มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนถ่านจากไม้

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง ผู้ร่วมโครงการวิจัย

รายงานวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยทางเทคโนโลยีและการผลิต ได้รับทุนสนับสนุนประจำปี 2548

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

พ.ศ. 2549

งานห้องสมุดกลางเทเวศร์
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
วันที่ - 5 พ.ค. 2552
เลขทะเบียน 000127
เลขหมู่ วจ.

ส4617ก

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนถ่านจากไม้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ วิทยาเขตพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรียะ และอาจารย์สิงห์แก้ว ป๊อกเหิ่ง

เรื่อง : การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนถ่านจากไม้

สาขาวิชา : โครงการวิจัยทางเทคโนโลยีและการผลิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง และศึกษาเปรียบเทียบการผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ ประเภท ซังข้าวโพดและใบไม้แห้ง และวัสดุอื่น โดยผสมวัสดุเหลือใช้กับแป้งและน้ำในสัดส่วนต่างกัน ได้แก่ 93 : 4 : 3, 94 : 3 : 3, 95 : 3 : 2, 96 : 2 : 2 ตามลำดับ โดยผ่านกระบวนการทำให้วัสดุกลายเป็นคาร์บอน เริ่มจากการเผา การบด การผสม การอบ และการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์แท่งถ่าน และการถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน เป็นการต่อยอดผลงานวิจัยให้สามารถใช้ประโยชน์ได้จริง

ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 – 120°C ภายใต้ระยะเวลาต่างกันที่ 6 ชม., 10 ชม., 15 ชม. และ 48 ชม. จากนั้นนำไปทดสอบเพื่อหาระยะเวลาการเผาไหม้ ทดสอบเวลาน้ำเดือด และทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งที่ส่วนผสมต่าง ๆ กัน ได้ระยะเวลาในการให้ความร้อนถึงจุดเดือดของน้ำมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 43.75 – 44.25 นาที ส่วนระยะเวลาการเผาไหม้อยู่ในช่วง 3.06 – 3.08 ชั่วโมง และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ปรากฏว่าระยะเวลาถึงจุดเดือด และระยะเวลาการเผาไหม้แต่ละส่วนผสมไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ฉะนั้นหากมีผู้ที่สนใจในการผลิตถ่านอัดแท่งขอแนะนำให้ใช้สัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 เพราะว่าให้ค่าความร้อนสูงที่สุดส่วนสมบัติด้านอื่นปรากฏว่ามีถ่านคงตัวสูงถึง 45.8 เปอร์เซ็นต์ สารระเหย 32.1 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 0.58 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้น จึงสามารถนำวัสดุดังกล่าวมาผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี

ผลการต่อยอดงานวิจัยสู่ชุมชนปรากฏว่า ชุมชนสามารถผลิตถ่านพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้เกิดการสร้างงานในชุมชนมากขึ้น มีการจัดตั้งกลุ่มเพื่อส่งเสริมอาชีพการเกษตรในชุมชน หมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต. ไทยสามัคคี อ. วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา ในนาม กลุ่มส่งเสริมอาชีพผู้ผลิตถ่านอัดแท่ง อย่างเป็นทางการ โดยหน่วยงานราชการ นายอำเภอ เกษตรอำเภอให้การรับรอง และเป็นการสร้างงาน ลดการตัดไม้ในพื้นที่และในชุมชนต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรียะ

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุน ด้านทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2548 และการได้รับความร่วมมือและการให้ความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้บริหารวิทยาเขตพระนครเหนือทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ขอบคุณผู้ช่วย ผู้อำนวยการฝ่ายวิจัย แผนกวิจัยที่อำนวยความสะดวกในการทำงาน ขอบคุณหัวหน้าศูนย์เทคโนโลยี เครื่องจักรกลอัตโนมัติและอาจารย์ประจำแผนกเครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบ ชิ้นงานทดลอง ขอขอบคุณ นายสิทธิศักดิ์ พรประสิทธิ์สุข นายอำเภอวังน้ำเขียว นายสุรเดช พลทม เกษตรอำเภอวังน้ำเขียวที่ให้โอกาส และจัดตั้งกลุ่มส่งเสริมวิชาชีพการเกษตรแก่ชุมชนในหมู่บ้านสุข สมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอบคุณทุก ๆ ท่านที่เกี่ยวข้องและมิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ จนทำให้งานวิจัย ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ
สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง
นักวิจัย
4 กันยายน 2549

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ระเบียบและวิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาทำการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของเชื้อเพลิงและแท่งเชื้อเพลิง	4
2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่าน	4
2.3 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง	4
2.4 ผลผลิตแท่งเชื้อเพลิง	6
2.5 วิธีการทำให้ถ่านแห้งมี 2 วิธี	7
2.6 การตากแห้ง	8
2.7 การเก็บรักษาแท่งเชื้อเพลิง	8
2.8 การนำแท่งเชื้อเพลิงไปใช้ในการหุงต้ม	8
2.9 คุณสมบัติโดยทั่วไปของแท่งเชื้อเพลิง	9
2.10 ข้อได้เปรียบของแท่งเชื้อเพลิงเทียบกับฟืนและถ่าน	10
2.11 การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงสถิติ (ANOVA)	11

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินโครงการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	23
3.2 ศึกษาข้อมูล	23
3.3 ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง	25
3.4 ศึกษาอุปกรณ์การผลิต	27
3.5 ศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง	29
3.6 อัตราส่วนผสม	32
3.7 ขั้นตอนการทดลอง	34
3.8 การทดสอบ	41
3.9 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำเดือดและระยะเวลาในการให้ความร้อน	43
4.2 ผลการทดสอบการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง	52
4.3 ผลการทดสอบค่าความร้อน	60
4.4 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น	61
4.5 ผลการทดสอบปริมาณขี้เถ้า	62
4.6 ผลการทดสอบค่าความชื้น	62
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	
5.1 ผลการวิจัย	68
5.2 การใช้ประโยชน์จากการวิจัย	69
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิจัยเบื้องต้น	
ภาคผนวก ข รูปการดำเนินการวิจัย	
ภาคผนวก ค รายงานผลการทดสอบและการวิเคราะห์	

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุเชื้อเพลิง	
ภาคผนวก จ ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	
ภาคผนวก ฉ ตารางเปรียบเทียบเนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย	
ภาคผนวก ช ตารางการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ในแต่ละจังหวัด	
ภาคผนวก ซ ตารางผลิตภัณฑ์สำคัญที่ได้จากป่า	
ภาคผนวก ฌ ตารางปริมาณไม้ชนิดต่าง ๆ ที่ทำออกจากป่า	
ภาคผนวก ญ การออกแบบและที่มาของการออกแบบเครื่องจักรกล	
ภาคผนวก ฎ การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบผลิตเบื้องต้น	
ภาคผนวก ฎ การศึกษาและวิจัยเบื้องต้น(พื้นที่ จ.ลำปาง) วัสดุประเภทกะลามะพร้าว	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	แสดงระยะเวลาของการอัดแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	5
2.2	แสดงประสิทธิภาพ (ระยะเวลา) การต้มน้ำของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	6
2.3	แสดงผลผลิตของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	6
2.4	แสดงค่าความร้อนของแท่งอัดเชื้อเพลิงเทียบกับฟืนและถ่าน	7
2.5	แสดงค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	7
3.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง	27
3.2	เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงของวัสดุเหลือใช้	30
3.3	เปรียบเทียบรูปแบบการใช้พลังงานของประเทศไทยในปี พ.ศ.2539	31
3.4	พื้นที่เพาะปลูกเกษตรกรรมหลัก ผลผลิตและปริมาณวัสดุเหลือใช้ในปี 2538/39	32
4.1	ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 93 : 4 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที	43
4.2	ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 94 : 3 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที	45
4.3	ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 95 : 3 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที	47
4.4	ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 96 : 2 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที	49
4.5	แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C	54
4.6	แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C	55
4.7	แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C	55
4.8	แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C	55
4.9	แสดงค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง	60
4.10	แสดงค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง	61
4.11	แสดงค่าปริมาณขี้เถ้าของถ่านอัดแท่ง	62
4.12	แสดงค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง	62
4.13	ค่าจุดเดือดของน้ำ	63
4.14	ระยะเวลาการเผาไหม้	65
4.15	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งชนิดต่าง ๆ	67

สารบัญภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การใช้แท่งเชื้อเพลิงในการหุงต้ม	9
2.2	การนำแท่งเชื้อเพลิงไปเผาเพื่อใช้ในรูปถ่าน	10
3.1	ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้	24
3.2	ขั้นตอนการทดลองการผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้	34
3.3	ซังข้าวโพดก่อนเผาให้เป็นคาร์บอน	35
3.4	การเผาซังข้าวโพดให้เป็นคาร์บอน	36
3.5	ซังข้าวโพดที่เป็นคาร์บอน	36
3.6	สภาพใบไม้ก่อนเป็นคาร์บอน	37
3.7	สภาพใบไม้เป็นคาร์บอน	38
3.8	ลักษณะการบดใบไม้	38
3.9	ลักษณะการบดซังข้าวโพด	39
3.10	การผสมถ่านใบไม้กับถ่านซังข้าวโพดระหว่างแป้งกับน้ำ	39
3.11	การผลิตถ่านให้เป็นแท่ง	40
3.12	ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ประเภทซังข้าวโพดกับใบไม้	41
4.1	กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำ	44
4.2	กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำ	46
4.3	กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำ	48
4.4	กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำ	50
4.5	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือดแต่ละส่วนผสม	51
4.6	การใส่ถ่านเชื้อเพลิงอัดแข็งจำนวน 10 แท่ง	52
4.7	แสดงเปลวไฟของถ่านอัดแท่ง	52
4.8	ลักษณะการตั้งหม้อต้มน้ำ	53
4.9	ลักษณะการวัดอุณหภูมิของน้ำ	53
4.10	แสดงปริมาณเถ้าถ่านในเตาเมื่อการเผาไหม้สมบูรณ์ (เถ้า 100%)	54
4.11	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอายุการเผาไหม้ในสัดส่วนต่าง ๆ	56
4.12	กราฟแท่งแสดงระยะเวลาการเผาไหม้	57
4.13	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้	58

4.14 กราฟแท่งแสดงเวลาในจุดเดือดของน้ำในเกณฑ์การผสมต่าง ๆ 59
4.15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเวลาของน้ำในจุดเดือด (°C) 60
4.16 สถานที่ก่อสร้างหน่วยงานย่อยเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน 68
หมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ. วังน้ำเขียว จ. นครราชสีมา
4.17 การย่อยวัสดุ ด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุถ่านอัดแท่ง 68
4.18 วัสดุที่ผ่านการบดแล้ว เพื่อนำไปผสมในขั้นตอนต่อไป 69
4.19 เครื่องจักรผสมวัสดุก่อนการนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง 69
4.20 ภายในเครื่องผสมวัสดุผลิตถ่านอัดก้อน 70
4.21 การถ่ายทอดวิธีการผสมวัสดุผลิตให้กับตัวแทนชุมชน 70
4.22 การผสมวัตถุดิบ 71
4.23 ผสมแป้งมัน 71
4.24 หัวหน้าโครงการวิจัย อธิบายวิธีการผลิตแก่ตัวแทนชุมชน 72
4.25 เครื่องอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งและแสดงตำแหน่งเกลียวอัด 72
4.26 ผลิตถ่านอัดแท่ง 73
4.27 ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ในเขตชุมชนหมู่บ้านสุขสมบูรณ์ 73
4.28 แท่งถ่านวัสดุเหลือใช้ในชุมชน ได้แก่ ซังข้าวโพดผสมใบไม้ ผสมเปลือกผลไม้ 74
เช่น ทุเรียน เงาะ และวัสดุอื่น ๆ
4.29 ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งสำเร็จรูป 74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

จากการวิจัยผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งของ วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ พบว่าการใช้เชื้อเพลิงนิยมใช้ฟืนและถ่านในการหุงต้มคิดเป็น 16.7% เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานอื่น ๆ ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงเหลือเพียง 25.62% ดังนั้น การศึกษาและการผลิต ผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้เป็นพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ เช่น ใบไม้ ซังข้าวโพด หรือวัชพืชต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีสิ่งสูญเสีย (Waste) และสิ่งเหลือใช้ (Residues) การนำสิ่งเหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ในแง่ของพลังงานทดแทนเพื่อใช้เป็นพลังงานความร้อน โดยเฉพาะประชาชนทั่วไปจะทำให้มีพลังงานเชื้อเพลิงราคาถูก ซึ่งเป็นแนวทางในการใช้พลังงานทางเลือกและเป็นการสงวนหรือรักษาป่าไม้ให้คงอยู่ และช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชาติ พร้อมกับรณรงค์ส่งเสริมให้ปลูกป่ามากขึ้นได้ โดยการใช้วัสดุทดแทนการใช้ฟืนจากไม้ให้มากขึ้น ซึ่งการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ถ่านจะเป็นการลดปริมาณการตัดไม้ได้มากขึ้นในอนาคต ปัจจุบันการใช้ถ่านเพื่อเป็นพลังงานเชื้อเพลิงจากไม้เป็นหลักแล้วนำมาเผาให้เป็นถ่านไม้ แล้วจึงนำไปใช้หรือการใช้ฟืน เป็นต้น ถือว่าเป็นการทำลายธรรมชาติเป็นต้นน้ำ ลำธาร ซึ่งเกิดปัญหาที่ตามมามากมาย ได้แก่ เกิดภัยธรรมชาติ ทั้งความแห้งแล้ง และน้ำท่วม เป็นต้น

จากการสำรวจขั้นต้นทราบว่าปริมาณการใช้ถ่านเพื่อเป็นพลังงานความร้อนในการทำอาหารและใช้ประโยชน์ อื่น ๆ ยังมีในปริมาณสูงในแต่ละปี ทั้งในเมืองและชนบท ตามพื้นที่ในแต่ละจังหวัดประชากรส่วนหนึ่งต้องทำลายต้นไม้เพื่อนำมาทำเชื้อเพลิง ถือว่าเป็นต้นเหตุของปัญหาต่าง ๆ มากมายข้างต้น และมีการใช้ถ่านไม้ต่อไปอีกโดยไม่สามารถยืนยันได้ว่าวัสดุที่นำมาทดแทนจะใช้ได้และเกิดความนิยมทำให้ประชาชนหันมาใช้ถ่านอัดแท่งอย่างกว้างขวางหรือไม่ เนื่องจากมีราคาแพงและคุณภาพต่ำ และการใช้งานยุ่งยากไม่สะดวก ถ่านอัดแท่งในปัจจุบันทำจากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าวที่ถือว่ามีคุณภาพดีมาก แต่ปัญหาคือวัสดุไม่เพียงพอและมีราคาแพง ส่วนการผลิตจากแกลบปัจจุบันแกลบสามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานด้านอื่นก่อผลและให้ประโยชน์ดีกว่าและใช้วัสดุในจำนวนมากต้นทุนสูง และจากวัสดุ แกนหรือ ซังข้าวโพด เป็นต้น แต่การผลิตถ่านอัดแท่ง ยังไม่แพร่หลายมากนัก นอกจากปัญหาข้างต้นแล้ว ยังมีปัญหาอื่น ๆ ที่ทำให้ถ่านอัดแท่งไม่เป็นที่นิยม การวิจัยขั้นต้นนี้เป็นการศึกษาเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง ในด้านวัตถุดิบนั้น เลือกวัสดุหลายชนิดที่มีอยู่ในปัจจุบันราคาต่ำ มีปริมาณมาก หาง่าย ได้แก่ วัสดุจาก ซัง

ข้าวโพด ใบและลำต้นข้าวโพด รวมถึง วัสดุเหลือใช้อื่น ๆ โดยเน้นทางด้านคุณภาพและการออกแบบรูปทรง รูปร่างของผลิตภัณฑ์ ให้สามารถใช้งานได้เทียบเท่าหรือดีกว่าถ่านที่ผลิตจากไม้ รวมไปถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์และสามารถผลิตเป็นเชิงพาณิชได้ในอนาคต งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ชนิดใบไม้แห้งและซังข้าวโพด และอื่น ๆ ร่วมกับการจัดตั้งกลุ่มสมาชิกผลิตถ่านอัดแท่งทดแทนการใช้ถ่านจากไม้และกลุ่มผลิตเห็ดหอม(ผู้ใช้พลังงานความร้อนในการผลิตเห็ดหอม)ในชุมชนหมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและผลิตผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนการถ่านไม้

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานของการอัดแท่งผลิตภัณฑ์ใหม่

1.2.3 เพื่อส่งเสริมให้ชุมชนผลิตถ่านอัดแท่งทดแทนการใช้พลังงานจากถ่านไม้และฟืนไม้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ จากซังข้าวโพด 50% และใบไม้แห้ง 50% กะลามะพร้าว และวัสดุอื่น ๆ ผลิตถ่านจากวัสดุที่หาได้ง่าย ได้แก่ ใบไม้แห้ง โดยอบใบไม้แห้งให้เป็นคาร์บอนใช้เวลาในช่วง 20 – 30 นาที อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 350°C และ ซังข้าวโพด และวัสดุอื่น ๆ ทำให้เป็นคาร์บอน

1.3.2 ใบไม้แห้งเมื่อเป็นคาร์บอนใช้เวลาบด 30 นาที ส่วนซังข้าวโพดใช้เวลาบด 30 นาที ผลิตเครื่องบดวัสดุเป็นเครื่องจักรสำหรับย่อยวัสดุให้มีขนาดเล็กลง และผลิตผสมเพื่อผสมวัสดุ ได้แก่ การบดและผสมวัสดุใบไม้กับซังข้าวโพดใช้เวลาผสมประมาณ 15 นาที

1.3.3 ผลิตเครื่องอัดถ่านแท่ง เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่ง ศึกษารอบเวลาการผลิต ได้แก่ใช้เวลา 5 วินาทีต่อแท่ง (ความยาว 4-6 นิ้ว) การอบผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งเลือกใช้ตัวแปรไม่น้อยกว่า 4 9 ตัวแปร ทดสอบการผสม การหาจุดเดือดของน้ำ ระยะเวลาการเผาไหม้ ค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณขี้เถ้า และความชื้น

1.3.4 หาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำจนเดือดแต่ละส่วนผสม เปรียบเทียบอายุการเผาไหม้และระยะเวลาจุดเดือดของน้ำในสัดส่วนต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-Way (ANOVA) วิเคราะห์คุณสมบัติ ค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณขี้เถ้า และความชื้น

1.3.5 ถ่ายทอดและส่งเสริมให้กลุ่มสมาชิกในชุมชน หมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา จัดตั้งกลุ่มผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทดแทนการใช้ถ่านจากไม้

1.4 ระเบียบและวิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุหลักที่ใช้เป็นของเหลือใช้จาก ข้าวโพด ได้แก่ ซังข้าวโพด ใบ และลำต้น รวมถึงวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ ซึ่งงานวิจัยต้องทำการศึกษาและทดลองในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบกระบวนการผลิต เป็นถ่านแท่งตามรูปแบบและคุณลักษณะที่ต้องการ ในส่วนวัสดุที่เหลือใช้จากข้าวโพดนั้นในประเทศไทยมีพื้นที่ ๆ ปลูกข้าวโพดเป็นจำนวนมาก ได้แก่ พื้นที่ อำเภอ ชนแดน จ. เพชรบูรณ์ อำเภอ วังน้ำเขียว จ. นครราชสีมา และอื่น ทั่วประเทศ กระบวนการวิจัยประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1.4.1 ศึกษาและออกแบบความเหมาะสมด้านวัสดุและผลิตภัณฑ์ การเลือกและเตรียมวัสดุผลิตถ่านอัดแท่ง ศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง วัสดุแต่ละชนิดเทคนิคการเผาอาจแตกต่างกัน

1.4.2 ศึกษาการย่อยวัสดุ การกำหนดขนาด วัสดุ คัดขนาด และศึกษาและกำหนดอัตราส่วนผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนที่เหมาะสม กำหนดตัวแปรที่เหมาะสม

1.4.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน วัสดุอื่นที่จำเป็น และศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ ความเหมาะสมด้านการใช้งานและการอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์

1.4.7 ทดลองด้านรูปทรง และขนาด การติดไฟ และการให้พลังงานความร้อนเปรียบเทียบผลการทดสอบและวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

1.4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปและเสนอแนะรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ ได้แก่ วัสดุใบไม้แห้งเหลือใช้ ซังข้าวโพด กะลามะพร้าว เศษไม้ เปลือกผลไม้ที่เหลือใช้ มาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน

1.5.2 เป็นการนำวัสดุเหลือมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานความร้อนและใช้ประโยชน์กับชุมชนและผู้สนใจ

1.5.3 สมาชิกในชุมชนที่เข้าโครงการ กลุ่มผลิตถ่านอัดแท่งสามารถผลิตถ่านจากวัสดุเหลือใช้มาทดแทนการใช้ถ่าน ฟืน จากไม้ และทราบความสามารถในการผลิตถ่านอัดแท่งวัสดุเหลือใช้

1.5.4 ทำให้เกิดการสร้างงานให้แก่ชุมชนหมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา มีพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนไม้ ลดการตัดต้นไม้ได้ในโอกาสต่อไป

1.5.5 เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการผลิตวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของเชื้อเพลิงและแท่งเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง หมายถึง ธาตุหรือสารประกอบที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนเกิดการเผาไหม้ เพื่อให้ความร้อนออกมา และนำความร้อนนั้นไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนมาเป็นพลังงานกลต่าง ๆ

แท่งเชื้อเพลิง คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากอัดแท่ง จากวัสดุชีวมวล/เศษ วัชพืชต่าง ๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ใบไม้ ซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด เป็นต้น มาอัดเป็นแท่งก็จะได้แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ประโยชน์แทนฟืนถ่าน หรือแก๊สหุงต้มได้เป็นอย่างดี

2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่าน

ในการผลิตถ่านอัดใบไม้อัดแท่งด้วยเครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่ง ที่กล่าวแล้วในทางทฤษฎี คุณภาพของถ่านใบไม้ที่ได้จะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

2.2.1 **ความชื้น** แท่งถ่านใบไม้มีความชื้นมากเกินไป ความชื้นจะกลายเป็นไอน้ำขยายตัวมาให้แท่งถ่านอัดแตกร่วมในทางกลับกัน ถ้าถ่านใบไม้มีความชื้นน้อยเกินไป ก็จะทำให้ถ่านอัดเกาะติดเป็นแท่งยาว

2.2.2 **อุณหภูมิ** ถ้าให้อุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้ผิวหน้าของถ่านอันไหม้เกรียม ถ่านอัดไม่ประสานเกาะกัน เป็นเนื้อแน่นเท่าที่ควร ถ้าอุณหภูมิต่ำจนเกินไป จะทำให้แท่งถ่านอันที่ได้ไม่แข็งเท่าที่ควร มีบางส่วนร่วม ดังนั้น อุณหภูมิจึงส่วนสำคัญในการอัดแท่ง ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมให้ได้

2.2.3 **ความดันถ่านใบไม้ในกระบอกอัด** จะถูกสกรูหมุนดังผนังกระบอกอัด นอกจากนี้ความร้อนที่ได้จากความร้อนเสียดทานระหว่างกระบอกอัดกับถ่านใบไม้ จะช่วยให้การอัดนั้นแน่นขึ้น ความดันในกระบอกอัดขึ้นอยู่กับระยะพิตช์ของเกลียว ความสูงของเกลียว

2.3 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงในโครงการนี้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย เสียค่าใช้จ่ายต่ำมาอัดแท่งโดยที่โรงงานน้ำตาลจะเปิดทำการช่วงประมาณเดือนมกราคมเรื่อยไป ประมาณ 3 เดือน ของทุกปี ดังนั้นช่วงดังกล่าวจะต้องดำเนินการนำชานอ้อยมาเก็บไว้เพื่อใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิงตลอด

ปี จากการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงกับเครื่องมือ พบว่า ถ้าผสมชานอ้อย กับขุยมะพร้าว (หาซื้อได้ง่าย-ราคาไม่สูง) ในอัตราส่วนชานอ้อย : ขุยมะพร้าวตั้งแต่ 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 จะสามารถผลิตแท่งอัดได้เร็วกว่าใช้ชานอ้อยล้วน ๆ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาของการอัดแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ [3]

ส่วนผสม	ความยาวแท่งเชื้อเพลิง (เมตร)	เวลาที่ใช้ (ประมาณ)	หมายเหตุ
ชานอ้อย (100%)	1	3 – 5 นาที	ขนาดเส้นผ่า
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	1	1.5 นาที	ศูนย์กลาง
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (2 : 1)	1	1.5 นาที	เท่ากัน
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (3 : 1)	1	2 นาที	คือ 7 ซม.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (4 : 1)	1	2 นาที	(แท่งอัดชิ้น)
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (5 : 1)	1	3 – 3.5 นาที	เป็นอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสม

แต่ถ้าใช้ขุยมะพร้าว ๆ อัดแท่งจะไม่สามารถทำได้ ทั้งนี้จากการสังเกตพบว่าขุยมะพร้าวมีเส้นใยที่ยาวและแข็ง ซึ่งจะพันรอบเกลียวในขณะอัดแท่ง ถ้าหนาแน่นมากเข้า เกลียวจะหยุดหมุน สำหรับชานอ้อย ถ้าละเอียดมาก ๆ ก็จะมีปัญหาต่อการอัดเช่นเดียวกัน การผสมชานอ้อย กับขุยมะพร้าวในอัตราส่วนที่ใช้ชานอ้อย สูงกว่าขุยมะพร้าว เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพหรือระยะเวลาของการหุงต้มแล้วจะใช้เวลาต้มน้ำนานกว่าใบไม้ล้วน ๆ เพียง 1-2 นาที ในอัตราส่วนผสม ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว = 2 : 1 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ดังนั้นเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน จึงต้องผสมขุยมะพร้าวในอัตราต่ำ ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากราคาของขุยมะพร้าวจะสูง ในส่วนนี้อัตราส่วนผสมที่แนะนำให้ผสมคือ ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว = 4 : 1 ซึ่งเวลาการต้มน้ำก็ดูใกล้เคียงกับ 2 : 1 ถึง 18 นาที (ดูตารางที่ 2.1 และ 2.2 ประกอบถึงความเหมาะสมในอัตราส่วนผสม)

ตารางที่ 2.2 แสดงประสิทธิภาพ (ระยะเวลา) การต้มน้ำของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ [3]

ส่วนผสม	ระยะเวลาเฉลี่ยจนถึงน้ำเดือด (นาที)	หมายเหตุ
ชานอ้อย (100%)	18	ทดลองกับเตาประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้ โดยใช้แท่งเชื้อเพลิงหนัก (แห้ง) 600 กรัม (หรือยาวประมาณ 30 ซม.)
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (2 : 1)	21	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	23	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 2)	34	

2.4 ผลผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ที่กล่าวไว้ในส่วนของระยะเวลาของการอัดแท่งเชื้อเพลิงในตารางที่ 2.1 ทำให้ทราบถึงเวลาการผลิตสำหรับแท่งเชื้อเพลิง 10 เซนติเมตร (หรือ 1 เมตร) และหลังจากตากแดดให้แท่งเชื้อเพลิงแล้ว ชั่งน้ำหนักทำให้ทราบถึงผลผลิตเป็นน้ำหนักโดยแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงผลผลิตของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ [3]

ผสม	ปริมาณของแท่งเชื้อเพลิงต่อการอัด 60 นาที	น้ำหนักแห้งแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อการอัด 60 นาที
ชานอ้อย (100%)	1,700 ซม. (17 ม.)	25.5 กก.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	4,000 ซม. (40 ม.)	60.0 กก.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (2 : 1)	4,000 ซม. (40 ม.)	60.0 กก.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (3 ; 1)	3,000 ซม. (30 ม.)	45.0 กก.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (4 : 1)	3,000 ซม. (30 ม.)	45.0 กก.

จากการเอาแท่งเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนกับเครื่อง Caloremeter Bomb แล้วค่าที่ได้จากการใช้ชานอ้อย จะสูงกว่าที่ผสมกับขุยมะพร้าวแต่จะต่ำกว่าของไม้ฟืนและถ่าน ทั้งนี้เนื่องจากถ่านได้ผ่านขบวนการเผา (Carbonization) ซึ่งทำให้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูงค่าความร้อนก็สูงตาม (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.4) แต่ทั้งนี้แท่งอัดเชื้อเพลิงให้ค่าความร้อน ซึ่งสามารถต้มน้ำเดือดภายในเวลาประมาณ 18-24 นาที (จากตารางที่ 2.2) ในขณะที่ฟืน (ไม้มะขามเทศ) ใช้เวลาเฉลี่ย 28 นาที และถ่าน (ไม้มะขามเทศ) ใช้เวลาเฉลี่ย 36 นาที

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความร้อนของแท่งอัดเชื้อเพลิงเทียบกับฟืนและถ่าน [3]

ส่วนผสม	ค่าความร้อน (แคลอรี่/กรัม)
ชานอ้อย (100%)	3,172
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	3,050
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 2)	2,975
ฟืนไม้มะขามเทศ	4,721
ถ่านไม้มะขามเทศ	7,391

สำหรับความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ทำการทดสอบ โดยหาจากสูตรคำนวณ คือ ความหนาแน่น (D) = น้ำหนัก (m) / ปริมาตร (v) กรัม/ลบ.ซม.

ค่าที่ได้ของแท่งเชื้อเพลิง ที่ทำด้วยชานอ้อยล้วน ๆ มีค่าสูงสุด เทียบกับที่ผสมกับขุยมะพร้าวในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงค่า 1 (ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ [3]

ส่วนผสม	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	หมายเหตุ
ชานอ้อย (100%)	0.98	คำนวณโดยใช้สูตร $D = \frac{m}{v}$
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (2 : 1)	0.82	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	0.61	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 2)	0.57	

2.5 วิธีการทำให้ถ่านแท้งมี 2 วิธี

วิธีที่ 1 โดยใช้การดากแดดแบบธรรมชาติ ให้สร้างตะแกรงรองถ่านอัดโดยใช้สังกะสีเจาะรูห่างกันประมาณ 5 มม. เพื่อเป็นการระบายความร้อน และให้ความร้อนจากแสงแดดได้ผ่านก้อนถ่านอัดเพื่อให้ถ่านแห้งตัวเกาะกันเป็นก้อน

วิธีที่ 2 โดยการใช้อบเชื้อเพลิงแท่งที่ได้จากการอัดจากเครื่องอัดเชื้อเพลิงนั้น มีลักษณะรูปทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.8 เซนติเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร

2.6 การตากแห้ง

ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงจะใช้วัสดุที่มีความชื้นสูง (สูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นก่อนนำไปใช้ก็จะต้องทำให้แห้ง วิธีการที่สะดวกและประหยัด สำหรับชาวบ้านก็คือการตากแดดโดยตรง อาจจะตากบนพื้นซีเมนต์ หรือบนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ ก็นับว่าเป็นวิธีการที่ประหยัด ซึ่งสำหรับโครงการนี้ก็ทำการทดลองตากแดดโดยตรงบนพื้นซีเมนต์ เป็นเวลา 2-3 วัน ก็สามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ก็มีวิธีการตากหรือการทำให้แห้งหลายวิธี นอกจากตากแดดโดยตรง คือ

- อบในตู้อบแสงอาทิตย์
- อบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
- อบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
- อบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน

2.7 การเก็บรักษาแท่งเชื้อเพลิง

การตัดให้เป็นแท่งเพื่อให้ดูสวยงามและสะดวกในการหีบห่อ การตัดควรจะทำหลังจากตากแห้งเรียบร้อยแล้ว การตัดเอาจะใช้มีดคม ๆ หรือใบมีดคัตเตอร์ตัดเป็นท่อน ๆ ตามต้องการ การตัดเป็นจำนวนมาก ๆ จะใช้เครื่องตัดก็ได้ ถ้าต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่ต้องการความสวยงามก็ใช้มือหักเอง

การบรรจุหีบห่อโดยที่เชื้อเพลิงมีลักษณะโปร่ง (Porosity) ดังนั้นถ้าเก็บไว้ในที่มีความชื้นสูง จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีราขึ้น เหตุนี้จึงต้องเก็บไว้ในที่แห้ง การใส่ถุงพลาสติกแล้ว ซีลปากถุงก็จะช่วยได้มาก จะใช้ถุงเล็กหรือถุงใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ต้องการเก็บไว้ใช้และความสะดวกที่มี หรือไม่สะดวกจะใช้ตาข่ายห่อแท่งเชื้อเพลิงไว้เป็นมัด ๆ ก็ได้ ข้อสำคัญต้องเก็บไว้ในที่แห้งที่ฝนหรือละอองน้ำไม่กระเซนเข้าไป

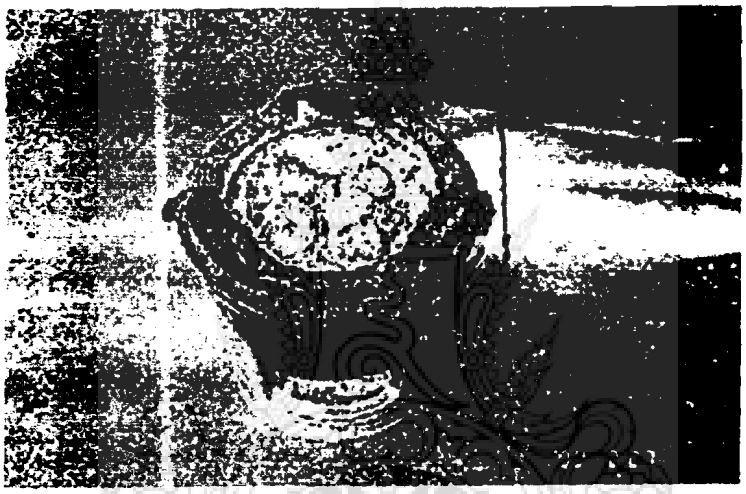
2.8 การนำแท่งเชื้อเพลิงไปใช้ในการหุงต้ม

หักแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นท่อนสั้น ๆ มีความยาวสัก 1 นิ้ว จำนวน 3-4 ท่อน จุ่มลงในแอลกอฮอล์จุดไฟ แล้ววางเรียงในเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อติดไฟ (Starter) เอาแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่ได้จุ่มแอลกอฮอล์วางซ้อนเป็นชั้น ๆ ในเตาแล้วจึงจุดไฟ หรือจะใช้น้ำมันแก๊สโซลีน เศษกระดาษหรือเศษฟืนเล็ก ๆ เป็นเชื้อติดไฟก็ง่อมทำได้ แต่ถ้าใช้แอลกอฮอล์จะจุดไฟได้เร็วทันใจเช่นเดียวกับแก๊สหุงต้ม และไม่มีควันรบกวน

เตาที่ใช้ ถ้าใช้เตาพื้นบ้านการระบายอากาศน้อยไป เพราะรังผึ้งมีขนาดเล็กไปและเตาอาจจะเตี้ยไป เตาที่จะใช้กับเชื้อเพลิงควรเป็นเตาที่มีทรงสูงและการระบายอากาศดี จะเป็นเตาดิน

หรือเตาโลหะก็ได้ เช่น เตา (ฟืน) ประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้ หากเกรงว่าจะมีควันรบกวนก็อาจจะติดปล่องที่ระบายควันช่วย โดยเฉพาะเตาที่มีปล่องที่ถอดได้

การเก็บรักษาแท่งเชื้อเพลิงไว้ใช้เมื่อแท่งเชื้อเพลิงแห้งดีแล้ว หากประสงค์จะเก็บไว้ใช้นาน ๆ ควรเก็บใส่ถุงพลาสติกหรือกระสอบแล้วปิดปากให้แน่น เพื่อป้องกันความชื้นเข้า โดยที่เชื้อเพลิงนี้มีลักษณะค่อนข้างโปร่ง เมื่อเก็บไว้ในที่ชื้น หรือที่มีละอองฝนประพรม เชื้อเพลิงจะดูดความชื้นเข้าไปทำให้เกิดเชื้อรา ทำให้จุดไฟไม่ดีและมีควัน ดังนั้นควรเก็บไว้ในที่แห้ง



รูปที่ 2.1 การใช้แท่งเชื้อเพลิงในการหุงต้ม [3]

2.9 คุณสมบัติโดยทั่วไปของแท่งเชื้อเพลิง

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เชื้อเพลิงที่ทำจากเศษพืช เช่น ชานอ้อย เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี หากผสมผงถ่านที่เหลือทิ้งสักเล็กน้อย จะช่วยทำให้มีคุณภาพสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพไม่แพ้ถ่านหรือจะดีกว่าถ่านเสียอีก แต่ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับความเข้าใจของผู้ผลิตและผู้ใช้เชื้อเพลิงในการปรับปรุงเทคนิคเล็ก ๆ น้อย ๆ

เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่น (Density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้นสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้ (Carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบแกลบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20 – 24 ชั่วโมง (1 วัน) และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ความร้อนได้สูง เชื้อเพลิงที่ใช้ใบไม้ สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมกับลิกไนท์ผง 20 – 30% จะเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับโรงบ่มยาสูบ หากใช้ลิกไนท์ผงล้วน ๆ อัดแท่ง เถ้าจะจับตัวเป็นก้อนแตกยาก หากผสมชีวมวลจะช่วยให้เถ้าแตกง่าย (วัฒนา, 2529)

รูปที่ 2.2 การนำแท่งเชื้อเพลิงไปเผาเพื่อใช้ในรูปถ่าน [3]

2.10 ข้อได้เปรียบของแท่งเชื้อเพลิงเทียบกับฟืนและถ่าน

1. ไม่ต้องตัดไม้ทำลายป่ามาทำเป็นฟืนและเผาถ่าน การใช้เชื้อเพลิงซึ่งทำจากชานอ้อย และเศษพืช ฯลฯ ทดแทนฟืน และถ่านทำให้มีโอกาสได้ช่วยสงวนป่าไม้ของชาติไว้ให้ลูกหลาน

2. การจุดติดไฟทำได้ง่ายกว่าฟืนและถ่านเชื้อเพลิงที่ได้จากชานอ้อย จะใช้เวลาในการเรียงเชื้อเพลิงและจุดติดไฟภายใน 1 นาที ซึ่งฟืนและถ่านทำไม่ได้

3. ได้เชื้อเพลิงสะอาด การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูง การเผาไหม้จึงดีกว่าฟืนและถ่าน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดแทนหรือเสริมแก๊สหุงต้มได้ในบางโอกาสและสำคัญ คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชานอ้อยกับขุยมะพร้าวไม่ไวไฟ (Unflamable) ดังนั้นจึงไม่มีอันตรายจากการระเบิด เช่น ถังแก๊สหุงต้มที่ปรากฏความสูญเสียอยู่บ่อย ๆ

4. ทำใช้ได้สะดวกกว่าหาฟืนและเผาถ่านเพราะวัสดุโดยเฉพาะชานอ้อย และวัชพืชหาได้ง่ายและราคาต่ำ ถ้าท่านพร้อมที่จะทำ

5. ช่วยทำลายวัชพืชบกรบกวนพื้นที่เกษตรกรรม เช่น หญ้าขจรจบ ไมยราบยักษ์ วัชพืชอยู่ได้ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น โสน กกธูป วัชพืชน้ำที่รบกวนแหล่งเลี้ยงปลา ปิดกั้นทางคมนาคมทางน้ำ ทำให้คลองระบายน้ำตื้นเขินและปิดการระบายน้ำ เช่น ผักตบชวา

6. มีศักยภาพที่จะทำเป็นเชื้อเพลิงที่มีกลิ่นหอมได้ ถ้าเลือกใช้พืช เช่น ใบเตย ทำเป็นเชื้อเพลิงย่างเนื้อให้มีรสหอม เป็นต้น

7. มีราคาถูกกว่าฟืนและถ่าน

2.11 การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงสถิติ (ANOVA) [7]

การวิเคราะห์ ความแปรปรวนเป็นวิธีการที่แบ่งความแปรปรวนของข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ โดยจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนเหล่านั้นกล่าวคือ แบ่งความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มเอง

ในการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะพิจารณาอัตราส่วนของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มและความแปรปรวนภายในกลุ่มเดียวกันว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดซึ่งสามารถพิจารณาความแตกต่างได้ดังนี้

1. เมื่ออัตราส่วนมีค่าน้อย แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่มมีค่าพอ ๆ กัน การทดสอบสมมติฐานจึงไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มเท่ากัน

