

เชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง



นายอรรถกร ฤกษ์วีรี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

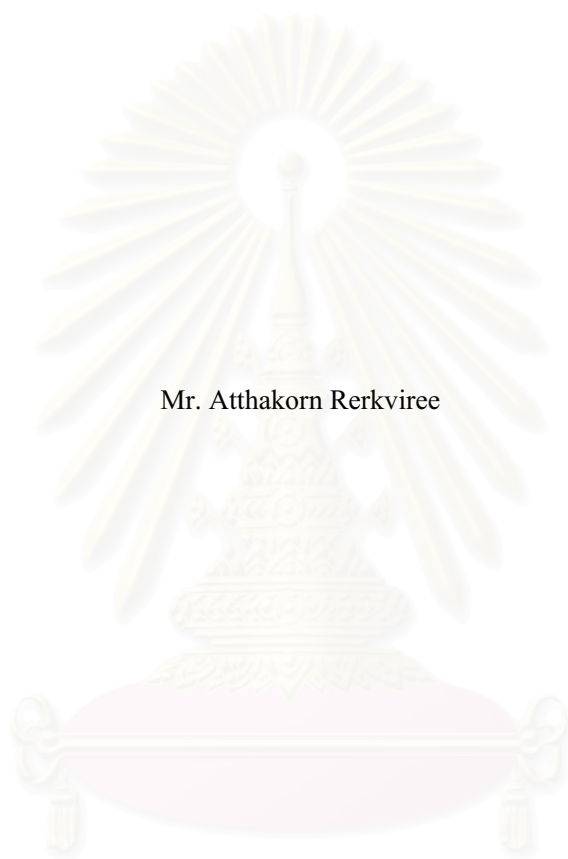
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOLID FUEL FROM COMPRESSED DRY MUNICIPAL WASTE



Mr. Atthakorn Rerkviree

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง

โดย

นายอรรถกร ฤกษ์วีรี

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ดิงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....
(นายรังสรรค์ ปิ่นทอง)

อรรถกร ฤกษ์วีรี : เชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง. (SOLID FUEL FROM COMPRESSED DRY MUNICIPAL WASTE) อ. ที่ปรึกษา: ร.ศ. ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 103 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำขยะมูลฝอยชุมชน 2 ประเภท ได้แก่ เศษกระดาษ และเศษไม้/ใบไม้ มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 5 อัตราส่วน คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% และ 5%:95% โดยน้ำหนัก และทำการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน เพื่อหาว่าอัตราส่วนใดให้ค่าปริมาณความร้อนสูงสุด จากผลการทดลองพบว่าการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงบางอัตราส่วนต้องมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในการอัดแท่งเข้าไปอีก และจากการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ได้พบว่า อัตราส่วนที่ให้ปริมาณค่าความร้อนสูงสุด คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 แคลอรีต่อกรัม (cal/g) สำหรับเชื้อเพลิงแห้ง และ 4,314.16 cal/g สำหรับถ่านเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับถ่านแกลบ หรือถ่านชานอ้อย เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... *อรรถกร ฤกษ์วีรี*.....

ปีการศึกษา..... 2549..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ทวีวงศ์ ศรีบุรี*.....

4689190020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: ENERGY FROM WASTE / MUNICIPALE WASTE / REFUSE-DERIVED FUEL (RDF) / SOLID RECOVERED FUELS (SRF)

ATTHAKORN RERKVIREE: SOLID FUEL FROM COMPRESSED DRY MUNICIPAL WASTE. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D., 103 pp.

This research is aimed at finding an appropriate way to make use of municipal waste in producing the solid compressed dry fuel. In the research, two types of municipal waste, paper scraps and wood chips/leaves, were mixed in 5 varied ratios of weight: 95%:5%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, and 5%:95%, respectively. The study revealed that it was not necessary to add the binder in compressing the fuel; however, more humidity was required for some ratios. According to the analysis of calorific value, the ratio 95%:5% produced the highest calorific value, approximately 3,518.06 cal/g for dry fuel and 4,314.16 cal/g for charcoal; so they could substitute rice straw, rice husk, or bagaase.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study..... Environmental Science..... Student's signature..... *Atthakorn Rerkviree*.....

Academic year 2006 Advisor's signature..... *T. Sriburi*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งช่วยปรับปรุง แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งประธาน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ รวมถึงข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษา วิเศษสุนน ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณทวีป พลเสน หัวหน้าศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงาน ธรรมชาติและเชื้อเพลิงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน คุณน้อย เรียงวงษ์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์ฯ ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือทั้งสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการอัดแท่งเชื้อเพลิง รวมถึงคำแนะนำในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ชัย ศรีบัว หัวหน้างานอาคาร สถานที่ และยานพาหนะ เจ้าหน้าที่ธุรการ และเจ้าหน้าที่งานอาคารฯ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชน

ขอขอบพระคุณคุณวุฒิพร ศรีเพ็ญประภา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ที่ให้ความเอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสาร และขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือต่างๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	3
2.1.1 แนวคิด.....	3
2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.2.1 เชื้อเพลิง.....	4
2.1.2.2 การเผาไหม้.....	6
2.1.2.3 ถ่าน.....	8
2.1.2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการวิจัย.....	14
3.1.1 วัสดุสำหรับการวิจัย.....	14
3.1.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.....	14
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	15
3.2.1 การเตรียมการวิจัย.....	15
3.2.2 การทำการวิจัย.....	15

	หน้า
3.2.2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	15
3.2.2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการอัดแท่ง.....	17
3.2.2.3 การอัดขยะมูลฝอยชุมชนเป็นแท่งเชื้อเพลิง.....	19
3.2.2.3.1 วิธีการอัดแท่ง.....	19
3.2.2.3.2 การตากแห้ง.....	20
3.2.2.3.3 การเผาแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นถ่าน.....	21
3.2.2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติและความเหมาะสมของ.....	22
การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง	
3.2.2.4.1 ความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	22
3.2.2.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของแท่ง.....	22
เชื้อเพลิง	
3.2.2.4.3 ปริมาณเถ้า (Ash Content) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	23
3.2.2.4.4 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ของ.....	23
แท่งเชื้อเพลิง	
3.2.2.4.5 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของ.....	24
แท่งเชื้อเพลิง	
3.2.2.4.6 ค่าความร้อน (Calorific Value) ของแท่ง.....	24
เชื้อเพลิง	
3.2.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	26
4.1 การทดสอบการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	27
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง.....	31
4.3 คุณสมบัติและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง.....	30
4.3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content).....	34
4.3.1.1 ปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่ง.....	34
4.3.1.2 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	36
4.3.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	39
4.3.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	40
4.3.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	43

4.3.5 ปริมาณค่าความร้อน (Calorific Value) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	45
4.4 ผลการทดสอบทางสถิติ.....	50
4.5 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	54
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก วิธีมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials	62
(ASTM)	
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง.....	77
ภาคผนวก ค ตารางผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเนื้อไม้บางชนิด	5
ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติและความเหมาะสมของการนำไปใช้เป็น เชื้อเพลิง.....	25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการอัดแท่งเชื้อเพลิงของอัตราส่วนผสมต่างๆ.....	27
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง.....	32
ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงของอัตราส่วนต่างๆ ของ ตัวอย่าง.....	34
ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ.....	37
ตารางที่ 4.5 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ.....	39
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	41
ตารางที่ 4.7 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	43
ตารางที่ 4.8 ปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงใน อัตราส่วนต่างๆ.....	45
ตารางที่ 4.9 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก.....	49
ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนและคุณสมบัติอื่นๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลต่างๆ...	53
ตารางที่ ข.1 ผลค่าความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	77
ตารางที่ ข.2 ผลค่าความชื้น (Moisture) ที่ใช้ในการอัดแท่ง.....	79
ตารางที่ ข.3 ผลค่าความชื้น (Moisture) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	81
ตารางที่ ข.4 ผลปริมาณเถ้า (Ash content) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	83
ตารางที่ ข.5 ผลปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เฉลี่ย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	85
ตารางที่ ข.6 ผลปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	87
ตารางที่ ข.7 ผลเฉลี่ยค่าความร้อน (Calorific value) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	89
ตารางที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific value) ของแท่งเชื้อเพลิง.....	91
ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆของ เชื้อเพลิงแห้ง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA.....	99
ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิง แห้งโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT.....	99

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของ ถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA.....	100
ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิง แห้งโดยวิธี DMRT.....	100
ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของ เชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA.....	101
ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิง แห้งและถ่านเชื้อเพลิงโดยวิธี DMRT.....	102

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 การนำขยะมูลฝอยประเภทกระดาษมาแช่น้ำเพื่อให้เปื่อยยุ่ย.....	15
รูปที่ 3.2 เครื่องบดย่อยกระดาษและเศษไม้ / ใบไม้.....	16
รูปที่ 3.3 ขยะมูลฝอยประเภทกระดาษที่ถูกย่อยแล้ว.....	16
รูปที่ 3.4 การนำเศษไม้และใบไม้มาหมักให้เปื่อยยุ่ย.....	17
รูปที่ 3.5 เศษไม้และใบไม้ที่ถูกย่อยแล้ว.....	17
รูปที่ 3.6 นำเศษกระดาษ และเศษไม้/ใบไม้ มาผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนด.....	18
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ และตัวอย่างในการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	18
รูปที่ 3.8 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	19
รูปที่ 3.9 การอัดขยะเป็นแท่งเชื้อเพลิง.....	20
รูปที่ 3.10 เชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้ว เตรียมนำไปตากให้แห้งต่อไป.....	20
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการอัดแท่ง และทำถ่านเชื้อเพลิง.....	21
รูปที่ 4.1 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 0:100 % โดยน้ำหนัก.....	28
รูปที่ 4.2 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 5:95 % โดยน้ำหนัก.....	28
รูปที่ 4.3 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 25:75 % โดยน้ำหนัก.....	29
รูปที่ 4.4 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 50:50 % โดยน้ำหนัก.....	29
รูปที่ 4.5 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75:25 % โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 4.6 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5 % โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 4.7 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 100:0 % โดยน้ำหนัก.....	31
รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ.....	32
รูปที่ 4.9 น้ำหนักเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ.....	33
รูปที่ 4.10 ปริมาตรเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ.....	33
รูปที่ 4.11 กราฟปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	36
รูปที่ 4.12 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	38
รูปที่ 4.13 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	40
รูปที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	42
รูปที่ 4.15 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	44
รูปที่ 4.16 ค่าความร้อนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	46
รูปที่ 4.17 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง.....	47

	หน้า
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง.....	48
รูปที่ 4.19 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในการทดสอบซ้ำ.....	49
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง ในการวิเคราะห์ครั้งแรก และการวิเคราะห์ซ้ำ.....	50
รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงแห้ง...	51
รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของถ่านเชื้อเพลิง...	51
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ กัน.....	52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนได้กลายมาเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญมากขึ้น นอกเหนือจากปัญหาทางด้านน้ำ และอากาศ โดยในปี 2546 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 14.4 ล้านตัน โดยขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้มีประมาณ 13.3 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 93 ของขยะมูลฝอยทั้งประเทศ แบ่งเป็นขยะประเภทอินทรีย์สาร(ย่อยสลายได้) ประมาณ 6.8 ล้านตัน และขยะรีไซเคิล (แก้ว กระดาษ พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม และยางรถยนต์) ประมาณ 6.5 ล้านตัน ซึ่งมีการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ประมาณ 2.8 ล้านตัน หรือคิดเป็นเพียงร้อยละ 19 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) จะเห็นได้ว่าปริมาณการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่นั้นยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการผลิตขยะของประชากรทั้งประเทศ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันหน่วยงานราชการ และเอกชนต่างๆ ได้มีการรณรงค์ ประชาสัมพันธ์ และชักชวนให้มีการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในหลายๆ รูปแบบ เช่น การทำปุ๋ยหมัก การทำน้ำสกัดชีวภาพ การทำสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุเหลือใช้ แล้วก็ตาม ซึ่งในการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่นั้นนอกจากจะมีการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยวิธีข้างต้นแล้ว ในยุคปัจจุบันที่ราคาน้ำมันเบนซินและดีเซลลอยตัวสูงขึ้น อีกทั้งรัฐบาลยังมีนโยบายในการประหยัดพลังงาน และแสวงหาพลังงานทดแทนน้ำมัน ดังนั้นหากมีการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ หรือน้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และยังช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันการศึกษาวิจัยทางด้านนี้ในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะทำการศึกษา วิจัย และทดลองนำวัสดุทางการเกษตรต่างๆ เช่น มันสำปะหลัง ชานอ้อย ผักตบชวา แกลบ เป็นต้น มาผลิตพลังงานทดแทน ตัวอย่างเช่น การผลิตแก๊สโซฮอล์จากมันสำปะหลัง การผลิตเชื้อเพลิงแกลบอัดแท่ง การผลิตถ่านจากผักตบชวา ดังนั้นหากสามารถผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากขยะมูลฝอยได้แล้ว นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องนำไปฝังกลบแล้ว ยังสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกช่องทางหนึ่ง ทำให้ลดการใช้ น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติลง อีกทั้งเป็นการลดการใช้ทรัพยากรป่าไม้ด้วย และหากมีการพัฒนาต่อไป นอกจากจะนำมาใช้เป็นพลังงานภายในครัวเรือนแล้วยังสามารถผลิตเพื่อขาย เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับประชาชน ทั้งนี้ยังสามารถทำเป็นสินค้าเพื่อการส่งออก สร้างรายได้ให้กับประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยประเภทต่างๆ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการนำขยะมูลฝอยแต่ละประเภทมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของขยะมูลฝอยในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง

1.3 สมมติฐาน

- 1.3.1 ขยะมูลฝอยชุมชนที่ให้ค่าความร้อนสูงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้
- 1.3.2 อัตราส่วนของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการอัดแท่งต่างกันทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่างกัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 ทำการศึกษาเฉพาะขยะมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานคร
- 1.4.2 ขยะมูลฝอยชุมชนที่จะใช้ศึกษา แยกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้
 - 1.4.2.1 กระดาษ
 - 1.4.2.2 เศษผ้า เศษไม้ ใบไม้
- 1.4.3 ผสมขยะมูลฝอยจากข้อ 1.4.2 เข้าด้วยกัน โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ กระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95% : 5%, 75% : 25%, 50% : 50%, 25% : 75% และ 5% : 95% โดยน้ำหนัก
- 1.4.4 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ทั้งก่อนและหลังการอัดแท่งมี 5 พารามิเตอร์ ได้แก่
 - 1.4.4.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
 - 1.4.4.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content)
 - 1.4.4.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)
 - 1.4.4.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
 - 1.4.4.5 ค่าความร้อน (Calorific Value)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องนำไปฝังกลบ
- 1.5.2 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้
- 1.5.3 เป็นการอนุรักษ์ป่าไม้ และทรัพยากรเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด และทฤษฎี

2.1.1 แนวคิด

ปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยได้กลายมาเป็นปัญหาที่สำคัญและมีความรุนแรงมากขึ้น ถึงแม้ว่าทั้งภาครัฐ และเอกชน จะช่วยกันรณรงค์ หาวีธี หรือนำมาตรการต่างๆ เข้ามาใช้ เช่น การทำปุ๋ยหมัก การทำน้ำสกัดชีวภาพ การทำสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุเหลือใช้ การผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ก็ยังไม่สามารถลดขยะมูลฝอยที่จะนำไปกำจัดได้ ดังจะเห็นได้จาก รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2548 ที่กรมควบคุมมลพิษได้จัดทำขึ้น พบว่ามีขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้น 14.3 ล้านตัน เป็นขยะจากกรุงเทพมหานคร 8,291 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้เพียงแค่ 3.1 ล้านตันเท่านั้น ซึ่งปริมาณขยะที่เหลือจะถูกส่งไปกำจัดยังแหล่งฝังกลบของกรุงเทพมหานครต่างๆ ส่งผลให้พื้นที่ของหลุมฝังกลบลดลงอย่างมาก ประกอบกับการหาสถานที่ใช้เป็นหลุมฝังกลบแห่งใหม่ทำได้ยากขึ้น เนื่องจากประชาชนไม่ยอมรับ จึงต้องใช้หลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิมทำให้อายุการใช้งานของหลุมฝังกลบลดลง อีกทั้งในช่วงเดือนมีนาคม และเมษายนที่ผ่านมาได้เกิดสถานการณ์หมอกควันปกคลุมพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นผลมาจากไฟป่า และส่วนหนึ่งมาจากประชาชนลักลอบเผาขยะมูลฝอยและพวกเศษกิ่งไม้ ใบไม้ ถ้าหากมีการนำขยะเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้วจะเป็นการช่วยลดความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นได้อีกทางหนึ่ง

ทุกวันนี้นอกจากปัญหาขยะมูลฝอยแล้ว ปัญหาเรื่องทรัพยากรพลังงานก็เป็นปัญหาสำคัญอีกประการ เนื่องจากทุกวันนี้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้นอย่างรุนแรง ทำให้ประชากรโลกใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานฟอสซิลที่มีอยู่ลดน้อยลงเป็นเงาตามตัว จึงได้มีการแสวงหาพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิลที่จะหมดไป ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงแฉ่งจากขยะมูลฝอยชุมชน ทั้งนี้เป็นการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น และยังสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ทำให้ช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปกำจัดยังหลุมฝังกลบ ส่งผลให้ยืดอายุหลุมฝังกลบเพิ่มขึ้น และยังช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานที่กำลังจะหมดไป และหากมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีนี้ต่อไป ก็จะสามารถนำขยะมูลฝอยที่ฝังกลบไปแล้วนำขึ้นมาใช้ใหม่ และยังอาจจะพัฒนาไปถึงการส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้อีกด้วย

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.2.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงเป็นแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดพลังงานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานเคมี พลังงานทางกล พลังงานไฟฟ้า รวมถึงพลังงานความร้อนด้วย ซึ่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อเผาไหม้จะได้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ และยังให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูง สามารถจำแนกเชื้อเพลิงได้หลายลักษณะ ซึ่งในการวิจัยนี้จะจำแนกประเภทของเชื้อเพลิงตามสถานะทางกายภาพ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยในการวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งเท่านั้น

เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง สามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น เชื้อเพลิงธรรมชาติ (Natural fuel) และเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic fuel) (กัญจน, 2544)

1) เชื้อเพลิงธรรมชาติ (Natural fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งมาจากได้พิภพ หรือเป็นเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuels) ได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ รวมถึงธาตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น ธาตุยูเรเนียม (Uranium) หรือธาตุทอเรียม (Thorium) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเชื้อเพลิงที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์ สัตว์ และจากชุมชนเมือง ซึ่งรวมเรียกว่า เชื้อเพลิงจากชีวมวล (Biomass fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย ฟางข้าว มูลสัตว์ ขยะมูลฝอย กากอุตสาหกรรมบางประเภท ซึ่งมีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก

ตัวอย่างของเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ไม้ฟืน ไม้ฟืนนั้นเป็นเชื้อเพลิงสำหรับมนุษย์มานานหลายศตวรรษแล้ว จัดเป็นพลังงานไม่รู้หมด เนื่องจากการสังเคราะห์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถปลูกทดแทนได้ ไม้ฟืนมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) ส่วนที่เหลือเป็นยางเหนียว (resins, gums) น้ำ น้ำตาล และเถ้า ไม้ที่เพิ่งตัดฟืนมีความชื้นสูงประมาณ 30-50% เมื่อผึ่งไว้ประมาณ 1 ปี ความชื้นจะลดลงเหลือ 10-15% (กัญจน, 2544) ข้อดีของไม้ฟืนคือ มีปริมาณเถ้าต่ำมาก ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1% และไม่มีกำมะถันเลย องค์ประกอบของเถ้าส่วนใหญ่เป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ที่เหลือเป็นแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมคาร์บอเนต ไม่มีโลหะหนักหรือสารพิษ ไม้ฟืนนั้นจะมีองค์ประกอบของเนื้อไม้แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ตัวอย่างดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเนื้อไม้บางชนิด (ผึ่งให้แห้งในอากาศ, ปราศจากเถ้า)

องค์ประกอบ (%)	บีช (Beech)	เชสต์นัท (Chestnut)	ไพน์ (Pine)
ความชื้น	12.6	12.0	12.9
เซลลูโลส	45.5	52.6	53.3
เรซินและไข	0.4	1.1	1.6
สารละลายน้ำ	2.4	5.4	4.0
ลิกนิน	39.1	28.9	28.2

ที่มา: กัญญา, 2544.

2) เชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น โดยทำการสังเคราะห์จากเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ถ่านไม้ ถ่านพีท ถ่านโค้ก ถ่านหินอัดก้อน ไร่ควั่น ถ่านแกลบ เป็นต้น ซึ่งการสังเคราะห์นี้จะใช้กระบวนการทางความร้อน คือ การคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) หรือไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้ได้เชื้อเพลิงแข็งสังเคราะห์คุณภาพดีขึ้น

ตัวอย่างของเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เช่น ถ่านไม้ ได้จากการคาร์บอนไนซ์ไม้พื้น ปฏิกริยาเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 280 องศาเซลเซียส และคาร์บอนไนซ์ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 400-500 องศาเซลเซียส การผลิตส่วนใหญ่จะใช้วิธีผลิตแบบพื้นบ้าน และผลิตใช้กันภายในหมู่บ้าน จากการรวบรวมข้อมูลของกัญญา (2544) พบว่าถ่านไม้มีค่าความร้อนระหว่าง 25.1-33.5 เมกะจูล/กิโลกรัม ปริมาณเถ้า 2-9 % สารระเหย 9-38 % คาร์บอนคงตัว 40-86 % และความชื้น 3-15 % (กัญญา, 2544) โดยค่าความร้อนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคาร์บอนคงตัว ถ่านไม้คุณภาพดีสามารถใช้แทนถ่านโค้กในการหลอมและขึ้นรูปโลหะ รวมถึงใช้เป็นตัวกลางกรองกลิ่น สีจากน้ำและก๊าซได้

อีกตัวอย่างของเชื้อเพลิงสังเคราะห์คือ ขยะมูลฝอย ประกอบด้วยวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุและหีบห่อประเภทพลาสติก กระดาษ และวัสดุชีวมวล ซึ่งเผาไหม้ได้ประมาณ 50-80% ซึ่งการเผาทำลาย (incineration) เป็นอีกวิธีที่ใช้จัดการกับขยะ ซึ่งจะเหลือกากหลังจากการเผาไหม้เพียง 5% ของปริมาตรเดิม (กัญญา, 2544) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไอร้อนไปผลิตไอน้ำ หรือกระแสไฟฟ้าได้ แต่ยังมีความกังวลถึงการปลดปล่อยมลพิษที่มาจากขยะอยู่ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและวิธีการ เพื่อลดมลพิษเหล่านี้ลง

2.1.2.2 การเผาไหม้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าพลังงานในรูปความร้อนที่ได้ขึ้นเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นสามารถแบ่งได้ตามสถานะของเชื้อเพลิงเป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง การเผาไหม้ของก๊าซ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งเท่านั้น โดยส่วนใหญ่เชื้อเพลิงแข็งจะมีส่วนประกอบที่เป็นสารระเหยและคาร์บอนคงตัว ทำให้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกจะเป็นการเผาไหม้ของสารระเหย ซึ่งเกิดขึ้นในวัฏภาคก๊าซ เป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซกับก๊าซ ในช่วงหลังเป็นการเผาไหม้ของกากของแข็งที่เหลืออยู่ซึ่งก็คือคาร์บอนคงตัวและก๊าซ โดยอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญสองประการ คือ พลังความร้อนที่ผิวเชื้อเพลิงนั้นได้รับ และอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ผิวเชื้อเพลิง และจากการที่กลไกการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งธรรมดาหรืออนุภาคคาร์บอนขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิง จัดเป็นการเผาไหม้แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous combustion) โดยทั่วไปมีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน (สำริง, 2547) คือ

- 1) ออกซิเจนแพร่สู่ผิวเชื้อเพลิง
- 2) ออกซิเจนถูกดูดกลืนไว้ที่ผิวเชื้อเพลิง
- 3) ออกซิเจนที่ถูกดูดกลืนไว้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้สารผลิตภัณฑ์และถูกดูดกลืนไว้ที่ผิวเชื้อเพลิง
- 4) สารผลิตภัณฑ์ถูกปลดปล่อยออกมาที่ผิวเชื้อเพลิง
- 5) สารผลิตภัณฑ์แพร่ออกจากผิวเชื้อเพลิง

ขั้นตอนเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับ ขั้นตอนไหนเกิดขึ้นที่สุดจะเป็นตัวกำหนดอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงแข็งธรรมดาเป็นอนุภาคคาร์บอนจะพบว่าขั้นตอนที่ 2 และ 4 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก

ในการเผาไหม้เพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จึงต้องมีอากาศหรือออกซิเจนเกินพอ ซึ่งในเชื้อเพลิงแข็งนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้อากาศเกินพอสูงมาก (15-60%) และยังคงแบ่งการให้อากาศเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในกากของแข็ง และอากาศส่วนที่สองเพื่อทำปฏิกิริยากับสารระเหยที่ถูกไล่ออกจากผิวเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นกับระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ด้วย ปริมาณอากาศเกินพอที่เหมาะสมนั้นนอกจากจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แล้ว ยังทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนต่ำที่สุดด้วย เนื่องจากถ้าใช้อากาศน้อยไปจนเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนในรูปองค์ประกอบก๊าซ และของแข็งที่ยังเผาไหม้ได้ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (potential heat loss) เช่น ก๊าซ CO H_2 หรือ คาร์บอน เป็นต้น แต่ถ้าใช้อากาศเกินพอมากไป ปริมาตรอากาศส่วนที่เกิน

