การนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WASTEWER TREATMENT PLANT FOR PRODUCTION OF BRIQUETTES

นายกัมปนาท ตั้งเตชานนท์

นางสาวริศรา ใจมาตร์

นางสาวจันทร์หอม สุมาริธรรม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WASTEWER TREATMENT PLANT FOR PRODUCTION OF BRIQUETTES

MR. KUMPHANAT TANGTACHANOON
MISS RITSARA JAIMAT
MISS CHANHOM SUMARITHUM

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 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง Utilization of Sludge from Wastewater Treatment Plant for Production of Briquettes		
ชื่อนักศึกษา	นายกัมปนาท	ตั้งเตชานนท์	49050035
	นางสาวริศรา	ใจมาตร์	49050604
	นางสาวจันทร์หอม	สุมาริธรรม	49051138
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2552

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
ชื่อนักศึกษา	นายกัมปนาท	ตั้งเตชานนท์
	นางสาวริศรา	ใจมาตร์
	นางสาวจันทร์หอม	สุมาริธรรม
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2552	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เฟส 3 มาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยศึกษาสมบัติทางเคมีและทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนการหาปริมาณโลหะหนักทำโดยใช้เครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โลหะหนักที่เลือกศึกษาได้แก่ แคดมียม(Cd), ตะกั่ว(Pb) และอาร์เซนิก(As) มีค่าเฉลี่ย 83±8.43, 801±103.72 และ 0.72±0.12 mg/kg (n=5) ส่วนปริมาณของปรอท(Hg) ในกากตะกอนต่ำกว่าขีดจำกัดที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค Cold vapor สำหรับปริมาณซัลเฟอร์เฉลี่ย 0.97±0.14 % (n=5) กากตะกอนมีค่าความร้อนเฉลี่ย 13,892.3±713.96 kJ/kg (n=5) ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็น 4.31%, 6.20%, 32.95%, และ 56.53% ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงว่ากากตะกอนมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อนำมาอัดแท่งโดยผสมกับขี้เลื่อยและมีแป้งมัน 6 % เป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, และ 1:3 เมื่อทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งในแง่การทนแรงอัด, ดัชนีแตกร่วน และค่าความร้อน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วน 1:0.5 โดยให้ค่าความร้อนเท่ากับ 1846.49 kJ/kg แท่งเชื้อเพลิง

คำสำคัญ : การใช้ประโยชน์กากตะกอน ขี้เลื่อย เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Utilization of Sludge from Wastewater Treatment Plant for Production of Briquettes
Students	Mr. Kumphanat Tangtachanoon
	Miss Ritsara Jaimat
	Miss Chanhom Sumarithum
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2009
Advisor	Asst.Prof. Krongkaew Tippayasak

ABSTRACT

This special project was aimed to utilization of sludge from wastewater treatment plant, for briquettes production, phase 3 plant at Ladkrabang Industrial Estate. The chemical and fuel characteristics of sludge were examined. The averages heavy metal contents, quantified by Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS), Such as Cadmium(Cd), Lead(Pb) and Arsenic(As) were 83±8.43, 801±103.72 and 0.72±0.12 mg/kg (n=5), respectively. The Level of Hg contaminated in sludge also quantified but less than the detection limit by cold-vapor technique. The average of sulfur content was 0.98±0.14% (n=5). The heating value was 13,892.3±713.96 kJ/kg (n=5). The percentage of moisture, volatile compound, ash, and fix carbon were 4.31%, 6.20%, 32.95%, and 56.53% respectively. All results showed that these sludge has high potential for briquette production. Then sludge were mixed with sawdust at different ratio and cassava powder as binder (6 g/100g of mixture). The ratio of mixture were 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 and 1:3. The physical properties of Briquette were investigated such as compressive strength, shatter index and heating value. The results showed that the appropriate ratio was 1:0.5 ratio, and heating value 1846.49 kJ/kg briquette.

Keywords: Sludge utilization, Sawdust, Briquette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความร่วมมือจากผู้มีพระคุณทุกท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา รวมทั้งตรวจแก้รูปเล่มโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย, ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์, ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร และผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและเสนอแนวทางแก้ไข เพื่อให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล และ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและเสนอแนวทางแก้ไข เพื่อให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท Global Utilities Services จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์โลหะหนักของกากตะกอน เพื่อใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดารวมทั้งเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังในการทำโครงงานพิเศษ

นายกัมปนาท ตั้งเตชานนท์
นางสาวริศรา ใจมาตร์
นางสาวจันทร์หอม สุมาริธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กากตะกอน	3
2.1.1 ลักษณะของกากตะกอน	4
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม	5
2.3 กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม	10
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอน	11
2.3.2 ลักษณะทางเคมีของกากตะกอน	12
2.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของกากตะกอน	13
2.4 การกำจัดกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัด	13
2.5 การนำกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดไปใช้ประโยชน์	19
2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	20
2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง	21
2.6.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล	22
2.7 การเผาไหม้	23
2.8 การอัดขึ้นรูปกากตะกอน	24
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	31
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	32
3.3.1 การเก็บตัวอย่างกากตะกอน	32
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอน	33
3.3.3 การเตรียมขี้เลื่อย	33
3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน	33
3.4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	33
3.5 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงอัดแท่ง	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	36
4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน	37
4.1.1 ปริมาณโลหะหนัก	37
4.1.2 ปริมาณซัลเฟอร์	38
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง	40
4.2.1 ปริมาณความชื้น	40
4.2.2 ปริมาณเถ้า	40
4.2.3 ปริมาณสารระเหย	41
4.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว	42
4.2.5 ค่าความร้อน	43
4.3 การหาอัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม	44
4.4 ผลการศึกษาสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง	46
4.5 การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	47
4.5.1 ผลความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง	47
4.5.2 ผลดัชนีแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิง	48
4.5.3 ผลค่าการทนแรงอัด	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลวิจัย	50
5.1.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	50
5.1.2 การหาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม	50
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	51
5.3 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและเชื้อเพลิงของกากตะกอน	54
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ประเภทอุตสาหกรรมที่ประกอบการอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง	6
2-2 ประเภทอุตสาหกรรมที่ประกอบการอยู่ในเฟส 3	7
2-3 ปริมาณกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย	11
3-1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางตัวของกากตะกอน	34
3-2 ปริมาณกากตะกอนและขี้เลื่อยที่อัตราส่วนต่างๆ	34
3-3 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	35
4-1 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน	38
4-2 ปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	39
4-3 สมบัติของขี้เลื่อยและแป้งมัน	46
ก-1 ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (ml)	64
ก-2 ค่า W(cal/g)	65
ข-1 ผลการทดลองหาปริมาณแคดมียม (Cd^{2+})	71
ข-2 ผลการทดลองหาปริมาณปรอท (Hg)	72
ข-3 ผลการทดลองหาปริมาณตะกั่ว (Pb^{2+})	73
ข-4 ผลการทดลองหาปริมาณอาร์เซนิก (As^{3+})	74
ข-5 ผลการทดลองหาปริมาณซัลเฟอร์ (%)	75
ข-6 ผลการทดลองหาปริมาณสารระเหย (%)	76
ข-7 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้น (%)	77
ข-8 ผลการทดลองหาปริมาณเถ้า (%)	78
ข-9 ผลการทดลองหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	79
ข-10 ผลการทดลองหาปริมาณค่าความร้อนของกากตะกอน	80
ข-11 ผลการทดลองดัชนีการแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิง (ASTM D3038)	81
ข-12 ผลการทดลองการทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (ASTM D1621)	82
ข-13 ผลการทดลองการหาค่าความร้อนทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง (ภาคผนวก ก)	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม	8
2-2 แผนที่ของสถานีบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม	12
2-3 ขั้นตอนการกำจัดตะกอน	13
2-4 เบ้าอัดลูกสูบทรงกระบอก	24
3-1 การแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง ณ บ่อพักกากตะกอน	32
3-2 อุปกรณ์ในการตากตะกอน	33
4-1 บ่อพักกากตะกอน	36
4-2 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง	37
4-3 ปริมาณซัลเฟอร์ (%S)	39
4-4 ปริมาณความชื้น (%)	40
4-5 ปริมาณเถ้า (%)	41
4-6 ปริมาณสารระเหย (%)	42
4-7 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	43
4-8 ปริมาณค่าความร้อนของกากตะกอน (kJ/kg)	44
4-9 ขนาดแท่งเชื้อเพลิง (อัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อย 1:1)	45
4-10 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ	47
4-11 ดัชนีแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ	48
4-12 การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ	49
ก-1 กราฟมาตรฐานแคดเมียม (mg/L)	54
ก-2 กราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟต	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคอุตสาหกรรมได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองกับจำนวนประชากร ซึ่งทำให้เกิดของเสียต่างๆมากขึ้น ถ้าไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมและปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เช่น อากาศเสีย น้ำเน่าเสีย ขยะล้นเมือง ส่วนใหญ่อุตสาหกรรมการผลิตเป็นผู้ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งมาจากกระบวนการผลิต หรือจากการทำความสะอาดวัตถุดิบและใช้ในกิจกรรมต่างๆของโรงงาน โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานจะต้องผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังใช้การบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสิ่งมีชีวิตโดยใช้จุลินทรีย์และพืชในการบำบัดเพื่อลดมลพิษในน้ำเสีย สารเจือปนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ จึงทำให้ได้กากตะกอน (sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมากทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้นต่อมา เนื่องจากมีปริมาณมากในแต่ละวันและนำไปฝังกลบ โดยทั่วไปกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาเมื่อเราปรับสภาพแล้วสามารถนำมาใช้ถมที่ ปรับสภาพดิน หรือทำปุ๋ยหมัก แม้ว่าการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆแล้ว แต่พบว่าปริมาณกากตะกอนยังคงมีมากขึ้นตามการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีและเชื้อเพลิงของกากตะกอน โครงงานนี้จึงศึกษาทางเลือกใหม่ในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาสมบัติต่างๆของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของกากตะกอนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. ศึกษาผลของอัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้เลื่อยที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในด้านอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม โดยศึกษา ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมด ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนคือ Pb^{2+}, Cd^{2+}, Hg และ As^{3+}
2. ศึกษาสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมในด้านเชื้อเพลิง โดยศึกษาค่าความร้อน ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยและปริมาณความชื้น
3. ศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ1:3 ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ โดยศึกษาดัชนีการแตกร่วน การทนแรงอัดและค่าความร้อน
5. ทำการเปรียบเทียบการใช้งานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้กับถ่านไม้ โดยการต้มน้ำเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนทางด้านอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปริมาณกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม
2. ช่วยลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนซึ่งเดิมเป็นของเสียที่ต้องกำจัด
3. ได้พลังงานทดแทน เพื่อสามารถใช้ในอุตสาหกรรม
4. ลดการสูญเสียเงินตราของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง
5. นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กากตะกอน

กากตะกอนหมายถึง ตะกอนของแข็งที่สามารถแยกออกจากน้ำเสียแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย หรือที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย รวมทั้งตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งวิธีการหรือกระบวนการในการกำจัดหรือบำบัดตะกอนเหล่านั้นออกจากน้ำเสียหรือระบบบำบัดน้ำเสียจึงมีหลายวิธีที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะสมบัติเฉพาะของตะกอนนั้นๆ ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียทั่วไปไม่ว่าจะเกิดขึ้นในขั้นตอนใดหรือเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียประเภทใดก็ตาม จะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Mixed liquor suspended solids) ที่ยังมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง การวัดค่าตะกอนดังกล่าวจะวัดออกมาในรูปของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 10,000 -50,000 mg/L ตะกอนของแข็งจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือจากน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามแหล่งกำเนิดคือ

1. ตะกอนขั้นต้น (Primary sludge)

คือ ตะกอนของแข็งที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียและสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ เมื่อตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตะกอนดังกล่าวมีความหนาแน่น (Settleable solids) สามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity sedimentation) โดยตะกอนหนักเหล่านี้อาจเป็นได้ทั้งตะกอนอินทรีย์และตะกอนอนินทรีย์ ในที่นี้ตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นเศษทรายหรือดินที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ในขณะที่สารอินทรีย์นั้นจะมีอยู่มากมายหลายชนิดและหลายประเภทขึ้นอยู่กับชนิดของอุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำเสียนั้นออกมา หรือกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น ซึ่งตะกอนเหล่านี้สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้เพราะตะกอนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียง่าย แต่อย่างไรก็ตามกากตะกอนเหล่านี้เมื่อตกสู่ก้นถังหรือบ่อเป็นชั้นของตะกอนจะมีความเข้มข้นของของแข็งค่อนข้างสูง โดยส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของของแข็งประมาณ 2-5% เป็นต้น

2. ตะกอนขั้นที่สอง (Secondary sludge)

คือ ตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาหรือเคมี โดยส่วนใหญ่แล้วตะกอนเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางชีววิทยาหรือเคมี กล่าวคือ

1. ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดทางเคมี (Secondary chemical sludge)

ตะกอนเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากการตกตะกอนของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า การรวมตะกอน (Coagulation) และตกตะกอน (Precipitation) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (Secondary bio-sludge)

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาส่วนใหญ่เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการที่จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเสียและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น สามารถแยกตัวตกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยถังตกตะกอน ส่วนใหญ่แล้วความเข้มข้นของตะกอนที่แยกตัวออกจากน้ำเสียตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน โดยชั้นของตะกอนที่ตกตะกอนอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนที่ดีจะมีความเข้มข้นประมาณ 10,000 mg/L หรือ 1% อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของตะกอนในชั้นตะกอนที่ก้นถังตกตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตะกอน จุลินทรีย์ หรือแบคทีเรียเส้นใย (Filamentous bacteria) ความเข้มข้นของตะกอนในชั้นตะกอนอาจมีค่าต่ำกว่า 10,000 mg/L นอกจากนี้ระยะเวลาในการตกตะกอนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของตะกอนในชั้นตะกอน คือ ระยะเวลาในการตกตะกอนนาน ความเข้มข้นของตะกอนในชั้นตะกอนก็จะสูงด้วย(สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549 : 45)

2.1.1 ลักษณะของกากตะกอน

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียจุดต่างๆจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ขยะจากตะแกรงดัก มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งมีขนาดใหญ่ โดยจะมีขนาดมากกว่า 25 mm. ปริมาณสารอินทรีย์จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฤดูกาล
2. ตะกอนหนัก ตะกอนหนักหรือเรียกว่า Grit จะมีสารอนินทรีย์ที่มีน้ำหนักมากและตกตะกอนเร็ว นอกจากนี้ Grit ยังมีสารอินทรีย์ปะปนมาด้วย ถ้ามีพวกไขมันจากเศษอาหารมาเกาะที่ทรายและกรวด
3. ฝาตะกอนและไขมัน ฝาตะกอนมักจะมีวัสดุที่ลอยได้ เช่น มีไขมัน น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ เศษผักผลไม้ สบู่ ผงซักฟอก เศษเส้นผม เศษกระดาษ เศษพลาสติก เศษกระดูกเล็กๆ เป็นต้น โดยมากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0 หรือประมาณ 0.95
4. กากตะกอนขั้นต้น กากตะกอนจากถังตกตะกอนแรกจะมีลักษณะโคลนสีเทาดำ มีกลิ่นเหม็นคล้ายๆกับตะกอนในท่อระบายน้ำทิ้ง มี pH ต่ำกว่า 7.0
5. กากตะกอนเคมี กากตะกอนจะมีสีตามชนิดของสารเคมีที่ใช้ ถ้าใช้ปูนขาวก็จะมีสีขาว ถ้าใช้เฟอร์ริกคลอไรด์จะมีสีแดง กากตะกอนชนิดนี้จะมีกลิ่นเหม็นบ้าง แต่น้อยกว่าของกากตะกอนขั้นต้น กากตะกอนเคมีมักจะมีความหนาแน่นมากกว่ากากตะกอนขั้นต้นและกากตะกอนชีวภาพ แต่อาจกลายเป็นก้อนแข็งได้ในระยะท่อหรือในถังบำบัด มี pH สูงกว่า 7.0
6. กากตะกอนเอเอส กากตะกอนเป็นกากตะกอนที่มีจุลชีพทั้งแบบ Aerobic และแบบ Anaerobic อาจมีสีน้ำตาลและสีดำ จะมีกลิ่นเหม็นมากถ้าเป็นกากตะกอนสีดำ และจะมีกลิ่นคล้ายโคลนถ้ามีสีน้ำตาล กากตะกอนชีวภาพเป็นกากตะกอนที่มีจุลชีพมาก ย่อยสลายได้ง่าย มีน้ำมากกว่ากากตะกอนเคมี จะมีสารอินทรีย์ค่อนข้างมากกว่ากากตะกอนชนิดอื่นๆ มี pH ประมาณ 7.0 กากตะกอนเอเอสจะมีสีดำอย่างรวดเร็วถ้ากากตะกอนขาดออกซิเจนไม่นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กากตะกอนจากระบบโปรยกรอง กากตะกอนจากระบบโปรยกรองจะมีสีน้ำตาลคล้ายๆเมือก อาจพบเห็นหนอน และแมลงบ้าง มีกลิ่นฉุนกว่าของกากตะกอน อาจพบเห็นเป็นก้อนเมือกแทนที่จะเป็นตะกอนแขวนลอยในน้ำ
8. กากตะกอนจากถังย่อยใช้อากาศ กากตะกอนจากถังย่อยใช้อากาศมีสีน้ำตาลจนถึงสีเทาเข้ม กลิ่นคล้ายโคลนถ้ามีอากาศในกากตะกอนพอเพียง จะมีสารอินทรีย์น้อยกว่ากากตะกอนจากระบบเอเอสและระบบโปรยกรอง และมีกากตะกอนที่มีความเข้มข้นของแข็ง (TS) มากกว่าของกากตะกอนจากระบบเอเอสเป็นกากตะกอนที่ถูกดึงน้ำออกได้ง่าย จะมี pH ประมาณ 7.0
9. กากตะกอนจากถังย่อยไม่ใช้อากาศ กากตะกอนชนิดนี้มีความเข้มข้นมาก มีสีดำ มีก๊าซอยู่ในกากตะกอนมาก มีกลิ่นฉุน อาจได้กลิ่นไข่เน่า และแอมโมเนียหรือมีสารอินทรีย์เหลืออยู่บ้างซึ่งจะมีสารอินทรีย์มากกว่ากากตะกอนจากถังย่อยใช้อากาศ จะมี pH ต่ำกว่า 7.0 เป็นส่วนใหญ่ ถ้าควบคุมการจัดการระบบไม่ดีเท่าที่ควร
10. กากตะกอนหมักแล้ว กากตะกอนนี้จะผ่านการหมักปุ๋ยแล้ว ทำให้มีกลิ่นเล็กน้อย มีสีดำ มีน้ำน้อยลงมาก ลักษณะคล้ายดิน จึงใช้ผสมดินเป็นปุ๋ยได้ อาจมีโลหะมากถ้ามาจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารโลหะหนัก
11. กากตะกอนจากถังเกรอะ กากตะกอนจากถังเกรอะมีสีดำเป็นก๊าซไข่เน่า และแอมโมเนีย มีลักษณะคล้ายตะกอนตมก้นแม่น้ำลำคลอง อาจมีเศษขยะปะปนมาด้วย

(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547 : 114)

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

เนื่องจากกากตะกอนที่ทำการศึกษาเป็นกากตะกอนที่นำมาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียภายในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง โดยประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีในนิคมลาดกระบังแสดงดังตารางที่ 2-1 และจากการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาสมบัติต่างๆที่จำเป็นเบื้องต้นได้แก่ สมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 ประเภทอุตสาหกรรมที่ประกอบการอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

ประเภท	จำนวน
ประกอบชิ้นส่วนรถยนต์	34
สินค้าอุปโภค	20
อิเล็กทรอนิกส์	19
อุตสาหกรรมโลหะ	18
อุตสาหกรรมอาหาร	11
สีและหมึกพิมพ์	11
อุตสาหกรรมพลาสติก	15
ประกอบเครื่องปรับอากาศ	4
อุตสาหกรรมยาง	5
เคมีภัณฑ์	5
สินค้า ซื้อมา – ขายไป	31
เฟอร์นิเจอร์ไม้	2
อุตสาหกรรมหนัง	5
อื่น ๆ	44
รวม	224

ที่มา: สำนักงานนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแบ่งสถานีบำบัดน้ำเสียออกเป็นสองสถานี ดังนี้

- ระบบบำบัดน้ำเสียสถานีที่ 1 เป็นสถานีที่รองรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในเฟสที่ 1,2 โดยมีการนำกากตะกอนส่งไปกำจัดทิ้งทุกวัน และกากตะกอนที่ได้จากขั้นตอนการรีดน้ำออกโดยเฉลี่ยประมาณ 10-15 ตันต่อเที่ยวต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดครั้งละ 6,000 บาท ต่อเที่ยวต่อวัน
- ระบบบำบัดน้ำเสียสถานีที่ 2 เป็นสถานีที่รองรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในเฟสที่ 3 โดยมีการนำกากตะกอนที่ส่งไปกำจัดทิ้งวันเว้นวัน และกากตะกอนที่ได้จากขั้นตอนการรีดน้ำออกโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อเที่ยวต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดครั้งละ 6,000 บาท ต่อเที่ยวต่อวัน โดยประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีในเฟสที่ 3

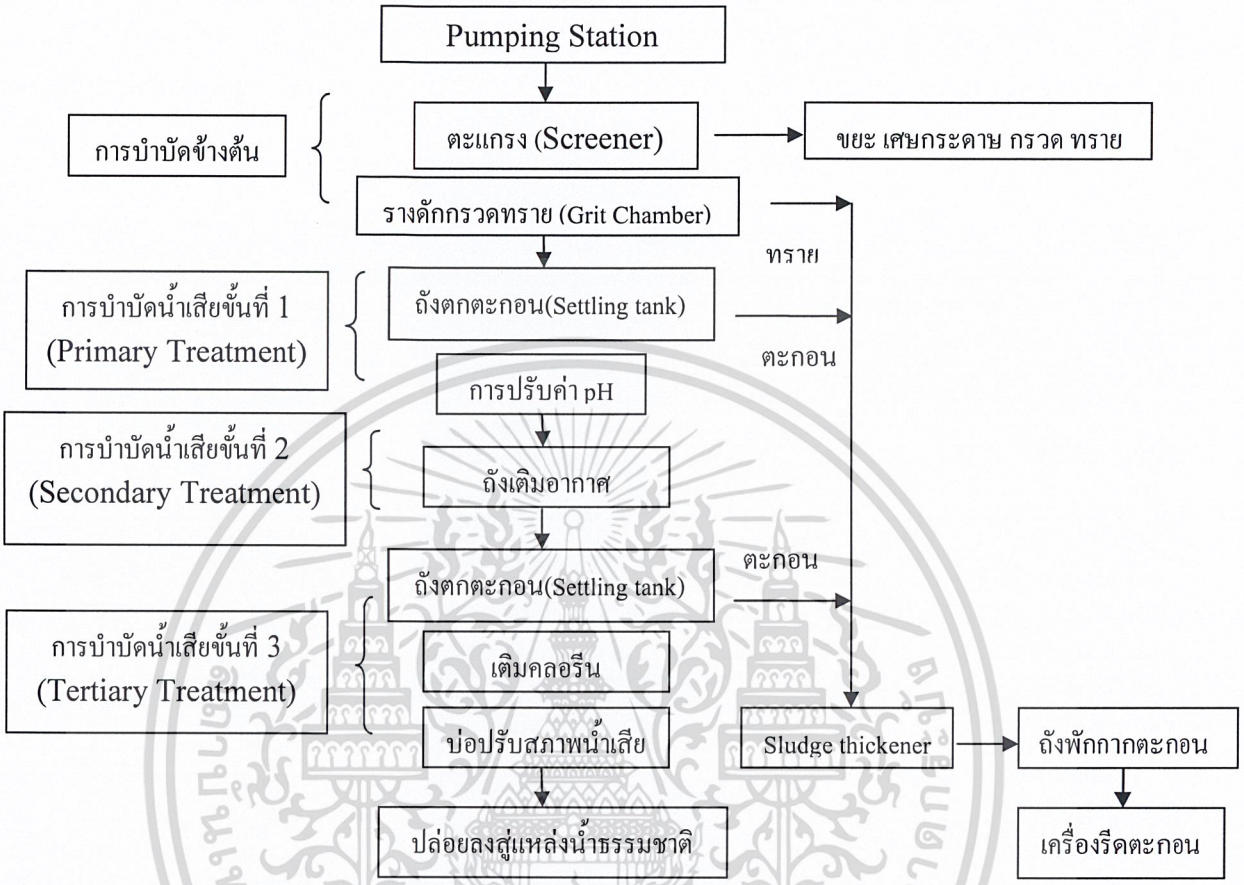
ตารางที่ 2-2 ประเภทอุตสาหกรรมที่ประกอบการในเฟส 3

ประเภท	จำนวน
อุตสาหกรรมโลหะ	18
อุตสาหกรรมอาหาร	4
อุตสาหกรรมเครื่องประดับ	3
อุตสาหกรรมสี	2
อุตสาหกรรมหนัง	2
อุตสาหกรรมพลาสติก	9
อุตสาหกรรมเครื่องเขียน	4

ที่มา : บริษัท Global Utilities Services จำกัด (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 2 สถานีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) มีขั้นตอนดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

1. การบำบัดน้ำเสียก่อนข้างต้น (Pretreatment)

   การบำบัดน้ำเสียขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมน้ำเสีย ให้เหมาะสมกับการนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไป เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันการสึกหรอของอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วย

   1.1. ตะแกรง (Screener)

   โดยตะแกรงจะแยกเศษขยะและอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย อาทิเช่น ถุงพลาสติก กระดาษ เศษไม้ เป็นต้น ในระบบบำบัดจะมีตะแกรง 2 ขนาดคือ ตะแกรงหยาบ (Coarse screener) และตะแกรงละเอียด (Fine screener)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. รางดักกรวดทราย (Grit chamber)

เป็นรางคอนกรีตยาวไว้สำหรับแยกกรวดทรายที่มีอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจมอยู่ที่ก้นราง ความเร็วของน้ำเสียในรางจะมีค่าคงที่ประมาณ 0.30 m/s

2. การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 1 หรือขั้นต้น (Primary treatment)

เป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะต่อการทำงานของระบบต่อไปและยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้สูงขึ้นอีกด้วย รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดต่อไป การบำบัดเบื้องต้นได้แก่

2.1. ถังตกตะกอน (Settling tank)

เป็นถังกลมซึ่งที่ก้นถังจะมีความลาดเอียง เข้าสู่จุดศูนย์กลางของถังเพื่อให้ตะกอนที่ตกมาอัดกันแน่น โดยอาศัยแรงดันน้ำซึ่งตะกอนที่อยู่ก้นถังจะถูกสูบออกไปเก็บยังถัง Sludge thickener

2.2. การปรับค่า pH

การปรับค่า pH ของระบบบำบัดน้ำเสียนี้จะเติมกรดอยู่ในรูปของกรดกำมะถัน(H_2SO_4) และโซดาไฟ (NaOH) เติมลงในน้ำเสียโดยควบคุมค่า pH ในระบบให้เป็นกลางก่อนจ่ายน้ำไปยังถังเติมอากาศต่อไป

3. การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 (Secondary treatment)

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น เป็นน้ำเสียที่มีลักษณะคุณสมบัติไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งออกจากโรงงาน ขั้นตอนนี้จะเป็นการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งจะควบคุมให้ปริมาณอาหารเสริม C, N และ P ในน้ำเสียอยู่ในรูปอัตราส่วนของ BOD : N : P = 100 : 5 : 1 ซึ่งสามารถปรับได้โดยเติมธาตุอาหารลงไป เช่นเติม N ในรูปของยูเรีย (Urea) หรือนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆมาผสมรวมกัน โดยในระบบบำบัดของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำเสียจะมีอัตราส่วนของ BOD : N : P เหมาะสมอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเติมธาตุอาหารต่างๆลงไป

3.1. ถังเติมอากาศ

น้ำเสียที่เข้ามาถังเติมอากาศนี้ ส่วนมากเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกอยู่ในรูปของค่า COD, BOD ในปริมาณสูง ถังจะอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะที่มีอากาศเพียงพอ โดยเติมอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรง ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะส่งไปยังการบำบัดขั้นต่อไป

4. การบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary treatment)

การบำบัดขั้นนี้เป็นการปรับสภาพน้ำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับข้อกำหนดของ มาตรฐานน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้

4.1. ถังตกตะกอน (Setting tank)

ถังตกตะกอนนี้เป็นการแยกตะกอนจากน้ำเสียซึ่งอาจเป็น จุลินทรีย์ที่หลุดลอยมาจากถังเติมอากาศ ซึ่งตะกอนที่อยู่ก้นถังจะถูกสูบ ไปยังถัง Sludge thickener ต่อไป

ระบบการกำจัดกากตะกอน

ตะกอนจากขั้นตอนต่างๆ ถูกส่งไปยังถัง Sludge thickener เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนให้สูงขึ้น และตะกอนจะถูกส่งไปยังบ่อ Digestion เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนในสภาวะที่มีอากาศ จากนั้นตะกอนถูกส่งไปยังเครื่องรีดตะกอนต่อไป

2.3 กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานบำบัดน้ำเสียรวม เกิดขึ้นจากกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำเสีย โดยตะกอนจะเกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ จะเห็นได้ว่ากากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานบำบัดน้ำเสียรวม จะมีอยู่ 3 จุดหลักๆ ดังรูปที่ 2.1 โดย

จุดที่ 1 กากตะกอนในจุดนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดข้างต้น ในรางดักกรวดทราย (Grit chamber) ได้แก่ อนุภาคชนิดที่ไม่จับตัวกัน (Discrete particle) แต่ละอนุภาคจะจมตัวลงตามลำพัง เนื่องจากมีน้ำหนักมาก เช่นการจมตัวของเม็ดทรายและกรวด

จุดที่ 2 กากตะกอนในจุดนี้เกิดขึ้นจากการจมตัวของตะกอนในถังตกตะกอนในกระบวนการบำบัดในขั้นที่ 1 มีความเข้มข้นของตะกอนไม่สูงมากนัก ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ เป็นตะกอนเบาที่จับตัวกันแล้วกลายเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น จนสามารถจมตัวลงก้นถังตกตะกอนเองได้

จุดที่ 3 ตะกอนในจุดนี้เป็นตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน จากกระบวนการบำบัดขั้นที่ 2 โดยเกิดขึ้นจากความเข้มข้นของตะกอนค่อนข้างสูงมาก (มาจากตะกอนจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศ) เกินกว่าที่ตะกอนจะจับตัวกันหมด ทำให้เกิดการแบ่งชั้นกันระหว่างตะกอนกับน้ำใส (Supernatant) และตะกอนชั้นล่างจะค่อยๆยุบตัวลงเรื่อยๆ ทำให้ความหนาแน่นของตะกอนในชั้น

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนเข้มข้นและเกาะตัวกันแน่นขึ้น โดยตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งสามจุดจะถูกดูดไปยังบ่อ Thickener เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนแล้วจึงนำไปยังบ่อพักกากตะกอน

โดยโรงบำบัดน้ำเสียรวมจะสูบตะกอนในบ่อพักตะกอนขึ้นสู่เครื่องรีดตะกอนโดยใช้เครื่องรีดตะกอนแบบสายพานรีดน้ำ (Belt press) ตะกอนที่ถูกรีดจะขนส่งไปกำจัดด้วยการฝังกลบ มีปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ปริมาณกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย

ความแตกต่างของกากตะกอนแต่ละเฟส	เฟส 1 และ 2	เฟส 3
ปริมาณกากตะกอนที่กำจัดทิ้งในแต่ละวัน	10-15 ตัน/เที่ยว	10 ตัน/เที่ยว
ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน	6,000 บาท/เที่ยว	6,000 บาท/เที่ยว
กำหนดการขนส่งกากตะกอน	กำจัดทิ้งทุกวัน	กำจัดทิ้งทุกๆ 2 วัน

ที่มา : บริษัท Global Utilities Services จำกัด (2552)

1. การจมตัวของตะกอนประเภทที่ 1 (Free setting)

   การตกตะกอนประเภทที่ 1 ได้แก่ ตะกอนที่เกิดจากการจมตัวของอนุภาคที่ไม่จับตัวกัน (Discrete particle) แต่ละอนุภาคจะจับตัวกันตามลำพัง ตัวอย่างเช่น การจมตัวของเม็ดทรายกรวด การจมตัวของตะกอนเหล่านี้จะจมตัวด้วยอัตราเร็วสูง
2. การจมตัวของตะกอนประเภทที่ 2 (Flocculate setting)

   การจมตัวของตะกอนประเภทนี้ จะพบในน้ำเสีย

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอน

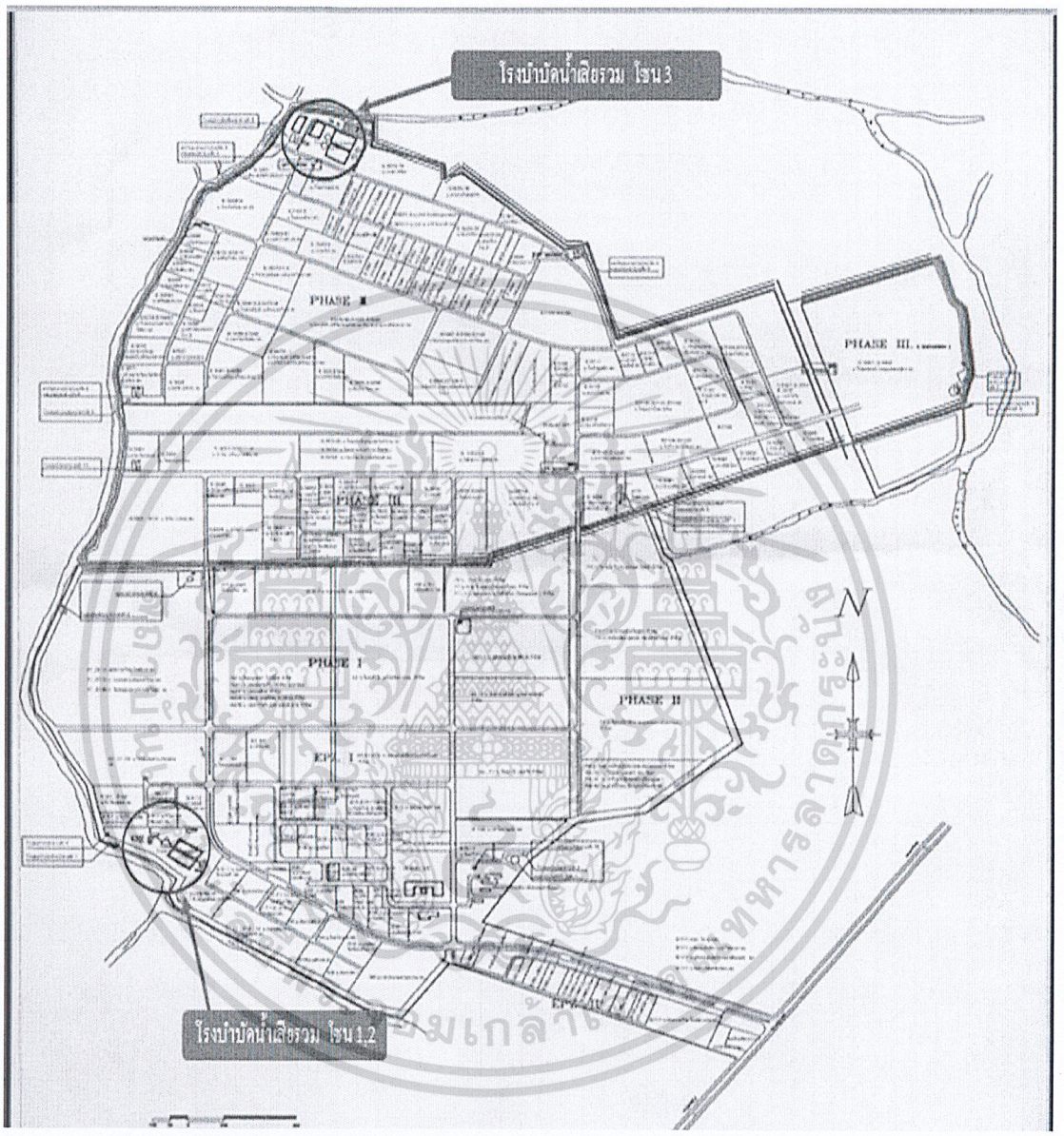
สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนประกอบด้วยสี กลิ่น pH การอัดขึ้นรูป และดัชนีแตกร่วน

- สีของกากตะกอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตะกอน เช่น ตะกอนที่มีการปนเปื้อนของคราบน้ำมันจะมีสีดำคล้ำ
- กลิ่นของกากตะกอนขึ้นอยู่กับสารประกอบที่เจือปน เช่น สารประกอบอินทรีย์เนื่องมาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์จะเกิดกลิ่น และกากตะกอนที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบอนินทรีย์จะไม่มีกลิ่น
- pH ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณการใช้สารเคมีของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ ทำให้ตะกอนมีความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ลักษณะทางเคมีของกากตะกอน

แผนที่ของสถานีบำบัดน้ำเสียและสมบัติกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งสถานีบำบัดออกเป็น 2 สถานี ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แผนที่ของสถานีบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยศึกษาสมบัติของกากตะกอนดังนี้

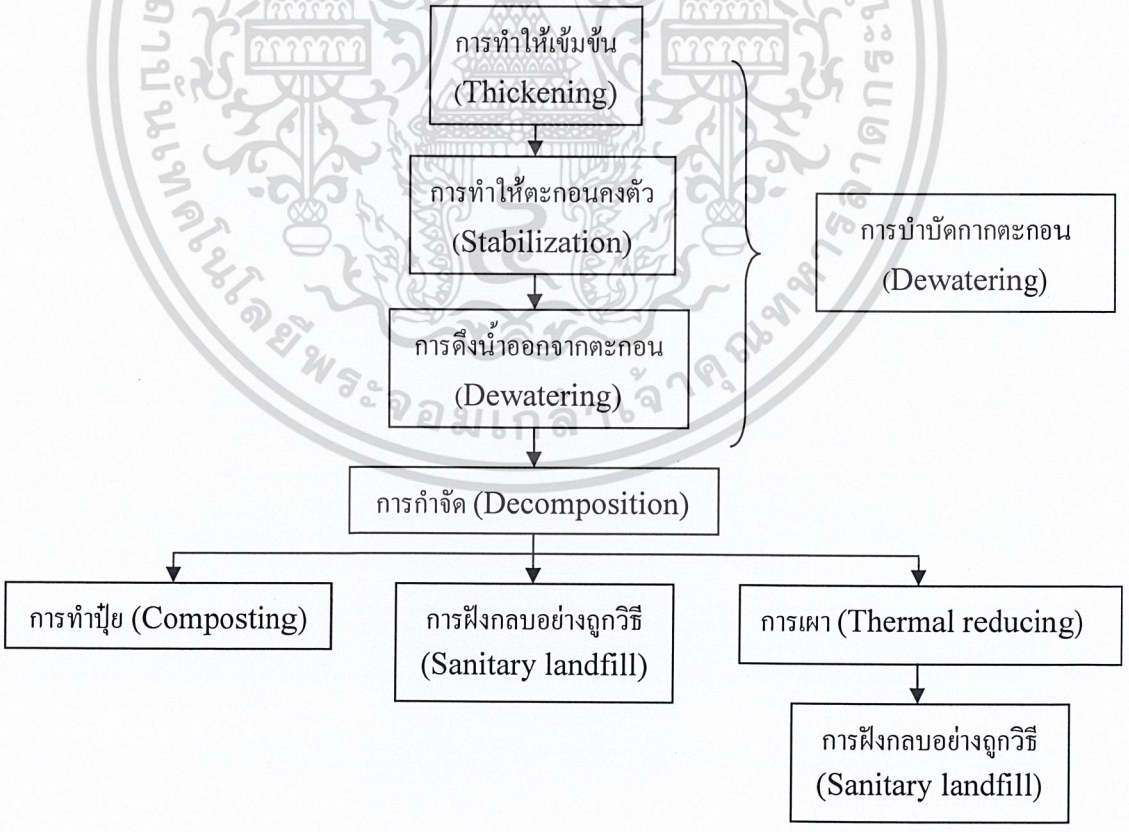
- สถานีบำบัดที่ 1 จะรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในโซน 1 และ 2 ตะกอนมีลักษณะเนื้อละเอียดสีดำ มีกลิ่นเหม็น pH อยู่ในช่วง 6.7-7.2 ตะกอนเปราะ แตกหักง่าย
- สถานีบำบัดที่ 2 จะรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในโซน 3 ตะกอนมีลักษณะเนื้อละเอียดสีน้ำตาลดำ มีกลิ่นเหม็น pH อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ตะกอนเปราะ แตกหักง่าย

2.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของกากตะกอน

สำหรับในกระบวนการทางชีวภาพนั้นจุลินทรีย์ (Microorganism) ที่ใช้กระบวนการบำบัดโดยทั่วไปสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ Eucaryotes, Eubacteria และ Archaebacteria โดยสองกลุ่มหลังนี้มักจะเรียกรวมกันว่ากลุ่ม Procaryotic ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่ม Eucaryotes ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียได้แก่ รา (Fungi) โปรโตซัว (Protozoa) โรทิเฟอร์ (Rotifers) และสาหร่าย

2.4 การกำจัดกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัด

กรรมวิธีการกำจัดตะกอนหรือกากตะกอนซึ่งประกอบด้วยการบำบัดและกำจัดตะกอนหรือกากตะกอนโดยทั่วไปมีหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการกำจัดตะกอน

1) การเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอน (Sludge thickening)

- การตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity thickening) เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง โดยใช้ถังตกตะกอนในลักษณะเดียวกับถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง หรือถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary sedimentation tank) ส่วนใหญ่ใช้กับตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย (Bio-sludge) จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด ลักษณะของถังตกตะกอนแบบอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity thickening) ลักษณะเป็นทรงกลมมีใบกวนตะกอนเพื่อให้อัดตัวกันแน่นขึ้น โดยส่วนใหญ่จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอนจากระบบเลี้ยงตะกอนเร่งได้ 2-3 % ทำให้ลดปริมาตรของกากตะกอนลงได้ประมาณ 3-4 เท่า อย่างไรก็ตาม วิธีการเพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอนควรใช้แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity thicking) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ในกรณีที่มีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นใน 1 วันไม่มากนัก และใช้ได้ผลดีกับตะกอนสารอินทรีย์ที่แยกออกจากน้ำเสียในขั้นแรก (Primary sludge)

- การลอยตัวด้วยอากาศ (Air floatation) เหมาะสมสำหรับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้จากประมาณ 0.8-1% เป็นประมาณ 6% และระบบเพิ่มความเข้มข้นตะกอน จะนิยมใช้กันมากที่สุดคือ Dissolved air flotation (DAF) โดยอาศัยหลักการอัดอากาศเข้าไปในน้ำเสียภายใต้ความดันสูงกว่าบรรยากาศ เพื่อให้อากาศละลายในน้ำเสียมากขึ้น หลังจากนั้นลดความดันอากาศลง ทำให้อากาศละลายน้ำได้น้อยลง อากาศส่วนเกินจะหนีออกจากน้ำเป็นฟองเล็กๆพาสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและจะพาสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของน้ำเสีย ระบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายกรณี เช่น การแยกไขมันออกจากน้ำเสียจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี Air floatation ธรรมดา รวมทั้งขนาดของระบบก็เล็กกว่า แต่เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงกว่า ข้อดีอีกอย่างของระบบคือ มักใช้รวมกับการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่นด้วย เช่น การทำตะกอน

- การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) แยกของแข็งออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้ตะกอนแยกออกจากน้ำได้อย่างรวดเร็วเหมาะสำหรับกรณีที่ไม่มีพื้นที่ในการก่อสร้าง รวมทั้งเป็นตะกอนของแข็งที่แยกตัวออกจากน้ำเสียค่อนข้างยาก ส่วนใหญ่ของแข็งหรือตะกอนที่แยกออกจากน้ำมักจะนำมาใช้ประโยชน์ เช่น กรณีการแยกกากตะกอนยีสต์ออกจากน้ำตะกอน กากตะกอนยีสต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์แต่ระบบการแยกตะกอนออกจากน้ำ โดยวิธีการนี้มีข้อเสีย เช่น ราคาเครื่องเหวี่ยงค่อนข้างแพง ค่าเดินระบบและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง เครื่องเหวี่ยงที่นิยมใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนที่ต้องการทำให้เข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทำให้กากตะกอนคงตัว (Sludge stabilization)

เป็นวิธีในการทำให้ตะกอนนั้นคงตัว โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพระหว่างการเก็บรักษา ส่วนใหญ่หมายถึงการทำให้ตะกอนที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา หลักการในการจัดการหรือบำบัดตะกอนขั้นนี้มักเปลี่ยนสภาพของตะกอนให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนลดลงหรือทำให้ตะกอนเหล่านั้นไม่สามารถเกิดการสลายทางชีวภาพต่อได้ วิธีการที่ใช้ในการทำให้คงตัวมีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้วิธีการทางชีววิทยาเป็นการย่อยกากตะกอนในส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายออกให้หมดหรือทางกายภาพโดยเติมพอลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนจับตัวกัน รวมทั้งการใช้สารเคมีบางชนิดเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของตะกอน เป็นต้น

วิธีการทางชีววิทยาในการจัดการตะกอนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การบำบัดตะกอนโดยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic digestion)

เป็นวิธีการทำให้ตะกอนคงตัวควบคู่ไปกับการกำจัดตะกอนที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เหมาะสำหรับการบำบัดหรือกำจัดตะกอนในปริมาณไม่มากนัก (ขนาดของระบบบำบัดกากตะกอนไม่ควรจะเกินล้านแกลลอน/วัน) หากมีปริมาณตะกอนมากอาจจะต้องเลือกใช้วิธีการอื่น นอกจากนั้นแล้วหากใช้วิธีการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน อาจจะพิจารณานำก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมาใช้ประโยชน์ หากปริมาณก๊าซมีเทนมีปริมาณมากและมีความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- 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 $^{\circ}$C จะเหมาะสมกับอุณหภูมิในถังหมักซึ่งไม่เกิน 35 $^{\circ}$C น้ำตะกอนหรือน้ำเสียที่บำบัดแล้วที่ออกจากถังหมักหรือระบบบำบัดน้ำเสียจะมีความเข้มข้นของตะกอนค่อนข้างสูง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำเสียหรือน้ำตะกอนที่บำบัดแล้วดังกล่าว เพื่อให้ได้น้ำใสก่อนการระบายทิ้งหรือนำไปบำบัดต่อเพื่อให้มีคุณสมบัติดีขึ้น

2. ระบบบำบัดตะกอนโดยวิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic digestion)

เหมาะสำหรับการบำบัดตะกอนสารอินทรีย์ตั้งแต่ปริมาณมากที่สุดจนถึงปริมาณน้อยที่สุด เป็นระบบที่ควบคุมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพคงที่ นอกจากนี้ ยังไม่ประสบปัญหาระบบบำบัดล้มเหลวหรือมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นในขณะบำบัดเมื่อเทียบกับระบบบำบัดกากตะกอนที่ไม่ใช้ออกซิเจน วิธีการนี้เน้นที่ตะกอนจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ซึ่งถูกป้อนเข้าถังเติมอากาศและแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน 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

$$\underset{(C,H,O,N,S)}{\text{Organic matter}} + O_{2\,(g)} \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)} + NO_3^-{}_{(aq)} + SO_4^{-2}{}_{(aq)} \quad (2.2)$$

4) การไล่น้ำออกจากกากตะกอน (Sludge dewatering) มีหลายวิธีดังนี้

- ผึ่งกากตะกอนบนทราย (Sludge drying beds) วิธีนี้มีปัญหาเรื่องกลิ่น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ตกค้างอยู่อาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสม ใช้เวลานาน 4-10 วัน เป็นวิธีที่ไม่เหมาะในช่วงฤดูฝน
- การกรองแบบสูญญากาศ (Vacuum filtration) ใช้หลักการการดูด (Suction) ผ่านตัวกลาง เช่น ผ้า หรือ Filter medium วิธีนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานในการกรอง
- การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) ใช้หลักการแรงหนีศูนย์กลางเช่นเดียวกับวิธีกรอง
- การอัดกรอง (Filter presses) นิยมใช้มากที่สุด สามารถทำได้ทั้งแรงงานคนและระบบอัตโนมัติ

กากตะกอนที่ผ่านจากการไล่น้ำออก ถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่มากจะนิยมนำไปเผาให้เป็นเชื้อเพลิงได้

2.5 การนำกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดไปใช้ประโยชน์

เนื่องด้วยปริมาณกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นต่อวันมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นภาระที่โรงงานต้องรับผิดชอบในการกำจัดโดยไม่ให้มีผลต่อสภาพแวดล้อม กากตะกอนที่เกิดขึ้นแต่ละวันต้องนำไปบำบัดให้มีความคงตัว เพื่อลดปัญหาด้านกลิ่น และตะกอนจะถูกนำไปรีดให้เป็นแผ่นเพื่อลดปริมาตรและสะดวกในการขนส่ง ซึ่งในขั้นต่อมาจะนำกากตะกอนมากำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม นอกจากมีการนำไปกำจัดทิ้งด้วยวิธีที่เหมาะสมแล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้อีก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เชื้อเพลิง (Fuel)

โรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท จะมีของเสียและน้ำเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อปรับสภาพของน้ำเสียให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งออกจากโรงงาน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียของโรงงานดังกล่าว นิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาโดยใช้ออกซิเจน จึงทำให้มีกากตะกอนน้ำเสียออกจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นปริมาณมาก โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge) กากตะกอนน้ำเสียที่มีปริมาณมากเหล่านี้จึงเป็นปัญหาอย่างยิ่งต่อการกำจัด ดังนั้นจึงได้มีการนำกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน คือ เมื่อเผาไหม้แล้ว จะให้ค่าความร้อนที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ในสถานการณ์ที่ประเทศไทยต้องประสบปัญหาทั้งวิกฤตเศรษฐกิจและวิกฤตพลังงาน การศึกษาวิจัยที่จะช่วยลดการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อช่วยลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศมีหลายหนทาง ปัจจุบันการค้นคว้าทดลองทางด้านพลังงานทดแทนได้มีการพัฒนาก้าวหน้าระดับหนึ่ง แต่ประเทศไทยยังมีศักยภาพในการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบ ของเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศอีกมาก จึงเห็นว่า การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม

2. การทำปุ๋ย (Composting)

การทำปุ๋ยหมักเป็นการกำจัดกากตะกอนอีกวิธีหนึ่ง ที่มีผลพลอยได้โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการปรับคุณภาพของกากตะกอนให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในการเป็นสารอาหารหรือปุ๋ยกับพืชกากตะกอนที่เหมาะสมกับการนำมาทำปุ๋ยควรเป็นกากตะกอนที่ไม่มีการปนเปื้อนสารอันตรายหรือสารพิษ เช่น โลหะหนัก สารก่อมะเร็ง หรือสารอื่นๆที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตต่างๆ หลักการการผลิตปุ๋ยจากกากตะกอนมีดังนี้

2.1 การปรับสารอาหารในกากตะกอนให้เหมาะสมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์หรือแอมโมเนียใช้เป็นสารประกอบไนเทรตเพื่อพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.2 การปรับสมดุลของธาตุต่างๆในกากตะกอนให้เหมาะสม เนื่องจากการผลิตปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยชีวภาพ (Compost) จากกากตะกอนสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นกากตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ให้เหมาะสมคือไม่เกิน 20:1

2.3 ลดการเน่าเสียของสารอินทรีย์ต่างๆในกากตะกอนโดยทั่วไปแล้วกากตะกอนสารอินทรีย์ที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรืออาหารของพืชมักจะเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากธรรมชาติของตัวกากตะกอนเป็นสารอินทรีย์และการเน่าเสียของกากตะกอนจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำกากตะกอนเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยจึงควรมีการทำให้กากตะกอนคงตัวก่อน เช่น การย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีววิทยาเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก นอกจากจะทำให้กากตะกอนคงตัวแล้วยังเป็นการปรับสมดุลของแร่ธาตุโดยเฉพาะอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน

กระบวนการทางชีววิทยาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย ส่วนใหญ่มักจะใช้ระบบการผลิตแบบให้อากาศโดยเติมอากาศที่กองกากตะกอนเพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกากตะกอนทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือกากจุลินทรีย์ที่ตายแล้วให้อยู่ในรูปที่เสถียร (Stable form) รวมทั้งอัตราส่วนของธาตุอาหารต่างๆในกากตะกอนที่เหมาะสมสำหรับพืช ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการทำปุ๋ยด้วยระบบทางชีววิทยาเป็นระบบการย่อยสลายด้วยการเติมอากาศแต่ขั้นตอนในการทำปุ๋ยจะแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม วิธีหลักในการทำปุ๋ยมี 3 วิธีคือ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549: 45)

1. ระบบแบบกองปุ๋ยหมัก (Window composting)

ระบบกองปุ๋ยหมักเป็นระบบแบบง่ายที่มีการใช้ทั่วไปในการทำครั้งละมากๆรวมทั้งเป็นระบบที่ลงทุนน้อยที่สุด แต่อาจจะมีข้อเสียอยู่หลายประการ เช่นการกลับกองปุ๋ยเป็นระยะ นอกจากนี้แล้วยังอาจจะต้องมีการเติมหรือผสมวัสดุบางอย่างเพื่อให้กองกากตะกอนมีความโปร่งมากขึ้นเพื่อให้อากาศกระจายได้ทั่วกอง รวมทั้งการระบายความร้อนภายในกองเป็นไปได้ดีทั่วทั้งกอง

2. ระบบผลิตปุ๋ยแบบเติมอากาศ (Aerobic static pile)

เป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาอีกระดับหนึ่งจากระบบกองปุ๋ยหมักข้างต้น กล่าวคือมีการติดตั้งระบบท่อเป่าอากาศอยู่ด้านล่างของกองกากตะกอนเพื่อเป็นการเติมอากาศให้กับกากตะกอน นอกจากนี้กากตะกอนอาจมีการผสมใยมะพร้าว ขี้เลื่อย หรือปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมักจากซากพืชหรือมูลสัตว์ เป็นต้น ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความร่วนซุย ความโปร่งของดิน (Bulking agent) ที่จะทำให้กากตะกอนมีความโปร่งมากขึ้น และมีการถ่ายเทอากาศในกองปุ๋ยหมักมากขึ้น รวมทั้งสามารถลดระดับอุณหภูมิของกองกากตะกอนลงได้ด้วย เนื่องจากระหว่างปฏิกิริยาการหมักกากตะกอนอุณหภูมิของกองกากตะกอนจะสูงขึ้นมาจากปฏิกิริยาคายความร้อนในกองกากตะกอน หากถูกอัดตัวกันแน่นและไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิในกองกากตะกอนบางจุดอาจสูงถึงจุดวาบไฟและเกิดการลุกติดไฟเองได้ (Self combustion) ซึ่งจะพบมากในกองกากตะกอนหรือวัสดุที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักและมีความชื้นสูง ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ดี เช่น กองชานอ้อยของโรงงานน้ำตาลที่กองอยู่บนลานตาก กากถั่วเหลือง ปลาป่นที่มีความชื้นสูง และถูกเก็บไว้ในที่อับโดยไม่มีการกลับกอง หรือระบายความร้อนที่อาจเกิดขึ้น อนึ่งการเติมปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักลงไปในกากตะกอน นอกจากจะเป็นการช่วยให้กากตะกอนมีความโปร่งขึ้นแล้ว ยังช่วยให้กากตะกอนเกิดการย่อยสลายมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายกากตะกอนให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบผลิตปุ๋ยหมักระบบปิด (In-Vessel composting)

ระบบผลิตปุ๋ยหมักระบบปิดเป็นระบบการหมักปุ๋ย โดยหมักในถังที่เป็นระบบปิดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากกระบวนการหมักออกมารบกวนภายนอก ระบบดังกล่าวสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกิริยาได้ เช่น การไหลเข้า-ออกของอากาศ อุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจน ถังปฏิกิริยาที่ใช้หมักปุ๋ยมีอยู่ 2 ชนิดคือ ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน (Plug flow system) และแบบการกวนผสม (Dynamic system or Agitated base)

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 นอกจากนี้วัสดุที่เปียกยังเกิดการผุ เน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ดราและการกัดกินของแมลง

ได้มีการศึกษานำขี้เลื่อยมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็งพบว่ามีข้อได้เปรียบกว่าเชื้อเพลิงจากไม้ 5 ประการ คือ

1. เป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนของวัสดุต่อหน่วยปริมาตร
2. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้ และการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีขนาดและคุณภาพเหมือนกัน

4. เป็นวิธีการช่วยแก้ปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง

5. เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืน

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีดังนี้

1. มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 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 โรงเลื่อย และโรงน้ำตาล วัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลสส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งวัสดุพืชแต่ละชนิดประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายอย่าง โดยมีสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูงที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน ประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอล (Phenolic Substances) มีอยู่ 20-30%สำหรับเนื้อไม้นั้นประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) สารพิเศษ (Extractive) และสารส่วนน้อย (Minor Constituent) โดยที่เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในเนื้อไม้ ประมาณ 50% โดยมวลลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลส ประมาณ 23-33% โดยมวลในไม้เนื้ออ่อน และ 16-25% โดยมวลในไม้เนื้อแข็ง ในขณะที่สารพิเศษเป็น สารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีประมาณ 5-30% โดยมวล ซึ่งได้แก่ พวกน้ำมันหอม ยาง ไขมัน แป้ง เป็นต้น ส่วนสารส่วนน้อยจะมีปริมาณ 0.1-3% โดยมวล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบพวกแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยตัวประสานหรือสารยึด(Binder) และสารเคมีต่างๆ เพื่อให้คุณภาพของเชื้อเพลิงดีขึ้น เช่น เติม เซลลูโลสไฮดรอกซีอะซิเตต (Cellulose hydroxyl acetate) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดอัด เติมแอมโมเนียมซัลไฟต์ (Ammonium sulphite) เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อสภาวะอากาศ (Weather resistance) เติมอะบิเซล (Abicel หรือ fine crystal cellulose) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น การอัดแท่งเชื้อเพลิง สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การอัดแบบใช้ความร้อน เช่น การอัดแท่งโดยใช้เครื่องแบบเกลียวหนอนหรือสกรู (Screw) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบสกรู คือ บรรจุวัสดุที่ต้องการอัดลงในกรวยใส่ (Hopper) ที่มีช่องทางออกไปเข้าสู่กระบอกอัด (Extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนหมุนขับเคลื่อน การขับเคลื่อนของสกรูอาศัยแรงหมุนและวัสดุจะถูกสกรูอัดติดกับผนังกระบอกด้วยแรงดันสูง ในขณะอัดแท่งวัสดุจะได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกอัด แท่งวัสดุเคลื่อนตัวช้าๆออกจากปลายกระบอกอัด และหักเมื่อสัมผัสกับเหล็กฉาก จากนั้นถูกผลักให้หักเหออกจากทิศทางเดิม ความยาวของแท่งวัสดุถูกควบคุมด้วยเหล็กฉาก การอัดแบบนี้อาจมีการเติมตัวประสานหรือไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ถ้าวัสดุมีลิกนินและเส้นใยในปริมาณที่สูง เมื่อถูกความร้อนจากเครื่องอัดจะทำให้สารเหล่านี้เกิดการเยิ้มยึดเกาะติดกันได้ แต่ถ้าวัตถุดิบมีสารพวกนี้น้อยก็อาจจำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วย

2. การอัดแบบไม่ใช้ความร้อน เช่น การอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิก (Hydraulic press) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบไฮโดรลิก คือ ใส่เชื้อเพลิงที่ต้องการอัดลงในแบบอัด จากนั้นบังคับวาล์วของทางเดินน้ำมันให้แกนไฮโดรลิกกดวัสดุลงในแบบอัด ซึ่งแรงในการอัดสามารถบังคับได้โดยวาล์วปรับความดัน ในการอัดแบบไม่ใช้ความร้อนจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้ามาช่วยในการอัดแท่ง

2.6.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือเป็นป่นเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา (สุพจน์ เดชผล. 2546 : 11)

2.7 การเผาไหม้

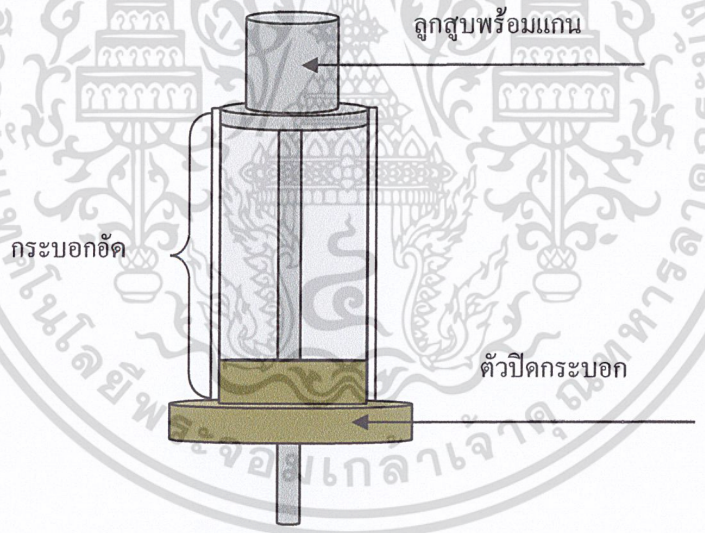
การเผาไหม้เป็นกระบวนการออกซิเดชันของโมเลกุล โดยปกติทั่วไปหมายถึงโมเลกุลของคาร์บอน(C) และไฮโดรเจน(H) หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเกิดขึ้นเร็วมาก ภายใต้อุณหภูมิสูง พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาหรือเป็นขบวนการคายความร้อน (Exothemic process) นั่นเองถ้าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่ามากเพียงพอก็จะทำให้กระบวนการเผาไหม้ดำเนินการต่อไปได้ด้วยตัวเอง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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.8 การอัดขึ้นรูปกากตะกอน

การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เบ้าอัดประกอบไปด้วยเครื่องมือที่สำคัญประกอบไปด้วย เครื่องHydrolic press และเบ้าอัดกากตะกอน วิธีการอัดขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้เป็นการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงโดยวิธีแบบไม่ให้ความร้อนระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งจะใช้เครื่อง Hydrolic Press ในการควบคุมและให้แรงกดอัดแก่เบ้าอัดกากตะกอน ซึ่งเบ้าอัดมีลักษณะเป็นลูกสูบทรงกระบอก ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 เบ้าอัดลูกสูบทรงกระบอก

โดยวัสดุที่ทำเบ้าอัดแท่งกากตะกอน ทำจากเหล็ก โดยเบ้าอัดกากตะกอนประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ลูกสูบพร้อมแกน
2. กระบอกอัด
3. ตัวปิดกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนที่ผสมกับขี้เลื่อยและแป้งมันแล้วจะนำใส่ลงในเบ้าอัดแท่ง โดยการอัดขึ้นรูปจะทำการควบคุมแรงอัดจากการระยะการอัดแท่งของกระบอกและอ่านค่าแรงที่กดอัดจากเครื่อง Hydrolic Press ซึ่งจะทำให้ได้กากตะกอน ที่ทำการอัดขึ้นรูปมีขนาดตามที่ต้องการ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพพร สุดใจธรรม (2545) ผู้วิจัยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟโดยใช้เครื่องอัดเย็น และมีตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัย 3 ชนิด คือ ผักตบชวาหมัก เศษมันสำปะหลัง และแป้งเปียก โดยทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมด 14 ตัวอย่างคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมผักตบชวาหมักที่อัตราส่วน 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1 จำนวน 5 ตัวอย่าง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมเศษมันสำปะหลังที่อัตราส่วนเดียวกันกับใช้ผักตบชวาหมักเป็นตัวประสาน จำนวน 5 ตัวอย่าง และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมแป้งเปียก ที่อัตราส่วน 7:3, 8:2 และ 9:1 จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟล้วน 1 ตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ ด้านเชื้อเพลิง และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิต 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 โดยคิดเทียบน้ำมันเตาจะสามารถประหยัดเงินได้ถึง 14.9414 ล้านบาท/ปี

ประริญา รำไพ (2546) ผู้วิจัยนี้ศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยามาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษามาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและโรงงานฟอกย้อม โดยทำการศึกษาการใช้ร่วมกันของกากตะกอนและเปลือกมะพร้าวอ่อนในอัตราส่วนต่างๆเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปอัดแท่ง ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนโดยใช้การหมัก 2 แบบคือไม่มีอากาศและมีอากาศและการเผาแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นถ่าน หลังจากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปทดสอบการใช้งานความร้อนเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านไม้เพื่อประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักยภาพการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน พบว่าอัตราส่วนที่สามารถอัดได้ และเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 1:1, 1:2 และ 1:3 ผลการหมักของตะกอนโรงงานผลิตเยื่อกระดาษพบว่าการหมักทั้ง 2 แบบทำให้กลิ่นลดลงและผลการใช้งานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่หมักแบบไม่มีอากาศดีกว่าหมักแบบมีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 3,398 แคลอรี่/กรัม ผลการทดลองหมักกากตะกอนโรงงานฟอกย้อม พบว่าการหมักแบบมีอากาศให้การใช้งานความร้อนดีกว่าการหมักแบบไม่มีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 2,851 แคลอรี่/กรัม ผลการปรับปรุงโดยการเผาถ่านของแท่งเชื้อเพลิงทั้งสองโรงงานมีประสิทธิภาพดีกว่าการหมักทั้งสองแบบทั้งทางด้านการกำจัดกลิ่นและเชื้อโรคและการใช้งานความร้อน อัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานผลิตเยื่อกระดาษคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,736 แคลอรี่/กรัม และอัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานฟอกย้อมคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ3,729 แคลอรี่/กรัม เมื่อนำไปทดสอบการใช้งานความร้อนเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าถ่านแท่งเชื้อเพลิงสามารถใช้งานความร้อนได้เทียบเท่ากับถ่านไม้และใช้เวลาในการติดไฟน้อยกว่า

สุพจน์ เดชผล (2546) ผู้วิจัยนี้ศึกษาถึงศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย โดยผสมกากตะกอนกับชานอ้อยที่อัตราส่วนต่างๆ และนำไปอัดแท่งวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต นำอัตราส่วนที่เหมาะสมไปเผาเป็นถ่าน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านอัดแท่งกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดีกว่าถ่านอัดแท่งโดยอัตราส่วนกากตะกอนต่อชานอ้อย 4 : 6 ให้ค่าความร้อนสูงสุด และจากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต พบว่าโรงงานน้ำตาลที่ผลิตเชื้อเพลิงระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 347,700แท่ง/ปี และมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.58 บาท/แท่ง

