

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
ABSTRACT	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	12
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
1.5 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	12
1.6 วิธีดำเนินงานวิจัย	13
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	16
2.1 ขยะมูลฝอย	16
2.2 ลักษณะมูลฝอยที่นิยมทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผน	18
2.3 สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย	20
2.4 การแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน	22
2.5 การคาดการณ์จำนวนประชากร	34
2.6 การคาดการณ์ปริมาณขยะ	34
2.7 การวิเคราะห์พลังงานในการนำขยะมาผลิตไฟฟ้า	35
2.8 การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	36
2.9 การวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต	44
2.10 การวิเคราะห์การใช้พลังงานสุทธิ	46
2.10 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	47
2.11 การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	51
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	52
3.2 วิธีดำเนินการวิจัยในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา	53
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัยในการศึกษาศักยภาพและความเป็นไปได้ในการนำขยะมาผลิตไฟฟ้า	54
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัยในการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต	59
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัยในการจัดทำบัญชีรายการ	60
3.6 วิธีการดำเนินการวิจัยในการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	61
3.7 วิธีการดำเนินการวิจัยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต	62
3.8 วิธีการดำเนินการวิจัยในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	62
3.9 วิธีการดำเนินการวิจัยในการเสนอแนวทางเลือกเทคโนโลยี	62
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	64
4.1 ผลการคาดการณ์ปริมาณขยะในอนาคตของพื้นที่เทศบาลจังหวัดลำปาง	64
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านเทคโนโลยี	70
4.3 เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา	73
4.4 ผลการจัดทำบัญชีรายการ	74
4.5 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	85
4.6 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต	96
4.7 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	107
4.8 ผลการเสนอแนวทางเลือกเทคโนโลยี	110
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย	114
5.1 การศึกษาศักยภาพและความเป็นไปได้ในการนำขยะมาผลิตไฟฟ้า	114
5.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	115
5.3 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	116

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	117
5.5 การเสนอแนวทางเลือกเทคโนโลยี	117
5.6 ข้อเสนอแนะงานวิจัย	117
บรรณานุกรม	119
ภาคผนวก	124
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	124
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต	125
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	127
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการจัดทำ Verification Sheet ในการคำนวณ	138
ภาคผนวก จ แบบสอบถามการประเมินความสำคัญของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ	174
ภาคผนวก ฉ บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	177
ประวัติผู้เขียน	186

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	4
ตารางที่ 1.2	13
ตารางที่ 2.1	17
ตารางที่ 2.2	21
ตารางที่ 2.3	21
ตารางที่ 2.4	29
ตารางที่ 2.5	29
ตารางที่ 2.6	32
ตารางที่ 2.7	43
ตารางที่ 3.1	54
ตารางที่ 3.2	55
ตารางที่ 3.3	57
ตารางที่ 3.4	61
ตารางที่ 4.1	65
ตารางที่ 4.2	68
ตารางที่ 4.3	69
ตารางที่ 4.4	71
ตารางที่ 4.5	72
ตารางที่ 4.6	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.7	บัญชีรายการสารขาเข้าและออกของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	78
ตารางที่ 4.8	บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	80
ตารางที่ 4.9	บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	82
ตารางที่ 4.10	บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	84
ตารางที่ 4.11	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาต่อหน่วยการทำงาน	87
ตารางที่ 4.12	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	88
ตารางที่ 4.13	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	90
ตารางที่ 4.14	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	92
ตารางที่ 4.15	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	94
ตารางที่ 4.16	ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาต่อหน่วยการทำงาน	97
ตารางที่ 4.17	ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	99
ตารางที่ 4.18	ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.19 ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	102
ตารางที่ 4.20 ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	104
ตารางที่ 4.21 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ	107
ตารางที่ 4.22 สรุปผลการประเมินด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อมและด้านต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะแต่ละประเภท	110
ตารางที่ 4.23 ผลของการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากแบบสอบถาม	110
ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยให้น้ำหนักความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด	111
ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยให้น้ำหนักความสำคัญในด้านพลังงานมากที่สุด	112
ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยให้น้ำหนักความสำคัญในด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุด	113
ตารางที่ ก.1 ค่า Emission factor ของการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	124
ตารางที่ ข.1 ค่าพลังงานปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	125
ตารางที่ ข.2 ค่าพลังงานความร้อน	125
ตารางที่ ค.1 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบต่อหน่วยการทำงาน	130
ตารางที่ ค.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตต่อหน่วยการทำงาน	131

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ค.3	ระยะทางและภาระบรรทุกการขนส่งต่อหน่วยการทำงาน	131
ตารางที่ ค.4	การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการขนส่งต่อหน่วยการทำงาน	132
ตารางที่ ค.5	การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	134
ตารางที่ ค.6	ตัวอย่างการต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	135
ตารางที่ ค.7	ตัวอย่างการให้น้ำหนักความสำคัญจากผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	136
ตารางที่ ค.8	ตัวอย่างการปรับค่าผลรวมการให้น้ำหนักความสำคัญจากผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต	136
ตารางที่ ค.9	ตัวอย่างการให้น้ำหนักความสำคัญจากนักวิจัย	135
ตารางที่ ค.10	ตัวอย่างผลการให้น้ำหนักความสำคัญทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด	137

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ปริมาณขยะมูลฝอยของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2557	2
ภาพที่ 1.2 ผลการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะ	5
ภาพที่ 1.3 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	7
ภาพที่ 1.4 ผลการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99	8
ภาพที่ 1.5 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุน	9
ภาพที่ 1.6 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละ Scenario	10
ภาพที่ 1.7 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละสถานการณ์	11
ภาพที่ 2.1 แนวทางการจัดการขยะเป็นพลังงาน	23
ภาพที่ 2.2 โรงเผาขยะมูลฝอยแบบนำความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า	24
ภาพที่ 2.3 เตาเผาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน	25
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากขยะอินทรีย์	26
ภาพที่ 2.5 การผลิตพลังงานโดยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขอนามัย	27
ภาพที่ 2.6 แผนผังของระบบ ORC ในการใช้ RDF-5 เป็นแหล่งเชื้อเพลิง	33
ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหลัก ISO 14040	37
ภาพที่ 2.8 แผนผังแสดงขั้นตอนในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	40
ภาพที่ 2.9 แบบจำลองการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม	50
ภาพที่ 3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย	51
ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	53
ภาพที่ 3.3 ขอบเขตของระบบในการศึกษาการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	59
ภาพที่ 3.4 ขอบเขตของแต่ละเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล	60
ภาพที่ 4.1 แนวโน้มประชากรในเขตพื้นที่เทศบาลจังหวัดลำปางในปี 2548-2556	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.2 แนวโน้มจำนวนประชากรในเขตเทศบาลกลุ่มพื้นที่ 1 และ 2 ของจังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2556-2576	68
ภาพที่ 4.3 แนวโน้มปริมาณขยะในเขตเทศบาลกลุ่มพื้นที่ 1 และ 2 ของจังหวัดลำปางในปี พ.ศ. 2556-2576	70
ภาพที่ 4.4 ขอบเขตของระบบในการศึกษาการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ	74
ภาพที่ 4.5 สารขาเข้าและออกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเผาต่อหน่วยการทำงาน	77
ภาพที่ 4.6 สารขาเข้าและออกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	79
ภาพที่ 4.7 สารขาเข้าและออกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	81
ภาพที่ 4.8 สารขาเข้า-ออกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง ร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	83
ภาพที่ 4.9 สารขาเข้า-ออกของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	85
ภาพที่ 4.10 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยการทำงาน	86
ภาพที่ 4.11 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	88
ภาพที่ 4.12 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	90
ภาพที่ 4.13 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	91
ภาพที่ 4.14 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะต่อหน่วยการทำงาน	95
ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการจัดการขยะต่อตันขยะ	96
ภาพที่ 4.17 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีเตาเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยการทำงาน	97
ภาพที่ 4.18 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยการทำงาน	99
ภาพที่ 4.19 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต่อหน่วยการทำงาน	100
ภาพที่ 4.20 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงต่อหน่วยการทำงาน	102
ภาพที่ 4.21 ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน	103
ภาพที่ 4.22 ปริมาณพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะต่อหน่วยการทำงาน	105
ภาพที่ 4.23 ค่าพลังงานสุทธิของการผลิตไฟฟ้าจากขยะต่อหน่วยการทำงาน	106
ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของการจัดการขยะต่อตันขยะ	107
ภาพที่ 4.25 ต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากขยะต่อหน่วยการทำงาน	109
ภาพที่ 4.26 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะต่อหน่วยการทำงาน	99