2. เมื่ออัตราส่วนมีค่ามาก แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีมาก เมื่อเทียบกับความแปรปรวนภายในกลุ่มเดียว การทดสอบสมมติฐานจึงมีนัยสำคัญ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของประชากรแตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยอื่น ๆ ซึ่งการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร โดยส่วนรวมว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องดำเนินการทดสอบต่อไปว่าค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีที่เรียกว่า การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparison) ซึ่งจะขอยกเว้นการกล่าวในบทต่อไป

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ
2. ความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน
3. กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยวิธีสุ่ม
4. ข้อมูลต้องอยู่ในการวัดระดับมาตรฐานอันตรภาค (Interval Scale) หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio Scale)

2.11.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) [7]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการทดสอบที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาลักษณะของประชากรที่มีตัวแปรเพียงตัวเดียวเท่านั้น โดยปกติจะจัดข้อมูลในการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปตารางดังนี้

	กลุ่มที่						
	1	2	...	j	...	k	
	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1k}	
	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2k}	
	X_{31}	X_{32}	⋮	X_{3j}	⋮	X_{3k}	
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮	
ผลรวม	T_1	T_2	...	T_j	...	T_k	T
ขนาดตัวอย่าง	n_1	N_2	...	N_j	...	N_k	N
ค่าเฉลี่ย	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$		$\bar{X}_j$		$\bar{X}_k$	$\bar{X}$

เมื่อ j คือ กลุ่มตัวอย่างที่ j

k คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

n_j คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่ j

N คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

X_{ij} คือ ค่าของตัวอย่างที่ i ในกลุ่มที่ j

T_j คือ ผลรวมในกลุ่มที่ j

T คือ ผลรวมทั้งหมด

$\bar{X}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ j

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวม

เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกตามสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวนและในการทดสอบสมมติฐานจะเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าประมาณความแปรปรวน (Mean Square) ในแต่ละประเภทโดยใช้สูตรดังนี้

$$MS_t = \frac{SS_t}{df_t}$$

$$SS_t = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} (N_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$$

$$= \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$= N - 1$$

$$MS_b = \frac{SS_b}{df_b}$$

$$SS_t = \sum_{j=1}^{k} n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2$$

$$= \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{T_j^2}{n_j}\right) - \frac{T^2}{N}$$

$$= k - 1$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{df_w}$$

$$SS_t = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$$

$$= \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^{k} \frac{T^2}{N}$$

$$df_W = N - 1$$

เมื่อ MS_t คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยทั้งหมด (Total Mean Square)

MS_b คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม (Between Mean Square)

MS_w คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในกลุ่ม (Within Mean Square)

SS_t คือ ผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square)

SS_b คือ ผลรวมกำลังสองระหว่างกลุ่ม (Between Sum of Square)

SS_w คือ ผลรวมกำลังสองภายในกลุ่ม (Within Sum of Square)

df_t คือ ชั้นความเป็นอิสระทั้งหมด

df_b คือ ชั้นความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม

df_w คือ ชั้นความเป็นอิสระภายในกลุ่ม

โดย SS_t, SS_b และ SS_w มีความสัมพันธ์กันดังนี้

SS_t คือ $SS_b + SS_w$

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวมีดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \ldots \mu_k$

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \ldots \mu_k$

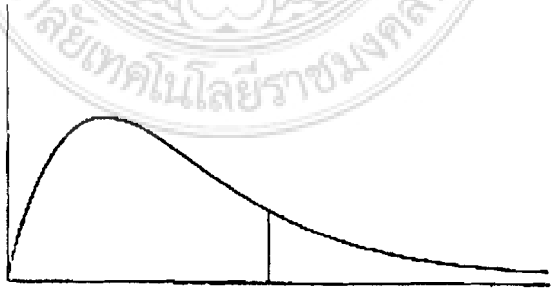
2. สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

$$F = \frac{MS_b}{MS_w}$$

3. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญ (α)

4. พิจารณาขอบเขตวิกฤตโดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ F ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ $F_{\alpha\,(k-1,\,N-k)}$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $F_{\alpha\,(k-1,\,N-k)}$



$F_{\alpha\,(k-1,\,N-k)}$

ถ้าผลการพิจารณาขอบเขตวิกฤตพบว่า F ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่า F ที่เปิดจากตารางแสดงว่า ผลการเปรียบเทียบไม่มีนัยสำคัญ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของประชากรเหล่านั้นมีค่าพอ ๆ กัน แต่ถ้า F ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ F ที่เปิดจากตาราง ผลการเปรียบเทียบจะมีนัยสำคัญ แสดงว่า

ค่าเฉลี่ยของประชากรเหล่านั้นแตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอื่น ๆ

5. เขียนตารางสรุปเพื่อเสนอผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

แหล่งความแปรปรวน (Source of Variation)	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม	SS_b	$k-1$	MS_b	MS_b/MS_w
ภายในกลุ่ม	SS_w	$N-k$	MS_w	
รวม	SS_t	$N-1$		

2.11.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) [7]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวที่กล่าวมาแล้ว เป็นการทดสอบที่มีตัวแปรที่สนใจเพียงตัวเดียว เช่น การเปรียบเทียบวิธีสอน 4 วิธี เป็นการทดสอบที่มีตัวแปรที่สนใจตัวแปรเดียว คือ วิธีสอนซึ่งประกอบด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 4 วิธี แต่ในบางกรณีผู้วิจัยอาจต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปร 2 ตัวแปรในการทดลองเดียวกัน เช่น ในการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ผู้วิจัยอาจสนใจทั้งวิธีสอน (ตัวแปรที่ 1) และเพศของนักศึกษา (ตัวแปรที่ 2) โดยผู้วิจัยสนใจว่าเพศหญิงและเพศชายที่เรียนด้วยวิธีการสอนที่แตกต่างกัน 4 วิธี จะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันหรือไม่ในการทดลองถ้าทำการวิเคราะห์ทีละตัวแปรก็ต้องทำการศึกษาถึง 2 ครั้ง ซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวก สิ้นเปลืองทั้งเวลา และค่าใช้จ่าย ดังนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางโดยพิจารณาตัวแปรทั้งสองพร้อมกันในการทดลองเพียงครั้งเดียวจะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสามารถทราบผลของปฏิกิริยาร่วมที่อาจเกิดขึ้นระหว่างตัวแปรทั้งสองอีกด้วย

ถ้าในการศึกษามีตัวแปรที่สนใจ 2 ตัวแปร คือ A และ B และในตัวแปร A ประกอบด้วย r ระดับ และในตัวแปร B ประกอบด้วย c ระดับ ในการทดลองผู้วิจัยสามารถศึกษาอิทธิพลของระดับต่าง ๆ ของตัวแปร A และตัวแปร B ได้ด้วย โดยในแต่ละระดับจะมีกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษาจำนวนเท่ากัน ในการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสร้างเป็นตารางสองทางดังนี้

ระดับต่าง ๆ ของตัวแปร A (row)	ระดับต่าง ๆ ของตัวแปร B (Column)			รวม	เฉลี่ย
	1	2 ...	C		
1	X_{111} X_{112} ⋮ X_{11n} T_{11}	X_{121} X_{122} ⋮ X_{12n} T_{12} ...	X_{1c1} X_{1c2} ⋮ X_{1cn} T_{1c}	$T_{1..}$	$\bar{X}_{1..}$
1	X_{211} X_{212} ⋮ X_{21n} T_{21}	X_{221} X_{222} ⋮ X_{22n} T_{22} ...	X_{2c1} X_{2c2} ⋮ X_{2cn} T_{2c}	$T_{2..}$	$\bar{X}_{2..}$
⋮	⋮	⋮ ⋮	⋮	⋮	⋮
r	X_{r11} X_{r12} ⋮ X_{r1n} T_{r1}	X_{r21} X_{r22} ⋮ X_{r2n} T_{r2} ...	X_{rc1} X_{rc2} ⋮ X_{rcn} T_{rc}	$T_{r..}$	$\bar{X}_{2..}$
รวม	$T_{.1.}$	$T_{.2.}$ ...	$T_{.c.}$	T	
เฉลี่ย	$\bar{X}_{.1.}$	$\bar{X}_{.2.}$ ...	$\bar{X}_{.c.}$		$\bar{\bar{X}}$

เมื่อ X_{ijk} คือ ค่าสังเกตจากตัวอย่างที่ k ระดับที่ i ของตัวแปร A และระดับที่ j ของตัวแปร B

T_{ij} คือ ผลรวมของค่าสังเกตในระดับที่ i ของตัวแปร A และระดับที่ j ของตัวแปร B

โดย $T_{ij} = \sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$

$\bar{X}_{ij}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตในระดับที่ i ของตัวแปร A และระดับที่ j ของตัวแปร B

$$\text{โดย} \quad \bar{X}_{ij} = \frac{T_{ij}}{n}$$

n คือ จำนวนตัวอย่างในแต่ละระดับ

T_i คือ ผลรวมของค่าสังเกตในระดับที่ i ของตัวแปร A

$$\text{โดย} \quad T_i = \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$$

$$= \sum_{j=1}^{c} T_{ij}$$

$\bar{X}_{i..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตในระดับ i ของตัวแปร A

$$\text{โดย} \quad \bar{X}_{i..} = \frac{T_i}{nc}$$

$$= \frac{1}{nc} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$$

T.j. คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตในระดับ i ของตัวแปร A

$$\text{โดย} \quad T_i = \frac{T_i}{nc}$$

$$= \sum_{i=1}^{r} T_{ij}$$

$\bar{X}.i.$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตในระดับ i ของตัวแปร A

$$\text{โดย} \quad \bar{X}.j. = \frac{T_i}{nr}$$

$$= \frac{1}{nr} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$$

T คือ ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด

$$\text{โดย} \quad T = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$$

$$T = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c} T_{ij.}$$

$$T = \sum_{i=1}^{r} T_{i..}$$

$$T = \sum_{j=1}^{c} T_{.j.}$$

$\bar{\bar{X}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$$\text{โดย} \quad \bar{\bar{X}} = \frac{T}{ncr}$$

$$T = \frac{1}{ncr}\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} X_{ijk}$$

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีตัวแปรที่สนใจ 2 ตัวแปร สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตามแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (X_{ijk} - \bar{\bar{X}})^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (X_{ijk} - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (X_{ijk} - \bar{X}_{ij.})^2$$

แต่

$$\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{ij.} - \bar{\bar{X}})^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{ij..} - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{.j.} - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{ij.} - \bar{X}_{i..} - \bar{X}_{.j.} + \bar{\bar{X}})^2$$

ดังนั้น

$$\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (X_{ijk} - \bar{\bar{X}})^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{i..} - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{.i.} - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} (\bar{X}_{ij.} - \bar{X}_{i..} - \bar{X}_{.j.} + \bar{\bar{X}})^2$$

$$+\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}(X_{ijk}-\bar{X}_{ij.})^2$$

$$= nc\sum_{i=1}^{r}(\bar{X}_{i..}-\bar{\bar{X}})^2 + nr\sum_{j=1}^{c}(\bar{X}_{.j.}-\bar{\bar{X}})^2$$

$$+ n\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}(\bar{X}_{ij.}-\bar{X}_{i..}-\bar{X}_{.j.}+\bar{\bar{X}})^2$$

$$+\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}(X_{ijk}-\bar{X}_{ij.})^2$$

นั่นคือ ความแปรปรวนทั้งหมด = ความแปรปรวนเนื่องจากระดับต่าง ๆ ของตัวแปร A + ความแปรปรวนเนื่องจากระดับต่าง ๆ ของตัวแปร B + ความแปรปรวนเนื่องจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างระดับต่าง ๆ ของตัวแปร A และระดับต่าง ๆ ของตัวแปร B + ความแปรปรวนภายในกลุ่มหรือความคลาดเคลื่อน

อนึ่ง เนื่องจากการคำนวณค่าความแปรปรวนต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นไม่สะดวกในการคำนวณ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$MS_T = \frac{SS_T}{df_T}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{nrc}$$

$$df_T = nrc - 1$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^{r}\frac{T_i^2}{nrc} - \frac{T^2}{nrc}$$

$$df_T = r - 1$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$$

$$SS_A = \sum_{j=1}^{c} \frac{T_i^2}{nr} - \frac{T^2}{nrc}$$

$$df_r = c - 1$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{df_{AB}}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \frac{T_{ij}^2}{n} - \frac{T^2}{nrc} - SS_A - SS_B$$

$$df_{AB} = (r-1)(c-1)$$

$$MS_W = \frac{SS_W}{df_W}$$

$$SS_W = SS_T - SS_A - SS_{AB}$$

$$df_{AB} = rc(n-1)$$

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน

1.1 H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากรในตัวแปร A ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากรในตัวแปร A แตกต่างกัน

หรือ H_0 : $\mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3 = \ldots = \mu A_r$

H_1 : $\mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3 \neq \ldots \neq \mu A_r$

เมื่อ μA_i คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรระดับที่ i ในตัวแปร A

1.2 H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากรในตัวแปร B ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากรในตัวแปร B แตกต่างกัน

หรือ H_0 : $\mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \ldots = \mu B_c$

H_1 : $\mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3 \neq \ldots \neq \mu B_c$

เมื่อ μB_i คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรระดับที่ i ในตัวแปร B

1.3 H_0 : ไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง

H_1 : มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง

หรือ H_0 : $I_{AB} = 0$

H_1 : $I_{AB} \neq 0$

เมื่อ I_{AB} คือ ปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง

2. สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 $F = \frac{MS_A}{MS_W}$ สำหรับสมมติฐาน 1.1

2.2 $F = \frac{MS_B}{MS_W}$ สำหรับสมมติฐาน 1.2

2.3 $F = \frac{MS_{AB}}{MS_W}$ สำหรับสมมติฐาน 1.3

3. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญ (α)

4. พิจารณาขอบเขตวิกฤตโดยปฏิเสธ H_0 กรณีต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ถ้าตั้งสมมติฐานในกรณีที่ 1.1 จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าสถิติ F ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ $F_{\alpha[r-1, rc(n-1)]}$

4.2 ถ้าตั้งสมมติฐานในกรณีที่ 1.2 จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าสถิติ F ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ $F_{\alpha[c-1, rc(n-1)]}$

4.3 ถ้าตั้งสมมติฐานในกรณีที่ 1.3 จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าสถิติ F ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ $F_{\alpha[r-1, rc(n-1)]}$

5. เขียนตารางสรุปเพื่อเสนอผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้ ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน (Source of Variation)	SS	df	MS	F
ระหว่างตัวแปร A	SS_A	r - 1	MS_A	MS_A/MS_W
ระหว่างตัวแปร B	SS_B	c - 1	MS_B	MS_A/MS_W
ปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง	SS_{AB}	(r-1)(c-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MS_W
ภายในตัวแปรทั้งสอง	SS_w	rc (n-c)	MS_W	
รวม	SS_T	nrc - 1		

6. สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตัวแปร A หรือการเปรียบเทียบตามแถว (Row)

6.1.1 ถ้าผลการทดสอบมีนัยสำคัญ (ปฏิเสธ H_0) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร A ในระดับต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6.1.2 ถ้าผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ (ยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร A ในระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตัวแปร B หรือการเปรียบเทียบตามสดมภ์ (Column)

6.2.1 ถ้าผลการทดสอบมีนัยสำคัญ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร B ในระดับต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6.2.2 ถ้าผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร B ในระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งแนวแถวและสดมภ์

6.3.1 ถ้าผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปร A และตัวแปร B กล่าวคือตัวแปรระดับต่าง ๆ แนวแถวและสดมภ์ ไม่มีผลร่วมกันต่อการทดลองถ้าเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในตัวแปร A (กรณีที่ 6.1) และ/หรือการเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยในตัวแปร B (กรณีที่ 2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลจากตัวแปร A หรือตัวแปร B เท่านั้น

6.3.2 ถ้าผลการทดสอบมีนัยสำคัญ แสดงว่ามีปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปร A และตัวแปร B กล่าวคือตัวแปรระดับต่าง ๆ แนวแถว และสดมภ์มีผลร่วมกันต่อการทดลอง ผลความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการทดลอง เป็นผลมาจากตัวแปรแนวแถวและสดมภ์ไม่ใช่เป็นผลจากตัวแปร A หรือตัวแปร B โดยเฉพาะเท่านั้น

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการวิจัยขั้นตอนแรกเริ่มจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากการวิจัยในอดีต ซึ่งมีการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง การศึกษาอุปกรณ์ในการผลิตถ่านอัดแท่ง และศึกษาวัสดุที่ใช้ในการผลิต พร้อมทั้งทำการทดลองเพื่อผลิตถ่านอัดแท่งและทดสอบสมบัติ ต่าง ๆ เช่น จุดเดือดของน้ำ ระยะเวลาการเผาไหม้ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ปริมาณเถ้าถ่าน และความชื้น เพื่อมาเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง โดยการสรรหาวัสดุเหลือใช้ที่ไม่เคยมีงานวิจัยมาก่อน เช่น ใบไม้ผสมซังข้าวโพด เป็นต้น

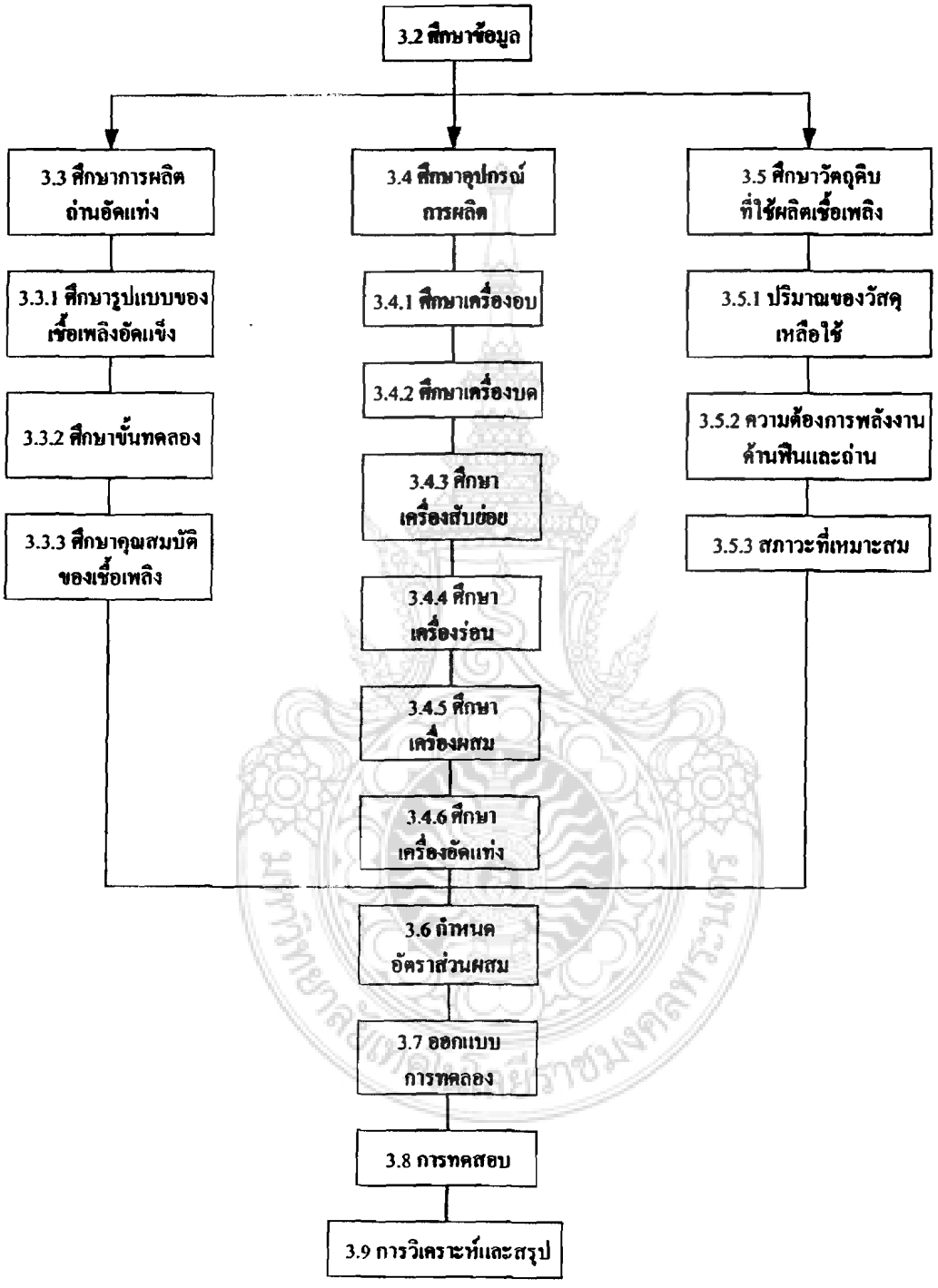
เมื่อทำการทดสอบเสร็จ ก็นำผลการทดสอบนั้น มาทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบของถ่านอัดแท่ง จากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น และสรุปผลการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

หมายเหตุ : เถ้าถ่าน หมายถึง ถ่านที่ผ่านการเผาไหม้กลายเป็นเถ้าถ่าน

3.2 ศึกษาข้อมูล

ศึกษาข้อมูลการทดสอบแบบต่าง ๆ ของหนังสือแต่ละเล่มในห้องสมุดของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อนำมาเปรียบเทียบมาตรฐานในการทดสอบที่มีการทดสอบแต่ละชนิดว่ามีการทดสอบอย่างไรและมีสมบัติทางด้านใด เพื่อจะทำการเลือกวิธีการทดสอบให้ตรงกับสมบัติของถ่านอัดแท่งแต่ละชนิดเพื่อที่จะนำถ่านอัดแท่งชนิดนั้นไปใช้ได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของแต่ละด้าน

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ทำการทดสอบหลาย ๆ ที่โดยศึกษาว่าสถานที่แห่งใดใช้เครื่องในการทดสอบได้มาตรฐานมากกว่าและมีการทดสอบชนิดใดบ้างเหมาะสมกับงานทดสอบ ค่าใช้จ่ายในการทดสอบเป็นอย่างไร ใช้ระยะเวลาในการทดลองและทดสอบมากน้อยเพียงใด และออกใบรับรองผลการทดสอบหรือไม่อย่างไร



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัยในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้

3.3 ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง

จากวัสดุเหลือทางการเกษตรโดยใช้วิธีอัดร้อน อัดเป็นแท่ง โดยใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง เช่น ขี้กบไสไม้ ขี้เลื่อย แกลบ หรือใบไม้ และใบหญ้า จากการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ทำเชื้อเพลิงแข็งด้วยเครื่องอัดโดยใช้ความร้อนจากไฟฟ้า มีแกลบ ขี้เลื่อย และชานอ้อย วัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่อยู่มากมาย และแต่ ละอย่างก็เป็นปัญหาที่จะต้องกำจัดทิ้งทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังทราบว่า คนไทยสามารถประดิษฐ์เครื่องจักรสำหรับใช้อัดทำเชื้อเพลิงแข็งได้ โดยเลียนแบบเครื่องจากบริษัทจากต่างประเทศ

3.3.1 ศึกษารูปแบบของเชื้อเพลิงอัดแข็ง

เป็นการศึกษาตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแข็งโดยใช้ความร้อน มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตรงกลางกลวง และการใช้เชื้อเพลิงที่ทำจาก ขี้เลื่อย ขี้กบ อัดลงไปในกระบอก ก็ต้องมีไม้กลวง ๆ เป็นแกนกลาง เมื่อเอาไม้แกนกลางออก เชื้อเพลิงที่อัดอยู่ในกระป๋องจะมีลักษณะเป็นรูปกระบอกตรงกลางมีรูกลวงเช่นเดียวกัน รูแกนกลางมีประโยชน์ในเรื่องช่วยการลุกไหม้ หรือการติดไฟของเชื้อเพลิง

3.3.2 ศึกษาขั้นทดลอง

เนื่องจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่มีอยู่เป็นปริมาณมากมายและมีอยู่กระจัดกระจายทั่วไป หากมีวิธีทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งอย่างง่าย ๆ เพื่อใช้เองก็จะเกิดประโยชน์ จึงได้ศึกษาทดสอบหาวิธีต่าง ๆ และเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีผู้ทำขึ้นแล้วโดยใช้เครื่องอัดร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องลงทุนมากและต้องอาศัยเทคโนโลยีค่อนข้างสูง

3.3.2.1 การเลือกใช้วัสดุประสานในการทำเชื้อเพลิงอัดแข็ง

วัตถุประสานมีหลายชนิด เช่น กาวยูเรีย กาวฟีนอล กาวลาเทกซ์ กาวเคกซ์ คาริน กาวแข็ง เป็นต้น ในจำนวนวัตถุประสานเหล่านี้ กาวแป้งเป็นวัตถุประสานที่มีราคาถูกและหาง่ายกว่ากาวชนิดอื่น จึงได้เลือกใช้เป็นวัตถุประสานในการทำเชื้อเพลิงแข็ง กาวแป้งในตอนแรกนี้ใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีราคาค่อนข้างถูก ทำได้โดยใช้แป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เพื่อหาความเข้มข้นของกาวแป้งที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุประสานในการทำเชื้อเพลิงอัดแข็ง ซึ่งแป้งมันสำปะหลังตามอัตราส่วนที่กล่าวแล้วเติมน้ำ 100 มล. ต้มให้เดือด จนแป้งสุกจะได้กาวแป้งซึ่งใช้เป็นวัตถุประสานตามต้องการ

3.3.2.2 เตรียมวัสดุเชื้อเพลิง

1) ทำวัสดุเชื้อเพลิงให้แห้ง นำซังข้าวโพดมาตากแดดหรืออบในตู้อบอุณหภูมิ 110°C จนแห้ง โดยมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้แห้งติดกันซ้ำเมื่ออัดเป็นแท่ง และอาจจะทำให้ก้อนเชื้อเพลิงขึ้นราได้ นอกจากนั้นจะได้ค่าปริมาณความร้อนน้อยลงด้วย

2) บดวัสดุเชื้อเพลิงให้ละเอียด เมื่อตากหรืออบซังข้าวโพดแห้งแล้ว เอามาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดโรลเลอร์มิล (Roller Mill) บดให้ละเอียดเท่าขนาดของขี้เลื่อย

3.3.2.3 หาอัตราส่วนที่เหมาะสม

1) หาความเข้มข้นของกาว ทำกาวแป้งให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แล้วเอากาวแป้งมาผสมกับซังข้าวโพดบดในอัตราส่วน 1 : 1 เมื่อคลุกเคล้าผสมกันดีแล้วอัดลงแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 2 นิ้ว แล้วตากแดดหรืออบในตู้อบอุณหภูมิ 100°C ให้แห้ง จากการทดลองกาวแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ใช้เป็นวัตถุประสานได้

2) หาอัตราส่วนซังข้าวโพดบดกับกาวแป้ง ใช้กาวแป้งตามข้อ 3.3.2.1 อัตราส่วนผสมซังข้าวโพดบดต่อกาวแป้ง 1 : 2, 1 : 1 และ 2 : 1 เมื่อผสมกันดีแล้วอัดลงแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 2 นิ้ว แล้วตากแดดหรืออบในตู้อบอุณหภูมิ 110°C ให้แห้ง จากผลการทดลองอัตราส่วนซังข้าวโพดบดต่อกาวแป้ง 1 : 1 ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งได้ดี

3.3.3 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

3.3.3.1 ความหนาแน่น

ไม้หรือฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.35 – 0.8 (กรัมต่อตารางเซนติเมตร) เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นมากการติดไฟจะติดยาก แต่ติดไฟกอยู่ได้นาน เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นน้อย การติดไฟง่าย แต่การติดไฟอยู่ได้ไม่นานก็หมด เชื้อเพลิงอัดแข็งจากซังข้าวโพดบดมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.45 – 0.5 กรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเทียบเท่ากับไม้หรือฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงอยู่ทั่วไป

3.3.3.2 ความชื้น

ไม้ที่ใช้ทำเป็นฟืนหรือเชื้อเพลิง ถ้ามีความชื้นมาก ไม้หรือฟืนนั้นจะติดได้ยาก และให้ค่าปริมาณความร้อนน้อย เก็บรักษายาก มักขึ้นรา ตรงข้ามถ้าไม้ที่ใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงมีความชื้นน้อยหรือไม่มีเลย จะติดไฟง่ายและให้ค่าปริมาณความร้อนสูง เชื้อเพลิงที่ดีมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 เชื้อเพลิงอัดแข็งที่ทำจากซังข้าวโพดมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 10.5 – 10.7 นับได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดีพอสมควร

3.3.3.3 ปริมาณเถ้า

ไม้หรือฟืนที่ใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงจะมีเถ้าประมาณร้อยละ 3.9 ซึ่งส่วนใหญ่มีปริมาณเถ้าน้อย เพราะว่าติดไฟได้ดี เชื้อเพลิงอัดแข็งที่ทำจากซังข้าวโพดมีเถ้าประมาณร้อยละ 2.7 จัดเป็นเชื้อเพลิงที่ดีชนิดหนึ่ง

3.3.3.4 ค่าความร้อน

ฟืนหรือไม้ให้ค่าความร้อนประมาณ 3,934 แคลอรี่ต่อกรัม เชื้อเพลิงอัดแข็งจากซังข้าวโพดให้ค่าความร้อน 4,770 แคลอรี่ต่อกรัม จัดว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนดีได้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [8]

	เชื้อเพลิง			เชื้อเพลิงอัดแข็ง			ไม้
	ซังข้าวโพด บด	ขี้เลื่อย	แกลบ บด	ซังข้าวโพด บด	ขี้เลื่อย	แกลบ บด	หรือ ฟืน
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	-	-	-	0.475	0.37	0.47	0.3-0.8
ความชื้น %	10.03	9.00	7.86	10.70	9.10	8.20	10.0-18.0
เถ้า %	2.83	2.26	14.62	2.70	2.32	14.78	3.9
ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)	4,965	4,956	4,044	4,770	5,028	4,022	3,934

3.4 ศึกษาอุปกรณ์การผลิต

ศึกษาเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งาน คุณภาพการใช้งาน ความแข็งแรง ทนทาน จึงเป็นแรงผลักดันในการออกแบบพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถที่มีอยู่ ทำความเข้าใจในการศึกษาอุปกรณ์การผลิต และปัญหานั้น ๆ ให้ถูกต้อง

3.4.1 ศึกษาเครื่องอบ

ในการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าว วัสดุเหลือใช้ที่เป็นชิ้นใหญ่ที่ไม่นำไปใช้ในการอัดแท่ง หรือแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตได้ จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา ทำให้เกิดอากาศร้อนไหลผ่านเข้าสู่ท่อชั้นในของเตาอบแห้ง และถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อให้แก่วัสดุที่ต้องการอบ ในขณะที่วัสดุเหลือใช้ที่ต้องการอบแห้งได้ถูกป้อนเข้าสู่ท่อชั้นนอก หลังจากการผ่านการร่อนแล้ว หลังจากที่อากาศร้อนถ่ายเทความร้อนให้แก่ผนังท่อแล้ว อุณหภูมิจะลดลง ก็จะไหลวกกลับทางด้านปลายท่อผ่านท่อชั้นนอกที่มีวัสดุเหลือใช้ เพื่อระบายความชื้นออกนอกเครื่องอบแห้งทางปล่องที่ติดตั้งไว้

3.4.2 ศึกษาเครื่องบด

พวกวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรนี้ นอกจากซังข้าวโพดแล้วก็ยังมีขี้เลื่อย แกลบ แกนปอ ต้นมันสำปะหลัง ใบไม้ ใบหญ้า ฯลฯ กรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้ใช้เครื่องโรลเลอร์มิล (Roller Mill) หรือ (Jig Saw) สำหรับบดวัสดุเหล่านี้ให้ละเอียด เครื่องบดโรลเลอร์มิลนี้เป็นเครื่องบดที่ใช้งานได้ดี ประกอบด้วยลูกบดเหล็กกลม 2 ลูก กลิ้งไปตามราง โดยมีแรงของเครื่องขับ (Motor) เป็นตัวขับสามารถบดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ให้ละเอียดได้เร็ว แต่เครื่องนี้มีราคาค่อนข้างแพง ถ้าชาวบ้าน

จะทำเชื้อเพลิงอัดแข็งควรใช้เครื่องสีข้าวเป็นเครื่องสำหรับบดเครื่องสีข้าวนี้มีลักษณะคล้ายโม่สำหรับโม่แป้ง แต่มีขนาดใหญ่กว่าโม่มาก มีน้ำหนักกดมาก ทำด้วยไม้และดินจอมปลวก สามารถใช้บดวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเหล่านี้ให้ละเอียด ส่วนราคานั้นไม่แพง ชาวบ้านหรือเกษตรกรรู้จักกันดีสามารถหาหรือทำขึ้นมาใช้เองได้

3.4.3 ศึกษาเครื่องสับย่อย

วัสดุเหลือใช้ที่เป็นเส้นยาว เช่น กากอ้อย ฟางข้าว หรือผักตบชวา จำเป็นต้องสับย่อยเพื่อให้มีขนาดเหมาะสมก่อนที่จะนำไปอัดแท่ง ดังนั้น วท. จึงได้ออกแบบและจัดสร้างเครื่องสับย่อย ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ใบมีดที่ติดเรียงตัวกันบนเพลาที่หมุนได้รอบตัว โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งขนาดของเครื่องสับย่อยและจำนวนใบมีดที่ติดบนเพลาตลอดจนลักษณะของใบมีด จำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชนิด ขนาด และปริมาณของวัสดุเหลือใช้ที่ต้องการจะย่อยขนาด โดยทั่วไปมักนิยมติดตะแกรงร่อนรองรับอยู่ช่วงล่าง เพื่อให้วัสดุที่ย่อยแล้วผ่านตะแกรงร่อนก่อนถูกนำไปใช้ในการอัดแท่ง

3.4.4 ศึกษาเครื่องร่อน

หลังจากที่วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดใหญ่หรือยาวได้ถูกย่อยหรือสับให้มีขนาดเล็กลงแล้ว ควรผ่านการร่อนที่ตะแกรงขนาดไม่น้อยกว่า 4.5 ตร.มม. ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ที่ต้องการจะนำมาอัดแท่งมีการเกาะตัวกันได้ดี

3.4.5 ศึกษาเครื่องผสม

กรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้ดัดแปลงมาจากเครื่องผสมคอนกรีต โดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร มีฝาปิดทั้งสองด้าน ตรงกลางของทั้งสองฝา เจาะรู แล้วใส่บูท มีเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ¾ นิ้ว สอดรูผ่านบูท ทะลุตัวถังน้ำมันทั้งสองฝา และให้เลยออกไปห่างจากฝาน้ำมันข้างละ 6 นิ้ว เพื่อใช้ทำเป็นมือสำหรับหมุน ท่อนเหล็กกลมที่เป็นแกนกลางอยู่ภายในถังน้ำมันนี้เชื่อมด้วยใบกวน (ใบกวนนี้ทำด้วยเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง ¼ นิ้ว) 4 แถว 2 แถวแรกเชื่อมตรงกันข้ามยึก 2 แถวหลังเชื่อมสลับกัน 2 แถวแรก ระยะห่างของใบกวนแต่ละแนวนอนสามารถลดระดับให้หัวหรือท้ายของถังน้ำมันทำมุม 45° ได้ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการผสมกาวแป้งกับวัสดุเชื้อเพลิงให้คลุกเคล้ากันดีที่สุด ถ้าจะทำให้เครื่องผสมนี้ทำงานได้รวดเร็วต้องใช้เครื่องขับ (Motor) เป็นตัวขับแทนมือหมุน

3.4.6 ศึกษาเครื่องอัดแท่ง

กรมวิทยาศาสตร์ ได้ศึกษา ดัดแปลง เครื่องอัดน้ำมันมาทำเป็นเครื่องอัดเชื้อเพลิงแข็ง โดยดัดแปลงให้ง่ายเข้า วิธีการทำเครื่องอัดเชื้อเพลิงนี้ มีฐานทำด้วยไม้ ตรงกลางฐานไม้มีไม้กลม ๆ รูปทรงกระบอกตั้งอยู่ เส้นผ่าศูนย์กลางเกือบเท่ากับแกน โดยให้แบบรวมลงได้พอดี ความยาวของไม้กลมรูปทรงกระบอกนี้ให้สูงกว่าแบบ 2 นิ้ว ตรงปลายแท่งของฐานมีเสา 2 ต้น ตั้งอยู่ที่

ปลายแท่นของฐานรองรับ เจาะรูเสาทั้งสองต้นให้มีระดับความสูงเท่ากับความสูงของไม้กลมรูปทรงกระบอกรวมกับความสูงของไม้แกนกลางพอดี และเจาะรูเสาทั้งสองอีกระดับหนึ่งให้ต่ำกว่ารูแรกประมาณ 1 – 2 นิ้ว ระหว่างเสาทั้งสองมีคันโยกโดยใช้จุดศูนย์กลาง (ฟัลคั่ม) อยู่ที่รูเสาทั้งสอง คันโยกนี้ทำด้วยไม้มีความหนาและแข็งแรงพอสมควร ตัดแผ่นไม้คันโยกตรงที่สัมผัสแกนกลาง เจาะรูกลม ๆ ที่แผนคันโยก ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่ารูแกนกลางของเชื้อเพลิงเล็กน้อย เพื่อให้ไม้กลม ๆ ที่เป็นแกนกลางของเชื้อเพลิงทะลุออกไปได้ตัวแบบสำหรับใช้อัดเชื้อเพลิง ใช้กระป๋องนมขนาด 1 แกลลอน และต้องมีฝาไม้กลม ๆ เจาะรูให้ไม้กลมที่เป็นแกนกลางทะลุออกไปได้เช่นเดียวกัน วิธีอัด ยกแบบกระป๋องนมขึ้นมาตั้งบนฐานรองรับโดยให้ตัวแบบเลยไม้แกนกลาง ใส่เชื้อเพลิงที่ผสมเสร็จแล้วลงไปให้เต็ม ปิดฝาแบบให้ตรงกับไม้แกนกลาง อัดด้วยคันโยกโดยให้ไม้แกนกลางโผล่ขึ้นมาแล้วค่อย ๆ อัดคันโยกลงไปอีกให้แน่นพอสมควร ยกแผ่นคันโยกออก เปิดฝา ไม้ออก เคาะแบบกระป๋องนมลง ก้อนเชื้อเพลิงจะค้างอยู่บนฐานรองรับ ดึงเอาไม้แกนกลางออก จะได้เชื้อเพลิงอัดแข็ง นำไปตากแดดให้แห้ง

3.5 ศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง

วัสดุที่เหลือใช้ที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ วัสดุที่เป็นลิกโนเซลลูโลส เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้ลิกนินและคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในวัสดุเหล่านั้นจับพิสกันแน่นเมื่อถูกความร้อน หรือเรียกว่าทำหน้าที่เป็นตัวประสาน เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ผลิตเป็นแท่งได้ดี

3.5.1 ปริมาณของวัสดุเหลือใช้

ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งขั้นอุตสาหกรรม จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของวัตถุดิบหรือวัสดุเหลือที่ใช้ที่จะนำมาทำการอัดให้เป็นแท่ง ทั้งนี้เพราะปริมาณของวัตถุดิบเป็นตัวกำหนดที่สำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าการผลิตนั้น ๆ มีความคุ้มทุนต่อการลงทุนหรือไม่ สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม การเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกในแต่ละปีย่อมแสดงถึงจำนวนผลผลิตทางเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรที่มีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 3.2 แสดงพื้นที่การเพาะปลูกพืชเกษตรกรรมหลัก ผลผลิต และปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในปี พ.ศ. 2538/2539 เห็นได้ว่าปริมาณวัสดุเหลือใช้จากการปลูกพืชหลักของประเทศเพียง 9 ชนิด มีมากว่า 60 ล้านตันต่อปี ซึ่งการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงมีข้อจำกัดอยู่บ้าน เช่น มีความหนาแน่นต่ำ จึงต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บมาก และเสียค่าขนส่งสูง ทำให้การใช้งานถูกจำกัดอยู่เฉพาะในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งผลิต ตลอดทั้งประสิทธิภาพของการเผาไหม้วัสดุดังกล่าวค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การนำวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมาก

รวมทั้งมีข้อจำกัดตามที่ได้กล่าวแล้ว มาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็งเพื่อใช้ทดแทนไม้ฟืน จึงเป็นไปได้มากในทางปฏิบัติ

3.5.2 ความต้องการพลังงานด้านฟืนและถ่าน

การใช้ฟืนไม้และถ่านมีปริมาณรวมกันสูงถึงร้อยละ 14.2 ซึ่งสูงกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและถ่านหินลิกไนต์ในปีเดียวกัน นอกจากนี้ การใช้แกลบ 1.3×10^{12} กิโลแคลอรี นั้นเป็นเพียงร้อยละ 5.88 ของปริมาณแกลบที่มีอยู่ (22.09×10^{12} กิโลแคลอรี จากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2) ดังนั้น การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากแกลบที่มีปริมาณเหลือใช้มหาศาล ย่อมเป็นพลังงานทดแทนฟืนไม้และถ่านได้อีกมาก

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงของวัสดุเหลือใช้

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย %	ถ่านคงตัว %	เถ้า %	กำมะถัน %	ค่าความร้อนกิโลแคลอรี/กิโลกรัม
ขี้เลื่อย	75.4	22.4	2.0	0.20	4,750
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	0.3	4,440
แกลบ	62.7	17.4	20.0	0.14	3,860
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	-	4,300
ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,450
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,380
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,150
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.3	4,300
เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,050
เศษหวาย	70.5	23.7	5.7	-	4,480
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,460
ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	1.19	3,010

ที่มา : วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม สาขาวิจัยอุตสาหกรรมการพลังงาน, วท. [4]

3.5.3 สภาวะที่เหมาะสมของวัตถุดิบ

ในการผลิตถ่านเชื้อเพลิงแข็งมีองค์ประกอบหลักที่ควรคำนึงถึงเพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพกล่าวคือ

3.5.3.1 ความชื้นโดยทั่วไปวัสดุเหลือใช้ควรมีความชื้นไม่เกิน 10% ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุดังกล่าวเกาะกันเป็นแท่งได้ง่ายไม่มีรอยแตกร้าว และมีความแข็งแรงพอเพียงสามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก

3.5.3.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 260 – 300°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อยและกากอ้อยเกาะกันเป็นแท่งอย่างมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด

3.5.3.3 ความดัน ในกระบอกอัด เกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอัดติดกับผนังกระบอกอัด นอกจากนี้ความดันยังขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัดความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดสกรูเมื่อวัสดุถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัด ซึ่งรับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้ความร้อนเกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกอัดกับแท่งฟืนที่กำลังเคลื่อนตัวออกจะช่วยทำให้เกิดความดันที่เหมาะสมทำให้วัสดุเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบรูปแบบการใช้พลังงานของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2539

ประเภทพลังงาน	ปริมาณความร้อน (10^{12} กิโลแคลอรี)	สัดส่วนของทั้งหมด (%)
ผลิตภัณฑ์น้ำมัน	100	60
ไฟฟ้าพลังน้ำ	12	7.2
ลิกไนต์และถ่านหิน	7	4.2
กากอ้อย	10.7	6.4
แกลบ	1.3	0.8
ฟืน	5.9	3.5
ถ่าน	17.8	10.7
ก๊าซธรรมชาติ	12	7.2
รวม	166.7	100

ที่มา : รายงานพลังงานของประเทศไทย 2539, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน [2]

ตารางที่ 3.4 พื้นที่เพาะปลูกเกษตรกรรมหลัก ผลผลิตและปริมาณวัสดุเหลือใช้ ในปี 2538/39

เลขที่	ผลผลิต	พื้นที่เพาะปลูก (x 1,000 ไร่)	ผลผลิต (x 1,000 ตัน)	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (x 1,000 ตัน)	ชนิดวัสดุเหลือใช้
1	ข้าว	63,353	22,016	5,723	แกลบ
				19,805	ฟางข้าว
2	ข้าวโพด	8,346	4,155	8,128	ซังและลำต้นข้าวโพด
3	มันสำปะหลัง	7,885	17,388	6,953	ลำต้นมันสำปะหลัง
4	อ้อย	6,279	57,974	17,438	กากอ้อย
5	มะพร้าว	2,362	1,413	1,509	เปลือกมะพร้าว
6	ข้าวฟ่าง	887	194	677	ลำต้นข้าวฟ่าง
7	ถั่วเขียว	2,197	234	596	ใบและลำต้นถั่วเขียว
8	ถั่วเหลือง	1,887	386	1,176	ใบและลำต้นถั่วเหลือง
9	ฝ้าย	363	81	164	ลำต้นฝ้าย
รวม		93,553	103,841	62,214	

ที่มา : สถิติเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2538/39, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2539 [6]

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมที่สำคัญจะเห็นได้ว่า มีวัสดุเหลือใช้หลายชนิด เช่น ฟางข้าว กากอ้อย ฟางข้าว ซังข้าวโพด และซุยมะพร้าว เป็นต้น มีค่าความร้อนมากกว่า 4,300 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม, อีกทั้งมีค่าถ่านคงตัวสูงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบที่จะอัดเป็นแท่ง เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้ดี มีเพียงแกลบและผักตบชวาที่มีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูง แต่ก็ไม่น่าจะเป็นปัญหาในการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับปริมาณสารระเหยต่างก็มีค่าใกล้เคียงกัน มีข้อดีอยู่ที่ปริมาณกำมะถัน พบว่าวัสดุเหลือใช้เกือบทุกชนิดมีค่าน้อยกว่า ๆ ซึ่งจะไม่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะแต่อย่างไร

3.6 อัตราส่วนผสม

1. ถ่านใบไม้, ซังข้างโพด
2. แป้งมันสำปะหลัง
3. น้ำ

3.6.1 อัตราส่วนที่ใช้

1 : 1 ใบไม้ 1 กก. : ซังข้าวโพด 1 กก.

3.6.1.1 เกณฑ์การผสมที่ 1 ใช้เวลาผสม 15 นาที

1) อัตราส่วนผสม 1 : 1 = ใบไม้ : ซังข้าวโพด

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 93% แป้งมัน 4% : น้ำ 3%

เวลาการอบ 6 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 93% แป้งมัน 4% น้ำ 3%

เวลาการอบ 10 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 93% แป้งมัน 4% น้ำ 3%

เวลาการอบ 15 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

2) อัตราส่วนผสม 1 : 1 = ใบไม้ : ซังข้าวโพด

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 94% แป้งมัน 3% : น้ำ 3%

เวลาการอบ 6 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 94% แป้งมัน 3% น้ำ 3%

เวลาการอบ 10 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 94% แป้งมัน 3% น้ำ 3%

เวลาการอบ 15 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

3) อัตราส่วนผสม 1 : 1 = ใบไม้ : ซังข้าวโพด

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 95% แป้งมัน 3% : น้ำ 2%

เวลาการอบ 6 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 95% แป้งมัน 3% น้ำ 2%

เวลาการอบ 10 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 95% แป้งมัน 3% น้ำ 2%

เวลาการอบ 15 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

4) อัตราส่วนผสม 1 : 1 = ใบไม้ : ซังข้าวโพด

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 96% แป้งมัน 2% : น้ำ 2%

เวลาการอบ 6 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

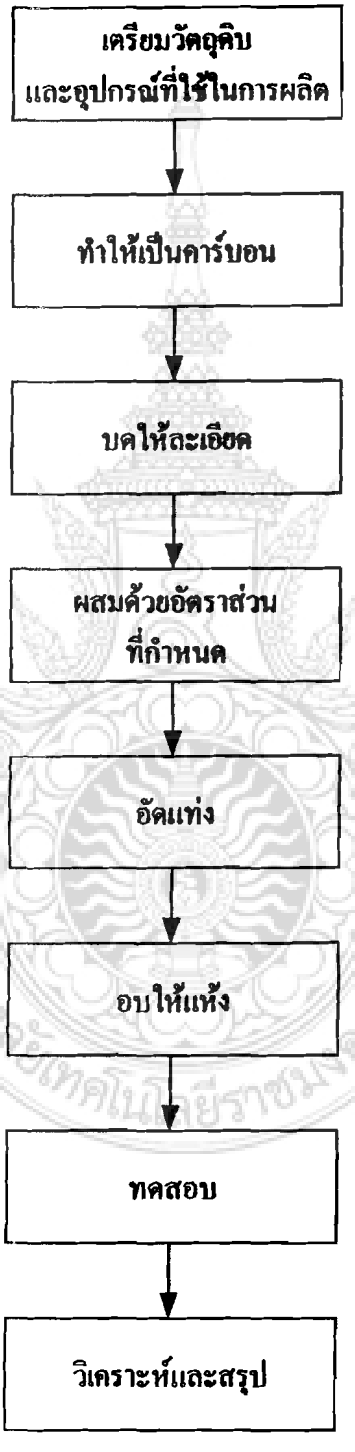
∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 96% แป้งมัน 2% : น้ำ 2%

เวลาการอบ 10 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

∴ ใบไม้ + ซังข้าวโพด 96% แป้งมัน 2% : น้ำ 2%

เวลาการอบ 15 ชม. จำนวนถ่าน 4 แท่ง

3.7 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการผลิตผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้

3.7.1 **การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต**

1) **นำวัตถุดิบที่จัดเตรียมไว้ใช้ในการผลิต เช่น ใบไม้ ปริมาณ 20 กิโลกรัม ซังข้าวโพด ประมาณ 20 กิโลกรัม**

2) **จัดเตรียมตัวที่ใช้เป็นตัวประสานให้เข้ากัน เช่น แป้ง ประมาณ 5 กิโลกรัม น้ำ ประมาณ 7 ลิตร**

3) **จัดเตรียมเครื่องที่ใช้ในการบด**

4) **จัดเตรียมเครื่องที่ใช้ในการอัด**

5) **จัดเตรียมเครื่องที่ใช้ในการผสม**

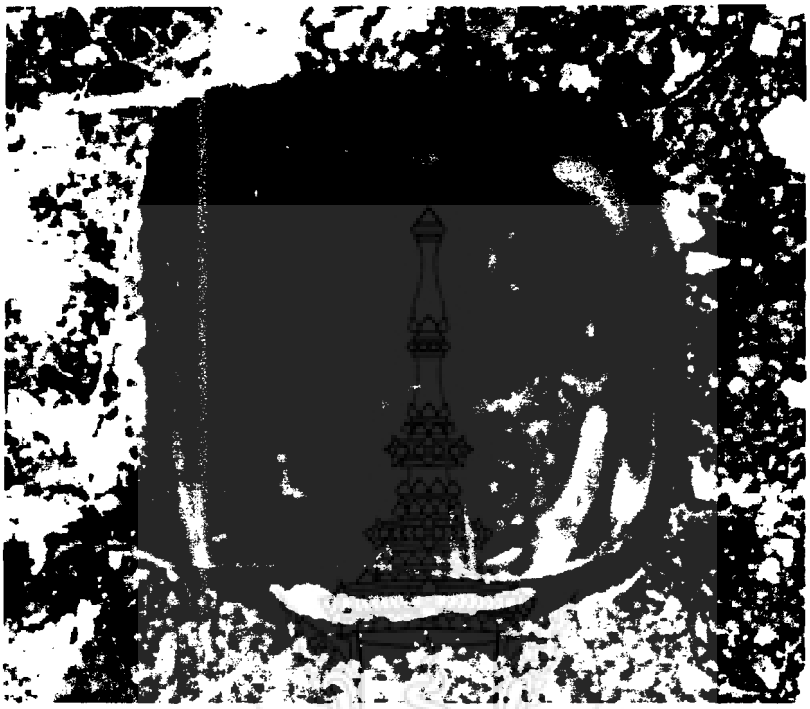
6) **จัดเตรียมเครื่องที่ใช้ในการอบ**

7) **จัดเตรียมสถานที่ทำการผลิต ผลิตที่ ถ.ซอยมังกร (11) โรงงานถ่านอัดแท่งที่ คุณฉัตรชัย อัศวาภิรมย์**

3.7.2 **การเผาซังข้าวโพดและอบวัตถุดิบให้เป็นคาร์บอน**

นำวัสดุซังข้าวโพดมาตากแดดให้แห้ง โดยให้มีความชื้นน้อยที่สุด แล้วนำใส่ในปี๊บที่ไม่มีฝาปิดจากนั้นทำการจุดไฟเหมือนกับการเผาถ่านไม้ทั่วไป เมื่อซังข้าวโพดเผาไหม้ทั้งหมดเรียบร้อยแล้วนำฝามาปิดให้สนิทเพื่อไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปได้ ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการเผาซังข้าวโพด 3 ชั่วโมงต่อซังข้าวโพด 8 กิโลกรัม หลังจากซังข้าวโพดเปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอนจะได้ถ่านซังข้าวโพดเหลือเพียง 1 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.3 ซังข้าวโพดก่อนเผาให้เป็นคาร์บอน



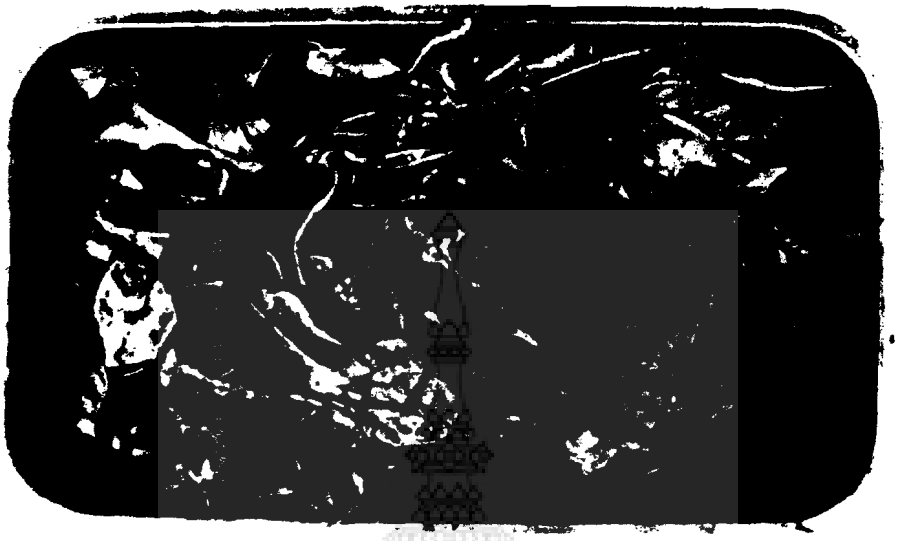
รูปที่ 3.4 การเผาซังข้าวโพดให้เป็นคาร์บอน

รูปที่ 3.5 ซังข้าวโพดที่เป็นคาร์บอน

3.7.3 การอบใบไม้แห้งให้เปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอน

นำวัสดุใบไม้แห้งมาห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอย โดยแต่ละห่อจะมีน้ำหนัก 2 กิโลกรัม แล้วใส่ในตู้อบ โดยอบที่อุณหภูมิ 150°C ใช้เวลาในการอบใบไม้แห้ง 20 นาที ซึ่งประสบปัญหาใบไม้ยังไม่เปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอน จึงทำการปรับอุณหภูมิสูงขึ้นที่ 200°C ใช้ระยะเวลาในการอบ 20 นาที จากการอบใบไม้ทั้ง 2 ครั้งนี้ จะได้ใบไม้ที่เปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอนไม่หมด จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิอีกครั้งที่ 250°C ใช้ระยะเวลาในการอบเหมือนเดิมที่ 20 นาที ปรากฏว่าใบไม้ที่ได้ก็ยังเป็นคาร์บอนไม่หมด แล้วทำการทดลองอีกครั้งปรับอุณหภูมิไปที่ 300°C ใช้ระยะเวลาการอบ 2 ครั้ง คือ ที่ 20 นาที ปรากฏว่าใบไม้ที่ได้ก็ยังเป็นคาร์บอนไม่หมด และที่ 30 นาที ปรากฏว่าใบไม้เริ่มจะเป็นคาร์บอน จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนวัสดุห่อหุ้มแทนกระดาษฟอย และใช้ถาดอลูมิเนียมเจาะรูด้านข้างและด้านบนทั้ง 2 ใบ ความโตของรูเจาะ 10 มม. แล้วใส่ใบไม้ที่แห้งสนิทให้เต็มถาด จากนั้นใช้ถาดดังกล่าวประกบให้สนิท ทำการอบใบไม้ที่อุณหภูมิ 350°C ในเวลาประมาณ 20 – 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ถึงรูปที่ 3.7 ปรากฏว่าสภาพใบไม้ที่ได้อยู่ในรูปคาร์บอนที่สมบูรณ์

รูปที่ 3.6 สภาพใบไม้ก่อนเป็นคาร์บอน

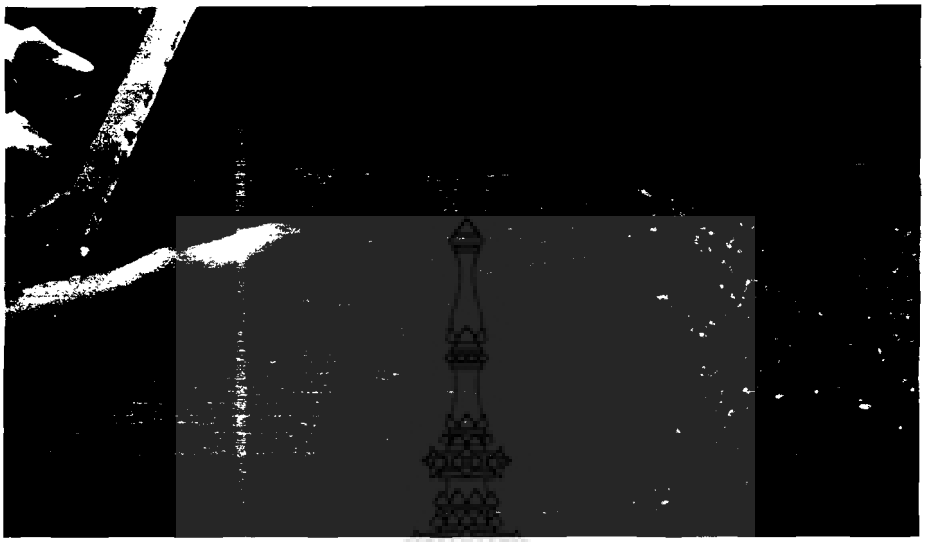


รูปที่ 3.7 สภาพใบไม้เป็นคาร์บอน

3.7.4 การบด

เมื่อผ่านกระบวนการทำให้เป็นคาร์บอนเรียบร้อยแล้ว ทั้งใบไม้และซังข้าวโพด สามารถนำถ่านมาบดกับเครื่องบดโดยแยกระหว่างใบไม้กับซังข้าวโพด ซึ่งจะมีสีดำ ดังรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.9 เมื่อทำการบดเรียบร้อยแล้ว และนำไปบรรจุถ่านดังกล่าวใส่กระสอบเพื่อสะดวกในการเก็บรักษาและใช้งาน

รูปที่ 3.8 ลักษณะการบดใบไม้



รูปที่ 3.9 ลักษณะการบดซังข้าวโพด

3.7.5 การผสมอัตราส่วน

นำถ่านที่ได้มาผสมด้วยอัตราส่วน 93:4:3, 94:3:3, 95:3:2, 96:2:2 ซึ่งรวมทั้งหมด 4 สูตร และผสมในแต่ละสูตรเพื่อเข้าเครื่องผสม จากนั้นทำการผสมแล้วก็จะแยกตามอัตราส่วนเพื่อสะดวกในการป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่งดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 การผสมถ่านใบไม้กับถ่านซังข้าวโพดระหว่างแป้งกับน้ำ

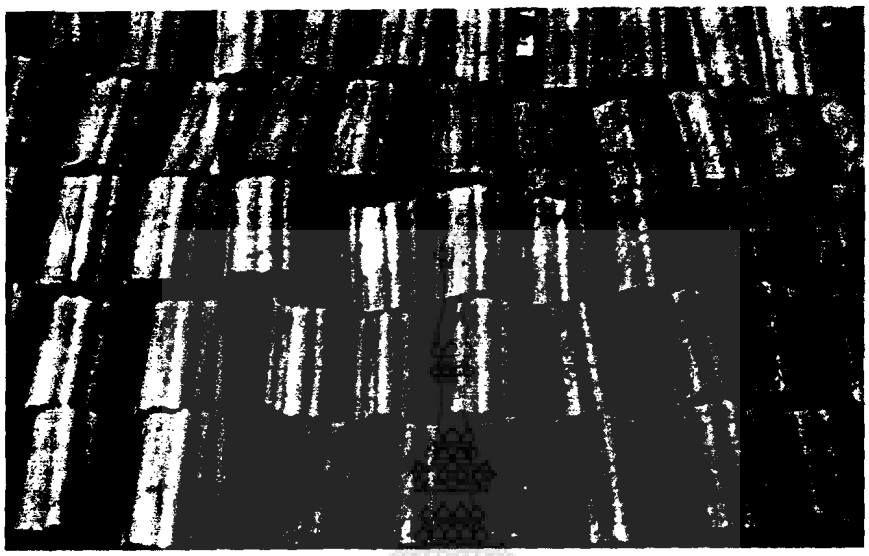
3.7.6 การอัดถ่านให้เป็นผลิตภัณฑ์

นำวัสดุที่ผสมตามสูตรเรียบร้อยแล้ว มาทำการป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่ง ซึ่งจะเป็นในรูปผลิตภัณฑ์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. และมีรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. และขนาดความยาว 10 ซม. จะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งก็สามารถนำถ่านอัดแท่งใส่ตะแกรงแล้วเข้าห้องอบ ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 การผลิตถ่านให้เป็นแท่ง

3.7.7 การอบแห้ง

เมื่อผ่านกระบวนการอัดแท่งเรียบร้อยแล้วก็นำผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งเข้าห้องอบซึ่งห้องอบมีความกว้าง 4 เมตร กว้าง 2 เมตร สูง 2 เมตร อบที่อุณหภูมิ 100 – 120°C ใช้ระยะเวลาในการอบ 6 ชม., 10 ชม., 15 ชม. และ 48 ชม. ซึ่งจะได้ถ่านอัดแท่งที่แห้งสนิท ดังรูปที่ 3.12 และสามารถนำไปทดสอบหาค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณเถ้า ความชื้น ต่อไป



รูปที่ 3.12 ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ประเภทซังข้าวโพดกับใบไม้

3.8 การทดสอบ

เมื่อผ่านกระบวนการอัดถ่าน และอบถ่านแห้งเสร็จเรียบร้อยในแต่ละส่วนผสมแล้ว นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบ เพื่อหาค่า ระยะเวลาการเผาไหม้ จุดเดือดของน้ำร้อน ส่วนค่าความร้อน ความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณขี้เถ้า จะใช้หลักวิธีตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) และวิธีวิเคราะห์ของอุปกรณ์เครื่องมือเฉพาะ เช่น วิธีหาค่าความร้อนของ Parr และวิธีหาความชื้นด้วยเครื่อง Mettler LP 16 ซึ่งจะมีขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดดังนี้

3.8.1 การทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้

นำถ่านอัดแท่งหรือตัวอย่างที่จะทดสอบ แต่ละส่วนผสมตามสัดส่วนที่ได้จากการทดลองไปชั่งน้ำหนัก โดยมีค่าพิกัดความเผื่อไม่เกิน 10 กรัม ซึ่งในแต่ละครั้งจะใช้ถ่านอัดแท่ง 10 แท่ง/ครั้ง เมื่อชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำถ่านไปจุดไฟในเตาโดยใช้แอลกอฮอล์ 40 มิลลิลิตร/ครั้ง ในการจุดไฟ การจับเวลานั้นสามารถจับเวลาหลังถ่านเผาไหม้ไปเป็นเวลา 30 นาที จนกว่าถ่านจะดับลงทั้งหมด

3.8.2 การทดสอบจุดเดือดของน้ำ

การหาจุดเดือดของน้ำร้อนนั้น จะวัดหลังการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที และเริ่มตั้งหม้อต้มน้ำบนเตาถ่าน ซึ่งจะมีปริมาณน้ำ 2,000 มิลลิเมตร การวัดอุณหภูมิของน้ำจะวัดห่างกัน 10 นาทีในแต่ละครั้ง โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดจนกว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนลดลงต่ำกว่า 50°C ก็จะได้ค่าจุดเดือดของน้ำร้อนแต่ละส่วนผสมตามสัดส่วนนั้น

3.8.3 การทดสอบค่าความร้อน

โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Oxygen bonb calorimeter โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 0.5 – 1 กรัม บรรจุในครูซิเบิล แล้วใส่ในภาชนะปิดสนิทที่เรียกว่า bomb ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และคายความร้อนให้กับน้ำที่อยู่รอบ bomb มีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ค่าความร้อนจากการวิเคราะห์ โดยวิธีนี้เรียกว่า gross calorific value เนื่องจาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ถูกทำให้ถูกควบแน่นอยู่ในสภาพของเหลว การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อ 1 ตัวอย่าง

3.8.4 การทดสอบความหนาแน่น

การหาความหนาแน่น แบบ True density ทำได้หลายวิธี ได้แก่ หารหาปริมาตรโดยการวัดขนาด การหาปริมาณโดยการแทนที่น้ำ หรือปรอท หรือการใช้ flotation tube เป็นต้น เปรียบเทียบกับน้ำหนัก เพื่อคำนวณความหนาแน่น การวิเคราะห์ความหนาแน่นแบบ Bulk density ทำโดยใช้กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 12 x 12 x 12 นิ้ว ที่ทราบน้ำหนักบรรจุตัวอย่างลงในกล่องโดยเทจากความสูง 2 ฟุต เหนือขอบกล่อง เขย่ากล่องในแนวตั้ง 5 ครั้ง โดยทิ้งจากระดับ 6 นิ้ว ชั่งน้ำหนักรวมเทียบกับปริมาตร เพื่อคำนวณความหนาแน่น ในการวิเคราะห์ใช้เวลา 15 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง

3.8.5 การทดสอบความชื้น

อาศัยหลักการอบตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ในครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์อย่างน้อย 30 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่หายไป คือ ปริมาณความชื้น การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ครั้งละไม่เกิน 5 ตัวอย่าง

3.8.6 การทดสอบปริมาณขี้เถ้า

เป็นการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องจากการหาค่าความชื้น โดยการนำตัวอย่างที่ผ่านการหาค่าความชื้นแล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 700°C – 705°C เป็นเวลาประมาณ 3-4 ชม. จนได้น้ำหนักคงที่ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำมาชั่งน้ำหนักของสารที่เหลือในครูซิเบิล คือ ปริมาณขี้เถ้า การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ครั้งละไม่น้อยกว่า 4 ตัวอย่าง

3.9 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

เมื่อผ่านกระบวนการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ค่าที่ได้ เช่น เวลาการเผาไหม้ ระยะเวลาจนถึงจุดเดือด นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบทางเดียว และนำค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ความชื้น ค่าปริมาณขี้เถ้า ถ่านคงตัว สารระเหย ไปเปรียบเทียบสมบัติกับถ่านชนิดอื่นที่ผ่านกระบวนการอัดเป็นแท่งเรียบร้อย ถึงคุณสมบัติต่าง ๆ และหาค่าที่ดีกว่า ถ่านที่ผลิตด้วยวัสดุชนิดใบไม้ ซังข้าวโพด และอื่น ๆ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสรุปเพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป และนำผลไปต่อยอดด้วยการสร้างเครื่องจักรกลเพื่อการผลิตและนำไปใช้ในชุมชนได้จริง ต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์วัสดุเหลือใช้ถ่านอัดแท่งที่ส่วนผสมตามกำหนดประกอบด้วยซังข้าวโพดต่อใบไม้แห้งในสัดส่วน 50 : 50 คิดเป็น 93%, 94%, 95% และ 96% โดยผสมกับแป้งและน้ำที่สัดส่วน 4 : 3, 3 : 3, 3 : 2 และ 2 : 2 ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ ทดสอบการเผาไหม้เพื่อวัดการให้ความร้อนของน้ำจนถึงจุดเดือดและระยะเวลาการให้ความร้อนของถ่านตรวจสอบระยะเวลาการเผาไหม้ ตรวจสอบค่าความร้อน (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม) ตรวจความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ตรวจสอบปริมาณเถ้าถ่าน (%) และตรวจสอบค่าความชื้น (%) ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตผลการทดสอบในด้านต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำเดือดและระยะเวลาในการให้ความร้อน

4.1.1 ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของถ่าน ซังข้าวโพดต่อใบไม้แห้ง แป้งและน้ำ ในสัดส่วน 93 : 4 : 3

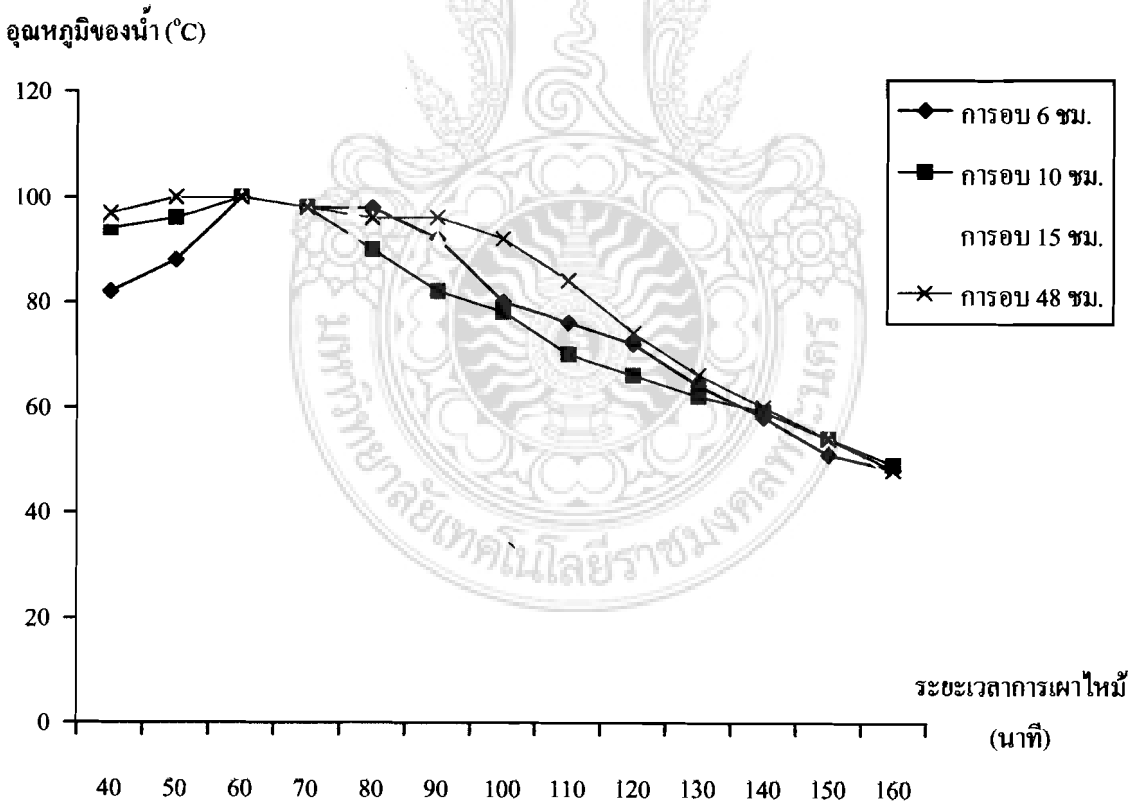
ผลการเผาไหม้เพื่อทดสอบการให้ความร้อนและเวลาในการเดือดของน้ำโดยกำหนดให้ใช้แอลกอฮอล์ ขนาด 40 มิลลิลิตรต่อการจุดติดไฟแต่ละครั้ง น้ำที่ใช้ในการต้มจำนวน 2,000 มิลลิลิตร และมีอุณหภูมิก่อนต้มประมาณ (18 – 21°C) ได้ผลตามตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 และแสดงผลเปรียบเทียบในรูปที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 93 : 4 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที

เวลาในการเผาไหม้	อุณหภูมิของน้ำ				
	การอบ 6 ชม.	การอบ 10 ชม.	การอบ 15 ชม.	การอบ 48 ชม.	ค่าเฉลี่ย
40 นาที	82°C	94°C	96°C	97°C	92.25°C
50 นาที	88°C	96°C	100°C	100°C	96°C
60 นาที	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
70 นาที	98°C	98°C	98°C	98°C	98°C
80 นาที	98°C	90°C	96°C	96°C	95°C
90 นาที	92°C	82°C	92°C	96°C	90.5°C

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 93 : 4 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที

เวลาในการเผาไหม้	อุณหภูมิของน้ำ				
	การอบ 6 ชม.	การอบ 10 ชม.	การอบ 15 ชม.	การอบ 48 ชม.	ค่าเฉลี่ย
100 นาที	80°C	78°C	88°C	92°C	84.5°C
110 นาที	76°C	70°C	86°C	84°C	79°C
120 นาที	72°C	66°C	80°C	74°C	73°C
130 นาที	64°C	62°C	76°C	66°C	67°C
140 นาที	58°C	59°C	74°C	60°C	62.75°C
150 นาที	51°C	54°C	54°C	54°C	53.25°C
160 นาที	48°C	49°C	47°C	48°C	48°C



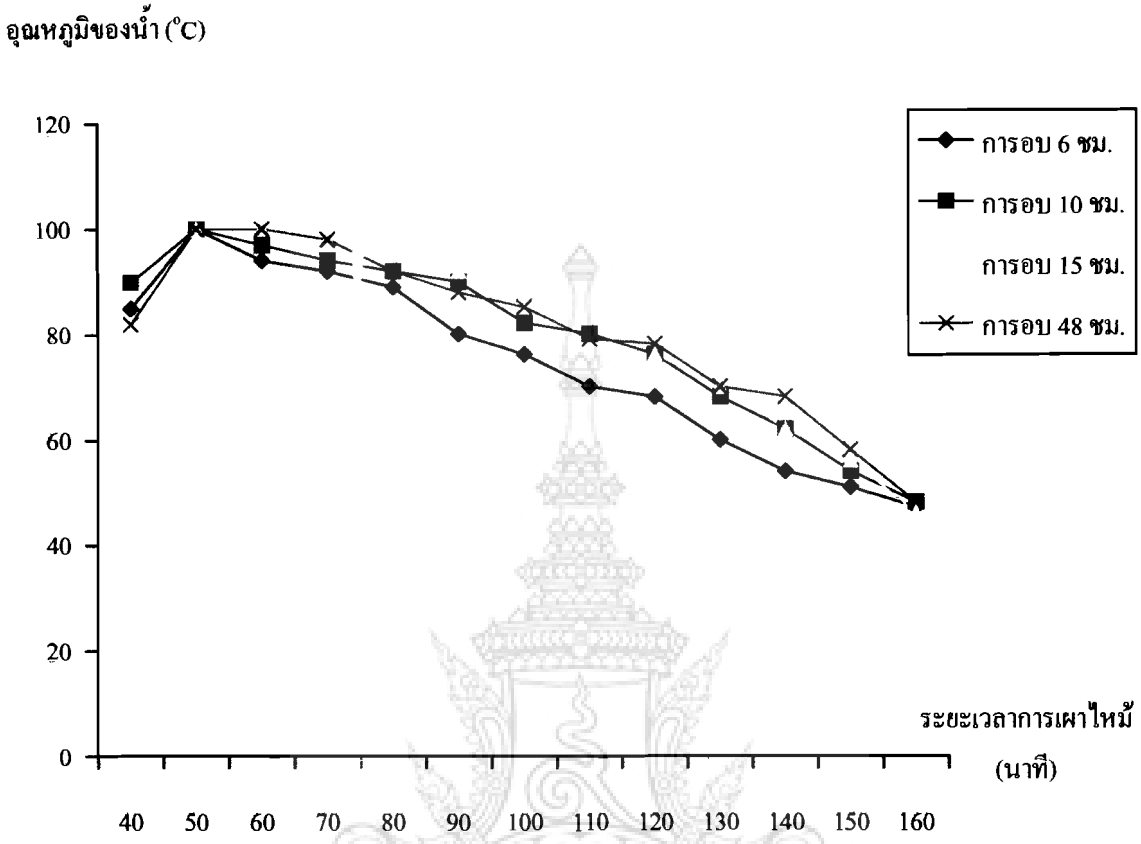
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงแนวโน้มอุณหภูมิของน้ำ

จากกราฟในรูปที่ 4.1 สัดส่วนการผสม 93 : 4 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ถ่านที่ผ่านการอบ 6 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 82°C ส่วนการอบ 10 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 94°C สำหรับการอบ 15 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 96°C และการอบที่ 48 ชม. อุณหภูมิที่ได้ คือ 97°C จะเห็นได้ว่าการอบที่ 48 ชม. จะให้อุณหภูมิสูง อุณหภูมิของน้ำ ในการอบ 15 ชม. และ 48 ชม. จะมีจุดเดือดเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไปที่ 50 – 60 นาที หลังจากเวลาผ่านไปถึง 160 นาที อุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 50°C จึงหยุดทำการวิจัย

4.1.2 ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของถ่าน ซังข้าวโพดต่อใบไม้แห้ง แป้ง และน้ำ ในสัดส่วน 94 : 3 : 3

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 94 : 3 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที

เวลาในการเผาไหม้	อุณหภูมิของน้ำ				
	การอบ 6 ชม.	การอบ 10 ชม.	การอบ 15 ชม.	การอบ 48 ชม.	ค่าเฉลี่ย
40 นาที	85°C	90°C	94°C	82°C	87.75°C
50 นาที	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
60 นาที	94°C	97°C	100°C	100°C	97.75°C
70 นาที	92°C	94°C	98°C	98°C	95.5°C
80 นาที	89°C	92°C	96°C	92°C	92.25°C
90 นาที	80°C	90°C	92°C	88°C	87.5°C
100 นาที	76°C	82°C	88°C	85°C	82.75°C
110 นาที	70°C	80°C	84°C	79°C	78.25°C
120 นาที	68°C	76°C	76°C	78°C	74.5°C
130 นาที	60°C	68°C	70°C	70°C	67°C
140 นาที	54°C	62°C	62°C	68°C	61.5°C
150 นาที	51°C	54°C	56°C	58°C	54.75°C
160 นาที	47°C	48°C	46°C	48°C	47.25°C



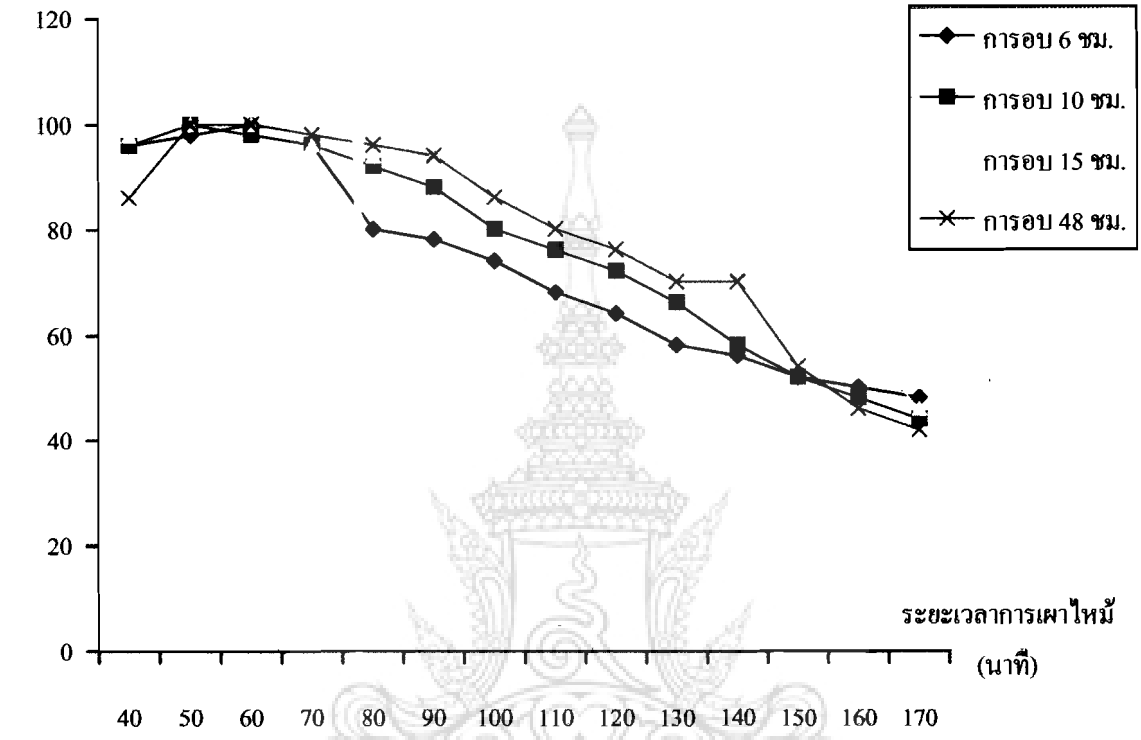
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงแนวโน้มอุณหภูมิของน้ำ

จากกราฟในรูปที่ 4.2 สัดส่วนการผสม 94 : 3 : 3 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ถ่านที่ผ่านการอบ 6 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 85°C ส่วนการอบ 10 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 90°C สำหรับการอบ 15 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 94 ชม. และการอบที่ 48 ชม. อุณหภูมิที่ได้คือ 82°C จะเห็นได้ว่าการอบที่ 15 ชม. จะให้อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที จะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำ จะมีจุดเดือดที่เท่ากันทุก ๆ ชม. ที่ทำการอบ จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปที่ 60 นาที จะทำการวัดอุณหภูมิของน้ำอีกที่การอบ 15 ชม. และการอบ 48 ชม. จะมีจุดเดือดคงที่ ส่วนการอบที่ 6 ชม. และ 10 ชม. อุณหภูมิของน้ำเริ่มลดลง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปที่ 160 นาที จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำจะลดลงจนถึงต่ำกว่า 50°C จึงหยุดทำการวิจัย

4.1.3 ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของถ่าน ซังข้าวโพดต่อใบไม้แห้ง แป้ง และน้ำ ในสัดส่วน 95 : 3 : 2

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 95 : 3 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที

เวลาในการเผาไหม้	อุณหภูมิของน้ำ				
	การอบ 6 ชม.	การอบ 10 ชม.	การอบ 15 ชม.	การอบ 48 ชม.	ค่าเฉลี่ย
40 นาที	96°C	96°C	98°C	86°C	94°C
50 นาที	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
60 นาที	100°C	98°C	100°C	100°C	99.5°C
70 นาที	96°C	96°C	96°C	98°C	96.5°C
80 นาที	80°C	92°C	94°C	96°C	90.5°C
90 นาที	78°C	88°C	94°C	94°C	88.5°C
100 นาที	74°C	80°C	92°C	86°C	83°C
110 นาที	68°C	76°C	88°C	80°C	78°C
120 นาที	64°C	72°C	82°C	76°C	73.5°C
130 นาที	58°C	66°C	78°C	70°C	68°C
140 นาที	56°C	58°C	72°C	70°C	64°C
150 นาที	52°C	52°C	64°C	54°C	55.5°C
160 นาที	50°C	48°C	58°C	46°C	50.5°C
170 นาที	48°C	44°C	46°C	42°C	45°C



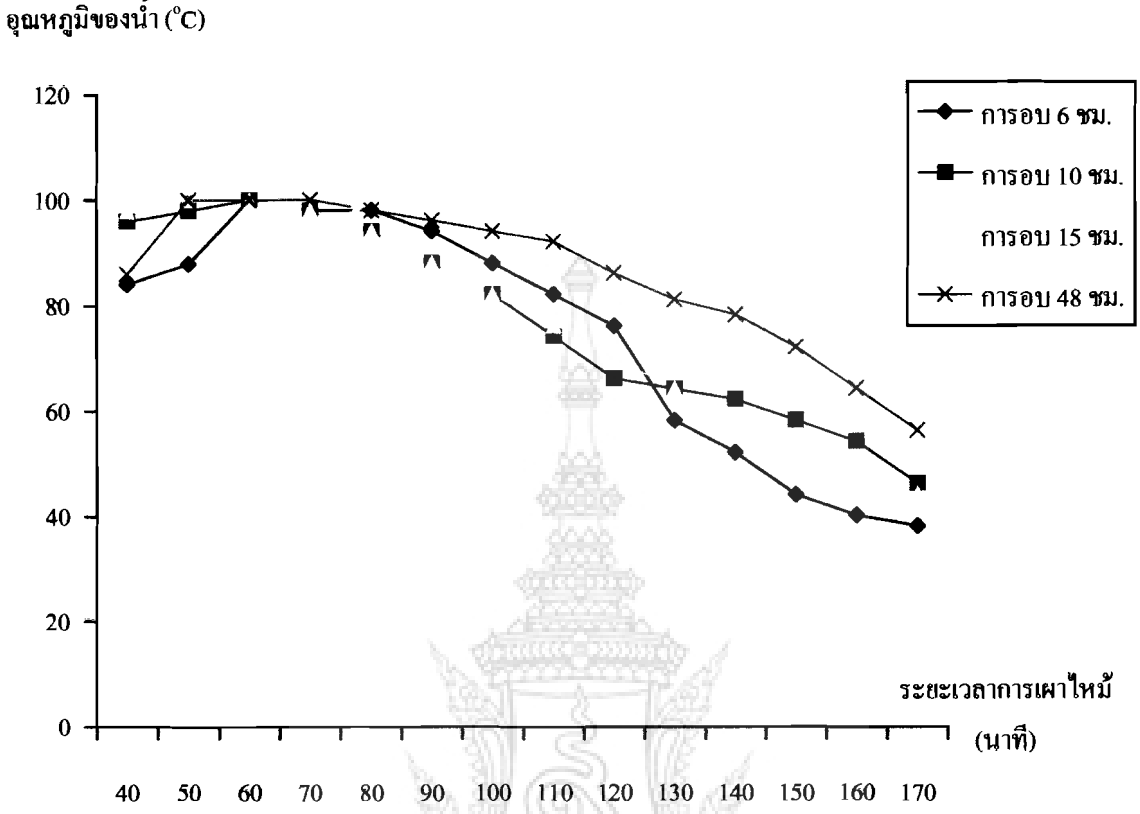
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงแนวโน้มอุณหภูมิของน้ำ

จากกราฟในรูปที่ 4.3 สัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ถ่านที่ผ่านการอบ 6 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 96°C ส่วนการอบ 10 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 96°C สำหรับการอบ 15 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 98°C และการอบที่ 48 ชม. อุณหภูมิที่ได้คือ 86°C จะเห็นได้ว่าการอบที่ 15 ชม. จะให้อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที จะเห็นว่า อุณหภูมิ จะมีจุดเดือดที่เท่ากันทุก ๆ ชั่วโมงที่ทำการอบ จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปที่ 60 นาที อุณหภูมิของน้ำที่การอบ 6, 15 และ 48 ชม. จะมีจุดเดือดคงที่ ส่วนการอบที่ 10 ชม. จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำเริ่มลดลง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปที่ 170 นาที จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำจะลดลงจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 50°C จึงหยุดทำการวิจัย

4.1.4 ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของถ่าน ซังข้าวโพดต่อใบไม้แห้ง แป้ง และน้ำ ในสัดส่วน 96 : 2 : 2

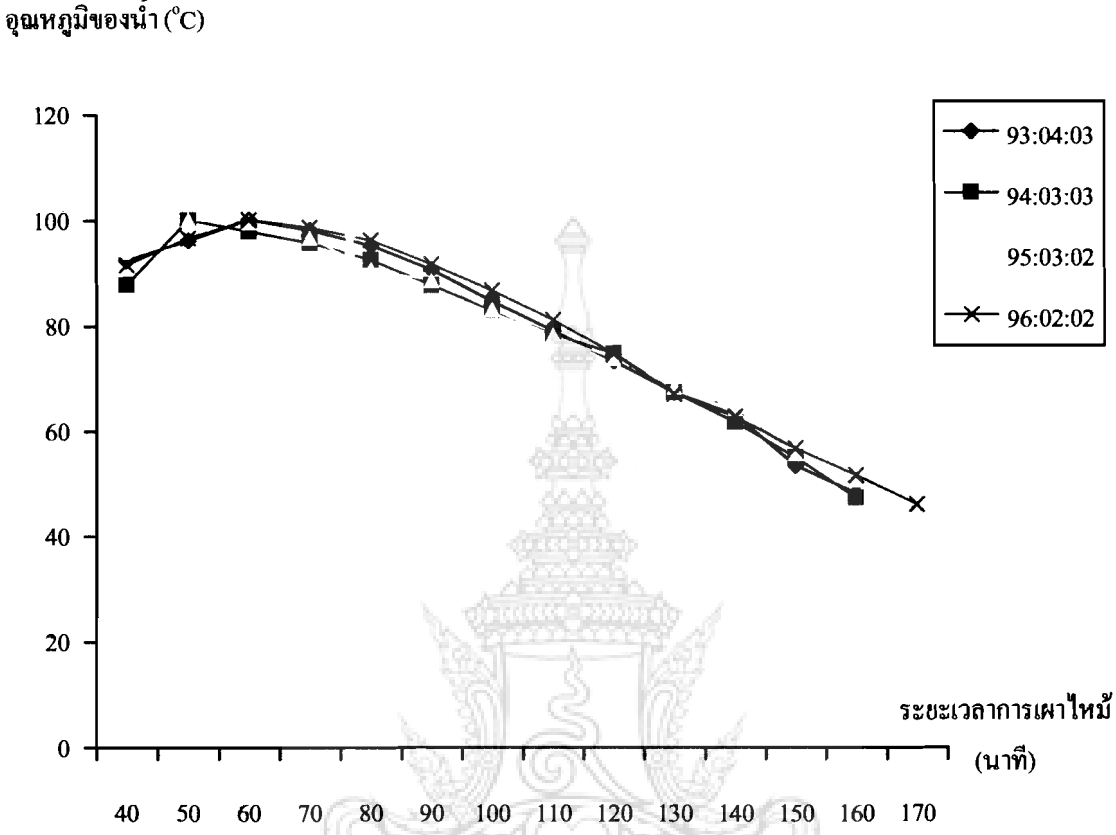
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ส่วนผสม 96 : 2 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อการเผาไหม้ผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที

เวลาในการเผาไหม้	อุณหภูมิของน้ำ				
	การอบ 6 ชม.	การอบ 10 ชม.	การอบ 15 ชม.	การอบ 48 ชม.	ค่าเฉลี่ย
40 นาที	84°C	96°C	98°C	88°C	91.5°C
50 นาที	88°C	98°C	100°C	100°C	96.5°C
60 นาที	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
70 นาที	98°C	98°C	98°C	100°C	98.5°C
80 นาที	98°C	94°C	94°C	98°C	96°C
90 นาที	94°C	88°C	88°C	96°C	91.5°C
100 นาที	88°C	82°C	82°C	94°C	86.5°C
110 นาที	82°C	74°C	76°C	92°C	81°C
120 นาที	76°C	66°C	70°C	86°C	74.5°C
130 นาที	58°C	64°C	64°C	81°C	66.75°C
140 นาที	52°C	62°C	58°C	78°C	62.5°C
150 นาที	44°C	58°C	52°C	72°C	56.5°C
160 นาที	40°C	54°C	48°C	64°C	51.5°C
170 นาที	38°C	46°C	44°C	56°C	46°C



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงแนวโน้มอุณหภูมิของน้ำ

จากกราฟในรูปที่ 4.4 สัดส่วนการผสม 96 : 2 : 2 เริ่มวัดอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ถ่านที่ผ่านการอบ 6 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 84°C ส่วนการอบ 10 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 96°C สำหรับการอบ 15 ชม. ได้อุณหภูมิเท่ากับ 98°C และการอบที่ 48 ชม. อุณหภูมิที่ได้คือ 88°C จะเห็นได้ว่าการอบที่ 15 ชม. จะให้อุณหภูมิสูงและเมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที อุณหภูมิของน้ำที่การอบ 15 ชม. กับ 48 ชม. จะมีจุดเดือดเท่ากัน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที อุณหภูมิของน้ำในการอบ 6 ชม. และ 10 ชม. อุณหภูมิของน้ำเริ่มเดือด ส่วนการอบที่ 15 และ 48 ชม. อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำจะคงที่ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 70 นาที อุณหภูมิของน้ำของการอบ 48 ชม. ยังคงมีจุดเดือดคงที่ ส่วนในการอบที่ 6, 10 และ 15 ชม. จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำจะเริ่มลดลง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปถึง 170 นาที จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 50°C จึงหยุดทำการวิจัย

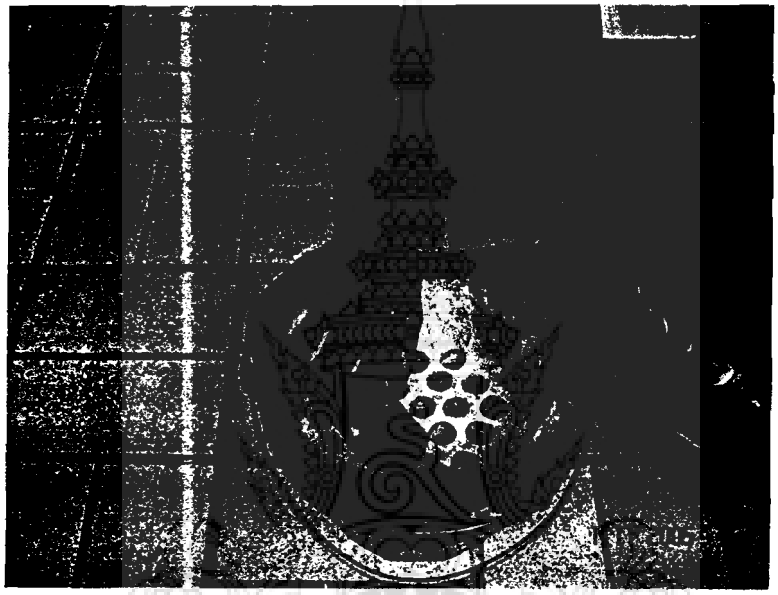


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือดแต่ละส่วนผสม

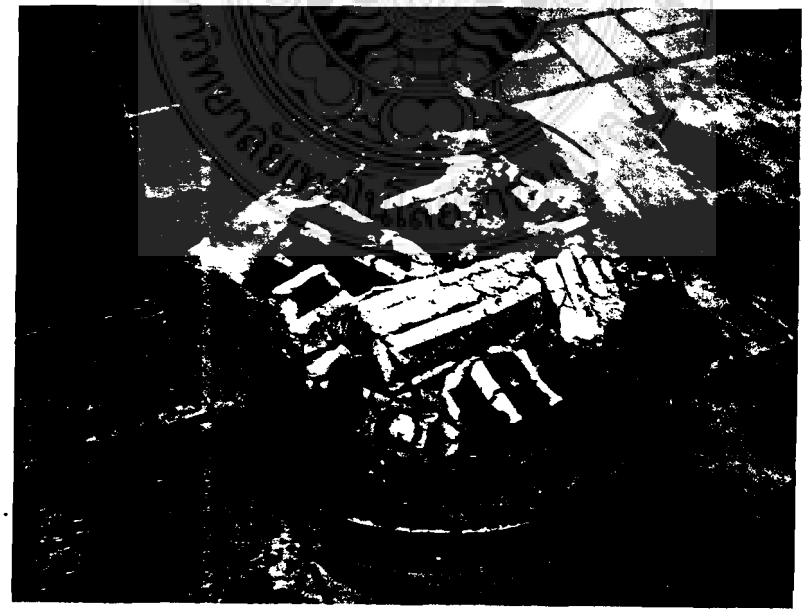
จากกราฟที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด จะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ในสัดส่วนการผสม 93 : 4 : 3 ค่าเฉลี่ยที่ได้ 92.25°C ส่วนการผสม 94 : 3 : 3 ค่าเฉลี่ยที่ได้ 87.75°C สำหรับการผสม 95 : 3 : 2 ค่าเฉลี่ยที่ได้ 94°C และการผสมที่ 96 : 2 : 2 ค่าเฉลี่ยที่ได้ 91.5°C จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในสัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 จะให้อุณหภูมิสูง และค่าเฉลี่ยที่ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที อุณหภูมิของน้ำที่สัดส่วนการผสม 94 : 3 : 3 และ 95 : 3 : 2 ค่าเฉลี่ยจะมีจุดเดือดเท่ากัน และเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนผสม 93 : 4 : 3 และ 96 : 2 : 2 ก็จะได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำที่จุดเดือดเท่ากัน หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำที่ได้จะเริ่มลดลงในทุกสัดส่วนการผสมจนถึงค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 50°C

4.2 ผลการทดสอบการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง

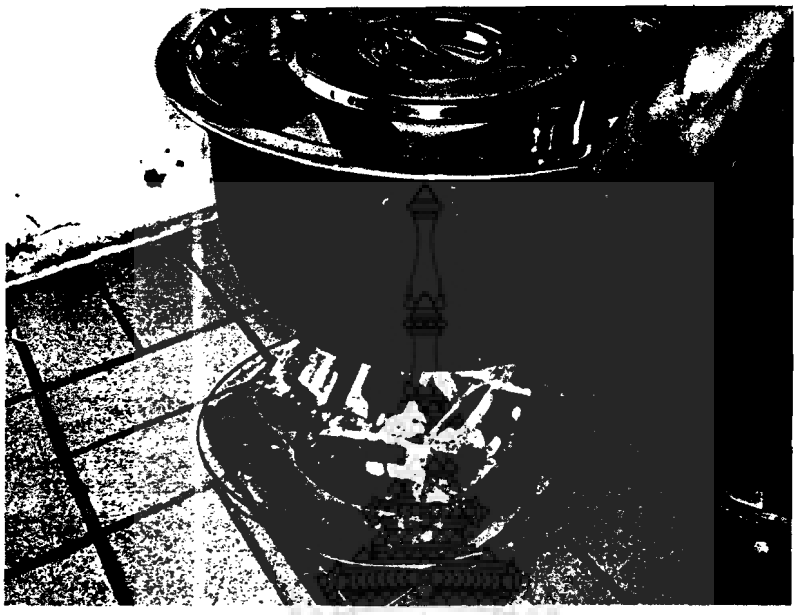
เป็นการทดสอบระยะเวลาให้ความร้อนของถ่านแต่ละส่วนผสมจนถึงจุดเดือด (100°C) และทดสอบระยะเวลาในการเผาไหม้จนถึงถ่านกลายเป็นขี้เถ้าได้ผลตามตารางที่ 4.6 ถึง 4.9 และทำการเปรียบเทียบตามรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.10



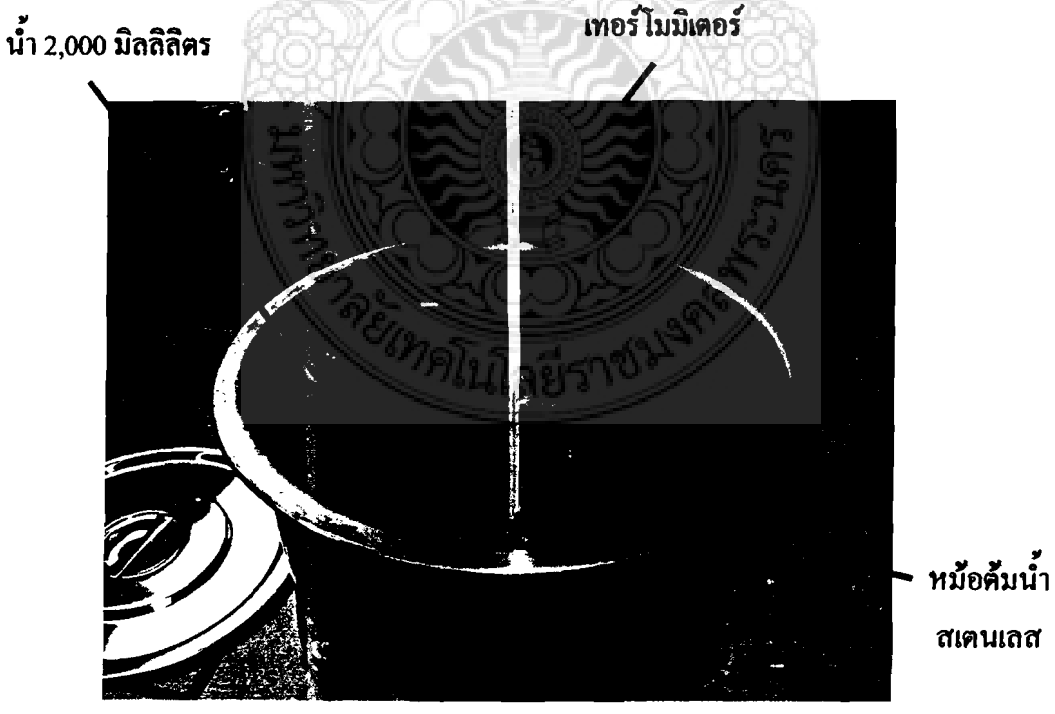
รูปที่ 4.6 การวางถ่านเชื้อเพลิง



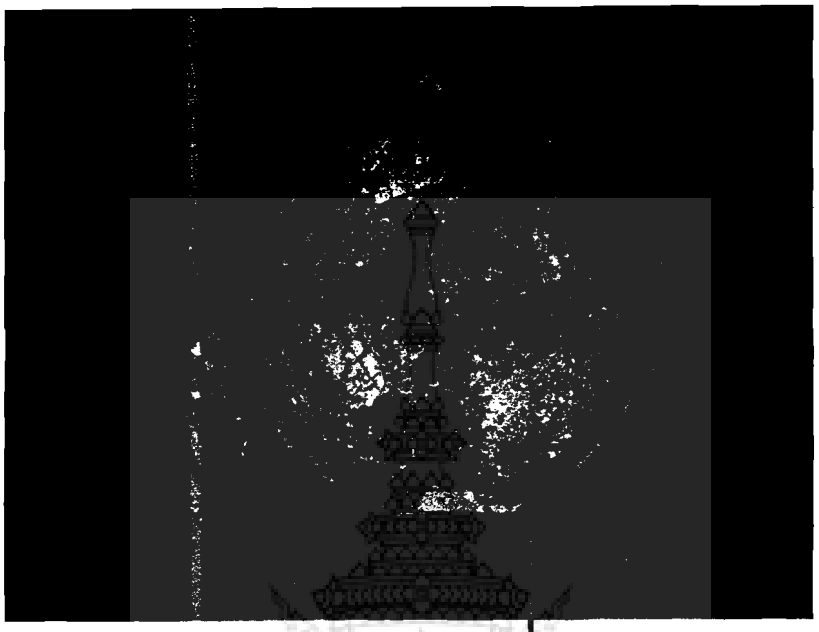
รูปที่ 4.7 แสดงการเผาไหม้และลักษณะของเปลวไฟถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 4.8 ลักษณะการวางตั้งหม้อต้มน้ำเพื่อทดการเผาไหม้



รูปที่ 4.9 ลักษณะการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือด



เถ้าถ่านหลังการเผาไหม้

รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณเถ้าถ่านในเตาเมื่อการเผาไหม้สมบูรณ์ (เถ้า 100%)

ตารางที่ 4.5 แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C

เกณฑ์การผสมที่ 1 / เวลาในการอบ	ผลลัพธ์ (ใบไม้ + ซังข้าวโพด 93% แป้ง 4% น้ำ 3%)			หมายเหตุ
	น้ำหนักก่อนเผา	จุดเดือดของน้ำ (100°C)	ระยะเวลาในการเผาไหม้	
อบที่ 6 ชั่วโมง	817.2 กรัม	46 นาที	3 : 10 นาที	จำนวนถ่าน 10 แท่งที่ใช้ในการทดสอบ/แอลกอฮอล์ที่ใช้จุดไฟ 40 มิล./ครั้ง น้ำในการต้ม 2000 มิล./ครั้ง อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม 18-21°C
อบที่ 10 ชั่วโมง	816.1 กรัม	43 นาที	3 : 08 นาที	
อบที่ 15 ชั่วโมง	815.4 กรัม	43 นาที	3 : 07 นาที	
อบที่ 48 ชั่วโมง	816.8 กรัม	42 นาที	3 : 02 นาที	
เฉลี่ย	816.4 กรัม	43.5 นาที	3 : 07 นาที	

ตารางที่ 4.6 แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C

เกณฑ์การผสมที่ 2 / เวลาในการอบ	ผลลัพธ์(ใบไม้ + ซังข้าวโพด 94% แป้ง 3% น้ำ 3%)			หมายเหตุ
	น้ำหนักก่อนเผา	จุดเดือดของน้ำ (100°C)	ระยะเวลาในการเผาไหม้	
อบที่ 6 ชั่วโมง	815.9 กรัม	44 นาที	3 : 00 นาที	จำนวนถ่าน 10 แท่งที่ใช้ในการทดสอบ/แอลกอฮอล์ที่ใช้จุดไฟ 40 มิล./ครั้ง น้ำในการต้ม 2000 มิล./ครั้ง อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม 18-21°C
อบที่ 10 ชั่วโมง	817.2 กรัม	42 นาที	3 : 09 นาที	
อบที่ 15 ชั่วโมง	815.5 กรัม	43 นาที	3 : 05 นาที	
อบที่ 48 ชั่วโมง	816.6 กรัม	46 นาที	3 : 11 นาที	
เฉลี่ย	816.3 กรัม	43.75 นาที	3 : 06 นาที	

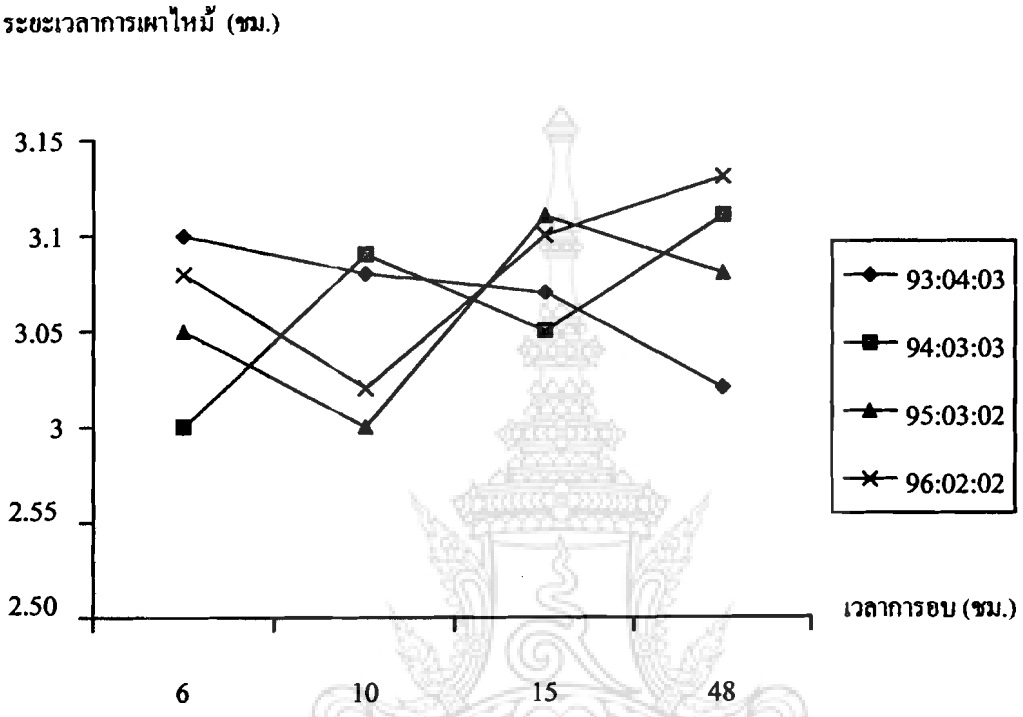
ตารางที่ 4.7 แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C

เกณฑ์การผสมที่ 3 / เวลาในการอบ	ผลลัพธ์(ใบไม้ + ซังข้าวโพด 95% แป้ง 3% น้ำ 2%)			หมายเหตุ
	น้ำหนักก่อนเผา	จุดเดือดของน้ำ (100°C)	ระยะเวลาในการเผาไหม้	
อบที่ 6 ชั่วโมง	817.4 กรัม	46 นาที	3 : 05 นาที	จำนวนถ่าน 10 แท่งที่ใช้ในการทดสอบ/แอลกอฮอล์ที่ใช้จุดไฟ 40 มิล./ครั้ง น้ำในการต้ม 2000 มิล./ครั้ง อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม 18-21°C
อบที่ 10 ชั่วโมง	815.9 กรัม	44 นาที	3 : 00 นาที	
อบที่ 15 ชั่วโมง	817.1 กรัม	45 นาที	3 : 11 นาที	
อบที่ 48 ชั่วโมง	817.7 กรัม	42 นาที	3 : 08 นาที	
เฉลี่ย	817.0 กรัม	44.25 นาที	3 : 06 นาที	

ตารางที่ 4.8 แสดงอายุการเผาไหม้และระยะเวลาของน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด 100°C

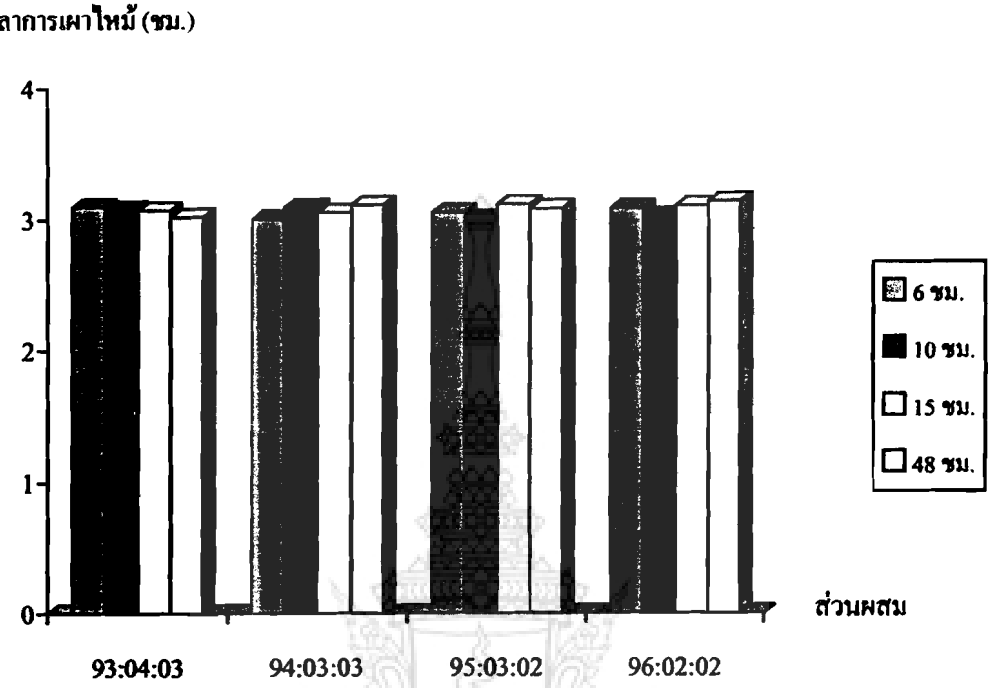
เกณฑ์การผสมที่ 4 / เวลาในการอบ	ผลลัพธ์(ใบไม้ + ซังข้าวโพด 96% แป้ง 2% น้ำ 2%)			หมายเหตุ
	น้ำหนักก่อนเผา	จุดเดือดของน้ำ (100°C)	ระยะเวลาในการเผาไหม้	
อบที่ 6 ชั่วโมง	817.2 กรัม	46 นาที	3 : 08 นาที	จำนวนถ่าน 10 แท่งที่ใช้ในการทดสอบ/แอลกอฮอล์ที่ใช้จุดไฟ 40 มิล./ครั้ง น้ำในการต้ม 2000 มิล./ครั้ง อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม 18-21°C
อบที่ 10 ชั่วโมง	815.7 กรัม	45 นาที	3 : 02 นาที	
อบที่ 15 ชั่วโมง	816.4 กรัม	42 นาที	3 : 10 นาที	
อบที่ 48 ชั่วโมง	814.9 กรัม	43 นาที	3 : 13 นาที	
เฉลี่ย	816.1 กรัม	44 นาที	3 : 08 นาที	

กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาการอบในสัดส่วนต่าง ๆ



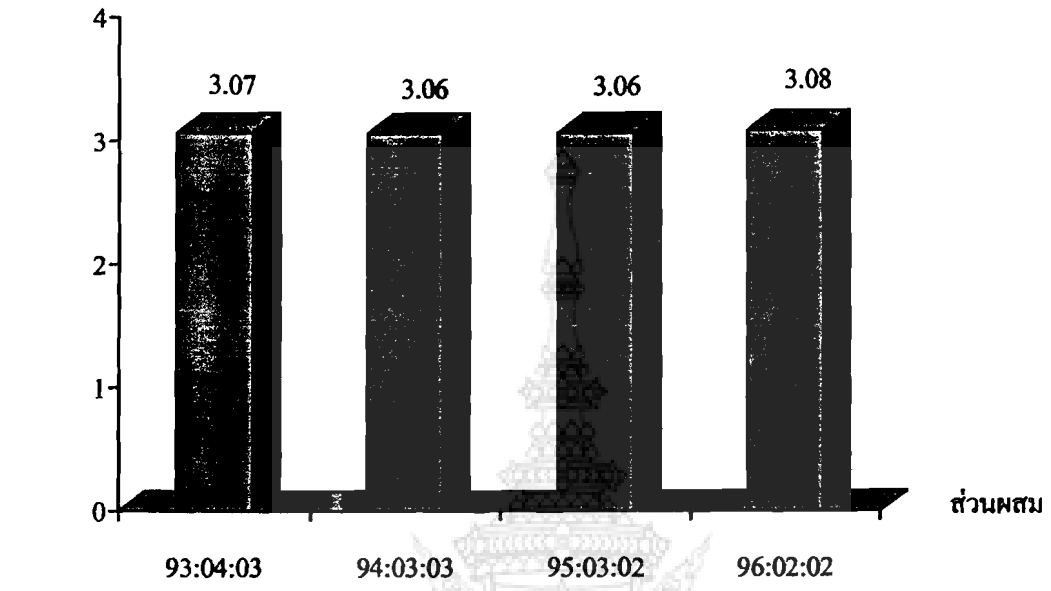
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอายุการเผาไหม้แต่ละส่วนผสม

จากรูปที่ 4.11 **กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการอบจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการอบในเวลา 6 ชม. ถ้าระยะเวลาการเผาไหม้ที่ส่วนผสม** 93 : 4 : 3 **จะได้** 3.10 **นาที ให้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานกว่าส่วนผสมอื่น ๆ ส่วนระยะเวลาในการอบ** 10 **ชม. จะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนการผสม** 94 : 3 : 3 **ระยะเวลาในการเผาไหม้** 3.09 **นาที จะให้ระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าส่วนผสมอื่น ๆ ต่อมาการอบในเวลา** 15 **ชม. ค่าระยะเวลาในการเผาไหม้** 3.11 **นาที จะได้ระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าส่วนผสมอื่น ๆ และระยะเวลาในการอบ** 48 **ชม. จะเห็นได้ว่าในสัดส่วน ส่วนผสม** 96 : 2 : 2 **ค่าระยะเวลาในการเผาไหม้** 3.13 **นาที ซึ่งให้ระยะเวลาการเผาไหม้ยาวนานกว่าสัดส่วน ส่วนผสมอื่น ๆ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการอบของทุกสัดส่วนการผสม ค่าระยะเวลาการเผาไหม้ที่ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกัน เราสามารถนำระยะเวลาการอบนี้ไปใช้ได้กับทุก ๆ ส่วนการผสม**



รูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงระยะเวลาการเผาไหม้

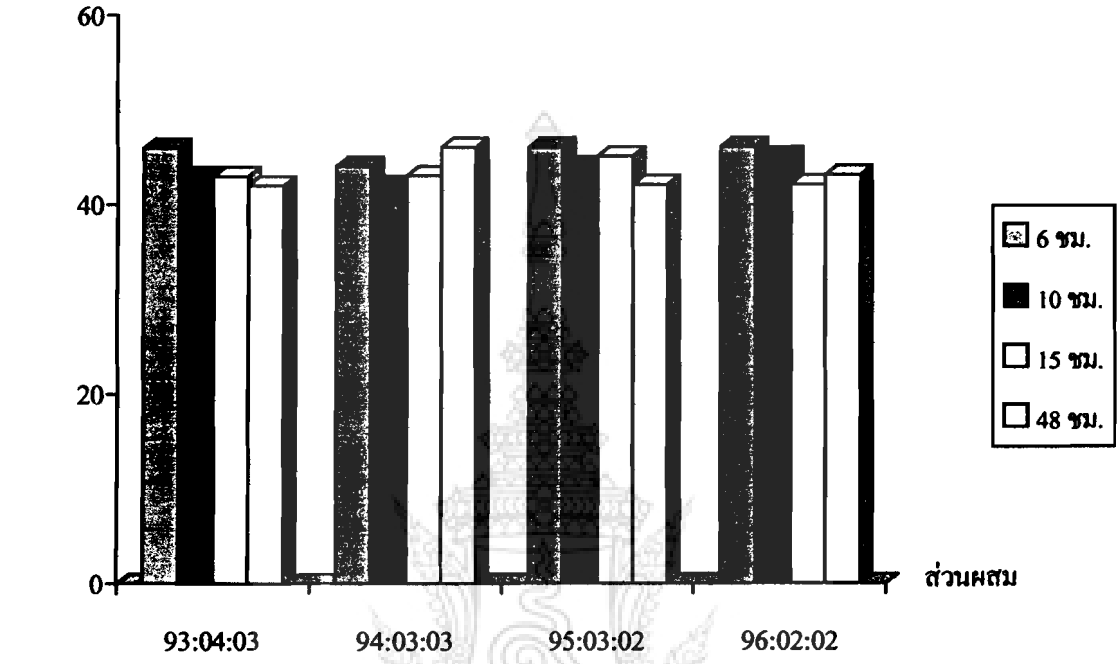
จากรูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงระยะเวลาการเผาไหม้การผสม 93 : 4 : 3 ที่การอบ 6 ชม. ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ได้ 3.10 นาที จะเป็นระยะเวลาการเผาไหม้ที่สูงที่สุด ส่วนการอบที่ 10, 15 และ 48 ชม. เวลาการเผาไหม้จึงลดลงตามลำดับดังกราฟแสดงระยะเวลาการเผาไหม้ที่สัดส่วนการผสม 94 : 3 : 3 การอบที่ 48 ชม. ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ได้ 3.11 นาที เป็นระยะเวลาการเผาไหม้ที่สูงที่สุด ถัดมาเป็นการอบที่ 10, 15 และ 6 ชม. เวลาการเผาไหม้ที่ได้จะลดลงตามลำดับดังกราฟแท่งแสดงระยะเวลาการเผาไหม้ที่การผสม 95 : 3 : 2 การอบที่ 15 ชม. ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ 3.11 นาที เป็นระยะเวลาการเผาไหม้ที่สูงที่สุด การอบที่ 48, 6 และ 10 ชม. เวลาการเผาไหม้ จะลดลงเรียงตามลำดับดังกราฟแท่งแสดงระยะเวลาการเผาไหม้ และที่สัดส่วนการผสม 96 : 2 : 2 ถ่านที่ผ่านการอบที่ 48 ชม. ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ได้ 3.13 ชม. ซึ่งเป็นระยะเวลาการเผาไหม้ที่สูงที่สุด การอบที่ 15, 6 และ 10 ชม. เวลาการเผาไหม้จะลดลงเรียงตามลำดับดังกราฟแสดงระยะเวลาการเผาไหม้ ขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนการผสม 96 : 2 : 2 ที่การอบ 48 ชม. จะมีระยะเวลาในการเผาไหม้ที่สูงที่สุดเหมาะสำหรับนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้แต่ละส่วนผสม

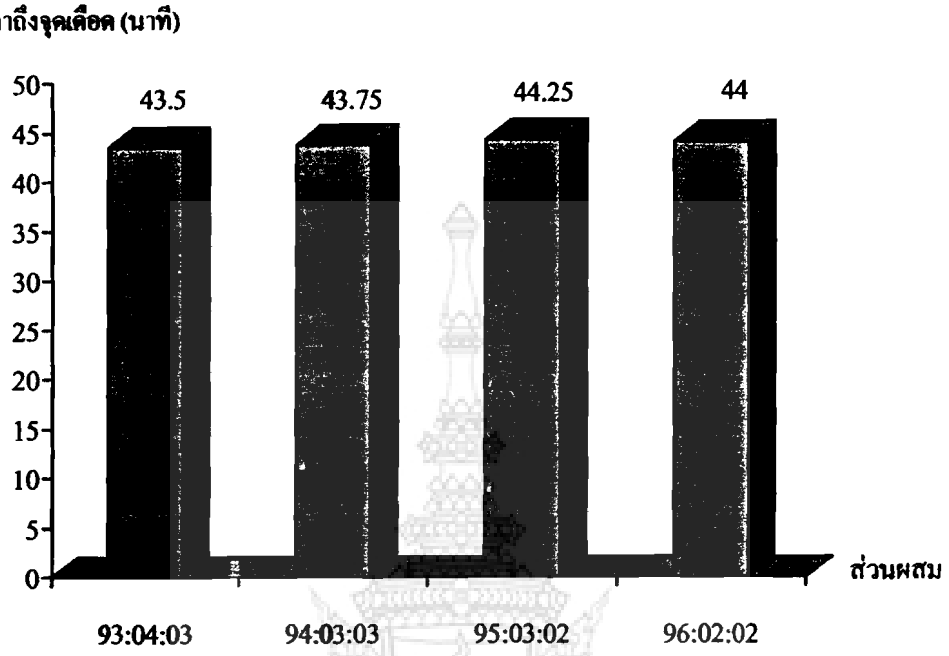
จากรูปที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสูตร 92 : 2 : 2 จะมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้ที่ 3.08 ชม. เป็นค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ถัดมาการผสม 93 : 4 : 3 จะมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้ที่ 3.07 ชม. ถือเป็นค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการผสม 94 : 3 : 3 กับ 95 : 3 : 2 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้จะอยู่ที่ 3.06 ชม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่เท่ากัน ดังรูป 4.13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไหม้ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในสัดส่วนการผสมทั้งหมดใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนการผสม

000 ใฐ



รูปที่ 4.14 กราฟแท่งแสดงเวลาในจุดเดือดของน้ำในเกณฑ์การผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.14 กราฟแท่งแสดงระยะเวลาจนถึงจุดเดือดการผสมที่ 93 : 4 : 3 ถ่านที่ผ่านการอบที่ 48 ชม. จะมีจุดเดือดของน้ำ 42 นาที จะเป็นจุดเดือดที่เร็วที่สุดถัดมาก็จะเป็นการอบที่ 10, 15 และ 6 ชม. ลดลงตามลำดับที่ส่วนการผสม 94 : 3 : 3 การอบที่ 10 ชม. จะมีจุดเดือดของน้ำ 42 นาที ซึ่งเป็นจุดเดือดที่เร็วที่สุด ถัดมาก็จะเป็นการอบที่ 15, 6 และ 48 ชม. ลดลงตามลำดับ ส่วนการผสม 95 : 3 : 2 การอบที่ 48 ชม. จะมีจุดเดือดของน้ำ 42 นาที ซึ่งเป็นจุดเดือดที่เร็วที่สุด ต่อมาก็จะเป็นการอบที่ 10, 15 และ 6 ชม. และส่วนการผสม 96 : 2 : 2 การอบที่ 15 ชม. จะมีจุดเดือดของน้ำ 42 นาที เป็นจุดเดือดที่เร็วที่สุด และการอบที่ 48, 10 และ 6 ชม. เรียงตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากราฟแท่งแสดงเวลาจุดเดือดในทุกส่วนการผสมจะมีจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุก ๆ สัดส่วนการผสม



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเวลาของน้ำในจุดเดือด (°C)

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยเวลาของน้ำในจุดเดือด ผลการวิจัยผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง ปรากฏว่าระยะเวลาจุดเดือดในการผสมที่ 93 : 4 : 3 เป็นค่าระยะเวลาจุดเดือดเร็วที่สุด ถัดมาก็เป็นสัดส่วนการผสม 94 : 3 : 3, 96 : 2 : 2 ส่วนการผสม 95 : 3 : 2 ให้ระยะเวลาจุดเดือดช้าที่สุด ดังนั้น ผลการวิจัยที่ส่วนผสมทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาจุดเดือดอยู่ในช่วง 43.75 – 44.25 นาที ถือได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยเวลาของน้ำถึงจุดเดือดใกล้เคียงกัน สามารถนำไปใช้ได้ทุกสัดส่วนการผสม

4.3 ผลการทดสอบค่าความร้อน

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

ส่วนผสม	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี่/กก.)	หมายเหตุ
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (93 : 4 : 3)	4,700	ทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (94 : 3 : 3)	4,660	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (95 : 3 : 2)	4,830	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (96 : 2 : 2)	4,730	

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบค่าความร้อนจะเห็นได้ว่าในสัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 ให้ค่าความร้อนที่ 4,830 กิโลแคลอรี่/กก. ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูง ถัดมาส่วนการผสม 96 : 2 : 2 จะให้ค่าความร้อนที่ 4,730 กิโลแคลอรี่/กก. แล้วสัดส่วนการผสม 93 : 4 : 3 จะให้ค่าความร้อนที่ 4,700 กิโลแคลอรี่/กก. และส่วนการผสม 94 : 3 : 3 จะให้ค่าความร้อน 4,660 กิโลแคลอรี่/กก. ดังนั้นในสัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 ให้ค่าความร้อนสูง เหมาะสำหรับนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง

4.4 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

ส่วนผสม	ค่าความหนาแน่น (กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)	หมายเหตุ
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (93 : 4 : 3)	0.530	ทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (94 : 3 : 3)	0.540	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (95 : 3 : 2)	0.580	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (96 : 2 : 2)	0.580	

จากตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นจะเห็นได้ว่าในสัดส่วนการผสม 95 : 3 : 2 และ 96 : 2 : 2 ซึ่งมีความหนาแน่น 0.580 กรัม/ลบ.ซม. เป็นค่าความหนาแน่นมาก ถัดมาส่วนการผสม 94 : 3 : 3 จะมีความหนาแน่น 0.540 กรัม/ลบ.ซม. และส่วนการผสม 93 : 4 : 3 มีความหนาแน่น 0.530 กรัม/ลบ.ซม. ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในสัดส่วนการผสม 93 : 4 : 3 มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งมีน้ำหนักเบาเหมาะที่จะนำไปใช้งาน

4.5 ผลการทดสอบปริมาณขี้เถ้า

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าปริมาณขี้เถ้าของถ่านอัดแท่ง

ส่วนผสม	ปริมาณขี้เถ้า (%)	หมายเหตุ
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (93 : 4 : 3)	16.3	ทดสอบที่สถา*บันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (94 : 3 : 3)	15.5	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (95 : 3 : 2)	15.7	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (96 : 2 : 2)	16.6	

จากตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบปริมาณเถ้า จะเห็นได้ว่า ปริมาณเถ้าในสัดส่วน 96 : 2 : 2 มีปริมาณเถ้า 16.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่มีปริมาณเถ้าสูง ถัดมาสัดส่วนการผสม 93 : 4 : 3 มีปริมาณเถ้า 16.3 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาจะเป็นการผสมที่ 95 : 3 : 2 มีปริมาณเถ้า 15.7 เปอร์เซ็นต์ และในสัดส่วน 94 : 3 : 3 มีปริมาณเถ้า 15.5 เปอร์เซ็นต์

4.6 ผลการทดสอบค่าความชื้น

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง

ส่วนผสม	ค่าความชื้น (%)	หมายเหตุ
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (93 : 4 : 3)	7.3	ทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (94 : 3 : 3)	7.3	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (95 : 3 : 2)	6.4	
ใบไม้+ซังข้าวโพด : แป้งมัน : น้ำ (96 : 2 : 2)	6.5	

จากตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าความชื้น จะเห็นได้ว่ามีค่าความชื้นในสัดส่วน 93 : 4 : 3 และ 94 : 3 : 3 มีค่าความชื้น 7.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ามีค่าความชื้นสูง ถัดมาในสัดส่วน 96 : 2 : 2 มีค่าความชื้น 6.5 เปอร์เซ็นต์ และในสัดส่วน 95 : 3 : 2 มีค่าความชื้น 6.4 เปอร์เซ็นต์

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

4.7.1 การคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบเวลาการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจนถึงจุดเดือดของน้ำ

เมื่อทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยของจุดเดือดในส่วนผสม 4 ระดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 4.13 ค่าจุดเดือดของน้ำ

กลุ่มตัวอย่าง	93% 4% 3%	94% 3% 3%	95% 3% 2%	96% 2% 2%	
1	46	44	46	46	
2	43	42	44	45	
3	43	43	45	42	
4	42	46	42	43	
Ti	174	175	177	176	T = 702
$\bar{X}i$	43.5	43.75	44.25	44	$\bar{X}$ = 43.875

สมมติฐานการทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_1 : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน

กำหนด α = 0.01 k = 4 n = 4+4+4+4 = 16

ค่าวิกฤตคือ ค่า = $f_{0.01\,(3,12)} = 5.95$

คำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$CT = \frac{T^2}{n} = \frac{(702)^2}{16}$$

$$= 30{,}800.25$$

$$SST = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$= (46^2 + 43^2 + 43^2 + 42^2 + 44^2 + 42^2 + 43^2 + 46^2 + 46^2 + 44^2 + 45^2 + 42^2 + 46^2 + 45^2 + 42^2 + 43^2) - 30,800.25$$

$$= 30,838 - 30,800.25$$

$$= 37.75$$

$$SSA = \sum_{i=1}^{k} \frac{Ti^2}{ni} - \frac{T^2}{n}$$

$$= \frac{174^2}{4} + \frac{175^2}{4} + \frac{177^2}{4} + \frac{176^2}{4} - 30,800.25$$

$$= 30,801.5 - 30,800.25$$

$$= 1.25$$

$$SSW = SST - SSA$$

$$= 37.75 - 1.25$$

$$= 36.50$$

สรุปผลการคำนวณในตาราง ANOVA ได้ดังนี้

SOV	df	SS	MS	Fo
ระหว่างกลุ่มที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมต่างกัน	3	1.25	0.416	0.1367
ความคลาดเคลื่อน	12	36.50	3.0416	
รวมทั้งหมด	15	37.75	3.4576	

เนื่องจากค่า F_0 จากตาราง ANOVA เท่ากับ 0.1367 มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตคือ 5.95 ดังนั้น จึงยอมรับ H_0 และสรุปว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนของถ่านแต่ละส่วนผสมจนถึงน้ำเดือด (100°C) ใช้เวลาไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

4.7.2 การคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเผาไหม้

เมื่อทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเผาไฟในส่วนผสม 4 ระดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาการเผาไหม้

กลุ่มตัวอย่าง	ระดับ % ของส่วนผสม				
	93% 4% 3%	94% 3% 3%	95% 3% 2%	96% 2% 2%	
1	3 : 10 นาที	3 : 00 นาที	3 : 05 นาที	3 : 08 นาที	
2	3 : 08 นาที	3 : 09 นาที	3 : 00 นาที	3 : 02 นาที	
3	3 : 07 นาที	3 : 05 นาที	3 : 11 นาที	3 : 10 นาที	
4	3 : 02 นาที	3 : 11 นาที	3 : 08 นาที	3 : 13 นาที	
Ti	12 : 27 นาที	12 : 25 นาที	12 : 24 นาที	12 : 33 นาที	T = 49.09
$\bar{X}i$	3.067	3.062	3.06	3.082	$\bar{X}$ = 3.068

สมมติฐานการทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_1 : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน

กำหนด α = 0.01 $k = 4$ $n = 4+4+4+4 = 16$

ค่าวิกฤตคือ ค่า = $f_{0.01(3,12)} = 5.95$

คำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$CT = \frac{T^2}{n} = \frac{(49.09)^2}{16}$$

$$= 150.614$$

$$SST = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$= (3.10^2 + 3.08^2 + 3.07^2 + 3.02^2 + 3.00^2 + 3.09^2 + 3.05^2 + 3.11^2 + 3.05^2 + 3.00^2 + 3.11^2 + 3.08^2 + 3.08^2 + 3.02^2) + 3.10^2 + 3.13^2) - 150.614$$

$$= 150.640 - 150.614$$

$$= 0.026$$

$$SSA = \sum_{i=1}^{k} \frac{Ti^2}{ni} - \frac{T^2}{n}$$

$$= \frac{12.27^2}{4} + \frac{12.25^2}{4} + \frac{12.24^2}{4} + \frac{12.33^2}{4} - 150.614$$

$$= 150.616 - 150.614$$

$$= 0.002$$

$$SSW = SST - SSA$$

$$= 0.026 - 0.002$$

$$= 0.024$$

สรุปผลการคำนวณในตาราง ANOVA ได้ดังนี้

SOV	df	SS	MS	Fo
ระหว่างกลุ่มที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมต่างกัน	3	0.002	0.0006	0.3
ความคลาดเคลื่อน	12	0.024	0.002	
รวมทั้งหมด	15	0.026	0.008	

เนื่องจากค่า F_o จากตาราง ANOVA เท่ากับ 0.30 มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตคือ 5.95 ดังนั้น จึงยอมรับ H_0 และสรุปว่าระยะเวลาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งแต่ละส่วนผสม ใช้เวลาไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	สารระเหย %	ถ่านคงตัว %	เถ้า %	ความชื้น %	ความหนาแน่น กรัม/ลบ.ซม.	ค่าความร้อน กิโลแคลอรี่ /กก.	หมายเหตุ
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	-	-	4,440	วิเคราะห์โดย ห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิง อุตสาหกรรม สาขาวิจัยอุตสาหกรรมพลังงาน วท.
ซังข้าวโพด	-	-	2.70	10.7	0.47	4,770	
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.10	-	-	4,380	
แกลบ	-	-	14.78	8.20	0.47	4,022	
ใบไม้+ซังข้าวโพด	32.1	45.8	15.7	6.40	0.58	4,830	ทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

4.8 การถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน

ผลงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ หลังจากได้ทำการศึกษา วิจัย จนสามารถผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่าย และเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีในท้องที่ได้แก่ ซังข้าวโพด ใบไม้ วัสดุเหลือใช้อื่น ๆ เพื่อเป้าหมายในการลดปริมาณการตัดต้นไม้ มาทำฟืน ของชาวบ้านในชุมชน หรือมาเป็นเชื้อเพลิงในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ การทำอาหาร การใช้งานเพื่อให้ความร้อนในด้านต่าง ๆ เนื่องจากว่าชุมชนหมู่บ้าน สุขสมบูรณ์ ต. ไทยสามัคคี อ. วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา เป็นชุมชนใกล้บริเวณเชิงเขาซึ่งอยู่ใกล้เขตอุทยานแห่งชาติ ทับลานและอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ทำไร่ ทำสวน รับจ้าง เป็นต้น ชุมชนหมู่บ้านสุขสมบูรณ์เริ่มผลิตเห็ดหอมโดยการสนับสนุนจากงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมาและขยายการผลิตมากขึ้น ในขั้นตอนหนึ่งของการเพาะถุงเชื้อเห็ดหอมจำเป็นต้องนึ่งถุงเพาะเชื้อเห็ด ซึ่งการนึ่งต้องใช้เตาขนาดใหญ่เชื้อเพลิงที่ใช้เดิมเป็นฟืนจากการตัดต้นไม้ในป่า และเปลี่ยนไปมาระหว่างแก๊สหุงต้ม ซึ่งมีราคาแพง ชาวบ้านสู้ราคาต้นทุนสูงไม่ไหวจำเป็นต้องหันมาตัดต้นไม้ และจากการที่ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าไปในพื้นในช่วงปี 2545 ถึง 2547 พบว่าต้นไม้บริเวณชุมชนและป่าใกล้เคียงเชิงเขาถูกตัดไปมากขึ้น ๆ จึงได้เข้าพบตัวแทนชุมชน ผู้ใหญ่บ้าน เกษตรอำเภอและนายอำเภอวังน้ำเขียว เพื่อหาแนวทางป้องกัน จนกระทั่งได้แนวคิดในการจัดตั้งกลุ่มผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้โดยความเห็นชอบจากนายอำเภอวังน้ำ

เขียวให้การสนับสนุน และส่งผลให้ผู้วิจัยเริ่มดำเนินการเพื่อสนับสนุนชุมชนไม่ให้มีการตัดต้นไม้มากกว่าที่เป็นอยู่ เป็นเป้าหมายในการทำวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง เพื่อใช้ในชุมชนต่อไป โดยผลงานวิจัยที่ได้รับนั้น นำไปสู่การถ่ายทอดสู่ชุมชน ดังภาพที่ 4.16 – 4.29

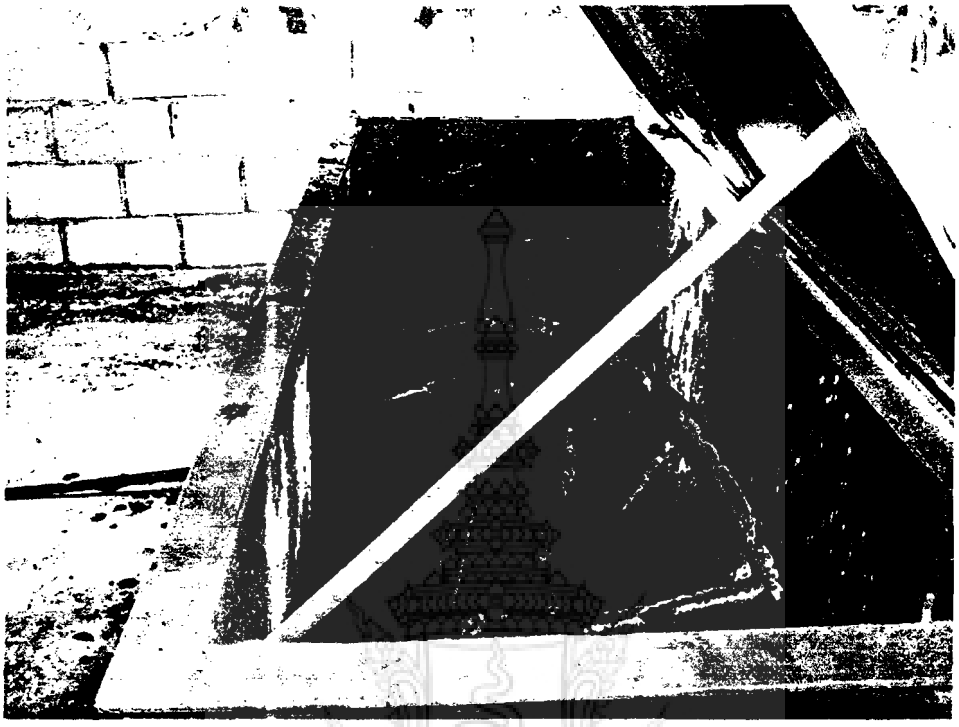
4.8.1 ภาพการพัฒนางานวิจัยผลิตถ่านอัดแท่งและการถ่ายทอดสู่ชุมชน

รูปที่ 4.16 สถานที่ก่อสร้างหน่วยงานย่อยเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน หมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต.ไทยสามัคคี อ. วังน้ำเขียว จ. นครราชสีมา

รูปที่ 4.17 การย่อยวัสดุ ด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุถ่านอัดแท่ง

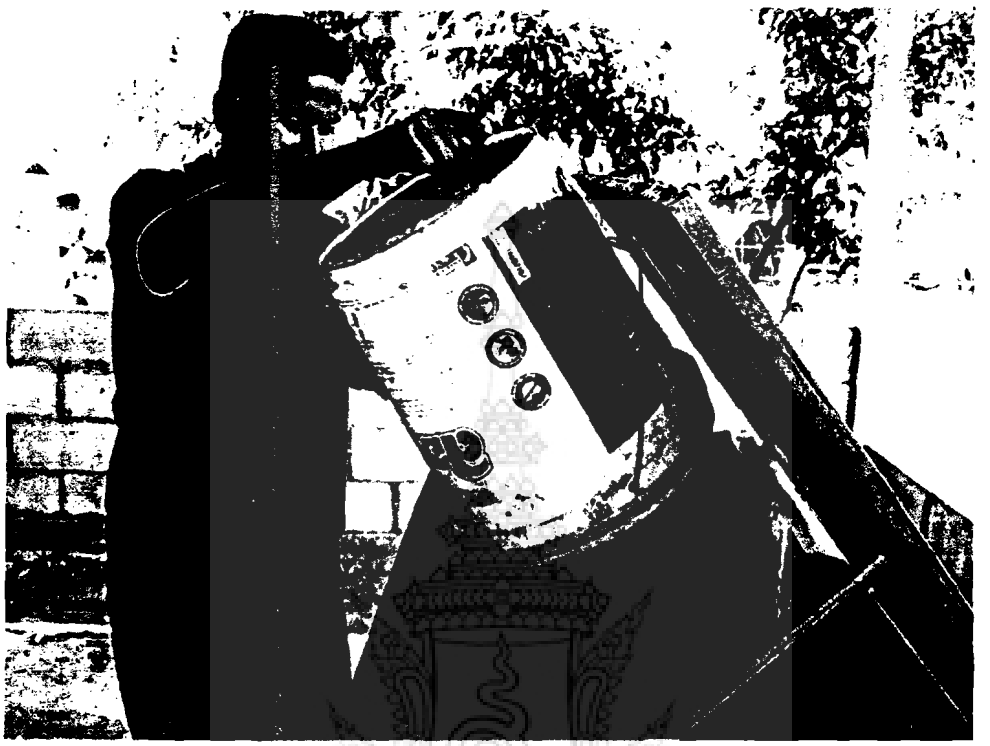
รูปที่ 4.18 วัสดุที่ผ่านการบดแล้ว เพื่อนำไปผสมในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 4.19 เครื่องจักรผสมวัสดุก่อนการนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 4.20 ภายในเครื่องผสมวัสดุผลิตถ่านอัดก้อน

รูปที่ 4.21 การถ่ายทอดวิธีการผสมวัสดุผลิตให้กับตัวแทนชุมชน



รูปที่ 4.22 การผสมวัตถุดิบ

รูปที่ 4.23 ผสมแป้งมัน

รูปที่ 4.24 หัวหน้าโครงการวิจัย อธิบายวิธีการผลิตแก่ตัวแทนชุมชน

รูปที่ 4.25 เครื่องอัดขึ้นรูปฉานอัดแท่งและแสดงตำแหน่งเกลียวอัด

รูปที่ 4.26 ผลิตถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 4.27 ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ในเขตชุมชนหมู่บ้านสุขสมบูรณ์

รูปที่ 4.28 แท่งถ่านวัสดุเหลือใช้ในชุมชน ได้แก่ ซังข้าวโพดผสมใบไม้ ผสมเปลือกผลไม้ เช่น เงาะ ทุเรียน และวัสดุอื่น ๆ

รูปที่ 4.29 ถ่านอัดแท่งสำเร็จรูป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากผลการวิจัยปรากฏว่า ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งที่ส่วนผสมต่าง ๆ ทั้ง 4 ส่วนผสม จากการนำไปทดสอบเวลาในการให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดอยู่ในช่วง 42-46 นาที ระยะเวลาในการเผาไหม้อยู่ในช่วง 3-3.13 ชั่วโมง ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 4,660 – 4,830 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.530 – 0.580 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณเถ้าถ่านอยู่ในช่วง 15.5 – 16.6 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นอยู่ในช่วง 6.4 – 7.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทุกส่วนผสมและการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ปรากฏว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ = 0.01 เนื่องจากค่า Fo จากตาราง ANOVA มีค่านัยสำคัญกว่าค่าวิกฤตคือ 5.95 ทั้ง 2 ค่าที่นำมาวิเคราะห์ ดังนั้น จึงยอมรับ Ho ฉะนั้นเมื่อเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจในการผลิตถ่านอัดแท่ง สามารถศึกษาเป็นแนวทางหรือส่งเสริมให้แก่เกษตรกรนำไปผลิตในสัดส่วนในการผสม 95 : 3 : 2 เพราะการผสมนี้ได้ให้ค่าความร้อน 4,830 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ถือว่าสูงกว่าสัดส่วนการผสมอื่น ๆ แต่มีสารระเหยสูงถึง 32.1 เปอร์เซ็นต์ ถ่านคงตัว 45.8 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 0.58 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ดังนั้นสามารถนำวัสดุเช่น ซังข้าวโพดและใบไม้แห้งนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง ซึ่งจะช่วยเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตได้เป็นอย่างดี

5.1.2 ในขณะที่ทำการอบใบไม้ให้เป็นคาร์บอนนั้น ควรตั้งอุณหภูมิในการอบที่ 350°C ทำการในเวลา 20 – 30 นาที ลักษณะการอบควรนำใบไม้ไปห่อเข้ากับฟอย แล้วจึงนำเข้าไปในตู้อบ ถ้าผู้ปฏิบัตินำใบไม้ไปอบโดยไม่ห่อฟอยในอุณหภูมิที่ 350°C ในเวลา 20 - 30 นาที ใบไม้จะเกิดการไหม้เป็นขี้เถ้า ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งได้

5.1.3 ในการทดลองเครื่องอัดนั้น เมื่อทำการอัดถ่านไปนาน ๆ แล้ว เกลียวที่ใช้ในการอัดจะเกิดการสึกหรอ ต้องทำการเชื่อมพอกอยู่เสมอ ลวดเชื่อมในการเชื่อมพอกนั้นมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง ควรใช้ลวดเชื่อมที่เชื่อมแล้วทนต่อการเสียดสีในขณะทำการอัด

5.1.4 ในขณะทำการอัดนั้น จะเกิดความร้อนสะสม เมื่อเกลียวอัดถ่านออกมานั้น กระบอกอัดควรทำการระบายความร้อน โดยนำน้ำฉีดพรมตรงกระบอกอัด เพื่อเป็นการระบายความร้อน ถ้าไม่มีการระบายความร้อนนั้นถ่านที่ออกมาจะเกิดการแตกร้าวของถ่านอัดจึงควรแก้ไขในประเด็นนี้

5.1.5 ในผลการทดลองจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาการอบ 15 ชม. และ 48 ชม. เหมาะสำหรับนำไปใช้งาน แต่ถ้าจะให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอบและไม่ให้เสียเวลาในการอบมากเกินไปควรน่าจะใช้ช่วงเวลาการอบ 15 ชม. เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน

5.2 การใช้ประโยชน์จากการวิจัย

5.2.1 นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ หลังจากการวิจัยประสบผลสำเร็จแล้ว สามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้คุณภาพดี จากนั้นนำผลการวิจัยที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ในชุมชน โดยการจัดตั้งกลุ่มส่งเสริมอาชีพการเกษตรในชุมชน หมู่บ้านสุขสมบูรณ์ ต. ไทยสามัคคี อ. วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา จัดตั้งกลุ่ม "กลุ่มส่งเสริมอาชีพผู้ผลิตถ่านอัดแท่ง" เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2548 โดยการรับรองจาก นาย สิทธิศักดิ์ พรประสิทธิ์สุข นายอำเภอวังน้ำเขียว และ นายสุรเดช พลชม เกษตรอำเภอวังน้ำเขียว และผู้วิจัยทำการถ่ายทอดผลงานวิจัยให้แก่สมาชิกในชุมชนให้สามารถผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทดแทนการใช้ไม้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี และลดการตัดไม้ในบริเวณชุมชนต่อไป

5.2.2 โครงการวิจัยได้ส่งมอบเครื่องจักรกลการผลิตถ่านอัดแท่ง จำนวน 3 เครื่อง ให้กับสมาชิก "กลุ่มส่งเสริมอาชีพผู้ผลิตถ่านอัดแท่ง" เพื่อใช้งานสำหรับผลิต ผลิตภัณฑ์ถ่านจากวัสดุเหลือใช้ ต่อไป ประกอบด้วย เครื่องบดวัสดุเหลือใช้เพื่อผลิตถ่าน เครื่องผสมวัสดุเหลือใช้สำหรับผลิตถ่าน และ เครื่องอัดขึ้นรูปถ่านให้เป็นผลิตภัณฑ์ และสมาชิกกลุ่มส่งเสริมอาชีพผู้ผลิตถ่านอัดแท่งใช้ผลิตเป็นการผลิตและสร้างงานแก่ชุมชนต่อไป

รายการอ้างอิง

1. กรมป่าไม้. สถิติพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย. ส่วนศูนย์ข้อมูลกลาง, สำนักสรรสนเทศ, กรมป่าไม้. 2539.
2. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. รายงานพลังงานของประเทศไทย. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539.
3. วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. รายงานวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงเขียว (โครงการเชื้อเพลิงแข็ง). ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
4. วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. รายงานวิจัยโครงการแท่งเชื้อเพลิงแข็ง. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
5. สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอท่าม่วง. สรุปผลการดำเนินงานพัฒนาชุมชนประจำปี 2538. จังหวัดกาญจนบุรี.
6. สำนักงานสถิติจังหวัดกาญจนบุรี. สมุดรายงานสถิติจังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2539. สำนักงานสถิติ จังหวัดกาญจนบุรี, สำนักงานสถิติแห่งชาติ, สำนักนายกรัฐมนตรี.
7. ธิดาเดียว มุขุรีสวรรค์. สถิติสำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. พ.ศ. 2544. ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
8. อนุชิต กิจสวัสดิ์. การทำเชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดเพื่อใช้กับเตาเศรษฐกิจแบบของนายหล้า. พ.ศ. 2524 กองการวิจัย. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
9. การผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็ง จากวัสดุที่เหลือใช้ขั้นอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
10. การทำถ่านกัมมันต์ จากถ่านกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
11. ประเมินความเหมะสมการใช้แท่งฟืน แกลบ ทดแทน ฟืนไม้ในการผลิต เกลือสินเธาว์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
12. ความเหมาะสมในการผลิต ฟืน แกลบ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
13. โครงการเชื้อเพลิงแข็ง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
14. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2, ศ.ร.วริทธ์ อึ้งภากรณ์-ชาญ ฉนัดงาน, แผนกเทคโนโลยีการศึกษา บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2523

15. ตารางงานโลหะ, ผ.ศ.บรรเลง ศรนิล – ผ.ศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์, โรงพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, กรุงเทพฯ 2524
16. ความแข็งแรงของวัสดุ, ชนะ กสิภาธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
17. กลศาสตร์ของแข็ง, สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

ภาคผนวก

หนังสือรับรองกลุ่ม

กลุ่มส่งเสริมอาชีพการเกษตร

หนังสือรับรองฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า กลุ่มส่งเสริมอาชีพผู้ผลิตถ่านอัดแท่ง
จัดตั้งเมื่อวันที่....24.....เดือน.....เมษายน.....พุทธศักราช.....2548 .....
ที่ตั้งอยู่เลขที่...171.....ถนน.....หมู่ที่.....2.....
ตำบล.... ไทยสามัคคี.....อำเภอ.....วังน้ำเขียว.....จังหวัด.....นครราชสีมา....

ขอให้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการเทอญ

ให้ไว้ ณ วันที่.....15.....เดือน.....พฤษภาคม.....พุทธศักราช .....2548.....

.....
(นายสิทธิศักดิ์ พรประสิทธิ์สุข)
นายอำเภอวังน้ำเขียว

.....
(นายสุรเดช พลทม)
เกษตรอำเภอวังน้ำเขียว

ภาคผนวก ก
ผลการวิจัยเบื้องต้น (ศึกษาความเป็นไปได้)

ผลการวิจัยเบื้องต้น (ศึกษาความเป็นไปได้)
ผลการวิจัยการผลิตเครื่องอัดและผลิตฉ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

1. หลักการออกแบบและสร้างเครื่องอัดเชื้อเพลิง

1.1.1 การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design)

การออกแบบทางวิศวกรรม หมายถึง การออกแบบสิ่งต่างๆ ระบบต่างๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกลส่วนใหญ่ แล้วจะใช้หลักการคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุ (Materials Sciences) และวิทยาศาสตร์ทาง วิศวกรรมเครื่องกล (Engineering Mechanics Sciences)

การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องรู้ เข้าใจเกี่ยวกับการจัดจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (Machine Elements) ต่างๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำให้กำลังงานที่ใช้แล้วคำนวณหาแรง ในแต่ละส่วน ตามลำดับหน้าที่ของการทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการ ออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามหน้าที่โดยไม่พังหรือเสียหาย

เราจำเป็นต้องใช้หลักการของความแข็งแรงของวัสดุนำมาช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยมี จุดมุ่งหมายที่จะให้ขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความถูกต้องเหมาะสม ในวิธีการนั้นออกแบบ จะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น (Stress) เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถรับความเค้น สูงสุด (Maximum Stress) แต่ละชนิดได้

1.1.2 การออกแบบเสื้อสกรู

เสื้อสกรูเดิมซึ่งติดมากับสกรูเครื่องบดเนื้อมีลักษณะบอบบาง รับงานหนักไม่ไหว จึง ได้มีการพัฒนาเสื้อสกรูขึ้นมาใหม่ การทำเสื้อสกรูได้ใช้เหล็กท่อไฮดรอลิก รถแทรกเตอร์ที่ใช้งาน ไม่ได้แล้วมาตัดเป็นแผ่นๆ ขนาดประมาณ 5 x 12 ซม. หนา 1 ซม. ถ้าหาเหล็กท่อไฮโดรลิกไม่ได้ ก็ใช้ ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ที่ชุบแข็งแทน จากนั้นทำการเชื่อมแผ่นเหล็กให้เป็นรูป ทรงกระบอกตามแม่แบบ ภายในเสื้อสกรูมีลักษณะเป็นร่องที่เกิดจากการซ้อนกันของแผ่นเหล็ก ร่องนี้ ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวเบรคมิให้วัสดุที่บดอัดหมุน ถ้าวัสดุที่ถูกบดอัดหมุน จะทำให้การสับและบดอัดด้วย สกรูจะไม่ได้ผล ภายในท้องสกรูถูกบรรจุไว้ด้วยสกรู หัวสกรูอยู่ด้านปากของเสื้อสกรู หัวสกรูถูก รองรับด้วยตลับลูกปืนที่วางบนสามขา ก้านสกรูจะถูกเชื่อมเข้ากับเพลากันลุนซึ่งวางอยู่บนตลับ ลูกปืน

ปากของเสื้อสกรูจะมีสีหน้าแปลนสำหรับต่อเข้ากับหน้าแปลนของกระบอกไส ด้านท้ายของเสื้อ สกรูจะมีหน้าแปลนสำหรับต่อเชื่อมเข้ากับหน้าแปลนของชุดกันลุน

กันลุนเป็นส่วนที่ต่อเชื่อมกับส่วนท้ายของเสื้อสกรู กันลุนจะประกอบด้วยตลับลูกปืนที่มีลาดเอียงด้านหนึ่ง ตลับลูกปืนนี้ทำหน้าที่ต่อต้านการดันกลับของสกรูเมื่อทำหน้าที่บดอัดท้ายเพลากันลุนทำหน้าที่เชื่อมเข้ากับพลูเล่ซึ่งรับกำลังจากพลูเล่ต้นกำลังในลักษณะกำลังหด เพลากันลุนจะมีตุ๊กตารองรับ

1.1.3 การออกแบบกระบอกไดร์(Die)

กระบอกไดได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายรูปแบบและหลายขนาด กระบอกไดมีทั้งกระบอกเดี่ยวๆ (Single - die cylinder) และหลายๆ กระบอก หรือกระบอกไดรวม (Multi – die – cylinder) กระบอกไดแบบกระบอกเดียวจะมีขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 3.5 ซม. 5.0 ซม. 7.0 ซม. และ 10 ซม. ความยาว 1 ฟุต ยกเว้นเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ต้องมีความยาวถึง 80 ซม. กระบอกไดรวมที่พัฒนาขึ้นทั้งชนิด 7 กระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกละ 2.8 ซม. ชนิด 4 กระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกละ 3.5 ซม. ทั้งแบบ 7 กระบอก และ 4 กระบอก จะมีความยาวประมาณ 12 นิ้ว กระบอกไดที่ใช้งานมี 2 ประเภทด้วยกัน คือ

1.) กระบอกไดที่เปลี่ยนไม่ได้ (Non – changeable)

2.) กระบอกไดที่เปลี่ยนได้ (Changeable) การที่จะเปลี่ยนได้หรือไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดที่ใช้กับกำลังอัด / กำลังรับวัสดุ

1.1.4 การออกแบบสกรูอัด

สกรูอัดนับเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของงานก็อยู่ที่ตัวสกรู สกรูอัดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นสกรูที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวัน เชคโกสโลวาเกีย สวีเดน และเยอรมัน เป็นต้น สกรูพวกนี้ถูกนำมาใช้สำหรับงานบดเนื้อหรือของอ่อนๆ ซึ่งเป็นงานเบา แต่เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงเขียวขึ้น สกรูนี้จึงถูกนำมาใช้กับงานนี้ ดังนั้น จึงไม่มีสกรูของประเทศใดจะใช้ได้ทันที เพราะผู้สร้างมิได้สร้างขึ้นสำหรับใช้กับงานหนักการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว ซึ่งเป็นการบดอัดพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ฯลฯ ซึ่งเป็นงานหนักกว่าการบดเนื้อเพราะมีความเหนียวมากกว่า ถึงแม้ว่าระหว่างการอัดอุณหภูมิในขณะที่ความชื้นของวัสดุยังสูงเพื่อใช้น้ำเป็นตัวละลาย ตัวเชื่อมประสานเป็นตัวหล่อลื่น และระบายความร้อนก็ตาม ซึ่งสิ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้แรงอัดลดลงได้ หากจะผลักดันงานนี้ให้ประสบความสำเร็จด้วยดี และจะต้องพัฒนาสกรูของเราเอง โดยไม่หวังพึ่งจากต่างประเทศ การจะสั่งทำพิเศษจากต่างประเทศก็เสียเวลาล่าช้า และจำนวนน้อยก็ไม่มีใครอยากทำ หากเขาจะทำให้ก็ต้องคิดราคาที่สูงมาก ทางคณะผู้ค้นคว้าวิจัยจึงได้มอบให้ภาคเอกชน (ดูในเรื่องงานที่ร่วมกับภาคเอกชน) รายหนึ่งที่มีความพร้อมและพร้อมที่จะรับไปดำเนินการจัดทำจำหน่าย ทางโครงการเองขาดประสบการณ์เกี่ยวกับงานด้านนี้ แต่

ก็ได้ให้ข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการออกแบบและแก้ไขสกรูให้เหมาะสมกับงานนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมเหล็กให้มีความแข็งเหนียว ทนทาน การเพิ่มความหนาของสันเกลียวที่ 1- 3 ซึ่งเป็นส่วนที่สึกหรอมากที่สุด การแต่ลาดเอียงให้เหมาะต่อการบดอัด สำหรับเกลียวด้านหลัง ซึ่งทำหน้าที่รับวัสดุที่ป้อนมาและดันส่งไปเกลียวส่วนหน้า มีความสึกหรอน้อยกว่า ซึ่งก็อาจจะปรับปรุงให้รับและดันส่งวัสดุได้มากขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของสกรู คือ ก้านสกรู ก้านสกรูจะต้องมีความแข็งแรง สามารถรับงานหนักได้ ซึ่งขนาดจะต้องใหญ่เพียงพอ ที่หัวสกรูจะมีแกนสำหรับเจาะรูกลาง แท่งเชื่อมเพื่อให้มีการระบายของเหลวดีขึ้น เพื่อสะดวกในการตากแห้ง และการเผาไหม้ แกนนี้ไม่ต้องรับงานหนัก ดังนั้น จึงใช้ขนาดเล็กกว่าก้านสกรูได้ ซึ่งอาจจะใช้แกนชนิดเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมก็ได้

ขนาดของสกรูขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัด เครื่องอัดเล็กก็ใช้สกรูเล็ก เช่น สกรูเบอร์ 12, 22 ซึ่งเป็นเครื่องอัดขนาดใหญ่ เช่น เครื่องอัดรุ่น มก/สพช # 3 จะใช้สกรูเบอร์ 52 ถ้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ขึ้น ผลผลิตมากขึ้น ก็ต้องใช้สกรูใหญ่ขึ้นด้วยตามความจำเป็น

1.1.5 การออกแบบเพลาส่งกำลัง

เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่สำคัญมากในการส่งถ่ายกำลังโดยการหมุน ซึ่งต้องต้านแรงบิด โดยปกติแล้วเพลาจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป

เพลา ซึ่งรับแรงบิด แต่เนื่องจากว่าเพลาส่วนใหญ่ จะติดหรือมีชิ้นส่วนอื่นอยู่ด้วย ทำให้ต้องรับแรงดัดไปด้วย เช่น เกียร์ พูลเลย์ (Pulley) เป็นต้น วิธีการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดของเพลาจึงจำเป็นที่จะต้องหาความเค้นผสมระหว่างความเค้นดึง และความเค้นเฉือน (Combined Shear and Tensional Stresses) ในเพลานี้ได้ การที่จะรวมความเค้นทั้งสองประเภทนี้ทางพีชคณิตหรือโดยใช้ Vector นั้นย่อมกระทำไม่ได้ เนื่องจากลักษณะและผลกระทบของความเค้นทั้งสองนั้นแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

1.1.6 การออกแบบลิ่มและสลัก

1.1.6.1 ในการยึดชิ้นส่วน เช่น เฟือง เกียร์ ติดกับเพลา สำหรับการส่งกำลังที่ไม่มากนักอาจใช้หมุนเกลียวปรับ (Set Screws) กวดยึดชิ้นส่วนติดกับเพลากลมได้โดยตรง แต่สำหรับงานที่ต้องถ่ายกำลังมากๆ จำเป็นที่จะต้องใช้ลิ่ม (Key) ยึดกับร่องลิ่ม (Key Way) การใช้หมุนเกลียวก็นิยมใช้ยึดลิ่มติดกับร่องลิ่มบนเพลา เพื่อป้องกันชิ้นส่วนเลื่อนตัวในแนวแกนของเพลา

1.1.6.2 แบริ่ง เป็นชิ้นส่วนเครื่องกลรองรับการหมุนรอบ (Rotating) การแกว่งไปมา (Oscillation) ของชิ้นส่วนอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งทำให้การเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้ลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากว่าได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการส่งถ่ายกำลัง และพบว่าประมาณ 30% ของกำลังทั้งหมดได้สูญเสียไป เนื่องจากการเสียดทาน ดังนั้น ความรู้เรื่องการหล่อลื่น และการลดการเสียดทานของแบริ่ง ย่อมจำเป็นสำหรับผู้ที่จะคำนวณออกแบบเครื่องกลทั้งหลาย

1.1.6.3 แบริ่งธรรมดา (Plain Bearings) เป็นแบริ่งที่รองรับการเลื่อน (Sliding Support) และแรงเสียดทานจะลดลงมากโดยการใช้ของเหลว หรือของแข็ง หรือก๊าซเพื่อการหล่อลื่น แบริ่งชนิดนี้ที่ยังใช้งานอยู่ก็มี

1. เจอร์นัลแบริ่ง (Journal Bearings หรือ Sleeve Bearings) จะรองรับเพลากลมเพื่อการหมุนหรือแกว่ง โดยที่แบริ่งจะมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอก และเจอร์นัลก็คือส่วนหนึ่งของเพลา เมื่อแบริ่งล้อมรอบเจอร์นัลเราเรียกว่า แบริ่งเต็ม (Full Bearings) แต่ถ้ามีเพียงบางส่วนของแบริ่งเท่านั้น ที่ล้อมรอบเจอร์นัลเราเรียกว่า แบริ่งส่วน (Partial Bearings) ในหนังสือนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะแบริ่งเต็มเท่านั้น

2. แบริ่งแกน (Thrust Bearings) จะรองรับเพลา ซึ่งกำลังหมุนและแกว่งตามแนวของแกนเพลา

3. แบริ่งนำ (Line หรือ Guide Bearings) ใช้นำและรองรับชิ้นส่วนที่จะต้องเคลื่อนที่ไปทุกส่วนด้วย (Translation Motion)

1.1.7 การใช้เกลียวอัตส่งวัสดุ

เกลียวสำหรับการส่งกำลังหรือสกรูส่งกำลัง จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจกับคำจำกัดความ บางคำซึ่งจะต้องใช้อยู่เสมอ

ระยะพิตช์ ; P หมายถึง ระยะทางที่วัดตามแนวแกนของสกรูจากจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่งไปยังจุดเดียวกันของเกลียวที่อยู่ถัดไป

หลีด (Lead) ; L_c คือ ระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนของสกรู ในขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ ถ้าเป็นสกรูหนึ่งปาก (Single Thread) ระยะของหลีดมีค่าเท่ากับระยะพิตช์ สำหรับสกรูสองปาก (Double Thread) เกลียวจะมีปากคาบระหว่างเกลียวสองเกลียว

สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ การเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรูจึงเป็นสองเท่าของระยะพิตช์ ในทำนองเดียวกันสำหรับสกรูสามปาก (Triple Thread) หลีดจะมีค่าเป็นสามเท่าของระยะพิตช์ ถ้าสกรูเป็นแบบ n ปากระยะของหลีด คือ

$$L_c = nP$$

มุมฮีลิกซ์ หรือมุมหลีด (Helix or Lead Angle) ; α หมายถึง มุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู ถ้าให้ d_m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู และนำส่วนที่สกรูเคลื่อนที่ไปในขณะที่หมุนหนึ่งรอบมาคลี่ออก และมุมหลีด คือ

$$\tan \alpha = \frac{l_e}{\pi d_m}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของสกรู

หมุนเกลียว (Screw) หมายถึง เหล็กรูปทรงกระบอก ปลายหนึ่งมีหัวเป็นรูปต่างๆ อีกปลายหนึ่งเ

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของสกรู ซึ่งนับรวมถึงความสูงของเกลียวด้วย ขนาดระบุ (Nominal Size) ของสกรูส่งกำลังจะบอกโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เสมอ ปีนเกลียวใช้สำหรับยึดชิ้นส่วน ให้ติดกันโดยไม่ต้องใช้แป้นเกลียว (Nut)

สลักเกลียว (Bolt) หมายถึง เหล็กรูปทรงกระบอกปลายหนึ่งมีหัวเป็นรูปต่างๆ อีกปลายหนึ่งเป็นเกลียวใช้ร้อยผ่านตลอดรูกลวงของชิ้นส่วนที่ต้องการจะยึดให้ติดกันโดยมีแป้นเกลียวขันเข้าทางปลายที่เป็นเกลียว

แป้นเกลียว (Nut) หมายถึง แป้นเหล็กมีรูกลวงทำเกลียวภายใน ใช้ขันเข้ากับสลักเกลียว

1.1.8 สายพาน

สายพานแบบลิ่มมีลักษณะสร้างคล้ายสายพานแบน คือ ใช้เชือกจากเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์วงเป็นแกนแรง และหล่อหุ้มด้วยยางหรือวัสดุเดียวกันแทน เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านข้างทั้งสองเอียงสอดเข้าหากันด้วยมุม 38 องศา ถึง 44 องศา สายพานลิ่มส่งกำลังด้วยแรงเสียดทานแกลียงหรือล้อร่องได้

1.2 ผลการทดลองการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง โดยใช้เวลาผสม 10 นาที

ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 94% แป้งมัน 3% น้ำ 3%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.50 ชม.	2.45 ช.ม.	2.35 ช.ม.
2	2.48 ช.ม.	2.43 ช.ม.	2.33 ช.ม.
3	2.45 ช.ม.	2.41 ช.ม.	2.30 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.47 ช.ม.	2.43 ช.ม.	2.32 ช.ม.

