สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิผสมกับวัสดุชีวมวล

BRIQUETTE PRODUCTION FROM THE MIXTURE OF SUVARNABHUMI AIRPORT WATSEWATER TREATMENT SLUDGE WITH BIOMASS CHARCOAL

T117299

จะเด็ด ศรีวราลักษณ์
จารุวรรณ เพ็ญเนตร
สุจินดา วิวัฒน์ปัญญาพร

เลขหมู่ T17299
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 20 ก.ค. 2554
b 12338667
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRIQUETTE PRODUCTION FROM THE MIXTURE OF SUVARNABHUMI AIRPORT WATSEWATER TREATMENT SLUDGE WITH BIOMASS CHARCOAL

JADED SRIWARALUX

JARUWAN PHENNET

SUJINDA WAWATPANYAPORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิผสมกับวัสดุชีวมวล Briquette Production from the Mixture of Suvarnabhumi Airport Wastewater Treatment Sludge with Biomass Charcoal
ชื่อนักศึกษา	นายจะเด็ด ศรีวราลักษณ์ นางสาวจารุวรรณ เพ็ญเนตร นางสาวสุจินดา วิวัฒนปัญญาพร
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิผสมกับวัสดุชีวมวล
ผู้ทำโครงงานพิเศษ	นายจะเด็ด ศรีวราลักษณ์ นางสาวจารุวรรณ เพ็ญเนตร นางสาวสุจินดา วิวัฒนปัญญาพร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยามาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนที่ใช้ศึกษามาจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (SBA) โดยผสมร่วมกับถ่านชีวมวลคือ ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนในอัตราส่วนต่างๆ โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มสมบัติให้เชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางด้านเชื้อเพลิงและค่าความร้อนทางกายภาพเพื่อประเมินศักยภาพการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน

ผลการศึกษาพบว่ากากตะกอน SBA มีปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหยคาร์บอนคงตัว และปริมาณซัลเฟอร์ร้อยละ 8.37, 7.89, 67.89,15.89, 0.52 ตามลำดับ และความร้อนเฉลี่ย 21,552.37 $\pm$ 976.34 kJ/kg (n=5) จากผลการวิเคราะห์กากตะกอน SBA มีศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อนำมาอัดแท่งโดยผสมกับถ่านชีวมวลทั้ง 2 ชนิดในอัตราส่วนต่างๆจำนวน 11 อัตราส่วน อัตราส่วนที่สามารถอัดเป็นแท่งได้คือ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 เมื่อทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงอัดแท่งในแง่การทนแรงอัด, ดัชนีแตกร่วนและค่าความร้อนพบว่าอัตราส่วน 5:5 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอัตราส่วนอื่นๆ โดยให้ปริมาณความร้อนและค่าความร้อนทางกายภาพเท่ากับ 25,904.25 และ 1,319.23 kJ/kg ตามลำดับ

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง/กากตะกอนน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ/ถ่านชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Briquette Production from the Mixture of Suvarnabhumi Airport Wastewater Treatment Sludge with Biomass Charcoal
Students	Mr. Jaded Sriwaralux
	Miss Jaruwan Phennet
	Miss Sujinda Wiwatpanyaporn
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Asst.Prof . Krongkaew Tippayasak

ABSTRACT

The objective of this study was to utilize a biological wastewater treatment sludge as raw material for briquette production. Sludge from suvarnabhumi airport (SBA) were selected and used as receive. The physical, chemical and fuel characteristics of sludge were examined. To enhance the heating value of this briquette, two kinds of biomass charcoal from coconut and durian shell were mixed with SBA sludge and varied weight ratio. The properties of briquette conducted to use as renewable energy potential assessment.

The results of SBA sludge analysis showed that percentage of moisture, ash, volatile, fix carbon and sulfur content were 8.37, 7.89, 67.89, 15.89 and 0.52 respectively. The heating value was 21,552.3 in 976.34 kJ/kg (n=5). All results supported that the SBA sludge has high potential for briquette production. SBA sludge is proportionally mixed with biomass charcoal in 11 ratios. The mixing ratios were at 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 and 4:6 can be pressed to be briquettes. The physical properties of briquette were investigated such as compressive strength, shatter index and heating value. The results showed that the briquette fuel ratio 5:5 (sludge: coconut charcoal) gave an optimum criteria compared with others. The heating value from bomb calorimeter and physical heating value were 25,904.25 and 1,319.23 kJ/kg respectively.

Keywords: Briqutte, suvarnabhum airport sludge, biomass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความร่วมมือจากผู้มีพระคุณทุกท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา รวมทั้งตรวจแก้รูปเล่มโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย, ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและเสนอแนวทางแก้ไข เพื่อให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ. บุญมา ป้านประดิษฐ์ หัวหน้าศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือและเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการส่วนสุขาภิบาลฝ่ายสนามบินและอาคารท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ช่างเทคนิคอาวุโส 6 ส่วนสุขาภิบาล เจ้าหน้าที่สุขาภิบาล 4 ส่วนสุขาภิบาล และหัวหน้าปฏิบัติการเจ้าหน้าที่เทคนิคส่วนสุขาภิบาลท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างและสถานที่ในการเก็บตัวอย่าง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดารวมทั้งเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังในการทำโครงงานพิเศษ

นายจะเด็ด ศรีวราลักษณ์
นางสาวจารุวรรณ เพ็ญเนตร
นางสาวสุจินดา วิวัฒน์ปัญญาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย	6
2.1.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	6
2.1.2 ลักษณะของการบำบัดน้ำเสีย	7
2.2 โรงบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	8
2.2.1 ระบบบำบัดเบื้องต้น	8
2.2.2 ระบบบำบัดขั้นที่สอง	9
2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ	10
2.2.4 ระบบบำบัดขั้นที่สาม (การบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่)	11
2.2.5 การฆ่าเชื้อโรคและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 กากตะกอน	14
2.3.1 แหล่งกำเนิดของกากตะกอน	14
2.3.2 ประเภทของกากตะกอน	15
2.3.3 สมบัติของกากตะกอน	16
2.3.4 กระบวนการบำบัดกากตะกอน	18
2.3.5 การกำจัดกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัด	21
2.3.6 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์	25
2.3.7 เกณฑ์กำหนดของกากตะกอน	26
2.4 ถ่านกะลามะพร้าว	28
2.4.1 การปลูกมะพร้าวเป็นผลผลิตในประเทศไทย	29
2.4.2 ประโยชน์ของกะลามะพร้าว	29
2.4.3 การเผาถ่านกะลามะพร้าว	30
2.5 ถ่านเปลือกทุเรียน	31
2.5.1 การปลูกทุเรียนเป็นผลผลิตในประเทศไทย	32
2.5.2 ประโยชน์ของเปลือกทุเรียน	34
2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	35
2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง	36
2.6.2 วิธีการอัด	37
2.6.3 เครื่องอัดแท่ง	37
2.6.4 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล	38
2.6.5 การเผาไหม้	39
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 51

3.2 สารเคมี 52

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 52

3.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย 53

3.4.1 กากตะกอนน้ำเสีย 53

3.4.2 เศษวัสดุชีวมวล 54

3.5 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย 54

3.5.1 กากตะกอนน้ำเสีย 54

3.5.2 เศษวัสดุชีวมวล 55

3.6 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ 56

3.7 การออกแบบวิจัย 57

3.7.1 การผสมโดยน้ำหนัก 57

3.7.2 การอัดแท่งกากตะกอน 58

3.8 การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 59

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การเลือกกากตะกอน 60

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล 62

4.2.1 สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางเชื้อเพลิงก่อนผสม 63

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนในการอัดแท่ง 67

4.4 ผลการศึกษาการอัดแท่งเชื้อเพลิง 70

4.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง 70

4.4.2 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด 72

4.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.1 ปริมาณความชื้น 75

4.5.2 ปริมาณเถ้า 76

4.5.3 ปริมาณสารระเหย 77

4.5.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว 78

4.5.5 ปริมาณกำมะถันรวม 79

4.5.6 ความหนาแน่น 80

4.5.7 การทนแรงอัด 81

4.5.8 ดัชนีการแตกร่วน 82

4.5.9 ปริมาณความร้อน 83

4.5.10 ค่าความร้อนทางกายภาพ 84

4.6 เวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสมต่างๆ 85

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่างๆ 86

4.7.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสม 10:0 86

4.7.2 ผลการทดลองการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ 87

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ ทางเคมีและทางด้านเชื้อเพลิง 90

5.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมในการอัดแท่ง 90

5.3 ผลการอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วน 91

5.4 การศึกษาสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง 91

5.5 การทดสอบการติดไฟของแท่งเชื้อเพลิง 92

5.6 ปัญหาและอุปสรรค 92

5.7 ข้อเสนอแนะ 93

เอกสารอ้างอิง **94**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 97

ภาคผนวก ข 108

ภาคผนวก ค 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ 8

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย 13

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำที่ออกจากระบบหมุนเวียนน้ำใช้ 14

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนกากตะกอน 27

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดการปนเปื้อนเชื้อโรคในกากตะกอน 27

ตารางที่ 2.6 สถิติการผลิตทุเรียนของไทยในปี 2546 – 2552 33

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของฟืนและถ่านไม้ยูคาลิปตัส 40

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล 56

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนและวัสดุชีวมวล 57

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 59

ตารางที่ 4.1 สมบัติของกากตะกอน 61

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพ เคมีและทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล 64

ตารางที่ 4.3 ผลการอัดแท่งกากตะกอนกับวัสดุชีวมวลที่อัตรส่วนต่างๆ 69

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่างๆ 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย 3
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการบำบัดกากตะกอนโดยทั่วไป 19
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการกำจัดกากตะกอน 21
รูปที่ 2.3 กะลามะพร้าว 28
รูปที่ 2.4 ต้นมะพร้าว 29
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของผลมะพร้าวปริมาณ 100 กิโลกรัม 30
รูปที่ 2.6 ผลทุเรียน 32
รูปที่ 2.7 ต้นทุเรียน 33
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนงานวิจัย 53
รูปที่ 3.2 การเก็บกากตะกอน 54
รูปที่ 3.3 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร 55
รูปที่ 3.4 เครื่องย่อยวัสดุ 56
รูปที่ 3.5 เครื่องขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง 59
รูปที่ 4.1 กากตะกอนจาก 3 แหล่ง 62
รูปที่ 4.2 ถ่านชีวมวล 63
รูปที่ 4.3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 67
รูปที่ 4.4 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน 68
รูปที่ 4.5 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว 68
รูปที่ 4.6 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่ง 70
รูปที่ 4.7 น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 71
รูปที่ 4.8 น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 72
รูปที่ 4.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด 73
รูปที่ 4.10 ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด 74
รูปที่ 4.11 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 75
รูปที่ 4.12 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 77

รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 78

รูปที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 79

รูปที่ 4.16 ความหนาแน่นเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 80

รูปที่ 4.17 การทนแรงอัดของอัตราส่วนผสม 81

รูปที่ 4.18 ดัชนีการแตกร่วนของอัตราส่วนผสม 82

รูปที่ 4.19 ปริมาณความร้อนเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 83

รูปที่ 4.20 ค่าความร้อนทางกายภาพของอัตราส่วนผสม 84

รูปที่ 4.21 เวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสมต่างๆ 85

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่ง
อัตราส่วน 10:0 86

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่ง
อัตราส่วนต่างๆ 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินกิจกรรมทุกๆ กิจกรรมจึงทำให้ต้องใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในโลกมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เช่น การนำน้ำมันปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน มาใช้ในอัตราที่มากเกินไป ทำให้เกิดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (ศิริวรรณ. 2540) หากนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เป็นการช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตของธุรกิจภาคอุตสาหกรรมอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันธุรกิจภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการขยายตัวมากขึ้น เพื่อรองรับกระบวนการผลิตและเพียงพอกับจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหลายๆ ด้าน ทั้งอากาศเสีย น้ำเน่าเสีย มลพิษต่อดิน ขยะล้นเมือง ซึ่งมาจากกระบวนการผลิต และกิจกรรมต่างๆ ของโรงงาน กากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้น พบว่าส่วนใหญ่กากตะกอนเหล่านี้จะถูกนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ นอกจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้วหากปฏิบัติผิดวิธี อาจเพิ่มมลภาวะต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น มลภาวะทางอากาศ มลภาวะทางกลิ่น อีกทั้งอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่กระจายเชื้อโรค (สมโภชน์. 2551)

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ส่วนใหญ่เป็นกากตะกอนอินทรีย์ในรูปสารประกอบคาร์บอน เมื่อเผาไหม้จะปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ทั้งยังลดปัญหาการกำจัดกากตะกอนได้อย่างดี โดยนำพลังงานที่มีอยู่ในกากตะกอนเหล่านั้นมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานได้อีก เพื่อทดแทนพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน นอกจากจะเป็นการลดต้นทุนแล้วยังสามารถลดปริมาณซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศได้อีกทางหนึ่ง (ประริญา. 2546) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสมบัติต่างๆ ของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง รวมทั้งยังมีการทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้ร่วมกันระหว่างกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกับวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนนอกเหนือจากการกำจัดแบบฝังกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน ถ่านจากกะลามะพร้าว และถ่านจากเปลือกทุเรียนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาผลอัตราส่วนของกากตะกอนต่อวัสดุชีวมวล 2 ชนิด คือถ่านจากกะลามะพร้าว และถ่านจากเปลือกทุเรียนที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. เปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกากตะกอนต่อถ่านกะลามะพร้าวและกากตะกอนต่อถ่านเปลือกทุเรียน
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในด้านอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
2. ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางเชื้อเพลิงของวัสดุชีวมวลในการผสมเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ ถ่านจากกะลามะพร้าว และถ่านจากเปลือกทุเรียน
3. แปรค่าอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับเชื้อเพลิงผสม จำนวน 11 ค่า
4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ และทำการเปรียบเทียบการใช้งานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากกากตะกอนต่อถ่านชีวมวล

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนและถ่านกะลามะพร้าวและอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนและถ่านเปลือกทุเรียน จากกระบวนการผลิต จำนวน 11 อัตราส่วน ประกอบไปด้วยอัตราส่วนของกากตะกอนและถ่านกะลามะพร้าวและอัตราส่วนของกากตะกอนและถ่านเปลือกทุเรียน โดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้ 10:0 9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6 3:7 2:8 1:9 และ 0:10

ตัวแปรตาม คือ สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางเชื้อเพลิง ทางกลและค่าความร้อน

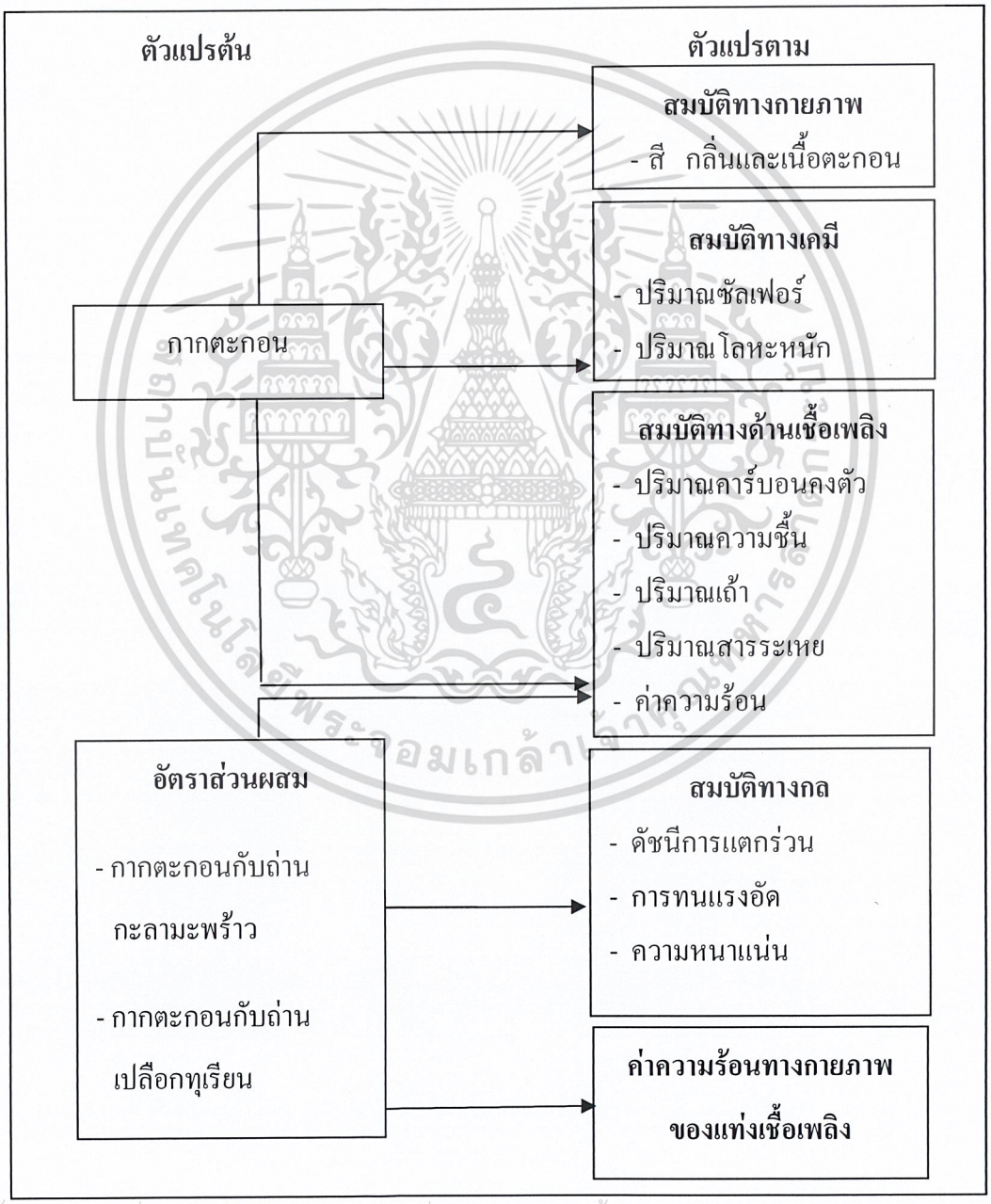
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปริมาณกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วยลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนซึ่งเดิมเป็นของเสียที่ต้องกำจัด
3. ได้พลังงานทดแทนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม
4. นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.6 นิยามศัพท์

กากตะกอน (Sludge) หมายถึง กากที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียอากาศยานสุวรรณภูมิ

ถ่านกะลามะพร้าว หมายถึงการเผาส่วนของกะลามะพร้าวให้เป็นถ่าน

ถ่านเปลือกทุเรียน หมายถึงการเผาส่วนเปลือกชั้นนอกจนถึงแกนของทุเรียนให้เป็นถ่าน

วัสดุชีวมวล (Biomass) หมายถึงถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียน

เชื้อเพลิง หมายถึงการให้ความร้อนออกมาเมื่อเกิดการลุกไหม้โดยการทดสอบมาตรฐานของ American Society for Testing and Material (ASTM)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง หมายถึงเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการนำวัสดุชีวมวลมาผสม (Briquetted Fuel) กากตะกอนอัดเป็นแท่ง

ความสามารถในการอัด หมายถึงความสามารถในการอัดส่วนผสมผ่านออกมาจากกระบอกอัดได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ม.ม. ยาว 500 ม.ม.

ความสามารถในการขึ้นรูป หมายถึงความสามารถในการคงรูปอยู่ได้ของส่วนผสมจากการผ่านออกมาจากกระบอกอัด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ม.ม. ยาว 500 ม.ม.

ลักษณะผิวเรียบ หมายถึงลักษณะผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สม่ำเสมอกัน

ลักษณะผิวขรุขระ หมายถึงลักษณะผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทางกล	หมายถึงการวัดค่าสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งในด้านความหนาแน่น การทนแรงอัดตามแนวตั้งและแนวนอนดัชนีการแตกร่วน
mesh	หมายถึงจำนวนช่องของตะแกรงที่มีอยู่ในความยาว 1 นิ้ว ตะแกรงร่อนยิ่งมีเบอร์มากๆ แสดงว่าสามารถวัดขนาดวัสดุได้ยิ่งละเอียด
ASTM	หมายถึง American society for Testing and Material
SBA	หมายถึง Suvarnabhumi Airport
BLCP	หมายถึง โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จังหวัดระยอง
GUSCO	หมายถึง บริษัทโกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย

การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียพิจารณาจากลักษณะน้ำเสีย วัตถุประสงค์ในการบำบัดและคุณภาพน้ำที่ต้องการ เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดความเป็นพิษ ปริมาณมลสารที่ต้องกำจัดก่อนทิ้งลงสู่แม่น้ำ ข้อกำหนดทางกฎหมาย กระบวนการบำบัดที่เหมาะสม ต้นทุนในการก่อสร้าง ข้อพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

หลักการบำบัดขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำเสียโดยของแข็งหรือตะกอนแขวนลอยจะบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ ตะกอนขนาดเล็กหรือสารละลายจะบำบัดด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพโดยทำให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และตกตะกอนได้

2.1.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ

2.1.1.1. การบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary Treatment)

เป็นการกำจัดตะกอนซึ่งมีทั้งที่ตกตะกอนได้ดีและตะกอนที่มีน้ำหนักเบา ตะกอนบางประเภทเป็น สารอินทรีย์ที่ให้ค่า BOD วิธีการได้แก่ การปรับอัตราการไหล การแยกสิ่งสกปรก

2.1.1.2. ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment)

การตกตะกอนที่มีน้ำหนักเบาซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ตะกอนที่แยกจากถังตกตะกอน เรียกว่า Primary sludge ต้องนำไปบำบัดต่อ การบำบัดในขั้นตอนนี้จะลดค่า BOD ได้ประมาณ 25 – 40 % หรือปริมาณของแข็งเท่ากับ 40 – 60 % แล้วแต่คุณลักษณะน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพถังตกตะกอน

2.1.1.3. ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

การกำจัดสารอินทรีย์ หรือ BOD ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้วิธีการทางชีวภาพ ซึ่งใช้เชื้อแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ต้องกำจัดตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ (Secondary sludge) รวมกับตะกอนจากการบำบัดขั้นต้น การบำบัดในขั้นนี้จะลดค่า BOD ลงได้ประมาณ 75 – 95 % ทำให้ค่า BOD ต่ำกว่า 20 มก. / ลิตร เป็นระบบขั้นสุดท้ายของการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป

2.1.1.4. การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment)

ใช้ในกรณีที่ต้องการน้ำทิ้งที่สะอาดจนสามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ กระบวนการที่ใช้เป็นกระบวนการทางเคมีร่วมกับทางฟิสิกส์ เช่นการนำน้ำจากระบบบำบัดขั้นที่สองมาตกตะกอนแยก สารประกอบฟอสเฟตด้วยน้ำปูนขาว (Lime) การกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกระบวนการดูดซับ (Carbon adsorption) การกำจัดแอมโมเนียและสารประกอบโลหะ ต่างๆ ด้วยการใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และฆ่าเชื้อโรค ได้น้ำทิ้งที่สะอาด

2.1.2 ลักษณะของการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

2.1.2.1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Treatment)

เป็นกระบวนการกำจัดของแข็ง เศษวัสดุ กรวดทรายที่ปนมากับน้ำทิ้งและยัง ช่วยลดค่า BOD ของน้ำลงได้บางส่วน วิธีการประกอบด้วย การแยกโดยใช้ตะแกรง (Screening) การบดหรือตัด (Comminution) การกวาด (Skimming) การกำจัดกรวด ทราย (Grit Chamber) การดักไขมัน (Grease Traps) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอนของแข็งขนาดเล็ก (Primary Sedimentation)

2.1.2.2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment)

เป็นการแยกสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำออกจากน้ำ เช่นคลอไรด์ ซัลเฟต โซเดียม ไซยาไนด์ ฯลฯ เนื่องจากมีความเป็นพิษต่อสัตว์ในแหล่งน้ำที่ระบายน้ำเสียลงไป ทำให้น้ำมีสี กลิ่นรสที่ผิดปกติเกิดขึ้นหรือเป็นอันตรายจนไม่เหมาะกับการนำไปใช้ อุปโภคบริโภค หรืออาจทำให้น้ำมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน มีความกระด้างและตะกอนเพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์ในการบำบัดทางเคมีคือ

1. การสร้างตะกอนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น (Coagulation and Flocculation)
2. ทำให้มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำตกตะกอน (Precipitation) หรือทำให้ไม่ละลายน้ำ (Insolubilization)
3. ปรับสภาพน้ำให้เหมาะกับความต้องการ เช่น ปรับค่าพีเอช
4. ฆ่าเชื้อโรค (Disinfection)
5. ปรับสภาพตะกอน (Sludge Conditioning) เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยหรือ แยกเอาน้ำออกจากตะกอน

วิธีการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางเคมี ได้แก่ การสร้างตะกอนทางเคมี (Chemical-coagulation), การตกตะกอน (Precipitation), การให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) โดยขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย

2.1.2.3. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Treatment)

เป็นการใช้เชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อเป็นอาหารโดยมีสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียตามอุณหภูมิ อาหาร ออกซิเจนและพีเอชของน้ำเสีย วัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียตามบ้านเรือน เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารเช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในระบบบำบัดทางชีวภาพได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย ฟังไจ สาหร่าย ไวรัส โปรโตซัว Rotifer และ Crustaceans

2.2 โรงบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ระบบบำบัดน้ำเสียในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ สร้างขึ้นเพื่อรองรับน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในอาคารผู้โดยสารและอาคารประกอบอื่นๆ ของท่าอากาศยานตลอดจนน้ำเสียที่มาจากเครื่องบินโดยสารสามารถรับน้ำเสียรวมกันทั้งเฟส 1 และเฟส 2 ประมาณ 18,000 ลบ.ม.ต่อวัน น้ำเสียส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบ Activated Sludge มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง สามารถบำบัดธาตุอาหาร (Nutrient) ได้ ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดและผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในการอุปโภค เช่น รดน้ำต้นไม้ และระบายความร้อนในระบบปรับอากาศ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

คุณสมบัติ	ค่าที่จำกัด
pH	6.5-9.5
BOD	$\leq$ 400 mg/l
COD	$\leq$ 774 mg/l
SS	$\leq$ 300 mg/l
TKN	$\leq$ 70 mg/l
TP	$\leq$ 8 mg/l
Alkalinity	$\leq$ 250 mg/l
Oil & Grease	$\leq$ 40 mg/l

2.2.1 ระบบบำบัดเบื้องต้น

2.2.1.1 ถังแบ่งน้ำเสีย (Diversion Chamber)

ถังแบ่งน้ำเสียเป็นถังที่รับน้ำเสียจากระบบรวบรวมน้ำเสียภายในสนามบินสุวรรณภูมิก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในการออกแบบจะออกแบบให้ถังมีปริมาณน้ำขังน้อยที่สุด เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซขึ้นภายในถัง รวมถึงการป้องกันการย่อยสลายน้ำเสียอันไม่พึงประสงค์ก่อนเข้าสู่ถังเติมอากาศ ในส่วนของน้ำเสียจะถูกแบ่งออกโดยประตูน้ำซึ่งแยกน้ำเสียไปเฟสที่ 1 และเฟส 2 โดยใช้ประตูน้ำเป็นช่องแบ่งน้ำเสียทั้งหมดเข้าสู่ระบบ น้ำเสียจากถังแบ่งน้ำเสียจะไหลไปสู่ระบบแยกขยะและกรวดทราย สำหรับระบบเบื้องต้นประกอบไปด้วย เครื่องดักขยะอัตโนมัติและเครื่องแยกตะกอนทราย

2.2.1.2 เครื่องดักขยะอัตโนมัติ (Drum Screen)

ระบบดักขยะ ประกอบไปด้วย เครื่องดักขยะจำนวน 2 ส่วนในการใช้งานปกติจะใช้เครื่องดักขยะแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นเครื่องดักขยะแบบต่อเนื่องชนิดกรงกระรอก อีกส่วนเป็นตะแกรงที่มีช่องขนาด 3 มิลลิเมตร เครื่องดักขยะอัตโนมัติ จะควบคุมด้วยระบบ Programmable Logic Controller (PLC) โดยใช้หลักการของค่าความดันแตกต่างของน้ำก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องเป็นตัวกำหนดให้เกิดกระบวนการล้างตะแกรง ทำให้ขยะตกสู่ Screw Conveyor เพื่อทำการขนย้ายไปสู่ถังเก็บขยะ

2.2.1.3 เครื่องแยกตะกอนทราย

เครื่องแยกตะกอนทรายติดตั้งอยู่ด้านทางน้ำออกของเครื่องดักขยะ โดยใช้หลักการของน้ำที่มีความเร็วสูง เมื่อปะทะกับใบกวนที่มีความเร็วต่ำกว่าจะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างทรายกับน้ำเสียออกจากกัน โดยตะกอนทรายที่แยกตัวออกมาจะตกลงสู่ช่องรับตะกอนทราย และจะถูกสูบออกไปด้วยเครื่องสูบตะกอนทรายเพื่อไปแยกตะกอนทรายออกจากน้ำ ด้วยเครื่องแยกตะกอนอีกครั้งหนึ่งโดยน้ำที่ถูกแยกตะกอนทรายออกแล้ว จะถูกส่งกลับไปที่ถังรวบรวมน้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง ส่วนตะกอนทรายที่แยกออกมาจะถูกเก็บไว้ในถังขยะ เพื่อเตรียมขนย้ายออกจากพื้นที่ต่อไป

2.2.2 ระบบบำบัดขั้นที่สอง

2.2.2.1 ระบบการควบคุมกลิ่นของส่วนงานบำบัดโดยกายภาพ

อากาศเสียของแต่ละส่วนจะถูกดูดเข้ามาบำบัดที่อาคาร Soil Bed Filter โดยใช้พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่งจำนวน 2 ตัว ที่ติดตั้งไว้ที่อาคาร Soil Bed Filter สำหรับอาคาร Soil Bed จะเป็นอาคารชั้นเดียวมีหลังคาคลุม มีลักษณะเป็นบ่อสูงประมาณ 1.5 เมตร ภายในบรรจุด้วยสารที่ใช้กรองอากาศโดยสารดังกล่าวประกอบไปด้วย เศษเปลือกไม้ ปุ๋ยหมัก ถ่าน และดิน Topsoil สารต่างๆ ทั้งหมดจะถูกผสมกันและวางอยู่เหนือชั้นกรวดเพื่อช่วยในการระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบข้อความนี้ออก

ภายในอาคารบำบัดกลิ่น Soil Bed Filter ประกอบด้วย ท่อกระจายอากาศและท่อระบายน้ำ สำหรับการทำงานของระบบควบคุมกลิ่นนี้จะถูกสั่งการจาก 2 ปัจจัย คือความเข้มข้นของก๊าซไข่เน่า

และ/หรือ ก๊าซมีเทน โดยมีอุปกรณ์วัดค่าติดตั้งอยู่ที่ถังแบ่งน้ำเสียและถังรวบรวมน้ำเสีย สำหรับอีกปัจจัยจะใช้ช่วงเวลาเป็นตัว กำหนดในการเดินระบบ ซึ่งสามารถตรวจสอบความชื้นของดินถ้าแห้งก็จะทำการเปิดน้ำ

2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

ถังบำบัดทางชีวภาพจะประกอบไปด้วยถังขนาด 2,600 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ชุด โดยใช้ในการบำบัด BOD และธาตุอาหารในน้ำเสีย (N, P) โดยจะออกแบบให้แต่ละชุดจะประกอบไปด้วยบ่อที่มีหน้าที่เฉพาะตัวในแต่ละถังระบบบำบัดหลักจะใช้หลักการของระบบ Activated Sludge ในการบำบัดมีอายุตะกอน (SRT) อยู่ที่ประมาณ 8 วัน และออกแบบให้มีเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนภายในระบบ เพื่อรักษาปริมาณตะกอนภายในบ่อเติมอากาศ

1) การกำจัดธาตุอาหาร (N,P)

ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจน (N) จะถูกกำจัดภายในถังไร้อากาศ (Anaerobic Tank) และถังไร้อากาศ (Anoxic Tank) ที่อยู่ภายในถังบำบัด สำหรับฟอสฟอรัส (P) จะถูกกำจัดในขั้นตอนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของระบบโดยอัตโนมัติ

2) ส่วนประกอบของระบบบำบัดทางชีวภาพ

- ถัง Pre-anoxic เป็นถังที่รับตะกอนที่ถูกสูบย้อนกลับจากถังตกตะกอนเพื่อเข้าสู่ถังบำบัดทางชีวภาพ โดยทำให้เกิดการย่อยสลายไนเตรทในน้ำเสียเป็นก๊าซไนโตรเจน และหน้าที่ของถังนี้ทำหน้าที่เพียงการย่อยสลายไนเตรทเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ถัง Anaerobic

- ถัง Anaerobic จะรับน้ำจากถัง Pre-anoxic เข้าสู่ถังพร้อมทั้งรับน้ำเสียเข้าสู่ระบบหน้าที่หลักของถังนี้จะใช้ในการย่อยสลายฟอสฟอรัส

- ถัง Anoxic เป็นถังที่รับน้ำเสียจากถัง Anaerobic พร้อมทั้งรับน้ำเสียที่ผ่านการเติมอากาศจากถัง Aerobic เข้ามาผสมกัน ทำให้เกิดการย่อยสลายน้ำเสีย โดยใช้ไนเตรทเป็นพลังงานในการย่อยสลาย เป็นผลทำให้เกิดกระบวนการกำจัดไนโตรเจนขึ้นในถังนี้ และเพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้อย่างเต็มที่

- ถังเติมอากาศ (Anaerobic) เป็นถังหลักในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และรับน้ำที่ส่งกลับจากการล้างย้อนกลับจากการล้างย้อนถังกรองทราย และน้ำจากการรีดตะกอน เข้ามาบำบัดด้วย โดยมีหน้าที่หลักลดค่า BOD ในน้ำลงโดยการเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายน้ำเสียได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน

3) การเติมอากาศและระบบควบคุม

การเติมอากาศจะใช้อุปกรณ์หัวเติมอากาศเซรามิคแบบละเอียดโดยมีต้นกำลังลมจากพัดลมเป่าอากาศแบบหอยโข่ง ซึ่งหัวจ่ายอากาศจะติดตั้งในบ่อเติมอากาศทั้ง 3 บ่อ การเติมอากาศจะเป็นการเติมอากาศแบบต่อเนื่องตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 ถังตกตะกอน

น้ำเสียจากบ่อเติมอากาศ 3 ไหลผ่านช่องน้ำล้นและส่งต่อไปยังถังตกตะกอน ถังตกตะกอนมีจำนวน 2 ใบ ต่อ 1 เฟส เพื่อใช้ในการรองรับการบำบัดจากถังบำบัดจากถังบำบัดทางชีวภาพจำนวน 2 ชุด ถังตกตะกอนในระบบจะเป็นรูปแบบจ่ายน้ำเข้าที่ศูนย์กลางและน้ำใสล้นออกที่ขอบถัง โดยมีระบบการกวาดตะกอนลอยควบคู่ไปด้วย สำหรับตะกอนที่แยกจากน้ำใส จะถูกใบกวาดด้านล่างของถังรวมไปที่ศูนย์กลางของถัง เพื่อที่จะสูบต่อโดยเครื่องสูบน้ำ RAS และเครื่องสูบน้ำ WAS ต่อไป

2.2.3.2 ระบบควบคุมตะกอนหมุนเวียนกลับ (RAS Pump)

เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนกลับเป็นเครื่องสูบตะกอนแบบปรับรอบได้โดยจะจัดไว้สำหรับถังตกตะกอนถังละหนึ่งตัว โดยตะกอนหมุนเวียนที่ถูกสูบกลับจะถูกส่งไปยังถัง Pre-anoxic

2.2.3.3 ระบบควบคุมตะกอนส่วนเกิน (WAS Pump)

สำหรับตะกอนส่วนเกิน จะถูกสูบออกจากถังตกตะกอนโดยเครื่องสูบตะกอนส่วนเกิน (WAS Pump) ผู้ควบคุมจะควบคุมอัตราการสูบและระดับตะกอนในถังเก็บตะกอนส่วนเกิน (Sludge Holding Tank) โดยทำการปรับอัตราการสูบออกให้เหมาะสม เพื่อรักษาค่า SRT ในระบบ ตะกอนส่วนเกินนี้จะถูกรวบรวมไว้ในถังเก็บตะกอนก่อนที่จะส่งเข้ากระบวนการรีดตะกอน

2.2.3.4 ระบบกำจัดตะกอนลอย (WAS Pump)

เครื่องสูบน้ำจะสูบตะกอนลอยจาก Scum Box สำหรับเฟส 2 และจากบ่อรับตะกอนลอยสำหรับเฟส 1 เข้าสู่ถังเก็บตะกอน

2.2.4 ระบบบำบัดขั้นที่สาม (การบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่)

น้ำใสที่ไหลออกจากด้านบนของถังตกตะกอนจะไหลต่อเข้าสู่ถังพักน้ำก่อนเข้าถังกรองโดยใช้เครื่องสูบน้ำ และมีการเติมสารเคมีก่อนจะเข้าสู่ถังกรอง สำหรับถังกวนเร็วที่รับน้ำจากถังพัก จะทำหน้าที่กวนผสมสารส้มและคลอรีน การเติมสารส้มจะทำปฏิกิริยากับน้ำเพื่อจับตัวเป็นตะกอน ทำให้ระบบกรองทำงานได้ง่ายขึ้นแต่ขึ้นกับผลคุณภาพน้ำออกจากระบบ ถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็จะไม่เติมสารส้ม สำหรับคลอรีนจะเติมเพื่อป้องกันภาวะการเจริญเติบโตของสาหร่ายในถังกรองทราย น้ำที่ออกจากถังกวนเร็วจะไหลไปยังถังกรองแต่ละบ่อ ซึ่งจะไหลลงสู่ช่องรวบรวมน้ำของแต่ละถังกรองก่อนจะเข้าสู่ช่องกรอง โดยช่องรวมน้ำนี้จะทำหน้าที่กระจายน้ำเข้าสู่ถังกรองในขณะขั้นตอนการกรอง และจะเป็นช่องรับน้ำล้างกรองเพื่อระบายออกในขั้นตอนของการล้างกรอง สำหรับน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลสู่บ่อเก็บน้ำสำหรับล้างย้อน และถ้าบ่อเก็บน้ำล้างย้อนเต็มแล้วก็จะไหลสู่บ่อฆ่าเชื้อโรค (Chlorine Contact Tank) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับน้ำที่ไหลผ่านเข้าสู่บ่อฆ่าเชื้อโรคแล้วจะไหลเข้าสู่บ่อเก็บน้ำใส ซึ่งจะมีอาคาร Recycle Water Pump Station เป็นอาคารสูบจ่ายน้ำหลังการบำบัดให้กับระบบระบายความร้อน เครื่องปรับอากาศและระบบรดน้ำต้นไม้ภายในบริเวณสนามบิน

2.2.5 การฆ่าเชื้อโรคและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

2.2.5.1 การฆ่าเชื้อโรค

สำหรับน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ จะถูกควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนไม่ให้เกิน 5 มก./ล. ซึ่งจะทำงานวัดค่าความเข้มข้นหลังจากจ่ายคลอรีนที่ถังเติมคลอรีน 1 ชั่วโมง สำหรับคลอรีนจะใช้ในรูปของคลอรีนก๊าซ โดยจะใช้ก๊าซคลอรีนประมาณ 72 กิโลกรัม สำหรับน้ำเสียที่ทำการออกแบบ (9,000 ลบ.ม.ต่อวัน)

2.2.5.2 การกำจัดคลอรีนส่วนเกิน

การกำจัดคลอรีนส่วนเกินทำได้โดยการเติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ปลายบ่อเติมคลอรีนโดย จะใช้ค่าความเข้มข้นของคลอรีนที่วัดที่จุดออกจากถังเติมคลอรีนเป็นตัวปรับอัตราการเติมสาร

2.2.5.3 การควบคุมการเป็นกรด-ด่าง

ในระบบจะออกแบบให้มีจุดจ่ายปูนขาวเพื่อใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดและด่าง ที่จุดทางออกของบ่อเติมคลอรีน โดยควบคุมด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่างที่ติดตั้งไว้ที่จุดทางออกของบ่อเติมคลอรีน โดยน้ำปูนขาวจะถูกจ่ายจากห้องจ่ายสารเคมี ที่ติดตั้งในอาคารควบคุมระบบน้ำหมุนเวียน

2.2.5.4 ระบบนำน้ำกลับมาใช้

หลังจากน้ำผ่านระบบการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน การปรับความเป็นกรดด่างและการกำจัดคลอรีนส่วนเกินแล้ว จะถูกนำมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะมีเครื่องสูบน้ำกลับไปใช้ในระบบต่างๆ ต่อไปดังนี้

1) ระบบน้ำรดน้ำต้นไม้

2) ระบบน้ำล้างตะแกรงดักขยะ

3) ระบบดักตะกอนทราย

4) ระบบควบคุมกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.5 ระบบการกำจัดตะกอน

ระบบการกำจัดตะกอนเป็นระบบการทำตะกอนข้นและการรีดตะกอนรวมกัน โดยใช้การรีดตะกอนแบบเหวี่ยง ซึ่งจะมีเครื่องรีดตะกอนแบบเหวี่ยงจำนวน 2 ตัว กระบวนการรีดตะกอนประกอบด้วยอุปกรณ์ในการปรับเสถียรของตะกอนคือปูนขาวระบบเตรียมสารละลายโพลิเมอร์เพื่อใช้ผสมกับตะกอนก่อนเข้าเครื่องรีดตะกอนรวมถึงระบบจ่ายน้ำปูนขาวเพื่อใช้ในการปรับความเป็นกรดด่างที่บ่อรวบรวมน้ำเสีย ตะกอนส่วนเกินจากถังตะกอนจะถูกส่งมารวมกับตะกอนลอยทรายถังเก็บตะกอน โดยที่ถังเก็บตะกอนจะมีเครื่องเติมอากาศแบบจุ่มน้ำเพื่อช่วยในการเติมอากาศในกระบวนการย่อยกำจัดฟอสฟอรัส และเป็นการกวนตะกอนให้มีความสม่ำเสมอก่อนส่งเข้าเครื่องรีดตะกอน

1) ระบบการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์และระบบจ่ายโพลิเมอร์
2) ระบบการทำงานของเครื่องเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ จะทำงานอัตโนมัติทั้งระบบตั้งแต่ระบบการกวนผสม การควบคุมอัตราการจ่ายโพลิเมอร์ การควบคุมอัตราการจ่ายน้ำที่ใช้ผสม
3) ระบบลำเลียงตะกอนหลังรีดและเก็บ ตะกอนแห้งที่ได้จากการรีดตะกอนจะถูกลำเลียงออกจากเครื่องรีดตะกอน จะถูกส่งต่อเข้าเครื่องกวนผสมปูนขาวตะกอนแห้งที่ผ่านการผสมปูนขาวจะถูกเก็บไว้ที่ Hopper ซึ่งถูกออกแบบให้มีฝาเปิดด้านล่างเพื่อปล่อยตะกอนแห้งสู่รถขนส่งเพื่อลำเลียงไปทิ้งต่อไป
4) ระบบรวบรวมน้ำจากการรีดตะกอนและเครื่องสูบน้ำ โดยกระบวนการการรีดตะกอนนั้น ส่วนที่จะออกมาพร้อมกับตะกอนแห้งคือน้ำเสียที่แยกตัวออกมา ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้มีการสูบลำเสียกลับเข้าระบบบำบัดที่ถังเติมอากาศ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

คุณสมบัติ	ค่าที่จำกัด
pH	6.0-9.0
BOD	$\leq$ 10 mg/l
SS	$\leq$ 30 mg/l
TN	$\leq$ 10 mg/l
TP	$\leq$ 2 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำที่ออกจากระบบหมุนเวียนน้ำใช้

คุณสมบัติ	ค่าที่จำกัด
pH	6.5-8.0
Turbidity	$\leq$ 5 mg/l
Color	$\leq$ 15 mg/l
Free Residual Chlorine	$\leq$ 5 mg/l
Fecal Coliform Bacteria	$\leq$ 1 MPN/100 ml
Total Coliform Bacteria	$\leq$ 10 MPN/100 ml
Virus	$\leq$ 2
Parasits	$\leq$ 1

2.3 กากตะกอน

กระบวนการสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียคือ การกำจัดของแข็งออกจากน้ำเสีย ทั้งของแข็งที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) และของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Dissolved Solids) ของแข็งเหล่านี้จะมีน้ำปนอยู่ด้วย เมื่อทำการแยกน้ำออกมาจะเรียกว่ากากตะกอน (Sludge) หรือของแข็งชีวภาพ (Bio solids) โดยมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง มีค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) อยู่ในช่วงประมาณ 10,000 -50,000 (mg/L) เป็นแหล่งสะสมของทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดของน้ำเสียที่เข้ามาระบบ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ หลังจากที่แยกกากตะกอนเหล่านี้ออกมาแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำจัดหรือบำบัดด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป หากไม่ได้กำจัดหรือบำบัดโดยวิธีที่เหมาะสมแล้ว กากตะกอนเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาที่น่ารังเกียจตามมา เช่น มีกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวันและสัตว์นำโรคต่าง ๆ รวมทั้งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมข้างเคียงอีกด้วย เป็นต้น

2.3.1 แหล่งกำเนิดของกากตะกอน

กากตะกอนเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ถังตะกอนหรือถังปฏิกิริยา เป็นต้นทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียและวิธีการในการเดินระบบตัวอย่างเช่น ในระบบเอเอส (Activated Sludge Process; AS) ทั่วไป กากตะกอนเกิดจากถังตะกอนถังสุดท้าย

เอกสารนี้ ... ไม่ว่า ...

(Final Settling Tank) แต่ถ้าเป็นระบบเอเอสแบบผสม (Complete Mixed Activated Sludge Process) ที่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย กากตะกอนถูกระบายออกจากถังปฏิกิริยาหรือบ่อเติมอากาศ เป็นต้น

2.3.2 ประเภทของกากตะกอน

ลักษณะของกากตะกอนจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งกำเนิดเช่นเดียวกับปริมาณกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่เป็นสารอินทรีย์โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท

2.3.2.1. ตะกอนขั้นต้น (Primary Sludge)

หมายถึงกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เช่น ตะแกรงดักขยะ ถังตกตะกอนหนัก และถังปรับพีเอช โดยองค์ประกอบหลักของกากตะกอนขั้นต้นเป็นอนุภาคขนาดใหญ่มากกว่า 25 มิลลิเมตร มีน้ำหนักมากจำพวกกรวดทราย รวมถึงอาหาร เศษผัก ผลไม้ และน้ำมันที่ลอยอยู่ กากตะกอนมีลักษณะเป็นโคลนสีดำ กลิ่นเหม็นรุนแรง มีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 มีของแข็งอยู่ร้อยละ 3.0 – 7.0 (%Total solid) และมีปริมาณสารอินทรีย์ร้อยละ 60 – 80 (% Dried basis)

2.3.2.2. ตะกอนขั้นสอง (Secondary Sludge)

หมายถึงตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาหรือเคมี โดยส่วนใหญ่แล้วตะกอนเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางชีววิทยาหรือเคมี กล่าวคือ

1.) ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดทางเคมี (Secondary chemical sludge)

ตะกอนเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากการตกตะกอนของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า การรวมตะกอน (Coagulation) และตกตะกอน (Precipitation) เป็นต้น

2.) ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (Secondary bio-sludge)

ตะกอนชีวภาพส่วนเกินจากขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้จุลชีพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และระบบจุลชีพแขวนลอย (เช่น ระบบตะกอนเร่ง) หรือติดอยู่กับตัวกลาง (เช่น ระบบโปรยกรองหรือระบบเอเอส) กากตะกอนมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีน้ำมาก สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนดำ มีกลิ่นคล้ายโคลนและไม่ส่งกลิ่นเหม็นมากนัก อาจพบหนอนและแมลงบ้าง สามารถย่อยสลายได้ง่าย มีค่าพีเอชประมาณ 7.0 โดยทั่วไปตะกอนขั้นสองมีของแข็งอยู่ร้อยละ 0.5 – 2.0 (%Total solid) และมีปริมาณสารอินทรีย์ร้อยละ 50 – 60 (% Dried basis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3. ตะกอนขั้นสูง (Advanced Sludge)

หมายถึงกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูง เช่น ระบบตกตะกอนด้วยสารเคมีและการกรองขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปตะกอนขั้นสูงมีของแข็งประมาณร้อยละ 0.2 – 1.5 (% Total solid) และมีปริมาณสารอินทรีย์ร้อยละ 35 – 50 (% Dried basis)

กากตะกอนเหล่านี้จะย่อยสลายตัวเองอย่างช้า ๆ ด้วยกระบวนการย่อย (Digestion) ทั้งที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ถ้าหากเป็นกระบวนการย่อยที่ไม่ใช้อากาศและไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมก็จะมีสภาพเน่าดำ (Septic) และส่งกลิ่นเหม็นเนื่องจากแก๊สที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายตัวเองได้ เมื่อกระบวนการย่อยสลายเสร็จสิ้นลง ไม่ว่าจะเกิดการปล่อยให้ย่อยตัวเองหรือจากระบบบำบัดที่เหมาะสมก็ตามสีของกากตะกอนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ และจะไม่มีกลิ่นเหม็นต่อไป (เกศิณี. 2548: 11)

2.3.3 สมบัติของกากตะกอน

การศึกษาสมบัติของกากตะกอนทั้งสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีที่มีในกากตะกอน จะใช้เป็นข้อมูลในการเลือกวิธีการกำจัด และการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสมบัติของกากตะกอนมีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกอน (Physical Properties)

สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนโดยทั่วไปกล่าวถึง ขนาด รูปทรง ความชื้น และความหนาแน่นของกากตะกอน

1) ขนาดของก้อนกากตะกอนและรูปทรงของกากตะกอน เป็นตัวกำหนดความเปลืองเนื้อที่ของกากตะกอนและช่องว่างระหว่างก้อนเชื้อเพลิง ถ้าก้อนเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กมีรูปทรงเป็นก้อนกลม ก้อนเชื้อเพลิงจะเรียงชิดติดกัน มีช่องว่างระหว่างก้อนเชื้อเพลิงน้อยทำให้อากาศสัมผัสกับพื้นที่ผิวของกากตะกอนได้น้อย ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ต้องพยายามให้อากาศสัมผัสกับพื้นที่ผิวของกากตะกอนให้มากที่สุดและมีเวลานานเพียงพอในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้

2) ความชื้นของกากตะกอนที่เหมาะสม ส่งผลทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ดี แต่ถ้ากากตะกอนมีความชื้นมากเกินไป ทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นนั้นมากเกินไปทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

3) ความหนาแน่นของกากตะกอน จำแนกความหนาแน่นออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก) ความหนาแน่นบัล (Bulk Density) เป็นค่าที่แสดงลักษณะการเปลืองเนื้อที่ของกากตะกอน กล่าวคือ เมื่อเทกากตะกอนที่มีลักษณะเป็นก้อนลงในภาชนะ รูปทรงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละก้อนจะทำให้พื้นที่ผิวของกากตะกอนแนบกันไม่ได้ นั่นคือ เกิดช่องว่างระหว่างก้อนกากตะกอนทำให้เปลืองเนื้อที่ในภาชนะ เพราะบรรจุได้น้ำหนักน้อย เนื่องจากมีช่องว่าอากาศมากทำให้ค่า กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ต่ำลง หากความหนาแน่นของแท่งกากเชื้อเพลิงต่ำทำให้เปลืองที่มากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นบัลต่ำลงด้วย

ข) ความหนาแน่นโดยรวม (Absolute Density) เป็นค่าที่แสดงถึงความหนาแน่นของตัวกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการอัดเป็นก้อนมาแล้ว ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างมวลน้ำหนักของก้อนกากตะกอนกับปริมาตร

2.3.3.2. สมบัติทางเคมีของกากตะกอน (Chemical Properties)

สมบัติทางเคมีของกากตะกอนโดยทั่วไปจะกล่าวถึง สมบัติแบบประมาณ สมบัติแบบละเอียด และค่าความร้อนของกากตะกอน

1) สมบัติแบบประมาณ (Proximate Value)

สมบัติแบบประมาณ (Proximate Value) เป็นคุณสมบัติพื้นฐานในการวิเคราะห์เชื้อเพลิงต่างๆ เนื่องจากองค์ประกอบแบบประมาณจะทำให้ตัดสินใจได้ว่ากากตะกอนมีคุณสมบัติของสารเป็นเชื้อเพลิงได้หรือไม่ ตลอดจนมีสัดส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่มากน้อยเพียงใด องค์ประกอบแบบประมาณมีดังนี้

1.1 ความชื้น (Moisture Content) คือ ความชื้นที่คงเหลืออยู่ภายหลังจากกากตะกอนตากแห้ง มีลักษณะเป็นผงไม่ได้อัดก้อนขึ้นเป็นแท่งกากตะกอน ความชื้นของเชื้อเพลิงมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง ค่าความร้อนจะน้อยลงเมื่อเชื้อเพลิงมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น และเชื้อเพลิงที่มีความชื้นต่ำส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีและประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง

1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) คือ องค์ประกอบที่สามารถระเหยได้โดยใช้ความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่องค์ประกอบที่ระเหยจะเป็นสารอินทรีย์ กากตะกอนที่มีปริมาณสารระเหยสูงมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูง

1.3 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือปริมาณองค์ประกอบคาร์บอนคงตัวที่อยู่ในกากตะกอนซึ่งระเหยได้ยาก แต่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้ กากตะกอนที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงมีแนวโน้มที่ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้เช่นเดียวกัน

1.4 เถ้า (Ash) คือปริมาณสารอินทรีย์ที่คงอยู่ภายหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถ้ากากตะกอนมีปริมาณเถ้าสูงส่งผลให้เชื้อเพลิงจากกากตะกอนมีค่าความร้อนต่ำลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117299

2) สมบัติแบบละเอียด (Ultimate Value)

สมบัติแบบละเอียด (Ultimate Value) ในกากตะกอนใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลของการวิเคราะห์บอกถึงปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากตะกอน ทั้งธาตุหลักได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) รวมทั้งธาตุที่ก่อให้เกิดมลพิษ เช่น ซัลเฟอร์ (S) โลหะหนัก และคลอรีน (Cl) เป็นต้น กากตะกอนที่มีสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและ ไฮโดรเจนสูงส่งผลให้กากตะกอนมีค่าความร้อนสูงด้วย ส่วนปริมาณของธาตุซัลเฟอร์บ่งชี้ได้ถึงแก๊สมลพิษที่อาจเกิดขึ้นได้ในรูปออกไซด์ของซัลเฟอร์(SO_x) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากการศึกษาองค์ประกอบแบบละเอียดของกากตะกอนทำให้ทราบถึงแนวโน้มมลพิษที่เกิดขึ้นและเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีในการกำจัดกากตะกอนที่เหมาะสม

3) ค่าความร้อนของกากตะกอน (Calorific Value)

ค่าความร้อนของกากตะกอน (Calorific Value) คือพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg) เป็นต้น เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงจะปลดปล่อยพลังงานออกมาสูง (สมโภชน์. 2551: 6)

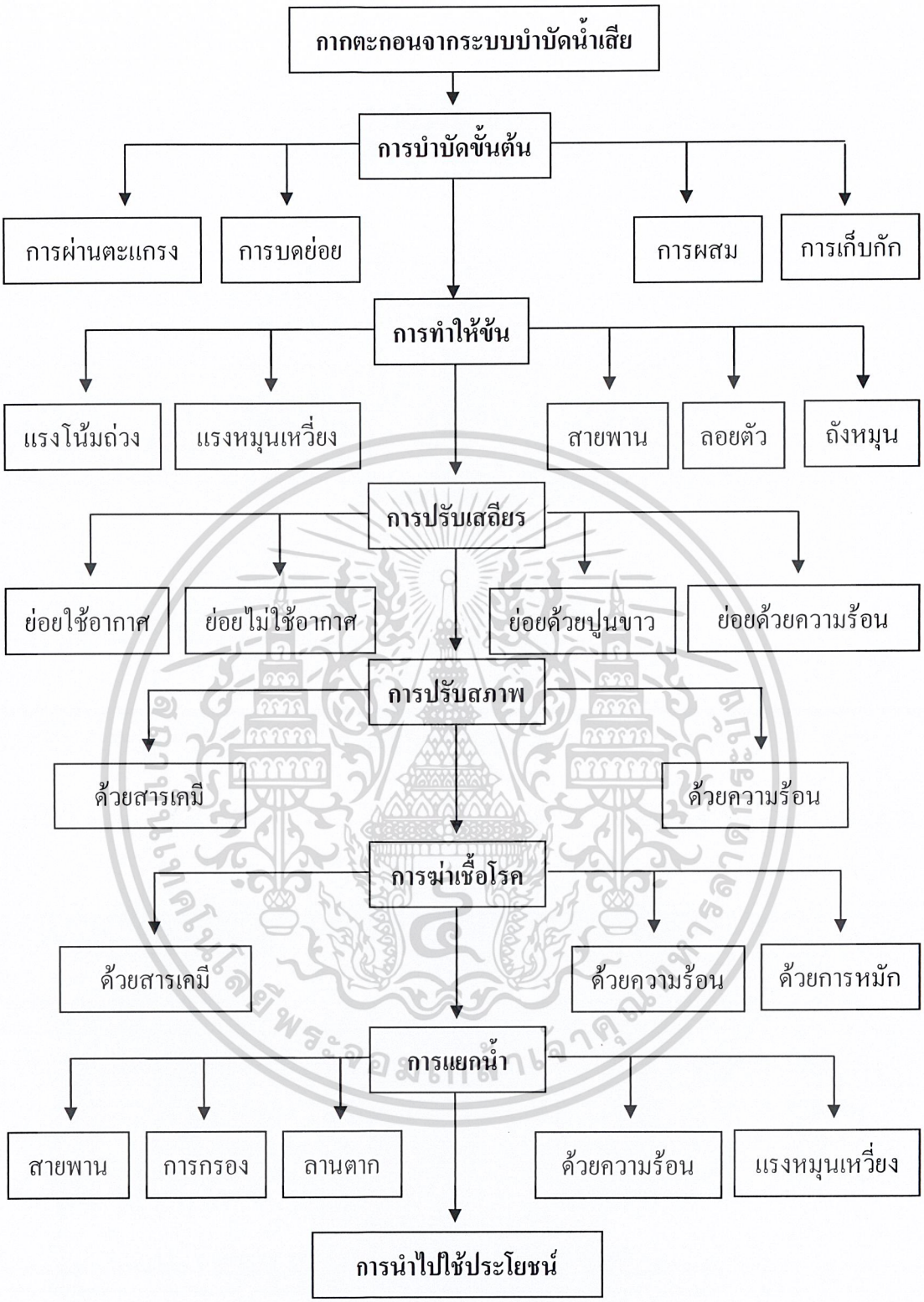
2.3.4 กระบวนการบำบัดกากตะกอน

กระบวนการบำบัดกากตะกอนมีหลายขั้นตอน คือเมื่อรวบรวมกากตะกอนทั้งหมดได้ ต้องผ่านระบบการบำบัดขั้นต้นก่อน จากนั้นไปผ่านขั้นตอนทำให้ข้นขึ้น แล้วไปปรับเสถียร ปรับสภาพ การฆ่าเชื้อโรคและรีดน้ำออกเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.4.1 ขั้นตอนการบำบัดกากตะกอนขั้นต้น (Preliminary Operation)

เป็นขั้นตอนการเตรียมกากตะกอนก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการบำบัด โดยเริ่มจากการรวบรวมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีน้ำและปริมาณกากตะกอนมาก นำมาผ่านตะแกรง การบด และการตัดเฉือน เพื่อลดกรวดทราย ลดขนาด และเอาวัตถุที่มีน้ำหนักมากออก ในกรณีที่ต้องรับกากตะกอนเพิ่มเติมจากแหล่งอื่น ต้องมีระบบผสม เพื่อให้กากตะกอนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเข้าสู่ถังเก็บกักกากตะกอน เพื่อช่วยรับกากตะกอนที่แต่ละวันมีปริมาณไม่คงที่ให้ป้อนเข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ ควรใช้ด่าง หรือปูนขาว เพิ่มค่าพีเอช ป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นจากก๊าซไข่เน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการบำบัดกากตะกอนโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 ขั้นตอนการทำกากตะกอนให้ข้น (Thickening)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อแยกน้ำออก และทำให้ปริมาตรกากตะกอนลดลง ซึ่งการบำบัดกากตะกอนในขั้นตอนต่อไปจะดำเนินการได้ง่ายขึ้น โดยวิธีการที่ใช้ได้แก่ การหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Thickening) การลอยตัว (Flotation Thickening) ใช้ถังหมุน (Rotary Drum Thickening) และด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Thickening) เป็นต้น

2.3.4.3 ขั้นตอนการปรับเสถียร (Sludge stabilization)

ขั้นตอนการปรับเสถียรกากตะกอน หรือการย่อยสลายกากตะกอน เป็นขั้นตอนที่ออกแบบมา เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์และลดปริมาณกากตะกอน เป็นผลให้ลดเชื้อโรคและลดกลิ่นเน่าเหม็นของกากตะกอนตามไปด้วย สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การย่อยสลายด้วยกระบวนการเคมีโดยการเติมสารจำพวกปูนขาว การย่อยสลายด้วยความร้อน และกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน เป็นต้น

2.3.4.4 ขั้นตอนการปรับสภาพกากตะกอน (Sludge conditioning)

เป็นขั้นตอนการปรับสภาพให้กากตะกอนมีลักษณะที่สามารถแยกน้ำออกได้ง่าย ซึ่งวิธีที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นวิธีการปรับสภาพด้วยสารเคมี (Chemical conditioning) และวิธีการปรับสภาพด้วยความร้อน (Heat treatment)

2.3.4.5 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรคกากตะตอน (Sludge disinifection)

มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคไปสู่สิ่งแวดล้อมอื่นๆ เมื่อนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์หรือนำกากตะกอนไปทิ้ง โดยการฆ่าเชื้อโรคสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อน และการใช้สารเคมีฆ่าเชื้อโรค การเก็บกักกากตะกอนที่ถูกย่อยแล้วเอาไว้นานๆ การหมักกากตะกอนที่อุณหภูมิสูง รวมถึงการปรับให้ค่าพีเอชของกากตะกอนให้สูงมากกว่า 12 เป็นต้น

2.3.4.6 ขั้นตอนแยกน้ำออกจากกากตะกอน

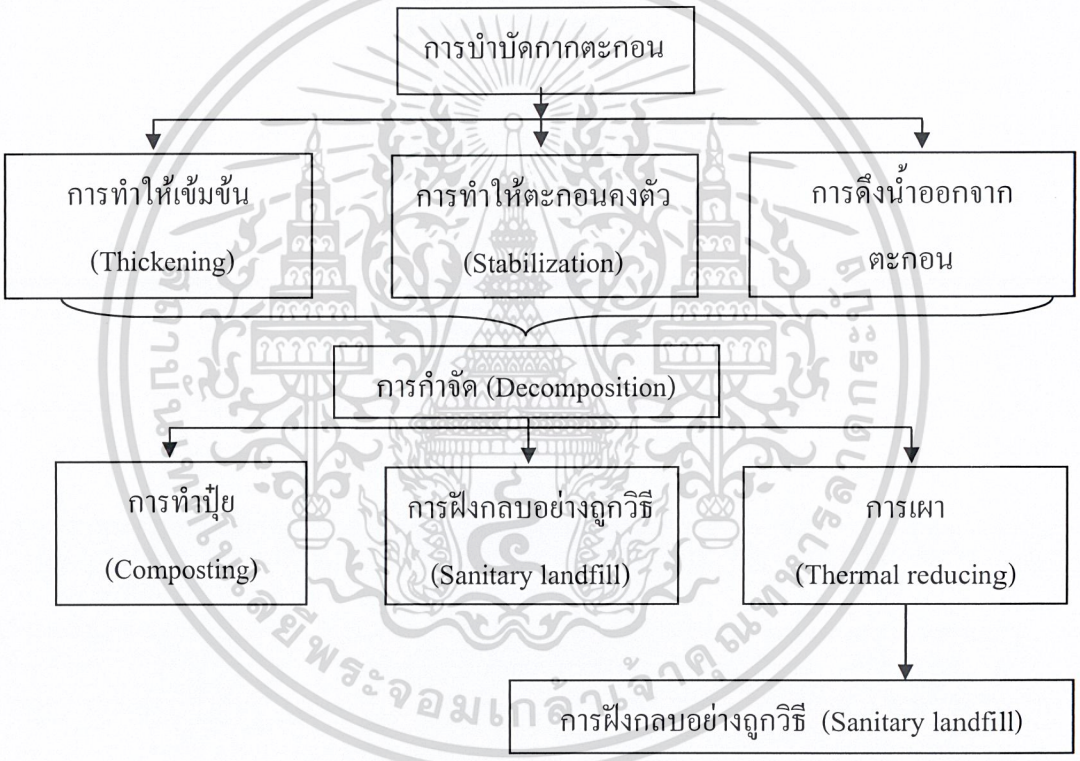
การแยกน้ำออกจากกากตะกอนเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการบำบัดกากตะกอน มีวัตถุประสงค์ในการลดความชื้น หรือลดน้ำในกากตะกอนให้เหลือน้อยที่สุด ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ การขนส่ง และการกำจัดกากตะกอนลดลง โดยมีวิธีการแยกน้ำออกจากกากตะกอนอยู่หลายแบบ เช่น วิธีการกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum filtration) การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) การใช้สายพานรีดน้ำ (Belt filter press) การอัดแผ่นกรอง (Filter presses) การตากแห้ง (Sludge drying beds) และการทำให้แห้งด้วยความร้อน (Heat drying) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดจะมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายดิน ความชื้นน้อย ไม่มีกลิ่น ในกรณีที่ได้รับการตรวจสอบแล้วว่าไม่มีสารพิษ หรือเชื้อโรคปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม แต่ถ้ามีปริมาณสารพิษมากเกินจะต้องนำไปกำจัดต่อด้วยวิธีที่เหมาะสม (เกศิณี. 2548: 14)

2.3.5 การกำจัดกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัด

กรรมวิธีการกำจัดตะกอนหรือกากตะกอนซึ่งประกอบด้วยการบำบัดและกำจัดตะกอนหรือกากตะกอนโดยทั่วไปมีหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการกำจัดตะกอน

2.3.5.1. การเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอน (Sludge thickening) สามารถทำได้ 3 วิธี

1) การตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity thickening) เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ใช้ถังตกตะกอนในลักษณะเดียวกับถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งหรือถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary sedimentation tank) ส่วนใหญ่ใช้กับตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย (Bio-sludge) จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอนจากระบบเลี้ยง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนเร่งได้ 2-3 % ทำให้ลดปริมาตรของกากตะกอนลงได้ประมาณ 3-4 เท่า เหมาะสำหรับตะกอนที่เกิดขึ้นใน 1 วันมีปริมาณไม่มากนัก และใช้ได้ผลดีกับตะกอนสารอินทรีย์ที่แยกออกจากน้ำเสียในขั้นแรก (Primary sludge)

2) การลอยตัวด้วยอากาศ (Air floatation) เหมาะสมสำหรับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้จากประมาณ 0.8-1% เป็นประมาณ 6% และระบบเพิ่มความเข้มข้นตะกอน นิยมใช้กันมากที่สุดคือ Dissolved air flotation (DAF) โดยอาศัยหลักการอัดอากาศเข้าไปในน้ำเสียภายใต้ความดันสูงกว่าบรรยากาศ เพื่อให้อากาศละลายในน้ำเสียมากขึ้น หลังจากนั้นลดความดันอากาศลง ทำให้อากาศละลายน้ำได้น้อยลง อากาศส่วนเกินจะหนีออกจากน้ำเป็นฟองเล็กๆ พาสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและจะพาสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย ข้อดีของระบบคือ มักใช้รวมกับการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่นด้วย เช่น การทำตะกอน

3) การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) แยกของแข็งออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้ตะกอนแยกออกจากน้ำได้อย่างรวดเร็วเหมาะสำหรับกรณีที่ไม่มีพื้นที่ในการก่อสร้าง รวมทั้งเป็นตะกอนของแข็งที่แยกตัวออกจากน้ำเสียค่อนข้างยาก โดยวิธีการนี้มีข้อเสีย เช่น ราคาเครื่องเหวี่ยงค่อนข้างแพง ค่าเดินระบบและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง เครื่องเหวี่ยงที่นิยมใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนที่ต้องการทำให้เข้มข้น

2.3.5.2. การทำให้กากตะกอนคงตัว (Sludge stabilization)

เป็นวิธีในการทำให้ตะกอนนั้นคงตัว โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพระหว่างการเก็บรักษา ส่วนใหญ่หมายถึงการทำให้ตะกอนที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา หลักการในการจัดการหรือบำบัดตะกอนขั้นนี้มักเปลี่ยนสภาพของตะกอนให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนลดลงหรือทำให้ตะกอนเหล่านั้นไม่สามารถเกิดการสลายทางชีวภาพต่อได้ วิธีการที่ใช้ในการทำให้คงตัวมีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้วิธีการทางชีววิทยาเป็นการย่อยกากตะกอนในส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายออกให้หมดหรือทางกายภาพโดยเติมพอลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนจับตัวกัน รวมทั้งการใช้สารเคมีบางชนิดเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของตะกอน เป็นต้น

วิธีการทางชีววิทยาในการจัดการตะกอนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การบำบัดตะกอนโดยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic digestion) เป็นวิธีการทำให้ตะกอนคงตัวควบคู่ไปกับการกำจัดตะกอนที่นิยมใช้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

โดยทั่วไป เหมาะสำหรับการบำบัดหรือกำจัดตะกอนในปริมาณไม่มากนัก (ขนาดของระบบบำบัดกากตะกอนไม่ควรจะเกินล้านแกลลอน/วัน) หากมีปริมาณตะกอนมากอาจจะต้องเลือกใช้วิธีการอื่น นอกจากนั้นแล้ว หากใช้วิธีการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน อาจจะพิจารณานำก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมาใช้ประโยชน์ หากปริมาณก๊าซมีเทนมีปริมาณมากและมีความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยปฏิกิริยาในถังหมักจะมีการย่อยสลายกากตะกอนสารอินทรีย์ซึ่งอาจจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง โดยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Acid former) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methane former) กระบวนการหมักกากตะกอนน้ำเสียเพื่อให้สลายตัวในสภาพที่สภาวะไร้ออกซิเจน ได้ก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้น นำมาใช้ประโยชน์ได้ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดเป็นดังปฏิกิริยาที่ 2.1

$$\text{Organic matter (C, H, O, N, S)} \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} CO_{2\,(g)} + CH_{4\,(g)} + H_2S_{\,(g)} + NH_{3\,(g)} \quad (2.1)$$

สารอินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้เป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศหรือออกซิเจนแบบถังหมักย่อยสลาย (Anaerobic digestion tank) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Low rate digester และ Hight rate digester

1.1. ระบบหมักแบบช้า (Low rate anaerobic digester) จะเป็นลักษณะถังหมักย่อยสลายที่ออกแบบเป็นถังปิดและมีการป้อนน้ำตะกอนเข้าสู่ด้านหัวหรือด้านบนของถังหมักให้ตะกอนเกิดการหมักในถังปฏิกิริยา โดยไม่มีการกวนผสมตะกอน ทำให้มีการตกตะกอนแยกชั้นตามน้ำหนักของตะกอนและเกิดการหมักในสภาพไร้อากาศ ตะกอนที่เกิดการหมักแล้วจะถูกระบายออกทางก้นถัง ส่วนน้ำใสจะถูกระบายออกทางด้านบนของถัง ปกติแล้วถังหมักประเภทนี้ส่วนบนสุดของน้ำตะกอนของถังหมักจะมีลักษณะเป็นกากตะกอนที่เรียกว่า Scum ลอยปกคลุมที่ผิวหน้าของน้ำเสียทางด้านบนถัง การระบายน้ำเสียที่บำบัดแล้วออกจากถังหมักจะต้องทำท่อระบายออกด้านข้างหรือด้านบนในระดับที่ต่ำกว่าชั้นของ Scum ลงไปปกติแล้ว Scum อาจมีประโยชน์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic treatment) คือจะเป็นตัวที่ทำให้ระบบมีสภาพไร้อากาศได้ดีขึ้น(Anaerobic condition) และเป็นตัวป้องกันไม่ให้ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักหลุดออกจากระบบได้ง่ายไม่ว่าจะเป็นแก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแอมโมเนีย (NH_3) หรือแก๊สมีกลิ่นเหม็นอื่นๆ เป็นต้น ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังหมักดังกล่าวไม่มีกลิ่นเหม็นมากนัก อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียนี้จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่สูงนัก ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการควบคุมระบบไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. ระบบหมักแบบเร็ว (Hight rate digester) เป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาจากระบบ Low rate anaerobic digestion เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบในระบบ Low rate anaerobic digestion เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้สูงขึ้น แต่ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวมีการใช้เครื่องจักรกลเข้าไปเดินระบบน้ำเสียมากขึ้น เช่น มีการกวนผสมให้กากตะกอนในระบบเป็นเนื้อเดียวกันโดยเครื่องกวนผสมซึ่งต้องใช้พลังงานสูง และหากน้ำกากตะกอนมีความเข้มข้นสูง การกวนผสมก็จะใช้พลังงานสูงมากขึ้นด้วย ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจะเหมาะสำหรับประเทศไทยและประเทศในเขตร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของบรรยากาศจะสูงไม่เป็นอุปสรรคกับประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนประเทศในเขตหนาวอาจจะมีการเพิ่มอุณหภูมิในถังหมักเหมาะสมกับปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์นั้น เช่น ในสภาวะอุณหภูมิภายนอก (บรรยากาศ) อยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมกับอุณหภูมิในถังหมักซึ่งไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส น้ำตะกอนหรือน้ำเสียที่บำบัดแล้วที่ออกจากถังหมักหรือระบบบำบัดน้ำเสียจะมีความเข้มข้นของตะกอนค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำเสียหรือน้ำตะกอนที่บำบัดแล้วดังกล่าว เพื่อให้ได้น้ำใสก่อนการระบายทิ้งหรือนำไปบำบัดต่อเพื่อให้มีคุณสมบัติดีขึ้น

2) ระบบบำบัดตะกอนโดยวิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic digestion)

เหมาะสำหรับการบำบัดตะกอนสารอินทรีย์ตั้งแต่ปริมาณมากที่สุดจนถึงปริมาณน้อยที่สุด เป็นระบบที่ควบคุมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพคงที่ นอกจากนี้ ยังไม่ประสบปัญหาระบบบำบัดล้มเหลวหรือมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นในขณะบำบัดเมื่อเทียบกับระบบบำบัดกากตะกอนที่ไม่ใช้ออกซิเจน วิธีการนี้เน้นที่ตะกอนจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ซึ่งถูกป้อนเข้าถังเติมอากาศและแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ระยะเวลาในการเติมอากาศกับกากตะกอนจะนานกว่าระบบบำบัดทั่วไป เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated sludge system) โดยจะควบคุมระบบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง Endogenous phase และจะทิ้งตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในถังปฏิกิริยาให้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) ไนเทรต (NO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และพลังงานความร้อน ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดในกระบวนการหมักแบบมีอากาศเป็นดังปฏิกิริยาที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\underset{(C, H, O, N, S)}{\text{Organic matter}} + O_{2\,(g)} \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)} + NO_{3(aq)} + SO_3^{-2}{}_{(aq)} \quad (2.2)$$

3) การไล่น้ำออกจากกากตะกอน (Sludge dewatering) มีหลายวิธีดังนี้

3.1 ผึ่งกากตะกอนบนทราย (Sludge drying beds) วิธีนี้มีปัญหาเรื่องกลิ่น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ตกค้างอยู่อาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสม ใช้เวลานาน 4-10 วัน เป็นวิธีที่ไม่เหมาะในช่วงฤดูฝน

3.2 การกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum filtration) ใช้หลักการการดูด (Suction) ผ่านตัวกลาง เช่น ผ้า หรือ Filter medium วิธีนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานในการกรอง

3.3 การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) ใช้หลักการแรงหนีศูนย์กลางเช่นเดียวกับวิธีกรอง

3.4 การอัดกรอง (Filter presses) นิยมใช้มากที่สุด สามารถทำได้ทั้งแรงงานคนและระบบอัตโนมัติ

กากตะกอนที่ผ่านจากการไล่น้ำออก ถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่มากจะนิยมนำไปเผาให้เป็นเชื้อเพลิงได้

2.3.6 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

เนื่องด้วยปริมาณกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นต่อวันมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นภาระที่โรงงานต้องรับผิดชอบในการกำจัดโดยไม่ให้มีผลต่อสภาพแวดล้อม กากตะกอนที่เกิดขึ้นแต่ละวันต้องนำไปบำบัดให้มีความคงตัว เพื่อลดปัญหาด้านกลิ่น และตะกอนจะถูกนำไปรีดให้เป็นแผ่นเพื่อลดปริมาตรและสะดวกในการขนส่ง ซึ่งในขั้นต่อมาจะนำกากตะกอนมากำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม นอกจากมีการนำไปกำจัดทิ้งด้วยวิธีที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ได้เป็น 3 ประเภทคือ การนำไปใช้ประโยชน์บนพื้นดิน การใช้พลังงานจากกากตะกอนโดยการเผา และการนำไปทำเป็นก้อนแข็ง

2.3.6.1 การใช้ประโยชน์กากตะกอนบนพื้นดิน (Land application)

กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์บนพื้นดินได้ทั้งหมดในรูปของเหลว และในรูปของแข็ง แล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น การนำไปถมที่ นำมาคลุมหลุมฝังขยะ การปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร หรือการนำไปทำปุ๋ย กากตะกอนที่ทิ้งบนพื้นดินย่อมเกิดกระบวนการย่อยสลาย ดูดซับ และดูดซึม ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายและแลกเปลี่ยนของสารต่างๆที่อยู่ในกากตะกอนลงสู่พื้นดิน ดังนั้นก่อนที่จะนำกากตะกอนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ด้วยวิธีนี้ ควรคำนึงถึงแนวโน้มของการเกิดปัญหาจากสารต่างๆ เช่น จากเชื้อโรค สารพิษ และโลหะต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดิน น้ำใต้ดิน พืชและสัตว์ ตลอดทั้งวงจรอาหาร

2.3.6.2 การใช้เป็นแหล่งพลังงาน

เผากากตะกอนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้ประโยชน์กากตะกอน เหมาะสำหรับกากตะกอนให้ค่าความร้อนค่อนข้างสูง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดด้านความชื้น กากตะกอนที่เหมาะสมต่อการเผาต้องเป็นกากตะกอนที่แห้งมากๆ อาจไม่ต้องผ่านกระบวนการปรับเสถียรเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ก่อนก็ได้ แต่ต้องเป็นของแข็งที่ผ่านกระบวนการรีดน้ำ หรือทำให้แห้งมาแล้วดังตัวอย่างของการทำเป็นเชื้อเพลิง

2.3.6.3 การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)

การทำเป็นก้อนแข็ง เป็นการประยุกต์เพื่อใช้ประโยชน์กากตะกอนโดยการนำมาผสมกับสารทำเป็นก้อนแข็ง เช่น ซีเมนต์ โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) และปูนขาว เป็นต้น มีการเติมทราย น้ำ และเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยสามารถทำเป็นตัวหนอนทางเท้า อิฐ ซีเมนต์บล็อก พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น อีกทั้งสารจำพวกซีเมนต์ ทำให้ค่าพีเอชของก้อนแข็งสูงขึ้น ช่วยลดการชะละลายของโลหะต่างๆได้ อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาการชะละลายของสารปนเปื้อนที่เป็นอันตราย และสมบัติการรับแรงของคอนกรีตอีกด้วย

2.3.7 เกณฑ์กำหนดของกากตะกอน

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) กำหนดมาตรฐานในการใช้ประโยชน์และกำจัดกากตะกอนจากในและนอกประเทศ เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์กากตะกอนบนพื้นที่ มาตรฐานของสารพิษ และเชื้อโรค ดังแสดงในตารางที่ 2.4 – 2.5 (เกศิณี. 2548: 20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนกากตะกอน

สารปนเปื้อน	ความเข้มข้นน้อยกว่า (mg/kg)
สารหนู	41
แคดเมียม	39
โครเมียม	1,200
ทองแดง	1,500
ตะกั่ว	300
ปรอท	17
นิกเกิล	420
ซิลิเนียม	36
สังกะสี	2,800

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดการปนเปื้อนเชื้อโรคในกากตะกอน

ประเภท	ข้อกำหนด
Class A	Salmonella sp น้อยกว่า 3 MPN ต่อกากตะกอนแห้ง 4 กรัม Fecal colifrom น้อยกว่า 1,000 MPN ต่อกากตะกอนแห้ง 1 กรัม เป็นกากตะกอนที่สะอาด สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกพื้นที่
Class B	Fecal colifrom น้อยกว่า 2 ล้าน MPN หรือ CFU ต่อกากตะกอนแห้ง 1 กรัม ห้ามนำไปขายและใช้ประโยชน์ในสนามหญ้าและสวนสาธารณะ

หมายเหตุ: MPN (Most Probable Number), CFU (colony-forming units)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถ่านกะลามะพร้าว

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocoas Nucifera Linn.* เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่าประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทย มีพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณร้อยละ 65 ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 35 ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผลใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550: ออนไลน์)

1) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้งอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว

2) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ผลผลิตมะพร้าวแต่ละปีจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่าปีละ 2,700 ล้านบาท คิดแล้วมูลค่ามหาศาล ซึ่งเราไม่ควรละเลยและควรเร่งหาทางในการส่งเสริมและพัฒนามะพร้าวอีกต่อไป มะพร้าวสามารถขึ้นได้ในทุกจังหวัดทั่วประเทศแต่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยคือ (ค่าพีเอชระหว่าง 6-7) ลักษณะดินร่วน หรือร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี มีฝนตกกระจายสม่ำเสมอแทบทุกเดือน อากาศอบอุ่น หรือค่อนข้างร้อนและมีแสงแดดมาก ภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมากและปลูกเป็นอาชีพ คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก

รูปที่ 2.3 กะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การปลูกมะพร้าวเป็นผลผลิตในประเทศไทย

ประเทศมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวประมาณ 2.43 ล้านไร่ มีผลผลิตประมาณ 1.63 ล้านตันต่อปี พื้นที่ปลูกที่สำคัญแยกตามภาคต่างๆ ได้แก่ ภาคใต้ แถบจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ ตรัง ส่วนภาคกลาง แถบจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม นครปฐม เพชรบุรี ราชบุรี สำหรับ ภาคตะวันออกได้แก่ ชลบุรี จันทบุรี ระยอง ตราด ฉะเชิงเทรา นอกจากนี้มะพร้าวยังสามารถปลูกได้ทุกสภาพภูมิประเทศปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ปลูกและเก็บเกี่ยวผลิตได้ตลอดทั้งปีทุกฤดูการ ทำให้มีวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ได้แก่ ทางหรือก้านใบ จั่นหรือก้านทะลาย จะมีเหลือในส่วนมะพร้าวเปลือกหรือกาบ และกะลาจะมีเหลือที่พ่อค้าคนกลางหรือเกษตรกรที่ทำการปอกเปลือกก่อนส่งสู่โรงงานอุตสาหกรรม โดยทางหรือก้านใบ มีประมาณ 19.59 ล้านตันต่อปี จั่นหรือก้านทะลาย มีประมาณ 0.40 ล้านตันต่อปี และกะลามะพร้าว มีประมาณ 1.40 ล้านตันต่อปี (การสำรวจวัสดุเหลือใช้ด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม. 2547)

รูปที่ 2.4 ต้นมะพร้าว

กะลามะพร้าว เป็นพืชชีวมวลเหลือใช้จากมะพร้าว ซึ่งมะพร้าว 1 ลูก จะได้ใยร้อยละ 36.2 และกะลาร้อยละ 16 โดยส่วนมากมะพร้าวจะปลูกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย (ประมาณร้อยละ 80) ซึ่งปกติจะให้ผลผลิตตลอดปีแต่จะให้ผลผลิตมากในช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม

2.4.2 ประโยชน์ของกะลามะพร้าว

เราสามารถนำกะลามะพร้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ คือ

1. การนำกะลามะพร้าวมาดัดแปลงทำเป็นวัสดุใช้สอยภายในครัวเรือน เช่น ช้อน ถ้วย และอุปกรณ์ตกแต่งบ้านเป็นต้น

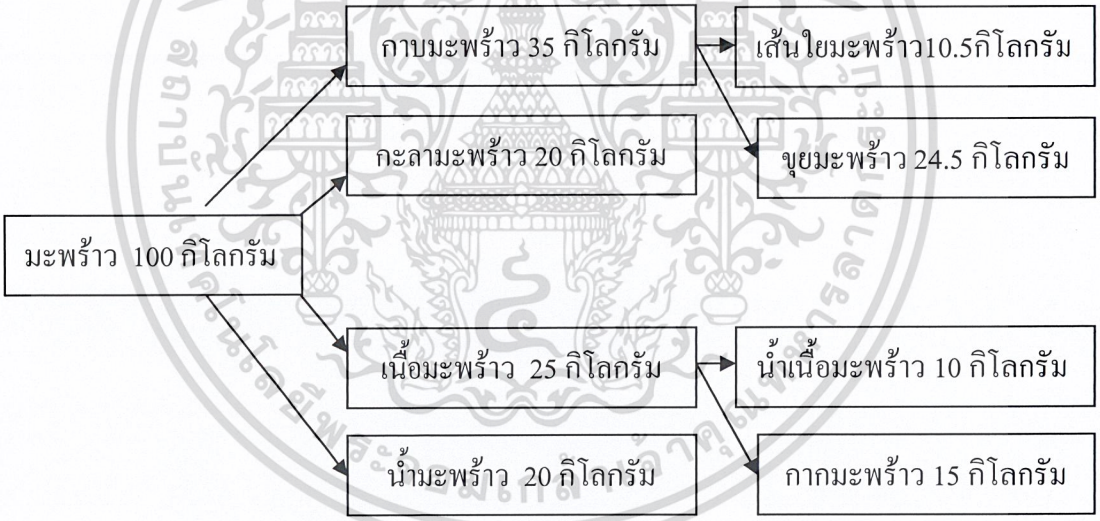
2. การนำถ่านชาร์กะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น มาใช้เป็นตัวดูดซับสีและกลิ่นในอุตสาหกรรมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรงประเทศไทย เป็นประเทศเกษตรกรรม มีพืชผลจากการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาสร้างเศรษฐกิจชุมชน และเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีพของมนุษย์ โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความอยู่ดีกินดีแก่ชุมชน

มะพร้าว เป็นพืชผลจากการเกษตรตัวหนึ่ง ที่สามารถนำส่วนต่างๆ มาทำประโยชน์ได้เกือบทุกอย่าง กะลามะพร้าวเป็นชิ้นส่วนที่เหลือจากการทำประโยชน์ และถูกทิ้งกองเหมือนเศษขยะ และมีบ้างที่ชาวบ้านให้ความสนใจนำกะลามะพร้าวไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มภายในครัวเรือน แต่ใช่ว่าเป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

ลือพงษ์ ลือนาม และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช (2551:68) รายงานการสำรวจอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวในจังหวัดชลบุรี มะพร้าวที่เก็บเกี่ยวจะมีน้ำหนักประมาณ 1.25–3.00 กิโลกรัมต่อผลเกษตรกรจะขายมะพร้าวทั้งผลเนื่องจากเก็บรักษาไว้ได้นานกว่ามะพร้าวปอกเปลือก ให้กับผู้ประกอบการท้องถิ่นเพื่อนำไปปอกเปลือกมะพร้าว แล้วจำหน่ายต่อให้กับอุตสาหกรรมร้านอาหาร ครัวเรือนเพื่อบริโภค โดยแยกส่วนประกอบของผลมะพร้าวได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของผลมะพร้าวปริมาณ 100 กิโลกรัม

2.4.3 การเผาถ่านกะลามะพร้าว

วิธีการเผากะลามะพร้าวให้เป็นถ่าน แบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ก่อนเผากะลามะพร้าวต้องคัดเศษวัสดุอื่นๆ เช่น กรวด หิน ดิน ทราย ถุงพลาสติก เศษอาหาร เศษโลหะต่างๆ ออกให้หมดเพราะวัสดุเหล่านี้จะเข้าไปผสมกับถ่านกะลา ทำให้ถ่านด้อยคุณภาพ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องบดได้ ข้อสำคัญ กะลามะพร้าวที่จะนำมาเผาต้องแห้งสนิท

หลังจากนั้นคัดเศษวัสดุ และได้กะลามะพร้าวที่แห้งสนิทแล้วให้นำไปเผาด้วยการใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ที่เปิดฝา เพราะเผาง่าย สะดวก ประหยัด รวดเร็ว โดยวางเรียงกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะคว่ำกะลามะพร้าวให้รอบถังเป็นชั้นๆ เข้ามา เว้นช่องว่างตรงกลางประมาณ 20 เซนติเมตรเพื่อให้จุดไฟ แต่วิธีนี้จะใช้เวลาในการเรียงกะลามากเกินความจำเป็น เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายให้หาวัสดุทรงกลมหรือ สี่เหลี่ยมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร วางไว้ภายในถังประมาณกึ่งกลางถัง จึงเทกะลามะพร้าวที่คัดเลือกแล้วลงไปประมาณครึ่งถัง ค่อยๆ ยกภาชนะที่กึ่งกลางจะเป็นช่องว่างใช้สำหรับจุดไฟ เมื่อไฟลุกไหม้ค่อยๆ ใส่กะลาลงไปเรื่อยๆ อย่าใส่มากจนเกินไปจะทำให้เกิดควัน และการเผาไหม้ไม่ทั่วถึง เมื่อควันเริ่มน้อยลงแสดงว่าการเผาไหม้กะลาทั่วถึงหมดแล้วโดยสังเกตจะเห็นกะลาติดไฟแดงๆ และควันไฟเริ่มน้อยลง พยายามใช้ไม้หรือเหล็กเขี่ยกะลาให้ติดไฟให้ทั่ว เพื่อให้กะลาติดไฟให้หมด ถ้ากะลาด้านบนติดไฟแดง ๆ โดยทั้งหมดแล้ว ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที จึงใช้กระสอบป่านชุบน้ำให้เปียกๆ คุมปากถังปิดทับด้วยฝาถังให้แน่นสนิท หรือใช้ทรายปิดบนกระสอบป่านอีกครั้งก็ได้ เพื่อไม่ให้อากาศข้างนอกเข้าไปในถัง ทิ้งไว้ 1 คืน ไฟจะดับ ถ่านกะลามะพร้าวจะค่อยๆ เย็นลง รุ่งขึ้นจึงเปิดฝาถัง นำถ่านกะลามะพร้าวไปเข้าเครื่องบดต่อไป

ข้อสังเกต ถ่านกะลามะพร้าวที่นำไปบดต้องดำสนิทไหม้หมด ชาวบ้านเรียกว่า “สุกได้ที่” หากมีสีน้ำตาล แสดงว่าไหม้ไม่หมดต้องนำไปเผาใหม่ การเผากะลามะพร้าวเพื่อทำถ่านจะมีควันไฟมาก (ขณะที่กะลามะพร้าวเริ่มติดไฟ) จึงควรเลือก เวลา สถานที่ ในการเผาพอสมควร (รุ่งโรจน์. 2553: 33)

2.5 ถ่านเปลือกทุเรียน

“ทุเรียน” เป็นไม้ผลในวงศ์ฝ้าย (Malvaceae) ในสกุลทุเรียน (*Durio*) (ถึงแม้ว่านักอนุกรมวิธานบางคนจัดให้อยู่ในวงศ์ทุเรียน (Durionaceae) ก็ตาม) เป็นผลไม้ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ ผลทุเรียนมีขนาดใหญ่และมีหนามแข็งปกคลุมทั่วเปลือก อาจมีขนาดยาวถึง 30 ซม. และอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาวถึง 15 ซม. โดยทั่วไปมีน้ำหนัก 1-3 กิโลกรัม ผลมีรูปรีถึงกลม เปลือกมีสีเขียวถึงน้ำตาล เนื้อในมีสีเหลืองซีดถึงแดง แตกต่างกันไปตามสปีชีส์

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งเป็นส่วนผสมของสารระเหยที่ประกอบไปด้วย เอสเทอร์ คีโตน และสารประกอบกำมะถัน บางคนบอกว่าทุเรียนมีกลิ่นหอม ในขณะที่บางคนบอกว่ามีกลิ่นเหม็นรุนแรงจนถึงขั้นสะอิดสะเอียน ทำให้มีการห้ามนำทุเรียนเข้ามาในโรงแรมและการขนส่งสาธารณะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีน้ำตาลสูง ทั้งยังอุดมไปด้วยกำมะถันและไขมัน จึงไม่เหมาะสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

ทุเรียนเป็นพืชพื้นเมืองของบรูไน อินโดนีเซีย และมาเลเซีย และเป็นที่รู้จักในโลกตะวันตกมาประมาณ 600 ปีมาแล้ว ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษ อัลเฟรด รัสเซล วอลเลซ ได้พรรณนาถึงทุเรียนว่า “เนื้อในมันเหมือนคัสตาร์ดอย่างมาก รสชาติคล้ายอัลมอนด์” เนื้อในของทุเรียนกินได้หลากหลายไม่ว่าจะห่าม หรือสุกงอม ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุเรียนมาทำอาหารได้หลายอย่าง ทั้งเป็นอาหารคาวและอาหารหวาน แม้แต่เมล็ดก็ยังรับประทานได้เมื่อทำให้สุก

ทุเรียนมีมากกว่า 30 ชนิด มีอย่างน้อย 9 ชนิดที่รับประทานได้ แต่มีเพียง Durio zibethinus เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่ได้รับความนิยมทั่วโลก จนมีตลาดเป็นสากล ในขณะทุเรียนชนิดที่เหลือมีขายแค่ในท้องถิ่นเท่านั้น ทุเรียนมีสายพันธุ์ประมาณ 100 สายพันธุ์ให้ผู้บริโภคเลือกรับประทาน นอกจากนี้ยังมีราคาสูงอีกด้วย ส่วนในประเทศไทยพบทุเรียนอยู่ 5 ชนิด (สมุนไพรน่ารู้: ออนไลน์)

รูปที่ 2.6 ผลทุเรียน

2.5.1 การปลูกทุเรียนเป็นผลผลิตในประเทศไทย

ไทยเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก (ปี 2546-2552) เฉลี่ยปีละ 700,129 ตัน โดยในปี 2551 และปี 2552 ประมาณการผลผลิต 679,142 ตัน และ 684,104 ตันตามลำดับ แหล่งผลิตที่สำคัญจะเป็นภาคตะวันออกได้แก่ จันทบุรี ระยอง และตราด ภาคใต้ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช

ในปี 2553 พื้นที่ให้ผลของทุเรียนอยู่ที่ 622,000 ไร่ ผลผลิต 632,400 ตัน ลดลงจากปี 2552 ร้อยละ 4.41 และประมาณการความต้องการบริโภคภายในประเทศทั้งทุเรียนสด และผลิตภัณฑ์ประมาณ 313,460 ตัน ลดลงร้อยละ 15.61 ส่วนการส่งออกจะเพิ่มขึ้น โดยเป็นทุเรียนสด 250,000 ตัน ทุเรียนแช่แข็ง 23,000 ตัน และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ประมาณ 46,000 ตัน รวมเป็นผลผลิตทุเรียนสดประมาณ 319,000 ตัน ซึ่งตลาดจีนยังคงเป็นตลาดหลักที่นำเข้าอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทุเรียนคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 สถิติการผลิตทุเรียนของไทยในปี 2546 – 2552

ปี	ปริมาณ (ตัน)
2546	736,651
2547	829,197
2548	649,789
2549	569,057
2550	752,965
2551*	679,142
2552*	684,104

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2551, 2552 เป็นประมาณการเก็บเกี่ยว:
(ภาคตะวันออก เดือน มี.ค.-ก.ค. ช่วงพ.ค. เป็นช่วงผลผลิตออกมาก)
(ภาคใต้ เดือน มิ.ย.-ต.ค. ช่วงส.ค. เป็นช่วงผลผลิตออกมาก)

รูปที่ 2.7 ต้นทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประโยชน์ของเปลือกทุเรียน

2.5.2.1. ใช้ประโยชน์ในการอุตสาหกรรม สารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือซีเอ็มซี (carboxymethyl cellulose, CMC) หรือ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(sodium carboxymethylcellulose) เป็นสารจำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ชนิดหนึ่งที่สกัดจากเปลือกทุเรียน สามารถสังเคราะห์ ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟา-เซลลูโลสปริมาณสูงกับอีเธอริไฟอิง เอเจนต์ (etherifying agent) ในภาวะด่าง โดยซีเอ็มซีเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย อาทิ อุตสาหกรรมสารซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหารและยา เป็นต้น(กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: ออนไลน์)

2.5.2.2. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงจำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ethers) ที่เป็นวัตถุดิบในการเตรียมซีเอ็มซีนั้น ในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตจากไม้ยืนต้น จำพวกสน และยูคาลิปตัส ประเทศไทยเรามีพืชและผลไม้หลายชนิด ที่สามารถสกัดแยกได้เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูง อาทิเช่น ชานอ้อย ข้าวโพด และวัชพืชหญ้าหลายชนิด ซึ่งสำคัญคือเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้ทางการเกษตร มาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: ออนไลน์)

2.5.2.3. เป็นอาหารปลาดุก โดยการขนเศษไม้ ใบไม้ มูลสัตว์ ทุกอย่างลงไปในบ่อปลาดุกตามด้วย เศษเปลือกทุเรียน ต่อมาเปลือกทุเรียนเปื่อยเป็นวุ้น และหายไป ปลาดุกกินทุกวัน และปลาดุกเติบโตเร็วมาก และโตเร็วกว่าการเลี้ยงปกติถึง 4 เท่า (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์:ออนไลน์)

2.5.2.4. ถ่านอัดแท่ง โดยนำเปลือกทุเรียนกับกากตะกอน อัดขึ้นรูปเป็นแท่ง ในอัตราส่วนผสม 6:1 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวม 3 ด้าน คือ ความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนมีค่า 4.46% 17.50% และ 21,758.79 กิโลจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส คือ 30.18% และ 29.03% ตามลำดับ โดยถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส 1.15% (ทิพาวรรณ. 2546)

2.5.2.5. ทางการแพทย์ ในการช่วยรักษาแผล เปลือกทุเรียนก็มีสารพอลิแซ็คคาไรด์ ที่สามารถสกัดออกมาในรูปของเจลมีคุณสมบัติในการพองตัวหรือละลายในน้ำ จึงสามารถนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ในลักษณะเจลได้ เจลเหล่านี้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด ช่วยป้องกันไม่ให้แผลติดเชื้อหรือเป็นหนอง (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: ออนไลน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งที่นำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมามีประโยชน์ โดยนำมาใช้ทดแทนไม้ฟืนและถ่าน วัสดุเหลือใช้พวกชีวมวลจากพืชไม้ หรือของเหลือทิ้งจากการเกษตร สามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วยขบวนการอัดแท่ง (Densification) มีความหนาแน่นสูง เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณมากไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา เมื่อนำมาอัดแท่งแล้วจะมีปริมาตรลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก และ 1/4 โดยปริมาตร แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก และเกือบ 3/4 โดยปริมาตร ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. วัสดุเหลือใช้เหล่านี้มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งมาก ทำให้การใช้ถูกจำกัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิตเท่านั้น การขนส่งไปบริเวณห่างไกลจะให้ผลไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ

2. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีความหนาแน่นต่ำ และมีค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรต่ำทำให้ต้องใช้ปริมาตรที่มาก จึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่า ดังนั้นจึงมีผลทำให้การใช้วัสดุเหลือใช้หรือฟืนถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมาก ๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

3. ความชื้นในวัสดุ ค่าความชื้นที่ได้จากวัสดุสดจะให้ค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากให้แห้ง นอกจากนี้วัสดุที่เปียกยังเกิดการผุเน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ดราและการกัดกินของแมลง

ได้มีการศึกษานำขี้เลื่อยมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็งพบว่ามีข้อได้เปรียบกว่าเชื้อเพลิงจากไม้ 5 ประการ คือ

1. เป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนของวัสดุต่อหน่วยปริมาตร
2. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้ และการขนส่ง
3. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีขนาดและคุณภาพเหมือนกัน
4. เป็นวิธีการช่วยแก้ปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืน

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีดังนี้

1. มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-60 มิลลิเมตร และยาว 50-150 มิลลิเมตร
2. มีคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สามารถใช้เชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้
3. ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากไม่มีกำมะถัน ฟอสฟอรัส และขี้เถ้า ปล่อยออกมา จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง
4. มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
5. สะดวกต่อการเก็บและการใช้งาน

ข้อเสียของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีดังนี้

1. การอัดแท่งใช้แรงอัดสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในขบวนการผลิต เป็นเหตุให้กระบอกอัดและสกรูสึกหรอได้ง่ายจากการขัดสี ดังนั้น การลงทุนจึงสูง
2. คุณสมบัติการเผาไหม้ยังไม่เป็นที่น่าต้องการ เช่น การลุกไหม้ไม่ดี จุดติดไฟยากและมีควันมาก

2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุเหลือทิ้งประเภทลิกโน-เซลลูโลส สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ เป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าว โรงเลื่อยและโรงน้ำตาล

วัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลสส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งวัสดุพืชแต่ละชนิดประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายอย่าง โดยมีสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอล (Phenolic Substances) มีอยู่ 20-30% สำหรับเนื้อไม้นั้นประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) สารพิเศษ (Extractive) และสารส่วนน้อย (Minor Constituent) โดยที่เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในเนื้อไม้ประมาณ 50% โดยมวลลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลสประมาณ 23-33% โดยมวลในไม้เนื้ออ่อน และ 16-25% โดยมวลในไม้เนื้อแข็ง ในขณะที่สารพิเศษเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีประมาณ 5-30% โดยมวล ซึ่งได้แก่ พวกน้ำมันหอม ยาง ไขมัน แป้ง เป็นต้น ส่วนสารส่วนน้อยจะมีปริมาณ 0.1-3% โดยมวล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบพวกแคลเซียม โปแตสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 วิธีการอัดแท่ง

2.6.2.1 การอัดก้อนวัสดุต่างๆ นั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

- การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย เหมาะสำหรับวัสดุที่มีลิกโน-เซลลูโลส เช่น เศษไม้ แกลบ ขี้เลื่อย
- การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน แยกได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสาน

2.6.2.2 การอัดร้อนและใช้แรงอัดสูง (Hot and High Pressure Densification) เป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวาง ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6-12%
- ขนาดของวัตถุดิบ (Particle Size) ขนาดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 48-100 Mesh ขนาดยิ่งละเอียดพื้นที่ผิวในการยึดตัวมากให้การอัดแท่งสะดวก
- แรงดัน (Pressure) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้
- อุณหภูมิ (Temperature) วัสดุที่ใช้ในการอัดแท่งก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องอัด หากทำให้ร้อนที่ 200-225 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลง 2 เท่า

2.6.2.3 การอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ (Cold and Low Pressure Densification)

- แบบใช้ตัวประสาน
- แบบไม่ใช้ตัวประสาน ใช้กับวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมักแล้วเท่านั้น และมีความชื้น 50-60%

2.6.3 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่ง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) สามารถอัดได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่มีปัญหาเรื่องการขัดสีของกระบอกสูบและการแตกของลูกสูบ
2. เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ
   - แบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) สามารถอัดได้ 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 8-10%
   - แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press)สามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงความชื้น 25%
   - แบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อน (Screw Press with heated die) อุณหภูมิขดลวด 200-350 องศาเซลเซียส สามารถอัดได้ 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นวัสดุ 8-12%
3. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าใช้เครื่องอัดแบบอื่นและได้ความหนาแน่นน้อย จึงเหมาะกับการอัดที่ใช้ตัวประสานเครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยพิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง(Roller) ซึ่งแรงเสียดสีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์และลูกกลิ้งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นและอัดวัสดุผ่านพิมพ์ ปกติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดขนาด 5-15 เซนติเมตร ยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร

2.6.4 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุด มีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้องค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ คือ

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย

2. ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากสภาวะสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

3. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

4. คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5. กำมะถันรวม (Total Sulfur)

6. ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) ค่าความร้อนของการสันดาป จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูง แต่มีสารที่ระเหยได้และปริมาณต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่า ความร้อนสูงสุด แต่จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่นๆ ด้วยคือ

1. การแตกปะทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟจะเป็นที่รังเกียจของผู้ใช้เป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้นถ่านที่มีคุณภาพดีจะไม่มีการแตกปะทุเลย หรือมีการแตกปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ

2. น้ำหนักถ่าน ถ่านที่มีน้ำหนักจะลุกไหม้ไฟให้ความร้อนแรงได้นาน

3. ควัน ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีควันหรือกลิ่นฉุนในขณะลุกไหม้

4. ความแข็งและการป่นของถ่าน ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา (สุพจน์. 2546: 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นกระบวนการออกซิเดชันของโมเลกุล โดยปกติทั่วไปหมายถึงโมเลกุลของคาร์บอน(C) และไฮโดรเจน(H) หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเกิดขึ้นเร็วมาก ภายใต้อุณหภูมิสูง พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาหรือเป็นขบวนการคายความร้อน (Exothemic process) นั่นเองถ้าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่ามากเพียงพอก็จะทำให้กระบวนการเผาไหม้ดำเนินการต่อไปได้ด้วยตัวเอง (Selfsustaining) อย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนและแสงสว่างออกมาเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้ การเผาไหม้อาจมองได้เป็นอีกลักษณะหนึ่งว่าเป็นเรื่องเกี่ยวกับจลนศาสตร์ทางเคมี (Chemical kinetics) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเร็วและกลไกของปฏิกิริยาเคมี ของสารขณะที่สลายตัวไปเป็นสารใหม่ พร้อมกับมีการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว

การเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น ส่วนประกอบของสารทำปฏิกิริยา (หรือส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์ เช่น ออกซิเจน หรืออากาศ) อุณหภูมิและความดันเป็นต้น การเผาไหม้จะต้องปลดปล่อยความร้อนและหรือแสงสว่าง การเผาไหม้จะต้องมีเปลวไฟ (Flame) คือบริเวณบางๆที่ซึ่งปฏิกิริยาเคมีคายความร้อน (Exothermic chemical reaction) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเปลวไฟของตะเกียงบุนเซน และเปลวไฟเทียนไข เป็นต้น (สำเริง. 2547: 56)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประทีป ปิ่นท้วม (2538) ได้ศึกษาการนำขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้มีสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับฟืนไม้ยูคาลิปตัส โดยการผสมผักตบชวาหมักกับขี้เลื่อยในสัดส่วน 1:50, 1:40, 1:20, 1:10, 1:7, 1:2 และ 1:1 (โดยน้ำหนัก) และการอัดร้อนจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระหว่างการอัดมากกว่าการอัดเย็น 2-3 เท่า ดังนี้

- การอัดเย็น เฉลี่ย 0.0532 kw.h/kg
- การอัดร้อน เฉลี่ย 0.1428 kw.h/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของฟืนและถ่านไม้ยูคาลิปตัส

สมบัติ	ฟืนไม้ยูคาลิปตัส	ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
ความชื้น (%)	7.13	3.92
เถ้า (%)	4.41	1.12
สารระเหย (%)	67.44	25.97
คาร์บอนคงตัว (%)	21.02	68.99
ค่าความร้อน (แคลอรี่/กรัม)	4,563.5	7,689.6
กำมะถัน (%)	0.31	-

ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข (2540) ผู้วิจัยได้ศึกษาการประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต (Proximate analysis) ได้แก่การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัวและการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต (Ultimate analysis) ได้แก่ การหาปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และเถ้า จากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยจำนวน 40 ตัวอย่าง พบว่าสมการที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกับเถ้า สารระเหย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ มีอยู่ 8 สมการที่ให้ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรที่ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination : R^2) มากกว่า 0.85

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากสมการทั้ง 8 นี้กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองพบว่าสมการที่ 8 (-825.236 + 72.326C + 175.959H + 22.149O) ซึ่งเป็นสมการถดถอยพหุเชิงเส้น (multiple linear regression equation) ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และสมการที่ 9 (1206.403 + 54.695C + 142.859H – 20.018Ash) ซึ่งเป็นสมการถดถอยพหุเชิงเส้นระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และเถ้า ให้ผลใกล้เคียงมากที่สุดโดยมีร้อยละของผลต่างค่าเฉลี่ยเพียง 1.45 และ 1.54 ตามลำดับ แต่เมื่อนำเฉพาะตัวอย่างแกลบมาเปรียบเทียบพบว่าสมการที่ 2 (4811.117 – 55.767 Ash) ซึ่งเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณเถ้าซึ่งเป็นตัวแปรอิสระให้ผลใกล้เคียงมากที่สุดโดยมีร้อยละของผลต่างเฉลี่ยเพียง 0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นพพร สุดใจธรรม (2545) ผู้วิจัยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟโดยใช้เครื่องอัดเย็น และมีตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัย 3 ชนิด คือ ผักตบชวาหมัก เศษมันสำปะหลัง และแป้งเปียก โดยทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมด 14 ตัวอย่างคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมผักตบชวาหมักที่อัตราส่วน 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 จำนวน 5 ตัวอย่าง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมเศษมันสำปะหลังที่อัตราส่วนเดียวกันกับใช้ผักตบชวาหมักเป็นตัวประสาน จำนวน 5 ตัวอย่าง และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมแป้งเปียก ที่อัตราส่วน 7:3, 8:2 และ 9:1 จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟล้วน 1 ตัวอย่างพร้อมทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ ด้านเชื้อเพลิง และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการผลิต โดยใช้สถิติ Analysis of Varianec และ Duncan's Multiple Range Tests พบว่ากากกาแฟมีค่าความร้อน 6,038 Kcal/kg (25.28 MJ/kg) ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟืน (4,436 Kcal/kg) แต่ต่ำกว่าถ่านไม้เบญจพรรณ (6,552 Kcal/kg) เมื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมผักตบชวาหมัก เศษมันสำปะหลัง หรือแป้งเปียกจะมีค่าความร้อนลดลงเหลือ 4,700-5,700 Kcal/kg ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสานและมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.5-0.9 g/cm^3 ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อตัวประสานที่ใช้ลดลง ค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.82 – 0.99 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเชื้อเพลิงในการทนต่อแรงกระแทกในการขนส่งได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของความร้อนร้อยละ 13.3 – 23.4 ซึ่งใกล้เคียงกับฟืนไม้เบญจพรรณ กากกาแฟดิบที่ผ่านการลดความชื้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทันทีจะมีค่าความร้อนรวมเทียบได้กับน้ำมันเตาที่มีค่าความร้อน 39.23 MJ/I ราคา 7 บาท/ลิตร คิดเป็นมูลค่า 18.0433 ล้านบาท/ปี (ประมาณ 4,510 บาท/ตัน) ที่สามารถประหยัดได้ ทั้งนี้ หากนำกากกาแฟมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าการใช้กากกาแฟดิบเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง โดยคิดเทียบน้ำมันเตาสามารถประหยัดเงินได้ถึง 14.9414 ล้านบาท/ปี

ทิพาวรรณ รักษ์วงศ์ (2546) ได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการนำเปลือกทุเรียนมาผสมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ จำนวน 6 อัตราส่วนผสม คือ 4:5 5:1 6:1 7:1 8:1 และ 9:1 โดยน้ำหนัก เมื่อเผาเปลือกทุเรียนให้เป็นถ่าน แล้วอัดเป็นแท่งโดยใช้กากตะกอนเป็นตัวประสานและศึกษาสมบัติทางกล สมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน และเปรียบกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกทุเรียนกับกากตะกอนตั้งแต่ 4:1 ถึง 7:1 สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ โดยส่วนผสมที่มีเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น จะอัดขึ้นรูปได้ยากขึ้น ความหนาแน่น และดัชนีการแตกร่วนจะลดลง จากการอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสม 6:1 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวม 3 ด้าน คือ ความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนมีค่า 4.46% 17.50% และ 21,758.79 กิโลจูล/ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส คือ 30.18% และ 29.03% ตามลำดับ โดยถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส 1.15%

