

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	7
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	8
2.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	15
2.2.1 วิธี Externality Cost	15
2.2.2 วิธี Numerical Environmental Total Standard [NETS]	16
2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนแบบ Exergy Costing	24
2.4 การวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	26
2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	32
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	36
3.3 แนวทางและวิธีวิเคราะห์ข้อมูล	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิเคราะห์	40
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	66
บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิเคราะห์	68
6.2 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	76
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	95
ภาคผนวก ค ข้อมูลทั่วไปของฟาร์มสุกร	113
ประวัติผู้เขียน	126

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 คุณสมบัติด้านต่างๆของก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ	2
1.2 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ	2
1.3 ค่าใช้จ่ายในการลดก๊าซ CO ₂ จากการปลูกป่าอนุรักษ์	4
1.4 Cost of Reduction CO ₂	5
1.5 Value of Environmental Damage (VED)	6
2.1 ค่า Yield ของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ	12
2.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่กำหนดให้เกิดได้สูงสุด (Maximum Eco-Load Valve)	17
2.3 ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของภาระสิ่งแวดล้อม P _i	18
2.4 ค่า P _i และ ELM _i ของวัฏจักรชีวิต	19
2.5 ราคาเครื่อง Flue Gas Desulfurization	20
2.6 Mac-Moh Flue Gas Desulfurization Designed Performance	21
2.7 พื้นที่และจำนวนประชากรในจังหวัดลำปาง พ.ศ. 2543	22
4.1 ค่าเฉลี่ยระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์มต่างๆ	40
4.2 ค่าประเมินทางด้านเทคนิคของฟาร์มต่างๆ	41
4.3 อัตราส่วนขนาดระบบผลิตไฟฟ้าต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละฟาร์ม	43
4.4 ต้นทุนราคาไฟฟ้าแบบ Exergy Costing กรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	43
4.5 ผลการเปรียบเทียบความรุนแรงของกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างก๊าซ SO ₂ , CH ₄ และ CO ₂ โดยวิธี NETS	45
4.6 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการกำจัดก๊าซ CH ₄ และ CO ₂ เทียบกับก๊าซ SO ₂ โดยวิธี NETS	46
4.7 ผลการเปรียบเทียบอัตราค่า VED เมื่อใช้ก๊าซ SO ₂ เป็นฐาน	46
4.8 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกรณีคิดจากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	47
4.9 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกรณีคิดจากก๊าซ CO ₂ และ CH ₄ รวมกัน	48
4.10 ต้นทุนราคาไฟฟ้าแบบ Exergy Costing กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.11 ต้นทุนราคาไฟฟ้าแบบ Exergy Costing กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ และ CH ₄ รวมกัน	51
4.12 อัตราผลตอบแทนการลงทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	53
4.13 ระยะเวลาคืนทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	55
4.14 อัตราผลตอบแทนการลงทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	57
4.15 ระยะเวลาคืนทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	59
4.16 อัตราผลตอบแทนการลงทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ และ CH ₄ รวมกัน	61
4.17 ระยะเวลาคืนทุนของฟาร์มต่างๆ กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากก๊าซ CO ₂ และ CH ₄ รวมกัน	63
6.1 ผลการเปรียบเทียบอัตราค่า VED เมื่อใช้ SO ₂ เป็นฐาน	70
ก.1 สัดส่วนทางเคมีของก๊าซชีวภาพ	78
ก.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดก๊าซ SO ₂ ของเครื่อง FGD ตั้งแต่เครื่องที่ 8-13	83
ข.1 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 29 พฤศจิกายน 2543	96
ข.2 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543	97
ข.3 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 2 ธันวาคม 2543	98
ข.4 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 13 ธันวาคม 2543	99
ข.5 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 14 ธันวาคม 2543	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.6 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวิวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 15 ธันวาคม 2543	101
ข.7 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวิวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 19 ธันวาคม 2543	102
ข.8 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของกิตติวิวัฒน์ฟาร์ม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 20 ธันวาคม 2543	103
ข.9 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของต.ประสพผลฟาร์ม อ.บางไทร จ.อยุธยา ในวันที่ 28 มกราคม 2544	104
ข.10 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของต.ประสพผลฟาร์ม อ.บางไทร จ.อยุธยา ในวันที่ 29 มกราคม 2544	105
ข.11 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของต.ประสพผลฟาร์ม อ.บางไทร จ.อยุธยา ในวันที่ 30 มกราคม 2544	106
ข.12 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของต.ประสพผลฟาร์ม อ.บางไทร จ.อยุธยา ในวันที่ 31 มกราคม 2544	107
ข.13 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 1 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 1 มีนาคม 2544	108
ข.14 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 1 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 2 มีนาคม 2544	108
ข.15 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 1 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 3 มีนาคม 2544	109
ข.16 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 2 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2544	110
ข.17 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 2 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2544	111
ข.18 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 2 อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ในวันที่ 1 มีนาคม 2544	112

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 วงจรการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีระบบก๊าซชีวภาพ	8
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพและการต่อ Grid	9
2.3 ขบวนการเกิดก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ขั้นตอน	10
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์, อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก	12
2.5 แบบแผนการทำมาตรฐานในการหาค่าการระเหยแฉะ	16
2.6 เครื่องกำจัดก๊าซ SO ₂ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	20
2.7 ขอบเขตการวิเคราะห์ค่า Exergy Costing ของงานวิจัย	25
2.8 ระบบผลิตพลังงานของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท ไทยอุตสาหกรรมและสวนปาล์ม จำกัด	27
3.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร	31
3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	32
3.3 เครื่องมือวัดส่วนประกอบก๊าซไอเสีย	33
3.4 เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซ CO ₂	33
3.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	34
3.6 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า	34
3.7 เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์	35
3.8 Gas Meter	35
3.9 การวัดค่าอุณหภูมิและปริมาณก๊าซ CO ₂ ในก๊าซชีวภาพจากท่อส่งก๊าซ	36
3.10 การวัดค่าสัดส่วนก๊าซไอเสียจากท่อไอเสีย	36
3.11 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า	37
3.12 กาดัดตั้งเครื่องมือ Gas meter เพื่อวัดค่าอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ	37
3.13 การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพจากท่อส่งก๊าซ	38
4.1 ค่าประเมินทางด้านเทคนิคของฟาร์มต่างๆ	41
4.2 ต้นทุนราคาไฟฟ้ากรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของฟาร์มต่างๆ	44
4.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 2 กรณี	48
4.4 ต้นทุนราคาไฟฟ้ากรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.5 ต้นทุนราคาไฟฟ้ากรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ และ CH ₄ รวมกัน	52
4.6 อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุนทั้งหมดกรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	54
4.7 อัตราผลตอบแทนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเองกรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	54
4.8 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินลงทุนทั้งหมด	56
4.9 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเอง	56
4.10 อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุนทั้งหมดกรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	58
4.11 อัตราผลตอบแทนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเองกรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ อย่างเดียว	58
4.12 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินลงทุนทั้งหมด	60
4.13 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเอง	60
4.13 อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุนทั้งหมดกรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ CH ₄ รวมกัน	62
4.14 อัตราผลตอบแทนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเองกรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ CO ₂ CH ₄ รวมกัน	62
4.16 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินลงทุนทั้งหมด	64
4.17 ระยะเวลาคืนทุนต่อเงินส่วนที่ลงทุนเอง	64
5.1 ระบบผลิตพลังงานของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท ไทยอุตสาหกรรมและสวนปาล์ม จำกัด	66
ค.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของกิตติวัฒน์ฟาร์ม	116
ค.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและสภาพทั่วไปภายในกิตติวัฒน์ฟาร์ม	116
ค.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของต.ประสพผลฟาร์ม	119
ค.4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและสภาพทั่วไปภายในต.ประสพผลฟาร์ม	119
ค.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 1	122
ค.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและสภาพทั่วไปภายในเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 1	122
ค.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 2	125
ค.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและสภาพทั่วไปภายในเอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม 2	125

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
\dot{C}	อัตราต้นทุน	B / s
\dot{E}	กระแส Exergy ที่ผ่านขอบเขต	MJ / s
EF	อัตราการปล่อยสารมลพิษ	kg CO ₂ / MJ
f	ค่าสัมประสิทธิ์	-
fc	อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ	m ³ / hr
G	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	m ³ / day
Gy	อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ	litre / kg VS
h	เอนทาลปี	kJ / kg
Hu	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	kJ / kg
HR	อัตราส่วนความร้อนต่อพลังงาน	MJ / kWh
Hu	ค่าความร้อน	MJ / m ³
i*	อัตราผลตอบแทนการลงทุน	%
m	อัตราการไหล	m ³ / s
mGy	อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะเฉลี่ย	litre / kg VS
NCF	กระแสเงินสดสุทธิต่อปี	B/y
P	ความดัน	m bar
Q	ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	kW
s	เอนโทรปี	kJ/kg-K
T	อุณหภูมิ	K
TIC	เงินลงทุนเบื้องต้น	B
VED	มูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม	B / ton
VS	ปริมาณสารที่เป็นตัวการในการผลิตก๊าซ	%
\dot{W}	งานที่ระบบผลิตได้	kW
\dot{Z}	ค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่เชื้อเพลิง	B / s
ρ	ความหนาแน่น	kg / m ³
η	ประสิทธิภาพ	%

สัญลักษณ์ตัวห้อย

a	สิ่งแวดล้อม (Ambient)
act	ที่ใช้งานจริง (Actual)
b	หม้อไอน้ำ (Boiler)
bg	ก๊าซชีวภาพ (Biogas)
d	บ่อหมักก๊าซชีวภาพ (Digester)
e	พลังงานไฟฟ้า (Electrical)
f	ของเชื้อเพลิง (Fuel)
fg	ของไอเสีย (Flue Gas)
p	ของผลผลิต (Product)
std	มาตรฐาน (Standard)
t	กังหันไอน้ำ (Turbine)
tot	โดยรวมทั้งหมด (Total)
T,RT	เป็นฟังก์ชันขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก

สัญลักษณ์ตัวยก

CI	เงินลงทุนเบื้องต้น (Capital Investment)
OM	ค่าใช้จ่ายดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance)
RD	การหมดสิ้นของทรัพยากร (Resource Depletion)
GW	ภาวะโลกร้อน (Global Warming)
OD	การถูกทำลายของชั้น โอโซน (Ozone Depletion)
WP	ปัญหาน้ำเสีย (Water Pollution)
AR	ปัญหาฝนกรด (Acid Rain)
AP	ปัญหาอากาศเป็นพิษ (Air Pollution)