สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการ	1
1.2 สรุปสาระที่สำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ข้อมูลของขยะในทั่วประเทศ	7
2.2 เทคโนโลยีไพโรไลซีส	9
2.3 การวิเคราะห์แบบเอ็กแซม	
2.3.1 การวิเคราะห์เอ็กเซอร์จี	15
2.3.2 การวิเคราะห์พลังงาน	20
2.3.3 การวิเคราะห์มวล	21
2.3.4 การวิเคราะห์ต้นทุน	21
บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	
3.1 ลักษณะของเชื้อเพลิง	23
3.2 อุปกรณ์การทดสอบ	25
3.3 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด	28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ	28
3.4.1 วิธีการศึกษา	29
3.4.2 วิธีการทดลอง	29
3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ	29
3.4.4 การเก็บศึกษาข้อมูล	29
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปายผล	
4.1 เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซีส	32
4.2 ผลของเชื้อเพลิง	36
4.3 ผลของอุณหภูมิ	
4.3.1 ผลเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซีส	40
4.3.2 ผลของการเกิดก๊าซ	48
4.3.3 ผลขององค์ประกอบของก๊าซ	50
4.3.4 ค่าความจำเพาะของก๊าซไพโรไลซีส	55
4.3.5 ปริมาณน้ำมันดิน	57
4.3.6 ปริมาณถ่านชาร์	58
4.4 ผลการสมดุลด้านมวล	59
4.5 ผลการสมดุลด้านพลังงาน	60
4.6 ผลการสมดุลด้านเอ็กเซอร์จี	61
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	63
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศ 69

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวัดอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 82

ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ 95

ภาคผนวก ง โปรแกรมการวิเคราะห์แบบเอ็กเซม 147

ประวัติผู้เขียน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	สรุปปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละภาคและจังหวัดที่เกิดมากที่สุดของประเทศไทย พ.ศ 2545	1
1.2	ผลผลิตไพโรไลซีสขยะชุมชนใน Pyroprobe 1000	4
2.1	สรุปองค์ประกอบของขยะมูลฝอยและปริมาณมากที่สุดและน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในจังหวัดเชียงใหม่	7
2.2	การวิเคราะห์ Primary และUltimateของวัตถุดิบ	8
2.3	ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจากขบวนการไพโรไลซีส	15
3.1	ลักษณะของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	23
3.2	สัดส่วนของเชื้อเพลิงในการทดลอง	29
4.1	การวิเคราะห์ส่วนประกอบของตัวอย่างเริ่มต้นและกากที่เหลือของเชื้อเพลิงแข็งที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	37
4.2	ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	37
4.3	ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	52
4.4	ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	52
4.5	ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	53
4.6	ปริมาณของผลิตภัณฑ์จากจากไพโรไลซีสพลาสติกเหลือใช้ Demirbas (2004)	54
4.7	สมการสมดุลมวลของเชื้อเพลิงแข็งในกระบวนการไพโรไลซีส	57
4.8	สมการทำนายอัตราเกิดผลิตภัณฑ์	59
4.9	แสดงการสมดุลด้านพลังงานของเชื้อเพลิง	60
4.10	แสดงการสมดุลด้านเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิง	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แผนภูมิการเกิดเชื้อเพลิงแข็ง	11
2.2	แผนภูมิของขั้นตอนการระเหยของไอน้ำและการให้ความร้อนแก่อนุภาค	12
2.3	แผนภูมิกระบวนการเกิดปฏิกิริยาภายในอนุภาค	13
2.4	รูปแบบจำลองกระบวนการเกิดไพโรไลซีสและการเผาไหม้โดย Shafizadeh	14
3.1	เตาปฏิกรณ์ไพโรไลเซอร์	24
3.2	หัวเผาในเตาปฏิกรณ์	24
3.3	เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น GC-8A	25
3.4	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด	25
3.5	สายเทอร์โมคัฟเปิล	26
3.6	หัวเทอร์คัปโมคัฟเปิล	26
3.7	เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ DaqPRO	27
3.8	ชุดวัดความดันก๊าซประกอบด้วยเครื่องอ่านค่าความดัน ยี่ห้อ Testo รุ่น 447	27
3.9	แบบลักษณะเตาทดสอบขนาดเล็ก	28
4.1	ลักษณะของควันของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส	33
4.2	ลักษณะของการจุดติดไฟของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส	33
4.3	ลักษณะของน้ำมันดิน	33
4.4	ลักษณะของการถ่านชาร์	33
4.5	ลักษณะของเชื้อเพลิงแข็งเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส	34
4.6	ควันช่วงการก่อเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส	34
4.7	ควันช่วงการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส	34
4.8	ควันช่วงการเกิดถ่านชาร์	34
4.9	การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของ ขยะผสม	35
4.10	การจุดติดไฟของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของ ขยะผสม	35

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.11	การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของใบไม้ผสมเหลือใช้ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	35
4.12	การจุดติดไฟของปฏิกิริยาไพโรไลซีสของใบไม้ผสมเหลือใช้ ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสแซียส	35
4.13	อัตราส่วนของผลต่างเศษส่วนจากปฏิกิริยาไพโรไลซีส	38
4.14	ผลรวมการเกิดไฮโดรคาร์บอนจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	38
4.15.	แสดงผลรวมการเกิดก๊าซ $CO+CO_2$ ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	39
4.16	ผลรวมการเกิดก๊าซ N_2 ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ 500 องศาเซลเซียส	39
4.17	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	41
4.18	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	41
4.19	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	41
4.20	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	41
4.21.	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	41
4.22	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	43
4.23	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	43
4.24	กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	43
4.25	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส ขยะผสมที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	45

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูป

4.26	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส ขยะผสมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	45
4.27	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส ขยะผสมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	45
4.28	รูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส ขยะผสมที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	45
4.49	อัตราส่วนของเชื้อเพลิงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไพโรไลซีส	49
4.30	ปริมาณก๊าซจากการไพโรไลซีสเชื้อเพลิงแข็ง	49
4.31	องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้	50
4.32	องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้	51
4.33	องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสขยะผสม	51
4.34	ปริมาณการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ไพโรไลติกจากพลาสติกเหลือใช้	54
4.35	ค่าความร้อนของก๊าซของแต่ละอุณหภูมิไพโรไลซีส	55
4.36	ค่าเอ็กเซอร์จีของก๊าซแต่ละอุณหภูมิไพโรไลซีส	56
4.37	ปริมาณการเกิดน้ำมันดินของอุณหภูมิไพโรไลซีส	57
4.38	ปริมาณการถ่านชาร์ของอุณหภูมิไพโรไลซีส	58

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$\dot{C}_e$	ราคาผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากระบบ	บาท/MJ
$\dot{C}_i$	ราคาของวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในระบบ	บาท/MJ
$\dot{C}_q$	ราคาของค่าความร้อนภายในระบบ	บาท/MJ
$\dot{C}_w$	ราคาของงานที่ใส่เข้าไปในงานของระบบ	บาท/MJ
E^{CH}	เอ็กเซอร์จีเคมี(chemical exergy)	MJ
E^{KN}	เอ็กเซอร์จีจลน์(kinetic exergy)	MJ
E^{PH}	เอ็กเซอร์จีกายภาพ(physical exergy)	MJ
E^{PT}	เอ็กเซอร์จีศักย์(potential exergy)	MJ
$(E_x)_{o,d}$	พลังงานที่ย้อนสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ที่เกิดขึ้นในระบบ	MJ
H	ค่าเอนธาลปีจำเพาะ	kJ/kg
$\dot{Q}j$	อัตราเวลาการถ่ายเทความร้อนที่ระบบในสิ่งล้อมรอบปริมาตรควบคุม	$kJ.kg^{-1}$
T	อุณหภูมิ	K
T_o	อุณหภูมิ ที่ 25 องศาเซลเซียล(298 K)	K
S	ค่าเอนโทรปีจำเพาะ	$kJ.kg^{-1}.K$
S_0	เอนโทรปีที่ dead state	$kJ.kmol^{-1}.K$
U	พลังงานภายในจุดที่กำหนด(Internal energy)	kJ
U_0	พลังงานภายในที่ dead state	$kJ.kmol^{-1}$
V	ปริมาตรจุดที่กำหนด(Volume)	m^3
v_0	ความเร็วของก๊าซ	m/s
Z	ความสูง	mater

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวยก

CH	chemical
KN	kinetic
PH	physical
PT	potential

ตัวห้อย

e	ทางออกหรือออกจากระบบ
i	ทางเข้าหรือเข้าระบบ
o	dead state
q	ความร้อนภายในระบบ
w	งานของระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved