

การนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงขยะ  
โดยผสมร่วมกับวัสดุเหลือใช้  
Recovery of Plastic Waste from Landfill Combining with Solid Wastes  
for a Production of Refuse Derived Fuel

จिरาพร ยินดี  
Jiraporn Yindee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Environmental Engineering  
Prince of Songkla University

2557


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิง  
 ชยะโดยผสมร่วมกับวัสดุเหลือใช้


ผู้เขียน              นางสาวจิราพร ยินดี

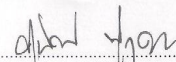
สาขาวิชา            วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

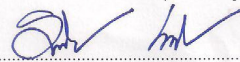
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

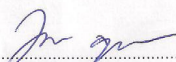
  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกาศล)

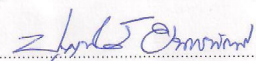
คณะกรรมการสอบ

  
 .....ประธานกรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมุช ไชยประพัทธ์)

  
 .....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิรัตน์ พุกตะ)

  
 .....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกาศล)


  
 .....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จวีร์รัตน์ สกุรัตน์)

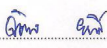
  
 .....กรรมการ  
 (ดร.ปยุฎาณิช อินทรพัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
 สิ่งแวดล้อม

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล ศรีชนะ)  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน  
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ   
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกาศล)  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ   
(นางสาวจิราพร ยินดี)  
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงขยะโดยผสมร่วมกับวัสดุเหลือใช้
ผู้เขียน	นางสาวจิราพร ยินดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงขยะโดยผสมร่วมกับวัสดุเหลือใช้ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการศึกษา 3 ชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP (ขยะพลาสติก:ทางปาล์ม), ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC (ขยะพลาสติก:ทางปาล์ม:เหง้ามันสำปะหลัง) และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR (ขยะพลาสติก:ทางปาล์ม:เศษยางแท่ง) โดยทุกชุดการทดลองประกอบด้วย 8 อัตราส่วนผสม (A ถึง H) ทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงกด 75, 100 และ 125 เมกกะปาสคาล เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดถูกนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี การขนส่ง และมลพิษทางอากาศของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์คุณสมบัติทั้งหมด เมื่อพิจารณาค่าความร้อนโดยน้ำหนักแห้งเป็นหลักพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A ที่อัตราส่วนขยะพลาสติก:ทางปาล์ม:เศษยางแท่งเท่ากับ 1:1.5:0.75 ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 32,114 กิโลจูล/กิโลกรัม ดังนั้นจึงเป็นอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุด รองลงมาคือ เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A ที่อัตราส่วนขยะพลาสติก:ทางปาล์มเท่ากับ 1:1.5 ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 26,116 กิโลจูล/กิโลกรัม ลำดับที่ 3 คือเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A ที่อัตราส่วนขยะพลาสติก:ทางปาล์ม:เหง้ามันสำปะหลังเท่ากับ 1:1.5:0.75 ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 24,270 กิโลจูล/กิโลกรัม โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองสามารถขึ้นรูปที่แรงกดอัด 75 เมกกะปาสคาล

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปได้ว่า กรณีที่พิจารณาที่ระยะเวลาคืนทุน ควรเลือกลงทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดคือ 2.1 ปี และมีค่าความร้อนที่สูงที่สุด แต่หากพิจารณาเงินลงทุนที่น้อยที่สุด พบว่า การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A สามารถดำเนินงานง่ายที่สุดและมีระยะเวลาคืนทุนคือ 2.7 ปี ดังนั้นจะเห็นว่าขยะพลาสติกร่วมกับทางปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง และเศษยางแท่ง สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้พื้นที่หลุมฝังกลบ และช่วยลดการใช้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย

<b>Thesis Title</b>	Recovery of Plastic Waste from Landfill Combining with Solid Wastes for a Production of Refuse Derived Fuel
<b>Author</b>	Miss Jiraporn Yindee
<b>Major Program</b>	Environmental Engineering
<b>Academic Year</b>	2013

### Abstract

This research is the study of recycling the plastic waste from landfill combining with solid wastes for a production of Refuse Derived Fuel. The objective was to find the optimum ratio and conduct the economic analysis. Three experiments were conducted. The first experiment was PP RDF (Plastic waste: Palm leave), the second experiment was PPC (Plastic waste: Palm leave: Cassava rhizome); and the third experiment was PPR (Plastic waste: Palm leave: Rubber waste). Each experiment consisted of eight ratios (A to H) making up a RDF at the compaction force of 75, 100 and 125 MPa. The physical properties, chemical properties, the environmental properties, transportation and air pollution of the RDFs were studied. According to the results, all RDF ratios met all the qualifications. For the calorific value consideration by dry basis, PPR-A RDF whose ratio was at 1:1.5:0.75 for plastic waste: palm leave: rubber waste provided the maximum calorific value at 32,114 kJ/kg. Therefore, the 1:1.5:0.75 PPR-A RDF was the best ratio. The second best ratio was PP-A RDF whose ratio was at 1:1.5 for plastic waste: palm leave, provides 26,116 kJ/kg of calorific value. The third ratio was the PPC-A RDF whose ratio was 1:1.5:0.75 for plastic waste: palm leave: cassava rhizome, provides 24,270 kJ/kg of calorific value. RDFs of all ratios were produced with the 75 MPa of the compaction force.

The economic analysis result could be concluded that for the payback period consideration, the PPR-A RDF production should be invested because it had the shortest payback period at 2.1 years and it provided the maximum calorific value. However, for the lowest investment cost, the PP-A RDF production is the simplest to operate and the payback period is 2.7 years. Therefore, this research showed that the plastic waste with palm leave, cassava rhizome and rubber waste can be used to make the RDF. Thus, the landfill space can be reduced and the fossil fuel can also be reduced.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 บทตรวจเอกสาร	2
1.2.1 ทฤษฎีและหลักการเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)	2
1.2.2 หลักการทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะ	2
1.2.3 ปัจจัยด้านความแข็งแรงของการทำเชื้อเพลิงขยะ (RDF)	3
1.2.4 หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่	4
1.2.5 คุณสมบัติเบื้องต้นของพลาสติก	7
1.2.6 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก และทางปาล์ม	10
1.2.7 วัสดุที่ใช้ผสมร่วมกับขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก	13
1.2.8 การเผาไหม้	18
1.2.9 มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะ	20
1.2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	27
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	27
2. วิธีวิจัย	28
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	28
2.1.1 ขยะพลาสติก	28
2.1.2 ทางปาล์ม	28
2.1.3 เหม้้ำมันสำปะหลัง	28
2.1.4 เศษยางแท่ง	29
2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	29
2.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	32
2.3.1 ศึกษาอัตราส่วนเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งของขยะพลาสติก ผสมทางปาล์ม	32
2.3.2 เตรียมวัสดุในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	32
2.4 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของการอัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้ง	33
3 ชุดการทดลอง	
2.4.1 ค่าความหนาแน่น	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ค่าดัชนีการแตกร่วน	34
2.4.3 ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง	34
2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบของธาตุ ค่าความร้อน และปริมาณ คลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง	35
2.5.1 Proximate analysis	35
2.5.2 องค์ประกอบของธาตุ (Ultimate analysis)	36
2.5.3 ค่าความร้อน	36
2.5.4 ปริมาณคลอรีน	36
2.6 เปรียบเทียบการทดสอบปริมาตรของก้อนเชื้อเพลิงจากแบบจัดเรียงและ แบบสุ่ม	37
2.7 ศึกษามลพิษทางอากาศของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการเผาด้วยเตาเผา	37
2.8 ศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาใช้ประโยชน์ เป็นพลังงานทดแทน	38
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	40
3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	40
3.1.1 ขยะพลาสติก (Plastic waste)	40
3.1.2 ทางปาล์ม (Palm leaves)	41
3.1.3 เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava rhizome)	42
3.1.4 เศษยางแท่ง (Rubber waste)	42
3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง	44
3.2.1 การทดสอบทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	44
3.2.2 การทดสอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	49
3.2.3 มลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อม	59
3.2.4 การทดสอบทางด้านการขนส่ง	60
3.2.5 ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้	66
3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง	70
3.4 การวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์	73
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการทดลอง	79
4.2 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	87
ประวัติผู้เขียน	120

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้	2
1.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ ปี 2548	5
1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชีวมวลแต่ละชนิด	12
1.4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ	16
1.5 มาตรฐานคุณภาพของการนำของแข็งกลับมาใช้ใหม่ในรูปเชื้อเพลิง	22
2.1 คุณสมบัติและวิธีการวิเคราะห์ของขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก ทางปาล์ม เหน้ามันสำปะหลัง และเศษยางแท่ง	30
2.2 สัญลักษณ์และอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งของแต่ละชุดการทดลอง	31
3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ผ่านกระบวนการเตรียมแล้ว (Dry basis)	44
3.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง	58
3.3 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 3 ชุดการทดลอง	72
3.4 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP	74
3.5 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC	75
3.6 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR	77
ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก.1 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP แบบจัดเรียง	89
ก.2 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC แบบจัดเรียง	90
ก.3 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR แบบจัดเรียง	91
ก.4 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP แบบสุ่ม	92
ก.5 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC แบบสุ่ม	93
ก.6 ปริมาตรถ่วงเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR แบบสุ่ม	94
ก.7 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร	95
ก.8 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร	96
ก.9 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร	97
รายงานผลการทดสอบการวิเคราะห์ค่า C, H, N และ S	111
รายงานผลการทดสอบเครื่องวัดก๊าซจากการเผาไหม้ Testo 350 M/XL	117



## รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 สัดส่วนองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ ปี 2548	6
1.2 ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยาง	16
2.1 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ก) พลาสติกที่ถูกลดขนาด (ข) ทางปาล์มที่ถูกลดขนาด (ค) เปลือกมันสำปะหลังที่ถูกลดขนาด (ง) เศษยางแท่งเอสทีอาร์ 20	29
2.2 ขนาดและความสูงเชื้อเพลิงอัดแท่งที่น้ำหนัก 30-120 กรัม	32
2.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก	33
2.4 เครื่องทนแรงกดอัดแนวตั้ง	35
2.5 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (AC-500 Automatic calorimeter)	36
2.6 เครื่องวิเคราะห์คลอรีน (Portable data logging spectrophotometer)	37
2.7 เต้าเผา	38
2.8 เครื่องวัดก๊าซจากการเผาไหม้ (Testo 350 M/XL)	38
2.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	39
3.1 (ก) เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบไม่มีตัวประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบมีตัวประสาน	43
3.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	45
3.3 ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	47
3.4 ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	49
3.5 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	51
3.6 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	52
3.7 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	53
3.8 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	54
3.9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	56
3.10 ค่าคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	60
3.11 ปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ความจุ 1 m <sup>3</sup>	61
3.12 ผลต่างของปริมาตรจำเพาะ (m <sup>3</sup> <sub>RDF</sub> /m <sup>3</sup> ) ระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม	61
3.13 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจำเพาะ (m <sup>3</sup> <sub>RDF</sub> /m <sup>3</sup> ) ระหว่างการบรรจุ แบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม	63
3.14 ผลต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม	64
3.15 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบ จัดเรียงและแบบสุ่ม	64
3.16 ผลต่างของน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม	65

### รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 เปรียบเทียบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	66
3.18 เปรียบเทียบก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	67
3.19 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP	69
3.20 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC	69
3.21 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR	69
<b>รูปภาคผนวกที่</b>	<b>หน้า</b>
ก.1 การออกแบบเตาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด	98
ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เวิร์เนียร์ ตาชั่ง ตะแกรงร่อนขนาด 20 เซนติเมตร การวัดผลิตภัณฑ์ก๊าซ	119

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ปัจจุบันการดำเนินชีวิตประจำวันล้วนก่อให้เกิดขยะขึ้นเป็นจำนวนมากจากการดำเนินกิจกรรมในแต่ละวันของมนุษย์โดยเฉลี่ยแล้วคนหนึ่งคนผลิตขยะประมาณ 0.6-0.7 กิโลกรัมต่อวัน หากเป็นชุมชนที่อยู่ในเขตเมืองจะผลิตขยะประมาณวันละ 1 กิโลกรัมต่อคน และชุมชนในชนบทจะผลิตน้อยกว่าประมาณวันละ 0.4 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยนั้นประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ยังใช้วิธีการเทกองกลางแจ้งเป็นหลัก และอีก 34 เปอร์เซ็นต์ ใช้การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล ที่เหลือประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะใช้วิธีการหมักทำปุ๋ยและเผา (สมรัฐ เกิดสุวรรณ, 2552) ซึ่งประเทศไทยยังใช้วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลเป็นหลัก เนื่องจากการลงทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการหมักทำปุ๋ยและการเผา การกำจัดจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของขยะแต่ละประเภท โดยการเผาไหม้จะเหมาะกับขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลหรือบางแห่งที่มีพื้นที่จำกัดจะใช้วิธีการเผาไหม้เช่นกัน ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการสูง การหมักโดยทั่วไปเหมาะกับขยะประเภทสารอินทรีย์ที่อาจนำมาประยุกต์ใช้กับชุมชน ขนาดเล็ก ส่วนการฝังกลบเหมาะกับขยะทั่วไปที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากอีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายนาน โดยเฉพาะขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานถึง 450 ปี (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2550) ซึ่งถือเป็นการนำเอาทรัพยากรที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยกลับคืนสู่ผืนดินโดยไม่มี การนำไปใช้ประโยชน์อย่างสูงสุด และที่สำคัญคือ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบยังไม่สามารถเรียกเก็บได้จากผู้ที่ทิ้งขยะโดยตรง ต้องอาศัยงบประมาณจากท้องถิ่น บางครั้งอาจมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่เพียงพอทำให้ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการส่งผลให้ระบบไร้ประสิทธิภาพและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นหากมีการนำขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ถือเป็นแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธี อีกทั้งได้พลังงานที่มีอยู่ในขยะกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การนำขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกมาผสมกับของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) ซึ่งเชื้อเพลิงขยะเป็นการปรับปรุง และแปรสภาพของขยะมูลฝอย โดยเฉพาะพลาสติกให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติด้านค่าความร้อน ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน ซึ่งถือเป็นการลดการใช้พื้นที่หลุมฝังกลบที่ปัจจุบันการหาพื้นที่หลุมฝังกลบค่อนข้างยาก วิธีนี้ถือเป็นการหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทนแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลที่น้อยลงทุกวัน นับเป็นเรื่องสำคัญในปัจจุบัน ดังนั้นหากนำแหล่งพลังงานขยะมาทดแทนแหล่งพลังงานฟอสซิลได้ ถือเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนเพราะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและส่งผลทำให้มีแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้ต่อไปในอนาคตเพิ่มขึ้นและมีความยั่งยืน

## 1.2 บทตรวจเอกสาร

### 1.2.1 ทฤษฎีและหลักการเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การนำมาปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น ให้เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนและมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพคงตัว คุณลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะประกอบด้วยปลอดภัยจากการอบด้วยความร้อน ลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรคไม่มีกลิ่น มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผาหม้อไอน้ำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร ความยาว 30-150 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นมากกว่าขยะมูลฝอยและชีวมวลทั่วไป 450-600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เหมาะสมต่อการจัดเก็บและขนส่งมีค่าความร้อนสูงเทียบเท่ากับชีวมวลประมาณ 13-18 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีความชื้นต่ำประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ลดปัญหาหมอกควันจากการเผาไหม้ เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน ไดออกซิน และฟูราน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

### 1.2.2 หลักการทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะ

หลักการทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะคือ การนำขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกมาผสมร่วมกับของเหลือใช้ทางการเกษตรในอัตราส่วนที่เหมาะสม (จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ) เพื่อทำการเปลี่ยนรูปของเสียที่ไม่เป็นที่ต้องการให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (RDF) เพื่อนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ต่อไป เชื้อเพลิงขยะ (RDF) สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการ (ตารางที่ 1.1) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF1: MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2: Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi Fuel Combustor
RDF3: Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก เช่น โลหะ แก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ร้อยละ 95 ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF4: Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor,

		Pulverized Fuel Combustor
--	--	---------------------------

**ตารางที่ 1.1** แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้ (ต่อ)

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF5: Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยมี ความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	Fluidized Bed Combustor, Multi Fuel Combustor
RDF6: RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swirl Burner
RDF7: RDF Syngas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547)

### 1.2.3 ปัจจัยด้านความแข็งแรงของการทำเชื้อเพลิงขยะ (RDF)

วิธีการในการทำเชื้อเพลิงขยะ RDF ทำได้โดยการอัดแท่งเชื้อเพลิงขยะ 2 วิธีคือ การอัดแท่งแบบใช้ความร้อน (อัดร้อน) และการอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน (อัดเย็น) (ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา, 2546)

#### 1) การอัดแท่งแบบใช้ความร้อน (อัดร้อน)

การอัดแท่งแบบใช้ความร้อนเป็นการอัดโดยใช้แรงอัดสูงและมีการให้ความร้อนแก่ กระบอกอัดทำให้สารประกอบพวก เซลลูโลส ลิกนิน และคาร์โบไฮเดรต ในวัสดุที่นำมาอัดหลอมละลายออกมาเป็นตัวเชื่อมประสานทำให้วัสดุเกาะตัวกันได้ดีเป็นแท่ง ไม่ร่วน โดยวัสดุที่สามารถอัดด้วยวิธีนี้ได้แก่ แกลบ ชี้อ้อย และเศษไม้ โดยต้องนำวัสดุเหล่านี้บดให้มีขนาดเล็กความชื้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ จึงนำเข้าเครื่องเพื่ออัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง

#### 2) การอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน (อัดเย็น)

การอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อนเป็นการอัดโดยใช้แรงอัดที่อุณหภูมิต่ำ โดยวัสดุที่นำมาอัดแท่งต้องมีเส้นใยและมีความเหนียวที่ทำให้เกิดการยึดติดกันเป็นแท่งได้ สำหรับพืชที่มียางเหนียว (Sticky Materials) เช่น เพคติน (Pectin), เจลาติน (Gelatin), ลิกนิน (Lignin), และเรซิน (Resin) จะใช้การตำหรือกระทุ้งพืชที่สับแล้วจนเกิดเป็นยางเหนียวๆ ทำให้เกาะกันเป็นแท่งได้ สำหรับ

พืชที่ไม่มีเส้นใยหรือยางเหนียวพอจะต้องเติมตัวเชื่อมประสานเข้าไปเพื่อให้จับตัวกันเป็นแท่งได้ การอัดเย็นก็ต้องบดวัสดุที่จะนำมาอัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนแล้วจึงนำมาอัดเป็นแท่งและต้องนำไปตากแดดหรือทำการอบเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

#### 1.2.4 หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่

สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ในปัจจุบัน ตั้งอยู่หมู่ที่ 3 ถนนทางไปสนามบิน ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีเนื้อที่ประมาณ 135 ไร่ อยู่ห่างจากเขตเทศบาลประมาณ 12 กิโลเมตร ในอดีตวิธีการกำจัดมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่หลังจากรวบรวมมูลฝอยในเขตเทศบาลแล้วนำไปกำจัด ณ สถานที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาล ณ ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเทศบาลทำการทิ้งมูลฝอยมาเป็นเวลานานกว่า 20 ปี โดยการเทกองทิ้งกลางแจ้งเก็บเต็มพื้นที่ โดยมีการเผาทิ้งและฝังกลบบ้างเป็นครั้งคราว ซึ่งเป็นการกำจัดมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล ทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรค กลิ่น เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม ซึ่งการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ที่มีการใช้ไปประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด

ปัจจุบันเทศบาลนครหาดใหญ่ต้องรับภาระในการกำจัดขยะทั้งในเขตและนอกเขต ณ สถานที่กำจัด 194 ตันต่อวัน โดยแบ่งเป็นปริมาณขยะในเขต 168 ตันต่อวัน และนอกเขตเทศบาล 26 ตันต่อวัน ดังนั้นอัตราการเกิดมูลฝอย จากข้อมูลในปี 2547 ซึ่งมีประชากรตามทะเบียนราษฎร จำนวน 160,147 คน และจากผลการศึกษาปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชนเขตเทศบาล พบว่า ประชาชนในเขตเทศบาลก่อให้เกิดมูลฝอย 0.62 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน แต่หากพิจารณาปริมาณมูลฝอยร่วมกับจำนวนประชากรตามเขตเลือกตั้งทั้ง 4 เขต (สำรวจเมื่อวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2547) สามารถหาอัตราการเกิดมูลฝอยซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามพฤติกรรมการใช้ชีวิตและวิถีการดำรงชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่ในแต่ละเขตได้ พบว่าในเขต 2 ซึ่งเป็นย่านธุรกิจการค้าและการท่องเที่ยวมีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นมีอัตราการเกิดมูลฝอยสูงที่สุด 1.57 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ส่วนในเขต 4 มีอัตราการเกิดมูลฝอยน้อยที่สุดเพียง 0.64 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2549)

#### 1) องค์ประกอบมูลฝอยชุมชน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยชุมชนของเทศบาลนครหาดใหญ่ ช่วงเดือนมีนาคม 2548 (ตารางที่ 1.2 และรูปที่ 1.1) ซึ่งสามารถสรุปประเภทของมูลฝอยตามความสามารถในการคัดแยกและนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้ มูลฝอยอินทรีย์ 48.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่าย สามารถจัดการได้ในครัวเรือนโดยการนำไปทำปุ๋ยหมักหรือทำน้ำจุลินทรีย์ มูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือมูลฝอยรีไซเคิล 12.44 เปอร์เซ็นต์ และมูลฝอยทั่วไป 39.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ

ตารางที่ 1.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ ปี 2548

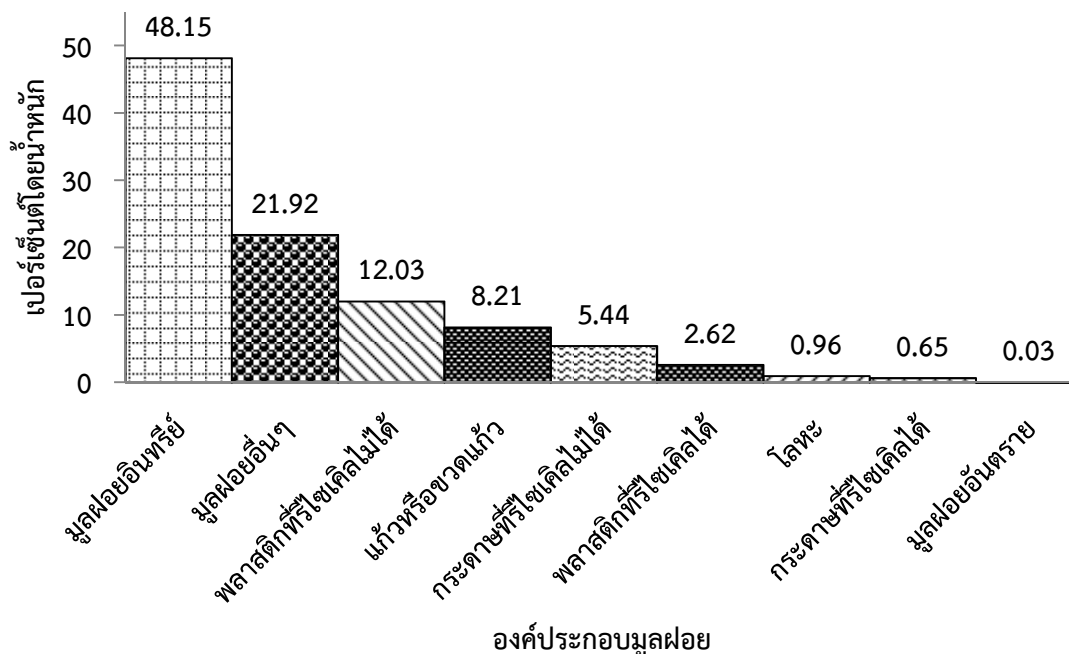
องค์ประกอบมูลฝอย		น้ำหนัก (กิโลกรัม)			เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
1	มูลฝอยอินทรีย์	412.30	301.30	356.80	48.15
	- เศษอาหารจากถังข้าวหมู	-	-	-	-
	- มูลฝอยอินทรีย์	412.30	301.30	356.80	48.15
2	พลาสติก	113.20	103.80	108.50	14.64
	- พลาสติกที่รีไซเคิลได้	30.30	8.50	19.40	2.62
	- พลาสติกที่รีไซเคิลไม่ได้	82.90	95.30	89.10	12.03
3	กระดาษ	41.10	49.10	45.10	6.09
	- กระดาษที่รีไซเคิลได้	0.00	9.60	4.80	0.65
	- กระดาษที่รีไซเคิลไม่ได้	41.10	39.50	40.30	5.44
4	โลหะ	7.30	6.90	7.10	0.96
5	แก้วหรือขวดแก้ว	81.30	40.40	60.85	8.21
6	มูลฝอยอันตราย	0.40	0.00	0.20	0.03
7	มูลฝอยอื่นๆ	144.60	180.20	162.40	21.92
น้ำหนักรวม		800.20	681.70	740.95	100.00

ที่มา: มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2549)

องค์ประกอบของมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ ปี 2548 พบว่า มูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ประกอบด้วย ขยะมูลฝอยอินทรีย์อื่นๆ 48 เปอร์เซ็นต์ มูลฝอยอื่นๆ 22 เปอร์เซ็นต์ พลาสติกที่รีไซเคิลไม่ได้ 12 เปอร์เซ็นต์ พลาสติกที่รีไซเคิลได้มีเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ กระดาษที่รีไซเคิลได้ 1 เปอร์เซ็นต์ กระดาษที่รีไซเคิลไม่ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ แก้วหรือขวดแก้วมี 8 เปอร์เซ็นต์ โลหะ 1 เปอร์เซ็นต์ และมูลฝอยเศษอาหารจากถังข้าวหมูนำไปทำปุ๋ยหมัก ส่วนมูลฝอยอันตรายมีการเก็บได้เพียง 0.03 เปอร์เซ็นต์ เห็นว่ามีขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่รีไซเคิลไม่ได้ 12 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 1.1)

อริศรา ร่มเย็น (2550) ได้กล่าวไว้ว่า จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 เมื่อปี พ.ศ. 2548 พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงมูลฝอยที่อายุการฝังกลบต่างๆ ของเทศบาลนครหาดใหญ่ เริ่มมีการใช้งานเมื่อตั้งแต่ปี พ.ศ.2535 ดังนั้นปริมาณเชื้อเพลิงมูลฝอยที่อายุการฝังกลบต่างๆ ของเทศบาลนครหาดใหญ่ ในปี พ.ศ.2535 มีอายุฝังกลบ 0 ปี คืออัตราการย่อย

สลายเริ่มต้นหรือการย่อยสลายของขยะใหม่ที่มาอายุการฝังกลบไม่ถึง 1 ปี ส่งผลให้มีอัตราการย่อยสลาย 0.034 จะเหลือซากมูลฝอย 87,852 ตัน และคิดเป็นเชื้อเพลิงขยะ RDF 24,599 ตัน



รูปที่ 1.1 สัดส่วนองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ ปี 2548

ที่มา: มุลินธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2549)

## 2) การจัดการมูลฝอยชุมชน

การจัดการมูลฝอยของชุมชนในเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นการจัดการโดยการมีส่วนร่วมของประชาชน ที่มีกิจกรรมคัดแยกมูลฝอย เช่น ตลาดนัดรีไซเคิลของชุมชนกลางนา การคัดแยกมูลฝอยของชุมชนมงคลประชา โครงการถนนนำร่องของขาวนิพันธ์อุทิศ 1 เป็นต้น โดยการคัดแยกมูลฝอยในชุมชนนำร่องของเทศบาลได้กำหนดการแบ่งประเภทของมูลฝอยออกเป็น 3 ประเภทคือ

- มูลฝอยที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือมูลฝอยที่ขายได้
- มูลฝอยอินทรีย์ เศษอาหาร หรือที่เรียกว่า “ถังข้าวหมู”
- ขยะอื่นๆ ที่เทศบาลจะนำไปกำจัด

การคัดแยกมูลฝอยของชุมชนในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่แสดงให้เห็นว่าชุมชนสนใจให้ความร่วมมือในการแก้ปัญหามูลฝอยของเทศบาล อีกทั้งประชาชนทราบประเภทของมูลฝอย และสามารถแยกมูลฝอยได้อย่างถูกต้อง และเข้าใจว่าการคัดแยกมูลฝอยเป็นการลดปริมาณมูลฝอย และยังช่วยให้เทศบาลนำมูลฝอยไปกำจัดได้ง่าย กลไกที่ช่วยการจัดการปัญหามูลฝอยให้กับเทศบาลนครหาดใหญ่มาโดยตลอด ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นผู้อยู่เบื้องหลังที่ทำให้ปัญหามูลฝอยในพื้นที่ของเทศบาลนครหาดใหญ่ยังไม่ประสบกับวิกฤตคือ ขาเล้งกับถังข้าวหมู โดยในแต่ละวันพบว่ามีการนำเศษอาหารเศษผักออกจากพื้นที่เทศบาลเพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์มากกว่า 30 ตัน ซึ่งหากเทศบาลมีการรณรงค์ให้ประชาชนคัดแยกอย่างต่อเนื่อง และขยายพื้นที่ดำเนินโครงการไปยังชุมชนอื่นๆ ประกอบ



กับการปรับปรุงระบบการจัดการมูลฝอยของเทศบาล เช่น พัฒนาระบบเก็บขนแยกประเภท การใช้ประโยชน์จากมูลฝอยอินทรีย์ ซึ่งเทศบาลอาจดำเนินการเอง หรือส่งเสริมให้ประชาชนจัดการ มูลฝอยอินทรีย์ด้วยตนเองในชุมชน เช่น การทำปุ๋ยน้ำจุลินทรีย์หรือการทำปุ๋ยหมัก (มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2549)

### 1.2.5 คุณสมบัติเบื้องต้นของพลาสติก

พลาสติก (Plastic) หมายถึง วัสดุที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากธาตุพื้นฐาน 2 ชนิดคือ คาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งเมื่อเติมสารบางอย่างลงไปจะทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น แข็งแกร่ง ทนความร้อน ลื่น และยืดหยุ่น การสังเคราะห์พลาสติกชนิดต่างๆ สามารถทำโดยการเติมสารเคมีเข้าไปในสัดส่วนและกรรมวิธีแตกต่างกัน

#### 1) แหล่งกำเนิดของพลาสติก

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง เพราะพลาสติกส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนเท่านั้นผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พลาสติกมีแหล่งกำเนิดจาก 5 แหล่งใหญ่คือ (สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2539)

(1) ผลิตผลทางการเกษตร เช่น Cellulose Nitrate, Cellulose Acetate, Cellulose Acetate- Butyrate, Shellac, Ethyl Cellulose และ Casein เป็นต้น

(2) ผลิตผลทางการเกษตรและน้ำมัน เช่น Furan แต่พบน้อยมาก

(3) น้ำมันและถ่านหินเป็นแหล่งที่ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ มากที่สุด เช่น Polyethylene, Polypropylene, Polystyrene, Phenol-Formaldehyde, Melamine-Formaldehyde, Urea-Formaldehyde, Nylon, Polyester, Acrylic และ Epoxy เป็นต้น

(4) น้ำมันและสินแร่ เช่น Polyvinyl Butyral Cabazole, Polyvinyl Acetate, Polyvinyl Alcohol, Silicone, Polyvinyl Acetate-Chloride และ Polyvinyl Chloride เป็นต้น

(5) สินแร่ เช่น Calcium-Aluminium Silicate แต่พบน้อย

#### 2) สมบัติของพลาสติก

พลาสติกมีโครงสร้างพิเศษเรียกว่า High molecular weight คือ โมเลกุลที่เชื่อมต่อกันยาวกว่าสารชนิดอื่นมากมายนับเป็นพันเท่า จึงทำให้พลาสติกมีสมบัติหลายๆ อย่างคือ

(1) สมบัติทางกล (Mechanical property) คือ มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ทนแรงกระแทก (Impact Strength) ได้ดีและมีความทนทานทางกลสูง (Mechanical strength)

(2) สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical property) เป็นฉนวนไฟฟ้า

(3) สมบัติทางเคมี (Chemical property) คือ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีจุดหลอมเหลวสูงตั้งแต่ 80-150 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำจะแข็ง ส่วนใหญ่มีความถ่วงเฉพาะต่ำ จึงมีน้ำหนักเบา ทนกรด ต่าง และสารเคมีอื่นๆ โดยมากไม่ทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์

ปัจจุบันความนิยมในการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น โดยนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ หนัง และโลหะต่างๆ พลาสติกจึงมีส่วนร่วมในผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภทเสมอ เช่น อุตสาหกรรมการบรรจุภัณฑ์ (Packaging) อุตสาหกรรมการก่อสร้าง (Building) อุตสาหกรรมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and electronics) อุตสาหกรรมยานยนต์ (Transportation) อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในบ้าน (Houseware) อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ (Furniture) และอุตสาหกรรมของเด็กเล่น (Toy) เป็นต้น

### 3) ประเภทของพลาสติก

ประเภทของพลาสติกที่ใช้กันโดยทั่วไปในชีวิตประจำวันที่สำคัญมีอยู่ประมาณ 40-50 ประเภท แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิดตามสมบัติ ได้แก่

#### (1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน

เทอร์โมพลาสติกหรือเรซินเป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกในชนิดเทอร์โมพลาสติก ได้แก่

(1.1) โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุด ในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถุง ขวด แทนรองรับสินค้า และไม้เทียม เป็นต้น

(1.2) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าโพลีเอทิลีนทนต่อสารไขมันและความร้อนสูง ใช้ทำแผ่นพลาสติก ถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน และหลอดดูดพลาสติก เป็นต้น

(1.3) โพลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น

(1.4) SAN (Styrene-Acrylonitrile) เป็นพลาสติกโปร่งใสผลิตขึ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า และชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น

(1.5) ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) สมบัติคล้ายโพลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตถ้วย และถาด เป็นต้น

(1.6) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ไอน้ำและอากาศผ่านได้พอควร แต่ป้องกันไขมันได้ดี มีลักษณะใส ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมัน และไขมันปรุงอาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์ ใช้ทำแผ่นพลาสติกห่อเนยแข็ง และทำแผ่นลามิเนตชั้นในของถุงพลาสติก เป็นต้น

(1.7) ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิทำแผ่นลามิเนตสำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ

(1.8) โพลีเอทิลีน เทอร์เฟธาเลต (Polyethylene Terephthalate: Terylene) หนึ่ยมมาก โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบางๆ บรรจุอาหาร

(1.9) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหารจับยาก ใช้ทำถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก เป็นต้น

ในประเทศไทยเทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกที่สำคัญใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ มี 5 ประเภท คือ

- Polyethylene (PE)
  - High Density Polyethylene (HDPE)
  - Low Density Polyethylene (LDPE)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polypropylene (PP)
- Polystyrene (PS)
- Polyethylene Terephthalate (PET)

## (2) เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic)

เทอร์โมเซตติงพลาสติกเป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใด จะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวรจะเอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อกันไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของโพลิเมอร์ (Cross Linking Among Polymer Chains) ด้วยเหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว ไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่างๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย ได้แก่ พลาสติกจำพวกที่ทำเป็นจานชามถ้วย ชูตถ้วย ชาม จาน พลาสติกชนิดพิเศษที่เรียกว่า เมลามีน (Melamine) ซึ่งมีสมบัติทนการตกแตก และความร้อนได้ดีมาก เวลาถูกประกายไฟจะไม่ลุกไหม้ ที่พบเห็นกันทั่วไปเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะที่ใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ถาด ถ้วย และช้อน ซึ่งเทอร์โมเซตติงพลาสติกสามารถแบ่งได้เป็นประเภทดังนี้

(2.1) เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) มีสมบัติทางเคมีทนแรงดันได้ 7,000-135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25-0.35 ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบ และรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด และนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบและ ลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่าง แต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติก

(2.2) ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde) มีความต้านทานต่อตัวทำละลาย สายละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาขวดและหม้อ

(2.3) อีพ็อกซี (Epoxy) มีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมาก จัดอยู่ในกลุ่ม Thermosetting Polymer ใช้ทำโคมแข็ง ใช้เคลือบถนนกันลื่น ใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว

(2.4) โพลีเอสเตอร์ (Polyester) มีคุณสมบัติทนทาน ดูแลรักษางาน และคืนรูปง่าย ไม่ว่าจะแห้งหรือเปียก

(2.5) ยูรีเทน (Urethane) ชื่อเรียกทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต

(2.6) โพลียูรีเทน (Polyurethane: PU) ประกอบด้วยหมู่ของยูรีเทนเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง Di-Isocyanates กับ Diols หรือ Triols ที่เหมาะสมใช้เป็นกาว น้ำมันขัดเงา ยาง และพลาสติก

### 1.2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกและทางปาล์ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยที่การวิเคราะห์ทางกายภาพจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบในเรื่องของความหนาแน่น สี ขนาด ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิงประกอบด้วย ความชื้น (Moisture content), ปริมาณสารระเหย (Volatile matter), คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon), เถ้า (Ash) และทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุซึ่งประกอบด้วย 4 ธาตุหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีสัดส่วนน้อยคือ กำมะถัน คลอรีนและค่าความร้อน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549)

#### 1) องค์ประกอบทางกายภาพ

(1) ความหนาแน่น (Bulk density) คือ อัตราส่วนมวลของวัสดุทดลองต่อปริมาตรของวัสดุทดลองวิเคราะห์ความหนาแน่นโดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน (ASTM D5231, 2003)

(2) ลักษณะทั่วไป เช่น สี ขนาดโดยดูลักษณะสี และขนาด ของขยะพลาสติคและทางปาล์มก่อนอัดและหลังอัดแห้ง

#### 2) องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีใช้วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี Standard methods (Solid and plant analysis council, 1999) แล้วทำการวัดค่าปริมาณความร้อน Calorific value โดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี 2 แบบที่ต้องวิเคราะห์ คือ

(1) Proximate analysis คือ การวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิงอัดแห้งประกอบด้วย

(1.1) ความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแห้งอบแห้ง

(1.2) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

(1.3) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ยังมีค่ามากค่าความร้อนยังสูง

(1.4) เถ้าหรือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Ash) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากสถานะสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น (ตารางที่ 1.3)

(2) **Ultimate Analysis** คือ การวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุซึ่งประกอบด้วย 4 ธาตุหลักคือ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) และออกซิเจน (Oxygen) และธาตุอื่นๆ ที่มีสัดส่วนน้อยคือ กำมะถัน (Sulfur) และคลอรีน (Chlorine)

### 3) การวิเคราะห์ค่าความร้อนต่อน้ำหนัก (Heating value หรือ Calorific value)

ค่าความร้อนมีหน่วยวัดมากมายหลายแบบแล้วแต่มาตรฐานประเทศนั้นๆ ในส่วนของประเทศไทยไม่มีหน่วยวัดมาตรฐานที่แน่ชัด แต่ที่ใช้อยู่มี 4 ชนิดคือ

- แคลอรี (Calorie) และกิโลแคลอรี
- บีทียู (British Thermal Unit-BTU)
- จูล (Joule) กิโลจูลและเมกะจูล
- กิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt-Hour)

ส่วนน้ำหนักจะแสดงอยู่ในรูปของกิโลกรัมเป็นส่วนใหญ่ตัวอย่างเช่น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg) และกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) เป็นต้น ค่าความร้อนต่อน้ำหนักจะถูกแสดงอยู่ในรูป 3 รูปแบบดังนี้คือ

(1) **ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value-LHV)** หมายถึง การนำตัวอย่างหนัก 1 กิโลกรัม และมีความชื้นตามปกติ (as Received Basis) มาหาค่าความร้อนตามมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์เช่น Bomb calorie meter เป็นต้น

(2) **ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value-HHV)** หมายถึง การนำตัวอย่างหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9\text{H} + \text{M})\text{kcal/kg} \text{ หรือ}$$

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9\text{H} + \text{M})\text{kJ/kg} \quad (1.1)$$

เมื่อ H คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล  
M คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในตัวอย่าง

(3) ค่าความร้อนแห้ง (Dry Heating Value) หมายถึง การนำตัวอย่างจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating Value} = \frac{\text{HHV} \times 100}{(100 - M)} \quad (1.2)$$

ตารางที่ 1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชีวมวลแต่ละชนิด

Parameter	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา	ไยปาล์ม	กะลาปาล์ม
<b>Proximate analysis (%)</b>							
Moisture	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
Ash	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50
Volatile Matter	55.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20
Fixed Carbon	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30
<b>Ultimate Analysis (%)</b>							
Carbon	37.48	38.17	21.33	41.60	25.58	30.82	44.44
Hydrogen	4.41	5.02	3.06	5.08	3.19	3.74	5.01
Oxygen	33.27	35.28	23.29	37.42	24.48	21.61	34.70
Nitrogen	0.17	0.58	0.12	0.40	0.14	0.84	0.28
Sulfur	0.04	0.09	0.03	0.17	0.02	0.08	0.02
Chlorine	0.09	Na	Na	0.01	0.01	0.11	0.02
Ash	12.65	10.39	1.43	6.10	1.60	4.42	3.52
Moisture	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
<b>Other Characteristics</b>							
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	150	125	120	100	450	250	400
Higher heating value (kJ/kg)	14,755	13,650	9,243	16,794	10,365	13,127	18,267
Lower heating value (kJ/kg)	13,517	12,330	7,368	15,479	8,600	11,400	16,900

Na คือ Not available ไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล (2549)

ตารางที่ 1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชีวมวลแต่ละชนิด (ต่อ)

Parameter	ทะเลาย ปาล์ม	ลำตัน ปาล์ม	ทาง ปาล์ม	ซัง ข้าวโพด	ลำตัน ข้าวโพด	เหง้ามัน สำปะหลัง	เปลือก ไม้ยูคา
<b>Proximate analysis (%)</b>							
Moisture	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
Ash	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
Volatile Matter	30.46	38.70	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
Fixed Carbon	8.90	11.70	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
<b>Ultimate Analysis (%)</b>							
Carbon	21.15	23.90	10.13	28.19	27.83	18.76	18.60
Hydrogen	2.56	3.04	1.25	3.36	4.06	2.48	2.12
Oxygen	15.34	22.91	9.44	27.42	22.47	17.50	16.68
Nitrogen	0.27	0.56	0.07	0.12	0.13	0.32	0.15
Sulfur	0.04	0.06	0.02	0.03	Na	0.04	0.02
Chlorine	0.16	Na	0.12	0.05	Na	0.05	0.10
Ash	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
Moisture	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
<b>Other Characteristics</b>							
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	380	Na	Na	Na	Na	250	Na
Higher heating value (kJ/kg)	9,196	9,370	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811
Lower heating value (kJ/kg)	7,240	7,556	1,760	9,615	9,830	5,494	4,917

Na คือ Not available ไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล (2549)

### 1.2.7 วัสดุที่ใช้ผสมร่วมกับขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก

#### 1) ทางปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) มีชื่อสามัญ African Oil palm และชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaes guineensis Jacq* ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญไม่น้อยกว่ายางพาราให้ผลผลิตเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ประกอบการทำอาหารแทบทุกครัวเรือน ปาล์มน้ำมันไม่ได้เป็นพืชดั้งเดิมของประเทศไทย กิ่งพันธุ์ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ปาปัวนิวกินี และ คอสตาริกา เป็นต้น ปัจจุบันหน่วยราชการของไทยได้พัฒนาสายพันธุ์ขึ้นมาใหม่ให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมของประเทศคือ พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี (หมายเลข 38) ซึ่งให้ผลผลิตสูง ต้นเตี้ย และมีสีเหลืองส้มเมื่อสุกทำให้สังเกตได้ง่าย

### (1) สถานการณ์ปัจจุบันของปาล์มน้ำมัน

เนื่องจากปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคภายในประเทศ ทางหน่วยงานราชการจึงได้กำหนดเขตส่งเสริมให้มีการปลูกเพิ่มขึ้นปีละ 50,000 ไร่ และในส่วนของเอกชนมีการวางแผนเพิ่มพื้นที่ปลูกเช่นกัน สุราษฎร์ธานีและกระบี่เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุด จากข้อมูลของ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตร พบว่าพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกมีประมาณ 2 ล้านไร่ (22 ล้านตันต่อไร่) ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ มีเพียงส่วนน้อยอยู่ในภาคตะวันออก ลักษณะการถือครองสวนปาล์มจะมีทั้งรายใหญ่และรายย่อย รายใหญ่เป็นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนรายย่อยถือครอง 25 ไร่ต่อครอบครัวในรูปของสหกรณ์ ปาล์มน้ำเป็นพื้นที่ให้ผลผลิตตลอดปี ชาวสวนปาล์มเก็บเกี่ยวผลผลิตทุก 15 วัน จึงใช้แรงงานไม่มากนักในการเก็บเกี่ยว ส่วนใหญ่จะเน้นการให้ปุ๋ยบำรุงดิน วิธีการเก็บเกี่ยวเริ่มจากใช้ตะขอเกี่ยวใบปาล์มหรือทางปาล์มให้ขาดเพราะบดบังทะลายปาล์มสด จากนั้นเกี่ยวทะลายปาล์มสดให้ตกลงมาและขนขึ้นรถบรรทุกส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่อไป ส่วนทางปาล์มก็จะถูกทิ้งไว้ในสวน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549) รอกการทำลายโดยการเผา หรือนำไปใช้เป็นอาหารให้กับโค ซึ่งถือเป็นส่วนน้อยในการนำทางปาล์มไปใช้ประโยชน์

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2549) ได้กล่าวไว้ว่า ปัจจุบันปาล์มน้ำมันมีพื้นที่ปลูกทางภาคใต้ประมาณ 1,050,000 ไร่ เมื่อนำมาแปรรูปเพื่อผลิตน้ำมันปาล์ม พบว่า จะมีวัสดุหรือส่วนที่เหลือใช้จากสวนหรือไร่ปาล์มน้ำมัน คือ ทางใบ (ก้านทางใบและใบย่อย) มีประมาณ 3,500,000 ตันต่อปี ช่อดอกตัวผู้ (ทะลายตัวผู้) มีประมาณ 320,000 ตันต่อปี และวัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่ามีประมาณ 810,000 ตันต่อปี กากใบปาล์มมีประมาณ 280,000 ตันต่อปี กะลาปาล์มมีประมาณ 100,000 ตันต่อปี กากเมล็ดในมีประมาณ 200,000 ตันต่อปี กากปาล์ม (ประกอบด้วยกากใบปาล์ม กะลาปาล์ม และกากเมล็ดในปาล์ม) ประมาณ 120,000 ตันต่อปี เศษวัสดุอื่นๆ (น้ำตะกอน ไขมัน เศษสิ่งสกปรกของปาล์ม) ประมาณ 610,000 ตันต่อปี

### (2) เศษวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน

- ใบปาล์ม เป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็นใยถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

- กะลา เป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม มีขนาดเล็กประมาณ 1-2 เซนติเมตร ความชื้นต่ำและมีค่าความร้อนค่อนข้างสูงในชีวมวล จึงเป็นที่นิยมของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อน



- ทะลายเปล่า เป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็นพุ่ม สมัยก่อนมักจะเผาทิ้ง ซึ่งสร้างปัญหาให้ต่อสภาพแวดล้อม ปัจจุบันได้มีการวิจัยนำไปเพาะเห็ดแทน ซึ่งเลี้ยงได้ผลดี ทะลายปาล์มยังไม่เป็นที่นิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงมากนักเนื่องจากมีสารอัลคาไลน์ ค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงเกิน 800 องศาเซลเซียส แก๊สของทะลายปาล์มจะหลอม ละลายติดในผนังห้องของหม้อไอน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง

- ทางปาล์มหรือใบปาล์ม เป็นวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยว มีความชื้นสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ปัจจุบันไม่ได้ใช้ประโยชน์แต่อย่างใด ถูกทิ้งอยู่ในสวนปาล์ม

- ลำต้นปาล์ม เมื่อต้นปาล์มมีอายุ 25 ปีขึ้นไปจะมีความสูงมากจนไม่สามารถมองเห็น ผลปาล์มว่าสุกพร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ชาวสวนจะทำการโค่นเพื่อปลูกใหม่ เนื้อภายในลำต้นปาล์มมี ลักษณะเป็นเส้นค่อนข้างใหญ่ ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการนำมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด ถูกปล่อยให้ ย่อยสลายในสวนปาล์ม (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549)

## 2) เหม่ามันสำปะหลัง

สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และวราพันธ์ จินตณวิชญ์ (2548) ได้กล่าวไว้ว่า ในการเก็บ หรือชุดหัวมันสำปะหลังสด พบว่า มีส่วนของลำต้นที่ติดกับหัวมันสดหรือส่วนที่เรียกว่าเหม่ามัน สำปะหลังเป็นส่วนที่แข็งคล้ายไม้ ปัจจุบันมีการรณรงค์ให้เกษตรกรตัดออกจากหัวมันสดให้เกลี้ยง เพื่อที่จะได้หัวมันที่มีคุณภาพดีก่อนส่งให้ลานมันหรือโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งทำให้ลดปัญหาของเกษตรกร ที่จะถูกตัดราคาหรือนำหนักจากผู้ประกอบการ โดยปกติเกษตรกรส่วนใหญ่จะตัดเหม่ามันสำปะหลัง ทิ้งไว้ในไร่แล้วปล่อยให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ แต่บางส่วนตัดไม่หมดคงปล่อยให้ติดมากับหัวมัน สดทำให้เป็นภาระกับโรงงานผลิตแป้งที่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการตัดออก ซึ่งเหม่ามัน สำปะหลังเหล่านี้ไม่นำมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควรลักษณะและสมบัติของเหม่ามันสำปะหลังเหม่ามัน สำปะหลังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือเหม่าส่วนที่ติดกับลำต้นและเหม่าส่วนที่ติดกับหัวมัน

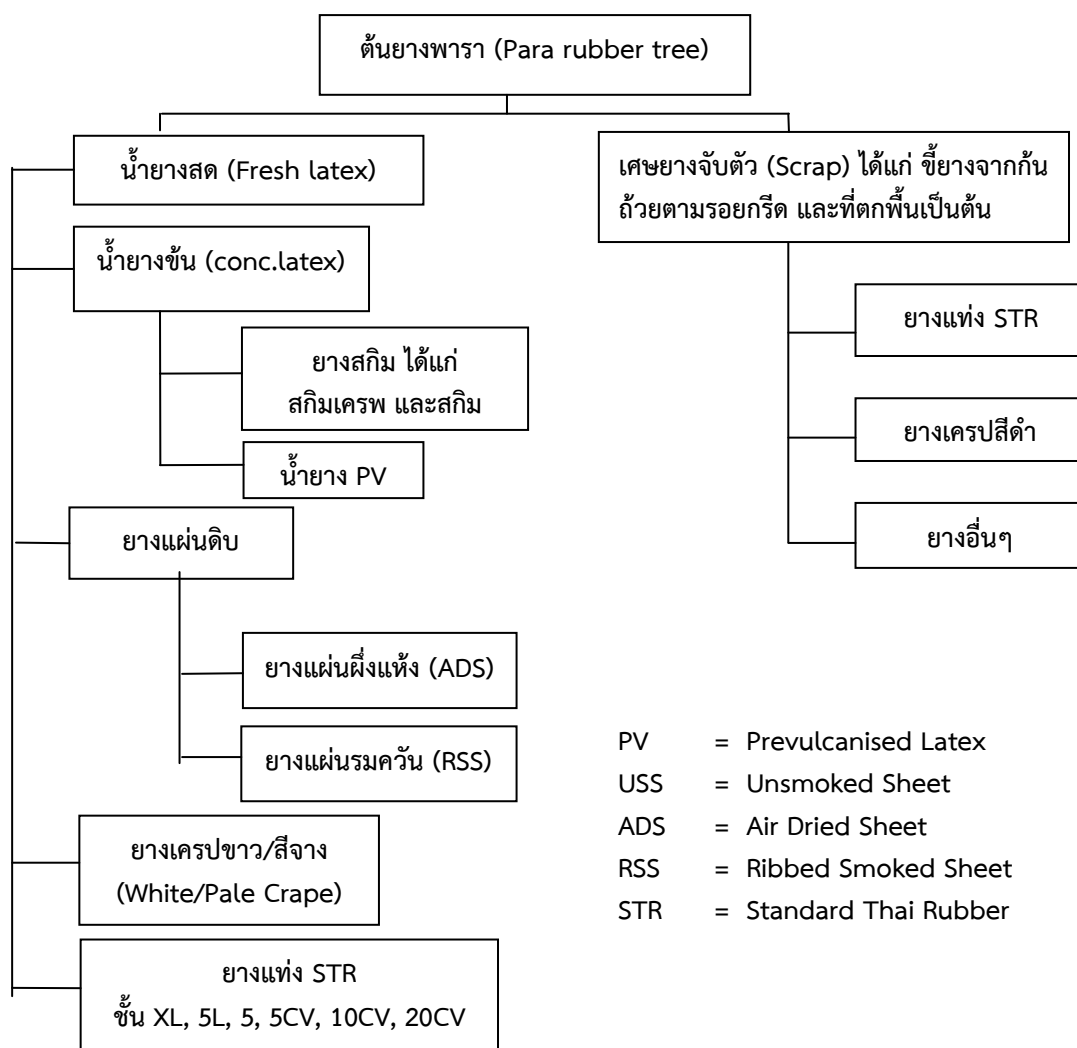
(1) เหม่าส่วนที่ติดกับลำต้น ซึ่งเกษตรกรตัดทิ้งไว้ในแปลงปลูก เหม่าส่วนที่ติดกับลำ ต้นมักมีความแกร่งหรือความเป็นเนื้อไม้ไม่น้อยกว่าส่วนที่ติดกับหัวมันสด ดังนั้น เมื่อนำมาเผาจึงให้ค่า ความร้อนที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่เหม่ามันส่วนนี้จะมีปริมาณค่อนข้างมากจากพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 6-7 ล้านไร่ ประมาณการว่าจะมีเหม่ามันสำปะหลังส่วนนี้ประมาณ 2.3 ล้านตัน ซึ่งหากมีการเก็บรวบรวมมา ใช้ประโยชน์เป็นวัสดุเชื้อเพลิงก็น่าจะสามารถประหยัดทรัพยากรป่าไม้ได้มหาศาล รวมทั้งช่วยลดการใช้ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้าอีกด้วย

(2) เหม่าส่วนที่ติดกับหัวมัน เหม่าที่ติดกับหัวมันมาถึงผู้ประกอบการลานมัน โรงงาน แป้งมัน รวมทั้งโรงงานผลิตสารให้ความหวาน โรงงานผลิตเอทานอลที่มีการใช้หัวมันสำปะหลังสดเป็น วัตถุดิบในการผลิต เหม่ามันส่วนนี้มักมีความแข็งแกร่งหรือความเป็นเนื้อไม้มากกว่า จึงให้ค่าความร้อน สูงกว่า อาทิ เหม่าที่แห้งก่อนเผาเป็นถ่านให้ค่าความร้อนได้ถึงประมาณ 3,800-4,400 แคลอรีต่อกรัม แต่เหม่ามันสำปะหลังส่วนนี้จะมีปริมาณรวมไม่มากนักและนับวันจะน้อยลง โดยจะกลับไปปรวมอยู่กับ เหม่าที่ติดกับลำต้น เนื่องจากการรณรงค์ให้มีการตัดเหม่ามันให้เหลือน้อยที่สุด

## 3) อุตสาหกรรมยางดิบในประเทศไทย

ยางที่เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมหลายชนิดที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติ ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะยางธรรมชาติ อุตสาหกรรมยางธรรมชาติ คือ การแปรรูปสภาพน้ำยางสด (Fresh latex) หรือเศษยางจับตัว (Scrap) ที่ได้จากการกรีดยางมาเป็นยางในรูปที่พร้อมจะส่งต่อไปเป็นวัตถุดิบให้อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป (Rubber product) ต่อไป

วัตถุดิบอุตสาหกรรมยางธรรมชาติ (รูปที่ 1.2) ได้แก่ น้ำยางสด และ เศษยางจับตัว น้ำยางสดได้จากการกรีดยาง ส่วนยางจับตัว หรือเรียกว่า ขี้ยาง นั้นได้จากยางก้อนถ้วย (Cup lump) เศษยางจากรอยกรีด (Tree lace) เศษยางตามเปลือกไม้ (Bark scrap) เศษยางที่ตกอยู่ตามพื้นดิน (Earth scrap) เศษยางจากการขลิบแผ่นรมควัน (Smoked sheet cutting) เป็นต้น ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ (ตารางที่ 1.4)



รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยาง

ที่มา: อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น อุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20 (2554)

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ

ชนิดของยางธรรมชาติ	ลักษณะ	การใช้งาน
น้ำยางชั้น	เป็นของเหลว สามารถเติมสารเคมีเพื่อให้เหนียวและแข็งแรงมากขึ้น โดยไม่ต้องเติมสารเสริมความแข็งแรง (Reinforcing filter)	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนม สำหรับทารก ผลิตภัณฑ์ตีฟอก เช่น ที่นอน หมอน ตุ๊กตา ฟองน้ำ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น ตุ๊กตายาง หุ่น การศึกษา เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยืด (Latex thread) ท่อยาง กาวยางน้ำ เป็นต้น

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ (ต่อ)

ชนิดของยางธรรมชาติ	ลักษณะ	การใช้งาน
น้ำยาง PV (น้ำยางคงรูป)	เป็นของเหลว และมีสารเคมีที่ทำให้ยางคงรูปเป็นส่วนผสมหลักนำไปขึ้นรูปได้ทันที สามารถปรับเพิ่มความทนทานให้กับผลิตภัณฑ์ โดยการเติมสารเคมีกันยางเสื่อมสภาพเพิ่มเติมในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ยาง ลูกโป่ง ฯลฯ ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น เบ้าพิมพ์ใช้หล่อปูน พลาสติก ผลิตภัณฑ์เชื่อมเส้นใย เป็นต้น
STR XL, STR 5L, ADS, RSS 1, pale crepe	เป็นยางที่สะอาด มีสีจางโดยเฉพาะยาง STR XL และ STR 5L ส่วน RSS ค่อนข้างแข็งมาก ค่าความหนืด (Mooney Viscosity) สูงและไม่ค่อยเหมาะสมในงานผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสี	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เภสัชกรรม การสัมผัสอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสี สีสัน เส้นด้ายยางยืด (Cut threads) กาวยาง เทปติดพื้น รองเท้า และส่วนประกอบ เป็นต้น
STR 20, RSS 2, 3, 4, 5	เป็นยางสีคล้ำ มักใช้กับงานที่ผสมกับสารตัวเติม เช่น พวงเขม่าดำ โดยเฉพาะยางแผ่นรมควัน RSS 4, 5 จะมีคุณภาพต่ำจึงมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพต่ำ	ยางรถยนต์ ยางล้อดอก ยางอะไหล่ ยางที่ใช้ในงานวิศวกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เป็นต้น
Skim rubber	เป็นยางสกินในรูปแบบลือกหรือครีมสีหลากหลายขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ถ้าผลิตจากหางน้ำยางใหม่จะได้ยางสกินสีจาง	ใช้ผสมกับยางคุณภาพสูงเพื่อลดต้นทุนเนื่องจากยางสกินมีสีอ่อน(ยางสกินที่คุณภาพดี)

	ถ้าผลิตจากยางยางที่เก่าจะได้สกิมสีคล้ำ เนื่องจากยางสกิมมีส่วนของ non-rubber สูง จึงสามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็ว	สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางสี ยาง หรือยางที่ต้องการเติมสี มักใช้ผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ เช่น ยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น ยางกันกระแทก เป็นต้น
--	---	---

PV = Prevulcanised Latex (น้ำยางชั้นคงรูป)

RSS = Ribbed Smoked Sheet (ยางแผ่นรมควัน)

ADS = Air Dried Sheet (ยางแผ่นผึ่งแห้ง)

STR = Standard Thai Rubber (ยางแท่งมาตรฐาน)

ที่มา: อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น อุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20 (2554)

### 1.2.8 การเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นความร้อนและแสงออกมา และมีผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ เถ้า (นคร ทิพย์วงศ์, 2553)

#### 1) กระบวนการเผาไหม้ชีวมวล

เชื้อเพลิงแข็งเมื่อเกิดการเผาไหม้ทำให้เกิดการสูญเสียมวล 3 ช่วงคือ (1) การทำแห้ง (Drying) ช่วงนี้อนุภาคจะได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิไพโรไลซิส (2) การปล่อยสารระเหย (Devolatilization) ช่วงนี้เกิดการไพโรไลซิสของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งทำให้ได้สารระเหยอินทรีย์ที่เผาไหม้ได้และเผาไหม้ไม่ได้และถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์ (3) การเผาไหม้ถ่านชาร์ (Char combustion) ช่วงนี้เกิดขึ้นหลังจากไพโรไลซิสสิ้นสุดคือ สารระเหยเกิดการเผาไหม้พร้อมๆ กับการบวมการเผาไหม้ของถ่านชาร์ ผลแต่ละช่วงที่เกิดการสูญเสียมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิงด้าน ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว และเถ้า หากเชื้อเพลิงขนาดเล็กกระบวนการทั้ง 3 เกิดขึ้นตามลำดับ แต่หากเชื้อเพลิงขนาดใหญ่กระบวนการทั้ง 3 จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน (Borman and Ragland, 1998; Tillman, 1991) พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของวัสดุ สามารถปรับปรุงโดยการเปลี่ยนสภาพก่อนเข้าเตา เช่น การบด การอัด การตัด การอัด และการทำให้เป็นก้อน ซึ่งทำให้กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแตกต่างกัน

#### 2) ระบบการเผาไหม้แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง

การเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาดใหญ่เช่น กองไฟ เป็นการเผาไหม้แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง (Fixed bed combustion) เป็นการเผาไหม้ที่ใช้อากาศพาตามธรรมชาติ มีความร้อนต่ำ ควบคุมยาก

และมีปริมาณมลพิษออกมามาก แต่หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพควรใช้การพัดพาลมแบบบังคับและ การใช้ตะกรับ นอกจากนี้ควรคำนึงถึงการออกแบบระบบการเผาไหม้ เช่น การป้อนเชื้อเพลิง ปัญหา การเกาะและเศษเถ้า เป็นต้น ระบบการเผาไหม้แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง การลดขนาดเชื้อเพลิงนิ่งไม่ จำเป็นมากนักเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ ตัวอย่างที่น่าสนใจคือ เตาไม้ฟืน (Wood stove) เตาแบบดัตช์ (Dutch oven) เตาสโตกเกอร์ (Spreader stoker) และเตาแบบก๊าซไหลลง (Downdraft system)

(1) เตาไม้ฟืนและเตาแบบดัตช์ เป็นเตาส่วนใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน ใช้การหมุนเวียน ตามอากาศ เชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเตาไม้ฟืนคือ ท่อนไม้แห้งและแห้ง ความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ขนาดประมาณ 100-150 มิลลิเมตร ไม้สด ถ่านหิน และขยะไม่เหมาะสมกับเตาประเภทนี้ เตาชนิดนี้ สามารถเพิ่มความร้อนได้โดยการอาศัยลมบังคับจากพัดลม เหมาะกับชั้นไม้ เศษไม้ ขี้เลื่อย สำหรับเตา แบบนี้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่อยู่ในห้องเผาแรก ความร้อนในเตาแผ่รังสีมาทำให้แห้งชั้นหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ได้ อย่างไรก็ตามการควบคุมอากาศในเตาทำได้ ยาก เนื่องจากความดันตกคร่อมในการไหลผ่านกองเชื้อเพลิง

ข้อเสียคือ ต้องมีการควบคุมการกระจายลม การตอบสนองต่อโหลดช้า และมลพิษที่เกิดขึ้น ทำให้เตาแบบนี้ไม่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

(2) เตาเผาแบบสโตกเกอร์ เตาเผาแบบสโตกเกอร์มีลักษณะการเผาไหม้ที่มีชั้นเชื้อเพลิงบาง อากาศไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นด้านบน ต้องการเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ความดันตกคร่อมต่ำและมีค่าคงที่ เนื่องจากความหนาชั้นเชื้อเพลิงคงที่ประมาณ 100-200 มิลลิเมตร การควบคุมอากาศทำได้ไม่ยาก เตาเผาชนิดนี้ใช้กันแพร่หลายมีหลายรูปแบบ รวมกันได้ 3 ชนิดหลักๆ คือ ป้อนบน (Overfeed) ป้อนล่าง (Underfeed) และป้อนขวาง (Cross feed) สามารถนำถ่านหินทุบขนาดประมาณ 40 มิลลิเมตร ชั้นไม้หรือขยะเป็นเชื้อเพลิงได้

(3) เตาแบบก๊าซไหลลง มีการพัฒนาระบบการเผาไหม้ที่ใช้ชั้นเชื้อเพลิงหนาขนาดเล็กขึ้นเพื่อใช้กับครัวเรือนหรือร้านค้าทั่วไป ข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องและมีฝุ่นควันน้อย สามารถใช้ให้ความร้อนเต็มที่เมื่อพัดลมทำงานหรือใช้ให้ความร้อนน้อยลงได้โดยไม่ต้องบังคับลม แต่เตาแบบนี้อาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดเศษเถ้าและการอันลม เนื่องจากอุณหภูมิเถ้าสูงจน หลอมได้ ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงมี 5 โซน อุณหภูมิสูงสุดของชั้นเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่ชั้นกลาง ความร้อนถูกส่งผ่านไปด้านบนด้วยการนำและการแผ่ เกิดการทำแห้ง และปล่อยสารระเหยลงมากับกระแสอากาศ เกิดการเผาไหม้ภายในเพราะมีออกซิเจนมาก ถ่านชาร์เกิดการเผาไหม้และรีดักชันจนเหลือแต่เศษเถ้าเหนือตะกรับเตา สารระเหยที่เป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันดินที่ปล่อยออกมาจะถูกทำให้สลายตัวทางความร้อนเมื่อผ่านโซนเผาไหม้ในชั้นเชื้อเพลิง และถูกเผาไหม้อีกครั้งที่ช่องว่างด้านล่างเมื่อฉีดอากาศเพิ่มเข้าไป

### 3) ระบบการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงแข็งแขวนลอย

การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแขวนลอย (Suspension burning) ต้องใช้เชื้อเพลิงที่ผ่านการบดไม่เป็นผงขนาดเล็กแล้วเป่าไปกับอากาศผ่านเข้าไปในเตาเผาที่มีปริมาตรมากพอที่จะเผาไหม้

อนุภาคเชื้อเพลิงจนหมดก่อนปล่อยออกจากเตา ซึ่งโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ในโลกส่วนใหญ่ใช้ระบบการเผาไหม้แบบนี้ ระบบการเผาไหม้แบบนี้เป็นระบบการเผาไหม้ที่ซับซ้อน

ข้อดี สามารถขยายสเกลขึ้นเป็นขนาดใหญ่มากๆ ได้ สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดได้รวดเร็ว

#### 4) ระบบการเผาไหม้แบบชั้นของไหล

(1) ระบบทั่วไป การทำให้มีสถานะเหมือนของไหล (Fluidization) หมายถึง การทำให้กลุ่มเม็ดของแข็งขนาดเล็กเปลี่ยนไปมีสถานะคล้ายของไหลโดยการสัมผัสกับก๊าซหรือของเหลวในชั้นไหล (Fluidized bed) แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อน้ำหนักเม็ดของแข็งจะถูกต้านด้วยแรงจากการไหลขึ้นของก๊าซ ทำให้เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะกึ่งแขวนลอย การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในชั้นของไหลใช้ได้กับเชื้อเพลิงลดขนาด อุณหภูมิในชั้นค่อนข้างต่ำประมาณ 815-900 องศาเซลเซียส เนื่องจากความจุความร้อนของชั้นวัสดุสูง การเผาไหม้จึงเสถียรที่อุณหภูมิไม่สูงมาก แต่ก็อยู่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเศษเถ้า จึงลดปัญหาเรื่องเศษเถ้าลงได้

ข้อดีคือ การกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็วของของแข็งภายในชั้นของไหลทำให้ไม่มีจุดหนึ่งจุดใดร้อนมากเป็นพิเศษ สามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีความแตกต่างกันมากได้หลายชนิด ทั้งขนาด ความชื้น ค่าความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิเผาไหม้ไม่สูงมากจึงเกิดการออกไซด์ของไนโตรเจน ภายในห้องเผาไหม้ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ได้ อุปกรณ์จึงไม่มีแนวโน้มที่จะเสียหายหรือขัดข้อง และในชั้นการไหลยังสามารถผสมหินปูนเพื่อดักจับออกไซด์ของกำมะถันให้มีมลพิษน้อย

ข้อเสียคือ มีปริมาณผงฝุ่นอนุภาคแขวนลอยมาก ทำให้ต้องใช้เครื่องดักจับของแข็งหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดก๊าซ อนุภาคในชั้นของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการสึกกร่อนในห้องเผา และเม็ดวัสดุในชั้นไหลอาจรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ของแข็ง อาจขัดขวางการทำงานทำให้ทำงานที่โหลดต่ำๆ ได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีพิเศษเข้ามาช่วย

(2) ระบบการเผาไหม้แบบชั้นของไหลอื่นๆ พัฒนาขึ้นมาใช้ เช่น ชั้นของไหลหมุนเวียน (Circulating fluidized bed) และชั้นของไหลความดันสูง (Pressurized fluidized bed) ชั้นของไหลหมุนเวียนถูกพัฒนาเพื่อลดปริมาณถ่านที่หลุดรอดจากการเผาไหม้ (Carbon carryover) โดยการนำกลับมาวนซ้ำ ซึ่งชั้นของไหลแบบนี้จะมีความเร็วของก๊าซสูงกว่าแบบฟองอากาศธรรมดา ทำให้มีระดับความปั่นป่วนสูง อนุภาคถูกพัดออกไปนอกชั้นของไหล และดักด้วยลมวนไซโคลนดึงกลับเข้ามาในห้องเผาไหม้อีกครั้ง วัตถุประสงค์ของการพัฒนาการเผาไหม้แบบชั้นของไหลความดันสูงก็เพื่อใช้ปั่นเครื่องจักรกังหันก๊าซโดยตรง ความดันสูงที่ได้จากการเผาไหม้สามารถส่งต่อไปที่ทางเข้ากังหันก๊าซได้ทันที ทำให้มีประสิทธิภาพสูง

#### 1.2.9 มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกปัญหาหนึ่งที่ได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในโลก หนึ่งในแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศนั้นก็คือ มลสารที่

เกิดขึ้นจากเตาเผาขยะ ซึ่งประกอบด้วย ฝุ่น และก๊าซหลายชนิด มลสารเหล่านี้มีผลกระทบร้ายแรง และสร้างความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ที่อาศัยอยู่บนโลกนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำมลสารเหล่านี้ไปบำบัดก่อนที่จะระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก (<http://fenergy.multiply.com/journal/item/4/4,2553>)

### 1) มลสารที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอย สามารถจำแนกออกเป็น 7 ชนิด ดังต่อไปนี้

(1) ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วย ไนตรัสออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซของออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) กับก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ในอากาศที่ผ่านการเผาไหม้แล้ว ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนที่เป็นก๊าซเชื้อเพลิงเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และสารอินทรีย์ไนโตรเจนออกไซด์ของไนโตรเจนทำให้เกิดไอกรด และเมื่อรวมกับน้ำจะกลายเป็นกรดไนตริกและเป็นฝนกรดตกลงมา

(2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ ก๊าซชนิดนี้ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก และลำคอ ถ้ามีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการเจ็บป่วยและตายในที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฝนกรดด้วย

(3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศไม่เพียงพอ เมื่อสารนี้เข้าไปในร่างกายจะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ทำให้เกิดคาร์บอกซี ฮีโมโกลบิน (Carboxy Hemoglobin  $\text{HbO}_2$ ) ทำให้ร่างกายได้รับออกซิเจนน้อย และทำให้ตายได้

(4) ฝุ่นเกิดในหลายช่วงของการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ รวมทั้งสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ฝุ่นที่ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทำให้เกิดอันตรายต่อปอดได้ ซึ่งฝุ่นขนาดนี้มีประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ของฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ และมีประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดเล็กกว่า 7 ไมครอน

(5) โลหะ ที่เกิดจากขยะมูลฝอยชุมชนอาจอยู่ในรูปส่วนผสมของพลาสติก กระดาษ นิตยสารและแบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย ซึ่งมีโลหะหนักเป็นส่วนผสม โลหะที่เป็นอันตรายต่อคนได้แก่ แคดเมียม โครเมียม โปรท และตะกั่ว หลังจากการเผาไหม้แล้ว โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในรูปของฝุ่นและปนไปกับก๊าซต่างๆ

(6) ก๊าซกรดเกิดจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยที่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์และคลอไรด์ทำให้เกิดก๊าซกรดไฮโดรฟลูออริก และก๊าซกรดไฮโดรคลอริกฟลูออไรด์มักพบในขยะมูลฝอยทุกชนิด ส่วนคลอไรด์มักพบในพลาสติกประเภทพีวีซี โพลีสไตรีน และโพลีเอธิลีนส่วนขยะมูลฝอยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจนทำให้เกิดออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งทำให้เกิดออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งทำให้เกิดก๊าซกรดได้

(7) ไดออกซินและฟูราน (Dioxins และ Furans) เกิดจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ต่างๆ ไดออกซินเป็นสารประกอบ ที่รู้จักกันในนาม Polychlorinated Dibenzodioxins (PCDD) ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนสามวง เป็นวงแหวนเบนซิน 2 วง และวงแหวนออกซิเจน 1 คู่ วงตรงกลาง ส่วนฟูรานรู้จักกันในนาม Polychlorinated Dibenzofuran (PCDF) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับไดออกซิน นอกจากว่าวงแหวนออกซิเจนมีออกซิเจนเพียง 1 อะตอม ซึ่งลักษณะของอะตอมทั้ง 2 แบบ

ทำให้มีพันธะอิสระที่จับไฮโดรเจนหรือคลอไรด์ได้ สารทั้งสองชนิดนี้อาจเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ทุกสภาวะซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถค้นพบได้ว่าเกิดมาจากกลไกใดโดยแหล่งกำเนิดของไดออกซินและฟูรานมาจาก 3 สาเหตุคือ

- สาเหตุจากขยะมูลฝอยซึ่งมีสารทั้งสองนี้อยู่แล้ว
- สาเหตุจากรูปแบบของโครงสร้างซึ่งเกิดจากไฮโดรคาร์บอนและคลอไรด์ขณะการเผาไหม้
- สาเหตุจากรูปแบบของโครงสร้าง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของสารที่ทำให้เกิด Chlorinated Aromatic Compounds

โดยไดออกซินพบมากในการปนเปื้อนสารเคมีเช่น คลอโรฟีนอล และคลอโรเบนซีน ซึ่งมักอยู่ในยาฆ่าแมลง กระจกตาช และน้ำยารักษาไม้ เป็นต้น ซึ่งสารทั้งสองนี้เป็นสารที่สำคัญที่มักทำให้เกิดไดออกซินและฟูราน

ตารางที่ 1.5 มาตรฐานคุณภาพของการนำของแข็งกลับมาใช้ใหม่ในรูปเชื้อเพลิง

Characteristic	Unit	Italy	Finland <sup>1</sup>			
			Detection limit	Level		
				I	II	III
Moisture	%	<25	-	-	-	-
Calorific value	kJ/kg	15,000	-	-	-	-
Ash	%	20	-	-	-	-
Chlorine	%(m/m) <sup>2</sup>	0.9	0.01	<0.15	<0.50	<1.50
Sulfur	%(m/m) <sup>2</sup>	0.6	0.01	<0.20	<0.30	<0.50
Nitrogen	%(m/m) <sup>2</sup>	-	0.01	<1.00	<1.50	<2.50
Potassium and sodium <sup>3</sup>	%(m/m) <sup>2</sup>	-	0.01	<0.20	<0.40	<0.50
Aluminium	%(m/m) <sup>2</sup>	-	0.01	<sup>4</sup>	<sup>5</sup>	<sup>6</sup>
Mercury	mg/kg	-	0.1	<0.1	<0.2	<0.5
Cadmium	mg/kg	-	0.1	<0.1	<4.0	<5.0
Lead	mg/kg	200	-	-	-	-
Copper	mg/kg	300	-	-	-	-
Manganese	mg/kg	400	-	-	-	-



Chromium	mg/kg	100	-	-	-	-
Zinc	mg/kg	500	-	-	-	-
Nickel	mg/kg	40	-	-	-	-
Arsenic	mg/kg	9	-	-	-	-
Cadmium + Mercury	mg/kg	7	-	-	-	-

#### หมายเหตุ

- <sup>1</sup> ขีดจำกัดความเข้มข้นของเชื้อเพลิง (detection limit)  $\leq 1,000 \text{ m}^3$  หรือ ปริมาณการผลิตหรือปริมาณย้ายใน 1 เดือน และควรทวนสอบอย่างน้อยที่สุดตามที่กำหนด
- <sup>2</sup> % (m/m) เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก
- <sup>3</sup> ความเข้มข้นรวม (โพแทสเซียม+โซเดียม) ในส่วนของ water soluble และ ion-exchangeable สำหรับวัสดุแห้ง
- <sup>4</sup> ไม่อนุญาตให้มีอะลูมิเนียม แต่ยอมรับภายใต้ขีดจำกัดความเที่ยงตรง (precision)
- <sup>5</sup> กำจัดอะลูมิเนียมที่แหล่งกำเนิด และที่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิง
- <sup>6</sup> ยอมรับในปริมาณอะลูมิเนียมที่ผ่านการคัดแยก

ที่มา: European Commission-Directorate General Environment (2003)