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 95% แป้งมัน 3% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.45 ชม.	2.42 ช.ม.	2.39 ช.ม.
2	2.41 ช.ม.	2.39 ช.ม.	2.37 ช.ม.
3	2.38 ช.ม.	2.35 ช.ม.	2.34 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.41 ช.ม.	2.38 ช.ม.	2.36 ช.ม.

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 96% แป้งมัน 2% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.48 ชม.	2.43 ช.ม.	2.60 ช.ม.
2	2.45 ช.ม.	2.40 ช.ม.	2.55 ช.ม.
3	2.40 ช.ม.	2.36 ช.ม.	2.53 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.44 ช.ม.	2.39 ช.ม.	2.56 ช.ม.

1.3 ผลการทดลองการเผาไหม้โดยใช้เวลาในการผสม 15 นาที

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 94% แป้งมัน 3% น้ำ 3%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.00 ชม.	2.20 ช.ม.	2.30 ช.ม.
2	2.20 ช.ม.	2.30 ช.ม.	2.35 ช.ม.
3	2.25 ช.ม.	2.35 ช.ม.	2.40 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.15 ช.ม.	2.28 ช.ม.	2.35 ช.ม.

ตารางที่ 5 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 95% แป้งมัน 3% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.20 ชม.	2.30 ช.ม.	2.35 ช.ม.
2	2.25 ช.ม.	2.35 ช.ม.	2.40 ช.ม.
3	2.28 ช.ม.	2.40 ช.ม.	2.40 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.24 ช.ม.	2.35 ช.ม.	2.38 ช.ม.

ตารางที่ 6 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 96% แป้งมัน 2% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.30 ชม.	2.35 ช.ม.	2.45 ช.ม.
2	2.35 ช.ม.	2.40 ช.ม.	2.50 ช.ม.
3	2.40 ช.ม.	2.40 ช.ม.	2.45 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.68 ช.ม.	2.38 ช.ม.	2.46 ช.ม.

1.4 ผลการทดลองการเผาไหม้ที่ใช้เวลาผสม 20 นาที

ตารางที่ 7 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 94% แป้งมัน 3% น้ำ 3%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.50 ชม.	2.50 ช.ม.	2.65 ช.ม.
2	2.55 ช.ม.	2.55 ช.ม.	2.68 ช.ม.
3	2.55 ช.ม.	2.58 ช.ม.	2.65 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.53 ช.ม.	2.54 ช.ม.	2.66 ช.ม.

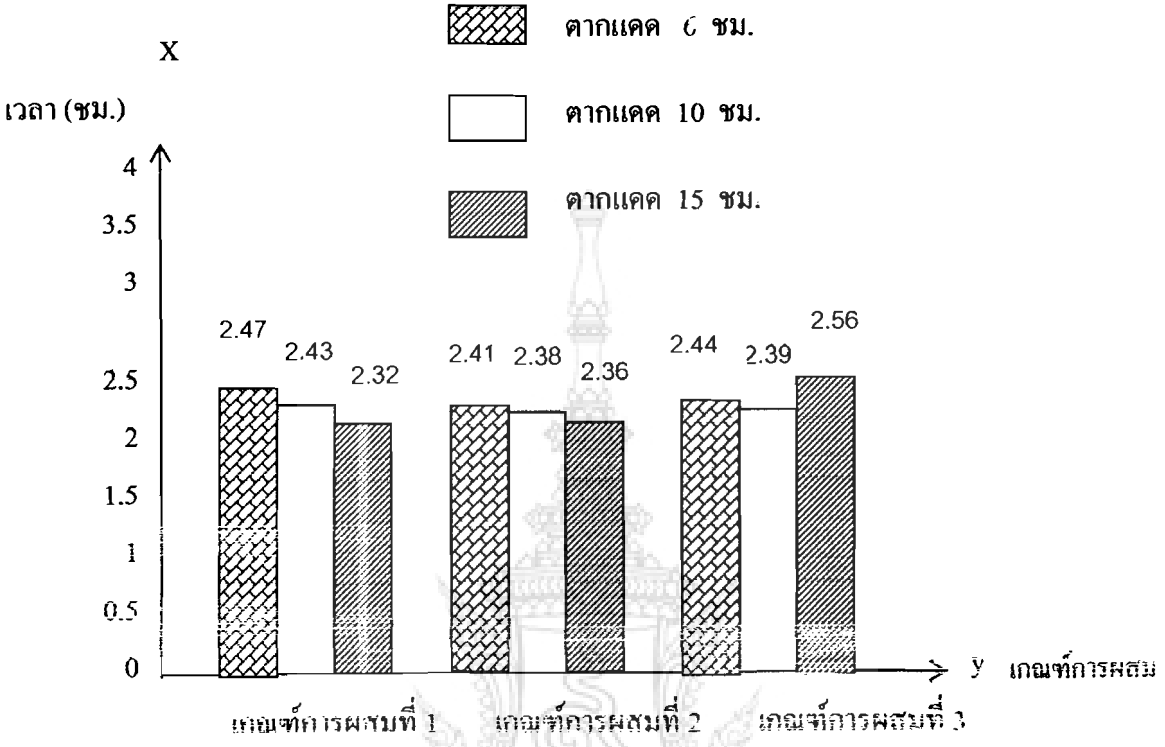
ตารางที่ 8 ระยะเวลาในการเผาไหม้

เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 95% แป้งมัน 3% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.65 ชม.	2.60 ช.ม.	2.65 ช.ม.
2	2.70 ช.ม.	2.65 ช.ม.	2.70 ช.ม.
3	2.69 ช.ม.	2.70 ช.ม.	2.65 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.44 ช.ม.	2.65 ช.ม.	2.65 ช.ม.

ตารางที่ 9 ระยะเวลาในการเผาไหม้

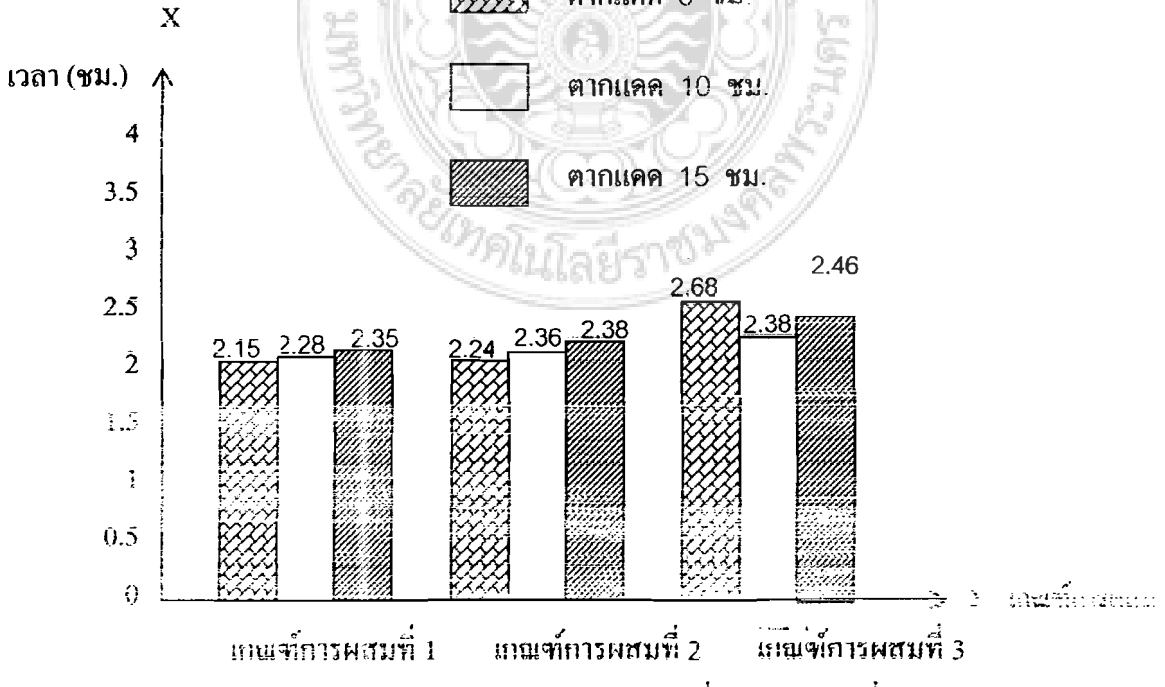
เกณฑ์การผสมที่ 1 อัตราส่วน	ระยะเวลาเผาไหม้ (กะลามะพร้าว 96% แป้งมัน 2% น้ำ 2%)		
จำนวนแท่งถ่านทดลอง	การตากแดด 6 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 10 ชม. เผาหาค่าเวลา	การตากแดด 15 ชม. เผาหาค่าเวลา
1	2.65 ชม.	2.70 ช.ม.	2.70 ช.ม.
2	2.68 ช.ม.	2.60 ช.ม.	2.70 ช.ม.
3	2.70 ช.ม.	2.58 ช.ม.	2.65 ช.ม.
ค่าเฉลี่ยรวม	2.67 ช.ม.	2.62 ช.ม.	2.68 ช.ม.

ระยะเวลาเผาไหม้(เวลาการผสม 10 นาที)



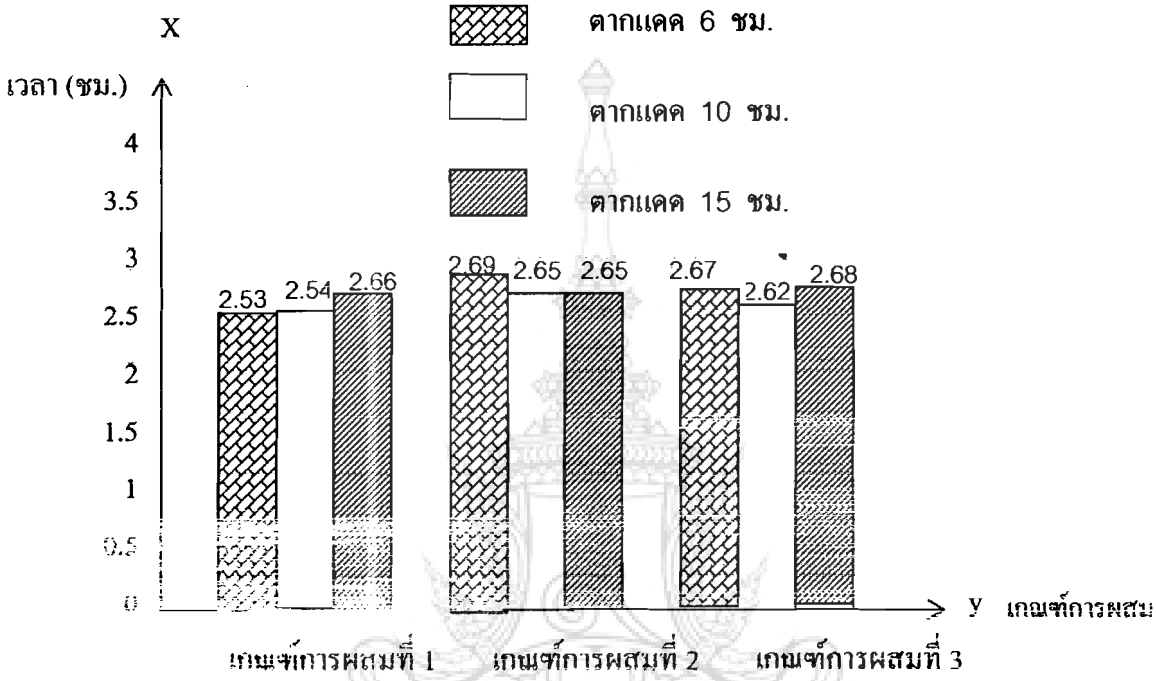
กราฟเปรียบเทียบการติดไฟ ของการเผาไหม้ของถ่านที่เวลาการผสมที่ 10 นาที

ระยะเวลาเผาไหม้(เวลาการผสม 15 นาที)



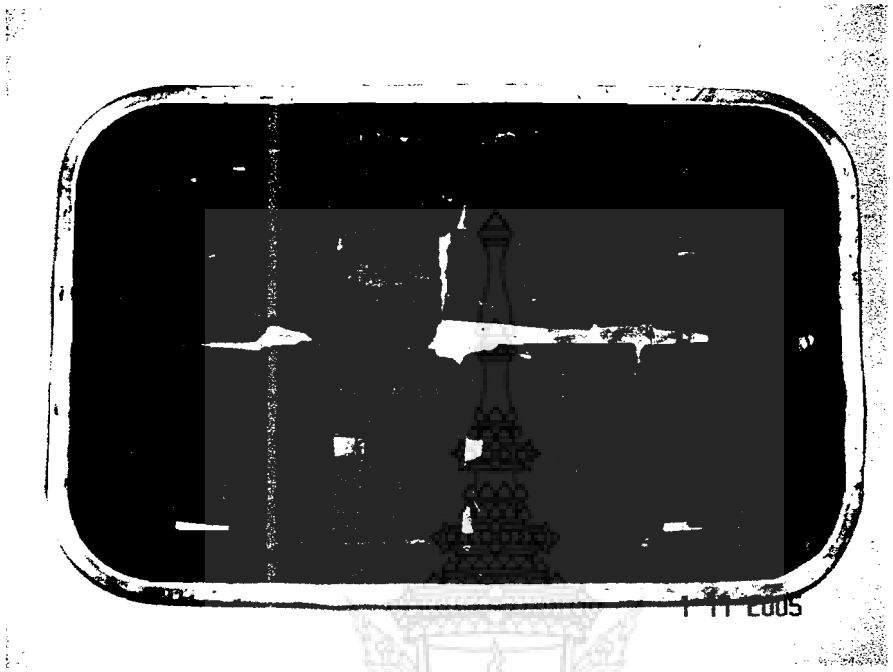
กราฟเปรียบเทียบการติดไฟ ของการเผาไหม้ของถ่านที่เวลาการผสมที่ 15 นาที

ระยะเวลาเผาไหม้(เวลาการผสม 20 นาที)

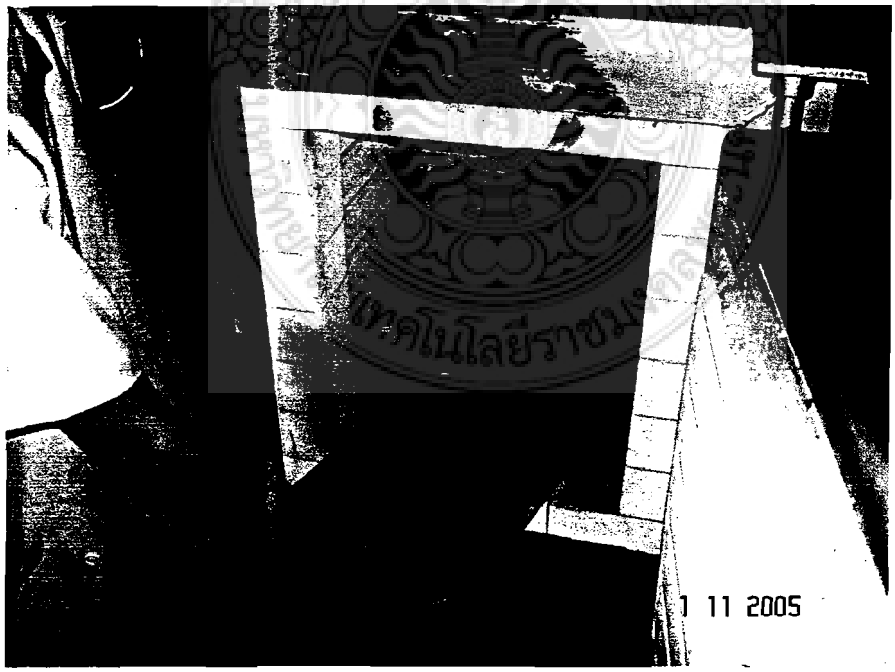


กราฟเปรียบเทียบการติดไฟ ของการเผาไหม้ของถ่านที่เวลาการผสมที่ 20 นาที

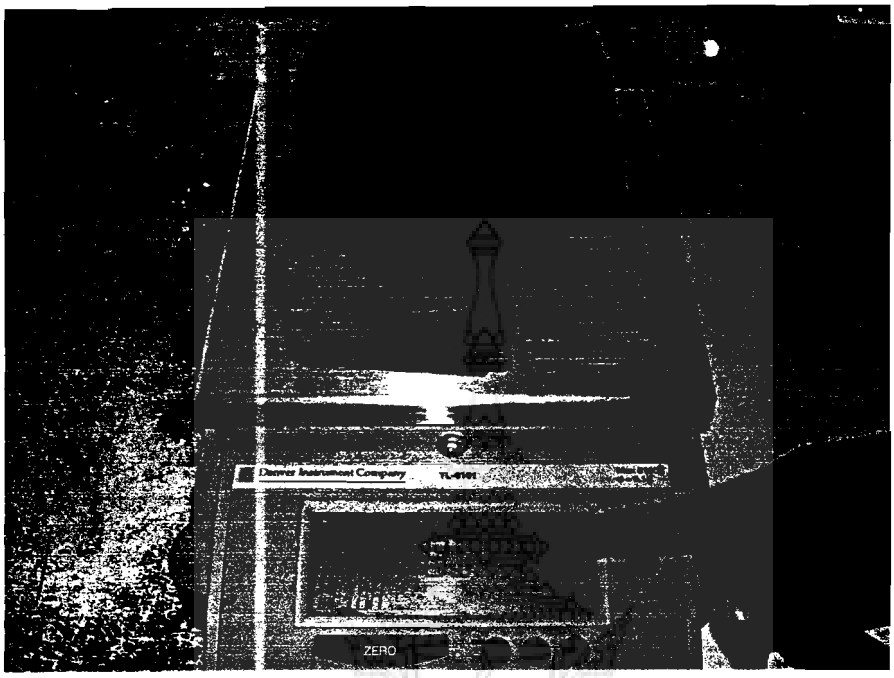
ภาคผนวก ข
รูปแสดงการดำเนินการวิจัย



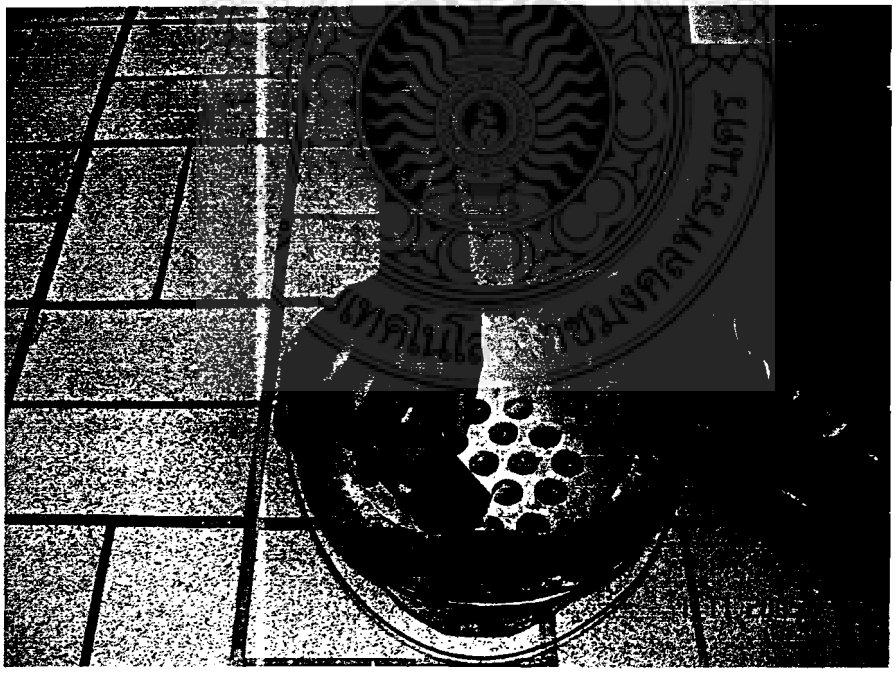
รูปที่ ข-1 การใส่ภาชนะเพื่อนำไปอบ



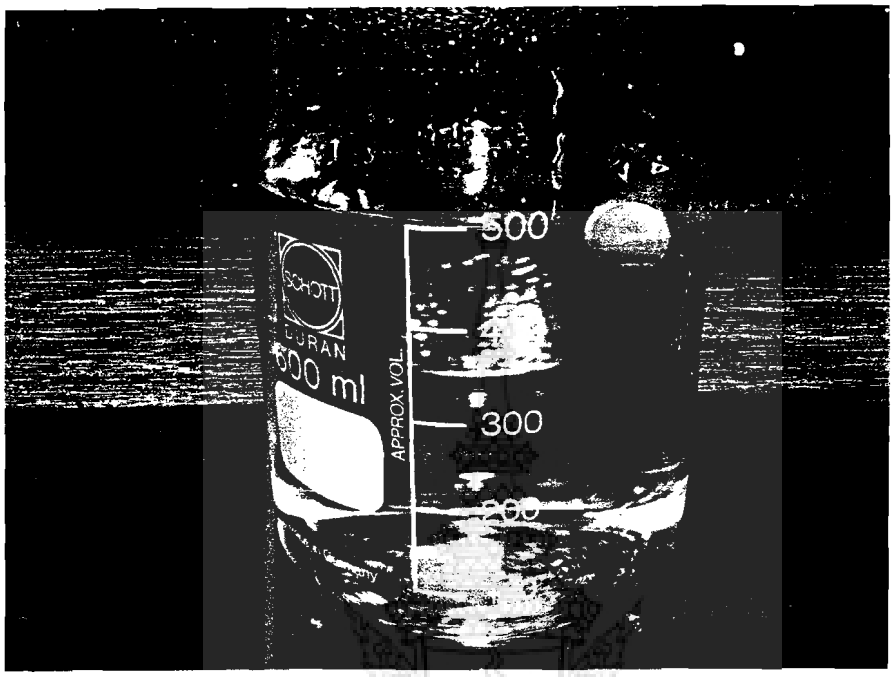
รูปที่ ข-2 ลักษณะการนำชิ้นงานเข้าตู้อบ



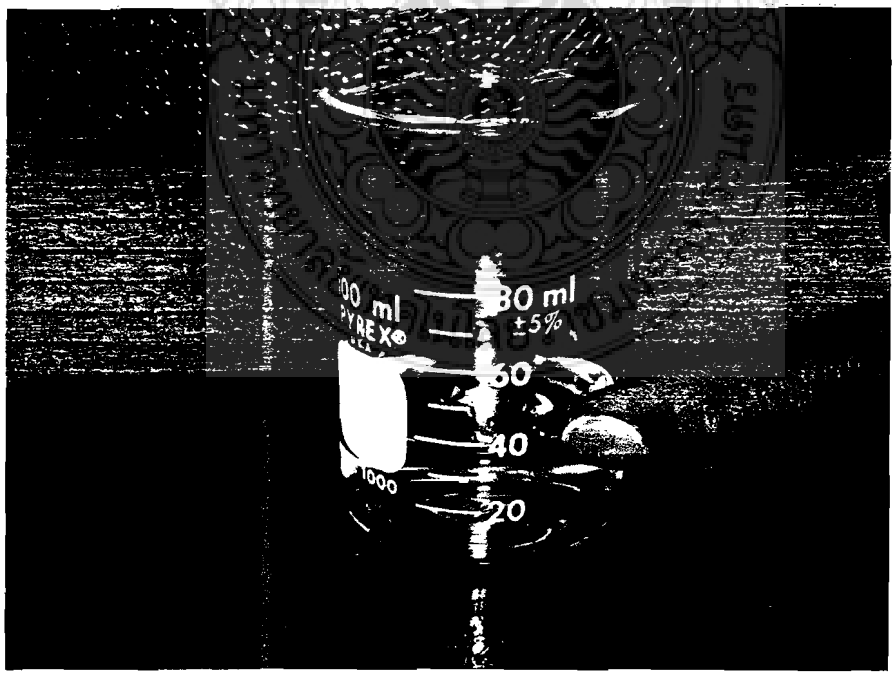
รูปที่ ข-3 ลักษณะการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 10 แท่ง



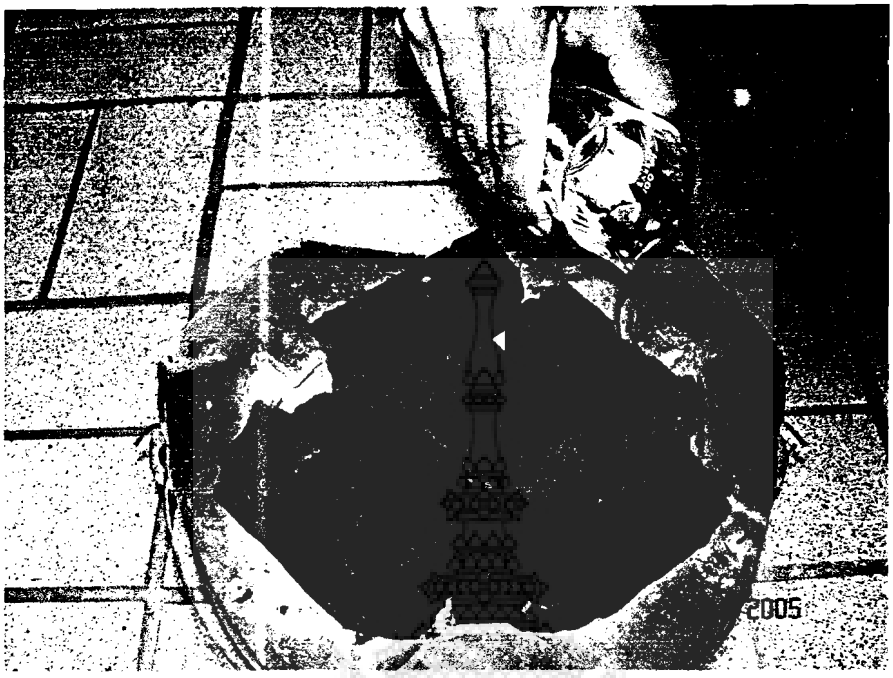
รูปที่ ข-4 การนำถ่านเชื้อเพลิงอัดแข็งใส่ลงในเตา



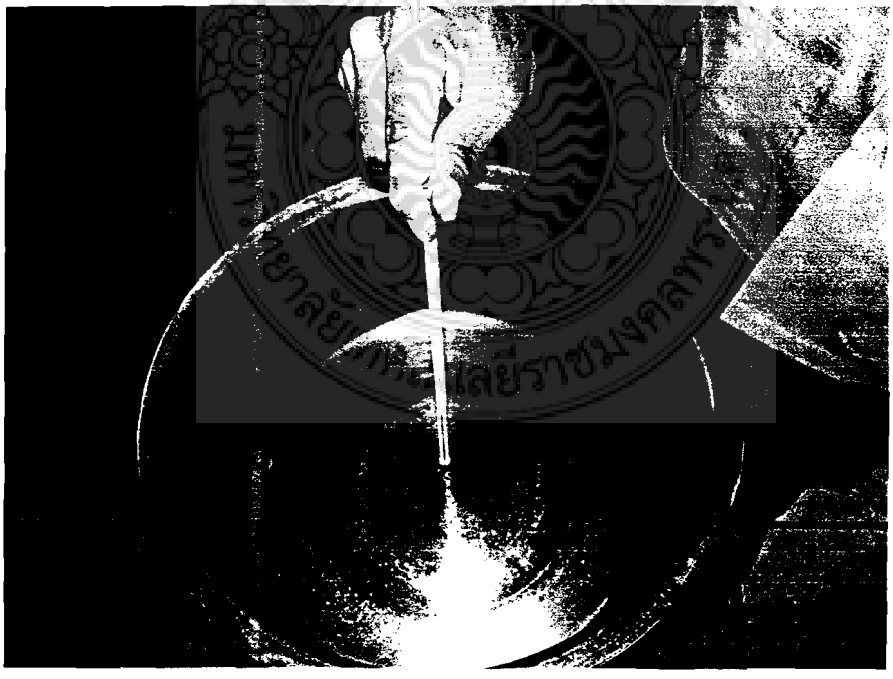
รูปที่ ข-5 ใส่น้ำ 500 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้งต่อการทดลอง 1 ครั้ง



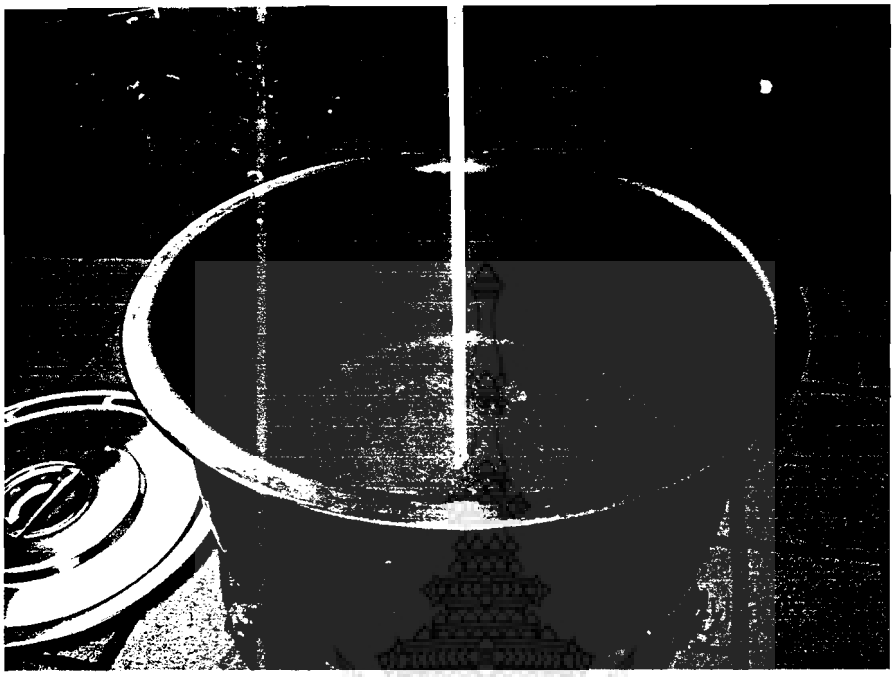
รูปที่ ข-6 ปริมาณแอลกอฮอล์ 40 มิลลิลิตรต่อการทดลอง 1 ครั้ง



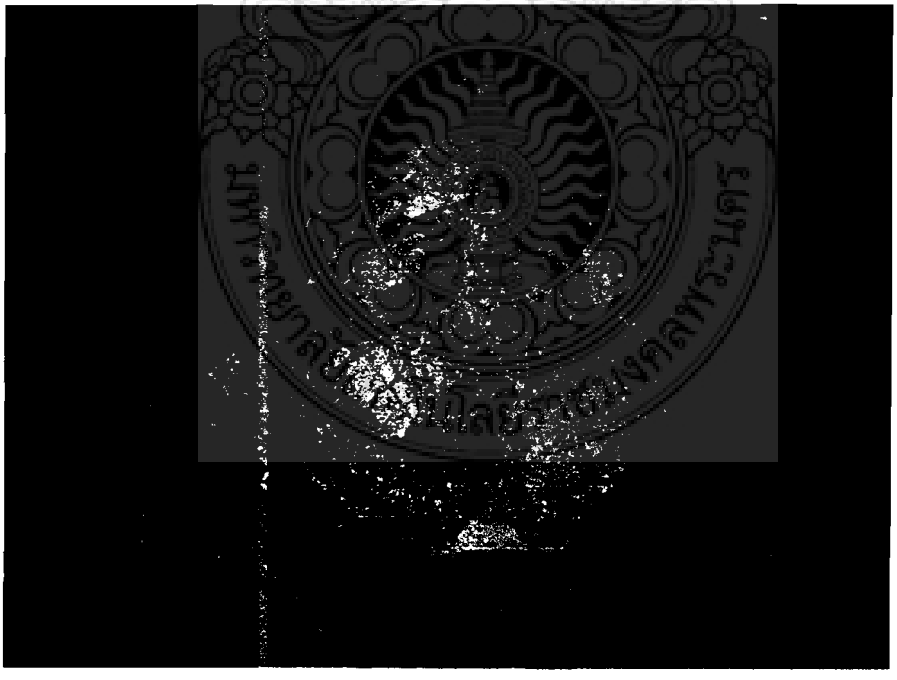
รูปที่ ข-7 การเทแอลกอฮอล์ลงบนชิ้นงานเพื่อทำการเผา



รูปที่ ข-8 การวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม



รูปที่ ข-9 ลักษณะการวัดอุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มทำการเผาไฟประมาณ 40 นาที



รูปที่ ข-10 แสดงปริมาณเถ้าถ่านในเตาเมื่อเวลาผ่านไปจนกลายเป็นขี้เถ้า

ภาคผนวก ค
รายงานผลการทดสอบและการวิเคราะห์

วว.

ก่าขอบริการที่ ท.001/49

ที่ ฝวพ./พง. 001-004-10/48

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

การทดสอบ / วิเคราะห์ ด่านอัดแท่งซังข้าวโพด-ใบไม้

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 1762 and D 2015

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

ตัวอย่าง	คุณสมบัติตามสภาพน่าส่ง					
	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	ด่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี่/กก.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
ด่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A1	7.3	32.4	44.0	16.3	4,700	0.530
ด่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A2	7.3	33.4	43.8	15.5	4,660	0.540
ด่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A3	6.4	32.1	45.8	15.7	4,830	0.580
ด่านอัดแท่งซังข้าวโพด - ใบไม้ A4	6.5	31.9	45.0	16.6	4,730	0.580

วว.

ใบคำขอบริการที่ ท.001/49 ที่ สวพ./พง. 001-004-10/48

ตัวอย่าง	คุณสมบัติตามเสภาพน้ำหนักแห้ง				
	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	ถ่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กก.)
ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A1	-	34.9	47.5	17.6	5,080
ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A2	-	36.1	47.2	16.7	5,030
ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A3	-	34.3	48.9	16.8	5,160
ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด + ใบไม้ A4	-	34.1	48.2	17.7	5,060

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. นายชันหา จิรสุวรรณ
2. นายสรัทธา วัฒนธรรม

ผู้รับรอง

(นางสาวพิมพา เจนวัฒนปัญจกุล)

ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ และรักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการ

ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และพลังงาน

ผู้ตรวจสอบ

(ดร.วิรชัย ศุนทรรังสรรค์)

วันที่ 13 ตุลาคม 2548

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น

ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

ภาคผนวก ง
วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุเชื้อเพลิง

วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุเชื้อเพลิง ใช้หลักวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ American Society for testing and Materials (ASTM) และวิธีวิเคราะห์ของอุปกรณ์เครื่องมือเฉพาะ เช่น วิธีวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่ากำมะถันของ Parr และวิธีวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Mettler LP16

เนื่องจากตัวอย่างที่นำส่งเพื่อวิเคราะห์ มีความแตกต่างกัน จึงแบ่งวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ตัวอย่างประเภทไม้, เศษวัสดุเหลือทิ้ง, เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง, และขยะ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสรุป ดังนี้

ก. การวิเคราะห์หาค่าความชื้น ทำได้ 4 วิธีตามความเหมาะสมคือ Oven drying method, electronic moisture meter methok, distillation method และ hygrometric methok. วิธีที่สะดวกและใช้กับไม้ทั่วไป คือ วิธี Oven drying method คือ การอบตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วที่อุณหภูมิ 103°ซ จนได้น้ำหนักคงที่ จึงนำออกาใส่เดซิเคเตอร์ทิ้งให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่หายไปเพื่อคำนวณค่าความชื้น ในการวิเคราะห์ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ครั้งละไม่เกิน 5 ตัวอย่าง

ข. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยการเผาตัวอย่างในเตาไฟฟ้า (muffle) อุณหภูมิ 580°ซ - 600°ซ โดยเริ่มจากอุณหภูมิห้อง และให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้า ๆ เผาจนได้น้ำหนักคงที่ จึงนำออกมาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่เหลือ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเถ้า ในการวิเคราะห์ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ครั้งละไม่เกิน 4 ตัวอย่าง

ค. การวิเคราะห์ค่า ความหนาแน่น แบบ True density ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การหาปริมาณโดยการ วัดขนาด, การหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ หรือปรอท หรือการใช้ flotation tube เป็นต้น เปรียบเทียบกับน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความหนาแน่น การวิเคราะห์ความหนาแน่นแบบ Bulk density ทำโดยใช้กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 12 x 12 x 12 นิ้ว ที่ทราบน้ำหนักบรรจุตัวอย่างลงในกล่องโดยเทจากความสูง 2 ฟุต เหนือขอบกล่อง เขย่ากล่องในแนวตั้ง 5 ครั้ง โดยทิ้งจากระดับ 6 นิ้ว ชั่งน้ำหนักรวมเทียบปริมาตร เพื่อคำนวรความหนาแน่น ในการวิเคราะห์ใช้เวลาประมาณ 1 วัน ครั้งละ 4 ตัวอย่าง

จ. การวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า oxygen bomb calorimeter โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 – 1 กรัม บรรจุในครูซิเบล แล้วใส่ในภาชนะปิดสนิทที่เรียกว่า bomb ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และคายความร้อนให้กับน้ำที่อยู่รอบ ๆ bomb มีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ค่าความร้อนโดยวิธีนี้เรียกว่า gross calorific value เนื่องจาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ถูกทำให้กลับแน่นอยู่ในสภาพของเหลว ในการวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ครั้งละ 1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างประเภทถ่านหิน, ถ่านโค้ก และพีท มีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

ก. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น อาศัยหลักการอบตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ในครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 100 °ซ ± 5 °ซ เป็นเวลานาน 2 – 3 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์อย่างน้อย 30 นาที แล้วนำมาชั่ง น้ำหนักที่หายไป คือ ปริมาณความชื้น การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ครั้งละไม่เกิน 5 ตัวอย่าง

ข. การวิเคราะห์หาปริมาณขี้เถ้า เป็นการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องจากการหาค่าความชื้นโดยการนำเอาตัวอย่างที่ผ่านการหาค่าความชื้น แล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 700°ซ - 750°ซ เป็นเวลาประมาณ 3-4 ชม. จนได้น้ำหนักคงที่ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำมาชั่งน้ำหนักของสารที่เหลือในครูซิเบิล คือ ปริมาณเถ้า การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่ว ครั้งละไม่เกิน 4 ตัวอย่าง

ค. การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย โดยการใช้เตาไฟฟ้าชนิดท่อตั้ง (tube furnace) อุณหภูมิ 950 °ซ ± 20 °ซ และครูซิเบิลมีฝาปิดชนิด platinum rhodium alloy ใช้ตัวอย่าง 1 กรัม ให้ความร้อนนาน 7 นาที ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่หายไปลบด้วยปริมาณความชื้น คือ ปริมาณสารระเหย การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมงต่อ 1 ตัวอย่าง

ง. การวิเคราะห์หาค่าความร้อน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า oxygen bomb calorimeter โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 0.5 – 1 กรัม บรรจุในครูซิเบิล แล้วใส่ภาชนะปิดสนิทที่เรียกว่า bomb ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และคายความร้อนให้กับน้ำที่อยู่รอบ bomb มีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ค่าความร้อนจากการวิเคราะห์ โดยวิธีนี้เรียกว่า gross calorific value เนื่องจาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไม่ได้ถูกนำไปควบแน่นอยู่ในสภาพของเหลว การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อ 1 ตัวอย่าง

ภาคผนวก จ
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

A6 Critical Values of The F Distribution (Continued)

$f_{\alpha=.01}(\nu_1, \nu_2)$

ν_2	ν_1 1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41

ภาคผนวก ฉ
ตารางเปรียบเทียบเนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย

เนื้อที่ป่าไม้

Forest Area

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย ระหว่างปี 2531 - 2541 เป็นรายจังหวัด

Table 1 The Comparison of Forest Existing and Its Periodic Change between 1988 - 1998

จังหวัด / ภาค	(1) เนื้อที่ทั้งหมด Total Area ตร.กม. sq.km.	(2) เนื้อที่ป่าสงวนแห่งชาติ National Forest Reserves ตร.กม. sq.km.	เนื้อที่ป่าไม้ Forest Area (3) 2531 - 1988 ตร.กม. sq.km.	%	(4) 2532 - 1989 ตร.กม. sq.km.	%	(5) 2534 - 1991 ตร.กม. sq.km.	%	(6) 2536 - 1993 ตร.กม. sq.km.	%	(7) 2538 - 1995 ตร.กม. sq.km.	%	(8) 2541 - 1998 ตร.กม. sq.km.	%	Province/Region
1.เชียงราย	11,678.37	10,433.10	4,344	37.20	4,311	36.91	4,110	35.19	3,991	34.17	3,866	33.10	3,819	32.70	Chiang Rai
2.พะเยา	6,335.06	682.81	2,785	43.96	2,763	43.61	2,564	40.47	2,504	39.53	2,443	38.56	2,421	38.22	Phayao
3.เชียงใหม่	20,107.06	19,555.83	15,204	75.62	15,170	75.45	14,741	73.31	14,420	71.72	14,232	70.78	14,060	69.93	Chiang Mai
4.ลำพูน	4,505.88	2,928.06	2,550	56.59	2,547	56.53	2,324	51.58	2,207	48.98	2,155	47.83	2,132	47.32	Lamphun
5.แม่ฮ่องสอน	12,681.26	11,151.64	9,252	72.96	9,243	72.89	9,157	72.21	9,050	71.37	8,935	70.46	8,767	69.13	Mae Hong Son
6.ลำปาง	12,533.96	8,573.70	8,775	70.01	8,772	69.99	8,329	66.45	8,106	64.67	7,893	62.97	7,835	62.51	Lampang
7.น่าน	11,472.07	10,395.57	5,123	44.66	5,109	44.53	4,971	43.33	4,813	41.95	4,805	41.88	4,792	41.77	Nan
8.แพร่	6,538.60	4,763.02	2,554	39.06	2,550	39.00	2,488	38.05	2,435	37.24	2,421	37.03	2,411	36.87	Phrae
9.อุตรดิตถ์	7,838.59	5,280.07	3,189	40.68	3,186	40.65	3,057	39.00	3,043	38.82	3,029	38.64	3,017	38.49	Uttaradit
10.เพชรบูรณ์	12,668.42	6,325.53	2,961	23.37	2,952	23.30	2,732	21.57	2,586	20.41	2,521	19.90	2,456	19.39	Phetchabun
11.พิษณุโลก	10,815.85	5,093.68	2,882	26.65	2,878	26.61	2,503	23.14	2,428	22.45	2,407	22.25	2,390	22.10	Phitsanulok
12.สุโขทัย	6,596.09	2,769.56	2,524	38.27	2,510	38.05	2,292	34.75	2,262	34.29	2,229	33.79	2,216	33.60	Sukhothai
13.กำแพงเพชร	8,607.49	5,241.55	2,242	26.05	2,227	25.87	2,147	24.94	2,098	24.37	2,049	23.80	2,003	23.27	Kamphaeng Phet

จังหวัด / ภาค	(1) เนื้อที่ทั้งหมด Total Area ตร.กม. sq.km.	(2) เนื้อที่ป่าสงวนแห่งชาติ National Forest Reserves ตร.กม. sq.km.	เนื้อที่ป่าไม้ Forest Area (3) 2531 - 1988 ตร.กม. sq.km.	%	(4) 2532 - 1989 ตร.กม. sq.km.	%	(5) 2534 - 1991 ตร.กม. sq.km.	%	(6) 2536 - 1993 ตร.กม. sq km.	%	(7) 2538 - 1995 ตร.กม. sq.km.	%	(8) 2541 - 1998 ตร.กม. sq.km.	%	Province/Region
14.พิจิตร	4,531.01	6.26	-		-		-		-		-		-		Phichit
15.นครสวรรค์	9,597.68	2,110.87	823	8.57	818	8.52	721	7.51	685	7.14	673	7.01	662	6.90	Nakhon Sawan
16.อุทัยธานี	6,730.25	4,525.10	2,712	40.30	2,709	40.25	2,689	39.95	2,620	38.93	2,591	38.50	2,584	38.39	Uthai Thani
17.ตาก	16,406.65	12,108.43	12,482	76.08	12,477	76.05	12,318	75.08	11,983	73.04	11,637	70.93	11,492	70.04	Tak
ภาคเหนือ	169,644.29	111,964.78	80,402	47.39	80,222	47.29	77,143	45.47	75,231	44.35	73,886	43.55	73,057	43.06	North
1.กาฬสินธุ์	6,946.75	1,631.32	645	9.28	637	9.17	598	8.61	596	8.58	594	8.55	591	8.51	Kalasin
2.ขอนแก่น	10,885.99	2,716.03	932	8.56	917	8.42	844	7.75	833	7.65	815	7.49	812	7.46	Khon Kaen
3.ชัยภูมิ	12,778.29	3,303.74	3,154	24.68	3,146	24.62	3,135	24.53	3,078	24.09	3,058	23.93	3,011	23.56	Chaiyaphum
4.หนองคาย	7,332.28	3,338.84	543	7.41	540	7.36	492	6.71	484	6.60	470	6.41	463	6.31	Nong Khai
5.นครพนม	5,512.67	2,936.04	642	11.65	640	11.61	595	10.79	571	10.36	566	10.27	563	10.21	Nakhon Phanom
6.มุกดาหาร	4,339.83	1,072.71	1,553	35.78	1,544	35.58	1,353	31.18	1,347	31.04	1,342	30.92	1,331	30.67	Mukdahan
7.มหาสารคาม	5,291.68	406.90	51	0.96	49	0.93	38	0.72	35	0.66	34	0.64	33	0.62	Maha Sarakham
8.อุดรธานี	11,730.30	7,219.79	2,398	15.38	2,395	15.36	1,893	16.14	1,881	16.04	1,873	15.97	1,847	15.75	Udon Thani
9.หนองบัวลำภู	3,859.09						303	7.85	300	7.77	299	7.75	293	7.59	Nongbua Lumphoo
10.นครราชสีมา	20,493.98	7,782.78	2,582	12.60	2,577	12.57	2,340	11.42	2,294	11.19	2,258	11.02	2,223	10.85	Nakhon Ratchasima
11.บุรีรัมย์	10,321.88	2,900.11	598	5.79	596	5.77	536	5.19	530	5.13	527	5.11	524	5.08	Buri Ram
12.ร้อยเอ็ด	8,299.45	766.89	226	2.72	222	2.67	195	2.35	191	2.30	189	2.28	187	2.25	Roi Et
13.เลย	11,424.61	6,963.37	3,281	28.72	3,264	28.57	2,936	25.70	2,924	25.59	2,912	25.49	2,889	25.29	Loei

ตารางที่ 12 ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ได้จากป่าไม้

Table 12 Production of Major Forest Products

รายการ Item	หน่วย Unit	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
ฟืน Fire Wood	1,000 ลบ.ม. 1,000 cum	409.4	289.0	267.9	173.1	151.2	148.1	6.0
ถ่าน Wood Charcoal	1,000 ลบ.ม. 1,000 cum	225.2	145.2	128.9	122.0	90.4	86.4	46.6
น้ำมันยาง Wood Tar	1,000 ลิตร 1,000 litre	254.5	43.6	56.4	14.2	2.5	2.6	0.0
เปลือกไม้ Barks	ตัน ton	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
หวาย Rattans	ตัน ton	967.9	417.1	329.5	344.7	55.8	491.5	75.5
ใบจาก Palm-leaf	1,000 ใบ 1,000 sheet	155.0	250.0	48.5	175.0	442.0	334.0	106.0
ไม้ไผ่ Bamboos	ล้านลำ million pieces	13.6	15.2	11.1	0.9	1.3	1.0	0.3
ไม้หวก Bamboo Stalks	ล้านลำ million pieces	38.2	41.3	26.0	13.3	5.3	6.6	0.0

จังหวัด / ภาค	(1) เนื้อที่ทั้งหมด Total Area ตร.กม. sq.km.	(2) เนื้อที่ป่าสงวนแห่งชาติ National Forest Reserves ตร.กม. sq.km.	เนื้อที่ป่าไม้ Forest Area (3) 2531 - 1988 ตร.กม. sq.km.	%	(4) 2532 - 1989 ตร.กม. sq.km.	%	(5) 2534 - 1991 ตร.กม. sq.km.	%	(6) 2536 - 1993 ตร.กม. sq.km.	%	(7) 2538 - 1995 ตร.กม. sq.km.	%	(8) 2541 - 1998 ตร.กม. sq.km.	%	Province/Region
12.สมุทรสาคร	872.35	25.93	-		-		-		18	2.06	15	1.72	17	1.95	Samut Sakhon
13.สมุทรสงคราม	416.71	-	-		-		-		10	2.40	9	2.16	11	2.64	Samut Songkhram
14.สมุทรปราการ	1,004.09	-	-		-		-		3	0.30	2	0.20	3	0.30	Samut Prakan
15.นนทบุรี	622.30	-	-		-		-		-		-		-		Nonthaburi
16.นครปฐม	2,168.33	-	-		-		-		-		-		-		Nakhon Pathom
17.อ่างทอง	968.37	-	-		-		-		-		-		-		Ang Thong
18.สิงห์บุรี	822.48	-	-		-		-		-		-		-		Sing Buri
ภาคกลาง	67,398.70	20,414.15	17,244	25.59	17,223	25.55	16,616	24.65	16,408	24.34	16,288	24.17	16,049	23.81	Central
1.จันบุรี	4,363.00	1,450.23	257	5.89	251	5.75	246	5.64	244	5.59	243	5.57	241	5.52	Chon Buri
2.ระยอง	3,552.00	821.99	240	6.76	232	6.53	221	6.22	218	6.14	214	6.02	209	5.88	Rayong
3.จันทบุรี	6,338.00	2,546.72	1,917	30.25	1,906	30.06	1,895	29.90	1,881	29.68	1,873	29.55	1,867	29.46	Chanthaburi
4.ตราด	2,819.00	1,365.70	790	28.02	790	28.02	784	27.81	773	27.42	758	26.89	752	26.68	Trat
5.ฉะเชิงเทรา	5,351.00	2,427.37	1,265	23.64	1,237	23.12	1,199	22.41	1,195	22.33	1,193	22.29	1,159	21.66	Cha Choeng Sao
6.ปราจีนบุรี	4,762.36	5,862.90	2,883	24.11	2,869	23.99	1,639	34.42	1,632	34.27	1,624	34.10	1,598	33.55	Prachin Buri
7.สระแก้ว	7,195.14						1,209	16.80	1,207	16.78	1,204	16.73	1,200	16.68	Sa Kaew
8.นครนายก	2,122.00	-	482	22.71	502	23.66	495	23.47	484	22.81	482	22.71	481	22.67	Nakhon Nayok
ภาคตะวันออก	36,502.50	14,474.91	7,834	21.46	7,786	21.33	7,691	21.07	7,634	20.91	7,591	20.80	7,507	20.57	East

จังหวัด / ภาค	(1) เนื้อที่ทั้งหมด Total Area ตร.กม. sq.km.	(2) เนื้อที่ป่าสงวนแห่งชาติ National Forest Reserves ตร.กม. sq.km.	เนื้อที่ป่าไม้ Forest Area (3) 2531 - 1988 ตร.กม. sq.km.	%	(4) 2532 - 1989 ตร.กม. sq.km.	%	(5) 2534 - 1991 ตร.กม. sq.km.	%	(6) 2536 - 1993 ตร.กม. sq.km.	%	(7) 2538 - 1995 ตร.กม. sq.km.	%	(8) 2541 - 1998 ตร.กม. sq.km.	%	Province/Region
1.ชุมพร	6,009.01	3,110.55	1,425	23.71	1,419	23.61	1,205	20.05	1,104	18.37	1,053	17.52	1,019	16.96	Chumphon
2.ระนอง	3,298.05	2,227.68	1,393	42.24	1,390	42.15	1,159	35.14	1,132	34.32	1,095	33.20	1,064	32.26	Ranong
3.พังงา	4,170.89	2,408.68	1,339	32.10	1,337	32.06	1,268	30.40	1,226	29.39	1,181	28.32	1,142	27.38	Phang Nga
4.สุราษฎร์ธานี	12,891.47	5,829.75	3,397	26.35	3,388	26.28	3,283	25.47	3,166	24.56	3,044	23.61	3,011	23.36	Surat Thani
5.ภูเก็ต	543.03	169.30	40	7.37	40	7.37	38	7.00	26	4.79	24	4.42	24	4.42	Phuket
6.กระบี่	4,708.51	2,265.52	450	9.56	449	9.54	447	9.49	391	8.30	338	7.18	319	6.77	Krabi
7.นครศรีธรรมราช	9,942.50	3,079.45	1,439	14.46	1,434	14.42	1,409	14.17	1,274	12.81	1,261	12.68	1,229	12.36	Nakhon Si Thammarat
8.ตรัง	4,917.52	2,361.28	1,010	20.54	1,009	20.52	1,001	20.36	957	19.46	955	19.42	935	19.01	Trang
9.พัทลุง	3,424.47	1,210.35	512	14.95	511	14.92	487	14.22	472	13.78	469	13.70	435	12.79	Phatthalung
10.สตูล	2,478.98	1,167.96	680	27.43	679	27.39	582	23.48	566	22.83	561	22.63	528	21.30	Satun
11.สงขลา	7,393.89	2,010.67	869	11.75	868	11.74	624	8.44	594	8.03	581	7.86	572	7.74	Song Khla
12.ปัตตานี	1,940.36	159.44	49	2.53	48	2.47	47	2.42	45	2.32	45	2.32	44	2.27	Pattani
13.ยะลา	4,521.08	1,069.48	1,231	27.23	1,231	27.23	1,181	26.12	1,144	25.30	1,143	25.28	1,115	24.66	Yala
14.นราธิวาส	4,475.43	1,113.04	797	17.81	797	17.81	718	16.04	711	15.89	705	15.75	685	15.31	Narathiwat
ภาคใต้	70,715.19	28,183.15	14,630	20.69	14,600	20.65	13,449	19.02	12,808	18.11	12,455	17.61	12,125	17.15	South
รวมทั้งประเทศ	513,115.02	230,370.39	143,803	28.03	143,417	27.95	136,698	26.64	133,554	26.03	131,485	25.62	129,722	25.28	Whole Kingdom

หน่วย : ลบ.ม. Unit : cum

ชนิดไม้ Species		2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
คอแลน	Xerospermum intermedium Radlk.	37	0	0	0	0
จั๋วป่า	Bombax anceps Pierre	26	0	0	0	0
จำปา	Michelia champaca Linn.	15	0	0	0	0
จำปีป่า	Michelia floribunda Finet & Gagnep.	0	2	0	0	0
จิกนม ขนุนนก	Palaquium gutta Baill. & P. obovatum Engler	52	0	0	0	0
จิงจัน	Dalbergia oliveri Gamble	13	1	0	0	0
ชุมแพรก เลียดช่อ	Heritiera javanica Kosterm.	233	0	0	0	0
ช้าย	Gmelina arborea Roxb.	104	0	0	0	0
แซะ กาแซะ	Millettia atropurpurea Benth.	28	0	0	0	0
แดง	Xylia xylocarpa Taub.	1,602	93	0	0	0
แดงควน แดงเขา	Syzygium spp.	269	0	0	0	0
ตะคร้อ	Schleichera oleosa Merr.	37	0	0	0	0
ตะคร้ำ	Garuga pinnata Roxb.	8	1	0	0	0
ตะเคียนทราย	Hopea ayellanea Heim	192	0	0	0	0
ตะเคียนทอง	Hopea odorata Roxb	73	176	0	0	0
ตะเคียนราก	Hopea pierrei Hance	15	0	0	0	0
ตะเคียนหนู	Anogeissus acuminata Wall	490	0	0	0	0
ตะเคียนหิน	Hopea ferrea Pierre	5	1	0	0	0

หน่วย : ลบ.ม. Unit : cum.

ชนิดไม้ Species		2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
ตะแบกใหญ่ ตะแบกแดง	Lagerstroemia calyculata Kurz	0	44	0	0	0
ตังหน	Calophyllum pulcherrimum Wall.	18	0	0	0	0
ตาเสือ	Aphanamixis polystachya Parkor	15	0	0	0	0
ตีนนก	Vitex pinnata Linn.	5	18	0	0	0
ตีนเป็ด สัตบรรณ	Alstonia scholaris R. Br.	41	0	0	0	0
เต็ง รัง	Shorea obtusa Wall. & S. siamensis Miq.	2,487	39	0	0	7
ทองบึ้ง	Koompassia malaccensis Benth.	110	0	0	0	0
ทัง กะทังใบใหญ่	Litsea grandis Hook.f	41	0	0	0	0
นนทรี อะราง	Pellophorum inermie Llanos & P. dasyrachis Kurz	7	0	0	0	0
ประดู่	Pterocarpus macrocarpus Kurz	162	10	0	0	0
ปู่เจ้า ขี้อาย	Terminalia nigrovenulosa Pierre ex Laness.	3	2	0	0	0
โปรง โปรงขาว	Ceriops roxburghiana Arn	12	0	0	0	0
พลวง ยางพลวง	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	572	20	0	0	2
พะยอม	Shorea talura Roxb.	0	21	0	0	0
พะยูง	Dalbergia cochinchinensis Pierre	0	3	0	0	0
พันจำ ตะเภาบัก	Vatica odorata Syming & V. cinerea King	0	12	0	0	0
พิกุลป่า ขุมแลงแดง	Homalium damrongianum Craib	100	0	0	0	0
มะเกิ้ม มะกอกเกลื้อน	Canarium kerrii Craib	14	2	0	0	0

หน่วย : ลบ.ม. Unit : cum

ชนิดไม้ Species		2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
มะค่าแต้	Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	0	2	0	0	0
มะแฟน	Protium serratum Engler	4	2	0	0	0
มะม่วงป่า	Mangifera caloneura Kurz	61	2	0	0	0
มะหาด หาด	Artocarpus lakoocha Roxb.	20	0	0	0	0
ยมหอม	Toona ciliata M. Roem.	2	0	0	0	0
ยาง	Dipterocarpus spp.	2,804	5,103	3,093	2,603	4,000
รกฟ้า	Terminalia alata Heyne ex Roth	732	4	0	0	0
เลียงมัน	Berrya ammonilla Roxb.	8	0	0	0	0
สมอไทย	Terminalia chebula Retz.	14	0	0	0	0
สมอพิเภก	Terminalia bellerica Roxb.	66	2	0	0	0
สยาขาว	Shorea assamica Dyer var. globifera Syming.	51	0	0	0	0
สยาแดง	Shorea curtisii Dyer ex King	1,300	0	0	0	0
สัก	Tectona grandis Linn.f.	2,967	189	138	3	52
ส้าน	Dillenia spp	35	0	0	0	0
หลุมพอ	Intsia bakeri Prain	93	0	0	0	0
หว้า	Eugenia cumini Druce	24	4	0	0	0
เหียง ยางเหียง	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. ex Miq.	36	0	0	0	0
อ้อยช้าง กุ๊ก	Lannea coromandelica Merr.	32	3	0	0	0

หน่วย : ลบ.ม. Unit cum

ชนิดไม้ Species		2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
อินทนิล	Lagerstroemia speciosa Pers. & L. macrocarpa Wall.	4	0	0	0	0
ยุโลก ส้มกบ	Hymenodictyon excelsum Wall.	10	0	0	0	0
อื่น ๆ	Others	1,929	211	0	0	137
รวมไม้หวงห้าม	Total Reserved Species	17,790	7,292	3,250	2,618	4,198
รวมไม้นอกหวงห้าม	Total Non-reserved Species	38,425	32,040	23,248	17,503	28,183
ไม้ของกลาง Confiscated	- สัก Teak	3,180	5,592	2,016	10,681	12,849
	- กระยาเลย Others	5,473	17,403	6,370	13,091	14,490
รวมทั้งสิ้น	Grand Total	64,868	62,327	34,884	43,893	59,720

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ช
ตารางการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ในแต่ละจังหวัด

หน่วย : ตร.กม. Unit : sq.km.

จังหวัด / ภาค	รวมพื้นที่จังหวัด Province Area	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน Forest land use types									รวมพื้นที่ป่าธรรมชาติ Total Natural Forest	พื้นที่สวนป่า Forest Plantation	พื้นที่ป่าดิบชื้นตามธรรมชาติ Secondary Growth Forest	รวมพื้นที่ป่าไม้ Total Forest Area	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ป่าไม้ % Of total Area	พื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า Non Forest Area	Province region
		ป่าดงดิบ Tropical Evergreen Forest	ป่าเบญจพรรณ Mixed Deciduous Forest	ป่าเต็งรัง Dry Dipterocarp Forest	ป่าพรุ Swamp Forest	ป่าบุ่งป่าทาม Inundated Forest	ป่าชายหาด Beach Forest	ป่าสน Pine Forest	ป่าไผ่ Bamboo Forest	รายเลน Mangrove Forest							
กาฬสินธุ์	6,934.4	54.7	105.4	509.4	-	2.2	-	-	-	-	671.7	108.8	6.6	787.4	11.35	6,147.0	Kalasin
ขอนแก่น	10,645.4	240.1	613.5	160.0	-	17.8	-	21.5	-	-	1,053.0	179.2	21.8	1,253.8	11.78	9,391.6	Khon Kaen
ชัยภูมิ	12,868.2	1,710.2	1,518.1	281.5	-	3.7	-	62.1	8.9	-	3,582.5	14.8	137.9	3,735.2	29.48	8,933.0	Chaiyaphum
นครพนม	5,559.0	16.7	112.0	639.8	-	0.4	-		47.4	-	816.3	1.3	5.9	823.5	14.81	4,735.5	Nakhon Phanom
นครราชสีมา	20,789.6	1,809.9	699.1	224.3	-	-	-		126.0	-	2,859.2	206.0	206.2	3,272.4	15.74	17,517.3	Nakhon Ratchasima
บุรีรัมย์	10,097.9	576.2	61.5	103.9	-	26.7	-	-	-	-	768.3	97.1	36.6	902.0	8.93	9,195.9	Buri Ram
มหาสารคาม	5,851.4	5.5	1.5	131.3	-	8.8	-	-	-	-	147.1	41.2	6.5	194.8	3.45	5,656.6	Maha Sarakham
มุกดาหาร	4,189.8	172.7	618.2	675.9	-	1.0	-	-	-	-	1,467.7	12.8	13.6	1,494.1	35.66	2,695.6	Mukdahan
ยโสธร	4,128.7	11.7	0.6	347.7	-	19.3	-	-	-	-	379.2	1.0	5.7	385.9	9.35	3,742.8	Yasothon
ร้อยเอ็ด	7,831.3	37.4	37.3	267.0	-	24.3	-	-	-	-	365.9	26.8	6.2	398.9	5.09	7,432.4	Roi Et
เลย	10,419.6	478.1	3,010.4	406.3	-		-	46.3	0.8	-	3,950.8	32.6	28.4	4,011.8	38.50	6,407.7	Loei
ศรีสะเกษ	8,933.8	686.2	47.6	150.8	-	31.3	-	-	19.7	-	945.6	6.2	12.4	984.2	10.79	7,969.5	Si Sa Ket
สกลนคร	9,580.2	137.8	301.4	1,223.9	-	5.7	-	-	32.8	-	1,701.4	16.9	6.8	1,725.0	18.01	7,855.3	Sakon Nakhon
สุรินทร์	8,857.0	410.3	4.3	218.2	-	66.4	-	0.8	-	-	699.9	48.6	31.9	780.4	8.81	8,076.6	Surin
หนองคาย	7,299.4	55.3	268.5	169.5	-	-	-	-	80.5	-	573.8	31.6	-	605.4	8.29	6,694.0	Nong Khai
หนองบัวลำภู	4,100.6	1.0	281.6	198.9	-	-	-	-	0.8	-	482.3	29.1	1.3	512.7	12.50	3,587.8	Nongbua Lumphoo
อำนาจเจริญ	3,272.2	18.3	4.4	462.5	-	12.2	-	-	-	-	497.4	0.5	17.5	515.4	15.75	2,756.8	Umnad Charoun
อุดรธานี	11,109.3	87.6	653.6	625.8	-	0.7	-	-	33.5	-	1,401.2	61.1	31.1	1,493.4	13.44	9,615.0	Udon Thani
อุบลราชธานี	15,647.6	1,147.1	5.8	1,388.8	-	36.4	-	-	47.0	-	2,625.1	11.4	34.1	2,670.5	17.07	12,977.4	Ubon Ratchathani
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	167,715.7	7,666.4	8,351.8	8,185.5	-	256.8	-	130.7	397.3	-	24,988.5	927.9	610.5	26,526.9	15.82	141,188.7	North - east
กรุงเทพฯ	1,570.1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	3.2	-	-	3.2	0.20	1,566.9	Bangkok
ชัยนาท	2,469.7	-	33.3	2.8	-	-	-	-	-	-	36.1	15.7	2.8	54.6	2.21	2,415.0	Chai Nat
นนทบุรี	623.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	623.2	Nonthaburi

ภาคผนวก ซ
ตารางผลิตภัณฑ์สำคัญที่ได้จากป่า

ตารางที่ 12 ผลิตภัณฑ์ไม้สำคัญที่ได้จากป่าไม้

Table 12 Production of Major Forest Products

รายการ Item	หน่วย Unit	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
ฟืน	1,000 ลบ.ม.	409.4	289.0	257.9	173.1	151.2	148.1	6.0
Fire Wood	1,000 cum							
ถ่าน	1,000 ลบ.ม.	225.2	145.2	128.9	122.0	90.4	86.4	46.6
Wood Charcoal	1,000 cum							
น้ำมันยาง	1,000 ลิตร	254.5	43.6	56.4	14.2	2.5	2.6	0.0
Wood Tar	1,000 litre							
เปลือกไม้	ตัน	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Barks	ton							
หวาย	ตัน	967.9	417.1	329.5	341.7	55.8	491.5	75.5
Rattans	ton							
ใบจาก	1,000 ใบ	155.0	250.0	48.5	175.0	442.0	334.0	106.0
Palm-leaf	1,000 sheet							
ไม้ไผ่	ล้านลำ	13.6	15.2	11.1	0.9	1.3	1.0	0.3
Bamboos	million pieces							
ไม้หวาก	ล้านลำ	38.2	41.3	26.0	13.3	5.3	6.6	0.0
Bamboo Stalks	million pieces							

ภาคผนวก ฌ
ตารางปริมาณไม้ชนิดต่าง ๆ ที่นำออกจากป่า

ตารางที่ 9 ปริมาณไม้ชนิดต่างๆ ที่ทำออกจากป่า พ.ศ. 2536 - 2540

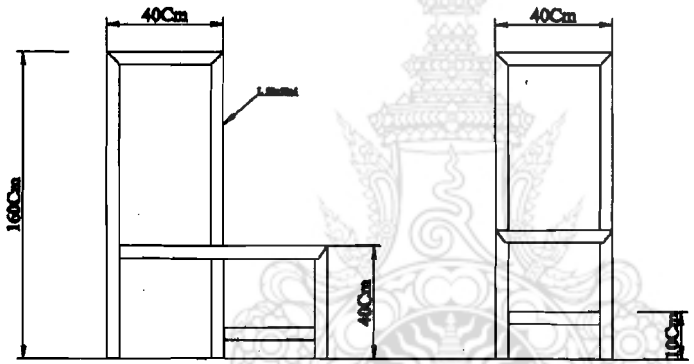
Table 9 Production of Timber by Species, 1993 - 1997

หน่วย ลบ.ม Unit cu.m

ชนิดไม้ Species		2536 1993	2537 1994	2538 1995	2539 1996	2540 1997
ไม้หวงห้าม	Reserved Species					
กระทัน	Sandoricum koetjape Merr	12	0	0	0	0
กระทุ่ม	Anthocephalus cadamba Miq	9	0	0	0	0
กระบก	Irvingia malayana Oliv. ex A. Benn	3	743	0	0	0
กระบาก	Anisoptera costata Korth	13	449	0	0	0
กระพี้เขาควาย	Dalbergia cultrata Grah. ex Benth.	1	0	0	0	0
กลึง	Sindora cochinchinensis Baill. ex Pierre	52	0	0	0	0
ก่อ	Castanopsis spp.	39	36	0	0	0
ก้านเหลือง	Nauclea orientalis Linn.	0	76	0	0	0
กาสอ	Shorea faguetiana Heim	169	0	0	0	0
กุหลิม กระเบียนน้ำ	Scaphocalyx borneensis Becc.	13	0	0	0	0
โกงกางใบใหญ่-ใบเล็ก	Rhizophora mucronata Poir. & R. apiculata Bl.	3	0	19	12	0
ขนุนป่า	Artocarpus lanceifolius Roxb.	67	0	0	0	0
ขมิ้นต่ำ ไข่เขียว	Parashorea stellata Kurz	179	0	0	0	0
ตานาง	Hematoxylon campechianum Benth.	22	0	0	0	0
เต็ง พี	Diptocarpus obtusifolius Pierre	0	24	0	0	0

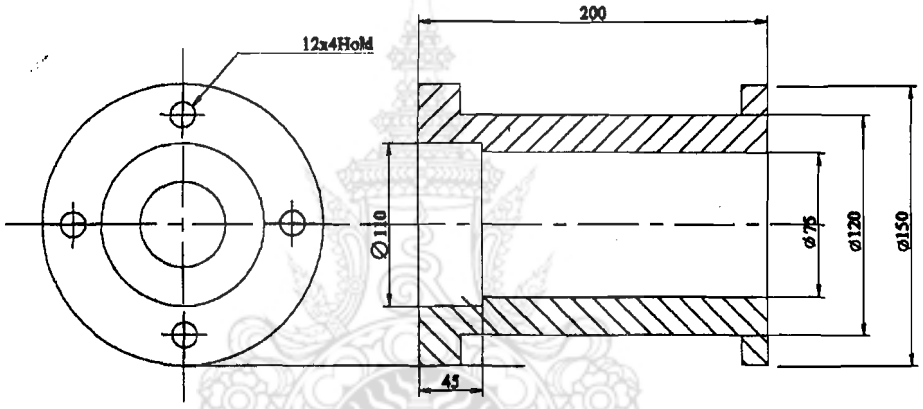
ภาคผนวก ญ

การออกแบบและที่มาของการออกแบบเครื่องจักรกล



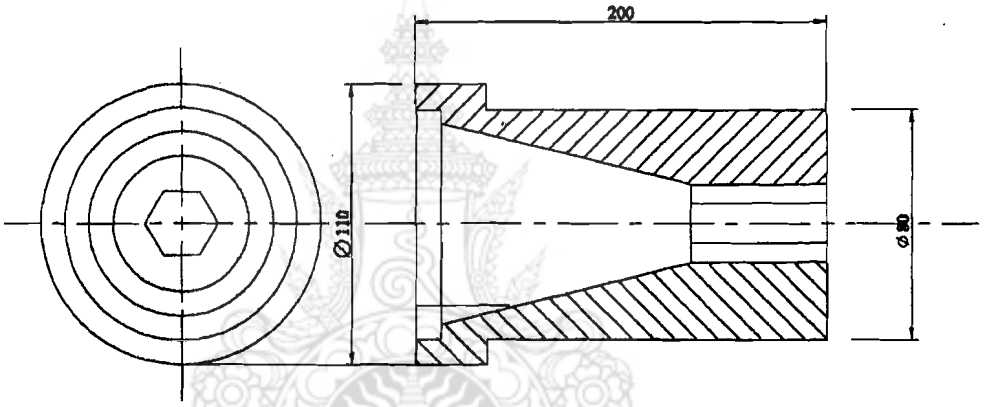
ชื่อแบบ:	
มาตราส่วน:	หน่วยของแบบ:

Mat:GG20

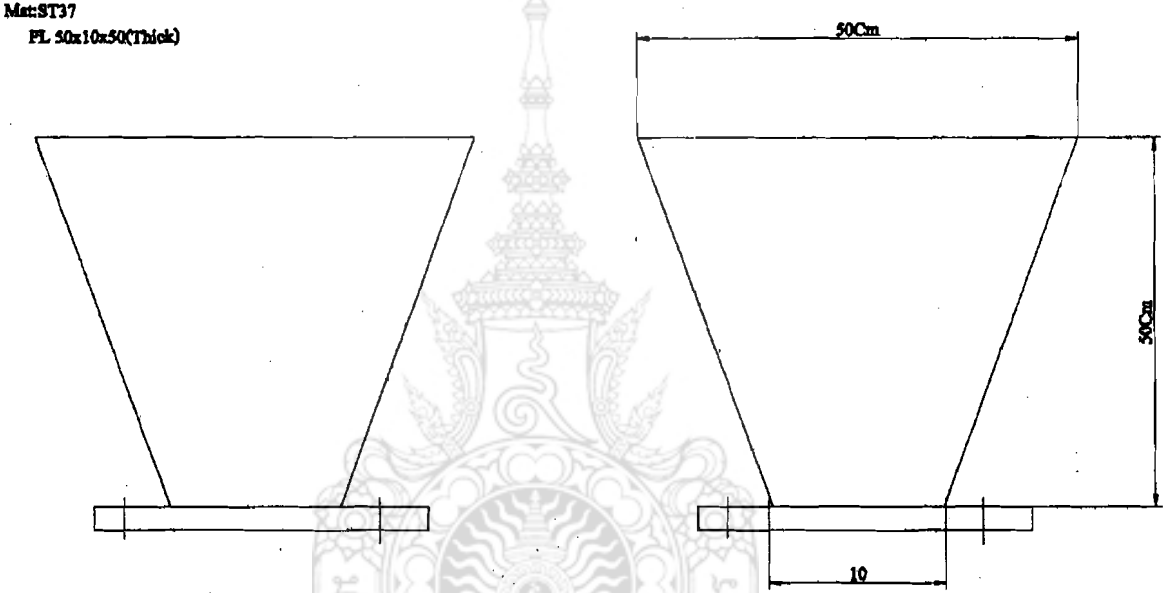


ผู้เขียนแบบ:	
ผู้ตรวจแบบ:	
มาตราส่วน:	วันเดือนปีแบบ:

Mat:AISI4140

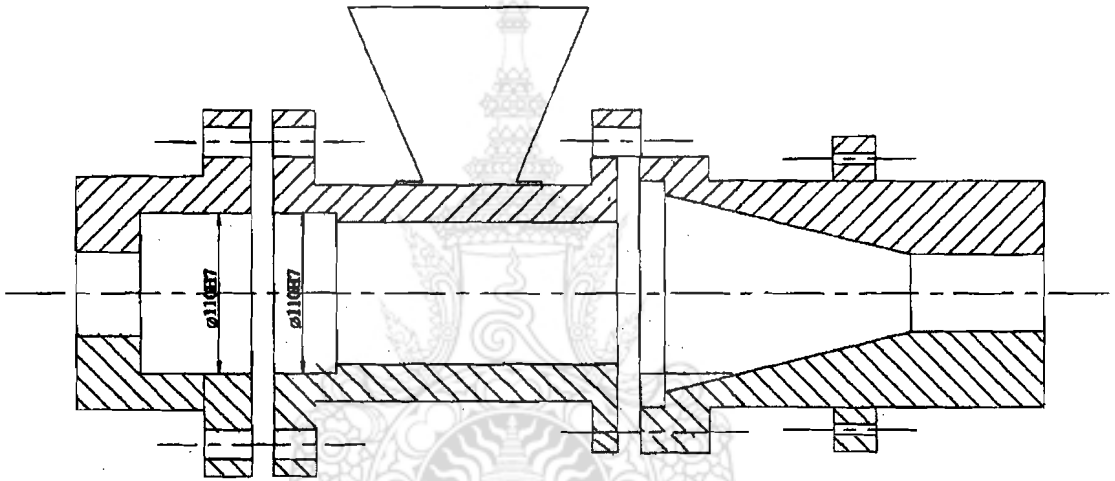


Mat:ST37
FL 50x10x50(Thick)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

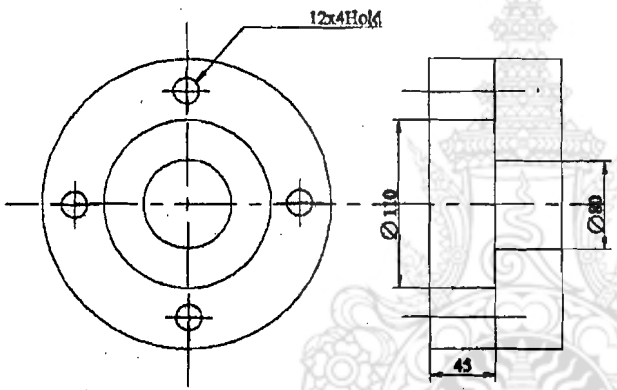
ผู้เขียนแบบ:	
ผู้ตรวจแบบ:	
มาตราส่วน:	หมายเลขแบบ:



DEEP GROVE 6014 = 2EA

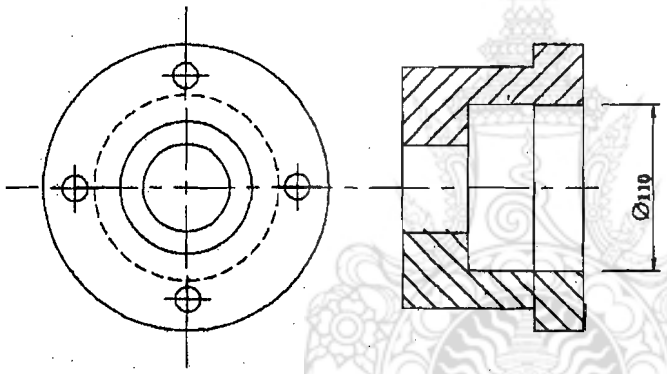
PAPER ROLLER 32014 = 1EA

Mat:ST37



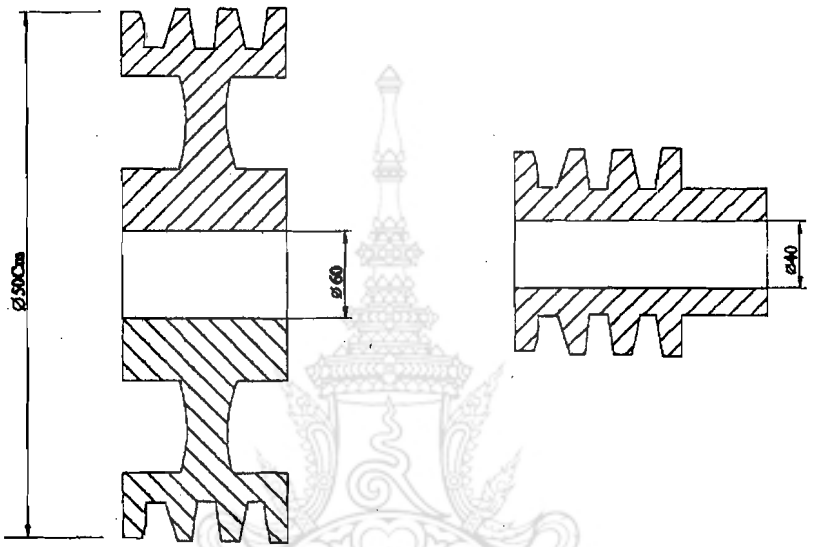
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

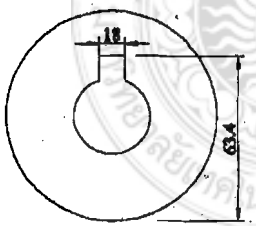
Mat:ST S2-3



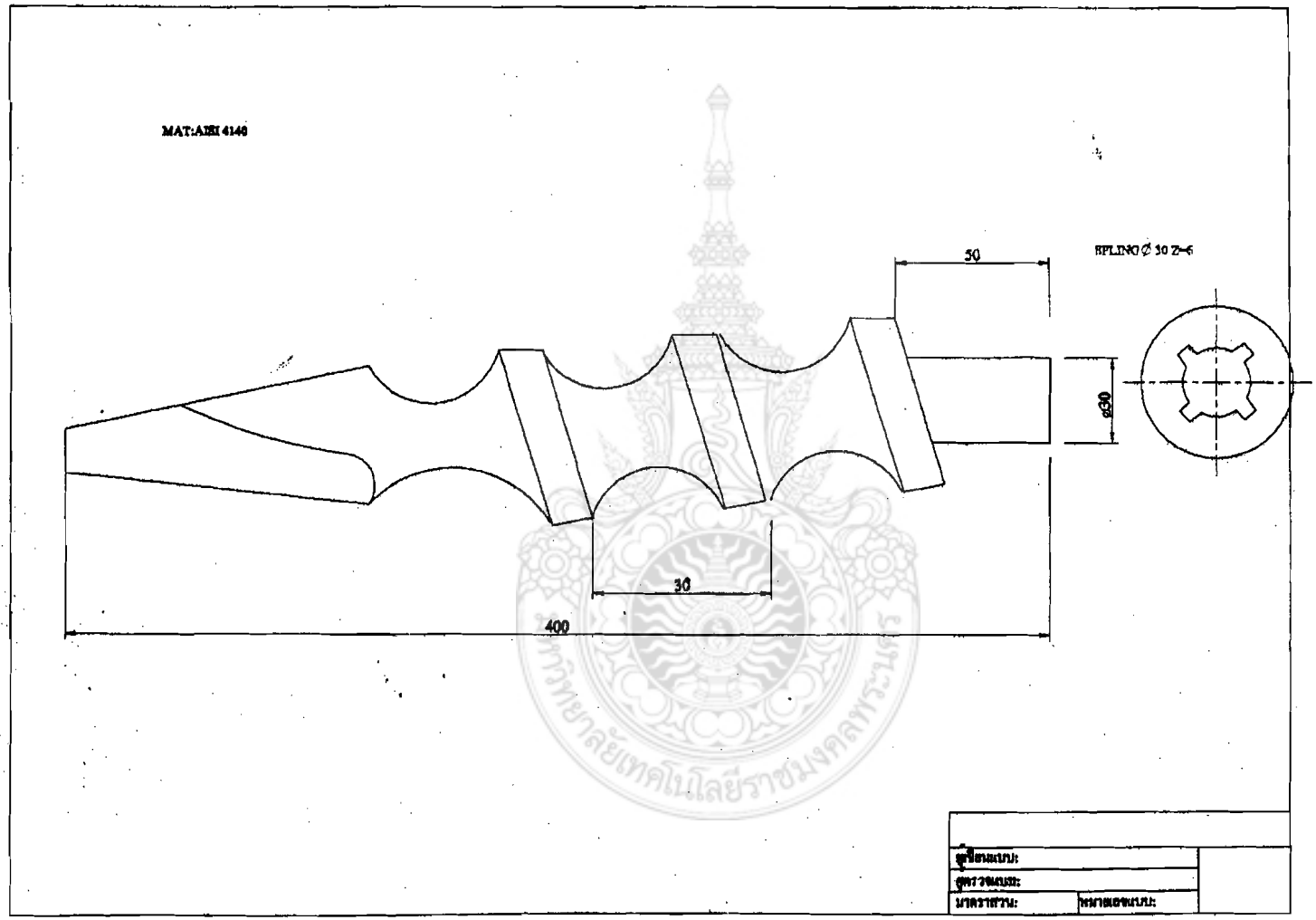
ผู้เขียนแบบ:	
ผู้ตรวจแบบ:	
มาตราส่วน:	หน่วยของแบบ:

Mat:GG20
PULLAY

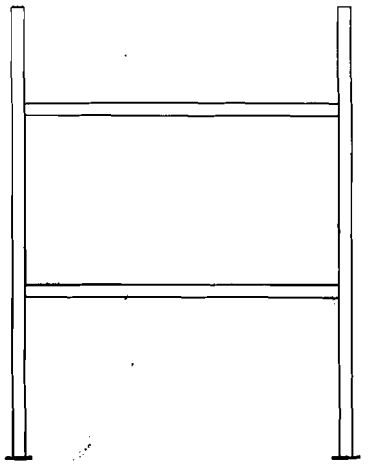


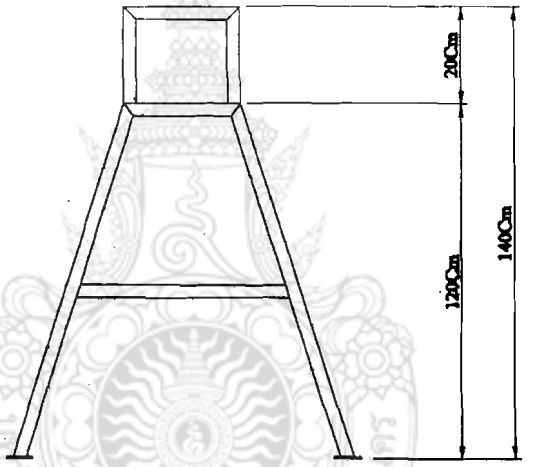


ชื่อชิ้นงาน:	
ชุดวาดแบบ:	
มาตราส่วน:	หน่วยของแบบ:

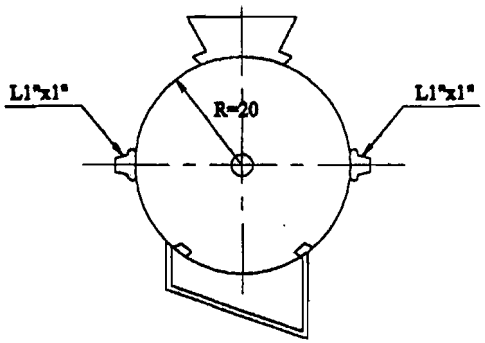

MAT:AISI 4140
50
SPLINE Ø 30 Z=6
ø30
30
400

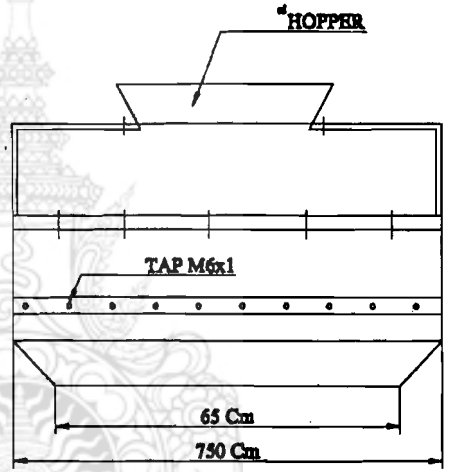
การออกแบบของเครื่องบดและเครื่องผสมวัสดุเพื่อผลิตถ่านจากวัสดุเหลือใช้



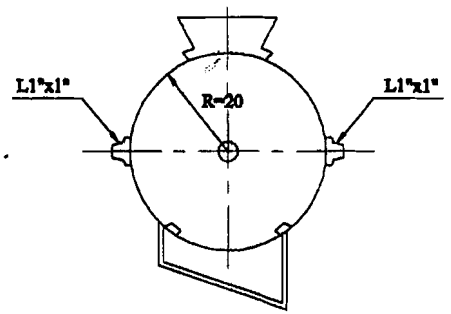


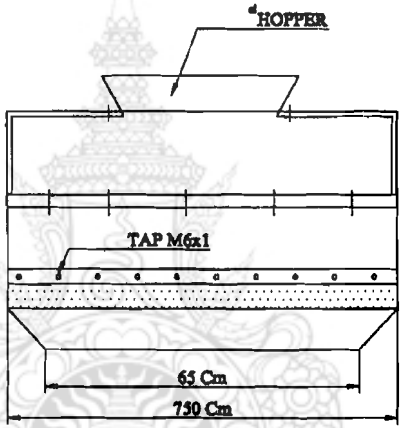
ผู้เขียนแบบ:	
ผู้ตรวจแบบ:	
มาตราส่วน:	หน่วยของแบบ: 1



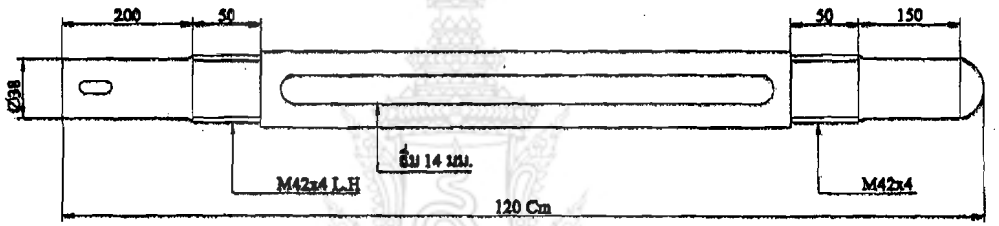


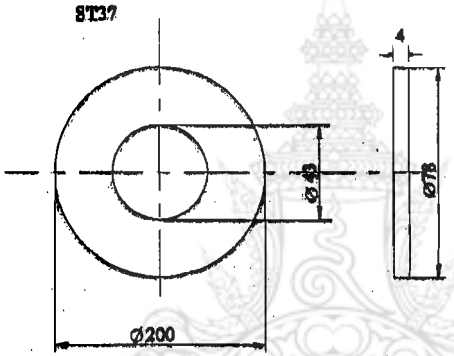
ชื่อแบบ:	
ชื่อวาดแบบ:	
มาตราส่วน:	หมายเลขแบบ: 2



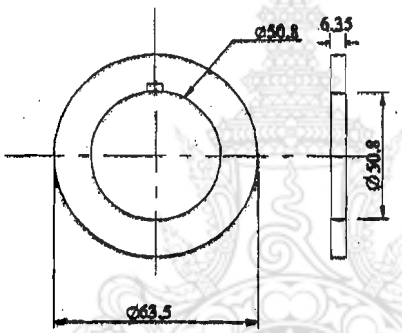


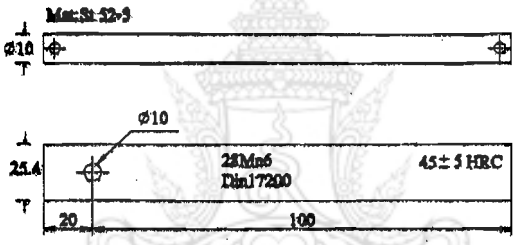
ชื่อแบบ:	
ชื่อรายแบบ:	
มาตราส่วน:	หมายเลขแบบ: 2

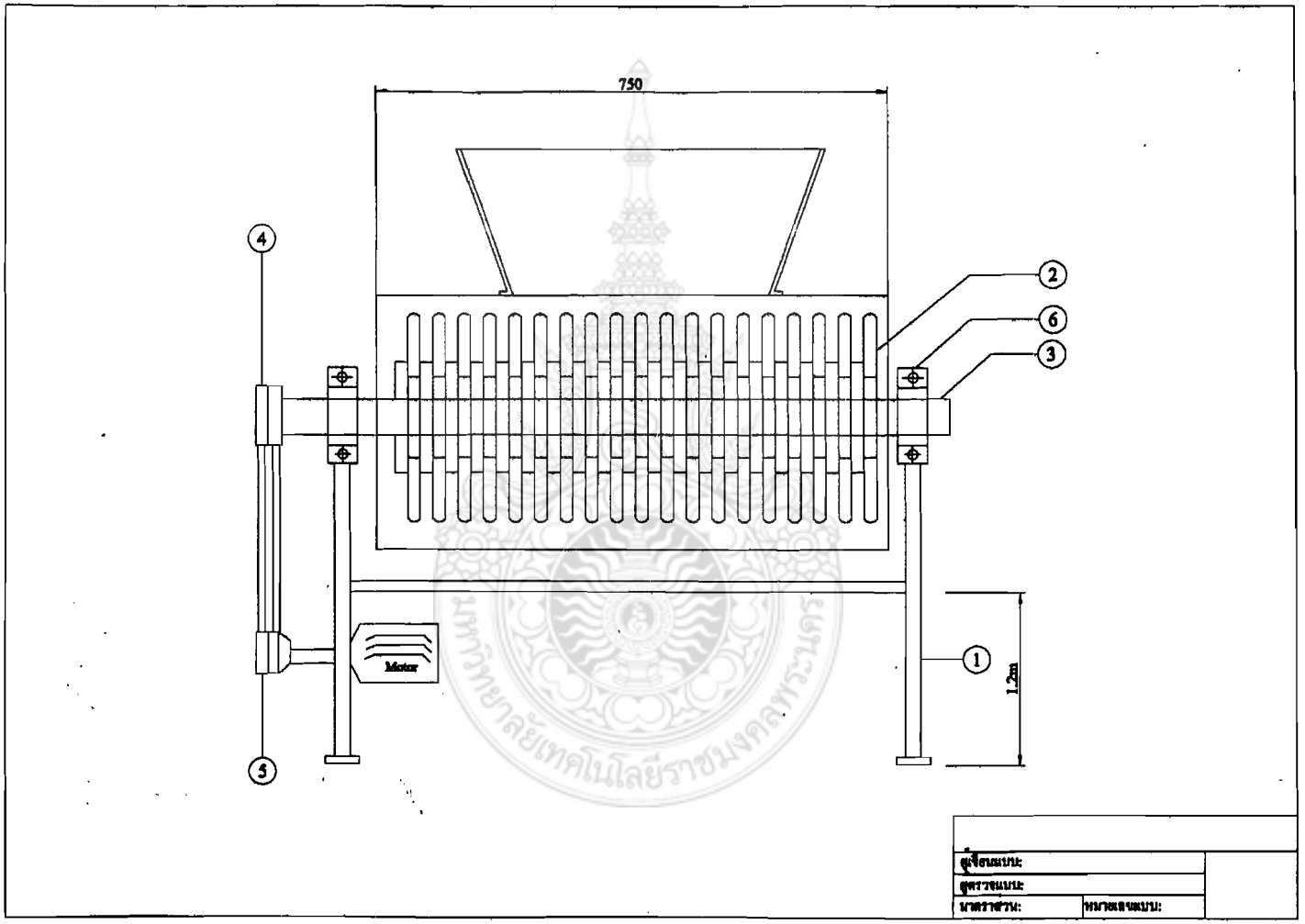

200
50
50
150
Ø38
ลึก 14 มม.
M42x4 L.H
M42x4
120 Cm



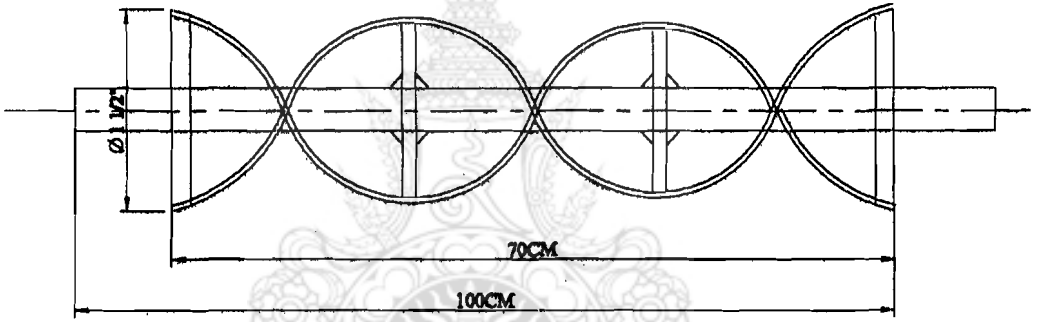
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


Ø50.8
6.35
Ø30.8
Ø63.5


Mat:St 52-3
Ø10
Ø10
25.4
28Mn6
Din17200
45± 5 HRC
20
100

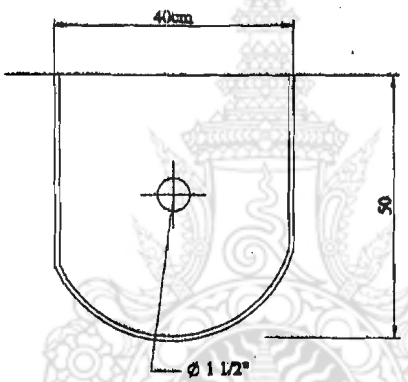

750
4
2
6
3
Motor
1
1.2m
5

-เหล็กØ1 1/2 x100cm (ST 52-3)
-FLØ1 1/2 x100cm (ST 52-3)



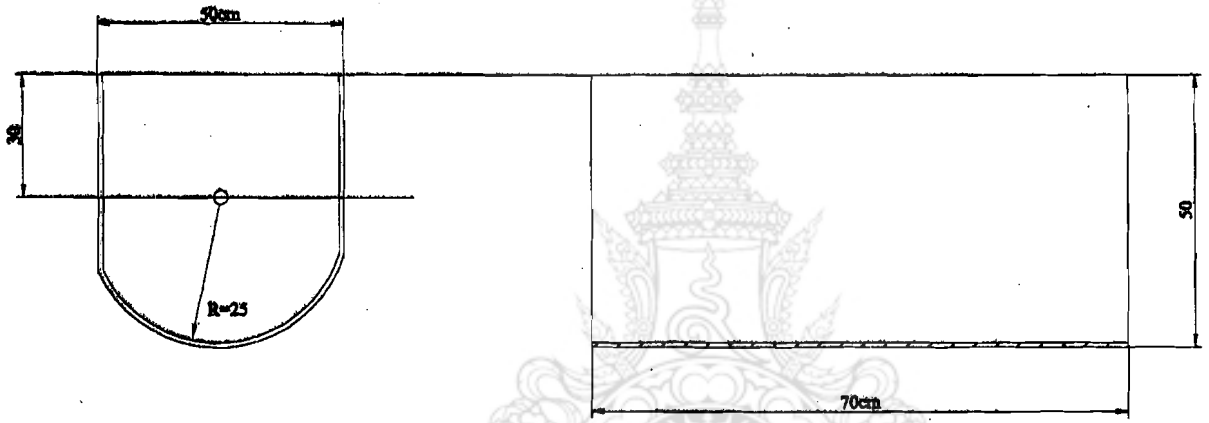
ผู้ออกแบบ:	
ผู้ตรวจแบบ:	
มาตราส่วน:	หมายเลขแบบ:

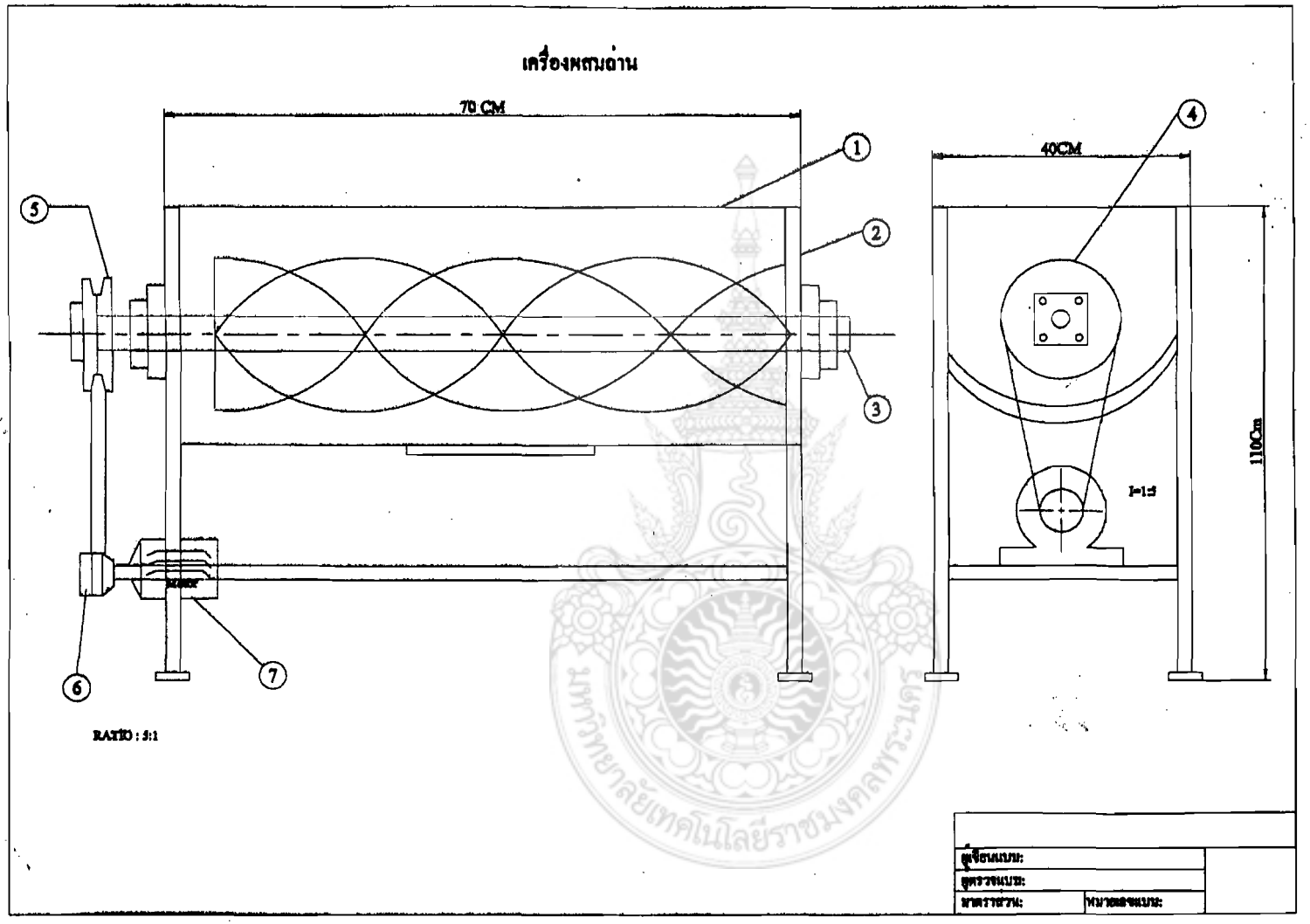
MAT:ST 37 (3mm.th)



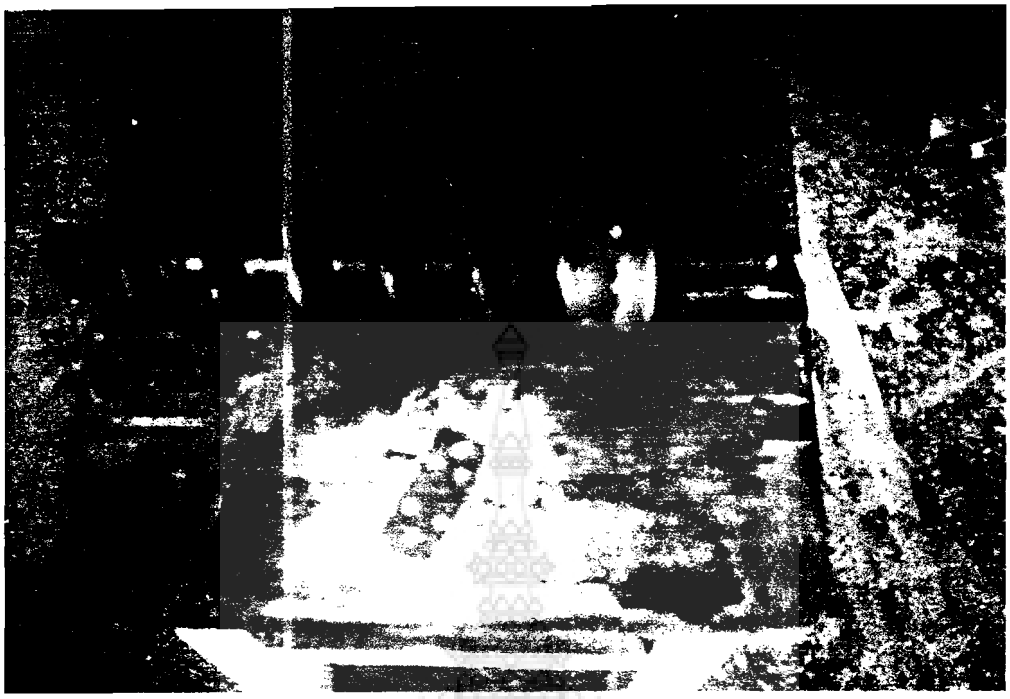
ชื่อชิ้นแบบ:	
ชื่อผู้วาดแบบ:	
มาตราส่วน:	หมายเลขชิ้นแบบ:

MATSU 57(2mm.th)

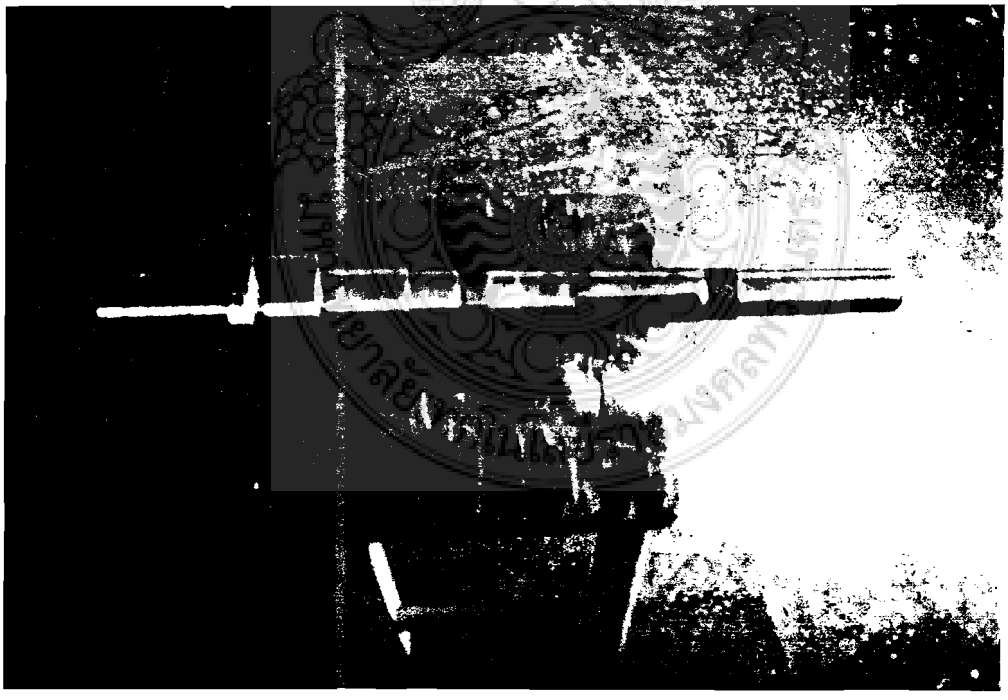



เครื่องผสมถ่าน
70 CM
40CM
110Cm
1
2
3
4
5
6
7
RATIO : 5:1

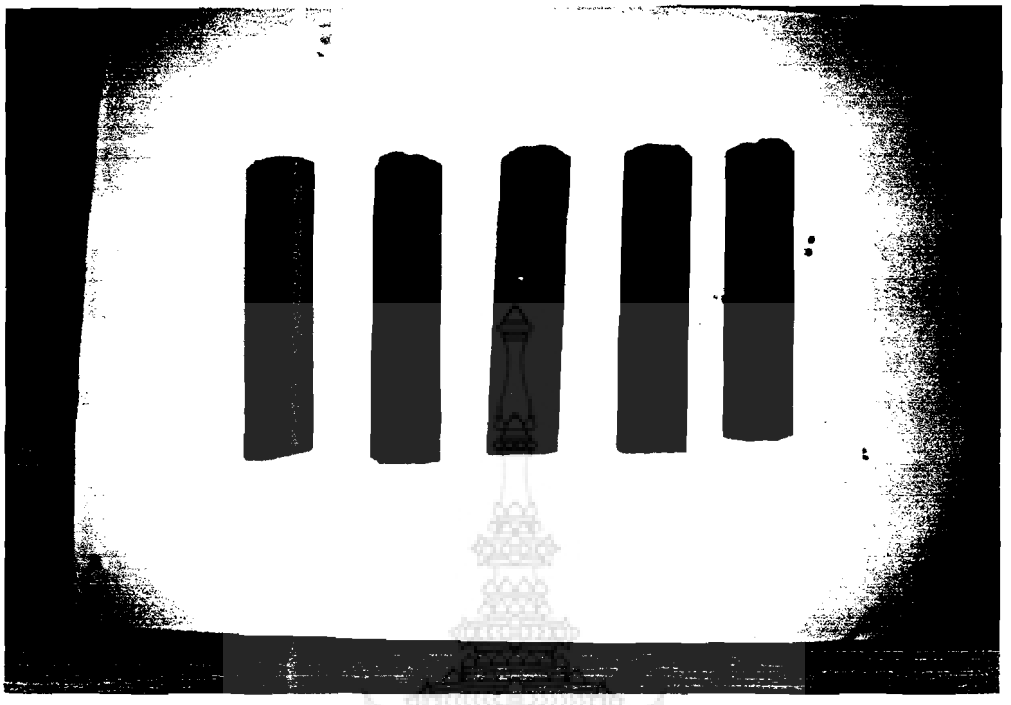
ภาคผนวก ฎ
การศึกษาและวิจัยเบื้องต้น(พื้นที่ จ.ลำปาง)
วัสดุประเภทกะลามะพร้าว



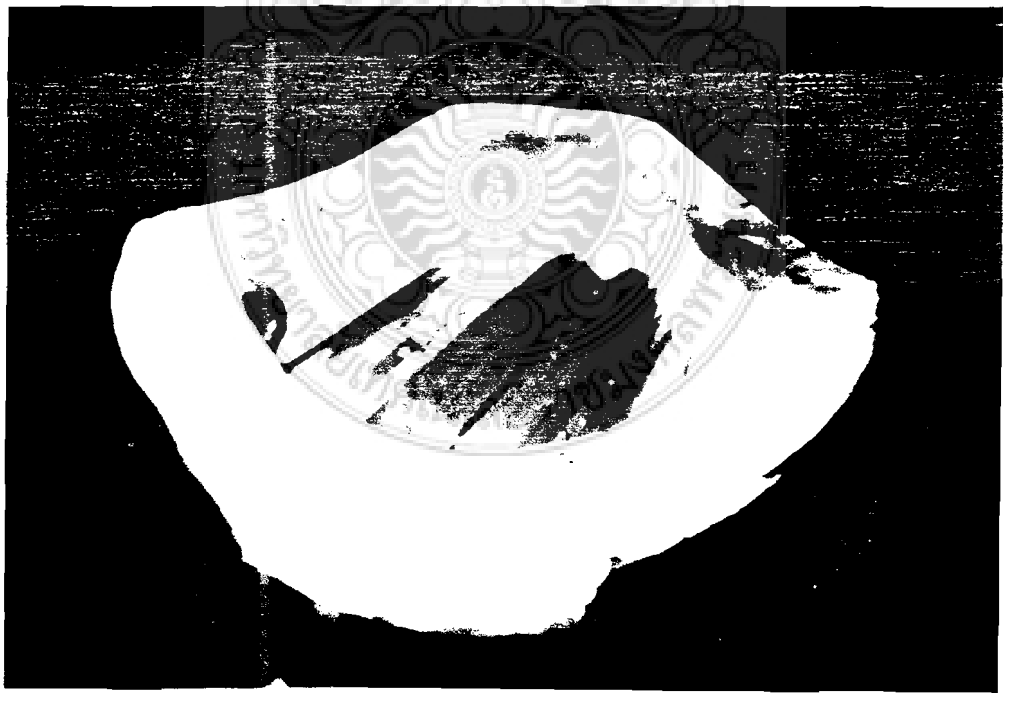
รูปที่ ฎ-1 เกลียวอัดแบบเดิม



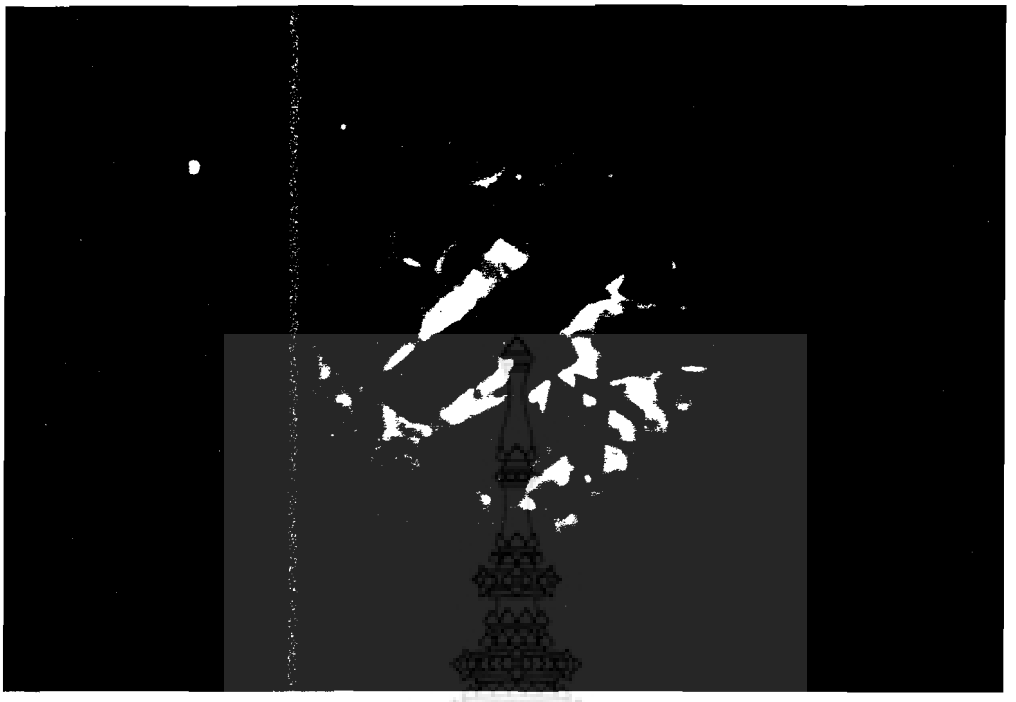
รูปที่ ฎ-2 แกนเพลา



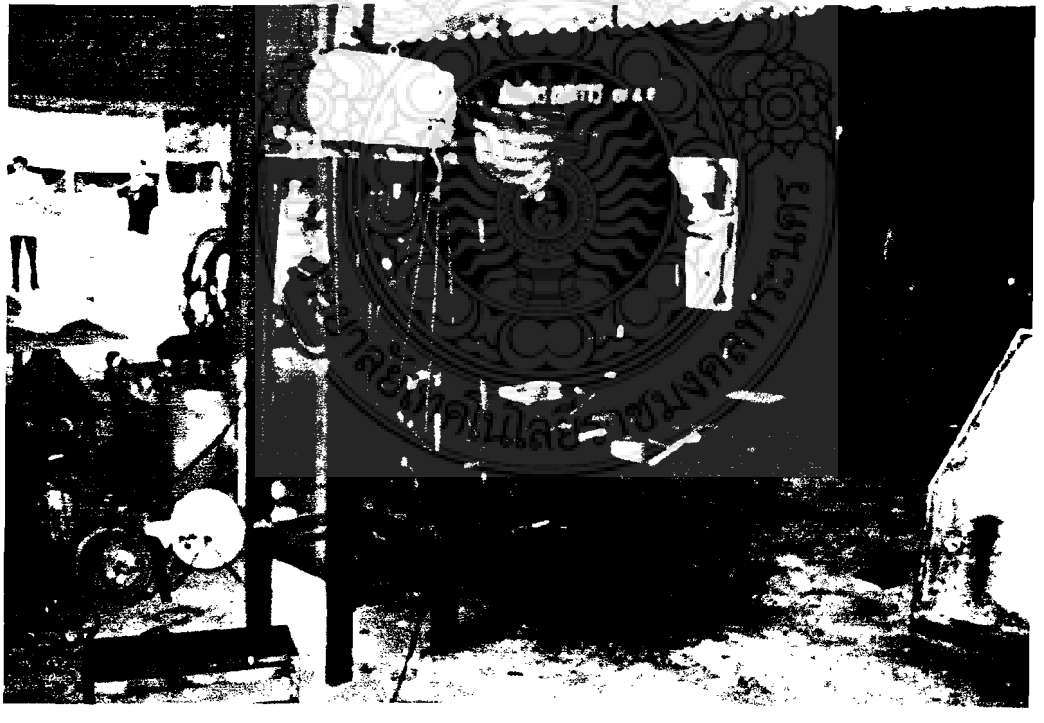
รูปที่ ภ-3 ถ่านทดสอบ(กะลามะพร้าว)



รูปที่ ภ-4 ถ่านทดสอบขณะเริ่มติดไฟ



รูปที่ ฎ-5 ถ่านทดสอบขณะติดไฟ



รูปที่ ฎ-6 เครื่องอัดแบบเดิม

รูปที่ ฎ-7 สกรูอัดแท่งถ่านแบบเดิม

รูปที่ ฎ-8 การอัดแบบเดิม

รูปที่ ฎ-9 การผลิตถ่านแท่งกลมแบบเดิม

ห้องสมุดกลางเทเวศร์