

อภินันท์นาการ

สัญญาเลขที่ R25618



สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ โครงการพัฒนาถ่านชีวมวลจากเปลือกกล้วยพาราในระบบอัดเย็น

ชื่อหัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ

หน่วยงานที่สังกัด คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1. รศ.ดร.เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ | ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม |
| 2. นางสาวมลภรณ์ บุญถาวร | หน่วยวิจัยและพัฒนาบูรณาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม |
| 3. นางสาวปิยะมาศ ภัทรินทร์ | หน่วยวิจัยและพัฒนาบูรณาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม |
| 4. นางสาวสุกัญญา อ่อนเขตร์ | หน่วยวิจัยและพัฒนาบูรณาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม |
| 5. นายกวีชา แซ่หว่า | หน่วยวิจัยและพัฒนาบูรณาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม |

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันลงทะเบียน..... 14 มิ.ย. 2565

เลขทะเบียน..... 10 52809

เลขเรียกหนังสือ..... TP

156

107

๑๙๓๕

๒๕๖๑

สนับสนุนโดย

งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ 2561

การพัฒนาถ่านชีวมวลจากเปลือกกล้วยพาราในระบบอัดเย็น

Biomass Briquette Development from Para rubber Pericarp by screw press system

เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ¹ กมลภรณ์ บุญถาวร² ปิยะมาศ ภัทรินทร์² สุกัญญา อ่อนเขตร² และกวีชา แซ่หว้า²

Det Wattanachaiyingcharoen¹, Kamolporn Boonthavorn², Piyamat Pattharin², Sukanya Onkhet², and Kaweecha Xeem Vaj²

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านชีวมวลจากเปลือกกล้วยพาราในระบบอัดเย็น ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนเปลือกกล้วยพารา : กิ่งไม้ยางพารา (%) 50 : 50, 70 : 30, 30 : 70, 100 : 0 และ 0 : 100 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง (ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัว สารระเหย และค่าความร้อน) พบว่า อัตราส่วนที่ 100 : 0 มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความร้อนสูงถึง 6,182 kcal/kg ในสภาวะน้ำส่ง และมีค่าความร้อนสูงถึง 6,665 kcal/kg ในสภาวะน้ำหนักแห้ง และยังพบว่า อัตราส่วนที่ 30 : 70 มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ 2 ประการ คือ ปริมาณสารระเหย และ ปริมาณเถ้า โดยมีปริมาณสารระเหยสูงสุดร้อยละ 27.02 และปริมาณเถ้าต่ำสุดร้อยละ 6.12 กล่าวโดยสรุปได้ว่า เปลือกกล้วยพาราและกิ่งไม้ยางพาราซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ในสวนยางพารา มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงถ่านชีวมวลเพื่อการพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชนต่อไป

คำสำคัญ: ถ่านชีวมวล เปลือกกล้วยพารา ระบบอัดเย็น

Abstract

Biomass briquette development from Para rubber pericarp by screw press system applied the cassava flour as binder in different ratio of Para rubber pericarp : Para rubber tree branches (%) 50 : 50, 70 : 30, 30 : 70, 100 : 0 and 0 : 100. The analysis of physical and thermal properties (moisture content, ash content, fixed carbon, volatile matter, and high heating value) found that the ratio of 100 : 0 had the physical and thermal properties on the best performance significantly ($P < 0.05$) with the highest heating value of 6,182 kcal/kg in as received condition and 6,665 kcal/kg as dry condition. In the next result, the ration of 30: 70 had 2 physical properties on the best performance significantly ($P < 0.05$) with the highest volatile matter of 27.02 percent and lowest ash content of 6.12 percent. In conclusion, Para rubber pericarp and Para rubber tree branches, as the residue in the Para rubber plantation, have the physical and thermal potential as biomass for further development under community standard for briquette charcoal.

Keywords: Biomass Briquette, Para rubber pericarp, screw press system

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

²หน่วยวิจัยและพัฒนาบูรณาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok Province 65000

²Agriculture and Environmental Integration Research and Development Unit, Naresuan University, Phitsanulok Province 65000

*Corresponding author : Detw@nu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูง สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การผลิตยางพาราในระดับเกษตรกร ซึ่งถือเป็นการผลิตระดับต้นน้ำ ที่มีความสำคัญต่อการผลิตปลายน้ำในระดับอุตสาหกรรม พบว่าวัสดุเหลือใช้ในสวนยาง ที่สร้างปัญหาให้กับเกษตรกร นอกเหนือจากกิ่งไม้ยางพารา ที่ขายให้แก่โรงงานเฟอร์นิเจอร์ และเมล็ดยางพาราที่ขายให้แก่ผู้รับซื้อ นำไปแปรรูปเป็นต้นกล้ายางนั้น คือเปลือกกลุยกยางพารา ในช่วงเดือนตุลาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายน จะเป็นช่วงที่ยางพาราออกผล โดยเกษตรกรจะเก็บเมล็ดยางพารา เพื่อขายให้แก่พ่อค้าแพะพันธ์ต้นกล้า แต่ปัจจุบันเหลือผู้รับซื้อน้อยรายเหลือไว้เพียงเปลือกกลุยกยางพาราและใบยางพารา ที่ปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติอย่างไร้มูลค่า นอกจากนี้ การจัดการสวนยางมีต้นทุนในด้านแรงงานกรีดยางและการจัดการสวนยางค่อนข้างสูง เช่น การจัดการใบยาง กิ่งไม้ยาง เปลือกกลุยกยางและวัสดุการเกษตรในสวนยาง เพื่อป้องกันไฟไหม้ ป้องกันการเกิดเชื้อราและการเกิดรากเน่า ด้วยเหตุนี้ แนวคิดในการพัฒนาต่อยอดถ่านชีวมวลจากเปลือกกลุยกยางพาราและวัสดุเหลือใช้ในสวนยางพารา จึงเป็นการลดต้นทุนในการจัดการวัสดุเหลือใช้ในสวนยางลดการตัดฟัน ทำให้ระบบนิเวศดีขึ้น นอกจากนี้จากการพัฒนาในระยะแรก ทำให้ทราบถึงศักยภาพที่เป็นไปได้ในการพัฒนาถ่านชีวมวลให้มีค่าความร้อนสูงกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีและอัตราส่วนที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาแห่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ให้ค่ามาตรฐานและพลังงานความร้อนมากกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม
2. เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในสวนยางพารา เพื่อใช้ในครัวเรือนและจำหน่าย
3. เพื่อเป็นอาชีพเสริมของสถาบันเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

จากการศึกษาก่อนหน้าในโครงการศึกษาการผลิตแห่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบยางพารา พบว่าสูตรที่ 1 ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 4,383 แคลอรี/กรัม ในขณะที่ สูตร 8 ให้ค่าพลังงานความร้อนน้อยที่สุด คือ 3,418.37 แคลอรี/กรัม ทั้งนี้สูตรที่ 1 ในระบบอัดเย็น มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ ในแง่ของการให้พลังงาน และการใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทเปลือกกลุยกยางในสัดส่วนที่มากที่สุด ซึ่งให้ค่าความร้อน 4,542 แคลอรี/กรัม (as dry receive) และ 4,383 แคลอรี/กรัม (as receive) โดยระดับความร้อนดังกล่าวยังไม่ถึงค่ามาตรฐานของถ่านอัดแท่งชุมชน ซึ่งต้องให้ความร้อนตั้งแต่ 5,000 แคลอรี/กรัม ขึ้นไป ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาอัตราส่วนการใช้เปลือกกลุยกยางในระบบอัดเย็นในอัตราส่วนสูงที่สุดตลอดจนส่งเสริมและถ่ายทอดองค์ความรู้แก่เกษตรกรชาวสวนยางให้เห็นประโยชน์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้ในสวนยางต่อไป

วิธีวิทยาการวิจัย

วัสดุและวิธีการ

รวบรวมเปลือกกลุยกยางพาราและกิ่งไม้ยางพาราจากสวนยางพาราของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกและพิจิตร จากนั้นนำกิ่งไม้ยางพารามาตัดเป็นท่อน เพื่อให้สามารถบรรจุลงในถังเหล็ก 200 ลิตรสำหรับเผาได้

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design – CRD) รวมทั้งสิ้น 5 กรรมวิธี (Treatment-TRT) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว เถ้า และความร้อน โดยมีอัตราส่วนเปลือกกลุยกยางพาราและกิ่งไม้ยางพารา ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 (70:30) กรรมวิธีที่ 2 (100:0) กรรมวิธีที่ 3 (0:100) กรรมวิธีที่ 4 (30:70) และกรรมวิธีที่ 5 (50:50)

การอัดแท่งเชื้อเพลิง นำถ่านจากเปลือกกลุยกยางพารา และกิ่งไม้ยางพารา มาบดย่อยด้วยเครื่องตีป่นถ่านแบบ Hammer mill จากนั้นนำมาผสมตามสัดส่วนด้วยเครื่องผสมแนวอนมีใบกวนผสมแนวรับตั้งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ใส่แป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนแป้งมัน 1 ส่วนต่อผงถ่าน 10 ส่วน แล้วนำเข้าสู่เครื่องอัดถ่านแบบ Extruder ซึ่งใช้ Screw เป็นตัวอัด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 7.5 แรงม้า ซึ่งเป็นกระบวนการอัดถ่านในระบบอัดเย็น (cold press)

จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษา

เมื่อนำเปลือกกล้วยพาราและกิ่งไม้พารามาเผา บดย่อย ผสมตามสัดส่วนที่แตกต่างกัน 5 กรรมวิธี แล้วนำมาอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งระบบเกลียว (screw press machine) จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า ในด้านปริมาณความชื้นในกรรมวิธีที่ 1 (TRT1) มีปริมาณความชื้นต่ำสุดร้อยละ 7.05 และกรรมวิธีที่ 5 (TRT5) มีปริมาณความชื้นสูงสุดร้อยละ 8.51 ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ประเภทถ่านอัดแท่ง ระบุให้ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 ในด้านปริมาณสารระเหยในกรรมวิธีที่ 4 (TRT4) มีปริมาณสารระเหยสูงสุดร้อยละ 27.02 และกรรมวิธีที่ 3 (TRT3) มีปริมาณสารระเหยต่ำสุดร้อยละ 22.76 ในด้านปริมาณคาร์บอนคงตัวในกรรมวิธีที่ 3 (TRT3) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 61.09 และกรรมวิธีที่ 1 (TRT1) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำสุดร้อยละ 57.44 ในด้านปริมาณเถ้าในกรรมวิธีที่ 4 (TRT4) มีปริมาณเถ้าต่ำสุดร้อยละ 6.12 และกรรมวิธีที่ 2 (TRT2) มีปริมาณเถ้าสูงที่สุดร้อยละ 8.92 และในด้านค่าความร้อนในกรรมวิธีที่ 2 (TRT2) มีค่าความร้อนสูงที่สุดร้อยละ 6,182 kcal/kg และกรรมวิธีที่ 1 (TRT1) มีค่าความร้อนต่ำสุดร้อยละ 5,948 kcal/kg

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว เถ้า และค่าความร้อน

กรรมวิธีที่	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)	ความร้อน (kcal/kg)
1	7.05±0.06	24.04±0.67	57.44±0.57	11.13±0.33	5.94±7.64
2	7.24±0.04	23.60±0.25	60.23±0.42	8.92±0.24	6.18±15.04
3	7.27±0.026	22.76±0.39	61.09±0.49	8.87±0.17	6.08±6.03
4	7.42±0.35	27.02±0.55	59.43±0.16	6.12±0.20	6.15±21.36
5	8.51±0.03	23.68±0.23	59.51±0.34	8.28±0.14	6.08±16.09

* นัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยสถิติ ANOVA พบว่า คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง จำนวน 5 กรรมวิธีแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้น ต้องทำการเปรียบเทียบรายคู่ว่าคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงใดบ้างที่แตกต่างกัน

ตาราง 2 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว เถ้า และค่าความร้อน

TRT	ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย	ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัว	ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า	ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าความร้อน
1	7.05a	24.04b	57.44a	11.13d	5.95a
2	7.24b	23.60b	60.23c	8.92c	6.18d
3	7.27b	22.76a	61.09d	8.87c	6.08b
4	7.42c	27.02c	59.43b	6.12a	6.15c
5	8.51d	23.68b	59.51bc	8.28b	6.08b

TRT2 และ TRT3 มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ส่วน TRT1 TRT4 TRT5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ TRT1 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดและดีที่สุด รองลงมาคือ TRT2 TRT3 ตามลำดับ โดย TRT5 มีปริมาณความชื้นมากที่สุด ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

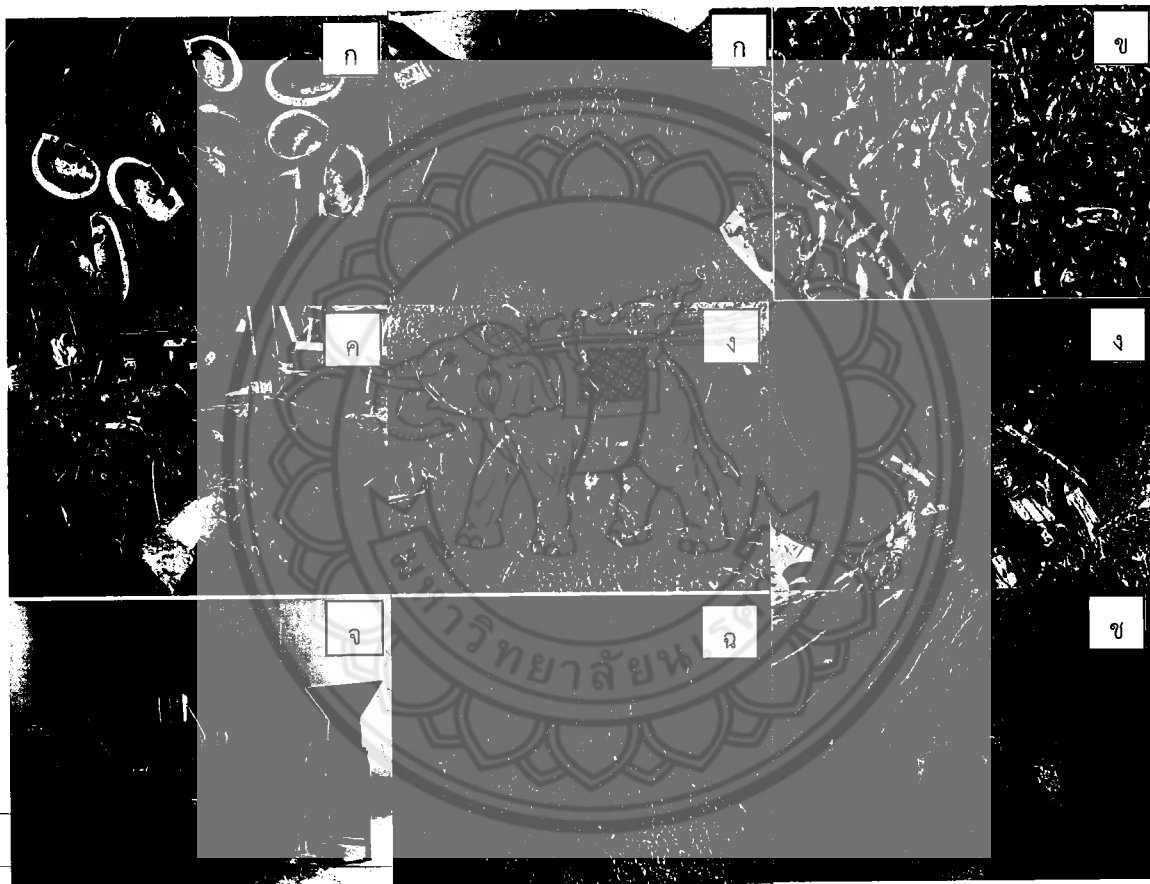
TRT2 TRT5 TRT1 มีปริมาณสารระเหยไม่แตกต่างกัน ส่วน TRT3 TRT4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ TRT4 มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด และ TRT3 มีปริมาณสารระเขยน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม มาตรฐานถ่านอัดแท่งมิได้กำหนดค่าสารระเหยไว้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ FAO ได้ระบุว่า ปริมาณสารระเหยในถ่าน สามารถแปรผันจากร้อยละ 40 จน

ลดลงถึงร้อยละ 5 หรือต่ำกว่า ปริมาณสารระเหยเป็นตัวบ่งชี้ความร้อนที่หายไปในอากาศ น้ำหนักของถ่านจะคงที่ ที่ 900 องศาเซลเซียส น้ำหนักถ่านที่เสียไปคือปริมาณสารระเหย ปริมาณสารระเหยยังชี้เฉพาะไปยังปริมาณความชื้นที่น้อยลงด้วย ถ่านที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะสามารถติดไฟได้ง่ายแต่จะมีควัน ถ่านในเชิงการค้าควรมีปริมาณสารระเหยร้อยละ 30 ในสภาวะไร้ความชื้น

TRT4 TRT5 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่แตกต่างกัน และ TRT5 TRT2 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่แตกต่างกัน ส่วน TRT1 TRT3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

TRT3 TRT2 มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ส่วน TRT4 TRT5 TRT1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ TRT4 มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด ในขณะที่ TRT1 มีปริมาณเถ้ามากที่สุด ดังนั้น TRT4 ซึ่งมีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด จึงดีที่สุด

TRT3 TRT5 มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน ส่วน TRT1 TRT4 TRT2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ค่าความร้อนใน TRT2 เป็นค่าความร้อนสูงที่สุด และดีที่สุด



รูป 1 การผลิตถ่านชีวมวลจากเปลือกลูกยางพาราและกิ่งไม้ยางพารา

- | | |
|-----------------------------|---|
| ก) เปลือกลูกยางพารา ก่อนเผา | จ) ชุดเครื่องจักรในการอัดแท่งถ่านชีวมวล |
| ข) เปลือกลูกยางพารา หลังเผา | ฉ) ถ่านบดก่อนการผสมเพื่ออัดแท่ง |
| ค) กิ่งไม้ยางพารา ก่อนเผา | ช) ถ่านชีวมวลที่อัดแท่งแล้ว |
| ง) กิ่งไม้ยางพารา หลังเผา | |

สรุปผลและอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเปลือกลูกยางพาราและกิ่งไม้ยางพาราเบื้องต้น พบว่ามีคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมีและเชื้อเพลิง ที่สามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่ค่าความร้อนที่สูงขึ้นได้ โดยวัตถุดิบเปลือกลูกยางพาราเผามีค่าความร้อนสูงสุด 6,609 kcal/kg และวัตถุดิบกิ่งไม้ยางพาราเผามีค่าความร้อนสูงสุด 6,456 kcal/kg ในสภาพน้ำหนักแห้ง เมื่อถูกทำให้แห้งในสภาพน้ำหนักแห้ง วัตถุดิบเปลือกลูกยางพาราเผาจะมีค่าความร้อนสูงสุด 7,009 kcal/kg และวัตถุดิบกิ่งไม้ยางพาราเผาจะมี

ค่าความร้อนสูงสุด 7,217 kcal/kg ดังนั้น หากได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนที่เหมาะสม กระบวนการเผา และ กระบวนการอัดแท่งที่สามารถควบคุมค่าความร้อนของวัตถุดิบตั้งแต่ต้นทาง จนถึงปลายทางให้มีค่าสูงสุด จะช่วยเพิ่มศักยภาพ ด้านความร้อนเพื่อการต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

2. การทำถ่านชีวมวลจากอัตราส่วนผสมของเปลือกกลูกลูกยางพาราต่อกิ่งไม้ยางพารา โดยมีแป้งมันเป็นตัวประสานในการขึ้นรูปของอัตราส่วน 5 กรรมวิธี (TRT) พบว่า อัตราส่วนที่ 100 : 0 มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความร้อนสูงถึง 6,182 kcal/kg ในสภานำส่ง และมีค่าความร้อนสูงถึง 6,665 kcal/kg ในสภาน้ำหนักแห้ง และ ยังพบว่า อัตราส่วนที่ 30 : 70 มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ 2 ประการ คือ ปริมาณสารระเหย และ ปริมาณเถ้า โดยมีปริมาณสารระเหยสูงสุดร้อยละ 27.02 และปริมาณเถ้าต่ำสุดร้อยละ 6.12

3. การส่งเสริมการผลิตถ่านอัดแท่งชีวมวลจากเปลือกกลูกลูกยางพาราในระบบอัดเย็นในอัตราส่วน 100 : 0 จะช่วยเพิ่มมูลค่าเปลือกกลูกลูกยางพาราในรูปแบบถ่านอัดแท่ง เพื่อขอรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทถ่านอัดแท่ง ซึ่งให้ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 kcal/kg ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปี 2547

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2561 การยางแห่งประเทศไทยจังหวัดพิษณุโลก และสถาบันเกษตรด้านยางพาราในจังหวัดพิษณุโลก ที่สนับสนุนงบประมาณ สถานที่ และ วัตถุดิบในการดำเนินงานโครงการ (R2561B04)

เอกสารอ้างอิง

1. เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. (2556). โครงการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวจากใบยางพารา. พิษณุโลก : คณะ เกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
2. บทความวิจัย (Research Article) – ThaiJo [อินเทอร์เน็ต]. 2563; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2563. ได้ จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/journalup/article/download/221381/165126/>
3. ระบบคลังข้อมูลทางวิชาการ BRU [อินเทอร์เน็ต]. 2561; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2563. ได้จาก <https://dspace.bru.ac.th/xmlui/handle/123456789/3990>



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของประเทศและการครองชีวิตของประชาชน เรามีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในเศรษฐกิจสาขาต่างๆ การมีต้นทุนพลังงานที่ต่ำจะช่วยสร้างสมรรถนะในการแข่งขันให้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้พลังงานมากก็มีปัญหาผลกระทบของการผลิตและการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ในอดีตเราใช้พลังงานชนิดดั้งเดิม เช่น ฟืน ถ่าน และแรงงานจากสัตว์ แต่เมื่อมีความก้าวหน้าทางวิทยาการมากขึ้น จึงได้เปลี่ยนมาใช้พลังงานเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากอำนวยการความสะดวกต่อการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ เช่น คริวเรือน ธุรกิจ การค้า การคมนาคมขนส่งและอุตสาหกรรม และได้นำพลังงานเข้ามาจากต่างประเทศเพิ่มขึ้น เพราะไม่สามารถจัดหาได้อย่างเพียงพอจากภายในประเทศและเนื่องจากปัจจุบันเชื้อเพลิงเหล่านี้มีปริมาณจำกัด และไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีแนวโน้มที่จะปรับราคาสูงขึ้นตลอดเวลา จึงมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ เพราะนอกจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าสูงแล้ว ยังทำให้สูญเสียเงินตราต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้น ตั้งแต่แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 5 เป็นต้นมา จึงได้กำหนดนโยบายและแผนงานในการพัฒนาพลังงานจากแหล่งพลังงานภายในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้า

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชฯ ทรงให้ความสนพระทัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนเนื่องด้วยในภาคการเกษตรมีการใช้พลังงานเพื่อดำเนินกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นพระองค์ได้ทรงคิดค้นพลังงานด้านอื่นๆ นอกจากน้ำมัน เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตและสามารถผลิตพลังงานขึ้นมาใช้เองได้อีกทั้งยังมีพระราชดำริว่าในอนาคตพลังงานจะขาดแคลน ทั้งพลังงานจากธรรมชาติและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงด้วยพระอัจฉริยภาพอันยาวไกลของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชฯ พระองค์ทรงเล็งเห็นความขาดแคลนไม่ในอนาคต รวมทั้งพลังงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านน้ำมัน พระองค์ทรงมีพระราชดำริ ให้อัจฉริยะและพัฒนายานพลังงานทดแทนน้ำมัน ตั้งแต่ราคาน้ำมันมีราคาถูก และด้วยสายพระเนตรอันยาวไกลของพระองค์ท่าน จึงเกิดโครงการในพระราชดำริต่างๆ มากมาย ในปัจจุบัน ในด้านการผลิตถ่าน พระองค์ทรงมีพระราชดำรินำวัสดุเหลือใช้ เช่น ผักตบชวา มาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งเรียกว่า เชื้อเพลิงเขียว และถ่านจากแกลบ ซึ่งปัจจุบันโครงการส่วนพระองค์ในสวนจิตรลัด ก็มีโครงการเกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่ง เพื่อจะได้นำความรู้ไปพัฒนาสำหรับการประกอบอาชีพให้เหมาะสมกับเกษตรกร เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีพอเพียงต่อไป

ทั้งนี้ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูง สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การผลิตยางพาราในระดับเกษตรกร ซึ่งถือเป็นการผลิตระดับต้นน้ำ ที่มีความสำคัญต่อการผลิตปลายน้ำในระดับอุตสาหกรรม พบว่าวัสดุเหลือใช้ในสวนยางที่สร้างปัญหาให้กับเกษตรกร นอกเหนือจากกิ่งต้นยางพาราที่ขายให้แก่โรงงานเฟอร์นิเจอร์ และเมล็ดยางพาราที่ขายให้แก่ผู้รับซื้อนำไปแปรรูปเป็นต้นกล้ายางนั้น คือเปลือกกล้วยพารา ในช่วงเดือนตุลาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายน จะเป็นช่วงที่ยางพาราออกผล โดยเกษตรกรจะเก็บเมล็ดยางพาราเพื่อขายให้แก่พ่อค้าแพะพันธุ์ต้นกล้า (ปัจจุบันเหลือผู้รับซื้อเมล็ดจำนวนน้อยราย) เหลือไว้เพียงเปลือกเมล็ดยางพาราและใบยางพารา ที่ปล่อยทิ้งให้อยู่สลายไปตามธรรมชาติอย่างไร้มูลค่า นอกจากนี้ การจัดการสวนยางมีต้นทุนในด้านแรงงานกรีดยางและการจัดการสวนยางค่อนข้างสูง เช่น การ





จัดการใบยาง กิ่งยาง เปลือกกลุยกวาง และวัสดุการเกษตรในสวนยาง เพื่อป้องกันไฟไหม้ ป้องกันการเกิดเชื้อรา และการเกิดรากเน่า ด้วยเหตุนี้ แนวคิดในการพัฒนาต่อยอดถ่านชีววมวลจากเปลือกกลุยกวางพาราและวัสดุเหลือใช้ในสวนยางพารา จึงเป็นการลดต้นทุนในการจัดการวัสดุเหลือใช้ในสวนยางพารา ลดการตัดฟัน ทำให้ระบบนิเวศดีขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบโลจิสติกส์ของการขนส่งยางพารา ลดการตีรถเปล่า นอกจากนี้จากการพัฒนาในระยะแรกทำให้ทราบถึงศักยภาพที่เป็นไปได้ในการพัฒนาถ่านชีววมวลให้มีความร้อนสูงกว่า 5,000 แครอลี่ต่อกรัม เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีและอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีหน่วยงานที่พร้อมให้ความร่วมมือและรับประโยชน์ คือ สถาบันเกษตรกร สหกรณ์การเกษตรยางพารา ซึ่งโครงการดังกล่าวสามารถพัฒนาให้เกิดการรวมกลุ่มคลัสเตอร์ โดยรวมศูนย์การผลิตตามจุดที่มีศักยภาพ เป็นรายได้เสริมในช่วงที่ราคายางพาราลดต่ำ ด้วยเหตุนี้ มหาวิทยาลัยนเรศวรจึงเล็งเห็นความสำคัญและศักยภาพ ในการศึกษาพัฒนาต่อยอด การผลิตแ่งเชื้อเพลิงชีววมวลจากวัสดุเหลือใช้ในสวนยางพารา เพื่อพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์ในภาคพลังงาน และการเกษตรต่อไป

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

รศ.ดร.เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2555 ได้ทำการศึกษา โครงการศึกษาการผลิตแ่งเชื้อเพลิงชีววมวลจากใบยางพารา พบว่า การทดลองอัดชีววมวลด้วยเครื่องอัดสกรู ในระบบอัดร้อน ระบบอัดเย็น และการอัดแบบ wood pallet โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ในสวนยางควบคู่กัน พบว่า การทดสอบชีววมวลของแ่งเชื้อเพลิงชีววมวลในระบบอัดเย็น จำนวน 3 สูตร ให้ผลการทดสอบที่มีศักยภาพ ในการต่อยอด ดังนี้

สูตรที่ 1 เปลือกกลุยกวางพารา ใบยางพารา ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย ชั่งข้าวโพด (5:3:0.5:0.5:0.5:0.5) มีค่าเฉลี่ย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 34.03 และค่าพลังงานความร้อน (Heating value as dry) 4,542 แครอลี่/กรัม

สูตรที่ 2 เปลือกกลุยกวางพารา ใบยางพารา ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย ชั่งข้าวโพด (4:4:0.5:0.5:0.5:0.5) ค่าเฉลี่ย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 12.763 และค่าพลังงานความร้อน (Heating value as dry) 3,536.33 แครอลี่/กรัม

สูตรที่ 3 เปลือกกลุยกวางพารา ใบยางพารา ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย ชั่งข้าวโพด (3:3:1:1:1:1) ค่าเฉลี่ย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 18.13 และค่าพลังงานความร้อน (Heating value as dry) 3,855 แครอลี่/กรัม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

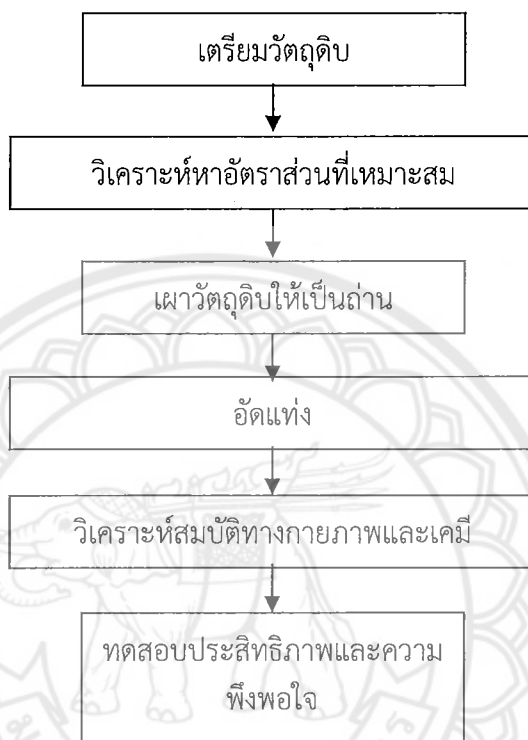
- 1.2.1 เพื่อพัฒนาแ่งเชื้อเพลิงชีววมวลที่ให้ค่ามาตรฐานและพลังงานความร้อนมากกว่า 5,000 แครอลี่ต่อกรัม
- 1.2.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในสวนยางพารา เพื่อใช้ในครัวเรือนและจำหน่าย
- 1.2.3 เพื่อเป็นอาชีพเสริมของสถาบันเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา
- 1.2.4 เพื่อลดต้นทุนในการจัดการสวนยางและโลจิสติกส์





1.3 ขอบเขตโครงการ

การวิจัยนี้เป็นการผลิตด่านชีวมวลที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยและกิ่งไม้ยางพารา ซึ่งในการศึกษานี้ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน ทำการทดลองในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยกำหนดให้มีการใช้เปลือกกล้วยพาราให้มากที่สุด และพิจารณาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง เช่น ค่าความร้อน ความชื้น นอกจากนี้ยังมีการสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานด้วย โดยมีขั้นตอนการทำงาน ตามรูปที่ 1



อุปกรณ์และวิธีการทดลอง มีดังนี้

13.1 การวิเคราะห์เวลาและปริมาณที่ได้จากการนำชีวมวลไปต้มน้ำ ตวงน้ำปริมาณ 1000 มิลลิลิตร ใส่กาน้ำต้มน้ำ นำไปต้มโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ค่อยๆใส่ชีวมวลทีละน้อย ครั้งละ 20 กรัม จับเวลาและบันทึกอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งน้ำเดือด จากนั้น นำชีวมวลที่เหลือจากการเผาไปชั่งน้ำหนัก หาปริมาณชีวมวลที่ใช้ในการเผาไหม้ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

13.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ (Proximate analysis)

13.2.1 หาปริมาณความชื้น (ASTM D 3173-73) โดยบดชีวมวลให้มีขนาด 250 μm (mesh No.60) ชั่งชีวมวล 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน Desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ แล้วคำนวณหาค่าความชื้น

13.2.2 หาปริมาณซีเถ้า (ASTM D 3174-82) โดยบดชีวมวลให้มีขนาด 250 μm (mesh No. 60) ชั่งชีวมวล 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อนสูง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผาต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นใน Desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ แล้วคำนวณหาปริมาณซีเถ้า





13.2.3 หาปริมาณสารระเหย (ASTM D 3175-77) โดยบดชีวมวลให้มีขนาด 250 μm (mesh No. 60) ชั่งชีวมวล 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อนสูงพร้อมฝาปิด ไปเผาที่อุณหภูมิ 950 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำให้เย็นใน Desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ แล้วคำนวณหาปริมาณสารระเหย

13.2.4 หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM D 3172-73) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon, FC) สามารถ หาได้จากการคูณสมการ

$\% \text{FC} = 100 - (\% \text{Moisture} + \% \text{Volatile matter} + \% \text{Ash})$ การวิเคราะห์หาค่าความร้อนโดยใช้ AC-300 Automatic Bomb Calorimeter ทดลองโดยนำชีวมวลที่ต้องการหาค่าความร้อน โดย

13.2.4.1 นำชีวมวลที่ผ่านการไล่ความชื้นโดยการตากแดดและอบแล้วไปหาค่าความร้อน

13.2.4.2 นำชีวมวลที่ผ่านการอบไล่ความชื้นรอบที่ 2 ไปหาค่าความร้อน ทดลองโดยนำชีวมวลที่มีน้ำหนัก 0.6-1.5 กรัม ใส่ใน vessel และทำการอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปใน vessel ที่บรรจุมวลที่มีความดัน 400-440 psi โดยแต่ละตัวอย่างจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 14 นาที

ขั้นตอนงานต่างๆของโครงการ

ขั้นตอนที่ 1 การจัดหาวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่จำเป็นต้องใช้ในโครงการ จะทำการจัดหาภายใต้ความร่วมมือของสหกรณ์การเกษตรยางพาราพิจญ์โลก จำกัด และสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางจังหวัดพิจญ์โลก เป็นผู้จัดหาเปลือกกล้วยพารา มาจากสวนยางพาราของสมาชิก

ขั้นตอนที่ 2 การเผาให้เป็นถ่านและการอัดแท่ง

กระบวนการเผา บด และอัดแท่งจะดำเนินการ ณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรือคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยขั้นตอนการเผาจะเผาในถังขนาด 200 ลิตร และอัดแท่งด้วยเครื่องอัดสกรู

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

มีขั้นตอนโดยละเอียดในหัวข้อวิธีการดำเนินโครงการ เพื่อทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลในการเผาไหม้ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

- คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น รูปทรง พื้นที่ผิวภายใน ขนาดของอนุภาค และรูปร่างของเชื้อเพลิง
- คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความร้อน HHV ความร้อนของการเกิดไฟโรไลซิส
- คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ การนำความร้อน ความชื้น ปริมาณน้ำมันดิบ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสม

- ทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวมวลที่ให้ค่ามาตรฐานตาม มาตรฐานชุมชน ถ่านอัดแท่งและมาตรฐานทางการค้าอื่นๆ





- ตัวอย่างที่ 1 ถ่านชีวมวลจากเปลือกลูกยางพารา
- ตัวอย่างที่ 2 ตัวประสาน (แป้งเปียก)
- การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและการคำนวณจุดคุ้มทุน

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพและความพึงพอใจ

- นำตัวอย่างที่มีศักยภาพไปทดลองใช้ในครัวเรือนหรือร้านอาหาร หรืออุตสาหกรรมความร้อน จำนวน 3 แห่ง จากนั้นประเมินประสิทธิภาพผ่านชีวมวลและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้
- วิเคราะห์การลดต้นทุนการจัดการในสวนยางพารา การลดต้นทุนด้านการผลิตและระบบโลจิสติกส์

ขั้นตอนที่ 6 การนำเสนอผลงานและการถ่ายทอดเทคโนโลยี

- นำเสนอผลการศึกษาและถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้กับโครงการ

เทคโนโลยีที่ใช้เป็นเทคโนโลยีเพื่อการผลิตถ่านชีวมวล หรือเชื้อเพลิงชีวหรือถ่านอัดแท่ง โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 3173 ในด้านความชื้น มาตรฐาน ASTM D 3174-82 ในด้านการหาปริมาณซีเมนต์ มาตรฐาน ASTM D 3175-77 ในด้านการหาปริมาณสารระเหย และมาตรฐาน ASTM D 3172-73 ในด้านการหาปริมาณคาร์บอนคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่เครื่อง AC-300 Automatic Bomb Calorimeter (AC) และ Desiccators

13.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (output)

- 13.3.1 สามารถพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ให้ค่ามาตรฐานและพลังงานความร้อนมากกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม
- 13.3.2 สามารถเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในสวนยางพารา เพื่อใช้ในครัวเรือนและจำหน่าย
- 13.3.3 สร้างอาชีพเสริมของสถาบันเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา

ผลกระทบจากการดำเนินโครงการ

ผลกระทบทางเศรษฐกิจของประเทศ

เป็นโอกาสในการเพิ่มสัดส่วน GPP ภาคเกษตรและอุตสาหกรรม เมื่อได้รับการส่งเสริมและพัฒนาในระดับที่ใหญ่ขึ้น

ผลกระทบต่อภาคการผลิตและธุรกิจที่เกี่ยวข้อง

เป็นการสร้างโอกาสทางธุรกิจจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อการรักษาสิ่งแวดล้อม และการรับผิดชอบต่อสังคม (CSR)





ผลกระทบต่อขีดความสามารถทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม

เกิดโจทย์การวิจัยเพื่อพัฒนาต่อยอด ในด้านนวัตกรรมอื่นๆในอนาคต

ผลกระทบต่อการใช้งาน

เป็นการสร้างรายได้เสริมจากการขายผลิตภัณฑ์ยางพาราแปรรูป

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เป็นการลดการตัดไม้ทำลายป่า รักษาสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

เพิ่มความสามารถการแข่งขันของเอกชนที่ร่วมโปรแกรม

เพิ่มโอกาสในการสร้างรายได้ให้แก่สถาบันเกษตรกรที่เป็นนิติบุคคล

เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

เพิ่มโอกาสในการสร้างรายได้ให้แก่สถาบันเกษตรกรที่เป็นนิติบุคคล

สนับสนุนให้เกิดวิสาหกิจเริ่มต้น (Startup)

สนับสนุนให้เกิดการรวมกลุ่มความร่วมมือของสถาบันเกษตรกร รัฐวิสาหกิจ และรัฐบาล ในการเริ่มต้นผลักดันงานวิจัยสู่การเพิ่มมูลค่าทางธุรกิจ





บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาถ่านชีวมวลจากเปลือกกลุยกวางพาราในระบบอัดเย็น คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นกรอบและแนวคิดในการศึกษา ดังนี้

1. ชีวมวล
2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเปลือกกลุยกวางพาราและกิ่งไม้ยางพารา
3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถ่าน
4. กระบวนการผลิตถ่านไม้
5. หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง
6. ภาวะตลาดในประเทศและการส่งออก นำเข้าถ่านอัดแท่ง
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

คือ สารอินทรีย์ (พืช สัตว์) ได้แก่ เศษไม้ (Wood chip) ใบไม้ ส่วนต่างๆ ของไม้ที่เหลือใช้ รากต้นยาง วัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตร กาก-กะลา-หะลายปาล์ม กาบ-กะลา-ทางมะพร้าว ชังข้าวโพด กากมัน แกลบ ขานอ้อย สำเหล้า ขยะ น้ำเสีย พืชผลทางการเกษตร ที่ปลูกขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เช่น ไม้โต เร็ว ต่างๆ หญ้าโตเร็ว เช่น หญ้าตระกูลเนเปียร์ (Napier Grass) หญ้ายักษ์ (Giant King Grass) หญ้าจักรพรรดิการ

2.1.1 การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล

1. อยู่รวมเป็นกลุ่ม คือ ชีวมวลจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง และชีวมวลที่เกิดจากการปลูก ขึ้นมาใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรง เช่น

- 1.1 โรงสีข้าว
- 1.2 โรงงานผลิตน้ำตาลทราย
- 1.3 โรงงานแปรงมันสำปะหลัง
- 1.4 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- 1.5 โรงงานแปรรูปไม้ยางพารา
- 1.6 ฟาร์ม-ไร่ ปลูกหญ้าโตเร็วหรือโตเร็วขนาดใหญ่ที่เพียงพอกับขนาดโรงไฟฟ้า

2. อยู่จัดกระจาย ตามพื้นที่เพราะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น

- 2.1 การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวที่เคลื่อนที่ได้
- 2.2 เศษไม้-ปลายไม้จากสวนยางพารา

2.3 ฟาร์ม-ไร่ ปลูกหญ้าโตเร็ว หรือพืชผลโตเร็วขนาดเล็ก ส่วนการนำชีวมวลที่อยู่จัดกระจาย มาเป็นเชื้อเพลิง จะมีข้อเสียเปรียบคือค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น





2.1.2 ขนาดของชีวมวล

ชีวมวลที่มีขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้, ปลายไม้, ปีกไม้ จะต้องนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 cm. หรือไม่เกิน 25 cm. จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ชีวมวลที่มีขนาดเล็ก สามารถนำมาใช้ปัดพื้นที่ เช่น แกลบ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการตัดหรือสับเป็นชิ้นเล็กๆ

2.1.3 ความชื้นของชีวมวล

ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากมีชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 %

กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล้า ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80-90 % ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ต้องนำมลดความชื้นก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิง

เศษไม้หรือวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ตอซังข้าว ซังข้าวโพด มีความชื้นประมาณ 10-60 % ขึ้นอยู่กับชนิด ฤดูกาล หรือพื้นที่ โดยความชื้นสามารถลดลงได้เองโดยธรรมชาติ

พืชตระกูลหญ้าเนเปียร์ กล้วยไม้ต้นสดมีความชื้นประมาณ 40-80 % ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว ความชื้นสามารถลดลงได้เองโดยธรรมชาติ หรือสามารถทำแห้งได้ง่ายอย่างรวดเร็ว

2.1.4 ค่าความร้อนที่ได้จากชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดเมื่อนำไปเผาไหม้จะให้ค่าความร้อนที่มากขึ้นน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นหรือปัจจัยอื่นๆ โดยสามารถใช้ค่าความร้อนนี้เป็นตัวประเมินศักยภาพของชีวมวลแต่ละชนิดได้

2.1.5 ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าเป็นสิ่งที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ โดยปริมาณขี้เถ้าในวัสดุชีวมวลที่มีผลต่อการเผาไหม้ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่าง แกลบจะมีปริมาณขี้เถ้า 12 % โดยน้ำหนัก ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ





ตาราง 2.1.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลแต่ละชนิด

ชื่อตัวอย่าง	Proximate Analysis as Received				ค่าความร้อน (kcal/kg) Dry basis
	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	
ข้าวฟ่าง	4.31	8.63	68.3	18.23	4,051.48
ต้นข้าวโพด	13.32	6.20	64.58	15.90	4,313.90
ซังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4,187.00
กะลามะพร้าว	11.79	0.85	64.03	23.33	4,860.48
กะลาปาล์ม	13.00	1.30	64.55	21.05	5,072.50
ฟางข้าว	2.86	11.24	65.64	20.26	3,503.51
แกลบ	7.27	14.07	60.87	17.79	4,009.40
มันสำปะหลัง	31.54	6.22	47.73	14.51	4,670.00
เหง้ามันสำปะหลัง	41.98	33.57	41.86	12.59	4,368.30
ไมยราบยักษ์	9.25	4.15	64.38	22.22	4,556.10
ผักตบชวา	6.47	10.08	67.07	15.70	3,492.13
ไม้อยางพารา	3.94	4.54	16.00	73.52	6,943.02
ไม้อยูคาลิปตัส	4.30	1.51	79.10	15.09	4,436.00
ไม้กระถินยักษ์	9.09	1.03	72.12	17.71	4,309.40

ที่มา: ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเปลือกกลุยกยางพาราและกิ่งไม้อยางพารา ยางพารา (Rubber wood)

Scientific name:	<i>Hevea brasiliensis</i>
Division:	Spermatophyta
Sub-division:	Pteropsida
Class:	Angiosperm
Sub-class:	Dicotyledon
Order:	Euphorbiales
Family:	Euphorbiaceae
Genus:	Hevea
Species:	brasiliensis





ยางพาราเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ มีอายุยาวนานหลายร้อยปี ขณะนี้ยังมีต้นยางป่าอยู่มาก ในป่าลุ่มน้ำอะเมซอนอีกเป็นจำนวนมาก ต้นที่เจริญเติบโตในประเทศบราซิลและในประเทศข้างเคียงลำต้นวัดโดยรอบได้กว่า 3 เมตร บางต้นลำต้นโตถึง 5 เมตรเศษก็มี สำหรับความสูงนั้น ถ้าเป็นต้นที่สมบูรณ์และอยู่ในที่ที่ระบายน้ำได้ดี จะมีความสูงถึง 40 เมตร สำหรับต้นที่เอามาปลูกในทวีปเอเชียจะมีขนาดเล็กกลงมาก ลำต้นของต้นที่ปลูกด้วยเมล็ดจะโตประมาณ 1-2 เมตร และถ้าเป็นต้นติดตา ลำต้นจะโตไม่เกิน 1 เมตร ส่วนความสูงลดลงเหลือเพียงประมาณ 15-20 เมตร เท่านั้น (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ต้นยางพาราอยู่ในวงศ์ยูฟอร์เบียซีอี (Family Euphorbaceae) ในสกุลฮีเวีย (Genus Hevea) ชนิดบราซิลไลเอ็นซิส (Species Brasiliensis) ต้นยางฮีเวียมีประมาณ 20 ชนิด แต่ปรากฏว่า ฮีเวียบราซิลไลเอ็นซิส (Hevea Brasiliensis) เป็นชนิดที่ให้น้ำยางมากที่สุด และเนื้อยางมีคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ดีกว่าชนิดอื่นๆ จึงปลูกกันแต่พันธุ์ฮีเวียบราซิลไลเอ็นซิส ซึ่งเรียกว่า ต้นยางพาราเท่านั้น คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสดโดยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้งประกอบด้วย สารแทรก (Extractives) 13.28% (สำหรับสารแทรกแบ่งเป็นสารที่สามารถละลายในน้ำรวม 10.36% และละลายได้ในสารละลายรวม 23.24%) เซลลูโลส (Cellulose) 50.63% (Holocellulose 78.72%, Alpha cellulose 49.41%) เพนโตซาน (Pentosan) 17.17% ลิกนิน (Lignin) 18.06% และเถ้า (Ash) 0.86% บางรายงาน พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราแตกต่างไปจากนี้ โดยเฉพาะสัดส่วนของสารแทรก (5.59%) ซึ่งเข้าใจว่าขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพาราและวิธีการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมี สารแทรกแม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อย แต่จะมีบทบาทสำคัญคือการมีปริมาณสารแทรกชนิดต่างๆ อยู่มากน้อยไม่เท่ากัน จะทำให้ไม้มีสีคล้ำหรือมีสีแตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังทำให้มีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดราแตกต่างกันด้วย การมีสารแทรกอยู่นั้น มีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติ และหลังจากแห้งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกนำไปใช้งานในสภาวะอากาศที่มีความรุนแรง ต้นยางมีเปลือกที่น้ำยางจะไหลออกได้หนาประมาณ 6.5-15 มิลลิเมตร ทรงต้นที่สมบูรณ์มักจะมีสูง ชะลูด กิ่งแยกมักแยกตั้งขึ้นไปประมาณ 45 องศาจากลำต้น ใบมักจะรวมเป็นพุ่มที่ส่วนปลายของกิ่ง แต่ละก้านใบแยกออกเป็น 3 ใบ แต่ละใบใน 3 ใบ กว้างประมาณ 5-10 เซนติเมตร และยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ในทางพฤกษศาสตร์ได้จัดให้ต้นยางพาราชอบขึ้นในดินร่วน ซึ่งมีการระบายน้ำได้ดีผิวดินดี และดินนั้นควรมีความเป็นกรด มี pH ระหว่าง 4-5.5 ต้องการฝนพอสมควร ปีละประมาณ 2,000-2,500 มิลลิเมตร ควรตกโดยเฉลี่ยอย่างสม่ำเสมอเพราะยางพาราต้องการความชื้นสูง อุณหภูมิอยู่ในระดับ 75-80 องศาฟาเรนไฮต์ จึงเหมาะสมที่จะปลูกในระหว่างเส้นขนาน 28 องศาเหนือ และ 28 องศาใต้ เช่นเดียวกับยางพาราที่เติบโตในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ อันเป็นถิ่นเดิม ไม่ควรปลูกในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 ฟุต รากของต้นยางมีรากแก้วค่อนข้างตื้น ลึกลงไปไม่เกิน 1.5-2 เมตร มีรากเล็กแผ่หากินไปตามผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ที่ใดมีลมจัดมักจะล้มง่าย ต้นยางพาราทั้งที่ปลูกด้วยเมล็ดและต้นติดตา จะกรีดเอาน้ำยางได้ตั้งแต่อายุ 5-6 ปีขึ้นไป ถ้ากรีดเปลือกด้วยความระมัดระวังจะกรีดได้ยาวนานกว่า 30 ปี

ลักษณะทั่วไป: ลำต้น (Stem) ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นประเภทเนื้ออ่อน เมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 25-30 เมตร กิ่งแผ่จากลำต้นเป็นเส้นทแยงมุม เปลือกนอกมีสีค่อนข้างคล้ำ ใต้เปลือกมีสีชมพูไปจนถึงสีแดงหรือสีม่วงอ่อน เปลือกหนาประมาณ 6.50-15.0 มิลลิเมตร ต้นอ่อนมีเปลือกบางกว่าต้น แก่ลำต้นยางพาราจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- เนื้อไม้แข็ง (Pith) อยู่ตรงกลางลำต้น
- เนื้อไม้ (Wood) เป็นชั้นที่อยู่ถัดออกมา





- เยื่อเจริญ (Cambium) เป็นเนื้อเยื่อบางๆ อยู่รอบเนื้อไม้ มีหน้าที่สร้างความเจริญเติบโต

- เปลือกไม้ (Bark) อยู่ถัดจากเยื่อเจริญออกมาทางด้านนอกสุดเป็นส่วนสำคัญ เพราะมีท่อน้ำ

ยางอยู่ โดยโครงสร้างของเปลือกยาง (Bark) จะเป็นสิ่งที่ห่อหุ้มอยู่ภายนอกต้นยาง เป็นส่วนของท่ออาหารที่

เกิดการแบ่งตัวออกมาทางด้านนอกของเยื่อเจริญ (Cambium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นบาง ๆ อยู่ระหว่างเนื้อไม้

และเปลือกไม้ การแบ่งตัวนี้จะเกิดขึ้น ตลอดเวลาถ้าแบ่งตัวออกทางด้านนอกจะกลายเป็นเปลือกยาง และ

แบ่งตัวเข้าทางด้านในจะเป็นเนื้อไม้ ในส่วนของเปลือกยางเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ก็จะดันเนื้อเยื่อส่วนที่

เกิดขึ้นก่อนออกมาทางด้านนอก ดังนั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เยื่อเจริญ จึงเป็นเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่และมีความ

สมบูรณ์ที่สุด เมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้นเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งอยู่ไกลจากเยื่อเจริญ โดยเฉพาะเซลล์พวก

Parenchyma บางเซลล์จะมีผนังหนาขึ้น เนื่องจาก มีสารลิกนิน (Lignin) มาสะสมที่ผนังเซลล์ เกิดเป็น Stone

cell ที่มีขนาด ของเซลล์ขยายใหญ่ขึ้นกว่าเดิมมาก ซึ่ง Stone cell เหล่านี้ เมื่อขยายรูกล้ำเข้าไปในชั้นหรือวง

ของท่อน้ำยาง จะทำให้ท่อน้ำยางในวงนั้นๆ ไม่สมบูรณ์ ขาดการติดต่อกัน Stone cell นี้ ถ้ามองด้วยตาเปล่า

จะเห็นมีลักษณะคล้ายเม็ดทราย และเป็นส่วนที่ทำให้เปลือกยางแข็งมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ต้นยางที่ปลูกในที่

ไม่เหมาะสมหรือการดูแลรักษาไม่ดี นอกจากจะให้ผลผลิตต่ำแล้วเปลือกยางยังแข็ง และกริดยาวกว่าปกติ การ

เกิด Stone cell จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับสาเหตุ หลายประการ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง

สภาพแวดล้อม ความชื้น ในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เปลือกยาง แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามลักษณะของเนื้อเยื่อ และการเกิดของ Stone cell ในเปลือก

ยาง ดังนี้คือ

1. เปลือกชั้นในสุด (Soft bark zone) อยู่บริเวณที่ติดกับเยื่อเจริญหรือใกล้กับเนื้อไม้ เป็นเนื้อเยื่อ

และท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นใหม่ จึงเป็นชั้นที่มีจำนวนวงท่อน้ำยาง หนาแน่นและสมบูรณ์ที่สุด เฉพาะฉะนั้น

ผลผลิตสูงสุดของต้นยางแต่ละต้น จะอยู่ที่บริเวณนี้ แต่ความหนาของ เปลือกยางชั้นนี้ค่อนข้างบาง คือ

ประมาณ 20-30% ของความหนา ของเปลือกทั้งหมด เท่านั้น และจะไม่มี Stone cell เลย จึงทำให้เนื้อเยื่อใน

ชั้นนี้ค่อนข้างอ่อนนุ่ม

2. เปลือกชั้นนอก (Hard bark zone) อยู่ถัดจาก เปลือกชั้นในสุด ออกมาทางด้านนอก เป็นชั้นที่เยื่อ

เจริญ สร้างขึ้นก่อน แล้วถูกดันออกมาทางด้านนอก เมื่อมีการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาแทนที่ ในชั้นนี้ จะมี

Stone cell เกิดขึ้น ซึ่ง Stone cell เหล่านี้ จะทำให้เปลือกยางแข็งท่อน้ำยางไม่สมบูรณ์ ขาดเป็นช่วง ๆ ไม่

ติดต่อกัน เป็นผลให้บริเวณนี้มีผลผลิตค่อนข้างต่ำ ถึงแม้จะเป็นชั้นของเปลือกที่หนากว่าชั้นอื่น ซึ่งมีความหนา

ถึง 70 - 80% ก็ตาม

3. ชั้นของคอร์ค (Cork) เป็นชั้นของเปลือกนอกสุด ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่ตายแล้วทำหน้าที่ห่อหุ้ม

ป้องกันและรักษา ความชื้นให้แก่ส่วน ของเปลือกที่อยู่ถัด เข้าไปด้านใน

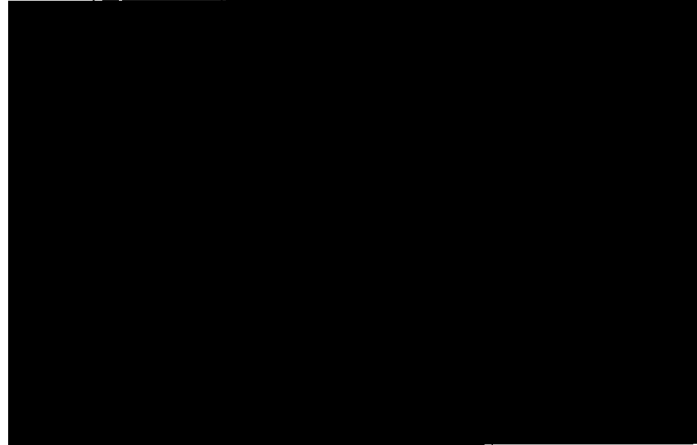
ใบ เป็นใบประกอบ โดยทั่วไป 1 ก้านใบจะมีใบย่อย 3 ใบ มีหน้าที่หลักในการปรุงอาหาร หายใจ

และคายน้ำ ใบยางจะแตกออกมาเป็นชั้นๆ เรียกว่า “ ฉัตร ” ระยะเวลาเริ่มแตกฉัตรจนถึงใบในฉัตรนั้นแก่

เต็มที่ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 เดือน ยางจะผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ยกเว้นยางต้นเล็กที่ยังไม่แตก

กิ่งก้านสาขา หรือมีอายุไม่ถึง 3 ปี จะไม่ผลัดใบ





รูปที่ 2.2.1 ใบยางพารา

ดอกยางพารา (Flowers) เกิดเป็นจำนวนมากจากตาตรงซอกใบ (axillary bud) มีลักษณะเป็นช่อสั้นๆ ตรงฐานของกลุ่มใบใหม่ ช่อดอกของยางพาราเป็นแบบ compound raceme หรือ panicle ในช่อดอกหนึ่งๆ ประกอบด้วย แกนใหญ่ของช่อเรียกว่า main axis แล้วมีการแตกแขนงของช่อดอกเป็นแขนงย่อยอีกมากมาย แขนงย่อยแรกที่แตกจาก main axis เรียกว่า primary branch แขนงย่อยที่ 2 แตกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch อันเป็นที่ตั้งของก้านชูดอก (peduncle และ pedicel) การแตกแขนงของช่อดอกในลักษณะดังกล่าวจะลัดหลั่นกัน มองดูแล้วคล้ายรูปสามเหลี่ยม ในช่อดอกจะประกอบไปด้วยดอก 2 ชนิดแยกกัน คือ

ดอกตัวเมีย (pistillated flowers) มีขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ส่วนปลายสุดของแขน เกสรตัวเมียซึ่งประกอบด้วย รังไข่ 3 พู และยอดเกสรตัวเมียที่ไม่มีก้านชู (sessile stigma) มีลักษณะ 3 แฉก

ดอกตัวผู้ (staminated flowers) มีขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าดอกตัวเมียในแขนงเดียวกันของช่อดอก ในช่อดอกหนึ่ง ๆ จะมีดอกตัวผู้ประมาณ 60-80 ดอก

หลังจากแทงช่อดอกแล้ว 2 อาทิตย์ ช่อดอกมีการพัฒนาเต็มที่พร้อมที่จะบานโดยดอกตัวผู้จะบานก่อนช่วงการบาน 1 วันก็จะร่วง ส่วนดอกตัวเมียจะบานในช่วงเวลาถัดมาอาจ บานนาน 3-5 วัน

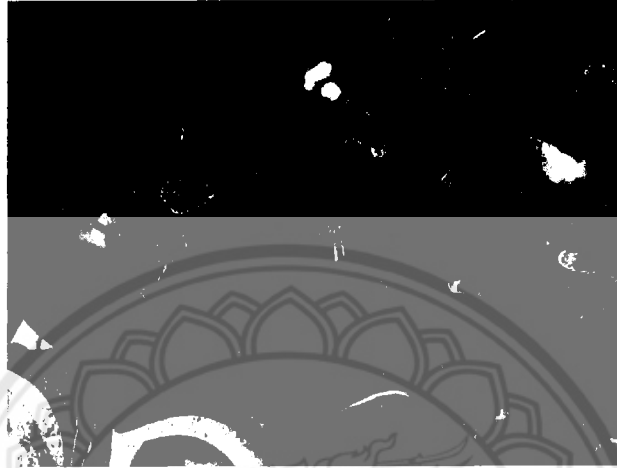


รูปที่ 2.2.2 ดอกยางพารา

ผล (Fruit) เกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้กับเกสรตัวเมีย ยางพาราเป็นพืชที่มีการผสมเกสรแบบเปิด (open nollinated) ดอกที่ผสมติดแล้วรังไข่จะขยายตัวออกช้าๆ และจะโตเร็วขึ้นภายในระยะ 2



เดือน เมื่อผลมีอายุ 2.5- 3 เดือน จะโตเต็มที่ ผลยางมีลักษณะเป็นพู่ โดยปกติจะมี 3 พู่ ในแต่ละพู่จะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลขณะอ่อนมีสีเขียวแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ผลจะแตกและหล่นมาเองเมื่อแก่จัด ผลโตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4.5-5.0 เซนติเมตร สูงประมาณ 4.5 เซนติเมตร ในบางต้นหนึ่ง จะให้ผลเฉลี่ย 50 ต่อปี ส่วนประกอบของผลมีเปลือกผล (epicarp) และผลชั้นกลาง (mesocarp) บางนึ่ง ส่วนผลชั้นใน (endocarp) แข็งหนา เมื่อผลสุก ผลชั้นในจะแตกออกเป็น 6 ส่วนแล้ว เมล็ดจะถูกดีดออกไปได้ไกลเป็นระยะทางถึง 15 หลา ผลอ่อนมีสีเขียวผลแก่มีสีน้ำตาลและแข็ง



รูปที่ 2.2.3 ถั่วพารา

เมล็ด (seed) เมล็ดมีขนาดใหญ่ รูปร่างกลมถึงรีแล้วแต่พันธุ์ เมล็ดแน่น เป็นมัน มีขนาด 2-3.5 x 1.5-3 ซม. หนักประมาณ 3.6 กรัม เปลือกของเมล็ด (seed coat) แข็ง มีสีน้ำตาลอ่อน สีเทา มีจุดน้ำตาลเข้ม ประปราย ด้านท้องของเมล็ดตรงปลายสุดด้านหนึ่งจะเป็นที่ตั้งของขั้วเมล็ด (hilum) และ micropyle ซึ่งเป็นทางงอกของรากอ่อน ถัดมาเป็นรอยที่ funiculus อ้อมมาติดกับเมล็ดตรงขั้วเรียกว่า raphe รูปร่างของเมล็ดขึ้นอยู่กับกรวดของผลซึ่งมีเมล็ดบรรจุอยู่ภายใน ภายในเมล็ดมีอาหารสะสมเป็นพวกไขมันและมันสีขาวเมื่อมีชีวิตอยู่ และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อเมล็ดแก่ ส่วนของอาหารสะสมสามารถนำมาสกัดน้ำมันใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ กากที่เหลือนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ย ชั้นของอาหารสะสมดังกล่าวล้อมรอบแกนต้นอ่อนซึ่งประกอบด้วยยอดอ่อน รากอ่อน และใบเลี้ยง เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะงอกเป็นต้นใหม่ได้ เมล็ดยางเมื่อหล่นใหม่จะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงมาก แต่ เปอร์เซ็นต์ความ งอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

นอกจากนี้เมล็ดยังเป็นส่วนที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผสมในสูตรอาหาร เมล็ดยางพาราจะมีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีเมล็ดละหุ่ง มีขนาดยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร และหนัก 3.6 กรัม เมล็ดยางพาราจะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกน้อยลงทุกวันๆ ละ 4-5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่ร่วงหล่นลงมา นั่นคือ เมล็ดยาง จะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

- เมล็ดยางสด 1 ปีบ จะมีน้ำหนัก 9-10 กิโลกรัม
- เมล็ดยางสด 1 กิโลกรัม
- เมล็ดยางสด 1 กระสอบ จะมีน้ำหนัก 55-60 กิโลกรัม หรือ 10,000-12,000 เมล็ด

แหล่งที่มา : สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง



รูปที่ 2.2.4 เมล็ดยวงพารา

การกระจายพันธุ์ : เป็นพันธุ์ไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศบราซิล นำมาปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจทางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การปลูกต้นยาง

ต้นยางที่จะใช้ปลูกจะต้องเป็นต้นยางพันธุ์ดี ซึ่งมีสภาพต่าง ๆ กัน คือ

(1) กล้ายางพันธุ์ดี (หรือถ้าจะตัดตาในแปลงจะต้องปลูกกล้าธรรมชาติไว้ก่อน) ต้นหลักยางพันธุ์ดีที่จะใช้ปลูก คือ กล้าขนาดเล็ก โคนต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร

(2) ต้นตอตัดตา คือ ต้นตอที่ตัดตาไว้แล้ว แต่ตายยังไม่แตกยอด ถ้ามีแปลงขยายพันธุ์ยางและมีต้นกล้าซึ่งจะใช้เป็นต้นตอ สำหรับตัดตาได้ขนาดสำหรับตัดตาอยู่พร้อมแล้ว เพียงแต่ติดตามในแปลงต้นกล้าแล้วย้ายไปปลูกในสวนจะทุ่นเวลาและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสวนประมาณ 1 ปี การถอนต้นตอที่ตัดตาแล้วให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับถอนต้นกล้า แต่จะต้องระวังตาที่เพิ่งตัดไว้มิให้ชอกช้ำ โดยปกติ

(3) ต้นตัดตา คือ ต้นตัดตาที่ตาดอกเป็นต้นสูงประมาณ 1 เมตร แล้วการปลูกด้วยต้นตัดตาจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าต้นที่ใช้ปลูกในสภาพอย่างอื่นที่กล่าวมาแล้ว เพราะต้นตัดตาดังกล่าวนี้ส่วนมากมีอายุประมาณ 2 ปี นับตั้งแต่ปีที่เริ่มปลูกต้นตอเป็นต้นมา หรืออายุประมาณ 1 ปี ถ้าเป็นต้นตัดตาเขียว เพราะฉะนั้นในการขุด การถอนและการย้าย ตลอดจนการปลูกจะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายแพงกว่าต้นเล็กๆบ้าง นอกจากนั้น หลุมที่ขุดเตรียมไว้จะต้องใหญ่และต้องลึกกว่าปกติอีกด้วย ปัจจุบันสามารถเลี้ยงต้นตัดตาเขียวในถุงพลาสติกได้นานประมาณ 1 ปี จึงเห็นว่าการใช้ต้นตัดตาเขียวอายุ 10-12 เดือนปลูก จะทุ่นเวลาได้ถึง 1 ปี คือต้นยางที่ปลูกไว้จะกรีดได้ภายใน 4 ปีเท่านั้น แทนที่จะเป็นเวลา 5-6 ปี วิธีการตัดตาแบบใหม่ โดยตัดตาดังแต่ต้นตอยังเขียวอยู่ มีอายุเพียง 3-4 เดือนเท่านั้น ทุ่นเวลาได้มาก ปลูกง่ายขึ้น ตายางที่จะใช้ตัดก็ง่ายขยายพันธุ์ได้เร็ว การตัดตาดังวิธีใหม่นี้ เรียกว่า การตัดตาเขียว ต้นตอตามวิธีนี้เรียกว่า ต้นตอตาเขียว แต่ทั่วไปมักเรียกว่า ต้นตัดตาเขียว

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถ่าน

ความสัมพันธ์ของมนุษย์และถ่านไม้ มีประวัติความเป็นมายาวนานมาก อาจย้อนไปได้ถึง 450,000 ปี ยุคที่มนุษย์ปักกิ่ง (Beijin Hominid) ยังมีชีวิตอยู่ในยุคนั้นมนุษย์ได้นำไฟซึ่งเกิดจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่า ไฟจากฟ้าผ่า เป็นต้น มาใช้ป้องกันจากสัตว์ร้ายและสร้างความอบอุ่นให้แก่ร่างกาย และได้เริ่มผลิตถ่านไม้โดยนำถ่านที่ยังลุกไหม้อยู่ (Ember) ใส่ลงในกองไม้ที่เตรียมไว้ ปลอบยให้ลุกไหม้แล้วดับด้วยน้ำ หากปราศจากไฟและถ่านไม้ (Cinder) ดังกล่าว มนุษย์อาจสูญพันธุ์ไปแล้ว (พุดมินท์ ฟิงวงส์ญาติ, 2548) ประมาณ 10,000 ปีมาแล้วที่มนุษย์เริ่มหันมาทำการเกษตรกรรม มนุษย์ได้นำไฟประกอบอาหารที่ได้จากผลผลิต โดยใช้ถ่านไม้ที่ได้





ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม แต่เมื่อมนุษย์รู้จักใช้โลหะ (เหล็ก) ถ่านไม้จึงมีความสำคัญและต้องการมากขึ้น มนุษย์จึงได้พัฒนาการผลิตถ่านไม้ เพื่อให้คุณภาพดีขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการ วิธีผลิตถ่านไม้ในยุคนั้น การทำโดยการนำท่อนไม้มาเรียงแล้วจุดไฟ จากนั้นจึงกลบด้วยดิน นับเป็นเตาผลิตถ่านชนิดแรกของโลกและเตาชนิดนี้ (เตาดินกลบหรือเตาหลุม) ยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน แต่วิธีผลิตถ่านไม้ดังกล่าว ยังให้ผลผลิตและคุณภาพต่ำ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอากาศได้ตามต้องการ เพราะอากาศสามารถไหลผ่านดินที่กลบไว้ได้ จึงได้มีการพัฒนาเตาผลิตถ่านไม้อย่างต่อเนื่อง เป็นเตาผลิตถ่านที่ผลึกแน่น สามารถควบคุมอากาศได้ตามความต้องการ ทำให้สามารถผลิตถ่านไม้ได้ผลผลิตและคุณภาพดีขึ้น ในสมัยต่อมา เมื่อความต้องการเหล็กกล้ามีมากขึ้น ในหลายประเทศอีกทั้งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมเคมี ทำให้เกิดความต้องการถ่านไม้และผลพลอยได้มากขึ้น ขณะเดียวกัน เมื่อมีความต้องการใช้ไม้เพื่อผลิตถ่านมากขึ้น ป่าจึงถูกทำลายลงอย่างรวดเร็วเพื่อเป็นการสงวนป่าไม้ไว้ จึงมีการเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงอื่นแทน เช่น ถ่านหิน ถ่านโค้ก น้ำมันและก๊าซ เป็นต้น ทำให้ความต้องการถ่านไม้เริ่มลดลง โดยเฉพาะเมื่อเกิดอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสามารถใช้ทดแทนผลพลอยได้จากผลิตถ่านไม้ในราคาที่ถูกลงกว่า จึงเป็นผลให้อุตสาหกรรมผลิตถ่านไม้ต้องทยอยปิดตัวลงเรื่อยๆ จวบจนกระทั่งสงครามโลกครั้งที่ 1 บรรดาอุตสาหกรรมผลิตถ่านไม้เกือบจะต้องหยุดต่อเนื่องมาจนถึงสงครามโลกครั้งที่ 2 ต่อมาในราว ค.ศ. 1950 ได้มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบจากไม้พืชมานำเป็นเชื้อเพลิงใช้ทางเกษตร และเชื้อเพลิงใช้จากอุตสาหกรรมป่าไม้ พร้อมทั้งได้พัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตถ่านไม้เพิ่มขึ้น เช่น พัฒนาขั้นตอนการผลิตถ่านไม้ให้เร็วขึ้น พัฒนาให้มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง และมีการบำบัดมลพิษที่เกิดขึ้นจากควัน โดยการนำควันวนกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิง สำหรับต้นกำเนิดพลังงานอื่นๆ ความต้องการถ่านไม้และผลพลอยได้ยังคงมีอยู่ หลังจากได้มีการวิจัยและพัฒนา การนำถ่านไม้และผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย นอกเหนือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น ปริมาณการผลิตถ่านไม้เพิ่มขึ้นอย่างน่าสนใจ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลี

ปัจจุบันสังคมไทยกำลังก้าวเข้าสู่ทางเลือกในเรื่องของพลังงานทดแทนมากขึ้น เนื่องจากปริมาณพลังงานที่มาจากฟอสซิลลดน้อยลงตามการบริโภคของโลก และคาดว่าอีกไม่เกิน 50 ปี พลังงานจากฟอสซิลคงหมดไปจากโลกนี้แน่นอน พลังงานจากชีวมวลเป็นทางเลือกหนึ่งของมนุษย์ที่จะต้องเร่งการพัฒนาแบบวิธีการ และเครื่องมือที่เหมาะสม ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อนำพลังงานด้านนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นพลังงานที่สามารถจัดหาทดแทนได้ ในช่วงเวลาที่ไม่นานนัก ซึ่งผิดกับพลังงานจากซากฟอสซิลที่ใช้เวลานับล้านปี จึงจะเกิดเป็นพลังงานให้ขุดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ และไม่สามารถผลิตทดแทนได้ในเวลาสั้นๆ (นันทนภัต สงค์ศิริกุล, 2554)

ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงที่อยู่คู่สังคมมนุษย์มานานนับพันปี มีการพัฒนารูปแบบการผลิตเรื่อยมาจนกระทั่งในปัจจุบันถ่านไม้ได้มีวิวัฒนาการ ทั้งเพื่อการให้ความอบอุ่นและเชื้อเพลิงในการหุงต้มอาหาร ด้านรองลงมาได้มีการประยุกต์ใช้ทั้งในเรื่องเกษตรกรรม สิ่งแวดล้อม แม้กระทั่งสุขภาพอนามัยและเครื่องสำอาง

ถ่าน คือ ไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศอยู่เบาบางขณะนั้น คือ ระหว่างที่ไม่ถูกสลายตัวด้วยความร้อน ภายในเนื้อไม้เกิดกระบวนการกำจัดน้ำ น้ำมันดิบและสารประกอบอื่นๆ ออกไป คงเหลือถ่านที่มีคาร์บอนสูงกว่า 80% และไม่มีกลิ่นหรือกลิ่นน้อยอยู่ เป็นผลให้ถ่านสามารถให้พลังงานได้สูงกว่าไม้แห้งถึงสองเท่า โดยปริมาณผลผลิตถ่านที่ได้จากการเผาไม้ มีเพียงประมาณ 25% ส่วนที่เป็นของเหลวที่กลั่นตัวได้ (Distilled Liquids) ประมาณ 50% และเป็นก๊าซที่กลั่นตัวไม่ได้ (Undistilled gas) อีกประมาณ 25%





ตารางที่ 2.3.1 ค่าความร้อนและคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	สารระเหย (%)	คาร์บอนเสถียร (%)	เถ้า (%)	กำมะถัน (%)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
ขี้เลื่อย	71.3	27.2	1.5	-	4,990
ขี้กบ	72.4	25.1	2.5	-	4,990
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	-	4,440
ชานอ้อย	71.8	23.4	4.8	-	4,510
แกลบ	62.7	17.4	20.0	-	3,860
ฟางข้าว	74.4	18.9	7.3	-	4,300
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.30	4,300
เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,050
ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,540
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,380
กะลามะพร้าว	73.7	25.5	0.7	0.03	4,830
ถ่านกะลามะพร้าว	15.2	82.4	2.4	-	7,760
ทางมะพร้าว	72.3	20.8	6.9	-	4,130
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,150
ผักตบชวา	58.5	15.3	25.8	-	3,010
เปลือกหอย	70.5	23.7	5.7	-	4,480
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,460
ทะเลสาบปาล์ม	73.9	22.3	3.8	-	4,500
เส้นใยปาล์ม	71.5	23.1	5.4	-	4,820
ไม้อย่างพารา	74.9	23.0	2.1	-	4,560
ถ่านไม้อย่างพารา	17.5	73.1	3.4	-	7,650
น้ำมันเตา	-	-	-	2.43	10,450
ถ่านหิน	42.8	49.5	7.7	1.73	5,860
ถ่านโค้ก	1.2	90.6	8.2	0.48	7,150

ที่มา: ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

คุณสมบัติที่ดีของถ่านไม้

ถ่านไม้ คือ ผลผลิตที่ได้หลังจากไม้ถูกสลายตัวด้วยความร้อนและมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะตัวของไม้แต่ละชนิด และกระบวนการผลิตถ่าน ถ่านไม้ที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ (พูนินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ, 2548)

คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon)	ไม่น้อยกว่า	75%
มีสารระเหยได้ (Volatile)	ไม่เกิน	25%
มีขี้เถ้าได้ (Ash)	ไม่เกิน	4%





มีถ่านปน (Fine)	ไม่เกิน	10%
มีความชื้น (Moisture)	ไม่เกิน	10%
มีค่าความร้อน (Heating Value)	ไม่น้อยกว่า	7000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
มีค่าความแข็ง (Hardness)	ไม่น้อยกว่าระดับ	5
ต้องมีความพรุน (Porosity)	มีพื้นที่ผิวไม่น้อยกว่า	200 ตารางเมตร/กรัม
มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ		
มีความเป็นด่างสูง	pH ประมาณ	8-9

คุณสมบัติของถ่านไม้ที่ดี ในการใช้งานต้อง

- มีควันน้อยในขณะนำไปใช้งาน
- ไม่มีการแตกหรือระเบิดขณะจุดติดไฟ
- มีความแกร่ง
- หัวถ่าน ครอบหักต้องมันวาว
- เวลาเคาะมีเสียงกังวาน
- มีความหนาแน่นสูง
- มีค่าความร้อนสูง

ชนิดของถ่าน

เราสามารถแบ่งประเภทของถ่านชนิดต่างๆ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ถ่านสีดำ (ถ่านที่เผาโดยทั่วไป) โดยทั่วไปแล้วถ่านสีดำจะนุ่มและมีเปลือกไม้ติดอยู่ ถ่านสีดำติดไฟง่ายและมีค่าพลังความร้อนในการเผาผลาญพอที่จะหลอมละลายโลหะและเหล็กได้ ถ่านเกือบทั้งหมดที่มีการผลิตทั่วโลก จะมีความคล้ายคลึงกับถ่านนี้ เผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500-700 องศาเซลเซียส

(2) ถ่านขาว (ถ่านที่เผาโดยกรรมวิธีพิเศษ) หรือเรียกว่า ถ่านแข็ง คุณสมบัติแข็งและไม่มีเปลือกไม้ติดอยู่ ให้พลังงานความร้อนสูง เป็นถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิต ที่เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้ายในการผลิต ถ่านจะเปิดปากเตา เพื่อให้อากาศเข้าเตาจำนวนมาก และจะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียสหรือมากกว่านั้น ขณะเดียวกันก็จะนำถ่านที่กำลังลุกไหม้อยู่ขึ้นออกจากเตาทันทีเพื่อนำมาดับด้วย ซีเมนต์ผสมกับเศษดินและน้ำประมาณ 10-20% มาโรยทับถ่านที่นำออกจากเตา กระบวนการผลิตถ่านแบบนี้ผลิตมากใน 3 ประเทศ คือ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และจีน ผงฝุ่นที่จับตัวถ่านจะจับตัวที่ผิวของถ่านไม่เห็นเป็นสีเทาหรือขาว จึงเรียกถ่านนี้ว่า ถ่านขาว ผงฝุ่นที่จับตัวอยู่ที่ผิวของถ่านจะเป็นตัวช่วยให้จุดติดไฟง่าย โดยปกติถ่านขาวจะจุดติดไฟยาก แต่อยู่ได้นานและระหว่างการติดไฟ ถ้ามีการไหม้ไฟช่วย อาจทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียสได้ เมื่อหยุดการไหม้ไฟจะลดลงอยู่ที่ประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส เนื้อของถ่านขาวจะแกร่ง โดยทุกส่วนของถ่านจะผ่านขั้นตอนกลายเป็นถ่านเท่าๆกันอย่างสม่ำเสมอเมื่อทดลองหักดู จะเห็นผิวถ่านที่เรียบและแข็ง หากนำไปเคาะจะได้ยินเสียงดังกังวานเหมือนโลหะ สามารถเผาไหม้ได้เป็นเวลานาน





2.4 กระบวนการผลิตถ่านไม้

ส่วนประกอบและโครงสร้างของไม้ ไม้ทุกชนิดมีส่วนประกอบเหมือนกันมากกว่า 90% (พุดินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ, 2548) ดังนี้

- (1) เซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งเกิดจากไกลโคไซด์ (Glycoside) หลายชนิดประมาณ 20-30%
- (2) ลิกนิน (Lignin) ซึ่งเกิดจากสารประกอบแอโรแมติก (Aeromatic Compounds) ประมาณ 20-30%

(3) ส่วนประกอบอื่นๆ อีกเพียงเล็กน้อย ได้แก่ สารเฉพาะตัว (Extract Compounds) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของไม้แต่ละชนิด ดังนั้น ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากไม้แต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างกัน

โครงสร้างของไม้มีรูปร่างคล้ายท่อรวมกันเป็นมัด มีรูพรุนขนาดตั้งแต่ 4-60 ไมครอน เมื่อไม้เปลี่ยนเป็นถ่าน โครงสร้างก็ยังคงสภาพเดิม แต่จะหดเล็กกว่าเดิมประมาณ 30% ไม้อายุน้อยจะหดตัวมากกว่าไม้อายุมาก

กระบวนการผลิตถ่านไม้ แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การไล่ความชื้น (Dehydration) อุณหภูมิ 20-270 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการไล่ความชื้นนี้ จำเป็นต้องใช้ความร้อนจากภายนอก เพื่อให้ไม้พื้นเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนสะสมไว้ให้ได้อย่างพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน ในขั้นตอนต่อไป

การไล่ความชื้น กระทำได้ 2 วิธี คือ

(1) การให้ความร้อนโดยตรง โดยการจุดไม้พื้นบางส่วนในเตา เพื่อที่จะทำให้บางส่วนของไม้ที่จะทำถ่านลุกไหม้ และเกิดความร้อนเพียงพอที่จะไล่ความชื้นออกจากไม้ในส่วนที่เหลือ วิธีนี้ประสิทธิภาพต่ำ และหากควบคุมอากาศไม่ดี จะทำให้เกิดเข้เถื่อนมากเป็นเหตุให้ผลผลิตต่ำ

(2) การให้ความร้อนทางอ้อม โดยการจุดเชื้อเพลิงหน้าเตา และนำเพียงลมร้อนเข้าไปไล่ความชื้นออกจากไม้พื้นในเตา หากไม้พื้นในเตามีความชื้นมาก จะต้องใช้เชื้อเพลิงและเวลามากขึ้นด้วย ดังนั้นควรต้องผึ่งไม้พื้นสด ซึ่งมีความชื้น (น้ำ) ประมาณ 50-60% ให้เหลือเพียง 20-30% เสียก่อน เพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงและเวลา

ขั้นตอนการไล่ความชื้น แบ่งได้เป็น 2 ช่วง

ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ 20-180 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนการไล่ความชื้นนี้ ควรควบคุมลมร้อนหมุนเวียนให้สม่ำเสมอทั่วทุกส่วนของเตา โดยธรรมชาติ อากาศร้อนจะลอยสูงขึ้นและถูกบังคับให้ไหลลงต่ำ เพราะจะต้องไหลออกทางปล่องควันที่อยู่ด้านล่างเสมอ อากาศร้อนที่มีไอน้ำ ซึ่งเกิดจากการคายตัวของไม้ จะกระทบกับความเย็นที่พื้นเตาและควบแน่นจากไอน้ำเป็นหยดน้ำที่พื้นเตา ดังนั้น จึงต้องมีท่อระบายน้ำออกจากพื้นเตาด้วย และควรรองพื้นเตาด้วยไม้พื้นขนาดเล็ก เพื่อไม่ให้ไม้พื้นที่จะทำถ่านสัมผัสโดยตรงกับพื้นเตาที่เปียกชื้น เพราะจะทำให้ไม้พื้นเปลี่ยนเป็นถ่านได้ไม่หมด เมื่อเริ่มจุดพื้นหน้าเตา อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึง 180 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ไม้จะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free Water) เท่านั้น จะไม่มีน้ำที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเจือปนออกมาเลย ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนและมีแต่ไอน้ำเท่านั้น

ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 180-270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จะเริ่มสลายตัวออกมา และจะสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (ควรรักษาอุณหภูมินี้ไว้นานพอสมควร) เพื่อให้ไม้พื้นได้สะสมความร้อนได้ใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา ควันที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีเหลืองจางๆเจือ





ปนอยู่ด้วย และจะมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กรดน้ำส้ม (Acetic Acid) และเมทานอล (Methanol) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) อุณหภูมิ 270-400 องศาเซลเซียส
ขั้นตอนนี้ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

(1) อุณหภูมิ 270-300 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ไม้ในเตาสะสมความร้อนไว้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน โดยไม่ต้องเติมพืนหน้าเตาอีก ไม้พืนจะลุกไหม้และสลายตัวโดยความร้อนที่สะสมไว้ในตัวเอง เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส การสลายตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ควันที่ออกมาจากปล่องจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด ผู้ผลิตถ่านในประเทศไทยเรียกควันนี้ว่า ควันบ้า หลังจากควันบ้ามีปริมาณน้อยลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเทาแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลานานพอสมควร เพื่อให้ขั้นตอนนี้เป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ความร้อนจากไม้ด้านบนหน้าเตาจะค่อยๆ ถ่ายความร้อนไปยังจุดต่างๆ ทัวทั้งเตาอย่างช้าๆ หากปล่อยให้อุณหภูมิสูงขึ้นเร็วเกินไป จะทำให้ไม้ที่สะสมความร้อนไว้มากกว่ากลายเป็นเถ้าเสียก่อนที่จะถ่ายความร้อนไปยังไม้ที่สะสมความร้อนไว้น้อยกว่า และอาจมีเปลวไฟแลบออกมาทางหน้าเตาได้ หากเกิดกรณีดังกล่าว ไม้ส่วนบนของเตาจะกลายเป็นขี้เถ้า และไม้ส่วนล่างของเตาจะกลายเป็นสันถ่าน ทำให้ผลผลิตต่ำ การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการควบคุมอากาศที่หน้าเตา ควบคู่กับการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์เพียงอย่างเดียวอาจผิดพลาดได้ โดยเฉพาะเมื่อมีการเติมพืนหน้าเตามากและเร็วเกินไป ดังนั้น การดูสีควันและนำกระเบื้องเคลือบสีขาวมาอังที่ปล่องควันเพื่อดูสีของควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องจะเป็นการตรวจสอบซ้ำที่ดี

(2) อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เซลลูโลสยังสลายตัวต่อเนื่อง และลิกนินจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส การสลายตัวจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน ควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ ที่เกิดใหม่มากมายหลายชนิด จากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (Pyrolysis) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

ขั้นตอนที่ 3 การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (Refinement) ถึงแม้ว่าขั้นตอนการเปลี่ยนไม้เป็นถ่านจะเสร็จสมบูรณ์แล้วที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) ต่ำและยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หากนำไปใช้ประโยชน์จะได้ถ่านคุณภาพต่ำ และนำไปประกอบอาหารปิ้งย่างน้ำมันดินที่ยังคงค้างอยู่ในถ่าน เมื่อถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส (โดยปกติเตาหุงต้มจะมีอุณหภูมิประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส) จะเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ 3,4-Benzopyrene และ 1,2,5,6-Dibenzanthracene ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยการปรับอากาศไหลเข้ามากขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 400 องศาเซลเซียสเป็น 500 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของเตาที่สูงถึง 700 องศาเซลเซียส ในเวลาที่เร็วเกินไป จะทำให้ด้านบนกลายเป็นเถ้าเสียก่อน ดังนั้น จึงควรควบคุมอุณหภูมิด้วยความระมัดระวังอย่างยิ่ง ในทางปฏิบัติเมื่ออุณหภูมิด้านบนของเตาสูงถึง 700 องศาเซลเซียส อาจสังเกตจากสีของควันที่เริ่มใส ผู้ควบคุมการผลิตถ่านจะปิดช่องอากาศเข้า แล้วรอให้ความร้อนถ่ายเทด้านบนของเตาลงมาที่พืนเตา อุณหภูมิในเตาจะใกล้เคียงกันทุกจุดประมาณ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งในขณะนั้นจะไม่มีควันเหลืออยู่แล้ว จึงปิดปล่องควัน ขั้นตอนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์นี้ ควันที่ออกมาจะมีสารก่อมะเร็งปนออกมาด้วย เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงไม่ควรเก็บควันในช่วงนี้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ควรนำไปบำบัดก่อนทิ้งหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิง





ขั้นตอนที่ 4 การทำให้เย็น (Cooling) หลังจากปิดปล่องควันทุกปล่องแล้ว ต้องปล่อยให้เตาเย็น จึงจะนำถ่านไม้ออกมาใช้งานได้ ก่อนจะเปิดเตาต้องให้อุณหภูมิในเตาต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เพราะถ่านไม้ อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสสามารถติดไฟเองได้ ถ้าได้รับออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้นการเปิดเตาต้อง เริ่มเปิดจากปล่องควัน เพื่อระบายความร้อนและแก๊สที่ยังคงค้างอยู่ในเตาให้หมด หลังจากนั้นจึงเปิดหน้าเตา

กระบวนการผลิตถ่านทุกขั้นตอนจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นของไม้พืน การควบคุม อุณหภูมิและขนาดของเตา หากเตามีขนาดใหญ่มาก กระบวนการทุกขั้นตอนก็จะใช้เวลามากด้วย

กระบวนการเผาไหม้และการเกิดเปลวไฟตามธรรมชาติ กระบวนการเผาไหม้ในธรรมชาติ นั้น สามารถแบ่งตามลักษณะสาเหตุการเกิดเปลวไฟได้ 4 กระบวนการ ได้แก่

(1) ดิฟฟิวชันเฟลม (Diffusion Flames) เป็นกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงที่มี สถานะเป็นก๊าซ (Fuel Gas) แพร่หาออกซิเจน เพื่อไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงและเปลวไฟอยู่คน ละด้านของเปลวไฟ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ ทั้งสองต่างกัน ส่งผลให้เกิดการถ่ายเท เิงมวลในลักษณะการแพร่ของเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซและออกซิเจนเข้าสู่เปลวไฟ ซึ่งทั้งนี้จะต้องมีส่วน การผสม และปริมาณพลังงานกระตุ้นปฏิกิริยาพอเหมาะ เปลวไฟที่เกิดจากกระบวนการนี้สามารถยกตัวอย่าง ได้แก่ เปลวไฟที่อยู่บนเทียน โดยเปลวไฟจากเทียนจะทำให้ขี้ผึ้งของเทียนระเหยออกไปเป็นเชื้อเพลิงในสถานะ ก๊าซไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดเปลวไฟ กลไกการเผาไหม้นี้ดำเนินต่อไปจนกว่าขี้ผึ้งระเหยไฟจน หมด หรือไม่มีออกซิเจนมากพอที่จะทำปฏิกิริยาเผาไหม้

เปลวเทียนดังกล่าวข้างต้นมีลักษณะการเผาไหม้และการไหลของก๊าซแบบบรายนเรียบ (Laminar) สามารถจัดเป็นเปลวแบบลามินาร์ดิฟฟิวชันเฟลม (Laminar Diffusion Flames) ซึ่งกระบวนการเผาไหม้ถูก ควบคุมโดยการแพร่ของสารประกอบบริสุทธิ์ (Pure Substance) และในกรณีอื่นๆที่เปลวไฟมีความสูงมากกว่า 1 ฟุตขึ้นไปโดยประมาณ เปลวไฟจะมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีลักษณะลูกของเปลวไฟแบบปั่นป่วน (Turbulence) จะสามารถจัดเปลวไฟชนิดนี้ว่าเป็น เทอร์บูลนซ์ดิฟฟิวชันเฟลม (Turbulence Diffusion Flames)

(2) สโมลด์เอริง (Smoldering) เป็นกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งจะเกิดขึ้น ระหว่างออกซิเจนในอากาศไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง (Solid Fuel) ทำให้ผิวที่บริเวณทำ ปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยจะลุกลาม (Growing) ลึกลงไปในผิวของแข็ง ซึ่งความเร็วของการลุกลามของ กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง แต่โดยทั่วไปความเร็วของการลุกลามของไฟที่เกิดจากกระบวนการนี้ จะอยู่ที่ประมาณ 1-5 มิลลิเมตรต่อวินาที เมื่ออุณหภูมิที่ผิวเชื้อเพลิงมากกว่า 1,000 องศาเซลเซียสใน กระบวนการนี้จะเกิดการเผาไหม้จนเกิดเปลวไฟได้ เมื่อมีความร้อนรวมถึงอัตราการไหม้ของอากาศมากขึ้น ตัวอย่างของกระบวนการเผาไหม้นี้ ได้แก่ การไหม้ของบุหรี่ เป็นต้น

(3) สปอนแทเนียสคอมบัสชัน (Spontaneous Combustion) เมื่อเชื้อเพลิงที่ได้สัมผัสกับ อากาศ ภายใต้สภาวะที่เกื้อหนุนให้ปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนทำให้ไม่เกิดการเผาไหม้หรือถ้าเกิด การเผาไหม้ ก็จะมีลักษณะช้ามากคล้ายกับลักษณะการเผาไหม้ในกระบวนการสโมลด์เอริง พลังงานที่ ปลดปล่อยจากปฏิกิริยาเคมีจะไปชดเชยกับพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง ถ่ายโอนให้สิ่งแวดล้อม ถึง อย่างไรก็ตามหากอัตราการสูญเสียความร้อนน้อยมาก เมื่อเทียบกับอัตราความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี จะ ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้น ซึ่งนำมาสู่การเกิดขึ้นของปฏิกิริยาทางเคมีเร็วขึ้นและเกิดการเผาไหม้ในที่สุด ดังนั้น เมื่อใดก็ตาม เมื่อมีการกักเก็บเชื้อเพลิงจำนวนมาก โอกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ลักษณะนี้จะสูงขึ้นตามไป ด้วย แต่ต้องขึ้นอยู่กับอัตราการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและอากาศ นั้น ตัวอย่างของการเผาไหม้ด้วยตัวเอง เช่น การลุกไหม้ด้วยตัวเองของถ่านหิน





(4) พรีเม็กซ์เฟลม (Premix Flames) เป็นกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดจากการรวมตัวของที่เป็นก๊าซกับออกซิเจนในอากาศ ก่อนที่จะมีการจุดระเบิด ซึ่งพบกระบวนการเผาไหม้นี้ได้จากการทำงานในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน โดยเมื่อมีการจุดระเบิดซึ่งเป็นการเผาไหม้ในปริมาตรจำกัด ทำให้เกิดความดันในกระบอกสูบนั่นสูงขึ้นกะทันหัน เนื่องจากการระเบิดของเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากบริเวณจุดระเบิดนั่นเอง

เตาเผาถ่าน ในการผลิตถ่านให้ได้คุณภาพสูง มีคุณสมบัติที่สมบูรณ์และปลอดภัยสารก่อมะเร็งจะต้องเป็นเตาเผาถ่านที่สามารถ เพิ่มอุณหภูมิได้สูงเกิน $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยที่ตัวเตาต้องออกแบบมาที่สามารถทนต่อความร้อนสูงที่เกิดขึ้นได้ รวมทั้งมีระบบหารหมุนเวียนความร้อนภายในที่ดี ซึ่งดั้งเดิมจะเป็นเตาที่เรียกว่าเตาอิวาเตะ (Iwatae) ที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศญี่ปุ่น โดยสามารถผลิตถ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เตาเผาถ่าน แบ่งได้หลายชนิด ดังนี้

1. เตาหลุมฝังกรมป่าไม้ เตาหลุมฝังหรือเตาหลุมหรือเตาผี เป็นเตาเผาถ่านที่มีมาแต่โบราณและปัจจุบันยังคงมีการเผาถ่านด้วยวิธีนี้กันอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเตาเผาถ่านที่สามารถสร้างขึ้นเองได้ง่าย และวิธีการเผาถ่านตลอดจนการคัดเลือกไม้ที่นำมาผลิตถ่าน ไม่ค่อยพิถีพิถันนัก เตาหลุมฝังจะแตกต่างกันไปตามรูปร่างลักษณะและวัสดุที่นำมาใช้คลุมเตาเผาถ่าน เช่น เตาดินกลบ เตาแกลบกลบ เตาขี้เลื่อยกลบ เป็นต้น



รูปที่ 2.4.1 เตาหลุมฝัง

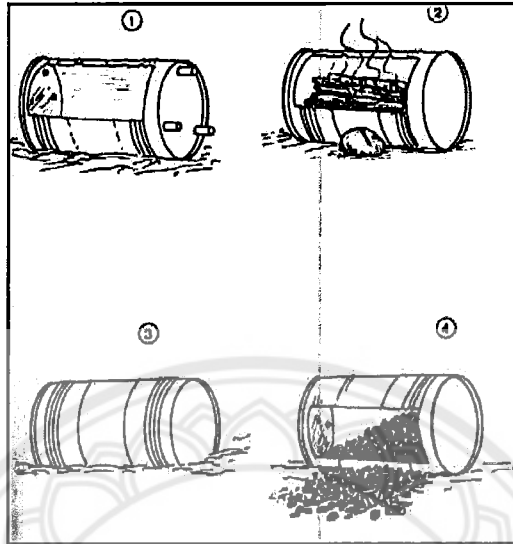
2. เตาถังคู่ เป็นการนำถังน้ำมัน 200 ลิตร 2 ถังมาเจาะทะลุทั้ง 2 ด้านและเชื่อมติดกันเป็นลักษณะทรงสูงในแนวดิ่ง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถจุไม้เผาถ่านได้มากขึ้น



รูปที่ 2.4.2 เตาถังคู่

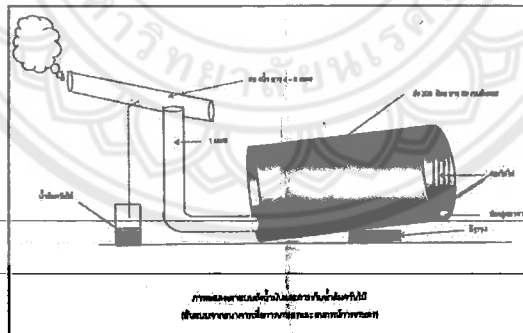


3. เตาทองก้า เป็นเตาเผาถ่านที่มาจากต่างประเทศ สร้างจากถังน้ำมัน 200 ลิตร ที่ปิดฝาทั้ง 2 ด้าน โดยเจาะปล่องควันขนาด 2.5 ซม. จำนวนด้านละ 3 ปล่อง รวม 6 ปล่อง และเจาะช่องสำหรับใส่ไม้เผาถ่านบริเวณกลางถัง ขนาดกว้าง 30 ซม. ยาว 73 ซม.



รูปที่ 2.4.3 เตาทองก้า

4. เตาถังเดี่ยวแบบนอน เป็นเตาเผาถ่านที่ดัดแปลงให้สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ ทำให้มีการพัฒนาและส่งเสริมกันอย่างแพร่หลาย ทั้งหน่วยงานราชการ องค์กรเอกชน และธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธกส.) เป็นต้น



รูปที่ 2.4.4 เตาถังเดี่ยวแบบนอน

5. เตาดินเหนียวก่อ มีรูลักษณะคล้ายจอมปลวก ตัวผนังเตาส่วนหนึ่งอยู่บนดิน อีกส่วนหนึ่งขุดลึกลงไปต่ำกว่าระดับผิวดิน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณดินเหนียวที่ต้องนำมาใช้ทำผนังเตาและเพิ่มความแข็งแรงของฐานเตา เนื่องจากผนังฐานเตาอยู่ใต้ระดับผิวดิน เตาดินเหนียวก่อนี้ สามารถพบได้ทั่วไปในชนบทของประเทศไทย ผนังเตาที่ซึ่ก่อกั้นขึ้นมาเหนือพื้นดินนั้น ก่อด้วยดินเหนียว แต่ไม่จำเป็นต้องใช้ดินเหนียวล้วน อาจใช้ดินลูกรังหรือทรายหยาบปนได้บ้างเล็กน้อย เพื่อป้องกันผนังเตาแตกร้าวในระหว่างการเผาถ่านในกรณีที่ใช้ดินเหนียวล้วนๆ





รูปที่ 2.4.5 เตาดินเหนียวก่อ

6. เตาดอิฐก่อ ขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร มีรูปลักษณะเหมือนมะนาวผ่าซีก ซึ่งคล้ายเตาดินเหนียวก่อ แต่จะเตี้ยกว่าเตาดินเหนียวก่อเล็กน้อย ผนังเตาทำด้วยอิฐมอญ โดยทั่วไปเตาดอิฐก่อ จะเผาถ่านเพื่อการค้าเสีย เป็นส่วนมาก เช่น เตาเผาไม้โกงกาง หรือไม้ยูคาลิปตัส ตัวเตาอาจมีความจุมากถึง 20 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 2.4.6 เตาดอิฐก่อ

2.5 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่ง เป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อนโดยอาศัยหลักการ คือ สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (Attractive force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุลและสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกัน ที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมต่อกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดเข้าด้วยกัน (Mishra and Grover, 1996)

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย การให้แรงดันแก่มวลอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่





(1) การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูง เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (Liquid) และของแข็ง (Solid) เรียกว่า แรงดันฮีชัน (adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (Interlocking Bond)

(2) การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลาง โยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพอลิเมอร์และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอ่อนตัวยึดเกาะกัน

(3) การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำ แบบใช้ตัวประสาน (Binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุสำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวยึดเกาะกับวัสดุได้ดี เช่น ทาร์และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว (Adhesion Forces) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน (Cohesion Forces) และพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (Interlocking Bond) ระหว่างวัสดุ วัสดุที่มีขนาดเล็กสามารถอัดแท่งได้โดยใช้แรงดันสูง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน โดยที่ความแข็งแรงของวัสดุอัดแท่งขึ้นอยู่กับแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง

ขั้นตอนการอัดแท่ง

วัสดุที่นำมาอัดแท่ง ทั้งที่ต้องใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสาน โดยทั่วไปประกอบด้วย ขั้นตอนในการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

การบด (Grinding) เพื่อให้วัสดุมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดติดกันเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น

การอบ (Drying) วัสดุที่ผ่านการบดแล้ว จะถูกอบให้มีความชื้นที่เหมาะสมในการอัดก้อน ถ้ามีความชื้นมากเกินไป เชื้อเพลิงจะแตก เมื่อสูญเสียความชื้น

การผสม (Mixing) การผสมวัสดุกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้ โดยที่เวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันในขั้นนี้ อาจมีการผสมน้ำ ถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด ดังนั้น คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ ขึ้นกับแรงอัด และระยะเวลาที่อัด

วิธีการอัดแท่ง

วิธีการอัดแท่ง สามารถแบ่งตามวิธีการอัดได้ 2 แบบ คือ

(1) การอัดแบบร้อน (Hot Densification) เป็นวิธีที่นิยม สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ ชีลื้อย แกลบและเศษไม้ เป็นการอัดที่ถือกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณ 57 ปี โดยมี R.T. Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์พินสังเคราะห์จากชีลื้อยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งให้มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้า และกลิ่นเหม็น มีข้อดีคือ ให้เปลวไฟสะอาด สามารถทำสเปลวไฟได้ตามต้องการ (Fitzgerald, 1980) ซึ่งวิธีการอัดแท่ง สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามชนิดของเครื่องอัด คือ

- (1.1) การอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing)
- (1.2) การอัดแท่งด้วยเกลียว (Screw Press Densification)
- (1.3) การอัดแท่งด้วยลูกสูบ (Piston Press Densification)
- (1.4) การอัดแท่งด้วยลูกกลิ้ง (Roll Press Densification)





ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ความร้อน ได้แก่

ก. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะสูญเสียพลังงานมากในการทำให้วัสดุแห้งและมีค่าความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำกว่า (Misha and Grover, 1996) ส่วนวัสดุที่มีความชื้นต่ำ มีข้อเสียในการจับตัวเป็นก้อน และการอัดแท่งทำให้มีรอยแตกบนผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัสดุดิบมีส่วนช่วยกระจายความร้อนในมวลวัสดุ ถ้าวัสดุมีน้ำไม่เพียงพอ ทำให้การส่งผ่านความร้อนไม่ตีแรงดันที่ต้องใช้ในการอัดแท่งจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าวัสดุมีน้ำมากเกินไป ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกกระจายไป ส่งผลให้น้ำกลายเป็นไอและบ่อยครั้งทำให้เกิดการระเบิดออกมาจากกระบอกอัด โดยทั่วไปพบว่า ปริมาณความชื้นของวัสดุที่เหมาะสม ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งนี้ เพื่อให้วัสดุเกาะกันเป็นแท่งได้ง่าย ไม่มีรอยแตกร้าวและมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก (Reed and Bryant, 1978)

วิธีการลดความชื้นขึ้นอยู่กับสภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้นๆ ว่ามีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใดและสภาพดินฟ้าอากาศ ในกรณีสภาพดินฟ้าไม่อำนวย เช่น ในฤดูฝน จำเป็นต้องอบแห้งด้วยเครื่องอบ เครื่องอบมีหลายแบบ อาจเป็นเตาหมุน เพื่อให้ความร้อน ที่ส่งผ่านมาตามท่อกระจายไปสู่เศษวัสดุที่กำลังอบอยู่อย่างทั่วถึง และเครื่องอบนี้จะมีท่อดูดเอาเศษวัสดุที่อบแห้งแล้ว และมีความชื้นพอเหมาะไปสู่ไซโลเพื่อรอการนำไปอัดต่อไป หรืออาจใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะหรือความร้อนที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม

ข. ขนาดของชิ้นวัสดุ (Particle Size) เศษวัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เศษเหลือจากการทำไม้ จะได้ทั้งเศษและปลายไม้ ส่วนที่ฟูหรือมีตำหนิ ได้แก่ ไม้เลื้อยหรือซีกบ เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงใช้ที่มีขนาดยาวและใหญ่ มีขนาดเล็กลงได้ โดยการนำไปย่อยและบด เพื่อให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าเครื่องอัดแท่ง Intermediate Technology Development group รายงานว่าขนาดของชิ้นส่วนวัสดุโดยเฉลี่ย ควรมีขนาด 3 มิลลิเมตร โดยที่ร้อยละ 20 ของวัสดุควรมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และส่วนที่เหลือควรมีขนาด 2-4 มิลลิเมตร ในวัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่แล้ว อาจไม่ต้องย่อยหรือบด แต่ต้องผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเสียก่อน มิฉะนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนอยู่ จะทำให้ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี ทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

ค. แรงดัน (Pressure) แรงดันในกระบอกอัดเกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอัด ดึงกับผนังกระบอกอัด โดยแรงดันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อวัสดุถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดที่ได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกกับแท่งเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนตัวออก จะช่วยทำให้เกิดแรงดันที่เหมาะสม ทำให้วัสดุเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้ ณ อุณหภูมิเฉพาะ นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Group รายงานว่าการทำเชื้อเพลิงแท่งด้วยความร้อน ควรทำภายใต้แรงดัน ณ ที่อุณหภูมิห้องโดยทั่วไป ใช้ความดันในช่วง 0.5-1,200 kg/m² ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดและอุณหภูมิ การอัดวัสดุเหลือใช้ต่างๆ โดยใช้ความดันในกระบอกอัดประมาณ 600 kg/m² พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีการอัดตัวแน่นดี (นาราพิทักษ์ อรรถนพ, 2552) นอกจากนี้ ไม้เลื้อยและขานอ้อยสามารถอัดเป็นก้อนได้ภายใต้ความดันตั้งแต่ 453 kg/m² ขึ้นไป (กัญจนา บุญยเกียรติ และเพียรพรรค พิศดร, 2523)

ง. อุณหภูมิ (Temperature) Roguerie (1980) ได้คิดค้นหาวิธีการอัดแท่งกับวัสดุประเภทลิกนิน เซลลูโลส (ไม้เลื้อย) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 85-160 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะให้ลิกนินอ่อนตัวยึดเกาะกันแน่นขึ้น ทำให้ได้เชื้อเพลิงแท่งที่มีความแข็งแรง ขณะที่ Crepeau, P. et, al (1983) ได้ทดลองการทนแรงอัดของ





ชีวมวลอัดแห้งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้ได้แห้งอัดก้อนที่มีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Group รายงานว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแห้งเชื้อเพลิง ควรี อุณหภูมิน้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงเวลาการอัดแห้งที่เหมาะสมนั้น ควรจะน้อยที่สุดไม่เกิน 2 วินาที

อุณหภูมิของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 260-300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วง อุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ชี้อ้อย กากอ้อย เกษากันเป็นแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (นารา พัทธ์ภรณ์พร, 2552) จากการวิจัยข้างต้น พบว่า อุณหภูมิเหมาะสม ต่อการอัดแห้งเชื้อเพลิง ควรอยู่ระหว่าง 200-300 องศาเซลเซียส

ข้อดีของการอัดแบบร้อน คือ

- สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง
- ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน
- ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการอัดแบบร้อน คือ

- สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดแบบเย็น
- อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
- วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำ คือไม่เกินร้อยละ 10
- เครื่องอัดมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

(2) การอัดแบบเย็น (Cold Densification) วิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ สามารถ แบ่งเป็น การอัดแบบใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattacharya, S.C.et.Al., 1988) ตัวประสานทำ หน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแห้งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงปานกลาง

ข้อดีของการอัดแบบเย็น คือ

- สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดแบบร้อน
- ค่าความร้อนที่ได้ต่างจากการอัดแบบร้อนเพียงเล็กน้อย
- ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
- อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
- เครื่องอัดมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดแบบเย็น คือ

1. ต้องใช้ตัวประสานหรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัว ประสาน การอัดแบบเย็นหรือไม่ใช้ความร้อน ที่มีการวิจัยในประเทศไทยนั้น มีหลายวิธี ได้แก่

1.1 อัดโดยใช้พืชชนิดเดียวกันเป็นตัวประสาน ได้แก่ เพกติน เยลลาตินกัม เป็นต้น

1.1.1 การอัดโดยใช้พืชชนิดอื่นๆ เป็นตัวประสาน เพราะตัวมันเองไม่มียางเหนียว เพียงพอหรือมีน้อยมาก เช่น การอัดผักตบชวาผสมขานอ้อย

1.1.2 การอัดโดยใช้ตัวประสานจากภายนอกเป็นตัวผสม เพื่อให้การจับตัวเป็นก้อนดีขึ้น เช่น การอัดไมยราพยักษ์กับลิกไนท์ผง





- 1.1.3 การอัดพืชหมักจนแห้งเป็นบด พืชบางชนิดใช้เวลาเพียง 3-4 วัน บางชนิดใช้เวลา นานกว่านี้ พืชบางชนิดไม่จำเป็นต้องหมักถึงขั้นแห้งเป็นบด แต่หมักพอให้ชุ่มน้ำก็จะทำให้การอัดง่ายขึ้น
- 1.1.4 การอัดพืชที่หมักที่มีการเนาเปื่อยง่ายบางส่วน จนถึงเนาเปื่อยดี ในพืชบางชนิดใช้เวลาหมัก 3-4 สัปดาห์ ทำให้การอัดง่ายขึ้น ซึ่งปุ๋ยหมักก็อาจนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้
- 1.1.5 การอัดพืชที่หมักโดยผสมตัวประสานจากภายนอก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง โมลาส และแอสฟัลท์
- 1.1.6 การอัดเปียกโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน สามารถใช้อัดเศษอาหารที่ยังไม่เนาบดหรือเศษอาหารที่เนาบดแล้ว เศษใบตองที่ห่ออาหาร เปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่ยังสดๆ เศษกระดาษที่แช่น้ำ ฯลฯ
- 1.1.7 การอัดแห้งวัสดุแห้งที่เป็นชีวมวลทุกชนิด ผสมตัวประสาน ได้แก่ เศษพืช ฟาง ข้าว เศษกระดาษ หรือขยะมูลฝอย เมื่อผสมกับตัวประสานที่เหมาะสม ก็สามารถนำมาอัดเป็นแท่งได้
- 1.2 การอัดเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน สามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน คือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสดและวัสดุชีวมวลที่เนาเปื่อยหรือผ่านการหมัก เนื่องจากการหมักชีวมวลทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัว และสร้างสารที่เป็นยางเหนียว ทำให้ใช้พลังงานในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการอัดโดยวิธีอัดแบบร้อน การอัดวิธีนี้ ถ้าวัสดุดิบที่ใช้เป็นพืชที่ไม่มีตัวประสาน ได้แก่ Gelatin, Pectin, Lignin ฯลฯ หรือมีปริมาณน้อย จะต้องผสมกับตัวประสาน เพื่อให้การอัดแห้งได้ผลดี (Stienswal and Buachanda, 1986: 132-147)

ตัวประสาน

ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- (1) ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดิบ มูลสัตว์ ขยะเนาเปื่อย สาหร่ายและแป้ง เป็นต้น
- (2) ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เลน และดินเหนียว เป็นต้น

คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

- (1) มีความเหนียวมากพอในการเป็นตัวประสาน
- (2) สามารถเผาไหม้ได้หรือลุกติดไฟได้ดี
- (3) เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกกร่อนหรืออ่อนตัวเกินไป
- (4) เสียค่าใช้จ่ายน้อย

แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่นิยมใช้โดยทั่วไป เป็นแป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดรวมกัน แต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก และผิวตรงส่วนที่ตัดออก มีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมหาด้านหนึ่งโค้งอีกด้านแบบไม่สมมาตรกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอบบวมอย่างชัดเจน ในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้ง (โสภิตา บุญอนุเคราะห์และคณะ, 2542)

คุณสมบัติของแป้ง

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำ แป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำ เนื่องจากอนุภาคของแป้งมีขนาดใหญ่เกินไปที่จะสามารถละลายในน้ำได้ แป้งมีความหนาแน่นสูง ประมาณ 1.45-1.65 g/cm³ (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้น แป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่อ

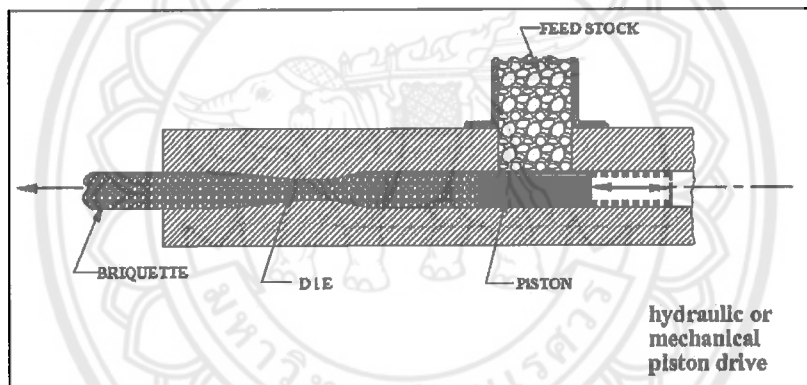


อุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้น ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปใน Amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนใน Crystalline Region ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้ง เกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลง แต่ความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกตัวอย่างฉับพลัน ทำให้อะไมโลสออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (Gelatinization) (โสภิตา บุญเอนก ทรัพย์ และคณะ, 2542)

เครื่องอัดถ่าน

เครื่องอัดแบ่งสามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ (วนิดา จาดดำ, 2548: 26) ดังนี้

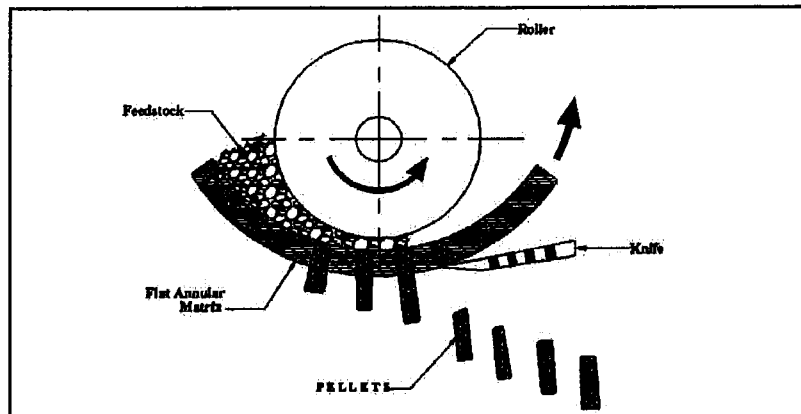
(1) เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก เพื่อดันวัตถุดิบเข้าไปในกระบอกรูปรีเวีย หลักการทำงานคือลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีรูปกรวย หรือเป็นรูปรีเวีย ทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านรวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ



รูปที่ 2.5.1 เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ (Piston Press)

(2) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) หลักการทำงานคือกระบวนการอัดจะเกิดขึ้น เมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางการหมุนตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน การอัดแท่งแบบนี้ ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้แรงอัดต่ำและอุณหภูมิในกระบอกอัดไม่สูงพอ ที่จะหลอมละลายลิกนิน เพื่อช่วยในการอัดตัวเป็นแท่ง

(3) เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยแม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และแม่พิมพ์ (Matrix) ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู มี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลมและแบบวงแหวน แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้ จะใช้การอัดแบบลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเป็นเม็ด (Polluting)



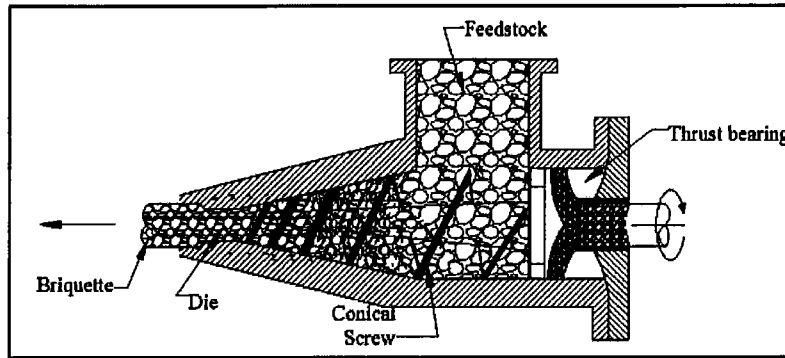
รูปที่ 2.5.2 เครื่องอัดแบบเม็ด (Pellet Presses)

(4) เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดเชื้อเพลิงที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแท่งพินซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้และการขนส่ง โดยแบ่งเครื่องอัดเป็น 3 ประเภท คือ

4.1 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพินเกลียวไป วัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้น พร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้ อยู่ในช่วง 500-1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 kw วัสดุที่ใช้ในการอัด ควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10

4.2 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยชุดลดความร้อนที่กระบอกอัด มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนเข้าไปในท่อที่มีอุณหภูมิจากชุดลดความร้อนประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนินและเซลลูโลสหลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดยึดเกาะตัวดี ลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยม ขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถูกถ่ายเทกำลังการผลิต อยู่ระหว่าง 50-500 กิโลกรัม/ชั่วโมง วัสดุที่ใช้ในการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้ คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว

4.3 เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ ประกอบด้วยเกลียวอัด 2 อัน ต่อกับเพลงที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสีสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป สามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องแห้งก่อน กำลังการผลิตของเครื่องอัดนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้



รูปที่ 2.5.3 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)

หลักในการประเมินคุณภาพและคุณลักษณะของถ่านอัดแท่ง ประกอบด้วย

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณความร้อนขึ้น ต่อปริมาณของเนื้อถ่านอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งลดลง และทำให้ถ่านอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย
2. ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์
3. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อถ่านอัดแท่งหลังจากที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน
4. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในถ่านอัดแท่ง หลังจากที่เราเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส
5. กำมะถันรวม (Total Sulfur)
6. ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) คือ ค่าความร้อนของการสันดาป จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในถ่านอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูง จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และมีสารที่ระเหยได้ และมีปริมาณเถ้าต่ำ ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูง ถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี (วาณิช โสพาสพ, 2550: 49)

2.6 ภาวะตลาดในประเทศและการส่งออก นำเข้า ถ่านอัดแท่ง

ลักษณะของถ่านอัดแท่งสำเร็จรูปมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่แตกประทุ ชี้อ่อนนุ่ม ไม่ฟุ้งกระจาย ไม่ทำลายสุขภาพ ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ และทนทานใช้งานได้มากกว่าถ่านไม้ธรรมดาอย่างน้อย 2.5 เท่า โดยผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในขนาดมาตรฐาน 2 ขนาด ดังนี้ (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2553)

1. ถ่านอัดแท่งรูปทรงกระบอก มีรูกลวงขนาด 4x4.5 ซม.
2. ถ่านอัดแท่งรูปทรงกระบอก มีรูกลวงขนาด 20x4.5 ซม.

ราคาจำหน่ายสินค้าถ่านอัดแท่งอยู่ที่กิโลกรัมละ 12-15 บาท โดยบรรจุใส่กระสอบพลาสติก น้ำหนัก 30 กิโลกรัม ตลาดถ่านอัดแท่งภายในประเทศมีความต้องการเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารตั้งแต่ระดับครัวเรือน จนกระทั่งภัตตาคารใหญ่ๆ ประกอบกับปัจจุบันมีการเกิดขึ้นของร้านอาหารประเภทต่างๆและ





ปิ้งจำนวนมาก และมีการเล็งเห็นถึงอันตรายจากการใช้แก๊สในการย่างหรือปิ้งอาหาร ดังนั้น จึงมีการประกอบอาหารเพิ่มมากขึ้น ความต้องการในการใช้ถ่านก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตลาดสำหรับการจำหน่ายสินค้าถ่านอัดแท่งภายในประเทศ แบ่งออกเป็น 2 ตลาดคือ

สำนักหอสมุด
14 มิ.ย. 2565

1. ตลาดท้องถิ่นหรือตลาดต่างจังหวัด โดยมุ่งเน้นตลาดโรงแรม ห้องอาหารและภัตตาคาร ซึ่งจะมีการส่งไปยังพ่อค้าคนกลาง (ร้านขายของชำ) หรือตัวแทนจำหน่ายสินค้าถ่านอัดแท่งในต่างจังหวัด
2. ตลาดสินค้าถ่านอัดแท่งในกรุงเทพมหานคร โดยมีการส่งไปยังพ่อค้าคนกลางที่เชื่อถือได้ มุ่งเน้นไปตามร้านอาหารประเภทปิ้งและย่างที่เกิดขึ้นมากมายในกรุงเทพมหานคร ซึ่งถือว่าเป็นตลาดที่ใหญ่ของผู้ประกอบการ

แนวโน้มของตลาดในอนาคต

เนื่องจากการบริโภคอาหารในรูปแบบปิ้ง ย่าง ภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการส่งออกถ่านอัดแท่งของไทย ที่มีตลาดส่งออกอยู่ในประเทศที่นิยมใช้ถ่านในการประกอบอาหาร เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี หรือไต้หวัน เป็นต้น ซึ่งแม้ว่าจะมีมูลค่าการส่งออกไม่สูง เช่น สินค้าอุตสาหกรรมอื่นๆ ของประเทศ แต่เนื่องด้วยวัตถุดิบในการผลิต เช่น วัสดุเศษไม้ที่มีอยู่มาก ดังนั้นจึงควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีผู้ประกอบการประเภทนี้ รวมทั้งขยายตลาดส่งออกถ่านอัดแท่งในตลาดเดิมที่มีการส่งออกอยู่แล้ว และตลาดใหม่ที่มีความต้องการถ่านอัดแท่งในอนาคต

ปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัดที่ควรระมัดระวัง

1. ความได้เปรียบของคู่แข่งในแง่ของราคาและต้นทุนการส่งออก เช่น สินค้าจากประเทศพม่า รวมถึงความได้เปรียบทางเทคโนโลยีการผลิต และแหล่งวัตถุดิบที่มีมากจากสินค้าของมาเลเซีย อาจมีผลให้การแข่งขัน เพื่อแย่งชิงตลาดเข้มข้นขึ้น
2. มีปัญหาในด้านการสนับสนุนทางด้านเงินทุนช่วยเหลือในผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม เนื่องจากการลงทุนในกิจการประเภทนี้ต้องใช้เงินทุนหมุนเวียนในการประกอบกิจการในด้านเครื่องจักรในการผลิต

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทน์ภัส สงค์ศิริกุล (2554) ได้ทำการศึกษากการผลิตถ่านอัดแท่งชนิดคุณภาพสูง พบว่า ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้โกงกาง ถ่านไม้ยางพารา และถ่านซังข้าวโพด มีคุณสมบัติของถ่านไม้ที่มีคุณภาพสูง คือ ให้ค่าความร้อนสูง มีระยะเผาไหม้นาน ไม่มีควัน และมีปริมาณเถ้าต่ำ ให้ค่าความร้อนที่สูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ที่ 5,000 แคลอรีต่อกรัม ในภาพรวมถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้โกงกาง ถ่านไม้ยางพารา และถ่านซังข้าวโพด เป็นถ่านที่ให้ค่าความร้อนที่ 6,848 แคลอรีต่อกรัม ระยะเวลาการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 245-295 นาทีต่อถ่านอัดแท่ง 100 กรัม และมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.30 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 8 จึงทำให้ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้ ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้โกงกางและถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าว เป็นถ่านที่มีประสิทธิภาพ มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์

วานิช โสภาสพและคณะ (2550) ได้ทำการศึกษากการผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษวัสดุเหลือใช้ เพื่อเป็นพลังงานทดแทน พบว่า คุณสมบัติของเปลือกถั่วลิสงอัดแท่ง มีปริมาณสารระเหยน้อยที่สุด คือ 69% และเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่งมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด คือ 2.6% คาร์บอนคงตัว พบว่า เปลือกถั่วลิสงอัดแท่งมีคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ 27.0% และค่าความร้อน พบว่า เปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่งมีค่าความร้อนมาก





ที่สุด คือ 4,730 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเปลือกเมล็ดถั่วลิสง 42.175 เปลือกเมล็ดทานตะวัน 39.38% และเปลือกถั่วลิสงผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแห้ง 40.97% เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความร้อนจากฟืนไม้ พบเศษวัสดุดังกล่าวมีค่าความร้อนสูงกว่าฟืนได้

กิตติพงษ์ ลาลุน (2554) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านอัดแห้งจากเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า (1) เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่นและความแข็งแรงของถ่านอัดแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการป้อนที่เหมาะสมในการทำงาน 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (2) เมื่อปริมาณแป้งผสมมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่นและความแข็งแรงของถ่านอัดแห้งเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าความร้อนลดลง ปริมาณแป้งผสมที่ใช้ในการทำงาน 0.45 กิโลกรัม (3) เมื่อใช้ปริมาณน้ำผสม 4.00 กิโลกรัม ได้ถ่านอัดแห้ง มีค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงที่เหมาะสม (4) ความเร็วเกลียวอัดที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ในช่วง 110-125 รอบต่อนาที

หาญณรงค์ บำรุงศิริ (2553) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านไม้อัดก้อนที่ผลิตจากเศษถ่านไม้ พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน ทำให้ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดสูงขึ้น ปริมาณปูนขาวแปรผันตรงกับความต้านทานแรงอัด สรุปได้ว่า ถ่านไม้อัดก้อนที่ผลิตจากเศษถ่านไม้ที่หึ่ง : แป้งมันสำปะหลัง : ปูนขาว อัตราส่วนผสม 60:2:1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมในการใช้ในกระบวนการตีพริก

ปราณี พาสังห์ศรี (2549) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อถ่านอัดแห้งของธุรกิจร้านหมูกระทะในกรุงเทพมหานคร พบว่า สาเหตุสำคัญในการเลือกใช้ถ่านอัดแห้ง เนื่องจากให้ความร้อนได้นานกว่าไม้ธรรมชาติ และไม่มีควันรบกวนลูกค้า ปัจจัยส่วนประสมการตลาดพบว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญมากที่สุดกับปัจจัยด้านราคาในเรื่องราคาเหมาะสมกับคุณภาพและระดับความคงที่ของราคาและให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ในเรื่องของคุณภาพ ชั่วโมงในการติดไฟของถ่านอัดแห้ง

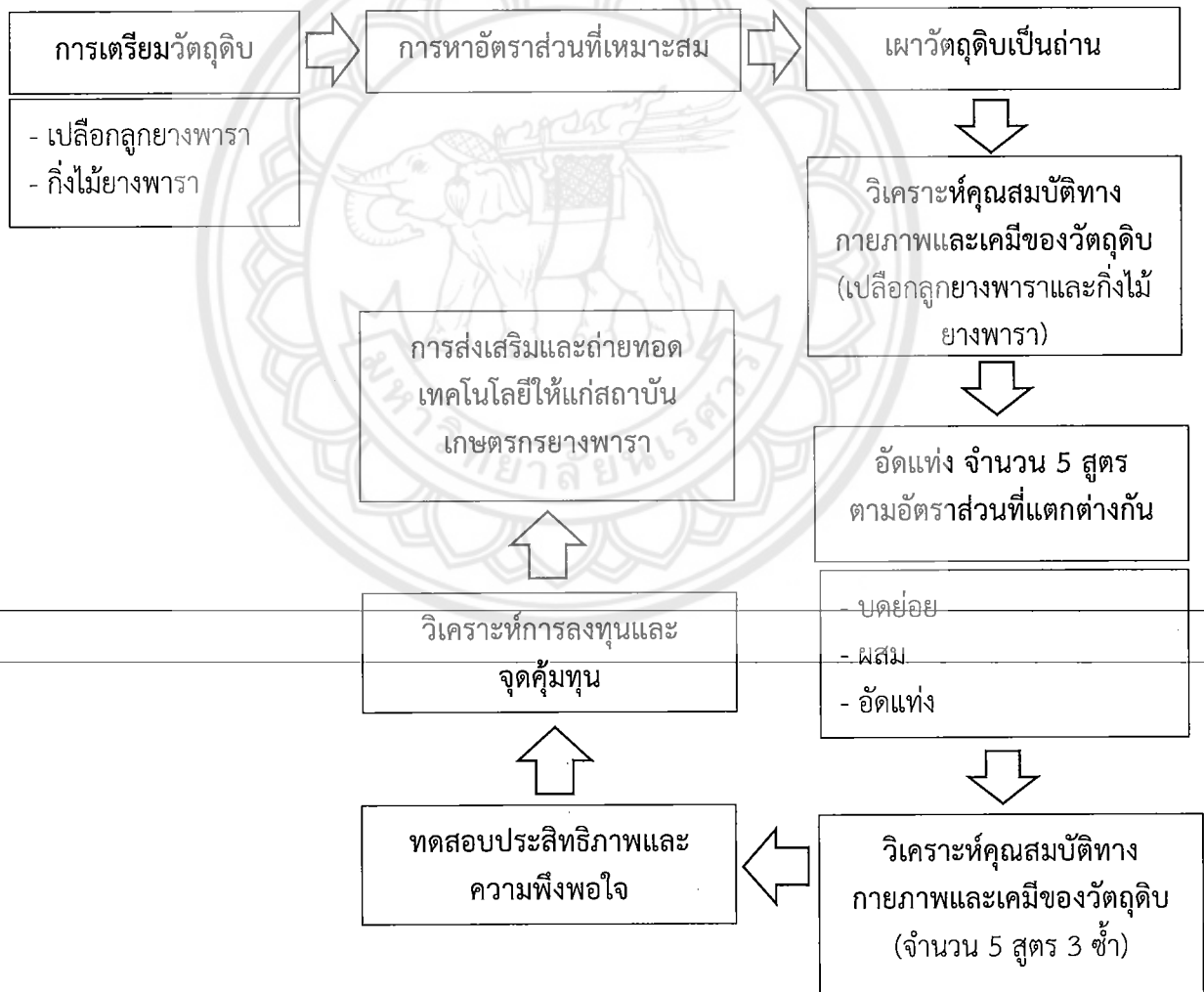




บทที่ 3 การดำเนินการโครงการ

3.1 แนวทางการดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการพัฒนาถ่านชีวมวลจากเปลือกกลูยกาพาราในระบบอัดเย็น มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ให้ค่ามาตรฐานและพลังงานความร้อนมากกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม จากนั้นทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อขอรับการรับรองมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน โดยจะเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในสวนยางพารา ที่สามารถใช้ในครัวเรือนและจำหน่ายได้ เป็นอาชีพเสริมของสถาบันเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาระบบการผลิตถ่านอัดแท่ง ที่สอดคล้องกับระบบโลจิสติกส์ในกิจกรรมแปรรูปยางพาราจากสวนสู่ผู้ใช้ แนวทางการดำเนินโครงการแสดงในรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 แนวทางการดำเนินโครงการ



3.2 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง เป็นขั้นตอนเพื่อหาคุณสมบัติทางเคมีของถั่ว ได้แก่ การหาปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 การหาค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 การหาปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D 3172 และปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM D3175 โดยมีวิธีการ ดังนี้

3.2.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) ASTM D 3173

ก) เครื่องมือ

- เตาอบ (Moisture Oven)
- ถ้วย (Crucible)
- โถดูดความชื้น (Desicators)

ข) วิธีการทดลอง

- นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105°C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desicators) 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก
- ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (W1)
- นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desicators) 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W2)

ค) สูตรการคำนวณ

$$M = (W1 - W2) / W1 * 100 \quad (2.1)$$

$$M = \text{ร้อยละของปริมาณความชื้น}$$

$$W1 = \text{น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}$$

$$W2 = \text{น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}$$

3.2.2 การหาค่าความร้อน (Heating Value) ASTM D 5865

ก) เครื่องมือ

- Oxygen Bomb Calorimeter
- บีกเกอร์
- บิวเรต

ข) สารเคมี

- Methyl Orange Indicator
- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0709 N

ค) วิธีการทดลอง

- ตัดลวด (Fuse wire) ยาวประมาณ 10 ซม. ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งเหล็กด้านล่างของฝาบอมบ์
- ใส่ถ่านอัดแท่งที่ได้ประมาณ 1 กรัม ลงไปในถ้วย
- วางถ้วยบนช่วงปลายเหล็กด้านฝาบอมบ์ จัดลวดให้สัมผัสตัวอย่าง เติมน้ำกลั่น 1 มล. ลงไปในถ้วยบอมบ์





- ประกอบฝาบอมบ์กับตัวบอมบ์ นำไปอัดออกซิเจนให้ได้ความดันประมาณ 3 bar ใส่ น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 24°C ปริมาณ 2L ลงในกระบอกสำหรับบอมบ์
- เปิดสวิตช์ รอประมาณ 20 นาที อ่านค่าความร้อนที่แสดงบนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV)
- นำตัวบอมบ์ออก ปลดปล่อยก๊าซออกจากตัวบอมบ์อย่างช้าๆ
- ล้างฝา ตัวบอมบ์และถ้วยที่บรรจุถ่านอัดแท่งด้วยน้ำกลั่น

3.2.3 การหาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D 3174

ก) เครื่องมือ

- เตาอบ (Moisture Oven)
- ถ้วย (Crucible)
- โถดูดความร้อน (Desicators)

ข) วิธีการทดลอง

- นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105°C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desicators) 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (W3)
- นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 950°C นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W4)

ค) สูตรการคำนวณ

$$M = (W4/W3) * 100$$

W3 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนอบ (กรัม)

W4 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังอบ (กรัม)

3.2.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ASTM D 3172

ทำการคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละของปริมาณความชื้น}) - (\text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย}) - (\text{ร้อยละของปริมาณเถ้า})$$

3.2.5 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ASTM D 3175

ก) วิธีการทดลอง

- เตา Crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950°C ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น (Desicators) เป็นเวลา 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W5)
- ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- นำไปใส่ในเตาอบที่อุณหภูมิ 750°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในเตา 7 นาที
- นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W6)





ข) สูตรการคำนวณ

V	=	$(W5 - W6) / W5 \times 100 - M$
V	=	ร้อยละของปริมาณสารระเหย
M	=	ร้อยละปริมาณความชื้น
W5	=	น้ำหนักอบแห้งของเชื้อเพลิงก่อนอบ (กรัม)
W6	=	น้ำหนักอบแห้งของเชื้อเพลิงหลังอบ (กรัม)

3.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง

3.3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

- ถ่านเปลือกกลูกลูกยางพารา
- ถ่านกิ่งไม้ยางพารา
- เครื่องบดย่อย ตีป่นถ่านแบบ Hammer
- เครื่องผสมแนวนอน ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 แรงม้า มีใบกวนผสม
- เครื่องอัดถ่านแท่งอัตโนมัติ แบบ Extruder ใช้ screw เป็นตัวอัดพร้อมตู้ควบคุมการทำงาน โดยระบบ magnetic มีระบบตัดถ่านอัตโนมัติ

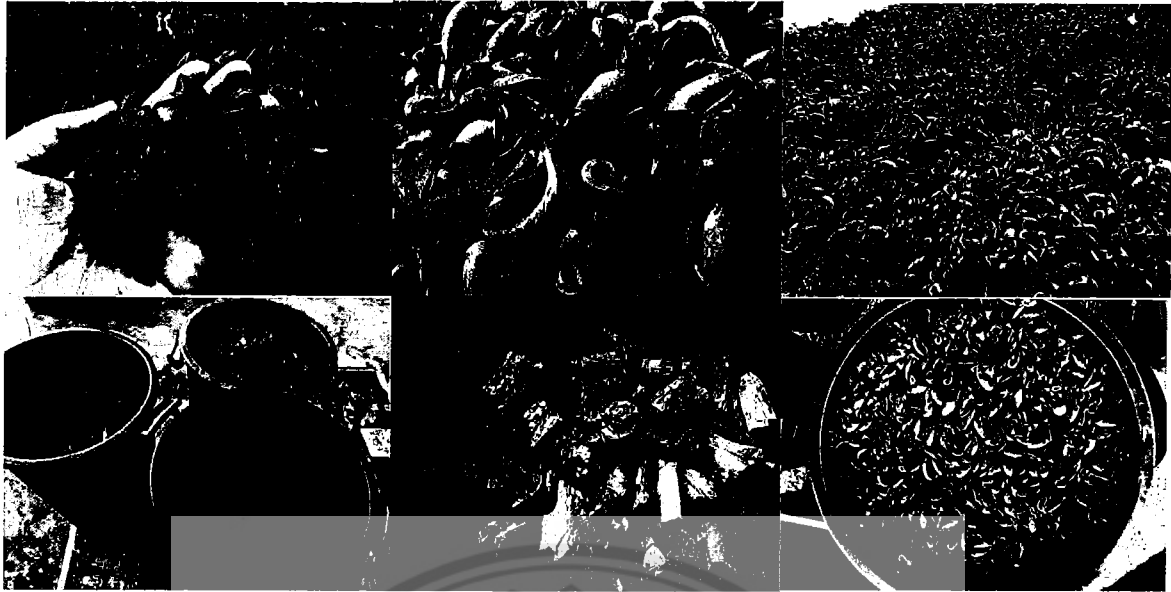


รูปที่ 3.3.1 เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

3.3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลัก 2 รายการ คือ ถ่านจากเปลือกกลูกลูกยางพารา และ ถ่านจากกิ่งไม้ยางพารา วัตถุดิบอื่นที่เป็นส่วนสนับสนุน ได้แก่ แป้งมัน และน้ำ ทั้งนี้ คณะผู้วิจัย ได้ทำการเก็บเปลือกกลูกลูกยางพาราจากสวนของเกษตรกรในฤดูกาลที่ต้นยางมีการผลิตลูกยางมากที่สุด และหล่นในสวนยางพารามากที่สุด ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนเป็นต้นมา ส่วนกิ่งไม้ยางพารา สามารถเก็บได้ทุกฤดูกาล

วัตถุดิบจะถูกเก็บในที่ร่มหรือในตู้อากาศ เพื่อหลีกเลี่ยงความชื้นจากฝน ทำให้ผลผลิตสามารถคงคุณภาพ บรรจุในถังพลาสติก ถุงปุ๋ย และเข่งพลาสติก พร้อมสู่ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแห้งจากเปลือกลูกยางพาราและกิ่งไม้ยางพารา

3.3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

- 1) นำถ่านเข้าเครื่องบดย่อย เพื่อลดขนาด

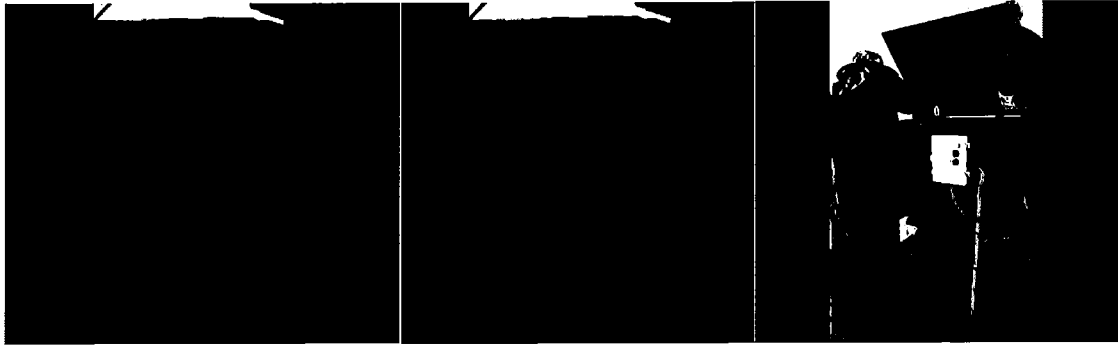


รูปที่ 3.3.3 การบดย่อยถ่าน

- 2) ออกแบบการทดลองเป็น 5 สูตร เพื่อกำหนดอัตราส่วนของถ่านเปลือกลูกยางพาราและถ่านกิ่งไม้ยางพารา ดังนี้

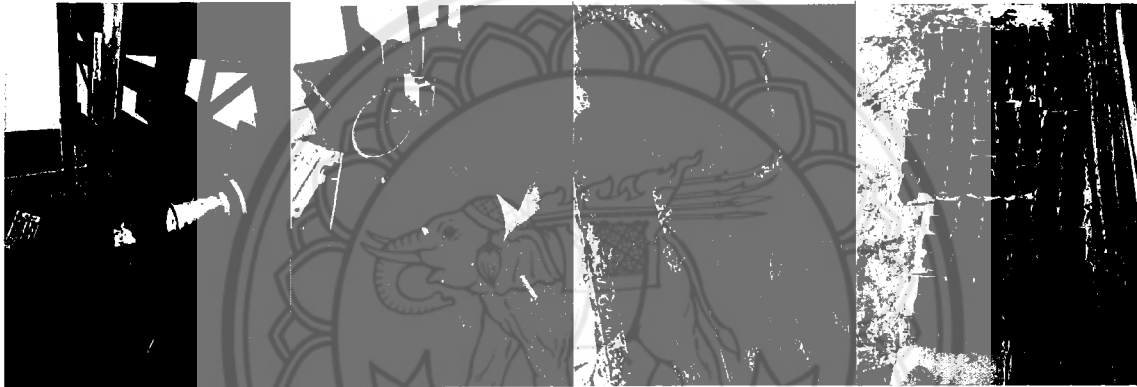
สูตรที่ 1	เปลือกลูกยางพารา 50%	กิ่งไม้ยางพารา 50%
สูตรที่ 2	เปลือกลูกยางพารา 70%	กิ่งไม้ยางพารา 30%
สูตรที่ 3	เปลือกลูกยางพารา 30%	กิ่งไม้ยางพารา 70%
สูตรที่ 4	เปลือกลูกยางพารา 100%	กิ่งไม้ยางพารา 0%
สูตรที่ 5	เปลือกลูกยางพารา 0%	กิ่งไม้ยางพารา 100%

- 3) นำถ่านซึ่งน้ำหนักตามอัตราส่วนแล้วใส่ลงในเครื่องผสม จากนั้นใส่แป้งมันและน้ำ



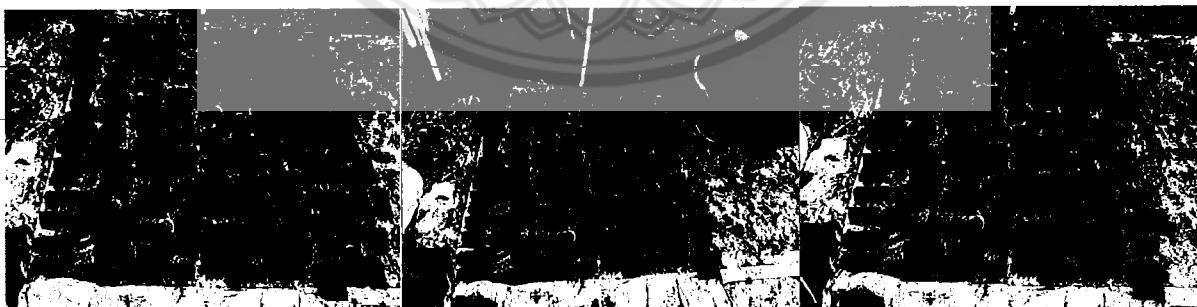
รูปที่ 3.3.4 การผสมถ่าน

4) นำถ่านที่ผสมแล้วไปเข้าเครื่องอัด เพื่อขึ้นรูป



รูปที่ 3.3.5 การอัดถ่าน

5) นำถ่านไปตากแดดเพื่อลดความชื้น



รูปที่ 3.3.6 การตากเพื่อลดความชื้น



3.4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านอัดแท่งและระบบโลจิสติกส์

3.4.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านอัดแท่ง ใช้การวิเคราะห์ Break Even Point หรือจุดคุ้มทุน คือยอดขายที่ต้องได้ เพื่อที่จะเท่าเทียมกับค่าใช้จ่ายหรือการลงทุนที่ลงไป เป็นจุดที่ผู้ขายไม่ได้กำไร แต่ก็ไม่ขาดทุน ยอดขายอาจจะถูกวัดเป็น เงิน จำนวนสินค้าที่ขาย หรือจำนวนชั่วโมงของบริการก็ได้ วิธีคำนวณ 'จุดคุ้มทุนต่อหน่วยขาย' คือ

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \text{ต้นทุนคงที่} \div \text{กำไรต่อหน่วย}$$

$$\text{โดยที่ กำไรต่อหน่วย} = \text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนต่อหน่วย}$$

ปกติแล้ว 'หน่วย' ที่ใช้วัดจุดคุ้มทุนก็คือจำนวนสินค้า แต่ในกรณีของธุรกิจบริการ เราก็สามารถใช้เป็น 'หน่วย' ที่เหมาะกับธุรกิจเรามากกว่าเช่น 'ชั่วโมงทำงาน' หรือ 'จำนวนลูกค้า' เป็นต้น อีกหนึ่งวิธีที่ใช้กันบ่อยก็คือการใช้จุดคุ้มทุนในการคำนวณราคาขาย โดยก่อนที่จะใช้วิธีนี้เราต้องคิดไว้ก่อนว่า 'จำนวนที่เราอยากขาย' คือเท่าไร ซึ่งก็ต้องเป็นจำนวนที่เราน่าจะขายได้จริง อาจจะคาดคะเนได้จากคู่แข่งในบริเวณ จำนวนลูกค้าปัจจุบันของเรา เป็นต้น (<https://thaiwinner.com/break-even-point/>)

$$\text{ราคาขายที่คุ้มทุน} = \text{ต้นทุนรวม} \div \text{จำนวนสินค้าที่จะขาย}$$

$$\text{โดยที่ ต้นทุนรวม} = \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผันทั้งหมด}$$

3.4.2 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ยางพาราไทย

แนวคิดทางด้านโลจิสติกส์ (Logistics)

โลจิสติกส์ หมายถึง กิจกรรมหรือการกระทำใดใด เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าและบริการ รวมถึงการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และกระจายสินค้า จากแหล่งที่ผลิต จนสินค้าได้มีการส่งมอบไปถึงแหล่งที่มีความต้องการ โดยกิจกรรมดังกล่าว จะต้องมึลักษณะเป็นกระบวนการแบบบูรณาการ โดยเน้นประสิทธิภาพและประสิทธิผล มีเป้าหมายในการส่งมอบให้ทันเวลา และเพื่อลดต้นทุน มุ่งให้เกิดความพอใจแก่ลูกค้า และส่งเสริมให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้าและบริการ ทั้งนี้ กระบวนการต่างๆ ของระบบโลจิสติกส์ จะต้องมึลักษณะปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องประสานกัน ในอันที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ร่วมกัน โดยเป้าหมายที่สำคัญของโลจิสติกส์ ได้แก่

- ความรวดเร็วในการส่งมอบสินค้า

- การไหลลื่นของสินค้า

- การไหลลื่นของข้อมูลข่าวสาร

- การสร้างมูลค่าเพิ่มในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับความต้องการของตลาด

- ลดต้นทุนการดำเนินการเกี่ยวกับสินค้า การดูแล และขนส่งสินค้า

- เพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพของการแข่งขัน





กิจกรรมของโลจิสติกส์จะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งต่างทำหน้าที่ในการสนับสนุนและส่งเสริมกิจกรรมของการผลิต และการตลาด เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย กิจกรรมของโลจิสติกส์ประกอบด้วย

- การขนส่งและการเคลื่อนย้ายสินค้า รวมทั้งที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์
- ตัวแทนการบริหารการจัดส่งและขนส่งทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ
- กระบวนการ Clearing สินค้าและพิธีการทางศุลกากร
- การบริหารจัดการคลังสินค้าภายในและงานที่เกี่ยวข้องกับ Flow ของสินค้า แรงงาน และการให้บริการอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นในการเก็บรักษาสินค้า
- การบริการคลังสินค้าสาธารณะ และการกระจายสินค้า
- การบริหารท่าเรือ การจัดการสถานที่บรรจุสินค้า การจัดการสถานีขนส่ง ICD การได้สัมปทานที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับมูลค่าเพิ่มทางการตลาดให้กับลูกค้า ได้แก่ การส่งเสริมการตลาด การเป็นตัวแทนในการจัดจำหน่าย การกำหนดความต้องการของตลาดและจัดการคำสั่งซื้อ การให้ข้อมูลเพื่อคาดคะเนและพยากรณ์การขาย การแบ่งบรรจุสินค้าและ Packaging การจัดเรียงสินค้าในห้างสรรพสินค้า ฯลฯ การประสานงานกับฝ่ายผลิต เพื่อประโยชน์ในการจัดการระบบโลจิสติกส์ของกระบวนการผลิตสินค้าหรืองานสนับสนุนการผลิตอื่นๆ เช่น การป้องกันวัตถุดิบ การบริการวานเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพสินค้า หรือ QC

- การจัดการข้อมูลข่าวสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

ต้นทุนโลจิสติกส์

การกำหนดต้นทุนโลจิสติกส์มีจุดเริ่มต้นจากการนำแนวคิดด้านการตลาดที่กล่าวว่า “ความสำเร็จขององค์กรขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความจำเป็น และความต้องการของตลาดเป้าหมาย รวมทั้งส่งมอบความพึงพอใจเหล่านั้นอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่เหนือคู่แข่ง” (Lambert and Ellram, 1998) มาใช้กับหลายองค์กร จนทำให้องค์กรเหล่านั้นสามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างโดดเด่น ซึ่งการตอบสนองที่เกิดขึ้นดังกล่าว ก่อให้เกิดความหลากหลายโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการ ส่งผลให้ต้นทุนในการตอบสนองลูกค้า แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งต้นทุนทางโลจิสติกส์ สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภท ดังนี้

ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนที่เกิดจากกิจกรรมการขนส่งและบริการ ซึ่งต้นทุนเหล่านี้ยังผันแปรไปตามปริมาณการขนส่ง น้ำหนัก ระยะทาง จุดหมายปลายทาง รวมไปถึงการขนส่งที่ก่อให้เกิดต้นทุนที่แตกต่างกัน

ต้นทุนคลังสินค้า ต้นทุนที่เกิดจากกิจกรรมภายในคลังสินค้า และการจัดเก็บสินค้า การถ่ายโอนข้อมูลในคลังสินค้า การเลือกสถานที่ตั้ง เช่น โรงงาน คลังสินค้า จะแปรผันไปตามชนิดและปริมาณของสินค้า

ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาสินค้าคงคลังจะผันแปรไปกับปริมาณของสินค้าคงคลังและทำให้เกิดต้นทุนด้านต่างๆ อีก เช่น ต้นทุนเงินทุนและต้นทุนค่าเสียโอกาส





ต้นทุนในการดูแลสินค้า ได้แก่ ค่าประกันภัยและภาษี ต้นทุนพื้นที่การจัดเก็บสินค้า ได้แก่ ต้นทุนด้านสถานที่ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของสินค้า ต้นทุนความเสี่ยงในการจัดเก็บสินค้า ได้แก่ ความล้าสมัย การลักขโมย

ต้นทุนการบริหาร เกิดจากกิจกรรมหลัก 3 ประเภท คือ (1) ระดับการให้บริการ เป็นเงินที่จ่ายไปเพื่อสนับสนุนการบริการลูกค้า เช่น ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการทำให้คำสั่งซื้อสมบูรณ์ (2) ต้นทุนกระบวนการสั่งซื้อและระบบสารสนเทศ ได้แก่ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสั่งซื้อ การกระจายการติดต่อสื่อสาร และการพยากรณ์อุปสงค์ (3) ต้นทุนปริมาณ โดยหลักการแล้วจะขึ้นอยู่กับปริมาณสินค้าที่จัดซื้อจัดหาและผลิต

ทั้งนี้ ข้อมูลจากวารสารยางพารา ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2561 ได้แสดงต้นทุนและเส้นทางการขนส่งจากโรงงานผู้ประกอบการถึงด่านส่งออก/ ท่าเรือส่งออกของผู้ประกอบการในภาคเหนือ แสดงในตารางที่ 3.4.2.1

ตารางที่ 3.4.2.1 ต้นทุนและเส้นทางการขนส่งจากโรงงานผู้ประกอบการถึงด่านส่งออก/ ท่าเรือส่งออกของผู้ประกอบการในภาคเหนือ

จังหวัด ต้นทาง	ประเภท ของยาง	รูปแบบการ ขนส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าขนส่ง (บาท/กก.)	ระยะเวลาการ ขนส่ง (ชั่วโมง)	ท่าเรือ/ด่าน ส่งออก
พิษณุโลก	ยางแท่ง	รถบรรทุก	473	1.10	12	แหลมฉบัง
น่าน	ยางก้อนถ้วย	รถบรรทุก	318	1.15	6	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	302	1.15	6	เชียงใหม่
	ยางเครป	รถบรรทุก	318	0.50	6	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	302	0.50	6	เชียงใหม่
พะเยา	ยางเครป	รถบรรทุก	155	0.47	4	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	147	0.47	4	เชียงใหม่
เชียงราย	ยางเครป	รถบรรทุก	113	0.31	3	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	157	0.35	4	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	1,752	1.00	48	ปาดังเบซาร์
ลำปาง	ยางแท่ง	รถบรรทุก	315	0.50	5	เชียงใหม่
		รถบรรทุก	341	0.50	5.5	เชียงใหม่

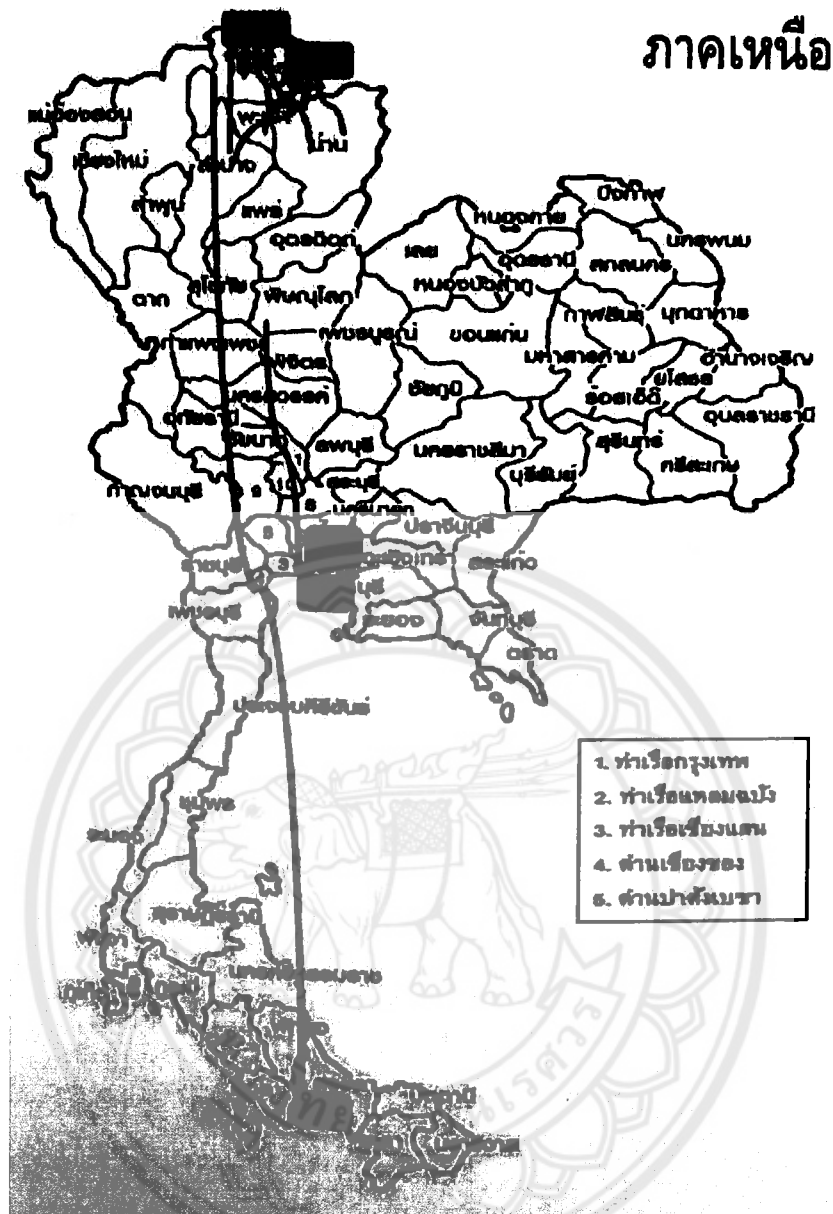


ประเภทและรูปแบบบรรจุภัณฑ์ยางพาราเพื่อการส่งออก

ผลิตภัณฑ์ยางพาราของไทยที่ส่งออกไปยังต่างประเทศ สามารถแบ่งออกตามประเภทของสินค้าและรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ดัง ตารางที่ 3.4.2.2

ตารางที่ 3.4.2.2 ประเภทและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ยางพาราเพื่อการส่งออก

ประเภท	รูปแบบของบรรจุภัณฑ์
น้ำยางข้น	1) เบาค์ (Bulk) ขนาดบรรจุ 25-30 ตัน 2) ถังมาตรฐาน 205 กิโลกรัม (Drum) 3) ถุงสุญญากาศ (Flexi Bag) ขนาด 20-24 ตัน
ยางแผ่นรมควัน	1) ปริมาณ 30 กก. 33.33 กก. และ 35 กก. บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนบนฟลิตเลตไม้/ลูสเบลล์ 2) ห่อและทาเคลือบด้วยแป้งทำเป็นยางลูกขุน ขนาด 111.11 กิโลกรัม
ยางแท่ง	1) ปริมาณ 30 กก. 33.33 กก. และ 35 กก. บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนบนฟลิตเลตไม้/ลูสเบลล์ 2) บรรจุเป็นลังชนิด Shrink Wrap ขนาดน้ำหนัก 1,260 กิโลกรัม
ยางก้อนถ้วยและยางเครป	ปริมาณ 30 กิโลกรัม ใส่กระสอบหรือถุงโพลีเอทิลีน



รูปที่ 3.4.2.1 เส้นทางขนส่งยางพาราของภาคเหนือ

รูปแบบการค้าขาย

International Chamber of Commerce (ICC) ประกาศให้ Incoterm 2010 หรือเงื่อนไขการค้าระหว่างประเทศ มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2011 ข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้า หรือเงื่อนไขการส่งมอบสินค้า (International Commercial Terms) ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายที่เป็นสากล ซึ่งกำหนดขึ้นโดยสภาหอการค้านานาชาติ (International Chamber of Commerce) เพื่อให้ผู้ค้าทั้งผู้ซื้อและผู้ขายทราบถึงขอบเขต ความรับผิดชอบ ภาระค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงต่างๆ โดยช่วยให้ทั้งสองฝ่ายที่มีความแตกต่างทางวัฒนธรรม มีความเข้าใจตรงกัน โดย Incoterms 2010 มีทั้งหมด 11 รูปแบบ (พิพัฒน์, 2557) แต่ในการส่งออกยางพารา มักจะใช้รูปแบบในการส่งออก 4 รูปแบบ คือ



(1) EXW – EX Works (the named place) เงื่อนไขการส่งมอบนี้ ผู้ขายจะสิ้นสุดภาระการส่งมอบสินค้าเมื่อผู้ขายได้เตรียมสินค้าไว้พร้อม สำหรับส่งมอบให้กับผู้ซื้อ ณ สถานที่ของผู้ขายเอง โดยผู้ซื้อจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการขนส่งสินค้าไปยังคลังสินค้าของผู้ซื้อเอง

(2) FOB – Free On Board (the named port of origin) ส่วนใหญ่ใช้เงื่อนไขในการซื้อขาย เงื่อนไขการส่งมอบนี้ ผู้ขายจะสิ้นสุดภาระการส่งมอบสินค้า เมื่อผู้ขายได้ส่งมอบสินค้าข้ามกัปเรือขึ้นไปบนเรือสินค้า ณ ท่าเรือต้นทางที่ระบุไว้ ผู้ขายเป็นผู้รับผิดชอบการทำพิธีการส่งออกด้วย ส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และค่าใช้จ่ายอื่นๆ รวมทั้งความเสี่ยงภัยในการขนส่งสินค้าเป็นภาระของผู้ซื้อ ในทันทีที่ของผ่านกัปเรือระวางไปแล้ว

(3) CIF – Cost, Insurance & Freight (the named place of destination) เงื่อนไขการส่งมอบนี้ ผู้ขายจะสิ้นสุดภาระการส่งมอบสินค้าเมื่อผู้ขายได้ส่งมอบสินค้าข้ามกัปเรือขึ้นไปบนเรือสินค้า ผู้ขายเป็นคนรับผิดชอบในการทำพิธีการส่งออก จ่ายค่าระวางเรือและค่าประกันภัยขนส่งสินค้าเพื่อคุ้มครอง ความเสี่ยงภัยในการขนส่งสินค้าจนถึงมือผู้ซื้อให้แก่ผู้ซื้อด้วย

(4) DDP – Delivered Duty Paid (Door to Door) (the named point of destination) เงื่อนไขการส่งมอบนี้ ผู้ขายจะสิ้นสุดการส่งมอบสินค้า เมื่อผู้ขายได้จัดให้สินค้าพร้อมส่งมอบ ณ สถานที่ปลายทางของผู้ซื้อ ซึ่งผู้ขายเป็นผู้รับผิดชอบการทำพิธีการส่งออก จ่ายค่าระวางขนส่งสินค้า ค่าประกันภัยขนส่งสินค้า และเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายอื่นๆ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการนำของลงจากเรือและค่าขนส่งสินค้าไปยังสถานที่ที่ผู้ซื้อระบุไว้ จนกระทั่งสินค้าพร้อมส่งมอบ ณ สถานที่ปลายทาง ผู้ขายต้องเป็นผู้ดำเนินการนำเข้าสินค้าให้แก่ผู้ซื้อ และเป็นผู้จ่ายค่าภาษีนำเข้าแทนผู้ซื้อด้วย

ปัญหาด้านโลจิสติกส์ของยางพาราไทย

(1) ปัญหาทางด้านโครงสร้างพื้นฐานที่ยังขาดประสิทธิภาพ เช่น ระบบการขนส่งทางถนน ได้แก่ การเกิดอุบัติเหตุจากสภาพถนนไม่พร้อม เกิดความล่าช้าเนื่องจากถนนขาด มีการปรับปรุงเส้นทางเดินรถ ปิดถนนในช่วงเทศกาลสำคัญ และทางรถไฟที่ยังคงเป็นระบบรางเดี่ยว ไม่เพียงพอต่อปริมาณการส่งออก

(2) ไม่มีเครื่องทุ่นแรงในการเคลื่อนย้ายสินค้า หรือจุดพักหรือถ่ายโอนสินค้า

(3) จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ไม่เพียงพอ และมีสภาพไม่พร้อมใช้งาน

(4) เรือขนส่งสินค้าต้องรอบรรทุกสินค้าให้เต็มลำจึงจะออกเดินเรือได้

(5) เอกสารบางอย่างมีความล่าช้าในการดำเนินการส่งออก เจ้าหน้าที่ที่ให้บริการในการตรวจสอบยางธรรมชาติส่งออกมีไม่เพียงพอ ส่งผลให้ออกใบรับรองล่าช้า

(6) การดำเนินงานด้านเอกสารผ่าน shipping ใช้เวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมง และหากดำเนินการเอง จะใช้เวลาถึง 6-8 ชั่วโมง

(7) ค่าใช้จ่ายในการออกสินค้า ณ ท่าเรือสงขลา มีราคาสูง จึงเลือกใช้การส่งออกผ่านด่านปาดังเบซาร์ ด้านสะเดา ท่าเรือกันตัง ไปทางท่าเรือปีนัง ซึ่งมีค่าระวางสินค้าที่ต่ำกว่ามากถึงร้อยละ 30 (ที่มา: วารสารยางพารา ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม 2561)





บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน โครงการพัฒนาถ่านชีวมวลจากเปลือกกล้วยพาราในระบบอัดเย็น แสดงในตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 แผนการดำเนินงาน

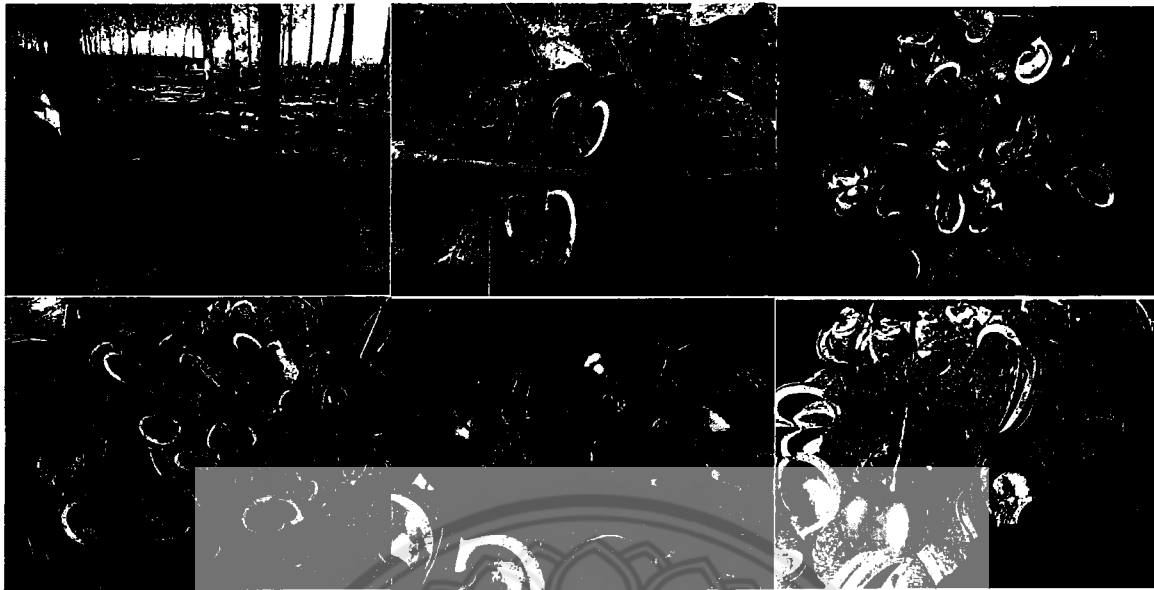
กิจกรรม (ปี 2561)	เดือนที่												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ลงนามในสัญญาโครงการ	←	→											
2. รวบรวมข้อมูลทุกมิติที่เกี่ยวข้อง		←	→										
กิจกรรม (ปี 2562)													
1. รวบรวมวัตถุดิบ				←	→								
2. ทดสอบวัตถุดิบในห้องปฏิบัติการ					←	→							
3. วิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสม และคุณสมบัติทางเคมี						←	→						
4. ผลิตถ่านชีวมวล							←	→					
5. ทดสอบถ่านชีวมวลในห้องปฏิบัติการ								←	→				
6. ทดสอบประสิทธิภาพ ความพึงพอใจและวิเคราะห์การลดต้นทุน											←	→	
7. ติดตามผลการศึกษาและสรุปผลการศึกษา													←

4.2 ผลการดำเนินโครงการ

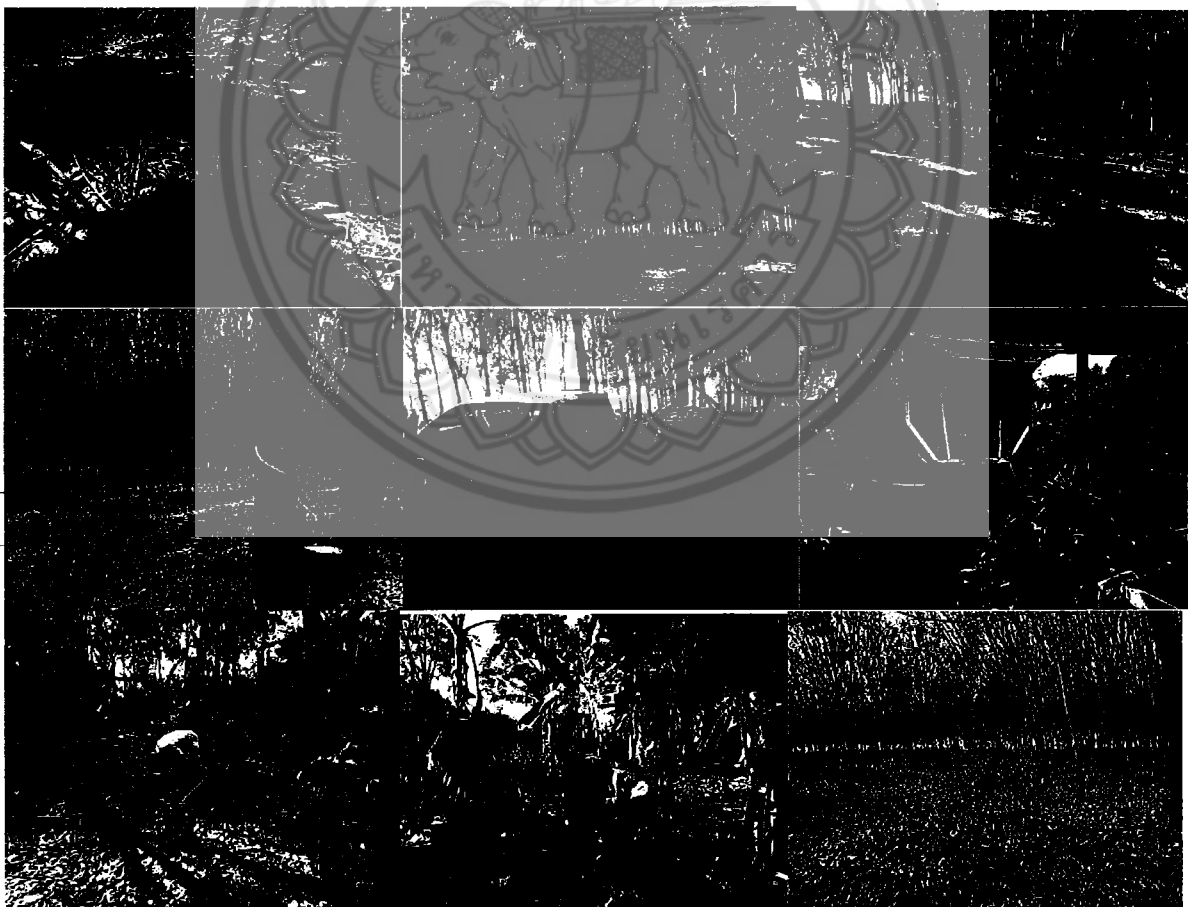
4.2.1 การรวบรวมวัตถุดิบ

วัตถุดิบในกระบวนการผลิตถ่านอัดแห้ง แบ่งเป็น 2 รายการ ได้แก่ เปลือกกล้วยพารา และ กิ่งไม้พารา โดยมีการเก็บรวบรวมจากสวนยางพาราในจังหวัดพิษณุโลก โดยเฉพาะในอำเภอนครไทย อำเภอวังทอง และอำเภอวัดโบสถ์ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดในจังหวัดพิษณุโลก





รูปที่ 4.2.1 การรวบรวมวัสดุประเภทเปลือกกล้วยอาหาร



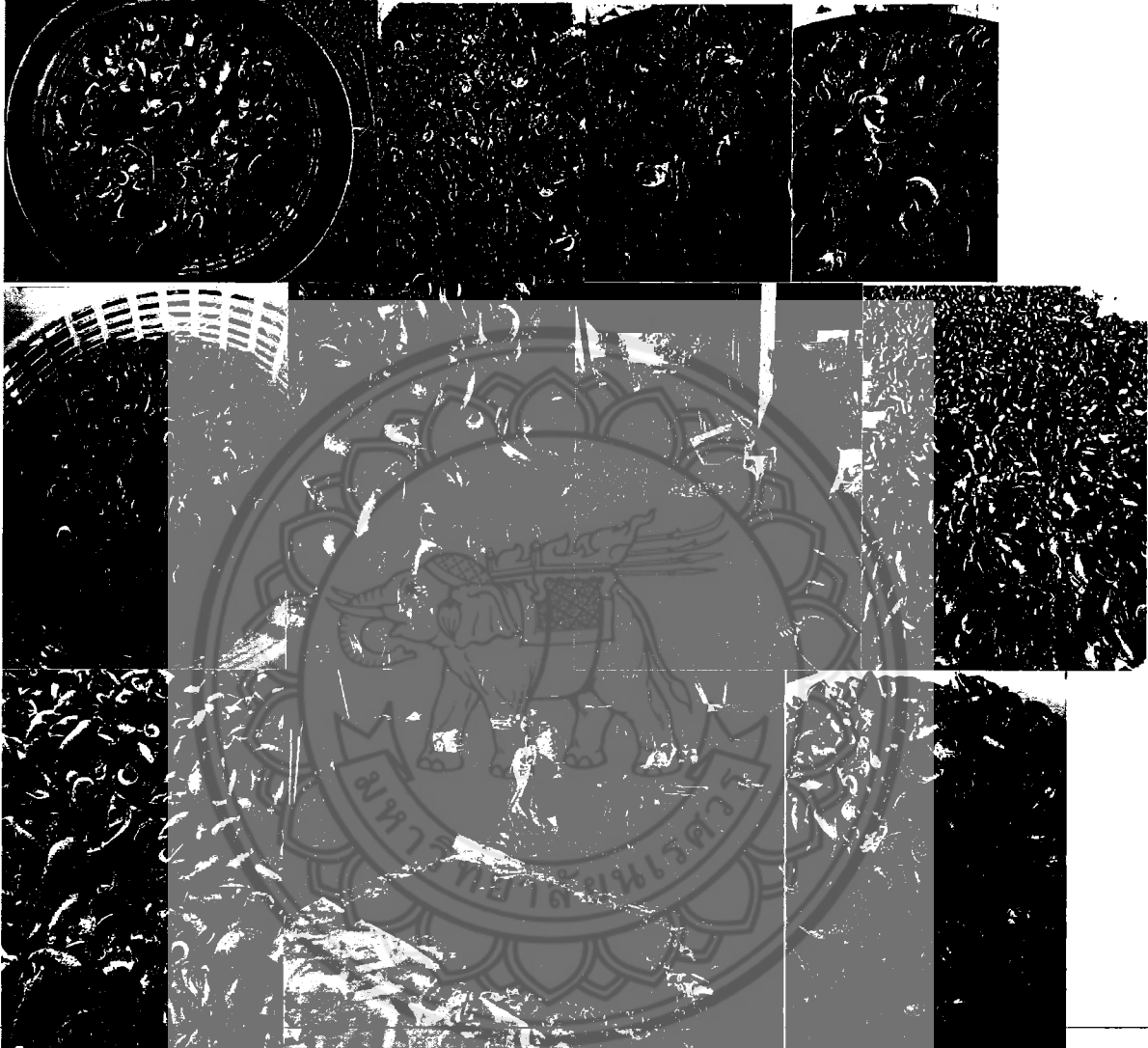
รูปที่ 4.2.2 การรวบรวมวัสดุประเภทกิ่งไม้ยางพารา



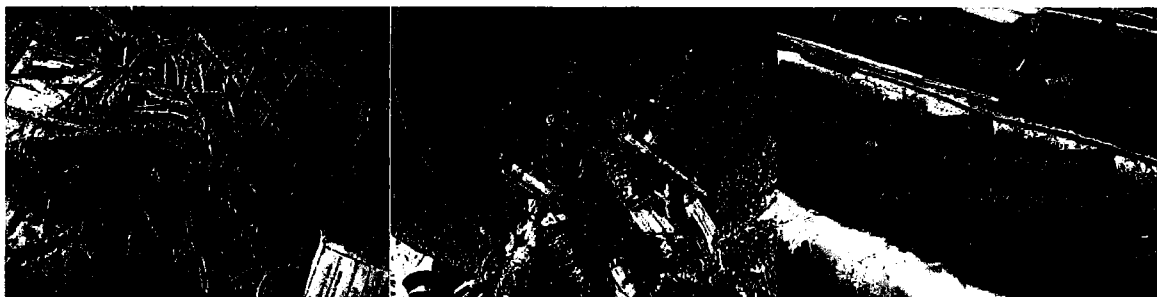


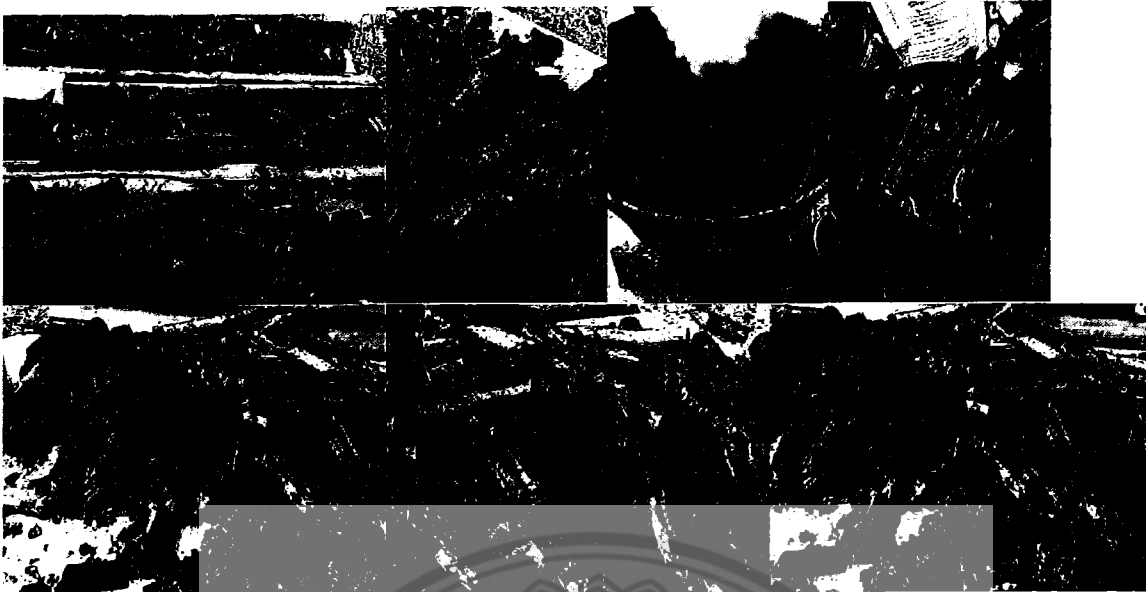
4.2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ ทำได้โดยนำเปลือกกล้วยพารา และตัดกิ่งไม้พาราเป็นท่อนๆ เพื่อนำไปเผาในถัง 200 ลิตร แปรรูปเบื้องต้นเป็นถ่านไม้ (charcoal) ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 4.2.3 การเผาเปลือกกล้วยพารา





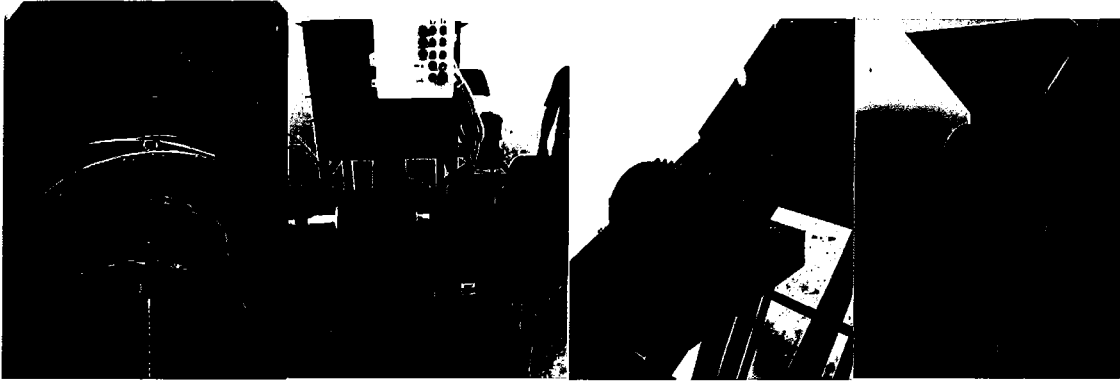
รูปที่ 4.2.4 การเผากิ่งไม้ยางพารา

4.2.3 การแปรรูปวัตถุดิบเป็นถ่านอัดแท่ง

การแปรรูปถ่านอัดแท่ง เป็นการนำวัตถุดิบเปลือกกล้วยพาราและกิ่งไม้ยางพาราที่เผาแล้ว นำมาผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยเครื่องจักรอีก 3 ขั้นตอน คือ การบด การผสม และการอัด โดยใช้แบริ่งเป็นตัวประสาน ในสูตรการผลิตถ่านอัดแท่งจำนวน 5 สูตร ในอัตราส่วนต่างๆ กันดังนี้

สูตรที่ 1	เปลือกกล้วยพารา 50%	กิ่งไม้ยางพารา 50%
สูตรที่ 2	เปลือกกล้วยพารา 70%	กิ่งไม้ยางพารา 30%
สูตรที่ 3	เปลือกกล้วยพารา 30%	กิ่งไม้ยางพารา 70%
สูตรที่ 4	เปลือกกล้วยพารา 100%	กิ่งไม้ยางพารา 0%
สูตรที่ 5	เปลือกกล้วยพารา 0%	กิ่งไม้ยางพารา 100%





รูปที่ 4.2.5 เครื่องจักรในการผลิตถ่านอัดแท่ง

ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งเริ่มจากการนำวัตถุดิบที่เผาแล้วนำมาบดย่อยด้วยเครื่องบด จากนั้นนำไปผสมในเครื่องผสมหรือเครื่องกวน ตามอัตราส่วนที่กำหนดพร้อมกับใส่ผงแป้งมันและน้ำ ผสมในเครื่องผสมหรือเครื่องกวน จนวัตถุดิบมีความชื้นที่เหมาะสม จึงนำเข้าสู่เครื่องอัดแท่ง ซึ่งมีใบมีดตัดถ่านอัดโนมัตในระหว่างการผลิต จากนั้นนำถ่านอัดแท่งที่ได้ ไปตากแดดให้แห้งสนิท



รูปที่ 4.2.6 การทำถ่านอัดแท่ง



4.3 ผลการวิเคราะห์

4.3.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ ถ่านจากเปลือกกล้วยพารา (Para rubber 001) และ ถ่านจากกิ่งไม้พารา (Para rubber 002) นำมาวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำในแต่ละรายการ โดยวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าสารระเหย ค่าถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน ดังตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 ผลการทดสอบถ่านจากเปลือกกล้วยพาราและกิ่งไม้พารา

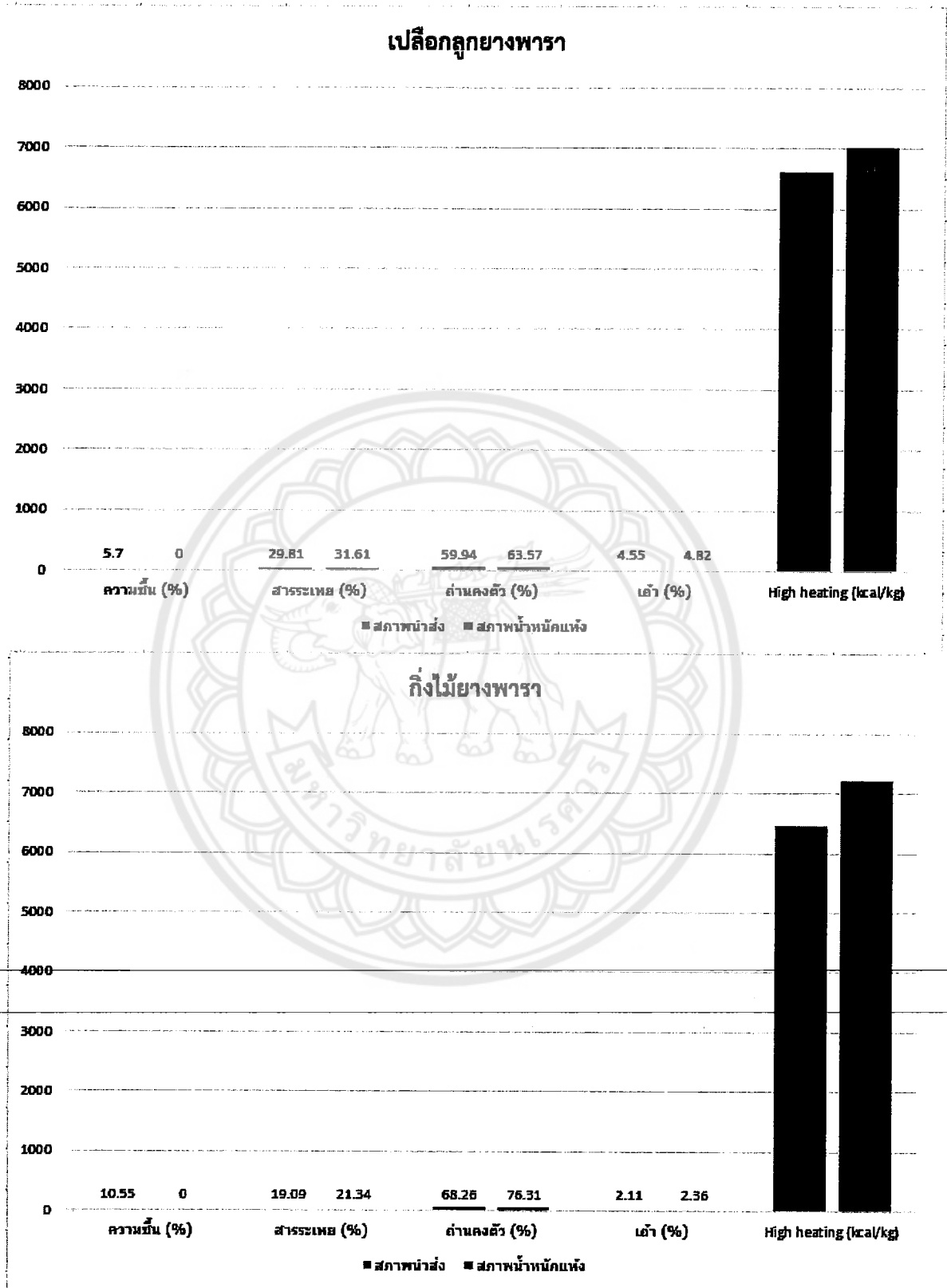
ตัวอย่าง	ถ้วย ที่	สภาพนำส่ง					สภาพน้ำหนักแห้ง				
		ความชื้น	สาร ระเหย	ถ่าน คงตัว	เถ้า	High heating	ความชื้น	สาร ระเหย	ถ่าน คงตัว	เถ้า	High heating
		%				kcal/kg	%				kcal/kg
เปลือก กล้วยพารา	1	5.71	29.76	60.05	4.48	6,619	-	31.56	63.69	4.75	7,020
	2	5.70	29.97	59.77	4.56	6,604	-	31.78	63.38	4.84	7,003
	3	5.69	29.70	60.01	4.60	6,605	-	31.49	63.63	4.88	7,003
	เฉลี่ย	5.70	29.81	59.94	4.55	6,609	-	31.61	63.57	4.82	7,009
กิ่งไม้ พารา	1	10.56	19.26	68.11	2.07	6,466	-	21.53	76.15	2.31	7,230
	2	10.51	18.93	68.41	2.15	6,454	-	21.15	76.44	2.40	7,212
	3	10.57	19.07	68.26	2.10	6,448	-	21.32	76.33	2.35	7,210
	เฉลี่ย	10.55	19.09	68.26	2.11	6,456	-	21.34	76.31	2.36	7,217

จากการวิเคราะห์วัตถุดิบ พบว่า เปลือกกล้วยพาราและกิ่งไม้พารา มีศักยภาพในด้านค่าพลังงานความร้อน ซึ่งมาตรฐานถ่านอัดแห้งได้กำหนดค่าความร้อนต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 kcal/kg จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแห้งที่มีศักยภาพ

ทั้งนี้ จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าเปลือกกล้วยพาราในสภาพนำส่งมีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,609 kcal/kg ส่วนกิ่งไม้พารามีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,456 kcal/kg ส่วนปริมาณถ่านคงตัวพบว่า กิ่งไม้พารามีปริมาณถ่านคงตัว (Fixed carbon) สูงกว่าเปลือกกล้วยพารา คือ 68.26% ส่วนเปลือกกล้วยพารามีปริมาณถ่านคงตัว 59.94%

ในสภาพน้ำหนักแห้ง พบว่า กิ่งไม้พารา มีค่าพลังงานความร้อนมากกว่าเปลือกกล้วยพารา คือ 7,217 kcal/kg ส่วนเปลือกกล้วยพารามีค่าความร้อน 7,009 kcal/kg สอดคล้องกับปริมาณถ่านคงตัว (Fixed carbon) ของกิ่งไม้พารา คือ 76.31% ส่วนเปลือกกล้วยพารามีปริมาณถ่านคงตัว 63.57% เพื่อให้เห็นความแตกต่างและแนวโน้มที่ชัดเจน ผู้วิจัยได้แสดงในรูปที่ 4.3.1





รูปที่ 4.3.1 ความเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแห้ง





4.3.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านอัดแห้ง ตามอัตราส่วนต่างๆ

การวิเคราะห์ถ่านอัดแห้ง ประกอบไปด้วยถ่านอัดแห้งจำนวน 5 สูตร ตามอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ผ่านพารามิเตอร์ 5 ประการ ได้แก่ ค่าความชื้น (moisture content) ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ปริมาณถ่านคงตัวหรือคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ปริมาณเถ้า (ash) และค่าความร้อน (heating value)

ตารางที่ 4.3.2 ผลการทดสอบถ่านอัดแห้งอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 5 สูตร

สูตรที่	ถั่ว ที่	สภาพน้ำสง					สภาพน้ำหนักแห้ง				
		ความชื้น	สาร ระเหย	ถ่าน คงตัว	เถ้า	High heating	ความชื้น	สาร ระเหย	ถ่าน คงตัว	เถ้า	High heating
		%				kcal/kg	%				kcal/kg
1	1	8.55	23.51	59.80	8.14	6,099	-	25.71	65.39	8.90	6,669
	2	8.49	23.59	59.62	8.30	6,068	-	25.78	65.15	9.07	6,631
	3	8.51	23.94	59.13	8.42	6,076	-	26.17	64.63	9.20	6,640
	เฉลี่ย	8.52	23.68	59.52	8.29	6,081	-	25.88	65.06	9.06	6,647
2	1	7.11	24.74	57.10	11.05	5,946	-	26.63	61.47	11.90	6,401
	2	6.99	23.39	58.13	11.49	5,941	-	25.15	62.50	12.35	6,388
	3	7.05	24.00	58.10	10.85	5,956	-	25.82	62.51	11.67	6,408
	เฉลี่ย	7.05	24.04	57.78	11.13	5,948	-	25.87	62.16	11.97	6,399
3	1	7.46	27.03	59.61	5.90	6,131	-	29.21	64.41	6.38	6,625
	2	7.42	27.07	59.32	6.19	6,171	-	29.24	64.07	6.69	6,665
	3	7.39	26.96	59.36	6.29	6,164	-	29.11	64.10	6.79	6,655
	เฉลี่ย	7.42	27.02	59.42	6.13	6,155	-	29.19	64.19	6.62	6,648
4	1	7.28	23.32	60.63	8.77	6,198	-	25.15	65.39	9.46	6,684
	2	7.20	23.81	59.79	9.20	6,181	-	25.66	64.43	9.91	6,661
	3	7.24	23.67	60.29	8.80	6,168	-	25.52	64.99	9.49	6,650
	เฉลี่ย	7.24	23.60	60.24	8.92	6,182	-	25.44	64.94	9.62	6,665
5	1	7.30	22.63	61.39	8.68	6,073	-	24.42	66.22	9.36	6,551
	2	7.25	23.21	60.53	9.01	6,080	-	25.02	65.26	9.72	6,555
	3	7.26	22.45	61.37	8.92	6,085	-	24.21	66.17	9.62	6,560
	เฉลี่ย	7.27	22.76	61.10	8.87	6,079	-	24.55	65.88	9.57	6,555

หมายเหตุ:

สูตรที่ 1	เปลือกลูกยางพารา 50%	กิ่งไม้ยางพารา 50%
สูตรที่ 2	เปลือกลูกยางพารา 70%	กิ่งไม้ยางพารา 30%
สูตรที่ 3	เปลือกลูกยางพารา 30%	กิ่งไม้ยางพารา 70%
สูตรที่ 4	เปลือกลูกยางพารา 100%	กิ่งไม้ยางพารา 0%
สูตรที่ 5	เปลือกลูกยางพารา 0%	กิ่งไม้ยางพารา 100%





ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและความร้อนของถ่านอัดแห้งข้างต้น โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) จากสมการ ต่อไปนี้

$$CV = k_r \sqrt{\frac{MS_e}{n_g}}$$

เมื่อ n คือ จำนวนค่าสังเกตที่รวมกันในแต่ละกลุ่ม

MSe คือ Mean Square of Error

จากการวิเคราะห์ถ่านอัดแห้ง จำนวน 5 สูตร ในสภาวะสภาพนำส่ง และสภาพน้ำหนักแห้ง ผ่านพารามิเตอร์ 5 ประการ ได้แก่ ค่าความชื้น (moisture content) ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ปริมาณถ่านคงตัวหรือคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ปริมาณเถ้า (ash) และค่าความร้อน (heating value) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) สภาพนำส่ง

ตารางที่ 4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของสภาพนำส่ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

		MOIST				
		N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^a	TRT1	3	7.0500			
	TRT2	3		7.2400		
	TRT3	3		7.2700		
	TRT4	3			7.4233	
	TRT5	3				8.5167
	Sig.			1.000	.382	1.000

จากตารางที่ 4.3.3 พบว่า TRT1 มีค่าความชื้นน้อยที่สุดและดีที่สุด รองลงมาคือ TRT2 TRT3 ตามลำดับ โดย TRT5 มีค่าความชื้นเกินมาตรฐาน (ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ส่วน TRT 2 และ TRT 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ TRT1 TRT4 TRT5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ





ตารางที่ 4.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของสภาพนำส่ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

VM

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
	TRT3	3	22.7633		
	TRT2	3		23.6000	
	TRT5	3		23.6800	
	TRT1	3		24.0433	
	TRT4	3			27.0200
	Sig.		1.000	.206	1.000

จากตารางที่ 4.3.4 พบว่า TRT4 มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด รองลงมาคือ TRT1 TRT5 TRT2 และ TRT3 ตามลำดับ ส่วน TRT2 TRT5 TRT1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ TRT3 และ TRT4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวของสภาพนำส่ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

FC

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT1	3	57.4433			
	TRT4	3		59.4300		
	TRT5	3		59.5167	59.5167	
	TRT2	3			60.2367	
	TRT3	3				61.0967
	Sig.		1.000	.806	.063	1.000

จากตารางที่ 4.3.5 พบว่า TRT3 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือ TRT2 TRT5 TRT4 และ TRT1 ตามลำดับ ส่วน TRT5 และ TRT2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย TRT4 และ TRT5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน TRT1 และ TRT3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ





ตารางที่ 4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของสภานำส่ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT
ASH

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT4	3	6.1267			
	TRT5	3		8.2867		
	TRT3	3			8.8700	
	TRT2	3			8.9233	
	TRT1	3				11.1300
	Sig.		1.000	1.000	.778	1.000

จากตารางที่ 4.3.6 พบว่า TRT1 มีปริมาณเถ้ามากที่สุด และ TRT4 มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด ถ่านอัดแท่งไม่ควรจะมีปริมาณเถ้ามากเกินไป ส่วน TRT3 และ TRT2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT4 TRT5 และ TRT1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของสภานำส่ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT
HEAT

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT1	3	5.9477E3			
	TRT3	3		6.0793E3		
	TRT5	3		6.0810E3		
	TRT4	3			6.1553E3	
	TRT2	3				6.1823E3
	Sig.		1.000	.890	1.000	1.000

จากตารางที่ 4.3.7 พบว่า TRT2 มีค่าความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ TRT4 TRT5 TRT3 และ TRT1 ตามลำดับ ส่วน TRT3 และ TRT5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT1 TRT4 TRT2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



(2) น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.3.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของสภาพน้ำหนักแห้ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

VM

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
	TRT3	3	24.5500		
	TRT2	3		25.4433	
	TRT1	3		25.8667	
	TRT5	3		25.8867	
	TRT4	3			29.1867
	Sig.		1.000	.240	1.000

จากตารางที่ 4.3.8 พบว่า TRT4 มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด รองลงมาคือ TRT5 TRT1 TRT2 และ TRT3 ตามลำดับ ส่วน TRT2 TRT1 TRT5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT3 และ TRT4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวของสภาพน้ำหนักแห้ง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

FC

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
	TRT1	3	62.1600		
	TRT4	3		64.1933	
	TRT2	3		64.9367	
	TRT5	3		65.0567	65.0567
	TRT3	3			65.8833
	Sig.		1.000	.053	.053





จากตารางที่ 4.3.9 พบว่า TRT3 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือ TRT5 TRT2 TRT4 และ TRT1 ตามลำดับ ส่วน TRT4 TRT2 และ TRT5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT1 และ TRT 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของสภาพน้ำหนักร้าง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

ASH

TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Duncan _a TRT4	3	6.6200			
TRT5	3		9.0567		
TRT3	3			9.5667	
TRT2	3			9.6200	
TRT1	3				11.9733
Sig.		1.000	1.000	.790	1.000

จากตารางที่ 4.3.10 พบว่า TRT1 มีปริมาณเถ้ามากที่สุด และ TRT4 มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด ส่วน TRT3 และ TRT2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT4 TRT5 และ TRT1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3.11 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของสภาพน้ำหนักร้าง จำนวน 5 Treatment (TRT) ด้วย DMRT

HEAT

TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Duncan _a TRT1	3	6.3990E3		
TRT3	3		6.5553E3	
TRT5	3			6.6467E3
TRT4	3			6.6483E3
TRT2	3			6.6650E3
Sig.		1.000	1.000	.205

จากตารางที่ 4.3.11 พบว่า TRT2 มีค่าความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ TRT4 TRT5 TRT3 และ TRT1 ตามลำดับ ส่วน TRT5 TRT4 และ TRT2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TRT1 และ TRT3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ





4.3.3 มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ประเภทถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 ได้กำหนดขอบข่าย มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านผงหรือถ่านเม็ดมาอัดเป็นแท่ง หรือ ทำจากวัสดุธรรมชาติ มาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน โดยได้กำหนดคุณลักษณะถ่านอัดแท่งที่ต้องการไว้ดังนี้

- (1) ลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกัน ต้องมีรูปร่างเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง
- (2) การใช้งาน เมื่อติดไฟ ต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น
- (3) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก
- (4) ค่าความร้อน ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

4.3.4 การออกแบบผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งต้นแบบ

การออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้เน้นการใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ ตามแนวคิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยมีต้นแบบในขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 4.3.4.1 ต้นแบบถ่านอัดแท่งในโครงการ

Oneway

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
						Lower Bound	Upper Bound
MOIST	TRT1	3	7.0500	.06000	.03464	6.9010	7.1990
	TRT2	3	7.2400	.04000	.02309	7.1406	7.3394
	TRT3	3	7.2700	.02646	.01528	7.2043	7.3357
	TRT4	3	7.4233	.03512	.02028	7.3361	7.5106
	TRT5	3	8.5167	.03055	.01764	8.4408	8.5926
	Total	15	7.5000	.54140	.13979	7.2002	7.7998
VM	TRT1	3	24.0433	.67604	.39031	22.3640	25.7227
	TRT2	3	23.6000	.25239	.14572	22.9730	24.2270
	TRT3	3	22.7633	.39716	.22930	21.7767	23.7499
	TRT4	3	27.0200	.05568	.03215	26.8817	27.1583
	TRT5	3	23.6800	.22869	.13204	23.1119	24.2481
	Total	15	24.2213	1.54631	.39926	23.3650	25.0777
FC	TRT1	3	57.4433	.56889	.32845	56.0301	58.8565
	TRT2	3	60.2367	.42253	.24395	59.1870	61.2863
	TRT3	3	61.0967	.49085	.28339	59.8773	62.3160
	TRT4	3	59.4300	.15716	.09074	59.0396	59.8204
	TRT5	3	59.5167	.34675	.20019	58.6553	60.3780
	Total	15	59.5447	1.30185	.33614	58.8237	60.2656
ASH	TRT1	3	11.1300	.32741	.18903	10.3167	11.9433
	TRT2	3	8.9233	.24007	.13860	8.3270	9.5197
	TRT3	3	8.8700	.17059	.09849	8.4462	9.2938
	TRT4	3	6.1267	.20257	.11695	5.6235	6.6299
	TRT5	3	8.2867	.14048	.08110	7.9377	8.6356
	Total	15	8.6673	1.66526	.42997	7.7451	9.5895
HEAT	TRT1	3	5.9477E3	7.63763	4.40959	5928.6938	5966.6396
	TRT2	3	6.1823E3	15.04438	8.68588	6144.9610	6219.7056
	TRT3	3	6.0793E3	6.02771	3.48010	6064.3597	6094.3070
	TRT4	3	6.1553E3	21.36196	12.33333	6102.2673	6208.3994
	TRT5	3	6.0810E3	16.09348	9.29157	6041.0216	6120.9784
	Total	15	6.0891E3	85.27424	22.01771	6041.9100	6136.3566

Descriptives

		Minimum	Maximum
MOIST	TRT1	6.99	7.11
	TRT2	7.20	7.28
	TRT3	7.25	7.30
	TRT4	7.39	7.46
	TRT5	8.49	8.55
	Total	6.99	8.55
VM	TRT1	23.39	24.74
	TRT2	23.32	23.81
	TRT3	22.45	23.21
	TRT4	26.96	27.07
	TRT5	23.51	23.94
	Total	22.45	27.07
FC	TRT1	57.10	58.10
	TRT2	59.79	60.63
	TRT3	60.53	61.39
	TRT4	59.32	59.61
	TRT5	59.13	59.80
	Total	57.10	61.39
ASH	TRT1	10.85	11.49
	TRT2	8.77	9.20
	TRT3	8.68	9.01
	TRT4	5.90	6.29
	TRT5	8.14	8.42
	Total	5.90	11.49
HEAT	TRT1	5941.00	5956.00
	TRT2	6168.00	6198.00
	TRT3	6073.00	6085.00
	TRT4	6131.00	6171.00
	TRT5	6068.00	6099.00
	Total	5941.00	6198.00

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MOIST	Between Groups	4.087	4	1.022	633.388	.000
	Within Groups	.016	10	.002		
	Total	4.104	14			
VM	Between Groups	32.007	4	8.002	54.518	.000
	Within Groups	1.468	10	.147		

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VM	Total	33.475	14			
FC	Between Groups	21.951	4	5.488	30.899	.000
	Within Groups	1.776	10	.178		
	Total	23.727	14			
ASH	Between Groups	38.314	4	9.578	188.033	.000
	Within Groups	.509	10	.051		
	Total	38.823	14			
HEAT	Between Groups	99731.067	4	24932.767	120.293	.000
	Within Groups	2072.667	10	207.267		
	Total	101803.733	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
MOIST	LSD	TRT1	TRT2	-.19000*	.03280	.000	-.2631	-.1169
		TRT3	-.22000*	.03280	.000	-.2931	-.1469	
		TRT4	-.37333*	.03280	.000	-.4464	-.3003	
		TRT5	-1.46667*	.03280	.000	-1.5397	-1.3936	
		TRT2	TRT1	.19000*	.03280	.000	.1169	.2631
		TRT3	-.03000	.03280	.382	-.1031	.0431	
		TRT4	-.18333*	.03280	.000	-.2564	-.1103	
		TRT5	-1.27667*	.03280	.000	-1.3497	-1.2036	
		TRT3	TRT1	.22000*	.03280	.000	.1469	.2931
		TRT2	.03000	.03280	.382	-.0431	.1031	
		TRT4	-.15333*	.03280	.001	-.2264	-.0803	
		TRT5	-1.24667*	.03280	.000	-1.3197	-1.1736	
		TRT4	TRT1	.37333*	.03280	.000	.3003	.4464
		TRT2	.18333*	.03280	.000	.1103	.2564	
		TRT3	.15333*	.03280	.001	.0803	.2264	
		TRT5	-1.09333*	.03280	.000	-1.1664	-1.0203	
		TRT5	TRT1	1.46667*	.03280	.000	1.3936	1.5397
		TRT2	1.27667*	.03280	.000	1.2036	1.3497	
		TRT3	1.24667*	.03280	.000	1.1736	1.3197	

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
MOIST	LSD	TRT5	TRT4	1.09333*	.03280	.000	1.0203	1.1664
VM	LSD	TRT1	TRT2	.44333	.31281	.187	-.2536	1.1403
			TRT3	1.28000*	.31281	.002	.5830	1.9770
			TRT4	-2.97667*	.31281	.000	-3.6736	-2.2797
			TRT5	.36333	.31281	.272	-.3336	1.0603
			TRT2	TRT1	-.44333	.31281	.187	-1.1403
	TRT3	TRT1	.83667*	.31281	.023	.1397	1.5336	
		TRT4	-3.42000*	.31281	.000	-4.1170	-2.7230	
		TRT5	-.08000	.31281	.803	-.7770	.6170	
		TRT1	TRT1	-1.28000*	.31281	.002	-1.9770	-.5830
		TRT2	-.83667*	.31281	.023	-1.5336	-.1397	
	TRT4	TRT4	-4.25667*	.31281	.000	-4.9536	-3.5597	
		TRT5	-.91667*	.31281	.015	-1.6136	-.2197	
		TRT1	TRT1	2.97667*	.31281	.000	2.2797	3.6736
		TRT2	3.42000*	.31281	.000	2.7230	4.1170	
		TRT3	4.25667*	.31281	.000	3.5597	4.9536	
	TRT5	TRT5	3.34000*	.31281	.000	2.6430	4.0370	
		TRT1	-.36333	.31281	.272	-1.0603	.3336	
		TRT2	.08000	.31281	.803	-.6170	.7770	
		TRT3	.91667*	.31281	.015	.2197	1.6136	
		TRT4	-3.34000*	.31281	.000	-4.0370	-2.6430	
FC	LSD	TRT1	TRT2	-2.79333*	.34410	.000	-3.5600	-2.0266
			TRT3	-3.65333*	.34410	.000	-4.4200	-2.8866
			TRT4	-1.98667*	.34410	.000	-2.7534	-1.2200
			TRT5	-2.07333*	.34410	.000	-2.8400	-1.3066
			TRT2	TRT1	2.79333*	.34410	.000	2.0266
	TRT3	TRT3	-.86000*	.34410	.031	-1.6267	-.0933	
		TRT4	.80667*	.34410	.041	.0400	1.5734	
		TRT5	.72000	.34410	.063	-.0467	1.4867	
		TRT1	TRT1	3.65333*	.34410	.000	2.8866	4.4200
		TRT2	.86000*	.34410	.031	.0933	1.6267	
	TRT4	TRT4	1.66667*	.34410	.001	.9000	2.4334	
		TRT5	1.58000*	.34410	.001	.8133	2.3467	
		TRT1	TRT1	1.98667*	.34410	.000	1.2200	2.7534
		TRT2	-.80667*	.34410	.041	-1.5734	-.0400	
		TRT3	-1.66667*	.34410	.001	-2.4334	-.9000	
	TRT5	TRT5	-.08667	.34410	.806	-.8534	.6800	
		TRT1	TRT1	2.07333*	.34410	.000	1.3066	2.8400
			TRT2	-.72000	.34410	.063	-1.4867	.0467

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable	LSD	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
FC	LSD	TRT5	TRT3	-1.58000*	.34410	.001	-2.3467	-.8133
			TRT4	.08667	.34410	.806	-.6800	.8534
ASH	LSD	TRT1	TRT2	2.20667*	.18428	.000	1.7961	2.6173
			TRT3	2.26000*	.18428	.000	1.8494	2.6706
			TRT4	5.00333*	.18428	.000	4.5927	5.4139
			TRT5	2.84333*	.18428	.000	2.4327	3.2539
		TRT2	TRT1	-2.20667*	.18428	.000	-2.6173	-1.7961
			TRT3	.05333	.18428	.778	-.3573	.4639
			TRT4	2.79667*	.18428	.000	2.3861	3.2073
			TRT5	.63667*	.18428	.006	.2261	1.0473
		TRT3	TRT1	-2.26000*	.18428	.000	-2.6706	-1.8494
			TRT2	-.05333	.18428	.778	-.4639	.3573
			TRT4	2.74333*	.18428	.000	2.3327	3.1539
			TRT5	.58333*	.18428	.010	.1727	.9939
		TRT4	TRT1	-5.00333*	.18428	.000	-5.4139	-4.5927
			TRT2	-2.79667*	.18428	.000	-3.2073	-2.3861
			TRT3	-2.74333*	.18428	.000	-3.1539	-2.3327
			TRT5	-2.16000*	.18428	.000	-2.5706	-1.7494
		TRT5	TRT1	-2.84333*	.18428	.000	-3.2539	-2.4327
			TRT2	-.63667*	.18428	.006	-1.0473	-.2261
			TRT3	-.58333*	.18428	.010	-.9939	-.1727
			TRT4	2.16000*	.18428	.000	1.7494	2.5706
HEAT	LSD	TRT1	TRT2	-234.66667*	11.75490	.000	-260.8582	-208.4751
			TRT3	-131.66667*	11.75490	.000	-157.8582	-105.4751
			TRT4	-207.66667*	11.75490	.000	-233.8582	-181.4751
			TRT5	-133.33333*	11.75490	.000	-159.5249	-107.1418
		TRT2	TRT1	234.66667*	11.75490	.000	208.4751	260.8582
			TRT3	103.00000*	11.75490	.000	76.8084	129.1916
			TRT4	27.00000*	11.75490	.044	.8084	53.1916
			TRT5	101.33333*	11.75490	.000	75.1418	127.5249
		TRT3	TRT1	131.66667*	11.75490	.000	105.4751	157.8582
			TRT2	-103.00000*	11.75490	.000	-129.1916	-76.8084
			TRT4	-76.00000*	11.75490	.000	-102.1916	-49.8084
			TRT5	-1.66667	11.75490	.890	-27.8582	24.5249
		TRT4	TRT1	207.66667*	11.75490	.000	181.4751	233.8582
			TRT2	-27.00000*	11.75490	.044	-53.1916	-.8084
			TRT3	76.00000*	11.75490	.000	49.8084	102.1916
			TRT5	74.33333*	11.75490	.000	48.1418	100.5249
		TRT5	TRT1	133.33333*	11.75490	.000	107.1418	159.5249

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
HEAT LSD		TRT5 TRT2	-101.33333*	11.75490	.000	-127.5249	-75.1418
		TRT3	1.66667	11.75490	.890	-24.5249	27.8582
		TRT4	-74.33333*	11.75490	.000	-100.5249	-48.1418

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

MOIST

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT1	3	7.0500			
	TRT2	3		7.2400		
	TRT3	3		7.2700		
	TRT4	3			7.4233	
	TRT5	3				8.5167
	Sig.		1.000	.382	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

VM

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
	TRT3	3	22.7633		
	TRT2	3		23.6000	
	TRT5	3		23.6800	
	TRT1	3		24.0433	
	TRT4	3			27.0200
	Sig.		1.000	.206	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

FC

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT1	3	57.4433			
	TRT4	3		59.4300		
	TRT5	3		59.5167	59.5167	
	TRT2	3			60.2367	
	TRT3	3				61.0967
	Sig.		1.000	.806	.063	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ASH

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT4	3	6.1267			
	TRT5	3		8.2867		
	TRT3	3			8.8700	
	TRT2	3			8.9233	
	TRT1	3				11.1300
	Sig.		1.000	1.000	.778	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

HEAT

Duncan ^a	TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	TRT1	3	5.9477E3			
	TRT3	3		6.0793E3		
	TRT5	3		6.0810E3		
	TRT4	3			6.1553E3	
	TRT2	3				6.1823E3
	Sig.		1.000	.890	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



Oneway

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
						Lower Bound	Upper Bound
MOIST	TRT1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
	TRT2	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
	TRT3	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
	TRT4	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
	TRT5	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
	Total	15	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000
VM	TRT1	3	25.8667	.74110	.42788	24.0257	27.7077
	TRT2	3	25.4433	.26350	.15213	24.7888	26.0979
	TRT3	3	24.5500	.42036	.24269	23.5058	25.5942
	TRT4	3	29.1867	.06807	.03930	29.0176	29.3558
	TRT5	3	25.8867	.24786	.14310	25.2710	26.5024
	Total	15	26.1867	1.66891	.43091	25.2625	27.1109
FC	TRT1	3	62.1600	.59758	.34501	60.6755	63.6445
	TRT2	3	64.9367	.48222	.27841	63.7388	66.1346
	TRT3	3	65.8833	.54040	.31200	64.5409	67.2258
	TRT4	3	64.1933	.18824	.10868	63.7257	64.6609
	TRT5	3	65.0567	.38850	.22430	64.0916	66.0218
	Total	15	64.4460	1.36392	.35216	63.6907	65.2013
ASH	TRT1	3	11.9733	.34588	.19969	11.1141	12.8325
	TRT2	3	9.6200	.25159	.14526	8.9950	10.2450
	TRT3	3	9.5667	.18583	.10729	9.1050	10.0283
	TRT4	3	6.6200	.21378	.12342	6.0890	7.1510
	TRT5	3	9.0567	.15044	.08686	8.6829	9.4304
	Total	15	9.3673	1.77662	.45872	8.3835	10.3512
HEAT	TRT1	3	6.3990E3	10.14889	5.85947	6373.7888	6424.2112
	TRT2	3	6.6650E3	17.34935	10.01665	6621.9018	6708.0982
	TRT3	3	6.5553E3	4.50925	2.60342	6544.1317	6566.5349
	TRT4	3	6.6483E3	20.81666	12.01850	6596.6219	6700.0448
	TRT5	3	6.6467E3	19.85783	11.46492	6597.3371	6695.9962
	Total	15	6.5829E3	104.02806	26.85993	6525.2578	6640.4755

Descriptives

		Minimum	Maximum
MOIST	TRT1	.00	.00
	TRT2	.00	.00
	TRT3	.00	.00
	TRT4	.00	.00
	TRT5	.00	.00
	Total	.00	.00
VM	TRT1	25.15	26.63
	TRT2	25.15	25.66
	TRT3	24.21	25.02
	TRT4	29.11	29.24
	TRT5	25.71	26.17
	Total	24.21	29.24
FC	TRT1	61.47	62.51
	TRT2	64.43	65.39
	TRT3	65.26	66.22
	TRT4	64.07	64.41
	TRT5	64.63	65.39
	Total	61.47	66.22
ASH	TRT1	11.67	12.35
	TRT2	9.46	9.91
	TRT3	9.36	9.72
	TRT4	6.38	6.79
	TRT5	8.90	9.20
	Total	6.38	12.35
HEAT	TRT1	6388.00	6408.00
	TRT2	6650.00	6684.00
	TRT3	6551.00	6560.00
	TRT4	6625.00	6665.00
	TRT5	6631.00	6669.00
	Total	6388.00	6684.00

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MOIST	Between Groups	.000	4	.000		
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.000	14			
VM	Between Groups	37.271	4	9.318	54.083	.000
	Within Groups	1.723	10	.172		

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VM	Total	38.994	14			
FC	Between Groups	23.908	4	5.977	27.981	.000
	Within Groups	2.136	10	.214		
	Total	26.044	14			
ASH	Between Groups	43.617	4	10.904	190.769	.000
	Within Groups	.572	10	.057		
	Total	44.189	14			
HEAT	Between Groups	149001.733	4	37250.433	148.764	.000
	Within Groups	2504.000	10	250.400		
	Total	151505.733	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
VM	LSD	TRT1	TRT2	.42333	.33891	.240	-.3318	1.1785
		TRT3	1.31667*	.33891	.003	.5615	2.0718	
		TRT4	-3.32000*	.33891	.000	-4.0751	-2.5649	
		TRT5	-.02000	.33891	.954	-.7751	.7351	
		TRT2	TRT1	-.42333	.33891	.240	-1.1785	.3318
		TRT3	.89333*	.33891	.025	.1382	1.6485	
		TRT4	-3.74333*	.33891	.000	-4.4985	-2.9882	
		TRT5	-.44333	.33891	.220	-1.1985	.3118	
		TRT3	TRT1	-1.31667*	.33891	.003	-2.0718	-.5615
			TRT2	-.89333*	.33891	.025	-1.6485	-.1382
			TRT4	-4.63667*	.33891	.000	-5.3918	-3.8815
			TRT5	-1.33667*	.33891	.003	-2.0918	-.5815
		TRT4	TRT1	3.32000*	.33891	.000	2.5649	4.0751
			TRT2	3.74333*	.33891	.000	2.9882	4.4985
			TRT3	4.63667*	.33891	.000	3.8815	5.3918
			TRT5	3.30000*	.33891	.000	2.5449	4.0551
		TRT5	TRT1	.02000	.33891	.954	-.7351	.7751
			TRT2	.44333	.33891	.220	-.3118	1.1985
			TRT3	1.33667*	.33891	.003	.5815	2.0918

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
VM	LSD	TRT5	TRT4	-3.30000*	.33891	.000	-4.0551	-2.5449
FC	LSD	TRT1	TRT2	-2.77667*	.37737	.000	-3.6175	-1.9358
			TRT3	-3.72333*	.37737	.000	-4.5642	-2.8825
			TRT4	-2.03333*	.37737	.000	-2.8742	-1.1925
			TRT5	-2.89667*	.37737	.000	-3.7375	-2.0558
		TRT2	TRT1	2.77667*	.37737	.000	1.9358	3.6175
			TRT3	-.94667*	.37737	.031	-1.7875	-.1058
			TRT4	.74333	.37737	.077	-.0975	1.5842
			TRT5	-.12000	.37737	.757	-.9608	.7208
		TRT3	TRT1	3.72333*	.37737	.000	2.8825	4.5642
			TRT2	.94667*	.37737	.031	.1058	1.7875
			TRT4	1.69000*	.37737	.001	.8492	2.5308
			TRT5	.82667	.37737	.053	-.0142	1.6675
		TRT4	TRT1	2.03333*	.37737	.000	1.1925	2.8742
			TRT2	-.74333	.37737	.077	-1.5842	.0975
			TRT3	-1.69000*	.37737	.001	-2.5308	-.8492
			TRT5	-.86333*	.37737	.045	-1.7042	-.0225
		TRT5	TRT1	2.89667*	.37737	.000	2.0558	3.7375
			TRT2	.12000	.37737	.757	-.7208	.9608
			TRT3	-.82667	.37737	.053	-1.6675	.0142
			TRT4	.86333*	.37737	.045	.0225	1.7042
ASH	LSD	TRT1	TRT2	2.35333*	.19521	.000	1.9184	2.7883
			TRT3	2.40667*	.19521	.000	1.9717	2.8416
			TRT4	5.35333*	.19521	.000	4.9184	5.7883
			TRT5	2.91667*	.19521	.000	2.4817	3.3516
		TRT2	TRT1	-2.35333*	.19521	.000	-2.7883	-1.9184
			TRT3	.05333	.19521	.790	-.3816	.4883
			TRT4	3.00000*	.19521	.000	2.5650	3.4350
			TRT5	.56333*	.19521	.016	.1284	.9983
		TRT3	TRT1	-2.40667*	.19521	.000	-2.8416	-1.9717
			TRT2	-.05333	.19521	.790	-.4883	.3816
			TRT4	2.94667*	.19521	.000	2.5117	3.3816
			TRT5	.51000*	.19521	.026	.0750	.9450
		TRT4	TRT1	-5.35333*	.19521	.000	-5.7883	-4.9184
			TRT2	-3.00000*	.19521	.000	-3.4350	-2.5650
			TRT3	-2.94667*	.19521	.000	-3.3816	-2.5117
			TRT5	-2.43667*	.19521	.000	-2.8716	-2.0017
		TRT5	TRT1	-2.91667*	.19521	.000	-3.3516	-2.4817
			TRT2	-.56333*	.19521	.016	-.9983	-.1284

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable	LSD	(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
ASH	LSD	TRT5	TRT3	-.51000*	.19521	.026	-.9450	-.0750
			TRT4	2.43667*	.19521	.000	2.0017	2.8716
HEAT	LSD	TRT1	TRT2	-266.00000*	12.92027	.000	-294.7882	-237.2118
			TRT3	-156.33333*	12.92027	.000	-185.1215	-127.5452
			TRT4	-249.33333*	12.92027	.000	-278.1215	-220.5452
			TRT5	-247.66667*	12.92027	.000	-276.4548	-218.8785
		TRT2	TRT1	266.00000*	12.92027	.000	237.2118	294.7882
			TRT3	109.66667*	12.92027	.000	80.8785	138.4548
			TRT4	16.66667	12.92027	.226	-12.1215	45.4548
			TRT5	18.33333	12.92027	.186	-10.4548	47.1215
		TRT3	TRT1	156.33333*	12.92027	.000	127.5452	185.1215
			TRT2	-109.66667*	12.92027	.000	-138.4548	-80.8785
			TRT4	-93.00000*	12.92027	.000	-121.7882	-64.2118
			TRT5	-91.33333*	12.92027	.000	-120.1215	-62.5452
		TRT4	TRT1	249.33333*	12.92027	.000	220.5452	278.1215
			TRT2	-16.66667	12.92027	.226	-45.4548	12.1215
			TRT3	93.00000*	12.92027	.000	64.2118	121.7882
			TRT5	1.66667	12.92027	.900	-27.1215	30.4548
		TRT5	TRT1	247.66667*	12.92027	.000	218.8785	276.4548
			TRT2	-18.33333	12.92027	.186	-47.1215	10.4548
			TRT3	91.33333*	12.92027	.000	62.5452	120.1215
			TRT4	-1.66667	12.92027	.900	-30.4548	27.1215

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

VM

	TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Duncan ^a	TRT3	3	24.5500		
	TRT2	3		25.4433	
	TRT1	3		25.8667	
	TRT5	3		25.8867	
	TRT4	3			29.1867
	Sig.			1.000	.240

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

FC

		N	Subset for alpha = 0.05		
TRT			1	2	3
Duncan ^a	TRT1	3	62.1600		
	TRT4	3		64.1933	
	TRT2	3		64.9367	
	TRT5	3		65.0567	65.0567
	TRT3	3			65.8833
	Sig.			1.000	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ASH

		N	Subset for alpha = 0.05			
TRT			1	2	3	4
Duncan ^a	TRT4	3	6.6200			
	TRT5	3		9.0567		
	TRT3	3			9.5667	
	TRT2	3			9.6200	
	TRT1	3				11.9733
	Sig.			1.000	1.000	.790

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

HEAT

		N	Subset for alpha = 0.05		
TRT			1	2	3
Duncan ^a	TRT1	3	6.3990E3		
	TRT3	3		6.5553E3	
	TRT5	3			6.6467E3
	TRT4	3			6.6483E3
	TRT2	3			6.6650E3
Sig.			1.000	1.000	.205

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



คำขอบริการที่ สทพ. 191/61

ที่ ทป. 673-674-08/61

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

หน่วยวิจัยและพัฒนาฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร

การทดสอบ / วิเคราะห์ Para rubber 001 and Para rubber 002

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

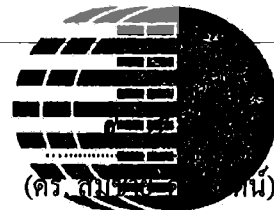
ตัวอย่าง	ถ้วยที่	สภาพน้ำสง					สภาพน้ำหนักแห้ง				
		ความชื้น	สารระเหย	ถ่านคงตัว	เถ้า	High heating	ความชื้น	สารระเหย	ถ่านคงตัว	เถ้า	High heating
		%				kcal/kg	%				kcal/kg
Para rubber 001	1	5.71	29.76	60.05	4.48	6,619	-	31.56	63.69	4.75	7,020
	2	5.70	29.97	59.77	4.56	6,604	-	31.78	63.38	4.84	7,003
	3	5.69	29.70	60.01	4.60	6,605	-	31.49	63.63	4.88	7,003
	เฉลี่ย	5.70	29.81	10.91	4.55	6,609		31.61	63.57	4.82	7,009
Para rubber 002	1	10.56	19.26	68.11	2.07	6,466	-	21.53	76.15	2.31	7,230
	2	10.51	18.93	68.41	2.15	6,454	-	21.15	76.44	2.40	7,212
	3	10.57	19.07	68.26	2.10	6,448	-	21.32	76.33	2.35	7,210
	เฉลี่ย	10.55	19.09	68.26	2.11	6,456		21.34	76.31	2.36	7,217

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1.

2.

ผู้รับรอง



(ดร. สมชาย วัฒน)

วว-TISTR

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม

ผู้ตรวจสอบ

(ดร. ชนาภานต์ เพิ่มฉลาด)

วันที่ 30 สิงหาคม 2561

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

๓๕ หมู่ ๓ เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐

โทร.(๖๖) ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๔

E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-EIE-13

วิสัยทัศน์ : วว. เป็นองค์กรชั้นนำในการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อสร้างสังคมนวัตกรรมอย่างยั่งยืน



คำขอบริการที่ ศนพ. 158/62

ที่ ทป. 459-460-06/62

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์ ให้แก่อ

หน่วยวิจัยและพัฒนาฯ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

การทดสอบ / วิเคราะห์ ถ่านอัดแท่ง

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

ตัวอย่าง	ถ้วยที่	สภาพน้ำส่ง					สภาพน้ำหนักแห้ง				
		ความชื้น	สารระเหย	ถ่านคงตัว	เถ้า	High heating value	ความชื้น	สารระเหย	ถ่านคงตัว	เถ้า	High heating value
		%				kcal/kg	%				kcal/kg
ถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างที่ 1	1	7.11	24.74	57.10	11.05	5,946	-	26.63	61.47	11.90	6,401
	2	6.99	23.39	58.13	11.49	5,941	-	25.15	62.50	12.35	6,388
	3	7.05	24.00	58.10	10.85	5,956	-	25.82	62.51	11.67	6,408
	เฉลี่ย	7.05	24.04	57.78	11.13	5,948	-	25.87	62.16	11.97	6,399
ถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างที่ 2	1	7.28	23.32	60.63	8.77	6,198	-	25.15	65.39	9.46	6,684
	2	7.20	23.81	59.79	9.20	6,181	-	25.66	64.43	9.91	6,661
	3	7.24	23.67	60.29	8.80	6,168	-	25.52	64.99	9.49	6,650
	เฉลี่ย	7.24	23.60	60.24	8.92	6,182	-	25.44	64.94	9.62	6,665

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. _____

ผู้ตรวจสอบ

(ดร. บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

ผู้รับรอง



(ดร. บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

รักษาการผู้อำนวยการ
ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม

วันที่ 10 มิถุนายน 2562

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น

ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

๓๕ หมู่ ๓ เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐

โทร.(๖๖) ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๕

E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

วิสัยทัศน์ : วว. เป็นองค์กรชั้นนำในการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อสร้างสังคมนวัตกรรมอย่างยั่งยืน

FM-EIE-13



คำขอบริการที่ ศนพ. 122/63

ที่ ทบ. 413-415-04/63
หน้าที่ 1 ของ 2**รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์**
ให้แก่**หน่วยวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนเรศวร**

การทดสอบ / วิเคราะห์ ตัวอย่างถ่านอัดแท่ง

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง	ถ้วยที่	คุณสมบัติตามสภานำส่ง				
		ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	ถ่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)
ถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างที่ 3	1	7.30	22.63	61.39	8.68	6,073
	2	7.25	23.21	60.53	9.01	6,080
	3	7.26	22.45	61.37	8.92	6,085
	เฉลี่ย	7.27	22.76	61.10	8.87	6,079
ถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างที่ 4	1	7.46	27.03	59.61	5.90	6,131
	2	7.42	27.07	59.32	6.19	6,171
	3	7.39	26.96	59.36	6.29	6,164
	เฉลี่ย	7.42	27.02	59.43	6.13	6,155
ถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างที่ 5	1	8.55	23.51	59.80	8.14	6,099
	2	8.49	23.59	59.62	8.30	6,068
	3	8.51	23.94	59.13	8.42	6,076
	เฉลี่ย	8.52	23.68	59.52	8.29	6,081

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

FM-EIE-13

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

๓๕ หมู่ ๓ เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร.(๖๖) ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๗๗ ๕๐๐๕
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

วิสัยทัศน์ : วว. เป็นองค์กรชั้นนำในการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อสร้างสังคมนวัตกรรมอย่างยั่งยืน



คำขอบริการที่ ศนพ. 122/63

ที่ ทบ. 413-415-04/63
หน้าที่ 2 ของ 2

ชื่อตัวอย่าง	ถ้วยที่	คุณสมบัติตามสภาพน้ำหนักแห้ง				
		ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	ถ่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)
ถ่านอัดแห้ง ตัวอย่างที่ 3	1	-	24.42	66.22	9.36	6,551
	2	-	25.02	65.26	9.72	6,555
	3	-	24.21	66.17	9.62	6,560
	เฉลี่ย	-	24.55	65.88	9.57	6,555
ถ่านอัดแห้ง ตัวอย่างที่ 4	1	-	29.21	64.41	6.38	6,625
	2	-	29.24	64.07	6.69	6,665
	3	-	29.11	64.10	6.79	6,655
	เฉลี่ย	-	29.19	64.19	6.62	6,648
ถ่านอัดแห้ง ตัวอย่างที่ 5	1	-	25.71	65.39	8.90	6,669
	2	-	25.78	65.15	9.07	6,631
	3	-	26.17	64.63	9.20	6,640
	เฉลี่ย	-	25.88	65.06	9.06	6,647

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

ผู้รับรอง

-
- วิชัย



ดร. วิชัย
(นายเฉลิมชัย จีระพันธุ์)
ผู้อำนวยการ

ผู้ตรวจสอบ

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม

ดร. วิชัย
(ดร. บิรสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

วันที่ 30 เมษายน 2563

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

FM-EIE-13

๓๕ หมู่ ๓ เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร.(๖๖) ๐ ๒๕๓๗ ๕๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๓๗ ๕๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

วิสัยทัศน์ : วว. เป็นองค์กรชั้นนำในการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อสร้างสังคมนวัตกรรมอย่างยั่งยืน