#### 1.2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jamradloedluk and Lertsatithanakorn (2014) ทำการศึกษาคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ถ่านที่เกิดจากการเผาขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว โดยขยะพลาสติกที่ใช้เผาเป็นแบบ HDPE ซึ่งเผาแบบเร็วที่อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส และถ่าน (ของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้) จะถูกเก็บและนำมาวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์ค่า Proximate analysis ซึ่งถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจะมีสารระเหย 51.40 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนคงตัว 46.03 เปอร์เซ็นต์ และถ่านอื่นๆ ประมาณ 0.16 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์ค่า Ultimate analysis พบว่า มีองค์ประกอบของคาร์บอน 42.65 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 3.06 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 0.43 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อนของถ่านที่ได้ 4,500 แคลอรีต่อกรัม และความหนาแน่นของถ่านเท่ากับ 1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกประเภท HDPE จะถูกบดเป็นผงและอัดเป็นก้อนขนาด 1 กิโลกรัม แล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

Bosmans et al. (2014) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางไพโรไลซิสของเชื้อเพลิงขยะ (RDF) จากการรื้อร้อนหลุมฝังกลบด้วยการวิเคราะห์ทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analysis) ร่วมกับการใช้ MATLAB เพื่อใช้ประเมินพารามิเตอร์ทางเคมี สำหรับขยะผสมระหว่างขยะมูลฝอยชุมชนและขยะจากอุตสาหกรรมทำการย่อยให้ขยะมูลฝอยผสมมีขนาดประมาณ 150-250 ไมครอน ถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส

ต่อมาที่ โมเดลของปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ถูกใช้ในการวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ ปฏิกิริยาทั้ง 4 ที่เกิดควบคู่กันใช้อธิบายพฤติกรรมการย่อยสลายทางความร้อนของขยะผสม พารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ที่ใช้คำนวณ พลังงานที่กระตุ้น (E) เท่ากับ 100, 149, 99 และ 353 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ สำหรับสี่สัดส่วนมีลักษณะเหมือนกับ เฮมิเซลลูโลส, เซลลูโลสและพลาสติกทั้งสองชนิด ซึ่งคุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่รื้อร้อนจากหลุมฝังกลบสามารถที่จะวิเคราะห์หรืออธิบายได้สำหรับความแตกต่างดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยสด

Pressley et al. (2014) ทำการศึกษาวงจรชีวิตจากการประมาณการเปลี่ยนแปลงขยะชุมชนของประเทศสหรัฐอเมริกาไปเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและการใช้กระบวนการฟิชเชอร์ ทรอปซ์ โดยศึกษาจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อดูการใช้พลังงานพร้อมทั้งประเมินการเกิดภาวะโลกร้อนจากการเปลี่ยนขยะชุมชนที่ 1 เมตริกตันหรือ 1,000 กิโลกรัม ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการออกแบบจำลองที่ 1 เมตริกตัน จากขยะชุมชนสามารถผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ให้กลายเป็นก๊าซโซลีนได้ 123 ลิตร, ผลิตน้ำมันดีเซลได้ 57 ลิตร, เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ที่เหลืออีก 79 กิโลกรัม ใช้ในการผลิตโดยกระบวนการฟิชเชอร์ ทรอปซ์ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 193 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยขยะชุมชนที่ 1 เมตริกตัน สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานขั้นต้นได้ถึง 4.4 จิกะจูล และใช้ไฟฟ้าถึง 10.8 จิกะจูล ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนในช่วง -267 ถึง -144 กิโลกรัม CO<sub>2</sub>e ต่อ 1 เมตริกตันของขยะชุมชน พลังงานที่ต้องการใช้รวมกับปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการฟิชเชอร์-ทรอปซ์ มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ซึ่งหากลดปริมาณความต้องการในกระบวนการฟิชเชอร์ ทรอปซ์ลงได้ก็เป็นการช่วยลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้เช่นกัน

Acomb et al. (2013) ทำการศึกษานำขยะพลาสติกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากศูนย์รีไซเคิลขยะจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงพาณิชย์มาทำการเผา โดยกระบวนการไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชันโดยการใช้ระบบปฏิกิริยาสองขั้นเพื่อทำการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยกระบวนการขั้นที่ 1 พลาสติกจะถูกเผาแบบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และก๊าซจากไพโรไลซิสจะถูกส่งตรงไปยังห้องเผาไหม้ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยากับไอน้ำโดยการเติมสารเร่งปฏิกิริยา Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ผลการศึกษาพบว่า การเติมไอน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งผลให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น

Arena and Gregorio (2013) ทำการศึกษารววิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการเผาไหม้และการใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันจากขยะให้กลายเป็นพลังงาน โดยทำการศึกษาลักษณะทางทิศทางการไหลเข้าและออกของมวล ซึ่งศึกษาจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงในเตาเผาและศึกษาจากอุณหภูมิที่สูงในเตาเผาโดยใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชัน ในการศึกษาจำแนกพวกคาร์บอน คลอไรด์ และโลหะหนัก สำหรับการแยกความแตกต่างของของแข็ง และแยกก๊าซของ 2 ทิศทางเพื่อทำการเปรียบเทียบ การประเมินจากของแข็งที่พบเปรียบเทียบจากถ้ำและพวกเศษหิน ทราบ จากเทคโนโลยี 2 ชนิด ส่วนการทดสอบก๊าซศึกษาจากขนาดของอนุภาค ซึ่งสุดท้ายศึกษาจากประสิทธิภาพในการลดลงจากของแข็งที่มีเหลือเพื่อลดปริมาณการกำจัดในขั้นสุดท้าย

Teerawattana et al. (2012) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับ ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ซึ่งได้จากการคัดแยกออกจากการหมักปุ๋ยของ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพฯ ซึ่งพบว่า องค์ประกอบทางกายภาพประกอบด้วย พลาสติก 25.38-70.23 เปอร์เซ็นต์ compost 19.01-47.84 เปอร์เซ็นต์ เศษอาหาร 0.12-13.63 เปอร์เซ็นต์ เศษไม้ 0-11.49 เปอร์เซ็นต์ ผ้าและเส้นใย 0-12.19 เปอร์เซ็นต์ กระดาษ 0-4.36 เปอร์เซ็นต์ ยาง 0-5.83 เปอร์เซ็นต์ และหนัง 0-3.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 5,811-7,958 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ  $6,863 \pm 629$  กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยได้ สมการความร้อนจากองค์ประกอบทางกายภาพที่พัฒนาได้คือ  $HHV = 5,357.778 \pm 0.461 (\text{Plastic})^2$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.727 และค่า Mean absolute percentage error 3.10 เปอร์เซ็นต์

Chiemchaisri et al. (2010) ได้ศึกษาการนำขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกจาก หลุมฝังกลบขยะเพื่อใช้ประโยชน์ในระบบแก๊สซิฟิเคชัน โดยนำขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกจากหลุม ฝังกลบมาผสมร่วมกับเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อให้สามารถอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงขยะ (RDF) และสามารถ นำไปใช้ในระบบแก๊สซิฟิเคชันได้ โดยจะทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมี พลาสติกที่ นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดพอลิเอทิลีนสังเคราะห์ เช่น ถุงพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ โดยเริ่มแรกใช้ แรงงานคนในการคัดแยกเพื่อเอา แก้ว โลหะ ยาง ออกมาก่อนแล้วจึงใช้ตะแกรงร่อนเพื่อร่อนดิน ออกมาให้มากที่สุด หลังจากนั้นก็นำพลาสติกและรากมันสำปะหลังมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อขึ้น รูปเป็นเชื้อเพลิงขยะ RDF ซึ่งในการผสมพลาสติกเข้าไปในเชื้อเพลิงขยะ RDF จะมีพลาสติกได้ไม่เกิน 55 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจะถูกจำกัดด้วยปริมาณคลอรีน ในการทดสอบเชื้อเพลิงขยะ RDF จะถูก ทดสอบในระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง ซึ่งจะให้พลังงาน 1.76 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร

Kwon et al. (2009) ทำการศึกษาระบวนการเผาแบบแก๊สซิฟิเคชันขยะมูลฝอย ชุมชน พบว่า ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ปริมาณเถ้าที่เหลือลดลงจาก 20 เปอร์เซ็นต์ของขยะที่เผาทั้งหมด เหลือประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น (0.7 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตขึ้นจากตัวอย่าง ประมาณ 20 มิลลิกรัมด้วยการ purge gas 100 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส การเดินระบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับขยะมูลฝอยชุมชนที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิประมาณ 280-700 องศา เซลเซียส ความดัน 30-45 บาร์

Visvanathan et al. (2007) ทำการศึกษาขยะมูลฝอยที่ทำการรื้อร้อนจากหลุมฝัง กลบมูลฝอยนนทบุรี ประเทศไทย ซึ่งองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีจะเป็นไปตามอายุของขยะ มูลฝอยที่ได้ทำการฝังกลบแล้ว โดยพบว่าขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของพลาสติกสูงถึง 25-45 เปอร์เซ็นต์ของขยะมูลฝอยทั้งหมด โดยตัวอย่างขยะมูลฝอยที่รื้อร้อนทำด้วยการคัดแยกและมีการคัด แยกโลหะและสิ่งปนเปื้อนออกจากขยะพลาสติกด้วยคน หลังจากนั้นทำการคัดแยกผ่านตะแกรงร่อน ขนาดใหญ่เพื่อกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กและดินที่ปนมากับขยะพลาสติก พบว่าหลังจากผ่าน กระบวนการตะแกรงร่อนแล้วปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นถึง 83-90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำขยะ พลาสติกที่คัดแยกได้มาทำการบดตัดให้มีขนาดเล็กและผสมร่วมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่

เหมาะสมเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยมีวัตถุดิบประสงค์เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งในภาคอุตสาหกรรม โดยการขึ้นรูปใช้การบดอัดแบบสกรูโดยให้ความหนาแน่นตามที่ต้องการ โดยเน้นในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเป็นหลัก

Kwak et al. (2006) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชนวันละ 3 ตันในระบบแบบเตาเผาแบบทดลอง ที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนของก๊าซเชื้อเพลิงเท่ากับ 27-40 และ 36-40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 8.0-10.2 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร สารประกอบคลอรีน ได้แก่ ฟิวแรน ไดออกซิน และสารอินทรีย์อื่นๆ ในก๊าซเชื้อเพลิงและของเหลวจะถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้และทำให้เย็น ก๊าซเสียที่ปล่อยออกมาพบว่าเป็นไปตามมาตรฐานการปล่อยมลพิษทางอากาศของประเทศเกาหลี ความเข้มข้นของโลหะหนักพบว่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของประเทศเกาหลีเนื่องจากอุณหภูมิในการหลอมสูงที่ 1,600 องศาเซลเซียส เจ้าหน้าที่หลีกเลี่ยงการเผาด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชันมีสีน้ำตาลเข้มไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซีเมนต์และงานก่อสร้างได้

อรรถกร ฤกษ์วิธิ (2549) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าความเหมาะสมในการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำขยะมูลฝอยชุมชน 2 ประเภท ได้แก่ เศษกระดาษและเศษไม้ใบไม้มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 5 อัตราส่วน คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5, 75:25, 50:50, 25:75 และ 5:95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนสูงสุด พบว่า ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดแท่งที่ไม่ใช้ตัวประสานบางอัตราส่วนต้องมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในการอัดแท่งเข้าไป และค่าความร้อนที่ได้สูงสุด พบว่า ที่เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 แคลอรีต่อกรัม สำหรับเชื้อเพลิงแห้ง และ 4,314.16 แคลอรีต่อกรัม สำหรับถ่านเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับถ่านแกลบ หรือถ่านชานอ้อย เป็นต้น

ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา (2546) ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนร่วมกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการทดลองที่อัตราส่วน 1:0, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 จากผลการวิจัย พบว่า ที่อัตราส่วนผสมของกากตะกอนต่อเศษวัสดุ 1:1, 1:2 และ 1:3 โดยปริมาตรสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ โดยที่อัตราส่วนผสม 1:3 จะใช้เวลาและพลังงานในการอัดแท่งมากที่สุด แต่ก็ให้พลังงานความร้อนได้สูงสุด ที่อัตราส่วนผสม 1:3 ให้ค่าพลังงานความร้อนดีที่สุด จึงเลือกมาใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และพบว่าที่กำลัการผลิต 604,800 แท่งต่อปี ราคาขาย 2 บาทต่อแท่ง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 ได้เงินสุทธิรวมเป็นบวก 1,781,070 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นบวก 791,376 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนเท่ากับ 1.179 อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 41.86 และคืนทุนในเวลา 2 ปี 3 เดือน ดังนั้นโครงการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนผสมกับใบกระถินณรงค์ที่อัตราส่วนผสม 1:3 โดยปริมาตร จึงมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

อภาวดี เบ็ญจมาธรรกุล (2546) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน โดยมีวัตถุดิบประสงค์เพื่อนำกากตะกอนน้ำเสีย

อุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากผลการทดลอง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่งโรงงานผงชูรสและโรงงานนมอยู่ที่ 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีและใช้เวลาสั้น จากการทำตะกอนทั้ง 2 โรงงานมาทำการหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพ พบว่า กากตะกอนทั้ง 2 โรงงานหลังจากหมักแล้วประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของโรงงานผงชูรส และโรงงานนมต่ำลง โดยวิเคราะห์จากความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่แปรตามเวลา ซึ่งขึ้นกับความชื้นของอัตราส่วน จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเนื่องจากการแตกร่วนน้อย ส่วนคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนไม้ และมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าถ่านหิน สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเผาให้เป็นถ่าน พบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานและการให้พลังงานแก่น้ำดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่เผาเป็นถ่าน

สุพจน์ เดชผล (2546) ได้ศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขานอ้อย โดยทำการผสมกากตะกอน (ฟิลเตอร์เค้ก) กับขานอ้อยแล้วทำการอัดแท่ง จากผลการวิจัย พบว่า ที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขานอ้อยเฉพาะที่อัตราส่วน 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 สามารถอัดเป็นแท่งส่วนอัตราส่วนที่เหลือไม่สามารถอัดแท่งได้ เนื่องจากมีปริมาณขานอ้อยมากเกินไป นำอัตราส่วนที่มีปริมาณขานอ้อยมากที่สุด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 6:4, 5:5 และ 4:6 มาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งดีกว่าถ่านอัดแท่ง จึงเหมาะสมกว่าการนำไปทำเป็นถ่าน สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 4:6 พบว่า โรงงานน้ำตาลที่ศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ สามารถมีกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 347,000 แท่งต่อปี และมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.58 บาทต่อแท่ง

สุรียา ชัยเดชากุล (2544) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมของกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ผลการทดลอง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับเศษชิ้นไม้สับตั้งแต่ 100:0 ถึง 40:60 โดยน้ำหนัก สามารถอัดเป็นแท่งได้ เมื่อนำไปเผาเป็นถ่านแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติหลักทางด้านเชื้อเพลิง 6 ด้านคือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวม และค่าความร้อน แล้วหาส่วนผสมที่ดีที่สุด พบว่าอัตราส่วนผสม 70:30 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกับฟืน แกลบ นอกจากนี้ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 8 อัตราส่วนซึ่งมีค่าประมาณ 4,090 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ยกเว้นอัตราส่วน 100:0 และ 90:10

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่รีไซเคิลและทางปาล์มเพื่อให้สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเตาเผา

1.3.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการทดลองแล้วนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.3.3 เพื่อนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผสมร่วมกับขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อลดการใช้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นการลดของเสียจากการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก และกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.4.2 เป็นการเพิ่มแหล่งพลังงานทางเลือกให้กับระบบเตาเผา

1.4.3 เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาการเอาของเสียกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเสียให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

### วิธีวิจัย

#### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นของเสียที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว โดยวัสดุหลักที่ใช้คือ ขยะพลาสติกที่รื้อร้อนจากหลุมฝังกลบเทศบาลนครหาดใหญ่ที่ดำเนินการรื้อร้อนเพื่อเปิดหน้าดิน จัดทำเป็นหลุมสำหรับฝังกลบขยะต่อไป ทางปาล์มสดจากต้นที่ถูกเก็บผลผลิตมาแล้ว เหง้ามันสำปะหลังจากร้านมันปิ้ง และเศษยางแท่งจากกระบวนการล้างยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ของโรงงานน้ำยางแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลาซึ่งของเสียเหล่านี้ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย ดังนั้นหากมีการนำวัสดุของเสียเหล่านี้มาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย อีกทั้งหากสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ถือเป็นการลดปริมาณขยะในพื้นที่หลุมฝังกลบได้ต่อไปในอนาคต

##### 2.1.1 ขยะพลาสติก

ขยะพลาสติกที่ใช้ในการวิจัยนี้มาจากขยะมูลฝอยที่มีการรื้อร้อนและคัดแยกขยะพลาสติกออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ แล้วทำการศึกษารวบรวมและปริมาณของขยะมูลฝอย โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Quartering method) เพื่อหาองค์ประกอบและปริมาณของขยะแต่ละชนิดและศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีของประเภทของพลาสติกที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยแยกออกมาจากขยะมูลฝอยอื่นๆ เช่น ผ้า, ไม้, แก้ว, โลหะ และขยะมูลฝอยอันตราย จากนั้นนำถุงพลาสติกที่ทำการคัดแยกแล้วมาฝังลมให้แห้งแล้วขยี้ให้ดินที่ติดอยู่ออกมาให้มากที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการลดขนาดพลาสติกโดยการตัดให้มีขนาด 1-2 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1 (ก))

##### 2.1.2 ทางปาล์ม

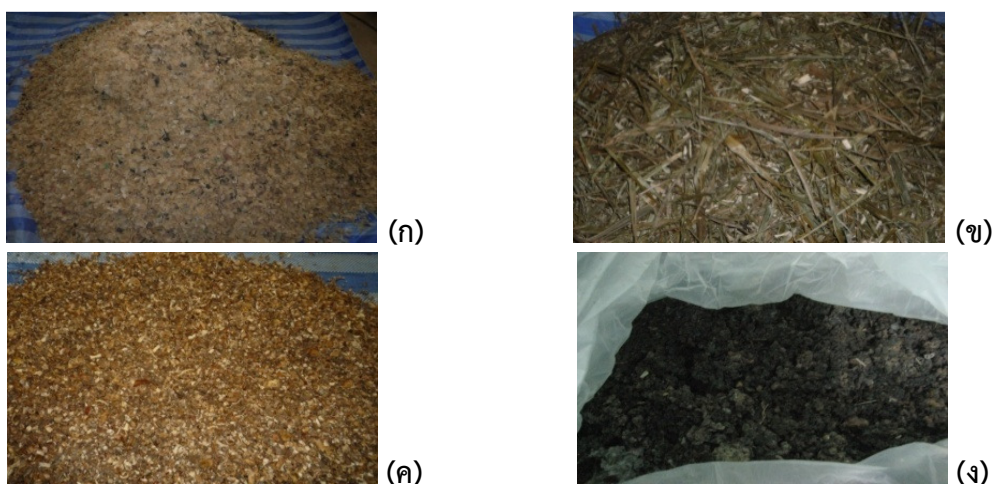
ทางปาล์มสดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นทางปาล์มจากต้นปาล์มบริเวณในมหาวิทยาลัย และนำมาลดขนาดด้วยเครื่องย่อยกิ่งไม้ให้มีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1 (ข)) จากนั้นนำทางปาล์มไปไล่ความชื้นโดยการฝังลมให้ความชื้นลดลงประมาณ 5-7 วัน ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบริเวณนั้นด้วย

##### 2.1.3 เหง้ามันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากร้านค้าขายมันปิ้งข้างทางบริเวณอำเภอหาดใหญ่ หลังจากนั้นนำมาทำการลดขนาดโดยการสับให้มีขนาด 1-2 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1 (ค)) จากนั้นนำเปลือกมันสำปะหลังมาไล่ความชื้นโดยการฝังลมให้ความชื้นลดลงใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบริเวณนั้นด้วย

### 2.1.4 เศษยางแท่ง

เศษยางแท่งที่ใช้ในการทดลองเป็นของเสียที่เหลือจากกระบวนการการล้างยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จากโรงงานน้ำยางข้นแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลา ซึ่งปัจจุบันไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ และถูกทิ้งปนกับเศษขยะต่างๆ ของโรงงาน เช่น เศษไม้ เศษดิน เป็นต้น นำเศษยางแท่งดังกล่าวมาคัดแยกเอาขยะเจือปนอื่นๆ ออกแล้วทำการลดขนาดเศษยางแท่งด้วยกรรไกรให้มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1 (ง))



รูปที่ 2.1 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ก) พลาสติกที่ถูกลดขนาด (ข) ทางปาล์มที่ถูกลดขนาด (ค) เปลือกมันสำปะหลังที่ถูกลดขนาด (ง) เศษยางแท่งเอสทีอาร์ 20

### 2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยดูลักษณะทั่วไป เช่น สี และขนาดของวัสดุทั้ง 4 ชนิด หลังจากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมีด้าน Proximate analysis ประกอบด้วย ความชื้น (Moisture content), สารระเหย (Volatile matter), เถ้า (Ash), คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และ Ultimate analysis ประกอบด้วยธาตุ C, H, N, S และ O แล้วทำการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยศึกษาด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าดัชนีการแตกกร่อน (Drop shatter test), ค่าความหนาแน่น (Density), และค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง (Unconfined compressive strength) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน (Calorific value) ศึกษาคุณสมบัติด้านสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ค่าคลอรีน ( $Cl_2$ ) ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้านการขนส่งแบบสุ่มและแบบจัดเรียง และศึกษามลพิษทางอากาศของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ตารางที่ 2.1)



ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและวิธีการวิเคราะห์ของขยะมูลฝอยประเภทขยะพลาสติก ทางปาล์ม  
แห้งน้ำมันสำปะหลัง และเศษยางแท่ง

ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
การวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b> - ลักษณะทั่วไป เช่น สี ขนาด	สังเกตด้วยตาเปล่า
<b>คุณสมบัติทางเคมี</b> - ความชื้น - สารระเหย - เถ้า - คาร์บอนคงตัว - คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และกำมะถัน  - ออกซิเจน	ASTM D2013 ASTM D3175 ASTM D3174 จำนวน ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้วิธี WI-RES-CHNS-O-001 จำนวน
หลังขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
การวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b> - ดัชนีการแตกร่วน - ความหนาแน่น - ค่าความคงทนแรงอัด	Drop shatter test สูตร $D = M/V$ Unconfined compressive strength
<b>คุณสมบัติทางเคมี</b> - ค่าความร้อน - คลอรีน	Bomb calorimeter US.EPA method 330.5 for wastewater and Standard method 4500-CL G
<b>การขนส่ง</b> - การเปรียบเทียบปริมาตรก่อนเชื้อเพลิงอัด แท่งแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม	กล่องที่มีปริมาตร 1,852 ลูกบาศก์เซนติเมตร (11.5 x 11.5 x 14 cm <sup>3</sup> )
<b>การวัดมลพิษทางอากาศ</b> - ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ - ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน - ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	เต้าเผา และเครื่องวัดก๊าซ จากการเผาไหม้ (Testo 350 M/XL)

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งของแต่ละชุดการทดลอง

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสม		
	ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก ขยะพลาสติกผสมทาง ปาล์ม (Plastic waste : Palm leaves - PP)	ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัด แท่งจากขยะพลาสติกผสมทาง ปาล์มผสมเหง้ามันสำปะหลัง (Plastic waste : Palm leaves : Cassava rhizome - PPC)	ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัด แท่งจากขยะพลาสติกผสมทาง ปาล์มผสมเศษยางแท่ง (Plastic waste : Palm leaves : Rubber waste – PPR)
A	1:1.5	1:1.5:0.75	1:1.5:0.75
B	1:2.0	1:2.0:0.75	1:2.0:0.75
C	1:2.5	1:2.5:0.75	1:2.5:0.75
D	1:3.0	1:3.0:0.75	1:3.0:0.75
E	1:3.5	1:3.5:0.75	1:3.5:0.75
F	1:4.0	1:4.0:0.75	1:4.0:0.75
G	1:4.5	1:4.5:0.75	1:4.5:0.75
H	1:5.0	1:5.0:0.75	1:5.0:0.75

โดยทุกชุดการทดลองมีการขึ้นรูปด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยแรงกด 3 แรงกดอัดคือ 125, 100 และ 75 MPa ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แบ่งอัตราส่วนออกเป็น 8 อัตราส่วน แทนอัตราส่วนต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ A-H ทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ 70 กรัม ต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 ก้อน

## 2.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมระหว่างพลาสติกผสมทางปาล์มที่อัตราส่วนต่างๆ แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าดัชนีการแตกกร่อน และค่าความหนาแน่น โดยทำการทดลองดังนี้คือ

### 2.3.1 ศึกษาอัตราส่วนเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งของขยะพลาสติกผสมทางปาล์ม

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างขยะพลาสติกผสมทางปาล์ม โดยอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วนระหว่างขยะพลาสติกผสมทางปาล์มที่ 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 กรัม โดยใช้แรงกดอัดที่ 75 MPa ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงอัดแท่ง 5 เซนติเมตร และความสูง 3-11 เซนติเมตร จากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการทดสอบได้เบื้องต้น (รูปที่ 2.2) แล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านค่าดัชนีการแตกกร่อน (Drop shatter index) และค่าความหนาแน่น (Density) เพื่อหาตัวแทนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ต่อไป ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านค่าดัชนีการแตกกร่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.4-0.7 g/cm<sup>3</sup> (Ohlsson et al., 1991) จากการทดสอบพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างพลาสติกผสมทางปาล์มที่ 70 กรัม มีค่าดัชนีการแตกกร่อนเข้าใกล้ 1 มากที่สุด และมีค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่กำหนด ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 70 กรัม เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 5-6 เซนติเมตร



รูปที่ 2.2 ขนาดและความสูงเชื้อเพลิงอัดแท่งที่น้ำหนัก 30-120 กรัม

### 2.3.2 เตรียมวัสดุในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด หลังจากที่ทำความสะอาด ไล่ความชื้นออกโดยการตากแดดจนเหลือความชื้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และทำการลดขนาดให้เหลือประมาณ 1-2 เซนติเมตร เนื่องจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ใช้ในการขึ้น

รูปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ซึ่งวัสดุที่ใส่เข้าไปควรมีขนาดไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องอัด (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) โดยวัสดุที่เตรียมคือ ขยะพลาสติก ทางปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง และเศษยางแท่ง เตรียมตามอัตราส่วนที่กำหนด (ตารางที่ 2.2) โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองมีการขึ้นรูปด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยแรงกด 3 แรงกดอัดคือ 125, 100 และ 75 MPa ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แบ่งอัตราส่วนออกเป็น 8 อัตราส่วน และทำการขึ้นรูปโดยใช้วิธีการอัดเย็นด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (รูปที่ 2.3) โดยการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเพื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านค่าความหนาแน่น (Density) ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop shatter index) และค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง (Unconfined compressive strength) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปทดสอบความค้ำพุนจากปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปทดสอบมลพิษทางอากาศจากเตาเผา โดยใช้วัดมลพิษทางอากาศด้วยเครื่องวัดก๊าซจากการเผาไหม้ (Testo 350 M/XL)



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก

## 2.4 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพจากการอัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพจากการอัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยทำการศึกษาจากคุณสมบัติทางกายภาพค่าความหนาแน่น (Density) ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop shatter index) และค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง (Unconfined compressive strength) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความเหมาะสมก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งในการนำไปใช้งานต่อไป

### 2.4.1 ค่าความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่นทำการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยการนำก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งมาชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และส่วนสูง แล้วคำนวณโดยใช้สูตรที่ 2.1

$$D = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

เมื่อ	D	=	ค่าความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
	M	=	น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง (g)
	V	=	ปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่ง (cm <sup>3</sup> )

#### 2.4.2 ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop shatter test)

ค่าดัชนีการแตกร่วนทำการทดสอบเพื่อหาความทนทานก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง ระหว่างการเก็บรักษา การขนส่ง และการนำไปใช้งาน โดยทดสอบจากน้ำหนักก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง 140 กรัม โดยก่อนทดสอบชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อน แล้วปล่อยก้อนเชื้อเพลิงให้ตกจากที่สูง 200 เซนติเมตร โดยปล่อยให้ตกลง 3 ครั้ง โดยวิธี Drop shatter test ในการหาน้ำหนักที่หาย ด้วย ตะแกรงร่อนทรายขนาด 20 มิลลิเมตร แล้วนำก้อนเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่บนตะแกรงนำไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability index) หรือดัชนีการแตกละเอียด (Shatter index) ด้วยสูตร 2.2

$$R = \frac{W_i}{W_f} \quad (2.2)$$

เมื่อ	R	=	ดัชนีการแตกร่วน
	W <sub>i</sub>	=	น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนการทดสอบ (g)
	W <sub>f</sub>	=	น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังการทดสอบ (g)

#### 2.4.3 ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง (Unconfined compressive strength)

ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งทำการทดสอบเพื่อหาแรงกดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทดสอบโดยใช้วิธี Unconfined compressive strength ใช้แรงกดลงไปที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่อง Wykeham farrance eng. ltd 5 tons compression machine (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 เครื่องคงทนแรงอัดแนวตั้ง

## 2.5 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบของธาตุ ค่าความร้อน และปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ทำการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยศึกษาจากค่า Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วยปริมาณความชื้น (Moisture content), ปริมาณสารระเหย (Volatile matter), ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และปริมาณเถ้า (Ash) ศึกษาองค์ประกอบของธาตุ ศึกษาค่า (Ultimate analysis) ซึ่งประกอบด้วยธาตุ C, H, S และ N ศึกษาค่าความร้อน (Calorific value) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (AC-500 Automatic calorimeter) และศึกษาปริมาณคลอรีน (Cl<sub>2</sub>) ดังนี้คือ

### 2.5.1 Proximate analysis

ศึกษาค่า Proximate analysis เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่อไป โดยใช้ตัวอย่างทดสอบประมาณ 1 กรัม จากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดสอบคุณสมบัติในด้าน ปริมาณความชื้นโดยใช้วิธีการทดลองจาก ASTM D2013, ปริมาณสารระเหยใช้วิธีการทดลองจาก ASTM D3175, ปริมาณคาร์บอนคงตัวใช้วิธีการทดลองจากการคำนวณโดยใช้สูตรที่ 2.2 และปริมาณเถ้าใช้วิธีการทดลองจาก ASTM D3174 ทำการหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวโดยใช้สูตรที่ 2.3

$$F = 100 - (M + A + V) \quad (2.3)$$

เมื่อ	M	=	ปริมาณความชื้น (%)
	A	=	ปริมาณเถ้า (%)
	V	=	ปริมาณสารระเหย (%)
	F	=	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)

### 2.5.2 องค์ประกอบของธาตุ (Ultimate analysis)

ศึกษาองค์ประกอบของธาตุเพื่อศึกษาเปรียบเทียบจาก 3 ชุดการทดลอง และเพื่อศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้สูตรการคำนวณ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบประมาณ 0.25 กรัม จากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการขึ้นรูปนำมาบดให้ละเอียดแล้วส่งทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้วิธีทดสอบ WI-RES-CHNS-O-001 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ CE Instruments Flash 1112 Series EA CHNS-O Analyzer

### 2.5.3 ค่าความร้อน

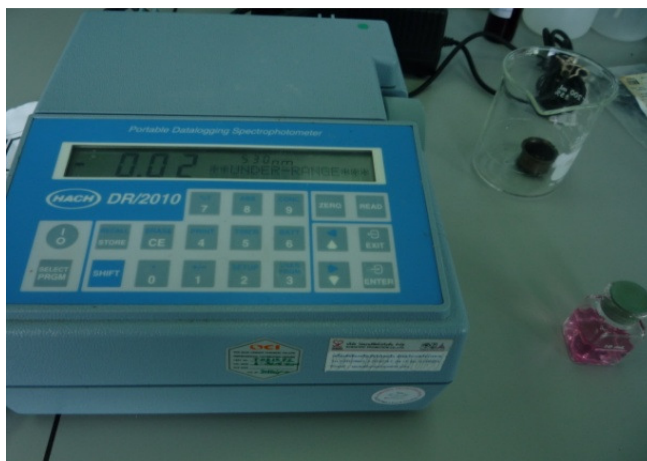
ศึกษาค่าความร้อนจากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยใช้เครื่อง AC-500 Automatic calorimeter (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (AC-500 Automatic calorimeter)

### 2.5.4 ปริมาณคลอรีน

วิเคราะห์ปริมาณคลอรีนเพื่อศึกษาโอกาสที่จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิเคราะห์ US.EPA method 330.5 for wastewater and Standard method 4500-CL G ใช้เครื่อง Portable data logging spectrophotometer เพื่อวิเคราะห์คลอรีน โดยวิธีการทดสอบนำน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้มาจากน้ำล้างที่ใช้ในการกลั้วลูกบอมบ์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (AC-500 Automatic calorimeter) ในปริมาณประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำผง Reagent ใส่ลงไปในช่วงเขย่าประมาณ 20 วินาที แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์คลอรีน (บุญญา ชานนอก, 2550) (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 เครื่องวิเคราะห์คลอรีน (Portable data logging spectrophotometer)

## 2.6 เปรียบเทียบการทดสอบปริมาตรของก้อนเชื้อเพลิงจากแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม

ทำการศึกษาข้อมูลโดยทดสอบจากกล่องที่มีปริมาตร  $1,852 \text{ cm}^3$  ขนาดของกล่องที่ใช้ทดสอบ ความกว้าง x ยาว x สูง มีค่าเท่ากับ  $11.5 \times 11.5 \times 14 \text{ cm}^3$  โดยทดสอบจากจำนวนก้อนเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยทำการทดสอบทั้ง 3 แรงกดอัด ที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ 75, 100 และ 125 MPa ทั้งแบบจัดเรียงและแบบสุ่มเพื่อเปรียบเทียบปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงในแต่ละชุดการทดลองทั้ง 3 แรงกดอัด เพื่อหาอัตราส่วนที่มีปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงมากที่สุด และเพื่อเปรียบเทียบการคั่งทึบในการจัดเรียงก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง

## 2.7 ศึกษามลพิษทางอากาศของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการเผาด้วยเตาเผา

ศึกษาการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) แล้วเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซที่ได้จากทั้ง 3 ชุดการทดลอง วิธีการทดสอบใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งจำนวน 140 กรัม ที่แรงกดอัด 100 MPa นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทดสอบเผากับเตาแก๊สก่อนประมาณ 3 นาที แล้วจึงนำไปใส่ในเตาเผา (รูปที่ 2.7) และทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ Testo 350 M/XL (รูปที่ 2.8) โดยเริ่มใช้เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ตั้งแต่นำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ในเตาเผาแล้วทำการเปิดเครื่องวิเคราะห์ เครื่องทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 วินาที ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องใช้เวลาประมาณ 50 นาทีต่อตัวอย่าง





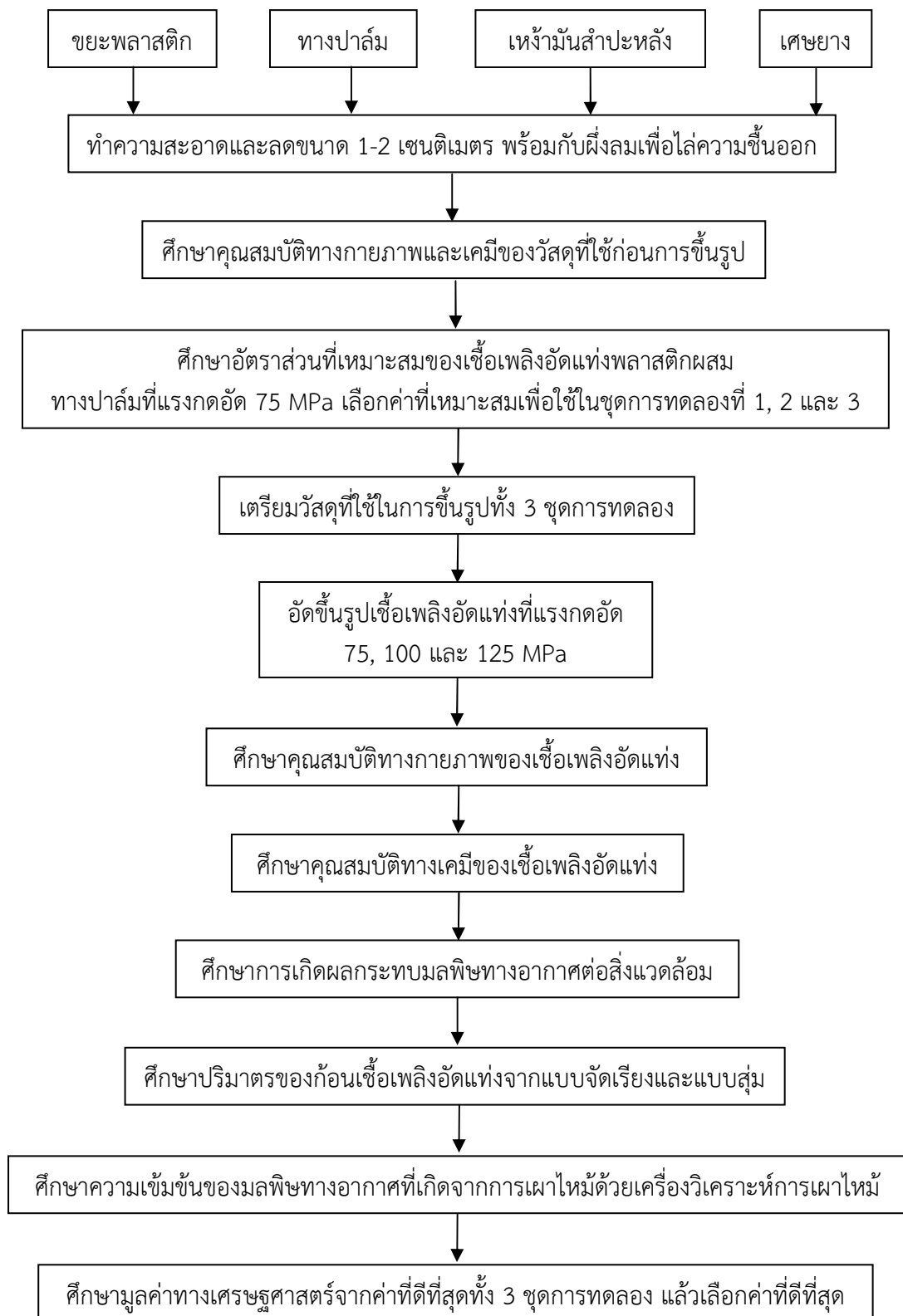
รูปที่ 2.7 เตาเผา



รูปที่ 2.8 เครื่องวัดก๊าซจากการเผาไหม้ (Testo 350 M/XL)

## 2.8 ศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน

ทำการศึกษาเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทั้ง 3 ชุดการทดลองด้วยการเปรียบเทียบจากพารามิเตอร์หลักดังนี้คือ การทดสอบความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางกายภาพ ค่าความร้อนทางเคมี ปริมาตรของก้อนเชื้อเพลิงจากการขนส่ง การทดสอบค่าคลอรีนเพื่อวัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เตาเผา แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง จากพารามิเตอร์ที่ทดสอบเพื่อทำการเลือกค่าที่ดีที่สุดแล้วนำข้อมูลจากการเลือกค่าที่ดีที่สุดไปศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้จากการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 3

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุเหลือใช้หลักที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ ขยะพลาสติก (Plastic waste) ซึ่งเป็นขยะที่ได้จากการรีไซเคิลหมักจากเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งทำการรีไซเคิลหมักฝอยเพื่อทำการปรับสภาพพื้นที่ฝังกลบให้สามารถดำเนินการฝังกลบได้ใหม่ โดยขยะอินทรีย์ต่างๆ ย่อยสลายมีลักษณะกลมกลืนไปกับดินที่ใช้ฝังกลบ ยกเว้นขยะพลาสติกที่ยังไม่ย่อยสลาย ดังนั้นจึงมีการนำขยะพลาสติกเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยการนำมาอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยมีวัสดุผสมเพื่อทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้นคือ ทางปาล์ม (Palm leave) โดยจัดเก็บมาจากพื้นที่ด้านหลังของคณะอุตสาหกรรมเกษตรของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และมีวัสดุอื่นมาร่วมในการขึ้นรูปคือ เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava rhizome) ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกทิ้งอยู่ในไร่ชา ได้มาจากร้านขายมันปิ้งข้างทางบริเวณอำเภอหาดใหญ่ และเศษยางแท่ง (Rubber waste) ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแท่ง ได้จากโรงงานยางแท่งบริเวณจังหวัดสงขลา วัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองและขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้มีการนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุก่อนขึ้นรูปโดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 ขยะพลาสติก (Plastic waste)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของขยะพลาสติกจากการรีไซเคิลจากหลุมฝังกลบขยะเพื่อทำการทดสอบหาค่า Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วย การหา ค่าความชื้น (Moisture content) มีค่าเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นของขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเกณฑ์กำหนดให้ความชื้นมีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 8-12 เปอร์เซ็นต์ (นครทิพย์าวงศ์, 2553) แต่หากค่าความชื้นต่ำแล้วสามารถอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ถือว่าดี เนื่องจากส่งผลดีต่อค่าความร้อนทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้น สำหรับปริมาณสารระเหย (Volatile matter) มีค่าเท่ากับ 89.12 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารระเหยในขยะพลาสติกค่อนข้างสูง แสดงถึงขยะพลาสติกมีวัสดุที่เผาไหม้ได้ปริมาณมากทำให้เมื่อนำขยะพลาสติกมาเผาไหม้จะได้ค่าความร้อนที่สูง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) มีค่าเท่ากับ 0.66 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้า (Ash) มีค่าเท่ากับ 10.21 เปอร์เซ็นต์ มีเถ้าสูงเนื่องจากขยะพลาสติกมาจากหลุมฝังกลบที่ไม่ได้มีการล้างเพียงแต่ขยี้ให้เศษดินออกมามากที่สุดจึงทำให้มีเศษดินติดมากับขยะพลาสติกด้วย (ตารางที่ 3.1) พบว่า ปริมาณเถ้าของขยะพลาสติกมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ (European commission-directorate general environment, 2003) ซึ่งปริมาณเถ้าจากขยะพลาสติกผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณเถ้าหากมีปริมาณน้อยถือว่าดี เนื่องจากเถ้าที่เกิดขึ้นแล้วต้องนำไปกำจัดต่อไป อีกทั้งเถ้าหากมีในปริมาณมากก็ส่งผลต่อการขัดขวางค่าความร้อนที่เกิดขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

ผลการทดลองหาค่า Ultimate analysis ของขยะพลาสติกพบว่า องค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ซัลเฟอร์ (S), ไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) มีค่าเท่ากับ 74.05, 12.04, 0.07, 0.32 และ 3.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยองค์ประกอบหลักของขยะพลาสติกคือ ธาตุคาร์บอน สำหรับผลการทดลองหาค่าความร้อน (Calorific value) ของขยะพลาสติกซึ่งเป็นการทดสอบหาค่าความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งการทดสอบได้ทำการทดสอบ 2 วิธีด้วยกันคือ 1) การใช้เครื่อง Bomb calorimeter 2) การใช้สูตร Dulong formula ซึ่งขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบที่ทดสอบ พบว่า ขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเท่ากับ 38,694 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และมีค่าความร้อนเท่ากับ 41,815 kJ/kg ด้วยการใช้สูตร Dulong formula (ตารางที่ 3.1) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนที่ได้จากเครื่อง Bomb calorimeter มีค่าที่ต่ำกว่าค่าความร้อนที่ได้จากสูตร Dulong ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 15,000 kJ/kg (European commission-directorate general environment, 2003) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า พลาสติกมีคุณสมบัติทางความร้อนเหมาะสมในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

### 3.1.2 ทางปาล์ม (Palm leaves)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของทางปาล์มสดที่นำมาลดขนาดแล้วทำการไล่ความชื้นออก เมื่อนำมาทดลองหาค่า Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วย การหาค่าความชื้น, ปริมาณสารระเหย, คาร์บอนคงตัว และเถ้า พบว่า ความชื้นของทางปาล์มเท่ากับ 0.40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นของทางปาล์มมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) ส่งผลต่อค่าความร้อนทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้น ทางปาล์มมีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 95.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้ทางปาล์มสามารถเผาไหม้ได้ดีและจะส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่น้อยด้วย เนื่องจากเมื่อทำการเผาไหม้สารอินทรีย์จะสลายตัวได้หมด ไม่พบปริมาณคาร์บอนคงตัวของทางปาล์ม และปริมาณเถ้ามีค่าเท่ากับ 4.06 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้ามีค่าต่ำมากซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารระเหยที่มีมากของทางปาล์ม

ผลการทดลองหาค่า Ultimate analysis ของทางปาล์ม พบว่า องค์ประกอบของธาตุ C, H, S, N และ O มีค่าเท่ากับ 42.19, 5.21, 0.21, 1.19 และ 46.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบหลักของทางปาล์มคือธาตุคาร์บอน สำหรับผลการทดลองหาค่าความร้อน (Calorific value) ของทางปาล์มพบว่า ทางปาล์มมีค่าความร้อนเท่ากับ 15,714 kJ/kg ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และมีค่าความร้อนเท่ากับ 13,304 kJ/kg ด้วยการใช้สูตร Dulong formula (ตารางที่ 3.1) ซึ่งค่าทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter มีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสูตร Dulong ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 15,000 kJ/kg (European commission-directorate general environment, 2003) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ทางปาล์มมีคุณสมบัติทางความร้อนเหมาะสมในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

### 3.1.3 เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava rhizome)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเหง้ามันสำปะหลังที่นำมาลดขนาดแล้วทำการไล่ความชื้นออก เมื่อนำมาทดลองหาค่า Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วยปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหย, คาร์บอนคงตัว และเถ้า พบว่า เหง้ามันสำปะหลังมีค่าความชื้นเท่ากับ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นของเหง้ามันสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) ส่งผลดีต่อค่าความร้อนทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้น เหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 94.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้สามารถเผาไหม้ได้ดีและจะส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่น้อยด้วย เนื่องจากเมื่อทำการเผาไหม้สารอินทรีย์จะสลายตัวได้หมด ไม่พบปริมาณคาร์บอนคงตัวของเหง้ามันสำปะหลัง อีกทั้งปริมาณเถ้าของเหง้ามันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 4.71 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้าของเหง้ามันสำปะหลังมีค่าต่ำมากซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารระเหยที่มีมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าเหง้ามันสำปะหลังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับทางปาล์ม

ผลการทดลองหาค่า Ultimate analysis ของเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า องค์ประกอบของธาตุ C, H, S, N และ O มีค่าเท่ากับ 38.12, 5.18, 0.12, 0.82 และ 50.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งองค์ประกอบหลักของเหง้ามันสำปะหลังคือธาตุออกซิเจน สำหรับผลการทดลองหาค่าความร้อน (Calorific value) ของเหง้ามันสำปะหลังพบว่า เหง้ามันสำปะหลังมีค่าความร้อนเท่ากับ 14,085 kJ/kg ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และมีค่าความร้อนเท่ากับ 11,171 kJ/kg ด้วยการใช้สูตร Dulong formula (ตารางที่ 3.1) ซึ่งค่าทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter มีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสูตร Dulong เล็กน้อย ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 15,000 kJ/kg (European commission-directorate general environment, 2003) ดังนั้นเหง้ามันสำปะหลังมีค่าความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เล็กน้อย

### 3.1.4 เศษยางแท่ง (Rubber waste)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษยางแท่ง เมื่อนำมาทดลองหาค่า Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วยปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหย, คาร์บอนคงตัว และเถ้า พบว่า เศษยางแท่งมีค่าความชื้นเท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นของเศษยางแท่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) ส่งผลดีต่อค่าความร้อน ซึ่งทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้น เศษยางแท่งมีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 99.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้สามารถเผาไหม้ได้ดีและจะส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่น้อยด้วย เนื่องจากเมื่อทำการเผาไหม้สารอินทรีย์จะสลายตัวได้หมด ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเศษยางแท่งเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้าของเศษยางแท่งมีค่าเท่ากับ 0.62 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้ามีค่าต่ำมากซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารระเหยที่มีมาก

ผลการทดลองหาค่า Ultimate analysis ของเศษยางแท่ง พบว่า องค์ประกอบของธาตุ C, H, S, N และ O มีค่าเท่ากับ 84.94, 11.01, 0.04, 0.58 และ 2.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งองค์ประกอบหลักของเศษยางแท่งคือธาตุคาร์บอน สำหรับผลการทดลองหาค่าความ

ร้อน (Calorific value) ของเศษยางแท่งพบว่า เศษยางแท่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 43,156 kJ/kg ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และมีค่าความร้อนเท่ากับ 44,100 kJ/kg ด้วยการใช้สูตร Dulong formula (ตารางที่ 3.1) ซึ่งค่าความร้อนที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter มีค่าที่สูงกว่าค่าความร้อนที่ได้จากสูตร Dulong เล็กน้อย และค่าความร้อนของเศษยางแท่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้มาก ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 15,000 kJ/kg (European commission-directorate general environment, 2003) ดังนั้นเศษยางแท่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดได้ทำการไล่ความชื้นให้มีความชื้นต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมด เนื่องจากทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วพบว่า สามารถขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทุกอัตราส่วน อีกทั้งส่งผลดีต่อค่าความร้อนที่สูงขึ้น ปริมาณความชื้น 1 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เกณฑ์กำหนดให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 8-12 เปอร์เซ็นต์ (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) สำหรับปริมาณสารระเหยของวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 89.12-99.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณสารระเหยมากจะส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้นด้วย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ส่วนปริมาณของเถ้าที่ทดลองของวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด พบว่า มีปริมาณเถ้าระหว่าง 0.62-10.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งคือต้องไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ (European commission-directorate general environment, 2003) ซึ่งหากปริมาณเถ้ามากจะส่งผลให้เกิดการขัดขวางค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) พบว่า ข้อดีเมื่อปริมาณเถ้าน้อยทำให้การกำจัดเฝ้าน้อยลงด้วย สำหรับค่าความร้อน (Calorific value) จากผลการทดลองพบว่า มีความสัมพันธ์กับค่า Proximate analysis และ Ultimate analysis โดยตรง หากเปรียบเทียบกับค่าความร้อนจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด พบว่า เศษยางแท่งให้ค่าความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือขยะพลาสติก ทางปาล์ม และเหง้ำมันสำปะหลัง ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบไม่มีตัวประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบมีตัวประสาน

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ผ่านกระบวนการเตรียมแล้ว (Dry basis)

Parameter	Plastic waste	Palm leaves	Cassava rhizome	Rubber waste
<b>1. Proximate analysis (%)</b>				
Volatile solid	89.12	95.91	94.92	99.20
Fixed carbon	0.66	0	0	0.15
Ash	10.21	4.06	4.71	0.62
<b>2. Ultimate analysis (%)</b>				
C	74.05	42.19	38.12	84.94
H	12.04	5.21	5.18	11.01
S	0.07	0.21	0.12	0.04
N	0.32	1.19	0.82	0.58
O	3.30	46.74	50.56	2.78
<b>3. Calorific value (kJ/kg)</b>				
Bomb calorimeter	38,694	15,714	14,085	43,156
Dulong formula	41,815	13,304	11,171	44,100

### 3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง

หลังจากนำวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทำการอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแล้ว พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีความสูง 5-7 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี การขนส่ง และมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปจาก 3 ชุดการทดลอง ดังแสดงรายละเอียดอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

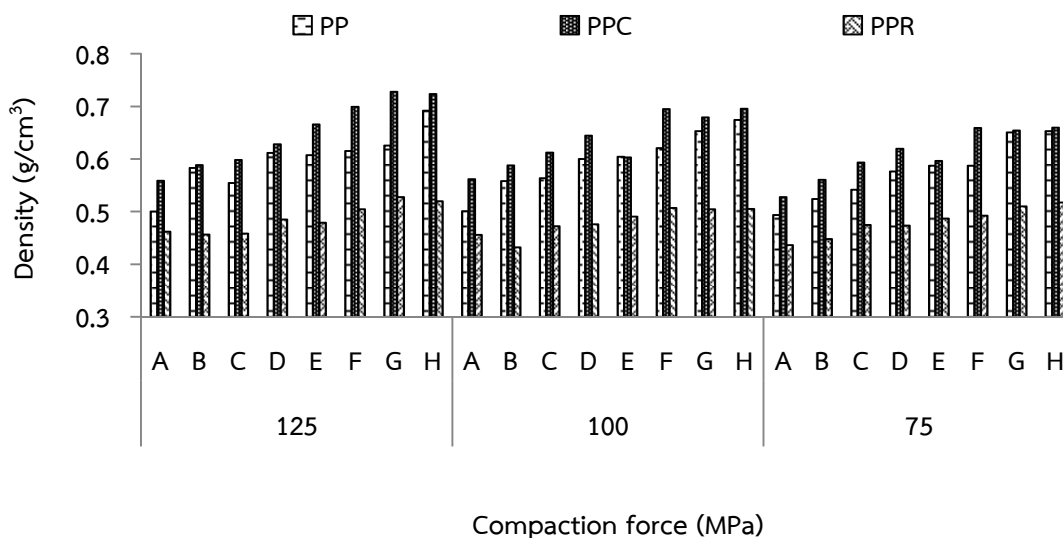
#### 3.2.1 การทดสอบทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

##### 1) ค่าความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นค่าที่แสดงถึงการยึดเกาะของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทั่วไปค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.7 g/cm<sup>3</sup> (Ohlsson et al., 1991) จากการทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.50-0.69, 0.56-0.73 และ 0.46-0.53 g/cm<sup>3</sup> สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ ที่แรงกดอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.50-0.67, 0.56-0.70 และ 0.46-0.51 g/cm<sup>3</sup> สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ และที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.49-0.65, 0.53-0.66 และ 0.44-0.52 g/cm<sup>3</sup> สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.2) ซึ่งแนวโน้มของ

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้นเมื่อแรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งคือมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.4-0.7g/cm<sup>3</sup> (Ohlsson et al., 1991) โดยแรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งและปริมาณของทางปาล์มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

หากเปรียบเทียบผลการทดลองเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีผลต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยแรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 125 MPa ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงที่สุด รองลงมาที่ 100 และ 75 MPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบในทุกชุดการทดลอง พบว่า ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-G มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.73 g/cm<sup>3</sup> รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-H มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.69 g/cm<sup>3</sup> และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-G มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.53 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ สาเหตุที่ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 2 มีวัสดุประสานที่เป็นชีวมวลคือ เหง้ามันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติให้การยึดเกาะเนื่องจากมียางเหนียวๆ พวกลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของชีวมวลส่วนใหญ่



รูปที่ 3.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

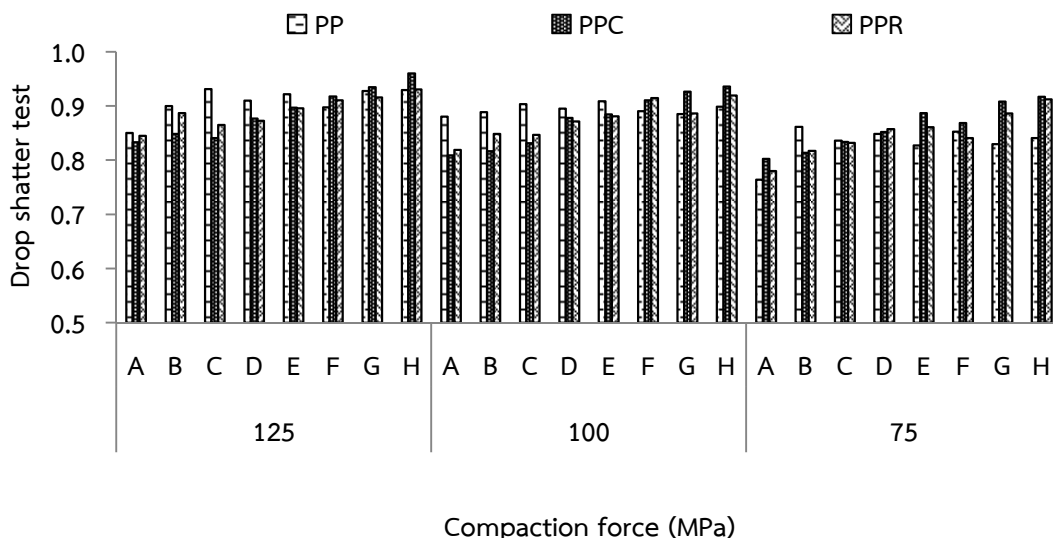
## 2) ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop shatter test)

ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นค่าที่แสดงถึงการจับตัวกันของวัสดุที่อัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยหากเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่า วัสดุไม่มีการจับตัวกันส่งผลให้มีการแตกร่วนมาก ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง แสดงว่า วัสดุมีการจับตัวกันดีส่งผลให้เกิดการแตกร่วนน้อย ค่าดัชนีการแตกร่วนหากมีค่าน้อยหรือเข้าใกล้หนึ่ง ส่งผลดีต่อการนำไปใช้งานคือ สะดวกในการจัดเก็บและขนย้าย (สุพจน์ เดชผล, 2546) จากผลการทดลองค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ที่แรงกดอัดที่ใช้ใน



การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.85-0.93, 0.83-0.96 และ 0.85-0.93 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.88-0.91, 0.81-0.94 และ 0.82-0.92 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ และที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.76-0.84, 0.80-0.92 และ 0.78-0.91 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.3) ซึ่งจากผลการทดสอบทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าดัชนีการแตกร่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในทุกอัตราส่วนเนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.76-0.96 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมและมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eriksson and Prior (1990) ที่ทำการศึกษาใน Technical Aspects of Briquetting ซึ่งสรุปได้ดังนี้ การทดสอบความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธี Dropping จากการทดสอบ พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทดสอบในทุกชุดการทดลองมีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งมีการแตกร่วนน้อยลงเมื่ออัตราส่วนของทางปาล์มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากทางปาล์มมีลักษณะเป็นเส้นใยจึงช่วยยึดจับพลาสติกทำให้ส่วนที่แตกหักเป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่ไม่แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ส่งผลให้เกิดการแตกร่วนลดลง โดยแรงกดอัดมากขึ้นส่งผลให้มีค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าใกล้ 1 มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งถือเป็นค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากไม่มีการแตกร่วนเลย

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-H ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa โดยมีค่าเท่ากับ 0.96 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-C, PP-G และ PP-H ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa มีค่าเท่ากับ 0.93 และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-H ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa มีค่าเท่ากับ 0.93



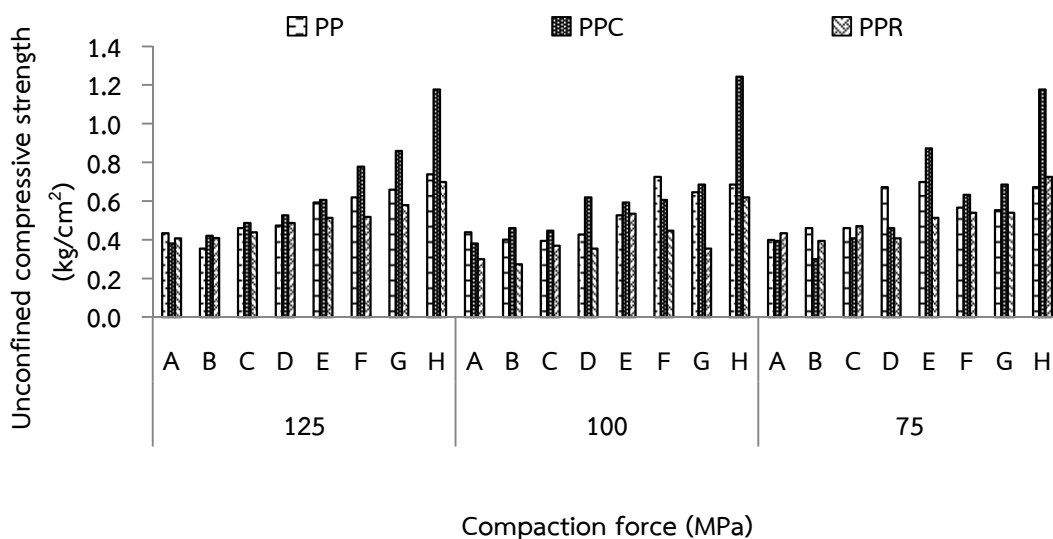
รูปที่ 3.3 ค่าดัชนีการแตกกร่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

### 3) ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง (Unconfined compressive strength)

ค่าการทนแรงอัดแนวตั้งเป็นค่าที่ใช้ทดสอบแรงกดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ของแท่งตัวอย่างทรงกระบอก ถ้าในกรณีที่แรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุด แต่ค่า Axial Strain เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงใช้แรงกดต่อหน่วยพื้นที่ที่ Strain 20% เป็นค่า Unconfined Compressive Strength โดยการทดสอบขั้นตอนแรกต้องนำแท่งเชื้อเพลิงไปวัดค่าความสูงก่อน โดยใช้เวอร์เนียสในการวัดเพื่อความแม่นยำ หลังจากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงวางลงบนเครื่องทดสอบ Unconfined Compressive strength โดยเครื่องทดสอบจะมี Gauge แสดงค่าอยู่ 2 Gauge ด้วยกัน ได้แก่ Gauge แสดงค่าแรงอัดในแนวแกน และ Gauge ที่ใช้กำหนดค่าแรงอัดตามความสูง กล่าวคือ ในการทดสอบ Unconfined Compressive strength นั้น คัดจากค่าความสูงของตัวอย่างเพียงแค่ 20% เท่านั้น ซึ่งสำหรับค่าความสามารถทนแรงกดอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า ค่าการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณทางปาล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีความยืดหยุ่นและทนแรงกดอัดได้น้อยกว่าทางปาล์ม ดังนั้นเมื่อปริมาณทางปาล์มเพิ่มขึ้นความสามารถในการทนแรงอัดจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับค่าคงทนแรงกดอัดแนวตั้งที่มีค่าทนแรงอัดแนวตั้ง  $2 \text{ kg/cm}^2$  ขึ้นไปแสดงว่าเป็นวัตถุที่แข็ง (สุพจน์ เดชผล, 2546) แต่บางครั้งการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนสูงต่ำขององค์ประกอบหรือวัสดุส่วนผสมเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับจุดพอดีของแท่งเชื้อเพลิง (กรมป่าไม้, 2541) เนื่องจากการคลุกเคล้าส่วนผสมอาจไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแท่ง จึงทำให้อาจจะมีบางจุดที่รับแรงกดอัดได้น้อยทำให้แท่งเชื้อเพลิงแตกหักง่าย (ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา, 2546) จากผลการทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.43-0.74, 0.38-1.18 และ 0.41-0.70  $\text{kg/cm}^2$  สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.44-0.69, 0.38-1.24 และ 0.27-0.62  $\text{kg/cm}^2$  สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุด

การทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ และที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa ค่าคงทนแรงอัดแนวของเชื้อเพลิงอัดแท่งตั้งอยู่ในช่วง 0.40-0.67, 0.30-1.18 และ 0.39-0.73 kg/cm<sup>2</sup> สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.4) ซึ่งค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าคงทนแรงกดอัดไม่ถึง 2 kg/cm<sup>2</sup> เนื่องจากค่าที่ทำการกดอัดลงไปใช้ค่าที่กดอัดลงไป 20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าไม่ถึง 2 kg/cm<sup>2</sup> Compressive strength เป็นค่าการต้านแรงกดหรือค่าความสามารถทนแรงกดสูงสุดที่ทำต่อพื้นที่ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ก่อนที่เกิดการแตกหักหรือเสียหาย ซึ่งการต้านทานแรงกดนั้นจะเป็นดัชนีชี้วัดสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจะทำให้ทราบถึงระดับการต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งว่ามีความสามารถในการรับแรงกดสูงสุดปริมาณเท่าใด ซึ่งค่าความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งในเชิงพาณิชย์ที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 375 kPa (Richard, 1989)

หากเปรียบเทียบผลการทดลองค่าการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่าการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ให้ค่าสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa มีค่าการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 1.24 kg/cm<sup>2</sup> รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa มีค่าทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 0.74 kg/cm<sup>2</sup> และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ที่แรงกดอัดในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa มีค่าทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 0.73 kg/cm<sup>2</sup> ค่าที่ได้อาจส่งผลไม่ชัดเจนมากนักอาจเกิดจากการคลุกเคล้าส่วนผสมระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ไม่ดีพอทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งก้อนโดยเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ซึ่งส่งผลให้จุดที่ทำการทดสอบอาจไม่เป็นตัวแทนที่ดีในการทดสอบได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับจุดพอดีของแท่งเชื้อเพลิงด้วย อีกทั้งแรงที่ใช้ในการทดสอบก็ใช้แรงเพียงแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งมีค่าไม่ถึง 2 kg/cm<sup>2</sup>



รูปที่ 3.4 ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

#### 4) สรุปเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดในทุกชุดการทดลองประกอบด้วยค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง พบว่า แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งและอัตราส่วนของทางปาล์มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งดีขึ้นคือ ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีการหลุดร่วนน้อยลง ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า พลาสติกที่น้อยลงส่งผลให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลดีทางด้านกายภาพ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งหมด เนื่องจากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วง  $0.4-0.7 \text{ g/cm}^3$  (Ohlsson et al., 1991) ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วง  $0.5-1.0$  แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองนี้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน (Eriksson and Prior, 1990) ส่วนค่าการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าน้อยกว่า  $2 \text{ kg/cm}^2$  เนื่องจากแรงที่ใช้กดลงไปใช้แรงที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่ามาตรฐานของค่าการทนแรงอัดแนวตั้งควรมีค่ามากกว่า  $2 \text{ kg/cm}^2$  ขึ้นไปแสดงว่าเป็นวัสดุที่แข็งสามารถนำไปใช้งานได้ (กรมป่าไม้, 2541)

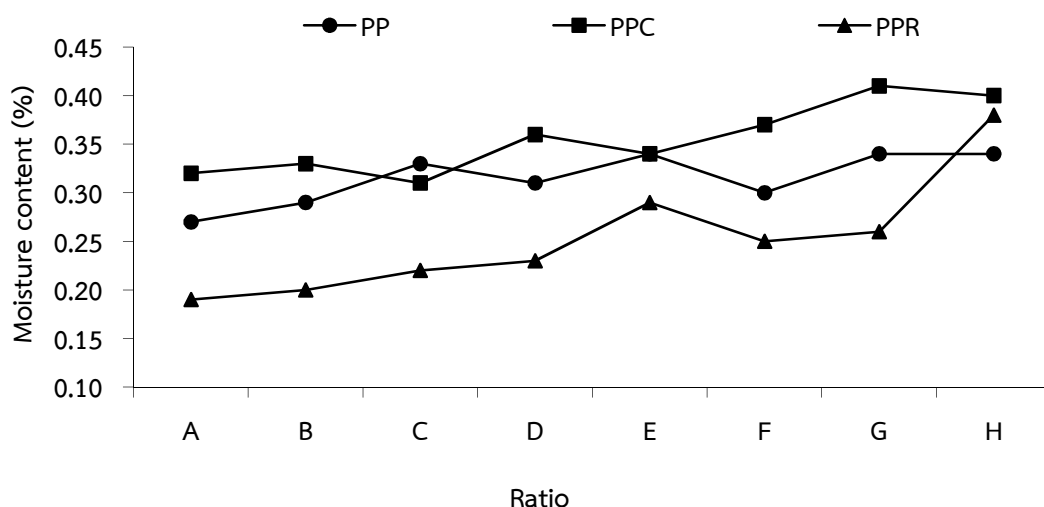
#### 3.2.2 การทดสอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการทดสอบตามอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัดแท่งที่ยังไม่ทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง แล้วศึกษาคุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วย องค์ประกอบของธาตุ (Ultimate analysis), Proximate analysis ได้แก่ ปริมาณความชื้น, เถ้า, สารระเหย และคาร์บอนคงตัว เป็นต้น และค่าความร้อน (Calorific value) ดังแสดงรายละเอียดอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

**1) Proximate analysis** เป็นการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

(1.1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นของวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.27-0.34, 0.31-0.41, และ 0.19-0.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.5) ซึ่งวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า วัสดุที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองมีค่าความชื้นต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดให้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 8–12 เปอร์เซ็นต์ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) และค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งของประเทศอิตาลี ซึ่งกำหนดให้มีความชื้นไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ (European commission-directorate general environment, 2003) เนื่องจากค่าความชื้นส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความชื้นที่สูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ เพราะส่วนผสมจะไหลย้อนกลับมา และหากส่วนผสมมีค่าความชื้นต่ำเกินไปเมื่ออัดแท่งออกมาแล้วส่วนผสมจะร่วนไม่เกาะตัวกัน ทำให้แท่งเชื้อเพลิงไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ (ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา, 2546) ซึ่งจากผลการทดสอบวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองในทุกอัตราส่วนสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงกดอัดที่ใช้คือ 75, 100 และ 125 MPa ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.40–0.70 g/cm<sup>3</sup> (Ohlsson et al., 1991) ซึ่งถือเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง อีกทั้งค่าความชื้นที่มีค่าต่ำก็จะส่งผลโดยตรงให้ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าสูงขึ้น

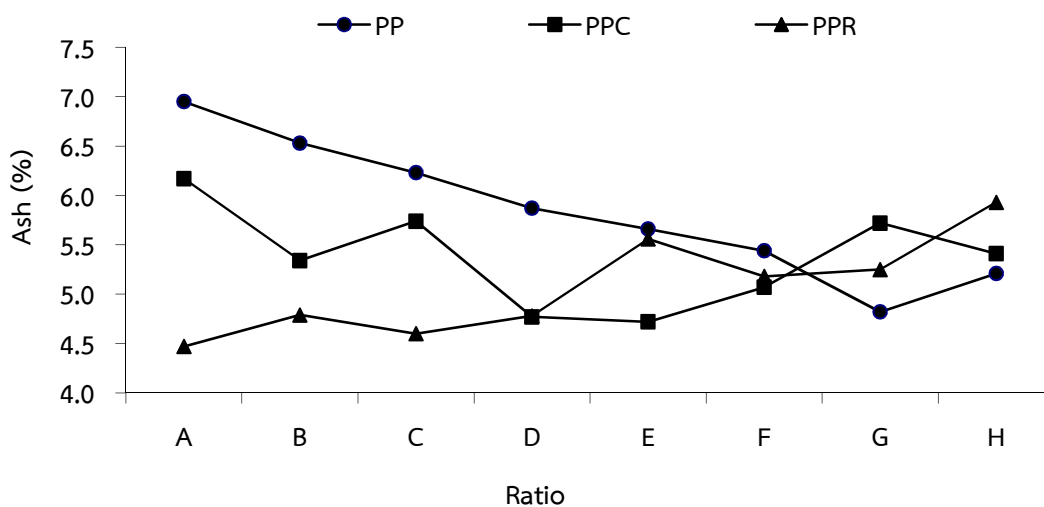
หากเปรียบเทียบค่าความชื้นของวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองของวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่ 2 คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.27 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-G มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.41 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.5 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

(1.2) ปริมาณเถ้า (Ash) จากการทดสอบหาปริมาณเถ้าจากวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบ ก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองในทุกอัตราส่วน พบว่า ปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 6.95-4.82, 6.17-4.72 และ 5.93-4.47 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.6) แต่ปริมาณเถ้าของวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบในชุดการทดลองที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของขยะพลาสติกและเศษยางแท่งลดลงแต่อัตราส่วนของทางปาล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 10.21 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเปลือกมันสำปะหลังมีค่ากับ 4.71 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยทางปาล์มมีเปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 4.06 เปอร์เซ็นต์ และเศษยางแท่งมีปริมาณเถ้าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.62 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งการทดสอบวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีปริมาณเถ้าต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ซึ่งปริมาณเถ้าที่ทดสอบก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555 และ European commission-directorate general environment, 2003) โดยหากปริมาณเถ้ามีน้อยจะช่วยลดปัญหาในการกำจัดเถ้าและลดปัญหาในการเผาไหม้เนื่องจากเถ้าไม่สามารถเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนได้

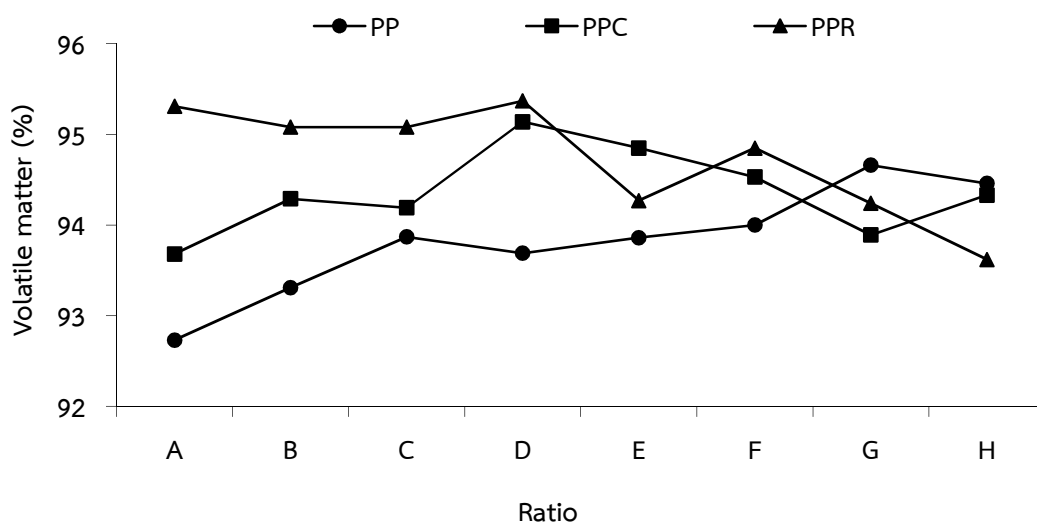
หากเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก 3 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 4.47 เปอร์เซ็นต์ ลำดับรองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-E มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 4.72 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-G มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 4.82 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.6 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

(1.3) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) คือ ส่วนที่ระเหยได้ง่ายไปจากวัสดุผสมที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งหากวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่นำมาทดสอบมีปริมาณสารระเหยสูงแสดงว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการติดไฟได้ง่าย จากการทดสอบหาสารระเหยจากวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองในทุกอัตราส่วน พบว่าปริมาณสารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 92.73-94.66, 93.68-95.14, และ 93.62-95.37 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.7) โดยปริมาณสารระเหยในวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของพลาสติกลดลงแต่อัตราส่วนของทางปาล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณสารระเหยของวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า มีปริมาณสารระเหยมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 4 ชนิด มีองค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นค่าปริมาณสารระเหยที่ได้จึงมีค่าสูง ปริมาณสารระเหยเป็นค่าที่แสดงถึงแนวโน้มของค่าความร้อนหากมีปริมาณสารระเหยมากแสดงถึงค่าความร้อนที่สูงขึ้นด้วย และหากมีน้อยแสดงถึงค่าความร้อนที่ต่ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณสารระเหยจากวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่นำมาทดสอบก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า วัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งในอัตราส่วนที่ A ถึง D มีความแตกต่างกันชัดเจน โดยปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งมากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-D มีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 95.37 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-D มีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 95.14 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-G มีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 94.66 เปอร์เซ็นต์

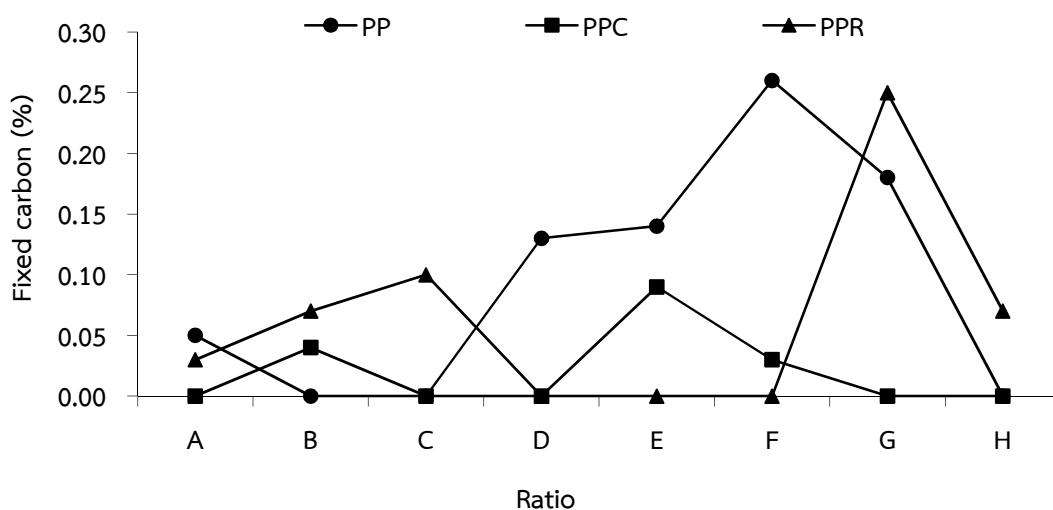


รูปที่ 3.7 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

(1.4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ ส่วนของแข็งที่ระเหยยาก หากปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่ามากแสดงถึงแนวโน้มของระยะเวลาการติดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่นานขึ้น จากผลการทดสอบหาคาร์บอนคงตัวจากวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทำการทดสอบ ก่อนดำเนินการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองในทุกอัตราส่วน พบว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-0.26, 0.00-0.09 และ 0.00-0.25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.8) โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวของวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าน้อยและไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละอัตราส่วนทั้ง 3 ชุดการทดลอง ซึ่งการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัวจากวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่นำมาทดสอบก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีการจุดติดได้เร็ว เนื่องจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีพลาสติกเป็นส่วนผสม อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารระเหยจาก 3 ชุดการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์สารระเหยมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ได้ต่ำ โดยส่วนผสมที่มีขยะพลาสติกมากที่สุดคือในอัตราส่วน A และลดลงตามสัดส่วนในแต่ละอัตราส่วนถึง H จึงส่งผลให้การเผาไหม้ลุกติดไฟได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวจึงมีค่าน้อยตามไปด้วย

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัวจากวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งนำมาทดสอบก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองอาจไม่เห็นถึงความแตกต่างมากนัก เนื่องจากปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์