พอกที่เข้ามาจะออกไปจากระบบโดยไม่ได้ทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาณรวมของฟูลก๊าซเพิ่มขึ้น ความร้อนสัมผัสที่สูญเสียออกไปจากระบบ เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss) ซึ่งในความเป็นจริงการควบคุมอากาศกินพอกให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมทำได้ยากจึงมักให้อากาศกินพอกมากกว่าค่าที่เหมาะสมเล็กน้อยเสมอ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้ก็จะให้พลังงานออกมาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งแบบหนึ่งก็คือพลังงานความร้อน ค่าความร้อนได้จากการทดลองให้เชื้อเพลิงสันดาปภายใต้ปริมาตรที่จำกัดและมีก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอ ระหว่างปฏิกิริยาการสันดาป ความร้อนจะถูกปล่อยออกมาซึ่งจะถูกวัดค่าเป็นความร้อนของเชื้อเพลิง โดยจะแสดงในหน่วยความร้อนต่อมวล เช่น กิโลจูล หรือเมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

การเผาไหม้พืช ในช่วงที่พืชเจริญเติบโต พืชจะดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ น้ำ (H_2O) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ฯลฯ และพืชจะคายออกซิเจน (O_2) และสร้างคาร์บอน (C) หรือโครงสร้างต่างๆ ของพืช เรียกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งหากเกิดการเผาไหม้พืช หรือก็คือเกิดการเผาไหม้คาร์บอน กระบวนการที่เกิดขึ้นก็จะผูกพันกับกระบวนการสังเคราะห์แสง นั่นคือ ก๊าซ ออกซิเจน (O_2) จะถูกดูดซับ ในขณะที่ความร้อน น้ำ (H_2O) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกปล่อยออกมา ซึ่งปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับและปล่อยออกมานั้นเป็นปริมาณที่เท่าๆ กัน ซึ่งวงจรของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืชนี้จะมีลักษณะเดียวกับวงจรของน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซนั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.3 ถ่าน

ถ่าน คือ ไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ในบริเวณที่มีอากาศอยู่น้อย หรือเป็นกระบวนการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสถานะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการจะช่วยกำจัดน้ำ น้ำมันดิน และสารประกอบอื่นๆ ออกจากไม้ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการ คือ สารต่างๆ ประกอบด้วยสารประกอบหลัก คือ คาร์บอน (80%) นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (10-20%) เถ้า (0.5-10%) และแร่ธาตุต่างๆ เช่น กำมะถัน และฟอสฟอรัส (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) ถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณของคาร์บอนสูงและไม่มีความชื้น ทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูง กระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่า คาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเผาไหม้ การลดความชื้น การคายความร้อน และการทำให้เย็นตัว (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) โดยแต่ละขั้นตอนอาจจะเกิดขึ้นภายในเตาเผาถ่านในช่วงเวลาเดียวกัน

1) การเผาไหม้ (combustion) คือกระบวนการที่ต้องการปริมาณออกซิเจนจำนวนมากในระหว่างการเกิดคาร์บอนไนเซชัน โดยเป็นกระบวนการให้ความร้อนกับไม้ภายในเตาเผาถ่าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศมากกว่า 500 องศาเซลเซียส หลังจากสิ้นสุดการเผาปริมาณออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิของห้องเผาไหม้จะลดลงจนถึงประมาณ 120 องศาเซลเซียส

2) การลดความชื้น (dehydration) เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยการเผาไหม้เพื่อไล่ความชื้นภายในเนื้อไม้ให้ออกไปในรูปของไอน้ำ โดยอุณหภูมิของเตาเผาจะสูงขึ้นทีละน้อย จนถึงอุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส ความชื้นก็จะค่อยๆ ลดลงจนหมดไป สามารถสังเกตได้จากปริมาณไอน้ำสีขาวที่เกิดขึ้นจนหนาที่บ

3) การคายความร้อน (exothermic) หลังจากกระบวนการไล่ความชื้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดการเผาไหม้ จะเข้าสู่ขั้นตอนของการทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนของไม้ โดยทำการกำจัดอากาศไม่ให้เข้าไปในเตาเผาถ่านอีก ในระหว่างปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดก๊าซต่างๆ เนื่องจากการแยกสลายทางความร้อน (pyrolysis) ของไม้ เช่น กรดอะซิติก เมทิลแอลกอฮอล์ และน้ำมันดิบ ซึ่งวัสดุแข็งที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า ถ่าน ในระหว่างการคายความร้อน จะมีควันสีเหลืองและการระเหยของไอน้ำเกิดขึ้น โดยอุณหภูมิในเตาเผาจะสูงถึงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

4) การทำให้เย็นตัว (cooling) เป็นกระบวนการลดความร้อนของเตาเพื่อนำถ่านที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันออกจากเตา

นอกจากการคาร์บอนไนเซชันแล้ว ยังมีกระบวนการอีกกระบวนการที่ เกี่ยวข้องกับการเผาถ่านนั้นคือ กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เนื่องจากไม้จะประกอบด้วย กลุ่มเซลล์ต่างๆ จำนวนมาก ซึ่งผนังของเซลล์นั้นจะทำมาจากเซลลูโลส (50%) เฮมิเซลลูโลส (20-30%) และลิกนิน (20-30%) (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) โครงสร้าง ทั้งหมดมีรูปร่างคล้ายกับกลุ่มท่อ และมีรูเล็กๆ ที่ผนังท่อทำหน้าที่ยึดเซลล์ข้างเคียงเข้าด้วยกัน และมีความซับซ้อน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปเป็นถ่าน เซลล์ที่ผนังจะถูกคาร์บอนไนซ์ และโครงสร้างจะหดตัวเหลือประมาณ 1 ใน 3 ของขนาดเดิมแต่ยังคงรูปร่างเดิมไว้ เซลลูโลสนั้นมีส่วนประกอบหลักคือ กลูโคส ส่วนเฮมิเซลลูโลสมีส่วนประกอบจากกลีโคไซด์ (glycoside) และลิกนิน ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของสารแอโรมาติก (aromatic compounds) ดังนั้นกระบวนการไพโรไลซิสจะถูก แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นของเซลลูโลส และแซคคาไรด์ อีกส่วนเป็นของลิกนินและ ไฮโดรคาร์บอน เฮมิเซลลูโลสเริ่มเกิดการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส และ จะสมบูรณ์ก่อนอุณหภูมิถึง 260 องศาเซลเซียส เซลลูโลสจะเกิดไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ลิกนินจะเริ่มไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศาเซลเซียส และเกือบสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส จากกระบวนการข้างต้น การไพโรไลซิสของไม้จะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เกิด การคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และกลายเป็นถ่านที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

การที่ในปัจจุบันได้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เพื่อป้องกันปัญหาทรัพยากรเชื้อเพลิงขาดแคลนนั่น เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงลงได้ เพราะเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น สามารถนำมาใช้แทนไม้ฟืนและถ่านได้ และยังเป็นการนำของเหลือใช้ หรือแม้แต่ขยะมูลฝอยที่ทิ้งแล้วจากชุมชนมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

วัตถุดิบที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น สามารถนำมาใช้แทนไม้ฟืน และถ่านได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะมูลฝอย หรือกากอุตสาหกรรมบางประเภท เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น

1) เศษพืช หรือวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว (crop residues) เช่น ฟางข้าว เศษไม้ เศษใบไม้ ขี้เลื่อย เป็นต้น

2) วัชพืช (weeds) คือ พืชที่เราไม่ต้องการที่ขึ้นอยู่ตามไร่นา สวน พื้นที่เพาะปลูกต่างๆ หรือแม้แต่ที่ในหนองน้ำ แม่น้ำ ลำคลองต่างๆ

3) สิ่งที่เหลือทิ้งหรือกากจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (industrial waste) เช่น กากสำหล้า กากสำเบียร์ เชื้อกระดาษ แกลบ เป็นต้น

4) ขยะมูลฝอย (municipal waste) เช่น พลาสติก กระดาษสำนักงานใช้แล้ว ถุงพลาสติก บรรจุก๊าซที่เป็นพวกกระดาษ หรือพลาสติก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เป็นการเพิ่มประโยชน์จากของเหลือทิ้ง และยังเป็นการลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องนำไปกำจัด

วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้น สามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย เช่น การอัดขี้เลื่อย แกลบ เศษไม้ โดยความร้อนจะไปละลายสารพอลิโน-เซลลูโลส ทำให้สามารถเชื่อมประสานกันได้ ส่วนอีกวิธี คือ การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสาน (binder) เข้าช่วย และแบบไม่ใช้ตัวประสาน ซึ่งจะใช้กับพวกที่มียางเหนียวอยู่ในตัว เช่นการอัดพวกพืชสด โดยการอัดแท่งนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (pelleting) อัดเป็นแท่ง (extruded log)

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ใช้ในการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิง โดยจะใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมิน คือ

1) ความชื้น (moisture content) ปริมาณความชื้นมีผลต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง และยังมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และทำให้เชื้อเพลิงแตกร่วนได้ง่าย

2) ปริมาณเถ้า (ash content) คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปในเตาเผา ซึ่งประกอบด้วยพิกซีลิกา แคลเซียมออกไซด์ เป็นต้น

3) สารที่ระเหยได้ (volatile matters) หรือปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบ

4) คาร์บอนเสถียร (fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจากที่มีการเอาสารที่ระเหยได้ออกไปแล้ว

5) ค่าความร้อน (calorific value or heating value) เป็นค่าความร้อนของการสันดาปขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูง แต่มีสารที่ระเหยได้ และปริมาณเถ้าอยู่ต่ำ ส่วนเชื้อเพลิงที่มีความชื้นอยู่สูงก็จะทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำ ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพทางการให้พลังงานดี

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสถานะที่ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น และพลังงานสำรองเริ่มลดลง หน่วยงานต่างๆ ทั้งรัฐบาลและเอกชนได้เริ่มที่จะมีการพัฒนา วิจัย และส่งเสริมให้มีการประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังแสวงหาพลังงานทดแทนใหม่ๆ เพื่อใช้แทนพลังงานที่มีอยู่ ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาเรื่องพลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานจากชีวมวล ตัวอย่างเช่น โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ได้ดำเนินการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทดลองนำแกลบจากโรงสีข้าวตัวอย่างสวนจิตรลดา มาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินและนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้จากแกลบอัดแท่งนั้นมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้คือ มีรูปทรงหกเหลี่ยม มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 50 เซนติเมตรและมีรูตรงกลางซึ่งแต่ละแท่งจะมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 1 กิโลกรัม ให้พลังงานความร้อน 3,886 กิโลแคลอรีต่อ 1 กิโลกรัม และเมื่อนำไปทำเป็นถ่านแกลบ จะได้ค่าความร้อนประมาณ 4,730 กิโลแคลอรีต่อ 1 กิโลกรัม ซึ่งถ่านไม้โดยทั่วไปมีค่าความร้อนประมาณ 7,450 กิโลแคลอรีต่อ 1 กิโลกรัม ในขณะที่ ศศิรินทร์ (2543) ได้ทำการศึกษากการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าวและแกลบพบว่า ฟางข้าวผสมแกลบที่อัดด้วยวิธีอัดเย็น และมีตะกอนน้ำเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนฟางข้าวผสมแกลบต่อตะกอนน้ำเสียเป็น 1:1 จะให้ค่าความร้อน 3,885 แคลอรีต่อกรัม แต่หากนำมาใช้ในอัตราส่วน 3:7 จะให้ค่าความร้อนถึง 3,905 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ สุวิมล (2543) ยังได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากต้นธูปฤๅษีพบว่า เชื้อเพลิงแข็งจากต้นธูปฤๅษีที่อัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็น และมีตะกอนน้ำเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนต้นธูปฤๅษีต่อตะกอนน้ำเสียเป็น 1:3.2 โดยปริมาตร จะให้ค่าความร้อน 4,072.6 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งนอกจากแหล่งพลังงานต่างๆ ข้างต้นแล้วพลังงานจากขยะมูลฝอยก็สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยในปัจจุบันนั้นได้มีการศึกษา วิจัยเพื่อนำขยะมูลฝอยมาผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น นำมาผลิตก๊าซมีเทนใช้ในการหุงต้ม และผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งนอกเหนือจากก๊าซชีวภาพแล้วยังสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้อีกด้วย ดังตัวอย่างจากการศึกษาของ Sivapalan Kathirvale, et al. (2003) ได้ศึกษาศักยภาพที่จะนำขยะมูลฝอยชุมชนในประเทศมาเลเซียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่า องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนของมาเลเซียเป็นเศษอาหาร กระดาษและพลาสติก รวมกันคิดเป็นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของขยะมูลฝอย มีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 1,500 ถึง 2,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมาเลเซียมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 1,500 ตันต่อวัน ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 640 กิโลวัตต์ต่อวัน นอกเหนือจากนี้ Yadong Li, Henry Liu, และ Ou Zhang (2001) ยังได้ทำการศึกษาค้นหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยชุมชน และอัดแท่งผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยนำขยะมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดแยกขั้นต้นแต่ละประเภทมาผสมกันใน 4 รูปแบบ ดังนี้คือ

รูปแบบที่ 1 กระดาษผสมพลาสติกอ่อน รูปแบบที่ 2 กระดาษผสมพลาสติกแข็ง รูปแบบที่ 3 กระดาษผสมพลาสติกผสม (พลาสติกอ่อนผสมพลาสติกแข็ง) และรูปแบบที่ 4 กระดาษผสมพลาสติกผสม เศษผ้าและไม้ นำมาอัดเป็นแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 49 มิลลิเมตร ผลปรากฏว่าขยะมูลฝอย จำพวกกระดาษจะเป็นตัวประสานทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีความคงทน นอกเหนือจากกระดาษที่เป็นตัวประสานแล้วทั้งปริมาณความชื้นและความดันที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงคงทนไม่แตกง่าย โดยถ้ามีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 15 จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงคงทนไม่แตกง่าย ในส่วนของความดันนั้นในส่วนผสมรูปแบบที่ 1 2 และ 3 ต้องใช้ความดันอย่างน้อย 70 เมกกะปาสคาล แต่ในรูปแบบที่ 4 ต้องใช้ความดันอย่างน้อย 100 เมกกะปาสคาล และในด้านการให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่างกระดาษกับสิ่งที่เผาไหม้ได้ (รูปแบบที่ 4) จะให้ค่าความร้อนตั้งแต่ 20 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ขึ้นไป ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในโรงผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนนั้นเพื่อที่จะให้ได้ก่อนเชื้อเพลิงที่ดี และมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องศึกษาถึงปริมาณและสัดส่วนของขยะมูลฝอยต่างๆ รวมทั้งคุณสมบัติของการเป็นเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งาน โดยในการดำเนินการวิจัยนั้นได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้ดำเนินงานที่ศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติ และเชื้อเพลิงพลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน จังหวัดปทุมธานี และอีกส่วนเป็นการวิเคราะห์หาคุณสมบัติและความเหมาะสมของการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้ดำเนินงานที่ห้องทดลองสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยดังนี้

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

3.1.1 วัสดุสำหรับการวิจัย ได้แก่ ขยะมูลฝอยชุมชน โดยประเภทของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้ คือ

3.1.1.1 กระดาษ

3.1.1.2 เศษไม้ / ใบไม้

3.1.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

3.1.2.1 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียว

3.1.2.2 เครื่องบดย่อย

3.1.2.3 เครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb calorimeter)

3.1.2.4 ตู้อบ (Drying oven)

3.1.2.5 เตาเผา (Muffle furnace)

3.1.2.6 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.2.7 เครื่องชั่ง

3.1.2.8 ถ้วยทนไฟ พร้อมฝา

3.1.2.9 ถุงขยะ

3.1.2.10 ถุงพลาสติกแบบมีซิปล

3.1.2.11 เตาเผาถ่านประยุคต์

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมการวิจัย

3.2.1.1 ศึกษา ค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณและประเภทของขยะมูลฝอย วิธีการอัดแท่ง วิธีการหาค่าความร้อน วิธีการเผาถ่าน เตาเผาถ่าน เป็นต้น

3.2.1.2 เก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนจากขยะมูลฝอยชุมชนภายในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.2.2 การทำการวิจัย

3.2.2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ขยะมูลฝอยประเภทกระดาษ และเศษไม้ไบไม้ ซึ่งทำการเก็บรวบรวมจากขยะมูลฝอยชุมชนภายในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างจากขยะที่ผ่านการคัดแยกมาแล้วขั้นหนึ่ง เมื่อได้ตัวอย่างขยะมูลฝอยแล้ว นำมาชั่งให้มีขนาดเล็กลงเพื่อจะได้นำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงต่อไป

3.2.2.1.1 กระดาษ นำตัวอย่างขยะมูลฝอยประเภทกระดาษ เช่น กระดาษใช้แล้วจากสำนักงาน กระดาษลัง กระดาษบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ที่รวบรวมได้ มาแช่น้ำ เพื่อให้เปื่อยยุ่ย (รูปที่ 3.1) จากนั้นนำไปบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อย (รูปที่ 3.2) ให้มีขนาดเล็กลงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 การนำขยะมูลฝอยประเภทกระดาษมาแช่น้ำเพื่อให้เปื่อยยุ่ย



รูปที่ 3.2 เครื่องบดย่อยกระดาษและเศษไม้ / ใบไม้



รูปที่ 3.3 ขยะมูลฝอยประเภทกระดาษที่ถูกย่อยแล้ว

3.2.2.1.2 เศษไม้และใบไม้ นำตัวอย่างที่เก็บรวบรวมได้มาทำการหมัก โดยนำไปใส่ในถังและเติมน้ำ แล้วปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้เศษไม้ ใบไม้ที่แข็งเปื่อยยุ่ยลง จากนั้นนำเศษไม้ ใบไม้ที่หมักได้ไปเข้าเครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 การนำเศษไม้และใบไม้มาหมักให้เปียกชุ่ม



รูปที่ 3.5 เศษไม้และใบไม้ที่ถูกย่อยแล้ว

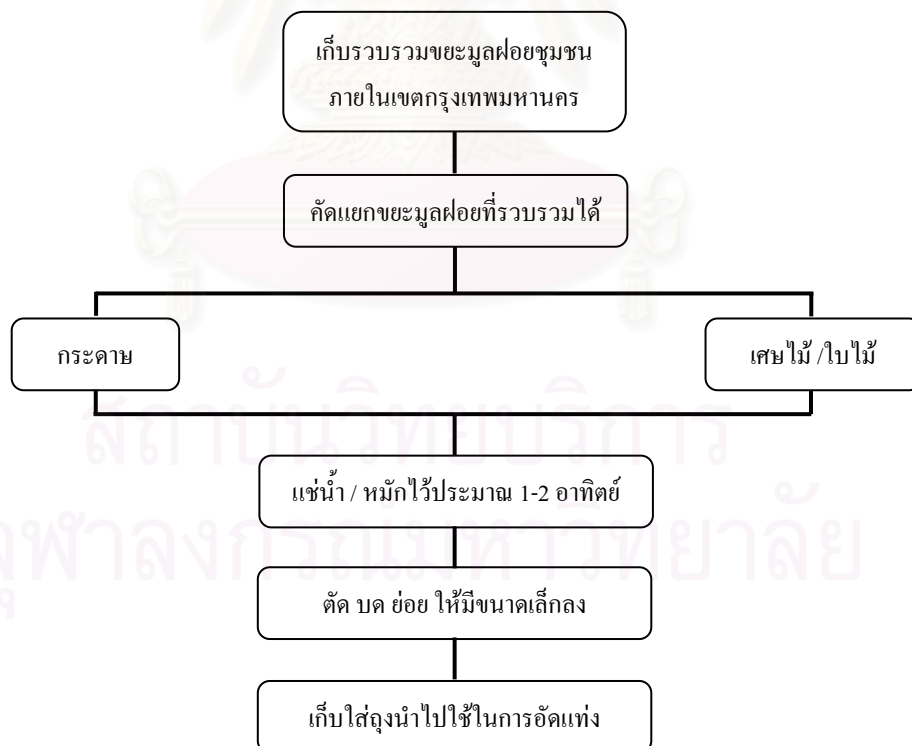
3.2.2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการอัดแท่ง

การเตรียมตัวอย่างในการอัดแท่งเชื้อเพลิงในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะนำตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนทั้ง 2 ประเภทมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนที่ต่างๆ กัน (รูปที่ 3.6) ดังนี้ อัตราส่วนแรกเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 95% : 5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สองเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 75% : 25% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สามเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 50% : 50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สี่เศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 25% : 75% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่ห้าเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 5% : 95% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่หกเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 100% : 0% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่เจ็ดเศษกระดาษ ต่อ เศษไม้และใบไม้ 0% : 100% โดยน้ำหนัก ซึ่งในการอัดแท่งในอัตราส่วนที่หก และอัตราส่วนที่เจ็ดนั้น จะใช้เป็นชุดควบคุมในการทำวิจัยครั้งนี้

เมื่อผสมตัวอย่างตามอัตราส่วนดังกล่าวแล้ว จึงนำไปใส่ถุงเก็บรักษาไว้ เพื่อนำไปอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่ 3.6 นำเศษกระดาษ และเศษไม้/ใบไม้ มาผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนด



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ และตัวอย่างในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

3.2.2.3 การอัดขยะมูลฝอยชุมชนเป็นแท่งเชื้อเพลิง

เมื่อผสมตัวอย่างตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดแล้ว จึงนำมาอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อน โดยได้ขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอัดแท่งนี้ ณ ศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติ และเชื้อเพลิงพลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ทดแทน กระทรวงพลังงาน จังหวัดปทุมธานี (รายละเอียดดังภาคผนวก ก) ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้น ก่อนจะทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงชุดตัวอย่าง ได้ทำการทดสอบอัดแท่งเชื้อเพลิงชุดทดสอบ เพื่อทดสอบว่าจะสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานหรือไม่ จากนั้นเมื่อทำการอัดแท่งทดสอบแล้ว จึงทำการอัดแท่งชุดตัวอย่างต่อไป

3.2.2.3.1 วิธีการอัดแท่ง

การอัดแท่งเชื้อเพลิงในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการอัดแท่งแบบอัดเย็น และไม่ใช้ตัวประสาน โดยนำตัวอย่างขยะมูลฝอยที่ได้เตรียมไว้มาใส่เข้าเครื่องอัดแท่ง (รูปที่ 3.8) ข้างต้น เกลียวของเครื่องอัดแท่งที่หมุนอยู่จะทำการบีบอัดขยะมูลฝอยเข้าไปยังกระบอกอัด จากนั้นขยะมูลฝอยที่ถูกอัดจะถูกดันออกมาจากกระบอกอัดอย่างต่อเนื่องทางรางรองรับบริเวณปลายกระบอกอัด (รูปที่ 3.9) จากนั้นจึงตัดแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ออกเป็นท่อน ให้มีความยาวประมาณท่อนละ 15 - 20 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำไปตากแห้งต่อไป



รูปที่ 3.8 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.9 การอัดขยะเป็นแท่งเชื้อเพลิง

3.2.2.3.2 การตากแห้ง

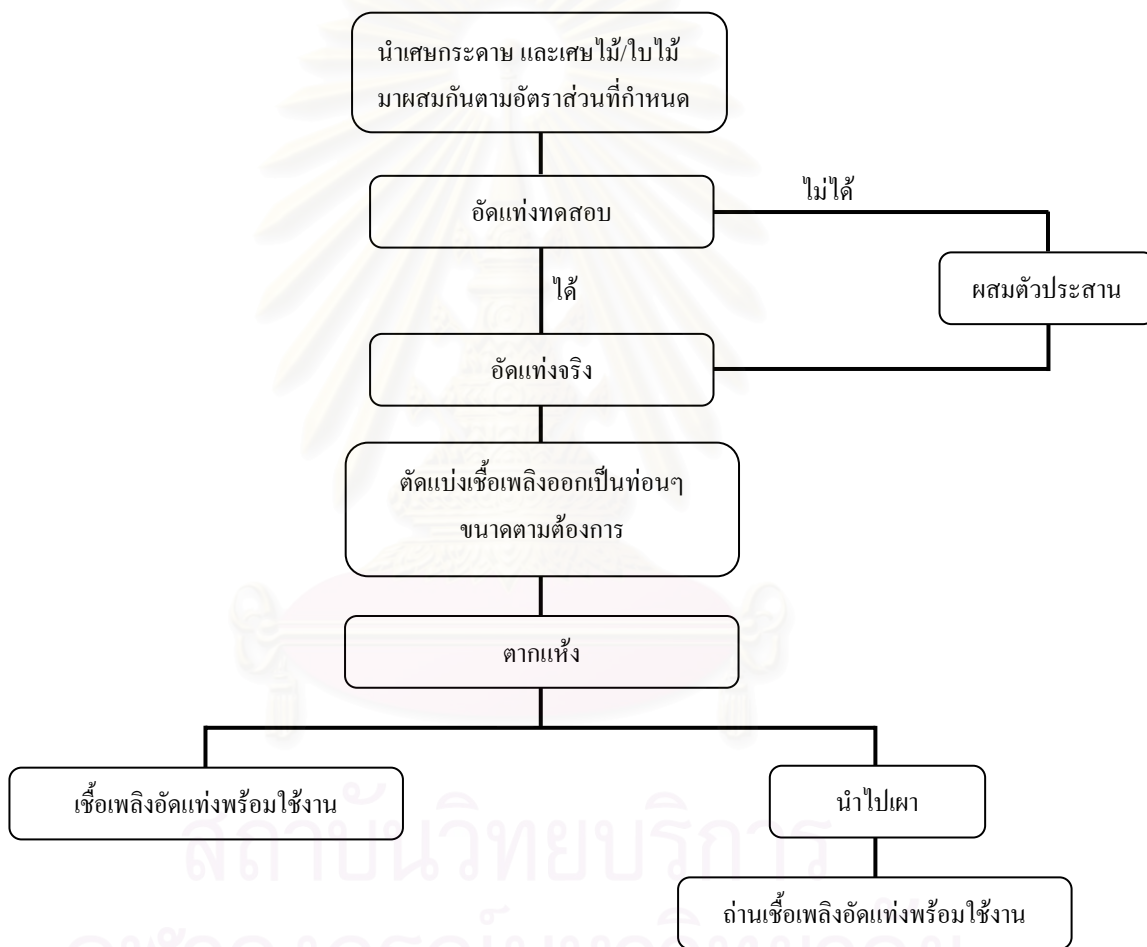
เมื่อทำการอัดแท่งเสร็จแล้ว แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงสูง จึงต้องนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้มาตากให้แห้ง โดยนำเชื้อเพลิงที่ได้มาวางบนกระเบื้องลอน โคลิ่ง (รูปที่ 3.10) แล้วนำไปตากแดด ควรมีการพลิกกลับเชื้อเพลิงเพื่อให้เชื้อเพลิงแห้งเร็วขึ้น ซึ่งเป็นการลดความชื้นและทำให้เชื้อเพลิงแข็งคงตัวก่อนที่จะนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้ว เตรียมนำไปตากให้แห้งต่อไป

3.2.2.3.3 การเผาแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นถ่าน

เมื่อได้แท่งเชื้อเพลิงจากการอัดแท่งและตากให้แห้งในขั้นต้นแล้ว จึงนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มาเผาในเตาเผาถ่านประยุกต์ (รายละเอียดดังภาคผนวก ง) โดยนำฟืนที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผามาวางเรียงซ้อนกัน โดยให้ตัวอย่างที่จะทำการเผาอยู่ตรงกลาง ซึ่งการเผาจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวอย่างที่นำมาทำการเผา) จะได้ถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการอัดแท่ง และทำถ่านเชื้อเพลิง

3.2.2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติและความเหมาะสมของการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

เมื่อได้แท่งเชื้อเพลิงแล้วทั้งที่เป็นแท่งเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติ และความเหมาะสมของการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ ตารางที่ 3.1

3.2.2.4.1 ความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการหาความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$D = \frac{M}{V}$$

โดยที่ D = ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง

M = น้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิง

V = ปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง

3.2.2.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของแท่งเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) E 790-87 (2004) (ภาคผนวก ก) ในการหาปริมาณความชื้นนั้น จะแบ่งเป็นการหาปริมาณความชื้นในการอัดแท่งเชื้อเพลิง และปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน

1) อบด้วยถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิในช่วง 107 ± 3 องศาเซลเซียสประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยทนไฟ แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 107 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ ปิดฝา แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก

โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้น (%) ได้จากสูตรดังนี้

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3.2.2.4.3 ปริมาณเถ้า (Ash Content) ของแท่งเชื้อเพลิง ปริมาณเถ้า ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 830-87 (2004) (ภาคผนวก ก) ทำการหาปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน

1) อบด้วยถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิในช่วง 575 ± 25 องศาเซลเซียสประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ให้ใกล้เคียง 0.1 มิลลิกรัม) ใส่ในถ้วยทนไฟ แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ (± 0.001 มิลลิกรัม)

3) นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผา ปิดฝา แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก

โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้น (%) ได้จากสูตรดังนี้

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างรวมน้ำหนักถ้วยทนไฟหลังอบ (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยทนไฟเปล่า (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ (กรัม)

3.2.2.4.4 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ของแท่งเชื้อเพลิง ปริมาณสารระเหย ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 897-88 (2004) (ภาคผนวก ก) ทำการหาปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน

1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ให้ใกล้เคียง 0.1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก

2) นำไปเผาที่อุณหภูมิ $950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 7 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักของถ้วยพร้อมฝา

โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้น (%) ได้จากสูตรดังนี้

a) คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป

$$\text{Weight Loss (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

b) คำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\text{Volatile Matter (\%)} = \text{Weight Loss (\%)} - \text{ความชื้น (\%)}$$

3.2.2.4.5 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน ปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถคำนวณได้จากสูตร (อุษา, 2537)

$$\text{Carbon (\%)} = \frac{\text{ปริมาณสารระเหย}}{1.8}$$

1.8

3.2.2.4.6 ค่าความร้อน (Calorific Value) ของแท่งเชื้อเพลิง ค่าความร้อนทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 711-87 (2004) (ภาคผนวก ก) ทำการหาค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง และถ่านเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน โดยในพารามิเตอร์นี้ได้ทำการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งใช้เครื่องมือวิเคราะห์ คือ Automatic Bomb Calorimeter; Leco model AC-35

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนได้แล้ว ถ้าอัตราส่วนใดให้ค่าปริมาณความร้อนมากที่สุด จะทำการทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนซ้ำในอัตราส่วนนั้นอีก 3 ซ้ำ เพื่อยืนยันผลของค่าปริมาณความร้อนที่ได้ในครั้งแรกว่าให้ค่าปริมาณความร้อนสูงจริงหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติและความเหมาะสมของการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

Parameter	Method
ปริมาณความชื้น (Moisture Content)	ASTM E0790-87 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample
ปริมาณเถ้า (Ash Content)	ASTM E0830-87 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel
ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)	ASTM E0897-88 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = ปริมาณสารระเหย / 1.8
ค่าความร้อน (Calorific Value)	ASTM E0711-87 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter*

* ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS มาเป็นเครื่องมือในการช่วยทดสอบหาความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นทำการทดสอบซ้ำ (Post Hoc) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT (รายละเอียดดังภาคผนวก ค)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ปัจจุบันการศึกษาหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะหมดไป นับว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากการพัฒนาประเทศในทุกๆ ด้านนั้นต้องพึ่งพาพลังงานทั้งสิ้น ดังนั้นหากสามารถหาแหล่งพลังงานสำรองได้มากก็จะทำให้ประเทศมีเสถียรภาพ มีความมั่นคงได้ ซึ่งพลังงานจากขยะมูลฝอยก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่มีเพิ่มขึ้น กอปรกับปัญหาการเก็บขน การกำจัดมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอทำให้เกิดปัญหาขยะตกค้างเป็นจำนวนมาก อีกทั้งสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยก็หายากมากขึ้น ทั้งที่ในปัจจุบันทางภาครัฐ และเอกชนได้มีการรณรงค์ในการลดขยะ การนำขยะมารีไซเคิล แต่ปริมาณขยะที่ตกค้างอยู่ก็มีเป็นจำนวนมาก

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาพลังงานทดแทนจากขยะมูลฝอยชุมชนเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการนำขยะมาเผาในเตาเพื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปผลิตกระแสไฟฟ้า การนำแก๊สมีเทนจากหลุมฝังกลบมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการนำขยะมาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ซึ่งหากมีการศึกษา และดำเนินการได้จริง จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศมาก เพราะจะสามารถลดปริมาณขยะที่จะต้องนำไปกำจัด และสามารถพัฒนาให้นำขยะที่ฝังกลบไปแล้ว ขึ้นมาใช้ใหม่ได้ ทำให้เพิ่มพื้นที่ในการฝังกลบได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง โดยการนำขยะมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดแยกประเภทแล้วนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อหาปริมาณความร้อนที่จะได้ในแต่ละอัตราส่วนว่าอัตราส่วนใดจะให้ค่าความร้อนสูงสุด ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกประเภทของขยะมูลฝอยชุมชนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง 2 ประเภท คือ เศษกระดาษ และเศษไม้และเศษใบไม้ โดยนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ กัน 5 อัตราส่วน ดังนี้ อัตราส่วนแรกเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สองเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สามเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 50%:50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่สี่เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 25%:75% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนที่ห้าเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 5%:95% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ได้มีการผสมอัตราส่วนที่จะใช้เป็นอัตราส่วนควบคุมขึ้นมาอีก 2 อัตราส่วนคือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 100%:0% โดยน้ำหนัก และเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 0%:100% โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติ และความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

4.1 การทดสอบการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การทดสอบการอัดแท่งเชื้อเพลิงจะทำก่อนที่จะดำเนินการอัดแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิง เพื่อจะทดสอบความสามารถในการเกาะตัวกันของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งจะส่งผลต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะหากไม่สามารถอัดแท่งได้จะต้องหาตัวประสานเข้ามาใช้ร่วมด้วยเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวกันเป็นก้อน ไม่แตกหักง่าย

ผลของการวิจัยครั้งนี้พบว่าสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงบางอัตราส่วนต้องมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในการอัดแท่งเข้าไปอีก ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการอัดแท่งเชื้อเพลิงของอัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	ผลการอัดแท่ง	หมายเหตุ
0 : 100	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ปานกลาง ใช้ เวลาในการอัดแท่งไม่มาก
5 : 95	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ปานกลาง ค่อนข้างดี ใช้เวลาในการอัดแท่งไม่มาก
25 : 75	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ดี ใช้เวลาใน การอัดแท่งไม่มาก
50 : 50	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ดี ใช้เวลาใน การอัดแท่งไม่มาก
75 : 25	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ปานกลาง ใช้ เวลาในการอัดแท่งมากขึ้น ต้องเพิ่มความชื้นให้ สูงขึ้นอีก
95 : 5	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ไม่ดี มีติด กระบอกอัดแท่งบ้าง ใช้เวลาในการอัดแท่งมาก และต้องเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นอีก
100 : 0	สามารถอัดแท่งได้ โดยไม่ ต้องใช้ตัวประสาน	ไหลลื่นออกจากกระบอกอัดแท่งได้ไม่ดี ติด กระบอกอัดแท่งบ่อย ใช้เวลาในการอัดแท่งมาก และต้องเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นอีก



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 0:100 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 5:95 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 25:75 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 50:50 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 75:25 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.7 แท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 100:0 % โดยน้ำหนัก
(ก) เชื้อเพลิงแห้ง, (ข) ถ่านเชื้อเพลิง

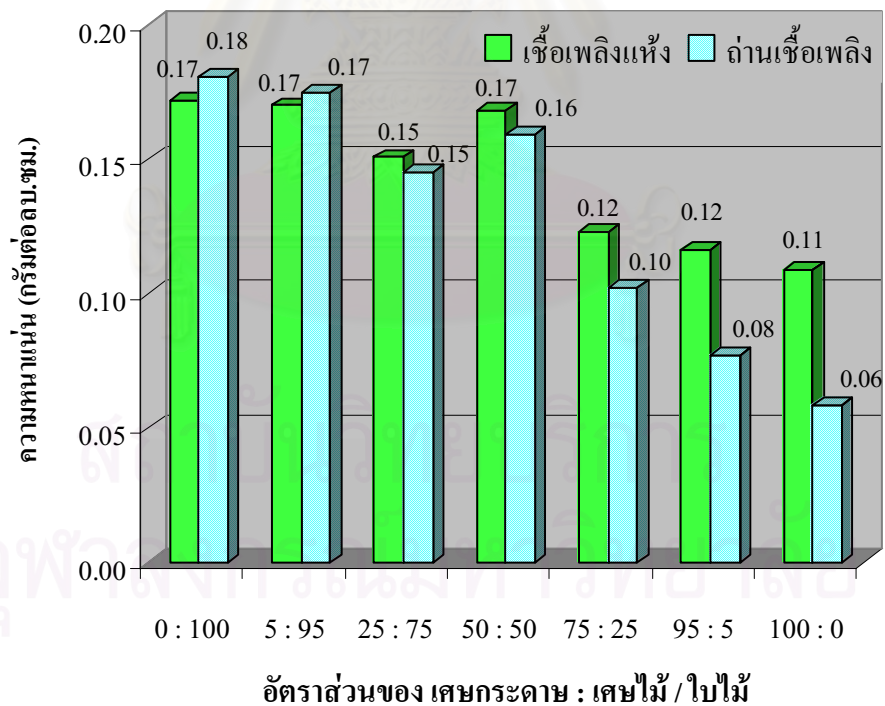
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง

4.2.1 ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง

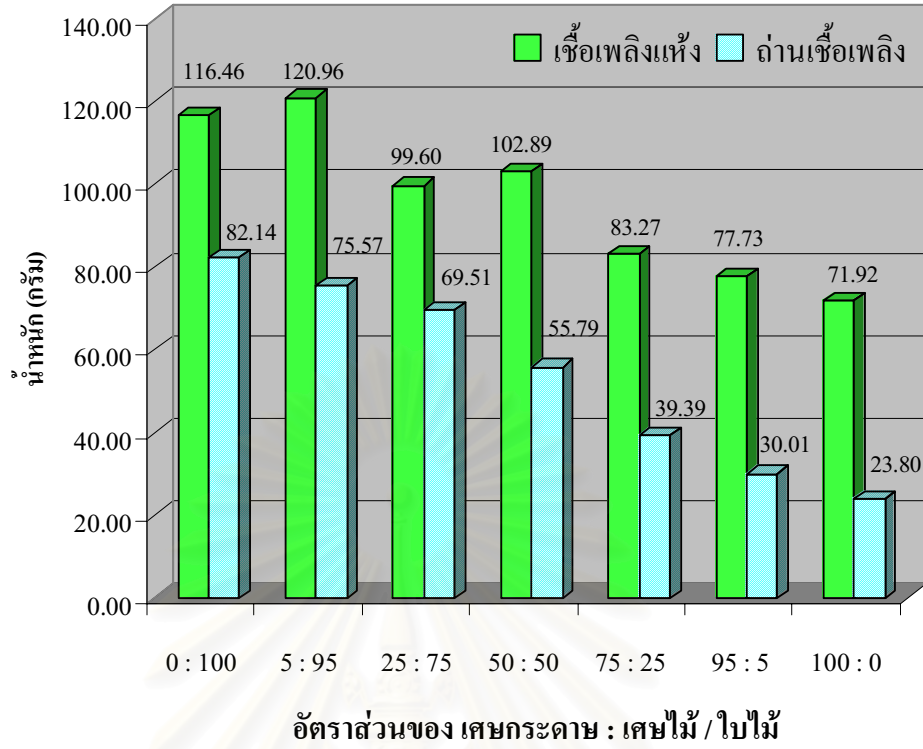
จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นของทั้ง 7 อัตราส่วนไม้แตกต่างกันมาก (ตารางที่ 4.2) โดยในส่วนของเชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 5%:95% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.17 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือคิดเป็นประมาณ 170.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) รองลงมาเป็นอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 25%:75% โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.15 g/cm^3 และอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนัก และเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.12 g/cm^3 คิดเป็น ซึ่งมีแนวโน้มว่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงลดลง หากแท่งเชื้อเพลิงมีส่วนผสมของกระดาษมากขึ้น (รูปที่ 4.8) ทั้งในเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อนำเชื้อเพลิงแห้งมาเผาทำเป็นถ่านเชื้อเพลิง ทั้งน้ำหนักและปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะลดลงด้วย (รูปที่ 4.9 และ 4.10) เนื่องจากกระดาษจะสามารถเผาไหม้ได้ดีกว่าพวกเศษไม้และใบไม้ ทำให้เมื่อนำไปเผาทำเป็นถ่านเชื้อเพลิงแล้ว ในส่วนองค์ประกอบที่เป็นเศษกระดาษจะถูกเผาไหม้ไปมากกว่าทำให้น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของแท่งถ่านเชื้อเพลิงน้อยกว่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงแห้ง

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง

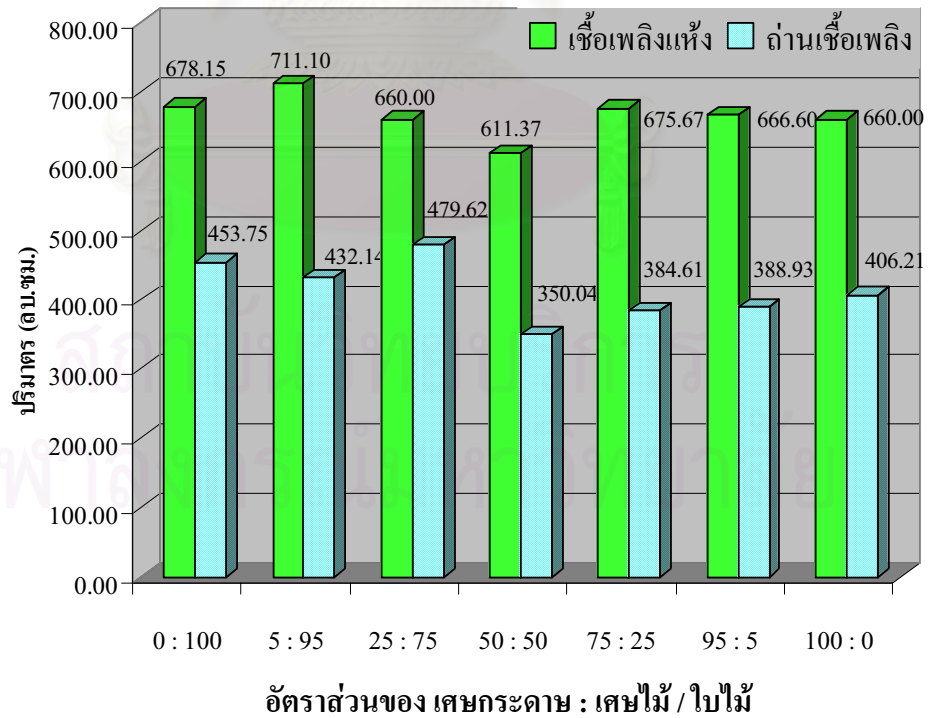
อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง			ถ่านเชื้อเพลิง		
	weight (g)	Volume (cm ³)	Density (g / cm ³)	weight (g)	Volume (cm ³)	Density (g / cm ³)
0 : 100	116.46	678.15	0.17	82.14	453.75	0.18
5 : 95	120.96	711.10	0.17	75.57	432.14	0.17
25 : 75	99.60	660.00	0.15	69.51	479.62	0.15
50 : 50	102.89	611.37	0.17	55.79	350.04	0.16
75 : 25	83.27	675.67	0.12	39.39	384.61	0.10
95 : 5	77.73	666.60	0.12	30.01	388.93	0.08
100 : 0	71.92	660.00	0.11	23.80	406.21	0.06



รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.9 น้ำหนักเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.10 ปริมาตรเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

4.3 คุณสมบัติและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็เชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้เป็เชื้อเพลิงควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็เชื้อเพลิง เพื่อเป็นการทดสอบเบื้องต้นในการจะนำเชื้อเพลิงที่ได้ไปใช้งานจริง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติที่จะนำไปใช้เป็เชื้อเพลิงดังนี้ คือ ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณเถ้า (Ash content) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และปริมาณค่าความร้อน (Heating value)

4.3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 790-87 (2004) ซึ่งแบ่งการหาปริมาณความชื้นได้เป็น 2 แบบ คือ ปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่ง และปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

4.3.1.1 ปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่ง ความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุที่เตรียมไว้เพื่อการอัดแท่งจะมีผลต่อการอัดแท่งเป็นอย่างมาก เนื่องจากถ้ามีความชื้นน้อยไปแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้จะแตกร่วน ไม่เกาะตัวกันเป็นแท่ง แต่ถ้าหากมีความชื้นมากไปก็จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้เหลว ไม่แข็งตัว ทำให้แท่งเชื้อเพลิงคงรูปไว้ไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งในแต่ละอัตราส่วนของตัวอย่างนั้นก็จะมีความชื้นที่เหมาะสมแตกต่างกันไปดังตารางที่ 4.3

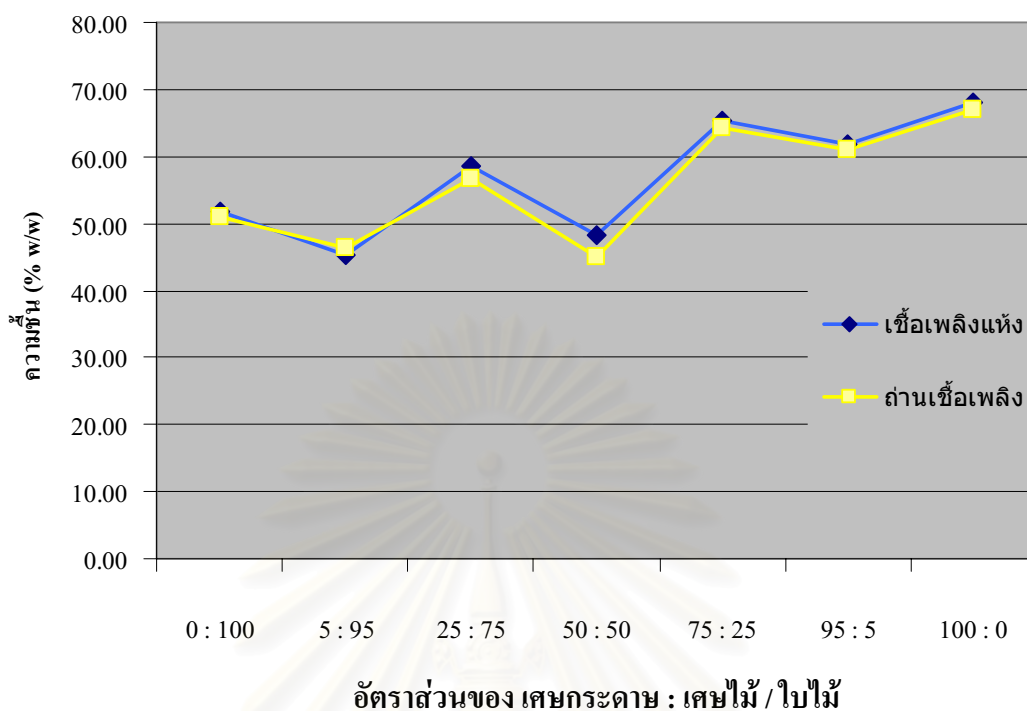
ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงของอัตราส่วนต่างๆ ของตัวอย่าง

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (%) w/w	ถ่านเชื้อเพลิง (%) w/w	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	51.68	50.88	0.80
5 : 95	45.30	46.50	1.20
25 : 75	58.55	56.77	1.79
50 : 50	48.16	45.08	3.08
75 : 25	65.42	64.20	1.22
95 : 5	61.82	60.96	0.86
100 : 0	67.96	67.06	0.90

จากตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่งจะสูงมากในอัตราส่วนที่มีเศษกระดาษผสมอยู่มากกว่าเศษไม้และใบไม้ กล่าวคือ ในส่วนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วนที่ต้องใช้ปริมาณความชื้นสูงสุด คือ อัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 65.42% ส่วนอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นรองลงมาได้แก่ อัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5%, 25%:75%, 50%:50% และ 5%:95% ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 61.82, 58.55, 48.16 และ 45.30 % ตามลำดับ และในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงอัตราส่วนที่ต้องใช้ปริมาณความชื้นสูงสุด คือ อัตราส่วน 75%:25% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 64.20% ส่วนอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นรองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 95%:5%, 25%:75%, 5%:95% และ 50%:50% ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 60.96, 56.77, 46.50 และ 45.08 % ตามลำดับ เนื่องจากในการอัดแท่งขยะมูลฝอยจำพวกเศษไม้และใบไม้นั้นเมื่อโดนความร้อนที่เกิดจากการอัดแท่ง ความร้อนจะละลายสารที่เคลือบผิวของเศษไม้และใบไม้ออกมาทำให้เกิดเมือกเส้นสารเมือกเหล่านี้จะช่วยเป็นตัวหล่อลื่น ไม้ให้ตัวอย่างติดกับกระบอกอัด และจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานไปอีกทางหนึ่งด้วย ทำให้ไม่ต้องอาศัยความชื้นในการอัดแท่งมาก แต่ในส่วนของส่วนผสมที่มีเศษกระดาษผสมอยู่มากจะไม่มีสารพวกนี้อยู่ทำให้ไม่มีสารที่จะมาหล่อลื่นจึงต้องใช้น้ำหรือความชื้นมาเป็นตัวช่วยในการหล่อลื่น แต่ถ้าให้ความชื้นน้อยไปแท่งเชื้อเพลิงก็จะเปราะแตกหักง่าย ไม่มีคงทน ในบางครั้งก็ไม่สามารถอัดแท่งได้ และถ้าหากให้ปริมาณความชื้นมากเกินไปก็จะส่งผลให้แท่งเชื้อเพลิงเหลวไม่เกาะตัวกัน ทำให้อัดแท่งไม่ได้ และบางครั้งยังทำให้เกิดการติดกระบอกอัดด้วย

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่งของเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิงจะใกล้เคียงกันมาก นั่นเป็นเพราะว่าทั้งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงจะต้องเริ่มต้นด้วยการอัดแท่งในขั้นแรกเหมือนกันก่อนจากนั้นจึงนำไปทำตากเป็นเชื้อเพลิงแห้ง หรือเผาเป็นถ่านเชื้อเพลิงในขั้นตอนต่อไป ทำให้ปริมาณความชื้นที่ใช้ในการอัดแท่งไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.11)

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 กราฟปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแห้งเชื้อเพลิง