อาภาวดี เบ็ญจมธารกุล (2546) ผู้วิจัยได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงาน โดยปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนน้ำเสียโดยการหมัก หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมกับแกลบ และนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาเผาเป็นถ่าน ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงด้วยมาตรฐาน ASTM ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่งโรงงานผงชูรสและโรงงานนมอยู่ที่ 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีและใช้เวลาน้อย จากการนำตะกอนทั้ง 2 โรงงานมาทำการหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพ พบว่ากากตะกอนทั้ง 2 โรงงานหลังจากหมักแล้วประสิทธิภาพการให้ความร้อนต่ำลง จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการอัดแท่ง ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจะแปรตามเวลาซึ่งขึ้นกับความชื้นของอัตราส่วนผสม จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กายภาพของกากตะกอน พบว่า มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเนื่องจากการแตกร่วนน้อย ส่วนคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนไม้ และมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าถ่านหิน สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเผาให้เป็นถ่าน พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานและการให้พลังงานแก่น้ำดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่เผาเป็นถ่าน

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง (2548) ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง โดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียด้วยความร้อนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครและมีแป้งมันเป็นตัวประสาน ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยคือ กะลามะพร้าว นำชีวมวลไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์ เพื่อให้ชีวมวลเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของถ่านชาร์ นำถ่านชาร์จากชีวมวลมาผสมกับถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายกากตะกอน 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 รองลงมาที่อัตราส่วน 50:50, 75:25, 0:100 และ 25:75 เท่ากับ 3.74, 3.47, 1.37 และ1.12 ตามลำดับ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของถ่านชาร์จากกะลามะพร้าวที่เติมลงไป คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ100:0 เท่ากับ 8.14, 11.16, 16.72, 22.44 และ28.23 MJ/Kg ตามลำดับ

นิธิ เทิดเกียรติบูรณะ และ วรวรรณ เลิศทนงเดช (2549) ทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสลัดน้ำมันที่หีบด้วยแรงคน โดยนำเปลือกของผลและกากของเมล็ดสบู่ดำมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แล้วนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวแบบอัดเย็น ตัวประสานที่ใช้ คือ แป้งมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งดังนี้ คือ เปลือกบด กากของเมล็ดสบู่ดำแบบบดและไม่บด ส่วนผสมระหว่างเปลือกบดกับกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จากผลการทดลอง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดและส่วนผสมระหว่างเปลือกบดและกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การบดกากและไม่บดกากของสบู่ดำไม่มีผลต่อความน่าใช้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง นั่นคือ จะมีผิวเรียบน่าใช้งานมากกว่า พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมระหว่างเปลือกบดและกากบดมีค่าความร้อนและระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้มากสุด คือ 5347.73 ± 222.81 แคลอรี่ต่อกรัม และ 67.33 ± 1.20 นาที ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งประเภทอื่น พบว่ามีเวลาในการจุดไฟเร็วกว่าถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ค่าความหนาแน่นและค่าทนแรงอัด ประมาณ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 6.37 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ดัชนีการแตกร่วนมีค่าใกล้เคียงหนึ่งคือ 0.99 สรุปได้ว่า เปลือกบดและกากบดของสบู่ดำสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลได้ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้คือ เวลาใช้งานยังมีเขม่ามาก

เกวลิน ไชยอำพร (2551) ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มมาผสมกับน้ำและใช้ของเสียกลีเซอรอลมาเป็นตัวประสาน โดยศึกษาผลขนาดอนุภาค อัตราส่วนผสม (วัสดุต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอล) อุณหภูมิของตัวประสาน และอัตราส่วนของวัสดุ(ปริมาณเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม)ที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยปรับเปลี่ยนขนาดอนุภาค 3 ช่วง(ขนาด < 0.5 มม., 0.5-1.0 มม.และ < 2.0 มม.) ปริมาณวัสดุ 4 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึง 80 ปริมาณน้ำ 3 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 20 ปริมาณของเสียกลีเซอรอล 5 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 50 อุณหภูมิของตัวประสาน (อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 75^{o}C) และอัตราส่วนเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม 4 ค่า (ร้อยละ 100:0, 90:10, 80:20 และ70:30) โดยพิจารณาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากร้อยละการอัดเป็นเม็ด ความหนาแน่นรวมทั้งก้อน ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และคาร์บอนคงตัว พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวมีค่าคุณสมบัติต่างๆผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดยกเว้นปริมาณเถ้า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว คือ อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม : น้ำ : ของเสียกลีเซอรอล) เท่ากับ 50 : 10 : 40 โดยใช้เส้นใยปาล์มขนาด < 2.0 มม.ผสมกับน้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนที่เป็นตัวประสาน มีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ด 62.6 ความหนาแน่นรวม 982.2 kg/m^3 ค่าความร้อน 22.5 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 5.9194 ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 88.2573 คาร์บอนคงตัวร้อยละ1.5894 และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.2339 ซึ่งปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด การนำกะลาปาล์มมาผสมกับเส้นใยปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อลดปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้ โดยอัตราส่วนเส้นใยปาล์มร้อยละ 80 ต่อ กะลาปาล์มร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มเนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นลดลงเหลือร้อยละ 2.5247 ซึ่งยังคงสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดแต่มีค่าได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง ร้อยละการอัดเป็นเม็ด 70.5 ความหนาแน่นรวม 774.8 kg/m^3 ค่าความร้อน 19.71 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 9.8137 ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 86.2259 คาร์บอนคงตัวร้อยละ1.4356 และความสามารถในการรับแรง 4.83 N โดยราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 1.14 บาท/กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaman et al. (2000) ผู้วิจัยได้ศึกษาชีวมวลบางตัว ในปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากมีศักยภาพในการให้พลังงาน โดยผ่านกระบวนการ Pyrolysis และ Gasification ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเอากากตะกอนจากผลมะกอกและกากของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุดของชีวมวลทั้งสองชนิดประมาณ 250 μm และสามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งทนต่อแรงกดได้ในช่วง 150 – 250 MPa ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของเชื้อเพลิงคือ ปริมาณความชื้นในชีวมวล, ดัชนีการแตกร่วน, Water resistance of the briquettes นอกจากนี้ยังศึกษาความทนต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลมะกอกซึ่งมีค่าไม่มากพอ และความคงทนต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษ เมื่อนำกากตะกอนจากผลมะกอกมาผสมกับเส้นใยจากกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษ จะทำให้เชื้อเพลิงทนต่อแรงกดมากขึ้นและโครงสร้างของชีวมวล โดยสังเกตจาก Thermogravimetry technique ภายใต้อากาศที่แห้งและอุณหภูมิสูง 1273 K โดยให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 40 K / min และมาเปรียบเทียบสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Zabaniotoua et al. (2006) ผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเตาเผาซีเมนต์ในเมืองไซปรัสโดยใช้กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ศึกษาความสัมพันธ์ของการนำกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกของเตาเผาซีเมนต์ ครอบคลุมทั้งกระบวนการ สุขภาพ ความปลอดภัยและสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน การทดลองเริ่มจาก Vassiliko Cement Plant (Cyprus) การบำบัดและการนำไปใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมีค่าความชื้น 65-70 % เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกของเตาเผาซีเมนต์ มีการวัดการปล่อยก๊าซออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเน้นที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยเฉพาะปรอท Vassiliko Plant บำบัดตะกอนเปียกในปี 2003-2004 ได้ 22000 m^3 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้กากตะกอนผสมกับถ่านหินและการเผาให้เป็นถ่าน โดยการผสมด้วยอุณหภูมิสูงเผาในเตาเผาซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 1400 °C จะได้ตะกอนใหม่ที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

Chou et al. (2009) ผู้วิจัยได้นำวิธี Taguchi มาศึกษาถึงสภาวะที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุด โดยใช้ต้นข้าวเป็นวัสดุที่ใช้ในการอัดแท่งและใช้ลูกสูบในการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยควบคุมปัจจัยที่ทำการศึกษาซึ่งสามารถพิจารณาตาม (1) ชนิดของตัวประสาน เช่น รำข้าว ,กากถั่วเหลืองและขี้เลื่อยจากต้น Acacia confuse (2) ความร้อนระหว่างการบีบอัด เช่น110, 130 และ150 °C (3) ขนาดของต้นข้าว เช่น 10 - 5 mm , 5-2 mm ,และ < 2 mm และ(4) อัตราส่วนร้อยละของต้นข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อตัวประสานในเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น อัตราส่วน 100/0, 80/20, และ 60/40 เห็นได้ว่า ขนาดของต้นข้าวจะทำให้ผลการทดลองเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 43

Schuhmacher et al. (2009) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการติดตามตรวจสอบ PCDD/Fs และโลหะหนักในบริเวณที่ใกล้เคียงกับ Cement Plant หลังจากใช้กากตะกอนจากน้ำเสียเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในปี ค.ศ.2005 เชื้อเพลิงจากกากตะกอนจากน้ำเสียถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ประมาณ 20% ซึ่งเชื้อเพลิง ถูกนำมาใช้ในเตาเผาปูนซีเมนต์ของประเทศสเปน 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 อย่างไรก็ตามมลพิษที่เกิดจากแหล่งอื่นๆ จะมีผลกระทบต่ำกว่ามลพิษที่เกิดจากเตาเผาปูนซีเมนต์ และมลพิษเหล่านี้จะผลต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบซึ่งเป็นสาเหตุของสารก่อมะเร็งและความเสี่ยงเหล่านี้จะลดลง หากช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเหล่านี้ ดังนั้นหากยังมีการใช้อยู่กากตะกอนจากน้ำเสีย เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์อยู่ก็จะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. กากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท Global Utilities Services
2. แป้งมัน ตราปลามังกร 480 g (เกรดอาหาร)
3. ขี้เลื่อย (มีลักษณะเป็นฝุ่นผงสามารถร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh ได้)
4. กรดซัลฟิวริค (Sulfuric acid) (เกรดวิเคราะห์)
5. กรดไนตริก (Nitric acid) (เกรดวิเคราะห์)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (เกรดวิเคราะห์)
7. ฟีนอฟทาลีน (Phenopthalene) (เกรดวิเคราะห์)
8. สารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก (Standard Metal Solution) เตรียมอนุกรมของสารละลายมาตรฐานของโลหะที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามความเหมาะสม โดยการเจือจางสารละลายสต๊อกของโลหะด้วยน้ำกลั่นซึ่งมีกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 mL ต่อน้ำกลั่น 1L

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Atomic Absorption Spectrophotometer ยี่ห้อ : GBC รุ่น : Avanta Sigma
2. Automatic Bomb Calorimeter รุ่น CALLENKAMP Autobomb
3. UV/Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Jenway รุ่น 6405 ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องอัดเม็ด
5. ตู้อบ (Dry Oven) ยี่ห้อ รุ่น 205 A
6. เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 1620 C
7. เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Precisa รุ่น 205 A
8. เตาเผา (Muffle Furance) ยี่ห้อ Narberthern รุ่น P230 ประเทศเยอรมนี
9. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desicacator) ยี่ห้อ FEL รุ่น 4100S ประเทศอังกฤษ
10. เครื่อง Hydraulic Press ยี่ห้อ FLUNT รุ่น FLX 480 ประเทศเยอรมนี

กระบอกอัดยาว 10 cm. เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 1 cm.

เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 3 cm.

11. ตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh และ 40 mesh
12. Hot plate ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.เครื่อง Universal testing machine ยี่ห้อ LLOYD Instrument รุ่น LR30K ประเทศสหรัฐอเมริกา

14.เตาอังโล่

15.นาฬิกาจับเวลา

16.ครูซิเบิล (Crucible) พร้อมฝาปิด

17.เครื่องวัด pH (pH meter) ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น 250

18.อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

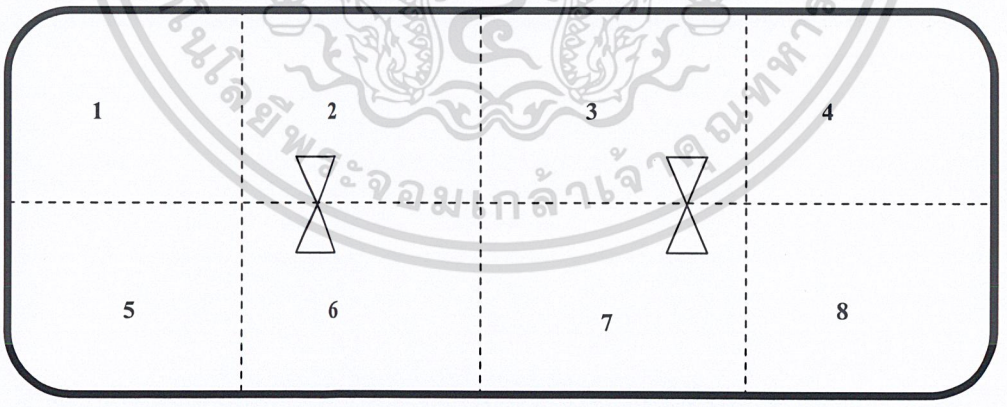
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เฟส 3 โดยใช้ร่วมกับขี้เลื่อย เพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การเก็บตัวอย่างกากตะกอน

การเก็บตัวอย่างกากตะกอนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการเก็บจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท Global Utilities Services โดยเก็บที่บ่อพักตะกอน ซึ่งเป็นบ่อพักกากตะกอนที่รอการนำไปรีดตะกอนที่เครื่องรีดตะกอน และบ่อพักตะกอนมีลักษณะเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการเก็บกากตะกอนจะเก็บตัวอย่างแบบ Composite ซึ่งมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดังนี้

- เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างโดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงระหว่างมิถุนายน – กรกฎาคม 2552 โดยเก็บแบบจ้วง โดยใช้กระบวยพลาสติกเก็บตัวอย่างและแบ่งพื้นที่ของบ่อพักกากตะกอนเป็น 8 ส่วนเท่าๆกันให้กากตะกอนที่เก็บเป็นตัวแทนของกากตะกอนทั้งหมด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3-1 การแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง ณ บ่อพักกากตะกอน

- เก็บตัวอย่างแต่ละจุดมาเท่าๆกัน มารวมกันในภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ขนาด 1 L สำหรับเก็บรวบรวมแล้วผสมให้เข้ากัน
- แบ่งตะกอนใส่ลงในขวดพลาสติก จำนวน 3 ขวด

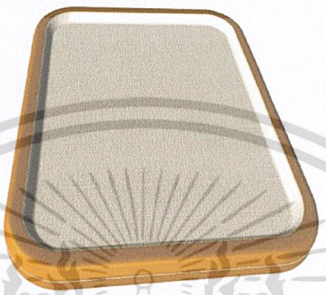
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พร้อมทั้งระบุ วัน เวลา และ ตำแหน่งที่เก็บ ที่เก็บตัวอย่าง
- ขนตะกอนที่เก็บไปยังห้องปฏิบัติการทันที

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอน

เมื่อตะกอนถูกขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแล้ว ตะกอนจะนำไปตากแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีวิธีการตากตะกอนดังนี้

- นำตะกอนที่เก็บมาเทลงในผ้าขาวบางดัง รูปที่ 3.2



รูปที่ 3-2 อุปกรณ์ในการตากตะกอน

เกลี่ยตะกอนผึ่งอากาศให้มีระดับเท่ากัน รอให้ตะกอนแห้ง ซึ่งสังเกตได้ว่า ตะกอนแห้งและแตกเป็นแผ่นเล็กๆ จากนั้นบดตะกอนด้วยครก นำตะกอนที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh หรือ 8 มิลลิเมตร เก็บรวบรวมใส่ในถุงซิปเพื่อเก็บรักษาต่อไป

3.3.3 การเตรียมขี้เลื่อย

นำขี้เลื่อยที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้สักมีลักษณะเป็นฝุ่นผงมาตากแดดให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้นออกจากขี้เลื่อย จากนั้นนำขี้เลื่อยมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh หรือ 16 มิลลิเมตร นำขี้เลื่อยที่ผ่านการร่อนแล้วไปเก็บรักษาเช่นเดียวกับตัวอย่างกากตะกอน

3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

3.4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เนื่องจากในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงสมบัติทางเคมีบางประการของตัวอย่างกากตะกอนเพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง สำหรับการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์		วิธีวิเคราะห์
สมบัติทางเคมี*	หาปริมาณโลหะหนัก	ภาคผนวก ก
	ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมด	Method of soil analysis part2 (1982)
สมบัติทางเชื้อเพลิง**	ปริมาณสารระเหย	ASTM D3175 (2008)
	ปริมาณคาร์บอนคงตัว	ภาคผนวก ก
	ค่าความร้อน	ASTM D5865 (2008)
	ปริมาณความชื้น	ASTM D3173 (2008)
	ปริมาณเถ้า	ASTM D3174 (2008)

* ศึกษาเฉพาะในกากตะกอนเท่านั้น

** ศึกษากากตะกอน, ขี้เลื่อยและแป้งมัน

3.4.2 การหาอัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม

การทดลองนี้จะศึกษาหาอัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม ทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกากตะกอนต่อขี้เลื่อยจำนวน 7 อัตราส่วนดังนี้ 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 การอัดแท่งสามารถทำได้โดยใช้แป้งมันเป็นตัวประสาน (Binder) ที่ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการขึ้นรูปกากตะกอน โดยมีรายละเอียดวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนและขี้เลื่อย

ชั่งกากตะกอนที่ผ่านการเตรียมในข้อ 3.3.2 และขี้เลื่อยในข้อ 3.3.3 ที่อัตราส่วนดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ปริมาณกากตะกอนและขี้เลื่อยที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	น้ำหนักกาก ตะกอน(g)	น้ำหนัก ขี้เลื่อย (g)	น้ำหนักแป้งมัน (g)	ปริมาตรน้ำ (mL)
1:00	50.00	0.00	3	75
1:0.50	33.33	16.67	3	75
1:10	25.00	25.00	3	75
1:1.50	20.00	30.00	3	75
1:20	16.67	33.33	3	75
1:2.50	14.28	35.71	3	75
1:30	12.50	36.50	3	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวประสาน (Binder)

- นำแป้งมันสำปะหลังที่ชั่งมาแล้ว (3 g) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL เติมน้ำลงไป 20 mL คนให้เข้ากัน
- ต้มน้ำในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ปริมาตร 30 mL
- เมื่อน้ำเดือดแล้วให้เติมน้ำแป้งที่ผสมลงไปคนจนได้แป้งเปียกที่มีลักษณะที่สีขาวใส

การขึ้นรูป

- เติมตัวประสานลงไปในกากตะกอนที่ผสมกับขี้เลื่อยแล้วคลุกให้เข้ากัน
- ใส่ลงในเบ้าอัดแท่งเชื้อเพลิงแล้วนำไปอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพส ให้แท่งเชื้อเพลิงมีความยาว 10 cm. เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 3 cm. และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 1 cm.
- นำแท่งเชื้อเพลิงไปตากให้แห้งโดยไม่ผึ่งแดด
- นำแท่งเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์ค่าความร้อน การทนต่อแรงอัดและดัชนีการแตกร่วน

สถานที่ทำการทดลอง

- สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.5 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แก่การวิเคราะห์

ตารางที่ 3-3 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ค่าความร้อน	ภาคผนวก ก
การทนแรงอัด	ASTM D1621(2008)
ดัชนีการแตกร่วน	ASTM D3038(2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาถึงการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสถานีที่ 2 ของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซึ่งเป็นสถานีบำบัดน้ำเสียเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมในเฟส 3 โดยกากตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) จากนั้นกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากบ่อตกตะกอนขั้นที่1 และบ่อตกตะกอนขั้นที่ 2 จะถูกส่งมารวมกันไว้ที่บ่อพักกากตะกอน โดยบ่อพักกากตะกอนนี้จะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีใบพัดสำหรับปั่นกวนเพื่อปั่นกวนกากตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกัน และสูบกากตะกอนมายังโรงรีดกากตะกอน ซึ่งบริเวณพื้นที่โดยรอบบ่อเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง บ่อพักกากตะกอนมีลักษณะดังรูปที่ 4-1

รูปที่ 4-1 บ่อพักกากตะกอน

กากตะกอนที่ใช้ครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างแบบจ้วงกากตะกอนจากบ่อพักกากตะกอนจากจุดต่างๆรวมกันทั้ง 8 จุดแล้วนำมาผสมรวมกัน ซึ่งใช้ช่วงระยะเวลาในการเก็บกากตะกอนมาวิเคราะห์ 2 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2552 กากตะกอนที่เก็บมาวิเคราะห์จะมีกลิ่นเหม็น

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉุน เนื้อตะกอนละเอียดสีดำสนิท เมื่อผ่านการตากแห้ง 4-6 วันกากตะกอนแห้งสนิทจะไม่มีกลิ่นฉุนลดลงและจับตัวเป็นแผ่นแข็งเหนียวดังรูปที่ 4-2

รูปที่ 4-2 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

กากตะกอนที่ได้ถูกนำไปศึกษา เพื่อให้แน่ใจว่ากากตะกอนสามารถนำมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ ต้องศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางเคมี และ สมบัติทางเชื้อเพลิง จากนั้นนำกากตะกอนมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษาหาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้เลื่อย และทำการศึกษาถึงสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งผลการศึกษาสมบัติต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นของกากตะกอนและเชื้อเพลิงอัดแท่งมีดังนี้

4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

4.1.1 ปริมาณโลหะหนัก

โลหะหนักเป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม หากมีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมากเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาปริมาณของโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว(Pb) ปรอท(Hg) แคดเมียม(Cd) อาร์เซนิก(As) ในกากตะกอน สาเหตุที่วิเคราะห์โลหะหนักทั้งสี่ตัวนี้เนื่องจาก Hg และ Pb เมื่อเกิดการเผาไหม้จะอยู่ในรูปไอระเหยและควันสามารถฟุ้งกระจายได้ไปในบรรยากาศได้ ส่วน Cd, Hg และ As หากมีการสัมผัสจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วซึ่งมีความเป็นพิษรุนแรง ในขณะที่โลหะหนักตัวอื่นเมื่อเกิดการเผาไหม้จะกลายเป็นเถ้าหนักตกลงสู่เตาเผาได้เอง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ทำโดยการนำกากตะกอนมาย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำไปตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยละเอียดตามภาคผนวก ก

ตารางที่ 4-1 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

ตัวอย่างวันที่	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)			
	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Hg	As^{3+}
8/06/2009	68.23	725.21	0.00	0.57
12/06/2009	87.74	1126.64	0.00	0.83
26/06/2009	74.67	657.99	0.00	0.57
6/07/2009	86.09	749.65	0.00	0.73
26/07/2009	74.67	791.05	0.00	0.75
ค่ามาตรฐาน*	**100**	**1000**	**20**	**500**

