

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง  
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเจ  
(Development of Butter Cake for Strict Vegetarians)

จัดทำโดย

นางสาวชนมน ภาชนะกาญจน์ 45040185

นางสาวณัฐพร วัฒนกุล 45040192

นายนาถชัย เกียรติวิชัยงาม 45040202

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ทศพร กิติยากร

24 / 23 / 2549

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(ฉบับนี้) ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง  
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเจ  
(Development of Butter Cake for Strict Vegetarians)



T096841



รฟ-  
๒/๒๖ก  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 96841  
วัน,เดือน,ปี..... - 5 JUN 2009

รายงานปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวชนมน ภาชนะกาญจน์ นางสาวณัฐพร วัฒนกุล และนายนาถชัย เกียรติวิชัยงาม : การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเจ (Development of Butter Cake for Strict Vegetarians)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ณภัทรพี เหลืองสกุล

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเค้กเนยสูตรเจ โดยได้นำงานศึกษาวิจัยของ ศศิวรรณและอาทร (2548) มาพัฒนาต่อโดยนำเค้กสูตรโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 15% มาพัฒนาต่อโดยใช้ปริมาณกัวกัมระดับต่าง ๆ ปรากฏว่าคุณภาพโดยรวมของเค้กเจมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อใช้กัวกัม ปริมาณ 2% และเมื่อนำเค้กสูตร โปรตีนถั่วเหลืองสกัด 15% และเลซิทิน 1% มาพัฒนาต่อโดยใช้ ปริมาณ wheat gluten ที่ระดับต่าง ๆ ปรากฏว่าคุณภาพโดยรวมเค้กเจมีคุณภาพดีขึ้น โดยที่การใช้ ปริมาณ wheat gluten 3% เค้กเจจะมีคุณภาพดีกว่าระดับอื่น ๆ จากการทดลองที่ผ่านมาจึงได้นำ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด กัวกัม เลซิทินและ wheat gluten มาพัฒนาต่อโดยใช้กัวกัม wheat gluten และเลซิทินในปริมาณต่าง ๆ ซึ่งจากการทดลองเค้กเนยสูตรที่เหมาะสมคือสูตรที่ใช้โปรตีนถั่ว เหลืองสกัด 15% เลซิทิน 1% กัวกัม 2% และ wheat gluten 3% จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นุ่มฟู ชุ่มน้ำ มี ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสูง โดยจะมีค่าความหนืดเท่ากับ  $24.17 \pm 8.52$  (mPa.s) ปริมาตร จำเพาะ  $1.12 \pm 0.09$  (cm<sup>3</sup>/g) ความชื้นเท่ากับ  $1.91 \pm 0.03$  (%) ความแน่นเนื้อเท่ากับ  $41.53 \pm 1.19$  ความ แข็งของเนื้อเท่ากับ  $195360 \pm 441.09$  (g) และค่า Aw เท่ากับ  $0.82 \pm 0.02$  จากการทดลองทางด้าน ประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

..... ๒๕๖๕ ..... ๒๕๖๕ : ๒๕๖๕

ลายมือชื่อนักศึกษา

..... ๒๕๖๕ ..... ๒๕๖๕

ลายมือชื่อนักศึกษา

..... ๒๕๖๕ ..... ๒๕๖๕

ลายมือชื่อนักศึกษา

..... ๒๕๖๕ ..... ๒๕๖๕

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

..... ๒๕๖๕ ..... ๒๕๖๕

วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเจสำเร็จลงด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษของคณะผู้จัดทำที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาแนะนำ ให้คำปรึกษา และชี้แนวทางในการทำปัญหาพิเศษ รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณแม่ที่ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ในการทำงานครั้งนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา



คณะผู้จัดทำ

20 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 พลังงานทดแทน	4
2.2 พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)	6
2.2.1 ชีวมวล (Biomass)	6
2.2.2 ประเภทของชีวมวล (Type of plant biomass)	7
2.3 ถากษา	7
2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	9
2.4.1 หลักการอัดแท่ง	9
2.4.2 ขั้นตอนการอัดแท่ง	11
2.4.3 เครื่องอัดแท่ง	13
2.4.3.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press)	13
2.4.3.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)	14
2.4.3.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)	15
2.4.3.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Pelletizing Press)	16
2.4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	16
2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	18
2.4.6 แป้ง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6.1 แป้ง (Starch)	22
2.4.6.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง	23
2.4.6.3 การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง (Gelatinization)	25
2.4.7 ถ่านอัดแห้งที่มีขายอยู่ในท้องตลาด	27
2.4.7.1 ถ่านอัดแห้งจากกะลามะพร้าว	27
2.4.7.2 ถ่านอัดแห้งจากไม้ยางพารา	28
2.4.7.3 ถ่านอัดแห้งจากขี้เลื่อย	28
2.4.7.4 ถ่านอัดแห้งจากแกลบ	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	32
3.1.1 วัสดุดิบและสารเคมี	32
3.1.2 อุปกรณ์	32
3.2 การเตรียมวัสดุดิบ	33
3.3 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแห้งจากกากใบชา	33
3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการดูดซับไฟฟ้าของถ่านอัดแห้งจากกากชา	34
3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแห้งที่เตรียมได้ในการศึกษาครั้งนี้กับถ่านไม้ และถ่านอัดแห้งที่มีขายในท้องตลาด	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	36
4.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแห้งจากกากใบชา	36
4.1.1 ความคงตัวของถ่านที่ผลิตจากการเผาไหม้	36
4.1.2 ระยะเวลาในการดูดซับไฟฟ้าของถ่าน	37
4.1.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน	37
4.1.4 ค่าความหนาแน่นโดยประมาณ	38
4.1.5 การทนแรงอัดของถ่าน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.6 ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน	40
4.1.7 ปริมาณความชื้นของถ่าน	40
4.1.8 ปริมาณเถ้าของถ่าน	41
4.1.9 ปริมาณสารระเหยของถ่าน	42
4.1.10 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน	43
4.1.11 ค่าความร้อนของถ่าน	43
4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา	44
4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชากับ ถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ	52
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	59
ภาคผนวก ค สมมติฐานและขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน	67
ภาคผนวก ง รูปตัวอย่างถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการบริโภคถ่านและไม้ฟืน ตั้งแต่ปี 2534-2538	5
ตารางที่ 2.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541	5
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของกากชา	7
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกากชา	8
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	17
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของวัสดุคิปที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	21
ตารางที่ 2.7 สรุปความแตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน	25
ตารางที่ 2.8 ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเปกตินของแป้งจากพืชแต่ละชนิด	25
ตารางที่ 2.9 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชแต่ละชนิด	26
ตารางที่ 2.10 อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด	26
ตารางที่ 3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	34
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้	45
ตารางที่ ข.1 ปริมาณความชื้นของถ่าน	60
ตารางที่ ข.2 ปริมาณเถ้าของถ่าน	61
ตารางที่ ข.3 ปริมาณสารระเหยของถ่าน	61
ตารางที่ ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน	62
ตารางที่ ข.5 ค่าความร้อนของถ่าน	62
ตารางที่ ข.6 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้	63
ตารางที่ ข.7 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ	64
ตารางที่ ข.8 ระยะเวลาในการเผาไหม้	64
ตารางที่ ข.9 ค่าความหนาแน่น	65
ตารางที่ ข.10 ค่าการทนแรงอัด	65
ตารางที่ ข.11 ดัชนีการแตกร่วน	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ก) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces)	10
ข) พันธะอินเตอร์ล็อกกิ้ง (interlocking bond)	10
ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (viscous binders adsorption layers)	10
รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	13
รูปที่ 2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย	14
รูปที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด	15
รูปที่ 2.5 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	15
รูปที่ 2.6 เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ	16
ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม	16
ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน	16
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ อะไมโลส	23
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน	24
รูปที่ 2.9 ถ่านอัดแห้งจากกะลามะพร้าว	27
รูปที่ 2.10 ถ่านอัดแห้งจากกะลา	28
รูปที่ 2.11 ถ่านอัดแห้งจากขี้เลื่อย	28
รูปที่ 2.12 ถ่านอัดแห้งจากแกลบ	28
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ ที่มีผลต่อระยะเวลาในการจุดคุดไฟ	37
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อ ระยะเวลาในการเผาไหม้	38
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อ ค่าความหนาแน่นประมาณ	38
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อ การทนแรงอัดของถ่าน	39
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อ ดัชนีการแตก่วนของถ่าน	40
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อ ปริมาณความชื้น	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณเถ้า	42
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณสารระเหย	42
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว	43
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณค่าความร้อน	43
รูปที่ ค.1 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป	76
รูปที่ ค.2 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและราคาน้ำมันดิบที่ปรับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง และการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน การจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการใช้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาประเทศ โดยภาครัฐได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของพลังงานทดแทนด้วยการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่มีความสนใจ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล และพลังงานน้ำและไฮโดรเจน เป็นต้น หากมีการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น จะช่วยลดการสูญเสียเงินตราให้ต่างประเทศในการนำเข้าพลังงานและเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมาก

พลังงานชีวมวล ถือเป็นพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่งที่ได้จากซากพืชและซากสัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และขยะ เป็นต้น ประกอบกับประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำให้มีชีวมวลเกิดขึ้นในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ภายในประเทศมีอยู่ค่อนข้างจำกัด

ถ่านอัดแท่ง จัดเป็นพลังงานชีวมวลรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่ายภายในครัวเรือนหรือชุมชนและใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตจึงทำให้มีต้นทุนต่ำ ดังนั้นการนำพลังงานชีวมวลมาใช้ถือเป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ผลิตชีวมวลอีกทางหนึ่ง

กากชา จัดเป็นชีวมวลชนิดใหม่อีกรูปแบบหนึ่งที่มีปริมาณมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มชาที่เพิ่มสูงขึ้นภายในไม่กี่ปีมานี้ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มชาเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วจนก่อให้เกิดกากชาจากกระบวนการผลิตปริมาณมาก กากชาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น นำมาประกอบอาหารเนื่องจากกากชายังคงอุดมด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย, ทำเป็นฟืนรองเท้า และกระดาษ เป็นต้น (Kazuyoshi, 2002) นอกจากนี้กากชาสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูงได้ (วนิตา, 2548) การนำกากชามาใช้ประโยชน์จึงถือเป็นการลดการเกิดกากของเสียที่เป็นภาระในการกำจัดลง

โครงการพิเศษนี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและปริมาณของตัวประสาน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากไบชาให้มีประสิทธิภาพดีต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดของตัวประสาน และปริมาณของตัวประสานที่ใช้ในการผลิตต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบชาให้ดียิ่งขึ้น
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา กับถ่านไม้ และถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของชนิดของตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค และเกรดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากไบชาที่ใช้แบ่งทั้งสองชนิดเป็นตัวประสาน นอกจากนี้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณตัวประสานที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากไบชา โดยแปรค่าอัตราส่วนของกากไบชาต่อแป้งมันสำปะหลังให้มีค่าเป็น 100:0 (กากไบชาอย่างเดียว), 99:1 , 98:2 , 97:3 , 96:4 และ 95:5 แล้วนำมาอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน จากนั้นนำไปเผาให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ, ระยะเวลาในการเผาไหม้, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น, การทนแรงอัด และค่าดัชนีของการแตกร่วน
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา โดยใช้อัตราส่วนของกากไบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติในการจุดติดไฟและระยะเวลาในการจุดติดไฟ เปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งจากกากไบชา อัตราส่วนเดียวกันที่ไม่ได้เคลือบผิว
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา กับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดปัญหาในการกำจัดขยะ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
2. ทำให้ได้แหล่งพลังงานชีวมวลชนิดใหม่คือ ถ่านอัดแท่งจากกากไบโชาที่มีสัดส่วนตัวประสานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง
3. สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานใดๆ ก็ตามที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนแหล่งพลังงานซึ่งมีการสะสมตามธรรมชาติและใช้แล้วหมดไป แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป หรือเรียกว่าพลังงานประเภทสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนประเภทที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และน้ำ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมีอยู่ค่อนข้างจำกัด แม้ว่าภาครัฐจะให้การส่งเสริมและสนับสนุน โดยพิจารณาได้จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศของกรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2546 พิจารณาเฉพาะพลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเผาไหม้โดยตรง หรือนำมาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีปริมาณ 30,613 พันตัน, ฟืนและถ่านไม้ 0.8 พันตัน และขยะชุมชน 0.01 พันตัน โดยคิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบตามลำดับ แต่ปริมาณการนำชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานมีเพียง 7,307 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) เท่านั้น

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การนำชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานค่อนข้างจำกัดเนื่องจากภายในประเทศยังนิยมใช้ฟืนและถ่านไม้เป็นแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะประชาชนในชนบทเนื่องจากมีราคาถูก และหาง่าย จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีปริมาณการใช้ฟืนและถ่านไม้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการบริโภคถ่านและไม้ฟืน ตั้งแต่ปี 2534-2538

ประเภทพลังงาน	2534 (KTOE)	2538 (KTOE)	2536 (KTOE)	2537 (KTOE)	2538 (KTOE)
ถ่าน	3,409 (4.987)	3,705 (5.42)	4,125 (6.034)	4,458 (6.521)	4,589 (6.713)
ไม้ฟืน	3,426 (9.052)	3,555 (9.393)	3,765 (9.948)	3,902 (10.310)	3,786 (10.003)

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2538.

หมายเหตุ: หน่วยเป็น Kiloton of Equivalent (KTOE) / ส่วนหน่วยในวงเล็บเป็นล้านตัน

จากปริมาณความต้องการใช้ถ่านและไม้ฟืนที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดปัญหาพื้นที่ป่าไม้ในปัจจุบันของประเทศไทยมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่าในปีพ.ศ. 2541 พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยเหลือเพียงร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ประเทศ (สำนักสารนิเทศ, 2541) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541

พ.ศ.	พื้นที่ป่า (ล้านไร่)	ร้อยละ	พ.ศ.	พื้นที่ป่า (ล้านไร่)	ร้อยละ
2531	143.803	28.03	2536	133.554	26.03
2532	143.417	27.95	2538	131.485	25.62
2534	136.698	26.64	2541	129.722	25.28

ที่มา: สำนักสารนิเทศ, 2541.

เนื้อที่ป่าไม้ที่ลดลงของประเทศไทยทำให้การจัดการไม้ฟืนปริมาณดังกล่าว จะต้องปลูกไม้โตเร็วถึงหลายล้านต้น ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะจัดหาไม้ให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ เนื่องจากปัจจุบันมีกฎหมายห้ามตัดต้นไม้ในป่าสงวน ดังนั้น การนำพลังงานทดแทนมาใช้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะพลังงานชีวมวลซึ่งนำวัสดุเหลือใช้ที่มีมูลค่าทางพลังงานมาใช้ ได้แก่ แกลบ กากอ้อย เศษไม้ เศษหญ้า เศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543) มูลสัตว์ กากกาแฟจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกาแฟและกากชาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากชา เป็นต้น หากมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นก็จะช่วยให้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานลดลงได้อย่างมาก

## 2.2 พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)

**2.2.1 ชีวมวล (Biomass)** คือ ซากของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้

สาเหตุที่ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโตพืชเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแป้งและน้ำตาล โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอ้ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงชีวมวลจะเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ยกตัวอย่างเช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

จากการที่ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกและมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยเนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ทำการประกอบอาชีพเกษตรกรรม การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราให้ต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ผลิตชีวมวลได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 ประเภทของชีวมวล (Type of plant biomass)** ชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงมีแหล่งกำเนิดอยู่มากมาย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท (Best; et. al. 2000) ดังนี้

1. Woody biomass ได้แก่ ต้นไม้ พุ่มไม้ แขนงหรือกิ่งก้าน และต้นไม้ขนาดเล็ก เช่น กาแฟ ชา ไม้ไผ่ และต้นปาล์ม เป็นต้น

2. Non-woody biomass ได้แก่ วัชพืช เช่น ต้นอ้อย มันสำปะหลัง ฟ้าย ก้านและรากของต้นยาสูบ พืชตระกูลหญ้า กัญชง ต้นถั่ว มันสำปะหลังและพวกวัชพืช เป็นต้น

3. Processed waste ได้แก่ แกลบ ชังข้าว โปด ชานอ้อย ขยะจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กากต้บประรด กากชาและขยะชุมชน เป็นต้น

4. Processed fuels ได้แก่ ถ่านที่ทำจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล หรือเมทานอล และก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น

### 2.3 กากชา

กากชา คือ กากที่เหลือจากการนำชาไปชงดื่มแล้ว ซึ่งในกากชาจะมีส่วนประกอบของใบชา มากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 56 ส่วนที่เหลือเป็นส่วนของกากชาที่ไม่สามารถจำแนกส่วนประกอบได้ อีก คือ ฟงชา, ตาชา และก้านชา มีปริมาณร้อยละ 29, 9 และ 6 ตามลำดับ โดยส่วนประกอบของ กากชาส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และฟงชาจะมีขนาดการกระจายอยู่ในทุกๆ ช่วง ยกเว้นช่วง 0.5-0.6 มิลลิเมตร (ณัฐภพษ์, ม.ป.ป.) ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของกากชา แสดงดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของกากชา

คุณสมบัติ	กากชาเขียว	เชื้อเพลิงอัดแท่ง*
ความชื้น (ร้อยละ)	8.57 ± 7.77	11.8
เถ้า (ร้อยละ)	7.10 ± 2.82	5.9
สารระเหย (ร้อยละ)	75.43 ± 0.47	78.2
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	8.36 ± 6.98	5.6
ค่าความร้อน (cal/g)	4,390	3,714

ที่มา: วนิตา, 2548 อ้างอิงจาก \* ทองทิพย์ พูลเกษม, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของกากชากับคุณสมบัติที่ค้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ตารางที่ 2.3) พบว่า ความชื้นของกากชามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งสามารถนำมาอัดแท่งได้โดยวิธีการอัดแบบร้อน ส่วนการอัดแบบเย็นต้องเพิ่มความชื้น โดยการผสมน้ำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 40-50 ส่วนปริมาณเถ้าของกากชามีค่าร้อยละ 7.1 ซึ่งถือว่ายังมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับไม้ ซึ่งมีเถ้าไม่เกินร้อยละ 5 (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้, 2546) ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเหลือเถ้าปริมาณมาก ในส่วนของปริมาณสารระเหยของกากชายังคงมีปริมาณสูง ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก นอกจากนี้ กากชายังมีปริมาณคาร์บอนคงตัวปริมาณน้อย ทำให้มีค่าความร้อนน้อย ซึ่งค่าความร้อนของกากชามีค่า 4,390 แคลอรีต่อกรัม ใกล้เคียงกับฟางข้าว, ต้นมันสำปะหลัง, ชานอ้อย และขุยมะพร้าว แต่มีค่ามากกว่า ผักตบชวา, แกลบ และเห้งน้ำมันสำปะหลัง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2548) จากข้อมูลที่ได้จึงพอสรุปได้ว่า กากชาไม่เหมาะที่จะนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

ส่วนการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากชา ที่ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Electron Dispersive Spectrometer (EDS) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกากชา

องค์ประกอบทางเคมี	กากชา (ร้อยละ)	เนื้อไม้ (ร้อยละ)*	ถ่านหิน (ร้อยละ)**
คาร์บอน (C)	68.08 ± 0.14	50-55	75.50
ออกซิเจน (O)	26.38 ± 0.93	40-45	4.90
ไนโตรเจน (N)	5.72 ± 4.12	1	5.00
ซัลเฟอร์ (S)	0.09 ± 6.12	-	2.90
แมกนีเซียม (Mg)	0.37 ± 7.73	-	-
ซิลิกอน (Si)	0.64 ± 6.28	-	-

ที่มา: วนิตา, 2548 อ้างอิงจาก \* Karchesy and Koch, 1979 ; \*\*นิรินาม, 2548.