4.3.1.2 ปริมาณความชื้นของแห้งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นของแห้งเชื้อเพลิงเป็นความชื้นที่อยู่ในแห้งเชื้อเพลิงที่พร้อมจะนำไปใช้งาน ซึ่งไม่ควรมีความชื้นสูงเพราะจะทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่ดี ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงทั้ง 2 แบบ มีความชื้นอยู่ในขั้นต่ำ (ตารางที่ 4.4) แต่ในส่วนของเชื้อเพลิงแห้งจะมีปริมาณความชื้นอยู่สูงกว่าถ่านเชื้อเพลิงมาก โดยในเชื้อเพลิงแห้งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 3 – 9 ซึ่งอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ได้แก่ เศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 3.88 อัตราส่วนที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นต่อมา ได้แก่ เศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 50%:50%, 95%:5%, 25%:75% และ 5%:95% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 5.56 5.69 8.11 และ 8.51 ตามลำดับ ส่วนถ่านเชื้อเพลิงนั้นมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 1 - 4 อัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดคือ เศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 1.99 อัตราส่วนที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นต่อมา ได้แก่ เศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 5%:95%, 75%:25%, 50%:50% และ 25%:75% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 2.65 2.78 3.28 และ 3.55 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงแห้งจะทำการตากแดดหรืออบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 107 ± 3 องศาเซลเซียส แล้วเก็บไว้ใช้งาน แต่ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงนั้นเมื่อได้แห้งเชื้อเพลิงแห้งมาแล้วจะ

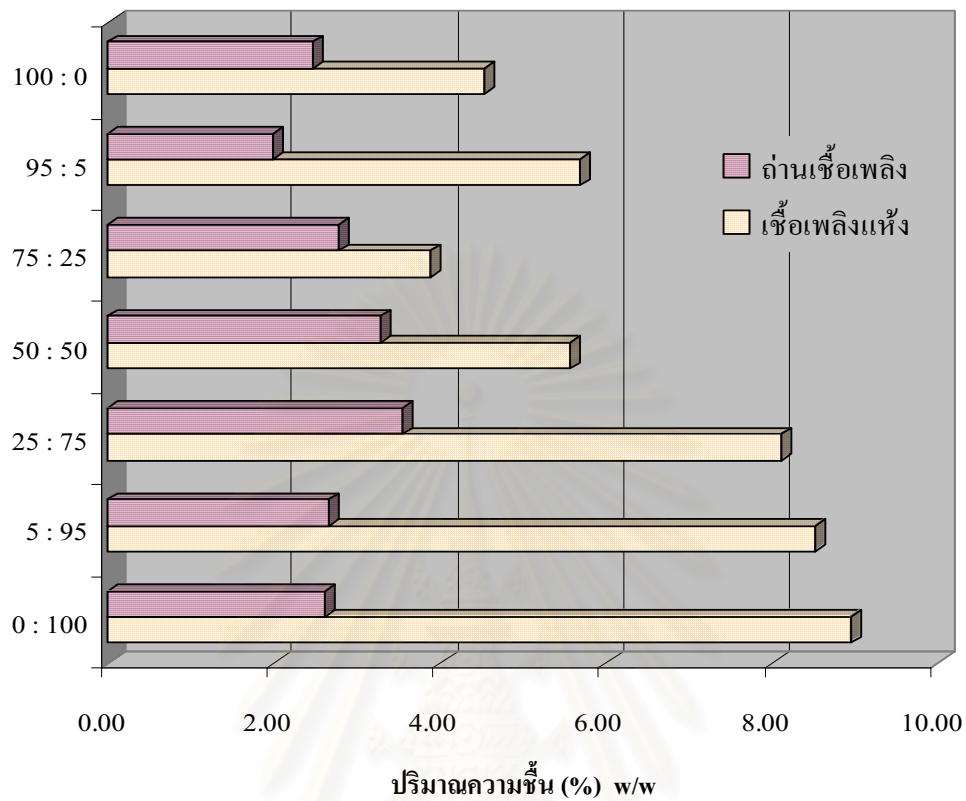
นำไปเผาเพื่อให้เป็นถ่านต่อที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้ความชื้นที่อยู่ในแท่งเชื้อเพลิงไม่เหลือ ดังนั้นเมื่อนำออกมาจากเตาเผาถ่านเชื้อเพลิงพักไว้ ถ่านเชื้อเพลิงอาจจะมีการดูดความชื้นจากบรรยากาศรอบข้างบ้างแต่ก็ไม่มากนัก ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงแห้งสูงกว่าในถ่านเชื้อเพลิงมาก (รูปที่ 4.12)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (%) w/w	ถ่านเชื้อเพลิง (%) w/w	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	8.94	2.60	6.35
5 : 95	8.51	2.65	5.86
25 : 75	8.11	3.55	4.56
50 : 50	5.56	3.28	2.28
75 : 25	3.88	2.78	1.10
95 : 5	5.69	1.99	3.70
100 : 0	4.53	2.46	2.07

ส่วนเชื้อเพลิงแห้งนั้นปริมาณความชื้นที่อยู่ในแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงถ้ามีเศษกระดาษเป็นส่วนผสมมากขึ้น เนื่องจากเศษกระดาษจะมีความชื้นสะสมอยู่ในตัวกระดาษน้อยกว่าพวกเศษไม้/ใบไม้ ซึ่งจะมีความชื้นสะสมอยู่ในตัววัสดุมากกว่า และเมื่อพิจารณาในอัตราส่วนควบคุม คือ เศษกระดาษ 100% และเศษไม้/ใบไม้ 100% แล้ว จะพบว่าในเศษไม้/ใบไม้ จะมีความชื้นสูงกว่าเศษกระดาษ ดังนั้นเมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงแห้งจึงทำให้ปริมาณความชื้นในอัตราส่วนที่มีเศษไม้/ใบไม้ผสมอยู่มากมีปริมาณความชื้นสูงกว่า แต่ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงนั้นทั้งเศษกระดาษ และเศษไม้/ใบจะโดนเผาจนกลายเป็นถ่านแล้วทำให้ไม่มีผลต่อการดูดความชื้น ทำให้ปริมาณความชื้นในแท่งถ่านเชื้อเพลิงไม่ต่างกันมากนัก

อัตราส่วนของ เศษกระดาศ : เศษไม้ / ใบไม้



รูปที่ 4.12 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

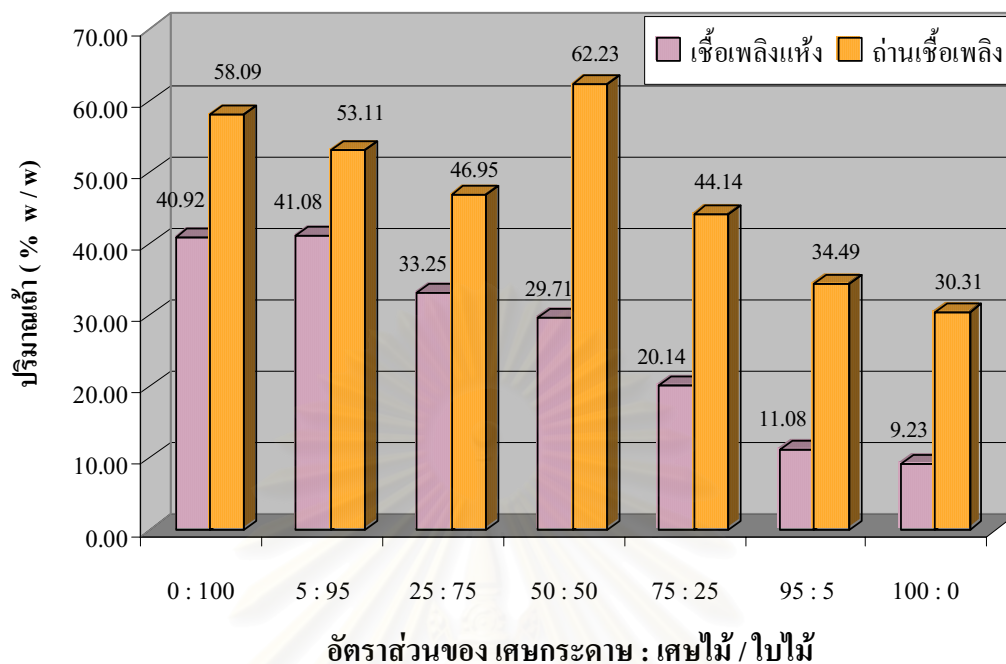
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content) ของแท่งเชื้อเพลิง

ปริมาณเถ้า (Ash Content) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 830-87 (2004) ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ตารางที่ 4.5) ในส่วนของเชื้อเพลิงแห้งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 11 - 41 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 41.08 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 25%:75%, 50%:50%, 75%:25% และ 95%:5% ซึ่งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 33.25 29.71 20.14 และ 11.08 ตามลำดับ ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิง มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 34 - 62 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 62.23 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 5%:95%, 25%:75%, 75%:25% และ 95%:5% ซึ่งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 53.11 46.95 44.14 และ 34.49 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงแห้งนั้นจะน้อยกว่าถ่านเชื้อเพลิงในทุกอัตราส่วนผสม (รูปที่ 4.13) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเศษกระดาษเป็นส่วนผสมมากขึ้นทั้งในเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง เพราะว่าในอัตราส่วนที่มีกระดาษอยู่มากจะมีองค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้อยู่มาก จึงเหลือปริมาณเถ้าอยู่น้อยนั่นเอง

ตารางที่ 4.5 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (%) w/w	ถ่านเชื้อเพลิง (%) w/w	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	40.92	58.09	17.18
5 : 95	41.08	53.11	12.04
25 : 75	33.25	46.95	13.70
50 : 50	29.71	62.23	32.53
75 : 25	20.14	44.14	24.00
95 : 5	11.08	34.49	23.41
100 : 0	9.23	30.31	21.09



รูปที่ 4.13 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

4.3.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง

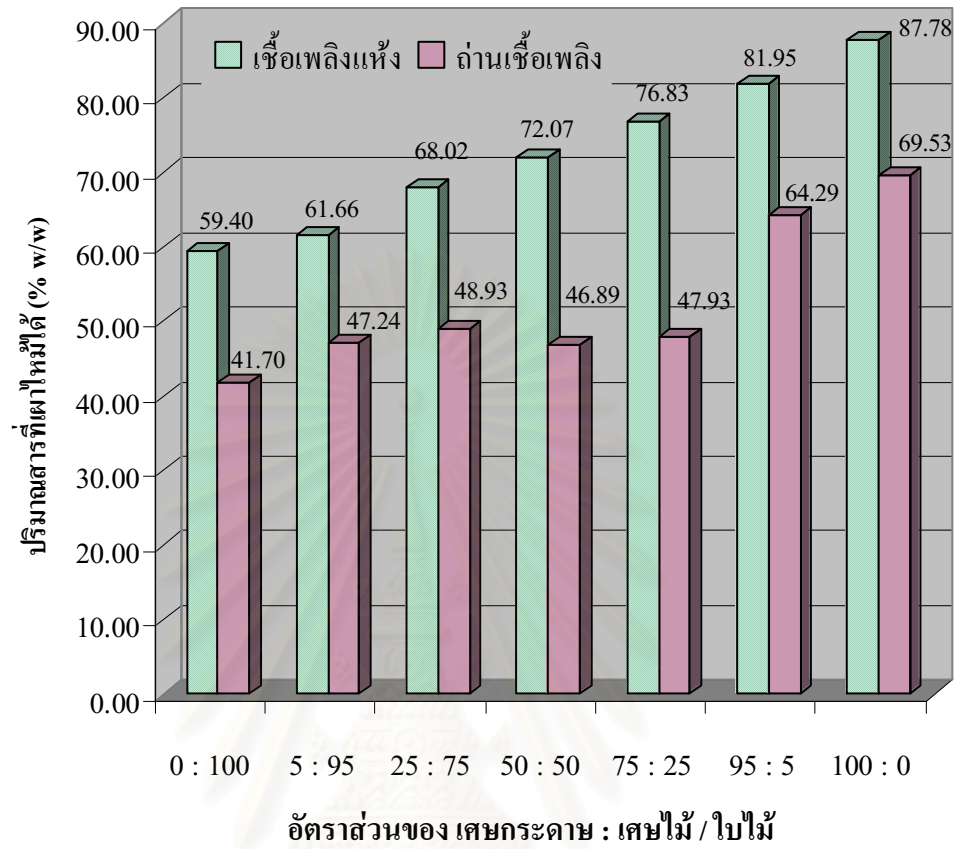
ปริมาณสารระเหย (Volatile content) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 897-88 (2004) ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ตารางที่ 4.6) ในส่วนของเชื้อเพลิงแห้งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 62 – 82 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยร้อยละ 81.95 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% และ 5%:95% ซึ่งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยร้อยละ 76.83 72.07 68.02 และ 61.66 ตามลำดับ ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 47 – 64 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยร้อยละ 64.29 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 25%:75%, 75%:25%, 5%:95% และ 50%:50% ซึ่งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ยร้อยละ 48.93 47.93 47.24 และ 46.89 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (%) w/w	ถ่านเชื้อเพลิง (%) w/w	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	59.40	41.70	17.70
5 : 95	61.66	47.24	14.42
25 : 75	68.02	48.93	19.09
50 : 50	72.07	46.89	25.18
75 : 25	76.83	47.93	28.90
95 : 5	81.95	64.29	17.67
100 : 0	87.78	69.53	18.25

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงแห้งนั้นมากกว่าถ่านเชื้อเพลิงในทุกอัตราส่วน เพราะองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแห้งนั้นมีสารที่สามารถเผาไหม้ได้อยู่มาก เมื่อโดนความร้อนจึงเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่าถ่านเชื้อเพลิง ที่ซึ่งในการจะทำการเป็นถ่านเชื้อเพลิงนั้นจะต้องนำแท่งเชื้อเพลิงไปเผาในเตาเผา ก่อน จึงทำให้สูญเสียปริมาณสารระเหยไปส่วนหนึ่งแล้ว ทำให้ปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ของถ่านเชื้อเพลิงนั้นน้อยกว่าเชื้อเพลิงแห้ง และพบว่าปริมาณสารระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณกระดาษที่ผสมอยู่ กล่าวคือ ยังมีปริมาณกระดาษผสมอยู่มากปริมาณสารระเหยก็มากตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

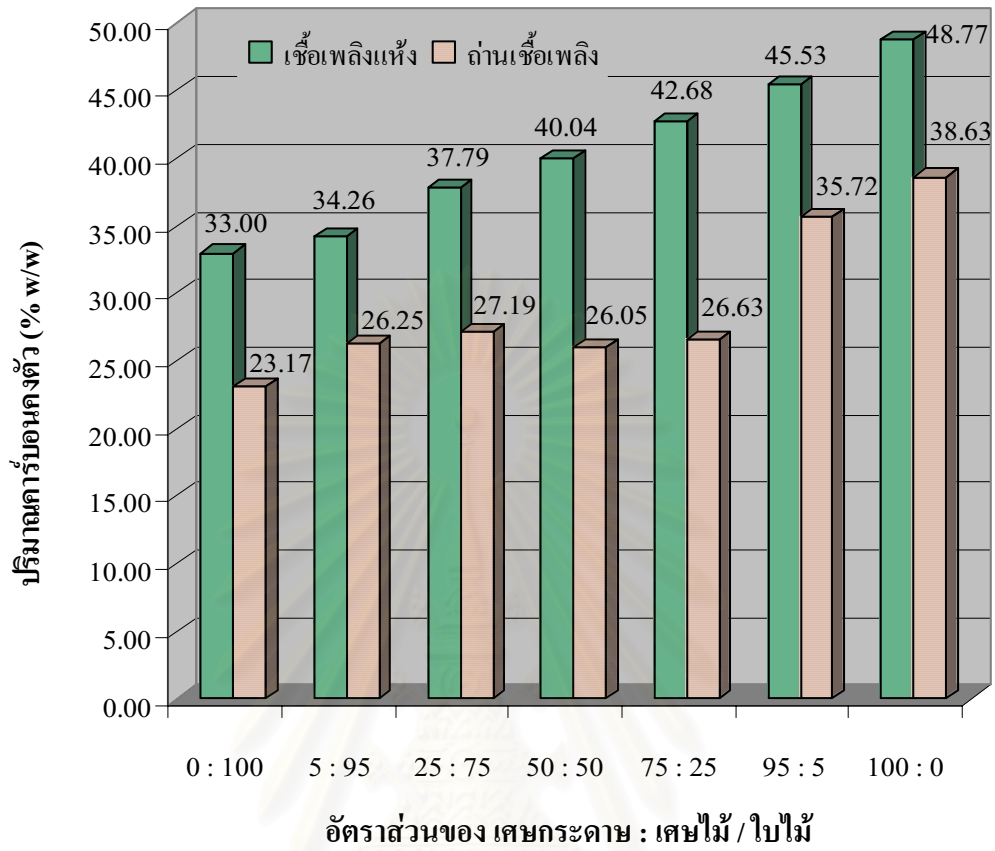
4.3.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งจะส่งผลต่อการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงหากมีปริมาณคาร์บอนในแท่งเชื้อเพลิงมากก็จะทำให้การเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงนานขึ้น จากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าในแท่งเชื้อเพลิงแห้ง มีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยอยู่ประมาณร้อยละ 34 – 46 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 45.53 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% และ 5%:95% ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 42.68 40.04 37.79 และ 34.26 ตามลำดับ ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 26 – 36 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 35.72 รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 25%:75%, 75%:25%, 5%:95% และ 50%:50% ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 27.19 26.63 26.25 และ 26.05 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (%) w/w	ถ่านเชื้อเพลิง (%) w/w	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	33.00	23.17	9.83
5 : 95	34.26	26.25	8.01
25 : 75	37.79	27.19	10.61
50 : 50	40.04	26.05	13.99
75 : 25	42.68	26.63	16.05
95 : 5	45.53	35.72	9.82
100 : 0	48.77	38.63	10.14

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแห้งนั้นจะมากกว่าถ่านเชื้อเพลิงในทุกอัตราส่วนเพราะว่าถ่านเชื้อเพลิงนั้นจะผ่านความร้อนในการทำเป็นถ่านมารอบหนึ่งแล้วทำให้องค์ประกอบของคาร์บอนเหลืออยู่น้อยกว่าเชื้อเพลิงแห้ง และพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวจะมีมากในอัตราส่วนที่มีกระดาษผสมอยู่มากทั้งในเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง



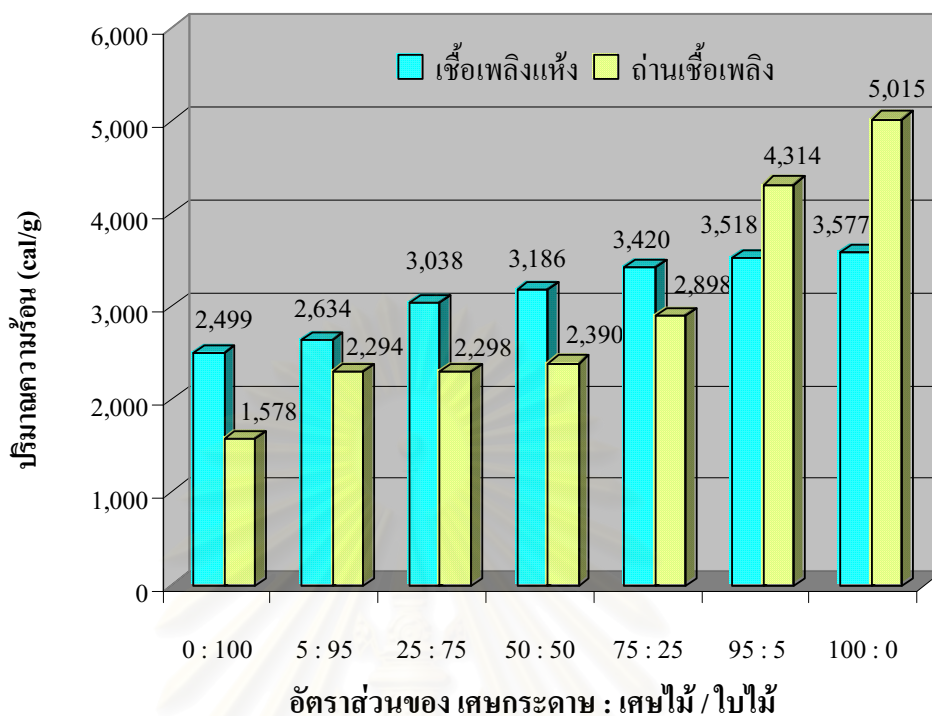
รูปที่ 4.15 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

4.3.3 ปริมาณค่าความร้อน (Calorific Value) ของแท่งเชื้อเพลิง

ปริมาณค่าความร้อน (Calorific Value) ของแท่งเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E 711-87 (2004) ผลการวิเคราะห์ปริมาณค่าความร้อน (ตารางที่ 4.8) ในส่วนของเชื้อเพลิงแห้งจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,633.76 - 3,518.06 แคลอรีต่อกรัม (cal/g) โดยอัตราส่วนที่ให้ปริมาณค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 cal/g รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% และ 5%:95% ซึ่งมีปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ย 3,419.79 3,185.74 3,037.94 และ 2,633.76 cal/g ตามลำดับ ในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,293.77 - 4,314.16 cal/g โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ย 4,314.16 cal/g รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 75%:25%, 50%:50%, 25%:75% และ 5%:95% ซึ่งมีปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ย 2,898.46 2,390.15 2,297.57 และ 2,293.77 cal/g ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงแห้งจะให้ปริมาณความร้อนมากกว่าถ่านเชื้อเพลิงเกือบทุกอัตราส่วน ยกเว้นในอัตราส่วน 95%:5% ที่ถ่านเชื้อเพลิงจะให้ปริมาณความร้อนสูงกว่า (รูปที่ 4.16)

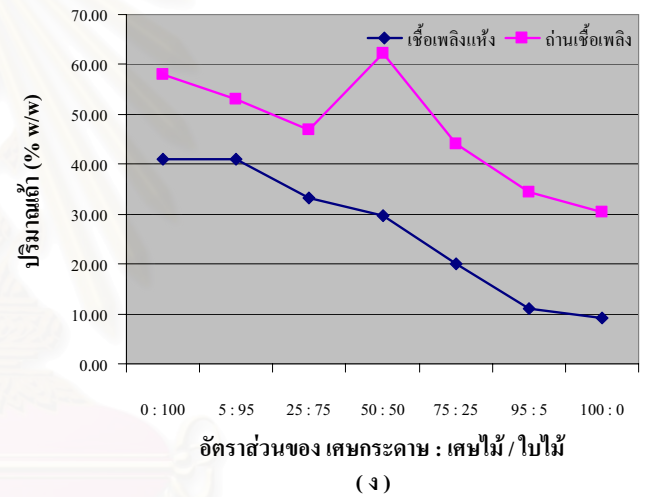
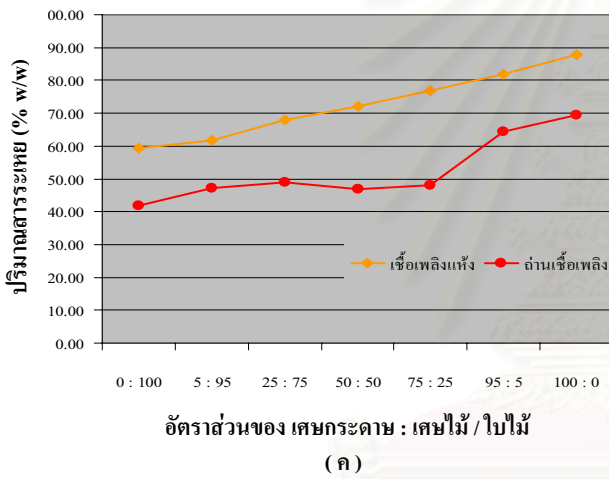
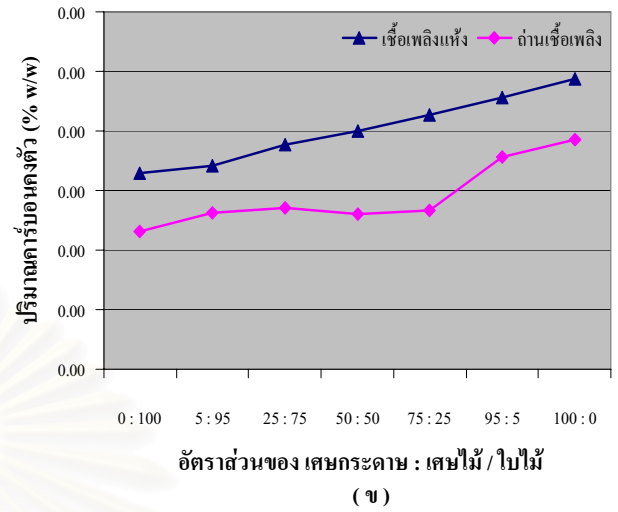
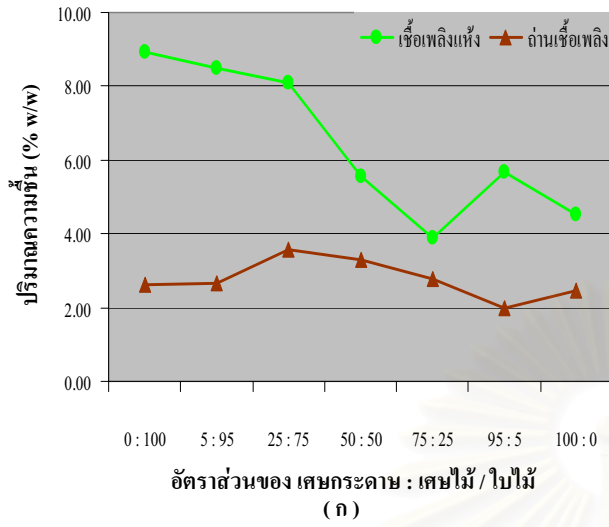
ตารางที่ 4.8 ปริมาณค่าความร้อนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ เศษกระดาษ : เศษไม้ / ใบไม้	เชื้อเพลิงแห้ง (cal / g)	ถ่านเชื้อเพลิง (cal / g)	ผลต่างระหว่าง เชื้อเพลิงแห้งและ ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	2,499.44	1,577.91	921.53
5 : 95	2,633.76	2,293.77	339.99
25 : 75	3,037.94	2,297.57	740.37
50 : 50	3,185.74	2,390.15	795.59
75 : 25	3,419.79	2,898.46	521.33
95 : 5	3,518.06	4,314.16	796.10
100 : 0	3,576.66	5,015.13	1,438.47