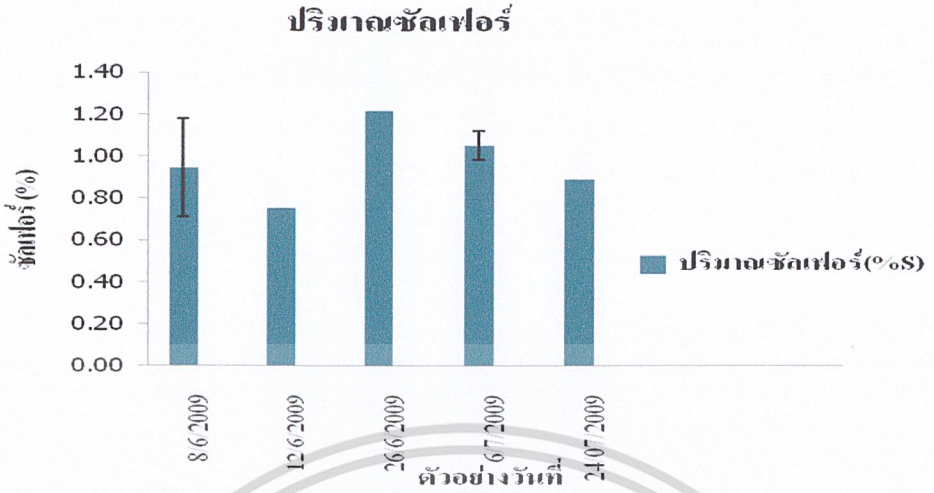
*** มาตรฐาน**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

จากตาราง ปริมาณแคดเมียม, ตะกั่ว, และอาร์เซนิก ในกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.05 mg/kg (80.05±8.31; n=5), 840 mg/kg (840±710; n=5) และ0.69 mg/kg (0.69±0.12; n=5) พบว่ามีค่าไม่เกินตามมาตรฐานกำหนดตามตารางที่ 4.1 และปรอทไม่สามารถตรวจพบปริมาณปรอทในกากตะกอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กากตะกอนที่ศึกษาในช่วงวันที่ 8 มิถุนายน 2552 – 26 กรกฎาคม มีปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐาน

4.1.2 ปริมาณซัลเฟอร์

การหาปริมาณซัลเฟอร์นั้นทำด้วยวิธี Turbidimetric Method โดยนำตัวอย่างกากตะกอนมาย่อยจากนั้นนำตัวอย่างกากตะกอนที่ย่อยได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm แล้วคำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์โดยการเทียบจากกราฟมาตรฐานซัลเฟต วิธีวิเคราะห์ซัลเฟอร์ได้อย่างละเอียดตามภาคผนวก ก จากการทดลองผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในตัวอย่างกากตะกอนได้ดังรูปที่ 4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 ปริมาณซัลเฟอร์ (%S)

จากรูปที่ 4-3 การหาปริมาณของซัลเฟอร์ในตัวอย่างกากตะกอนที่นำมาศึกษาแต่ละวัน พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97% (0.97±0.17; n = 5) ซัลเฟอร์ในตัวอย่างกากตะกอนนั้น ทำให้เราทราบถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เมื่อกากตะกอนเผาไหม้ซัลเฟอร์ในกากตะกอนจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นก๊าซพิษเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและเป็นตัวการก่อให้เกิดฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ประเภทของเชื้อเพลิง	% กำมะถัน
น้ำมันเตา	2.43*
ถ่านโค้ก	0.48**
ลิกไนต์	2-3**
บิทูมินัส	0.3-1**
กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย	0.97

* www.tistr.or.th (เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2553)

** จากรายงานวิชาการ ฉบับที่ สว7/2547 เรื่องคุณภาพถ่านหินที่นำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน 2547

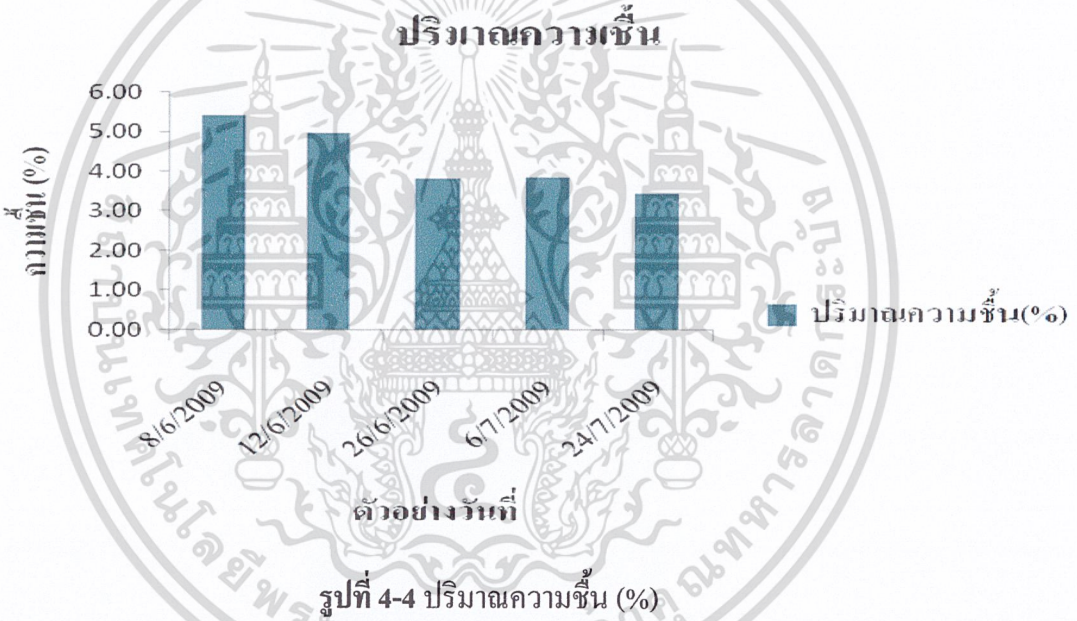
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วพบว่า ปริมาณซัลเฟอร์ใกล้เคียงกับถ่านหินบิทูมินัส และน้อยกว่าปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหินลิกไนต์และน้ำมันเตา ดังนั้นกากตะกอนที่นำมาวิเคราะห์ จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในรูปของ SO_2 น้อยกว่าถ่านหินลิกไนต์ และน้ำมันเตา

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

4.2.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างกากตะกอนที่สุ่มเก็บมาแต่ละวันซึ่งใช้เวลาตากกากตะกอนประมาณ 4-6 วัน กากตะกอนจะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 3-5 %



รูปที่ 4-4 ปริมาณความชื้น (%)

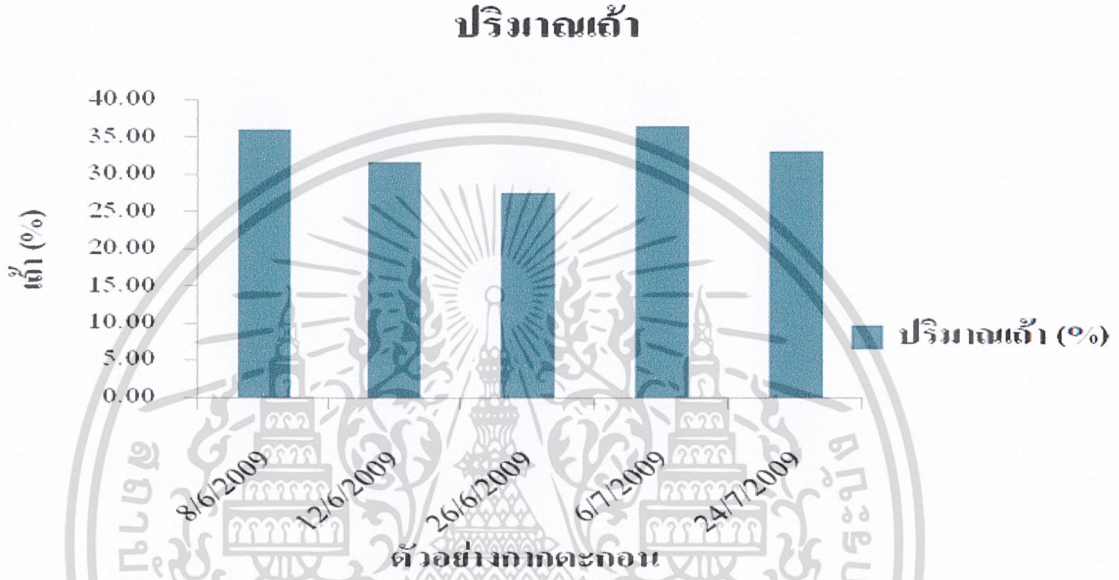
Longjian Chen[a] et.al (2009) ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนมาเก็บรักษาและนำมาวิเคราะห์ ต้องอยู่ในช่วง 0-15% และเป็นค่าความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้งานได้

4.2.2 ปริมาณเถ้า

จากการทดลองการหาปริมาณเถ้าในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของแต่ละวัน พบว่าปริมาณเถ้ามีปริมาณเถ้าเฉลี่ยเท่ากับ 32.95% (32.95±0.69 %; n=5) ซึ่งปริมาณเถ้าที่มีปริมาณน้อยจะสามารถให้ความร้อนในการใช้งานได้ดี เนื่องจากเถ้าจะทำให้การแลกเปลี่ยน ออกซิเจนในการเผาไหม้ได้ไม่ดีและเถ้าเป็นฉนวนกันความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ทำให้ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างกากตะกอนดังรูปที่ 4-5



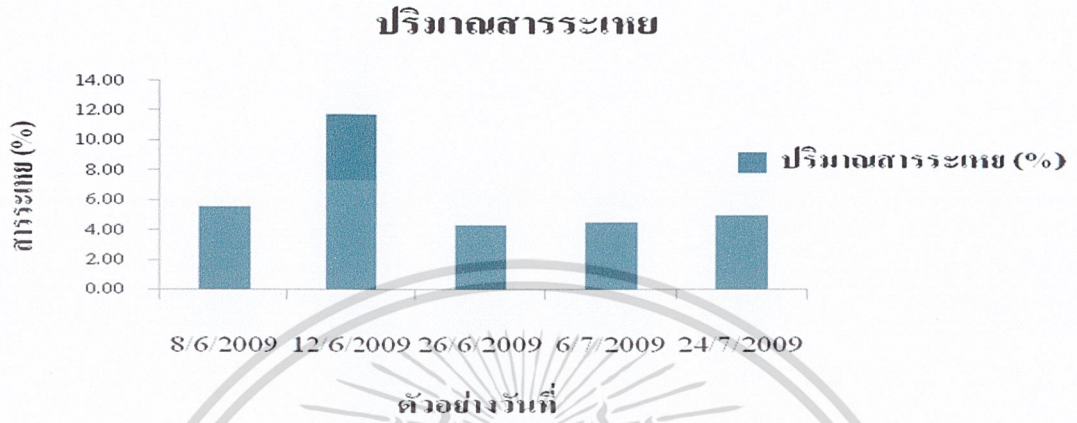
รูปที่ 4-5 ปริมาณเถ้า (%)

และเมื่อเทียบปริมาณเถ้าของสุพจน์ เดชผล (2546) พบกากตะกอนจากจากโรงงานน้ำตาลมีปริมาณเถ้าถึง 74% และประริญา รำไพ (2546) กากตะกอนจากโรงงานฟอกย้อมและโรงงานเยื่อกระดาษมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 43.24 และ27.64% ตามลำดับ เห็นได้ว่ากากตะกอนที่ศึกษามีเถ้าในปริมาณที่น้อย เมื่อเทียบกับกากตะกอนจากแหล่งอื่นๆ

4.2.3 ปริมาณสารระเหย

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยจากตัวอย่างกากตะกอนพบว่า มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 6.20 (6.20±0.20%; n=5) แสดงว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียมีปริมาณสารระเหย (%) ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับกากของเสียจากโรงงานกระดาษในงานวิจัยของ Yaman et.al (2000) ซึ่งมีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 65% โดยปริมาณสารระเหยมีผลต่อความยากง่ายในการลุกติดไฟ ซึ่งถ้ามีในปริมาณน้อยจะทำให้กากตะกอนมีคุณสมบัติในการลุกติดไฟได้ยากและระยะเวลาในการติดไฟนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 ปริมาณสารระเหย (%)

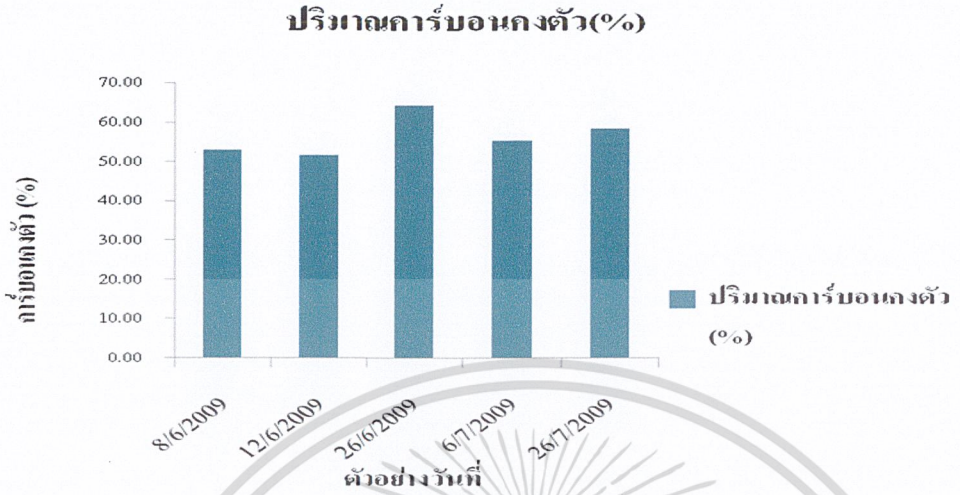
และเมื่อนำค่าปริมาณสารระเหยที่ได้มาเฉลี่ยมาเทียบกับปริมาณสารระเหยของกากตะกอนโรงงานน้ำตาลของสุพจน์ เดชผล (2546) พบกากตะกอนจากจากโรงงานน้ำตาลมีปริมาณสารระเหย 17.70% และประริญา รำไพ (2546) กากตะกอนจากโรงงานฟอกย้อมและโรงงานเยื่อกระดาษมีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 23.24 และ 65.5% ตามลำดับ ดังนั้นกากตะกอนที่ศึกษาจะมีปริมาณสารระเหยน้อยและจุดติดไฟค่อนข้างยาก

4.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) ทำได้โดยต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย แล้วนำมาคำนวณค่าจากสูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



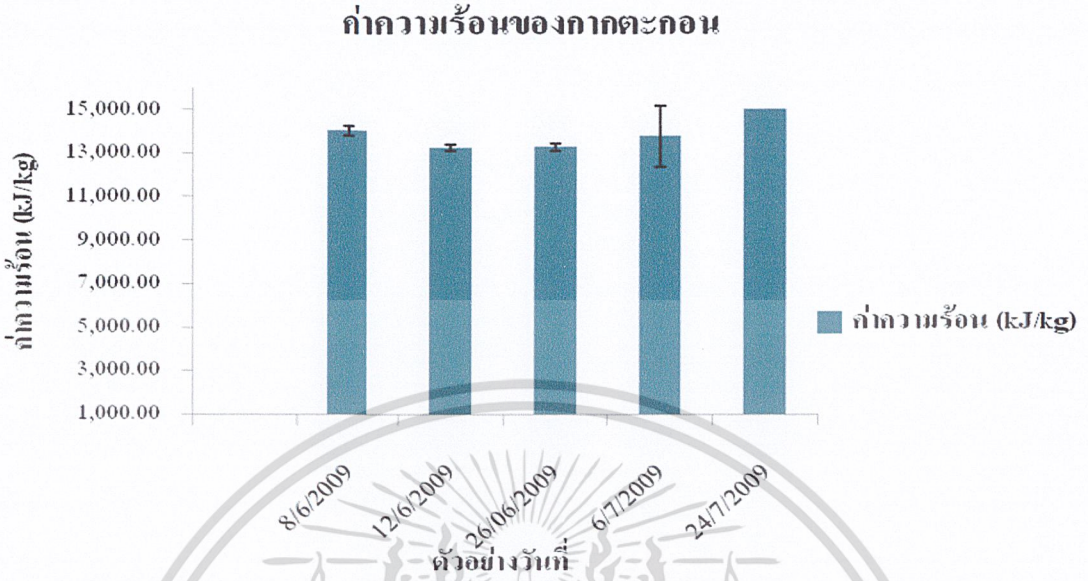
รูปที่ 4-7 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)

จากรูปที่ 4-7 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.53% (56.53±5.02%; n=5) และเมื่อเทียบกับกากตะกอนของงานวิจัยของ สุพจน์ เดชผล (2546) ได้ศึกษากากตะกอนจากโรงงานน้ำตาลซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวเพียง 4.2% ส่วนประริญา รำไพ (2546)ได้ศึกษากากตะกอนจากโรงงานฟอกย้อมและโรงงานเยื่อกระดาษมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ4.02และ6.73% พบว่ากากตะกอนที่ศึกษามีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่ากากตะกอนจากแหล่งอื่นอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ถ้าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงก็จะให้ค่าความร้อนได้สูงด้วย ดังนั้นกากตะกอนที่นำมาศึกษาจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

4.2.5 ค่าความร้อน

ในการศึกษาหาปริมาณค่าความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนทำโดยนำตัวอย่างกากตะกอนมาบดให้มีขนาด 80 mesh หรือ 8 mm. จากนั้นนำไปหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Automatic Bomb Calorimeter ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยละเอียดตามภาคผนวก ก ซึ่งค่าความร้อนของกากตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



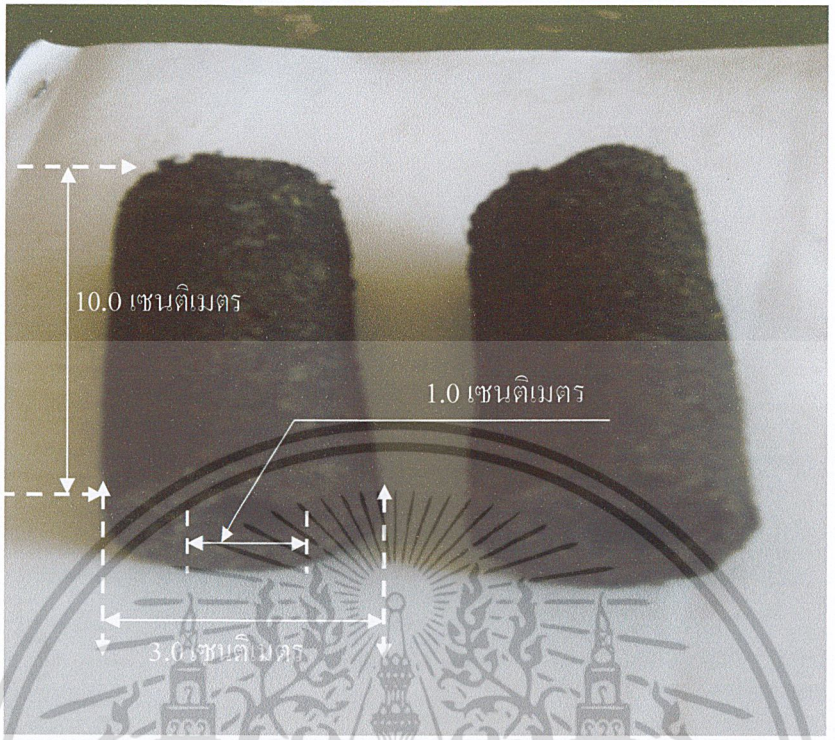
รูปที่ 4-8 ปริมาณค่าความร้อนของกากตะกอน (kJ/kg)

ปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 13,892.30 kJ/kg (13,892.30 ±713.96 kJ/kg; n=5) จากผลการทดลองพบว่ากากตะกอนมีค่าความร้อนสูงกว่า ค่าความร้อนจากกากตะกอนของประริญา รำไพ (2546) ได้ศึกษากากตะกอนจากโรงงานฟอกย้อมและโรงงานเยื่อกระดาษมีปริมาณความร้อนเท่ากับ 1194.78และ 7427.73 kJ/kg พบว่ากากตะกอนที่ศึกษามีค่าความร้อนอยู่สูงกว่ากากตะกอนจากแหล่งอื่น ดังนั้นกากตะกอนที่ทำการศึกษาจึงมีศักยภาพในการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

4.3 การหาอัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม

ทดลองทำการอัดแท่งกากตะกอนน้ำเสียกับขี้เลื่อยโดยวิธีอัดเย็น ใช้เครื่องไฮโดรลิค ณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง อัตราส่วนที่ใช้ในการอัดแท่งระหว่างกากตะกอนกับขี้เลื่อย คืออัตราส่วนโดยน้ำหนัก 7 อัตราส่วน ดังนี้ 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ1:3 ความยาวของแท่งเชื้อเพลิง 10 เซนติเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรและมีรูเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เซนติเมตรแท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะดังรูปที่ 4-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 ขนาดแท่งเชื้อเพลิง (อัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อย 1:1)

การอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน(Binder) เนื่องจากคุณสมบัติของกากตะกอนไม่สามารถเป็นตัวประสานเองได้และเพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนให้กากตะกอนจึงมีการผสมชีวมวลโดยใช้ขี้เลื่อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้ค่าความร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขี้เลื่อยที่ได้จากโรงเลื่อยเป็นขี้เลื่อยจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ มีลักษณะเป็นฝุ่นผง สีเหลืองทอง เนื้อละเอียด น้ำหนักเบา สมบัติของขี้เลื่อยดังตารางที่ 4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-3 สมบัติของขี้เลื่อยและแป้งมัน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ตัวอย่าง	
	ขี้เลื่อย	แป้งมัน
ปริมาณความชื้น* (%)	7.30	3.51
ปริมาณเถ้า* (%)	11.44	20.81
ปริมาณสารระเหย* (%)	70.63	73.10
ปริมาณคาร์บอนคงตัว* (%)	10.60	1.70
ค่าความร้อน* (kJ/kg)	19372.60	16079.50

* ค่าเฉลี่ย (n=2)

ในการอัดแท่งจะต้องคำนึงถึงความชื้นของกากตะกอนเพื่อไม่ให้ความชื้นของกากตะกอนมากหรือน้อยเกินไป ความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสำหรับการอัดแท่งควรอยู่ในช่วง 50-60% ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้การขึ้นรูปได้ยากและแท่งเชื้อเพลิงจะอ่อนไม่คงตัวถ้ามีปริมาณความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้การขึ้นรูปได้ยากและแท่งเชื้อเพลิงเปราะ ซึ่งการขึ้นรูปและลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