ประริญา รำไพ (2546) วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยามาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษามาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและโรงงานฟอกย้อม โดยทำการศึกษาการใช้ร่วมกันของกากตะกอนและเปลือกมะพร้าวอ่อนในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปอัดแท่ง ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนโดยใช้การหมัก 2 แบบคือ ไม่มีอากาศและมีอากาศและการเผาแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นถ่าน หลังจากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปทดสอบการใช้งานความร้อนเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านไม้เพื่อประเมินศักยภาพการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน

ผลการศึกษาการอัดแท่งพบว่าอัตราส่วนที่สามารถอัดได้ และเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 1:1, 1:2 และ 1:3 ผลการหมักของตะกอนโรงงานผลิตเยื่อกระดาษพบว่าการหมักทั้ง 2 แบบทำให้กลิ่นลดลงและผลการใช้งานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่หมักแบบไม่มีอากาศดีกว่าหมักแบบมีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 3,398 แคลอรี/กรัม ผลการทดลองหมักกากตะกอนโรงงานฟอกย้อม พบว่าการหมักแบบมีอากาศให้การใช้งานความร้อนดีกว่าการหมักแบบไม่มีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 2,851 แคลอรี/กรัม ผลการปรับปรุงโดยการเผาถ่านของแท่งเชื้อเพลิงทั้งสองโรงงานมีประสิทธิภาพดีกว่าการหมักทั้งสองแบบทั้งทางด้านการกำจัดกลิ่นและเชื้อโรคและการใช้งานความร้อน อัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานผลิตเยื่อกระดาษคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,736 แคลอรี/กรัม และอัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานฟอกย้อมคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 3,729 แคลอรี/กรัม เมื่อนำไปทดสอบการใช้งานความร้อนเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าถ่านแท่งเชื้อเพลิงสามารถใช้งานความร้อนได้เทียบเท่ากับถ่านไม้และใช้เวลาในการติดไฟน้อยกว่า

สุพจน์ เดชผล (2546) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย โดยผสมกากตะกอน (ฟิลเตอร์เคก) กับชานอ้อยที่อัตราส่วน (กากตะกอน:ชานอ้อย) ต่าง ๆ และทำการอัดแท่ง จากนั้นวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการเผาเป็นถ่าน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อชานอ้อยที่ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ในขณะที่อัตราส่วน 3:7, 2:8, 1:9 และ 0:10 ไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ เนื่องจากมีปริมาณชานอ้อยมากเกินไป นำอัตราส่วนที่มีปริมาณชานอ้อยมากที่สุด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 6:4, 5:5 และ 4:6 มาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า อัตราส่วน 4:6 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดและเมื่อทำการเผาถ่านแล้ว พบว่า สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งดีกว่าถ่านอัดแท่ง การนำไปใช้ในสภาพเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเหมาะสมกว่าการนำไปทำเป็นถ่าน สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 4:6 มาทำการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าโรงงานน้ำตาลที่ศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ สามารถมีกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 347,700 แท่ง/ปี และมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.58 บาท/แท่ง

เกศิณี สกุลวงษ์ (2548) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในการตรึงโลหะหนัก (ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล) ในดินที่ปรับปรุงด้วยกากตะกอนน้ำเสียชุมชน สำหรับใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยทดลองหาการชะละลายจากคอลัมน์พลาสติกและลักษณะดินที่นำมาศึกษาได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งและดินร่วนปนทราย อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ทำการทดลองเท่ากับ 1:0.2 เติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ 15% และ 30% ของกากตะกอนและใช้น้ำที่ pH 7 และ pH 4.5 เป็นตัวแทนของน้ำและน้ำฝนที่เป็นกลางและน้ำฝนกรด ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า ลักษณะของเนื้อดินมีผลในการตรึงทองแดง สังกะสี และนิกเกิลในดินที่ปรับปรุงด้วยกากตะกอน โดยดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งให้ผลดีกว่าดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งผสมกากตะกอน จะให้ประสิทธิภาพในการตรึงทองแดง 43.90 และ 48.78% สังกะสี 57.78 และ 62.22% และนิกเกิล 38.82 และ 52.94% ตามลำดับ และเมื่อเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 15 % และ 30% ของกากตะกอนลงในดินร่วนปนทรายผสมกากตะกอนจะให้ประสิทธิภาพในการตรึงทองแดง 31.31 และ 67.77% สังกะสี 23.08 และ 62.64% และนิกเกิล 59.60 และ 84.18% ตามลำดับเมื่อใช้น้ำที่ pH 7 และเมื่อใช้น้ำที่ pH 4.5 ให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้น้ำที่ pH 7 มากนัก

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง (2548) งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งโดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์ที่ได้ จากกระบวนการแยกสลายกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียด้วยความร้อนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และมีแป้งมันเป็นตัวประสาน ชีวมวลที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการเผาเป็นถ่าน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อชานอ้อยที่ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ในขณะที่อัตราส่วน 3:7, 2:8, 1:9 และ 0:10 ไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ เนื่องจากมีปริมาณชานอ้อยมากเกินไป นำอัตราส่วนที่มีปริมาณชานอ้อยมากที่สุด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 6:4, 5:5 และ 4:6 มาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า อัตราส่วน 4:6 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดและเมื่อทำการเผาถ่านแล้ว พบว่า สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งดีกว่าถ่านอัดแท่ง การนำไปใช้ในสภาพเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเหมาะสมกว่าการนำไปทำเป็นถ่าน สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 4:6 มาทำการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าโรงงานน้ำตาลที่ศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ สามารถมีกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 347,700 แท่ง/ปี และมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.58 บาท/แท่ง

เกศิณี สกุลวงษ์ (2548) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในการตรึงโลหะหนัก (ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล) ในดินที่ปรับปรุงด้วยกากตะกอนน้ำเสียชุมชน สำหรับใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยทดลองหาการชะละลายจากคอลัมน์พลาสติกและลักษณะดินที่นำมาศึกษาได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งและดินร่วนปนทราย อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ทำการทดลองเท่ากับ 1:0.2 เติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ 15% และ 30% ของกากตะกอนและใช้น้ำที่ pH 7 และ pH 4.5 เป็นตัวแทนของน้ำและน้ำฝนที่เป็นกลางและน้ำฝนกรด ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า ลักษณะของเนื้อดินมีผลในการตรึงทองแดง สังกะสี และนิกเกิลในดินที่ปรับปรุงด้วยกากตะกอน โดยดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งให้ผลดีกว่าดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งผสมกากตะกอน จะให้ประสิทธิภาพในการตรึงทองแดง 43.90 และ 48.78% สังกะสี 57.78 และ 62.22% และนิกเกิล 38.82 และ 52.94% ตามลำดับ และเมื่อเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 15 % และ 30% ของกากตะกอนลงในดินร่วนปนทรายผสมกากตะกอนจะให้ประสิทธิภาพในการตรึงทองแดง 31.31 และ 67.77% สังกะสี 23.08 และ 62.64% และนิกเกิล 59.60 และ 84.18% ตามลำดับเมื่อใช้น้ำที่ pH 7 และเมื่อใช้น้ำที่ pH 4.5 ให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้น้ำที่ pH 7 มากนัก

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง (2548) งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งโดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์ที่ได้ จากกระบวนการแยกสลายกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียด้วยความร้อนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และมีแป้งมันเป็นตัวประสาน ชีวมวลที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัย คือ กะลามะพร้าว นำชีวมวลไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์เพื่อให้ชีวมวลเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของถ่านชาร์นำถ่านชาร์จากชีวมวลมาผสมกับถ่านชาร์ที่ได้จาก กระบวนการแยกสลายกากตะกอน โดยมีอัตราส่วนของถ่านชาร์จากชีวมวลต่อถ่านชาร์จากตะกอน คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ปริมาณของแป้งมันที่เติมลงไป คือ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อัดแท่งส่วนผสมของถ่านชาร์จากชีวมวลกับถ่านชาร์จากกากตะกอนในอัตราส่วนต่างๆโดยวิธีการอัดรีด วิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงแท่ง เช่น วิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน ทดสอบสมบัติเชิงกลและกายภาพ เช่น ค่าความทนต่อแรงกดอัด และค่าความต้านทานต่อการกระแทก โดยเชื้อเพลิงแท่งที่อัตราส่วนถ่านชาร์จากชีวมวลกับถ่านชาร์จากกากตะกอน 100:0 มีค่าความทนต่อแรงกดอัดสูงที่สุด คือ 6.96 MPa รองลงมาที่ อัตราส่วน 50:50, 75:25, 0:100 และ 25:75 เท่ากับ 3.74, 3.47, 1.37 และ1.12 ตามลำดับ และค่าความร้อน ของเชื้อเพลิงแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของถ่านชาร์จากกะลามะพร้าวที่เติมลงไป คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ100:0 เท่ากับ 8.14, 11.16, 16.72, 22.44 และ28.23 MJ/Kgตามลำดับ

เกวลิน ไชยอำพร (2550) การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มมาผสมกับน้ำและใช้ของเสียกลีเซอรอลมาเป็นตัวประสาน โดยศึกษาผลขนาดอนุภาค อัตราส่วนผสม(วัสดุต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอล) อุณหภูมิของตัวประสาน และอัตราส่วนของวัสดุ(ปริมาณเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม)ที่มีต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยปรับเปลี่ยนขนาดอนุภาค 3 ช่วง(ขนาด < 0.5 มม., 0.5-1.0 มม. และ < 2.0 มม.) ปริมาณวัสดุ 4 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึง 80 ปริมาณน้ำ 3 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 20 ปริมาณของเสียกลีเซอรอล 5 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง50 อุณหภูมิของตัวประสาน(อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส) และอัตราส่วนเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม 4 ค่า (ร้อยละ 100:0, 90:10, 80:20 และ70:30) โดยพิจารณาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากร้อยละการอัดเป็นเม็ด ความหนาแน่นรวมทั้งก้อน ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ความชื้น สารที่ระเหยได้ และคาร์บอนคงตัว

จากการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวมีค่าสมบัติต่างๆ ผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดยกเว้นปริมาณเถ้า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว คือ อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล) เท่ากับ 50:10:40 โดยใช้เส้นใยปาล์มขนาด < 2.0 มม.ผสมกับน้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนที่เป็นตัวประสาน มีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ด 62.6 ความหนาแน่นรวม 982.2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อน 22.5 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 5.9194 ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 88.2573 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.5894 และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.2339 ซึ่งปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด การนำกะลาปาล์มมาผสมกับเส้นใยปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อลดปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้ โดยอัตราส่วนเส้นใยปาล์มร้อยละ 80 ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะลาปาล์มร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มเนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นลดลงเหลือร้อยละ 2.5247 ซึ่งยังคงสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดแต่มีค่าได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง ร้อยละการอัดเป็นเม็ด 70.5 ความหนาแน่นรวม 774.8 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อน 19.71 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 9.8137 สารที่ระเหยได้ร้อยละ 86.2259 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.4356 และความสามารถในการรับแรง 4.83 N โดยราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 1.14 บาท/กก.

กษิต ตั้งมานะสกุล (2551) งานวิจัยนี้ศึกษาการนำยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) เพื่อผลิตเป็นถ่านชาร์ที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนจำพวกเชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuel) ได้ ขั้นตอนกระบวนการผลิตสามารถทำได้โดยนำยางล้อรถยนต์ที่ผ่านการบดย่อยมาบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์ อัดแก๊สไนโตรเจนเพื่อไล่ออกซิเจนป้องกันการเผาไหม้ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อทำการกำจัดน้ำและของเหลวที่ระเหยได้ และทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการไล่แก๊สจำพวกซัลเฟอร์ออกจากยาง ให้ความร้อนต่อไปอีกที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารอินทรีย์ทุกชนิดจะสลายตัวได้เป็นถ่านชาร์ โดยแต่ละขั้นตอนใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (Holding time) ตั้งแต่ 0 - 45 นาที และผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนเซชันมีคุณภาพเทียบเท่ากับถ่านหินชั้นดีเพราะเมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันจะทำให้ค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) มีปริมาณมากขึ้น ซึ่งคาร์บอนคงตัวส่วนใหญ่จะได้จากคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ที่มีอยู่ในยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้ว

สมโภชน์ เชิดพงษ์ (2551) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาการกำจัดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยได้ศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง มีความสามารถกำจัดกากตะกอนน้ำเสียชั่วโมงละ 50 กิโลกรัม นำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้กับเครื่องยนต์กำเนิดกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยวัตถุประสงค์ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่การจ่ายอากาศ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ สภาวะปกติ อุณหภูมิโซนการเผาไหม้และโซนรีดักชันเฉลี่ยเท่ากับ 1,150 และ 1,000 องศาเซลเซียสตามลำดับ องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ร้อยละ 6.31 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 0.90 แก๊สมีเทนร้อยละ 1.13 แก๊สไฮโดรเจนร้อยละ 9.05 และมีค่าความร้อนสูง 3.36 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณเถ้าที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาร้อยละ 27.56 โดยน้ำหนักอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกากตะกอนน้ำเสีย 59.71 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เครื่องผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 36.71 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพการเชิงความร้อนโดยรวมร้อยละ 11.12 ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าใช้เงินลงทุนประมาณ 3 ล้านบาท และมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาปีละ 544,292 บาท โดยมีความเหมาะสมต่อการลงทุนระบบผลิตพลังงานจากกากตะกอนน้ำเสีย คืนทุนได้ภายใน 3.53 ปี

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2551) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง จากชีวมวลโดยอาศัยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบอัดรีดเย็น และใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เถ้าแกลบโดยการนำมาผสม วัตถุดิบอื่นเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ขี้เถ้าแกลบที่ได้จากกระบวนการอบข้าวเปลือก ในโรงสีข้าว โดย การนำมาบดผสมกับผงถ่านซังข้าวโพดและผงถ่านกะลามะพร้าว โดยมี สัดส่วนการผสมอยู่ที่ 30:70 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ ส่วนแป้งมันจะมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1 : 10 จากการศึกษา พบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วน การผสมของผงซังข้าวโพดและผงกะลามะพร้าวแต่จะแตกต่างกันไม่มาก นัก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง พบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 6,048 - 6,943 kcal/kg ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ความชื้นอยู่ระหว่าง 5.7 - 5.83 % โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแท่ง เชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5 kg/min ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 - 833 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.07 - 1.23 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ จุดคุ้มทุนของการ ผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 9,448 kg จากการศึกษาพบว่ามีความ เป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

กัมปนาท ตั้งเตชานนท์ และคณะ (2552) โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการศึกษาสมบัติทางเคมีและเชื้อเพลิงของกากตะกอน ซึ่งทำการศึกษาปริมาณโลหะหนัก ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนพบว่ากากตะกอนที่ศึกษาไม่เป็นกากของเสียอันตรายและ มีปริมาณซัลเฟอร์เทียบเท่าถ่านหินบิทูมินัสอีกทั้งความร้อนเท่ากับ13892.30 kJ/kg ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว 4.63, 3.95, 6.20และ64.24% พบว่ากากตะกอนมีศักยภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมขี้เลื่อยโดยใช้แป้งมันสำประหลังเป็นตัวประสานและผสมที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักดังนี้ 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ1:3 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แก่ การทนแรงอัด ดัชนีการแตกร่วน และค่าความร้อนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนขี้เลื่อยจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าทนแรงอัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยลงและ ดัชนีแตกร่วนมากขึ้นแต่จะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสมคือ อัตราส่วน 1:0.5

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล (2553) การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ โดยศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) มลภาวะ ต้นทุนต่อหน่วยและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตถ่านอัดแท่ง

ผู้วิจัยได้ทาการทดลองนาวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ลักษณะถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีครีบโดยรอบจานวน 5 ครีบ และมีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แรงอัด 33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้าหนัก ทาการทดสอบโดยการเผาไหม้เพื่อวัดผลในห้องปฏิบัติการทดสอบเพื่อส่งให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของสมรรถนะทางความร้อนและมลภาวะ ผลทางด้านสมรรถนะทางความร้อน สรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่าสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง พบว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีปริมาณเท่ากับ 195 ppm ไนโตรเจนไดออกไซด์ มีปริมาณเท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงสัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547)

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลังในอัตราส่วน 3 : 7 มีค่าสมรรถนะทางความร้อน เท่ากับ 5,003 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) มีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 5.35 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อมีกาลังการผลิตที่ 400 กิโลกรัม/วัน จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1.4 ปี ซึ่งผลการศึกษาวิจัยสามารถนาไปส่งเสริมให้เกษตรกรนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เหง้ามันสาปะหลังมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าได้ โดยการใช้ถ่านเหง้ามันสาปะหลังเป็นส่วนผสมหลัก และใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นส่วนผสมลอง สามารถบรรลุผลสอดคล้องกับสมมุติฐานของผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุริยา ชัยเดชทยากูล (2554) การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากขบวนการผลิต ของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการนำกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิต เยื่อกระดาษ จำนวน 11 อัตราส่วนผสม ดังนี้ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก แล้วอัดเป็นแท่ง เผาให้ถ่านเชื้อเพลิง และทำการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ใน การผลิตและการลงทุน เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานที่มีอยู่ ในปัจจุบัน โดยในแต่ละส่วนผสมทำการทดลอง 10 ตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับเศษชิ้นไม้สับ ตั้งแต่ 100:0 ถึง 40:60 โดยน้ำหนัก สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยส่วนผสมที่มีเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้นจะ อัดขึ้นรูปได้ยากขึ้น ใช้เวลาในการอัดมากขึ้นและมีเนื้อที่ไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปเผาเป็นถ่าน แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติหลักทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวม 6 ด้าน คือปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวม และค่าความร้อน แล้วหาส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยวิธีการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของตัวแปรในรูปคะแนนดิบตามวิธีของเพียร์สัน พบว่า อัตราส่วนผสม 70:30 มีคุณสมบัติดี ที่สุด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นมีค่าใกล้เคียงกับฟืนแกลบ เมื่อนำไป ศึกษาด้านการลงทุน พบว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงถึงร้อยละ 30.73 ณ ราคาขาย 9 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของโรงงานในปัจจุบัน ปรากฏว่าหาก นำไปผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจะให้ค่าตอบแทนสูงกว่าการนำไปเป็นเชื้อ เพลิงในเตาเผา และมีความเหมาะสมกว่าในการใช้ทรัพยากรให้เกิดมูลค่าเพิ่มด้วยการใช้ เทคโนโลยีพื้นฐานที่ มีอยู่ในประเทศ รวมทั้งเป็นการลดความสกปรกภายในบริเวณโรงงาน

Yaman et al. (2000) ผู้วิจัยได้ศึกษาชีวมวลบางชนิดในปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากมีศักยภาพในการให้พลังงาน โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส และ Gasification ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเอากากตะกอนจากผลมะกอกและกากของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุดของชีวมวลทั้งสองชนิดประมาณ 250 μm และสามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งทนต่อแรงกดได้ในช่วง 150 – 250 MPa ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของเชื้อเพลิงคือ ปริมาณความชื้นในชีวมวล ดัชนีการแตกร่วน water resistance of the briquettes นอกจากนี้ยังศึกษาความทนต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลมะกอกซึ่งมีค่าไม่มากพอ และความคงทนต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งจากกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษ เมื่อนำกากตะกอนจากผลมะกอกมาผสมกับเส้นใยจากกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษ ทำให้เชื้อเพลิงทนต่อแรงกดมากขึ้นและ โครงสร้างของชีวมวลโดยสังเกตจาก thermogravimetry technique ภายใต้อากาศที่แห้งและอุณหภูมิสูง 1273 K โดยให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 40 K / min และมาเปรียบเทียบสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Muller, Dictrich (1986) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับเศษใบไม้แห้ง หรือส่วนของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้กากตะกอน 0.3-0.6 ส่วนต่อเศษใบไม้ 1 ส่วน และกากตะกอน 0.6-1.0 ส่วนต่อส่วนผสมของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย 1 ส่วน พบว่าเศษใบไม้และส่วนของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลายจะช่วยลดความชื้นในกากตะกอนได้ดี เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 4,300 kcal/kg โดยมีการเผาไหม้คล้ายกับถ่านหินลิกไนต์ เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มีปริมาณมากแต่ประกอบด้วยเกลือของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และสารประกอบที่มีโพแทสเซียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้

Owen et al. (2001) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ต้นข้าวโพด ฟาง หญ้า ใบไม้ เป็นต้น โดยบดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด conflake เติมน้ำแล้วนำมาอัดเป็นแท่ง โดยแท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะคล้ายโดนัท นำไปตากให้แห้งสามารถนำไปใช้แทนฟืนและถ่านไม้ได้ โดยให้ความร้อนสูงและติดไฟได้นาน นอกจากนี้ยังได้ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษใบไม้ กิ่งไม้ และขยะจากจดหมายเก่า พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้สามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยใช้เวลาเพียง 2 นาที และให้อุณหภูมิสูงสุดถึง 816oC ในขณะที่ฟืนไม้ใช้เวลาในการจุดติดไฟนานกว่าและให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 733oC

Zabaniotoua et al. (2006) ผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเตาเผาซีเมนต์ในเมืองไซปรัสโดยใช้กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ศึกษาความสัมพันธ์ของการนำกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกของเตาเผาซีเมนต์ ครอบคลุมทั้งกระบวนการ สุขภาพ ความปลอดภัยและสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน การทดลองเริ่มจากโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ Vassiliko (Cyprus) การบำบัดและการนำไปใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมีค่าความชื้น 65-70 % เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกของเตาเผาซีเมนต์ มีการวัดการปล่อยก๊าซออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเน้นที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยเฉพาะปรอท Vassiliko Plant บำบัดตะกอนเปียกในปี ค.ศ. 2003-2004 ได้ 22000 m^3 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้กากตะกอนผสมกับถ่านหินและการเผาให้เป็นถ่าน โดยการผสมด้วยอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงเผาในเตาเผาซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 1400 เซลเซียส จะได้ตะกอนใหม่ที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

Chou et al. (2009) ผู้วิจัยได้นำวิธี Taguchi มาศึกษาถึงสภาวะที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุด โดยใช้ต้นข้าวเป็นวัสดุที่ใช้ในการอัดแท่งและใช้ลูกสูบในการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยควบคุมปัจจัยที่ทำการศึกษาซึ่งสามารถพิจารณาตาม (1) ชนิดของตัวประสาน เช่น รำข้าว กากถั่วเหลืองและขี้เลื่อยจากต้น Acacia confuse (2) ความร้อนระหว่างการบีบอัด เช่น110, 130 และ150 องศาเซลเซียส (3) ขนาดของต้นข้าว เช่น 10 - 5 มม. , 5-2 มม. , และ < 2 มม. และ(4) อัตราส่วนร้อยละของต้นข้าวต่อตัวประสานในเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น อัตราส่วน 100/0, 80/20, และ 60/40 เห็นได้ว่า ขนาดของต้นข้าวจะทำให้ผลการทดลองเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 43

Schuhmacher et al. (2009) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการติดตามตรวจสอบ PCDD/Fs และโลหะหนักในบริเวณที่ใกล้เคียงกับโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ หลังจากใช้กากตะกอนจากน้ำเสียเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในปี ค.ศ.2005 เชื้อเพลิงจากกากตะกอนจากน้ำเสียถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ประมาณ 20% เชื้อเพลิงถูกนำมาใช้ในเตาเผาปูนซีเมนต์ของประเทศสเปน และมีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปีถัดมาได้มีการศึกษาผลกระทบในรูปของสารตกค้างในดิน เช่น polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) และโลหะหนัก (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Tl, V, and Zn) โดยตรวจสอบตัวอย่างดินและพืชในบริเวณใกล้เคียงกับเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยสังเกตแนวโน้มการตกค้างของสารพิษจากปี ค.ศ. 2003-2006 ผลจากการศึกษาพบว่าระดับของปริมาณ PCDD/Fs ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (0.11-0.15 และ 0.94-1.10 ng Toric equipment Kg 1dw ในต้นหญ้าและดินตามลำดับ) สารพิษส่วนมากเปลี่ยนรูปอยู่ในรูปต่างๆได้ในดินซึ่งจะขึ้นอยู่กับความจำเพาะของแต่ละธาตุ อย่างไรก็ตามมลพิษที่เกิดจากแหล่งอื่นๆจะมีผลกระทบต่ำกว่ามลพิษที่เกิดจากเตาเผาปูนซีเมนต์ และมลพิษเหล่านี้จะผลต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบซึ่งเป็นสาเหตุของสารก่อมะเร็งและความเสี่ยงเหล่านี้จะลดลง หากช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเหล่านี้ ดังนั้นหากยังมีการใช้อยู่กากตะกอนจากน้ำเสีย เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์อยู่ก็จะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตาประสิทธิภาพสูง(ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม)

3.1.2 เตาเผา (Muffle Furance) ยี่ห้อ Narberthern รุ่น P230 ประเทศเยอรมนี

3.1.3 ตู้อบ (Dry Oven) ยี่ห้อ รุ่น 205 A

3.1.4 ครูซิเบิล (Crucible) พร้อมฝาปิด

3.1.5 Automatic Bomb Calorimeter รุ่น CALLENKAMP Autobomb และถังออกซิเจน

3.1.6 เครื่องอัดเม็ด

3.1.7 ลวดนิกเกิล

3.1.8 เครื่องอัดแบบสกรู

3.1.9 เครื่อง Universal testing machine (UTM) ยี่ห้อ LLOYD Instrument รุ่น LR30K ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.10 ผ้าขาวบาง

3.1.11 ครกพร้อมสาก

3.1.12 เครื่องย่อยวัสดุ

3.1.13 ตะแกรงร่อนหมายเลข 60 เมช

3.1.14 ถุงซิป

3.1.15 กล่องพลาสติกที่มีสารดูดความชื้น

3.1.16 กระสอบป่าน

3.1.17 กระดาษกรองเบอร์ 41

3.1.18 กระดาษกรองใยแก้ว GF/A

3.1.19 กระดาษลิตมัส

3.1.20 เครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่น (Atomic absorption spectrophotometer)

3.1.21 Hot plate ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP

3.1.22 เครื่องวัด pH (pH meter) ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น 250

3.1.23 เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 1620 C

3.1.24 เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Precisa รุ่น 205 A

3.1.25 ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desicacator) ยี่ห้อ FEL รุ่น 4100S ประเทศอังกฤษ

3.1.26 หม้ออลูมิเนียมเบอร์ 24 พร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.27 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.28 เตาอังโล่

3.1.29 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) บริษัท Carlo ermba เกรดวิเคราะห์

3.2.2 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) บริษัท italmar เกรดวิเคราะห์

3.2.3 สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH_3OH) บริษัท Fine-chem เกรดวิเคราะห์

3.2.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก บริษัท Carlo ermba เกรดวิเคราะห์

3.2.5 สารละลายแบเรียมคลอไรด์เข้มข้น 10% บริษัท Carlo ermba เกรดวิเคราะห์ เตรียมโดย ละลาย $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ 10 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

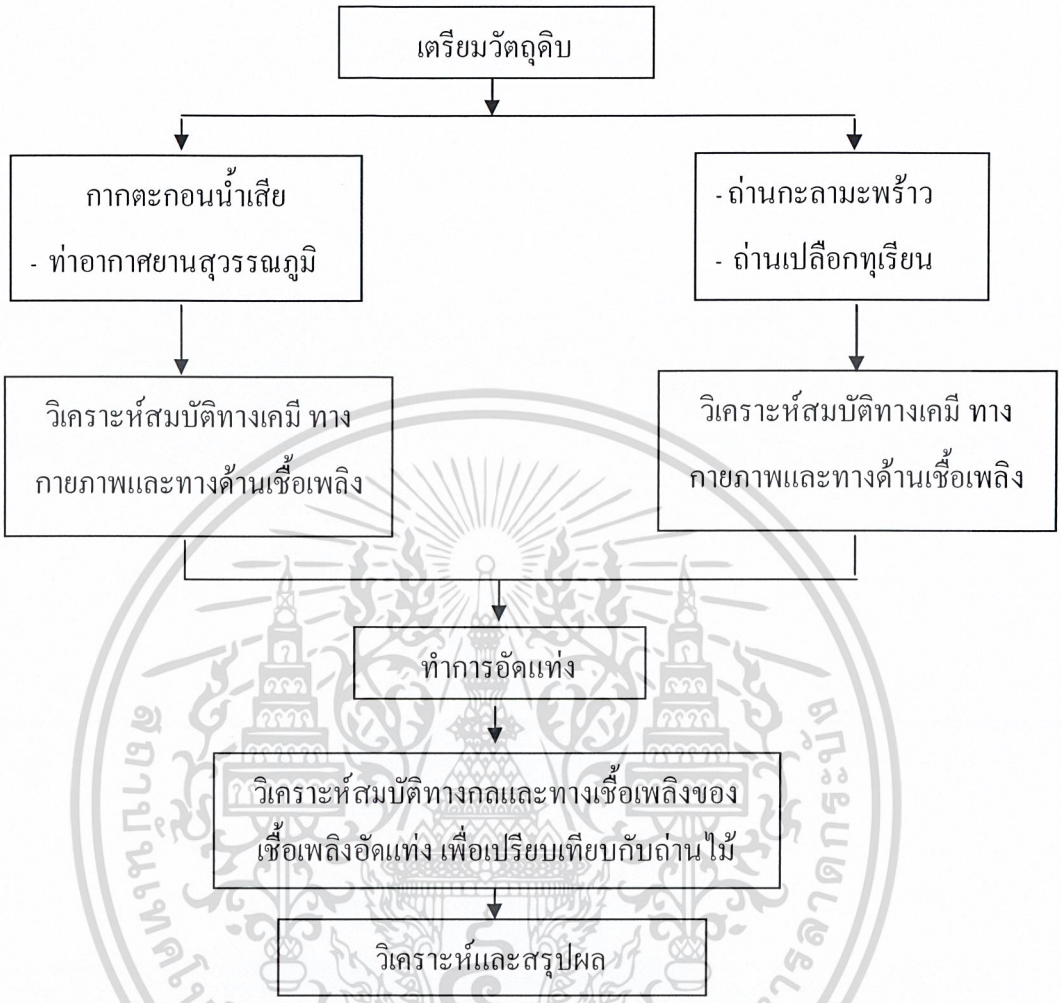
3.2.5 อินดิเคเตอร์ผสม เตรียมโดยละลาย Bromocresol green 0.22 กรัม กับ Methyl red 0.75 กรัม ใน Ethylalcohol 95% จำนวน 96 มิลลิลิตรและเติม NaOH 0.1 นอร์มอล 3.5 มิลลิลิตร

3.2.6 สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต บริษัท Fisher scientific ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ (1 มิลลิลิตร = 1 แคลอรี) เตรียมโดยละลาย 3.67 กรัมของโซเดียมคาร์บอเนตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในน้ำกลั่นและปรับเป็น 1 ลิตร

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยใช้ร่วมกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ กะลามะพร้าวและเปลือกทุเรียน เพื่อนำมาใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนงานวิจัย

3.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 กากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นกากตะกอนที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพคือ ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated sludge) ได้รับความอนุเคราะห์จากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นบ่อพักกากตะกอนที่รอการนำไปรีดตะกอนที่เครื่องรีดตะกอน ในการเก็บกากตะกอนเก็บตัวอย่างแบบ Composite ซึ่งมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดังนี้

- ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554 เป็นการเก็บแบบจ้วง (Composite Sample)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบ่งพื้นที่ของบ่อพักกากตะกอนเป็น 8 ส่วน แล้วทำการเก็บกากตะกอนแต่ละจุดเท่าๆกัน แล้วนำมารวมในภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ขนาด 1 L สำหรับเก็บรวบรวมแล้วผสมให้เข้ากัน
- ทำการปิดภาชนะให้แน่นพร้อมทั้งระบุ วัน เวลา และ ตำแหน่งที่เก็บ ที่เก็บตัวอย่าง
- ขนตะกอนที่เก็บไปยังห้องปฏิบัติการทันที

รูปที่ 3.2 การเก็บกากตะกอน

3.4.2 เศษวัสดุชีวมวล

กะลามะพร้าวเหลือทิ้งได้รับความอนุเคราะห์จากสวนปาหนัน จังหวัดระยอง ส่วนที่ใช้ในการทดลองจะเป็นส่วนของกะลามะพร้าว ส่วนเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งได้รับความอนุเคราะห์จากสวนนายศักดา สมรักษ์ จังหวัดชัยนาท ส่วนที่ใช้ในการทดลองจะเป็นส่วนเปลือกชั้นนอกจนถึงแกนของทุเรียน

3.5 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 กากตะกอนน้ำเสีย

- เทกากตะกอนลงในผ้าขาวบาง แล้วเกลี่ยกากตะกอนให้มีระดับเท่ากัน
- นำกากตะกอนไปผึ่งอากาศ หากกากตะกอนแห้งจะมีลักษณะแตกเป็นแผ่นเล็กๆ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 4 - 6 วัน
- นำกากตะกอนไปบดให้ละเอียดด้วยครกก่อนนำไปร่อน
- นำกากตะกอนมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนที่มีรูพรุนขนาด 60 เมช
- เก็บกากตะกอนที่ผ่านการร่อนในถุงซิป แล้วนำถุงซิปไปเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่มีสารดูดความชื้นในอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 วัสดุชีวมวล

- นำกะลามะพร้าวและเปลือกทุเรียนมาตากแดดเป็นเวลา 1 – 2 วัน (ให้แห้งสนิท)
- ทำการเผาในเตาเผาดังรูป 3.3
- เรียงกะลามะพร้าวและเปลือกทุเรียนลงในถังน้ำมันในประมาณ 2 ใน 3 ของถัง ใส่ฟืนเชื้อเพลิงให้เต็มเตาแล้วปิดฝาถัง
- จุดไฟหน้าเตาเผาเพื่อเผาแท่งเชื้อเพลิง
- เมื่อแท่งเชื้อเพลิงติดไฟแล้ว สังเกตได้จากควันจากปล่องเร่งขึ้นมาเรื่อยๆให้ปิดปล่องเร่งปล่อยให้เผาไหม้สมบูรณ์ สังเกตจากควันจะจางลงและอุณหภูมิเตาไม่เพิ่มขึ้น
- ปล่อยให้เย็นใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมงจึงเปิดเตา
- เปิดฝาถัง ก่อนนำเข้าเครื่องย่อยวัสดุควรฉีดน้ำเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย ลดความร้อนจากการย่อยวัสดุและป้องกันการติดไฟในระหว่างการย่อย
- นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนที่ผ่านการฉีดน้ำไปเข้าเครื่องย่อยวัสดุดังรูป 3.4
- เก็บถ่านจากกะลามะพร้าวและถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยใส่ในกระสอบป่านเพื่อรอการอัดแท่งเชื้อเพลิง

รูปที่ 3.3 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เครื่องย่อยวัสดุ

3.6 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ ถ่านกะลาจากมะพร้าวและถ่านจากเปลือกทุเรียน โดยทำการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล

สมบัติที่ต้องการวิเคราะห์	มาตรฐานหรือวิธีการวิเคราะห์
สมบัติทางกายภาพ	
- สีและเนื้อตะกอน	สังเกตด้วยตาเปล่า
สมบัติทางเคมี	
- การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน (Cd, Pb, Hg, As)	Acid digestion
- ปริมาณกำมะถันรวม (Total Sulfur)	ASTM D 3177
สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง	
- คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	ASTM D 3172
- ความชื้น (Moisture content)	ASTM D 3173
- เถ้า (Ash)	ASTM D 3174
- สารระเหย (Volatile Solid)	ASTM D 3175
- ค่าความร้อน (Heating Value)	ASTM D 5865

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบวิจัย

3.7.1 การผสมโดยน้ำหนัก

เนื่องจากกากตะกอนมีลักษณะเกาะกันเป็นแผ่น ดังนั้นจึงต้องนำเข้าเครื่องย่อยวัสดุก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับวัสดุชีวมวลในกระบะ ในอัตราส่วนต่างๆโดยน้ำหนักจำนวน 11 อัตราส่วนผสม และเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่สม่ำเสมอ ได้นำเข้าเครื่องผสมอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ตัวอย่างส่วนผสมครั้งละ 10 กิโลกรัม ทดลองจำนวน 11 ครั้ง ในแต่ละส่วนผสม ดังนี้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนและวัสดุชีวมวล

สูตรที่	กากตะกอน		วัสดุชีวมวล			
			ถ่านกะลามะพร้าว		ถ่านเปลือกทุเรียน	
	ส่วน	ก.ก.	ส่วน	ก.ก.	ส่วน	ก.ก.
I	10	10.0	0	0	0	0
II	9	9.0	1	1.0	1	1.0
III	8	8.0	2	2.0	2	2.0
IV	7	7.0	3	3.0	3	3.0
V	6	6.0	4	4.0	4	4.0
VI	5	5.0	5	5.0	5	5.0
VII	4	4.0	6	6.0	6	6.0
VIII	3	3.0	7	7.0	7	7.0
IX	2	2.0	8	8.0	8	8.0
X	1	1.0	9	9.0	9	9.0
XI	0	0	10	10.0	10	10.0

หมายเหตุ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ใช้จำนวนตัวอย่างถึง 11 อัตราส่วนผสม เพราะจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่าสมบัติในแต่ละด้านของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละส่วนผสมมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย หากมีตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมากจะทำให้สามารถหาอัตราส่วนที่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การอัดแท่งกากตะกอน

ทำการผสมวัตถุดิบระหว่าง กากตะกอนกับวัสดุชีวมวล(ย่อยแล้ว) ในอัตราส่วนต่างๆดังนี้ (กากตะกอน:วัสดุชีวมวล) 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 8:2, 1:9 และ 0:10 โดยน้ำหนัก มีวิธีทำดังนี้