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 2.4) พบว่ากากชามีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 68.83 ออกซิเจนร้อยละ 26.18 และไนโตรเจนร้อยละ 5.13 เมื่อเทียบกับองค์ประกอบของเนื้อไม้แล้ว พบว่า กากชามีองค์ประกอบของคาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจนใกล้เคียงกับเนื้อไม้ (Karchesy and Koch, 1979) และมีซัลเฟอร์ปริมาณน้อยจึงทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) น้อยกว่าถ่านหิน ดังนั้นกากชามีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงถือเป็นแหล่งพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันในประเทศจีน ได้หวั่น และญี่ปุ่นมีการศึกษาการนำกากขามาใช้ในูปแบบอื่น เช่น นำกากขาที่เหลือจากการชงชาแทนที่จะนำไปทิ้งหรือหมักคลุมโคนต้นไม้มาประกอบอาหารชนิดต่างๆ ได้ เนื่องจากในกากใบชายังคงอุดมไปด้วยแร่ธาตุ วิตามิน โปรตีนและเส้นใย ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยนำกากขาที่เหลือจากการชงมาอบหรือคั่วให้แห้งเพื่อให้เก็บไว้ใช้ประกอบอาหารได้นาน และด้วยคุณสมบัติในการดูดกลิ่นของใบชาเนื่องจากมีสารเทอร์พีน (terpene) เป็นองค์ประกอบ จึงสามารถนำใบชาหรือกากขามาประดิษฐ์เป็นของใช้ในบ้านเรือน เช่น พิ่นรองเท้า, กระดาษ เป็นต้น (Kazuyoshi, 2002) นอกจากนี้ กากขายังสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูง (วนิตา, 2548) ได้อีกด้วย

## 2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา และแกลบ เป็นต้น มาอัดเป็นแท่ง ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ.2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกช่วย (ประลอง คำรงค์ไทย, 2547) ส่วนเหตุผลที่ต้องทำการอัดแท่งเนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมากไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก (Reed and Bryant, 1978)

ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าเอาวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วยกระบวนการอัดแท่ง (Densification) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ลดค่าความชื้นในเศษวัสดุให้น้อยลง เป็นวิธีการเปลี่ยนสภาพจากการใช้ตามสภาพธรรมชาติ และเพื่อขจัดข้อเสียในการใช้งานให้หมดไป

### 2.4.1 หลักการอัดแท่ง

หลักการอัดแท่ง คือ การใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน สรุปหลักการได้ว่าสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ถูกล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Grover and Miskra, 1996)

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูง เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (liquid) และของแข็ง (fluid) เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion forces) และการเกิด Interlocking bond ระหว่างวัสดุ

2. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลาง โดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพอลิเมอร์-เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมีความเหนียวเพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี (viscous binders adsorption layers) เช่น ทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับ Adhesion forces (แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว) Cohesion forces (แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน) และ Interlocking bond

วัสดุที่มีขนาดเล็กสามารถอัดแท่งโดยใช้แรงดันสูง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน โดยที่ความแข็งของวัสดุอัดแท่งขึ้นอยู่กับแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) และการเกิด Interlocking ดังรูปที่ 2.1



**รูปที่ 2.1** ก) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces)  
 ข) พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond)  
 ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (viscous binders adsorption layers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ขั้นตอนการอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่นำมาอัดแท่ง โดยทั่วๆ ไป ไม่ว่าจะใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสาน จะประกอบด้วยขั้นตอนหลักในการอัดเชื้อเพลิงแท่ง ดังนี้

- การบด (Grinding) เพื่อให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดติดเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น
- การอบ (Drying) เชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นในเชื้อเพลิงที่พอเหมาะในการอัดก้อน ถ้าความชื้นมากเกินไป ก้อนเชื้อเพลิงจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น
- การผสม (Mixing) เชื้อเพลิงจะผสมกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ การผสมจะพิจารณาเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเชื้อเพลิง ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำด้วยถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป
- การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

การอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (pelleting) ลูกบาศก์ (cubing) อัดเป็นแท่งพื้น (extruded log) การอัดแท่งพื้นสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมนิยมใช้การอัดเกลียวหรืออัดสกรู (screw extrusion) ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดเกลียวหรือสกรู สามารถอัดได้ 2 แบบ คือ การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย ซึ่งในกรณีนี้ได้แก่ วัสดุพวกจีเลี่ย แกสเบส ไม โดยความร้อนจะไปทำให้สารประเภทลิกโน-เซลลูโลสเยิ้มและเชื่อมประสานกัน อีกวิธีหนึ่ง คือ การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งก็แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบใช้ตัวประสาน (binder) เข้าช่วยให้เชื้อเพลิงเกาะติดกัน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (binderless) ซึ่งใช้กับพวกวัสดุที่มียางเหนียวอยู่ในตัว เช่น อัดพวกพืชสด เป็นต้น ( มงคล ไหมงู, 2535) ดังนี้

1) การอัดร้อน (Hot Densification) การอัดแท่งแบบนี้เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการอัดที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ประมาณ 57 ปีมาแล้ว โดย R.T. Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์พื้นสังเคราะห์จากจีเลี่ย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้าและกลิ่นเหม็น มีข้อดีคือ ให้เปลวไฟสะอาด สามารถทำสีเปลวไฟได้ตามต้องการ (Fitzgerald, 1980) ซึ่งวิธีการอัดแท่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามชนิดของเครื่องอัดคือ

- การอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing)
- การอัดแท่งด้วยเกลียว (Screw Press Densification)
- การอัดแท่งด้วยลูกสูบ (Piston Press Densification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การอัดแท่งด้วยลูกกลิ้ง (Roll Press Densification)

2) การอัดเย็น (Cold Densification) วิธีการอัดแท่งแบบนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นการอัดแบบใช้ตัวประสาน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattachary; et. al. 1988) ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงอัดปานกลาง

- ข้อดีของการอัดเย็น คือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดร้อน
  2. ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดร้อนเพียงเล็กน้อย
  3. ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
  4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
  5. เครื่องอัดแท่งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดเย็น คือ ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุ

ชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

การอัดเย็นหรือไม่ใช้ความร้อน ที่มีการวิจัยในประเทศไทยนั้นหลายมีวิธี ได้แก่ (ITDG, 1984)

- การอัดสด โดยใช้พืชสดชนิดเดียวกันเป็นตัวประสาน ได้แก่ เพกติน เฮลลาตินกัม ฯลฯ
- การอัดโดยใช้พืชสดชนิดอื่น ๆ เป็นตัวประสาน เพราะตัวมันเองไม่มียางเหนียวเพียงพอหรือมีน้อยมาก เช่น การอัดผักตบชวาผสมขานอ้อย
- การอัดสดโดยใช้ตัวประสานจากภายนอกเป็นตัวผสม เพื่อให้การจับตัวเป็นก้อนดีขึ้น เช่น การอัดไมยราบยักษ์ผสมกับลิกไนท์ผง
- การอัดพืชที่หมักจนหมื่นบูด (ferment) พืชบางชนิดใช้เวลาเพียง 3-4 วัน บางชนิดใช้เวลานานกว่านี้ พืชบางชนิดไม่จำเป็นต้องหมักถึงขั้นหมื่นบูด แต่หมักพอให้ชุ่มน้ำก็พอจะทำให้การอัดง่ายขึ้น
- การอัดพืชที่หมักในระยะที่เกิดการเน่าเปื่อยระยะต้นๆ (partially decay) จนถึงเน่าเปื่อยดี (well decay) ในพืชบางชนิด ใช้เวลาหมัก 3-4 อาทิตย์ ทำให้การอัดง่ายขึ้น ซึ่งปุ๋ยหมักก็อาจนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้
- การอัดพืชที่หมัก โดยผสมตัวประสานจากภายนอก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง, โมลาส และ แอสฟัลท์
- การอัดเปียกโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน สามารถใช้เชื้อเศษอาหารที่ยังไม่เน่าบูด หรือเศษอาหารที่เน่าบูดแล้ว เศษใบตองที่ห่ออาหาร เปลือกข้าวโพด ฝักอ่อนที่ยังสดๆ เศษกระดาษที่แช่น้ำ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

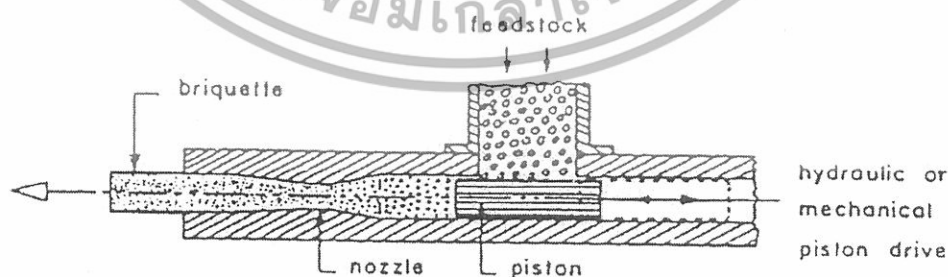
- การอัดแห้งโดยใช้วัสดุแห้งที่เป็นชีวมวลทุกชนิดผสมตัวประสาน ได้แก่ เศษพืช ฟางข้าว เศษกระดาษ หรือขยะมูลฝอยเมื่อผสมกับตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสม ก็สามารถนำมาอัดเป็นแท่งได้

การอัดเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน สามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติการเป็นตัวประสานในตัววัสดุนั่นเอง คือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสด และวัสดุชีวมวลที่เนาเปื่อยหรือผ่านการหมัก เนื่องจากการหมักชีวมวลทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัวและสร้างสารที่เป็นยางเหนียว ทำให้ใช้พลังงานในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอัดแบบร้อน การอัดวิธีนี้ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นพืชที่ไม่มีตัวประสาน ได้แก่ เจลาติน (Gelatin), เพกติน (Pectin), ลิกนิน (Lignin) ฯลฯ หรือมีปริมาณน้อย จะต้องผสมกับตัวประสานเพื่อที่จะให้การอัดแท่งนั้นได้ผลดี (Stienswat and Buachada, 1986)

#### 2.4.3 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่งสามารถแบ่ง เป็น 4 กลุ่มใหญ่ (Karchesy and Koch, 1979) คือ

2.4.3.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocation Piston) เพื่อดันวัตถุดิบ เข้าไปในกระบอกรูปเรียว (Tapered Die) (รูปที่ 2.2) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีรูปกรวย (Conical Choke) หรือเป็นรูปเรียวทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ (Bhattacharya; et.al. 1988, Lequeux; et.al. 1988)

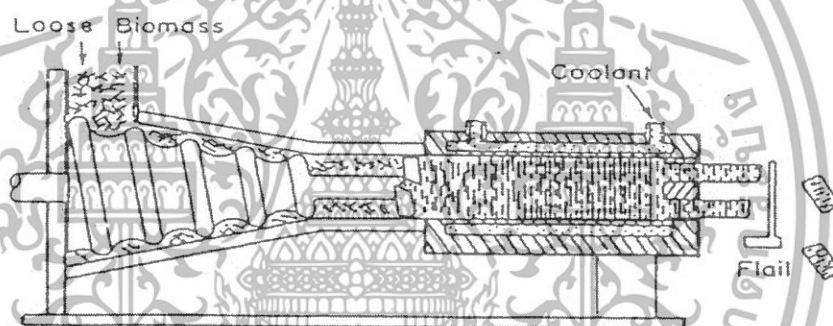


รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันเนื่องจากแห้งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแห้งฟืนซึ่งนิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้งาน และการขนส่ง โดยแบ่งเครื่องอัดออกเป็น 3 ประเภท คือ

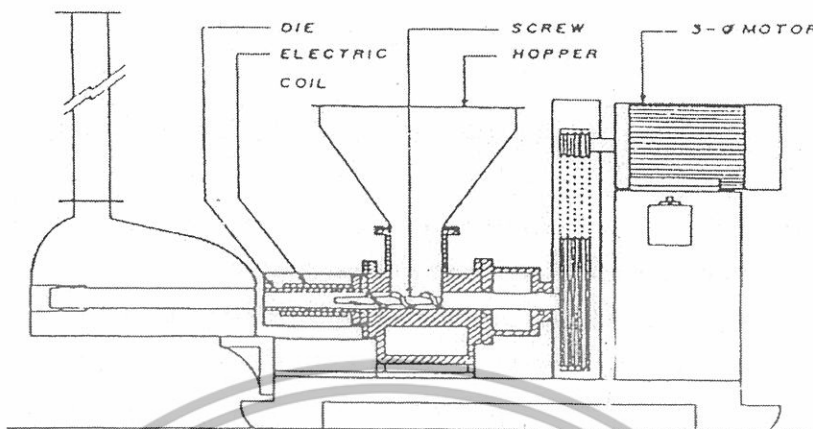
1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพื้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแห้งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราค่าตั้งของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2. เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heated) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีหลักการทำงาน คือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนิน-เซลลูโลสหลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัด ยึดเกาะตัวกันดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตอยู่ในช่วง 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Karchesy and Koch, 1979) วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเม็ดละเอียด และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว

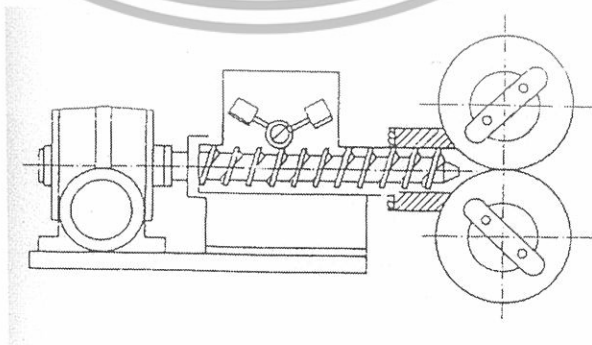
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบออัด

3. เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) ประกอบด้วยเกลียวอัด 2 อัน ต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw part) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสีสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบออัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป สามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องทำให้แห้งก่อน กำลังการผลิตของเครื่องอัดนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

2.4.3.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หลักการทำงานคือกระบวนการอัดจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน (Pillow-shaped briquettes) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความทนทานน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้นทำให้แรงอัดต่ำ และ อุณหภูมิในกระบออัดไม่สูงพอที่จะหลอมละลายลิกนินเพื่อช่วยในการอัดตัวกันเป็นแท่ง



รูปที่ 2.5 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.3.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing Press)** ประกอบด้วยแม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และแม่พิมพ์ (Matrix) โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้งกับแม่พิมพ์ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสี และทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู ซึ่งมี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ก และ 2.6 ข แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมา จะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้การอัดแบบเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเป็นเม็ด (Pelletizing)



รูปที่ 2.6 เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ

ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน

#### 2.4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลที่ผ่านขั้นตอนการอัดแท่ง จะประเมินโดยใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลัก (Fitzgerald, 1980) คือ

1) ความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงเพราะสูญเสียความร้อนในการทำให้แห้ง และทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย โดยที่ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะต้องไม่เกินร้อยละ 10 (Reed and Bryant, 1978; Grover and Mishra, 1996)

2) ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวกอัลคาไลด์ (Alkaline mineral) เช่น  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ  $\text{K}_2\text{O}$  เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณเถ้าต่ำ

ยกเว้นแกลบมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 20 (Grover and Mishra, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3) สารระเหย (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

4) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจาก ที่ระเหยสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5) ค่าความร้อน (Calorific value or Heating value) ค่าความร้อนในการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบสูง แต่มีสารระเหย ได้และปริมาณเถ้าต่ำ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้มีค่าความร้อนต่ำ (สมชายและกัญญา, 2525) อย่างไรก็ตามชีวมวลที่ได้จากพืช มีคุณสมบัติที่ได้เปรียบน้ำมัน ธรรมชาติ และถ่านหิน เนื่องจากมีธาตุกำมะถันน้อย และไม่มีมลภาวะ หรือสารพิษอื่นๆ เช่น ปรอท ตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีปริมาณเถ้าต่ำ (นารา, 2524) เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.5 ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถสรุปได้ ดังนี้ (Aqa, 1990)

1) มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 - 60 มิลลิเมตร สามารถ ใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง

2) มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สมบูรณ์

3) ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และซีลีเนียมต่ำ ปล่อยออกมา น้อยมากหรืออาจไม่มีเลย จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง ในขณะที่ ในถ่านหินและน้ำมันหินจะมีกำมะถันเจือปนอยู่ราวร้อยละ 3 และอาจสูงถึงร้อยละ 7

4) สะดวกต่อการเก็บ ขนส่ง และการนำมาใช้งาน

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดี

คุณสมบัติ	ปริมาณ
คาร์บอนเสถียร (fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า 75%
สารระเหยง่าย (Volatile)	ไม่เกิน 25%
ขี้เถ้า (Ash)	ไม่เกิน 4%
ความชื้น (Moisture)	ไม่เกิน 10%
ค่าความร้อน (Heating value)	ไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม
ค่าความแข็ง (Hardness)	ไม่น้อยกว่า 5%
ความพรุน (Porosity)	สูง
พื้นที่ผิว	ไม่น้อยกว่า 200 ตารางเมตร/กรัม

ที่มา : ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเปียกมีค่าความหนาแน่น (Density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้นสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้ (Carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบเกลบบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20-24 ชั่วโมง (1 วัน) และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ความร้อนได้สูง เชื้อเพลิงเปียกที่ใช้วัชพืช (ไมยราบยักษ์) สับเป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับลิกไนท์ผง 20-30% จะเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับโรงบ่มยาสูบ หากใช้ลิกไนท์ผงล้วนๆ อัดแท่ง ถ้าจะจับตัวเป็นก้อนแตกยาก หากผสมชีวมวลจะช่วยให้แตกง่าย (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, 2529)

**2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง** ได้แก่ ปริมาณความชื้น, ขนาดของชิ้นส่วนวัตถุดิบ, แรงดัน, อุณหภูมิ, วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง และตัวประสาน ดังนี้

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะสูญเสียพลังงานมากในการทำให้วัตถุดิบแห้ง จึงมีค่าความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำกว่า (Grover and Miskra, 1996) วัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ มีข้อจำกัดในการจับตัวเป็นก้อนและเมื่อทำการอัดแท่งจะทำให้มีรอยแตกบนผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบมีส่วนช่วยกระจายความร้อนในมวลวัตถุ ถ้าวัตถุดิบมีน้ำไม่เพียงพอทำให้การส่งผ่านความร้อนไม่ดี แรงดันที่ต้องการใช้ในการอัดแท่งจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าวัสดุมีน้ำมากเกินไป ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกกระจายไป ใช้ทำให้น้ำกลายเป็นไอ และบ่อยครั้งทำให้เกิดการระเบิดออกมาจากระบบอัด โดยทั่วไปพบว่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุตั้งกล่าวเกาะกันเป็นแท่งได้ง่าย ไม่มีรอยแตกร้าว และมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก (Reed and Bryant, 1978)

วิธีการลดความชื้น ขึ้นอยู่กับสภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้นๆ ว่ามีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด และสภาพดินฟ้าอากาศ ในกรณีที่สภาพดินฟ้าอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น ในฤดูฝน จำเป็นต้องอบให้แห้งด้วยเครื่องอบ เครื่องอบมีหลายแบบ อาจเป็นเตาหมุน (rotary drying kiln) เพื่อให้ความร้อนที่ส่งผ่านมาตามท่อกระจายไปสู่เศษวัสดุที่กำลังอบอยู่อย่างทั่วถึงและจากเครื่องอบนี้จะมีท่อดูดเอาเศษวัสดุที่อบแห้งแล้วและมีความชื้นพอเหมาะไปสู่ไซโลเพื่อรอการนำไปอัดต่อไป หรืออาจใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะ หรือความร้อนที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม

2. ขนาดของชิ้นส่วนวัตถุดิบ (Particle size) เศษวัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เศษเหลือจากการทำไม้ จะได้เศษไม้ที่มีทั้งปลายไม้ ส่วนที่ผุ หรือมีตำหนิ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้กบ เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดยาว และใหญ่ มีขนาดเล็กลงได้โดยการนำไปย่อยและบด เพื่อให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าเครื่องอัดแท่ง Intermediate Technology Development Grop รายงานว่าขนาดชิ้นส่วนของวัสดุโดยเฉลี่ยควรจะมีขนาด 3 มิลลิเมตร โดยที่ร้อยละ 20 ของวัสดุควรมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และส่วนที่เหลือควรมีขนาด 2 - 4 มิลลิเมตร (ITDG, 1984) ในวัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วอาจไม่ต้องย่อยหรือบด แต่ต้องผ่านทำการร่อนด้วยตะแกรงเสียก่อน มิฉะนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนอยู่ จะทำให้ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี ทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

3. แรงดัน (Pressure) แรงดันในกระบอกอัดเกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัสดุคืบที่ป้อนเข้าเครื่องอัดติดกับผนังกระบอกอัด โดยแรงดันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อวัสดุคืบถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดที่ได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกกับแท่งเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนตัวออก จะช่วยทำให้เกิดแรงดันที่เหมาะสม ทำให้วัสดุคืบเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ใช้ ณ อุณหภูมิเฉพาะ (Reed; et.al. 1980) นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่า การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยการให้ความร้อน ควรทำภายใต้แรงดัน ณ ที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปใช้ความดันในช่วง 0.5-1,200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัด และอุณหภูมิ (ITDG, 1984) การอัดวัสดุเหลือใช้ต่างๆ โดยใช้ความดันในกระบอกอัดประมาณ 600 กิโลกรัมต่อตารางเมตร พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีการอัดตัวแน่นดี (นารา, 2529) นอกจากนี้ ขี้เลื่อยและขานอ้อย สามารถอัดเป็นก้อนได้ ภายใต้ความดันตั้งแต่ 453 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ขึ้นไป (กัญจนาและเพียรพรรค, 2535)

4. อุณหภูมิ (Temperature) (Rougerie, 1980) ได้ศึกษาวิธีการอัดแท่งกับวัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลส (ขี้เลื่อย) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120-160 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะให้ลิกนินอ่อนตัวยึดเกาะกันได้แน่นขึ้น ทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็ง ขณะที่ (Crepean et al. 1983) ได้ทดลองการทนแรงอัด (Compressive strength) ของชีวมวลอัดแท่ง การทนแรงอัดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการอัด พบว่าการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ควรจะน้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงเวลาการอัดแท่งที่เหมาะสมนั้นควรจะน้อยที่สุดไม่เกิน 2 วินาที (ITDG, 1984)

อุณหภูมิของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 260-300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เกษะกันเป็นแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (นารา, 2529) จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 200 - 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษไม้ ใบไม้ ขยะของเหลือใช้ หรือของเสียต่างๆ จากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือชุมชน ได้แก่ ดินมันสำปะหลัง กากอ้อย ชังข้าวโพด แกลบ ชี้เลื้อย ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เนื่องจากผนังเซลล์ของไม้จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จากการวิเคราะห์เนื้อไม้จำนวน 18 ชนิด (Karchesy and Koch, 1979) พบว่า ประกอบด้วย เซลลูโลสร้อยละ 33.8 - 48.7, เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 23.2-37.7, ลิกนินร้อยละ 19.1-30.3, สารแทรกร้อยละ 1.1 -9.6 และเถ้าร้อยละ 0.1-1.3 ตามลำดับ และเนื้อไม้ของวัตถุดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบเป็น คาร์บอนร้อยละ 50 - 55, ออกซิเจนร้อยละ 40 - 45, ไฮโดรเจนร้อยละ 6 - 7, ไนโตรเจนและเถ้าประมาณร้อยละ 1 ตามลำดับ ซึ่งธาตุที่ให้ความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เมื่อธาตุทั้งสองชนิดนี้เกิดการเผาไหม้จะให้ค่าความร้อนออกมา เนื่องจากปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนของไม้แต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ค่าความร้อนแตกต่างกันไม่มากนัก โดยพิจารณาจากการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง	สารระเหย %	ถ่านคงตัว %	เถ้า %	ค่าความร้อน กิโลแคลอรี/กก.
1. ชี้เลื่อย	71.3	27.2	1.5	4,990
2. ชานอ้อย	71.8	23.4	4.8	4,510
3. แกลบ	62.7	17.4	20.0	3,860
4. ฟางข้าว	74.4	18.9	7.3	4,300
5. ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	4,300
6. เหน้งมันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	4,050
7. ชังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	4,540
8. ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	4,380
9. กะลามะพร้าว	73.7	25.5	0.7	4,830
10. ถ่านกะลามะพร้าว	15.2	82.4	2.4	7,760
11. ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	4,150
12. ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	3,010
13. เปลือกหอย	70.5	23.7	5.7	4,480
14. ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	4,460
15. ทะลายปาล์ม	73.9	22.3	3.8	4,500
16. เส้นใยปาล์ม	71.5	23.1	5.4	4,820
17. ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.1	4,560
18. ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.4	7,650
19. ถ่านหิน	42.8	49.5	7.7	5,860
20. ถ่านโค้ก	1.2	90.6	8.2	7,150

ที่มา: ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548.

## 6. ตัวประสาน (Binder)

6.1 ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Bryand, 1985) คือ

### 1. ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดินมูลสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยะเน่าเปื่อย สาหร่าย และแป้ง เป็นต้น

2. ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เกลน ดินเหนียว และซีเมนต์ เป็นต้น

#### 6.2 คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

1. มีความสามารถในการประสานดี
2. สามารถเผาไหม้ได้หรือลुकติดไฟได้ดี และไม่ทำให้เกิดควัน
3. เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ทำให้แห้งหรือเพ็ลลิ่งแตกร่วน หรืออ่อนตัวเกินไป
4. เสียค่าใช้จ่ายน้อย

จากการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัลท์ แป้งเปียก จีฟิ่ง และปูนขาว (CaO) พบว่าโมลาสเป็นตัวประสานที่ไม่ดี เนื่องจากโมลาสดูดความชื้นได้ง่าย ทำให้การผลิตยุ่งยาก ส่วนแอสฟัลท์มีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดกลิ่นเมื่อนำก้อนเชื้อเพลิงมาใช้งาน ดังนั้น การอัดแกลบกับจีฟิ่งและแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ แกลบ ร้อยละ 65 แป้งเปียกร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้จีฟิ่งสามารถใช้แกลบได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 365 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จีฟิ่งมีข้อดี คือ เพิ่มค่าความร้อนให้กับแห้งเชื้อเพลิง แต่มีข้อเสียคือ มีควันมากเมื่อติดไฟ (กัญจนและเพียรพรรค, 2532) ปัจจุบันตัวประสานที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแห้ง คือ แป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย แต่ในอนาคدمันสำปะหลังอาจมีราคาสูงขึ้นเนื่องจากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันแก๊สโซลล์ได้ จึงควรมีการศึกษาเพื่อหาตัวประสานชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพและนำมาใช้ทดแทนกันได้ต่อไป

#### 2.4.6 แป้ง

แป้งถือเป็นตัวประสานชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแห้งเนื่องจากคุณสมบัติในการเกิดเจลซึ่งมีความเหนียวช่วยในการยึดติดระหว่างอนุภาคได้

2.4.6.1 แป้ง (starch) มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี จากพืชประเภทหัว เช่น มันฝรั่ง และจากรากพืช เช่น มันสำปะหลัง แป้งเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น กรรมวิธีการผลิตถ้าเป็นธัญพืช จะเริ่มจากการสีเพื่อแยกเอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) ออกจากรำและจมูกข้าว นำไปแช่น้ำ โม่หรือบดแล้วทำแห้งเป็นผง ถ้าเป็นพืชประเภทหัวไม่ต้องผ่านการสี แป้งต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบต่างกันทำให้แป้งมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกัน แป้งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อนจึงสามารถจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น สารยึดติด ล้างท่อ กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

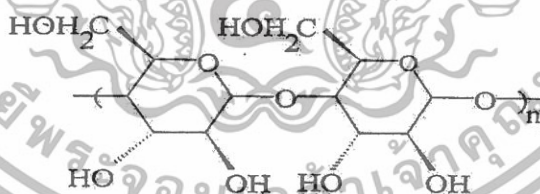
อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ประโยชน์ของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความเหนียว จากการเกิดเป็นเจล การยึดติดและการเกิดฟิล์มสามารถควบคุมคุณภาพได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก

#### 2.4.6.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่ง กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสเรียกว่าพันธะกลูโคไซด์ (glucoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์แบบควบแน่นขึ้น

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin)

1. อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) ขนาดของโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7



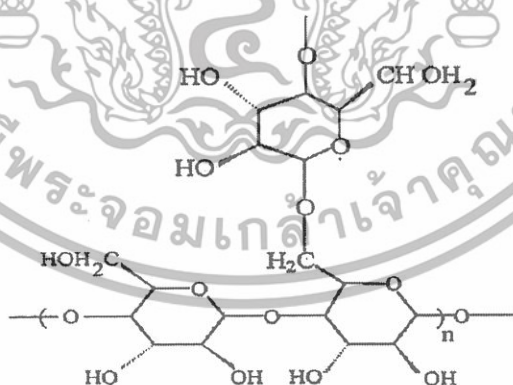
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ อะไมโลส

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ (hydrophilic) ของแป้ง เช่น การดูดความชื้น และการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลส มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ และเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลจำนวนมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในแนวขนานและใกล้เพียงพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้สมบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบน้ำของแป้ง และการละลายของแป้งลดลง โมเลกุลอะไมโลสสามารถจะก่อสารประกอบเชิงซ้อนแบบเกลียวล้อมรอบ โมเลกุลของไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะมีสีน้ำเงิน จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้ และเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนสามารถตกตะกอนได้ด้วยบิวทานอล (butanol) หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้สามารถแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยวิธีการเลือกการตกตะกอน (selective precipitation)

2. อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา (branch polymer) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในแต่ละสาขา ประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20-30 หน่วย (รูปที่ 2.8 จากการศึกษาที่โมเลกุลอะไมโลเพกติน มีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลส และโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแป้งลดลงและขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเพกตินในน้ำจะมีลักษณะใสและมีความเสถียรในการเป็นเจลและจะไม่ก่อสารเชิงซ้อนกับไอโอดีน ส่วนที่เป็นเชิงเส้นของโมเลกุล อะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวแบบขนานทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลึกแบบไมเซลล์ (micellar crystalline) ซึ่งมีผลทำให้เกิดคุณสมบัติไบรฟรินเจนซ์ (Birefringence) หมายถึงองศาของการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สรุปความแตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน มีดังนี้

อะไมโลส	อะไมโลเปกติน
ประกอบด้วยกลูโคส 250-2000 หน่วย โมเลกุลต่อกันเป็นเส้นตรง ละลายน้ำได้ดีกว่า ให้สีน้ำเงินกับไอโอดีน เมื่อต้ม น้ำจะหนืดข้นน้อยกว่า ต้มแล้วปล่อยให้เย็นเกิดเจล	แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย โมเลกุลต่อกันคล้ายกิ่งไม้ ละลายน้ำได้น้อยกว่า ให้สีแดงม่วงหรือน้ำตาล เมื่อต้ม หนืดข้นมากกว่าและใส ไม่เกิดเจลเมื่อต้ม

ที่มา: Zobel, 1988.

จากการศึกษาพบว่าแป้งจากพืชต่างชนิดกันจะมีสัดส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเปกตินต่างกัน (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเปกตินของแป้งจากพืชแต่ละชนิด

ชนิดของแป้งจากพืช	สัดส่วนอะไมโลส (%)	สัดส่วนอะไมโลเปกติน (%)
แป้งข้าวโพด	26	74
แป้งสาลี	25	75
แป้งข้าวเจ้า	17	83
แป้งข้าวฟ่าง	26	74
แป้งมันฝรั่ง	24	76
แป้งสาเก	27	73
Waxy maize	1	99
Waxy sorghum	1	99
แป้งมันสำปะหลัง	17	83

ที่มา: วรนุช, 2535.

การที่แป้งจากพืชแต่ละชนิดมีอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเปกติน จะมีผลต่อการเกิดเจลของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเปกตินสูงจะมีความหนืดสูงเมื่อได้รับความร้อนจนเกิดเป็นเจล

#### 2.4.6.3 การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง (Gelatinization)

##### 1) การบวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติเม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55 – 80 องศาเซลเซียส การบวมตัวจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งน้ำแป้งจะเริ่มขึ้นขึ้นเรียกว่า เกิดการบวมตัว (Pasting) หรือเกิดเจล (Gelatinization) แป้งจากพืชแต่ละชนิดจะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.9) โดยแป้งที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะพองตัวและใสในอุณหภูมิต่ำกว่าแป้งที่มีอนุภาคขนาดเล็ก พิจารณาจากการศึกษาอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดแป้ง		รูปร่างลักษณะ
	ขนาด (ไมครอน)	ขนาดเฉลี่ย (ไมครอน)	
ข้าวโพด	4 - 26	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวฟ่าง	6 - 30	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวสาลี	2 - 38	20 - 22	ขนาดเล็กรูปร่างทรงกลม
มันฝรั่ง	15 - 100	30	รูปไข่สารภายในแป้งซ้อนกันเป็นชั้นๆ
มันเทศ	15 - 55	25 - 50	หลายเหลี่ยมส่วนใหญ่เม็ดเล็ก
มันสำปะหลัง	5 - 25	20	ทรงกลมหรือรูปไข่มีค้ำหนึ่งแฉก
ข้าวเหนียว	2 - 7	-	รูปร่างหลายเหลี่ยม

ที่มา: ปราณี, 2534.

ตารางที่ 2.10 อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิของการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)		
	Initiation	Midpoint	Termination
ข้าวโพด	62	66	70
บาร์เลย์	51.5	57	59.5
ข้าวเจ้า	68	74.5	78
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
มันสำปะหลัง	52	59.5	64
มันฝรั่ง	58	62	66

ที่มา: ประชา และ อรวินท์, 2519.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอุณหภูมิของการเกิดเจลของแป้ง พบว่า แป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิของการเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิต่างกันซึ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำๆสูงขึ้นความหนืดจากการเกิดเจลจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกันแต่เมื่ออุณหภูมิเกินกว่าค่าหนึ่งแล้ว ความหนืดของการเกิดเจลของแป้งจะลดลงและสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง แต่ความหนืดจากการเกิดเจลจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเกิดเจลในครั้งแรก ดังนั้นในการนำแป้งมาใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิจึงถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลของแป้ง

## 2) ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อนและสารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น, อุณหภูมิ, เวลา, อัตราเร็วของการปั่น, pH และชนิดของสารตัวเติมหรือสิ่งเจือปนอื่นๆ จุดประสงค์ของการให้ความร้อนเพื่อทำให้เม็ดแป้งแตกออกทำให้น้ำเข้าไปแทรกตัวได้ เมื่อความเข้มข้นของแป้งมีค่าสูงพอที่จะยับยั้งการเติมน้ำอย่างสมบูรณ์ของเม็ดแป้งแล้ว สมบัติการไหลของแป้งที่เป็นเจลจะแตกต่างไปจากสมบัติของแป้งที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ที่ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤต เม็ดแป้งจะเกิดการแตกออกได้ง่ายด้วยแรงเฉือน ยิ่งความเข้มข้นสูงความหนืดก็ยิ่งมากและจะเกิดเป็นเจลได้มาก ส่วนการปั่นที่มีประสิทธิภาพจะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพ และทั่วถึงกระบวนการให้ความร้อนก็เกิดเร็วขึ้นทำให้เม็ดแป้งแตกออกอย่างรวดเร็วทำให้ค่าความหนืดลดลงเร็วขึ้น แป้งส่วนใหญ่เกิดเป็นเจลได้เร็วที่ค่า pH สูงๆ และที่ค่า pH ต่ำๆ ในช่วง pH 4-7 การเกิดขึ้นเป็นเจลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และอัตราการแตกสลายของ โมเลกุลก็จะลดลง

### 2.4.7 ถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

ถ่านแท่งที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันและมีขายอยู่ในท้องตลาด (นิรนาม, 2547) ได้แก่

2.4.7.1 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว เป็นถ่านซึ่งผลิตด้วยวิธีอัดเย็น โดยใช้กะลามะพร้าว (เฉพาะกะลา เพราะใบมะพร้าวนำไปทำเป็นที่นอน)



รูปที่ 2.9 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.2 ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดเย็น โดยใช้ไม้ยางพาราที่ผ่านการเผา และบดละเอียดแล้วอัดออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 2.10 ถ่านอัดแท่งจากกะลา

2.4.7.3 ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดร้อน โดยใช้ขี้เลื่อย ซึ่งนำมาจากโรงเลื่อยไม้แล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 2.11 ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย

2.4.7.4 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ เป็นถ่านที่ผ่านการอัดแบบร้อน โดยใช้แกลบแล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 2.12 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทองม้วน นาเสงี่ยม (2524) ได้ทำการศึกษาและวิจัยการทำถ่านจากใบจำลา โดยนำใบจำลาแห้งไปเผาให้เป็นถ่าน แล้วจึงนำถ่านใบจำลาไปคลุกกับน้ำแป้งมันสำปะหลังประมาณ 6 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกให้ทั่ว นำไปอัดในกระบอกโลหะด้วยความดัน 115.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติกับถ่านไม้พบว่า ถ่านใบจำลามีคุณภาพต่ำอยู่ ความร้อนโดยประมาณ ได้เป็นครึ่งหนึ่งของถ่านไม้ ส่วนการติดไฟ พบว่า ถ่านใบจำลาจะใช้ได้นานกว่าถ่านไม้

เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ (2528) ได้ทำการศึกษาการอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ ด้วยเครื่องจักรที่ทางโครงการวิจัยพืชเพื่อพลังงานทดแทนและอุตสาหกรรมประดิษฐ์ขึ้นเอง พบว่า ผักยาง โสน สนปฐิพัทธ์ (ใบ) และยูคาลิปตัส (ใบ) ให้ค่าความร้อน 3,546.35, 4,150.16, 4,562.69 และ 4,563.50 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งฟืนและถ่านไม้บนทรีให้ค่าความร้อน 4,314.74 และ 7,003.22 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเตาหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงเขียว (เตาโลหะ) โดยใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเพเลทมีค่าสูงกว่าฟืนและถ่านไม้บนทรี

จารุวรรณ แสงสุวรรณาว (2530) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตร 3 ชนิดคือ กากอ้อย แกลบ และขี้ข้าวโพดโดยผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืน คือให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 4,000 แคลอรีต่อกรัม แต่ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศ ซึ่งให้ค่าความร้อน 7,390 แคลอรีต่อกรัม

กัญญา บุญเกียรติ และเพียรพรุค ทศธร (2532) ได้ทดลองหาตัวประสานสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัลท์ แป้งเปียก ขี้ผึ้ง และปูนขาว (CaO) พบว่าโมลาสเป็นตัวประสานที่ไม่ดี เนื่องจากโมลาสดูดความชื้นได้ง่าย ทำให้การผลิตยุ่งยาก ส่วนแอสฟัลท์มีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดกลิ่นเมื่อนำก้อนเชื้อเพลิงมาใช้งาน ดังนั้น การอัดแกลบกับขี้ผึ้ง และแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ แกลบร้อยละ 65 แป้งเปียกร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้ขี้ผึ้งสามารถใช้แกลบได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 365 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขี้ผึ้งมีข้อดี คือ เพิ่มค่าความร้อนให้กับแท่งเชื้อเพลิง แต่มีข้อเสีย คือ มีควันมากเมื่อติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2538) ได้ผลิตเชื้อเพลิงชีว โดยวัสดุต่างๆ เช่น หญ้าขจรจบ หญ้ายาง หญ้าคา ผักตบชวา ไมยราบ (ธรรมดา) โคนกระสุน และใบยูคา ลิปตัส เป็นต้น นำเอาส่วนของพืชสดเหล่านี้ทั้งใบ ต้น กิ่ง มาสับให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แล้วนำไปใส่ลงในกระบอก (ท่อพีวีซี) แล้วตำหรือกระทุ้งด้วยแท่งเหล็กจนเกิดยางเหนียว และนำมาผึ่งแดดให้แห้งจะได้แท่งเชื้อเพลิงชีวจากเศษพืชสด

วนิดา จาดคำ (2548) ได้ทำการศึกษารผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว พบว่า วิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียว คือ วิธีการอัดแบบเย็น ขนาดของกากชาที่สามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งควรเป็นกากชาที่บดละเอียดส่วนใหญ่มีขนาด 12-15 เมช และในขั้นตอนการอัดหากไม่ใช้ตัวประสานจะอัดยากกว่าการใช้ตัวประสาน ซึ่งตัวประสานที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง โดยสัดส่วนที่เหมาะสมคือ 5% และเมื่อนำถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวผสมแป้งมันสำปะหลัง 5% มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่ง พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 66.67% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง จากนั้นนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้มาผสมในการอัดแท่ง พบว่าค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลง นอกจากนี้ยังนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพกับถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด พบว่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการทนแรงอัดมีค่าน้อยกว่า ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด ส่วนความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด

Wayne Coates (1999) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan มีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ แต่เชื้อเพลิงจากเยื่อกระดาษมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า

Ndiema, C.K.W. et.al. (2001) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม โดยพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิง (ความยาวและความพรุน) ซึ่งปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง คือความดันในการอัดแท่ง ซึ่งมีผลต่อความพรุน (ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิง) คือเมื่อความดันในการอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนความยาวนั้น พบว่า ความดันไม่มีผลต่อขนาดความยาวของแท่งเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaman, S. et. al. (2002) ได้ทดลองอัดแท่ง olive refuse และของเสียจากโรงงานกระดาษ โดยบดย่อยวัตถุดิบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ก่อนอัดแท่งด้วยระบบไฮดรอลิก ที่ความดันในช่วง 150-250 เมกะพาสคาล ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร แล้วได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก olive refuse มีค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน % คาร์บอน % ไฮโดรเจน และ % ไนโตรเจน เท่ากับ 7.5%, 5.0%, 67.5%, 5.113 แคลอรีต่อกรัม, 39.0%, 4.8% และ 1.5 % ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียจากโรงงานกระดาษ เท่ากับ 9.0 %, 15.5 %, 65.55% , 3,224 แคลอรีต่อกรัม , 35.2 %, 4.9 % และ 0.2 % ตามลำดับ

Husain, Z. et. al. (2002) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เป็นน้ำมันปาล์ม โดยอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 5 - 13.5 เมกะพาสคาล ด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40, 50 และ 60 มิลลิเมตร และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ 1,200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มีค่าความร้อน 3,917 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้า 6% และเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น 12%

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุดิบและสารเคมี

1. กากชาเขียว (บริษัท ยูนิ-เพรสซิเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.นครปฐม)
2. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรตวิเคราะห้)
3. เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรตวิเคราะห้)
4. โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรตวิเคราะห้)
5. แบเรียมคลอไรด์ ( $\text{BaCl}_2$ ) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรตวิเคราะห้)
6. แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค (บริษัท อี.ที.ซี.เอ็บบตงจัน จำกัด กรุงเทพฯ)
7. แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม (บริษัท อี.ที.ซี.เอ็บบตงจัน จำกัด กรุงเทพฯ)
8. เอทิลแอลกอฮอล์ ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) 95 % (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
10. กรดสเตียริก (Stearic acid) (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)

##### 3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอัดเชื้อเพลิงแก่ง (บริษัท อุตสาหกรรมเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศไทย)
2. เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น AC-350
3. เตาเผา (Isotemp Oven) รุ่น FP 01/125 (บริษัท Fisher Scientific, ประเทศเยอรมัน)
4. ตู้อบ (Drying oven) รุ่น CBA- 350-K (บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมัน)
5. โถดูดความชื้น (Desiccators)
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น TP-254 (บริษัท Denver Instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (หน่วยเป็นกิโลกรัม) รุ่น TP-6101 (บริษัท Denver Instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
8. เครื่อง Universal Testing Machine (บริษัท Instron, ประเทศ อังกฤษ)
9. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
10. ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง
11. เตาอัง โต้ ตรา เตาทอง รุ่นซูเปอร์อัง โต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. นาฬิกาจับเวลา (stop clock)
13. ชุดค้อนน้ำหนัก
14. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
15. ตะแกรงร่อนขนาด 12.5 มิลลิเมตร
16. ตะแกรงร่อนขนาด 25 มิลลิเมตร
17. อุปกรณ์และเครื่องแก้วต่างๆ สำหรับห้องปฏิบัติการ

### 3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำตัวอย่างกากชาที่ผ่านกระบวนการชงเพื่อผลิตเครื่องดื่มประเภทชา ซึ่งนำมากรองไว้ก่อนนำไปกำจัด มาแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ใช้ผ้าขาวบางกรองน้ำออกจากตัวอย่างกากใบชาแล้วคั้นให้หมด ก่อนที่จะนำไปทำการอัดแท่งต่อไป

### 3.3 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ในการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา ชนิดของตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและเกรดที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากตามท้องตลาดแป้งมันสำปะหลังมีราคาต่ำกว่าแป้งชนิดอื่นๆ และมีปริมาณอะไมโลเปกตินสูง ทำให้มีความหนืดมากในการเกิดเจล เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นตัวประสาน โดยวิธีการศึกษาเป็นไป ดังนี้

1. กากชาที่เตรียมจากข้อ 3.2 มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคในสัดส่วนกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลัง 100:0 (กากใบเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2 , 97:3 , 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำลงไปอีกร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
2. นำวัตถุดิบที่ทำการผสมแล้วไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบสกรูชนิดเกลียวตัวหนอนโดยวิธีแบบไม่ใช้ความร้อน วัตถุดิบถูกอัดด้วยแรงอัดประมาณ 5 แรงม้า จนได้กากใบชาอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร
3. กากใบชาอัดแท่งที่ได้ไปตากแดดประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น
4. กากใบชาอัดแท่งไปเผาให้เป็นถ่านในเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 – 800 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง ทำการปิดช่องอากาศให้สนิททิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาประมาณ 18 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านอัดแท่งออกจากเตาเผาและเก็บไว้ใน  
ถุงพลาสติก นำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ  
ดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. ทำซ้ำตามวิธีการข้างต้น แต่เปลี่ยนชนิดของตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้  
ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 3.1 วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา

พารามิเตอร์	เครื่องมือ / วิธีการวิเคราะห์
<b>คุณสมบัติทางเคมี</b>	
- ปริมาณความชื้น (Moisture content)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash content)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหย (Volatile matters)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3176
- ค่าความร้อน (Calorific value)	วิธีมาตรฐาน ASTM D5865
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b>	
- ความคงตัวของเถ้า	วิเคราะห์โดยใช้ค้อนน้ำหนัก และแผ่นสังกะสี
- ระยะเวลาในการจุดติดไฟ	วิเคราะห์โดยใช้เตาอั้งโล่ และนาฬิกาจับเวลา
- ระยะเวลาในการเผาไหม้	วิเคราะห์โดยใช้เตาอั้งโล่ และนาฬิกาจับเวลา
- ความหนาแน่น (Density)	วิเคราะห์โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วัดรัศมี วงในและวงนอกคำนวณหาปริมาตรและชั่ง น้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งเพื่อหาความหนาแน่น
- การทนแรงอัด (Compressive strength)	วิธีมาตรฐาน ASTM D1621
- ดัชนีการแตกร่วน	วิธีมาตรฐาน ASTM D3038

#### 3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา

1. นำสารละลายเตรียมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 ลิตร ผสมกับกรดสเตรียริก  
ประมาณ 30 กรัม นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส และความดัน  
บรรยากาศ จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 5 กรัม ลงในสารละลายผสม
2. นำถ่านอัดแท่งจากกากไบโชาที่มีสัดส่วนของกากไบโชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 โดย  
น้ำหนัก มาชုပ်ด้วยสารละลายผสมในข้อ 1 ให้เร็วที่สุดก่อนที่สารละลายผสมจะเริ่ม  
แข็งตัว หลังจากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถ่านอัดแท่งที่ผ่านการชุบไปทดสอบคุณสมบัติการจุดติดไฟและระยะเวลาในการติดไฟ จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากกากไบโชาที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยเอทิลแอลกอฮอล์

### 3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้ในการศึกษาครั้งนี้ กับถ่านไม้ และถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด

1. นำถ่านอัดแท่งจากกากไบโชาที่มีชนิดของตัวประสานและสัดส่วนของตัวประสานที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 มาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ
2. นำข้อมูลทุกข้อมูจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้เกี่ยวกับคุณสมบัติของถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาดมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ปุ๋ยหินฟอสเฟต
2. ปุ๋ยไคแอมโมเนียมฟอสเฟต (TRI-CIRCLE BRAND)
3. ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
4. กรดอะซิติก (AR grade, CARLO ERBA)
5. กรดบอริก (AR grade, CARLO ERBA)
6. กรดไนตริกเข้มข้น (AR grade, CARLO ERBA)
7. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (AR grade, CARLO ERBA)
8. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น (AR grade, CARLO ERBA)
9. กรดไฮโดรคลอริก (AR grade, CARLO ERBA)
10. กรดไนตริกเข้มข้น (AR grade, CARLO ERBA)
11. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (AR grade, CARLO ERBA)
12. กรดไฮโดรฟลูอริก (AR grade, CARLO ERBA)
13. เอมีนแอลกอฮอล์ (AR grade, CARLO ERBA)
14. โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (AR grade, CARLO ERBA)
15. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (AR grade, CARLO ERBA)
16. โพแทสเซียมไดโครเมต (AR grade, CARLO ERBA)
17. เพอร์ริสต์แอมโมเนียมซัลเฟต (AR grade, CARLO ERBA)
18. แอมโมเนียมอะซิเตท (AR grade, CARLO ERBA)
19. แอมโมเนียมออกซาลาต (AR grade, CARLO ERBA)
20. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (AR grade, CARLO ERBA)
21. แอมโมเนียมคลอไรด์ (AR grade, CARLO ERBA)
22. ซิลเวอร์ไนเตรต (AR grade, CARLO ERBA)
23. โซเดียมคลอไรด์ (AR grade, CARLO ERBA)
24. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade, CARLO ERBA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น MSBO20 CX1.5 ยี่ห้อ SUNYO
3. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Hetofrig CB60 VS ยี่ห้อ Heto
4. เครื่อง Heating Water Bath รุ่น Model WB 7/14/22/29/45
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 251 บริษัท Denver Instrument
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
7. เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrophotometer รุ่น D8ADVANCE บริษัท BRUKER AG
8. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 บริษัท B'U'CHI
9. ตู้ของ บริษัท Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP
10. ชุดย่อยสลาย (Microwave digestion) ของ บริษัท Milestone microwave Laboratory Systems รุ่น 1200 Mega
11. กระดาษกรอง Whatman GF/C เบอร์ 1
12. ตะแกรงร่อนขนาด 2.5 และ 10 เมช
13. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM NO. 1.152 H
14. แท่งแก้วสำหรับคนแบบ Plunger
15. เทอร์โมมิเตอร์
16. เครื่องแก้วสำหรับห้องปฏิบัติการ

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินที่เก็บรวบรวมจากตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตากเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน และทำการเตรียมดินตัวอย่าง

1. ผึ่งดินโดยเกลี่ยดินให้กระจายทั่วผืนที่รองกระดาษไว้ ผึ่งในห้องที่สะอาดไม่มีฝุ่นคลุ้ง
2. เลือกเศษหญ้า เศษหินออกให้หมดเท่าที่จะทำได้
3. เมื่อดินแห้ง บดดินด้วยครกบดดิน แล้วร่อนดินด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร
4. เก็บดินไว้ในถุงพลาสติกแบบปิดได้ เขียนเลขที่ตัวอย่างดิน แล้วเก็บไว้วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การศึกษาสมบัติของดินตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์หาสมบัติของดินตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช / 1:1(soil: water)
2. ความเป็นกรดของดิน	วิธีเบรียมกลอไรด์ไตรเอทานอลามีน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	การทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก (กรมวิชาการเกษตร, 2544)
4. ความชื้น	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 °C
5. เปรอร์เซ็นต์เนื้อดินสัผสม	ไฮโดรมิเตอร์
6. องค์ประกอบของดิน	เอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (XRF)
7. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	การออกซิเดชันแบบเปียก (กรมวิชาการเกษตร, 2544 )
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	Bray II (กรมวิชาการเกษตร, 2544)
9. ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด	เครื่องไมโครเวฟโคเจชัน/อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
10. ปริมาณแคดเมียมชะละลาย	TCLP/อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ทำยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6, 2540)

### 3.3.3 การศึกษาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

- นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยให้มีสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:1
- ตั้งทิ้งไว้นาน 3 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียร ไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, ปริมาณแคดเมียมที่ชะละลายด้วยวิธี TCLP และการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)
- ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตตามลำดับ
- ทำหาคความคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

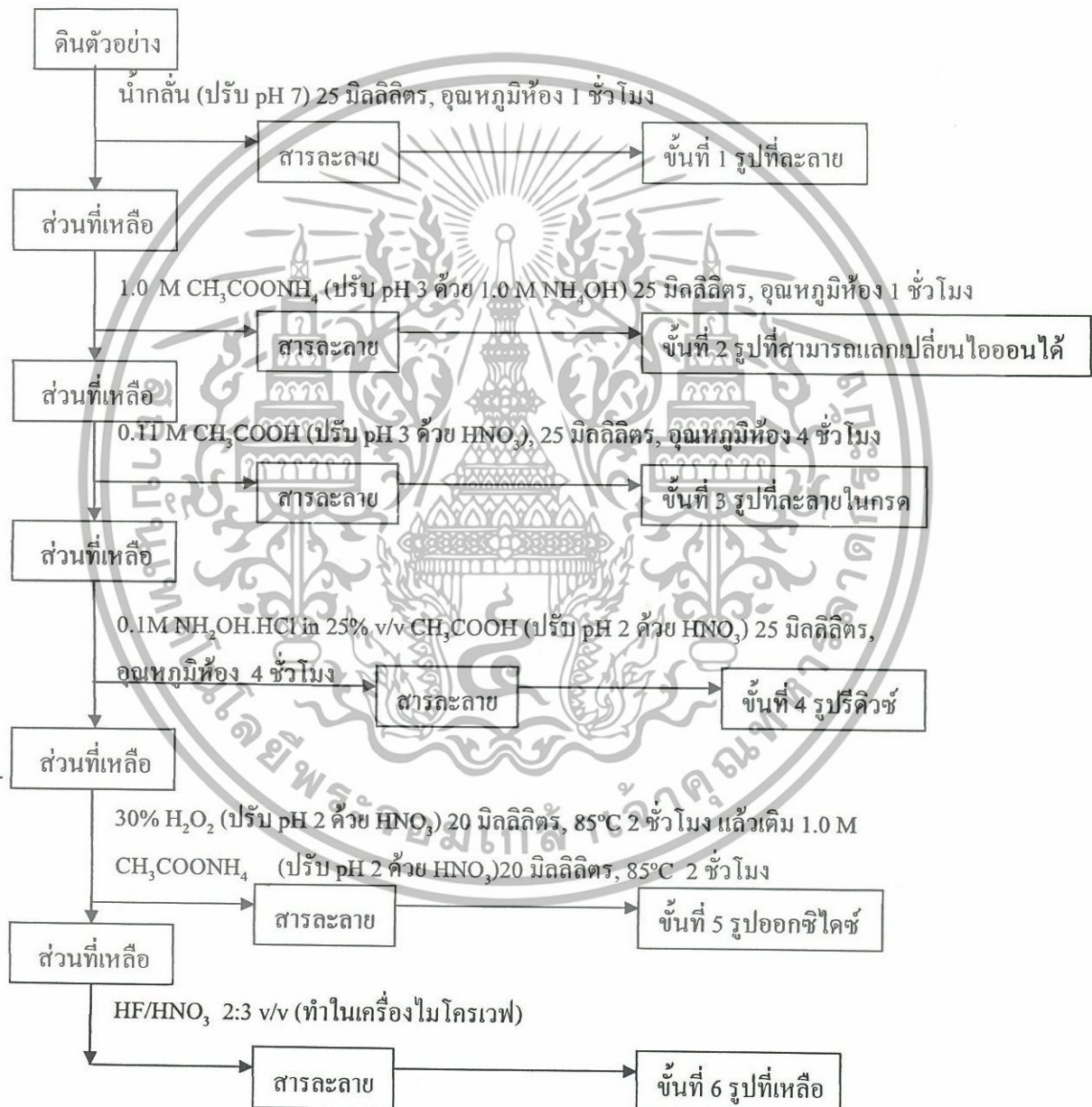
1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เดิมปุ๋ยฟอสเฟตที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.3 โดยให้มีสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 0.5:1
2. ตั้งทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, ปริมาณแคดเมียมที่ชะละลายด้วยวิธี TCLP และการสกัดแบบลำดับขั้น
3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเป็น 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ยฟอสเฟต

### 3.3.5 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เดิมปุ๋ยฟอสเฟตที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.3 และปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.4 โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสเป็น 1 สัปดาห์
2. ตั้งทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, ปริมาณแคดเมียมที่ชะละลายด้วยวิธี TCLP และการสกัดแบบลำดับขั้น
3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 2 และ 3 สัปดาห์ ตามลำดับ
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น

### 3.3.6 การศึกษารูปแบบของแคตเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

- นำดินอย่างภายหลังการปรับเสถียรมาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดิน รูปแบบของแคตเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรทำการศึกษาด้วยวิธี Sequential extraction อ้างอิงตามวิธีการของ (ปภานีย์, 2545) ซึ่งวิธีการทดลองสามารถสรุปได้ดังแผนภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ชนิดและปริมาณของตัวประสาน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ชนิดของตัวประสาน (binder) 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้แป้งทั้งสองชนิดเป็นตัวประสาน จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น, การทนแรงอัดและค่าดัชนีของการแตกร่วน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาโดยใช้อัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 โดยน้ำหนัก มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำถ่านไปทดสอบสมบัติในการจุดติดไฟ ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

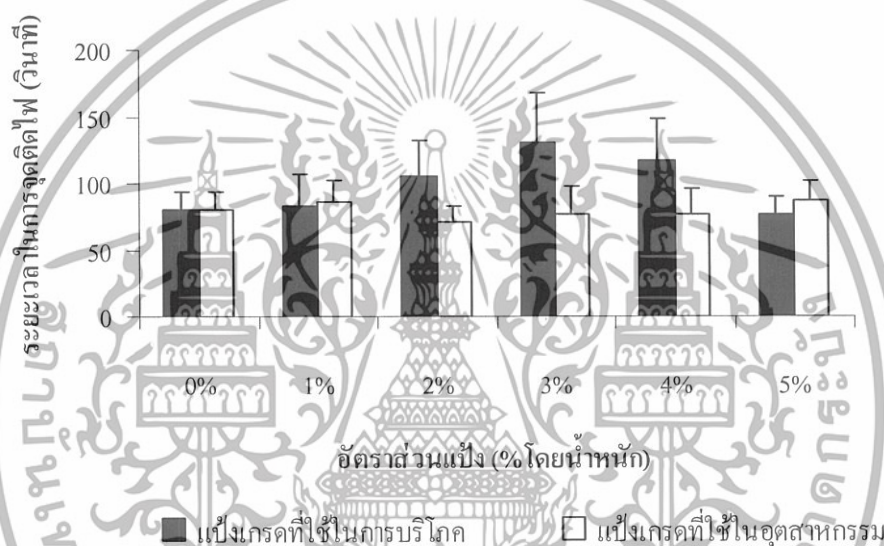
จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณตัวประสานที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม และทำการแปรอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 ชนิด เป็นดังนี้ 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบสกรูไม่ใช้ความร้อน จากนั้นนำไปเผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านจากกากใบชาที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังนี้คือ

##### 4.1.1 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

จากการศึกษาความคงตัวของเถ้าโดยนำถ่านมาเผาจนกลายเป็นเถ้า พบว่าชนิดและปริมาณของตัวประสานทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ เนื่องจากหลังการเผาไหม้เถ้าที่เหลือจะแตกร่วนและไม่มีความคงตัว ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีความสะดวกในการถ่ายเถ้าออกจากเตา ถ่านที่ผลิตได้จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน

#### 4.1.2 ระยะเวลาในการจุดติดไฟของถ่าน

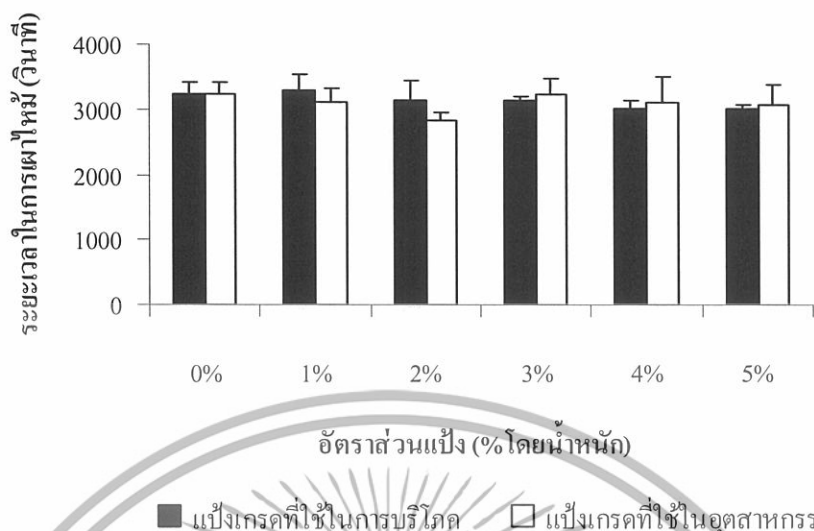
จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟของถ่าน โดยนำถ่านที่เตรียมได้มาทำการจุดไฟ ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มจุดจนกระทั่งถ่านติดไฟ พบว่าเมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองชนิด ระยะเวลาในการจุดติดไฟจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ด้วยวิธีการ T - test ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีระยะเวลาในการจุดติดไฟจะอยู่ในช่วง 43.86 วินาที ถึง 1 นาที 20 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟ

#### 4.1.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน

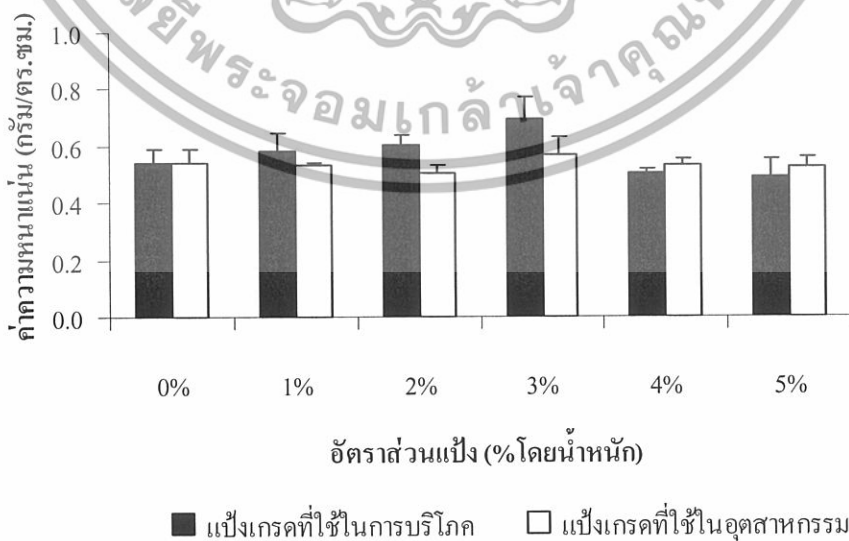
จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน โดยนำถ่านที่เตรียมได้มาทำการจุดไฟ แล้วทำการจับเวลาที่เริ่มติดไฟจนกระทั่งถ่านมอดกลายเป็นเถ้า พบว่าชนิดของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานไม่ทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้แตกต่างกัน โดยถ่านทั้งสองชนิดมีระยะเวลาในการเผาไหม้ตั้งแต่ 47 นาที 34 วินาที ถึง 55 นาที 7 วินาที ส่วนผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อระยะเวลาในการติดไฟก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการเผาไหม้

#### 4.1.4 ค่าความหนาแน่นของถ่าน

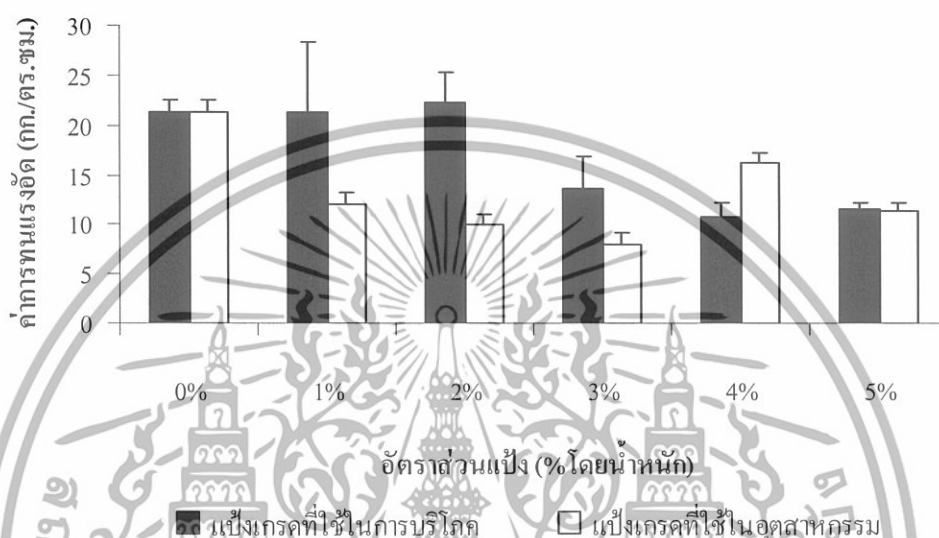
จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อความหนาแน่นของถ่าน ซึ่งทำได้โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของแท่งถ่านเพื่อคำนวณหาปริมาตรของเนื้อถ่าน แล้วนำถ่านนั้นไปชั่งน้ำหนัก นำค่าปริมาตรและน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่น พบว่าชนิดของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสาน ไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นของถ่านที่ได้แตกต่างกัน (รูปที่ 4.3) โดยถ่านที่ผลิตได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.4942 - 0.6963 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้พบว่าค่าความหนาแน่นของถ่านมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตถ่านเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น โดยประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 การทนแรงอัดของถ่าน

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อความสามารถในการทนแรงอัดของถ่าน โดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้จากการใช้ตัวประสานที่มีชนิดและปริมาณต่างกัน มาทำการอัดด้วยเครื่อง UTM เพื่อวิเคราะห์ค่าการทนแรงอัด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อการทนแรงอัดของถ่าน

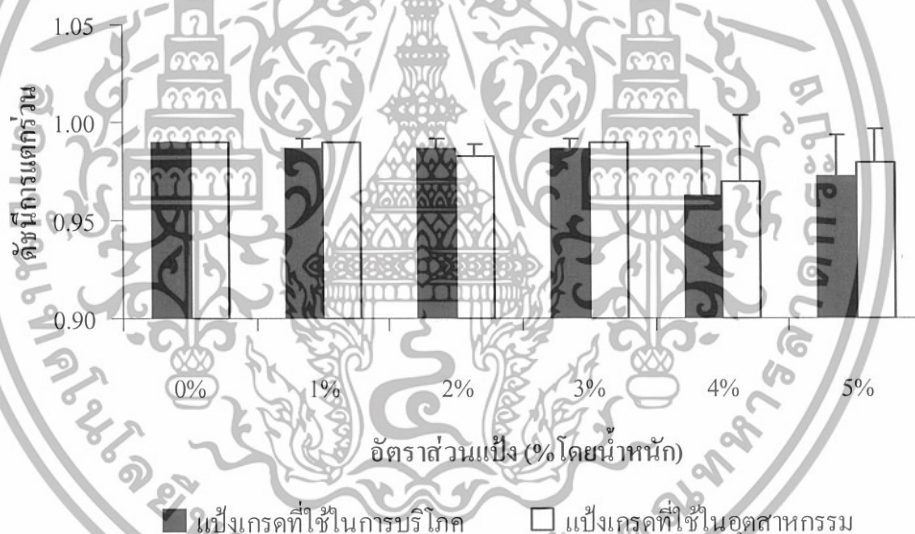
เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของตัวประสานต่อความสามารถในการทนแรงอัดของถ่าน (รูปที่ 4.4) พบว่า ถ่านที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมีความสามารถในการรับแรงอัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้แป้งทั้งสองเกรดในสัดส่วน 2% และ 4% โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้พบว่า ความสามารถในการทนแรงอัดของถ่านมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคมาใช้ในการผลิต โดยค่าการทนแรงอัดมีค่าลดลงจาก  $21.37 \pm 1.17$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็น  $11.62 \pm 0.76$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจาก 0 % เป็น 5% โดยน้ำหนัก ในกรณีของแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบว่า ค่าการทนแรงอัดมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกับเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคเป็นตัวประสาน โดยค่าการทนแรงอัดมีค่าลดลงอย่างเด่นชัดจาก  $21.37 \pm 1.17$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็น  $8.06 \pm 1.15$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจาก 0% เป็น 3% โดยน้ำหนัก สาเหตุที่ค่าการทนแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสานเนื่องมาจาก อุณหภูมิของกระบอกอัดอยู่ในช่วง 100-200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลของแป้งมันสำปะหลังที่อยู่ในช่วง 52-64 องศาเซลเซียส ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลของแป้งลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงกันข้าม ณ ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวของกระบอกอัด เป็นช่วงอุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้สารลิกโน-เซลลูโลสที่อยู่ในกากไบโชาหาลอมออกมาเป็นตัวประสาน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณตัวประสานจะเป็นการลดปริมาณของสารลิกโน-เซลลูโลส ทำให้ถ่านอัดแห้งจากกากไบโชาที่ผลิตได้มีค่าการทนแรงอัดลดลง

**4.1.6 ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน**

จากการศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านที่มีตัวประสานต่างชนิดและปริมาณแตกต่างกัน โดยนำถ่านอัดแห้งที่ได้มาทำการทดสอบโดยปล่อยจากที่สูง 1.80 เมตร เพื่อวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน หากค่าดัชนีการแตกร่วนเป็น 0.00 ถ่านอัดแห้งที่ผลิตได้จะเปราะ แตกง่าย แต่ถ้าค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 แสดงว่าถ่านอัดแห้งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน (Erikson and Prior, 1990) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแฉ่งที่ใช้ที่มีผลต่อดัชนีการแตกร่วนของถ่าน

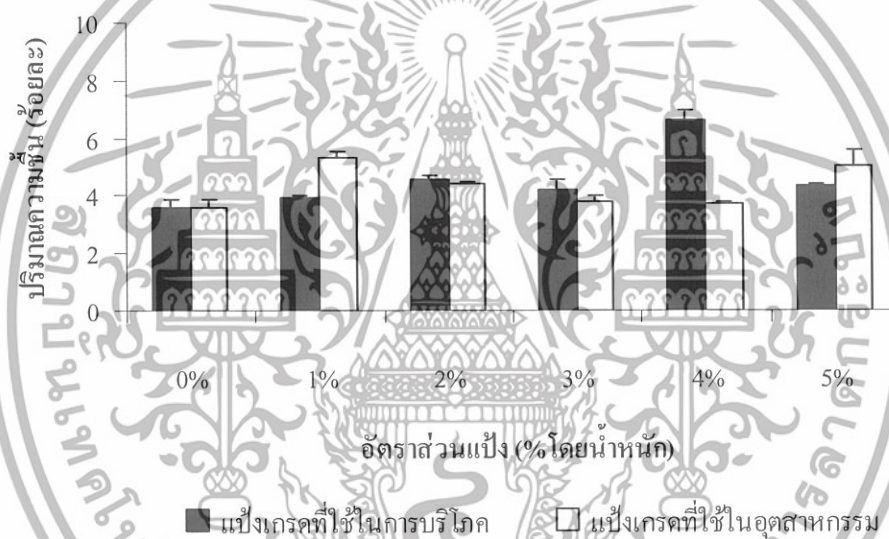
จากรูปที่ 4.5 พบว่า ชนิดและปริมาณของแฉ่งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตต่างกัน ไม่ทำให้ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้วิธีการ T-test ในการทดสอบ ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านที่ผลิตได้จะมีค่าใกล้เคียง 1.00

**4.1.7 ปริมาณความชื้นของถ่าน**

จากการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านโดยนำถ่านไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาทำการชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นของถ่าน พบว่า ชนิดของแฉ่งทั้งสองเกรดที่ใช้เป็นตัวประสานในการผลิตถ่าน ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผลิตได้ ยกเว้นอัตราส่วนของแป้ง 1% และ 4% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test โดยเมื่อใช้แป้งในอัตราส่วน 1% โดยน้ำหนัก แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีผลทำให้ถ่านที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นสูงกว่า ส่วนในกรณีที่ใช้แป้งในอัตราส่วน 4% โดยน้ำหนัก ผลที่ได้จะเป็นไปในทางตรงกันข้าม นอกจากนี้เมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมในช่วง 0-5% โดยน้ำหนัก ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นที่ 1% โดยน้ำหนักและมีแนวโน้มลดลงจนไม่มีความแตกต่างกันที่อัตราส่วน 3-5% โดยน้ำหนัก ส่วนแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดที่อัตราส่วน 4% โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 6.65 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

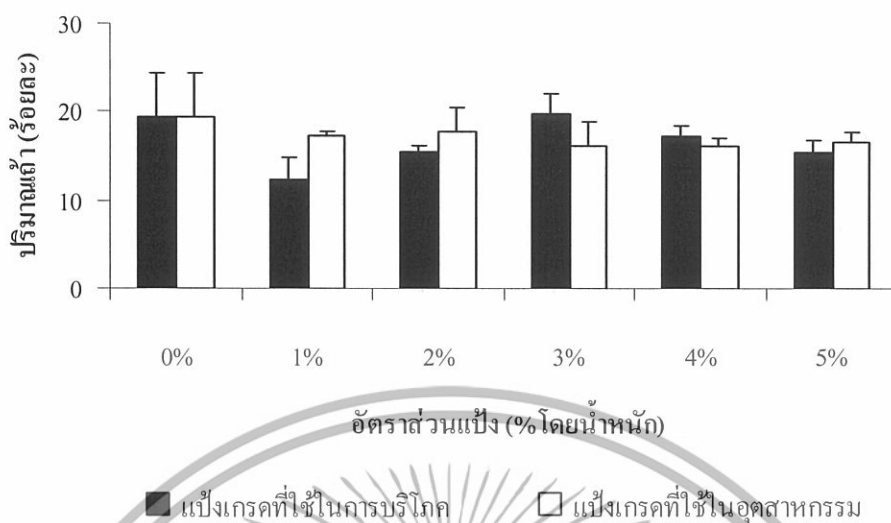


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณความชื้น

#### 4.1.8 ปริมาณเถ้าของถ่าน

จากการศึกษาปริมาณเถ้าของถ่าน โดยนำถ่านไปเผาในถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำเถ้าที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณเถ้า พบว่า ชนิดของแป้งทั้งสองเกรดที่ใช้ในการผลิตถ่าน ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ยกเว้นอัตราส่วนของแป้งที่ 3% โดยน้ำหนักที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test และที่อัตราส่วนดังกล่าว แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคจะมีผลทำให้ถ่านที่ผลิตได้มีปริมาณเถ้าสูงกว่า เมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้พบว่าปริมาณเถ้าของถ่านจะไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตถ่านเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7

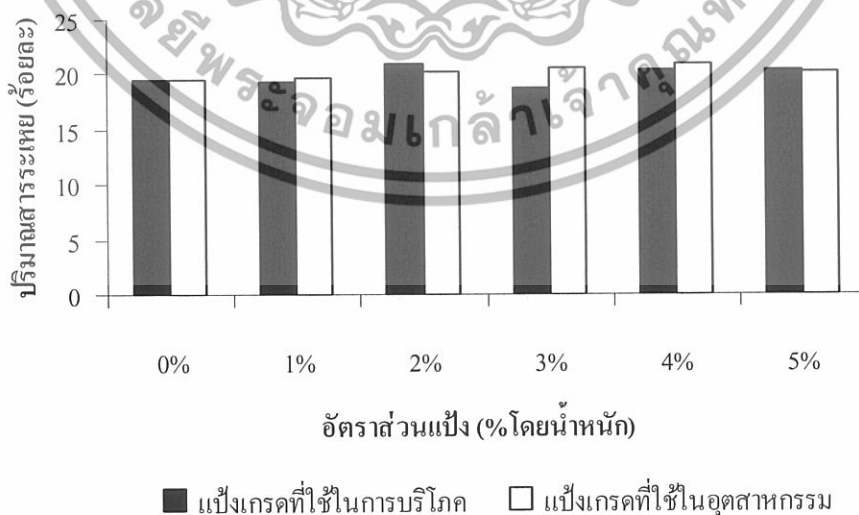
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณน้ำ

#### 4.1.9 ปริมาณสารระเหยของถ่าน

จากการศึกษาปริมาณสารระเหย โดยนำถ่านไปเผาในถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 นาที แล้วนำถ่านที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณสารระเหย พบว่า ถ่านที่ใช้ทั้งสองเกรดเป็นตัวประสานมีปริมาณสารระเหยที่ใกล้เคียงกัน เมื่ออัตราส่วนของน้ำอยู่ในช่วง 0-5% โดยน้ำหนัก ปริมาณสารระเหยของถ่านที่ได้จะมีค่าระหว่างร้อยละ 18.80-21.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.8

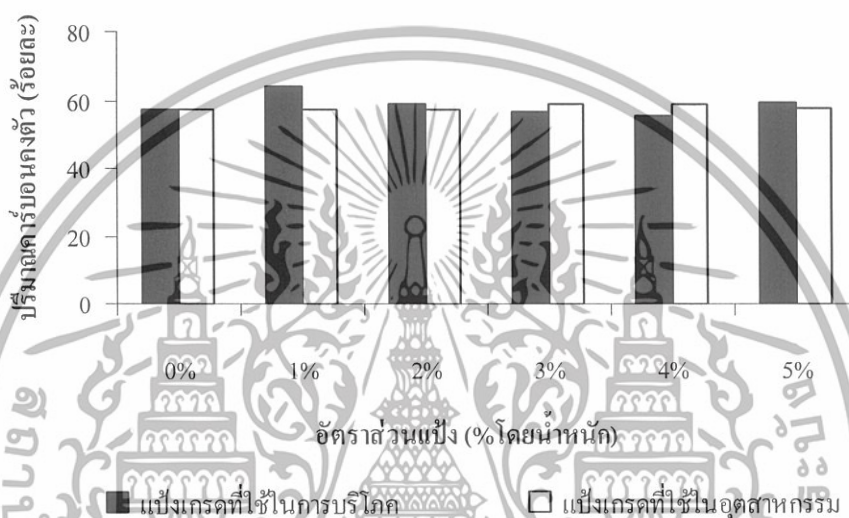


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณสารระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.10 ปริมาณคาร์บอนกั่วของถ่าน

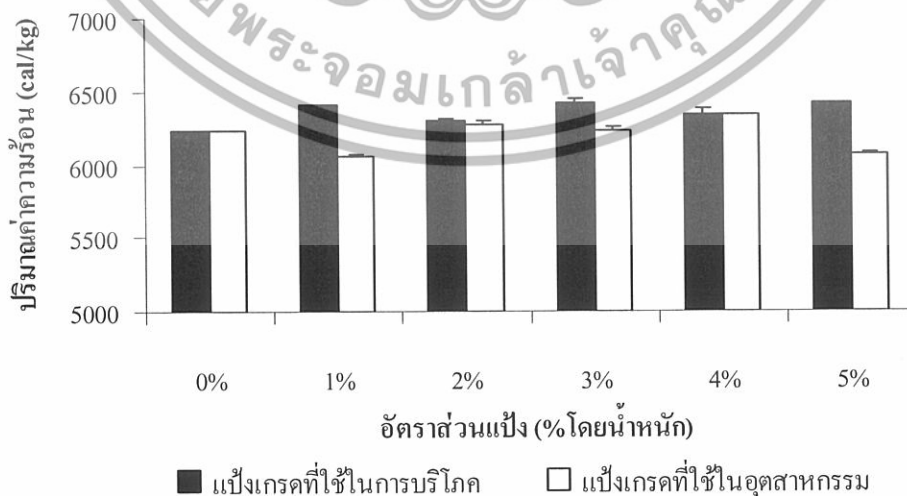
จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนกั่วโดยนำค่าปริมาณความชื้น, ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหยของถ่านที่ผลิตได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณคาร์บอนกั่ว พบว่า ชนิดของแป้งทั้งสองเกรดที่ใช้ในการผลิตถ่านจะมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนกั่วใกล้เคียงกัน เมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งทั้งสองเกรดในช่วง 0-5% โดยน้ำหนัก ปริมาณคาร์บอนกั่วของถ่านที่ได้จะอยู่ระหว่างร้อยละ 55.56 - 64.14 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนกั่ว

#### 4.1.11 ค่าความร้อนของถ่าน

จากการศึกษาค่าความร้อนของถ่านโดยนำถ่านที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าถ่านที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมีแนวโน้มของปริมาณค่าความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอัตราส่วนของแป้งที่ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test และที่อัตราส่วนดังกล่าว ถ่านที่มีแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคเป็นตัวประสานจะให้ปริมาณค่าความร้อนสูงกว่า และเมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคในช่วง 0- 5% โดยน้ำหนัก แนวโน้มของค่าปริมาณความร้อนจะเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 1% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นปริมาณของถ่านที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทำการแปรอัตราส่วนของแป้งในช่วงเดียวกันแนวโน้มของค่าปริมาณความร้อนจะไม่แตกต่างกันที่อัตราส่วน 0 - 4 % โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นค่าปริมาณความร้อนจะลดลง

#### 4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

จากการศึกษาโดยนำถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น 95:5 โดยน้ำหนัก มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปทดสอบการจุดติดไฟทันทีหลังจากเอทิลแอลกอฮอล์ที่เคลือบแข็งตัว พบว่า ถ่านอัดแท่งสามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อเริ่มทำการทดสอบ

#### 4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา กับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยนำช่วงค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีสัดส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และชมรมสวนป่าและผลิตภัณฑ์จากไม้ แสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับ  
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้

คุณสมบัติ	ถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	คุณสมบัติที่เหมาะสม ของถ่านอัดแท่ง
ค่าความร้อน(แคลอรีต่อกรัม)	6,066– 6,431	>5,000
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	12.49 – 19.84	<8
ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)	18.80 – 21.00	<25
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	55.56 – 64.14	>75
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3.61 – 6.65	<10
ความพรุน	N/A	สูง

- หมายเหตุ N/A หมายถึง Not Applicable

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ช่วงค่าคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณสารระเหย และปริมาณความชื้น ส่วนค่าคุณสมบัติที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน คือ ปริมาณเถ้าเนื่องจากมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ค่อนข้างมาก รวมถึงปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มีช่วงค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานิวตริกและปริมาณตัวประสานที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม และทำการแปรอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 ชนิด เป็นดังนี้ 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำถ่านจากกากใบชาที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาไม่ทำให้เกิดความแตกต่างต่อคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ, ระยะเวลาในการเผาไหม้, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น และค่าดัชนีของการแตกร่วน อย่างไรก็ตามพบว่าชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้จะมีผลต่อค่าการทนแรงอัดของถ่าน โดยมีแนวโน้มของความสามารถในการทนแรงอัดลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคในอัตราส่วน 2% โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการทนแรงอัดสูงที่สุดเป็น 22.34 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการศึกษาทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่าชนิดของตัวประสานและอัตราส่วนของตัวประสานที่เปลี่ยนไปรวมถึงการไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาไม่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของถ่านที่ได้ โดยการไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปจะให้ค่าการทนแรงอัดที่ไม่แตกต่างจากการใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคในอัตราส่วน 2% โดยน้ำหนัก เป็นตัวประสาน ดังนั้นในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาจึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสานเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟ โดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าความสามารถในการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาดีขึ้น โดยสามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อเริ่มจุดไฟ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา กับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และชมรมสวนป่าและผลิตภัณฑ์จากไม้ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ผลิตได้มีค่าความร้อน 6,066 – 6,431 แคลอรีต่อกรัม ส่วนปริมาณสารระเหยและปริมาณความชื้นมีค่าร้อยละ 18.80 – 21.00 และร้อยละ 3.61 – 6.65 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ในส่วนของปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยปริมาณเถ้ามีค่าร้อยละ 12.49 – 19.84 โดยน้ำหนัก เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อย่างเห็นได้ชัด ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าร้อยละ 55.56 – 64.14 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงการนำเปียงชนิดอื่นๆ มาใช้แทนเปียงมันสำปะหลังในการขึ้นรูป แม้ว่าจากการศึกษาพบว่า การไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากไบชาจะสามารถทำได้และไม่มีผลต่อสมบัติของถ่านที่ได้ก็ตาม เนื่องจากเปียงแต่ละชนิดมีปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน อาจทำให้ความเหนียวในการเป็นตัวประสานแตกต่างกัน

2. ควรศึกษาการนำวัสดุอื่นๆ มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา ให้เป็นไปตามมาตรฐาน เช่นการเติมชีวมวลบางชนิดที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง เพื่อให้ค่าความร้อนของถ่านมีปริมาณสูงขึ้น เป็นต้น

3. ควรศึกษาถึงคุณสมบัติของเอทิลแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากไบชา เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์มีจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสจึงควรระมัดระวังในการเก็บรักษา รวมถึงคุณสมบัติของเอทิลแอลกอฮอล์อาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อผ่านการเคลื่อนเป็นระยะเวลานาน

4. ควรศึกษาการนำกากชาไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม โดยนำคุณสมบัติเด่นอื่นๆ ของกากไบชาไปใช้ เช่น ศึกษาการนำกากชาไปใช้ในด้านการใช้บำบัดด้วยกลิ่นหอม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546. การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน

[online]. Available: <http://www.dede.go.th>

กรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศ. 2546. สถานการณ์พลังงานทดแทนภายในประเทศ 2546.

[online]. Available: <http://www.mfa.go.th>

กนกรัตน์ ฟู้เจริญ และยุพา เมืองทอง. 2544. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขุ่น. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กัญจนา บุญเกียรติ และเพียรพรรค ทศดร. 2532. การอัดเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้. ใน การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 2 เรื่อง พลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กาญจนกร เคสางาม และวิมลมาศ เมืองแก่น. 2541. การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลัง(I). ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว. 2530. การศึกษาการทำเชื้อเพลิงแข็งจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากสำเหล้าและกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ.

ถนอมลาภ เต็มพงศ์พอจิต และพรศักดิ์ เตอศักดิ์ธนากร. 2541. การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลัง(II). ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทองม้วน นาเสงี่ยม. 2524. พลังงานทดแทนจากใบจำลา. รายงานการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูมหาสารคาม. เอกสารอัดสำเนา.

นารา พิทักษ์อรธณพ. 2529. อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้. ใน เอกสาร

ประกอบการสัมมนาทางวิชาการ, หน้า 10. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- นรินนาม. 2546. สารระ...ชา. [online]. Available: <http://www.lib.ru.ac.th>.
- นรินนาม. 2547. ถ่าน. [online]. Available: <http://www.Charcoal.SNMcenter.com>
- นรินนาม. 2548. ถ่านหิน. [online]. Available: <http://www.egat.co.th/fuel/lignite/coal.html>.
- ประลอง คำรงไทย. 2547. แหล่งเชื้อเพลิงเขี้ยวทดแทนฟืนและถ่าน. [online]. Available: <http://www.Charcoal.SNMcenter.com>
- มงคล ไช่มุก. 2535. การนำฟืนมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. มนตรี จุฬาวัดมนทล และคณะ. 2530. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วนิดา จาคดำ. 2548. การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2529. เชื้อเพลิงเขียว(โครงการเชื้อเพลิงแข็ง). กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ. 2528. การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบเพเลทจากพืชบางชนิด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2548. การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ. [online]. Available: <http://www.Charcoal.SNMcenter.com>
- สุทธิพงษ์ พงษ์วร. 2548. ทำไมเราต้องกินผัก. [online]. Available: <http://www.ipst.ac.th/biology/Bio/Article/mag-content30.html>.
- สมชาย โอสุวรรณ และกัญจนา บุญเกียรติ. 2525. การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน. วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง. 1: 75-79.
- สมเจตน์ กิ่งโพธิ์. 2546. เผาไม้ให้กลายเป็นเงิน, หน้า 25-46. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สามเจริญพานิช จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สำนักสารนิเทศ. 2541. **เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย**. [online]. Available:  
[http://www.forest.go.th/stat41/Forest\\_area.html-2k](http://www.forest.go.th/stat41/Forest_area.html-2k)
- สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **พลังงานเพื่อความเข้าใจใช้อย่างรู้คุณค่า  
พัฒนาสู่ความยั่งยืน**. [online]. Available: [http://www.eppo.go.th/doce/index\\_right.htm](http://www.eppo.go.th/doce/index_right.htm).
- โสภิตา บุญเอกทรัพย์, สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และจิรพันธ์ เนื่องจากนิล. 2542. **การสกัดแป้งจากหัวมัน  
สำปะหลัง**. โครงการวิจัย สถาบันพัฒนาและฝึกอบรม โรงงานต้นแบบ.
- อาทิตย์ มลทอง. 2536. **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่าน  
ลิกไนท์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ASTM. 1992. **Annual Book of ASTM Standard Section 5**. America: American Society for  
Testing and Material.
- Aqa, S. 1990. **A study of Densification of Preheated Sawdust**. Master Thesis AIT Thailand.
- Best, G., Rome, F. and Christensen, J. 2000. **Role of biomass in global energy supply**. [online].  
Available: [http://www.risoc.dk/rispub/energy\\_report/ris-r-1430s8\\_12.df](http://www.risoc.dk/rispub/energy_report/ris-r-1430s8_12.df)
- Bhattacharya, S.C., Ram, M., Sivasakthy, S. and Shrestha, S. 1988. **State of the Art for Biocoal  
Technology**. Biocoal Project AIT-GTZ.
- Bryand, B. 1985. **Understanding Briquetting**. Volunteers in Technical Assistance (VITA).
- Crepean, P. et al. 1983. French Patent No.2544327. Quoted in the **literature Survey Report on  
Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing** for ITDG by BEST in March 1987.
- Erikson, S. and Prior, M. 1990. **Technical Aspects of briquette**. [n.p.].
- Fitzgerald, O.A. 1980. **Wood Waste Magic**. Timer information. American Ingenuity and  
Enterprise Solve One of the Problem of Waste of Natural Resources: No.24.
- Husain, Z., Zainac, Z. and Abdullah, Z. 2002. Briquetting of palm fiber and shell from the  
processing of palm nut to palm oil. **Biomass & Bioenergy**. 22: 505-509.
- ITDG., 1984. **Small Scale Briquetting**. Project 470. Intermediate Technology Development  
Grop. Rugby. United Kingdom: 3-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Karchesy, J. and Koch, P. 1979. **Energy Production from Hard Woods Growing on Southern Pine Sites**. General Technical Report SO-24. USDA Forst Service.
- Kazuyoshi, 2002. **Utilization of Use Tea**. [online]. Available:  
<http://www.ocha.net/english/teacha/detail/-e.asp>.
- Mishra, L.K. and Grover, P.D. 1996. **Biomass Briquetting**. Technology and Practices. Bangkok: Food and Agriculture Organization the United Nations Bangkok.
- Ndiema, C.K.W., Manga, P.N. and Ruttoh, C.R. 2001. Influence of die pressure on relaxation characteristics of briquetted biomass. **Energy Conversion and Management**. 43: pp. 2157-2161
- Ooi, C. C. and Siddiqui, K.M. 2000. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. **Biomass & Bioenergy**. 18(3): 233-228.
- Reed, T. and Bryant, B. 1978. **Densified Biomass**. A new Form of Solid Fuel. SERI Report 35. The Solar Energy Research Institute, Colorado. U.S.A.
- Reed, et al. 1980. Biomass Densification Energy Requirements. AXS Symposium Series 130. **Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass**. America Chemical Society, pp. 169-177.
- Rougerie, J.L. 1980. France Patent No. 24716120. Quoted in **the literature Survey Report on Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing** for ITDG by BEST in March 1987.
- Stienswat, W. and Buachanda, V. 1986. Green Fuel-Potential Feedstock for Gasifier. **Proceedings of Regional Training Workshop on Energy from Biomass**. King Mongkut' Institute of Technology, Bangkok Thailand: pp. 132-147. 3-7 March 1986.
- Wayne, C. 1999. Using cotton plant residue to produce briquettes. **Biomass & Bioenergy**. 18: 201-208.
- Yaman, S., Sahan, M., Haykiri-acma, H., Sesen, K. and Kucukbarak, S. 2002. Production of flues briquettes from olive refuse and paper mill waste. **Fuel Processing Technology**. 68: 23-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

เป็นการวิเคราะห์โดยปริมาณ (Proximate analysis)

### 1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างไปอบในตู้ที่มีความร้อนคงที่ ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ : ตู้อบ (Drying Oven), โถดูดความชื้น (Desiccators) และถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาปิด  
วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดสอบ ประมาณ 1 กรัม ใต้งในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปในตู้อบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ และปิดฝา แล้วปล่อยให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(A-B)}{B} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ (กรัม)  
B = น้ำหนักตัวอย่างทดสอบหลังอบ (กรัม)

### 1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟ รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace), โถดูดความชื้น (Desiccators) และถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ :

1. เผลถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1
3. นำเข้าเตาพร้อมฝา เผลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 องศาเซลเซียส เผลประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{[(A-B)/C] \times 100}{1}$$

เมื่อ

A	=	น้ำหนัก Crucible ตัวอย่าง และ เถ้าที่เหลือจากการเผา (กรัม)
B	=	น้ำหนัก Crucible เปล่า (กรัม)
C	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $950 \pm 20$  องศาเซลเซียส ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace), โถดูดความชื้น (Desiccators), ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝา และนำไปเผาที่อุณหภูมิ  $950 \pm 20$  องศาเซลเซียส 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss)

$$\text{Weight Loss (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100$$

เมื่อ

A	=	น้ำหนักตัวอย่างทดลอง (กรัม)
B	=	น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. กำหนดหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

$$\text{Volatile Matter (\%)} = \text{C-D}$$

$$\text{เมื่อ C} = \text{Weight Loss (\%)}$$

$$\text{D} = \text{ความชื้น (\%)}$$

### 1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว (\%)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{ปริมาณเถ้า} + \% \text{ปริมาณสารระเหย})$$

### 1.5 การหาปริมาณความร้อน (Heating value)

ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 5865 โดยนำตัวอย่างของสารมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

เครื่องมือ : เครื่อง Bomb Calorimeter, ถังออกซิเจน, ลวด, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการ :

1. อัดเม็ดตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.9-1.0 กรัม
2. ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดของตัวอย่างที่อัดได้ใส่ในถ้วยโลหะ
3. ผูกลวดเผาไหม้ 10 เซนติเมตร ไว้กับเครื่องมือให้แน่น โดยให้ส่วนล่างของเส้นลวดแตะกับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Bomb
5. อัดออกซิเจนลงใน Bomb ให้มีความดันประมาณ 28-30 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำลงใน Jacket ประมาณ 2,000 มิลลิลิตร
7. นำ Bomb ที่ใส่ตัวอย่าง และออกซิเจนเรียบร้อยแล้วลงไปลงใน Jacket
8. สังกะสีสัญญาณไฟที่ปุ่ม READY เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิเริ่มต้น ( $T_1$ ) โดยกดปุ่ม FIRE เพื่อเป็นการจุกระเบิด
9. อ่านค่าอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที จนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุด และคงที่
10. นำ Bomb ออกมา แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนเปิดฝา
11. ล้างภายใน Bomb ด้วย wash solution (เตรียมโดย เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ปริมาตรเป็น 1 ลิตร) จนน้ำล้างไม่มีสีชมพู เก็บน้ำล้างไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. วัดความยาวของลวดที่เหลือ บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. นำน้ำที่ได้จากข้อ 11 มาไตเตรทกับสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ค่าปริมาณความร้อน} = [(\Delta T)(w) - E_1 - E_2 - E_3] / g$$

เมื่อ	$\Delta T$	=	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ( $T_2 - T_1$ ); (องศาเซลเซียส)
	W	=	พลังงานคงที่ของเครื่อง Calorimeter ซึ่งหาได้จากใช้ Benzoic acid แทนตัวอย่างทดลอง (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
	$E_1$	=	1.4 × ml. ของสารละลาย $\text{Na}_2\text{CO}_3$ เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล (แคลอรี)
	$E_2$	=	$(332 \times 2.479 \times 10^{-3})$ (ความยาวของหลอดที่ถูกเผาไหม้) (แคลอรี)
	$E_3$	=	$4180 \times 8.80 \times 10^{-3} \times$ น้ำหนักหลอด (แคลอรี)
	G	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (กรัม)

## 2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

### 2.1 ระยะเวลาเวลาในการจุดติดไฟ และความคงตัวของถ้ำ

อุปกรณ์: ชุดคัมเหล็ก, เตาอั้งโล่, แผ่นสังกะสี และไฟแช็ค

วิธีการ :

- นำตัวอย่างถ้ำนอัดแท่งมา 3 แท่ง แบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม โดยตัดให้พื้นที่ผิวหน้าตัดของถ้ำเรียบเสมอกันทั้ง 2 ด้าน
- นำมาเผาในเตาอั้งโล่ที่จุดไฟด้วยฟืนน้ำหนักประมาณ 15 กรัม
- บันทึกเวลาเมื่อตัวอย่างเริ่มติดไฟ (นาฬิกา)
- รอกจนถ้ำเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักถ้ำ
- วางแผ่นสังกะสีลงบนถ้ำ
- วางคัมเหล็กลงบนแผ่นสังกะสี โดยเริ่มจากคัมเหล็กที่มีน้ำหนักเบา ก่อน แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักของคัมเหล็กไปเรื่อยๆ จนถ้ำแตกออก
- บันทึกน้ำหนักคัมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

การหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และขนาด (Dimension) ของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้

อุปกรณ์ : เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และเวอร์เนียคาลิเปอร์

วิธีการ :

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถ่านอัดแท่ง ( $D_1$ )
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถ่านอัดแท่ง ( $D_2$ )
3. วัดความสูงของถ่านอัดแท่ง ( $h$ )
4. ชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง ( $m$ )
5. คำนวณหาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากสมการ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\rho = \frac{4m}{\pi h(D_1^2 - D_2^2)}$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น (Bulk Density)

หมายเหตุ : ความหนาแน่นที่ได้เป็นความหนาแน่นโดยประมาณ

## 2.3 การทดสอบค่าการทนแรงอัด (Compressive Strength)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัด โดยค่าการทนแรงอัดเป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้จากการทดลองใช้แรงกดลงบนแท่งเชื้อเพลิง

อุปกรณ์ : เครื่อง Universal Testing Machine, เลื่อย และเครื่องเจียร

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30 มิลลิเมตร แล้วนำมาขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยเครื่องเจียร
2. นำถ่านไปวางในแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) แล้วทำการทดสอบค่าการทนแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\sigma_c = F/A$$

เมื่อ	$\sigma_c$	=	การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
	F	=	แรงอัดที่กระทำกับตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (กิโลกรัม)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (ตารางเซนติเมตร)

#### 2.4 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038 เพื่อหาความสามารถของถ่านอัดแท่งที่จะมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน

อุปกรณ์ : เครื่องชั่งน้ำหนัก, ถังพลาสติกแบบซีลล็อก และตะแกรงขนาด 25 มิลลิเมตร

วิธีการ :

- นำถ่านอัดแท่งใส่ถังพลาสติกประมาณ 300 กรัม แล้วปล่อยให้สูง 1.8 เมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ ซ้ำๆ กัน 3 ครั้ง
- นำถ่านไปร่อนผ่านตะแกรง นำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) หรือ (Shatter Index) ได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$R = W_f / W_i$$

เมื่อ	R	=	ดัชนีการแตกร่วน
	$W_f$	=	น้ำหนักของถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ (กรัม)
	$W_i$	=	น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ(กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

### ตารางที่ ข.1 ปริมาณความชื้นของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	3.43	3.46	3.93
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	3.89	3.96	4.04
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	4.68	4.65	4.36
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	4.58	4.00	4.19
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	7.06	6.51	6.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	4.41	4.32	4.41
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	5.18	5.55	5.37
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	4.53	4.48	4.39
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	3.99	3.90	3.61
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	3.73	3.81	3.77
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	4.51	5.63	5.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ปริมาณเก่าของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณเก่า (ร้อยละ)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	21.62	22.83	13.64
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 1%	15.05	10.64	11.79
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 2%	15.21	16.26	14.96
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 3%	21.22	21.1	17.19
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 4%	18.7	16.19	16.97
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 5%	13.81	16.85	15.79
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	17.51	17.82	16.72
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	20.25	18.28	14.87
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	16.81	18.5	13.24
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	16.89	16.47	15.34
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	17.29	17.32	15.34

ตารางที่ ข.3 ปริมาณสารระเหยของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)
ไม่ใช้ตัวประสาน	19.50
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 1%	19.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 2%	21.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 3%	18.80
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 4%	20.50
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 5%	20.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	19.70
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	20.30
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	20.60
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	21.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	20.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)
ไม่ใช้ตัวประสาน	57.53
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 1%	64.14
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 2%	58.96
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 3%	57.11
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 4%	55.56
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 5%	59.74
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	57.58
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	57.43
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	59.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	59.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	58.08

ตารางที่ ข.5 ค่าความร้อนของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ไม่ใช้ตัวประสาน	6,224.2	6,239.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 1%	6,414.4	6,417.1
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 2%	6,311.3	6,292.3
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 3%	6,446.8	6,404.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 4%	6,322.1	6,378.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโกล 5%	6,429.6	6,433.8
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	6,070.8	6,062.4
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	6,266.0	6,303.3
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	6,229.6	6,258.6
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	6,344.8	6,340.5
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	6,084.1	6,071.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากไบโชา

### ตารางที่ ข.6 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ความคงตัวของเถ้า
ไม่ใช้ตัวประสาน	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	ไม่คงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	1.05	1.23	1.35
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 1%	1.42	1.32	0.57
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 2%	2.12	1.18	0.49
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 3%	2.26	2.39	1.29
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 4%	2.22	1.21	2.10
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 5%	1.29	1.20	1.03
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	1.07	1.33	1.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	1.18	0.59	1.20
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	1.14	0.57	1.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	1.39	0.55	1.25
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	1.14	1.23	1.45

ตารางที่ ข.8 ระยะเวลาในการเผาไหม้

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ระยะเวลาในการเผาไหม้ (นาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	52.11	52.10	57.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 1%	53.28	59.36	52.17
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 2%	56.39	54.01	46.59
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 3%	52.43	51.04	53.28
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 4%	49.44	49.17	52.33
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภครวม 5%	48.38	50.48	51.10
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	47.41	55.04	52.21
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	48.28	45.34	48.42
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	49.49	55.26	57.11
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	51.37	42.03	45.27
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	47.44	57.01	49.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ค่าความหนาแน่น

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ความหนาแน่น (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	0.5161	0.5077	0.5953
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.5399	0.6598	0.5437
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.6140	0.5692	0.6367
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.7501	0.6029	0.7360
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.5094	0.4914	0.5202
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.5636	0.4548	0.4643
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	0.5225	0.5414	0.5404
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.4789	0.5285	0.5155
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.5626	0.5128	0.6338
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	0.5571	0.5184	0.5406
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	0.4989	0.5603	0.5293

ตารางที่ ข.10 ค่าการทนแรงอัด

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ค่าการทนแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	20.21	21.34	22.55
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	15.49	19.32	29.25
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	25.13	22.90	18.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	12.42	11.14	17.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	11.67	11.60	9.33
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	11.19	12.49	11.17
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	10.61	12.87	12.75
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	10.66	9.08	10.62
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	8.72	6.73	8.73
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	16.90	16.94	15.13
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	12.02	10.51	11.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 คชนิการแตกรวน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	คชนิการแตกรวน		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
ไม่ใช่ตัวประสาน	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.99	0.98	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.99	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.99	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.96	0.99	0.94
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.99	0.95	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.98	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	0.99	0.93	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	0.96	0.99	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สมมติฐานและขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน คือ คำตอบที่ผู้ทดสอบ ผู้วิจัยคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุผล ข้อมูลที่ถูกสุ่มมาจากประชากร (ตัวอย่าง) จะถูกใช้เพื่ออ้างอิงค่าพารามิเตอร์ของประชากร ดังนั้น เมื่อมีการทดสอบสมมติฐาน จะเป็นการทดสอบว่าค่าพารามิเตอร์มีค่าเป็นอย่างไรที่ได้คาดการณ์ไว้หรือไม่

สมมติฐานจะมี 2 ประเภท คือ

- สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis)  $H_0$
- สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis)  $H_a$

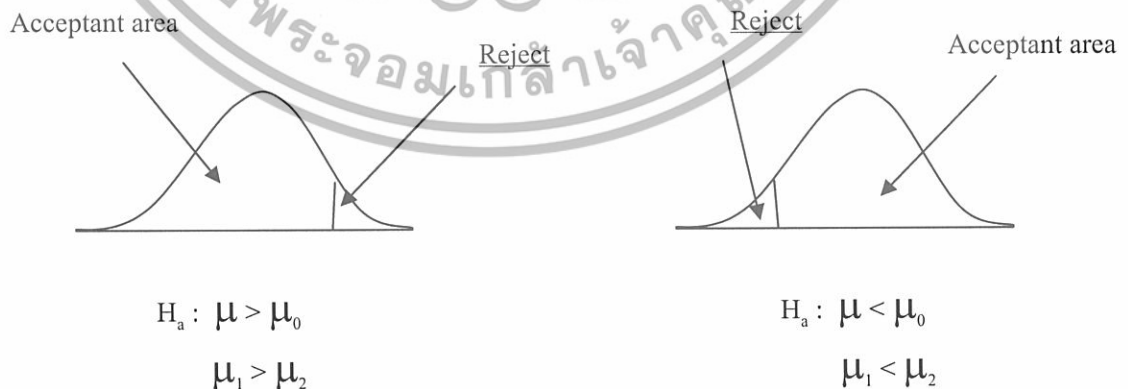
ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

1. ตั้งสมมติฐาน (โดยการตั้งสมมติฐานรอง)
2. กำหนดตัวสถิติในการทดสอบ
3. กำหนดระดับนัยสำคัญ
4. คำนวณค่าสถิติ
5. คำนวณค่าวิกฤติ (Critical Value)
6. เปรียบเทียบ ค่าคำนวณ (ข้อ 4) กับ ค่าวิกฤติ (ข้อ 5)
7. สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานมี 2 ประเภท คือ

1. การทดสอบสมมติฐานแบบมีทิศทาง (Direction test, One-tailed test)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

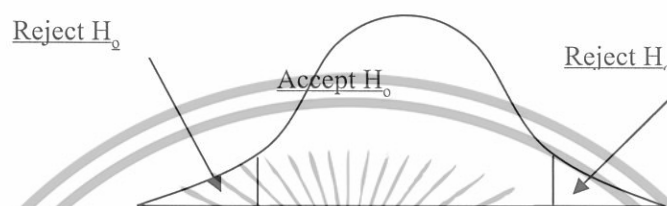
2. การทดสอบสมมติฐานแบบไม่มีทิศทาง (Non-Direction test, Two-tailed test)

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$



ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติที่เลือกใช้ในการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเขตวิกฤติ (Critical region) จะปฏิเสธ  $H_0$  และจะยอมรับ  $H_a$  ซึ่งจะเรียกผลการทดสอบสมมติฐานว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (Significance)

ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติไม่อยู่ในเขตวิกฤติจะยอมรับ  $H_0$  แสดงว่า ผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม โดยใช้ T-test คุณลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ T-test ต้องมีลักษณะ ดังนี้

1. ข้อมูลอยู่ในระดับมาตราอัตราภาค (interval scale) หรืออัตราส่วน (ration scale)
2. มีกลุ่มตัวอย่าง 1 หรือ 2 กลุ่ม
3. กลุ่มตัวอย่างสุ่มจากประชากร
4. คะแนนเป็นการแจกแจงปกติ
5. ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร (ถ้าทราบความแปรปรวนของประชากร ให้ใช้ Z-test)
6. ถ้าคะแนนของกลุ่มตัวอย่างอิสระจากกันใช้ T-test แบบ Independent ถ้าคะแนนของ

กลุ่มตัวอย่างกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระจากกันใช้ T-test แบบ Dependent หรือ related data

7. ควรมีการทดสอบความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่ม เพื่อเลือกใช้สถิติในการทดสอบถ้าคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS โปรแกรมจะทำการทดสอบความแปรปรวนให้เอง 2 ค่า คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่เท่ากัน (equal variances assumed) และ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เท่ากัน (equal variances not assumed)

ขั้นตอนการทดสอบด้วย T-test

1. กำหนด  $H_0$ ,  $H_1$  และ ค่านัยสำคัญ (significance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บันทึกคะแนนของทั้ง 2 กลุ่ม หาค่า  $ED_1$  และ  $ED_2$  (สำหรับ T - test แบบ Dependent) และ หาค่า  $X$  และ  $S^2$  (สำหรับ T - test แบบ Independent)
3. หาค่า  $t$
4. หาค่า  $df$  (T - test แบบ Dependent  $df = N - 1$ ) และ T - test แบบ Independent  $df = n_1 + n_2 - 2$ )
5. หาค่าวิกฤต จากตาราง T และสอดคล้องกับระดับนัยสำคัญ
6. เปรียบเทียบค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณ กับค่า  $t$  ที่ได้จากรายการ ถ้าค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณ  $<$  ค่า  $t$  ที่ได้จากรายการ ให้ยอมรับ  $H_0$  ถ้า ค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณ  $> =$  ค่า  $t$  ที่ได้จากรายการ ให้ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$
7. สรุปผล จะสนับสนุน หรือ ไม่สนับสนุนสมมติฐานการวิจัย  
การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการทดสอบสมมติฐาน

SPSS: Statistical Package for Social Sciences

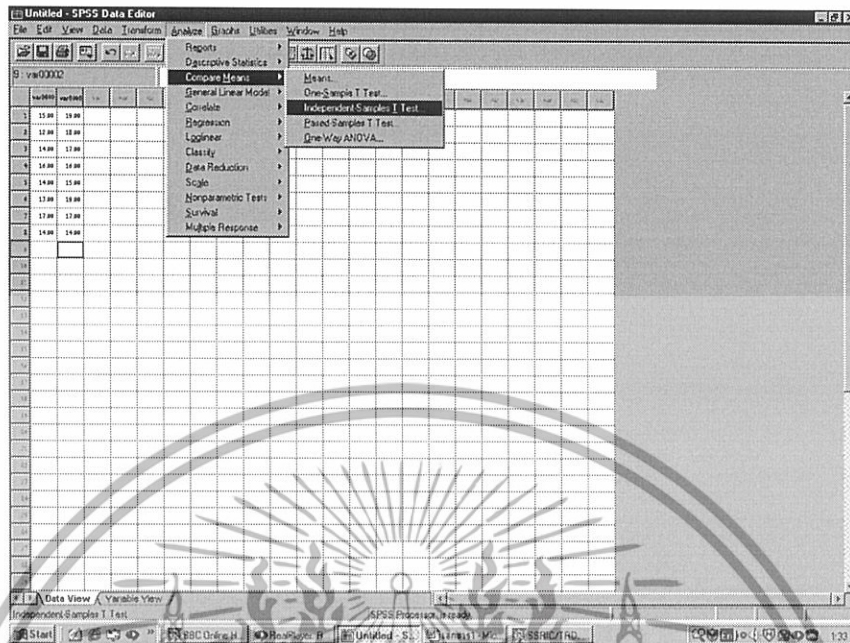
กรณีที่มีการสุ่มข้อมูลมาจากสองประชากร ข้อมูลที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 อยู่ในคอลัมน์ที่ 1 และข้อมูลที่สุ่มมาจากประชากรที่ 2 อยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ตามลำดับ จะปรากฏดังรูปต่อไปนี้

row	column 1	column 2
1	15.00	1.00
2	12.00	1.00
3	14.00	1.00
4	16.00	1.00
5	14.00	1.00
6	13.00	1.00
7	17.00	1.00
8	14.00	1.00
9	19.00	2.00
10	18.00	2.00
11	17.00	2.00
12	18.00	2.00
13	17.00	2.00
14	16.00	2.00
15	15.00	2.00
16	19.00	2.00
17	17.00	2.00
18	14.00	2.00

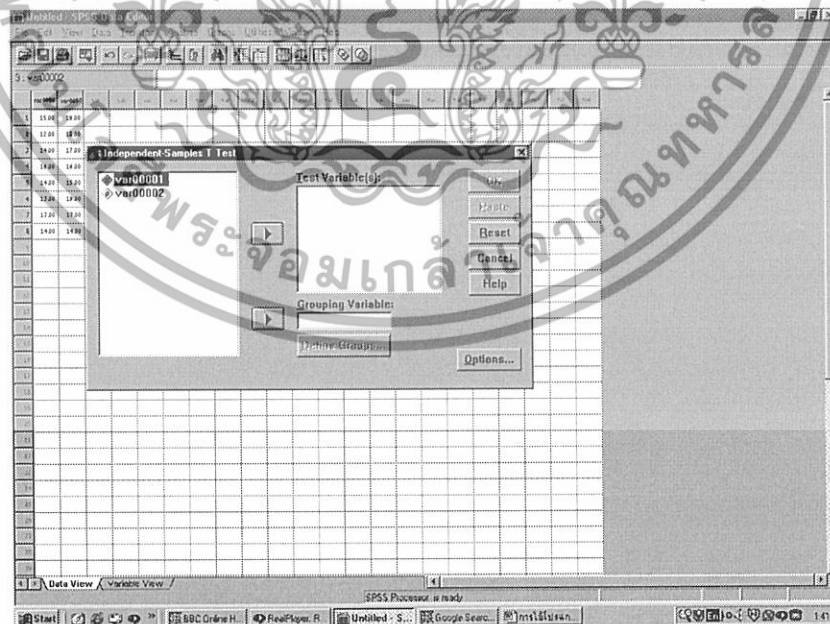
15	1
12	1
14	1
16	1
14	1
13	1
17	1
14	1
19	2
18	2
17	2
16	2
15	2
19	2
17	2
14	2

เมื่อต้องการที่จะวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว เลือกไปที่ Analyze ที่ Menu Bar และเลือกที่ Compare Mean ถ้าเราต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ประชากร จะต้องเลือกไปที่ Independent-Samples T-Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

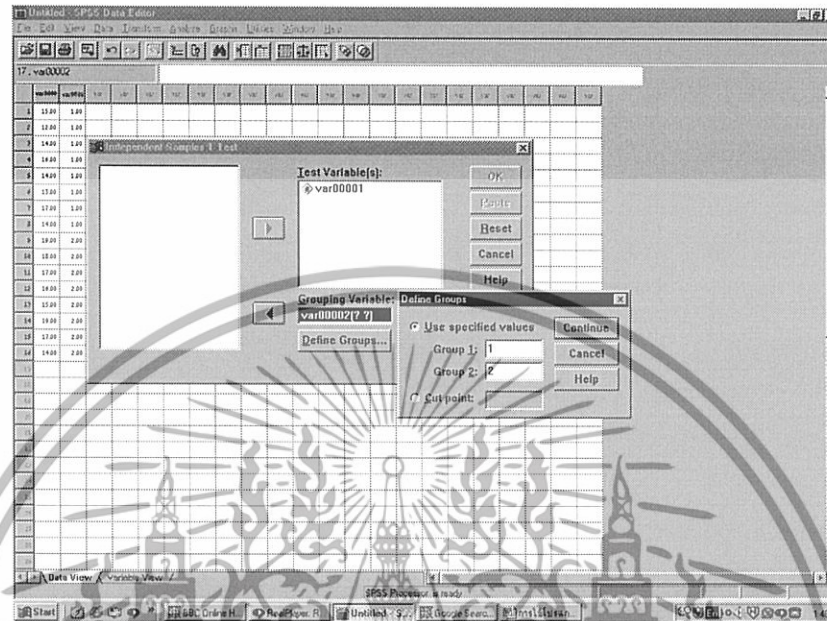


หลังจากที่เลือก Independent-Samples T-Test จะปรากฏภาพดังนี้ โดยที่ตัวแปร var0001 คือ ค่าของข้อมูลที่ถูกเลือกจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนตัวแปร var0002 เป็นตัวแปรควบคุมที่มีค่าเป็น 1 หมายถึงข้อมูลสุ่มมาจากประชากรที่ 1 และมีค่าเป็น 2 หมายถึงข้อมูลสุ่มมาจากประชากรที่ 2 ตามลำดับ



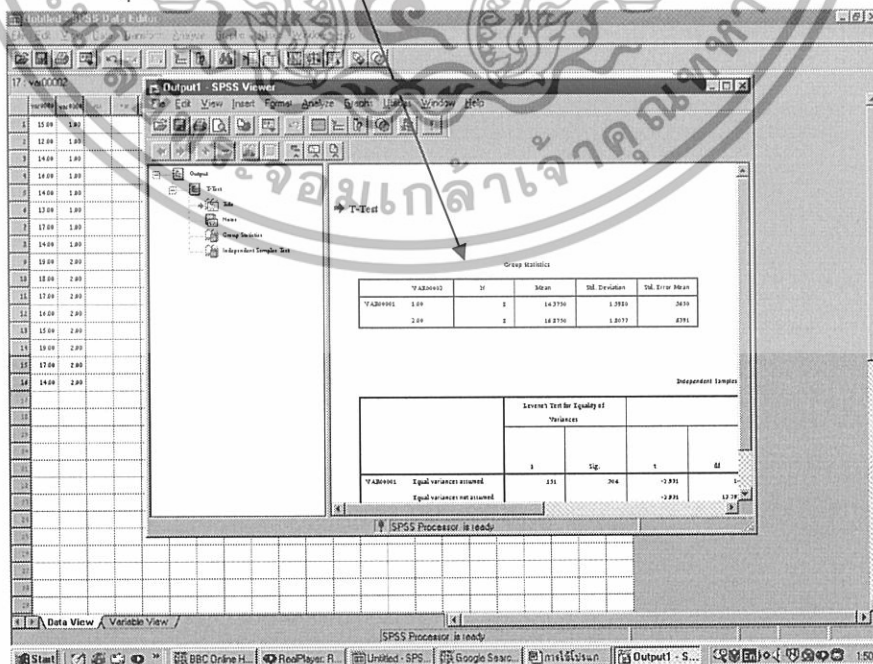
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เลือก var00001 เป็น Test Variable (s) และเลือกตัวแปร var00002 เป็นตัวแปร Grouping Variable ซึ่งค่าของ Group 1: คือ 1 และค่าของ Group 2: คือ 2



เมื่อกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้วโดยการ Click ที่ Continue สามารถที่จะให้โปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวได้โดยการเลือกปุ่ม OK ซึ่งจะปรากฏดังนี้

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะได้ดังนี้ ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถจะถูกจัดเก็บเป็น แฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล .SPO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## T-Test

Group Statistics

VAR00002	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VAR00001 1.00	8	14.3750	1.5980	.5650
2.00	8	16.8750	1.8077	.6391

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
VAR00001 Equal variances assumed	.151	.704	-2.931	14	.011	-2.5000	.8530	-4.3296	-.6704
Equal variances not assumed			-2.931	13.792	.011	-2.5000	.8530	-4.3322	-.6678

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะอธิบายสารสนเทศเบื้องต้นของข้อมูลจากตัวอย่างที่ถูกเลือกมาจาก 2 ประชากร ในทำนองเดียวกันค่าสถิติ T-test จะมีค่าสองกรณีคือ

1. ความแปรปรวนของทั้งสองประชากรสมมติว่าเท่ากัน
2. ความแปรปรวนของทั้งสองประชากร ไม่ทราบเท่ากัน

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ถ้า Sig (Significance : P-value) < 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

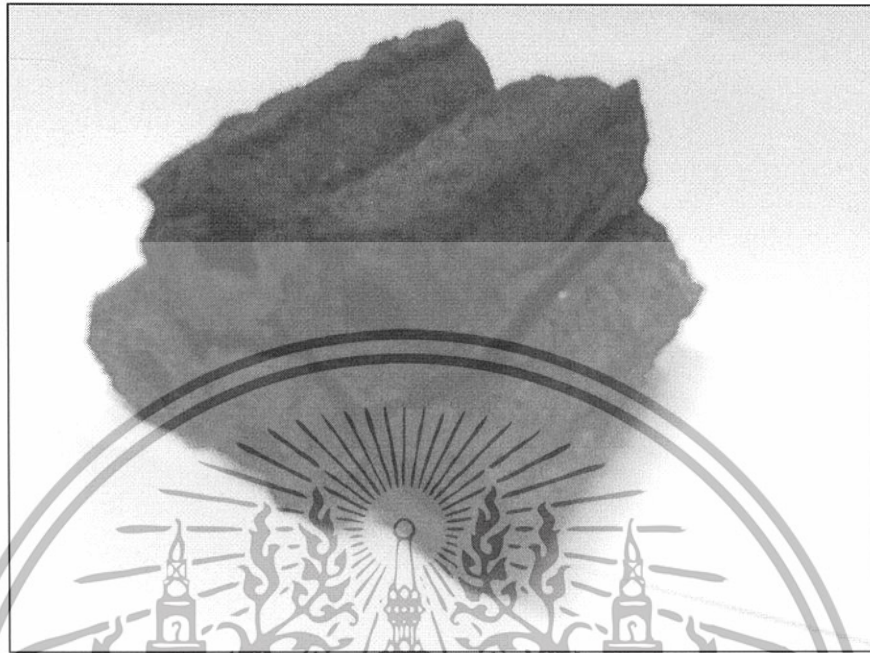
ตารางที่ ก.1 แสดงค่า Sig (Significance : P-value)

รูปที่	ตัวอย่างที่ทำการเปรียบเทียบ	P
4.1	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.217
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.215
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	
4.2	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.177
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.105
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
4.3	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.026
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.059
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.025
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	
4.4	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.005
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.168
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	
4.5	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.288
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.088
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	
4.6	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.094
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป



รูปที่ ค.2 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้