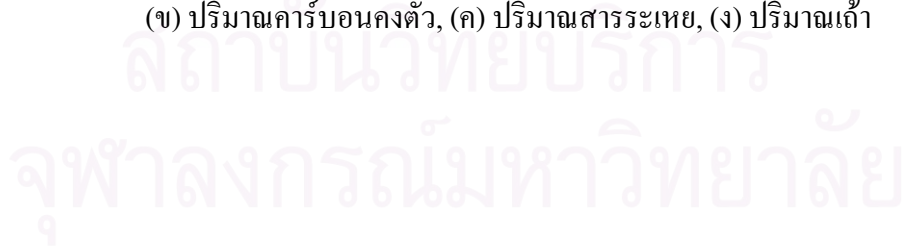
รูปที่ 4.16 ค่าความร้อนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

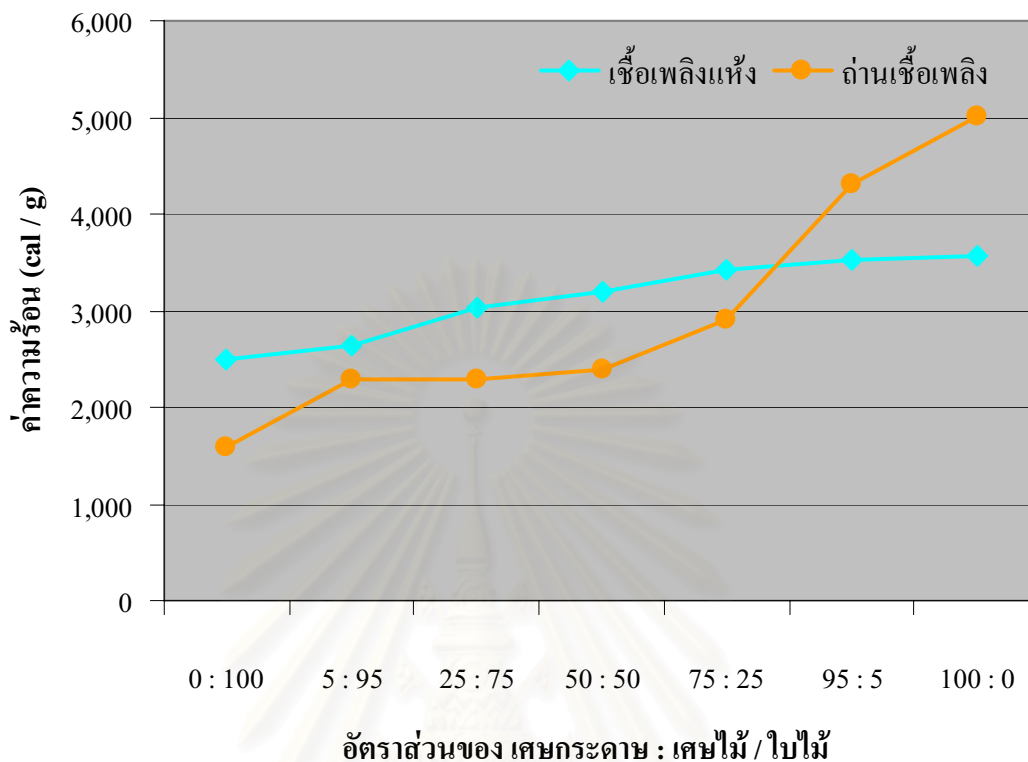
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และความชื้นของเชื้อเพลิง ดังนั้นเหตุที่ปริมาณค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนเศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้เป็น 95:5% โดยน้ำหนักมากกว่าในอัตราส่วนอื่นๆ ของเชื้อเพลิงประเภทเดียวกันนั้น เป็นเพราะปริมาณคาร์บอนคงตัวในอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5% โดยน้ำหนัก มีมากกว่าในอัตราส่วนอื่น และเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้า และความชื้นแล้วก็มีปริมาณต่ำกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ (รูปที่ 4.17) ส่งผลให้ค่าความร้อนของอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5% โดยน้ำหนัก สูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ แต่ทั้งนี้จะพบว่าในอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5% โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงจะมากกว่าเชื้อเพลิงแห้ง อาจจะพิจารณาได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนคงตัวจากอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 75:25% โดยน้ำหนัก มาเป็นอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5% โดยน้ำหนักนั้น ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านเชื้อเพลิงจะเพิ่มมากขึ้นมากกว่าการเพิ่มของคาร์บอนคงตัวในเชื้อเพลิงแห้ง ทำให้ค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5% โดยน้ำหนัก เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเชื้อเพลิงแห้ง (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.17 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง (ก) ปริมาณความชื้น,

(ข) ปริมาณคาร์บอนคงตัว, (ค) ปริมาณสารระเหย, (ง) ปริมาณเถ้า



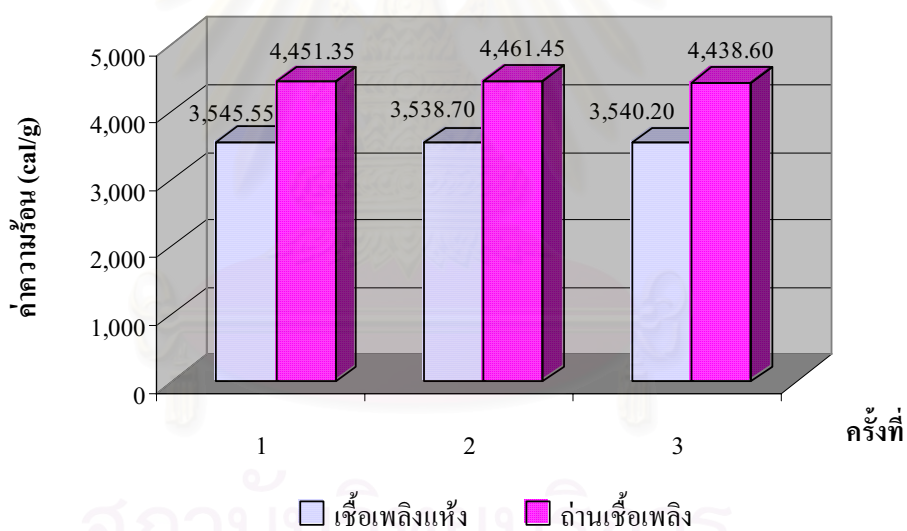


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนเฉลี่ยของแห้งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิง

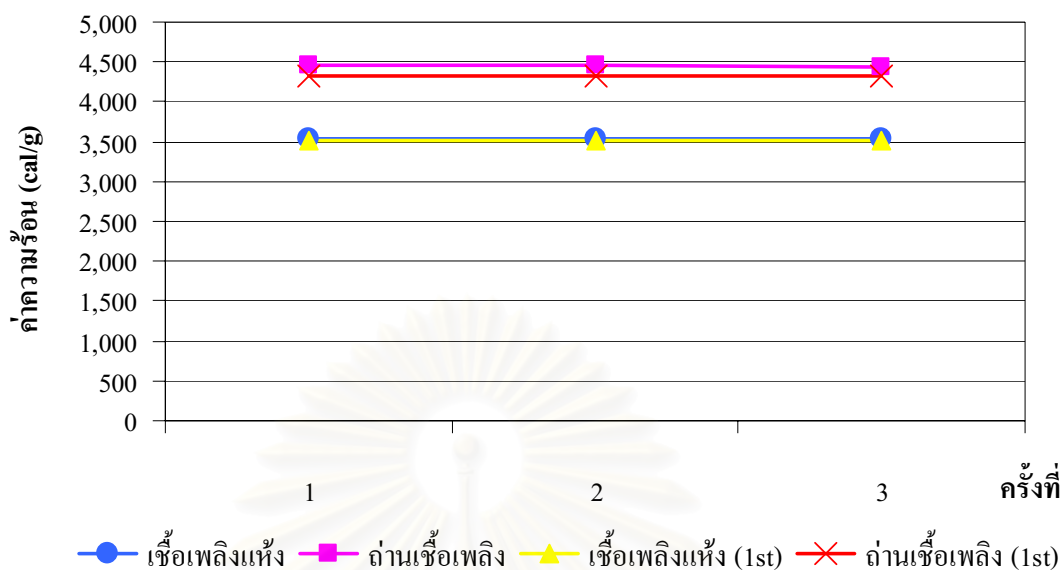
จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนที่ให้ปริมาณความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วนเศษกระดาดต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก จึงได้ทำการทดสอบหาปริมาณความร้อนซ้ำที่อัตราส่วนนี้อีกครั้ง ผลการวิเคราะห์ซ้ำดังตารางที่ 4.9 พบว่าค่าปริมาณความร้อนที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3,541.48 cal/g สำหรับเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อนที่ได้ในครั้งแรกเป็น 3,518.06 cal/g ส่วนถ่านเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าความร้อนประมาณ 4,450.47 cal/g ซึ่งค่าเฉลี่ยของครั้งแรกเท่ากับ 4,314.16 cal/g จะเห็นได้ว่ายังคงมีลักษณะเหมือนกับการวิเคราะห์ตอนแรก คือ ปริมาณค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงจะสูงกว่าเชื้อเพลิงแห้ง (รูปที่ 4.19) และมีปริมาณค่าความร้อนใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในตอนแรก (รูปที่ 4.20)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก

ครั้งที่	เชื้อเพลิงแห้ง (cal / g)	ถ่านเชื้อเพลิง (cal / g)
1	3,545.55	4,451.35
2	3,538.70	4,461.45
3	3,540.20	4,438.60
เฉลี่ย	3,541.48	4,450.47



รูปที่ 4.19 ปริมาณค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในการทดสอบซ้ำ



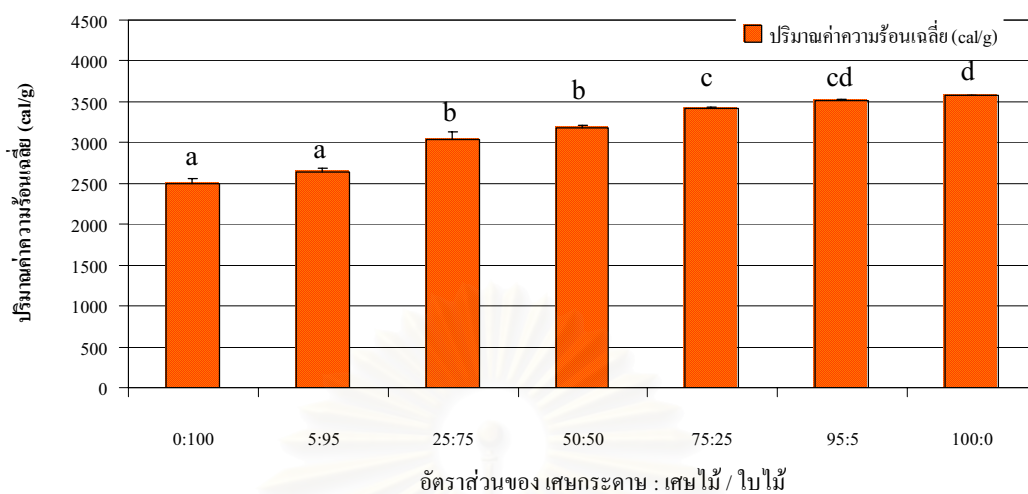
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในการวิเคราะห์ครั้งแรก และการวิเคราะห์ซ้ำ

4.4 ผลการทดสอบทางสถิติ

การทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการวิจัยครั้งนี้ใช้สถิติ One-way ANOVA จากนั้นทำการทดสอบซ้ำ (Post Hoc) ด้วยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์นั้น ได้ผลดังนี้

4.4.1 จากการทดสอบหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราส่วนต่างๆ โดยแบ่งเป็นของเชื้อเพลิงแห้ง และถ่านเชื้อเพลิง ผลปรากฏว่า

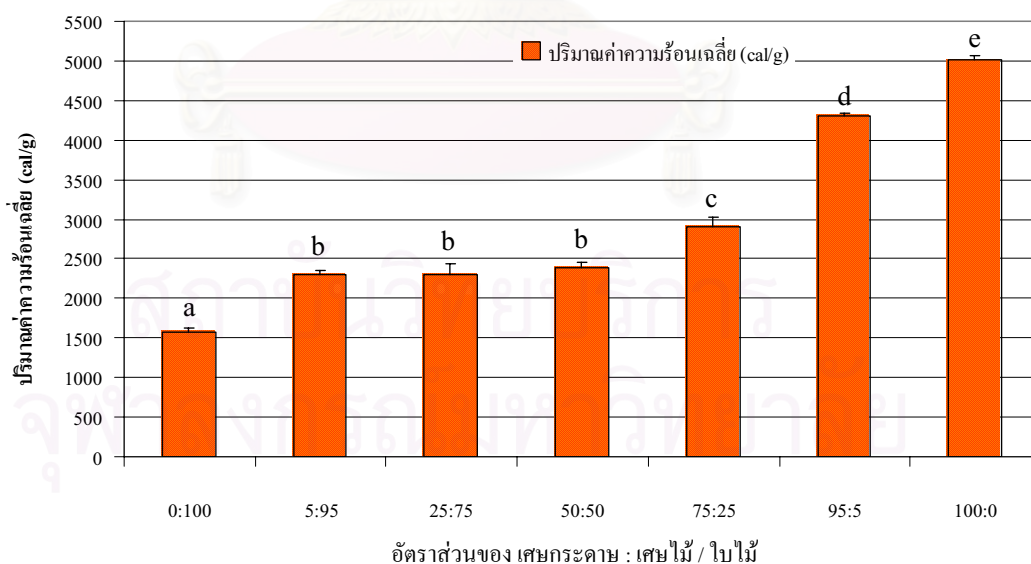
4.4.1.1 เชื้อเพลิงแห้ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (รูปที่4.21) พบว่าในอัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนักจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุมอัตราส่วน 0%:100% โดยน้ำหนัก แต่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วนอื่น อัตราส่วน 25%:75% โดยน้ำหนักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วน 75%:25% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุมอัตราส่วน 100%:0%



หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงแห้ง

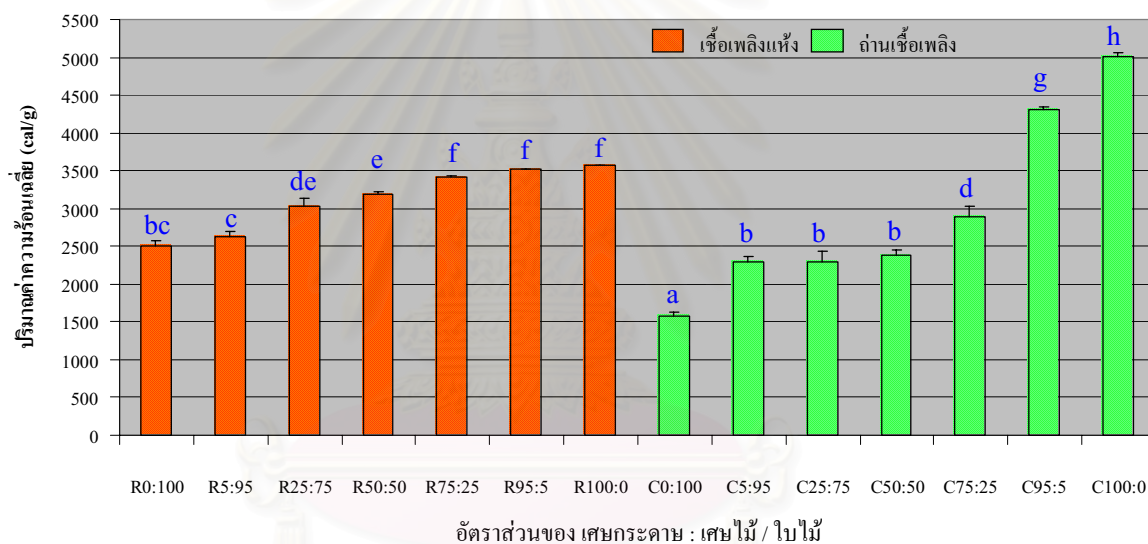
4.4.1.2 ถ่านเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (รูปที่4.22) พบว่าในอัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนักจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วน 25%:75% และ 50%:50% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันทั้งหมด



หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของถ่านเชื้อเพลิง

4.4.2 ทดสอบหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภทในอัตราส่วนต่างๆ กัน ผลการวิเคราะห์ (รูปที่ 4.23) พบว่าค่าปริมาณความร้อนที่ให้ของเชื้อเพลิงแห้งชุดควบคุมอัตราส่วน 0%:100% โดยน้ำหนัก จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับถ่านเชื้อเพลิงอัตราส่วน 5%:95% 25%:75% และ 50%:50% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้เชื้อเพลิงแห้งชุดควบคุมอัตราส่วน 0%:100% โดยน้ำหนัก ยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนักด้วย เชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วน 25%:75% โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับถ่านเชื้อเพลิงอัตราส่วน 75%:25% โดยน้ำหนัก และเชื้อเพลิงแห้งอัตราส่วน 75%:25% 5%:95% และเชื้อเพลิงแห้งชุดควบคุมอัตราส่วน 100%:0% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงแห้งและถ่านเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ กัน

4.5 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้จะได้ว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด คือ อัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก โดยเชื้อเพลิงแห้งจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 cal/g ส่วนถ่านเชื้อเพลิงจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 4,314.16 cal/g ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นแล้วพบว่าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน แบบเดียวกับเชื้อเพลิงชีวมวลได้ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนและคุณสมบัติอื่นๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลต่างๆ

ประเภทของเชื้อเพลิง	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal / g)
ถ่านหุงต้มทั่วไป ¹	3.78	96	4	53	5,333
เชื้อเพลิงแห้ง (เศษกระดาษผสมเศษไม้และใบไม้ 95: 5%)	5.69	81.95	11.08	45.53	3,518
ถ่านเชื้อเพลิง (เศษกระดาษผสมเศษไม้และใบไม้ 95: 5%)	1.99	64.29	34.49	35.72	4,314
รูปถ่านอัดแท่ง อัตราส่วน 1:3.2 ²	6.80	59.64	7.65	15.91	4,073
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านกะลาปาล์มที่คัดขนาด ¹	3.34	94	6	52	5,211
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านกะลาปาล์มที่ไม่คัดขนาด ¹	3.80	94	6	52	5,710
ชีเลื่อยอัดแท่งผสมผักตบชวา ²	8.84	56.21	22.57	12.38	3,364.46
สวะอัดแท่ง ¹	4.23	73	27	41	3,571

ที่มา :1 อทิตยา, 2548

2 สุวิมล, 2543

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำขยะมูลฝอยชุมชน 2 ประเภท ได้แก่ เศษกระดาษ และเศษไม้/ใบไม้ มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 5 อัตราส่วน คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนัก เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 50%:50% โดยน้ำหนัก เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 25%:75% โดยน้ำหนัก และเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 5%:95% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงบางอัตราส่วนต้องมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในการอัดแท่งเข้าไปอีกเพื่อให้การอัดแท่งเป็นไปได้ด้วยดี

2. อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 แคลอรีต่อกรัม (cal/g) ในเชื้อเพลิงแห้ง และ 4,314.16 cal/g ในถ่านเชื้อเพลิง

3. ค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงแห้งจะมากกว่าค่าความร้อนที่ได้จากถ่านเชื้อเพลิงในทุกอัตราส่วนยกเว้นอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนักขึ้นไป ค่าความร้อนจากถ่านเชื้อเพลิงจะมากกว่าเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่จำเป็นต้องนำเชื้อเพลิงไปเผาทำเป็นถ่านก่อนถึงจะนำมาใช้งานก็ได้ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก

4. เมื่อนำผลปริมาณค่าความร้อนมาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในส่วนของเชื้อเพลิงแห้ง อัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนัก กับชุดควบคุมอัตราส่วน 0%:100% โดยน้ำหนัก อัตราส่วน 25%:75% โดยน้ำหนักกับอัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วน 75%:25% กับอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วน 95%:5% โดยน้ำหนักกับชุดควบคุมอัตราส่วน 100%:0% จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในส่วนของถ่านเชื้อเพลิงนั้นอัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนัก กับอัตราส่วน 25%:75% และ 50%:50% โดยน้ำหนัก จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน นอกจากนั้นจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. เมื่อทำการทดสอบหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภท ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ค่าปริมาณความร้อนที่ให้ของเชื้อเพลิงแห่งชุดควบคุมอัตราส่วน 0%:100% โดยน้ำหนัก กับเชื้อเพลิงแห่งอัตราส่วน 5%:95% โดยน้ำหนัก และถ่านเชื้อเพลิงอัตราส่วน 5%:95% 25%:75% และ 50%:50% โดยน้ำหนัก จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อเพลิงแห่งอัตราส่วน 25%:75% โดยน้ำหนัก กับเชื้อเพลิงแห่งอัตราส่วน 50%:50% โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับถ่านเชื้อเพลิงอัตราส่วน 75%:25% โดยน้ำหนัก และเชื้อเพลิงแห่งอัตราส่วน 75%:25% 5%:95% และเชื้อเพลิงแห่งชุดควบคุมอัตราส่วน 100%:0% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. ในการนำเชื้อเพลิงไปใช้นั้น ถึงแม้ว่าเชื้อเพลิงแห่งจะให้ค่าปริมาณความร้อนสูงกว่าถ่านเชื้อเพลิง แต่เมื่อนำไปเผาแล้วจะเกิดควันปริมาณมากก่อให้เกิดความรำคาญได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำเชื้อเพลิงแห้ง แม้ว่าอัตราส่วนเศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุด แต่ในขั้นตอนการอัดแท่งจะอัดแท่งได้ลำบากทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น ผู้จัดทำจึงเสนอให้ใช้อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนรองลงมา คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 75%:25% โดยน้ำหนักถ้าเป็นเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งให้ค่าความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายน้อยกว่า
2. ในการนำเชื้อเพลิงแห้งไปใช้ เมื่อเผาจะให้ปริมาณควันมากจึงควรนำไปใช้กับเตาประเภทไร้ควันจะช่วยให้ปริมาณควันที่จะเกิดขึ้นลดลงได้
3. ในการดำเนินการวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาทางด้านมลพิษทางอากาศว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้มีการปล่อยมลพิษได้ออกมาหรือไม่ มากหรือน้อยอย่างไร
4. ในการดำเนินการวิจัยต่อไปควรนำขยะมูลฝอยชุมชนประเภทอื่นๆ มาทำการศึกษาด้วย เพื่อจะได้เป็นประโยชน์ในการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้น และสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ต่อไป
5. ควรมีการศึกษาวិธีการเก็บรักษาเชื้อเพลิงที่ได้ให้มีคุณภาพอยู่ได้นาน ซึ่งสามารถจะทำให้เกิดการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้
6. ควรมีการศึกษา วิเคราะห์เพื่อหาตลาดในการสนับสนุนให้เกิดการผลิตในเชิงพาณิชย์ทั้งภายในประเทศ และส่งออกไปภายนอกประเทศ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญญา บุญเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. งานผลิตภัณฑ์ข้าวตัวอย่างและแกลบอัด. (Online). แหล่งที่มา: http://www.royalchitralada.or.th/semi_busi/projb02_2_1.html. (27 มกราคม 2550).

โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. งานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง. (Online). แหล่งที่มา: http://www.royalchitralada.or.th/semi_busi/projb03_1.html. (27 มกราคม 2550).

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2547. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2546. กรุงเทพมหานคร.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2547. แนวทางการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยในชุมชน. กรุงเทพมหานคร.

พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. พลังงานขยะ. (Online). แหล่งที่มา: <http://infoterra.deqp.go.th/modules.php?name=News&file=article&sid=43> (27 มกราคม 2550).

ภัทรพล คุณารักษ์. 2544. มาเปลี่ยนขยะอินทรีย์ให้เป็นเอทานอลกันเถอะ. วารสาร คพ, 5, 1 : 19-21.

ศศิรินทร์ วิทยานนท์. 2543. รายงานสัมมนาปัญหาพิเศษเรื่อง “การศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ประกอบด้วยฟางข้าวผสมแกลบ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากแกลบ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2544. ถ่าน: การผลิตที่ดูวิธีและประโยชน์ (Charcoal: Small Scale Production and Use). กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2545. คู่มือพลังงานยั่งยืน (รวมการประหยัดพลังงานและพลังงานทดแทนสำหรับชาวบ้านและประชาสังคม) (The Sustainable Energy Handbook for NGOs and Local Groups). กรุงเทพมหานคร.

สำเริง จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิมล กฤษณะสุวรรณ. 2543. รายงานสัมมนาปัญหาพิเศษเรื่อง “การศึกษการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากต้นอ้อย”. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

อุษา วิเศษสุนน. (2537). เทคโนโลยีการจัดการด้านขยะและกากเป็นพิษ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials, (ASTM). 2004. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter E0711-87 (Reapproved 2004). (Online). Available from: <http://203.144.248.23/astm/detail.nsp> (25 May 2005).
- American Society for Testing and Materials, (ASTM). 2004. Standard Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample E0790-87 (Reapproved 2004). (Online). Available from: <http://203.144.248.23/astm/detail.nsp> (25 May 2005).
- American Society for Testing and Materials, (ASTM). 2004. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel E0830-87 (Reapproved 2004). (Online). Available from: <http://203.144.248.23/astm/detail.nsp> (25 May 2005).
- American Society for Testing and Materials, (ASTM). 2004. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel E0897-88 (Reapproved 2004). (Online). Available from: <http://203.144.248.23/astm/detail.nsp> (25 May 2005).
- Eleftheriou, P. 2002. Energy from wastes: a possible alternative energy source for Cyprus municipalities?. *Energy Conversion and Management*. 43: 1969–1975.
- Kathirvale, S., Yunus, M. N. M., Sopian, K., and Samsuddin, A. H. 2003. Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable Energy*. 29: 559-567.
- Li, Y., Liu, H., and Zhang, O. 2001. High-pressure compaction of municipal solid waste to form densified fuel. *Fuel Processing Technology*. 74: 81-91.