4.4 ผลการศึกษาสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง

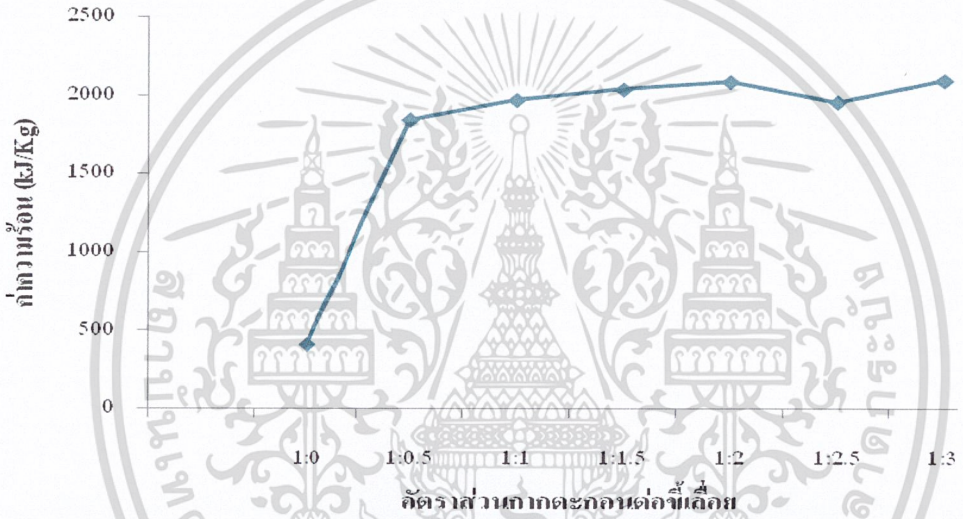
กากตะกอนอัดแท่งจะนำไปศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิง ซึ่งจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงทั้ง 7 อัตราส่วน ที่อัตราส่วน 1:0 จะทำให้การอัดขึ้นรูปของกากตะกอนค่อนข้างยากแท่งเชื้อเพลิงสีดำและขรุขระ เมื่อเพิ่มสัดส่วนขี้เลื่อยสูงขึ้นจนถึงอัตราส่วน 1:2 จะทำให้การขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงได้ง่ายขึ้น และทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีผิวเรียบมีสีน้ำตาล และเมื่อสัดส่วนมากขึ้นจนถึงอัตราส่วน 1:2.5 ขึ้นไปจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงเปราะและแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการขึ้นรูปไม่คงตัว แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดขึ้นรูป จะนำมาตากในที่โล่งแจ้ง โดยแท่งเชื้อเพลิงจะใช้ระยะเวลาในการตากประมาณ 1 สัปดาห์ซึ่งจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีความชื้นประมาณ 3-5% ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์แล้ว เมื่อแท่งเชื้อเพลิงเสร็จแล้ว จะนำแท่งเชื้อเพลิงมาเก็บรักษาไว้ในถุงซิปเพื่อควบคุมปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงให้คงที่ จากนั้นแท่งเชื้อเพลิงจะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงได้แก่ ค่าความร้อน, ค่าทนแรงอัดและ ดัชนีแตกร่วน ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและความร้อนของกากตะกอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.5.1 ผลความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนโดยวิธีต้มน้ำ พบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อย 1:0 แท่งเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้จะมีควันดำเกิดขึ้นซึ่งควันดำและเมื่อเพิ่มสัดส่วนของขี้เลื่อยมากขึ้นจะทำให้ควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้น้อยลง ในการวิเคราะห์ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ทั้ง 7อัตราส่วนซึ่งพบว่าปริมาณค่าความร้อนของแต่ละอัตราส่วน เป็นดัง รูปที่ 4-10



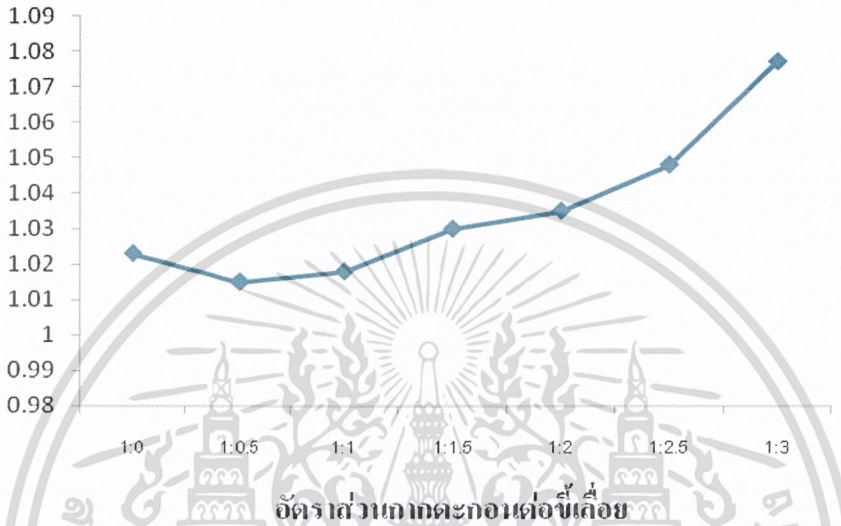
รูปที่ 4-10 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขี้เลื่อย โดยน้ำหนัก

จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของขี้เลื่อยแล้วจะทำให้ ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นมาก ที่อัตราส่วนที่ 1:0.5 ไปจนถึงอัตราส่วนที่ 1:2 และค่าความร้อนมีแนวโน้มคงที่ที่อัตราส่วนที่ 1:2.5 และ 1:3 ซึ่งสังเกตจากกราฟได้ว่าที่อัตราส่วนที่ 1:0.5 มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนที่ 1:0 เท่ากับ 1439.89 kJ/kg และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงอัตราส่วน 1:2 เนื่องมาจากขี้เลื่อยมีความร้อนสูงเมื่อผสมกับกากตะกอนในสัดส่วนที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นจนถึงอัตราส่วนที่ 1:2 เพราะว่าแท่งเชื้อเพลิงจะมีปริมาณของกากตะกอนน้อยมากแต่มีปริมาณขี้เลื่อยอยู่ในปริมาณมากจนค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแทบจะมาจากขี้เลื่อยเพียงอย่างเดียวคืออัตราส่วน 1:3 ที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด 2094.69 kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลดัชนีแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์ดัชนีแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วน ซึ่งผลปรากฏว่าค่าดัชนีแตกร่วนที่แปรผันตามสัดส่วนของขี้เลื่อยที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 ดัชนีแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ

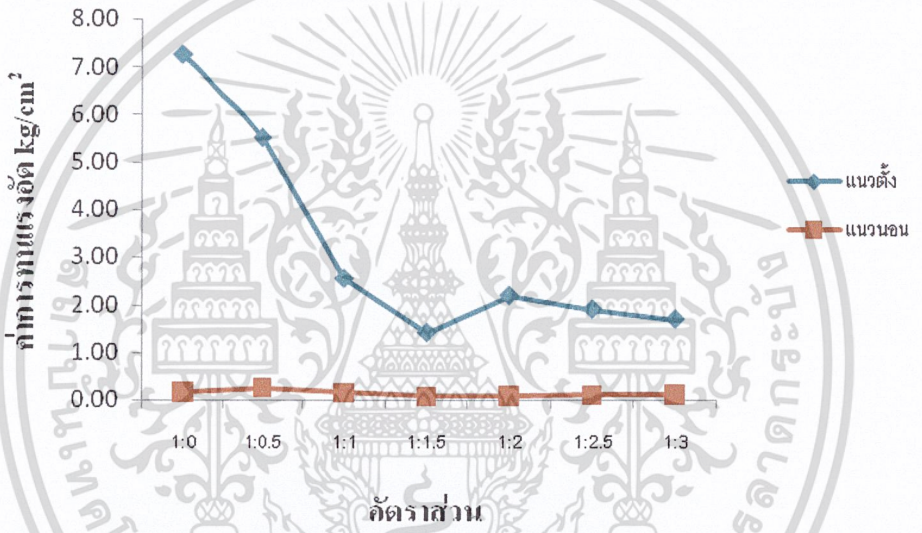
จากรูปดัชนีแตกร่วนที่สูงขึ้นตามสัดส่วนของขี้เลื่อยแสดงให้เห็นว่าแท่งเชื้อเพลิงจะเปราะและแตกหักง่ายเมื่อเพิ่มสัดส่วนขี้เลื่อยสูงขึ้น เนื่องมาจากขี้เลื่อยที่นำมาผสมกับกากตะกอนมีความหนาแน่นต่ำซึ่งเมื่อผสมกับกากตะกอนจะทำให้มีปริมาตรมากซึ่งเป็นผลทำให้แป้งมันซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ไม่สามารถประสานกากตะกอนและขี้เลื่อยได้อย่างทั่วถึง จึงเป็นผลทำให้แท่งเชื้อเพลิงเปราะและแตกหักง่าย สัดส่วนที่ทำให้ค่าดัชนีแตกร่วนที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วน 1:0.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ1.015 เนื่องมาจากแท่งเชื้อเพลิงมีขี้เลื่อยและผสมกับกากตะกอนซึ่งทำให้เนื้อของแท่งเชื้อเพลิงละเอียดและจับกันเป็นก้อนซึ่งแท่งเชื้อเพลิงที่ดีควรมีค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ที่ 0.5-1.0 (สุพจน์ เดชผล. 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลค่าการทนแรงอัด

แนวโน้มค่าทนแรงอัดก็มีลักษณะเช่นเดียวกับดัชนีแตกร่วนซึ่งเมื่อสัดส่วนของขี้เลื่อยเพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทำให้ ค่าทนแรงอัดมีค่าน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องมาจากเนื่องมาจากตะกอนมีความ

แข็งและทนแรงอัดได้มากกว่าขี้เลื่อยอีกทั้งตัวประสานไม่สามารถประสานกากตะกอนและขี้เลื่อยได้อย่างทั่วและสมบัติของกากตะกอนและขี้เลื่อยไม่สามารถประสานเข้ากันโดยไม่ใช้แป้งมัน ดังรูป 4-12



รูปที่ 4-12 การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนแรกจะมีค่าการทนแรงอัดเท่ากับ 45.51 kg/cm^2 ซึ่งเป็นค่าการทนแรงอัดที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆแสดงให้เห็นว่า แท่งเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของขี้เลื่อยเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีความสามารถในการรับน้ำหนักกดทับได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

5.1.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการศึกษาสมบัติต่างๆของกากตะกอนเพื่อไปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ สมบัติทางเคมีโดยศึกษาปริมาณโลหะหนักและปริมาณซัลเฟอร์ สำหรับโลหะหนักที่ศึกษาคือ ตะกั่ว(Pb^{2+}), ปรอท (Hg), แคดเมียม (Cd^{2+}), อาร์เซนิก (As^{3+}), ตะกั่ว (Pb^{2+}), พบว่าโลหะหนักที่ศึกษาทุกตัวมีค่าไม่เกินตามมาตรฐานกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2548 และปริมาณซัลเฟอร์มีค่าเฉลี่ย 0.97% และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านหินลิกไนต์, บิทูบินัส, ถ่านโค้กและน้ำมันเตา พบว่ากากตะกอนมีปริมาณซัลเฟอร์ที่ใกล้เคียงกับถ่านหินบิทูบินัส และน้อยกว่าถ่านหินลิกไนต์และน้ำมันเตา สำหรับสมบัติทางเคมีมีความเหมาะสมในการนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนมีสมบัติทางเชื้อเพลิงมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 3-5% ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 27-35% ปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 3.75-11.73% ปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 51-65% และปริมาณค่าความร้อนอยู่ในช่วง 13,000-15,000 kJ/kg โดยสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนที่เกิดขึ้นและจากการศึกษาพบว่ามีความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.1.2 การหาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้เลื่อยโดยน้ำหนักที่เหมาะสม

การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งสมบัติที่ศึกษาได้แก่ การทดสอบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง(ศึกษาทางกายภาพโดยการต้มน้ำ) การทนแรงอัด ดัชนีการแตกร่วน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าจากการทดสอบต่างๆ ของแท่งเชื้อเพลิงนั้นพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะที่สุดคืออัตราส่วน 1:0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ในการทดสอบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทางกายภาพโดยการต้มน้ำอาจมีความผิดพลาดได้ ต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสม เช่น ต้องทดสอบสภาวะที่ไม่มีลม เป็นต้น
2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงเป็นการวิเคราะห์แบบทำลายซึ่งเมื่อวิเคราะห์แล้วไม่สามารถนำไปใช้ใหม่หรือทดลองซ้ำซึ่งควรวางแผนการทดลองให้รอบคอบ
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองไม่มีความพร้อมและไม่มีประสิทธิภาพและไม่เพียงพอต่อการทดลองภาควิชาจึงควรจัดหาเครื่องมือใหม่มาทดแทน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงการขึ้นรูปกากตะกอนโดยวิธีอื่นๆที่เหมาะสม ใช้ต้นทุนการดำเนินการต่ำและขั้นตอนการดำเนินการที่ไม่ยุ่งยาก
2. กากตะกอนที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งควรผ่านกระบวนการหมักเพื่อกากตะกอนเพื่อให้กากตะกอนมีลักษณะคงตัวและเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัวให้แก่กากตะกอน
3. กากตะกอนที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งควรผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านก่อนซึ่งน่าจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีปริมาณความร้อนต่อ 1 แท่งให้สูงขึ้น และลดปริมาณควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
4. แท่งเชื้อเพลิงควรมีการศึกษาหาวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆที่เหมาะสมต่อการนำไปผสมกากตะกอนเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
5. ทำการศึกษาตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่นกากตะกอนจากอุสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีศักย์ภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากของเสียส่วนใหญ่ของโรงงานประเภทนี้ส่วนมากจะเป็นพวกสารอินทรีย์ที่มีจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เกวลิน ไชยอำพร. 2551. “การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. **วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย เล่ม 5**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี. โรงพิมพ์ เอส.อาร์.พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

นพพร สุดใจธรรม. 2545. “เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.

นิธิ เทิดเกียรติ์บูรณะ และวรวรรณ เลิศทนงเดช. 2549. “การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันที่หีบด้วยแรงคน.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. **การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.** 2548.

ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม. **มาตรฐานน้ำทิ้ง**. 2548.

ประริญา รำไพ. 2546. “การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรียสารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง. 2548. “การผลิตเชื้อเพลิงโดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์จากกากตะกอนน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิรียุตม์ วรรณพฤกษ์. “กรณีเตาเผาขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต.” **หนึ่งทศวรรษของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน**. : 1-12.

ภัทรนัย พงษ์พฤกพรรณ์. 2547. “คุณภาพถ่านหินนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน.” กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. กรุงเทพฯ.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. **ระบบบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ. ท็อป. 2549.

รายงานวิชาการ ฉบับที่ สว 7/2547 **เรื่องการนำเข้าตะกั่วจากประเทศเพื่อนบ้าน** 2547

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2553. “การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถัน ของวัสดุต่างๆ” http://www.tistr.or.th/tistrbid_all.thp

สุพจน์ เดชผล. 2546. “การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำเริง จักรใจ. **การเผาไหม้.** กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547

อาภาวดี เบ็ญจมธารกุล. 2546. "การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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.

Erol. M., Haykiri-Acma. H., and Küçkbayrak. S., 2010. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. **Journal of Renewable Energy**. 35: 170–173.

Longjian Chen., Li Xing., and Lujia Han 2009. Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 13 (2009) 2689–2695

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.

Yaman. S., Sahan. M., Haykiri-acma. H., Sesen. K., and Kucukbayrak.S., 2000. Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste. **Journal of Fuel Processing Technology.** 68: 23–31.

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

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและเชื้อเพลิงของกากตะกอน

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางตัวของกากตะกอน

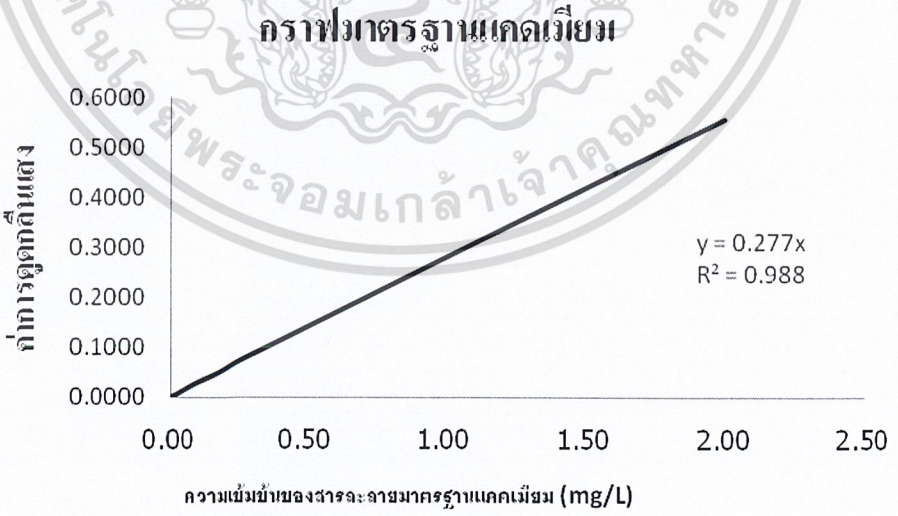
1. การวิเคราะห์โลหะหนัก

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน US EPA 3050B

เครื่องมือ : เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) Hot plate และเครื่องแก้ว

ขั้นตอนการวิเคราะห์ :

เตรียมตัวอย่างโดยการชั่งกากตะกอนหนัก 1 g ใส่ขวดรูปชมพู่ ทำการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและกรดไนตริกเข้มข้นอย่างละ 10 mL และกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ด้วยน้ำกลั่น เก็บรักษาในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นนำไปหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวโดยการเทียบจากกราฟมาตรฐานโลหะหนัก ตัวอย่างกราฟมาตรฐานปริมาณโลหะหนักบางตัว ดังรูปที่ ก-1



สมการเส้นตรงของแคดเมียม ; ความเข้มข้น = 3.529 * ค่าการดูดกลืนแสง

รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานแคดเมียม (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณ Cd^{2+} (mg/kg) ของวันที่ 08/06/2009

จากรายงานผลมีปริมาณ Cd^{2+} 0.6847 mg/สลล. 1L.จากการวิเคราะห์ใช้สารละลายตัวอย่าง 100 ml จะได้ว่า

สารละลาย 1000ml มี Cd^{2+} 0.6847 mg

ถ้าสารละลาย 100ml มี Cd^{2+} (0.6847 mg×100 mL)/1000 mL = 0.06847mg/สลล.100mL

น้ำหนักตะกอนเปียก 1.0023 g

น้ำหนักตะกอนแห้งหาได้จาก; เนื่องจากกากตะกอนวันที่ 08/06/09 มีค่าความชื้น 5.43 %

น้ำหนักตะกอนเปียก 100 g มีความชื้น 5.43g

แสดงว่า 1.023g มีความชื้นเท่ากับ

1.0023×(5.43/100) = 0.0521g

กากตะกอนมีน้ำหนักแห้ง = 1.0023-0.0521g = 0.9479 g

∴ กากตะกอน1.0023 g มีตะกอนแห้ง = 0.9479 g

ปริมาณ Cd^{2+} 0.06847 mg/สลล.100ml หรือ 0.06847mg/0.9479g กากตะกอน

ปริมาณ Cd^{2+} ต่อ 1 kg = (0.06847mg×1000g)/0.9479g = 72 mg/kg

ดังนั้นสารตัวอย่างวันที่ 08/06/09 มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 72 mg/kg

ในการคำนวณปริมาณแคดเมียมทำทั้งหมด 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 72 mg/kg

การคำนวณหาปริมาณโลหะหนักตัวอื่นทำเช่นเดียวกับการคำนวณของแคดเมียม

2. การหาปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ Acid Digestion เพื่อเปลี่ยนซัลเฟอร์ในกากตะกอนให้อยู่ในรูปสารละลายซัลเฟตและและนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์ซัลเฟอร์ให้อยู่ในรูปความขุ่นของตะกอนซัลเฟต ($BaSO_4$) ในสารละลายโดยเติม $BaCl_2$

เครื่องมือ: Hot Plate, UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 nm light path 4-5 cm, ตะแกรงร่อน

วิธีการย่อยตะกอน :

1. บดตะกอนให้ละเอียด

2.ร่อนตะกอนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh หรือ 16 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั่งตะกอนที่ได้มา 1 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 125 mL

4. เติมกรด HNO_3 เข้มข้น 69% จำนวน 3 mL แล้วให้ความร้อนด้วย Water Bath นาน 1 ชั่วโมง

5. เติม $HClO_4$ เข้มข้น 60% จำนวน 3 mL และ H_3PO_4 เข้มข้น 85 % จำนวน 7 mL (กรดเหล่านี้อาจผสมก่อนเติมลงไปก็ได้)

6. ให้ความร้อนโดยใช้ Hot Plate ทำในตู้ดูดควัน ให้อุณหภูมิในช่วง 190 – 210 °C จนเกิดควันสีขาวของ $HClO_4$ ปรากฏออกมา

7. เติม HCl เข้มข้น 37% จำนวน 2 mL ให้ความร้อนอีกครั้งจนกระทั่งเกิดควันสีขาวของ $HClO_4$ อีกครั้งจนสารละลายใส

8. นำสารละลายมาเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรโดย HCl เข้มข้น 1 N

วิธีการเตรียมน้ำยาเคมี :

8.1. สารละลายบัฟเฟอร์ A : ละลาย $MgCl_2.6H_2O$ 30 g, $CH_3COONa.3H_2O$ 5 g, KNO_3 1.0 g และ CH_3COOH (99%) 20 mL ในน้ำกลั่น 500 mL เจือจางจนได้ปริมาตร 1000 mL

8.2. สารละลายบัฟเฟอร์ B (เมื่อตัวอย่างมีปริมาณซัลเฟตในความเข้มข้นน้อยกว่า 10 mg SO_4^{2-}/L) : ละลาย $MgCl_2.6H_2O$ 30 g, $CH_3COONa.3H_2O$ 5 g, KNO_3 1.0 g Na_2SO_4 0.111g และ CH_3COOH (99%) 20 mL ในน้ำกลั่น 500 mL เจือจางจนได้ปริมาตร 1000 mL

8.3. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ที่เป็นผลึกขนาด 20-30 mesh

8.4. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต: เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ตามหัวข้อ 4.1 หรือ 4.2 ด้านล่าง จะได้สารละลายเข้มข้น 100 µg/mL

8.4.1. เจือจาง 10.4 mL สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.0200 N ให้ เป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่น

8.4.2. ละลาย Anhydrous Na_2SO_4 0.1479 g ในน้ำกลั่น เจือจางจนได้ 1000 mL

วิธีการวัดค่าซัลเฟอร์ด้วย Turbidimetric Method:

1. การทำให้เกิดตะกอนแบเรียมซัลเฟต:

นำตัวอย่างมา 100 mL หรือปริมาตรที่เหมาะสมแล้วเติมน้ำกลั่นจนเป็น 100 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมสารละลายบัฟเฟอร์A ตามข้อที่ 8.1 จำนวน 20 mL ผสมและคน โดยใช้เครื่องในขณะที่คน ค่อยๆเติม $BaCl_2$ crystal 1 ช้อน และเริ่มจับเวลาทันที คนประมาณ 60 ± 2 วินาที ด้วยความเร็วคงที่ เมื่อถึงเวลาให้หยุดคนทันที

2. การวัดความขุ่นจากแบเรียมซัลเฟต:

หลังจากเวลาที่คนสิ้นสุดลง เทสารละลายลงใน Absorption cell ของโฟโตมิเตอร์ วัดค่าความขุ่นที่ 5 ± 0.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การเตรียมกราฟมาตรฐาน :

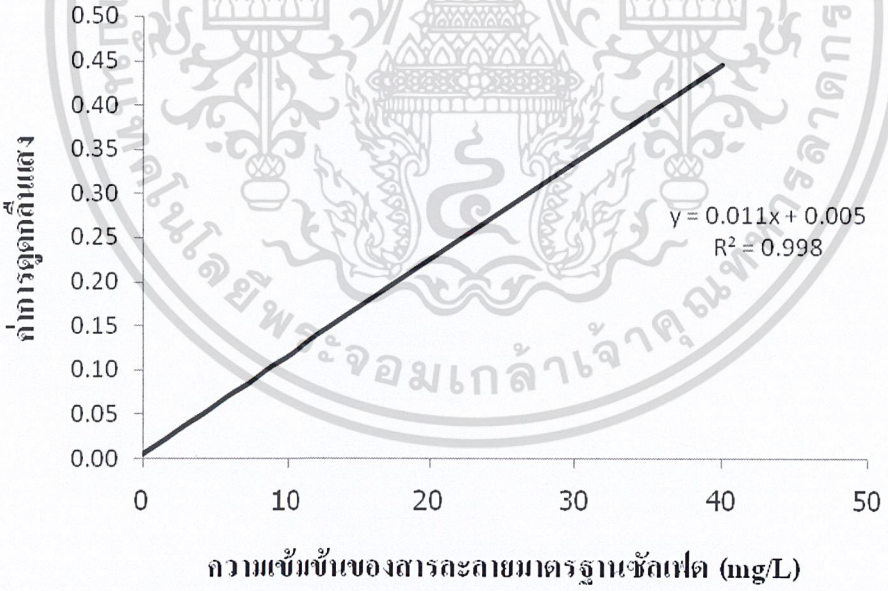
เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mg/L (ถ้ามากกว่า 40 mg/L ความแน่นอนของวิธีนี้จะลดลง) โดยการปิเปต 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 mL ของสารละลายซัลเฟตที่เตรียมไว้ใส่ขวดรูปชมพู่แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรแต่ละขวดเป็น 100 mL และทำทุกอย่างเหมือนตัวอย่าง ให้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้ของ standard curve โดยทำ standard ทุกๆ 4 ตัวอย่าง

4. การวัดค่าปริมาณซัลเฟตในตัวอย่าง:

โดยการทำแบลงค์เหมือนตัวอย่าง แต่ไม่ต้องเติม $BaCl_2$

ถ้าใช้สารละลายบัฟเฟอร์ A ให้หาความเข้มข้นของซัลเฟตโดยตรงจาก calibration curve ภายหลังจากลบค่า absorbance ของตัวอย่างก่อนเติม $BaCl_2$ (sample blank) ออก

ถ้าใช้สารละลายบัฟเฟอร์ B ให้หักค่าความเข้มข้นซัลเฟตของแบลงค์ออกจากความเข้มข้นของซัลเฟตที่ใช้ข้างบน เพราะ กราฟมาตรฐานจะไม่เป็นเส้นตรง จึงไม่สมมูลย์กับการลบค่า absorbance ของแบลงค์ออกจากค่า absorbance ของตัวอย่าง กราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟตดังรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 กราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

หลังจากที่ได้กราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟตสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์ได้โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอนแทนค่าในสมการ Y = 0.011x ก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างวันที่ 08/06/2009; ค่าการดูดกลืนแสง = 0.366

จากสมการ y = 0.011x

แทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการได้ 0.366 = 0.011x

x = 30.55 mg/L

ดังนั้นจะมีปริมาณ SO_4^{2-} =30.55 mg/L

จาก SO_4^{2-} 96 mg มี S 32 mg

SO_4^{2-} 30.55 mg มี S = (32 mg × 30.55 mg)/96 mg = 10.18 mg

ดังนั้นมีปริมาณ S 10.18 mgในสารละลาย SO_4^{2-} 1 L. จากการวิเคราะห์ใช้สารละลายตัวอย่าง 100mLจะได้ว่า

สารละลาย SO_4^{2-} 1000 mL มี S = 10.18 mg

ถ้าสารละลาย SO_4^{2-} 100 mL มี S = (10.18 mg×100 mL)/1000 mL = 1.018 mg/สลล.SO_4^{2-}100 mL

จากการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างเจือจาง 10 เท่า ดังนั้นมีปริมาณ S เท่ากับ 10.18mg/สลล.SO_4^{2-} 100 mL

น้ำหนักตะกอนที่ยังไม่ได้หักลบความชื้นเท่ากับ 1.0058 g

น้ำหนักตะกอนแห้งหาได้จาก; เนื่องจากกากตะกอนวันที่ 08/06/09 มีค่าความชื้น 5.43 %

น้ำหนักตะกอนเปียก 100 g มีความชื้น 5.43g

แสดงว่า 1.0058g มีความชื้นเท่ากับ

1.0058g×(5.43/100) = 0.0546g

กากตะกอนมีน้ำหนักแห้ง = 1.0058-0.0555 = 0.9515 g

∴ กากตะกอน1.0023 g มีตะกอนแห้ง = 0.9515 g

ปริมาณ S 10.18 mg/สลล.SO_4^{2-}100 mLหรือ 10.18 mg/0.9515 g กากตะกอนตัวอย่าง

ปริมาณ S ต่อ 1 kg = (10.18 mg×1000 g)/0.9515 g = 10,698.89 mg/kg หรือ 10.69 g/kg

ดังนั้น %S = [(10.69 g/kg)×(1 kg/1000g)]×100 = 1.07%

ดังนั้นสารตัวอย่างวันที่ 08/06/09 มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 1.07%

ในการคำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ ปริมาณซัลเฟอร์(%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.95%

การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนทางด้านเชื้อเพลิง

1. การหาปริมาณความชื้น (Moiseture content)

การวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างอบในตู้ที่มีความร้อนคงที่ใน Drying Oven ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 °C เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ: ตู้อบ (Drying Oven), เครื่องดูดความชื้น (Descitors), ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ:

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิในช่วง 104-110 °C ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 0.1 g ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบและปิดฝา ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในถ้วยดูดความชื้น ชั่งหาน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ:

$$\text{ปริมาณความชื้น}(\%) = \left[\frac{(A-B)}{C}\right]\times 100 \qquad \text{(ก-1)}$$

A = น้ำหนักกากตะกอนและครูซิเบิลก่อนอบ (g)

B = น้ำหนักกากตะกอนและครูซิเบิลหลังอบ (g)

C = น้ำหนักกากตะกอนที่ชั่ง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

กากตะกอนวันที่ 8/6/2009 ครั้งที่1

ปริมาณความชื้น(%) = [(34.9192-34.9133)/0.1073]×100

= 5.50%

ในการคำนวณหาปริมาณความชื้น(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณความชื้น(%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.43%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 200 °C เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700 -750 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเท่าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังที่เผาแล้ว

เครื่องมือ: เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ:

1. เผาถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700 - 750 °C ประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 0.1 g. ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1.
3. นำเข้าเตาพร้อมฝาเผาที่อุณหภูมิ 200 °C นานประมาณ 30 นาทีแล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 – 750 °C เผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณเถ้า}(\%) = \left[\frac{(A-B)}{D}\right]\times 100 \qquad \text{(ก-2)}$$

A = น้ำหนักกากตะกอนและครูซิเบิลก่อนอบ (g)

C = น้ำหนักกากตะกอนที่ชั่ง (g)

D = น้ำหนักครูซิเบิล (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างกากตะกอนวันที่ 8/6/2009 ครั้งที่1

ปริมาณเถ้า(%) = [(34.8502-34.8119)/0.1014]×100

= 37.77%

ในการคำนวณหาปริมาณเถ้า(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณปริมาณเถ้า(%)เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 36.06%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ:

1. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 0.1 g ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาพร้อมปิดฝาละนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C นาน 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณสารระเหย}(\%) = \left[\frac{(A-B)}{C}\right]\times 100 \qquad \text{(ก-3)}$$

A = น้ำหนักกากตะกอนและครูซิเบิลก่อนเผา (g)

B = น้ำหนักกากตะกอนและครูซิเบิลหลังเผา (g)

C = น้ำหนักกากตะกอนที่ชั่ง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างกากตะกอนวันที่ 8/6/2009 ครั้งที่1

ปริมาณสารระเหย(%) = [(34.8502-34.8481)/0.0383]×100

= 5.48%

ในการคำนวณหาปริมาณสารระเหย(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณสารระเหย(%) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.52%

4. การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัว สามารถหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว(%) = 100 - (%ความชื้น + %ปริมาณเถ้า + %ปริมาณสารระเหย) (ก-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างกากตะกอนวันที่ 8/6/2009 ครั้งที่1

ปริมาณความชื้น(%) = 5.50%

ปริมาณเถ้า(%) = 37.77%

ปริมาณสารระเหย(%) = 5.48%

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100 - (5.50 + 37.77 + 5.48)

= 51.25%

ในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว(%) ทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณปริมาณคาร์บอนคงตัว(%)เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 52.99%

5. การหาค่าความร้อน (Heating value)

ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างของสารเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัวบอมบ์ที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากพอ

เครื่องมือ: เครื่องบอมบ์แคลลอริมิเตอร์, ถังออกซิเจน, ลวด, ด้าย, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการหาค่า Water Equivalent ของบอมบ์แคลลอริมิเตอร์:

1. ชั่งน้ำหนักของ Benzoic acid คร่าวๆ 1-2g แล้วนำไปอัดเม็ดกับลวด Firing cotton ยาว 12 cm จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักไปใช้ในการคำนวณ (ละเอียด 0.0001g)

2. ต่อ Firing wire เข้ากับขั้วอิเลคโทรดทั้ง 2 ข้างแล้วล็อคให้แน่นจากนั้นนำปลาย Firing cotton ผูกกับ Firing wire

3. ปิเปตน้ำกลั่น2 mL ลงใน Oxygen bomp

4. นำ Ignition Terminal วางลงใน Bomp ปิดฝาให้แน่นเติมOxygen ความดัน 30 bar

5. เติมน้ำลงใน Vessel โดยชั่งน้ำหนักของ Vessel + น้ำ = 3 kg นำ Oxygen bomp ใส่ลงใน Vessel และนำไปตั้งในเครื่องให้แกนข้าง Vessel ลงในล็อคพอดี

6. ปรับค่าอุณหภูมิของน้ำใน Water jacket ให้ใกล้เคียง Vessel แตกต่างกันไม่เกิน 0.5 °C โดยปรับปุ่ม Balance จากแผง Control ด้านหน้าเครื่อง

7. กด Firing plug เพื่อต่อเข้ากับ Electrod socket บน Oxygen bomp กดปุ่ม Test ทดสอบโดยไฟปุ่ม Test จะติด

8. รอจนอุณหภูมิใน Water vessel คงที่จึงกดปุ่มจุดระเบิดการเผาไหม้ บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น และรออุณหภูมิของการเผาไหม้ให้ได้ค่าสูงสุด บันทึกอุณหภูมิสุดท้าย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. นำ Oxygen bomp ออกจาก Vessel แล้วค่อยๆเอาก๊าซใน Oxygen bomp ออกจนหมด ล้างภายใน Oxygen bomp ด้วยน้ำกลั่น 10 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL แล้วนำไปอุ่นไล่ก๊าซประมาณ 5 นาที

10. นำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein indicator บันทึกปริมาตรสารละลายเพื่อหาค่า Acid value

11.วัดความยาวของลวด Firing wire ที่ใช้ในการเผาไหม้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Water Equation:

$$W = \frac{(GC + \sum R)}{\Delta T} \qquad \text{(ก-5)}$$

โดย W = ค่า Water Equation

G_B = น้ำหนักของกรดเบนโซอิกที่ชั่งมา (g)

C_P = ค่าความจุความร้อนของกรดเบนโซอิก (6,318 cal/g.°C)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ (°C) (T_f-T_i)

$\sum R$ = (12.6L+1.43V)

L = ความยาวของลวดนิกเกิลโครเมียมที่ถูกเผาไหม้ (cm)

V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1N ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

วิธีการหาค่าความร้อนของกากตะกอน:

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความร้อนของกากตะกอน เหมือนกับการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของ Benzoic acid เพียงแต่เปลี่ยนจาก Benzoic acid เป็นตัวอย่างเท่านั้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Water Equation:

$$Q = W\Delta T - \sum R/G_S \qquad \text{(ก-6)}$$

Q = ค่าความร้อนของตัวอย่าง (cal/g)

G_S= น้ำหนักตัวอย่างกากตะกอน (g)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1N

เตรียมสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1N โดยชั่ง NaOH มาตรฐานมา 2.0000g นำไปละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mLปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจากนั้นหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1N ด้วย HCl 0.1N ปริมาตร 20 mL และใช้ฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ได้ผลดังตาราง ที่ ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (mL)

ครั้งที่	ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	0.00	20.33	20.33
2	20.33	40.66	20.33
3	0.00	20.32	20.32
		เฉลี่ย	20.33

∴ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH หาได้จาก

$$(0.10)(20.00) = C_{NaOH}(20.33)$$

$$C_{NaOH} = 0.0984\ N$$

ตัวอย่างการคำนวณของกรดเบนโซอิกครั้งที่ 1

น้ำหนักกรดเบนโซอิกที่ชั่งมา = 1.1690 g

C_p = 6,318 cal/g.°C ; T_f = 30.45°C ; T_i = 27.66°C

$\Delta T = T_f - T_i = 30.45 - 27.66 = 2.79°C$

L = 5.9 cm; V = 1.32 mL

$\sum R = (12.6 \times 5.9) + (1.43 \times 1.32) = 3.15$

∴ ค่า W = [(1.169g) x (6,318 cal/g.°C)+(3.15)]/2.79°C

W = 2,648 cal/g

จากการทดลองหาค่า Water Equation (W) 5 ค่าดังต่อไปตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่า W (cal/g)

ครั้งที่	W(cal/g)
1	2648
2	2837
3	2478
4	2428
5	2232
ค่าเฉลี่ย	2525

เมื่อได้ค่า W (cal/g) เฉลี่ยจากสารมาตรฐานกรดเบนโซอิกทั้ง 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยไปคำนวณหาปริมาณความร้อนของกากตะกอนได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$Q = (W\Delta T - \sum R)/G_s \qquad (ก\text{-}7)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนของกากตะกอน

ตัวอย่างวันที่ 08/06/2009

G_s = 1.0898 g; T_f = 31.29°C; T_i = 29.83 °C

$\Delta T = T_f - T_i$ = 31.29-29.83 = 1.46 °C

ลวดนิกเกิลโครเมียมที่ถูกเผาไหม้เท่ากับ 0.1 cm

ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1N ที่ใช้ 10.16 mL

$\therefore \sum R = (12.6\times0.1+1.43\times10.16) = 15.79$

Q_5 = [(2525.2027 cal/g)(1.46°C)- (15.79)]/1.0898 g

Q_5 = 3,368 cal

จาก 1 cal = 4.183 J/g

∴ 3,368 cal มีค่าเท่ากับ (3,368.5112 cal×4.183 J/g) = 13.9029 kJ/g = 13,902.9 kJ/kg.

ในการคำนวณหาค่าความร้อนทั้ง 3 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ปริมาณปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 14,046.2kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1. การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3038 เพื่อหาความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่จะมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน วิธีการทดสอบทำโดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 300 g แล้วปล่อยจากที่สูง 1.8 m ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำๆกัน 3 ครั้ง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 19 mm นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) หรือดัชนีการแตกละเอียด (Shatter Index) ได้จาก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$W_e = \frac{W_i}{W_f} \qquad \text{(ก-8)}$$

W_i = น้ำหนักแท่งเชื้อเพลิงเริ่มต้น (g)

W_f = น้ำหนักแท่งเชื้อเพลิงหลังจากทดลอง (g)

W_e = ดัชนีแตกร่วน

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราส่วนแท่งเชื้อเพลิง 1:0

$W_e = 315.66/308.43 = 1.02$

ในการคำนวณหาค่าดัชนีแตกร่วนทั้ง 2 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ค่าดัชนีแตกร่วนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.02

2. การทดสอบค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัด โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30 mL แล้วนำมาขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายให้เรียบ จากนั้นนำไปวางแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ค่าการทนแรงอัด เป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้ จากการทดลองแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ ทำการทดลองโดยการวัดค่าทนแรงอัดทั้ง 2 แบบ คือ การทนแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณค่าทนแรงอัด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าทนแรงอัด :

$$\sigma_C = \frac{F}{A} \qquad \text{(ก-9)}$$

$$A = (\frac{\pi(D_1)^2}{4}) - (\frac{\pi(D_2)^2}{4}) \qquad \text{(ก-10)}$$

$$A_2 = (\frac{\pi D_1}{2}) \times L \qquad \text{(ก-11)}$$

เมื่อ σ_C = การทนแรงอัดของแท่งเชื้อ (kg/cm^2)

F = แรงที่กดอัดลงในแท่งเชื้อเพลิง (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (cm^2)

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิงแนวตั้ง (cm^2)

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิงแนวตั้ง (cm^2)

L = ความยาวของแท่งเชื้อเพลิง (cm)

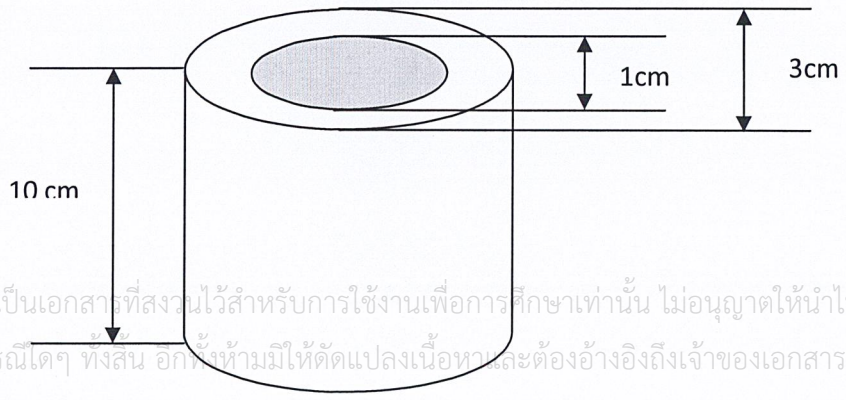
D_1 =เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิง (cm)

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูแท่งเชื้อเพลิง (cm)

2.1 การทนแรงอัดในแนวตั้ง

คำนวณน้ำหนักของเครื่อง Tensile ที่กดอัดแท่งเชื้อเพลิงในแนวตั้ง สามารถคำนวณได้จาก สมการ (ก-9) โดยสามารถหาพื้นที่หน้าตัดจาก

พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิงในแนวตั้งหาได้จาก เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิงจากสูตร (ก-10)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A = (\P D_1^2/4) - (\P D_2^2/4)$; $D_1 = 3$ cm.

$D_2 = 1$ cm.

