเป็นจริง โฆษณาการได้รับการรับรองครอบคลุมรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รับการรับรอง

7. อื่นๆ

7.1 ในกรณีที่ยกเลิกใบรับรอง ผู้ได้รับการรับรองต้องยุติการใช้สิ่งพิมพ์ สื่อโฆษณาที่มีการอ้างอิง ถึงการได้รับการรับรองทั้งหมด

7.2 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไม่รับผิดชอบในการกระทำใด ๆ ของผู้ได้รับการรับรองที่ได้กระทำไปโดยไม่สุจริตหรือไม่ปฏิบัติตามหรือฝ่าฝืนหลักเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนด

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนากานต์ อาษาสุจริต (2538, น.75) ได้ศึกษาการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงด้วยพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวมวล (Producer Gas) ระบบอบแห้งพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวมวล ประกอบด้วย ระบบผลิตก๊าซชีวมวล ระบบทำความสะอาดก๊าซ ห้องเผาไหม้ เครื่องอบแห้ง พัดลมเป่าอากาศ ในการทดลองนี้สามารถควบคุมคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแดงได้ และพริกชี้ฟ้าแดงที่ได้จะปราศจากสิ่งปนเปื้อนและฝุ่นละออง ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแดง คือ ระยะเวลาในการอบแห้งและอัตราการไหลของอากาศ การอบแห้งนี้เป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่อง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 19 ชั่วโมง

ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แววศักดิ์, มารีนา มะหนิ และภรพนา บัวเพชร์ (2553) ได้ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาโดยใช้เครื่องอบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า พบว่าตัวเครื่องอบสามารถทำอุณหภูมิในห้องอบได้สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม 12.64 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยตลอดการทดลอง เมื่อทำการอบแห้งปลาช่อนโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแล้ว พบว่าเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นจาก 359.26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จนกระทั่งเหลือความชื้น 184.00 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 3 ชั่วโมงที่ 60 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพการอบแห้งอยู่ที่ 5.54 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการทดลองอบแห้งปลาดุกนั้น เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นจาก 212 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จนกระทั่งเหลือความชื้น 140 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง มีประสิทธิภาพการอบแห้งอยู่ที่ 2.98 เปอร์เซ็นต์ ในการพิจารณาการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง พบว่าการอบแห้งปลาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ40 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็น 31 เปอร์เซ็นต์และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่คุณภาพที่ได้ทั้งเนื้อและสีของปลายังดีอยู่ และใกล้เคียงกับในท้องตลาด

เกรียงศักดิ์ นักผูก และชวนชื่น เดี่ยววิไล (2554, น.466-469) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาและประเมินผลตู้อบแห้งชาเขียวลมร้อน พบว่าการอบแห้งชาหลังการนวดเสร็จที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันในโรงงานขนาดใหญ่ เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนส่วนมากเป็นเครื่องขนาดใหญ่ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีส่วนประกอบหลัก คือชุดแลกเปลี่ยนความร้อน และชุดสายพานลำเลียง หลักการทำงาน คือชุดสายพานลำเลียงเป็นสายพานแบนขนาดใหญ่ มีตัวเกลี่ยให้ชาที่ต้องการอบกระจายตัวบนสายพานเป็นชั้นบาง ๆ โดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 120 ℃ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อครั้ง ดั้งนั้นการออกแบบตู้อบลมร้อนจึงมุ่งเน้นให้สามารถผลิตลมร้อนให้ได้อุณหภูมิลมร้อนไม่ต่ำกว่า 120 ℃ เพื่อใช้อบชาแทนเครื่องขนาดใหญ่ได้ ในการออกแบบสร้างต้นแบบได้ออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อต่อชุดพัดลมมีต้นกำลังมอเตอร์ 0.1885 กิโลวัตต์ และต่อเข้ากับโครงสร้างตู้อบมีที่วางชั้นจำนวน 11 ชั้น ตู้ควบคุม มีสวิทซ์เปิด-ปิดไฟปรับอุณหภูมิ 0-300 ℃ ผลการทดสอบการอบแห้งใช้อุณหภูมิอบแห้ง 120 ℃ สภาพอากาศแวดล้อมความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย 80% อุณหภูมิ 25 ℃ พบว่าความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง 34% สิ้นสุดกระบวนการอบแห้งความชื้นเฉลี่ย 13% เวลาในการอบแห้ง 70 นาที ความชื้นค่อยลดลงอย่างช้า ๆ มีความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับเปอร์เซ็นต์ ความชื้นสอดคล้องกับสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง

เกรียงศักดิ์ นักผูก และชวนชื่น เดี่ยววิไล (2554, น.533-536) ได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องอบไอน้ำชาเขียว ซึ่งในการออกแบบส่วนผลิตไอน้ำ ได้ใช้แนวคิดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ส่วนผลิตไอน้ำมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ด้านล่างเป็นห้องเผาไหม้ มีท่อไฟติดที่ผนังห้องเผาไหม้จำนวน 21 ท่อ ทะลุผ่านเข้าไปในส่วนผลิตไอน้ำปลายของท่อไฟอีกด้านต่อเข้าด้านล่าง และด้านข้างปล่องความร้อนทิ้งที่ออกแบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือก และท่อสามารถผลิตไอน้ำโดยไม่เกิดแรงดันสูง อุณหภูมิภายในหม้อต้มเฉลี่ยคงที่ 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำที่ออกจากส่วนผลิตไอน้ำอุณหภูมิเฉลี่ย 128 องศาเซลเซียส ผลิตไอน้ำได้ประมาณ18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซหุงต้ม 2.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของส่วนผลิตไอน้ำ 79 เปอร์เซ็นต์ ผลการสร้างต้นแบบส่วนอบไอน้ำชาเขียวมีส่วนประกอบหลัก 5 ชิ้น โครงสร้างฐาน โครงสร้างบน เพลาลำเลียง ต้นกำลัง และระบบส่งกำลัง (มอเตอร์ 0.4 กิโลวัตต์ ส่งกำลังด้วยพูลเลย์ รองบีเฟืองทดโซ่เบอร์ 40 และเพลา) ห้องอบไอน้ำประกอบด้วยโครงสร้างหลักสำคัญ 3 ชิ้น คือช่องป้อนใบชามีลักษณะทรงกรวยสี่เหลี่อม ห้องอบไอน้ำเป็นเปลือกทรงกระบอกด้านข้างมีรูไว้ต่อเข้ากับสายยางส่งไอน้ำทั้งสองด้าน ภายในห้องอบไอน้ำมีท่อลำเลียงสวมอยู่ และเพลาลำเลียง มีส่วนที่เป็นเพลาส่งต่อเข้ากับเพลาลำเลียงบนผนังของเพลาลำเลียง ติดฐานยึดใบลำเลียงติดเลียงเป็นเกลียวรอบแกนเพลาปลายอีกด้านเชื่อมต่อเข้ากับเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร ยาว 0.137 เมตรในการทดสอบเครื่องอบไอน้ำชาเขียว ชุดท่อลำเลียงกับเพลาใบลำเลียงหมุนในทิศทางสวนกัน ด้วยความเร็ว 70 รอบต่อนาที และ 120 รอบต่อนาที สามารถป้อนใบชาได้ 23

กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้เวลาอบไอน้ำประมาณ 10 -12 วินาที แล้วใบชาถูกลำเลียงออกมาตามท่อลำเลียง โดยมีใบลำเลียงที่ติดบนเพลาลำเลียงออกมาจนสุดปลายท่อลำเลียงที่ทางออก และตกออกมาจากส่วนอบไอน้ำเป็นใบชาอบไอน้ำมีสีเขียวสด

ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัดพาณิชย์, สนอง อมฤกษ์, ประพัฒน์ ทองจันทร์ และปรีชา ชมเชียงคำ (2554, น.563-566) ได้ทำการศึกษาเครื่องลดความชื้นมะคาเดเมีย ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพลดเวลาการอบแห้งได้ และลดจำนวนแรงงานเหลือเพียงคนเดียวตัวเครื่องประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือชุดสลับทิศทางลมร้อน ชุดกระจายลม และชุดฝาครอบกระบะโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ขับพัดลมเป่าลมร้อน ผลการทดสอบพบว่าที่ความสามารถในการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย 1,000 กิโลกรัม สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิลมร้อน 50-55 องศาเซลเซียส โดยการสลับทิศทางลมร้อนทุก 6 ชั่วโมง/ครั้ง ใช้เวลานาน 48 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม และความสิ้นเปลืองไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 0.75 หน่วยต่อชั่วโมง ตามลำดับประเมินค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 1623.78 บาทหรือ 1.62 บาท/กิโลกรัมสด ได้แก่ ค่าแก๊สหุงต้มรวม 1315.78 บาท, ค่าจ้างเหมาแรงงาน 1 คนรวม 200 บาท, และค่าไฟฟ้ารวม 108 บาท

พุทธธินันทร์ จารุวัฒน์ และคณะ (2554, น.529- 532) ได้ทำการศึกษาเครื่องลดความชื้นกล้วยไม้แบบอุโมงค์ลม พบว่าสามารถลดความชื้นกล้วยไม้ได้ โดยใช้ระยะเวลาน้อยกว่าวิธีใช้พัดลมที่สภาพแวดล้อมเดียวกัน และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ทำให้สามารถลดความชื้นกล้วยไม้ที่ตัดจากสวนและผ่านการจุ่มน้ำล้างทำความสะอาดได้ตามต้องการ โดยเฉพาะในฤดูฝนซึ่งการลดความชื้นกล้วยไม้ให้แห้งทำได้ยาก และเป็นช่วงที่การส่งออกมีปริมาณมาก การวิจัยต่อในอนาคตควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการลดความชื้นกล้วยไม้ชนิดอื่น ๆ นอกจากสกุลหวายที่มีการส่งออกสู่ผู้บริโภคในต่างประเทศ โดยเฉพาะกล้วยไม้บางชนิดที่เสื่อมสภาพง่าย

วิบูลย์ เทเพนทร์, เวียง อากรชี, ยงยุทธ คงซ่าน, บัณชา แสงวงษา, นิวัต อาระวิล และอัคคพล เสนาณรงค์ (2554, น.521-524) ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งผักและผลไม้เอนกประสงค์ ซึ่งเครื่องอบแห้งผัก และผลไม้แบบถาดที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ มีขนาดพอเหมาะกับความต้องการของผู้ใช้และออกแบบให้มีขนาดเท่ากับวัสดุที่ใช้สร้าง เพื่อไม่ต้องมีเศษวัสดุเหลือจากการสร้าง ด้านในเครื่องอบจะใช้วัสดุสแตนเลส เพราะเป็นการอบแห้งอาหาร ส่วนด้านนอกใช้เหล็กเพื่อลดต้นทุนการผลิต มีการออกแบบชั้นวางให้สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม การใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงความร้อน และมีชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ทำให้การตั้งค่าอุณหภูมิลมร้อนง่าย และแม่นยำ การใช้พัดลมแบบไหลตัดแนวแกน (กรงกระรอก) ทำให้การกระจายลมสม่ำเสมอทั้งในแนวดิ่ง และแนวขวาง เป็นผลให้การอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง การออกแบบห้องลมร้อนให้สามารถเวียนลมร้อนกลับมาใช้ในช่วงความชื้นผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก และจากการทดสอบเก็บข้อมูลการอบแห้งผัก และผลไม้ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ถั่วเขียวซีก ต้นกล้วย พริก และลำไย ซึ่งการอบแห้ง

ในแต่ละพืชจะมีกรรมวิธี และข้อจำกัดต่างกัน ต้องศึกษาเรียนรู้อย่างถูกต้องจึงจะสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ ได้ทั้งคุณภาพ ทั้งรสชาติ และความสวยงาม เช่น การอบกล้วยจะต้องอบเป็น 2 ระยะ คืออบครั้งแรก 8 ชั่วโมง อุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ย 75 องศาเซลเซียส จากนั้นพักหรือหมักไว้หนึ่งคืน หรืออย่าน้อยกว่า 10 ชั่วโมง เพื่อให้แป้งกลายเป็นน้ำตาล แล้วนำมาอบต่ออีกประมาณ 8 ชั่วโมง ก็จะได้กล้วยอบแห้งที่มีความหวานอร่อยสีสวย ส่วนพริกก่อนอบต้องทำการลวกน้ำร้อนก่อน เป็นการทำสีให้สวย และจะต้องดูเรื่องอุณหภูมิลมร้อนอย่าให้สูงมาก โดยเฉพาะช่วงพลิกความชื้นจะลดลงมาก ๆ ถ้าอุณหภูมิลมร้อนสูงสีจะคล้ำไม่สวยขายไม่ได้ราคา ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยคิดราคาเครื่องอบแห้ง 100,000 บาท อายุใช้งาน 5 ปี คิดจากการอบแห้ง 40 ครั้งต่อปี

สุพจน์ เกิดมี, ไพฑูรย์ บานเย็นงาม, พิณทิพย์ แก้วแกมทอง, เสาวนิตย์ แดงทองดี และรังสรรค์ เพ็งพัด (2554) ได้ทำการพัฒนาการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษวัสดุทางการเกษตรนั้นสามารถสร้างเตาชีวมวลอย่างง่าย เพื่อใช้ทดแทนเตาแบบธรรมดาและเตาแก๊สที่ใช้กันในปัจจุบัน จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการใช้เตาชีวมวลเปรียบเทียบกับการใช้เตาธรรมดา ระยะเวลาในการจุดเตาและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาชีวมวลนั้นมีค่าน้อยกว่า และสำหรับค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาชีวมวลมีค่าสูงกว่าเตาแบบธรรมดา จะเห็นได้ว่าเตาชีวมวลมีประสิทธิภาพสูงทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติได้ และในส่วนของถังหมักก๊าซชีวภาพนั้น สามารถออกแบบและสร้างถังหมัก และถังเก็บก๊าซ และใช้งานได้จริง แต่เนื่องจากปริมาณของมูลสัตว์และเศษอาหารของชุมชน นั้นมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการใช้หมักก๊าซชีวภาพ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักมูลสัตว์ และเศษอาหารในการประกอบอาหารทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และประทีป ตุ้มทอง (2554, น.567-570) ได้ทำการศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนโดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของอากาศอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส สมการอบแห้งชั้นบางที่ศึกษาประกอบด้วยสมการของ Two Term, Page, Modified Page I, Logarithmic, Two Termexponential, Henderson and Pabis, Approximation of Diffusion และ Newton ผลจากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง หรือความเร็วลม นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์พบว่าสมการ Two Term สามารถทำนายผลการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนได้ดีที่สุดโดยให้ค่า R2 (0.99899) มากที่สุด และค่า RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

วิลาวัลย์ ปันอิ่น (2555, น.435-442) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่นำพลังงานแสงอาทิตย์ และเชื้อเพลิงจากชีวมวลมาใช้ร่วมกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพลังงานสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร ราคาต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว และศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยในการศึกษานี้ได้ทำการอบกล้วยน้ำว้า, ขิง และใบมะกรูด เพื่อทดสอบ

สมรรถนะของระบบ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าหากมีการใช้ถ่านไม้มาเป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาแก๊สซิไฟเออร์ และนำความร้อนที่ได้มาใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ โดยที่ประสิทธิภาพของการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นประมาณ 2.29% 12.16% และ 14.76% ตามลำดับ และเมื่อทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบด้วยอุโมงค์แสงอาทิตย์ร่วมกับก๊าซชีวมวล จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแบบทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน

อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล คนึงนิตย์ จับใจเหมาะ และประยูร จอมหล้าพีรติกุล (2555, น.23-26) ได้ทำการศึกษาการจำลองเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนตำแหน่ง และขนาดของช่องปล่อยอากาศทิ้งด้านบนของห้องอบแห้งทีมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ และอากาศภายในห้องอบแห้ง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยแบบจำลอง 2 มิติ โดยสร้างขึ้นทั้งสิ้น 6 แบบจำลอง ทำการเปลี่ยนตำแหน่งของช่องปล่อยอากาศทิ้งด้านบน 2 ตำแหน่ง คือตรงกลาง ท้ายห้องอบแห้ง และเปลี่ยนขนาดของช่องปล่อยอากาศทิ้งในแต่ละตำแหน่ง 3 ขนาด คือ 25 50 และ 75 มิลลิเมตร โดยอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 55 องศาเซลเซียส และ 0.5 เมตร/วินาที ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าช่องปล่อยอากาศทิ้งตำแหน่งตรงกลางห้องอบแห้งที่ขนาด 75 มิลลิเมตร ให้ผลของการกระจายอุณหภูมิ และอากาศภายในห้องอบแห้งสม่ำเสมอที่สุด

อัจฉราแซ่โค้ว และคณะ (2556, น.166-180) ได้ทำการศึกษาปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพา และการแผ่รังสีความร้อน ที่มีต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของพริกไทยดำ พบว่าจากผลการทดลองอบแห้งพริกไทยที่สภาวะต่าง ๆ สรุปผลการทดลองต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. อัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูง และอัตราการอบแห้งสูง โดยการลดลงของความชื้นของการอบแห้งพริกไทยเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยในช่วงแรกของการทดลองส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน

2. การทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งชั้นบางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเมื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบสมการที่เหมาะสมพบว่าแบบจำลอง Page สามารถทำนายการอบแห้งพริกไทยด้วยรังสีใต้แดงทั้งแบบขั้นตอนเดียว และ 2 ขั้นตอนส่วนแบบจำลอง Page ทำนายการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวส่วนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนโดยไมโครเวฟกับลมร้อนสามารถทำนายโดยแบบจำลอง Logarthmic

3. การอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับรังสีใต้แดงมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผลสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ในช่วง (4.50-14.8) ×10-9 m2/s และเมื่อพิจารณาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่าการอบแห้งพริกไทยดำด้วยรังสีใต้แดงเพียงอย่างเดียวมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด จึงกล่าวโดยสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีความร้อนจากแหล่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยรังสีใต้แดง และไมโครเวฟจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผลของน้ำสูงกว่ากรณีอบแห้งด้วยการพาความร้อนจากลมร้อน

4. การทดสอบคุณภาพทางกายภาพของพริกไทยดำ สรุปได้ว่าการหดตัวของพริกไทยที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ เกิดการหดตัวสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงผิวภายนอกของพริกไทยจะแข็งอย่างรวดเร็ว เป็นการคงสภาพของโครงสร้างทำให้เมล็ดพริกไทยหดตัวได้น้อยลง สำหรับค่าสีของพริกไทยภายหลังการอบแห้งสรุปได้ว่าค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มต่ำเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ขณะที่เมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งสูงแนวโน้มค่าความสว่างของพริกไทยดำมีค่าสูง และที่อุณหภูมิอบแห้งใกล้เคียงกันค่าความเป็นสีแดง (a*) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีใต้แดง มีแนวโน้มเป็นสีแดงมากกว่ากรณีการอบแห้งด้วยลมร้อน