บรรณานุกรม

- ทิพวรรณ รักรวงศ์. 2546. การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านเปลือกทุเรียนผสมกับกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ทิพวรรณ ธรรมครุฑ และ ชีราภรณ์ สุขะ. 2548. การศึกษาคุณสมบัติถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงจากสวะในพื้นที่บริเวณหนองหนองหาน อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- ทองทิพย์ พูลเกษม. 2542. การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2528. เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- รุ่งโรจน์ ยิ่งเจริญรุ่งโรจน์ และ อรวี บุญสมพงษ์. 2541. การผลิตถ่านไม้สังเคราะห์จากทะเลลายปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาสาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และ อุดมรุ่งโรจน์สกุล. 2525. เชื้อเพลิงอัดก้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำเร็จ จักรใจ. 2547. การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Caputo, A. C., Palumbo, M., and Scacchia, F. 2004. Perspectives of RDF use in decentralized areas: comparing power and co-generation solutions. Applied Thermal Engineering. 24: 2171-2187.
- Fu, Z.M., Li, X.R., and Koseki, H. 2005. Heat generation of refuse derived fuel with water. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 18: 27-33.
- Lunde, T. 1995. "The impact of source separation, recycling and mechanical processing on MSW conversion to energy. Biomass and Bioenergy. 9: 387-398.
- Mason, I.G., Oberender, A., and Brooking, A.K. 2004. Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus. Resource, Conservation and Recycling. 40: 155-172.
- McKay, G. 2002. Dioxin characterization, formation and minimization during municipal solid waste (MSW) incineration: review. Chemical Engineering Journal. 86: 343-368.
- Metin, E., Erozturk, A., and Neyim, C. 2003. Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. Waste management. 23: 425-432.
- Rotter, V. S., Kost, T., Winkler, J., and Bilitewski, B. 2004. Material flow analysis of RDF-production processes. Waste management. 24: 1005-1021.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter¹

This standard is issued under the fixed designation E 711; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the gross calorific value of a prepared analysis sample of solid forms of refuse-derived fuel (RDF) by the bomb calorimeter method.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific cautionary and precautionary statements see 6.10 and Section 8.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 1193 Specification for Reagent Water
- D 3177 Test Method for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke
- E 1 Specification for ASTM Thermometers
- E 180 Practice for Determining the Precision of ASTM Methods for Analysis and Testing of Industrial Chemicals
- E 775 Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel
- E 790 Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample
- E 829 Practice for Preparing Refuse-Derived Fuels (RDF) Laboratory Samples for Analysis

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calorific value*—the heat of combustion of a unit quantity of a substance. It may be expressed in joules per gram (J/g), British thermal units per pound (Btu/lb), or calories per gram (cal/g) when required.

NOTE 1—The unit equivalents are as follows:

1 Btu (International Table) = 1055.06 absolute joules

1 Calorie (International Table) = 4.1868 absolute joules

1 Btu/lb = 2.326 J/g

1.8 Btu/lb = 1.0 cal/g

3.1.2 *gross calorific value*—the heat produced by combustion of a unit quantity of solid fuel, at constant volume, in an oxygen bomb calorimeter under specified conditions such that all water in the products remains in liquid form.

3.1.3 *net calorific value*—a lower value calculated from the gross calorific value. It is equivalent to the heat produced by combustion of a unit quantity of solid fuel at a constant pressure of one atmosphere, under the assumption that all water in the products remains in the form of vapor.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *calorimeter*—describes the bomb, the vessel with stirrer, and the water in which the bomb is immersed.

3.2.2 *energy equivalent*—the energy required to raise the temperature (Note 2) of the calorimeter system 1°C (or 1°F) per gram of sample. This is the number that is multiplied by the corrected temperature rise in degrees and divided by the sample weight in grams to give the gross calorific value after thermochemical corrections have been applied.

NOTE 2—Temperature change is measured in thermal units. Temperature changes may also be recorded in electromotive force, ohms, or other units when other types of temperature sensors are used. Consistent units must be used in both the standardization and actual calorific determination. Time is expressed in minutes. Weights are measured in grams.

3.2.3 *refuse-derived fuels*—solid forms of refuse-derived fuels from which appropriate analytical samples may be prepared are defined as follows in ASTM STP 832:³

RDF-1—Wastes used as a fuel in as-discarded form with only bulky wastes removed.

RDF-2—Wastes processed to coarse particle size with or without ferrous metal separation.

RDF-3—Combustible waste fraction processed to particle sizes, 95 % passing 2-in. square screening.

RDF-4—Combustible waste fraction processed into powder form, 95 % passing 10-mesh screening.

RDF-5—Combustible waste fraction densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cubettes, or briquettes.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D34 on Waste Management and is the direct responsibility of Subcommittee D34.03 on Treatment. Current edition approved Aug. 28, 1987. Published October 1987.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ *Thesaurus on Resource Recovery Terminology*, ASTM STP 832, ASTM, 1983, p. 72.

4. Summary of Test Method

4.1 Calorific value is determined in this method by burning a weighed analysis sample in an oxygen bomb calorimeter under controlled conditions. The calorific value is computed from temperature observations made before and after combustion, taking proper allowance for thermometer and thermochemical corrections. Either isothermal or adiabatic calorimeter jackets may be used.

5. Significance and Use

5.1 The calorific value, or heat of combustion, is a measure of the energy available from a fuel. Knowledge of this value is essential in assessing the commercial worth of the fuel and to provide the basis of contract between producer and user.

6. Apparatus

6.1 *Test Room*—The apparatus should be operated in a room or area free of drafts that can be kept at a reasonably uniform temperature and humidity for the time required for the determination. The apparatus should be shielded from direct sunlight and radiation from other sources. Controlled room temperature and humidity are desirable.

6.2 *Oxygen Bomb*, constructed of materials that are not affected by the combustion process or products sufficiently to introduce measurable heat input or alteration of end products. If the bomb is lined with platinum or gold, all openings shall be sealed to prevent combustion products from reaching the base metal. The bomb shall be designed so that all liquid combustion products can be completely recovered by washing the inner surfaces. There shall be no gas leakage during a test. The bomb shall be capable of withstanding a hydrostatic pressure test to 21 MPa (3000 psig) at room temperature without stressing any part beyond its elastic limit.

6.3 *Calorimeter*, made of metal (preferably copper or brass) with a tarnish-resistant coating and with all outer surfaces highly polished. Its size shall be such that the bomb will be completely immersed in water when the calorimeter is assembled. It shall have a device for stirring the water thoroughly and at a uniform rate, but with minimum heat input. Continuous stirring for 10 min shall not raise the calorimeter temperature more than 0.01°C (0.02°F) starting with identical temperatures in the calorimeter, room, and jacket. The immersed portion of the stirrer shall be coupled to the outside through a material of low heat conductivity.

6.4 *Jacket*—The calorimeter shall be completely enclosed within a stirred water jacket and supported so that its sides, top, and bottom are approximately 10 mm from the jacket walls. The jacket may be arranged so as to remain at constant temperature or with provisions for rapidly adjusting the jacket temperature to equal that of the calorimeter for adiabatic operation. It shall be constructed so that any water evaporating from the jacket will not condense on the calorimeter.

6.5 *Thermometers*—Temperatures in the calorimeter and jacket shall be measured with the following thermometers or combinations thereof:

6.5.1 *Mercury-in-Glass Thermometers*, conforming to the requirements for Thermometers 116°C or 117°C (56°F or 57°F) as prescribed in Specification E 1. Other thermometers

of equal or better accuracy are satisfactory. These thermometers shall be tested for accuracy against a known standard (preferably by the National Bureau of Standards) at intervals no greater than 2.0°C (3.6°F) over the entire graduated scale. The maximum difference in correction between any two test points shall not be more than 0.02°C (0.04°F).

6.5.2 *Beckmann Differential Thermometer*, having a range of approximately 6°C in 0.01°C subdivisions reading upward and conforming to the requirements for Thermometer 115°C, as prescribed in Specification E 1. Each of these thermometers shall be tested for accuracy against a known standard at intervals no larger than 1°C over the entire graduated scale. The maximum difference between any two test points shall not be more than 0.02°C.

6.5.3 *Calorimetric-Type Platinum Resistance Thermometer*, 25-, tested for accuracy against a known standard.

6.5.4 *Other Thermometers*—A high precision electronic thermometer employing balanced thermistors or a quartz thermometer may be used, provided the temperature rise indication is accurate within $\pm 0.003^\circ\text{C}$ per 1°C rise.

6.6 *Thermometer Accessories*—A magnifier is required for reading mercury-in-glass thermometers to one tenth of the smallest scale division. This shall have a lens and holder designed so as to introduce no significant errors due to parallax. A Wheatstone bridge and galvanometer capable of measuring resistance to 0.0001 Ω are necessary for use with resistance thermometers.

6.7 *Sample Holder*—Samples shall be burned in an open crucible of platinum, quartz, or acceptable base-metal alloy. Base-metal alloy crucibles are acceptable if after a few preliminary firings the weight does not change significantly between tasks.

6.8 *Firing Wire* shall be 100 mm of No. 34 B & S nickel-chromium alloy wire or 100 mm of No. 34 B & S iron wire. Equivalent platinum or palladium wire may be used provided constant ignition energy is supplied, or measured, and appropriate corrections made.

6.9 *Firing Circuit*—A 6 to 16-V alternating or direct current is required for ignition purposes with an ammeter or pilot light in the circuit to indicate when current is flowing. A stepdown transformer connected to an alternating current lighting circuit or batteries may be used.

6.10 **CAUTION:** The ignition circuit switch shall be of momentary double-contact type, normally open, except when held closed by the operator. The switch should be depressed only long enough to fire the bomb.

7. Reagents

7.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁴ Other grades may be

⁴ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Analytical Standards for Laboratory U.K. Chemicals," BDH Ltd., Poole, Dorset, and the "United States Pharmacopeia."

used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

7.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water, Type III, conforming to Specification D 1193.

7.3 *Benzoic Acid, Standard (C₆H₅COOH)*—Use National Bureau of Standards SRM (Standard Reference Material) benzoic acid. The crystals shall be pelletized before use. Commercially prepared pellets may be used provided they are made from National Bureau of Standards benzoic acid. The value of heat of combustion of benzoic acid, for use in the calibration calculations, shall be in accordance with the value listed in the National Bureau of Standards certificate issued with the standard.

7.4 *Methyl Orange, Methyl Red, or Methyl Purple Indicator*—may be used to titrate the acid formed in the combustion. The indicator selected shall be used consistently in both calibrations and calorific determinations.

7.5 *Oxygen*, free of combustible matter. Oxygen manufactured from liquid air, guaranteed to be greater than 99.5 % pure, will meet this requirement. Oxygen made by the electrolytic process may contain a small amount of hydrogen rendering it unfit without purification.

7.6 *Sodium Carbonate, Standard Solution (0.34 N)*—One millilitre of this solution should be equivalent to 20.0 J in the nitric acid (HNO₃) titration. Dissolve 18.02 g of anhydrous sodium carbonate (Na₂CO₃) in water and dilute to 1 L. The Na₂CO₃ should be previously dried for 24 h at 105°C. The buret used for the HNO₃ titration shall be of such accuracy that estimations to 0.1 mL can be made. A more dilute standard solution may be used for higher sensitivity.

8. Precautions

8.1 Due to the origins of RDF in municipal waste, common sense dictates that some precautions should be observed when conducting tests on the samples. Recommended hygienic practices include use of gloves when handling RDF and washing hands before eating or smoking.

8.2 The following precautions are recommended for safe calorimeter operation:

8.2.1 The weight of solid fuel sample and the pressure of the oxygen admitted to the bomb must not exceed the bomb manufacturer's recommendations.

8.2.2 Bomb parts should be inspected carefully after each use. Threads on the main closure should be checked frequently for wear. The bomb should be returned to the manufacturer occasionally for inspection and possibly proof of firing.

8.2.3 The oxygen supply cylinder should be equipped with an approved type of safety device, such as a reducing valve, in addition to the needle valve and pressure gage used in regulating the oxygen feed to the bomb. Valves, gages, and gaskets must meet industry safety codes. Suitable reducing valves and adaptors for 2 to 3.5-MPa (300 to 500-psig) discharge pressure are obtainable from commercial sources of compressed gas equipment. The pressure gage shall be checked periodically for accuracy.

8.2.4 During ignition of a sample, the operator shall not permit any portion of his body to extend over the calorimeter.

9. Sampling⁵

9.1 RDF products are frequently nonhomogeneous. For this reason significant care should be exercised to obtain a representative laboratory sample for the RDF lot to be characterized.

9.2 The sampling method for this procedure should be based on agreement between the involved parties.

9.3 The laboratory sample must be air-dried and particle size reduced to pass a 0.5-mm screen as described in Practice E 829.

10. Standardization

10.1 Determine the energy equivalent of the calorimeter as the average of a series of ten individual runs, made over a period of not less than 3 days or more than 5 days. To be acceptable, the standard deviation of the series shall be 6.9 kJ/°C (6.5 Btu/°C) or less (see Appendix X1, Table X1.1). For this purpose, any individual run may be discarded only if there is evidence indicating incomplete combustion. If this limit is not met, repeat the entire series until a series is obtained with a standard deviation below the acceptable limit.

10.2 The weights of the pellets of benzoic acid in each series should be regulated to yield the same temperature rise as that obtained with the various samples tested in the individual laboratories. The usual range of weight is 0.9 to 1.3 g. Make each determination in accordance with the procedure described in Section 11, and compute the corrected temperature rise, *T*, as described in 12.1. Determine the corrections for HNO₃ and firing wire as described in 12.2 and substitute into the following equation:

$$E = [(H)(g) + e_1 + e_3 + e_4] \times t \quad (1)$$

where:

E = energy equivalent, J/°C,

H = heat of combustion of benzoic acid, as stated in the National Bureau of Standards certificate, J/g,

g = weight of benzoic acid, g,

t = corrected temperature rise, °C,

*e*₁ = titration correction, J,

*e*₃ = fuse wire correction, J, and

*e*₄ = correction for ignition energy if measured and corrected for, J.

10.3 Standardization tests should be repeated after changing any part of the calorimeter and occasionally as a check on both calorimeter and operating technique.

11. Procedure

11.1 *Weight of Sample*—Thoroughly mix the analysis sample of solid fuel in the sample bottle, taking care that the heavies and lights (fluff) are distributed in the sample (Note 3). Carefully weigh approximately 1 g of the sample directly into the crucible in which it is to be burned or into a tared weighing scoop from which the sample is transferred to the crucible. Weigh the sample to the nearest 0.1 mg. Some form of compaction may be necessary to ensure satisfactory ignition and complete combustion.

⁵ ASTM Subcommittee E38.01 is currently in the process of developing procedures for sampling RDF-3 and the preparation of an analysis sample. The chairman of E38.01 should be contacted for details.

NOTE 3—In the event segregation of the heavies and lights cannot be avoided, attempt to remove sample from the bottle in such a way that a representative sample is transferred.

NOTE 4—Perform the residual moisture determination of the sample simultaneously using Test Method E 790.

11.2 *Water in Bomb*—Add 1.0 mL of water to the bomb by a pipet. Before adding this water, rinse the bomb, and drain the excess water, and leave undried.

11.3 *Firing Wire*—Connect a measured length of firing wire to the ignition terminals with enough slack to allow the firing wire to maintain contact with the sample.

11.4 *Oxygen*—Charge the bomb with oxygen to a consistent pressure between 20 and 30 atm (2.03 and 3.04 MPa). This pressure must remain the same for each calibration and for each calorific determination. If, by accident, the oxygen introduced into the bomb should exceed the specified pressure, do not proceed with the combustion. Detach the filling connection and exhaust the bomb in the usual manner. Discard this sample.

11.5 *Calorimeter Water*—It is recommended that calorimeter water temperature be adjusted before weighing as follows:

11.5.1 *Isothermal Jacket Method*, 1.6 to 2.0°C (3.0 to 3.5°F) below jacket temperature (Note 4).

11.5.2 *Adiabatic Jacket Method*, 1.0 to 1.4°C (2.0 to 2.5°F) below room temperature.

NOTE 5—This initial adjustment will ensure a final temperature slightly above that of the jacket for calorimeters having an energy equivalent of approximately 10 200 J/K (2450 cal/°C). Some operators prefer a lower initial temperature so that the final temperature is slightly below that of the jacket. This procedure is acceptable, provided it is used in all tests, including standardization. Use the same amount (± 0.5 g) of water in the calorimeter vessel for each test and for calibration. The amount of water (2000 g is usual) can be most satisfactorily determined by weighing the calorimeter vessel and water together on a balance. The water may be measured volumetrically if it is always measured at the same temperature. Tap water may be satisfactory for use in calorimeter bucket.

11.6 *Observations, Isothermal Jacket Method*—Assemble the calorimeter in the jacket and start the stirrer. Allow 5 min for attainment of equilibrium; then record the calorimeter temperatures (Note 6) at 1-min intervals for 5 min. Fire the charge at the start of the sixth minute and record the time and temperature, T^a . Add to this temperature 60 % of the expected temperature rise, and record the time at which the 60 % point is reached (Note 5). After the rapid-rise period (about 4 to 5 min), record temperatures at 1-min intervals on the minute until the difference between successive readings has been constant for 5 min.

NOTE 6—Use a magnifier and estimate all readings (except those during the rapid rise period) to the nearest 0.002°C (0.005°F) when using ASTM Bomb Calorimeter Thermometer 56C (56F). Estimate Beckmann thermometer readings to the nearest 0.001°C. Tap mercurial thermometers with a pencil just before reading to avoid errors caused by mercury sticking to the walls of the capillary.

NOTE 7—When the approximate expected rise is unknown, the time at which the temperature reaches 60 % of the total can be determined by recording temperatures at 45, 60, 75, 90, and 105 s after firing and interpolating.

11.7 *Observations, Adiabatic Jacket Method*—Assemble the calorimeter in the jacket and start the stirrer. Adjust the jacket temperature to be equal to or slightly lower than the

calorimeter, and run for 5 min to obtain equilibrium. Adjust the jacket temperature to match the calorimeter with $\pm 0.01^\circ\text{C}$ (0.02°F) and hold for 3 min. Record the initial temperature (Note 6) and fire the charge. Adjust the jacket temperature to match that of the calorimeter during the period of rise, keeping the two temperatures as nearly equal as possible during the rapid rise, and adjusting to within $\pm 0.01^\circ\text{C}$ (0.02°F) when approaching the final equilibrium temperature. Take calorimeter readings at 1-min intervals until the same temperature is observed in three successive readings. Record this as the final temperature. Do not record time intervals since they are not critical in the adiabatic method.

11.8 *Analysis of Bomb Contents*—Remove the bomb and release the pressure at a uniform rate, in such a way that the operation will require not less than 1 min. Examine the bomb interior and discard the test if unburned sample or sooty deposits are found. Carefully wash the interior of the bomb including the capsule with distilled or deionized water containing the titration indicator until the washings are free of acid. Collect the washings in a beaker and titrate the washings with standard carbonate solution. Remove and measure or weigh the combined pieces of unburned firing wire, and subtract from the original length or weight to determine the wire consumed in firing. Determine the sulfur content of the sample by any of the procedures described in Test Methods E 775.

12. Calculation

12.1 *Temperature Rise in Isothermal Jacket Calorimeter*—Using data obtained as prescribed in 11.6, compute the temperature rise, T , in an isothermal jacket calorimeter as follows:

$$T = T_c - T_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad (2)$$

where:

- T = corrected temperature rise,
- a = time of firing,
- b = time (to nearest 0.1 min) when the temperature rise reaches 60 % of total,
- c = time at beginning of period in which the rate of temperature change with time has become constant (after combustion),
- T_a = temperature at time of firing, corrected for thermometer error (Note 7),
- T_c = temperature at time c , corrected for thermometer error (Note 7),
- r_1 = rate (temperature units per minute) at which temperature was rising during 5-min period before firing, and
- r_2 = rate (temperature units per minute) at which temperature was rising during the 5-min period after time c . If the temperature is falling, r_2 is negative and the quantity $r_2(c - b)$ is positive.

12.2 *Temperature Rise in Adiabatic Jacket Calorimeter*—Using data obtained as prescribed in 11.7 compute the corrected temperature rise, T , as follows:

$$T = T_f - T_a \quad (3)$$

where:

- T = corrected temperature rise, °C or °F,

T_a = initial temperature when charge was fired, corrected for thermometer error (Note 8), and
 T_f = final temperature corrected for thermometer error.

NOTE 8—With all mercury-in-glass thermometers, it is necessary to make the following corrections if the total heat value is altered by 12 J/g or more. This represents a change of 0.001°C (0.002°F) in a calorimeter using approximately 2000 g of water. The corrections include the calibration correction as stated on the calibration certificate, the setting correction for Beckman thermometers according to the directions furnished by the calibration authority, and the correction for emergent stem. Directions for these corrections are given in Appendix X2.

12.3 *Thermochemical Corrections* (Appendix X3)—
 Compute the following for each test:

- e_1 = correction for the heat of formation of HNO_3 , J. Each millilitre of standard alkali is equivalent to 20.0 J.
- e_2 = correction for heat of formation of H_2SO_4 , J
 = $55.2 \times \text{percent of sulfur in sample} \times \text{weight of sample, g}$.
- e_3 = correction for heat of combustion of firing wire, J (Note 10)
 = 9.6 J/cm or 5980 J/g for No. 34 B & S gage Chromel C
 = 11.3 J/cm or 7330 J/g for No. 34 B & S iron wire.
- e_4 = correction for ignition energy of platinum or palladium if measured and corrected for.

NOTE 9—There is no correction for platinum or palladium wire, provided the ignition energy is constant.

12.4 *Calorific Value:*

12.4.1 Calculate the gross calorific value (gross heat of combustion) as follows:

$$H_s = [(T)(E) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4]/g \quad (4)$$

where:

- H_s = gross calorific value, J/g,
- T = corrected temperature rise as calculated in 12.1 or 12.2, °C or °F, consistent with the water equivalent value,
- E = energy equivalent (see Section 10), e_1 , e_2 , e_3 , e_4 = corrections as prescribed in 12.3, and
- g = weight of sample, g.

12.4.2 Calculate the net calorific value (net heat of combustion) as follows:

$$H_i = H_s - 23.96 (H \times 9) \quad (5)$$

where:

- H_i = net calorific value (net heat of combustion), J/g,
- H_s = gross calorific value (gross heat of combustion), J/g, and
- H = total hydrogen, %.

13. Precision and Bias ⁶

13.1 *Precision*—The standard deviations of individual determinations, in Btu/lb, are:

Average	Within-laboratory	Between-laboratories
HHV-1:		
6400	27.1	135.5
5200	48.8	239.6
HHV-2:		
7900	32.3	118.0
7400	38.1	227.8
HHV-3:		
9700	111.3	290.4
9500	99.2	249.2
9300	40.3	67.6

13.2 These precision estimates are based on an interlaboratory study conducted in accordance with Practice E 180.

⁶ Supporting data are available on loan from ASTM Headquarters. Request RR:E38-1000.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. CALCULATION OF STANDARD DEVIATIONS FOR CALORIMETER STANDARDIZATION

X1.1 The example given in Table X1.1 illustrates the method of calculating standard deviations for calorimeter standardizations.

TABLE X1.1 Standard Deviations for Calorimeter Standardization^A

Standardization Number	Column A Water Equivalent, (Btu/lb) × (g/°C)	Column B Code to 4400 (Column A-4400)	Column C (Column B) ²
1	4412	12	144
2	4407	7	49
3	4415	15	225
4	4408	8	64
5	4404	4	16
6	4406	6	36
7	4409	9	81
8	4410	10	100
9	4412	12	144
10	4409	9	81
Sum		92	940

Average = $\bar{x}^2 = x/10 = (92/10) + 4400 = 4409$
 Variance = $s^2 = \text{Column C} - (\text{Column B})^2/n/n - 1 = 940 - (92)^2/10/9 = 10.4$
 Standard deviation, $s = \text{Variance} = 10.4 = 3.22$

^A In this example the values of water equivalent are typical for a calorimeter calibrated such that the water equivalent multiplied by the temperature rise in °C/g of sample will give the calorific value of the sample in Btu/lb.

X2. THERMOMETER CORRECTIONS

X2.1 It is necessary to make the following corrections in the event they result in an equivalent change of 0.001°C or more.

X2.1.1 *Calibration Correction* shall be made in accordance with the calibration certificate furnished by the calibration authority.

X2.1.2 *Setting Correction* is necessary for the Beckmann thermometer. It shall be made in accordance with the directions furnished by the calibration authority.

X2.1.3 *Differential Emergent Stem Correction*—The calculation depends upon the way the thermometer was calibrated and how it is used. The following two conditions are possible:

(a) *Thermometers Calibrated in Total Immersion and Used in Partial Immersion*—This emergent stem correction is made as follows:

$$\text{Correction} = K(t_c - t_a)(t_c + t_a - L - T) \tag{X2.1}$$

where:

- K = 0.00016 for thermometers calibrated in °C, 0.00009 for thermometers calibrated in °F,
- L = scale reading to which the thermometer was immersed,
- T = mean temperature of emergent stem,
- t_a = initial temperature reading, and
- t_c = final temperature reading.