- ทำการปรับความชื้นของวัตถุดิบด้วยน้ำประปาบนกระบะของเครื่องอัดเพื่อให้เกิดการเกาะตัวกันสามารถอัดแท่งออกมาได้ โดยปรับความชื้นของส่วนผสมสำหรับอัดแท่งอยู่ในช่วง 50 – 60%
- ทำการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อน โดยป้อนวัตถุดิบที่ผสมแล้วเข้าทางช่องป้อน
- แท่งเชื้อเพลิงจะออกมาทางกระบอกอัดอย่างต่อเนื่อง หักแท่งเชื้อเพลิงเมื่อได้ความยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งจะทำการจับเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ยาว 50 เซนติเมตร)
- นำแท่งเชื้อเพลิงไปวางบนร่องของกระเบื้องลอนเล็ก ตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีความยาวแท่งละ 10 เซนติเมตร แล้วนำไปตากแห้งในที่โล่งกลางแจ้งเป็นเวลา 7 วันเพื่อลดความชื้นและทำให้แข็งตัวเกาะกันแน่น
- หลังจากได้แท่งเชื้อเพลิงที่แห้งแล้ว นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางด้านเชื้อเพลิงต่อไป

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่า การอัดร้อนสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระหว่างการอัดมากกว่าการอัดเย็น 2-3 เท่า (ประทีป, 16) ดังนั้น จึงได้เลือกใช้วิธีการอัดเย็นในการวิจัยครั้งนี้ และทำการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อนดังรูป 3.5 ซึ่งเครื่องอัดมีลักษณะดังนี้

มอเตอร์ขับ	3 เฟส กำลัง 5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,420 รอบต่อนาที		
แรงดันไฟฟ้า	380 โวลต์ 50 Hz		
อัตราการผลิต	125 กิโลกรัม/ชั่วโมง		
ขนาดกระบอกอัด	ยาว 15.0 เซนติเมตร		
	เส้นผ่าศูนย์กลางด้านเข้า	7.5	เซนติเมตร
	เส้นผ่าศูนย์กลางด้านออก	5.0	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 เครื่องขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

3.8 การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกล และทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งเทียบกับถ่านไม้ โดยทำการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สมบัติที่ต้องการวิเคราะห์	มาตรฐานหรือวิธีการวิเคราะห์
สมบัติทางกล	
- ความหนาแน่น (Density)	ภาคผนวก ก
- การทนแรงอัด (Compressive strength)	ASTM D1621(2008)
- ดัชนีการแตกร่วน	ASTM D3038(2008)
ค่าความร้อนทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
- ค่าความร้อนทางกายภาพ	กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การเลือกกากตะกอน

สำหรับการเลือกกากตะกอนเพื่อใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น ได้นำกากตะกอนมาจากโรงบำบัดน้ำเสีย 3 แหล่งด้วยกัน คือ แหล่ง I (BLCP), II (GUSCO) และ SBA ซึ่งมีเกณฑ์ในการเลือกใช้กากตะกอนจากแหล่งที่มีความปลอดภัยและสะดวกในการนำมาใช้งาน

จากตารางที่ 4.1 สมบัติกากตะกอนเพื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยพบว่ากากตะกอนจากแหล่ง I ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนเป็นเนื้อสัมผัสละเอียด ร่วนซุย และไม่มีกลิ่นดังรูป 4.1ก ส่วนลักษณะทางด้านเชื้อเพลิงพบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัว 8.38% น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกากตะกอนจากแหล่ง SBA โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง ให้ค่าความร้อนสูงและไม่ก่อให้เกิดควัน พบว่ากากตะกอนจากแหล่ง I มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่ดีและมีค่าความร้อนน้อยจึงไม่เหมาะในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ส่วนกากตะกอนจากแหล่ง II ลักษณะทางกายภาพมีเนื้อสัมผัสละเอียด ร่วนซุยและมีกลิ่นเหม็นดังรูปที่ 4.1ข ลักษณะทางเคมีจะพบว่ามีปริมาณตะกั่ว(Pb)และแคดเมียม(Cd)คือ 810.11 mg/kg และ 78.28 mg/kg ตามลำดับ จัดว่ามีปริมาณมากเมื่อเทียบกับกากตะกอนจากแหล่ง I และ SBA สำหรับ Pb เมื่อเกิดการเผาไหม้จะอยู่ในรูปไอระเหยและควันสามารถฟุ้งกระจายในบรรยากาศได้ ส่วน Cd หากมีการสัมผัสสามารถเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วซึ่งมีความเป็นพิษรุนแรง เมื่อเทียบความเป็นพิษและแหล่งที่มากากตะกอนจากแหล่ง II จึงไม่เหมาะในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งเนื่องจากอาจทำให้เกิดโลหะหนักกระจายสู่บรรยากาศหรือตกค้างในดิน

ผู้ทำการวิจัยจึงเลือกกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียจาก SBA ซึ่งลักษณะทางกายภาพเกาะตัวเป็นแผ่นและมีกลิ่นเหม็นดังรูปที่ 4.1ค ส่วนลักษณะทางเคมีพบว่ามีปริมาณโลหะหนักน้อยมากเมื่อเทียบกับแหล่ง II และแหล่ง I นอกจากนี้ลักษณะทางเชื้อเพลิงจาก SBA มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากกว่าเมื่อเทียบกับแหล่ง I ทั้งยังเก็บตัวอย่างง่ายและสะดวกต่อขนส่ง ในการศึกษานำกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจาก SBA มาผสมกับวัสดุชีวมวลในอัตราส่วนที่ต่างๆกันรวม 11 อัตราส่วน เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ในด้านการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สมบัติของกากตะกอน

สมบัติที่วิเคราะห์	กากตะกอน			เกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง
	I	II	SBA	
1.สมบัติทางกายภาพ				
1.1 ลักษณะทั่วไป	เนื้อสัมผัสละเอียด	เนื้อสัมผัสละเอียด	เกาะเป็นแผ่น	NS
1.2 สี	น้ำตาล	ดำ	ดำ	ดำสม่ำเสมอ
1.3 กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	เหม็น	เหม็น	NS
2. สมบัติทางเคมี				
2.1 โลหะหนักในกากตะกอน (mg/kg)				
- แคดเมียม (Cd)	0.30± 0.06	72.28	0.33± 0.09	NS
- ตะกั่ว (Pb)	13.11± 0.34	810.11	ND	NS
- ปรอท (Hg)	22.37[A]	ND	0.170[A] ±0.001	NS
- สารหนู (As)	0.114[A]	0.69	1.840[A] ±0.64	NS
2.2 กำมะถัน (%)	0.37± 0.01	0.97	0.52± 0.02	NS
3.สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง				
3.1 คาร์บอนคงตัว (%)\	8.38± 0.68	E	15.89± 0.83	> 57
3.2 ความชื้น (%)	2.21± 0.86	4.31	8.37± 0.14	< 10
3.3 เถ้า (%)	87.21± 4.76	32.95	7.89± 0.19	< 8
3.4 สารระเหย (%)	9.26± 3.23	6.20	67.89± 1.12	< 25
3.5 ค่าความร้อน (kJ/kg)	12,802.82 ± 645.52	13,892.30	21,552.37 ± 976.34	> 25,000

หมายเหตุ : A ผลวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

E ข้อมูลมีข้อผิดพลาด

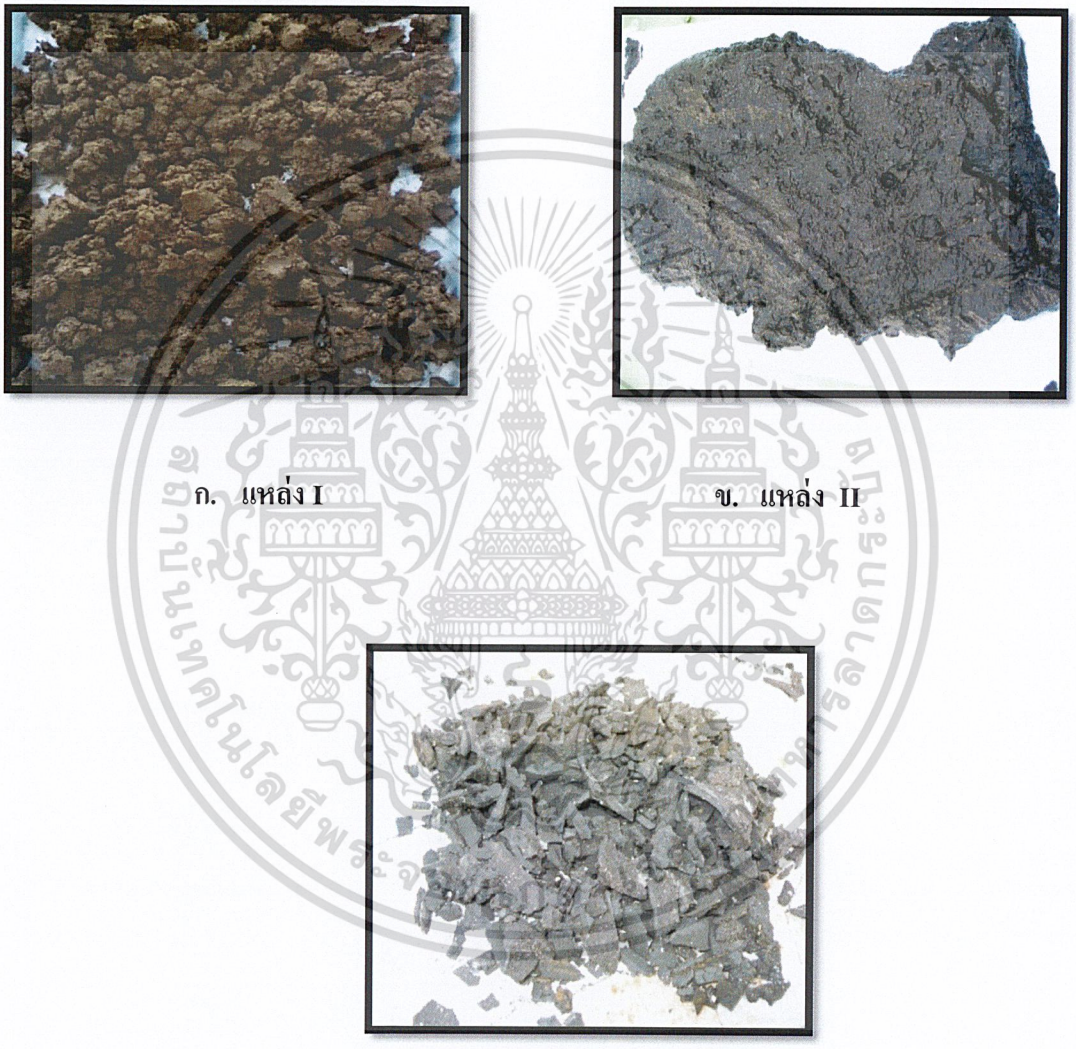
ND ตรวจไม่พบ

NS ไม่ได้ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล

สำหรับการทดลองได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ก. แหล่ง I ข. แหล่ง II

ค. แหล่ง SBA

รูปที่ 4.1 กากตะกอนจาก 3 แหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก ถ่านกะลามะพร้าว

ข ถ่านเปลือกทุเรียน

รูปที่ 4.2 ถ่านชีวมวล

4.2.1 สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางเชื้อเพลิงของกากตะกอน SBA ก่อนผสม

ทำการศึกษาสมบัติของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล ทางกายภาพโดยศึกษาลักษณะโดยทั่วไป สี กลิ่น และความหนาแน่น ทางเคมีโดยศึกษาโลหะหนักและซัลเฟอร์ ทางเชื้อเพลิงโดยศึกษาความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัวและค่าความร้อน ของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล(ทำการเผาแล้ว)

จากตารางที่ 4.2 กากตะกอนมีลักษณะทั่วไปเป็นแผ่น สีดำ มีกลิ่นค่อนข้างเหม็น ส่วนถ่านกะลามะพร้าว มีลักษณะแข็งและเป็นแผ่นเล็กๆ ซึ่งตรงกันข้ามกับถ่านเปลือกทุเรียนที่มีลักษณะคล้ายดินร่วนและวัสดุชีวมวลทั้งสองยังมีกลิ่นคล้ายถ่านทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปอัดแท่งได้ โดยกากตะกอนจะช่วยทำหน้าที่เป็นตัวประสานด้วย (Muller, D. 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพ เคมีและทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล

สมบัติ	กากตะกอน	วัสดุชีวมวล(ย่อยแล้ว)	
	SBA	ถ่านกะลามะพร้าว	ถ่านเปลือกทุเรียน
1.สมบัติทางกายภาพ			
1.1 ลักษณะทั่วไป	เกาะตัวเป็นแผ่น	แข็งและมีลักษณะเป็นแผ่น	ร่วนคล้ายดินร่วน
1.2 สี	ดำ	ดำ	ดำ
1.3 กลิ่น	ค่อนข้างเหม็น	กลิ่นถ่านทั่วไป	กลิ่นถ่านทั่วไป
2. สมบัติทางเคมี			
2.1 กำมะถัน (%)	0.52± 0.02	ND	0.14± 0.03
2.2 โลหะหนัก			
- Cd^{2+}	0.33± 0.09	ND	ND
- Pb^{2+}	ND	ND	ND
- Hg	0.170^{A}±0.001	ND	ND
- As	1.840^{A}±0.64	ND	ND
3.สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง			
3.1 ความชื้น (%)	8.37± 0.14	5.4	9.02± 0.02
3.2 เถ้า (%)	7.89± 0.19	3.3	9.05± 0.54
3.3 สารระเหย (%)	67.89± 1.12	14.5	64.64± 0.59
3.4 คาร์บอนคงตัว (%)	15.88± 0.83	76.8	17.29± 0.14
3.5 ค่าความร้อน (kJ/kg)	21,552.37± 976.34	30,114.09	28,446.16± 170.84

หมายเหตุ : * กรมวิทยาศาสตร์บริการ.ผลการตรวจวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว.2554.

ND ตรวจไม่พบ

A ผลวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ในกระบวนการทำความสะอาดเครื่องบินและโรงซ่อมเครื่องบินอาจมีสารเคมีบางส่วนปะปนออกมากับการทำความสะอาด ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว (Pb), ปรอท(Hg), แคดเมียม(Cd) และอาร์เซนิก(As)ในกากตะกอน การเลือกวิเคราะห์โลหะหนักทั้งสี่ตัวนี้เนื่องจากโลหะ Hg และ Pb เมื่อเกิดการเผาไหม้จะอยู่ในรูปไอระเหยและควันสามารถฟุ้งกระจายได้ไปในบรรยากาศได้ ส่วน Cd, Hg และ As หากมีการสัมผัสจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วซึ่งมีความเป็นพิษรุนแรง มีความเสี่ยงภัยมากกว่าโลหะอื่นๆ ในขณะที่โลหะหนักตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

อื่นเมื่อเกิดการเผาไหม้จะกลายเป็นเถ้าหนักตกลงสู่เตาเผาได้ง่าย จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนก่อนที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายเมื่อนำไปใช้งานและปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนจะต้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ประกาศใช้และควบคุมอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนอยู่ในช่วง 0.27 – 0.37 mg/kg ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.33± 0.09 (n=5) พบว่าแคดเมียมมีค่าไม่เกินตามมาตรฐานการใช้ประโยชน์และกำจัดกากตะกอนจากในและนอกประเทศคือ 39 mg/kg (เกศิณี. 2548) และไม่พบปริมาณตะกั่วในกากตะกอน SBA ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากากตะกอนจากแหล่ง SBA เป็นกากตะกอนที่เกิดจากน้ำเสียชุมชน ไม่มีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดของเสียอันตราย ทั้งยังมีการบำบัดโดยใช้กระบวนการชีวภาพ กากตะกอนจากแหล่ง SBA จึงไม่ใช่ของเสียอันตราย

จากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนและวัสดุชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่ากากตะกอนมีค่าความร้อนน้อยกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่วนวัสดุชีวมวลคือ ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนมีค่าความร้อนเท่ากับ 30,467.34 และ 28,446.16 kJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความร้อนเกินมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง จึงมีแนวคิดนำวัสดุชีวมวลมาผสมกับกากตะกอนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนั้นในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งผสมกากตะกอนแหล่ง SBA และวัสดุชีวมวลจึงมีความเป็นไปได้

4.2.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากตัวอย่างกากตะกอนพบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 8.25 – 8.57 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.37±0.14% (n=5) จัดว่ากากตะกอนจาก SBA มีปริมาณความชื้นในปริมาณที่น้อย งานวิจัยของ Longjian , C .2009 ระบุว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนมาเก็บรักษาและนำมาวิเคราะห์ ต้องอยู่ในช่วง 7-15% และเป็นค่าความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อนำไปใช้งานได้ ดังนั้นกากตะกอน SBA มีความเหมาะสมในแง่ปริมาณความชื้น

4.2.1.2 ปริมาณเถ้า

จากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าจากตัวอย่างกากตะกอน SBA พบว่า มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 14.97 – 17.54 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.24 ±1.05% (n =5) แสดงว่ากากตะกอนจาก SBA มีปริมาณเถ้าน้อยเมื่อเทียบกับกากของเสียจากโรงงานน้ำตาลในงานวิจัยของสุพจน์ เดชผล (2546) ซึ่งมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 74.8 % โดยปริมาณเถ้าหากมีมากจะไม่ดี เนื่องจากเถ้าเป็นองค์ประกอบที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ และไม่ให้ค่าพลังงานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ปริมาณสารระเหย

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยจากตัวอย่างกากตะกอนพบว่า มีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 58.14 – 60.92 % เฉลี่ยเท่ากับ 59.52 ±1.23% (n=5) แสดงว่ากากตะกอนจาก SBA มีปริมาณสารระเหยใกล้เคียงกับกากของเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษในงานวิจัยของประริญา รำไพ (2546) มีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 58.2 % ซึ่งปริมาณสารระเหยมีมากกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ไม่เกิน 25%) โดยปริมาณสารระเหยบ่งบอกถึงการเกิดควันในขณะเผาไหม้ ดังนั้นกากตะกอน SBA จึงมีแนวโน้มเกิดควันมากในขณะลุกไหม้

4.2.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวจากตัวอย่างกากตะกอนพบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 14.9 – 17.03 % เฉลี่ยเท่ากับ 15.89±0.84% (n=5) แสดงว่ากากตะกอนจาก SBA มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ สุริยา ชัยเดชทยากูล (2544) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพียง 8.3% โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ถ้าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะให้ค่าความร้อนได้สูงด้วย ดังนั้นกากตะกอนที่นำมาศึกษาจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

4.2.1.5 ค่าความร้อน

จากการวิเคราะห์ปริมาณค่าความร้อนจากตัวอย่างกากตะกอนพบว่า มีปริมาณค่าความร้อนอยู่ในช่วง 20,436.25 – 23,215.34 kJ/kg ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณค่าความร้อนมากที่สุดคือ 23,215.34 kJ/kg และมีปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 21,552.37 ± 976.34 kJ/kg (n=5) แสดงว่ากากตะกอน SBA มีค่าความร้อนในปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ กัมปนาท ตั้งเตชานนท์ (2552) ค่าความร้อนของกากตะกอนเพียง 13,892.30 kJ/kg และงานวิจัยของประริญา รำไพ (2546) ค่าความร้อนเท่ากับ 11,783.51kJ/kg ดังนั้นกากตะกอนที่ทำการศึกษาจึงมีศักยภาพในการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

4.2.2.1 กำมะถัน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันในตัวอย่างกากตะกอนที่นำมาศึกษาแต่ละวันพบว่าปริมาณกำมะถันมีค่าเฉลี่ย 0.52±0.009 (n = 5) โดยมีปริมาณกำมะถันมากที่สุด 0.53 % กำมะถันในกากตะกอนทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เมื่อกากตะกอนเผาไหม้ กำมะถันในกากตะกอนกลายเป็นกำมะถันไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นก๊าซพิษเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและเป็นตัวการก่อให้เกิดฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินแล้วพบว่า ปริมาณกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับปริมาณกำมะถันในถ่านหินบิทูมินัสมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-1% และน้อยกว่าปริมาณถ่านหินลิกไนต์ (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ .2547) ดังนั้นกากตะกอนที่นำมาวิเคราะห์ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในรูปของ SO_2 น้อยกว่าถ่านหิน

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนในการอัดแท่ง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีการอัดเย็น และใช้เครื่องอัดแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อน ทำการทดลอง ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม จังหวัดนครปฐม

การอัดแท่งทำโดยใช้กากตะกอนจากแหล่ง SBA ผสมกับวัสดุชีวมวล(ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียน) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ 11 อัตราส่วน สำหรับการอัดแท่งสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน(binder) เนื่องจากสมบัติของกากตะกอนเป็นตัวประสานด้วยตัวเอง ซึ่งกากตะกอนมีสมบัติคล้ายคลึงกับข้อสรุปจากงานวิจัยของ Muller , 1986 ส่วนในการอัดแท่งจำเป็นต้องคำนึงถึงความชื้นของของผสม เพื่อไม่ให้ความชื้นของกากตะกอนมากหรือน้อยเกินไปแท่งเชื้อเพลิงจะเกาะตัวกันไม่ดี ดังงานวิจัยของ Ostejaki, 1997 ได้เสนอข้อสรุปงานวิจัยในการอัดแท่งเชื้อเพลิงว่าควรมีความชื้นของกากตะกอนประมาณ 60% จึงเหมาะสมในการอัดแท่ง ความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการอัดแท่งควรอยู่ในช่วง 50-60% แต่ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้อัดแท่งได้ช้า เมื่ออัดออกมา จะไม่มีรูตรงกลางแท่ง จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งาน เนื่องจากรูตรงกลางแท่งจะช่วยให้แท่งเชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้ดีขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ได้ (Owen McDougal, 2001)

รูปที่ 4.3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการอัดแท่งความยาวของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดออกมาเท่ากับ 50 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร หลังจากที่ได้แท่งเชื้อเพลิงแล้ว นำมาตัดให้มีความยาวเท่ากับ 10 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย

9:1 8:2 7:3

รูปที่ 4.4 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน

9:1 5:5 4:6

รูปที่ 4.5 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว

ผลการอัดแท่งซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวที่สูตร I, II, III, VI และ V สามารถอัดและขึ้นรูปได้ยาก แต่ส่วนผสมตามสูตร VI และ VII สามารถอัดและขึ้นรูปได้ดีขึ้นรวมทั้งมีผิวที่สม่ำเสมอขึ้น ส่วนผสมตั้งแต่สูตร VIII, IX, X และ XI ไม่สามารถอัดและขึ้นรูปได้ และพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนที่สูตร I, II และ III สามารถอัดและขึ้นรูปได้ยาก แต่สูตร VI, V, VI และ VII สามารถอัดและขึ้นรูปได้ดีขึ้นรวมทั้งมีผิวที่สม่ำเสมอขึ้น สูตรตั้งแต่ VIII, IX, X และ XI ไม่สามารถอัดและขึ้นรูปได้ เนื่องจาก

ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการอัดแท่งควรมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 50-60% สูตรตั้งแต่ VII, IX, X และ XI ที่มีอัตราส่วน 3:7 ถึง 0:10 ความชื้นมีมากไปทำให้อัดแท่งไม่เป็นรูปทรง เมื่ออัดออกมาจะไม่มีรูตรงกลางแท่ง จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน 3:7 ถึง 0:10 มีปริมาณวัสดุชีวมวลมากกว่ากากตะกอน ซึ่งในจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ต้องการลดกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย แต่นำวัสดุชีวมวลมาผสมเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการอัดแท่งกากตะกอนกับวัสดุชีวมวลที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตร	อัตราส่วนผสม	ผลการอัดแท่ง	
		กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว	กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน
I	10 : 0	สามารถอัดแท่งได้ ติดขัด ผิวขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ติดขัด ผิวขรุขระ
II	9 : 1	สามารถอัดแท่งได้ ติดขัด ผิวขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ติดขัด ผิวเริ่มขรุขระ
III	8 :2	สามารถอัดแท่งได้ เริ่มติดขัด ผิวค่อนข้างขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ติดขัด ผิวเริ่มขรุขระ
IV	7 :3	สามารถอัดแท่งได้ เริ่มติดขัด ผิวค่อนข้างขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวเรียบ
V	6 :4	สามารถอัดแท่งได้ เริ่มติดขัด ผิวค่อนข้างขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวเรียบ
VI	5 : 5	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวค่อนข้างขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวเรียบ
VII	4 : 6	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวค่อนข้างขรุขระ	สามารถอัดแท่งได้ ไม่ติดขัด ผิวเรียบ
VIII	3 : 7	ไม่สามารถอัดแท่งได้	ไม่สามารถอัดแท่งได้
IX	2 : 8	ไม่สามารถอัดแท่งได้	ไม่สามารถอัดแท่งได้
X	1 : 9	ไม่สามารถอัดแท่งได้	ไม่สามารถอัดแท่งได้
XI	0 : 10	ไม่สามารถอัดแท่งได้	ไม่สามารถอัดแท่งได้

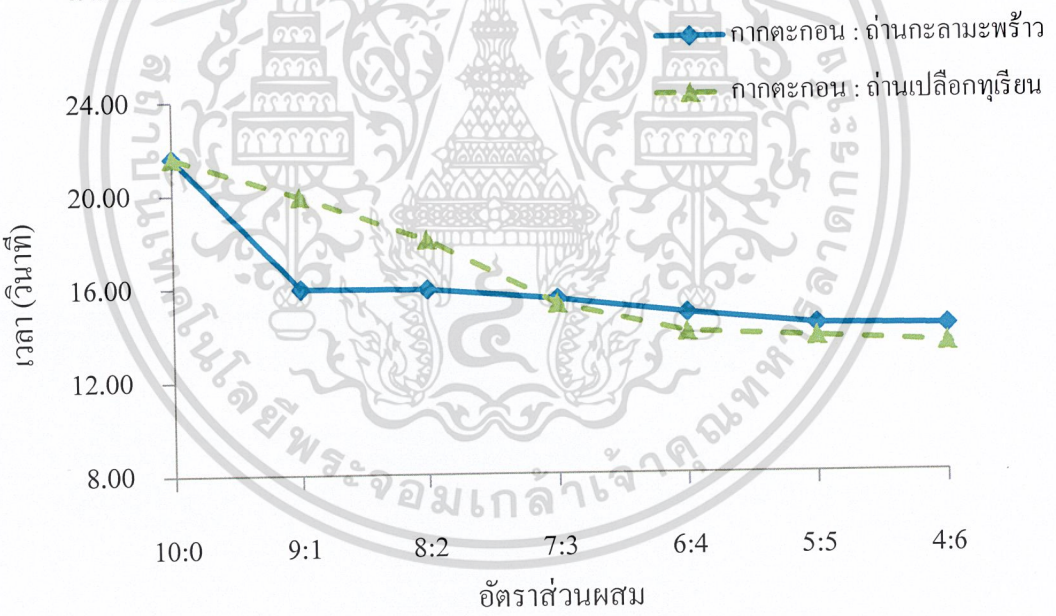
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาการอัดแท่งเชื้อเพลิง

4.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง

ในการอัดแท่งแบบเย็นด้วยสกรูมีข้อดีคือ ไม่ต้องเติมตัวประสานเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งติดกันได้ดี เนื่องจากกากตะกอนทำหน้าที่เป็นตัวประสาน การผลิตใช้งานเชิงอุตสาหกรรมจึงทำได้ง่าย เมื่อเทียบกับงานวิจัยของกัมปนาท และคณะ (2552) อัดแท่งแบบไฮโดรลิก ต้องเติมตัวประสานเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้นและยุ่งยากในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม สำหรับการอัดแท่งแบบเย็นด้วยสกรูมีค่าปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง คือ เวลาในการอัดแท่ง และน้ำหนักของฟืนอัดแท่ง จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่า เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งจะแปรผันกันกับปริมาณกากตะกอนที่มากขึ้น ส่วนน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุชีวมวล

4.4.1.1 เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง



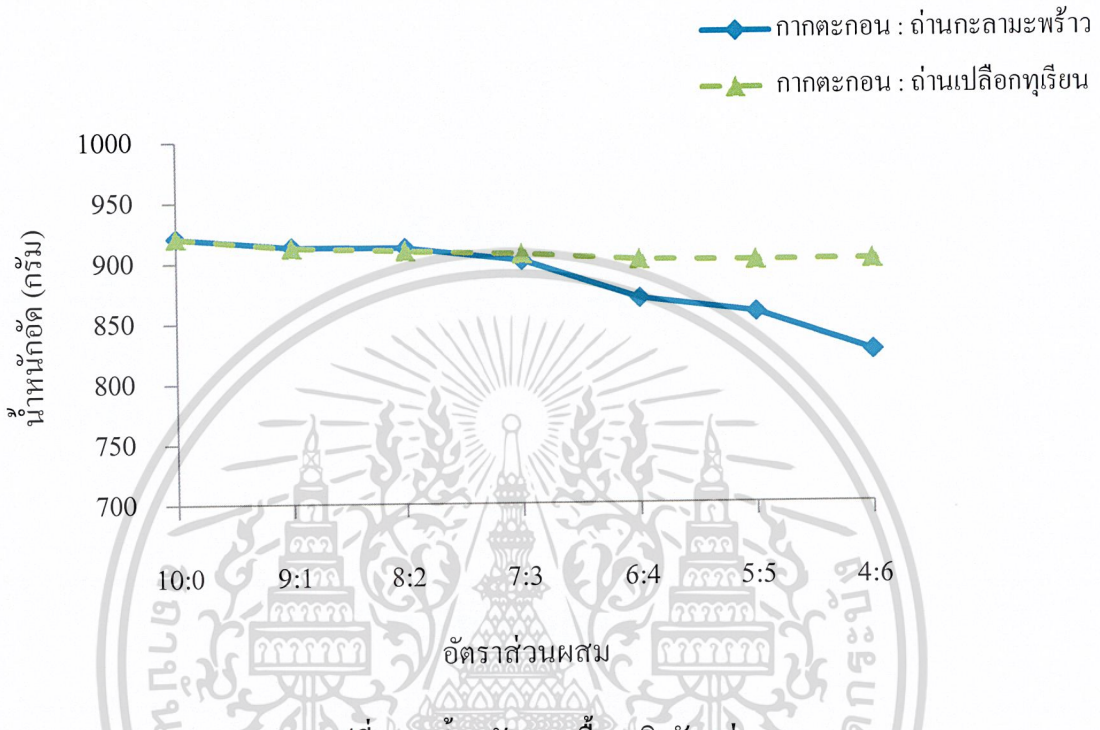
รูปที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง

จากรูปที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งลดลงตามปริมาณถ่านชีวมวลที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 14.23 – 21.60 วินาทีของส่วนผสมระหว่างกากตะกอน SBA กับถ่านกะลามะพร้าว ส่วนผสมระหว่างกากตะกอน SBA กับถ่านเปลือกทุเรียนมีค่าอยู่ระหว่าง 13.49 – 21.60 วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองส่วนผสม หากส่วนผสมสม่ำเสมอกันทำให้ความสามารถในการอัดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถูกดันออกจากกระบอกอัดต่อเนื่องในอัตราเร็วคงที่ โดยตั้งแต่อัตราส่วน 7:3 ถึง 4:6 เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก

4.4.1.2 น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



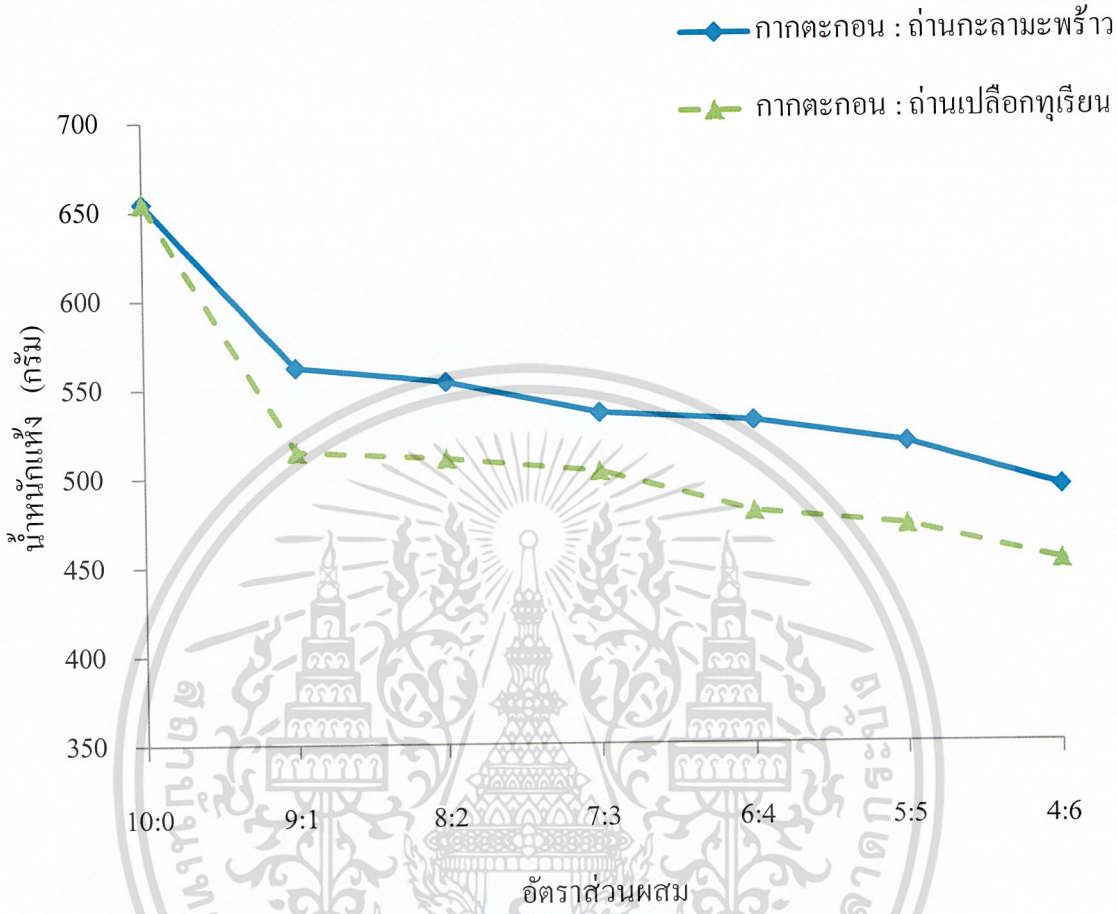
รูปที่ 4.7 น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากรูปที่ 4.7 น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงตามปริมาณถ่านวัสดุชีวมวลที่เพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 825.09 – 920.72 กรัมต่อแท่งของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าน้อยกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนคือ 900.54 – 920.72 กรัมต่อแท่ง ซึ่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งบ่งบอกถึงการดูดซับน้ำของถ่านชีวมวล ถ่านเปลือกทุเรียนมีการดูดซับน้ำและกลิ่นได้ดีกว่าถ่านกะลามะพร้าวเพราะในถ่านเปลือกทุเรียนมีความเป็นรูพรุนมากกว่า จึงทำให้น้ำหนักของเชื้อเพลิงมากกว่าถ่านกะลามะพร้าวเมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด

4.4.2.1 น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

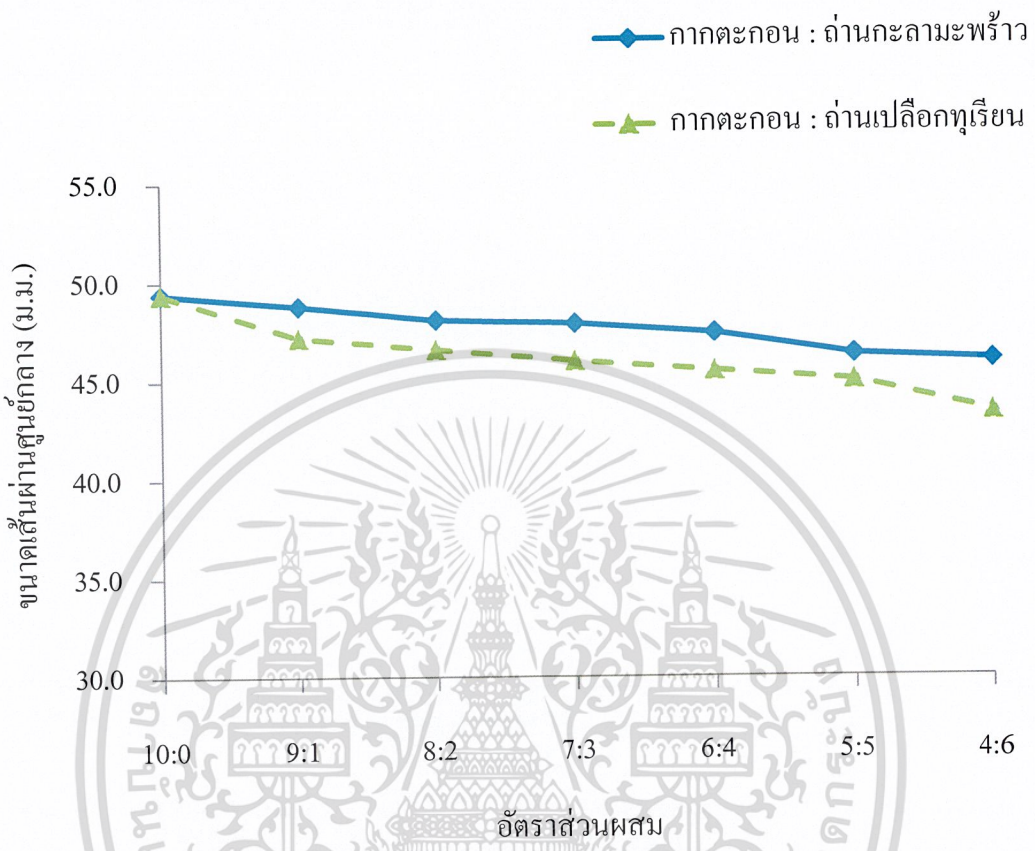


รูปที่ 4.8 น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากรูปที่ 4.8 นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปผึ่งแดดในที่โล่ง ด้วยการวางบนกระเบื้องลอนเล็ก ซึ่งช่วยให้เชื้อเพลิงอัดแท่งตรงและไม่บิดงอ โดยใช้เวลาในการผึ่ง 7 วัน เพื่อไล่ความชื้นออกจากเชื้อเพลิงอัดแท่งให้สามารถติดไฟได้ดียิ่งขึ้น เมื่อชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดดพบว่ามีน้ำหนักลงลงตามปริมาณถ่านชีวมวลที่เพิ่มมากขึ้น โดยส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีน้ำหนักลดลงระหว่าง 653.66 - 493.41 กรัม ซึ่งลดลงน้อยกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนคือ 653.66 - 452.09 กรัม เนื่องจากถ่านเปลือกทุเรียนมีความเป็นรูพรุนของผิวมากกว่าถ่านกะลามะพร้าวจึงดูดซับน้ำได้ดีกว่า (กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2546.) มีปริมาณความชื้นมาก เกิดการระเหยได้ดีเมื่อนำไปผึ่งแดด ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนมีน้ำหนักลดลงมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