5. การทดสอบทางประสาทสัมผัสอุณหภูมิในการอบแห้ง ไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ผลิตภัณฑ์พริกไทยดำอบแห้งเป็นที่ยอมรับในการบริโภคสำหรับทุกสภาวะ การทดลองสรุปได้ว่าการอบแห้งแบบหนึ่งขั้นตอน หรือสองขั้นตอน ด้วยการแผ่รังสีการพาความร้อนไม่มีผลต่อความชอบโดยรวม และคุณภาพจากทดสอบทางประสาทสัมผัสของเมล็ดพริกไทยดำอบแห้งทุกกรณี และกล่าวได้ว่าจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเมล็ดพริกไทยเพื่อผลิตพริกไทยดำจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพทางงกายภาพด้านสี และการหดตัวแต่ไม่เกี่ยวข้องกับคุณภาพความชอบโดยรวมจากการทดลองโดยประสาทสัมผัส

จักรพงศ์ กสินมนุษย์ (2557, น.301-304) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานของโรงงานต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเทมเปอร์ริ่งและลมร้อน พบว่าพลังงานที่ใช้ในโรงงานต้นแบบคือพลังงานจากแก๊สแอลพีจีสำหรับหัวเผาอินฟราเรด 231.20 เมกะจูลต่อชั่วโมง และพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบอบแห้ง 68.40 เมกะจูลต่อชั่วโมง สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจากแก๊สแอลพีจีเท่ากับ 2.99 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และจากพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

ทิวานัถ แก้วสอนดี (2557, น.393-396) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกในการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยเริ่มจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งใช้แก๊สเป็นแหล่งพลังงาน จากนั้นจึงเอาลมร้อนปล่อยทิ้งจากขั้นตอนแรกมาอบแห้งข้าวเปลือก ในขั้นตอนถัดไปชุดทดสอบมีสองส่วนหลัก คือห้องอบแห้งที่ติดตั้งหัวเผาอินฟราเรดอยู่

ด้านบน และรางอบแห้งที่ติดตั้งในกล่องจำนวน 4 กล่อง ที่เชื่อมต่อกับห้องอบ และเป็นส่วนของการอบแห้งด้วยลมร้อนปล่อยทิ้ง การทดสอบจะใช้ข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 20.32, 25.89 และ 31.60 % wb. ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 , 2.83 และ 2.58 μm (อุณหภูมิ 650 750 และ 850 ℃ ตามลำดับ) ผลการศึกษาพบว่าความยาวคลื่นอินฟราเรดมีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในทุกระดับความชื้นเริ่มต้น โดยความชื้นข้าวเปลือกสามารถลดลงได้ทั้งในช่วงของการอบแห้งด้วยอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยลมร้อน ส่วนอุณหภูมิของข้าวเปลือก และอุณหภูมิของอากาศร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นอินฟราเรดที่ลดลง และลดลงตามจำนวนของกล่อง ผลการทดลองพบว่าที่ความยาวคลื่นอินฟราเรด 2.58 μm สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจนเหลือความชื้นสุดท้าย 15.39, 19.23 และ 24.15 % wb. ที่ความชื้นเริ่มต้น 20.32, 25.89 และ 31.60 % wb. ตามลำดับ

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ (2558, น.298-307) ได้ทำการการสร้างและพัฒนาระบบผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล และค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อชั่วโมงมีปริมาณน้อย หากผู้นำไปใช้สำหรับการแปรรูปอาหารหรือที่เกี่ยวข้องสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้อย่างดียิ่ง รวมทั้งยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม (LPG) เนื่องจากการเผาไหม้แก๊ส LPG จำนวน 1 กิโลกรัมจะทำให้ต้องปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) เท่ากับ 2.96 กิโลกรัม (นิธิมาโรจนวงศ์, 2557, น.36) ด้านคุณภาพพลังงานความร้อน พบว่าปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยอันเป็นผลดีต่อการเกิดก๊าซชีวมวล หากแต่ระยะเวลาการจุดติดเตาจากเชื้อเพลิงถ่านยังมีค่าสูง อาจเป็นเพราะความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านมีปริมาณความชื้นสูง หรืออาจเป็นเพราะคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านมีความหนาแน่นสูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ พจนีย์ ขุนมงคล (2556) ที่พบว่าคุณสมบัติก๊าซชีวมวลขึ้นอยู่กับการออกแบบเตาความชื้น และขนาดของเชื้อเพลิง ซึ่งหากเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะส่งผลให้คุณภาพก๊าซต่ำ ดังนั้นควรให้ความชื้นเชื้อเพลิงจากถ่านไม่ควรเกิน 10-20 เปอร์เซ็นต์ หากแต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงได้ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับวิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล (2556) ที่กล่าวว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมาแปรรูปเป็นก๊าซชีวมวลจะก่อเกิดความยั่งยืนทางพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยอีกทั้งภาครัฐออกนโยบายในการส่งเสริมการนำชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เพื่อสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับระบบเศรษฐกิจชุมชนและประเทศชาติ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในข้างต้นพบว่า การอบโดยใช้ตู้อบนั้นมีหลากหลายลักษณะไม่ว่าจะเป็นการอบด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ การอบด้วยลมร้องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG การอบด้วยความเย็นหรือจุดเยือกแข็ง แต่ทั้งหมดมีวัตถุประสงค์เดียวกันคือการนำความชื้นออกจากอาหาร หรือวัตถุดิบที่ต้องการทำให้แห้งในระดับที่ยอมรับได้ เรียกอีกอย่างว่าการทำแห้ง โดยกระบวนการอบที่กล่าวมานั้น เป็นการอบที่ต้องใช้ระยะเวลาในการอบนาน อีกทั้งถ้ามีฝนตกก็อาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายได้ และต้นทุนในการอบจะสูงมากขึ้นถ้ามีการนำก๊าซ LPG มาเป็นเชื้อเพลิงในการอบ เพราะกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือนั้น จะมีกระบวนการอบนานเพื่อให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกมาสมบูรณ์แบบ และได้มาตรฐาน จึงเป็นปัญหาให้กับผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบแห้งด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลืองให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ต่อไป

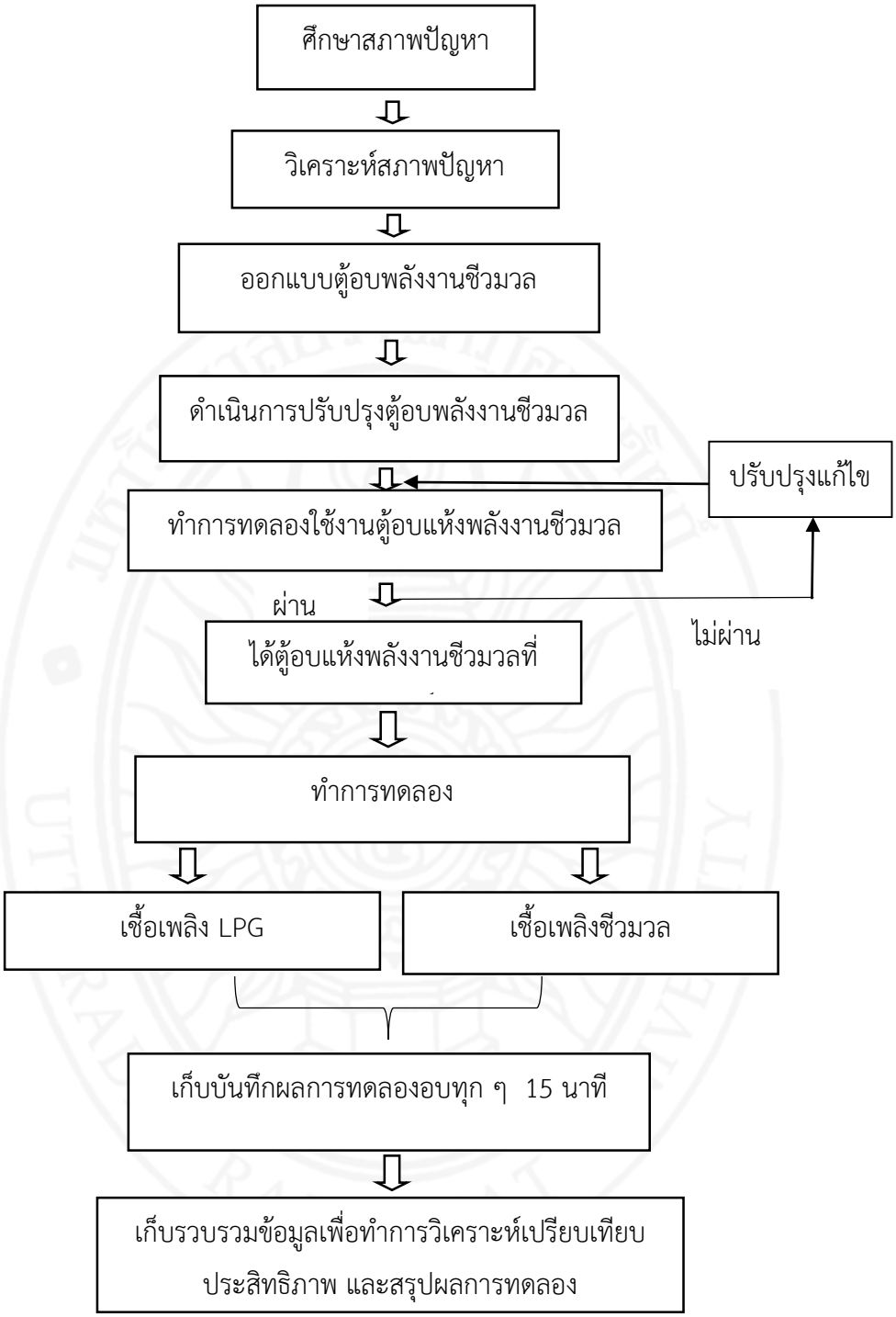
# บทที่ 3
# ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบแห้งด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลือง สำหรับครัวเรือนครั้งนี้ผู้วิจัยมีระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. วิธีการวิจัย
2. วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย
3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

## วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบแห้งด้วยพลังงานสะอาดและพลังงานสิ้นเปลือง ใช้วิธีการวิจัยแบบเชิงทดลอง เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหา และต้นทุนการผลิตในการใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG ในพื้นที่กลุ่มผู้ผลิตรายย่อยบ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดหล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ จากนั้นดำเนินการออกแบบและปรับปรุง ตู้อบพลังงานความร้อนจากเดิมใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงเปลี่ยนเป็นใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทน และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG กับเชื้อเพลิงชีวมวล จากนั้นประเมินผลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับเชื้อเพลิงชีวมวล ในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีวิธีดำเนินการวิจัยดังภาพ




ภาพที่ 21 วิธีดำเนินการวิจัยกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

## วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย

ภาพที่ 22 ตู้อบมีขนาดภายใน 42 x 40 x 25 เซนติเมตร และขนาดภายนอกตู้อบ 77 x 70 x 66 เซนติเมตร

ภาพที่ 23 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Infrared Thernal Camera) รุ่น THT 46 ฟังค์ชั่นวัดอุณหภูมิพื้นผิว และการถ่ายภาพความร้อนในแบบเรียลไทม์ วัด: -20 องศาเซลเซียส ถึง 350 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ ±2%/±2°C ความละเอียดการแสดงผล 160x120 pixels ความเร็วในการจับภาพ 50 Hz

ภาพที่ 24 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบใช้มือถือ DMM AC/DC ยี่ห้อ:UT240A UNI-T การวัดอเนกประสงค์ แรงดันไฟฟ้า AC/DC (V) กระแสไฟ AC/DC (A) ความต้านทาน (Ω) ความจุ (F) ความถี่ (Hz) อุณหภูมิ (°C) ความถูกต้องที่สุด กระแสไฟ AC (A) 40A/600A ± (2.5% + 5) กระแสไฟตรง (A)40A/600A

ภาพที่ 25 เกจวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ MIC รุ่น TC430-3004 อุณหภูมิสูงสุด 300°C ความแม่นยำ ±1.5% เกรียวออกหลัง

ภาพที่ 26 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล Digital balance scale 10kg ความละเอียด 1g SF-400 A

## ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การปรับปรุงตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ปรับปรุงตู้อบพลังงานความร้อนจากเดิมใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงเปลี่ยนเป็นใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทน โดยเปลี่ยนตู้อบเป็นระบบปิด ติดตั้งฉนวนกันความร้อน (ใยแก้ว) ติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิแบบเกรียวหลัง และติดตั้งหัวแก๊สอินฟาเรด

ภาพที่ 27 ปรับปรุงตู้อบ

2. การทดลองประสิทธิภาพตู้อบ เปิดตู้อบ อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งอุณหภูมิภายใน 50 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างตู้อบเชื้อเพลิง LPG กับเชื้อเพลิงชีวมวล ทำการทดลองตู้อบละ 3 รอบ ได้แก่ ระยะเวลา 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ

ภาพที่ 28 ทดลองอบโดยตู้อบเชื้อเพลิง LPG

ภาพที่ 29 ทดลองอบโดยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวล

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการเก็บบันทึกการใช้เชื้อเพลิงก่อนอบและหลังอบ เก็บบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 15 นาที และน้ำหนักเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ก่อนอบและหลังอบ

ภาพที่ 30 เก็บรวบรวมข้อมูล

4. วิเคราะห์ประสิทธิภาพตู้อบ รวบรวมข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงระหว่าง เชื้อเพลิง LPG กับ ชีวมวล เพื่อทำการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และรวบรวมข้อมูลน้ำหนักเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาวิเคราะห์ความชื้น วิเคราะห์เปรียบเทียบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบกับมาตรฐานลิตภัณฑ์ชุมชน และประเมินความคุมค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างตู้อบพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG กับ เชื้อเพลิงชีวมวล

**สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์**

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน (บาท) ÷ ผลตอบแทน (บาทต่อปี)

สูตรคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่ได้ทำการปรับปรุง

$$\eta = \frac{w \cdot h_{fg}}{Q_T}$$

โดย $\eta$ = ประสิทธิภาพของตู้อบ

W = ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)

$h_{fg}$ = สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg)

$Q_T$ = พลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)

5. สรุป โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG กับ เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับครัวเรือน และทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างตู้อบพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG กับ เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สำหรับครัวเรือน

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

## ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองประสิทธิภาพระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากชีวมวล กับตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวมวล และเชื้อเพลิงจากก๊าซ LPG และเพื่อศึกษาผลการประเมินความคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับ ชีวมวล ในกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือ

**ผลการศึกษาสภาพปัญหา และต้นทุนการผลิตในการใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG**

จากศึกษาสภาพปัญหา และต้นทุนการผลิตในการใช้ตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG ในพื้นที่บ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าขั้นตอนในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมะพานต์ที่ผ่านการทอดมานั้น ต้องใช้ลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG โดยตรง เพื่อให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งในการอบแต่ละครั้งจะใช้เวลา 60 นาที เมล็ดมะม่วงหิมพานต์จึงแห้งสนิท ไม่มีกลิ่นหืนตามมาภายหลัง สภาวะการอบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิภายในตู้อบอยู่ที่ 50°C ตลอดระยะเวลาการอบ 60 นาที ซึ่งใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการอบ 0.20 กิโลกรัมต่อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หนึ่งกิโลกรัม โดยราคาก๊าซ LPG กิโลกรัมละ 31.25 บาท เพราะฉะนั้นในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในแต่ละครั้งจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงอยู่ที่ 6.25 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบอบแห้งต่อเดือนจะใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG 48 กิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 1,500 บาท ซึ่งยังถือว่าเป็นต้นทุนที่สูงอยู่ และนอกจากนี้ปัญหาทางด้านมลภาวะก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากการเผาไหม้ก๊าซ LPG จำนวน 1 กิโลกรัมนั้นจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.1339 กิโลกรัม

ผลการทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ระหว่างพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG กับ ชีวมวล

ตารางที่ 1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (1 kg.)

| ครั้ง | น้ำหนัก (kg) | | |
|---|---|---|---|
| | 30 นาที | 45 นาที | 60 นาที |
| 1 | 0.33 | 0.40 | 0.72 |
| 2 | 0.34 | 0.39 | 0.78 |
| 3 | 0.32 | 0.41 | 0.78 |
| เฉลี่ย | 0.33 | 0.40 | 0.76 |

ผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 30, 45 และ 60 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบเฉลี่ย 0.33, 0.40 และ 0.76 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยช่วงเวลา 30 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.32 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.34 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 45 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.39 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.41 กิโลกรัม และในช่วงเวลา 60 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.72 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.78 กิโลกรัม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 เชื้อ LPG ที่ใช้ในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (1 kg.)

| ครั้ง | น้ำหนัก (kg) | | |
|---|---|---|---|
| | 30 นาที | 45 นาที | 60 นาที |
| 1 | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| 2 | 0.11 | 0.16 | 0.21 |
| 3 | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| เฉลี่ย | 0.10 | 0.40 | 0.20 |

ผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 30, 45 และ 60 นาที ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการอบเฉลี่ย 0.10, 0.15 และ 0.20 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยช่วงเวลา 30 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด

เท่ากับ 0.10 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.11 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 45 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.15 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.16 กิโลกรัม และในช่วงเวลา 60 นาที ใช้เชื้อเพลิงในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.20 กิโลกรัม และใช้เชื้อเพลิงในการอบสูงสุด เท่ากับ 0.21 กิโลกรัม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3 น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ (1 kg.)

| ครั้ง | น้ำหนัก (kg) | | |
|---|---|---|---|
| | 30 นาที | 45 นาที | 60 นาที |
| 1 | 0.96 | 0.98 | 0.98 |
| 2 | 0.97 | 0.96 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 0.98 |
| เฉลี่ย | 0.976 | 0.986 | 0.986 |

ผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 30, 45 และ 60 นาที ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.976, 0.986 และ 0.986 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยช่วงเวลา 30 นาที น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.96 กิโลกรัม และน้ำหนักผลิตภัณฑ์มากที่สุด เท่ากับ 1 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 45 นาที น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.96 กิโลกรัม และน้ำหนักผลิตภัณฑ์มากที่สุด เท่ากับ 1 กิโลกรัม และในช่วงเวลา 60 นาที น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.98 กิโลกรัม และน้ำหนักผลิตภัณฑ์มากที่สุด เท่ากับ 1 กิโลกรัม ดังตารางที 2

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลและตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG ที่ช่วงเวลา 30 นาที

| ระยะเวลา | ตู้อบพลังงานชีวมวล | ตู้อบพลังงาน LPG |
|---|---|---|
| 30 นาที | สีไม่ไหม้ มีน้ำมันหลงเหลือไม่มาก | สีไม่ไหม้ มีน้ำมันหลงเหลือเป็นจำนวนมาก |

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลและตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลหลังอบ ช่วงเวลา 45 นาที

| ระยะเวลา | ตู้อบพลังงานชีวมวล | ตู้อบพลังงาน LPG |
|---|---|---|
| 45 นาที | สีไม่ไหม้ ไม่มีน้ำมันหลงเหลืออยู่ | สีไม่ไหม้ มีน้ำมันหลงเหลือค่อนข้างมาก |

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบสีผลิตภัณฑ์ระหว่างตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลและตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวลหลังอบ ช่วงเวลา 60 นาที

| ระยะเวลา | ตู้อบด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล | ตู้อบด้วยเชื้อเพลิง LPG |
|---|---|---|
| 60 นาที | สีไม่ไหม้ ไม่มีน้ำมันหลงเหลืออยู่ | สีไม่ไหม้ มีน้ำมันหลงเหลือไม่ค่อยมาก |

ผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 30, 45 และ 60 นาที เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวลและตู้อบด้วยเชื้อเพลิง LPG สีของเมล็ดไม่ไหม้ ในช่วงเวลา 30 นาที ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณน้ำมันหลงเหลืออยู่ไม่มาก และผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิง LPG มีปริมาณน้ำมันหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ในช่วงเวลา 45 นาที ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวลไม่มีน้ำมันหลงเหลืออยู่ และผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิง LPG มีปริมาณน้ำมันหลงเหลือค่อนข้างมาก และในช่วงเวลา 60 นาที ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวลไม่มีน้ำมันหลงเหลืออยู่ และผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบเชื้อเพลิง LPG มีปริมาณน้ำมันหลงเหลือไม่ค่อยมาก ดังตารางที่ 3, 4 และ 5

**ผลการวิจัยเพื่อประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับ ชีวมวล ในกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือ**

ผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์พลังงานความร้อนด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล ใช้งบประมาณในการปรับปรุง 2,400 บาท ซึ่งตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์พลังงานความร้อนด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลมีอัตรากำลังการผลิต 1 กิโลกรัมต่อครั้ง ใช้ระยะเวลาในการอบ 45 นาที ซึ่งระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน สามารถผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือได้ 11 กิโลกรัม โดยราคาขายเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายตู้อบที่ปรับปรุงแล้ว

| ค่าใช้จ่าย | | ผลตอบแทน | | |
|---|---|---|---|---|
| รายการ | ราคา (บาท) | รายการ | จำนวน | หน่วย |
| ตู้อบแก๊สขนาดเล็ก | 6,800 | ราคาขายเมล็ด ฯ ต่อกิโลกรัม | 500 | บาท |
| หัวก๊าซอินฟาเรด | 1,600 | อัตรากำลังการผลิตต่อปี | 288 | กิโลกรัม |
| ระบบท่อส่งก๊าซ | 800 | | | |
| ค่าเชื้อเพลิงต่อปี | 6,424 | | | |
| ค่าชุดให้ความร้อน | 3,000 | | | |
| **รวมทั้งสิ้น** | 18,624 | **รวมผลตอบแทน** | 144,000 | บาทต่อปี |

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน (บาท) ÷ ผลตอบแทน (บาทต่อปี)

= 18,624 ÷ 144,000

= 0.77 ปี

# บทที่ 5
# สรุปผล อภิปรายผล และข้อแสนอแนะ

## สรุปผลการวิจัย

งานวิจัย เปรียบเทียบประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดและพลังงาสิ้นเปลืองสำหรับครัวเรือนมีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและต้นทุนการผลิตในการใช้ตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG ในพื้นที่บ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ระหว่างพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG กับ ชีวมวล และประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับชีวมวล ในกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดอบเกลือ โดยทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาของกลุ่มผู้ผลิตรายย่อย จากนั้นออกแบบปรับปรุงตู้อบเป็นตู้อบด้วยพลังงานสะอาดโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อแก้ไขปัญหาด้านค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อีกทั้งช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG

ผลการวิจัย สภาพปัญหาและต้นทุนการผลิตการในการใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยพลังงานความร้อนจาก LPG ในพื้นที่บ้านหาดไก่ต้อย ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า ตู้อบใช้เป็นตู้อบลมร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับก๊าซเชื้อเพลิง ใช้ระยะเวลา ในการอบ 60 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลานาน มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง LPG อยู่ที่ 6.25 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยตู้อบที่ได้ทำการปรับปรุงช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จำนวน 1.1339 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า จากตู้อบเดิมก่อนปรับปรุง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีเทียบเท่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เมื่อทำการประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ของตู้อบเมล็ดม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวล ผลปรากฏว่า ตู้อบที่ปรับปรุง มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 0.77 ปี ซึ่งมีความคุมค่าต่อการลงทุน

## อภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการเปรียบเทียบตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาด และพลังงานสิ้นเปลืองในการทดลองแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. ผลการออกแบบและปรับปรุงตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล

การออกแบบและปรับปรุงตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล คือ ปรับปรุงตู้อบเป็นระบบปิด ติดตั้งฉนวนกันความร้อน (ใยแก้ว) ติดตั้งเทอโมมิเตอร์ ติดตั้งชุดให้ความร้อนจากเตาผลิตก๊าซชีวมวล และจากเดิมก๊าซออกจากท่อเปลี่ยนเป็นหัวก๊าซอินฟาเรด

ภาพที่ 31 ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล

ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานชีวมวล เป็นตู้อบระบบปิด กักเก็บความร้อนได้ดีกว่าตู้อบแบบเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอีกทั้งตัวผลิตภัณฑ์ไม่สัมผัสกับก๊าซเชื้อเชื้อเพลิง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ การัณย์ หอมชาติ (2561) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยพลังงานสะอาด สามาถรถลดระยะเวลาการอบแห้งให้สั้นลง

2. ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระยะเวลา 45 นาที ของตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล และเชื้อเพลิง LPG การอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล จะมีความแตกต่างกับการใช้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG เนื่องจากตัวแปรหลาย ๆ อย่างไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลา และเชื้อเพลิง มีความจำเป็นต่อการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จะเห็น ได้ว่าตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการอบที่ 50 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิง LPG 0.2 กิโลกรัมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ มีค่าเชื้อเพลิงรวมทั้งสิ้น 6.25 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ สำหรับการให้ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการอบที่ 50 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวล 0.4 กิโลกรัมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ มีค่าเชื้อเพลิงรวมทั้งสิ้น 4 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่าตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ให้เหมาะสมและคงที่อยู่เสมอได้ถึง 2.25 บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก ศิรินุช จินดารักษ์ และจอมภพ แววศักดิ์ (2548) พบว่า การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานสะอาดสามารถประหยัดเชื้อเพลิงในการอบแห้งได้ถึง 23 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการเปรียบเทียบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เมล็ดมะม่วงหิมพานต์มี สีที่ดี ไม่ไหม้เกรียม รสชาติเป็นไปตามธรรชาติที่ปรุงแต่งไม่มีรสขม กลิ่นปราศจากกลิ่นเหม็นหืน กลิ่นอับ และเนื้อสัมผัสกรอบ ไม่แข็งกระด้าง

4. ผลการวิจัยประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาด มีต้นทุนในการใช้จ่ายปรับปรุงตู้อบ 18,624 บาท โดยมีผลตอบแทนอยู่ที่ 144,000 บาทต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 0.77 ปี ดังนั้น ตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยพลังงานสะอาดมีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการคืนทุนน้อย และใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่าตู้อบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะการพัฒนาต่อยอด

1. ควรออกแบบตู้อบ ให้สามารถอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ครั้งละปริมาณมาก ๆ
2. ควรออกแบบระบบควบคุมตู้อบ ให้สามารถคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้คงที่

### ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. ควรได้รับการสนับสนุน ส่งเสริมด้านเทคนิค องค์ความรู้ ทักษะจากหน่วยงานรัฐ

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม


การัณย์ หอมชาติ. (2561). การประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา,* 30 (4), 61-74.

เกรียงศักดิ์ นักผูก และชวนชื่น เดี่ยววิไล. (2554). การพัฒนาและประเมินผลตู้อบแห้งชาเขียวลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 42 (3 พิเศษ), 466-469.

จักรพงศ์ กสินมนุษย์. (2557). การใช้พลังงานของโรงงานต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับ การเทมเปอร์ริ่งและลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 45 (3/1 พิเศษ), 301-304.

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก, ศิรินุช จินดารักษ์ และจอมภพ แวงศักดิ์. (2548). การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบลำไยโดยการใช้พลังงานชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (น.247-253).* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนากานต์ อาษาสุจริต. (2538). *การอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซชีวมวล*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัดพาณิชย์, สนอง อมฤกษ์, ประพัฒน์ ทองจันทร์ และปรีชา ชมเชียงคำ. (2554). ศึกษาการอบแห้งมะคาเดเมียด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 42 (1 พิเศษ), 563-566.

ทิวานัถ แก้วสอนดี. (2557). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยรังสีอินฟราเรดและแก๊สร้อนปล่อยทิ้งจากหัวเผาอินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 45 (3/1 พิเศษ), 393-396.

ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แวงศักดิ์, มารีนา มะหนิ และภรพนา บัวเพชร์. (2553). การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า ภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย. *วรสารมหาวิทยาลัยทักษิณ,* 12 (3), 109-118.

นพรัตน์ อมัติรัตน์. (2554). *การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-12 กับ COLD-22.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี,

พุทธธินันทร์ จารุวัฒน์ และคณะ. (2555). การวิจัยและพัฒนาเครื่องลดความชื้นช่อดอกกล้วยไม้แบบอุโมงค์ลม. *วารสารวิชาการเกษตร,* 30 (1), 23-38.

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ. (2558). การสร้างและพัฒนาระบบผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนองานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 (น.298-307).* กาญจนบุรี: มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น.

วิบูลย์ เทเพนทร์, เวียง อากรชี, ยงยุทธ คงซ่าน, บัณชา แสงวงษา, นิวัต อาระวิล และอัคคพล เสนาณรงค์. (2554). เครื่องอบแห้งผักและผลไม้เอนกประสงค์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 42 (3 พิเศษ), 521-524.

วิลาวัลย์ ปันอิ่น. (2555). *การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของอุโมงค์อบแห้งแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบก๊าซซิไฟเออร์ชีวมวล*. สืบค้น 16 พฤศจิกายน 2558 จาก http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/27382

สุพจน์ เกิดมี, ไพฑูรย์ บานเย็นงาม, พิณทิพย์ แก้วแกมทอง, เสาวนิตย์ แดงทองดี และรังสรรค์ เพ็งพัด. (2554). *การพัฒนาการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษวัสดุทางการเกษตร.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2559 จาก https://research.pcru.ac.th/rdb/project/datafilescreate/559_%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99_%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%A7%E0%B9%8C%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A8%E0%B8%A9%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%AA.html

อัจฉราแซ่โค้ว และคณะ. (2556). ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา,* 18 (1), 166-180.

อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล, คนึงนิตย์ จับใจเหมาะ และประยูร จอมหล้าพีรติกุล. (2555). การจำลองการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล. *วรสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 43 (3 พิเศษ), 23-26.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2553). จลนพลศาสตร์การอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่ของปลานิล. *วรสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.,* 3 (2), 9-16.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# ศึกษากระบวนผลิต และสภาพปัญหา

ภาพที่ 31 การลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ศึกษากระบวนผลิต และสภาพปัญหา

# ภาคผนวก ข
# ปรับปรุง และพัฒนาตู้อบ

ภาพที่ 32  การปรับปรุง และพัฒนาตู้อบ

# ภาคผนวก ค
# การทดลองอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิง LPG

ภาพที่ 33 การอบไล่น้ำมันออกจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยเชื้อเพลิง LPG

# ภาคผนวก จ
# การทดลองอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล

ภาพที่ 34 การอบไล่น้ำมันออกจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล

# ประวัติย่อผู้วิจัย

# ประวัติย่อผู้วิจัย

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | ภูวดล เพ็ญนาดี |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 16 พฤษภาคม 2522 |
| **สถานที่เกิด** | พิจิตร |
| **วุฒิการศึกษา** | พ.ศ. 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เครื่องกล) สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 177 หมู่ที่ 13 ตำบลวังทรายพูน อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร 66180 |