บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 สมบัติเบื้องต้นและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ทำการทดลองผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 โดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบอัดเย็นที่อัตราส่วนระหว่าง พลาสติก (P) กระดาษ (Pa) และชีวมวล (B) 3 อัตราส่วนคือ 1:1:1, 1:1:2 และ 1:1:3 และใช้ CaO ในสัดส่วน 10% โดยน้ำหนักของวัสดุรวมเป็นตัวประสาน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเพิ่มส่วนของชีวมวลได้มากขึ้น ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เนื่องด้วยความหนาแน่นของชีวมลมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมชนิดอื่น ซึ่งเมื่อเพิ่มสัดส่วนของชีวมวลในแท่งเชื้อเพลิงสัดส่วนของส่วนผสมอื่นๆ ก็จะลดลง โดยความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วง 1,372.1-1,438.57 kg/m^3 และเมื่อทดสอบสภาพการดูดซึมน้ำพบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของชีวมวลมากมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของชีวมวลน้อยกว่า ซึ่งหมายถึงการจัดเก็บแท่งเชื้อเพลิงที่มีส่วนของชีวมวลมากต้องระวังเรื่องของความชื้นที่จะเกิดขึ้นในตัวเชื้อเพลิง ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแท่งเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบมีค่าระหว่าง 12.63-19.29% โดยมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ทำการพิจารณาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ที่สภาพอากาศปรกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.457-0.837 kg/hr ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะมีค่าน้อยลงเมื่อสัดส่วนของชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ไม่มีค่าที่แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าระหว่าง 22.44-25.51% โดยมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 สมบัติเบื้องต้นและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ชนิด		RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	RDF-5-3 (1:1:3, 10%)
อัตราส่วนผสม	P	1	1	1
	Pa	1	1	1
	B	1	2	3
	CaO (%)	10	10	10
ความหนาแน่น (kg/m^3)		1,438.57±53.01	1,410.18±62.19	1,372.12±100.50
ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)		12.63±2.52	17.41±2.88	19.29±1.92
อัตราการเผาไหม้ ณ อากาศปรกติ (kg/hr)		0.837±0.042	0.651±0.023	0.457±0.033
อัตราการเกิดเถ้า ที่การเผาไหม้ ณ อากาศปรกติ (%)		23.70±0.69	25.51±0.78	22.44±0.62

หมายเหตุ ทดสอบ ณ โรงปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาเกษตรและอุตสาหกรรมชุมชน ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ลักษณะเปลวไฟ

ลักษณะเถ้า

รูปที่ 4.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ที่ สภาพอากาศปรกติ

4.2 สมบัติของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ทำการทดสอบองค์ประกอบของธาตุ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 โดยวิธีการ WI-RES-CHNS-O-001 โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบคือ CHNS-O Analysis, CE Instrument Flash EA 112 Series, Thermo Quest, Italy ซึ่งใช้เทคนิค Dynamic Flash Combustion ในการทดสอบ (ทั้งนี้สภาวะในการทดสอบแสดงดังเอกสารในภาคผนวก) ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 มี คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สูงที่สุดโดยมีค่าสูงกว่า 45% ในทุกอัตราส่วนผสม และรองลงมาเป็น ออกซิเจน ในอัตราส่วนประมาณ 19-24% และมี ไฮโดรเจน ในอัตราส่วน 7-9% ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังนั้นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ทั้ง 3 ส่วนผสมสามารถนำไปผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้ ซึ่งมีปริมาณที่สอดคล้องกับปฏิกิริยาของการผลิตแก๊ส ดังแสดงในชุดสมการด้านล่าง

Combustion หรือ Oxidation Zone (1,000-1,500 $^{\circ}$C)

$C+O_2 \rightarrow CO_2$

$2H_2+O_2 \rightarrow 2H_2O$

Heat source

Reduction Zone

$C+CO_2 \rightarrow 2CO$

$C+H_20 \rightarrow CO+H_2$ (Boundary Reduction) 900 $^{\circ}$C

$C+2H_2O \rightarrow CO_2+2H_2$ (Water gas Reduction) 500-600 $^{\circ}$C

$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$

$C+2H_2 \rightarrow CH_4$ (Methane Production)

Pyrolysis หรือ Distillation Zone (200-500 °C)

Dry Biomass+Heat → Charcoal+CO+CO_2+ H_2O +CH_4

C_2H_6+ Pyroligneous Acid+Tar

Drying Zone (100-200 °C)

ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น เป็นการระเหยของน้ำออกจากเชื้อเพลิง

ทั้งนี้ตัวอย่าง RDF-5-1 (1:1:1, 10%) พบว่ามี ซัลเฟอร์ เป็นส่วนประกอบในปริมาณ 2.94±0.004% และพบ ไนโตรเจนใน RDF-5-3 (1:1:3, 10%) ในปริมาณ 0.22±0.001% ดังนั้นต้องมีระบบบำบัดเพิ่มเติมและต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิด SO_x และ NO_x ซึ่งเป็นแก๊สที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

สำหรับค่าความร้อนพบว่า เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ทั้ง 3 ส่วนผสมมีค่าความร้อนสูงกว่า 5,000 cal/g ซึ่งผ่านมาตรฐานค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (มผช.238/2547) ทั้งนี้ RDF-5-1 (1:1:1, 10%) มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 7,230.38±5.26 cal./g (N.H.V) รองลงมาเป็น RDF-5-2 (1:1:2, 10%) และ RDF-5-3 (1:1:3, 10%) โดยมีค่า 6,666.92±30.80 และ 5,925.79±19.44 cal./g (N.H.V) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ชนิด	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 (% ธาตุ)				
	N	C	H	S	O
RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	ไม่พบ	54.97±0.07	9.05±0.02	2.94±0.004	19.23±0.11
RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	ไม่พบ	50.41±0.01	8.66±0.11	ไม่พบ	21.64±0.01
RDF-5-3 (1:1:3, 10%)	0.22±0.001	46.08±0.05	7.34±0.07	ไม่พบ	23.64±0.22

หมายเหตุ ทดสอบ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ชนิด	ค่าความร้อน (cal./g)	
	G.H.V	N.H.V
RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	7,694.74±5.80	7,230.38±5.26
RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	7,111.02±36.34	6,666.92±30.80
RDF-5-3 (1:1:3, 10%)	6,302.23±23.19	5,925.79±19.44

หมายเหตุ G.H.V ; Gross Heating Value

N.H.V ; Net Heating Value

ทดสอบ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผลการทดสอบองค์ประกอบทางกายภาพของเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ตามวิธีการทดสอบ WI-RES-TGA-001 โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่าความชื้น (Moisture, M) ของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีส่วนผสมของชีวมวลสูงขึ้น เนื่องจากความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นมาจากชีวมวลเป็นหลัก ซึ่งกระดาษและพลาสติกที่นำมาใช้ได้เป็นกระดาษและพลาสติกที่แห้ง ด้านปริมาณสารระเหย (Volatile Matter, V) ซึ่งมีมากในวัสดุประเภทพลาสติกก็ส่งผลให้ RDF-5-1 มากที่สุดเนื่องจากมีสัดส่วนของพลาสติกมากกว่าส่วนผสมอื่นๆ สำหรับค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) พบว่าเมื่อปริมาณชองชีวมลเพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจาก คาร์บอนเป็นส่วนผสมหลักในชีวมวล ส่วนปริมาณเถ้า (Ash, A) พบว่าเถ้าที่เกิดเป็นเถ้าจากพลาสติกดังนั้น RDF-5-1 จึงมีค่าของเถ้าสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่ติดไฟได้ (Combustible) ที่ประกอบด้วยปริมาณสารระเหย และคาร์บอนคงตัว พบว่า RDF-5-1 มีค่าสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 89.317% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ค่า ความชื้น ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า องค์ประกอบที่ติดไฟได้ และองค์ประกอบที่ติดไฟไม่ได้ (Non-Combustible) ซึ่งคือ ปริมาณเถ้าและความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ชนิด	%(Weight)				%(Weight)	
	M	V	FC	A	Combustible	Non-Combustible
RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	1.786	82.870	6.447	8.897	89.317	10.683
RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	3.055	77.563	9.578	9.804	87.141	12.859
RDF-5-3 (1:1:3, 10%)	5.843	74.284	12.052	7.821	86.336	13.664

4.3 แก๊สเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

นำเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 มาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องผลิตแก๊สชีวมวลขนาดกลาง และทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปทำการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบการเผาไหม้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 จำนวน 3 ครั้ง พบว่า เมื่ออัตราส่วนของชีวมวลเพื่อขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็จะน้อยลง โดยที่อัตราส่วน 1:1:3 (10%) หรือ RDF-5-3 (1:1:3, 10%) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเฉลี่ย 6.23±0.30 kg/h ส่วนที่อัตราส่วน 1:1:2 (10%) หรือ RDF-5-2 (1:1:2, 10%)และ 1:1:1 (10%) หรือ RDF-5-1 (1:1:1, 10%) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเฉลี่ย 7.18±0.35 และ 8.82±0.45 kg/h ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ลักษณะของเปลวไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิง RDF-5 กับถ่านไม้โกงกางพบว่า เปลวไฟของการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจาก RDF-5 จะมีควันที่แสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์บริเวณปากปล่องแก๊ส และเมื่อสัดส่วนของชีวมวลในเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งน้อยลงควันที่แสดงดึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์บริเวณปากปล่องแก๊สจะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นในการที่จะนำเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งมาทำการผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดแก๊สก่อนการนำไปเผาไหม้

หรือนำไปใช้กับเตาที่มีอุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้น เพื่อกำจัดส่วนของควัน ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดจากส่วนผสมที่เป็นพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ชนิด	มวลเฉลี่ย (kg/ครั้ง)	เวลาเฉลี่ย (h/ครั้ง)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)
RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	2.204±0.02	0.25±0.01	8.82±0.45
RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	2.729±0.03	0.38±0.02	7.18±0.35
RDF-5-3 (1:1:3, 10%)	2.056±0.02	0.33±0.02	6.23±0.30

หมายเหตุ ทดสอบ ณ โรงปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาเกษตรและอุตสาหกรรมชุมชน ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ทดสอบองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากจากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 โดยวิธีการ WI-RES-GC-Biogas-001 โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบคือ Gas Chromatograph, 6890, Agilent Technologies, USA (GC-ENVI) ซึ่งใช้เทคนิค Gas Chromatography with Thermal Conductivity Detector ในการทดสอบ (ทั้งนี้สภาวะในการทดสอบแสดงดังเอกสารในภาคผนวก) ซึ่งผลการทดสอบพบว่า แก๊สที่ผลิตได้มีอัตราส่วนของ มีเทน (CH_4) 0.2-1.2% ซึ่งสูงกว่าแก๊สที่ผลิตจากถ่านไม้โกงกาง เนื่องจาก RDF-5 มีส่วนผสมที่เป็นพลาสติกซึ่งผลิตจากสารโฮโดรคาบอน ทั้งนี้พบว่า RDF-5-3 (1:1:3, 10%) มีอัตราส่วนของ มีเทน (CH_4) สูงที่สุดเท่ากับ 1.22±0.21% แต่เมื่อพิจารณาคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่ามีค่า 1.21-7.27% ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแก๊สที่ผลิตจากถ่านไม้โกงกาง และปริมาณของ CO_2 มีค่าสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของชีวมวลในเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 มีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5

ชนิดที่	องค์ประกอบ (%)		
	N	CH_4	CO_2
RDF-5-1 (1:1:1, 10%)	มากกว่า 5	0.26±0.00	1.21±0.01
RDF-5-2 (1:1:2, 10%)	มากกว่า 5	0.66±0.22	6.56±0.18
RDF-5-3 (1:1:3, 10%)	มากกว่า 5	1.22±0.21	7.27±0.08
ถ่านไม้โกงกาง	มากกว่า 5	0.07±0.01	2.09±0.10

หมายเหตุ G.H.V ; Gross Heating Value
N.H.V ; Net Heating Value
ทดสอบ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

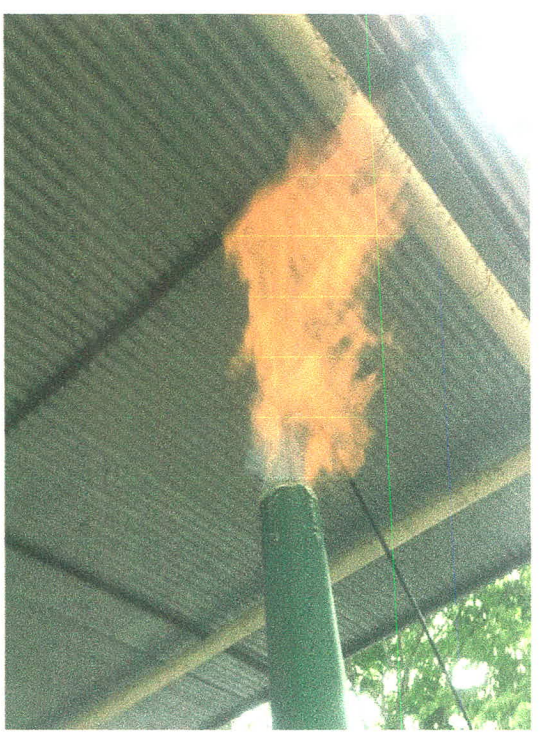
จากผลการสอบเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ข้างต้น แสดงว่าเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ทั้ง 3 ส่วนผสมสามารถนำมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง แต่ทั้งนี้ยังพบ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ในเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแก๊สพิษ SO_x และ NO_x ได้หากมีการเผาไหม้ที่ไม่เหมาะสม และพบว่ามีส่วนของเขม่าควันหลงเหลือจากการเผาไหม้ รวมทั้งพบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแก๊สที่ผลิตได้

ดังนั้นหากต้องการนำเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 หรือแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ไปใช้ประโยชน์ต้องทำการเลือกเทคโนโลยีให้มีความเหมาะสม โดยต้องพิจารณาทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐศาสตร์ต่อไป

ถ่านไม้โกงกาง

RDF-5-1

RDF-5-2



RDF-5-3

รูปที่ 4.2 ลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้