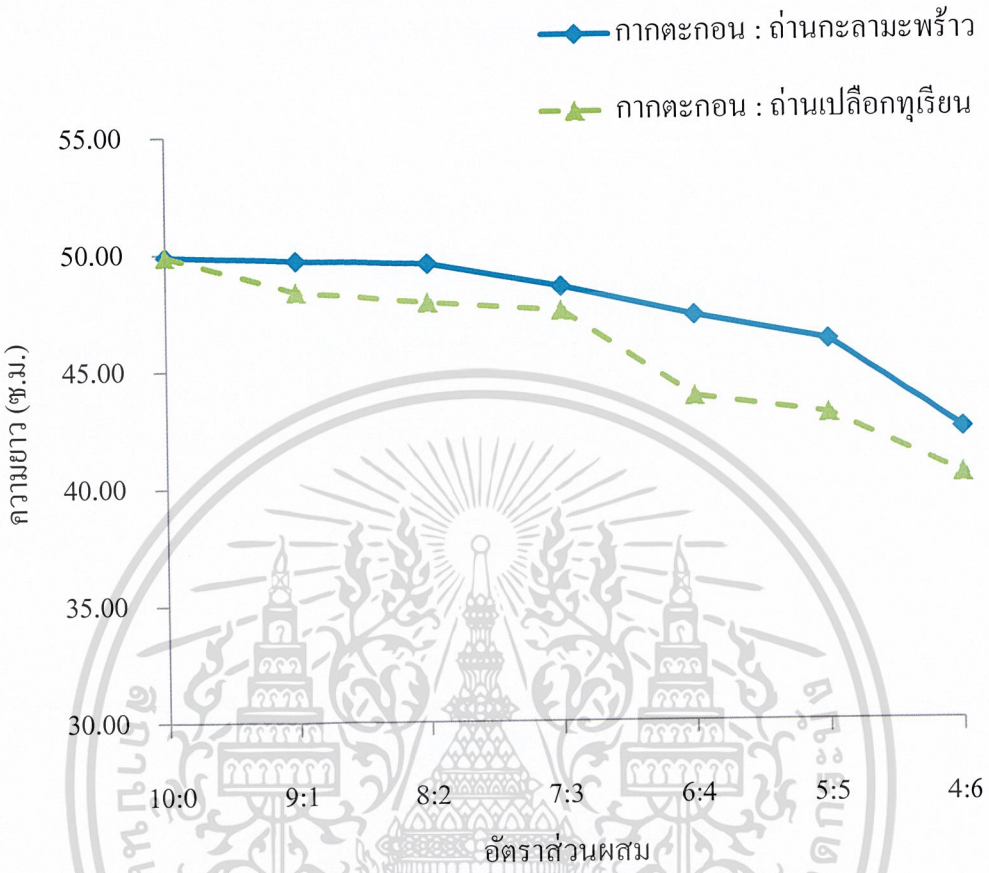


รูปที่ 4.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด

จากรูปที่ 4.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผึ่งแดดในที่โล่งแจ้งประมาณ 7 วัน โดยทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกพบว่ามีการหดตัวลงเท่าๆกันทุกด้านตามปริมาณถ่านชีวมวลที่เพิ่มขึ้นมีค่าระหว่าง 4.60 – 4.94 เซนติเมตรของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกับส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนคือ 4.34 – 4.94 เซนติเมตร ก่อนผึ่งเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.3 ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด



รูปที่ 4.10 ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังผึ่งแดด

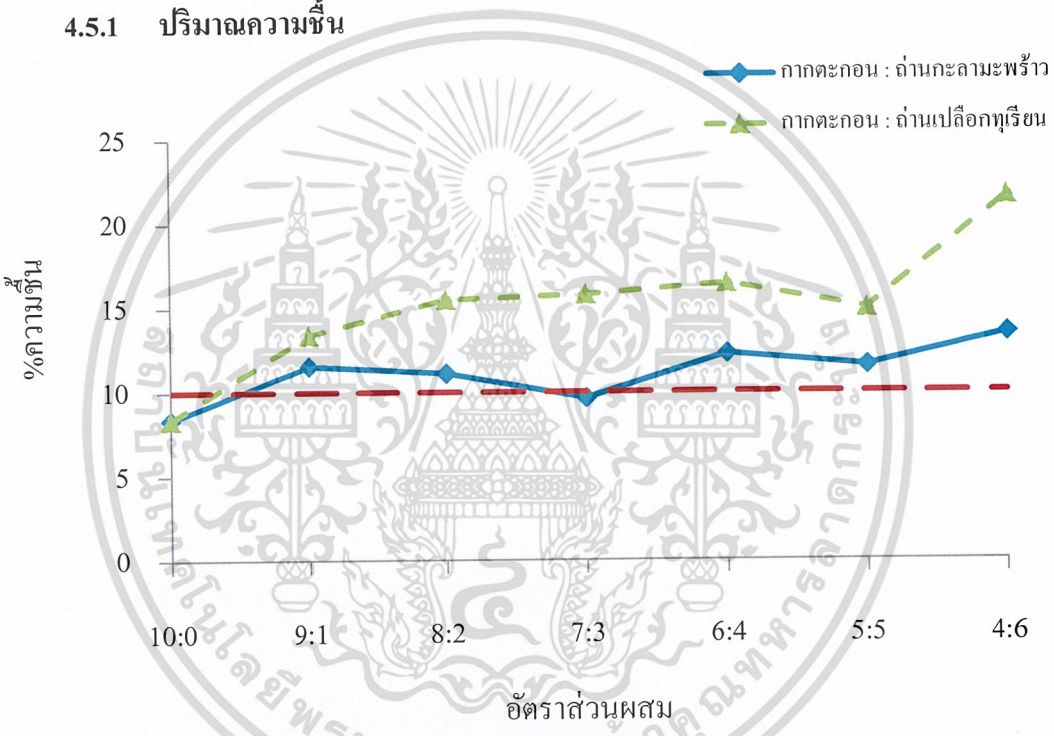
ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผึ่งแดดในที่โล่งแจ้ง ประมาณ 7 วัน โดยทำการวัดขนาดความยาวพบว่ามีการหดตัวลงเท่าๆกันทุกด้านตามปริมาณถ่านชีวมวลที่เพิ่มขึ้นมีค่าระหว่าง 42.44 – 49.90 เซนติเมตรของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีการหดตัวน้อยกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนคือ 40.49 – 49.90 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การนำกากตะกอนและถ่านชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง สิ่งที่ต้องพิจารณาอันดับแรกคือวิเคราะห์สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อน ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบสูง แต่มีปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าต่ำ ส่งผลให้มีค่าความร้อนสูง ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี (กองวิจัยผลิตผลป่าไม้, 2526) สามารถนำไปใช้งานได้จริงและไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

4.5.1 ปริมาณความชื้น

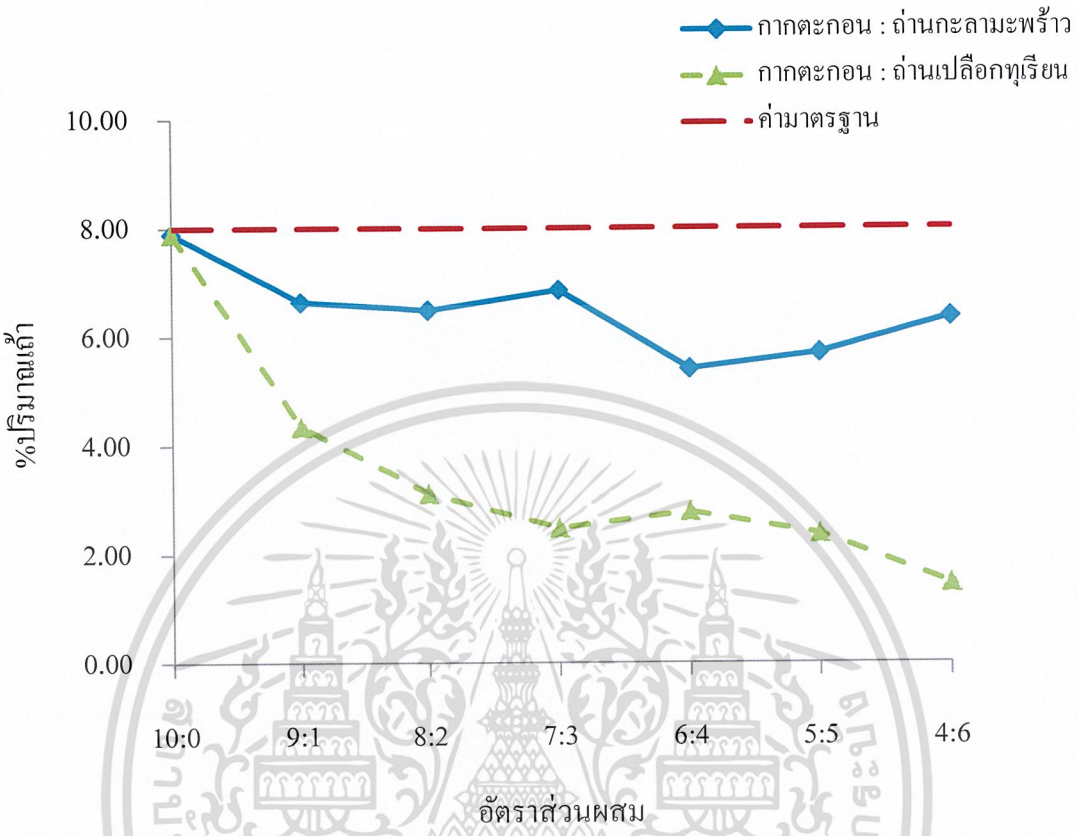


รูปที่ 4.11 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าปริมาณความชื้นที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 8.27 ถึง 13.46 % ซึ่งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 8.27 ถึง 21.59 % โดยอัตราส่วน 10:0 มีค่าต่ำกว่าถ่านไม้ (9.4%) และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง (10 %) ส่วนอัตราอื่นมีค่าสูงกว่าถ่านไม้ และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงการย่อยวัสดุมีการฉีดน้ำเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย ลดความร้อนจากการย่อยวัสดุและป้องกันการติดไฟในระหว่างการย่อย จึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากกว่าปกติดังรูปที่ 4.11 ควรลดปริมาณการฉีดน้ำให้มากที่สุดและผึ่งแดดให้มีความชื้น (15%) ในแท่งเชื้อเพลิง หรือลดลงจนได้ระดับเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ปริมาณเถ้า

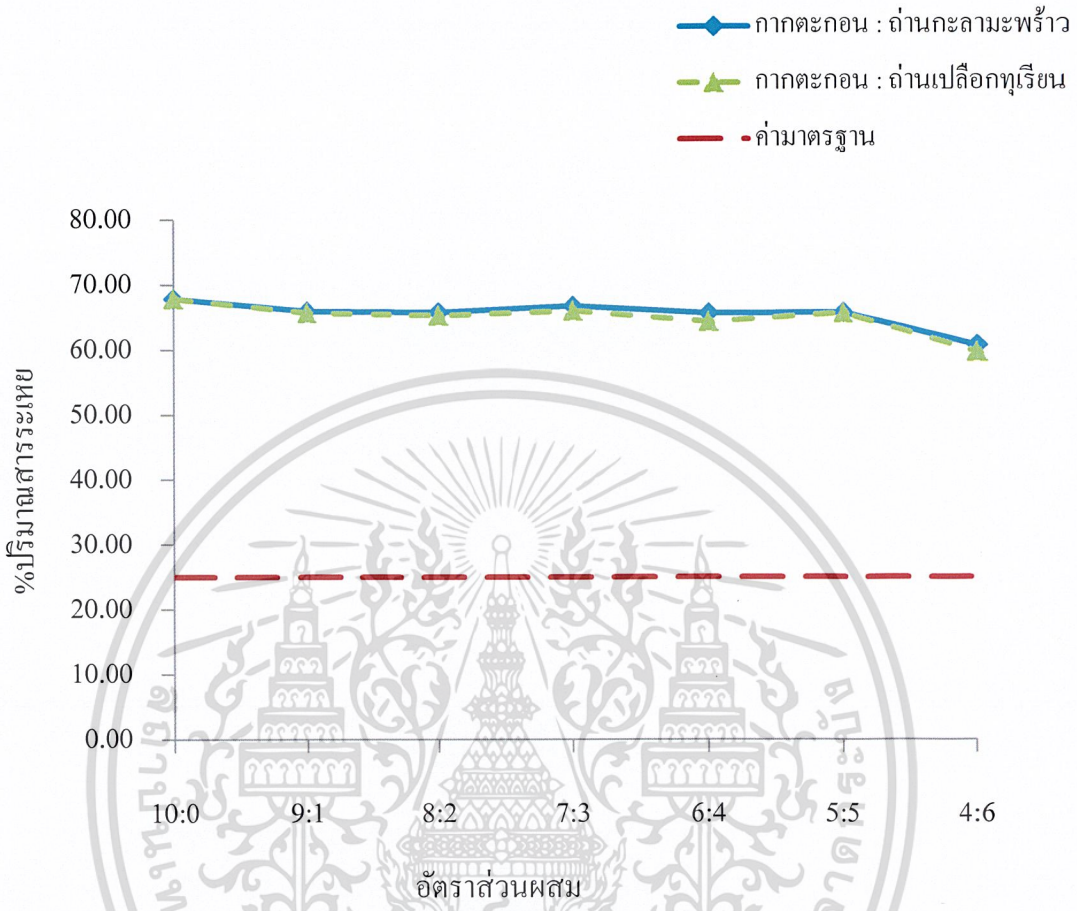


รูปที่ 4.12 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.12 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าปริมาณเถ้าที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 5.70 ถึง 7.89 % มีค่าปริมาณเถ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน (1.46 ถึง 7.89 %) อัตราส่วน 10:0 มีค่าสูงกว่าถ่านไม้ (5.4%)ส่วนอัตราส่วนอื่นมีค่าต่ำกว่าถ่านไม้ โดยทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง (น้อยกว่า 8%) และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ไม่น่าก่อให้เกิดผลกระทบจากฝุ่นละอองและการนำเถ้าไปกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ปริมาณสารระเหย

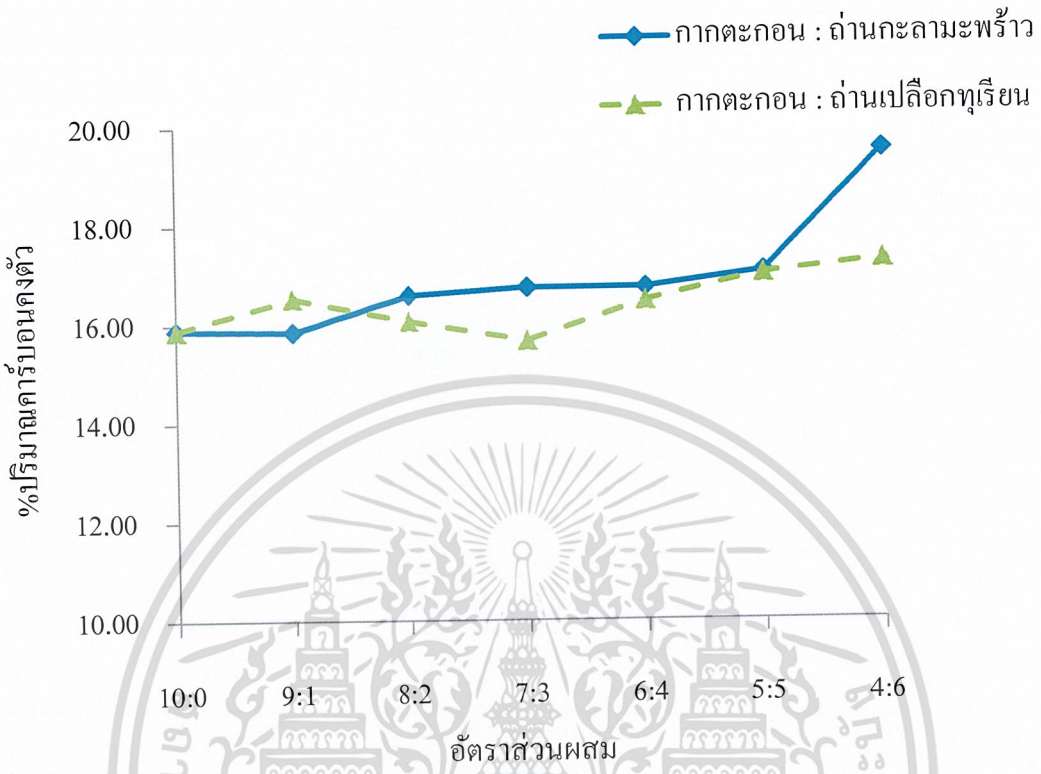


รูปที่ 4.13 ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม

ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าปริมาณสารระเหยที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 60.70 ถึง 67.86 % มีค่าปริมาณสารระเหยใกล้เคียงกับส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนมีค่าเท่ากับ 59.69 ถึง 67.86 % โดยทุกอัตราส่วนมีค่าสูงกว่าถ่านไม้ (10%) และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง (25%) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการทำความสะอาดเครื่องบินและโรงซ่อมเครื่องบิน มีสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมันเครื่องปะปนออกมากับการทำความสะอาด ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายในอุณหภูมิปกติจึงทำให้ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่ามากกว่าปกติดังรูปที่ 4.13 โดยปริมาณสารระเหยมีผลต่อความยากง่ายในการลุกติดไฟ หากมีปริมาณน้อยจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีสมบัติในการติดไฟได้ยากและระยะเวลาในการติดไฟน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

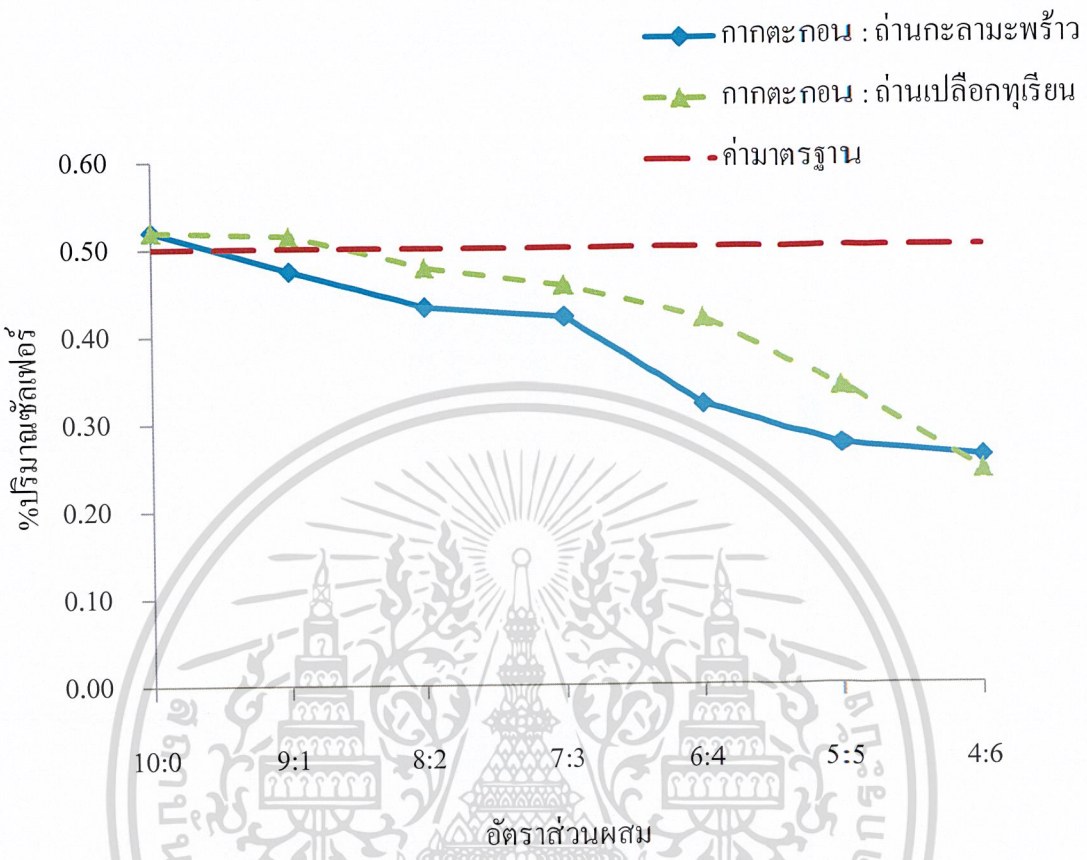


รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม

ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 15.85 ถึง 19.46 % มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่าส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนเท่ากับ15.67 ถึง 17.26 % โดยทุกอัตราส่วนมีค่าคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าถ่านไม้ (84.6%) แต่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากว่างานวิจัยของ สุพจน์ เดชผล (2546) พบว่ามีค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 9.76 % และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.14 ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะให้ค่าความร้อนสูงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.5 ปริมาณกำมะถัน

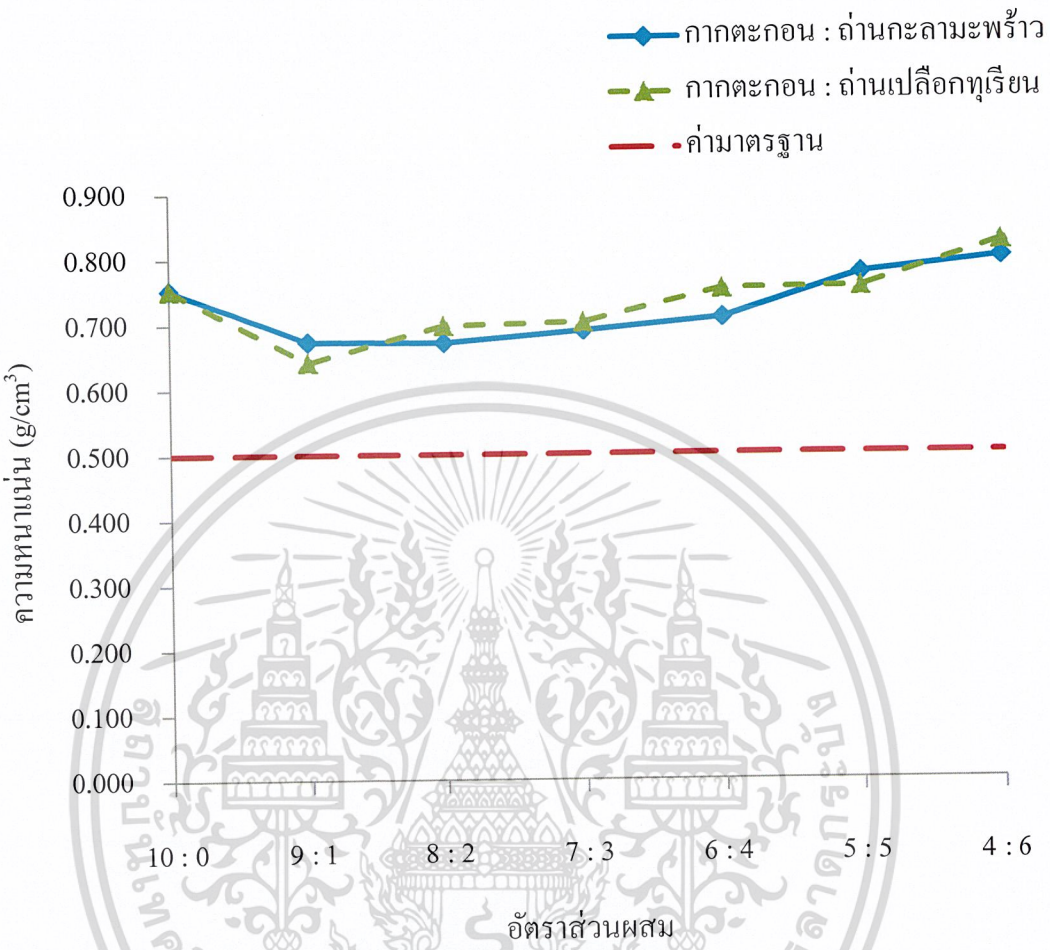


รูปที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าปริมาณกำมะถันที่มีส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.52 % ใกล้เคียงกับส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนมีค่าเท่ากับ 0.24 ถึง 0.52 % โดยอัตราส่วน 5:5 และ 4:6 ของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าต่ำกว่าฟืนไม้ (0.31%) เช่นเดียวกันกับอัตราส่วน 4:6 ของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน เมื่อเทียบกับมาตรฐานถ่านโค้กอัดแท่ง (0.5%) พบว่าอัตราส่วน 10:0 และ 9:1 ของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวเกินมาตรฐาน โดยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณกำมะถันต่ำมาก เมื่อเผาไหม้จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศจากออกไซด์ของซัลเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 ความหนาแน่น

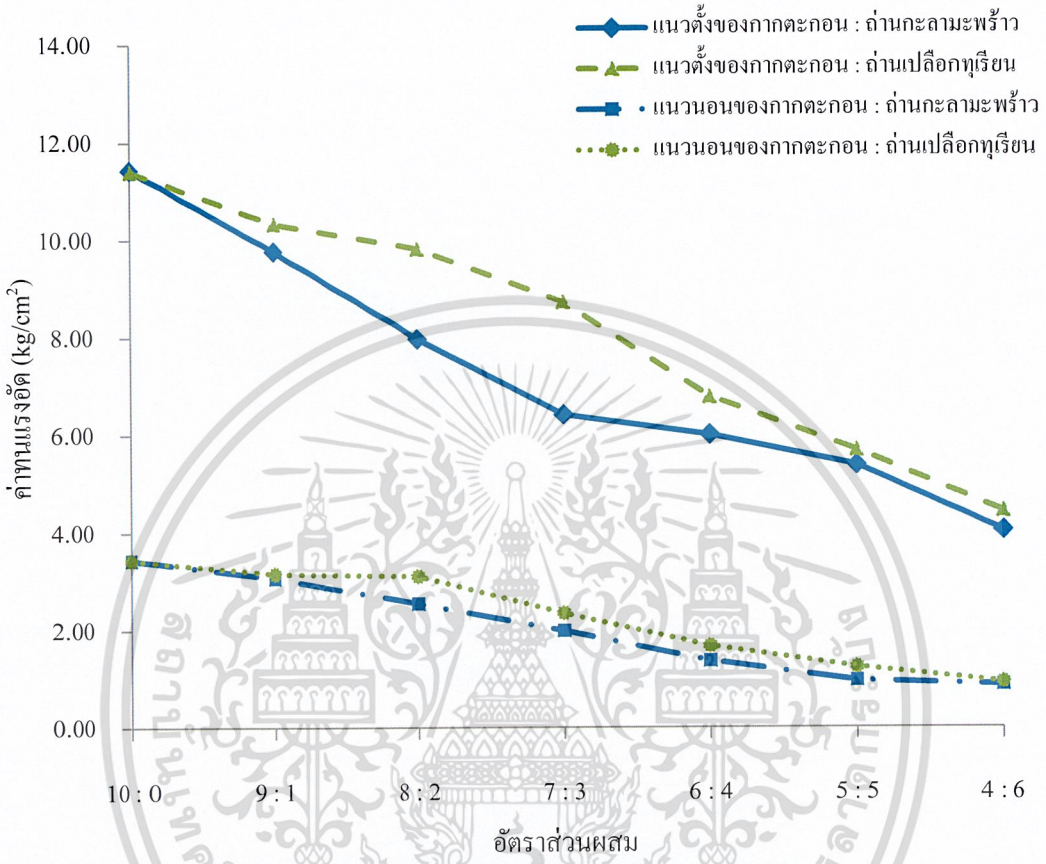


รูปที่ 4.16 ความหนาแน่นของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.16 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว มีค่าระหว่าง 0.669 ถึง 0.798 g/cm^3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าระหว่าง 0.642 ถึง 0.822 g/cm^3 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น เทียบกับความหนาแน่นของไม้แข็งทั่วไป (0.500 g/cm^3) พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.7 การทนแรงอัด

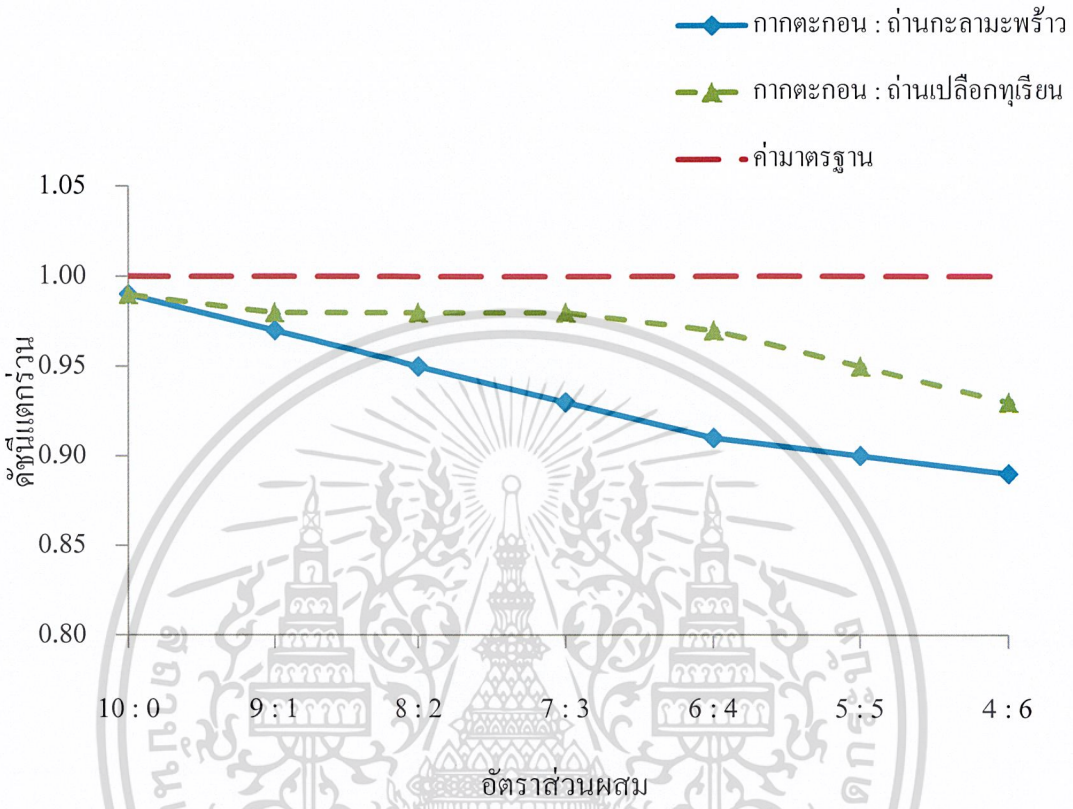


รูปที่ 4.17 การทนแรงอัดของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้งและแนวนอนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้งมีค่าระหว่าง 4.05 ถึง 11.44 kg/cm^3 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวนอนมีค่าระหว่าง 0.88 ถึง 3.44 kg/cm^3 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน ทั้งค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้งมีค่าระหว่าง 4.45 ถึง 11.44 kg/cm^3 และค่าเฉลี่ยแรงอัดแนวนอนมีค่าระหว่าง 0.93 ถึง 3.44 kg/cm^3 โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น ค่าการทนแรงอัดน้อยแสดงว่าเชื้อเพลิงจับตัวกันไม่ดี ทำให้แตกหักง่ายและเป็นสมบัติไม่ดี ถ้าค่าการทนแรงอัดมากแสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเหมาะสมในการขนส่ง แท่งเชื้อเพลิงสามารถวางซ้อนได้และการนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.8 ดัชนีการแตกร่วน

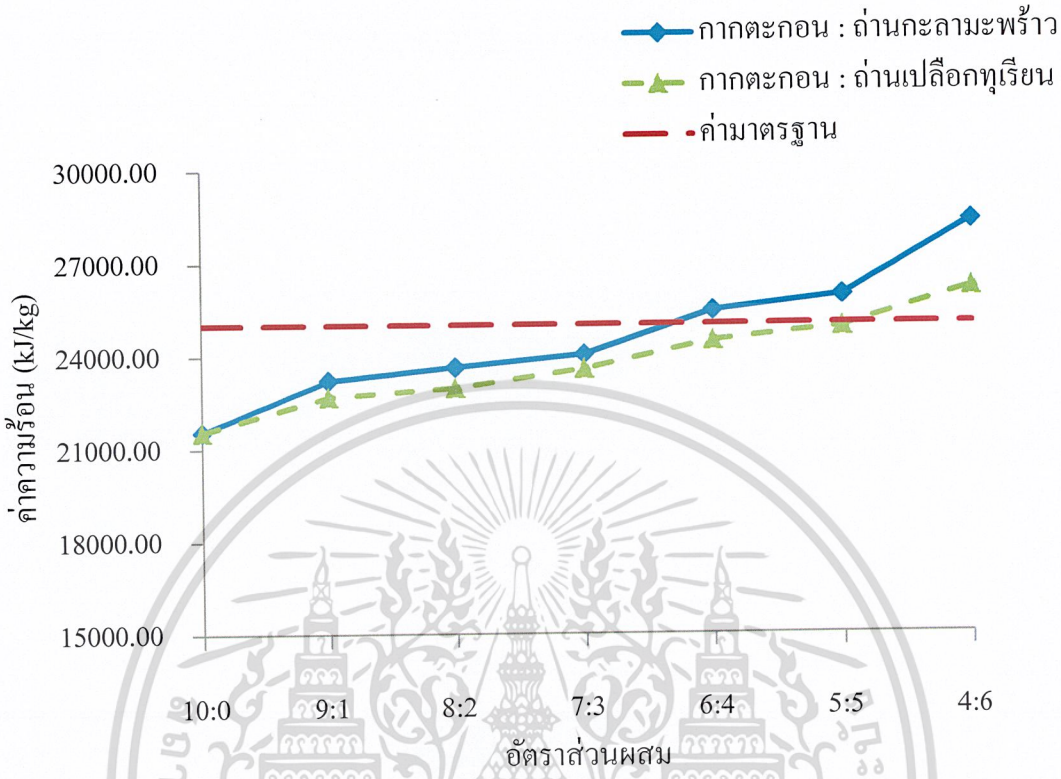


รูปที่ 4.18 ดัชนีการแตกร่วนของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.18 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว มีค่าระหว่าง 0.894 ถึง 0.987 น้อยกว่าอัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าระหว่าง 0.934 ถึง 0.987 โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น เป็นค่าที่แสดงความสามารถของเชื้อเพลิงในการทนแรงกระแทกในการขนส่งได้ หากค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นศูนย์ แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่จับตัวกัน แตกง่ายและมีคุณภาพไม่ดี ถ้าค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน (ประทีป, 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.9 ปริมาณความร้อน

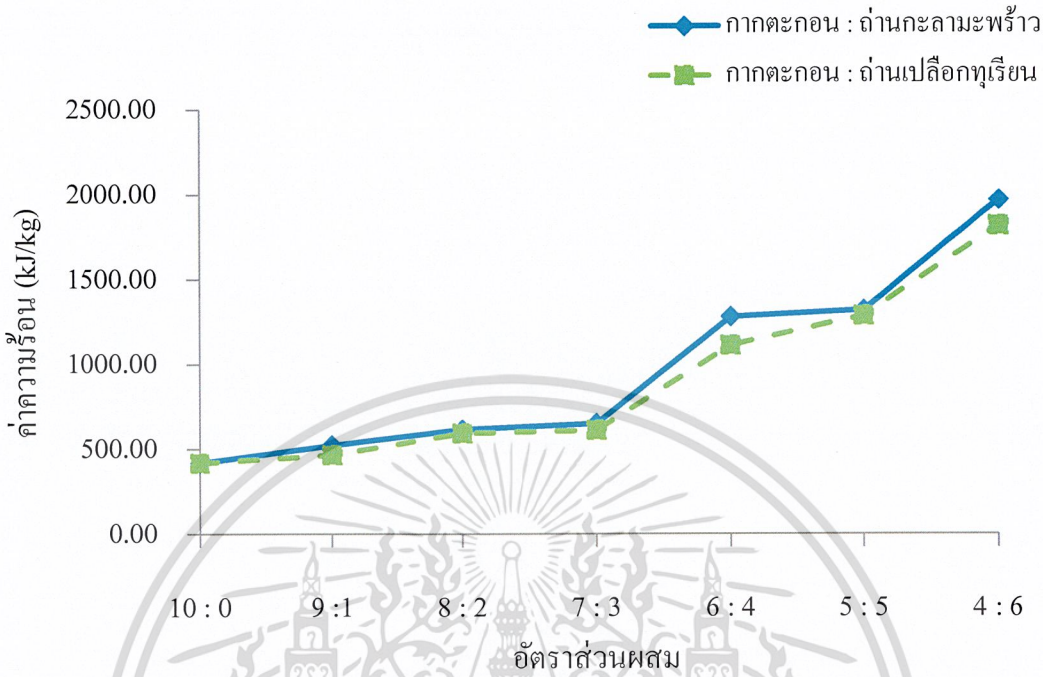


รูปที่ 4.19 ปริมาณความร้อนของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่าน กะลามะพร้าว มีค่าระหว่าง 21,552.37 ถึง 28,305.65 kJ/kg ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าระหว่าง 21,552.37 ถึง 26,151.37 kJ/kg พบว่าอัตราส่วน 5:5 และ 4:6 ของส่วนผสมกากตะกอนกับถ่านชีวมวลมีค่าความร้อนเกินค่ามาตรฐาน(25,000 kJ/kg) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกากตะกอนน้อยลงจึงทำให้มีปริมาณความร้อนเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.10 ค่าความร้อนทางกายภาพ