$A = \P(3)^2/4 - \P(1)^2/4$

$A = 7.068 - 0.7853$

$A = 6.28$ cm²

2.2 การทนแรงอัดในแนวนอน

คำนวณได้จากสมการ (ก-9) เช่นกันและสามารถคำนวณพื้นที่ผิวในแนวนอนจากสมการ (ก-11)

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราส่วนแท่งเชื้อเพลิง 1:0

แรงกดอัดในแนวตั้ง = 42.82 kg / 6.28 cm²

= 6.82 kg / cm²

ในการคำนวณหาค่าการทนแรงอัดในแนวตั้งทั้ง 2 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ค่าการทนแรงอัดในแนวตั้งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.25 kg/cm^2

แรงกดอัดในแนวนอน หาได้จาก

เส้นผ่านศูนย์กลาง = 3 cm; r = 1.5 cm; L = 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง = 6 cm

ดังนั้น พื้นที่ผิวทรงกระบอกหาได้จากสมการ (ก-10) = (¶× (3.0 cm)/2) ×6cm = 56.55 cm^2

แรงกดอัดในแนวนอน = 7.93 kg /56.55 cm^2

= 0.14 kg/ cm^2

ในการคำนวณหาค่าการทนแรงอัดในแนวนอนทั้ง 2 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

∴ ค่าการทนแรงอัดในแนวนอนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.16 kg/cm^2

3. ค่าความร้อนทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง (ศึกษาทางกายภาพโดยการต้มน้ำ)

การวิเคราะห์ค่าความร้อนทางกายภาพเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนจำนวน 7 อัตราส่วน โดยนำไปต้มน้ำปริมาตร 200 mL ในหม้อสแตนเลสสตีล 304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะพิจารณาปริมาณความร้อนที่น้ำและหม้อสแตนเลสได้รับ ซึ่งจะไม่ควบคุมความชื้นของอากาศ ที่อุณหภูมิของห้องและควบคุมลม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เตาอั้งโล่
4. หม้อสแตนเลสสตีล 304พร้อมฝาปิด
5. จุกยาง
6. ขาตั้งพร้อมที่จับ
7. บีกเกอร์และกระบอกตวง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนหนักประมาณ 200.00 กรัม เพื่อนำไปทดสอบค่าความร้อน
2. นำแท่งเชื้อเพลิงไปชุบน้ำมันเบนซินปริมาตร 20 mL
3. นำแท่งเชื้อเพลิงมาเรียงในเตาอั้งโล่แล้วจุดไฟโดยปล่อยในแท่งเชื้อเพลิงไหม้นาน 1 นาที
4. หม้อสแตนเลสสตีลที่ใส่น้ำปริมาตร 200 mL วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำโดยควบคุมให้อยู่ในช่วง 28-32 °C พร้อมทั้งปิดฝาแล้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์ไว้โดยให้ส่วนของกระเปราะจุ่มลงไปในน้ำแล้วไม่ติดกับก้นของหม้อ
5. บันทึกอุณหภูมิของหม้อทุกๆ 2 นาที เมื่อน้ำในหม้อเดือด (95°C) ให้เปลี่ยนหม้อใหม่จนกว่าอุณหภูมิจะคงที่

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$Q' = M_l C_p' \Delta T' \qquad \text{(ก-12)}$$

$$Q = (M_l C_p \Delta T) + (M_l C_p' \Delta T') \qquad \text{(ก-13)}$$

Q = ค่าความร้อนที่ได้จากแท่งเชื้อเพลิง (kJ/kg)

Q' = ค่าความร้อนที่ได้จากหม้อสแตนเลสสตีล 304 (kJ/kg)

M_l = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการต้ม (kg)

M_2 = น้ำหนักเฉลี่ยของหม้อสแตนเลส (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_p = ค่าจุความร้อนของน้ำ (4.186 kJ/kg.ºC)

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

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำในหม้อ (ºC)

$\Delta T'$ = ผลต่างของอุณหภูมิของหม้อสแตนเลส 304 (ºC)

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราส่วนแท่งเชื้อเพลิง 1:0

$Q = [(0.2kg \times 4.186kJ/kg.°C \times 68°C) + (0.2\ kg \times 4.186\ kJ/kg.°C \times 21°C)] + (0.2\ kg \times 0.5$

$kJ/kg.°C \times 304°C) = 408.09\ kJ/kg$

ในการคำนวณหาค่าความร้อนทางกายภาพ ทั้ง 2 ครั้งสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน

$\therefore$ ค่าความร้อนทางกายภาพ เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 405.60kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองหาปริมาณแคดเมียม (Cd^{2+})

ตัวอย่างวันที่	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณความชื้น(%)	น้ำหนักกากตะกอน(g)	น้ำหนักกากตะกอน - ความชื้น(g)	ความเข้มข้นของ Cd^{2+}(mg/L)	ความเข้มข้น Cd^{2+}ในกากตะกอน(mg/kg)	เฉลี่ย	SD
08/06/2009	1	0.194	5.43	1.0023	0.9479	0.6847	72.2353	71.97	0.73
	2	0.191	5.43	1.0021	0.9477	0.6742	71.1417		
	3	0.195	5.43	1.0030	0.9485	0.6880	72.5327		
12/06/2009	1	0.248	4.97	1.0045	0.9546	0.8745	91.6113	92.16	2.05
	2	0.254	4.97	1.0003	0.9506	0.8976	94.4261		
	3	0.244	4.97	1.0011	0.9513	0.8603	90.4298		
26/06/2009	1	0.211	3.83	1.0041	0.9656	0.7433	76.9746	77.43	0.41
	2	0.213	3.83	1.0032	0.9648	0.7503	77.7692		
	3	0.212	3.83	1.0012	0.9629	0.7467	77.5507		
06/07/2009	1	0.243	3.87	1.0060	0.9671	0.8587	88.7942	89.34	0.72
	2	0.246	3.87	1.0010	0.9623	0.8675	90.1522		
	3	0.243	3.87	1.0004	0.9617	0.8566	89.0729		
24/07/2009	1	0.236	3.45	1.0007	0.9662	0.8322	86.1334	85.92	1.15
	2	0.236	3.45	1.0203	0.9851	0.8342	84.6818		
	3	0.238	3.45	1.0005	0.9660	0.8400	86.9581		

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองหาปริมาณปรอท (Hg)

ตัวอย่างวันที่	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณความชื้น(%)	น้ำหนักกากตะกอน (g)	น้ำหนักกากตะกอน - ความชื้น(g)	ความเข้มข้นของ Hg^{2+} (mg/L)	ความเข้มข้น Hg^{2+}ในกากตะกอน(mg/kg)	เฉลี่ย	SD
08/06/2009	1	0.000	5.43	1.0023	0.9479	0.000	0.0000	0.00	0.00
	2	0.000	5.43	1.0021	0.9477	0.000	0.0000		
	3	0.000	5.43	1.003	0.9485	0.000	0.0000		
12/06/2009	1	0.000	4.97	1.0045	0.9546	0.000	0.0000	0.00	0.00
	2	0.000	4.97	1.0003	0.9506	0.000	0.0000		
	3	0.000	4.97	1.0011	0.9513	0.000	0.0000		
26/06/2009	1	0.000	3.83	1.0041	0.9656	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	2	0.000	3.83	1.0032	0.9648	0.0000	0.0000		
	3	0.000	3.83	1.0012	0.9629	0.0000	0.0000		
06/07/2009	1	0.000	3.87	1.0060	0.9671	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	2	0.000	3.87	1.0010	0.9623	0.0000	0.0000		
	3	0.000	3.87	1.0004	0.9617	0.0000	0.0000		
24/07/2009	1	0.000	3.45	1.0007	0.9662	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	2	0.000	3.45	1.0203	0.9851	0.0000	0.0000		
	3	0.000	3.45	1.0005	0.9660	0.0000	0.0000		

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองหาปริมาณตะกั่ว (Pb^{2+})

ตัวอย่างวันที่	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณความชื้น(%)	น้ำหนักกากตะกอน(g)	น้ำหนักกากตะกอนที่ -ความชื้น (g)	ความเข้มข้นของ Pb^{2+}(mg/L)	ความเข้มข้น Pb^{2+}ในกากตะกอน(mg/kg)	เฉลี่ย	SD
08/06/2009	1	0.315	5.43	1.0023	0.9479	7.3578	776.2579	764.98	10.24
	2	0.309	5.43	1.0021	0.9477	7.2252	762.4206		
	3	0.307	5.43	1.003	0.9485	7.1734	756.2753		
12/08/2009	1	0.393	4.97	1.0045	0.9546	9.2008	963.8621	965.15	4.52
	2	0.394	4.97	1.0003	0.9506	9.2223	970.1709		
	3	0.391	4.97	1.0011	0.9513	9.1463	961.4069		
26/06/2009	1	0.279	3.83	1.0041	0.9656	6.5342	676.6683	682.26	13.73
	2	0.288	3.83	1.0032	0.9648	6.7332	697.9019		
	3	0.277	3.83	1.0012	0.9629	6.4723	672.1995		
06/07/2009	1	0.323	3.87	1.006	0.9671	7.5482	780.5244	777.91	3.44
	2	0.318	3.87	1.001	0.9623	7.4480	774.0101		
	3	0.320	3.87	1.0004	0.9617	7.4934	779.1952		
24/07/2009	1	0.338	3.45	1.0007	0.9662	7.8994	817.5944	813.59	12.60
	2	0.337	3.45	1.0203	0.9851	7.8756	799.4724		
	3	0.340	3.45	1.0005	0.9660	7.9567	823.6897		

ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองหาปริมาณอาร์เซนิก (As^{3+})

ตัวอย่างวันที่	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักกากตะกอน(g)	น้ำหนักกากตะกอน - ความชื้น(g)	ความเข้มข้นของ As^{3+}(mg/L)	ความเข้มข้น As^{3+}ในกากตะกอน(mg/kg)	เฉลี่ย	SD
08/06/2009	1	0.132	5.43	1.0023	0.9479	0.0058	0.6119	0.60	0.01
	2	0.130	5.43	1.0021	0.9477	0.0057	0.6015		
	3	0.127	5.43	1.003	0.9485	0.0056	0.5904		
12/06/2009	1	0.191	4.97	1.0045	0.9546	0.0084	0.8800	0.87	0.01
	2	0.189	4.97	1.0003	0.9506	0.0083	0.8731		
	3	0.186	4.97	1.0011	0.9513	0.0082	0.8619		
26/06/2009	1	0.123	3.83	1.0041	0.9656	0.0054	0.5592	0.59	0.03
	2	0.136	3.83	1.0032	0.9648	0.006	0.6219		
	3	0.132	3.83	1.0012	0.9629	0.0058	0.6024		
06/07/2009	1	0.168	3.87	1.006	0.9671	0.0074	0.7652	0.76	0.01
	2	0.166	3.87	1.001	0.9623	0.0073	0.7586		
	3	0.164	3.87	1.0004	0.9617	0.0072	0.7487		
24/07/2009	1	0.168	3.45	1.0007	0.9662	0.0074	0.7659	0.78	0.02
	2	0.173	3.45	1.0203	0.9851	0.0076	0.7715		
	3	0.175	3.45	1.0005	0.9660	0.0077	0.7971		

ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองหาปริมาณซัลเฟอร์ (%)

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง				ปริมาณซัลเฟอร์(mg/L)	น้ำหนักกากตะกอน (g)	น้ำหนักกากตะกอน - ความชื้น (g)	ปริมาณซัลเฟอร์ (%)	ค่าเฉลี่ย	SD
ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง - ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank	ปริมาณซัลเฟต (mg/L)						
Blank	0.005	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
08/06/2009	0.341	0.336	30.55	10.18	1.0058	0.9525	1.07	0.95	0.23
	0.354	0.349	31.73	10.58	1.0174	0.9635	1.10		
	0.219	0.214	19.45	6.48	1.0099	0.9564	0.68		
12/06/2009	0.236	0.231	21.00	7.00	1.0236	0.9740	0.72	0.76	0.07
	0.229	0.224	20.36	6.79	1.0022	0.9536	0.71		
	0.271	0.266	24.18	8.06	1.0132	0.9641	0.84		
26/06/2009	0.399	0.394	35.82	11.94	1.0077	0.9691	1.23	1.22	0.10
	0.366	0.361	32.82	10.94	1.0232	0.9840	1.11		
	0.434	0.429	39.00	13.00	1.0314	0.9919	1.31		
06/07/2009	0.309	0.304	27.64	9.21	1.0798	1.0380	0.89	1.05	0.16
	0.351	0.346	31.45	10.48	1.0100	0.9709	1.08		
	0.421	0.416	37.82	12.61	1.0962	1.0538	1.20		
24/07/2009	0.39	0.385	35.00	11.67	1.0017	0.9669	1.21	0.90	0.29
	0.227	0.222	20.18	6.73	1.0860	1.0483	0.64		
	0.285	0.280	25.45	8.48	1.0488	1.0124	0.84		

ตารางที่ ข-6 ผลการทดลองหาปริมาณสารระเหย (%)

ตัวอย่างวันที่	ครูซิเบิล หมายเลข	นน.ครูซิเบิล (g)	นน.ตะกอน (g)	นน.ตะกอน+ครูซิเบิล(g)	น้ำหนักตะกอน+ครูซิเบิลหลังอบ (g)*								% Valatile	Average**
					ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่7	ครั้งที่8		
08/06/2009	1	34.8119	0.0383	34.8502	34.8487	34.8481	34.8481	34.8481	34.8481	34.8481	34.8481	34.8481	5.48	5.51
	2	33.0868	0.0362	33.1230	33.1221	33.1220	33.1219	33.1216	33.1211	33.1211	33.1210	33.1210	5.52	
	3	32.0054	0.0361	32.0415	32.0410	32.0405	32.0402	32.0399	32.0398	32.0395	32.0395	32.0395	5.54	
12/06/2009	4	33.1281	0.0357	33.1638	33.1623	33.1620	33.1618	33.6000	33.1595	33.1595	33.1595	33.1595	12.04	11.73
	5	31.2341	0.0359	31.2700	31.2666	31.2666	31.2667	31.2664	31.2660	31.2659	31.2659	31.2659	11.42	
	6	29.3356	0.0324	29.3680	29.3646	29.3645	29.3642	29.3642	29.3642	29.3642	29.3642	29.3642	11.73	
26/06/2009	7	30.6109	0.0263	30.6372	30.6374	30.6374	30.6370	30.6367	30.6360	30.6360	30.6360	30.6360	4.56	4.32
	8	30.8821	0.0294	30.9115	30.9102	30.9104	30.9102	30.9102	30.9103	30.9103	30.9103	30.9103	4.08	
	9	32.0145	0.0000	32.0145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/07/2009	10	32.0145	0.0372	32.0517	32.0500	32.0502	32.0498	32.0498	32.0498	32.0498	32.0498	32.0498	5.11	4.47
	11	30.6296	0.0378	30.6674	30.6665	30.6656	30.6658	30.6658	30.6658	30.6658	30.6658	30.6658	4.23	
	12	29.2511	0.0369	29.2880	29.2869	29.2867	29.2865	29.2865	29.2865	29.2865	29.2865	29.2865	4.07	
24/07/2009	13	29.2511	0.0332	29.2843	29.2829	29.2824	29.2827	29.2827	29.2827	29.2827	29.2827	29.2827	4.82	4.96
	14	33.0961	0.0341	33.1302	33.1295	33.1290	33.1285	33.1285	33.1285	33.1285	33.1285	33.1285	4.99	
	15	33.0961	0.0334	33.1295	33.1286	33.1284	33.1280	33.1278	33.1278	33.1278	33.1278	33.1278	5.09	

หมายเหตุ ; *ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่, **เป็นค่าที่ใช้รายงานผลของตัวอย่างแต่ละวัน

ตารางที่ ข-7 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้น (%)

ตัวอย่างวันที่	ครูซิเบิล หมายเลข	น้ำหนักครูซิเบิล(g)	น้ำหนักกากตะกอน(g)	น้ำหนักครูซิเบิล+กากตะกอนก่อนอบ (g)	น้ำหนักครูซิเบิล+กากตะกอนหลังอบ (g)*							ค่าความชื้น (%)	Average**
					ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่6		
08/06/2009	1	34.8119	0.1073	34.9192	34.9138	34.9132	34.9133	34.9133	34.9133	34.9133	34.9133	5.50	5.43
	2	33.0868	0.1052	33.1920	33.1876	33.1872	33.1869	33.1864	33.1865	33.1863	33.1862	5.51	
	3	32.0054	0.1003	32.1057	32.0938	32.0927	32.1014	32.1010	32.1008	32.1004	32.1004	5.28	
12/06/2009	4	31.0475	0.1105	31.1580	31.1549	31.1529	31.1528	31.1525	31.1526	31.1527	31.1525	4.98	4.97
	5	32.1076	0.1182	32.2258	32.2236	32.2226	32.2235	32.2204	32.2200	32.2199	32.2198	5.08	
	6	29.3356	0.1007	29.4363	29.4333	29.4328	29.4324	29.4318	29.4314	29.4314	29.4314	4.87	
26/06/2009	7	30.6109	0.1013	30.7122	30.7090	30.7088	30.7082	30.7082	30.7083	30.7082	30.7081	4.05	3.83
	8	30.8821	0.1010	30.9831	30.9796	30.9791	30.9793	30.9793	30.9792	30.9791	30.9793	3.76	
	9	32.0145	0.1002	32.1147	32.1130	32.1120	32.1115	32.1110	32.1110	32.1110	32.1110	3.69	
06/07/2009	10	32.0145	0.1046	32.1191	32.1146	32.1152	32.1152	32.1153	32.1152	32.1154	32.1153	3.63	3.87
	11	30.6296	0.1026	30.7322	30.7280	30.7282	30.7280	30.7281	30.7282	30.7280	30.7281	4.00	
	12	29.2511	0.1002	29.3513	29.3484	29.3482	29.3478	29.3472	29.3474	29.3473	29.3473	3.99	
24/07/2009	13	29.2511	0.1018	29.3529	29.3486	29.3493	29.3494	29.3494	29.3494	29.3494	29.3494	3.44	3.45
	14	33.0961	0.1011	33.1972	33.1943	33.1939	33.1936	33.1936	33.1937	33.1936	33.1937	3.46	
	15	33.0961	0.1013	33.1974	33.1944	33.0942	33.0940	33.1939	33.1939	33.1939	33.1939	3.46	

หมายเหตุ ; *ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่, **เป็นค่าที่ใช้รายงานผลของตัวอย่างแต่ละวัน

ตารางที่ ข-8 ผลการทดลองหาปริมาณเถ้า (%)

ตัวอย่าง วันที่	ครูซิเบิล หมายเลข	นน.ครูซิเบิล (g)	นน. ตะกอน (g)	นน. ตะกอนหัก ความชื้น (g)	น้ำหนักขี้เถ้า+ครูซิเบิลหลังอบ (g)*								% Ash	น้ำหนัก กาก ตะกอน ที่เหลือ	Average** (%Ash)
					ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่7	ครั้งที่8			
08/06/2009	1	34.8119	0.1014	34.9133	34.8503	34.8505	34.8501	34.8502	34.8502	34.8502	34.8502	34.8502	37.7712	0.0383	36.06
	2	33.0868	0.1052	33.192	33.1249	33.1245	33.124	33.1239	33.1235	33.123	33.123	33.123	34.4106	0.0362	
	3	32.0054	0.1003	32.1057	32.0508	32.05	32.0496	32.043	32.0427	32.0415	32.0416	32.0415	35.9920	0.0361	
12/06/2009	4	33.1281	0.1105	33.2386	33.1658	33.1654	33.1652	33.165	33.1643	33.1638	33.1638	33.1638	32.3077	0.0357	31.62
	5	31.2341	0.1182	31.3523	31.2368	31.2365	31.236	31.235	31.2349	31.2345	31.2346	31.27	30.3723	0.0359	
	6	29.3356	0.1007	29.4363	29.3695	29.3691	29.3688	29.3684	29.3683	29.368	29.3682	29.368	32.1748	0.0324	
26/06/2009	7	30.6109	0.1013	30.7122	30.6471	30.648	30.6472	30.6473	30.6372	30.6372	30.6372	30.6372	25.9625	0.0263	27.54
	8	30.8821	0.101	30.9831	30.9134	30.9125	30.9116	30.9115	30.9115	30.9115	30.9115	30.9115	29.1089	0.0294	
	9	32.0145	0.1002	32.1147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/07/2009	10	32.0145	0.1046	32.1191	32.053	32.0531	32.0517	32.052	32.0518	32.0517	32.0517	32.0517	35.5641	0.0372	36.41
	11	30.6296	0.1026	30.7322	30.6679	30.6674	30.667	30.6674	30.6673	30.6674	30.6674	30.6674	36.8421	0.0378	
	12	29.2511	0.1002	29.3513	29.2895	29.2893	29.2892	29.2893	29.2893	29.2889	29.288	29.288	36.8263	0.0369	
24/07/2009	13	29.2511	0.1018	29.3529	29.2849	29.2851	29.2843	29.2842	29.2843	29.2843	29.2843	29.2843	32.6130	0.0332	33.10
	14	33.0961	0.1011	33.1972	33.1317	33.1317	33.1315	33.1314	33.1311	33.1302	33.1302	33.1302	33.7290	0.0341	
	15	33.0961	0.1013	33.1974	33.2001	33.1789	33.1543	33.1299	33.1295	33.1295	33.1295	33.1295	32.9714	0.0334	

หมายเหตุ ; *ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่, **เป็นค่าที่ใช้รายงานผลของตัวอย่างแต่ละวัน

ตารางที่ ข-9 ผลการทดลองหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)

ตัวอย่างวันที่	% ความชื้น	% เถ้า	% สารระเหย	%คาร์บอนคงตัว	Average	SD
08/06/2009	5.50	37.77	5.48	51.25	52.99	1.66
	5.51	34.41	5.52	54.55		
	5.28	35.99	5.54	53.18		
12/06/2009	4.98	32.31	12.04	50.67	51.68	1.29
	5.08	30.37	11.42	53.13		
	4.87	32.17	11.73	51.23		
26/06/2009	4.05	25.96	4.56	65.43	64.24	1.68
	3.76	29.11	4.08	63.05		
	3.69	-	-	-		
06/07/2009	3.63	35.56	5.11	55.70	55.25	0.40
	4.00	36.84	4.23	54.93		
	3.99	36.83	4.07	55.12		
24/07/2009	3.44	32.61	4.82	59.13	58.48	0.65
	3.46	33.73	4.99	57.82		
	3.46	32.97	5.09	58.48		

ตารางที่ ข-10 ผลการทดลองหาปริมาณค่าความร้อนของกากตะกอน

ตัวอย่างวันที่	ค่าความร้อน (kJ/kg)				SD	ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
80/06/2009	13902.8653	13504.1695	14731.4366	14046.16	626.05	14046.16±626.05
12/06/2009	13184.7391	13551.3836	13105.2278	13280.45	237.98	13280.45±237.98
26/06/2009	13447.1129	13191.5914	13284.4491	13307.72	129.34	13307.72±129.34
06/07/2009	13870.6379	13928.6843	13597.3895	13798.9	176.91	13798.9±176.91
24/07/2009	13459.2682	16143.3419	15482.2487	15028.29	1398.44	15028.29±1398.44

ตารางที่ ข-11 ผลการทดลองดัชนีการแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิง (ASTM D3038)

อัตราส่วน	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			เฉลี่ย
	น้ำหนักเริ่มต้น(g)	น้ำหนักสุดท้าย(g)	ดัชนีการแตกร่วน	น้ำหนักเริ่มต้น (g)	น้ำหนักสุดท้าย(g)	ดัชนีการแตกร่วน	
1:0	315.66	308.43	1.02	312.14	302.21	1.03	1.02
1:0.5	312.43	307.82	1.01	305.21	300.12	1.02	1.01
1:1	311.17	305.69	1.02	311.43	308.98	1.01	1.01
1:1.5	301.92	290.94	1.04	299.87	293.34	1.02	1.03
1:2	307.05	296.67	1.04	302.11	290.01	1.04	1.04
1:2.5	301.62	287.71	1.05	312.03	290.11	1.07	1.06
1:3	307.88	285.94	1.08	301.23	276.76	1.09	1.09

ตารางที่ ข-12 ผลการทดลองการทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (ASTM D1621)

อัตราส่วน	ค่าการทนแรงอัด (kg/cm^2)							
	แนวตั้ง				แนวนอน			
	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:0	6.28	6.82	7.68	7.25	56.55	0.14	0.18	0.16
1:0.5	6.28	5.83	5.18	5.51	56.55	0.21	0.29	0.25
1:1	6.28	2.55	2.54	2.55	56.55	0.19	0.11	0.15
1:1.5	6.28	1.46	1.36	1.41	56.55	0.07	0.06	0.07
1:2	6.28	2.43	1.94	2.19	56.55	0.07	0.08	0.08
1:2.5	6.28	1.86	1.93	1.90	56.55	0.80	0.12	0.46
1:3	6.28	1.71	1.66	1.69	56.55	0.10	0.12	0.11

ตารางที่ ข-13 ผลการทดลองการหาค่าความร้อนทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง (ภาคผนวก ก)

อัตราส่วน	ค่าความร้อนทางกายภาพ (kJ/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:0	408.09	403.10	405.60
1:0.5	1804.33	1888.64	1846.49
1:1	1841.23	2104.70	1972.97
1:1.5	1991.71	2090.42	2041.07
1:2	2083.38	2092.30	2087.84
1:2.5	1916.80	1997.24	1957.02
1:3	2037.95	2151.43	2094.69