NOTE X2.1—*Example*—Suppose the point L , to which the thermometer was immersed was 16°C; its initial reading, t_a , was 24.127°C, its final reading, t_c , was 27.876°C, the mean temperature of the emergent stem, T , was 26°C,

then:

Differential stem correction

$$= + 0.00016 (28 - 24) (28 + 24 - 16 - 26) \tag{X2.2}$$

$$= + 0.006^\circ\text{C}$$

(b) *Thermometers Calibrated and Used in Partial Immersion but at a Different Temperature than the Calibration Temperature*—This emergent stem correction is made as follows:

$$\text{Correction} = K (t_c - t_a) (t_1 - t^\circ) \tag{X2.3}$$

where:

- K = 0.00016 for thermometers calibrated in °C, 0.00009 for thermometers calibrated in °F,
- t_a = initial temperature reading,
- t_c = final temperature reading,
- t_1 = observed stem temperature, and
- t° = stem temperature at which the thermometer was calibrated.

NOTE X2.2—*Example*—Suppose the initial reading, t_a , was 80°F, the final reading, t_c , was 86°F, and that the observed stem temperature, t_1 , was 82°F, and the calibration temperature, t° , was 72°F; then:

Differential stem correction

$$= 0.00009 (86 - 90)(82 - 72) \tag{X2.4}$$

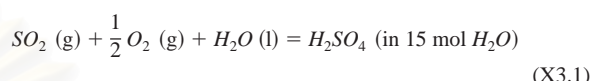
$$= 0.005^\circ\text{F}$$

X3. THERMOCHEMICAL CORRECTIONS

X3.1 *Heat of Formation of Nitric Acid*—A correction (e^1 , in 12.3) of 20 J is applied for each 1 mL of standard Na_2CO_3 solution used in the acid titration. The standard solution (0.34 N) contains 18.02 g of $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{L}$. This correction is based on assumption that all the acid titrated is HNO_3 formed by the following reaction: $\frac{1}{2} \text{N}_2 (\text{g}) + \frac{3}{4} \text{O}_2 (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} (\text{l}) = \text{HNO}_3$ (in 500 mol H_2O), and (2) the energy of formation of 1 mol of HNO_3 is approximately 500 mol of water under bomb conditions is 14.1 kcal/mol.⁷ When H_2SO_4 is also present part of the correction for H_2SO_4 is contained in the e_1 correction and the remainder in the e_2 correction.

X3.2 *Heat of Formation of Sulfuric Acid*—By definition the gross calorific value is obtained when the product of the combustion of sulfur in the sample is $\text{SO}_2 (\text{g})$. However, in actual bomb combustion processes, the sulfur is found as H_2SO_4 in the bomb washings. A correction (e_2 in 12.4.1) of 55.2 J is applied for each percent of sulfur in the 1-g sample, that is converted to H_2SO_4 . This correction is based upon the energy of formation of H_2SO_4 in solutions such as will be present in the bomb at the end of a combustion. This energy is taken as -70.5 kcal/mol.⁷ A correction, of 2×14.1 kcal/mol of sulfur was applied in the e_1 correction, so the additional correction necessary is $70.5 - (2 \times 14.1) = 42.3$ kcal/mol or 5520 J of sulfur in the sample ($55.2 \text{ J} \times \text{weight of sample in grams} \times \% \text{ sulfur in sample}$).

X3.2.1 The value of 5520 J/g of sulfur is based on a coal containing about 5 % sulfur and about 5 % hydrogen. The assumption is also made that the H_2SO_4 is dissolved entirely in water condensed during combustion of the sample.⁸ If a 1-g sample of such a fuel is burned, the resulting H_2SO_4 condensed with water formed on the walls of the bomb will have a ratio of about 15 mol of water to 1 mol of H_2SO_4 . For this concentration the energy of the reaction.



under the conditions of the bomb process is -70.5 kcal/mol.

X3.2.2 Basing the calculation upon a sample of comparatively large sulfur content reduces the overall possible errors, because for smaller percentages of sulfur the correction is smaller.

X3.3 *Fuse Wire*—Calculate the heat in SI units contributed by burning the fuse wire in accordance with the directions furnished by the supplier of the wire. For example, the heat of combustion of No. 34 B & S gage Chromel C wire is equivalent to 9.6 J/cm or 5980 J/g and that of No. 34 B & S gage iron wire is equivalent to 11.3 J/cm or 7330 J/g. There is no correction for platinum or palladium wire provided the ignition energy is constant.

⁷ Calculated from data in National Bureau of Standards Circular 500.

⁸ Mott, R. A., and Parker, C., "Studies in Bomb Calorimetry IX-Formation of Sulfuric Acid," *Fuel*, Vol 37, 1958, p. 371.

X4. REPORTING RESULTS IN OTHER UNITS

X4.1 *Reporting Results in British Thermal Units (Btu) per Pound*—The gross calorific value can be expressed in British thermal units by using the thermochemical correction factors in

Table X4.1 and the water equivalent expressed in $(\text{Btu/lb}) \times (\text{g}/^\circ\text{C})$.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE X4.1 Thermochemical Correction Factors (Units in BTU)

Correction	Multipli- cation Factor	Multiply by
$e_1(\text{HNO}_3)$	10.0	mL of 0.394 MNa_2CO_3 solution
$e_2(\text{H}_2\text{SO}_4)$	23.7	% of sulfur in sample times weight of sample in grams
e_3 (fuse wire)	4.1or	cm of No. 34 B & S gage Chromel C wire
	2570	weight (g) of Chromel C wire
e_3 (fuse wire)	4.9or	cm of No. 34 B & S gage iron wire
	3150	weight (g) of iron wire

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Designation: E 790 – 87 (Reapproved 2004)

Standard Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample¹

This standard is issued under the fixed designation E 790; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement of the residual moisture in an analysis sample of RDF. It is used to calculate to the dry basis other determinations performed on the analysis sample. It is used with the air-dry moisture results to calculate total moisture (Note 1). The total moisture is used to calculate as-received values or other analyses performed on the sample.

NOTE 1—In some instances RDF moisture may change during the size-reduction steps of the analysis sample preparation procedure. This moisture change, unless suitable corrections are made, will affect the accuracy of the total moisture value as calculated from the air-dry and residual moisture results.

1.2 The values stated in acceptable metric units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For more specific precautionary information see Section 7.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 3173 Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke

E 180 Practice for Developing Precision of ASTM Methods for Analysis and Testing of Industrial Chemicals

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *air drying*—a process of partial drying of RDF to bring its moisture content near to equilibrium with the atmosphere in which further reduction, division, and characterization of the sample are to take place. In order to bring about the

equilibrium, the RDF is usually subjected to drying under controlled temperature conditions ranging from 30 to 40°C.

3.1.2 *analysis sample*—the final subsample prepared from the air-dried laboratory sample but reduced by passing through a mill with a 0.5-mm (0.02-in.) size or smaller final screen.

3.1.3 *bias*—a systematic error that is consistently negative or consistently positive. The mean of errors resulting from a series of observations that does not tend towards zero.

3.1.4 *gross sample*—a sample representing one lot and composed of a number of increments on which neither reduction nor division has been performed.

3.1.5 *laboratory sample*—a representative portion of the gross sample received by the laboratory for analysis.

3.1.6 *lot*—a large designated quantity (greater than the quantity of the final sample) of RDF which can be represented by a properly selected gross sample.

3.1.7 *precision*—a term used to indicate the capability of a person, an instrument, or a method to obtain reproducible results; specifically, a measure of the random error as expressed by the variance, the standard error, or a multiple of the standard error.

3.1.8 *refuse-derived fuels*—solid forms of refuse-derived fuels from which appropriate analytical samples may be prepared are defined as follows in *ASTM STP 832*.³

RDF-1—Wastes used as a fuel in as-discarded form with only bulky wastes removed.

RDF-2—Wastes processed to coarse particle size with or without ferrous metal separation.

RDF-3—Combustible waste fraction processed to particle sizes, 95 % passing 2-in. square screening.

RDF-4—Combustible waste fraction processed into powder form, 95 % passing 10-mesh screening.

RDF-5—Combustible waste fraction densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cubettes, or briquettes.

3.1.9 *representative sample*—a sample collected in such a manner that it has characteristics equivalent to the lot sample.


3.1.10 *sample division*—the process of extracting a smaller sample from a sample so that the representative properties of the larger sample are retained. During this process it is assumed that no change in particle size or other characteristics occurs.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D34 on Waste Management and is the direct responsibility of Subcommittee D34.03 on Treatment.

Current edition approved Aug. 28, 1987. Published October 1987. Originally published as E 790 – 81. Last previous edition E 790 – 81.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ *Thesaurus on Resource Recovery Terminology*, ASTM STP 832, ASTM, 1983, p. 72.


E 790 – 87 (2004)

3.1.11 *sample preparation*—the process that includes drying, size reduction, division, and mixing of a laboratory sample for the purpose of obtaining an unbiased analysis sample.

3.1.12 *sample reduction*—the process whereby sample particle size is reduced without change in sample weight.

3.1.13 *significant loss*—any loss that introduces a bias in final results that is of appreciable importance to concerned parties.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method is based on the loss in weight of an air-dried analysis sample of RDF under rigidly controlled conditions of temperature, time, and air flow.

4.2 The total moisture is calculated from the loss or gain in air drying and the residual moisture as determined by this test method.

5. Significance and Use

5.1 The treatment of the sample as specified herein is intended for the purpose of determining the residual moisture present in an analysis sample of RDF.

5.2 The residual moisture value is used to convert as-determined analyses such as gross heating value, sulfur, and ash to a dry sample basis.

6. Apparatus

6.1 *Drying Oven:*

6.1.1 *Referee Type*—The oven shall be so constructed as to have a uniform temperature within the specimen chamber, have a minimum excess air volume, and be capable of constant temperature regulation at $107 \pm 3^\circ\text{C}$. Provision shall be made for renewing the preheated air in the oven at the rate of two to four times a minute, with the intake air dried by passing it through a desiccant. An oven similar to the one illustrated in Fig. 1 of Test Method D 3173 is suitable.

6.1.2 *Routine Type*—A drying oven of either the mechanical or natural circulation type which is capable of constant uniform temperature within the specimen chamber regulated at $107 \pm 3^\circ\text{C}$.

NOTE 2—Either type of oven may be used for routine determinations. However, the referee-type oven shall be used to resolve differences between determinations.

6.2 *Containers*—A convenient form that allows the ash determination to be made on the same sample is a porcelain capsule 22 mm in depth and 44 mm in diameter or a fused silica capsule of similar shape. This shall be used with a well-fitting flat aluminum cover. Platinum crucibles or glass capsules with ground-glass caps may also be used. They should be as shallow as possible consistent with convenient handleability.

6.3 *Analytical Balance*, with 0.1 mg sensitivity.

6.4 *Analysis Sample Containers*—Heavy (minimum 4 mil), vapor-impervious bags, properly sealed; or noncorroding cans, glass jars, or plastic bottles with air-tight sealing covers to store RDF samples for analysis. Containers shall be checked for suitability by measuring weight loss or gain of the sample and container stored for 1 week under ambient laboratory conditions. The weight loss or gain should be less than 0.5 % of the sample weight stored in the container.

7. Precautions

7.1 Due to the origins of RDF in municipal waste, common sense dictates that some precautions should be observed when conducting tests on the samples. Recommended hygienic practices include use of gloves when handling RDF; wearing dust masks (NIOSH-approved type), especially when shredding RDF samples; conducting tests under negative pressure hood when possible; and washing hands before eating or smoking.

7.2 Laboratory sample handling shall be performed by trained personnel. All operations shall be done rapidly as possible to avoid sample moisture changes due to atmospheric exposure.

7.3 Since heavy fine particles tend to segregate rapidly in the RDF analysis sample, the analyst should exercise care to assure that the analysis sample is well-mixed prior to performing this determination.

7.4 When the residual moisture is to be used for the determination of total moisture, special care shall be taken to avoid any change in sample moisture between the completion of air drying and analysis for residual moisture. It is recommended that the delay between sample preparation and the determination of residual moisture be a maximum of 72 h.

8. Sampling⁴

8.1 RDF products are frequently nonhomogeneous. For this reason, significant care should be exercised to obtain a representative laboratory sample from the RDF lot to be characterized.

8.2 The sample method for this procedure should be based on agreement between the involved parties.

8.3 The laboratory sample must be air-dried and particle size reduced to pass a 0.5-mm screen for this analysis. This procedure must be performed carefully to preserve the sample's representative characteristics (other than particle size) while preparing the analysis sample to be used in this procedure.


9. Procedure

9.1 Heat the empty containers and covers under the conditions at which the sample is to be dried, place the stopper or cover on the container, cool over a desiccant for about 15 to 20 min, and weigh. Mix the sample, if necessary, and dip out with a spoon or spatula from the sample bottle approximately 1 g of the sample. Put the sample quickly into the container, cover, and weigh at once.

NOTE 3—If weighing bottles with air-tight covers are used, it may not be necessary to preheat the moisture analysis container nor to desiccate it after drying.

9.2 Remove the cover and place in a desiccator. Quickly place the uncovered container into an oven preheated to $107 \pm 3^\circ\text{C}$ through which is passed a current of dry air. Close the oven at once and heat for 1 hr. Open the oven, remove, cover

⁴ ASTM Subcommittee E38.01 is currently in the process of developing procedures for sampling RDF and the preparation of an analysis sample. The chairman of E38.01 should be contacted for details.


E 790 – 87 (2004)

the container quickly, and cool in a desiccator over desiccant. Weigh the sample and container as soon as cooled to room temperature.

10. Calculation (see Note 1)

10.1 Calculate the percent residual moisture, R , in the analysis sample as follows:

$$R = \frac{S - B}{S} \times 100 \quad (1)$$

where:

S = grams of analysis sample used, and
 B = grams of sample after heating.

10.2 Calculate the percent total moisture in the laboratory sample, as follows:

$$M = \frac{R(100 - A)}{100} + A \quad (2)$$

where:

R = residual moisture, %, and
 A = air dry loss determined during preparation of the analysis sample, %.

10.3 To convert other parameters determined on the analysis sample, such as ash, sulfur, and gross calorific value, to a dry sample basis, the following equation can be used:

$$P_{\text{dry}} = \frac{P_{\text{ad}}(100)}{100 - R} \quad (3)$$

where:

P_{ad} = parameter, % “as-determined” on the analysis sample,
 R = residual moisture, % (see 10.1), and
 P_{dry} = parameter, % expressed on a dry sample basis.

11. Precision and Bias

11.1 Precision:

11.1.1 The standard deviations of individual determinations, in percent absolute are as follows:

Typical Average Value	Within Laboratories	Between Laboratories
2.5–4.5 %	0.15 %	0.50 %

11.1.2 The above precision estimates are based on an interlaboratory study conducted in accordance with Practice E 180.

11.2 *Bias*—The bias of this test method has not been determined due to a lack of a recognized standard reference material.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Designation: E 830 – 87 (Reapproved 2004)

Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel¹

This standard is issued under the fixed designation E 830; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of the ash content in the analysis sample of refuse-derived fuel (RDF). The results obtained can be applied as the weight percent ash in the proximate analysis and in the ultimate analysis.

1.2 The values stated in acceptable metric units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific precautionary statements see Section 6.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- E 180 Practice for Determining the Precision of ASTM Methods for Analysis and Testing of Industrial Chemicals
- E 790 Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample
- E 829 Practice for Preparing Refuse-Derived Fuel (RDF) Laboratory Samples for Analysis

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *refuse-derived fuel*—Solid forms of refuse-derived fuels from which appropriate analytical samples may be prepared are defined as follows in *ASTM STP 832*.³

RDF-1—Wastes used as a fuel in as-discarded form with only bulky wastes removed.

RDF-2—Wastes processed to coarse particle size with or without ferrous metal separation.

RDF-3—Combustible waste fraction processed to particle sizes, 95 % passing 2-in. square screening.

RDF-4—Combustible waste fraction processed into powder form, 95 % passing 10-mesh screening.

RDF-5—Combustible waste fraction densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cubettes, or briquettes.

4. Summary of Test Method

4.1 Ash is determined by weighing the residue remaining after burning the prepared analysis sample under rigidly controlled conditions of sample weight, temperature, and furnace atmosphere.

5. Significance and Use

5.1 This test method is available to producers and users of RDF as a method of determining the weight percent of ash in the analysis sample.

6. Apparatus

6.1 *Electric Furnace*—For determination of the ash content of RDF, the furnace shall have adequate air ventilation and shall be capable of temperature regulation up to at least $750 \pm 25^\circ\text{C}$. An air change rate of 1 to 4 furnace volumes of air per minute has been found adequate.

NOTE 1—It may be possible to reduce the rate of air flow below the suggested minimum without adversely affecting results of the ash determination.

6.2 *Porcelain Capsules*, about 22 mm ($7/8$ in.) in depth, and 44 mm ($1\frac{3}{4}$ in.) in diameter, or similar containers.

NOTE 2—Weighing bottles of borosilicate glass may be safely used without deformation or softening at temperatures of 600°C or less.

7. Precautions


7.1 Due to the origins of RDF in municipal waste, common sense dictates that some precautions should be observed when conducting tests on the samples. Recommended hygienic practices include use of gloves when handling RDF; wearing dust masks (NIOSH-approved type), especially while milling RDF samples; conducting tests under a negative pressure hood when possible; and washing hands before eating or smoking.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D34 on Waste Management and is the direct responsibility of Subcommittee D34.03 on Treatment.

Current edition approved Aug. 28, 1987. Published October 1987. Originally published as E 830 – 81. Last revised E 830 – 81.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ *Thesaurus on Resource Recovery Terminology*, ASTM STP 832, ASTM, 1983, p. 72.


E 830 – 87 (2004)
8. Sampling

8.1 The laboratory sample shall be obtained in accordance with sampling methods developed for materials of similar physical form.

8.2 The laboratory sample must be air-dried and particle size reduced to pass a 0.5-mm screen as described in Practice E 829.

9. Procedure

9.1 After thoroughly mixing the analysis sample analysis sample to provide the best possible mix of heavy fines with the milled fluff, transfer approximately 1 g of the sample to a tared, previously fired container (weighed to the nearest 0.1 mg) with a scoop or spatula. Quickly weigh sample and container to the nearest 0.1 mg. As an alternate method use the dried analysis sample from the residual moisture determination. See Test Method E 790.

9.2 Place the uncovered container containing the sample in the furnace at low temperature and gradually heat to ignition at such a rate as to avoid mechanical loss from too rapid expulsion of volatile matter.

9.3 Finish the ignition to constant weight 9 ± 0.001 g/h) at $575 \pm 25^\circ\text{C}$. It may be determined that a constant weight can be routinely established by allowing a sample to ash within the prescribed temperature range for a set period of time.

NOTE 3—Experience has shown that particles of glass and sand tend to sinter to each other and also to porcelain crucibles at temperatures close to 675°C . If laboratory conditions necessitate maintaining consistency in the maximum furnace temperature used for ash tests of other fuels, the ignition may be finished to constant weight (± 0.001 g/h) at a temperature of $725 \pm 25^\circ\text{C}$. If this option is invoked, it should be also noted that prolonged exposure to high temperatures may actually result in changes in weight due to possible chemical reactions.

9.4 Cool in a desiccator over desiccant and weigh as soon as possible after the container and ash reach the temperature of the area in which weighing is performed.

10. Calculation

10.1 Calculate the ash percent in the analysis sample as follows:

$$\text{Ash as-determined, \%} = [(A - B)/C] \times 100 \quad (1)$$

where:

A = weight of container and ash residue, g,

B = weight of empty container, g, and

C = weight of ash analysis sample, g (includes residual moisture).

10.2 Use the numerical moisture value established by Test Method E 790 for converting ash data on the as-determined basis to the dry basis.

11. Report

11.1 Difficulty may be experienced in securing satisfactory check determinations of ash in the same or different laboratories for RDF rich in heavy fines. This is caused by siliceous matter such as glass and sand as well as a wide variety of other particles of different densities entrained in the milled RDF in nonuniform strata. When such a condition is anticipated or encountered, a paired set of determinations should be made, and the results reported as an average. If one determination of a paired set is accidentally ruined, another pair must be run. An off or unusual value does not constitute a ruined determination. In such cases, an additional set of duplicate determinations should be run and all values reported as an average of the two sets.

12. Precision and Bias**12.1 Precision:**

12.1.1 The standard deviations of individual determinations in percent absolute are as follows:

Typical Average Value, %	Within-Laboratory, %	Between-Laboratories, %
20.0	0.6	1.3

12.1.2 These precision estimates are based on an interlaboratory study conducted in accordance with Practice E 180.

12.2 *Bias*—The bias of this test method can not be determined due to the lack of a recognized standard reference material.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: E 897 – 88 (Reapproved 2004)

Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel¹

This standard is issued under the fixed designation E 897; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the percentage of gaseous products, exclusive of moisture vapor, in the analysis sample which is released under specific conditions of the test. The knowledge of the volatile matter content assists in predicting burning characteristics of RDF.

1.2 This test method may be applicable to any waste material from which a laboratory analysis sample can be prepared.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

E 180 Practice for Determining the Precision Data of ASTM Methods for Analysis and Testing of Industrial Chemicals

E 790 Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample

E 829 Practice for Preparing Refuse-Derived Fuel (RDF) Laboratory Samples for Analysis

3. Terminology

3.1 Definition:

3.2 refuse-derived fuel (RDF):

RDF-1—Waste used as a fuel in as-discarded form.

RDF-2—Waste processed to coarse particle size with or without ferrous metal separation.

RDF-3—shredded fuel derived from municipal solid waste (MSW) that has been processed to remove metal, glass, and

other inorganics. This material has a particle size such that 95 weight % passes through a 2-in. square mesh screen.

RDF-4—Combustible waste processed into powder form—95 weight % passing a 10-mesh screen.

RDF-5—Combustible waste densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cubettes or briquettes.

RDF-6—Combustible waste processed into liquid fuel.

RDF-7—Combustible waste processed into gaseous fuel.

4. Summary of Test Method

4.1 Volatile matter is determined by establishing the loss in weight resulting from heating refuse-derived fuel under rigidly-controlled conditions. The measured weight loss, corrected for moisture as determined in Test Method E 790, establishes the volatile matter content.

5. Apparatus

5.1 *Platinum or Fused Quartz Crucible*, with closely fitting cover. The crucible shall be of not less than 10 nor more than 20 mL capacity, not less than 25 nor more than 35 mm in diameter, and not less than 30 nor more than 35 mm in height.

5.2 *Vertical Electric Tube Furnace*— It shall be regulated to maintain a temperature of $950 \pm 20^\circ\text{C}$ in the crucible, as measured by a thermocouple positioned in the furnace.

6. Hazards


6.1 Due to the origins of RDF in municipal waste, common sense dictates that precautions should be observed when conducting tests on the samples. Recommended hygienic practices include use of gloves when handling RDF, wearing dust masks (NIOSH-approved type), especially while milling RDF samples, conducting tests under a negative-pressure hood when possible, and washing hands before eating or smoking. (**Warning**—Exercise care when placing the sample into the volatile furnace. The possibility of an explosion always exists when heating samples of unknown origin.)

7. Procedure

7.1 Weigh to the nearest 0.1 mg about 1 g of thoroughly mixed air-dried analysis RDF sample in a weighed crucible. Close with a cover (Note 1), place on a platinum or Nichrome-wire support and insert directly into the furnace chamber,

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D34 on Waste Management and is the direct responsibility of Subcommittee D34.03 on Treatment. Current edition approved March 25, 1988. Published May 1988. Originally published as E 897 – 82. Last previous edition E 897 – 82.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.


E 897 – 88 (2004)

which shall be maintained at a temperature of $950 \pm 20^\circ\text{C}$. Lower the crucible immediately to the 950°C zone. Regulation of the temperature to within the prescribed limits is critical. After the more rapid discharge of volatile matter has subsided as shown by disappearance of the luminous flame, inspect the crucible to verify that the lid is still seated. If necessary, reseal the lid to guard against the admission of air into the crucible. Do this as rapidly as possible by raising the crucible to the top of the furnace chamber, reposition the lid to more perfectly seal the crucible, then lower immediately back to the 950°C zone.

NOTE 1—The cover should fit closely enough so that the carbon deposit from the refuse-derived fuel does not burn away from the underside.

7.2 After heating for a total of exactly 7 min, remove the crucible from the furnace and, without disturbing the cover, allow it to cool on a metal cooling block. Weigh as soon as cold (Note 2). The percentage loss of weight minus the percentage moisture in accordance with Test Method E 790 is the volatile matter.

NOTE 2—To ensure uniformity of results, the cooling period should be kept constant and should not be prolonged beyond 15 min.

8. Calculation

8.1 Calculate the percentage of volatile matter on an “as-determined” basis, V_{ad} as follows:

$$V_{ad} = \left[\frac{A - B}{A} \times 100 \right] - M_{ad} \quad (1)$$

where:

A = weight of sample used, g,
 B = weight of sample after heating, g, and
 $M_{(ad)}$ = moisture (as-determined), %.

9. Precision and Bias

9.1 Precision:

9.1.1 The standard deviation of individual determinations, in percent absolute, is as follows:

Typical Average Value, 69 %

Within-Laboratory, 0.7 %

Between-Laboratories, 2.1 %

9.1.2 The precision estimates in 9.1.1 are based on an interlaboratory study conducted in accordance with Practice E 180.