รูปที่ 3.8 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2) **Ultimate analysis** เป็นการวิเคราะห์หาสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุซึ่งประกอบด้วย 4 ธาตุหลัก คือ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ไนโตรเจน (N), และออกซิเจน (O) และธาตุอื่นๆ ที่มีสัดส่วนน้อยคือ ซัลเฟอร์ (S) และคลอรีน (Cl) โดยธาตุออกซิเจนไม่ทำการวิเคราะห์แต่จะใช้ปริมาณส่วนที่เหลือจากการหาธาตุอื่นๆ แทน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549) ผลการทดสอบองค์ประกอบของธาตุจากวัสดุผสมที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 66.59-49.44 และ 5.93-4.47 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 58.79-46.26 และ 8.66-6.06 สำหรับชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 73.79-47.85 และ 9.79-6.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.2) ซึ่งจากการทดสอบหาองค์ประกอบของธาตุจากวัสดุผสมที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า เศษยางแท่งมีปริมาณธาตุคาร์บอนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 84.94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ พลาสติกมีปริมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 74.05 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยทางปาล์มมีปริมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 42.19 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ เหม้ามันสำปะหลังมีปริมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 38.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณไฮโดรเจน พบว่า พลาสติกมีปริมาณธาตุไฮโดรเจนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 12.04 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ เศษยางแท่งมีปริมาณธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 11.01 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยทางปาล์มมีปริมาณธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 5.21 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ เหม้ามันสำปะหลังมีปริมาณธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 5.18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.1) จากผลการทดสอบองค์ประกอบของธาตุจากวัสดุผสมที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า แนวโน้มของปริมาณธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน มีปริมาณลดลงเมื่ออัตราส่วนของพลาสติกและวัสดุประสานพวกเหม้ามันสำปะหลังและเศษยางแท่งลดลงแต่อัตราส่วนของทางปาล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยตรง ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของ

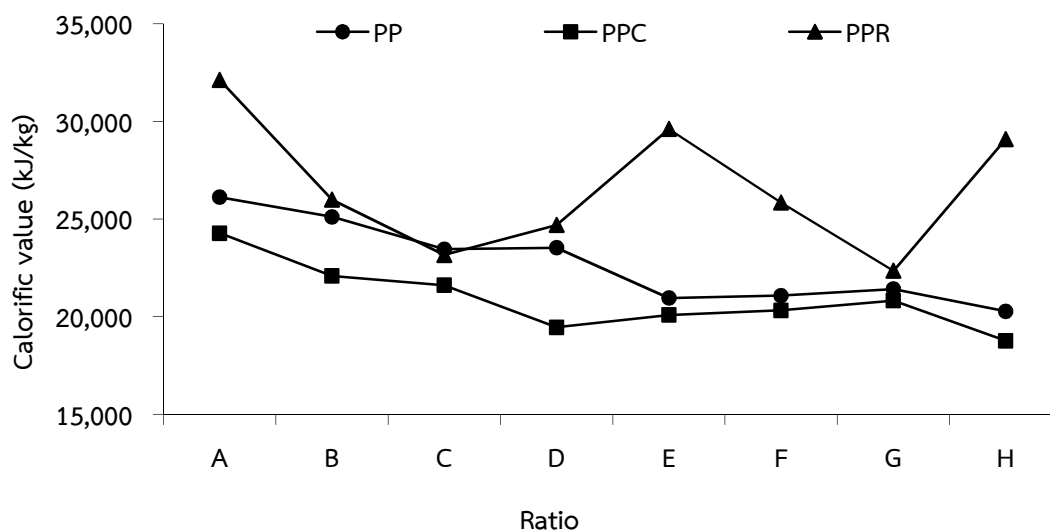
พลาสติกกลดลงจะส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลงด้วย ส่วนปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นค่าที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศซึ่งหากมีค่าน้อยจะส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศน้อย

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบองค์ประกอบของธาตุจากวัสดุผสมที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า องค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีค่ามากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีธาตุคาร์บอนเท่ากับ 73.79 เปอร์เซ็นต์ และธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีธาตุคาร์บอนเท่ากับ 66.59 เปอร์เซ็นต์ และธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 10.16 เปอร์เซ็นต์ และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-B มีธาตุคาร์บอนเท่ากับ 58.79 เปอร์เซ็นต์ และธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 8.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้อาจเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างไม่ชัดเจนมากนัก อาจเนื่องมาจากความสามารถในการเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างที่ทำการส่งตรวจทำได้ค่อนข้างยาก ส่งผลให้การสุ่มตัวอย่างจากแต่ละอัตราส่วนมาทำการทดสอบอาจเกิดค่าคลาดเคลื่อนขึ้นได้

**3) ค่าความร้อน (Calorific value)** จากผลการทดสอบค่าความร้อนจากวัสดุที่ผสมใช้ในการทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณความร้อนของวัสดุที่ผสมใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วง 26,116-20,276, 24,270-18,765 และ 32,114-22,348 kJ/kg สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.9) โดยค่าความร้อนจากวัสดุผสมที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของทางปาล์มเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนของพลาสติกผสมทางปาล์มผสมวัสดุประสานทั้งเหง้ามันสำปะหลัง และเศษยางแท่งลดลง ซึ่งอัตราส่วนที่ลดลงมีผลและเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แต่ทุกอัตราส่วนมีค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐานของประเทศอิตาลีในการนำของแข็งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปเชื้อเพลิง ซึ่งกำหนดค่าความร้อนไว้ที่ 15,000 kJ/kg (European commission-directorate general environment, 2003) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองมีความเหมาะสมมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความร้อนจากวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบก่อนทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 32,114 kJ/kg รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 26,116 kJ/kg และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 24,270 kJ/kg ค่าความร้อนในทุกอัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงแข็งบางประเภท จากผลการทดลอง พบว่า มีเพียงในชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงแข็งประเภทปิโตรมินัสคือ มีค่าความร้อนสูงกว่า 26,366 kJ/kg (ตารางที่ 3.2) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแปรรูปขยะพลาสติกผสมมันสำปะหลังปนที่อัตราส่วน 1:0.8 มีค่าความร้อน 25.97 MJ/kg (บุญญา ชานนอก, 2550) และหากเปรียบเทียบกับชุดการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ในอัตราส่วนที่ PPR-A, PPR-E, PPR-H และ PPR-B มีค่าความร้อนเท่ากับ

32.11, 29.61, 29.08 และ 25.99 MJ/kg ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ในอัตราส่วนที่ PP-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 26.12 MJ/kg มีค่าความร้อนสูงกว่า 25.97 MJ/kg



รูปที่ 3.9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนของขยะมูลฝอยสามารถหาได้จาก 1) วัดจากปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นด้วย Calorimeter จากการเผาในเตาเผาจริง 2) วัดจากปริมาณความร้อนจากชิ้นส่วนตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนของขยะมูลฝอยด้วย Bomb calorimeter และ 3) วัดจากวิธีคำนวณจากองค์ประกอบของธาตุหลักซึ่งได้แก่ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N), กำมะถัน (S), และเถ้า (Ash) โดยสมมติฐานที่ว่าขยะมูลฝอยเปรียบเสมือนสารประกอบชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบของธาตุหลักในรูปของ  $C_aH_bO_cN_dS_e$  ดังนั้นค่าความร้อนของขยะมูลฝอยจึงสามารถคำนวณได้จากสูตรจาก Dulong ด้วยสัดส่วนของธาตุหลักในองค์ประกอบขยะมูลฝอยแต่ละประเภทจากสูตรที่ 3.1 (Tchobanoglous et al.,1993)

$$\text{Higher heating value (kJ/kg)} = 338.2C + 1442\left(H - \frac{O}{8}\right) + 95S \quad (3.1)$$

เมื่อ	C	=	เปอร์เซ็นต์คาร์บอนโดยน้ำหนักแห้ง
	H	=	เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนโดยน้ำหนักแห้ง
	O	=	เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนโดยน้ำหนักแห้ง
	S	=	เปอร์เซ็นต์กำมะถันโดยน้ำหนักแห้ง

จากผลการทดสอบเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter กับการคำนวณโดยใช้สูตร Dulong (Dulong formula หรือ Modified Dulong formula) พบว่า ค่าความร้อนที่ได้จากทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันคือ บางอัตราส่วนค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณจากสูตรของ Dulong formula มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Bomb calorimeter และบางอัตราส่วนค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณจากสูตรของ Dulong formula มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Bomb calorimeter (ตารางที่ 3.2) เนื่องจากในการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง Bomb calorimeter มีการลดสัดส่วนจริงจาก 70 กรัม ตามอัตราส่วนที่กำหนดทั้ง 3 ชุดการทดลอง แล้วลดสัดส่วนให้เหลือเพียง 2 กรัม แล้วทำการสุ่มเอาตัวอย่างจากสัดส่วนที่ลดมาเพียงประมาณ 0.2-0.4 กรัม เพื่อทำการหาค่าความร้อน วัสดุที่ใช้ในการทดสอบไม่ได้รวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อทำการสุ่มขึ้นมาอาจทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ซึ่งเป็นเหตุผลเช่นเดียวกับการทดสอบด้วยการวิเคราะห์สัดส่วนธาตุ CHNOS ที่มีการสุ่มเอาน้ำหนักที่ถูกลดอัตราส่วนจากน้ำหนักจริง 70 กรัม ให้เหลือเพียง 0.25 กรัม แล้วทำการสุ่มตัวอย่างเพียง 0.1 กรัม เพื่อหาค่าประกอบของธาตุ ดังนั้นโอกาสที่เกิดค่าคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างจากตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันจึงอาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนการขึ้นรูปที่ได้ควรยึดหลักค่าความร้อนที่ได้จากเครื่อง Bomb calorimeter เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์จากค่าความร้อนจากตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจริง ซึ่งแตกต่างจากการคำนวณโดยใช้สูตร Dulong formula เนื่องจากการคำนวณด้วยการใช้สูตร Dulong formula ที่ใช้เป็นการคำนวณที่ใช้สำหรับพืชชีวมวล แต่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีวัตถุดิบพวก พลาสติก และเศษยางแท่งด้วย ค่าความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter จึงมีความสอดคล้องของข้อมูลมากกว่า

#### 4) สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

การทดลองทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย Proximate analysis, Ultimate analysis และ Calorific value จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบวิธีทดสอบค่าความร้อนจากการทดสอบด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และวิธีการคำนวณจากสูตร Dulong formula จากองค์ประกอบของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Ultimate analysis พบว่า การทดสอบทั้ง 2 วิธีให้ค่าความร้อนสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC นั้นแสดงว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีองค์ประกอบของขยะพลาสติก, ทางปาล์ม และเศษยางแท่ง ให้ค่าความร้อนที่สูงที่สุด เนื่องจากเศษยางแท่งให้ค่าความร้อนสูงที่สุดจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษยางแท่งอย่างเดียว พบว่ามีปริมาณสารระเหยได้สูง ความชื้นต่ำ และปริมาณเถ้าต่ำ อีกทั้งสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนก็มีค่าสูงที่สุดด้วย

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ชุด	Ratio	Calorific Value (kJ/kg)	ค่าคลอรีน (%m/m)	Proximate Analysis (%dw)				Ultimate Analysis (%dw)					Dulong formula (kJ/kg)
				M*	Ash	VM	FC	C	H	N	S	O	
ชุดการทดลองที่ 1 PP	A	26,116	0.00027	0.27	6.95	92.73	0.05	66.59	10.16	0.53	0.08	15.69	34,351
	B	25,107	0.00257	0.29	6.53	93.31	0	57.69	8.36	0.82	0.09	26.51	26,796
	C	23,449	0.00045	0.33	6.23	93.87	0	49.44	6.68	0.99	0.14	36.52	19,784
	D	23,524	0.00022	0.31	5.87	93.69	0.13	51.29	6.93	0.82	0.13	34.96	21,050
	E	20,950	0.00052	0.34	5.66	93.86	0.14	50.91	7.01	1.00	0.15	35.27	20,983
	F	21,080	0.00046	0.30	5.44	94.00	0.26	54.86	7.61	0.94	0.14	31.01	23,951
	G	21,411	0.00055	0.34	4.82	94.66	0.18	51.32	7.01	0.85	0.12	35.88	21,009
	H	20,276	0.00070	0.34	5.21	94.46	0	54.17	7.64	0.81	0.14	32.03	23,577
ชุดการทดลองที่ 2 PPC	A	24,270	0.00119	0.32	6.17	93.68	0.00	50.11	6.89	0.96	0.14	35.73	20,456
	B	22,085	0.00164	0.33	5.34	94.29	0.04	58.79	8.66	0.62	0.10	26.49	27,605
	C	21,612	0.00054	0.31	5.74	94.19	0.00	52.21	7.35	0.85	0.13	33.72	22,190
	D	19,452	0.00064	0.36	4.77	95.14	0.00	49.99	6.94	1.18	0.17	36.95	20,270
	E	20,088	0.00064	0.34	4.72	94.85	0.09	48.95	6.70	1.02	0.17	38.44	19,304
	F	20,322	0.00034	0.37	5.07	94.53	0.03	49.85	6.88	0.91	0.13	37.16	20,094
	G	20,825	0.00036	0.41	5.72	93.89	0.00	47.06	6.13	0.86	0.12	40.11	17,537
	H	18,765	0.00032	0.40	5.41	94.33	0.00	46.26	6.06	0.80	0.13	41.34	16,944
ชุดการทดลองที่ 3 PPR	A	32,114	0.00064	0.19	4.47	95.31	0.03	73.79	9.79	0.54	0.08	11.33	37,038
	B	25,986	0.00036	0.20	4.79	95.08	0.07	51.78	6.97	1.07	0.16	35.23	21,228
	C	23,160	0.00071	0.22	4.60	95.08	0.10	71.15	9.14	0.57	0.09	14.45	34,647
	D	24,688	0.00070	0.23	4.78	95.37	0.00	49.17	6.45	1.02	0.14	38.44	19,015
	E	29,607	0.00057	0.29	5.56	94.27	0.00	49.46	6.53	0.97	0.13	37.35	19,424
	F	25,839	0.00056	0.25	5.18	94.85	0.00	48.99	6.26	0.71	0.11	38.75	18,621
	G	22,348	0.00048	0.26	5.25	94.24	0.25	47.85	6.13	0.96	0.13	39.68	17,882
	H	29,083	0.00050	0.38	5.93	93.62	0.07	50.24	6.56	0.91	0.13	36.23	19,933
ถ่านหินลิกไนต์ <sup>1</sup>	11,409	-	30.20	25.40	28.50	16.50	-	-	-	-	-	-	
ซีล้อย <sup>2</sup>	18,836	-	-	2.00	75.40	22.40	-	-	-	0.20	-	-	
กากอ้อย <sup>2</sup>	18,418	-	-	8.50	73.90	17.60	-	-	-	0.30	-	-	
กะลาปาล์ม <sup>3</sup>	18,267	0.02	12.00	3.52	68.20	16.30	44.44	5.01	0.28	0.02	34.70	-	
ใบอ้อย <sup>3</sup>	16,794	0.01	9.20	6.10	67.80	16.90	41.60	5.08	0.40	0.17	37.42	-	
แกลบ <sup>3</sup>	14,775	0.09	12.00	12.65	56.46	18.88	37.48	4.41	0.17	0.04	33.27	-	
ฟางข้าว <sup>3</sup>	13,650	Na	10.00	10.39	60.70	18.90	38.17	5.02	0.58	0.09	35.28	-	
ใยปาล์ม <sup>3</sup>	13,127	0.11	38.50	4.42	42.68	14.39	30.82	3.74	0.84	0.08	21.61	-	
ไม้ยางพารา <sup>3</sup>	10,365	0.01	45.00	1.60	45.70	7.71	25.58	3.19	0.14	0.02	24.48	-	
ถ่านหินบิทูมินัส <sup>4</sup>	26,366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ \* คือ (%ww)

ที่มา :<sup>1</sup> การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2528)

<sup>2</sup> กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

<sup>3</sup> ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล (2549)

<sup>4</sup> [http://mte.kmutt.ac.th/mte\\_learning/Energy\\_Conservation\\_in\\_Industrial\\_Plant/table/table5.html](http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html) (2552)

VM คือ ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)

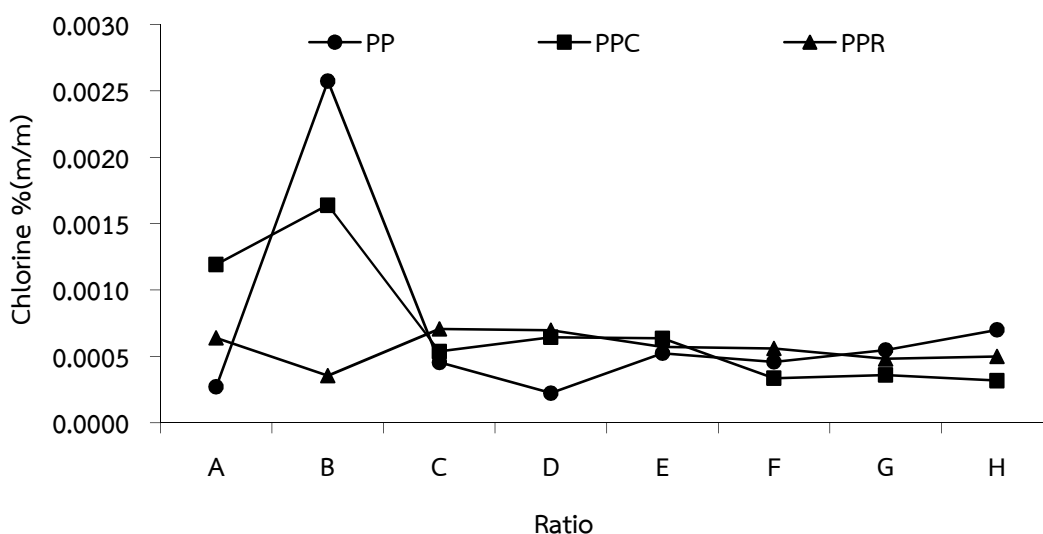
FC คือ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

### 3.2.3 มลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อม

#### 1) ปริมาณคลอรีน (Cl<sub>2</sub>)

ปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นส่วนของสารที่มีโอกาสที่จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อม จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณคลอรีนที่วิเคราะห์ได้อยู่ในระดับต่ำโดยปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.00022-0.00257, 0.00032-0.00164 และ 0.00036-0.00071 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ (รูปที่ 3.10) สำหรับคลอรีนมีผลทำให้เกิดมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคลอรีน สำหรับประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับคลอรีนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง แต่สำหรับประเทศอิตาลีได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณคลอรีนควรมีค่าไม่เกิน 0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากผลการทดลองในทุกชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งผ่านเกณฑ์ระดับ 3 จากทั้งหมด 3 ระดับ ของประเทศฟินแลนด์ (European commission-directorate general environment, 2003) หากเปรียบเทียบปริมาณคลอรีนจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองมีปริมาณคลอรีนไม่เกินมาตรฐานของประเทศอิตาลีและฟินแลนด์กำหนดไว้

หากเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่มีปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-B มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 0.00257 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-B มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 0.00164 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-C มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 0.00071 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอรีนในชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ให้ปริมาณคลอรีนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ชุดการทดลอง ซึ่งปริมาณคลอรีนหากมีค่าน้อยส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศน้อยและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยด้วย ซึ่งผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการในทดลองทุกอัตราส่วน พบว่า มีค่าคลอรีนไม่เกินมาตรฐานของประเทศอิตาลีที่กำหนดไว้



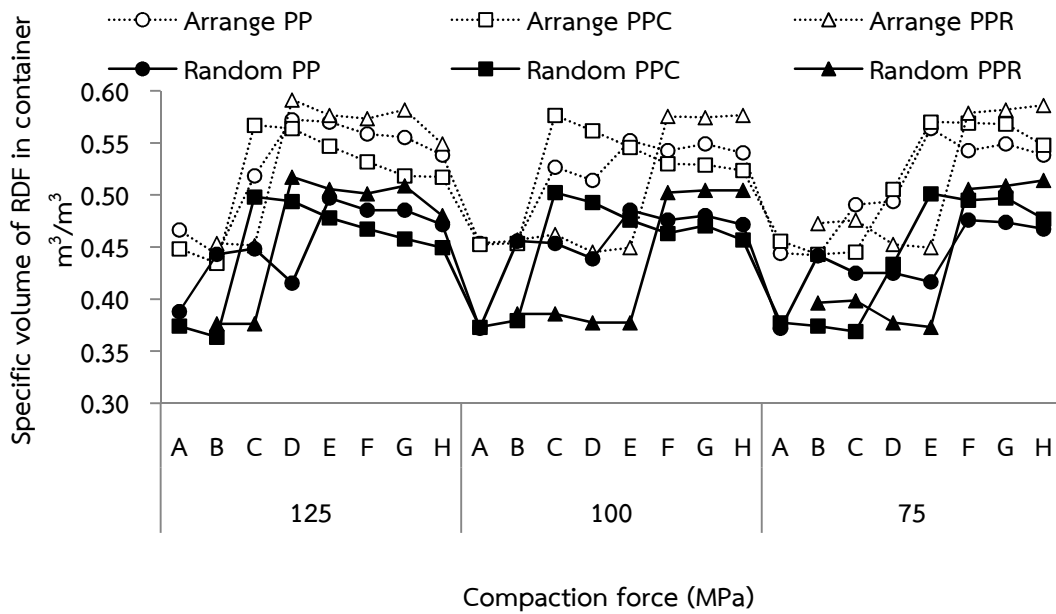
รูปที่ 3.10 ค่าคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

### 3.2.4 การทดสอบทางด้านการขนส่ง

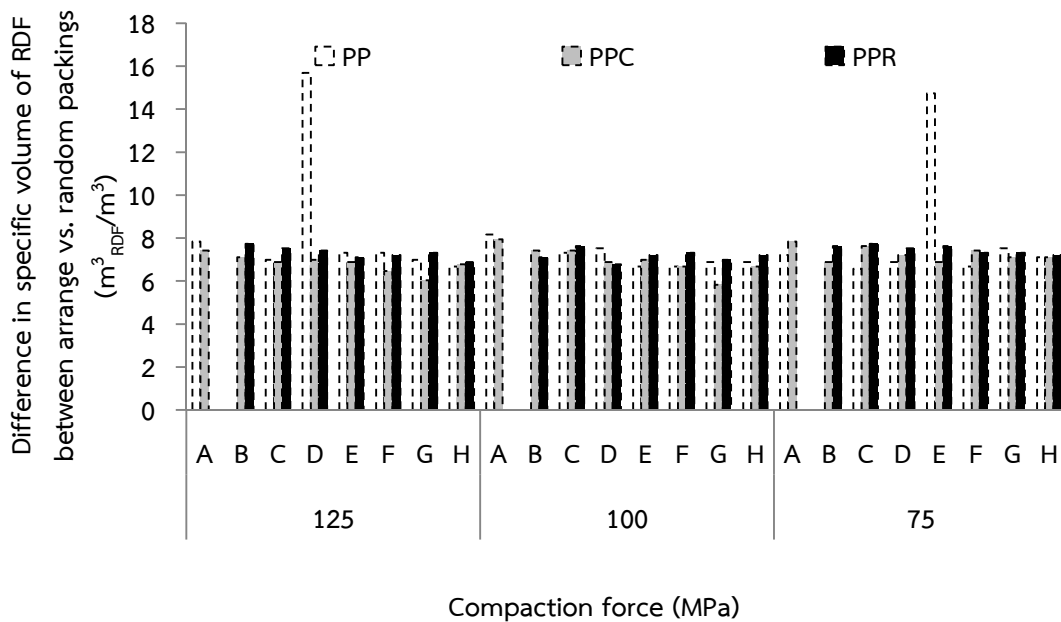
สำหรับการทดสอบทางด้านการขนส่งทำการทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปจาก 3 ชุดการทดลอง โดยทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปด้วยแรงกดอัด 3 แรงกดอัดคือ 125, 100 และ 75 MPa ดังแสดงรายละเอียดอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) แล้วนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบกับปริมาตรกล่องที่ขนาด  $1,852 \text{ cm}^3$  ทดสอบหาปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม แล้วทำการเปรียบเทียบไปที่ปริมาตร  $1 \text{ m}^3$  และเทียบไปยังปริมาตรรถบรรทุกขนาดต่างๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงที่ได้และเปรียบเทียบความคุ้มค่าที่ทดสอบปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงทั้งแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม

จากผลการทดลองเมื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงกดอัด จากทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าแรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 แรงกดอัดมีผลต่อปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการขนส่งโดยในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP พบว่า ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ให้ปริมาตรความจุของเชื้อเพลิงอัดแท่งมากกว่าแรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 100 และ 75 MPa ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A และ PP-C ถึง PP-H มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรแบบจัดเรียงมากกว่าแบบสุ่มอยู่ประมาณ 7.00-15.69 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-B ทั้ง 3 แรงกดอัด ไม่มีความแตกต่างของปริมาตรความจุของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC พบว่า ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 และ 100 MPa ให้ปริมาตรความจุก้อนเชื้อเพลิงมากกว่าแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa โดยเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ทุกแรงกดอัดและทุกอัตราส่วนมีปริมาตรความจุก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงมากกว่าการทดสอบแบบสุ่ม อยู่ประมาณ 6.04–7.95 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR พบว่า ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ให้ปริมาตรความจุก้อนเชื้อเพลิงมากกว่าแรงกดที่ 100 และ 75 MPa ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A ของทั้ง 3 แรงกดอัด เชื้อเพลิงอัดแท่งมีลักษณะหลุดร่วนง่ายจึงไม่เหมาะหากนำมาใช้ในการขนส่งเนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความ

หนาแน่นต่ำ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-B ถึง PPR-H มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรความจุแบบจัดเรียงมากกว่าแบบสุ่มอยู่ประมาณ 6.78–7.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาตรความจุเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มน้อย (รูปที่ 3.11) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างแบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.11 ปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ความจุ 1 m<sup>3</sup>

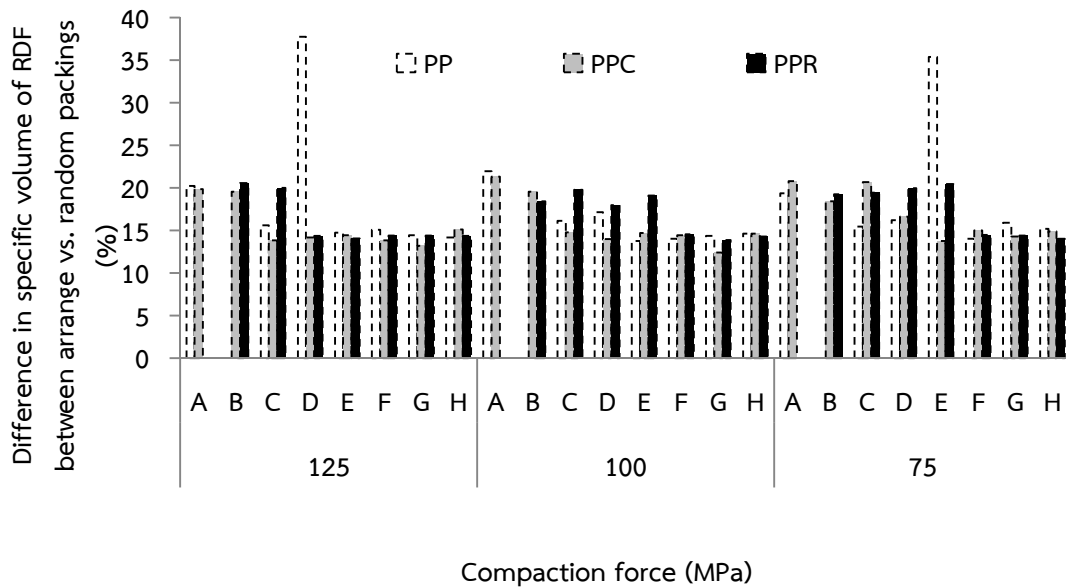


รูปที่ 3.12 ผลต่างของปริมาตรจำเพาะ (m<sup>3</sup> RDF/m<sup>3</sup>) ระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม



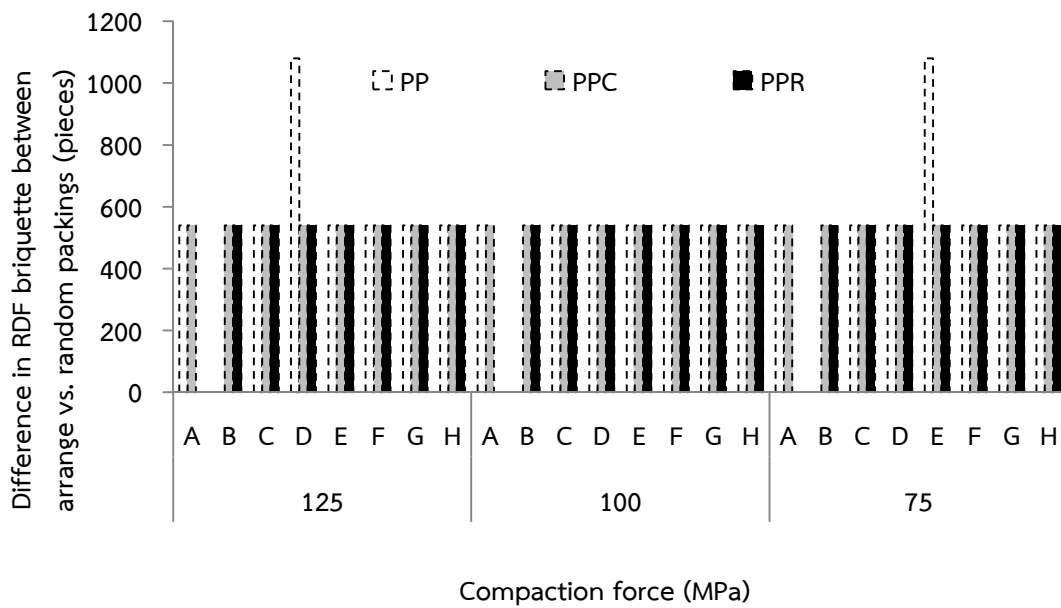
จากผลการศึกษาความแตกต่างของปริมาตรความจุเชื้อเพลิงอัดแท่งจากปริมาตรกล่องทั้งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม พบว่า ถ้าปริมาตรความจุเชื้อเพลิงอัดแท่งมากก็ส่งผลให้พื้นที่ว่างของปริมาตรกล่องน้อยลง โดยความแตกต่างในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP มีค่าความแตกต่างของปริมาตรความจุเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มสูงสุดคือ ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D ให้ปริมาตรความจุสูงสุด 15.69 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปริมาตรรวมก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D มีปริมาตรรวมก่อนเชื้อเพลิงแบบจัดเรียงมากที่สุดถึง  $1,059.8 \text{ cm}^3$  และมีปริมาตรก่อนเชื้อเพลิงแบบสุ่มต่ำสุด  $769.3 \text{ cm}^3$  (ภาคผนวก ก หน้า 89 และ 92) ดังนั้นหากทำการคิดความแตกต่างของปริมาตรรวมแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D มีความแตกต่างกันมากที่สุด ในแรงกดอัดนั้น เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จึงมาความแตกต่างสูงถึง 15.69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเหตุผลลักษณะเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E ที่แรงกดอัด 75 MPa เนื่องจากปริมาตรรวมก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีปริมาตรรวมก่อนเชื้อเพลิงแบบจัดเรียงมากที่สุดถึง  $1,044.1 \text{ cm}^3$  และมีปริมาตรก่อนเชื้อเพลิงแบบสุ่มต่ำสุด  $771.3 \text{ cm}^3$  (ภาคผนวก ก หน้า 89 และ 92) ดังนั้นหากทำการคิดความแตกต่างของปริมาตรรวมแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีความแตกต่างกันมากที่สุด ในแรงกดอัดนั้น เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จึงมาความแตกต่างสูงถึง 14.72 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A ให้ปริมาตรสูงสุดที่ 7.95 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-B มีปริมาตรสูงสุด 7.74 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 3.12)

ดังนั้นหากคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของปริมาตรความจุเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงเทียบกับแบบสุ่ม พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP มีค่าสูงสุดคือ ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D มีค่าสูงสุด 37.76 เปอร์เซ็นต์ และที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีค่าเท่ากับ 35.37 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A มีค่าสูงสุดที่ 21.31 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-B มีค่าสูงสุด 20.56 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 3.13)

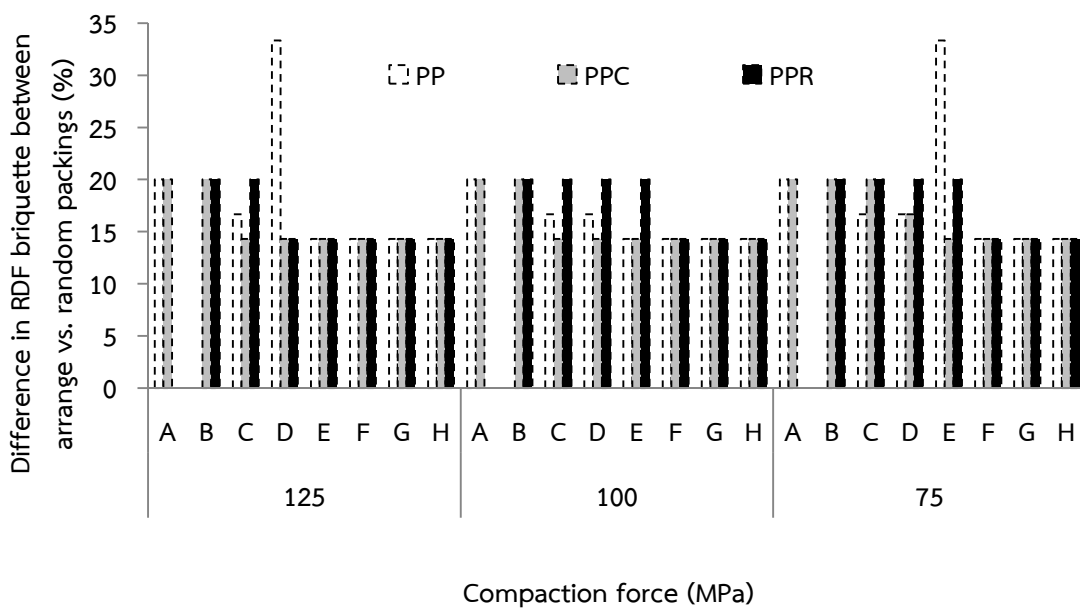


รูปที่ 3.13 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของปริมาตรจำเพาะ ( $m^3_{RDF}/m^3$ ) ระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม

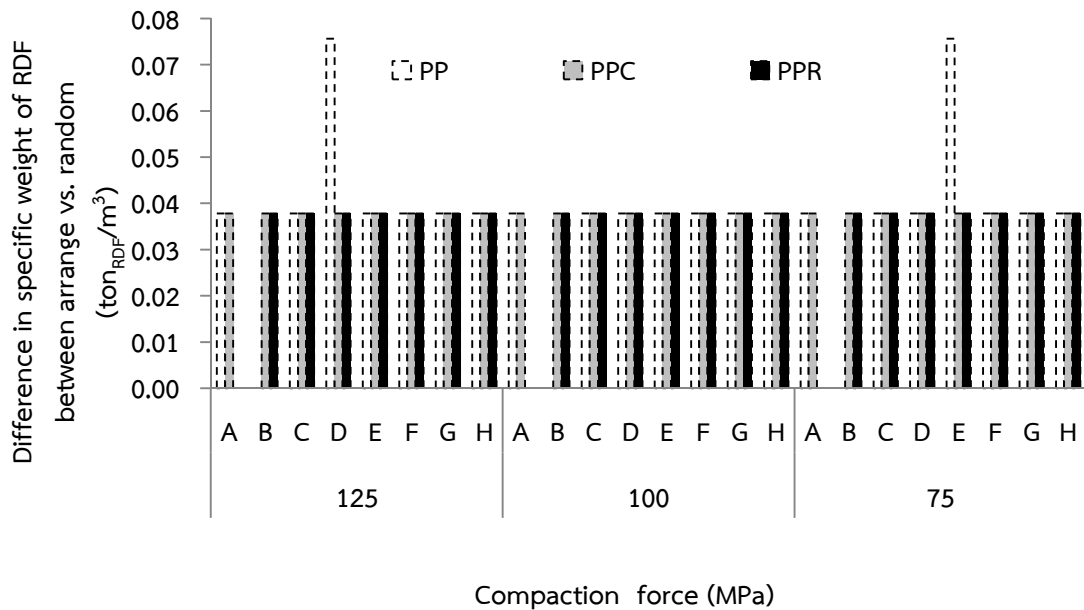
หากเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ปริมาตร  $1 m^3$  แบบจัดเรียงแบบสุ่มที่น้ำหนัก 1 ตัน พบว่า อัตราส่วนที่มีความแตกต่างปริมาตรรวมก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งมากส่งผลให้มีเปอร์เซนต์ความแตกต่างมากขึ้น จำนวนก้อนมากขึ้น ส่งผลให้มีน้ำหนักก้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นตามไปด้วย โดยชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่มีค่าสูงสุดคือ ที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D และที่แรงกดอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีความแตกต่างของจำนวนก้อนสูงสุดคือ 1,080 ก้อน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์ของจำนวนก้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบสุ่ม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 33.33 เปอร์เซนต์ คิดเป็นน้ำหนักของจำนวนก้อนแบบจัดเรียงแบบสุ่มต่างกัน 80 กิโลกรัม (ภาคผนวก ก หน้า 95) ในขณะที่อัตราส่วนอื่นๆ มีความแตกต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงแบบสุ่มอยู่ที่ 540 ก้อน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์ของจำนวนก้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบสุ่ม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 14.29–20.00 เปอร์เซนต์ คิดเป็นน้ำหนักของจำนวนก้อนแบบจัดเรียงแบบสุ่มต่างกัน 40 กิโลกรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ในทุกอัตราส่วนและทั้ง 3 แรงกดอัดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีความแตกต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงแบบจัดเรียงแบบสุ่มอยู่ที่ 540 ก้อน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์ของจำนวนก้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบสุ่ม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 14.29–20.00 เปอร์เซนต์ และคิดเป็นน้ำหนักของจำนวนก้อนแบบจัดเรียงแบบสุ่มต่างกัน 40 กิโลกรัม (รูปที่ 3.14-3.16)



รูปที่ 3.14 ผลต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม



รูปที่ 3.15 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม



รูปที่ 3.16 ผลต่างของน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการบรรจุแบบจัดเรียงและแบบสุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบการขนส่งแบบจัดเรียงและแบบสุ่มทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า แรงกดอัดมีผลต่อปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่ที่แรงกดอัด 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D มีความแตกต่างของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งรวมแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มมากที่สุดถึง 16 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เพิ่มขึ้นจากแบบจัดเรียงเทียบกับแบบสุ่มถึง 38 เปอร์เซ็นต์ และหากคิดเทียบการขนส่งที่ขนาด 1 m<sup>3</sup> ส่งผลให้มีความจุของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ เช่นเดียวกับที่แรงกดอัด 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E แต่ในชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ทั้ง 3 แรงกดอัดและในทุกอัตราส่วน และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ทั้ง 3 แรงกดอัดและในทุกอัตราส่วน พบว่า แรงกดอัดมีผลต่อปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อย เมื่อคิดเทียบจากการขนส่งที่ขนาด 1 m<sup>3</sup> พบว่า มีความแตกต่างกันความแตกต่างของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งรวมแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นหากวิเคราะห์ผลกระทบเชิงบวก พบว่า โดยชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่ที่แรงกดอัด 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D และที่แรงกดอัด 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E หากคิดเทียบการขนส่งที่ขนาด 1 m<sup>3</sup> ทำให้มีปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากแรงกดอัดและอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบส่งผลให้ปริมาตรอัดแท่งมีปริมาตรลดลง เมื่อปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงจึงทำให้เพิ่มจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งได้มากขึ้น ส่งผลให้เพิ่มมูลค่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง อีกทั้งยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

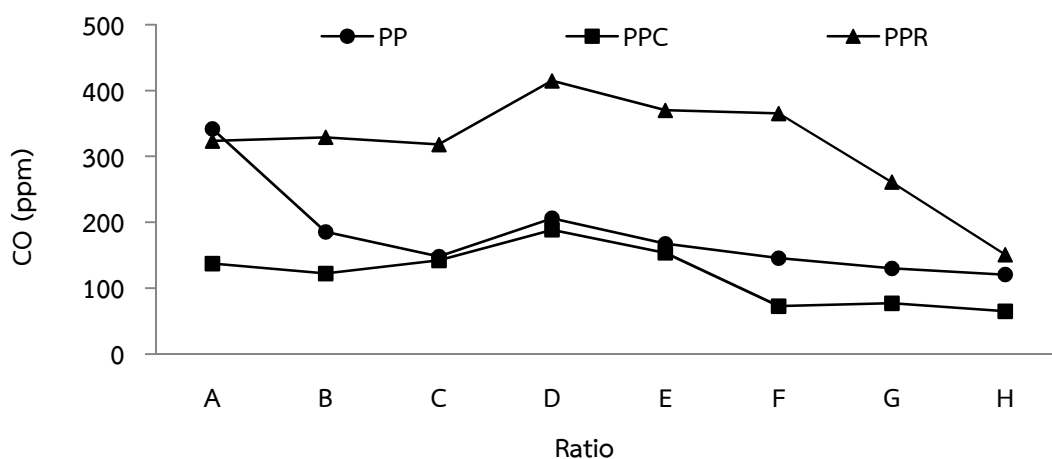
### 3.2.5 การวัดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้

การวัดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยวัดความเข้มข้นมลพิษทางอากาศของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) โดยแสดงรายละเอียดอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

#### 1) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นเป็นก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย โดยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เมื่อเข้าไปในร่างกายจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ทำให้เกิดคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxy Hemoglobin HbO<sub>2</sub>) ทำให้ร่างกายได้รับออกซิเจนน้อย หากได้รับเป็นเวลานานอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ จากผลการทดลองการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในช่วง 120-342, 65-189 และ 150-415 ppm สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ

ซึ่งหากเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-D มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงที่สุดเท่ากับ 415 ppm รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงที่สุดเท่ากับ 342 ppm และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-D มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงที่สุดเท่ากับ 189 ppm (รูปที่ 3.17)

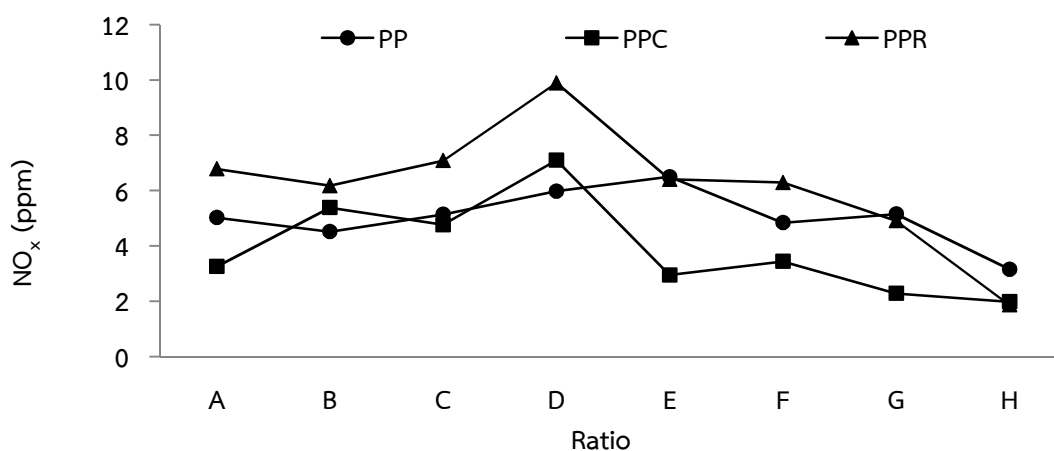


รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

#### 2) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นเป็นก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อสูดดมก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเข้าไปเมื่อเข้าไปทำให้เกิดอาการบวมแดงบริเวณ

ตลอดลม ส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นอาจส่งผลให้เกิดโอกรด และเมื่อรวมกับน้ำจะกลายเป็นกรดไนตริกเป็นฝนกรดได้ จากผลการทดลองวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าความเข้มข้นก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.16-6.50, 1.98-7.10 และ 1.87-9.89 ppm สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC, และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-D มีค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 9.89 ppm รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-D มีค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 7.10 ppm และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีค่าความเข้มข้นของออกไซด์ไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 6.50 ppm (รูปที่ 3.18) หากเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการระบายมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ค่าออกไซด์ของไนโตรเจนทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าออกไซด์ของไนโตรเจนไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดคือ มีค่าออกไซด์ของไนโตรเจนไม่เกิน 250 ppm ที่ขนาดเตาเผามูลฝอยตั้งแต่ 1-50 ตันต่อวัน เมื่อเทียบกับที่สถานะอ้างอิง (Reference condition) ที่ปริมาตรออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen) ร้อยละ 7 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)



รูปที่ 3.18 เปรียบเทียบก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

### 3) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

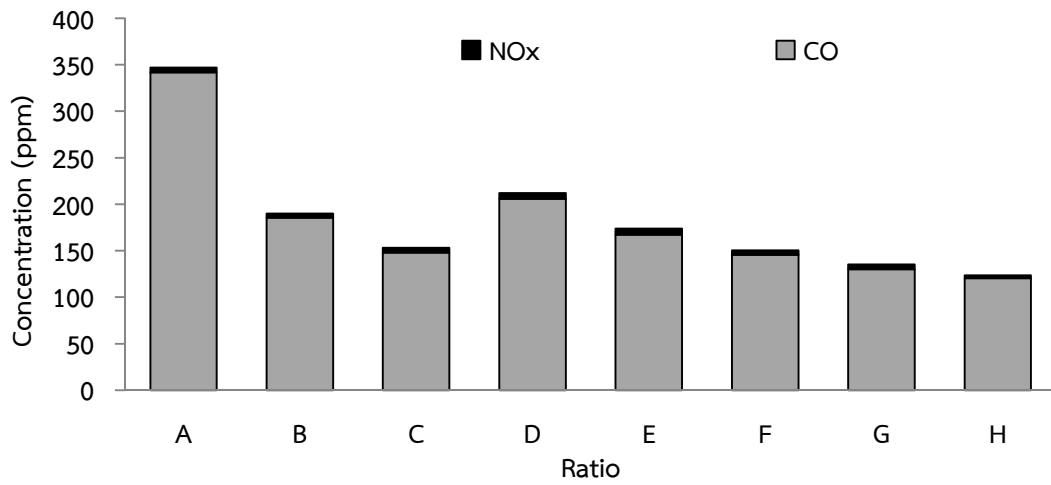
การทดสอบการวัดความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกชุดการทดลอง พบว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยมาก จนไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัด เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณซัลเฟอร์หรือกำมะถันเป็นองค์ประกอบน้อย (ตารางที่ 3.1) จึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้น้อยตามไปด้วย ซึ่งการที่ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยส่งผลให้ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ อีกทั้งไม่ส่งผลต่อการกัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย ค่ามาตรฐานการระบายมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษกำหนดให้มีค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่า

ไม่เกิน 30 ppm ที่ขนาดเตาเผาถูปล่อยตั้งแต่ 1-50 ต้นต่อวัน เมื่อเทียบกับที่สภาวะอ้างอิง (Reference condition) ที่ปริมาตรออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen) ร้อยละ 7 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

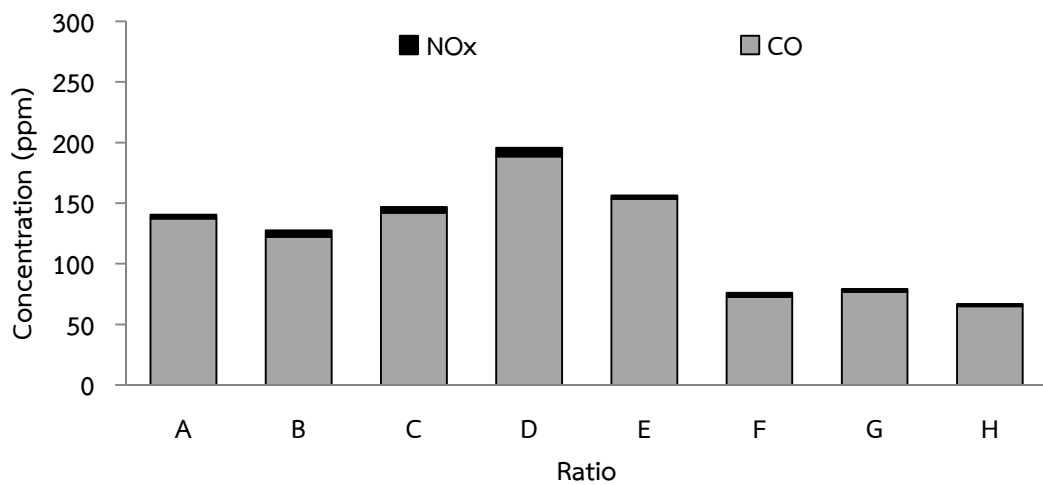
#### 4) เปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสูงสุดเฉลี่ยคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ในอัตราส่วน PPR-D มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 425 ppm (รูปที่ 3.19) รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ในอัตราส่วน PP-A มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 349 ppm (รูปที่ 3.20) และลำดับที่ 3 คือชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ในอัตราส่วน PPC-D มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 196 ppm (รูปที่ 3.21) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ในอัตราส่วน PPR-D และชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ในอัตราส่วน PPC-D มีค่ามลพิษทางอากาศสูงสุดในอัตราส่วน D เนื่องมาจากความผิดพลาดของผู้ทำวิจัยที่ทำการทดสอบไม่ต่อเนื่องกันจากสภาวะที่เป็นสภาวะเดิมได้ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดใหม่ผลการทดสอบที่อาจอาจทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนได้

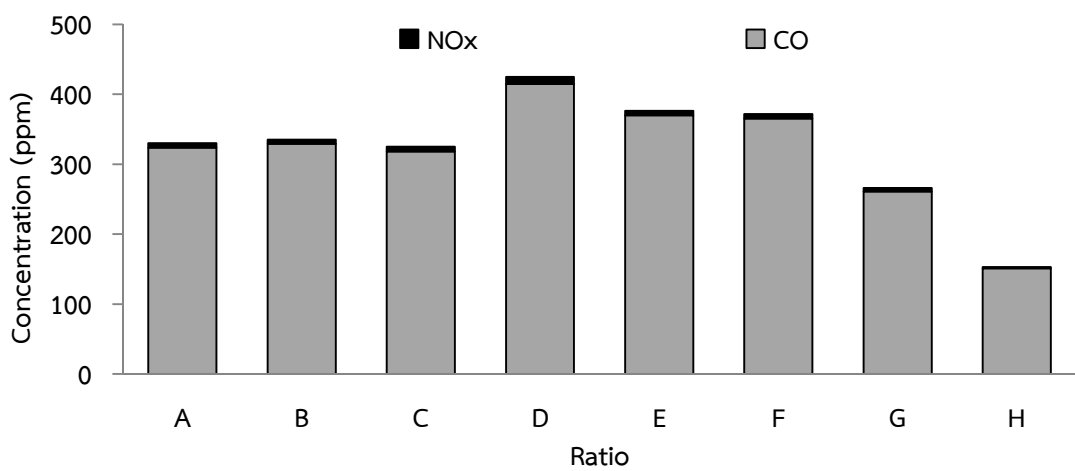
ซึ่งหากทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์จากค่า Calorific value พบว่า ค่าความร้อนสูงสุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 32,114 kJ/kg รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 26,116 kJ/kg และลำดับที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 24,270 kJ/kg ซึ่งค่าความร้อนที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ CHONS ด้วยสูตร Dulong พบว่า ค่าความร้อนสูงสุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 37,038 kJ/kg รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 34,351 kJ/kg และลำดับที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A มีค่าความร้อนเท่ากับ 20,456 kJ/kg (ตารางที่ 3.2) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าผลการทดสอบหาค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ อาจเกิดจากสภาวะที่ไม่สามารถควบคุมให้ดำเนินผลการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกันตลอดทั้งชุดการทดลองจึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้



รูปที่ 3.19 องค์ประกอบมลพิษทางอากาศรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP



รูปที่ 3.20 องค์ประกอบมลพิษทางอากาศรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC



รูปที่ 3.21 องค์ประกอบมลพิษทางอากาศรวมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR



### 3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

การศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชนส่ง และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปจาก 3 ชุดการทดลอง โดยแสดงรายละเอียดและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

#### 1) การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop shatter test), และค่าคงทนแรงอัดตั้ง (Unconfined compressive strength) ให้ผลการทดลองที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้คุณสมบัติทางกายภาพดีทั้งหมด จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานได้ในทุกชุดการทดลอง และทุกอัตราส่วนผสม

#### 2) การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า คุณสมบัติทางเคมีด้าน Proximate analysis, Ultimate analysis และค่าความร้อน (Calorific value) จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่าที่ให้ความร้อนมากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A เนื่องจากในอัตราส่วน A ในทุกชุดการทดลองเป็นชุดที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกมากที่สุด ค่าความร้อนในทุกอัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงแข็ง (ตารางที่ 3.2) และรูปที่ 3.9

#### 3) การเปรียบเทียบทางด้านสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.3 คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งพิจารณาเฉพาะปริมาณคลอรีนที่ตรวจวิเคราะห์ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากปริมาณคลอรีนส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคลอรีน พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทั้ง 3 ชุดการทดลองมีปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดแท่งผ่านเกณฑ์ระดับ 3 จากทั้งหมด 3 ระดับของประเทศฟินแลนด์ (European commission-directorate general environment, 2003) หากเปรียบเทียบปริมาณคลอรีนจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกชุดการทดลองมีปริมาณคลอรีนไม่เกินมาตรฐานของประเทศอิตาลีและฟินแลนด์กำหนดไว้ ดังนั้นจึงสามารถเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทั้ง 3 ชุดการทดลอง

#### 4) การเปรียบเทียบการขนส่ง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.4 การเปรียบเทียบการขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้ง 3 แรงกดอัด คือ 75, 100 และ 125 MPa จากทั้ง 3 ชุดการทดลอง จากการทดสอบปริมาตรก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม พบว่า โดยชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่ที่แรงกดอัด 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D และที่แรงกดอัด 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E หากคิดเทียบการขนส่งที่ขนาด  $1 \text{ m}^3$  ทำให้มีปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากแรงกดอัดและอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบส่งผลให้ปริมาตรอัดแท่งมีปริมาตรลดลงเมื่อปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงจึงทำให้เพิ่มจำนวนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งได้มากขึ้น ส่งผลให้เพิ่มมูลค่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง อีกทั้งยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง แต่อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจ้างคนมาจัดเรียงก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่วนชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR พบว่า การขนส่งที่ขนาด  $1 \text{ m}^3$  มีความแตกต่างน้อยประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่คุ้มทุนหากมีการจ้างแรงงานมาใช้ในการจัดเรียง ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR

#### 5) การเปรียบเทียบมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 การทดลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ในอัตราส่วน PPR-D และชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ในอัตราส่วน PPC-D มีค่ามลพิษทางอากาศสูงสุดในอัตราส่วน D อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดของผู้ทำวิจัยที่ไม่สามารถทดสอบตัวอย่างทุกอย่างภายใต้สภาวะเดียวกันตลอดทำ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดใหม่ผลการทดสอบที่อาจอาจทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงควรเปรียบเทียบความสอดคล้องจากค่าความร้อนของค่า Calorific value และการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ CHONS ด้วยสูตร Dulong พบว่า ค่าความร้อนมีความสอดคล้องกัน โดยค่าความร้อนสูงสุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มี และลำดับที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A ซึ่งจะเห็นได้ว่าในอัตราส่วน A มีส่วนผสมของขยะพลาสติกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งกันในอัตราส่วน A ถึง H (ตารางที่ 3.2) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าผลการทดสอบหาค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ อาจเกิดจากสภาวะที่ไม่สามารถควบคุมให้ดำเนินผลการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกันตลอดทั้งชุดการทดลองจึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้

#### 6) สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง

สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางการขนส่งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร และมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งทดสอบที่ 3 แรงกดอัดคือ 75, 100 และ 125 MPa โดยแสดงรายละเอียดอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) ได้ผลการทดสอบสรุปดังนี้ (ตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.3 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 3 ชุดการทดลอง

การทดสอบคุณสมบัติ	แรงกดอัด	ผลการทดสอบคุณสมบัติ
<b>ทางกายภาพ</b>		
- ค่าความหนาแน่น	มีผลต่อคุณสมบัติ	อยู่ในช่วงที่เหมาะสม 0.4-0.7 g/cm <sup>3</sup>
- ค่าดัชนีการแตกร่วน	มีผลต่อคุณสมบัติ	อยู่ในช่วงที่เหมาะสม 0.5-1
- ค่าคงทนแรงอัดแนวตั้ง	มีผลต่อคุณสมบัติ	ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
<b>ทางเคมี</b>		
- Proximate analysis	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
- Ultimate analysis	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	หาสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุ
- Calorific value	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
- คลอรีน (Cl <sub>2</sub> )	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
<b>ทางการขนส่งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร</b>		
- ชุดการทดลองที่ 1 PP	มีผลต่อคุณสมบัติ	แตกต่างกัน 16 เปอร์เซ็นต์ที่แรงกดอัด 125 PP-D, แตกต่าง 15 เปอร์เซ็นต์ที่แรงกดอัด 75 PP-E
- ชุดการทดลองที่ 2 PPC	มีผลต่อคุณสมบัติ	มีความแตกต่างประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์
- ชุดการทดลองที่ 3 PPR	มีผลต่อคุณสมบัติ	มีความแตกต่างประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์
<b>มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้</b>		
- CO	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	ตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ
- NO <sub>x</sub>	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	ตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ
- SO <sub>2</sub>	ไม่มีผลต่อคุณสมบัติ	ตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ

### 3.4 การวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

1. จากผลการทดลองเพื่อเลือกค่าการวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific value) (ตารางที่ 3.2) เนื่องจากเป็นค่าที่เห็นความแตกต่างจากการทดลองได้ชัดเจนที่สุด

2. เลือกข้อมูลจากการทดสอบในเรื่องการขนส่งมาใช้เป็นตัววิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า แรงกดอัดทั้ง 3 แรงกดอัด คือ 75, 100 และ 125 MPa มีผลต่อการจัดเรียงปริมาตรก้อนเชื้อเพลิงอัดเฉพาะชุดการทดลองที่ 1 ที่แรงกดอัด 75 และ 125 MPa แต่ผู้ทำการวิจัยต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต คือลดค่าแรงงานที่ใช้แรงงานคนมาช่วยจัดเรียงเพิ่ม ดังนั้น จึงเลือกใช้การทดสอบแบบสุ่ม ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 นั้นพบว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนแบบจัดเรียง ทั้ง 3 แรงกดอัด ดังนั้นจึงเลือกการลงทุนด้านการขนส่งปริมาณเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบสุ่ม

ดังนั้น ในการลงทุนเพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงทำการเลือกค่าที่แรงกดอัด 75 MPa โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม ซึ่งค่าที่ดีที่สุดจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A, ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A, และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A โดยกำหนดข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นดังนี้

- 1) ขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบและทางปาล์มไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและไม่คิดค่าขนส่ง เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีอยู่ในส่วนผสมของทั้ง 3 ชุดการทดลอง
- 2) ทำงาน 2 คน ค่าแรงงาน 350 บาทต่อคนต่อวัน
- 3) ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง โดยทำงาน 6 วันต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็น 2,496 ชั่วโมงต่อปี
- 4) 1 ชั่วโมงสามารถอัดก้อนเชื้อเพลิงได้ 600 ก้อน (โดย 1 ก้อนใช้เวลาประมาณ 0.1 นาที)
- 5) กำลังการผลิตก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1,497,600 ก้อนต่อปี หรือ 104,832 กิโลกรัมต่อปี
- 6) ราคาขายก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อ 1 กิโลกรัม (based on energy)

#### ทางเลือกที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A

ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีส่วนผสมของขยะพลาสติกผสมทางปาล์ม ซึ่งใน 1 ก้อนหนัก 70 กรัม มีส่วนผสมของขยะพลาสติก 28 กรัม และทางปาล์ม 42 กรัม โดยมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ดังนี้

- 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง อัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงได้ 4,800 ก้อน คิดเป็นเงิน 700 บาท เพราะฉะนั้น ก้อนเชื้อเพลิง 1 ก้อน ราคา 0.15 บาท
- ถ้าก้อนเชื้อเพลิงหนักประมาณ 70 กรัมคือเชื้อเพลิง 1 ก้อน
- เพราะฉะนั้น ถ้าก้อนเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม จะเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 14 ก้อน
- ดังนั้น จะมีค่าใช้จ่าย 2.08 บาทต่อกิโลกรัม
- คิดราคาขาย = (2.08 บาท/กิโลกรัม × 1.35) + 1 บาท = 3.80 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP

เงินลงทุน (บาท)		ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี (บาท)	
- เครื่องผสม	20,000	- ค่าแรงงาน	218,400
- ค่าเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิง	250,000	- ค่าซ่อมบำรุง	10,000
- เครื่องตัดย่อยพลาสติก	25,000	- ค่าเบ็ดเตล็ด	5,000
- เครื่องตัดย่อยทางปาล์ม	35,000	- ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ	42,596
		<b>รวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี</b>	<b>275,996</b>
		<b>รายได้ต่อปี</b>	
		+ ผลิตก้อนเชื้อเพลิงได้ (กิโลกรัมต่อปี)	104,832
		+ ขายราคากิโลกรัมละ (บาท)	3.8
		+ รายได้จากการขายก้อนเชื้อเพลิง (บาท)	398,362
<b>เงินลงทุนสุทธิ (บาท)</b>	<b>330,000</b>	<b>รายได้สุทธิ (บาท)</b>	<b>122,366</b>

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี} \\
 &= 330,000 \text{ บาท} / 122,366 \text{ บาทต่อปี} \\
 &= 2.7 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า เงินลงทุนในการซื้อเครื่องจักรได้แก่ เครื่องผสมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 20,000 บาท เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 250,000 บาท เครื่องตัดย่อยพลาสติกเป็นเงิน 25,000 บาท เครื่องตัดย่อยทางปาล์มเป็นเงิน 35,000 บาท รวมเป็นเงินลงทุนสุทธิเท่ากับ 330,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีได้แก่ ค่าแรงงาน 218,400 บาท ค่าซ่อมบำรุง 10,000 บาท ค่าเบ็ดเตล็ด 5,000 บาท และค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ 42,596 บาท รวมเป็นเงินค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีเท่ากับ 275,996 บาท ซึ่งมีรายได้ต่อปีในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 104,832 กิโลกรัมต่อปี ขายไปในราคากิโลกรัมละ 3.8 บาท ส่งผลให้มีรายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 398,362 บาท ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2.08 บาทต่อกิโลกรัม ส่งผลให้มีรายได้สุทธิจากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง 122,366 บาท โดยทางเลือกที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A ไม่ได้เสียค่าวัสดุประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จึงส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบทำให้ได้ระยะเวลาคืนทุนเร็ว ระยะเวลาคืนทุนเร็วโดยใช้เวลาคืนทุนแค่ 2.7 ปี

## ทางเลือกที่ 2 ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A

ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A มีส่วนผสมของขยะพลาสติกผสมทางปาล์มผสมแห้งน้ำมันสำหรับหลัง ซึ่งใน 1 ก้อนหนัก 70 กรัม มีส่วนผสมของขยะพลาสติก 21.5 กรัมและทางปาล์ม 32 กรัม และแห้งน้ำมันสำหรับหลัง 16 กรัม โดยมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ดังนี้

- 1) สั่งซื้อวัตถุดิบจากชลบุรีมาหาตใหญ่ ระยะทางไปกลับประมาณ 2,020 กิโลเมตร โดยคิดราคาน้ำมัน 30 บาท/ลิตร รถกระบะใช้น้ำมัน 8.00 กิโลเมตร/ลิตร ราคาเปลือกมันล้าง 600 บาท/ตัน
- 2) ค่าขนส่งในการสั่งซื้อแห้งน้ำมันสำหรับหลังที่ จังหวัดชลบุรี คิดเป็น 8,200 บาท/ตัน/รอบ ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แห้งน้ำมันสำหรับหลัง 13 วัน/รอบ คิดเป็นเงิน 196,800 บาท/ปี  
โดยใน 1 วัน ใช้แห้งน้ำมันสำหรับหลังไป 76.8 กิโลกรัม/วัน คิดเป็น 630 บาท/วัน
- 3) ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม  
1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง อัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงได้ 4,800 ก้อน คิดเป็นเงิน 700 บาท  
เพราะฉะนั้น ก้อนเชื้อเพลิง 1 ก้อน ราคา 0.28 บาท  
ถ้าก้อนเชื้อเพลิงหนักประมาณ 70 กรัมคือเชื้อเพลิง 1 ก้อน  
เพราะฉะนั้น ถ้าก้อนเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม จะเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 14 ก้อน  
ดังนั้น จะมีค่าใช้จ่าย 3.96 บาทต่อกิโลกรัม  
- คิดราคาขาย =  $(3.96 \text{ บาท/กิโลกรัม} \times 1.20) + 1 \text{ บาท} = 5.75 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$

## ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC

เงินลงทุน (บาท)		ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี (บาท)	
- เครื่องผสม	20,000	- ค่าวัตถุดิบ (แห้งน้ำมัน + ขนส่ง)	196,800
- ค่าเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิง	250,000	- ค่าแรงงาน	218,400
- เครื่องตัดย่อยพลาสติก	25,000	- ค่าซ่อมบำรุง	10,000
- เครื่องตัดย่อยทางปาล์ม	35,000	- ค่าเบ็ดเตล็ด	5,000
		- ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ	42,596
		<b>รวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี</b>	<b>472,796</b>
		<b>รายได้ต่อปี</b>	
		+ ผลิตก้อนเชื้อเพลิงได้ (กิโลกรัมต่อปี)	104,832
		+ ขายราคากิโลกรัมละ (บาท)	5.75
		+ รายได้จากการขายก้อนเชื้อเพลิง (บาท)	602,784
<b>เงินลงทุนสุทธิ (บาท)</b>	<b>330,000</b>	<b>รายได้สุทธิ (บาท)</b>	<b>129,988</b>

ระยะเวลาคืนทุน	=	เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี
	=	330,000 บาท/129,988 บาทต่อปี
	=	2.5 ปี

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า เงินลงทุนในการซื้อเครื่องจักรได้แก่ เครื่องผสมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 20,000 บาท เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 250,000 บาท เครื่องตัดย่อยพลาสติกเป็นเงิน 25,000 บาท เครื่องตัดย่อยทางปาล์มเป็นเงิน 35,000 บาท รวมเป็นเงินลงทุนสุทธิเท่ากับ 330,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีได้แก่ ค่าวัตถุดิบคือค่าเปลือกมันสำปะหลังรวมค่าขนส่ง 196,800 บาท ค่าแรงงาน 218,400 บาท ค่าซ่อมบำรุง 10,000 บาท ค่าเบ็ดเตล็ด 5,000 บาท และค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ 42,596 บาท รวมเป็นเงินค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีเท่ากับ 472,796 บาท ซึ่งมีรายได้ต่อปีในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 104,832 กิโลกรัมต่อปี ขายไปในราคากิโลกรัมละ 5.75 บาท ส่งผลให้มีรายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 602,784 บาท มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 3.96 บาทต่อกิโลกรัม ส่งผลให้มีรายได้สุทธิจากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง 129,988 บาท โดยทางเลือกที่ 2 ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A เสียค่าเหม้ามันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัสดุประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จึงส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และราคาขาย สูงกว่าทางเลือกที่ 1 โดยใช้ระยะเวลาคืนทุน 2.5 ปี

### ทางเลือกที่ 3 ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A

ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A มีส่วนผสมของขยะพลาสติกผสมทางปาล์มผสมเศษยางแท่ง ซึ่งใน 1 ก้อนหนัก 70 กรัม มีส่วนผสมของขยะพลาสติก 21.5 กรัมและทางปาล์ม 32 กรัม และเศษยางแท่ง 16 กรัม โดยมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ดังนี้

- 1) สั่งซื้อวัตถุดิบจากสงขลาไปยังหาดใหญ่ ระยะทางไปกลับประมาณ 80 กิโลเมตร โดยคิดราคาน้ำมัน 30 บาท/ลิตร รถกระบะใช้น้ำมัน 8.00 กิโลเมตร/ลิตร ราคาเศษยางแท่งประมาณ 1,000 บาท/ตัน
- 2) ค่าขนส่งในการสั่งซื้อเศษยางแท่งที่ จังหวัดสงขลา คิดเป็น 1,300 บาท/ตัน/รอบ ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เศษยางแท่ง 13 วัน/รอบ คิดเป็นเงิน 31,200 บาท/ปี โดยใน 1 วัน ใช้เศษยางแท่งไป 76.8 กิโลกรัม/วัน คิดเป็น 100 บาท/วัน
- 3) ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม  
1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง อัดแท่งก้อนเชื้อเพลิงได้ 4,800 ก้อน คิดเป็นเงิน 700 บาท  
เพราะฉะนั้น ก้อนเชื้อเพลิง 1 ก้อน ราคา 0.17 บาท  
ถ้าก้อนเชื้อเพลิงหนักประมาณ 70 กรัมคือเชื้อเพลิง 1 ก้อน  
เพราะฉะนั้น ถ้าก้อนเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม จะเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 14 ก้อน  
ดังนั้น จะมีค่าใช้จ่าย 2.38 บาทต่อกิโลกรัม  
- คิดราคาขาย = (2.38 บาท/กิโลกรัม × 1.45) + 1 บาท = 4.45 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR

เงินลงทุน (บาท)		ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี (บาท)	
- เครื่องผสม	20,000	- ค่าวัตถุดิบ (เศษยางแท่ง+ขนส่ง)	31,200
- ค่าเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิง	250,000	- ค่าแรงงาน	218,400
- เครื่องตัดย่อยพลาสติก	25,000	- ค่าซ่อมบำรุง	10,000
- เครื่องตัดย่อยทางปาล์ม	35,000	- ค่าเบ็ดเตล็ด	5,000
		- ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ	42,596
		<b>รวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี</b>	<b>307,196</b>
		<b>รายได้ต่อปี</b>	
		+ ผลิตก้อนเชื้อเพลิงได้ (กิโลกรัมต่อปี)	104,832
		+ ขายราคากิโลกรัมละ (บาท)	4.45
		+ รายได้จากการขายก้อนเชื้อเพลิง (บาท)	466,502
<b>เงินลงทุนสุทธิ (บาท)</b>	<b>330,000</b>	<b>รายได้สุทธิ (บาท)</b>	<b>159,306</b>

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี} \\
 &= 330,000 \text{ บาท} / 159,306 \text{ บาทต่อปี} \\
 &= 2.1 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า เงินลงทุนในการซื้อเครื่องจักรได้แก่ เครื่องผสมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 20,000 บาท เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเงิน 250,000 บาท เครื่องตัดย่อยพลาสติกเป็นเงิน 25,000 บาท เครื่องตัดย่อยทางปาล์มเป็นเงิน 35,000 บาท รวมเป็นเงินลงทุนสุทธิเท่ากับ 330,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีได้แก่ ค่าวัตถุดิบคือค่าเศษยางแท่งรวมกับค่าขนส่ง 31,200 บาท ค่าแรงงาน 218,400 บาท ค่าซ่อมบำรุง 10,000 บาท ค่าเบ็ดเตล็ด 5,000 บาท และค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ 42,596 บาท รวมเป็นเงินค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีเท่ากับ 307,196 บาท ซึ่งมีรายได้ต่อปีในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 104,832 กิโลกรัมต่อปี ขายไปในราคากิโลกรัมละ 4.45 บาท ส่งผลให้มีรายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 466,502 บาท มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2.38 บาทต่อกิโลกรัม ส่งผลให้มีรายได้สุทธิจากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง 159,306 บาท โดยทางเลือกที่ 3 ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A เสียค่าเศษยางแท่งที่ใช้เป็นวัสดุประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จึงส่งผลให้มีค่าดำเนินการในการขนส่งวัตถุดิบ จึงมีราคาขายสูงกว่าทางเลือกที่ 1 โดยใช้เวลาคืนทุน 2.1 ปี



**สรุป** จากการวิเคราะห์ทางเลือกทางเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 ทางเลือกจากชุดการทดลอง ทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ทางเลือกที่คุ้มทุนที่สุดและให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A ให้ระยะเวลาคืนทุนคือ 2.1 ปี มีราคาขายเท่ากับ 4.45 บาทต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A ให้ระยะเวลาคืนทุนคือ 2.5 ปี มีราคาขายเท่ากับ 5.75 บาทต่อกิโลกรัม และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A ให้ระยะเวลาคืนทุนคือ 2.7 ปี มีราคาขายเท่ากับ 3.80 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าในชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A ใช้ระยะเวลาในการคืนทุนนานที่สุด เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการหาวัสดุประสาน จึงทำให้มีค่ามีราคาขายเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อยที่สุด ส่งผลให้มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดด้วย หากพิจารณาค่าพลังงานความร้อนเป็นหลัก พบว่า ชุดการทดลองที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A ซึ่งให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงถ่านหินบิโทมินัส รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A และลำดับที่ 3 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A ดังนั้นหากเลือกค่าที่เหมาะสมจึงมีความเป็นไปได้ทั้ง 3 ทางเลือก

หากนำขยะพลาสติกอย่างเดียวมาเผาโดยตรงไม่มีการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง อาจส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้เผาภายในเตามีค่าความร้อนไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากความหนาแน่นของขยะพลาสติกที่ใส่เข้าไปมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดความดันตกคร่อมระหว่างการเผาไหม้ค่าความร้อนที่ได้จึงมีค่าความร้อนไม่สม่ำเสมอ และหากนำขยะพลาสติกอย่างเดียวมาทำการขึ้นรูปก็ไม่สามารถทำการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เนื่องจากความยืดหยุ่นของขยะพลาสติกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งขึ้นรูปได้ ต้องอาศัยวัสดุร่วมจึงสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมทางค่ากายภาพ ค่าเคมีจากการตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้น การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองจึงมีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน เนื่องจากผ่านเกณฑ์ทางด้านค่ากายภาพ เคมี และความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งก็น้อย ซึ่งส่งผลให้มีค่ามลพิษทางอากาศไม่เกินมาตรฐานตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชุดการทดลองจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และถือเป็นแหล่งเพิ่มพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ต่อไปในอนาคต

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

การนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบเชื้อเพลิงขยะโดยผสมร่วมกับวัสดุเหลือใช้ การศึกษาทางงานวิจัยเรื่องนี้ได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองคือ แสดงอัตราส่วนและสัญลักษณ์ (ตารางที่ 2.2) โดยทุกชุดการทดลองมีการขึ้นรูปด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยแรงกด 3 แรงกดอัดคือ 125, 100 และ 75 (MPa) จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ

1) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขยะพลาสติกที่ถูกรื้อร้อนจากหลุมฝังกลบและทางปาล์ม พบว่า มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยขยะพลาสติกให้ค่าความร้อนสูง ส่วนทางปาล์มก็มีความเหมาะสมในการนำมาผสมร่วมกับพลาสติก เนื่องจากสามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้และเกาะยึดกับพลาสติกได้ดี สามารถนำไปใช้ในเตาเผาได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม

2) การศึกษาอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากชุดการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า คุณสมบัติทุกด้านผ่านตามเกณฑ์ จึงพิจารณาในเรื่องค่าความร้อนเป็นหลัก โดยชุดการทดลองที่ให้ค่าความร้อนได้สูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A และลำดับที่ 3 คือ ชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC-A การทดสอบคุณสมบัติด้านการขนส่ง พบว่า แรงกดอัดทั้ง 3 แรงกดอัด มีความแตกต่างกันกันที่ชุดการทดลองที่ 1 PP ที่แรงกดอัด 125 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-D และที่แรงกดอัด 75 MPa ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-E มีความแตกต่างของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งรวมแบบจัดเรียงลบแบบสุ่มมากที่สุดถึง 16 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เพิ่มขึ้นจากแบบจัดเรียงเทียบกับแบบสุ่มถึง 38 เปอร์เซ็นต์ และหากคิดเทียบการขนส่งที่ขนาด  $1 \text{ m}^3$  ส่งผลให้มีความจุของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น 2 เท่า แต่ในชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ทั้ง 3 แรงกดอัดและในทุกอัตราส่วน และชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ทั้ง 3 แรงกดอัดและในทุกอัตราส่วน พบว่า แรงกดอัดมีผลต่อปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อย เมื่อคิดเทียบจากการขนส่งที่ขนาด  $1 \text{ m}^3$  พบว่า มีความแตกต่างกันน้อยเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบจัดเรียงลบแบบสุ่ม

3) ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปทางเลือกที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ 1 ค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR-A ซึ่งให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 2.38 บาทต่อกิโลกรัม มีระยะเวลาในการคืนทุน 2.1 ปี กรณีที่ 2 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์คือ ชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP-A มีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุดคือ 2.7 ปี แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุประสาน

4) จากผลการทดลองสามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ ทางปาล์ม, เหง้ามันสำปะหลัง และเศษยางแท่ง สามารถนำมาผสมร่วมกับขยะพลาสติกเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศ ทางสิ่งแวดล้อม และค่าความร้อนที่ได้ก็ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกผสมทางปาล์มทั้งที่มีวัสดุประสานและไม่มีวัสดุประสานสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พื้นที่หลุมฝังกลบจากการนำขยะมูลฝอยพลาสติกมาใช้ประโยชน์ร่วมกับทางปาล์ม ซึ่งอาจลดการใช้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลได้

## 4.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางเคมีควรทำการลดสัดส่วนน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจริงจากอัตราส่วนเริ่มต้นเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล
- 2) ควรศึกษาวิธีการเผาไหม้ก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งและวิธีการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่เหมาะสมก่อนการทำการเผาไหม้และควรเลือกเครื่องมือที่ทำการวัดองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- 3) ควรศึกษาปริมาณการปล่อยไดออกซินและฟูราน จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงพลาสติกอัดแท่งเพื่อให้มีการบำบัดก่อนการนำไปใช้ประโยชน์
- 4) ควรศึกษาการใช้ประโยชน์จากเถ้าหลังจากที่มีการเผาไหม้เสร็จสิ้นแล้วเพื่อลดปริมาณการกำจัด

## บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2556. ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะมูลฝอย. ม.ป.ท. [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/waste\\_rubbish.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_rubbish.htm) (สืบค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2556).

กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. เทคโนโลยีการผลิตถ่านสำหรับชนบท. ม.ป.ท.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. 2547. ตารางแสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบเผาไหม้. ม.ป.ท. [http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=search\\_result&m=AqtygQpBXbNw7vZJ&doc=uOGCF3qHlmfE7UW5](http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=search_result&m=AqtygQpBXbNw7vZJ&doc=uOGCF3qHlmfE7UW5) (สืบค้นเมื่อ 29 ธันวาคม 2552).

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. *ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2528. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการอุตสาหกรรมถ่านลิกไนต์ในประเทศไทย.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. 2552. การส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานจากขยะ. จุลสาร. หน้า 14-22.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2550. *วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดสยามสเตชันเนอรีซัพพลายส์.

ชนิดของก๊าซซิฟิเคชัน. 2553. ชนิดของก๊าซซิฟิเคชัน. ม.ป.ท. <http://www.energythai.com/2009/igcc-integrated-gasification-combined-cycle-> (สืบค้นเมื่อ 4 เมษายน 2553).

ค่าพลังงานความร้อน. 2552. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง. ม.ป.ท. [http://mte.kmutt.ac.th/mte\\_learning/Energy\\_Conservation\\_in\\_Industrial\\_Plant/table/table5.html](http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html) (สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2552).

- เชื้อเพลิงขยะ. 2552. หลักการของเชื้อเพลิงขยะ RDF. ม.ป.ท. [http://www.efc.or.th/home.php?ds=preview&back=search\\_result&mid=AqtygQpBXbNw7vZJ&doc=uOGCF3qHImfE7UW5](http://www.efc.or.th/home.php?ds=preview&back=search_result&mid=AqtygQpBXbNw7vZJ&doc=uOGCF3qHImfE7UW5) (สืบค้นเมื่อ 29 ธันวาคม 2552).
- ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา. 2546. การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนร่วมกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นคร ทิพย์วงศ์. 2553. *เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- บุญญา ชานนอก. 2550. การนำพลาสติกจากกองมูลฝอยกลางแจ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประทีป ปันท้วม. 2538. การศึกษาการนำขี้เลื่อยเหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ประริญา รำไพ. 2546. การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรีย์สารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พลังงานจากขยะ. 2552. พลังงานขยะ. ม.ป.ท. <http://www.rubbergreen.co.th/> บทความสีเขียว/ ปาฏิหาริย์พลังงานจากขยะ-ตอนที่1 html (สืบค้นเมื่อ 29 ธันวาคม 2552).
- พลาสติก. 2553. พลาสติกหมายถึง. ม.ป.ท. <http://www.sema.go.th/node/207> (สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2553)
- มลพิษจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยและการบำบัดก๊าซไอเสีย. 2553. มลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะ. ม.ป.ท. <http://fenergy.multiply.com/journal/item/4/4> (สืบค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2553)
- มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2549. *โครงการศึกษาวิจัยการจัดการมูลฝอยเทศบาลนครหาดใหญ่*. ม.ป.ท.

วิภาวรรณ แสงสง่า. 2544. การเปรียบเทียบการผลิตเซรามิกส์โดยใช้พลังงานความร้อนจากเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบ Updraft และ Downdraft และการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. 2549. *ชีวมวล*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด

สมรัฐ เกิดสุวรรณ. 2552. ปาฐกถารีย์พลังงานจากขยะตอน 1. *รู้ทันพลังงาน* ม.ป.ท. [http://www.thaienv.com/th/indexphp?option=com\\_content&task=view&id=870&Itemid=27](http://www.thaienv.com/th/indexphp?option=com_content&task=view&id=870&Itemid=27)(สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2552).

สำนักงานเลขาธิการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2539. *โครงการฉลากเขียว TGL-1-96 ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทำจากพลาสติกที่ใช้แล้ว*. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

สุกัญญา จันตพรพงษ์, และวราพันธ์ จินตณวิชญ์. 2548. *การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาอาหารสัตว์* ม.ป.ท. สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สุพจน์ เดชผล. 2546. การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขานอ้อย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุรียา ชัยเดชทยากุล. 2544. การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมของกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัย, สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก. 2549. สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

อรรถกร ฤกษ์วีรี. 2549. เชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อาราวดี เบ็ญจมาธารถ. 2546. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อริศรา ร่มเย็น. 2550. การประเมินทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการนำซากมูลฝอยเก่าจากบ่อฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลมาผลิตเป็นพลังงานมูลฝอยในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพัทลุง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น อุตสาหกรรมยางแห่งประเทศไทย. 2554. *หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมยางสาขา*. ม.ป.ท. กรมโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารเผยแพร่กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้. 2543. แท่งเชื้อเพลิงเขียวเพื่อทดแทนฟืน-ถ่าน กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.

Acomb, J.C., M.A. Nahil, and P.T. Williams. 2013. Thermal processing of plastics from waste electrical and electronic equipment for hydrogen production, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 103, 320-327.

Arena, U., and F. D. Gregorio. 2013. Element partitioning in combustion-and gasification-based waste-to-energy units. *Waste Management* 33: 1142-1150.

ASTM Standard D5231. 2003. Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Composition, Municipal solid Waste, Waste Characterization. ASTM International. doi: 10.15201/D5231-92R03, [www.astm.org](http://www.astm.org).

Belgiorno, V., G.D. Feo, C.D. Rocca, and R.M.A. Napoli. 2003. Energy from gasification of solid wastes. *Waste management*, 23, 1-15.

Borman, G.L., K. W. Ragland. 1998. Combustion engineering. McGraw-Hill, Singapore.

Bosmans, A., C.D. Dobbelaere, and L. Helsen. 2014. Pyrolysis characteristics of excavated waste material processed into refuse derived fuel, *Fuel*, 122, 198-205.

- Chiemchaisri, C., B. Charnnok, and C. Visvanathan. 2010. Recovery of plastic waste from dumpsite as refused-derived fuel and its utilization in small gasification system. *Journal of Bioresource Technology*,101, 1522-1527.
- Eriksson, S., and M. Prior. 1990. The briquetting of agricultural waste for fuel. Food and Agriculture of Organization of The United Nations, Rome.
- European commission-directorate general environment. 2003. REFUSE DERIVED FUEL, CURRENT PRACTICE AND PERSPECTIVES (B4-3040/2000/306517/MAR/E3): Quality standards for solid recovered fuels. 219.
- Jamradloedluk, J., and C. Lertsatithanakorn. 2014. Characterization and utilization of char derived from fast pyrolysis of plastic wastes, *Procedia Engineering*, 69, 1437-1442.
- Kaupp, A. and R.J. Coss. 1984. Small scale gas producer-engine system. Lengerich, Lengericher Handlesdruckerei.
- Kwak T.H., S. Maken, S. Lee, J.W. Park, B. Min, and Y.D. Yoo. 2006. Environmental aspects of gasification of Korean municipal solid waste in a pilot plant, *Fuel*, 85, 2012-2017.
- Kwon, E., K.J. Westby, and M.J. Castaldi. 2009. An investigation into the syngas production from municipal solid waste (MSW) gasification under various pressures and CO<sub>2</sub> concentration atmospheres, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Annual North American Waste-to-Energy Conference (NAWTEC17), May 18-20, 2009, Chantilly, Virginia, USA, 1-6.
- Ohlsson, O.O., D.K. Walters, and B.J. Goodman. 1991. An overview of RDF processing systems: current status, design feature trends, in: C. Saltiel (Ed.), *Refuse-Derived Fuel (RDF)-Quality, Standards and Processing*, FACT 13 American Society of Mechanical Engineerings,. NY, USA.
- Pinto, F., C. Franco, A.M. Miranda, I. Gulyurtlu, and I. Cabrita. 2002. Co-gasification study of biomass mixed with plastic waste. *Fuel* 81, 291-297.



- Pressley, P. N., T.N. Aziz, J.F. DeCarolis, M.A. Barlaz, F. He, F. Li, and A.Damgaard. 2014. Municipal solid waste conversion to transportation fuels: a life-cycle estimation of global warming potential and energy consumption. *Journal of Cleaner Production*. 70, 145-153.
- Quaak, P., H. Knoef, H. Stassen. 1999. Energy from biomass. World Bank technical paper no. 422. Energy series.
- Richard, S.R. 1989. Physical of Fuel Briquettes. *Fuel Processing Technology*. Vol.25, pp.89-100.
- Soil and Plant Analysis Council. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Method. CRC Press, Washington, Dc.
- Tchobanoglous, G., H. Hilary, and S. A. Vigil. 1993. *Integrated solid waste management: Engineering Principles and Management Issues*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Teerawattana R., U. Uyasatian, W. Nutmagul, and W. Sonchaem. 2012. Physical composition based model for higher heating value prediction of refuse-derived fuel, *KKU Science Journal*, 40(2), 612-621.
- Tillman, D.A. 1991. Combustion of solid fuels and waste. Academic Press, San Diego.
- Visvanathan C., T. Norbu, C. Chiemchaisri, and B. Charnnok. 2007. Applying mechanical pre-treatment and landfill mining approach in recovering refuse derived fuel (RDF) from dumpsite waste: Thailand case study, International Symposium MBT 2007, 385-396.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลการทดลอง





ตารางที่ ก. 3 ปริมาตรกล่องของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR แบบจัดเรียง

แรงกดอัด MPa	อัตราส่วน	ส่วนสูงของก้อนเชื้อเพลิง (cm)								ค่าเฉลี่ย ส่วนสูง	ปริมาตร กล่อง (cm <sup>3</sup> )	V.1 (cm <sup>3</sup> )	V.2 (cm <sup>3</sup> )	V.3 (cm <sup>3</sup> )	V.4 (cm <sup>3</sup> )	V.5 (cm <sup>3</sup> )	V.6 (cm <sup>3</sup> )	V.7 (cm <sup>3</sup> )	V.8 (cm <sup>3</sup> )	ปริมาตร RDF รวม (cm <sup>3</sup> )	Void space (cm <sup>3</sup> )	หมายเหตุ
		1	2	3	4	5	6	7	8													
125	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.4	7.5	6.5	7.0	7.1	7.3			7.13	1851.5	145	147	128	137	139	143			839.95	1011.55	**
	C	6.7	7.1	7.6	7.0	7.1	7.1			7.10	1851.5	131	139	149	137	139	139			836.03	1015.48	**
	D	6.9	6.6	6.7	7.1	7.4	7.2	6.9	7.0	6.98	1851.5	135	130	131	139	145	141	135	137	1095.08	756.43	*
	E	6.4	7.3	6.7	6.8	7.3	6.4	6.8	6.7	6.80	1851.5	126	143	131	133	143	126	133	131	1067.60	783.90	*
	F	6.6	6.6	6.6	6.7	7.1	7.0	6.7	6.8	6.76	1851.5	130	130	130	131	139	137	131	133	1061.71	789.79	*
	G	7.0	6.5	6.8	6.8	7.1	7.0	6.8	6.9	6.86	1851.5	137	128	133	133	139	137	133	135	1077.41	774.09	*
	H	6.8	6.4	6.7	5.5	7.0	6.5	6.4	6.5	6.48	1851.5	133	126	131	108	137	128	126	128	1016.58	834.93	*
100	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.1	7.4	7.3	7.0	7.6	6.7			7.18	1851.5	139	145	143	137	149	131			845.84	1005.66	**
	C	7.2	7.5	6.6	7.7	7.4	7.2			7.27	1851.5	141	147	130	151	145	141			855.65	995.85	**
	D	7.5	6.6	7.8	6.6	7.1	6.4			7.00	1851.5	147	130	153	130	139	126			824.25	1027.25	**
	E	7.0	7.7	7.0	7.3	6.6	6.8			7.07	1851.5	137	151	137	143	130	133			832.10	1019.40	*
	F	7.1	6.0	6.7	7.1	7.2	6.7	6.6	6.9	6.79	1851.5	139	118	131	139	141	131	130	135	1065.64	785.86	*
	G	6.7	6.7	7.1	7.0	6.6	6.8	6.7	6.6	6.78	1851.5	131	131	139	137	130	133	131	130	1063.68	787.83	*
	H	6.8	6.7	6.8	7.5	6.4	6.6	6.8	6.8	6.80	1851.5	133	131	133	147	126	130	133	133	1067.60	783.90	*
75	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.2			7.43	1851.5	145	145	147	147	149	141			875.28	976.23	**
	C	7.5	7.4	7.5	7.6	7.6	7.3			7.48	1851.5	147	145	147	149	149	143			881.16	970.34	**
	D	7.1	7.2	7.3	7.3	6.7	7.1			7.12	1851.5	139	141	143	143	131	139			837.99	1013.51	**
	E	7.0	7.3	7.0	7.1	6.8	7.2			7.07	1851.5	137	143	137	139	133	141			832.10	1019.40	*
	F	6.9	6.7	6.8	6.9	6.9	6.8	6.7	6.9	6.83	1851.5	135	131	133	135	135	133	131	135	1071.53	779.98	*
	G	6.7	7.1	7.4	6.6	6.9	6.5	6.8	6.9	6.86	1851.5	131	139	145	130	135	128	133	135	1077.41	774.09	*
	H	6.6	7.1	6.7	6.9	7.3	7.0	6.9	6.8	6.91	1851.5	130	139	131	135	143	137	135	133	1085.26	766.24	*

หมายเหตุ

- \*\*\* มีการแตกหักมาก ร่วน ไม่เหมาะที่จะใช้ในการขนส่ง
- \*\* มีการแตกหักบ้างเล็กน้อย แต่ยังคงเกาะเป็นก้อนอยู่
- \* สวย เกาะตัวเป็นก้อนดี







ตารางที่ ก. 6 ปริมาตรกล่องของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR แบบสุ่ม

แรงกดอัด MPa	อัตราส่วน	ส่วนสูงของก้อนเชื้อเพลิง (cm)								ค่าเฉลี่ย ส่วนสูง	ปริมาตร กล่อง	V.1 (cm <sup>3</sup> )	V.2 (cm <sup>3</sup> )	V.3 (cm <sup>3</sup> )	V.4 (cm <sup>3</sup> )	V.5 (cm <sup>3</sup> )	V.6 (cm <sup>3</sup> )	V.7 (cm <sup>3</sup> )	V.8 (cm <sup>3</sup> )	ปริมาตร RDF รวม (cm <sup>3</sup> )	Void space (cm <sup>3</sup> )	หมายเหตุ
		1	2	3	4	5	6	7	8													
125	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.4	7.5	6.5	7.0	7.1				7.10	1851.5	145	147	128	137	139				696.69	1154.81	**
	C	6.7	7.1	7.6	7.0	7.1				7.10	1851.5	131	139	149	137	139				696.69	1154.81	**
	D	6.9	6.6	6.7	7.1	7.4	7.2	6.9		6.97	1851.5	135	130	131	139	145	141	135		957.70	893.80	*
	E	6.4	7.3	6.7	6.8	7.3	6.4	6.8		6.81	1851.5	126	143	131	133	143	126	133		936.11	915.39	*
	F	6.6	6.6	6.6	6.7	7.1	7.0	6.7		6.76	1851.5	130	130	130	131	139	137	131		928.26	923.24	*
	G	7.0	6.5	6.8	6.8	7.1	7.0	6.8		6.86	1851.5	137	128	133	133	139	137	133		942.00	909.50	*
	H	6.8	6.4	6.7	5.5	7.0	6.5	6.4		6.47	1851.5	133	126	131	108	137	128	126		889.01	962.49	*
100	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.1	7.4	7.3	7.0	7.6				7.28	1851.5	139	145	143	137	149				714.35	1137.15	**
	C	7.2	7.5	6.6	7.7	7.4				7.28	1851.5	141	147	130	151	145				714.35	1137.15	**
	D	7.5	6.6	7.8	6.6	7.1				7.12	1851.5	147	130	153	130	139				698.65	1152.85	**
	E	7.0	7.7	7.0	7.3	6.6				7.12	1851.5	137	151	137	143	130				698.65	1152.85	*
	F	7.1	6.0	6.7	7.1	7.2	6.7	6.6		6.77	1851.5	139	118	131	139	141	131	130		930.23	921.28	*
	G	6.7	6.7	7.1	7.0	6.6	6.8	6.7		6.80	1851.5	131	131	139	137	130	133	131		934.15	917.35	*
	H	6.8	6.7	6.8	7.5	6.4	6.6	6.8		6.80	1851.5	133	131	133	147	126	130	133		934.15	917.35	*
75	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	
	B	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6				7.48	1851.5	145	145	147	147	149				733.98	1117.53	**
	C	7.5	7.4	7.5	7.6	7.6				7.52	1851.5	147	145	147	149	149				737.90	1113.60	**
	D	7.1	7.2	7.3	7.3	6.7				7.12	1851.5	139	141	143	143	131				698.65	1152.85	**
	E	7.0	7.3	7.0	7.1	6.8				7.04	1851.5	137	143	137	139	133				690.80	1160.70	*
	F	6.9	6.7	6.8	6.9	6.9	6.8	6.7		6.81	1851.5	135	131	133	135	135	133	131		936.11	915.39	*
	G	6.7	7.1	7.4	6.6	6.9	6.5	6.8		6.86	1851.5	131	139	145	130	135	128	133		942.00	909.50	*
	H	6.6	7.1	6.7	6.9	7.3	7.0	6.9		6.93	1851.5	130	139	131	135	143	137	135		951.81	899.69	*

หมายเหตุ

- \*\*\* มีการแตกหักมาก ร่วน ไม่เหมาะที่จะใช้ในการขนส่ง
- \*\* มีการแตกหักบ้างเล็กน้อย แต่ยังคงเกาะเป็นก้อนอยู่
- \* สวย เกาะตัวเป็นก้อนดี

ตารางที่ ก.7 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PP ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

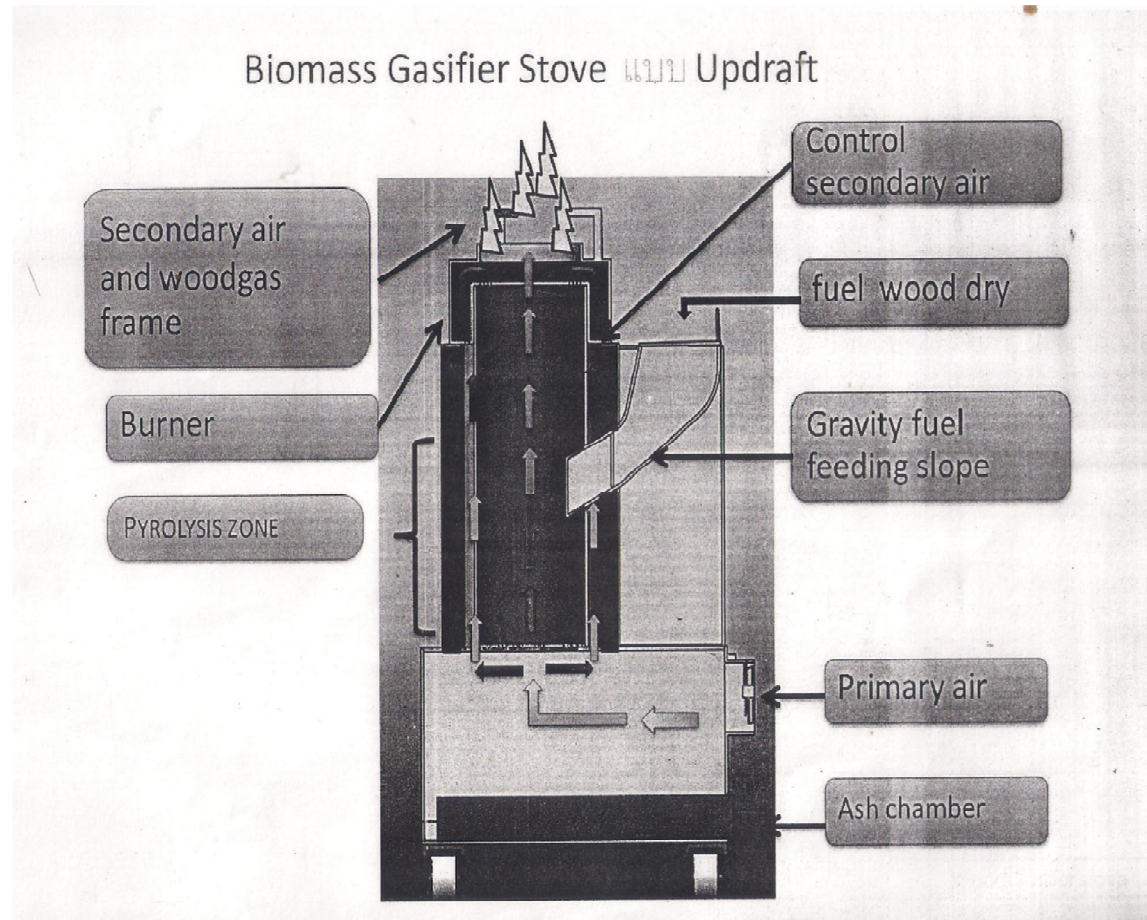
แรงกด (MPa)	อัตรา ส่วน	ปริมาตร 1 m <sup>3</sup>		% แตกต่าง	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	% พื้นที่ว่างเปล่า		จำนวนก้อน 1 m <sup>3</sup>		ความแตกต่าง (ก้อน)	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	น้ำหนัก (ตัน)		ความแตกต่าง น้ำหนัก (ตัน)
		จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	
125	A	0.47	0.39	7.84	20.22	53.36	61.21	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.44	0.44	0.00	0.00	55.69	55.69	3,241	3,241	0	0.00	0.23	0.23	0.00
	C	0.52	0.45	7.00	15.60	48.17	55.16	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	D	0.57	0.42	15.69	37.76	42.76	58.45	4,321	3,241	1,080	33.33	0.30	0.23	0.08
	E	0.57	0.50	7.31	14.71	42.97	50.29	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.56	0.49	7.31	15.07	44.14	51.45	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.56	0.49	7.00	14.41	44.46	51.45	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.54	0.47	6.68	14.16	46.15	52.83	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
100	A	0.45	0.37	8.16	21.94	54.63	62.80	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.46	0.46	0.00	0.00	54.42	54.42	3,241	3,241	0	0.00	0.23	0.23	0.00
	C	0.53	0.45	7.31	16.12	47.32	54.63	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	D	0.51	0.44	7.53	17.15	48.59	56.12	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	E	0.55	0.49	6.68	13.76	44.78	51.45	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.54	0.48	6.68	14.03	45.73	52.41	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.55	0.48	6.89	14.35	45.09	51.98	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.54	0.47	6.89	14.61	45.94	52.83	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
75	A	0.44	0.37	7.21	19.37	55.59	62.80	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.44	0.44	0.00	0.00	55.80	55.80	3,241	3,241	0	0.00	0.23	0.23	0.00
	C	0.49	0.43	6.57	15.46	50.92	57.50	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	D	0.49	0.43	6.89	16.21	50.61	57.50	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	E	0.56	0.42	14.73	35.37	43.61	58.34	4,321	3,241	1,080	33.33	0.30	0.23	0.08
	F	0.54	0.48	6.68	14.03	45.73	52.41	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.55	0.47	7.53	15.88	45.09	52.62	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.54	0.47	7.10	15.19	46.15	53.26	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04

ตารางที่ ก.8 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPC ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

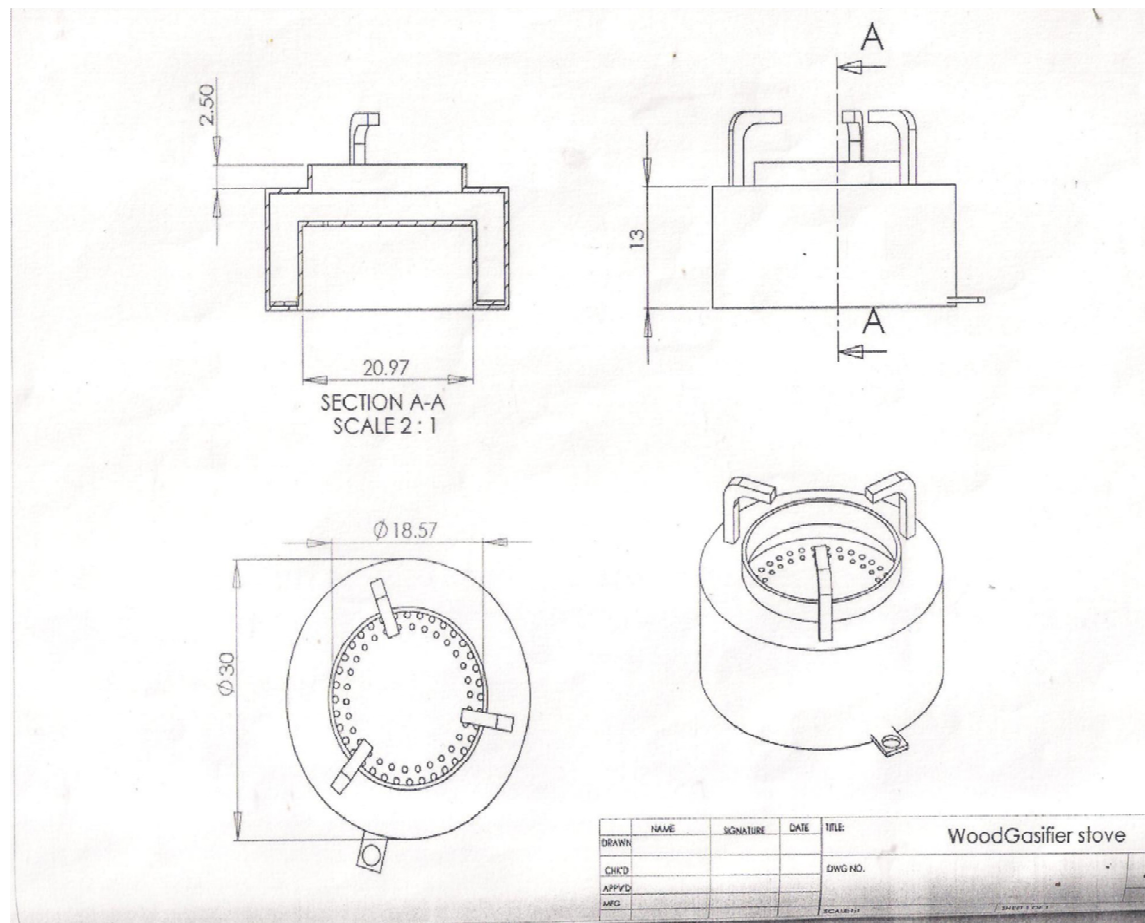
แรงกด (MPa)	อัตรา ส่วน	ปริมาตร 1 m <sup>3</sup>		% แตกต่าง	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	% พื้นที่ว่างเปล่า		จำนวนก้อน 1 m <sup>3</sup>		ความแตกต่าง (ก้อน)	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	น้ำหนัก (ตัน)		ความแตกต่าง น้ำหนัก (ตัน)
		จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	
125	A	0.45	0.37	7.42	19.83	55.16	62.58	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.43	0.36	7.10	19.53	56.54	63.64	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.57	0.50	6.89	13.83	43.29	50.18	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	D	0.56	0.49	7.00	14.16	43.61	50.61	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	E	0.55	0.48	6.89	14.41	45.31	52.20	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.53	0.47	6.47	13.83	46.79	53.26	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.52	0.46	6.04	13.19	48.17	54.21	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.52	0.45	6.78	15.09	48.27	55.06	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
100	A	0.45	0.37	7.95	21.31	54.74	62.69	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.45	0.38	7.42	19.55	54.63	62.05	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.58	0.50	7.42	14.77	42.34	49.76	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	D	0.56	0.49	6.89	13.98	43.82	50.71	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	E	0.55	0.48	7.00	14.70	45.41	52.41	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.53	0.46	6.68	14.42	47.00	53.68	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.53	0.47	5.83	12.39	47.11	52.94	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.52	0.46	6.68	14.62	47.64	54.32	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
75	A	0.46	0.38	7.84	20.79	54.42	62.27	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	B	0.44	0.37	6.89	18.41	55.69	62.58	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.45	0.37	7.63	20.69	55.48	63.11	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	D	0.51	0.43	7.21	16.63	49.44	56.65	3,781	3,241	540	16.67	0.26	0.23	0.04
	E	0.57	0.50	6.89	13.74	42.97	49.86	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.57	0.49	7.42	14.99	43.08	50.50	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.57	0.50	7.10	14.29	43.19	50.29	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.55	0.48	7.10	14.89	45.20	52.30	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04

ตารางที่ ก.9 การขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งชุดการทดลองที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง PPR ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

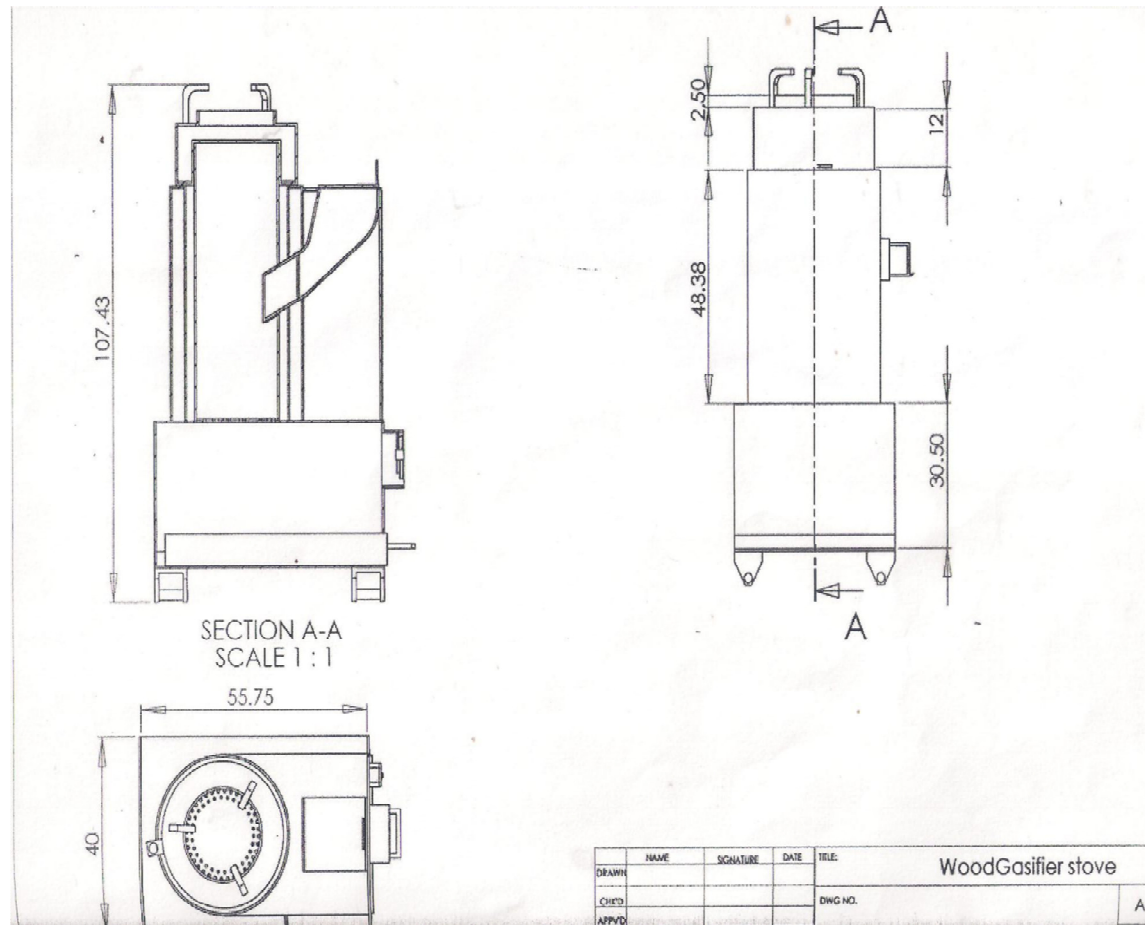
แรงกด (MPa)	อัตรา ส่วน	ปริมาตร 1 m <sup>3</sup>		% แตกต่าง	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	% พื้นที่ว่างเปล่า		จำนวนก้อน 1 m <sup>3</sup>		ความแตกต่าง (ก้อน)	% เพิ่มขึ้น เทียบแบบสุ่ม	น้ำหนัก (ตัน)		ความแตกต่าง น้ำหนัก (ตัน)
		จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	จัดเรียง	สุ่ม			จัดเรียง	สุ่ม	
125	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	0.45	0.38	7.74	20.56	54.63	62.37	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.45	0.38	7.53	20.00	54.85	62.37	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	D	0.59	0.52	7.42	14.34	40.85	48.27	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	E	0.58	0.51	7.10	14.05	42.34	49.44	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	F	0.57	0.50	7.21	14.38	42.66	49.86	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.58	0.51	7.31	14.38	41.81	49.12	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.55	0.48	6.89	14.35	45.09	51.98	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
100	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	0.46	0.39	7.10	18.41	54.32	61.42	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.46	0.39	7.63	19.78	53.79	61.42	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	D	0.45	0.38	6.78	17.98	55.48	62.27	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	E	0.45	0.38	7.21	19.10	55.06	62.27	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	F	0.58	0.50	7.31	14.56	42.44	49.76	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.57	0.50	7.00	13.87	42.55	49.55	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.58	0.50	7.21	14.29	42.34	49.55	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
75	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	0.47	0.40	7.63	19.25	52.73	60.36	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	C	0.48	0.40	7.74	19.41	52.41	60.15	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	D	0.45	0.38	7.53	19.94	54.74	62.27	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	E	0.45	0.37	7.63	20.45	55.06	62.69	3,241	2,701	540	20.00	0.23	0.19	0.04
	F	0.58	0.51	7.31	14.47	42.13	49.44	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	G	0.58	0.51	7.31	14.38	41.81	49.12	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04
	H	0.59	0.51	7.21	14.02	41.38	48.59	4,321	3,781	540	14.29	0.30	0.26	0.04



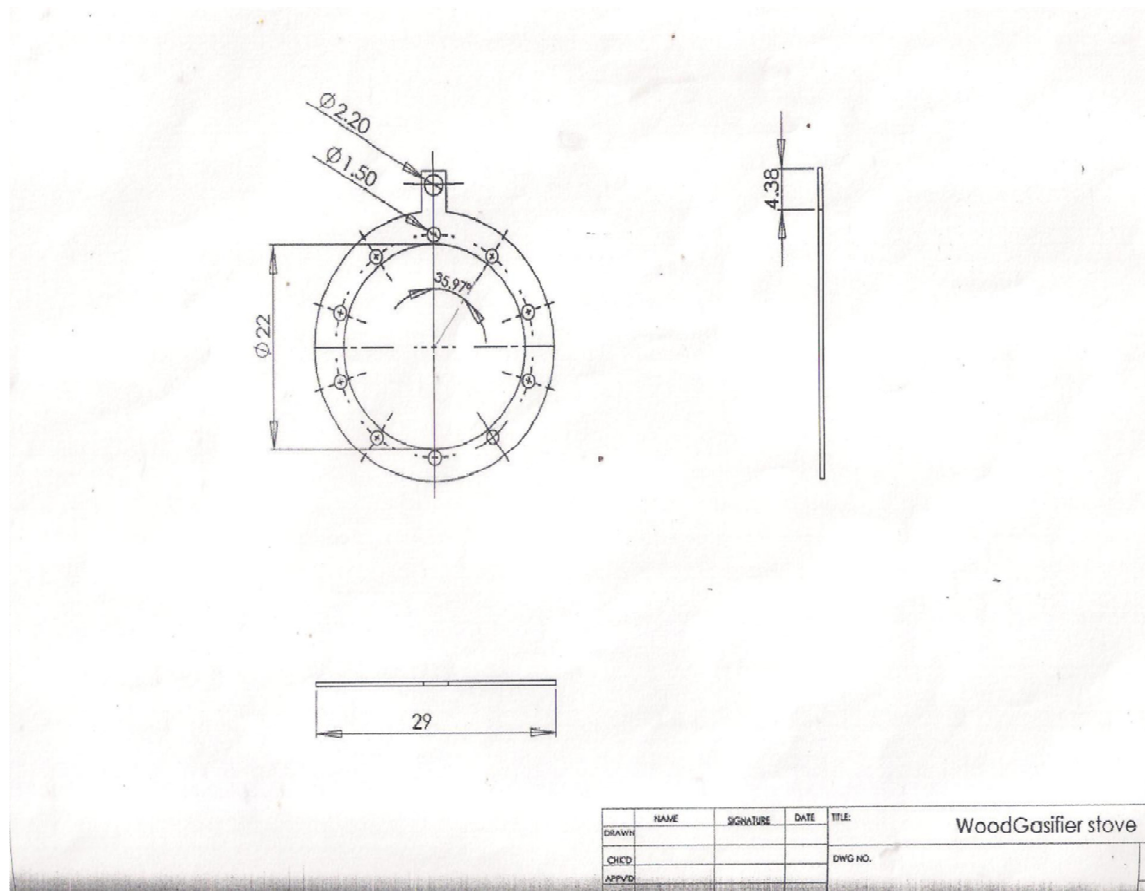
รูปที่ ก.1 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด



รูปที่ ก.2 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)

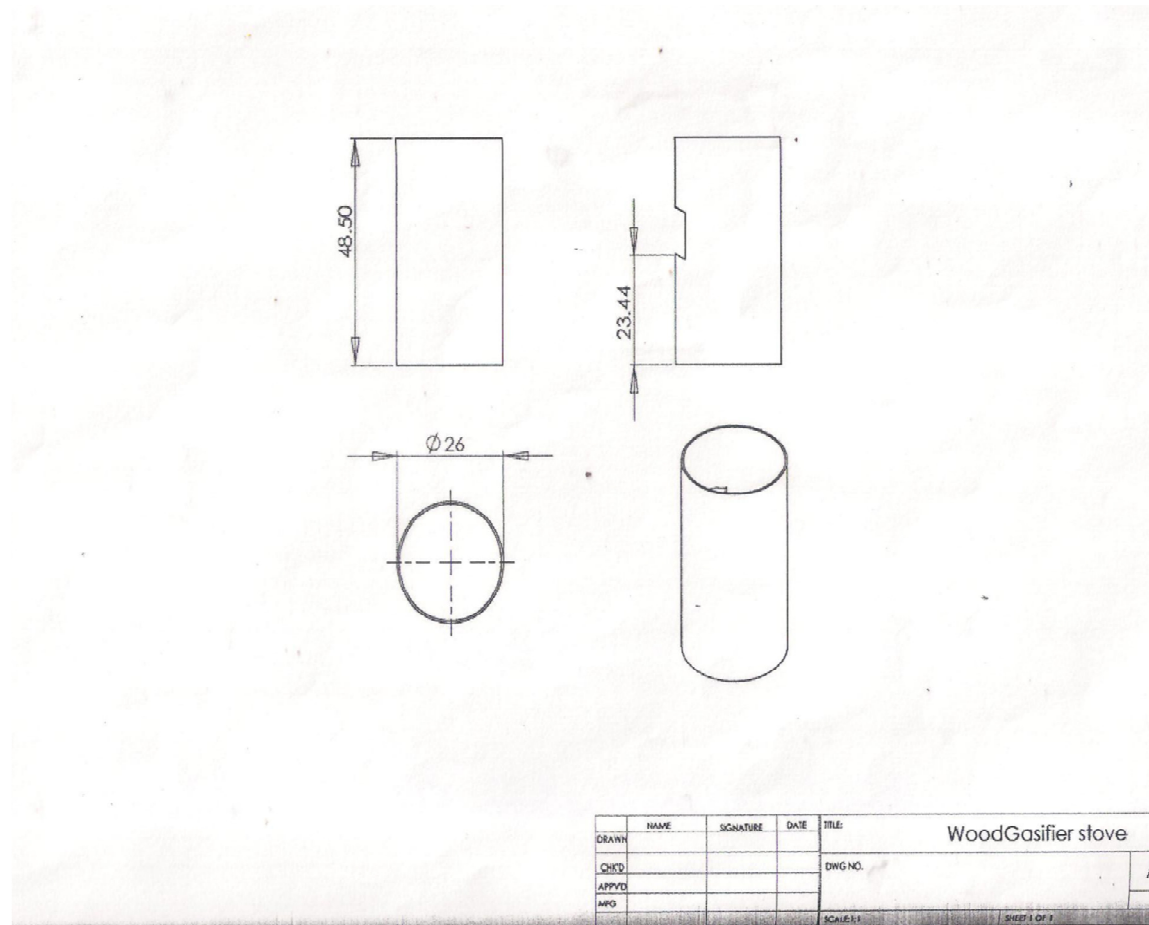


รูปที่ ก.3 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)

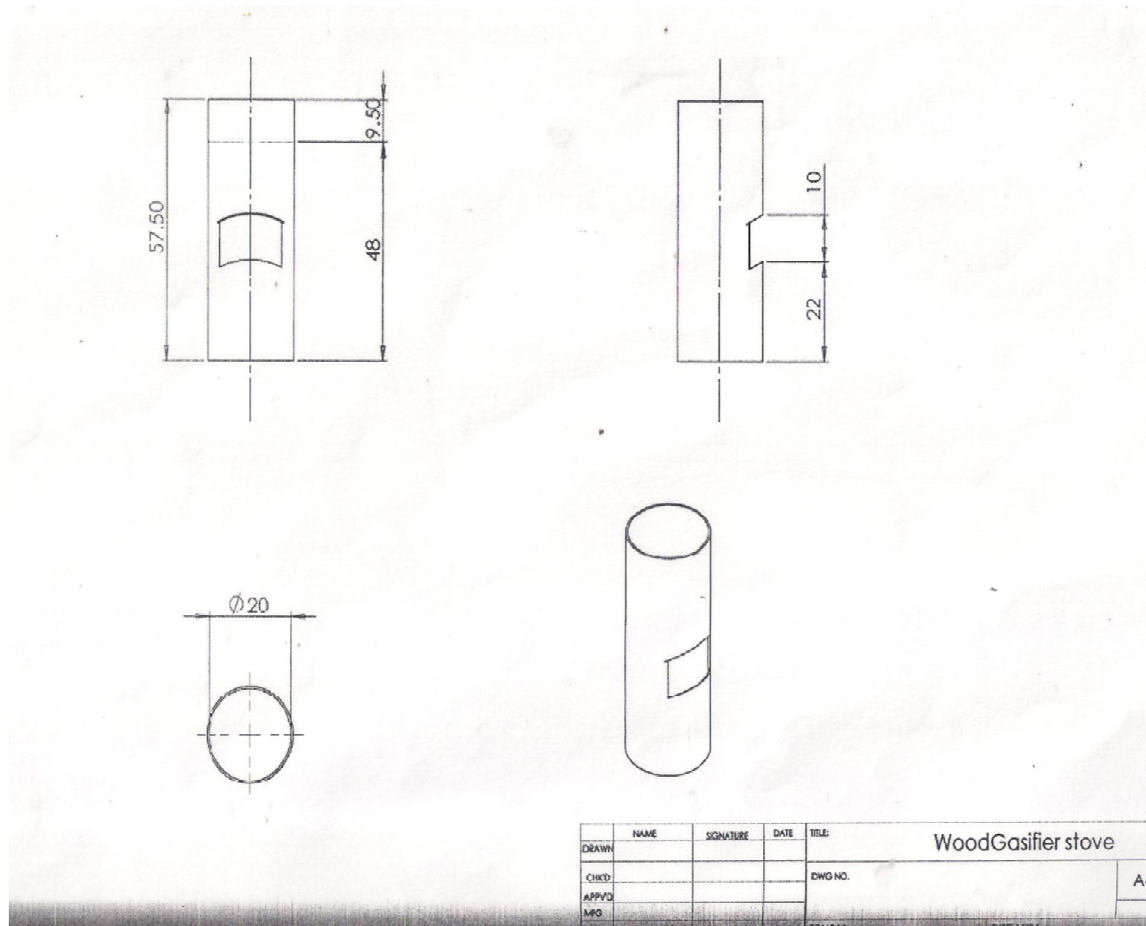


รูปที่ ก.4 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)

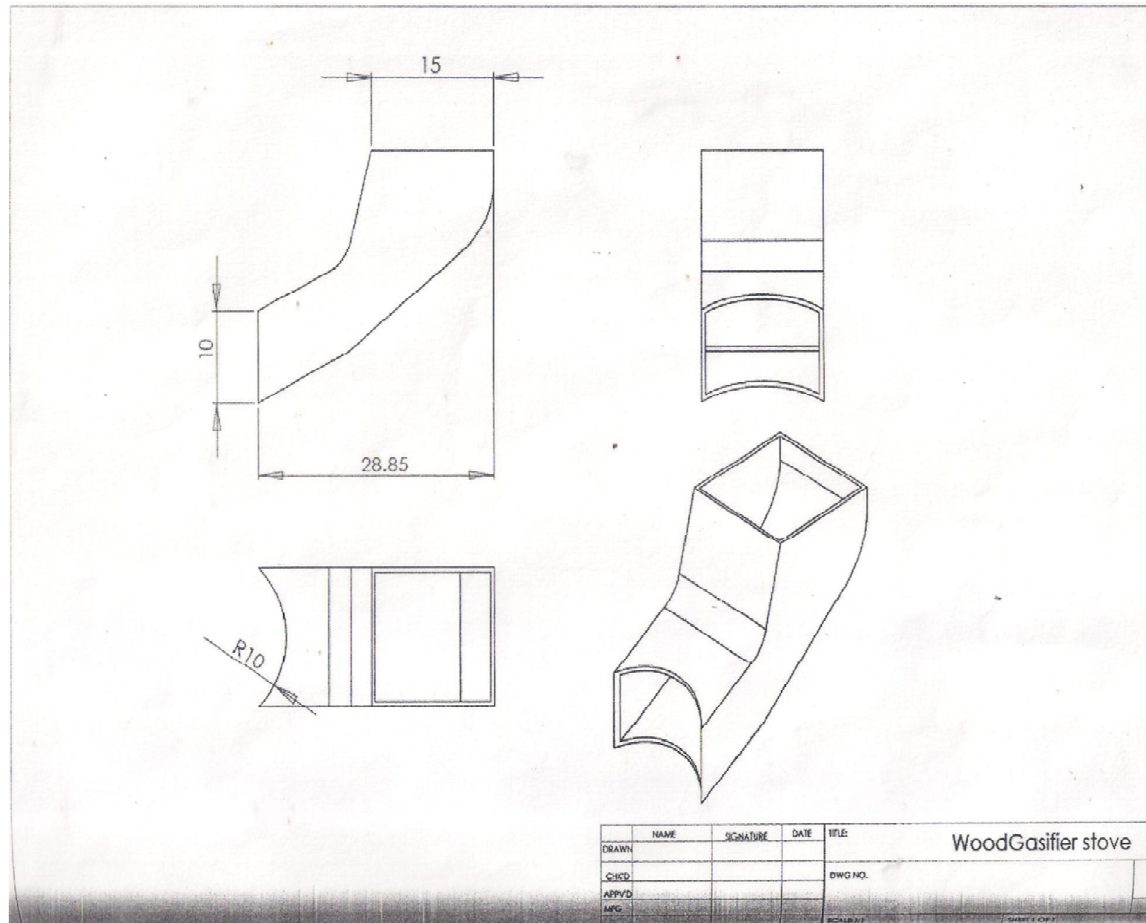




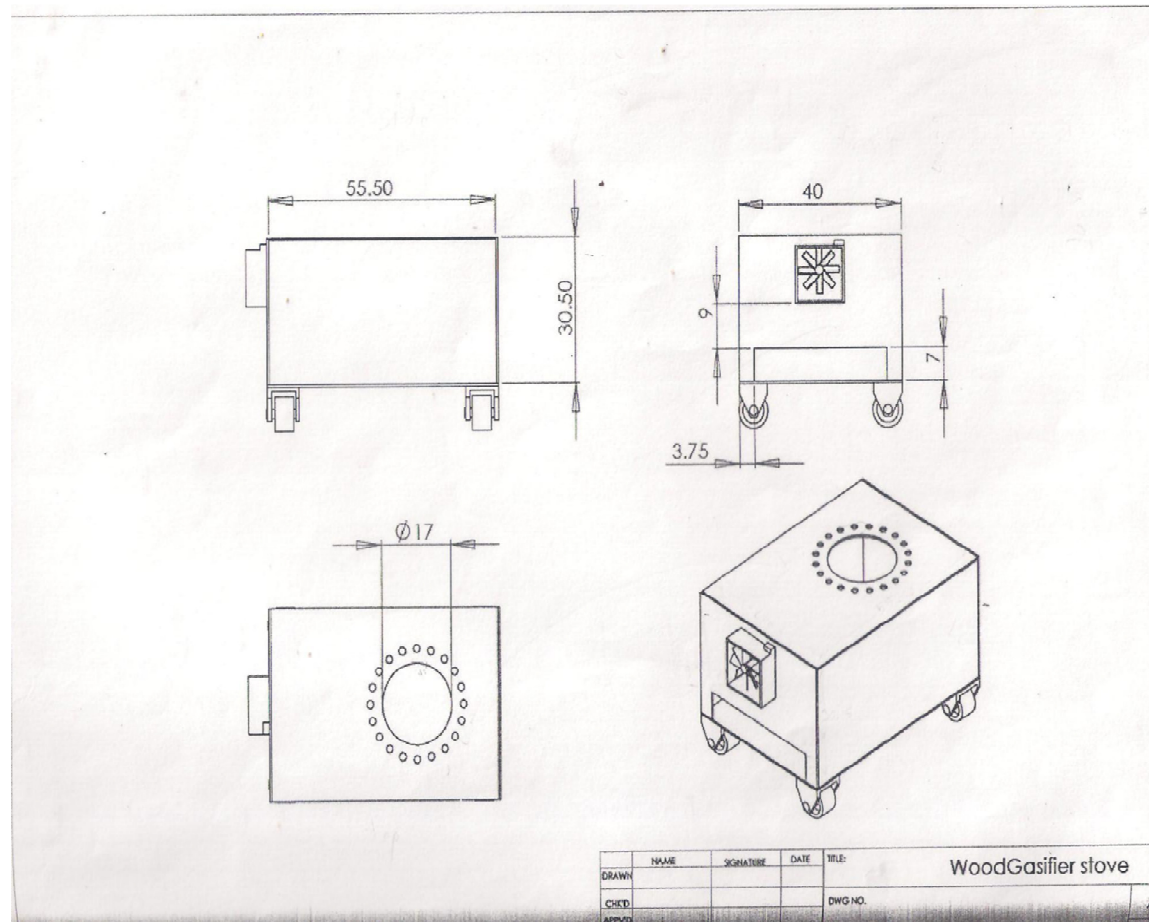
รูปที่ ก.5 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



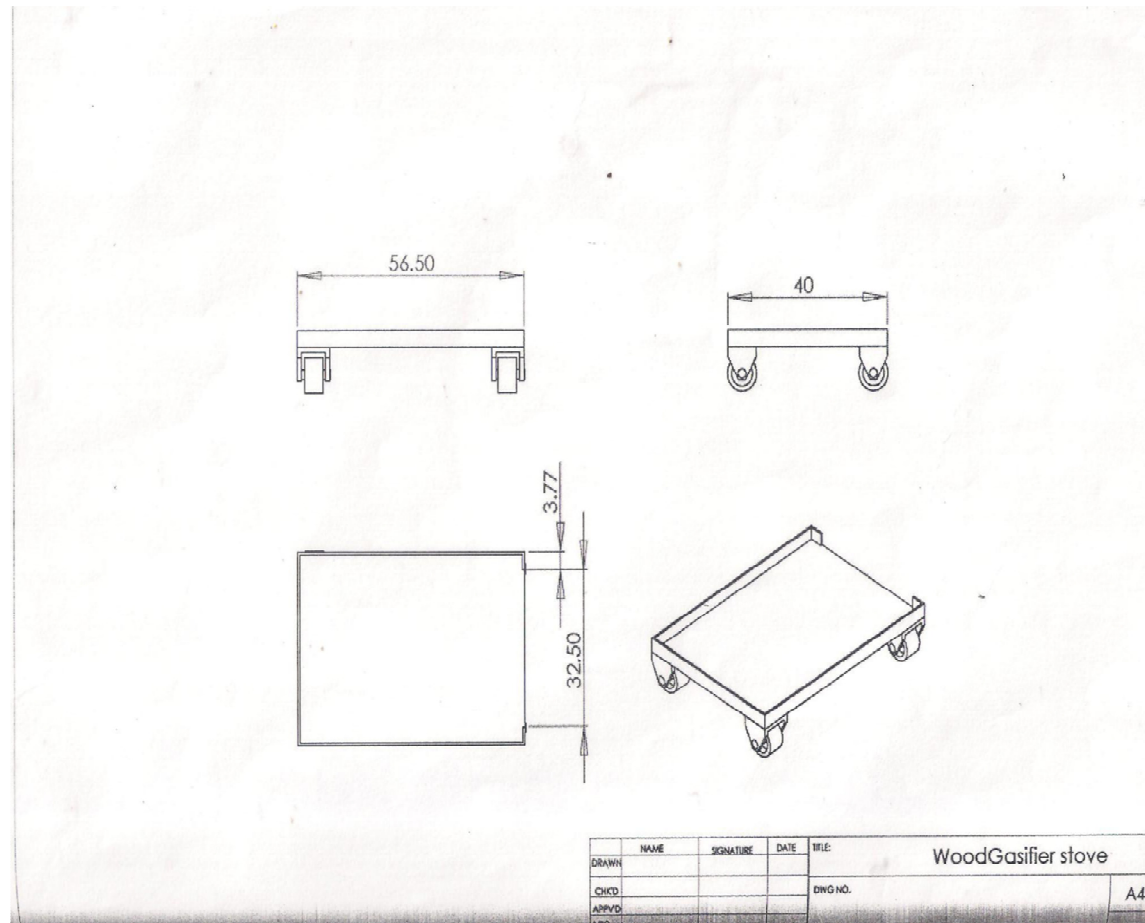
รูปที่ ก.6 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



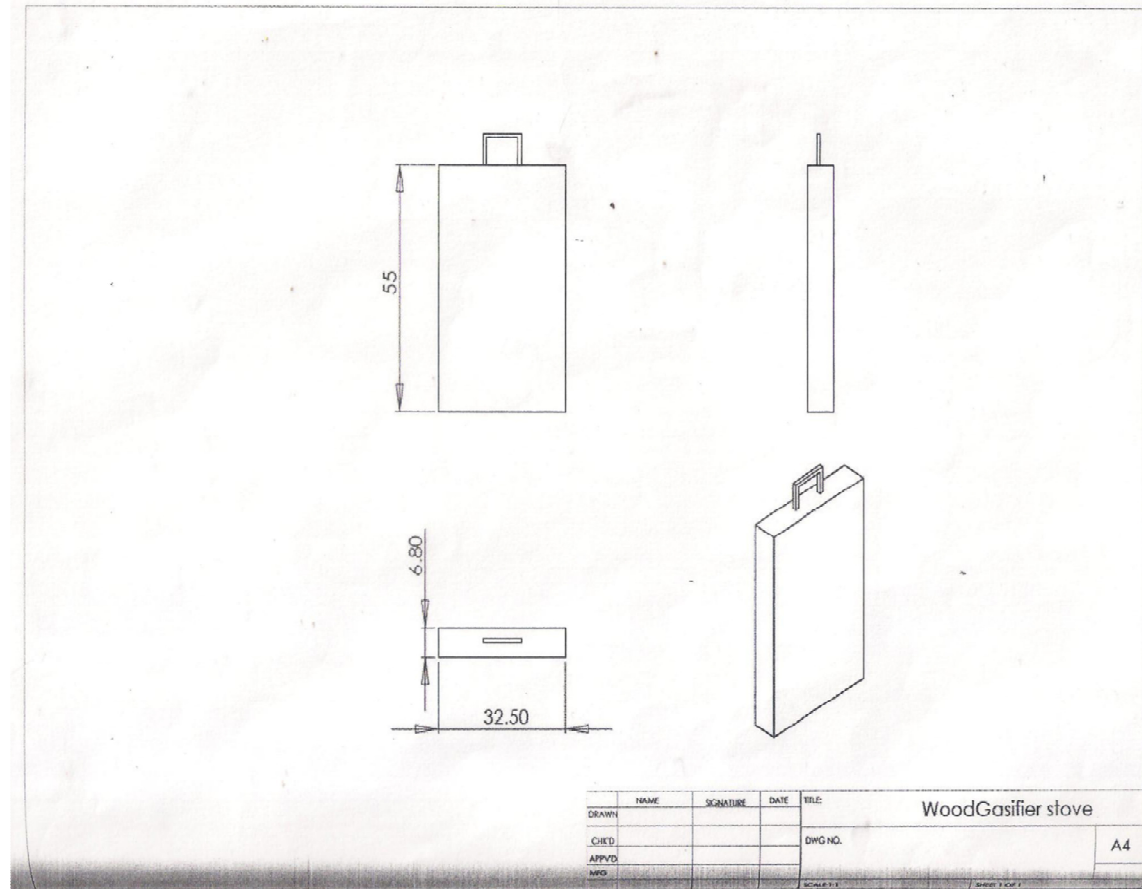
รูปที่ ก.7 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



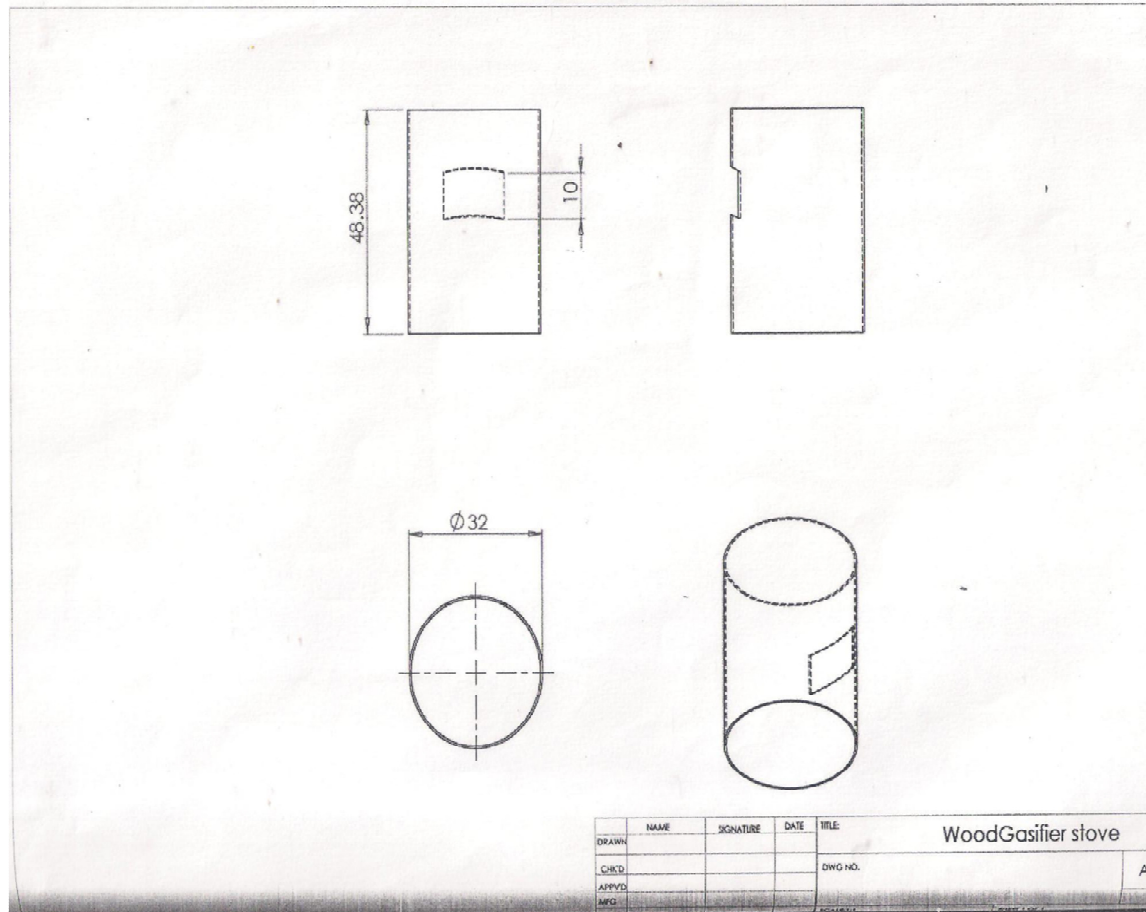
รูปที่ ก.8 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



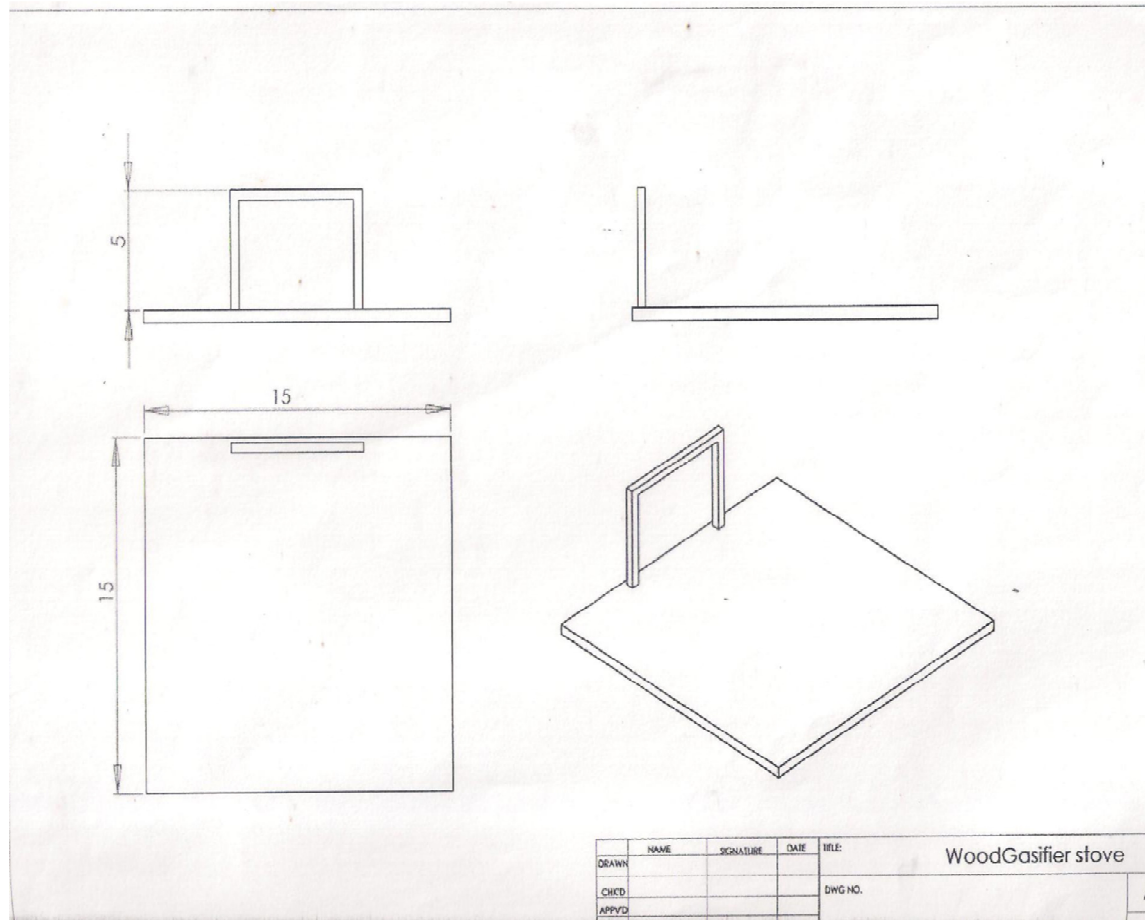
รูปที่ ก.9 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



รูปที่ ก.10 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)

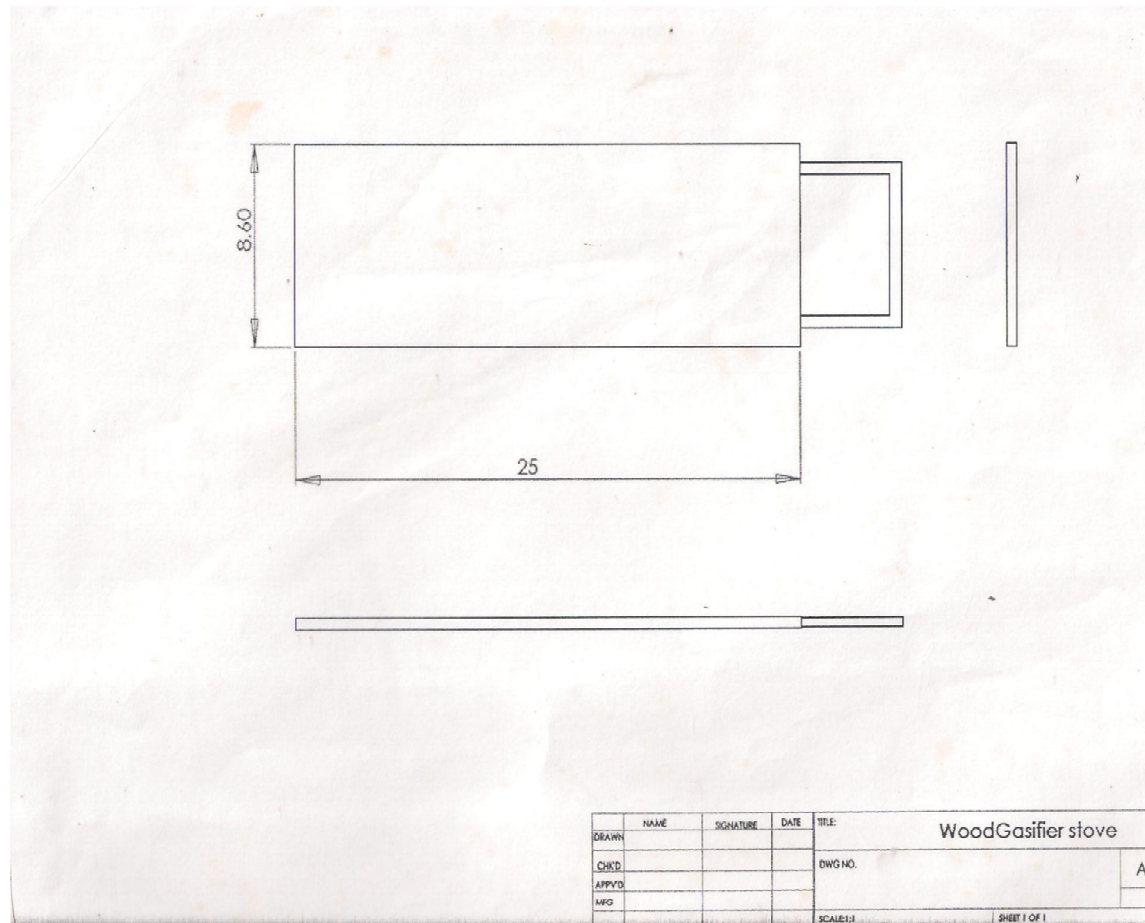


รูปที่ ก.11 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)



รูปที่ ก.12 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต่อ)





รูปที่ ก.13 การออกแบบเตาเผาพร้อมแผนภาพประกอบรายละเอียด (ต)



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110  
 Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University  
 Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 มังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 0064/54 หน้า 1/2

#### รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวจิราพร ชินดี  
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 0026/54

วันที่รับตัวอย่าง : 5 มกราคม 2554

วันที่ขอใช้บริการฯ : 5 มกราคม 2554

ผู้ทดสอบ : นางสาวทรงสุตา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ : 6 มกราคม 2554

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-CHNS-O-001

เครื่องมือทดสอบ : CE Instruments Flash 1112 Series EA CHNS-O Analyzer

เทคนิคการทดสอบ : Dynamic Flash Combustion

สภาวะการทดสอบ : Furnace temperature : 900 °C Oven temperature : 65 °C  
 Carrier flow : 130mL/min Reference flow : 100mL/min  
 Oxygen flow : 250mL/min

รายละเอียดตัวอย่าง : ขยะ จำนวน : 17 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
1	re (1:4.0:0.75) พ:ท:ป	0.91	49.85	6.88	0.13
2	re (1:4.5:0.75) พ:ท:ป	0.86	47.06	6.13	0.12
3	re (1:5.0:0.75) พ:ท:ป	0.80	46.26	6.06	0.13
4	พลาสติก	0.32	74.05	12.04	0.07
5	ทางปาล์ม	1.19	42.19	5.21	0.21
6	เปลือกมัน	0.82	38.12	5.18	0.12
7	เศษยางแท่ง	0.58	84.94	11.01	0.04
8	re (1:0.5:0.75) พ:ท:ศ	0.43	68.37	10.49	0.07
9	re (1:1.0:0.75) พ:ท:ศ	0.77	64.18	9.15	0.10
10	re (1:1.5:0.75) พ:ท:ศ	0.54	73.79	9.79	0.08

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
 ยกเว้นที่ทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110  
 Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University  
 Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 มีงับใช้ 20/10/53

เลขที่ 0063/54 หน้า 2/2

ผลการทดสอบ : (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
11	re (1:1.0:0.75) พ.ท.ป	0.76	64.92	9.95	0.11
12	re (1:1.5:0.75) พ.ท.ป	0.96	50.11	6.89	0.14
13	re (1:2.0:0.75) พ.ท.ป	0.62	58.79	8.66	0.10
14	re (1:2.5:0.75) พ.ท.ป	0.85	52.21	7.35	0.13
15	re (1:3.0:0.75) พ.ท.ป	1.18	49.99	6.94	0.17
16	re (1:3.5:0.75) พ.ท.ป	1.02	48.95	6.70	0.17

• ข้อมูลดิบถูกจัดเก็บในโฟลเดอร์ 3313-53

(นางรุสณี กุลวิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

7 มกราคม 2554

**หมายเหตุ** รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
 ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 0063/54 หน้า 1/2

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวจิราพร ยินดี  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 3313/53

วันที่รับตัวอย่าง : 30 ธันวาคม 2553

วันที่ขอใช้บริการฯ : 30 ธันวาคม 2553

ผู้ทดสอบ : นางสาวทรงสุภา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ : 6 มกราคม 2554

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-CHNS-O-001

เครื่องมือทดสอบ : CE Instruments Flash 1112 Series EA CHNS-O Analyzer

เทคนิคการทดสอบ : Dynamic Flash Combustion

สภาวะการทดสอบ : Furnace temperature : 900 °C Oven temperature : 65 °C  
Carrier flow : 130mL/min Reference flow : 100mL/min  
Oxygen flow : 250mL/min

รายละเอียดตัวอย่าง : ขยะผสมพลาสติก ทางปาล์มและเปลือกมัน จำนวน : 16 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
1	re (1:1.0) พ:ท	0.91	59.63	8.68	0.12
2	re (1:1.5) พ:ท	0.53	66.59	10.16	0.08
3	re (1:2.0) พ:ท	0.82	57.69	8.36	0.09
4	re (1:2.5) พ:ท	0.99	49.44	6.68	0.14
5	re (1:3.0) พ:ท	0.82	51.29	6.93	0.13
6	re (1:3.5) พ:ท	1.00	50.91	7.01	0.15
7	re (1:4.0) พ:ท	0.94	54.86	7.61	0.14
8	re (1:4.5) พ:ท	0.85	51.32	7.01	0.12
9	re (1:5.0) พ:ท	0.81	54.17	7.64	0.14
10	re (1:0.5:0.75) พ:ท:ป	0.53	59.58	8.90	0.10

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 0063/54 หน้า 1/2

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวจิราพร ยินดี  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 3313/53

วันที่รับตัวอย่าง : 30 ธันวาคม 2553

วันที่ขอใช้บริการฯ : 30 ธันวาคม 2553

ผู้ทดสอบ : นางสาวทรงสุภา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ : 6 มกราคม 2554

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-CHNS-O-001

เครื่องมือทดสอบ : CE Instruments Flash 1112 Series EA CHNS-O Analyzer

เทคนิคการทดสอบ : Dynamic Flash Combustion

สภาวะการทดสอบ : Furnace temperature : 900 °C Oven temperature : 65 °C  
Carrier flow : 130mL/min Reference flow : 100mL/min  
Oxygen flow : 250mL/min

รายละเอียดตัวอย่าง : ขยะผสมพลาสติก ทางปาล์มและเปลือกมัน จำนวน : 16 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
1	re (1:1.0) พ:ท	0.91	59.63	8.68	0.12
2	re (1:1.5) พ:ท	0.53	66.59	10.16	0.08
3	re (1:2.0) พ:ท	0.82	57.69	8.36	0.09
4	re (1:2.5) พ:ท	0.99	49.44	6.68	0.14
5	re (1:3.0) พ:ท	0.82	51.29	6.93	0.13
6	re (1:3.5) พ:ท	1.00	50.91	7.01	0.15
7	re (1:4.0) พ:ท	0.94	54.86	7.61	0.14
8	re (1:4.5) พ:ท	0.85	51.32	7.01	0.12
9	re (1:5.0) พ:ท	0.81	54.17	7.64	0.14
10	re (1:0.5:0.75) พ:ท:ป	0.53	59.58	8.90	0.10

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
ชกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110  
 Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University  
 Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 0006/54 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวจิราพร ยินดี  
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการ : 3277/53

วันที่รับตัวอย่าง : 28 ธันวาคม 2553

วันที่ขอใช้บริการ : 28 ธันวาคม 2553

ผู้ทดสอบ : นางสาวทรงสุตา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ : 28 ธันวาคม 2553

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-CHNS-O-001

เครื่องมือทดสอบ : CE Instruments Flash 1112 Series EA CHNS-O Analyzer

เทคนิคการทดสอบ : Dynamic Flash Combustion

สภาวะการทดสอบ : Furnace temperature : 900 °C Oven temperature : 65 °C  
 Carrier flow : 130mL/min Reference flow : 100mL/min  
 Oxygen flow : 250mL/min

รายละเอียดตัวอย่าง : ชยะ จำนวน : 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
1	re 1:0.5 (ช.ท)	0.42	65.26	10.66	น้อยกว่า 0.01

- ข้อมูลดิบถูกจัดเก็บในไฟล์เตอร์ 3277-53
- 1.OQ เท่ากับขีดจำกัดต่ำสุดของการทดสอบเชิงปริมาณเท่ากับ 0.01%

(นางรุสณี กุลวิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

๕ มกราคม 2554

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
 ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110  
 Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University  
 Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 มังคัลป์ใช้ 20/10/53

เลขที่ 0064/54 หน้า 2/2

ผลการทดสอบ : (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	% ธาตุ			
		ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน
11	re (1:2.0:0.75) พ:ท:ศ	1.07	51.78	6.97	0.16
12	re (1:2.5:0.75) พ:ท:ศ	0.57	71.15	9.41	0.09
13	re (1:3.0:0.75) พ:ท:ศ	1.02	49.17	6.45	0.14
14	re (1:3.5:0.75) พ:ท:ศ	0.97	49.46	6.53	0.13
15	re (1:4.0:0.75) พ:ท:ศ	0.71	48.99	6.26	0.11
16	re (1:4.5:0.75) พ:ท:ศ	0.96	47.85	6.13	0.13
17	re (1:5.0:0.75) พ:ท:ศ	0.91	50.24	6.56	0.13

• ข้อมูลดิบถูกจัดเก็บในโฟลเดอร์ 0026-54

(นางรุสนี กุลวิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

7 มกราคม 2554

**หมายเหตุ** รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน  
 ยกเว้นที่ทั้งฉบับ โดสไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



Difference for greater value

SV SBU

## Test Gas Report 55090104

Instrument Model : Testo 350M/XL

Instrument Serial No : 01418229/709

Customer Name : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

Test date : 7/2/2012

Standard	Reference No.	Standard Value	Reading	Error	Tolerance
Oxygen (O2)	4316/10	2.48 %Vol	2.54%Vol	+0.1%Vol	±0.21 %Vol
Carbon Monoxide (CO)	1065/10	999 ppm	998 ppm	-1 ppm	±50.90 ppm
Nitrogen Dioxide (NO2)	0899/10	76.9 ppm	77.3 ppm	+0.4 ppm	±4.8 ppm
Nitric Oxide (NO)	1869/11	146 ppm	145 ppm	-1 ppm	±8.25 ppm
Sulfur Dioxide (SO2)	1869/11	103 ppm	103 ppm	0 ppm	±6.15 ppm
Carbon Dioxide (CO2i)	0080/09	35.0 %Vol	35.3%Vol	+0.3 %Vol	± 1.3%Vol

*[Signature]*  
Service Engineer

7.1.2.12555

*[Signature]*  
Service Engineer

7.1.2.12555

**Entech Associate Co.,Ltd.**



17/121 Chinnaket 2/46, Ngamwongwan Rd., Toongsoonghong, Laksi, Bangkok 10210 THAILAND Tel 0-2831-6666 Fax 0-2831-6666 sv@entech.co.th

[www.entech.co.th](http://www.entech.co.th)



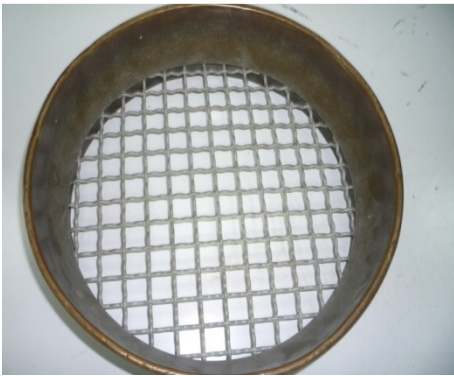
ภาคผนวก ข  
อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(ก) เวอร์เนีย, (ข) ตาชั่ง, (ค) ตะแกรงร่อนขนาด 20 เซนติเมตร และ (ง) การวัดผลิตภัณฑ์ก๊าซ