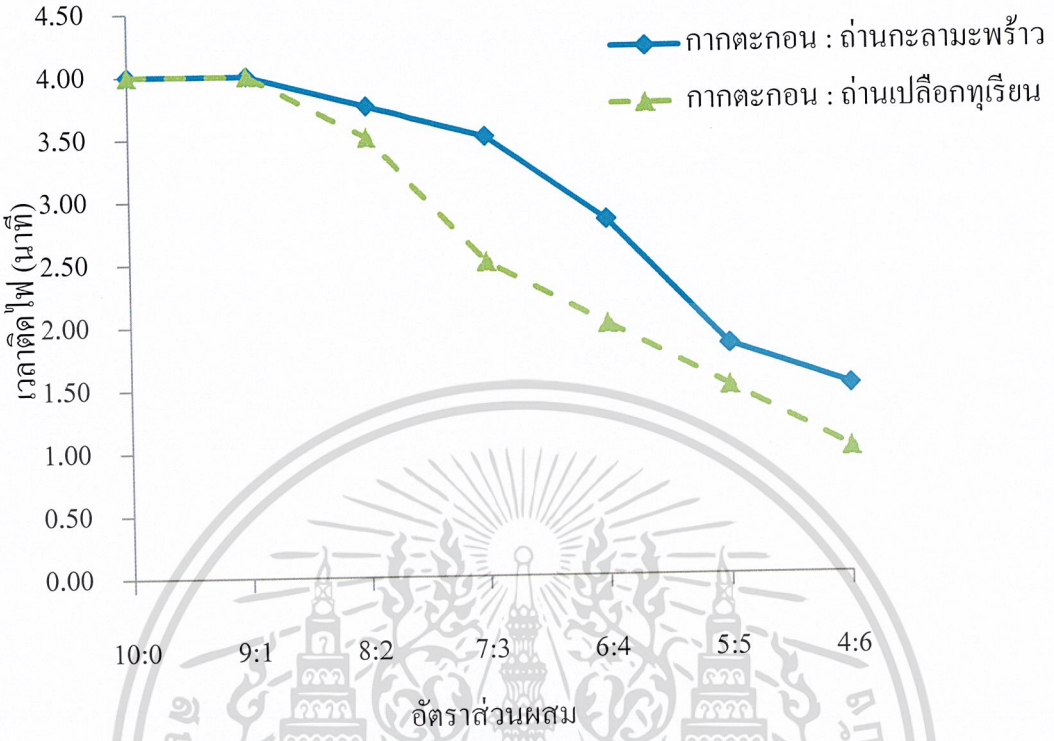


รูปที่ 4.20 ค่าความร้อนทางกายภาพของอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 4.20 ผลการหาค่าความร้อนทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธีทดสอบของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ทำการทดลองส่วนผสมละ 1 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าความร้อนทางกายภาพของทั้ง 7 อัตราส่วนผสม ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว มีค่าระหว่าง 419.08 ถึง 1966.74 kJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าระหว่าง 419.08 ถึง 1816.73 kJ/kg โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านเปลือกทุเรียนเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 เวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสมต่างๆ



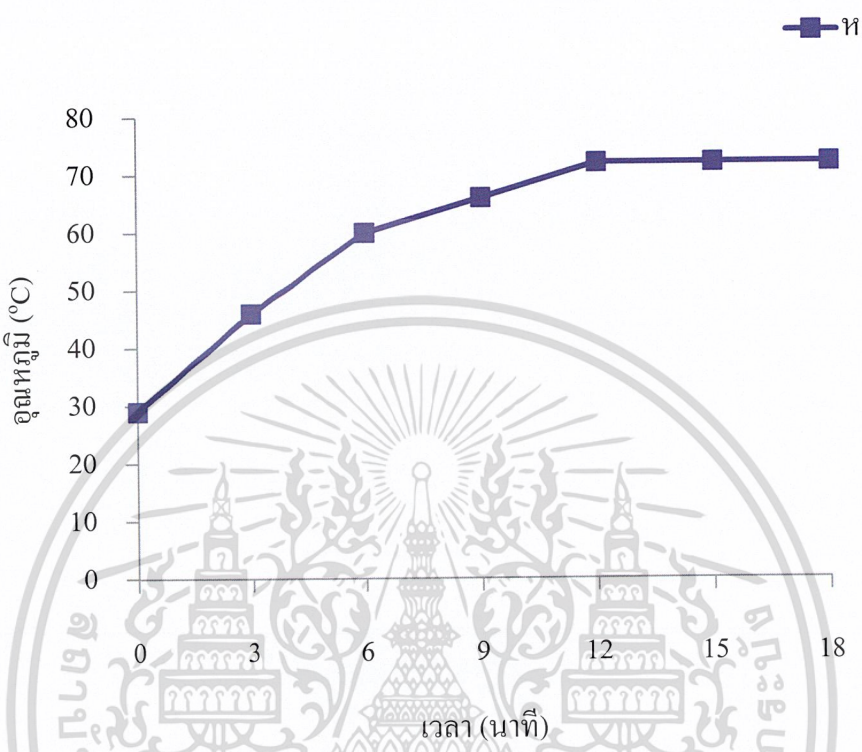
รูปที่ 4.21 เวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 4.21 พบว่าเวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะลดลงตามปริมาณถ่านชีวมวลที่เพิ่มมากขึ้น โดยในอัตราส่วน 10:0 และ 9:1 ใช้เวลาในการติดไฟใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราส่วน 8:2 ถึง 4:6 เวลาในการติดไฟมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนใช้เวลาในการติดไฟน้อยกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าว เพราะถ่านเปลือกทุเรียนมีปริมาณสารระเหยมากกว่าถ่านกะลามะพร้าว โดยปริมาณสารระเหยมีผลต่อความยากง่ายในการลุกติดไฟ หากมีปริมาณน้อยจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีสมบัติในการติดไฟได้ยากและระยะเวลาในการติดไฟน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่างๆ

4.7.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสม 10:0

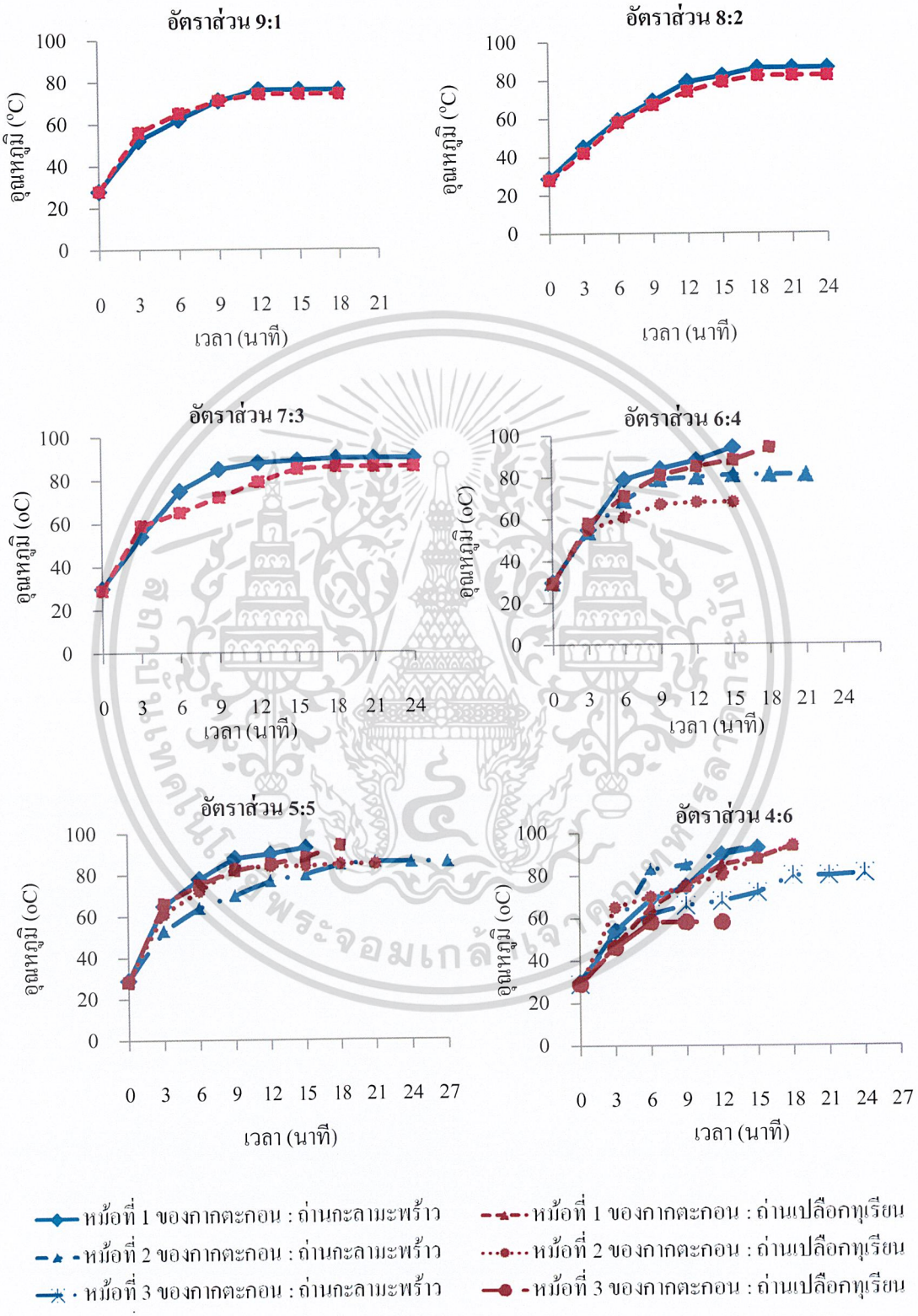


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วน 10:0

จากรูปที่ 4.22 สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 4 นาที มีควันและกลิ่นฉุนมาก มีปริมาณเถ้า 7.89 % ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 18 นาทีในการลุกไหม้ พบว่าอัตราส่วน 10:0 มีปริมาณเถ้ามากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น เมื่อมีปริมาณเถ้ามากทำให้เผาไหม้ได้ไม่ดีและมีพลังงานความร้อนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการทดลองการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.23 พบว่าอัตราส่วน 9:1 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียน ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 76 และ 74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาเท่ากันในการลุกไหม้

อัตราส่วน 8:2 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียน ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 86 และ 82 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาเท่ากันในการลุกไหม้

อัตราส่วนที่ 7:3 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียน ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 90 และ 86 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาเท่ากันในการลุกไหม้ แต่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเร็วกว่าอัตราส่วน 8:2 ส่งผลให้มีการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดีกว่า

อัตราส่วนที่ 6:4 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนสามารถต้มน้ำให้เดือดได้ โดยหม้อแรกใช้เวลา 15 และ 18 นาที ตามลำดับ หม้อที่ 2 ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 81 และ 68 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการลุกไหม้ 36 และ 33 นาที ตามลำดับ

อัตราส่วนที่ 5:5 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนสามารถต้มน้ำให้เดือดได้ โดยหม้อแรกใช้เวลา 15 และ 18 นาที ตามลำดับ หม้อที่ 2 ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 86 และ 85 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการลุกไหม้ 42 และ 39 นาที ตามลำดับ

อัตราส่วน 4:6 ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนสามารถต้มน้ำให้เดือดสูงสุด 3 หม้อ โดยใช้เวลาในการลุกไหม้ 54 และ 48 ซึ่งส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวใช้ระยะเวลาในการลุกไหม้นานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่างๆ

สูตร	อัตราส่วนผสม	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
		ควัน	กลิ่น	เวลาลุกไหม้ (นาที)	ควัน	กลิ่น	เวลาลุกไหม้ (นาที)
I	10 : 0	2	2	18	2	2	18
II	9 : 1	2	2	18	2	2	18
III	8 :2	2	2	24	2	2	24
IV	7 :3	1	2	24	2	1	24
V	6 :4	1	1	36	2	1	33
VI	5 : 5	1	1	42	1	0	37
VII	4 : 6	1	1	55	1	0	48

หมายเหตุ **0** ไม่มี
1 ปานกลาง
2 มาก

จากตาราง 4.4 พบว่าส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวสูตร I ถึง III เมื่อติดไฟมีควันและกลิ่นฉุนค่อนข้างมาก ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตร IV ถึง VII เมื่อติดไฟมีควันและกลิ่นฉุนน้อยลง สามารถต้มน้ำให้เดือดได้มากกว่า 1 หม้อ โดยสูตร VI และ VII ต้มน้ำให้เดือดได้สูงสุด 3 หม้อและสูตร VII ใช้ระยะเวลาในการลุกไหม้นานที่สุด

ส่วนผสมของกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนสูตร I และ II เมื่อติดไฟมีควันและกลิ่นฉุนค่อนข้างมาก ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น สูตร III ถึง V เมื่อติดไฟมีควันและกลิ่นฉุนน้อยลง สามารถต้มน้ำได้มากกว่า 1 หม้อ และสูตร VI และ VII เมื่อติดไฟมีควันน้อยลงและไม่มีกลิ่น สามารถต้มน้ำได้สูงสุด 3 หม้อ โดยสูตร VII ใช้ระยะเวลาในการลุกไหม้นานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและวัสดุชีวมวลมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ 11 ส่วนผสม คือ 10:0 9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6 3:7 2:8 1:9 และ 0:10 โดยน้ำหนักแล้วนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.1 สมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ ทางเคมีและทางด้านเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของกากตะกอนแหล่ง SBA พบว่ามีค่าความร้อน 21,552.37 kJ/kg ซึ่งมีศักยภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพลังงานได้ โดยกากตะกอนมีสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ถ่านชีวมวลคือ ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเปลือกทุเรียนมีค่าความร้อนสูงคือ 30,467.34 และ 28,446.16 kJ/kg ตามลำดับ เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานได้ดี ประกอบกับมีปริมาณเถ้าเพียง 3.74 และ 9.05 % ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณกำมะถันต่ำเพียง 0.14 % ของถ่านเปลือกทุเรียน เมื่อเปรียบเทียบมาตรฐานถ่านโค้กอัดแท่งซึ่งมีปริมาณกำมะถัน 0.5 % ดังนั้นถ่านชีวมวลสามารถนำมาเป็นวัสดุเพิ่มค่าความร้อนให้กับแท่งเชื้อเพลิงได้ดี โดยเฉพาะกากตะกอนจากแหล่ง SBA ที่มีค่าความร้อนต่ำ

ปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนน้ำเสียของแหล่ง SBA พบว่าปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.27 – 0.37 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 ± 0.09 mg/kg ซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด (39 mg/kg) และไม่พบปริมาณตะกั่ว จึงสามารถนำกากตะกอนจากแหล่ง SBA ไปใช้ประโยชน์โดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

5.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมในการอัดแท่ง

สำหรับการอัดแท่งอัตราส่วนผสมที่ 10:0 9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 และ 4:6 สามารถอัดแท่งได้ โดยที่อัตราส่วน 3:7 ถึง 0:10 มีความชื้นมากทำให้อัดแท่งไม่เป็นรูปทรง เมื่ออัดออกมาจะไม่มีรูตรงกลางแท่ง จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งาน และอัตราส่วน 3:7 ถึง 0:10 มีปริมาณถ่านชีวมวลมากกว่ากากตะกอน ซึ่งในจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ต้องการลดกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย แต่นำถ่านชีวมวลมาผสมเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราส่วนผสมที่นำมาใช้ในการศึกษาการอัดแท่งระหว่างกากตะกอนกับถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะลามะพร้าวคือ 10:0 ถึง 4:6 เนื่องจาก 7 อัตราส่วนนี้เมื่อทำการอัดแท่งเบื้องต้นแล้วพบว่าสามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ดี โดยเริ่มจากอัตราส่วน 10:0 ที่มีปริมาณกากตะกอนในส่วนผสมมากที่สุด และอัตราส่วน 4:6 ที่มีปริมาณกากตะกอนในส่วนผสมน้อยที่สุด

5.3 ผลการอัดแท่งทั้ง 7 อัตราส่วน

เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งลดลงตามปริมาณกากตะกอนที่ลดลง กากตะกอนมีความเหนียวในตัวเกิดการยึดเกาะกันได้ดี และมีการอัดตัวกันแน่น มีสมบัติเป็นตัวประสานการอัดแท่งทำได้ยากขึ้นและใช้เวลามากขึ้นด้วย เมื่อทำการเพิ่มถ่านชีวมวลในเชื้อเพลิงอัดแท่งทำให้ใช้เวลาในการอัดแท่งลดลงตามปริมาณของถ่านชีวมวล เนื่องจากถ่านชีวมวลมีการดูดซับน้ำได้ดีจึงทำให้เกิดการหล่อลื่นในขณะอัดแท่ง โดยอัตราส่วน 7:3 ถึง 4:6 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน สามารถอัดแท่งได้ดีมาก ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงมีผิวเรียบดีไม่เกิดการติดขัดขณะอัดแท่ง

5.4 การศึกษาสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวระหว่างกากตะกอนกับถ่านชีวมวล เมื่อปริมาณปริมาณถ่านชีวมวลเพิ่มขึ้นส่งผลให้คาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นเช่นกัน อัตราส่วน 4:6 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด โดยส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 19.46% ซึ่งมากกว่ากากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียนคือ 17.26% ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณถ่านชีวมวลเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความร้อนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคาร์บอนคงตัว เพราะคาร์บอนคงตัวจะให้พลังงานความร้อนออกมาเมื่อเกิดการสันดาป โดยที่อัตราส่วน 4:6 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 4:6 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน แต่พบว่าอัตราส่วน 5:5 และ 4:6 ของส่วนผสมกากตะกอนกับถ่านชีวมวลมีค่าความร้อนเกินค่ามาตรฐานต่ำสุด (25,000 kJ/kg) เมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองอัตราส่วนพบว่า อัตราส่วนที่ 5:5 เหมาะสมที่สุดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งเนื่องจากมีค่าความร้อนมากที่สุดรองจากอัตราส่วน 4:6 จากงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการลดกากตะกอนมากกว่าลดวัสดุชีวมวล อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 5:5 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน

สำหรับการทนแรงอัดแนวตั้งและแนวนอน มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณถ่านชีวมวลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับดัชนีแตกร่วน หากค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นศูนย์แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่จับตัวกัน แตกหักง่ายและคุณภาพไม่ดี พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ในช่วง 0.5 –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานได้ (ประทีป, 16) จากการวิเคราะห์สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

1. ค่าความร้อนสูง
2. ปริมาณกำมะถันต่ำ
3. ปริมาณเถ้าต่ำ

ข้อเสีย

1. ปริมาณความชื้นสูง
2. ปริมาณสารระเหยสูง

5.5 การทดสอบการติดไฟของแท่งเชื้อเพลิง

จากการทดสอบการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านชีวมวล โดยสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนพบว่าอัตราส่วน 4:6 มีระยะเวลาในการติดไฟมากที่สุด เพื่อให้ตรงตามจุดประสงค์ของงานวิจัยในการลดกากตะกอนจึงเลือกอัตราส่วน 5:5 ซึ่งมีระยะเวลาในการติดไฟใกล้เคียงกับอัตราส่วน 4:6 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 5:5 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวมีระยะเวลาในการติดไฟมากกว่าส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านเปลือกทุเรียน

อัตราส่วน 5:5 ของส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับถ่านกะลามะพร้าวจึงเหมาะสมในการนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.6 ปัญหาและอุปสรรค

1. ในขั้นตอนการย่อยวัสดุมีการฉีดน้ำเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย และลดความร้อนจากการย่อยเพื่อป้องกันการติดไฟ ส่งผลให้วัสดุมีความชื้นเพิ่มขึ้น
2. ปริมาณกากตะกอนไม่เพียงพอต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำให้ต้องลดสัดส่วนปริมาณกากตะกอนกับวัสดุชีวมวลในอัตราส่วนต่างๆ
3. ในการทดสอบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทางกายภาพโดยการต้มน้ำอาจมีความผิดพลาดได้ ต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสม เช่น ต้องทดสอบสภาวะที่ไม่มีลม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ข้อเสนอแนะ

1. กรณีช่วงฝนตกควรผลิตในที่ร่ม เพื่อลดปัญหาความชื้น
2. ทำการศึกษากากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานผลิตปลากระป๋อง เป็นต้น ที่น่ามีศักยภาพเพียงพอในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. ควรศึกษาวิธีลดกลิ่นฉุนหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. ในการทดสอบการใช้งานความร้อนโดยการต้มน้ำอาจจะมีความผิดพลาดได้ต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสม เช่น ต้องทดสอบสภาวะที่ไม่มีลมพัด ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ละเอียดวัดอุณหภูมิได้ทุก 1 นาที เป็นต้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **สรุปยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนา**. 2554 – 2558.

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ สำนักวิชาการเชื้อเพลิงธรรมชาติ. **คุณภาพถ่านหินนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน.**2547.

กัมนาป ตั้งเตชานนท์, ริศรา ใจมาตร์ และจันทร์หอม สุมาริธรรม.2552. **การนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง**. สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย. **การผลิตชีวมวลในประเทศไทย.** 2540 – 2541.

เกวลิน ไชยอำพร.2551 .**การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกศินี สกุลวงษ์. 2550. **การใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในการตรึงโลหะหนักในดินที่ปรับปรุงด้วยกากตะกอนน้ำเสียชุมชน.**สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ทิพาวรรณ รักษ์วงศ์ และอัญชริการ์ ไชยศรีหา. 2545. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ.** ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

นพพร สุดใจธรรม. 2545. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ.** สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. 2553. **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง.** สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลือพงษ์ ลือนาม และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช.2551. **การวิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านกะลามะพร้าวในกระดับเกษตรกร.** ภาควิชาเทคนิคเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประทีป ปิ่นท้วม. 2538. **การศึกษาการทำขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง**. สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประริญา รำไพ. 2546. **การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอินทรียสารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. 2540. **การศึกษาการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล.**เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง. 2548. **การผลิตเชื้อเพลิงโดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์จากกากตะกอนน้ำเสีย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุพจน์ เดชผล. 2546. **การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย.** สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุริยา ชัยเดชทยากูล. 2554. **การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ**. สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

สมโภชน์ เชิดพงษ์. 2551. **เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานจากกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.** สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำเริง จักรใจ.2547. **การเผาไหม้.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร

Chuen-Shill Chou a.,Sheau-Horng Lin b.,and Chun-Chieh Peng, 2009.**The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice straw by a piston-mold process using the Taguchi method**. Journal of Fuel Processing Technology. 90: 1041–1046.

Muller, Dictrich, 1986, **Sewage Sludge Fuel Briquett**, US. Patent, No. 4, 615, 711.

Owen McDougal, Richard Stanley and Seth C. Holstein, 2001, "A Unigue Approach to Conservation", **Chemical Innovation**, Vol. 31, No. 2, pp. 22-28.

Schuhmacher Marta., Nadal Marti., Jose L., and Domingo,2009. **Environmenta monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel**. Journal of Chemosphere. 74: 1502–1508.

Yaman. S., Sahan. M., Haykiri-acma. H., Sesen. K., and Kucukbayrak.S., 2000. **Fuel briquettes from biomass–lignite blends**. Fuel Processing Technology . 72 : 1–8.

Zabaniotoua. A., and Theofiloub. C. 2008.**Green energy at cement kiln in Cyprus— Use of sewage sludge as a conventional fuel substitute**. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12 : 531–541.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ ถ่านกะลาจากมะพร้าวและถ่านจากเปลือกทุเรียน

1. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุทดลอง

1.1 สีและเนื้อตะกอน

ใช้วิธีสังเกตด้วยตาเปล่า และสัมผัสด้วยมือ

2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอน

2.1 การวิเคราะห์หาโลหะหนัก

- ชั่งกากตะกอนมา 1.0 กรัม (อย่างละเอียด) ลงในบีกเกอร์
- เติมกรดไนตริก 1:1 ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปตั้งไปบน water path เป็นเวลา 10 นาที
- เติมกรดไนตริกเข้มข้น ลงไป 5 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อย เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งสารละลายใส ปล่อยทิ้งให้เย็น
- เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้สักครู่ สังเกตถ้าเกิดฟองให้เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทีละ 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งไม่เกิดฟอง จากนั้นทำการย่อยจนกระทั่งสารละลายเหลือ 5 มิลลิลิตร
- เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อยต่ออีก 10 มิลลิลิตร
- ทิ้งให้เย็นแล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41
- นำสารละลายที่กรองแล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- ทำแบลงค์ด้วยวิธีการเดียวกับกากตะกอน
- นำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่น

2.2 ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total Sulfur)

น้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์แคลอรีมิเตอร์สามารถหาปริมาณกำมะถันได้โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปแบเรียมซัลเฟต จากนั้นกรองตะกอนที่ได้และทำการเผา ชั่งน้ำหนัก ดังวิธีการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำน้ำที่ล้างภายในบอมบ์จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนมา 50 มิลลิลิตร
- ปรับพีเอชให้อยู่ในระหว่าง 5.5 - 7.0 ด้วยสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ และให้ความร้อนจนเดือด
- กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41 และล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนประมาณ 5 ถึง 6 ครั้ง
- นำมาปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดไฮดรอกโดรคลอริก (1+1) และนำมาต้มให้เดือด
- แล้วค่อยๆเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10% 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไป 15 นาทีและตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง
- นำกระดาษกรองใยแก้วเบอร์ GF/A มาชั่งอย่างละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้วเบอร์ GF/A และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง
- นำกระดาษกรองมาเผาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- เมื่อถึงเวลานำกระดาษกรองไปไว้ในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักตะกอน
- ทำแบลงค์ด้วยวิธีเดียวกับตัวอย่างทุกประการ
- นำน้ำที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม

$$sulphur,\% = \frac{(A-B)\times 13.738}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ (กรัม)

B = น้ำหนักแบลงค์ (กรัม)

C = น้ำหนักกากตะกอนที่ใช้ (กรัม)

3. วิเคราะห์สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของวัสดุทดลอง

3.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

วิเคราะห์โดยใช้ความแตกต่างของปริมาณความชื้น เถ้าและสารระเหยง่าย ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100 - (% ปริมาณความชื้น + % ปริมาณเถ้า + % ปริมาณสารระเหย)

3.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่หายไปหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังวิธีการดังนี้

- อบครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 105 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที จดน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างกากตะกอน 1 กรัม (ชั่งละเอียด ± 0.001 มิลลิกรัม) ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักโดยเร็ว แล้วรีบปิดฝาทันที
- อบตัวอย่างในเตาอบที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 105 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาวางไว้ข้างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- หลังจากครบกำหนด เปิดเตาอบและปิดฝาครูซิเบิลทันที
- นำไปไว้ในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งอย่างละเอียด จดน้ำหนัก
- ทำซ้ำอีก 1-2 ครั้งเพื่อป้องกันการผิดพลาด
- นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ความชื้น, \%} = \left[\frac{(A-B)}{A}\right] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3.3 ปริมาณเถ้า (Ash)

วิเคราะห์ส่วนที่เหลือจากการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 700 - 750 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังวิธีการดังนี้

- อบครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 105 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที จดน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างกากตะกอน 1 กรัม (ชั่งละเอียด ± 0.0001 มิลลิกรัม) ใส่ในครู-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิเบิลที่ทราบน้ำหนักโดยเร็ว แล้วรีบปิดฝาทันที

- อบตัวอย่างในเตาเผาที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 450 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาวางไว้ข้างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- เพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนกระทั่งถึง 700 - 750 องศาเซลเซียส ภายในชั่วโมงที่สอง เผาต่อที่อุณหภูมิ 700 -750 องศาเซลเซียสอีก 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เตาเผาอุณหภูมิลดลงประมาณ 149 องศาเซลเซียส
- หลังจากครบกำหนด เปิดเตาเผาและปิดฝาครูซิเบิลทันที
- นำไปไว้ในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งอย่างละเอียด จดน้ำหนัก
- ทำซ้ำอีก 1-2 ครั้งเพื่อป้องกันการผิดพลาด
- นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณปริมาณเถ้า

$$\text{เถ้า, \%} = \left[\frac{(A-B)}{C}\right] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

B = น้ำหนักครูซิเบิลหลังอบ (กรัม)

C = น้ำหนักกากตะกอน (กรัม)

3.4 ปริมาณสารระเหย (Volatile Solid)

วิเคราะห์ส่วนที่เหลือจากการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 900 - 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 นาที โดยหักค่าความชื้นออก ดังวิธีการดังนี้

- อบครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 105 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที จดน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างกากตะกอน 1 กรัม (ชั่งละเอียด ± 0.0001 กรัม) ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักโดยเร็ว แล้วรีบปิดฝาทันที
- อบตัวอย่างในเตาเผาที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 900 - 950 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาวางไว้ข้างๆ เป็นเวลา 6 นาที ทิ้งให้เตาเผาอุณหภูมิลดลงประมาณ 149 องศาเซลเซียส
- หลังจากครบกำหนด เปิดเตาเผาและปิดฝาครูซิเบิลทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำไปไว้ในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งอย่างละเอียด จดน้ำหนัก
- ทำซ้ำอีก 1-2 ครั้งเพื่อป้องกันการผิดพลาด
- นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณปริมาณสารระเหย

$$\text{น้ำหนักที่หายไป, \%} = \left[\frac{(A-B)}{A}\right] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$$\text{ปริมาณสารระเหย, \%} = C - D - E$$

เมื่อ C = น้ำหนักที่หายไป (%)

D = ปริมาณความชื้น (%)

E = ปริมาณเถ้า (%)

3.5 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาตัวอย่างภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนในแคลอรีมิเตอร์ โดยเครื่องจะคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและนำมาคำนวณเป็นค่าความร้อน ดังวิธีการดังนี้

- ชั่งกากตะกอนมา 0.5 กรัม (ชั่งละเอียด 0.0001 กรัม) บันทึกน้ำหนัก
- นำไปอัดให้เป็นก้อนด้วยด้วยเครื่องอัดเม็ดแล้วนำกากตะกอนที่อัดแล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
- นำกากตะกอนที่อัดเม็ดแล้วใส่ลงในถ้วยโลหะที่ใช้สำหรับเครื่องบอมบ์และวางบนฐานรองถ้วยของบอมบ์
- ล้างตัวบอมบ์ให้ทั่วด้วยน้ำกลั่นและเติมสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต(0.0709 N) 2.0 มิลลิลิตรลงในบอมบ์
- ตัดลวดนิกเกิลยาว 10 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักลวดก่อนแล้วเสียบที่ขาของบอมบ์ทั้ง 2 ข้างแล้วปิดฝาบอมบ์ให้แน่น
- อัดแก๊สออกซิเจนเข้าไปในบอมบ์ 20 atm อย่างช้าๆ
- เติมน้ำกลั่นลงใน Bucket 2000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำ bucket และบอมบ์ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ และประกอบอุปกรณ์ทิ้งชิ้นตามคู่มือและเริ่มเปิดเครื่อง
- ปล่อยให้เครื่องเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยอุณหภูมิของเครื่องต่างกันไม่เกิน $\pm$ 0.002 องศาเซลเซียส แล้วปิดเครื่อง
- จุดชนวนของบอมบ์ทั้งสองขั้วแล้วปิดฝา
- เปิดเครื่องแคลอรีมิเตอร์พร้อมกับบันทึกอุณหภูมิ (t_a) และเวลา (a) เริ่มต้นอ่านอีกครั้งที่เวลา 30 วินาทีและ 1 นาที หลังจากนั้นอ่านทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิที่อ่านได้คงที่ (กำหนดให้อุณหภูมิสุดท้ายที่คงที่เป็น t_c และเวลาเป็น C)
- เปิดฝาแคลอรีมิเตอร์และนำบอมบ์ออกมา ปล่อยแก๊สช้าๆด้วยอัตราคงที่และให้หมดภายในเวลา 1 นาที
- เปิดฝาบอมบ์และล้างภายในบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด เทน้ำที่ได้ใส่ในบีก-เกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ทดสอบว่าล้างบอมบ์สะอาดหรือไม่ ให้หยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไปภายในบอมบ์ 1 หยด ถ้าได้สีส้มแสดงว่ายังล้างไม่หมด แต่ถ้าหมดแล้วจะได้สีเขียว
- ชั่งน้ำหนักลวดที่เหลือจากการเผาไหม้เพื่อหักลบออกจากน้ำหนักตั้งต้น
- นำน้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์ไปไตรเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต
- วิเคราะห์หาค่าความร้อนจากการคำนวณ

$$t = t_c - t_a$$

เมื่อ t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

t_a = อุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อจุดชนวน ณ เวลา a (องศาเซลเซียส)

t_c = อุณหภูมิสุดท้ายที่อ่าน ณ เวลา c (องศาเซลเซียส)

$$Q = \{[(t \times E) - e_1 - e_2 - e_3]/g\}$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E = พลังงานสมมูลย์ของบอมบ์ (energy equivalent) ปัจจุบันใช้ค่า 2416.07 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

e_1 = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตที่ได้จากการไตเตรท (1 ml Na_2CO_3 = 1 calories)

e_2 = น้ำหนักเบนโซอิก (6,318 cal/g)

e_3 = น้ำหนักลวดที่หายไป (1,400 cal/g)

g = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้

ค่าความร้อนของตัวอย่าง = Q – ค่าความร้อนของซัลเฟอร์ (14 cal/g)

การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกล และทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1. สมบัติทางกล

1.1 ความหนาแน่น (Density)

คือ อัตราส่วนมวลต่อปริมาตร หาได้จากสมการ

$$\rho = m / V$$

สำหรับปริมาตรทรงกระบอกที่มีรูตรงกลางหาได้จาก

$$V = \frac{\Delta\left(D^2 - d^2\right)h}{4}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม)

V = ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

Δ = ค่าคงที่ (3.14)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

h = ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบโดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาตัดแล้ววัดความยาวประมาณ 40 เซนติเมตร วัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง แล้วคำนวณปริมาตร นำไปชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาความหนาแน่น

1.2 ดัชนีการแตกร่วน

วิเคราะห์โดยวิธี Drop shatter test ค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นค่าที่ใช้เพื่อหาความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความทนทานระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำ มาใช้งาน วิธีการทดสอบทำ ได้โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ถุงพลาสติก ประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วปล่อยลงจากที่สูง 2 เมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ 3 ครั้ง จากนั้นนำ ไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการอัดแท่งแล้วไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability index) หรือดัชนีการแตกละเอียด (Shatter index) ได้จาก

$$R = W_f/W_i$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตกร่วน

W_f = น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

W_i = น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ (กิโลกรัม)

ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งประมาณ 200 กรัม เนื่องจากมีตัวอย่างน้อยจึงไม่เพียงพอในการทำจำนวนมาก

1.3 การทนแรงอัด (Compressive strength)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Universal testing machine (UTM) โดยทำ การทดสอบทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

1.3.1 การทดสอบในแนวตั้ง

การทดสอบทำโดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งมาตัดด้วยเลื่อยเพื่อทำให้ปลายทั้งสองของเชื้อเพลิงอัดแท่งเรียบเสมอกันและตัดให้มีความยาวเป็น 2 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งตัวอย่างที่ตัดเรียบร้อยแล้วไปวางแนวตั้งในเครื่อง Universal testing machine (UTM) เพื่อทำการทดสอบต่อไป ซึ่งค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นเป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่ถ่านอัดแท่งจะรับได้ ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

$$\delta = F/A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ δ = การทนแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

F = แรงอัดที่กระทำ ต่อตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

1.3.2 การทดสอบในแนวนอน

ใช้ตัวอย่างขนาดเดียวที่ทดสอบแนวตั้ง เพื่อดูขนาดของแรงสูงสุด (Peak load) ที่ทำ ให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกแล้วเปรียบเทียบกับการทดสอบการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งแนวตั้ง

2. ค่าความร้อนทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง

2.1 ค่าความร้อน

ทำ ได้โดยการทดลองต้มน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งและถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งในสภาพการใช้งานปกติ เช่น อุณหภูมิห้อง ไม่ควบคุมความชื้น บรรยากาศ ไม่มีลมพัด และทดลองเปรียบเทียบกับถ่านไม้ทั่วไป โดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนหนักประมาณ 200.00 กรัม เพื่อนำไปทดสอบค่าความร้อน
2. นำแท่งเชื้อเพลิงไปชุบน้ำมันก๊าดปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. นำแท่งเชื้อเพลิงมาเรียงในเตาอั้งโล่แล้วจุดไฟโดยปล่อยในแท่งเชื้อเพลิงไหม้นาน 1 นาที
4. นำหม้อสแตนเลสสตีลที่ใส่น้ำปริมาตร 500 mL วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำโดยควบคุมให้อยู่ในช่วง 28-32 °C พร้อมทั้งปิดฝาแล้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์ไว้โดยให้ส่วนของกระเปราะจุ่มลงไปในน้ำแล้วไม่ติดกับก้นของหม้อ
5. บันทึกอุณหภูมิของหม้อทุกๆ 3 นาที เมื่อน้ำในหม้อเดือด (95°C) ให้เปลี่ยนหม้อใหม่จนกว่าอุณหภูมิจะคงที่
6. คำนวณพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับจากสมการ

สูตรคำนวณ :

$$Q' = M_1 C_p' \Delta T'$$

$$Q = (M_1 C_p \Delta T) + (M_1 C_p' \Delta T')$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่ได้จากแท่งเชื้อเพลิง (kJ/kg)

Q' = ค่าความร้อนที่ได้จากหม้อสแตนเลสสตีล 304 (kJ/kg)

M_1 = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการต้ม (kg)

M_2 = น้ำหนักเฉลี่ยของหม้อสแตนเลส (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_p = ค่าจุความร้อนของน้ำ (4.186 kJ/kg.°C)

C_p' = ค่าความจุความร้อนของหม้อสแตนเลส 304 (0.5 kJ/kg.°C)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำในหม้อ (°C)

$\Delta T'$ = ผลต่างของอุณหภูมิของหม้อสแตนเลส 304 (°C)

2.2 ปริมาณกำมะถันรวม (Total surfur)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D4239 ใช้วิธีการทดสอบแบบ C โดยตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งจะถูกเผาในเตาทรงกระบอก (Tube furnace) ที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส โดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปเพื่อไปออกซิไดซ์กำมะถันให้อยู่ในรูปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) ก๊าซอนุภาคเล็กๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้นี้จะผ่านไปยัง Anhydrone (Anhydrous magnesium perchlorate) เพื่อดักจับความชื้นและอนุภาคเล็กๆกาซที่เหลือจะผ่านเข้าไปในเซลล์ ซึ่งมี Infrared adsorption detector (IR)สำหรับวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กล่าวคือ พลังงานที่ Detector วัดได้จะลดลง เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดูดซับเอาไว้ ซึ่งพลังงานที่ลดลงนี้เป็นสัดส่วนกับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

ดังนั้นปริมาณกำมะถันทั้งหมดในตัวอย่างที่อยู่ในรูปของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการวัดนี้เป็นการวัดเปรียบเทียบความแตกต่างของพลังงาน เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดจึงมีการสอบเทียบ (Calibrate) โดยใช้ Standard reference materials ที่มีกำมะถันครอบคลุมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้

1) Automated sulfur analyzer

2) Tube furnace

3) Combusion tube

4) Sample combusion boats

5) Boat puller

วิธีการวิเคราะห์

1) ทำการ Calibrate เครื่องวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

2) เพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาอย่างน้อย 1,350 องศาเซลเซียส

3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วกระจายตัวอย่างใน Combusion boats และใช้ Boat puller เลื่อนตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งที่ร้อนที่สุดในการเผา ทำการเผาอย่างน้อย 2 นาทีหรือกระทั่งเผาไหม้สมบูรณ์

4) เมื่อเผาเสร็จแล้ว เครื่องมือวิเคราะห์กำมะถันจะอ่านค่ากำมะถันที่วิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองหาปริมาณแคดเมียม (Cd)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกอน (g)	ความเข้มข้นของ Cd (mg/L)	ความเข้มข้น Cd ในกากตะกอน (mg/kg)	เฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	1.0006	0.0040	0.40	0.37	0.06
	2	1.0001	0.0040	0.40		
	3	0.9995	0.0030	0.30		
SBA 05/01/2554	1	1.0009	0.0050	0.50	0.37	0.15
	2	1.0001	0.0020	0.20		
	3	0.9996	0.0040	0.40		
SBA 10/01/2554	1	1.0001	0.0040	0.40	0.30	0.10
	2	0.9996	0.0030	0.30		
	3	0.9994	0.0020	0.20		
SBA 15/01/2554	1	0.9994	0.0030	0.30	0.27	0.06
	2	1.0001	0.0030	0.30		
	3	1.0002	0.0020	0.20		
SBA 20/01/2554	1	1.0006	0.003	0.30	0.37	0.06
	2	1.0004	0.004	0.40		
	3	1.0003	0.004	0.40		
I 16/07/2553	1	1.0019	0.003	0.30	0.33	0.06
	2	1.0012	0.003	0.30		
	3	1.0005	0.004	0.40		
I 23/09/2553	1	1.0033	0.002	0.20	0.27	0.06
	2	0.9994	0.003	0.30		
	3	1.0004	0.003	0.30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองหาปริมาณตะกั่ว (Pb)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกอน (g)	ความเข้มข้นของ Pb (mg/L)	ความเข้มข้น Pb ในกากตะกอน (mg/kg)	เฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	1.0006	0.0000	0.00	0.00	0.00
	2	1.0001	0.0000	0.00		
	3	0.9995	0.0000	0.00		
SBA 05/01/2554	1	1.0009	0.0000	0.00	0.00	0.00
	2	1.0001	0.0000	0.00		
	3	0.9996	0.0000	0.00		
SBA 10/01/2554	1	1.0001	0.0000	0.00	0.00	0.00
	2	0.9996	0.0000	0.00		
	3	0.9994	0.0000	0.00		
SBA 15/01/2554	1	0.9994	0.0000	0.00	0.00	0.00
	2	1.0001	0.0000	0.00		
	3	1.0002	0.0000	0.00		
SBA 20/01/2554	1	1.0006	0.0000	0.00	0.00	0.00
	2	1.0004	0.0000	0.00		
	3	1.0003	0.0000	0.00		
I 16/07/2553	1	1.0019	0.1250	12.48	13.05	0.52
	2	1.0012	0.1320	13.18		
	3	1.0005	0.1350	13.49		
I 23/09/2553	1	1.0033	0.1320	13.16	13.15	0.04
	2	0.9994	0.1310	13.11		
	3	1.0004	0.1320	13.19		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองหาปริมาณกำมะถัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรองก่อน(g)	น้ำหนักกระดาษกรองหลัง(g)	น้ำหนักกากตะกอน (g)	%Sulfur	ค่าเฉลี่ย	SD
Blank	-	0.0850	0.0960	-	-	-	-
SBA 28/12/2553	1	0.0858	0.1143	0.4820	0.50	0.51	0.03
	2	0.0855	0.1156	0.4819	0.54		
	3	0.0858	0.1138	0.4881	0.48		
SBA 05/01/2554	1	0.0859	0.1146	0.4820	0.50	0.51	0.01
	2	0.0856	0.1149	0.4866	0.52		
	3	0.0858	0.1152	0.4841	0.52		
SBA 10/01/2554	1	0.0860	0.1159	0.4847	0.54	0.52	0.01
	2	0.0861	0.1149	0.4773	0.51		
	3	0.0861	0.1153	0.4826	0.52		
SBA 15/01/2554	1	0.0859	0.1143	0.4814	0.50	0.53	0.03
	2	0.0858	0.1152	0.4673	0.54		
	3	0.0859	0.1156	0.4628	0.56		
SBA 20/01/2554	1	0.0860	0.1153	0.4843	0.52	0.52	0.01
	2	0.0861	0.1158	0.4852	0.53		
	3	0.0858	0.1152	0.4850	0.52		
BLCP 16/07/2553	1	0.0858	0.1100	0.4813	0.38	0.37	0.01
	2	0.0861	0.1104	0.4860	0.38		
	3	0.0858	0.1090	0.4650	0.36		
BLCP 23/09/2553	1	0.0859	0.1102	0.4791	0.38	0.38	0.01
	2	0.0860	0.1109	0.4798	0.40		
	3	0.0858	0.1098	0.4789	0.37		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้น (%)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักครูซิเบิล (g)	น้ำหนักตะกอนก่อน (g)	น้ำหนักครูซิเบิลและตะกอนหลังอบ (g)	% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	30.8927	1.0008	31.8089	8.45	8.40	0.05
	2	30.4966	1.0006	31.4134	8.37		
	3	29.6963	1.0001	30.6128	8.36		
SBA 05/01/2554	1	33.1141	1.0015	34.0312	8.43	8.46	0.04
	2	33.3783	1.0002	34.2934	8.51		
	3	29.2495	1.0004	30.1653	8.46		
SBA 10/01/2554	1	33.3749	1.0000	34.2918	8.31	8.25	0.05
	2	32.6976	1.0002	33.6156	8.22		
	3	29.9035	0.9997	30.8211	8.21		
SBA 15/01/2554	1	34.1532	1.0003	35.0716	8.19	8.23	0.04
	2	33.6512	1.0002	34.5687	8.27		
	3	29.9359	0.9999	30.8536	8.22		
SBA 20/01/2554	1	30.8979	1.0006	31.8146	8.38	8.41	0.03
	2	30.7415	1.0009	31.6579	8.44		
	3	33.9272	1.0002	34.8434	8.40		
BLCP 16/07/2553	1	34.1471	1.0006	35.1327	1.50	1.43	0.09
	2	33.6486	1.0003	34.6344	1.45		
	3	29.9258	0.9998	30.9123	1.33		
BLCP 23/09/2553	1	29.8948	1.0001	30.8633	3.16	2.99	0.15
	2	30.7095	1.0009	31.6815	2.89		
	3	33.9634	1.0000	34.9343	2.91		
ถ่านเปลือกทุเรียน	1	33.3802	1.0006	34.2906	9.01	9.02	0.02
	2	33.1140	1.0013	34.0248	9.04		
	3	29.9035	1.0004	30.8139	9.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองหาปริมาณเถ้า (%)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักครูซิเบิล (g)	น้ำหนักตะกอนก่อน (g)	น้ำหนักครูซิเบิลและตะกอนหลังอบ (g)	%เถ้า	ค่าเฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	30.8927	1.0008	31.0473	6.99	7.05	0.05
	2	30.4966	1.0006	30.6510	7.06		
	3	29.6963	1.0001	29.8509	7.10		
SBA 05/01/2554	1	33.1141	1.0015	33.2831	8.45	8.43	0.04
	2	33.3783	1.0002	33.5479	8.45		
	3	29.2495	1.0004	29.4180	8.39		
SBA 10/01/2554	1	33.3749	1.0000	33.5474	8.94	9.29	0.60
	2	32.6976	1.0002	32.8693	8.95		
	3	29.9035	0.9997	30.0854	9.98		
SBA 15/01/2554	1	34.1532	1.0003	34.3210	8.59	8.15	0.44
	2	33.6512	1.0002	33.8154	8.15		
	3	29.9359	0.9999	30.0951	7.70		
SBA 20/01/2554	1	30.8979	1.0006	31.0482	6.64	6.56	0.18
	2	30.7415	1.0009	30.8896	6.35		
	3	33.9272	1.0002	34.0781	6.69		
BLCP 16/07/2553	1	34.1471	1.0006	35.0772	91.46	91.55	0.10
	2	33.6486	1.0003	34.5787	91.53		
	3	29.9258	0.9998	30.8555	91.66		
BLCP 23/09/2553	1	29.8948	1.0001	30.7519	82.54	82.87	0.31
	2	30.7095	1.0009	31.5708	83.17		
	3	33.9634	1.0000	34.8215	82.90		
ถ่านเปลือกทุเรียน	1	33.3802	1.0006	33.5648	9.43	9.05	0.54
	2	33.1140	1.0013	33.2974	9.28		
	3	29.9035	1.0004	30.0779	8.44		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ผลการทดลองหาปริมาณสารระเหย (%)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักครูซิเบิล (g)	น้ำหนักครูซิเบิลและตะกอนหลังอบ (g)	%น้ำหนักที่หายไป	%ปริมาณสารระเหย	ค่าเฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	30.8927	31.0452	84.76	69.31	69.31	0.13
	2	30.4966	30.6487	84.80	69.37		
	3	29.6963	29.8492	84.71	69.25		
SBA 05/01/2554	1	33.1141	33.2773	83.70	68.28	68.14	0.19
	2	33.3783	33.5418	83.65	68.09		
	3	29.2495	29.4134	83.62	68.06		
SBA 10/01/2554	1	33.3749	33.5395	83.54	66.78	66.60	0.06
	2	32.6976	32.8612	83.64	66.98		
	3	29.9035	30.0770	82.64	66.05		
SBA 15/01/2554	1	34.1532	34.3132	84.00	66.88	66.62	0.12
	2	33.6512	33.8119	83.93	66.72		
	3	29.9359	30.0912	84.47	66.26		
SBA 20/01/2554	1	30.8979	31.0462	85.18	68.21	68.64	0.49
	2	30.7415	30.8882	85.34	68.75		
	3	33.9272	34.0765	85.07	68.97		
BLCP 16/07/2553	1	34.1471	35.0701	7.76	6.26	6.32	0.32
	2	33.6486	34.5721	7.68	6.23		
	3	29.9258	30.8477	7.79	6.46		
BLCP 23/09/2553	1	29.8948	30.7403	15.46	12.30	12.20	0.39
	2	30.7095	31.5615	14.88	11.99		
	3	33.9634	34.8111	15.23	12.32		
ถ่านเปลือกทุเรียน	1	33.3802	33.5537	82.66	64.21	64.64	0.59
	2	33.1140	33.2870	82.72	64.41		
	3	29.9035	30.0761	82.75	65.31		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ผลการทดลองหาคาร์บอนคงตัว (%)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	%ความชื้น	%ปริมาณเถ้า	%ปริมาณสารระเหย	%คาร์บอนคงตัว	ค่าเฉลี่ย	SD
SBA 28/12/2553	1	8.45	6.99	69.31	15.24	15.24	0.04
	2	8.37	7.06	69.37	15.20		
	3	8.36	7.10	69.25	15.29		
SBA 05/01/2554	1	8.43	8.45	68.28	14.84	14.96	0.13
	2	8.51	8.45	68.09	14.95		
	3	8.46	8.39	68.06	15.10		
SBA 10/01/2554	1	8.31	8.94	66.78	15.97	15.86	0.10
	2	8.22	8.95	66.98	15.86		
	3	8.21	9.98	66.05	15.76		
SBA 15/01/2554	1	8.19	8.59	66.88	16.35	17.01	0.74
	2	8.27	8.15	66.72	16.87		
	3	8.22	7.70	66.26	17.81		
SBA 20/01/2554	1	8.38	6.64	68.21	16.77	16.39	0.42
	2	8.44	6.35	68.75	16.45		
	3	8.40	6.69	68.97	15.94		
I 16/07/2553	1	1.50	91.46	6.26	0.79	0.71	0.14
	2	1.45	91.53	6.23	0.79		
	3	1.33	91.66	6.46	0.55		
I 23/09/2553	1	3.16	82.54	12.30	2.00	1.94	0.07
	2	2.89	83.17	11.99	1.96		
	3	2.91	82.90	12.32	1.87		
ถ่านเปลือกทุเรียน	1	9.01	9.43	64.21	17.34	17.29	0.04
	2	9.04	9.28	64.41	17.28		
	3	9.00	8.44	65.31	17.25		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ผลการทดลองหาค่าความร้อน

กากตะตอน	ค่าความร้อน (kJ/kg)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
SBA 28/12/2553	21,375.07	21,360.15	21,757.13	21,497.45	225.01
SBA 05/01/2554	20,0513.37	20,132.63	20,662.74	20,436.25	273.34
SBA 10/01/2554	20,843.44	21,371.75	20,711.51	20,975.51	349.39
SBA 15/01/2554	22,497.19	23,377.27	23,184.36	23,019.61	462.60
SBA 20/01/2554	22,1337.28	21,466.60	21,895.08	21,832.99	339.62
BLCP 16/07/2553	13,054.85	13,533.44	13,913.91	13,500.73	430.46
BLCP 23/09/2553	12,465.43	12,649.70	12,255.06	12,456.73	197.46
ถ่านเปลือกทุเรียน	28,580.92	28,254.02	28,503.54	28,446.16	170.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ผลการบันทึกเวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			เวลา (วินาที)	เฉลี่ย	SD	เวลา (วินาที)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	21.55	21.60	0.06	21.55	21.60	0.06
		2	21.67			21.67		
		3	21.59			21.59		
II	9:1	1	15.99	15.96	0.06	19.93	19.91	0.02
		2	16.00			19.91		
		3	15.9			19.90		
III	8:2	1	15.91	15.91	0.01	18.05	18.04	0.03
		2	15.90			18.01		
		3	15.92			18.07		
IV	7:3	1	15.48	15.46	0.02	15.22	15.25	0.03
		2	15.44			15.28		
		3	15.46			15.26		
V	6:4	1	14.87	14.83	0.03	14.04	14.02	0.02
		2	14.81			14.01		
		3	14.82			14.00		
VI	5:5	1	14.28	14.31	0.04	13.75	13.78	0.03
		2	14.35			13.80		
		3	14.30			13.78		
VII	4:6	1	14.21	14.23	0.02	13.53	13.49	0.04
		2	14.23			13.48		
		3	14.25			13.45		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ผลการบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			น้ำหนักอัด (g)	เฉลี่ย	SD	น้ำหนักอัด (g)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	923.00	920.72	2.04	923.00	920.72	2.04
		2	920.11			920.11		
		3	919.05			919.05		
II	9:1	1	915.66	912.78	2.92	915	912.03	2.58
		2	909.82			910.42		
		3	912.85			910.66		
III	8:2	1	917.09	912.09	4.60	910.02	909.55	0.78
		2	911.15			908.65		
		3	908.04			909.99		
IV	7:3	1	899.78	901.23	3.51	907.97	906.91	2.61
		2	905.23			908.83		
		3	898.67			903.94		
V	6:4	1	872.34	869.22	3.52	896.35	901.29	4.34
		2	869.92			904.47		
		3	865.41			903.06		
VI	5:5	1	859.37	857.26	3.04	899.29	900.26	0.85
		2	853.78			900.82		
		3	858.64			900.68		
VII	4:6	1	821.01	825.09	4.07	901.32	900.54	2.39
		2	829.15			897.86		
		3	825.12			902.45		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ผลการบันทึกความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			ความยาว (ซ.ม.)	เฉลี่ย	SD	ความยาว (ซ.ม.)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	49.91	49.90	0.01	49.91	49.90	0.01
		2	49.90			49.90		
		3	49.90			49.90		
II	9:1	1	49.73	49.72	0.01	48.37	48.38	0.01
		2	49.72			48.38		
		3	49.72			48.38		
III	8:2	1	49.58	49.57	0.01	47.92	47.91	0.01
		2	49.57			47.91		
		3	49.57			47.9		
IV	7:3	1	48.54	48.55	0.01	47.52	47.52	0.01
		2	48.55			47.53		
		3	48.55			47.52		
V	6:4	1	47.30	47.29	0.01	43.83	43.84	0.01
		2	47.29			43.85		
		3	47.29			43.84		
VI	5:5	1	46.22	46.21	0.01	43.07	43.07	0.01
		2	46.21			43.06		
		3	46.21			43.07		
VII	4:6	1	42.43	42.44	0.01	40.49	40.49	0.01
		2	42.44			40.48		
		3	42.44			40.50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-12 ผลการบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซ.ม.)	เฉลี่ย	SD	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซ.ม.)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	4.95	4.94	0.01	4.95	4.94	0.01
		2	4.93			4.93		
		3	4.93			4.93		
II	9:1	1	4.89	4.88	0.01	4.77	4.76	0.01
		2	4.87			4.76		
		3	4.87			4.76		
III	8:2	1	4.83	4.81	0.02	4.66	4.66	0.01
		2	4.80			4.66		
		3	4.80			4.65		
IV	7:3	1	4.79	4.79	0.01	4.6	4.60	0.01
		2	4.80			4.61		
		3	4.78			4.6		
V	6:4	1	4.75	4.74	0.01	4.54	4.55	0.01
		2	4.74			4.55		
		3	4.74			4.55		
VI	5:5	1	4.61	4.60	0.01	4.5	4.50	0.01
		2	4.60			4.51		
		3	4.60			4.5		
VII	4:6	1	4.52	4.53	0.01	4.33	4.34	0.01
		2	4.53			4.34		
		3	4.53			4.34		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 ผลการบันทึกน้ำหนักหลังผึ่งแดดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			น้ำหนักหลังผึ่งแดด (g)	เฉลี่ย	SD	น้ำหนักหลังผึ่งแดด (g)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	659.87	654.66	4.84	659.87	654.66	4.84
		2	653.79			653.79		
		3	650.31			650.31		
II	9:1	1	566.39	562.03	4.17	518.71	514.60	4.31
		2	558.08			510.11		
		3	561.62			514.98		
III	8:2	1	557.56	553.68	4.32	512.67	510.67	1.83
		2	554.46			509.08		
		3	549.03			510.25		
IV	7:3	1	534.88	535.84	4.66	502.00	503.20	4.43
		2	540.91			508.11		
		3	531.73			499.50		
V	6:4	1	534.32	530.82	3.21	478.54	480.12	2.23
		2	530.13			482.67		
		3	528.01			479.16		
VI	5:5	1	520.28	518.24	1.95	468.72	472.11	3.27
		2	516.39			475.24		
		3	518.05			472.38		
VII	4:6	1	489.8	493.41	3.13	451.84	452.09	1.85
		2	495.45			450.38		
		3	494.97			454.05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-14 ผลการบันทึกหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			ความหนาแน่น (g/cm^3)	เฉลี่ย	SD	ความหนาแน่น (g/cm^3)	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	0.753	0.753	0.002	0.753	0.753	0.002
		2	0.755			0.755		
		3	0.752			0.752		
II	9:1	1	0.673	0.673	0.002	0.646	0.642	0.005
		2	0.672			0.637		
		3	0.675			0.644		
III	8:2	1	0.670	0.671	0.006	0.700	0.698	0.004
		2	0.678			0.693		
		3	0.667			0.699		
IV	7:3	1	0.688	0.689	0.005	0.700	0.702	0.004
		2	0.694			0.706		
		3	0.684			0.699		
V	6:4	1	0.708	0.707	0.001	0.751	0.751	0.001
		2	0.707			0.753		
		3	0.706			0.750		
VI	5:5	1	0.775	0.774	0.003	0.749	0.754	0.005
		2	0.771			0.759		
		3	0.777			0.753		
VII	4:6	1	0.797	0.798	0.001	0.824	0.822	0.002
		2	0.799			0.819		
		3	0.797			0.822		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-15 ผลการทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว		กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน	
		ค่าความร้อน (kJ/kg)	SD	ค่าความร้อน (kJ/kg)	SD
I*	10:0	21,552.37	976.34	21,552.37	976.34
II	9:1	23,215.34	459.48	22,685.60	314.40
III	8:2	23,632.81	372.52	22,959.24	259.43
IV	7:3	24,031.56	594.59	23,565.27	217.98
V	6:4	25,431.46	306.27	24,470.05	456.52
VI	5:5	25,904.25	282.18	24,890.50	158.78
VII	4:6	28,305.65	240.48	26,151.37	155.34

หมายเหตุ * ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-16 ผลการทดลองหาดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว			กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน		
			ดัชนีการแตกร่วน	เฉลี่ย	SD	ดัชนีการแตกร่วน	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	0.99	0.99	0.002	0.99	0.99	0.002
		2	0.99			0.99		
		3	0.99			0.99		
II	9:1	1	0.97	0.97	0.003	0.98	0.98	0.006
		2	0.97			0.98		
		3	0.97			0.97		
III	8:2	1	0.95	0.95	0.004	0.99	0.98	0.009
		2	0.96			0.98		
		3	0.95			0.98		
IV	7:3	1	0.93	0.93	0.006	0.98	0.98	0.003
		2	0.94			0.97		
		3	0.93			0.98		
V	6:4	1	0.91	0.91	0.002	0.97	0.97	0.006
		2	0.91			0.97		
		3	0.91			0.96		
VI	5:5	1	0.90	0.90	0.008	0.95	0.95	0.002
		2	0.90			0.95		
		3	0.89			0.95		
VII	4:6	1	0.90	0.89	0.004	0.94	0.93	0.003
		2	0.89			0.94		
		3	0.89			0.93		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 ผลการทดลองหาการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กากตะกอน:ถ่านกะลามะพร้าว)

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าการทนแรงอัด (kg/cm^2)					
			แนวตั้ง	เฉลี่ย	SD	แนวนอน	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	11.58	11.44	0.131	3.30	3.44	0.129
		2	11.33			3.49		
		3	11.39			3.54		
II	9:1	1	9.67	9.77	0.216	3.03	3.07	0.045
		2	10.02			3.11		
		3	9.62			3.09		
III	8:2	1	7.89	7.97	0.086	2.53	2.55	0.044
		2	8.06			2.60		
		3	7.97			2.52		
IV	7:3	1	6.39	6.42	0.032	2.00	1.99	0.008
		2	6.44			1.99		
		3	6.44			1.99		
V	6:4	1	5.99	6.01	0.041	1.35	1.38	0.025
		2	5.98			1.39		
		3	6.06			1.39		
VI	5:5	1	5.34	5.38	0.046	0.99	0.97	0.014
		2	5.43			0.97		
		3	5.38			0.96		
VII	4:6	1	4.06	4.05	0.011	0.86	0.88	0.017
		2	4.04			0.89		
		3	4.06			0.89		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-18 ผลการทดลองหาการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กากตะกอน:ถ่านเปลือกทุเรียน)

สูตร	อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าการทนแรงอัด (kg/cm^2)					
			แนวตั้ง	เฉลี่ย	SD	แนวนอน	เฉลี่ย	SD
I	10:0	1	11.58	11.44	0.131	3.30	3.44	0.129
		2	11.33			3.49		
		3	11.39			3.54		
II	9:1	1	10.32	10.34	0.014	3.16	3.16	0.004
		2	10.35			3.16		
		3	10.33			3.17		
III	8:2	1	9.94	9.82	0.104	3.09	3.12	0.027
		2	9.78			3.13		
		3	9.75			3.14		
IV	7:3	1	8.77	8.72	0.068	2.35	2.36	0.025
		2	8.65			2.38		
		3	8.75			2.33		
V	6:4	1	6.86	6.79	0.069	1.67	1.68	0.020
		2	6.72			1.71		
		3	6.78			1.67		
VI	5:5	1	5.68	5.70	0.015	1.26	1.25	0.014
		2	5.71			1.23		
		3	5.69			1.25		
VII	4:6	1	4.47	4.45	0.042	0.90	0.93	0.029
		2	4.40			0.95		
		3	4.47			0.96		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-19 ผลการทดลองหาคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว)

สูตร		I*	II	III	IV	V	VI	VII
อัตราส่วนผสม		10 : 0	9 :1	8 : 2	7 : 3	6 : 4	5 : 5	4 : 6
% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	8.37	11.56	11.12	9.64	12.24	11.54	13.46
	SD	0.14	0.07	0.05	0.04	0.09	0.18	0.05
%ปริมาณเถ้า	ค่าเฉลี่ย	7.89	6.64	6.49	6.86	5.41	5.70	6.35
	SD	1.09	0.10	0.06	0.12	0.05	0.16	0.09
%ปริมาณสารระเหย	ค่าเฉลี่ย	67.86	65.95	65.80	66.77	65.62	65.71	60.70
	SD	1.22	0.14	0.09	0.13	0.11	0.12	0.11
%คาร์บอนคงตัว	ค่าเฉลี่ย	15.89	15.85	16.59	16.74	16.73	17.05	19.49
	SD	0.83	0.12	0.12	0.07	0.08	0.05	0.05

หมายเหตุ * ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

ตารางที่ ข-20 ผลการทดลองหาคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กากตะกอน:ถ่านเปลือกทุเรียน)

สูตร		I*	II	III	IV	V	VI	VII
อัตราส่วนผสม		10 : 0	9 :1	8 : 2	7 : 3	6 : 4	5 : 5	4 : 6
% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	8.37	13.40	15.50	15.80	16.42	14.95	21.59
	SD	0.14	0.07	0.22	0.13	0.05	0.32	0.12
%ปริมาณเถ้า	ค่าเฉลี่ย	7.89	4.34	3.12	2.49	2.78	2.38	1.46
	SD	1.09	0.06	0.06	0.05	0.04	0.42	0.17
%ปริมาณสารระเหย	ค่าเฉลี่ย	67.86	65.73	65.32	66.05	64.33	65.67	59.69
	SD	1.22	0.16	0.19	0.25	0.09	0.18	0.23
%คาร์บอนคงตัว	ค่าเฉลี่ย	15.89	16.53	16.07	15.67	16.47	17.00	17.26
	SD	0.83	0.07	0.04	0.08	0.07	0.15	0.17

หมายเหตุ * ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

ตารางที่ ข-21 ผลการทดลองหาค่าความร้อนทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สูตร	I	II	III	IV	V	VI	VII
อัตราส่วนผสม	**10 : 0**	**9 :1**	**8 : 2**	**7 : 3**	**6 : 4**	**5 : 5**	**4 : 6**
กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าว ค่าความร้อน (kJ/kg)	419.08	523.75	617.64	652.07	1,279.72	1,319.23	1,966.74
กากตะกอน : ถ่านเปลือกทุเรียน ค่าความร้อน (kJ/kg)	419.08	466.82	594.77	614.45	1,112.55	1,287.11	1,816.73

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ

1.1 ปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metal)

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน SBA (mg/kg) วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

จากรายงานผลมีปริมาณแคดมียมเท่ากับ 0.0041 mg/L

จากการวิเคราะห์ใช้สารละลายตัวอย่าง 100 ml จะมีแคดเมียม

สารละลาย 1000 ml มีแคดเมียม 0.0041 mg

ถ้าสารละลาย 100 ml มีแคดเมียม (0.0041 x 100)/1000 = 0.0004 mg

น้ำหนักกากตะกอน 1.0006 g แสดงว่า

น้ำหนักกากตะกอน 1.0006 g มีปริมาณแคดเมียม 0.0004 mg

ถ้าน้ำหนักกากตะกอน 1000 g มีปริมาณแคดเมียม (0.0004 x 1000)/1.0006

= 0.40 mg/kg

ในการคำนวณหาปริมาณแคดเมียม ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.37 mg/kg

1.2 ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total Sulfur)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

$$\text{Sulfur, \%} = \frac{(A-B)\times 13.738}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอนของแบลงค์ (กรัม)

C = น้ำหนักกากตะกอนที่ใช้ (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

$$\text{Sulfur, \%} = \frac{(0.0285-0.0110)\times 13.738}{0.4820}$$

$$= 0.50\%$$

ในการคำนวณหาปริมาณกำมะถันทั้งหมด (%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.51%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของวัสดุทดลอง

2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

$$\text{ความชื้น, \%} = \left[\frac{(A-B)}{A}\right]\times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

$$\text{ความชื้น, \%} = \left[\frac{(1.0008-0.9162)}{1.0008}\right]\times 100$$

$$= 8.45\%$$

ในการคำนวณหาปริมาณความชื้น(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณความชื้น(%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.40%

2.2 ปริมาณเถ้า (Ash)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

$$\text{เถ้า, \%} = \left[\frac{(A-B)}{C}\right]\times 100 - \text{\%ความชื้น}$$

เมื่อ A = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

B = น้ำหนักครูซิเบิลหลังอบ (กรัม)

C = น้ำหนักกากตะกอน (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

$$\text{เถ้า, \%} = \left[\frac{(31.0473-30.8927)}{1.0008}\right]\times 100 - 8.45$$

$$= 6.99\%$$

ในการคำนวณหาปริมาณเถ้า (%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณเถ้า (%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.05%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile Solid)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

$$\text{น้ำหนักที่หายไป, \%} = \left[\frac{(A-B)}{A}\right]\times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

ปริมาณสารระเหย, % = C – D - E

เมื่อ C = น้ำหนักที่หายไป (%)

D = ปริมาณความชื้น (%)

E = ปริมาณเถ้า (%)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

$$\text{น้ำหนักที่หายไป, \%} = \left[\frac{(1.0008-0.1525)}{1.0008}\right]\times 100$$

$$= 84.76\%$$

ปริมาณสารระเหย, % = 84.76 – 8.45 – 6.99

= 69.31%

ในการคำนวณหาปริมาณสารระเหย (%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณสารระเหย (%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 69.31%

2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

ปริมาณคาร์บอนคงตัว, % = 100 - (% ความชื้น + % เถ้า + % สารระเหย)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

ปริมาณความชื้น = 8.45% ปริมาณเถ้า = 6.99% ปริมาณสารระเหย = 69.31%

ปริมาณคาร์บอนคงตัว, % = 100 - (8.45 + 6.99 + 69.31)

= 15.24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 15.24%

2.5 ค่าความร้อน (Heating Value)

สูตรที่ใช้คำนวณ :

$$Q = \{[(t \times E) - e_1 - e_2 - e_3]/g\}$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

E = พลังงานสมมูลย์ของบอมบ์ (energy equivalent) ปัจจุบันใช้ค่า 2416.07 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

e_1 = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตที่ได้จากการไตเตรท (1 ml Na_2CO_3 = 1 calories)

e_2 = น้ำหนักเบนโซอิก (6,318 cal/g)

e_3 = น้ำหนักลวดที่หายไป (1,400 cal/g)

g = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอน SBA วันที่ 28/12/2553 ครั้งที่ 1

g = 0.4820 g t_a = 26.29 °C t_c = 28.61 °C

$t = t_c - t_a$ = 28.61 – 26.29 = 2.32 °C

ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต = 1.00 ml

∴ e_1 = 1.00 cal

น้ำหนักเบนโซอิก = 0.4995 g ∴ e_2 = 0.4955 x 6,318 = 3,130.57 cal

น้ำหนักลวดที่หายไป = 0.0033 g ∴ e_3 = 0.0033 x 1,400 = 4.62 cal

$$Q = \{[(2.32 \times 2,416.07) - 1.00 - 3,130.57 - 4.62]/0.4820\}$$

= 5,113.31 cal/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความร้อนที่คำนวณได้นี้ยังไม่ได้หักค่าความร้อนของกำมะถัน ซึ่งค่าความร้อนของกำมะถัน คำนวณได้จากปริมาณกำมะถันที่วิเคราะห์ได้คูณกับค่าความร้อนของกำมะถัน (ค่าความร้อนของกำมะถันเท่ากับ 14 cal/g)

%กำมะถันทั้งหมด = 0.50 ∴ ค่าความร้อนของกำมะถัน = 0.50 x 14 = 7.00 cal/g

ค่าความร้อนของตัวอย่าง = Q – ค่าความร้อนของกำมะถัน

= 5,113.31 – 7.00

= 5,106.32 cal/g

= 21,375.07 kJ/kg

ในการคำนวณหาค่าความร้อน ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ค่าความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 21,497.45 kJ/kg

3. การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.1 ความหนาแน่น (Density)

สูตรคำนวณ :

$$\rho = m / V$$

สำหรับปริมาตรทรงกระบอกที่มีรูตรงกลางหาได้จาก

$$V = \frac{\Delta(D^2 - d^2)h}{4}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม)

V = ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

Δ = ค่าคงที่ (3.14)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

h = ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

ตัวอย่างการคำนวณ

เชื้อเพลิงอัดแท่งของ กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 9 : 1

มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง = 842.10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก = 4.89 เซนติเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน = 1.53 เซนติเมตร

ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง = 49.73 เซนติเมตร

$$V = \frac{3.14 \times \left(4.89^2 - 1.53^2\right) \times 49.73}{4}$$

$$= 842.10 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 566.39 / 842.10$$

$$= 0.673 \text{ g/cm}^2$$

ในการคำนวณหาความหนาแน่น ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.673 g/cm^2

3.2 ดัชนีการแตกร่วน

สูตรคำนวณ :

$$R = W_f / W_i$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตกร่วน

W_f = น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

W_i = น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ (กิโลกรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

เชื้อเพลิงอัดแท่งของ กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 9 : 1

น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ = 0.2111 kg

น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ = 0.2050 kg

$$R = 0.2050 / 0.2111$$

$$= 0.97$$

ในการคำนวณหาดัชนีการแตกร่วน ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ดัชนีการแตกร่วนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทนแรงอัด (Compressive strength)

สูตรคำนวณ :

$$\delta = F/A$$

เมื่อ δ = การทนแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

F = แรงอัดที่กระทำ ต่อตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

ตัวอย่างการคำนวณ

เชื้อเพลิงอัดแท่งของ กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 9 : 1 ในแนวตั้ง

แรงอัดที่ใช้ = 163.78 kg พื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง = 16.93 cm^2

$$\delta = 163.78 / 16.93$$

$$= 9.67 \text{ kg/cm}^2$$

ในการคำนวณหาค่าทนแรงอัด ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

$\therefore$ ค่าทนแรงอัดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 9.77 kg/cm^2

3.4 ค่าความร้อนทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง

สูตรคำนวณ :

$$Q' = M_1 C_p' \Delta T'$$

$$Q = (M_1 C_p \Delta T) + (M_1 C_p' \Delta T')$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่ได้จากแท่งเชื้อเพลิง (kJ/kg)

Q' = ค่าความร้อนที่ได้จากหม้อสแตนเลสสตีล 304 (kJ/kg)

M_1 = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการต้ม (kg)

M_2 = น้ำหนักเฉลี่ยของหม้อสแตนเลส (kg)

C_p = ค่าจุความร้อนของน้ำ (4.186 kJ/kg.°C)

C_p' = ค่าความจุความร้อนของหม้อสแตนเลส 304 (0.5 kJ/kg.°C)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำในหม้อ (°C)

$\Delta T'$ = ผลต่างของอุณหภูมิของหม้อสแตนเลส 304 (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

เชื้อเพลิงอัดแท่งของ กากตะกอน : ถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 9 : 1

$$Q = (0.5kg \times 4.186\ kJ/kg.°C \times 48°C) + (0.23\ kg \times 0.5\ kJ/kg.°C \times 48°C)$$

$$= 106.0008\ kJ$$

น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง = 202.39 g

ค่าความร้อนทางกายภาพ = (106.0008 kJ/202.39g) x 1000

= 523.75 kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้