9.2 Bias:

9.2.1 The bias of this test method has not been determined.

9.2.2 Precision estimates are based on ASTM Report No. RR:E 38–1000 which describes the preliminary testing and round-robin tests.³

³ Supporting data are available on loan from ASTM Headquarters. Request RR: E 38–1000.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลค่าความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่าง ที่	เชื้อเพลิงแห้ง				ถ่านเชื้อเพลิง			
		น้ำหนัก (g)	ปริมาตร		ความ หนาแน่น (g / cm3)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร		ความ หนาแน่น (g / cm3)
			(cm3)	(m3)			(cm3)	(m3)	
0 : 100	1	117.101	678.15	0.00068	0.173	80.721	453.75	0.00045	0.178
	2	117.187	678.15	0.00068	0.173	84.106	453.75	0.00045	0.185
	3	113.633	678.15	0.00068	0.168	81.112	453.75	0.00045	0.179
	4	114.374	678.15	0.00068	0.169	80.689	453.75	0.00045	0.178
	5	120.026	678.15	0.00068	0.177	84.066	453.75	0.00045	0.185
ค่าเฉลี่ย		116.464	678.150	0.00068	0.172	82.139	453.750	0.00045	0.181
5 : 95	1	122.459	715.00	0.00072	0.171	74.378	432.14	0.00043	0.172
	2	113.899	715.00	0.00072	0.159	72.762	410.54	0.00041	0.177
	3	123.966	715.00	0.00072	0.173	74.457	432.14	0.00043	0.172
	4	124.809	705.26	0.00071	0.177	81.301	453.75	0.00045	0.179
	5	119.674	705.26	0.00071	0.170	74.967	432.14	0.00043	0.173
ค่าเฉลี่ย		120.961	711.103	0.00071	0.170	75.573	432.143	0.00043	0.175
25 : 75	1	97.722	660.00	0.00066	0.148	69.828	518.57	0.00052	0.135
	2	93.279	660.00	0.00066	0.141	70.397	496.96	0.00050	0.142
	3	117.738	660.00	0.00066	0.178	68.042	485.76	0.00049	0.140
	4	93.888	660.00	0.00066	0.142	77.060	464.64	0.00046	0.166
	5	95.354	660.00	0.00066	0.144	62.226	432.14	0.00043	0.144
ค่าเฉลี่ย		99.596	660.000	0.00066	0.151	69.511	479.616	0.00048	0.145

ตารางที่ ข.1 ผลค่าความหนาแน่น (Density) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	เชื้อเพลิงแห้ง				ถ่านเชื้อเพลิง			
		น้ำหนัก (g)	ปริมาตร		ความ หนาแน่น (g / cm3)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร		ความ หนาแน่น (g / cm3)
			(cm3)	(m3)			(cm3)	(m3)	
50 : 50	1	103.275	610.34	0.00061	0.169	56.245	345.71	0.00035	0.163
	2	102.144	610.34	0.00061	0.167	56.365	367.32	0.00037	0.153
	3	98.574	610.34	0.00061	0.162	56.636	345.71	0.00035	0.164
	4	104.244	610.34	0.00061	0.171	54.059	345.71	0.00035	0.156
	5	106.202	615.50	0.00062	0.173	55.658	345.71	0.00035	0.161
ค่าเฉลี่ย		102.888	611.367	0.00061	0.168	55.792	350.036	0.00035	0.159
75 : 25	1	78.498	660.00	0.00066	0.119	39.938	388.93	0.00039	0.103
	2	87.763	683.89	0.00068	0.128	36.075	367.32	0.00037	0.098
	3	87.159	678.15	0.00068	0.129	44.353	388.93	0.00039	0.114
	4	77.548	678.15	0.00068	0.114	38.654	388.93	0.00039	0.099
	5	85.357	678.15	0.00068	0.126	37.952	388.93	0.00039	0.098
ค่าเฉลี่ย		83.265	675.667	0.00068	0.123	39.394	384.607	0.00038	0.102
95 : 5	1	69.324	660.00	0.00066	0.105	31.486	388.93	0.00039	0.081
	2	74.715	660.00	0.00066	0.113	31.320	388.93	0.00039	0.081
	3	82.776	660.00	0.00066	0.125	27.973	388.93	0.00039	0.072
	4	79.256	660.00	0.00066	0.120	31.301	388.93	0.00039	0.080
	5	82.593	693.00	0.00069	0.119	27.961	388.93	0.00039	0.072
ค่าเฉลี่ย		77.733	666.600	0.00067	0.117	30.008	388.929	0.00039	0.077
100 : 0	1	72.545	660.00	0.00066	0.110	28.178	432.14	0.00043	0.065
	2	71.552	660.00	0.00066	0.108	23.188	388.93	0.00039	0.060
	3	70.971	660.00	0.00066	0.108	24.631	432.14	0.00043	0.057
	4	73.288	660.00	0.00066	0.111	19.476	388.93	0.00039	0.050
	5	71.262	660.00	0.00066	0.108	23.516	388.93	0.00039	0.060
ค่าเฉลี่ย		71.924	660.000	0.00066	0.109	23.798	406.214	0.00041	0.058

ตารางที่ ข.2 ผลค่าความชื้น (Moisture) ที่ใช้ในการอัดแท่ง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ความชื้น (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	52.10	52.30
	2	50.30	52.50
	3	51.90	50.40
	4	51.90	49.00
	5	52.20	50.20
ค่าเฉลี่ย		51.68	50.88
5 : 95	1	45.30	46.10
	2	46.10	46.20
	3	43.40	47.10
	4	44.20	47.60
	5	47.50	45.50
ค่าเฉลี่ย		45.30	46.50
25 : 75	1	58.67	59.22
	2	58.47	55.60
	3	54.51	58.53
	4	60.74	58.19
	5	60.37	52.29
ค่าเฉลี่ย		58.55	56.77
50 : 50	1	46.50	46.10
	2	50.50	46.50
	3	47.60	45.80
	4	48.50	42.60
	5	47.70	44.40
ค่าเฉลี่ย		48.16	45.08

ตารางที่ ข.2 ผลค่าความชื้น (Moisture) ที่ใช้ในการอัดแท่ง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ความชื้น (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	65.70	61.10
	2	63.50	64.00
	3	65.40	64.10
	4	66.60	63.20
	5	65.90	68.60
ค่าเฉลี่ย		65.42	64.20
95 : 5	1	61.40	61.40
	2	61.70	60.00
	3	61.50	61.30
	4	63.20	61.10
	5	61.30	61.00
ค่าเฉลี่ย		61.82	60.96
100 : 0	1	69.20	67.40
	2	68.20	67.00
	3	66.80	67.00
	4	67.50	66.80
	5	68.10	67.10
ค่าเฉลี่ย		67.96	67.06

ตารางที่ ข.3 ผลค่าความชื้น (Moisture) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ความชื้น (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	8.83	2.61
	2	9.22	2.59
	3	9.24	2.68
	4	8.87	2.61
	5	8.56	2.51
ค่าเฉลี่ย		8.94	2.60
5 : 95	1	7.68	2.72
	2	8.52	2.92
	3	8.97	2.58
	4	8.79	2.53
	5	8.59	2.50
ค่าเฉลี่ย		8.51	2.65
25 : 75	1	8.63	3.67
	2	8.14	3.54
	3	7.59	3.53
	4	8.29	3.51
	5	7.89	3.52
ค่าเฉลี่ย		8.11	3.55
50 : 50	1	4.85	3.27
	2	4.82	3.08
	3	8.67	3.23
	4	4.77	3.28
	5	4.69	3.53
ค่าเฉลี่ย		5.56	3.28

ตารางที่ ข.3 ผลค่าความชื้น (Moisture) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ความชื้น (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	4.49	2.85
	2	4.41	2.81
	3	1.76	2.77
	4	4.32	2.72
	5	4.43	2.76
ค่าเฉลี่ย		3.88	2.78
95 : 5	1	5.70	2.05
	2	5.68	2.07
	3	5.61	2.00
	4	5.69	1.83
	5	5.77	2.02
ค่าเฉลี่ย		5.69	1.99
100 : 0	1	4.58	2.47
	2	4.52	2.38
	3	4.52	2.46
	4	4.50	2.49
	5	4.52	2.52
ค่าเฉลี่ย		4.53	2.46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 ผลปริมาณเถ้า (Ash content) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณเถ้า (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	41.61	58.44
	2	39.18	57.48
	3	39.00	58.13
	4	41.45	57.88
	5	43.35	58.53
ค่าเฉลี่ย		40.92	58.09
5 : 95	1	46.60	51.47
	2	41.29	52.75
	3	37.80	54.89
	4	39.07	52.53
	5	40.62	53.92
ค่าเฉลี่ย		41.08	53.11
25 : 75	1	29.10	45.19
	2	33.39	47.18
	3	37.74	46.84
	4	31.22	47.06
	5	34.76	48.46
ค่าเฉลี่ย		33.25	46.95
50 : 50	1	29.58	62.94
	2	30.10	64.48
	3	27.77	62.68
	4	29.60	61.83
	5	31.49	59.24
ค่าเฉลี่ย		29.71	62.23

ตารางที่ ข.4 ผลปริมาณเถ้า (Ash content) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณเถ้า (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	19.06	45.04
	2	20.84	44.66
	3	20.62	44.22
	4	21.03	44.18
	5	19.17	42.62
ค่าเฉลี่ย		20.14	44.14
95 : 5	1	11.16	34.65
	2	11.12	34.72
	3	11.71	34.90
	4	10.74	34.85
	5	10.66	33.30
ค่าเฉลี่ย		11.08	34.49
100 : 0	1	9.08	30.25
	2	9.19	30.81
	3	8.92	30.26
	4	9.58	30.25
	5	9.36	29.99
ค่าเฉลี่ย		9.23	30.31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.5 ผลปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เฉลี่ย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	57.62	39.42
	2	61.24	42.44
	3	58.14	42.95
	4	59.54	41.79
	5	60.45	41.91
ค่าเฉลี่ย		59.40	41.70
5 : 95	1	57.44	47.95
	2	61.84	48.54
	3	64.50	47.22
	4	60.39	48.24
	5	64.12	44.28
ค่าเฉลี่ย		61.66	47.24
25 : 75	1	70.02	47.68
	2	66.01	49.36
	3	69.47	50.83
	4	67.39	51.75
	5	67.22	45.04
ค่าเฉลี่ย		68.02	48.93
50 : 50	1	66.93	46.89
	2	74.24	46.76
	3	70.95	47.04
	4	74.60	46.00
	5	73.62	47.76
ค่าเฉลี่ย		72.07	46.89

ตารางที่ ข.5 ผลปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เฉลี่ย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	74.66	38.60
	2	74.96	44.08
	3	81.13	50.27
	4	73.78	53.13
	5	79.60	53.58
ค่าเฉลี่ย		76.83	47.93
95 : 5	1	76.11	64.88
	2	83.73	65.37
	3	84.94	64.22
	4	80.49	64.69
	5	84.50	62.28
ค่าเฉลี่ย		81.95	64.29
100 : 0	1	87.62	70.10
	2	87.96	69.14
	3	87.69	69.85
	4	87.83	69.33
	5	87.78	69.24
ค่าเฉลี่ย		87.78	69.53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.6 ผลปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	32.01	21.90
	2	34.02	23.58
	3	32.30	23.86
	4	33.08	23.21
	5	33.59	23.28
ค่าเฉลี่ย		33.00	23.17
5 : 95	1	31.91	26.64
	2	34.36	26.96
	3	35.84	26.23
	4	33.55	26.80
	5	35.62	24.60
ค่าเฉลี่ย		34.26	26.25
25 : 75	1	38.90	26.49
	2	36.67	27.42
	3	38.60	28.24
	4	37.44	28.75
	5	37.35	25.02
ค่าเฉลี่ย		37.79	27.19
50 : 50	1	37.18	26.05
	2	41.24	25.98
	3	39.42	26.14
	4	41.44	25.55
	5	40.90	26.53
ค่าเฉลี่ย		40.04	26.05

ตารางที่ ข.6 ผลปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เฉลี่ย (Volatile matter) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	41.48	21.44
	2	41.64	24.49
	3	45.07	27.93
	4	40.99	29.52
	5	44.22	29.76
ค่าเฉลี่ย		42.68	26.63
95 : 5	1	42.28	36.04
	2	46.52	36.32
	3	47.19	35.68
	4	44.72	35.94
	5	46.94	34.60
ค่าเฉลี่ย		45.53	35.72
100 : 0	1	48.68	38.94
	2	48.87	38.41
	3	48.72	38.81
	4	48.80	38.52
	5	48.77	38.47
ค่าเฉลี่ย		48.77	38.63

ตารางที่ ข.7 ผลเฉลี่ยค่าความร้อน (Calorific value) ของแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ค่าความร้อน (cal/g)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
0 : 100	1	2,592.15	1,725.20
	2	2,527.95	1,477.35
	3	2,253.55	1,440.95
	4	2,636.75	1,612.25
	5	2,486.80	1,633.80
ค่าเฉลี่ย		2,499.44	1,577.91
5 : 95	1	2,672.65	2,110.85
	2	2,444.50	2,229.50
	3	2,628.20	2,268.45
	4	2,788.25	2,395.35
	5	2,635.20	2,464.70
ค่าเฉลี่ย		2,633.76	2,293.77
25 : 75	1	3,078.30	2,391.35
	2	2,667.10	1,949.60
	3	3,186.10	2,000.10
	4	3,087.65	2,602.05
	5	3,170.55	2,544.75
ค่าเฉลี่ย		3,037.94	2,297.57
50 : 50	1	3,231.05	2,545.60
	2	3,096.80	2,468.90
	3	3,244.55	2,262.60
	4	3,244.90	2,240.80
	5	3,111.40	2,432.85
ค่าเฉลี่ย		3,185.74	2,390.15

ตารางที่ ข.7 ผลเฉลี่ยค่าความร้อน (Calorific value) ของแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ค่าความร้อน (cal/g)	
		เชื้อเพลิงแห้ง	ถ่านเชื้อเพลิง
75 : 25	1	3,424.00	3,188.90
	2	3,479.60	2,916.90
	3	3,395.75	2,698.60
	4	3,352.60	2,548.35
	5	3,447.00	3,139.55
ค่าเฉลี่ย		3,419.79	2,898.46
95 : 5	1	3,525.10	4,380.80
	2	3,490.00	4,338.60
	3	3,537.75	4,345.05
	4	3,516.10	4,281.35
	5	3,521.35	4,225.00
ค่าเฉลี่ย		3,518.06	4,314.16
100 : 0	1	3,588.70	4,991.15
	2	3,563.50	4,845.65
	3	3,577.10	5,059.40
	4	3,574.85	5,078.70
	5	3,579.15	5,100.75
ค่าเฉลี่ย		3,576.66	5,015.13

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.กระดาษ 0 :ใบไม้100	2606.0	2578.3	2592.2
2.กระดาษ 0 :ใบไม้100	2551.9	2504.0	2528.0
3.กระดาษ 0 :ใบไม้100	2262.6	2244.5	2253.6
4.กระดาษ 0 :ใบไม้100	2607.7	2665.8	2636.8
5.กระดาษ 0 :ใบไม้100	2491.6	2482.0	2486.8
1.P50 :L50	3248.5	3213.6	3231.1
2.P50:L50	3122.1	3071.5	3096.8
3.P50 :L50	3257.7	3231.4	3244.6
4.P50:L50	3279.1	3210.7	3244.9
5.P50 :L50	3065.4	3157.4	3111.4



(นางอารี ถิ่นนิรันดร)

ผู้วิเคราะห์



(นายอุทัย ดิษะวิสุทธิ์ศรี)

หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ



(ผศ. ดร. สุพงษ์ นิมกุลรัตน์)

ผู้อำนวยการ

หมายเหตุ

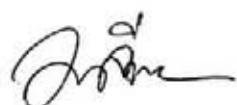
ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ
จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

อล/สน

รายงานเลขที่ 108/2550

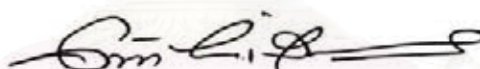
หน้า 2/2

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1. กระดาษ 95 : ใบบัว 5	3529.4	3520.8	3525.1
2. กระดาษ 95 : ใบบัว 5	3508.1	3471.9	3490.0
3. กระดาษ 95 : ใบบัว 5	3555.9	3519.6	3537.8
4. กระดาษ 95 : ใบบัว 5	3502.1	3530.1	3516.1
5. กระดาษ 95 : ใบบัว 5	3530.2	3512.5	3521.4



(นางอารี ลิมนิรันดร)

ผู้วิเคราะห์



(นายอุทัย ดิษะวิสุทธิ์ศรี)

หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ



(ผศ. ดร. สุพงศ์ นิมกุลรัตน์)

ผู้อำนวยการ

หมายเหตุ

ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ
จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

อล/สน



รายงานเลขที่ 172/2550

หน้า 1/2

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง

ผงถ่าน

เจ้าของตัวอย่าง

นายชรรอดกร ฤกษ์วีร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์

หาค่าพลังงานความร้อน

เครื่องมือวิเคราะห์

Automatic Bomb Calorimeter ; Leco model AC - 350

วันที่วิเคราะห์


21 - 26 กุมภาพันธ์ 2550

ผลการวิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1. กระดาษ 100 : โใบไม้ 0	4976.3	5006.0	4991.2
2. กระดาษ 100 : โใบไม้ 0	4878.6	4812.7	4845.7
3. กระดาษ 100 : โใบไม้ 0	5075.4	5043.4	5059.4
4. กระดาษ 100 : โใบไม้ 0	5067.1	5090.3	5078.7
5. กระดาษ 100 : โใบไม้ 0	5097.8	5103.7	5100.8
1. กระดาษ 75 : โใบไม้ 25	3153.2	3224.6	3188.9
2. กระดาษ 75 : โใบไม้ 25	2892.6	2941.2	2916.9
3. กระดาษ 75 : โใบไม้ 25	2747.7	2649.5	2698.6
4. กระดาษ 75 : โใบไม้ 25	2526.9	2569.8	2548.4
5. กระดาษ 75 : โใบไม้ 25	3194.6	3084.5	3139.6
1. กระดาษ 50 : โใบไม้ 50	2578.5	2512.7	2545.6
2. กระดาษ 50 : โใบไม้ 50	2484.5	2453.3	2468.9
3. กระดาษ 50 : โใบไม้ 50	2246.4	2278.8	2262.6
4. กระดาษ 50 : โใบไม้ 50	2248.1	2233.5	2240.8
5. กระดาษ 50 : โใบไม้ 50	2472.0	2393.7	2432.9

อล/สน

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1. กระดาษ 25 : ใบบัว 75	2369.5	2413.2	2391.4
2. กระดาษ 25 : ใบบัว 75	1986.9	1912.3	1949.6
3. กระดาษ 25 : ใบบัว 75	2067.3	1932.9	2000.1
4. กระดาษ 25 : ใบบัว 75	2624.4	2579.7	2602.1
5. กระดาษ 25 : ใบบัว 75	2524.6	2564.9	2544.8
1. กระดาษ 0 : ใบบัว 100	1707.0	1743.4	1725.2
2. กระดาษ 0 : ใบบัว 100	1468.8	1485.9	1477.4
3. กระดาษ 0 : ใบบัว 100	1436.6	1445.3	1441.0
4. กระดาษ 0 : ใบบัว 100	1591.3	1633.2	1612.3
5. กระดาษ 0 : ใบบัว 100	1672.6	1595.0	1633.8



(นางอารี ถิ่นนิรันดร)

ผู้วิเคราะห์



(นายอุทัย ดิษะวิสุทธ์ศรี)

หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ



(ผศ. ดร. สุพงษ์ นิ่มกุลรัตน์)

ผู้อำนวยการ

หมายเหตุ

ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำกรทดสอบ
จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

อล/สน



รายงานเลขที่ 231/2550

หน้า 1/2

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง ผงถ่าน
เจ้าของตัวอย่าง นายอรรถกร ฤกษ์วีระ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วัตถุประสงค์ หาค่าพลังงานความร้อน
เครื่องมือวิเคราะห์ Automatic Bomb Calorimeter ; Leco model AC - 350
วันที่วิเคราะห์ 6 - 9 มีนาคม 2550
ผลการวิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.P95 :L 5 เหา	4389.4	4372.2	4380.8
2.P95 :L 5 เหา	4338.4	4338.8	4338.6
3.P95 :L 5 เหา	4358.6	4331.5	4345.1
4.P95 :L 5 เหา	4270.2	4292.5	4281.4
5.P95 :L 5 เหา	4199.6	4250.4	4225.0
1.P5 : L 95 เหา	2129.3	2092.4	2110.9
2.P5 : L 95 เหา	2245.6	2213.4	2229.5
3.P5 : L 95 เหา	2254.7	2282.2	2268.5
4.P5 : L 95 เหา	2377.9	2412.8	2395.4
5.P5 : L 95 เหา	2465.8	2463.6	2464.7

อด/สน

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.P95 :L 5 เพา T	4443.7	4459.0	4451.4
2.P95 :L 5 เพา T	4469.6	4453.3	4461.5
3.P95 :L 5 เพา T	4412.8	4464.4	4438.6
1.P95 : L5	3546.4	3544.7	3545.6
2.P95 : L5	3540.8	3536.6	3538.7
3.P95 : L5	3537.5	3542.9	3540.2



(นางอารี ลิมนิรันดร)

ผู้วิเคราะห์



(นายอุทัย ดิยะวิสุทธิศรี)

หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ



(ผศ. ดร. สุพงษ์ นิมกุลรัตน์)

ผู้อำนวยการ

หมายเหตุ

ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำกรทดสอบ
จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

ภาคผนวก ค ตารางผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิง
แห้ง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA

Ratio	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0:100	5	2499.44	149.07	66.66	2314.35	2684.53	2253.55	2636.75
5:95	5	2633.76	123.73	55.33	2480.13	2787.39	2444.5	2788.25
25:75	5	3037.94	212.81	95.17	2773.70	3302.18	2667.1	3186.1
50:50	5	3185.74	74.91	33.50	3092.72	3278.76	3096.8	3244.9
75:25	5	3419.79	48.55	21.71	3359.51	3480.07	3352.6	3479.6
95:5	5	3518.06	17.60	7.87	3496.20	3539.92	3490	3537.75
100:0	5	3576.66	9.05	4.05	3565.42	3587.90	3563.5	3588.7
Total	35	3124.4843	413.42	69.88	2982.47	3266.50	2253.55	3588.7

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงแห้ง
โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT

Duncan^a

Ratio	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0:100	5	2499.44			
5:95	5	2633.76			
25:75	5		3037.94		
50:50	5		3185.74		
75:25	5			3419.79	
95:5	5			3518.06	3518.06
100:0	5				3576.66
Sig.		0.073296983	0.0500844	0.184237379	0.4237342

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของถ่าน
เชื้อเพลิง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA

Ratio	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0:100	5		
5:95	5	2293.77	139.43	62.36	2120.64	2466.90	2110.85	2464.7
25:75	5	2297.57	305.03	136.41	1918.83	2676.31	1949.6	2602.05
50:50	5	2390.15	133.01	59.48	2225.00	2555.30	2240.8	2545.6
75:25	5	2898.46	276.29	123.56	2555.40	3241.52	2548.35	3188.9
95:5	5	4314.16	61.27	27.40	4238.08	4390.24	4225	4380.8
100:0	5	5015.13	103.24	46.17	4886.95	5143.31	4845.65	5100.75
Total	35	2969.5929	1173.59	198.37	2566.45	3372.74	1440.95	5100.75

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงแห้ง
โดยวิธี DMRT

Duncan^a

Ratio	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0:100	5	1577.91				
5:95	5		2293.77			
25:75	5		2297.57			
50:50	5		2390.15			
75:25	5			2898.46		
95:5	5				4314.16	
100:0	5					5015.13
Sig.		1	0.4400077	1	1	1

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิง
แห้งและถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA

Ratio	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower	Upper		
					Bound	Bound		
R0:100	5	2499.44	149.07	66.66	2314.35	2684.53	2253.55	2636.75
R5:95	5	2633.76	123.73	55.33	2480.13	2787.39	2444.5	2788.25
R25:75	5	3037.94	212.81	95.17	2773.70	3302.18	2667.1	3186.1
R50:50	5	3185.74	74.91	33.50	3092.72	3278.76	3096.8	3244.9
R75:25	5	3419.79	48.55	21.71	3359.51	3480.07	3352.6	3479.6
R95:5	5	3518.06	17.60	7.87	3496.20	3539.92	3490	3537.75
R100:0	5	3576.66	9.05	4.05	3565.42	3587.90	3563.5	3588.7
C0:100	5	1577.91	117.12	52.38	1432.49	1723.33	1440.95	1725.2
C5:95	5	2293.77	139.43	62.36	2120.64	2466.90	2110.85	2464.7
C25:75	5	2297.57	305.03	136.41	1918.83	2676.31	1949.6	2602.05
C50:50	5	2390.15	133.01	59.48	2225.00	2555.30	2240.8	2545.6
C75:25	5	2898.46	276.29	123.56	2555.40	3241.52	2548.35	3188.9
C95:5	5	4314.16	61.27	27.40	4238.08	4390.24	4225	4380.8
C100:0	5	5015.13	103.24	46.17	4886.95	5143.31	4845.65	5100.75
Total	70	3047.0386	876.92	104.81	2837.95	3256.13	1440.95	5100.75

ตารางที่ ๓.๖ การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงแห้ง
และถ่านเชื้อเพลิง โดยวิธี DMRT

Ratio	N	Subset for alpha = .05							
		a	b	c	d	e	f	g	h
C0:100	5	1577.91							
C5:95	5		2293.77						
C25:75	5		2297.57						
C50:50	5		2390.15						
R0:100	5		2499.44	2499.44					
R5:95	5			2633.76					
C75:25	5				2898.46				
R25:75	5				3037.94	3037.94			
R50:50	5					3185.74			
R75:25	5						3419.79		
R95:5	5						3518.06		
R100:0	5						3576.66		
C95:5	5							4314.16	
C100:0	5								5015.13
Sig.		1	0.054863214	0.1693811	0.1538542	0.1311865	0.1301257	1	1

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอรรถกร ฤกษ์วีรี เกิดเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนศึกษานารี (สาขา) ในปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนทวีธาภิเศก ในปีการศึกษา 2538 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2542 และได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อม ส่วนลดและใช้ประโยชน์ของเสีย สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตรายในปี 2543 จากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย