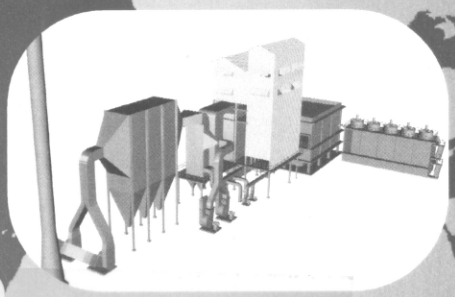
การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย

Economic and Life Cycle Assessment of Biomass Gasification for Power Generation in Southern Thailand



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูลีรัตน์ คงเรือง
รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล

งบประมาณเงินแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2553
มหาวิทยาลัยทักษิณ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง "การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย" สำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังต่อไปนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยทักษิณและคณะกรรมการบริหารกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยของโครงการฯ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนชี้แนะแนวทางการทำวิจัยตลอดมา จนสิ้นสุดโครงการฯ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หน่วยวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการศึกษาวิจัยของโครงการฯ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัยคุณปราณี หนูทองแก้ว คุณชนะ จันทร์ฉ่ำ คุณฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคุณพงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องในโครงการฯ ทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือจนสามารถดำเนินโครงการฯ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูลีรัตน์ คงเรือง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าในระดับชุมชนจากแก๊สชีวมวลกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ดีการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้นจำเป็นจะต้องใช้วัสดุและพลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลขนาด 100 kW จากเชื้อเพลิงแกลบอัดแท่งผสมกลีเซอรีนผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น โดยอาศัยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตและหาปริมาณและประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2 ในการศึกษาพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการได้มาซึ่งไฟฟ้า 1 kWh ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน จนกระทั่งเสร็จสิ้นขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล โดยแบ่งการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 กรณีคือ (1) กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล จึงไม่พิจารณาผลกระทบในส่วนของการผลิตข้าวและไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันและ (2) กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล และพิจารณาผลกระทบรวมตั้งแต่การผลิตข้าวและการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ในกรณีที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 9.90×10^{-4} Pt และ 1.35×10^{-1} Pt ตามลำดับ โดยขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง และเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนโดยการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยกำหนดให้โครงการมีอายุ 10 ปี พบว่าต้นทุนในส่วนของค่าดำเนินการมีค่ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 65.47 รองลงมาคือต้นทุนด้านพลังงานและค่าบำรุงรักษา คิดเป็นร้อยละ 32.61 และร้อยละ 1.92 ตามลำดับ และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh มีค่าเท่ากับ 3.37 บาท

Abstract

Currently, a community-based biomass gasification power plant is being of interest. However, every produced unit of this electricity concerns the use of materials and energy in the production process that may have an impact on environment. For the sustainable development, it is necessary to study this impact throughout the life cycle. Therefore, the objective of this research is to assess the environmental impacts of 100 kWe power plant using mixed rice husk and glycerin briquettes as main fuels by means of Life Cycle Assessment method via the SimaPro 7.2 computer software. This study focuses on the environmental impacts occurring from the 1kWh electricity production, which involves the obtaining of materials, transportation, producing the mixed rice-husk and glycerin briquettes and the biomass gasification. The study is divided into 2 cases: (1) determine the rice husk and glycerine as the by-products of the rice and biodiesel productions. The impacts occurring from both will ignore, (2) determine the rice husk and glycerine as the products of the rice and biodiesel productions. The impacts occurring from both will be observed. Results showed that the environmental impacts occurring from the 1 kWh electricity production were 9.90×10^{-4} Pt and 1.35×10^{-1} Pt from case 1 and case 2, respectively. The major environment impact was from the briquette production. For the economic worthwhileness, the results showed that the cost of briquetting to electricity production mainly from the operation cost equal 65.47 % of total cost, next the energy cost and maintenance equal 32.61% and 1.92% respectively. While the cost of the 1 kWh electricity production was 3.37 Baht for a ten-year life cycle.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ซ
สารบัญรูป		ฎ
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4	ขอบเขตการวิจัย	2
1.5	นิยามศัพท์	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		5
2.1	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชีวมวล (Biomass)	5
2.1.1	วัตถุดิบชีวมวล	5
2.1.2	การนำชีวมวลมาประยุกต์ใช้	6
2.1.3	ปัญหาการใช้พลังงานจากชีวมวล	7
2.1.4	ความเหมาะสมของชีวมวลแต่ละประเภทที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า	8
2.2	การอัดแท่งเชื้อเพลิง	9
2.2.1	วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง	9
2.2.2	กรรมวิธีการผลิต	9
2.2.3	ประโยชน์ของถ่าน	10
2.3	การผลิตไฟฟ้าชีวมวล	11
2.4	ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต	13
2.4.1	การนำวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์มาใช้ในประเทศไทย	18

	2.4.2	นิยามและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต	18
	2.4.3	วัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิต	19
	2.4.4	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต	20
2.5		การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์	26
2.6		เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3		วิธีการศึกษาวิจัย	35
3.1		การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต	35
	3.1.1	วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายในการประเมินวัฏจักรชีวิต	35
	3.1.2	ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต	35
3.2		การทำบัญชีรายการ	37
	3.2.1	บัญชีรายการในช่วงการขนส่งวัตถุดิบ	38
	3.2.2	บัญชีรายการในช่วงการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อน	39
	3.2.3	บัญชีรายการในช่วงการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	40
3.3		การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	44
3.4		แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	45
3.5		วิเคราะห์ต้นทุน – ผลประโยชน์ของโรงไฟฟ้าชีวมวล	45
บทที่ 4		ผลการศึกษาวิจัย	48
4.1		การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)	48
	4.1.1	บัญชีรายการในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการได้มาของวัตถุดิบ	49
	4.1.2	บัญชีรายการในกระบวนการขนส่งวัตถุดิบ	52
	4.1.3	บัญชีรายการในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	53
	4.1.4	บัญชีรายการในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น	56
4.2		ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	59
	4.2.1	กรณีที่ 1 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้	59
	4.2.2	กรณีที่ 2 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล	64

4.3 เปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล กับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 68

4.4 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 71

4.5 ผลกระทบภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 72

4.6 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต 73

4.6.1 ต้นทุนคงที่ 73

4.6.2 ต้นทุนในการดำเนินการ 74

4.6.3 ต้นทุนในการซ่อมบำรุง 75

4.6.4 ต้นทุนพลังงาน 76

4.6.5 มูลค่าซากของเครื่องจักร 78

4.6.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) 80

4.6.7 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) 87

4.6.8 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 88

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย 90

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 90

5.1.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละช่วงกระบวนการ 90

5.1.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลพิจารณาตามประเภทผลกระทบ 91

5.1.3 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 92

5.1.4 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 92

5.2 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต 93

5.3 ข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 93

5.4 ข้อเสนอแนะในด้านเศรษฐศาสตร์ 93

บรรณานุกรม 95

ภาคผนวก 99

ภาคผนวก ก การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) 100

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานร่วมในแต่ละกระบวนการ	31
3.1	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พิจารณาการได้มาซึ่งแกลบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าว	37
3.2	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พิจารณาการได้มาซึ่งกลีเซอรีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน	38
3.3	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ	38
3.4	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อน	39
3.5	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น	40
3.6	อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล	41
4.1	บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการผลิตข้าวเปลือก 1 ตันซึ่งได้แกลบเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้	49
4.2	บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลใน 1 ปี ซึ่งได้กลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้	50
4.3	คุณสมบัติของแกลบและกลีเซอรีนที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	51
4.4	บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการขนส่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไฟฟ้าใน 1 ปี	53
4.5	คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดร้อน	56
4.6	ข้อมูลเงื่อนไขการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	57
4.7	ปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น 1 ปี	58
4.8	บัญชีรายการปริมาณสารเข้า-ออก ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ใน 1 ปี	58
4.9	ค่าผลกระทบในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	62

4.10	ค่าผลกระทบในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	67
4.11	ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงใน 1 ปี	71
4.12	รายละเอียดและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	80
4.13	ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าต่อปี	82
4.14	ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ต่อปี	83
4.15	ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี	83
4.16	ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 ต่อปี	84
4.17	ค่า NPV ที่ต้นทุนและผลตอบแทนคงที่ทุกปี	84
4.18	ค่า NPV ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของ ค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 5	85
4.19	ค่า NPV ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของ ค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 10	85
4.20	ค่า NPV ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของ ค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 15	86
4.21	ค่า IRR ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM	88
5.1	เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh	91
ก1	ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการใช้งาน (Operation) ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพการทำงานปกติ [1]	100
ก2	ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการซ่อมบำรุง (Maintenance) ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพการทำงานปกติ [1]	101
ก3	ฐานข้อมูลบัญชีรายการวัสดุของส่วนประกอบยางรถ (Tire Components) ต่อการขนส่ง1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพ	102

	การทำงานปกติ [1]	
ก4	ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการใช้งาน (Operation) ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพการทำงานปกติ [1]	103
ก5	ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการซ่อมบำรุง (Maintenance) ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพการทำงานปกติ [1]	104
ก6	ฐานข้อมูลบัญชีรายการวัสดุของส่วนประกอบยางรถ (Tire Components) ต่อการขนส่ง1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพการทำงานปกติ [1]	105
ก7	EDIP 2003 V1.02 normalization and weighting factor	109

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	ขอบเขตในการศึกษาวิจัย	3
2.1	ความสัมพันธ์ในอนุกรม ISO 14000	16
2.2	ความสัมพันธ์ของอนุกรม ISO 14000 ในแต่ละอนุกรม และความสัมพันธ์ของอนุกรมที่เกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตกับอนุกรมทั้งหมด	17
2.3	กระบวนการในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ	19
2.4	ขั้นตอนและโครงข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO	21
2.5	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ	24
3.1	ขอบเขตของระบบในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล	36
3.2	การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	39
3.3	การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น	40
4.1	กระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	54
4.2	ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น	57
4.3	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการขนส่ง	60
4.4	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	61
4.5	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล	62
4.6	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh	63
4.7	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแต่ละช่วงกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh	63
4.8	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตข้าวเพื่อให้ได้แกลบ สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kWh	64
4.9	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้กลีเซอรีนสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kWh	65

4.10	เปรียบเทียบปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดจากการผลิตวัตถุดิบ	65
4.11	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตแท่งเชื้อเพลิงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh	66
4.12	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้น ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh	67
4.13	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแต่ละช่วงกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	68
4.14	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยใน 1 kWh โดยพิจารณาเป็นกรณีที่ 1	69
4.15	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยใน 1 kWh โดยพิจารณาเป็นกรณีที่ 2	69
4.16	พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ใน 1 ปี	72
4.17	เปรียบเทียบค่า NPV ในแต่ละกรณีตลอดอายุโครงการ	86
ก1	ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษา	106
ก2	การปันส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยประจำปี 2552 จำแนกตามชนิดเชื้อเพลิง	106
ก3	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภทผลิตไฟฟ้า 1 kWh ในประเทศไทย	107

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมด้วย รัฐบาลจึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสมและมีคุณภาพที่ดีสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ จากปัญหาความต้องการพลังงานและราคาพลังงานที่สูงขึ้น รัฐบาลจึงได้กำหนดแนวทางสำคัญในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานโดยส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ชีวมวลเป็นอีกพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน แกลบ กากอ้อย กะลาและทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ รวมไปถึงการนำมูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และขยะมาเผาไหม้โดยตรง และนำความร้อนที่ได้ไปใช้หรือนำมาผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมาก วัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าได้ สำหรับในการศึกษานี้ได้เลือกแกลบมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากประเทศไทยมีการผลิตข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของผลผลิตทางการเกษตรทั้งหมด และจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่า ในปี 2552 ภาคใต้มีผลผลิตข้าวมากถึง 745,128 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) มีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงสี 163,928 ตัน สามารถนำไปผลิตไฟฟ้าได้ 81,964 MW จะเห็นได้ว่าการนำชีวมวลที่เหลือจากการเกษตรมาผลิตไฟฟ้านั้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในระหว่างที่ประเทศมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนไฟฟ้าในอนาคต แต่กว่าจะได้มาซึ่งไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้นจำเป็นจะต้องใช้วัสดุและพลังงานในกระบวนการผลิตซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนคณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญในการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล โดยในการศึกษานี้ได้อาศัยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และเพื่อให้การศึกษาเป็นไปอย่างครบถ้วนสมบูรณ์จึงได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ที่จะผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล โดยอาศัยการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลโดยใช้ดัชนีชี้วัดได้แก่ มูลค่า

ปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน โดยเป็นการประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต ทั้งต้นทุนทางตรง และต้นทุนทางอ้อม ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้นทุนสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการลงทุนต่อไป สำหรับการศึกษาทั้งสองส่วนที่กล่าวในข้างต้นนี้จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาในส่วนของการใช้ทรัพยากร พลังงาน ทำการประเมินต้นทุนในการผลิต และทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกกระบวนการ ทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิต ทั้งนี้เพื่อให้เห็นข้อดีและข้อด้อยของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล คณะผู้วิจัยคาดหวังว่าผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านพลังทดแทน และเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับภาคเอกชนที่สนใจลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในภาคใต้ อันจะส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ช่วยลดปัญหามลภาวะที่เกิดจากการผลิตและการแปรรูปสินค้าเกษตร อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงานแก่พื้นที่ภาคใต้และประเทศชาติได้ต่อไป นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแกลบผสมกลีเซอรีนสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยลงได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ของโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน

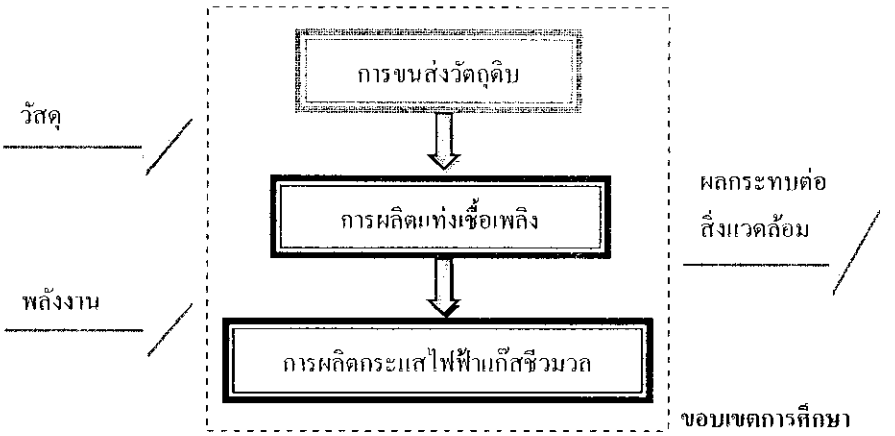
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านพลังงานทดแทนแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้

1.3.2 ภาคเอกชนสามารถใช้ผลการวิจัยเพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) ของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแกลบโดยใช้กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวล มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) โดยแสดงขอบเขตการวิจัยดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตในการศึกษาวิจัย

1.4.2 วิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis) ของโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแกลบที่มีความชื้นร้อยละ 10-15 ผสมกลีเซอรีนความบริสุทธิ์ร้อยละ 47

1.4.3 พื้นที่ศึกษาวิจัย

ศึกษาครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพัทลุงและใช้โรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) เป็นกรณีศึกษา

1.5 นิยามศัพท์

1.5.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) หมายถึง การประเมินผลกระทบที่จะมีต่อสุขภาพหรือความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมทั้งทางบวกและทางลบ รวมทั้งความเสี่ยงที่จะมีผลต่อสภาพความสมบูรณ์ของระบบนิเวศและการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นต่อธรรมชาติ

1.5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis) หมายถึง การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนกับผลประโยชนที่เกิดจากการลงทุนในโครงการ เพื่อประเมินดูว่าโครงการนั้นๆ ก่อให้เกิดผลได้หรือผลประโยชน์เท่าใด และเสียต้นทุนไปจำนวนเท่าใด

1.5.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดจ่ายออกไปในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ

1.5.5 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR) คือมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

1.5.6 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ ผลตอบแทนที่คิดเป็นร้อยละของโครงการ หรือ หมายถึงอัตราดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลด ซึ่งอัตราดอกเบี้ยในการคิดลดจะเป็นอัตราดอกเบี้ยที่โครงการต้องได้รับ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชีวมวล การประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแสดงรายละเอียดหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) ถูกนำมาใช้เมื่อราวปี ค.ศ. 1975 เพื่อใช้อธิบายถึงการนำวัตถุดิบที่มีตามธรรมชาติมาใช้เป็นแหล่งพลังงานใหม่ ชีวมวลเป็นที่สนใจตั้งแต่ในอดีต เนื่องจากได้มีการคาดการณ์ว่าน้ำมันอาจจะมีราคาสูงกว่า 100 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรล เดิมมนุษย์ก็ได้ใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานมาก่อนหน้านั้นแล้ว โดยได้นำไม้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานด้วยการนำมาเผาให้เกิดความร้อนเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม หรือการคมนาคมในรูปของพลังงานไอน้ำ แต่หลังจากนั้นก็มีการนำถ่านหินมาแทนที่ไม้ในการผลิตพลังงานไอน้ำ คงเหลือแต่การนำไม้มาใช้ในการให้ความอบอุ่นแก่บ้านเรือนและประกอบอาหารต่างๆ โดยชีวมวลนั้นมีด้วยกันหลายชนิด ดังนี้

2.1.1 วัตถุดิบชีวมวล

วัตถุดิบชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงนั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

<u>วัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติโดยตรง</u>

(1) วัตถุดิบจำพวกพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพด ฝ้าย เมล็ดทานตะวัน พืชตระกูลถั่ว ดังตัวอย่าง เช่น อ้อย ข้าวโพดสามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอล ส่วนเมล็ดทานตะวันหรือพืชตระกูลถั่วสามารถนำมาสกัดน้ำมันไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำพืชมาสกัดเป็นน้ำมันพืชใช้ในครัวเรือนได้

(2) วัตถุดิบประเภทไม้ โดยใช้ไม้ที่มีความคงทนและโตเร็วที่ปลูกไว้หรือนำมาจากป่าหมุนเวียนช่วงสั้นและนำเนื้อไม้ไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงไม้

(3) วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น ไขมันสัตว์ สามารถนำมาสกัดทำไบโอดีเซลได้

<u>วัตถุดิบจากของเหลือใช้</u>

(1) เศษไม้ จากอุตสาหกรรมป่าไม้รวมถึงขี้เลื่อยและกิ่งก้านใบต่างๆ สามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนและการผลิตไฟฟ้าได้

(2) เศษพืชผลการเกษตรจากอุตสาหกรรม

- แกลบ ได้จากโรงสีข้าวเปลือกในปริมาณมาก โดยแกลบจะเป็นที่นิยมในการนำมาใช้เป็นพลังงานเนื่องจากค่าความร้อนสูงและความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชีวมวลชนิดอื่นๆ ปัจจุบันใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก
- ชานอ้อย ได้จากโรงงานน้ำตาล สามารถนำไปเป็นพลังงานทดแทนผลิตไฟฟ้า
- กากปาล์ม (เปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม) จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากผลปาล์ม สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้
- อื่นๆ เช่น กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว สาเหล้า ฯลฯ

(3) สิ่งปฏิกูลจากสัตว์ โดยทั่วไปเรารู้ว่าสิ่งปฏิกูลจากสัตว์นั้นสามารถนำไปหมักเป็นปุ๋ยได้ แต่เมื่อนำไปทำปุ๋ยแล้วจะปล่อยแก๊สมีเทนออกมาจึงสามารถนำแก๊สที่ได้ไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า

(4) ของเหลือใช้จากชุมชนหรือขยะ ขณะที่เกิดการย่อยสลายจะปล่อยแก๊สมีเทนออกมา สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้หรือนำไปผลิตไฟฟ้าได้

ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

- มีปริมาณกำมะถันต่ำ
- ราคาถูกกว่าพลังงานเชิงพาณิชย์อื่นในปริมาณหน่วยความร้อนที่เท่ากัน
- มีแหล่งผลิตอยู่ในประเทศ
- ไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกและแทบจะไม่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศหรืออากาศเป็นพิษเลยในกรณีมีการปลูกทดแทน

2.1.2 การนำชีวมวลมาประยุกต์ใช้

<u>ภาคอุตสาหกรรม</u>

โรงไฟฟ้าชีวมวล คือโรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุต่างๆ เช่น แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว เป็นต้น นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นเศษวัสดุชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน ในปัจจุบันประเทศไทยได้พยายามศึกษาและเริ่มหันมาสนใจในด้านนี้มากขึ้น แต่โรงไฟฟ้าชีวมวลส่วนใหญ่ต้องหยุดดำเนินการเพราะประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตไฟฟ้า จึงมีการศึกษาหาพันธุ์ไม้โตเร็วเพื่อจะนำพันธุ์ไม้เหล่านี้มาใช้เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของกลุ่มโรงงานนี้

<u>ภาคครัวเรือน</u>

ในภาคครัวเรือนของประเทศไทยยังมีการนำเทคโนโลยีการเปลี่ยนพลังงานชีวมวลมาเป็นพลังงานไฟฟ้าไม่มากนัก เนื่องจากปัญหาเรื่องอุปกรณ์ ความสะดวก เป็นต้น ทำให้เทคโนโลยีนี้ยังไม่มีความแพร่หลาย แต่ถึงอย่างไรก็ตาม พลังงานชีวมวลในปัจจุบันก็สร้างความสนใจให้นัก

ประดิษฐ์ได้ประดิษฐ์ผลงานต่างๆ ออกมามากมาย เพื่อนำมาเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ในยุคการขาดแคลนพลังงาน

- โรงงานผลิตไบโอดีเซลชุมชน คือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการผลิตมาจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ผสมกับเอทานอล (Ethanol) หรือ เมทานอล (Methanol) เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงโมเลกุลเล็กลง ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสามารถใช้ทดแทนได้

- เตาชีวมวล "เตา" ถือเป็นอุปกรณ์ในครัวเรือนที่ทุกบ้านจะขาดไม่ได้ ยิ่งเฉพาะกับเตาถ่าน หรือ "เตาอังโล่" ที่หลายครัวเรือนยังคงใช้บริการอยู่ทุกเมื่อเชื่อวันด้วยแล้วก็ยิ่งขาดไม่ได้ทีเดียว ซึ่งขณะนี้ได้มีผู้พัฒนาเตาอังโล่แบบเก่าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเทียบชั้นเตาแก๊สได้อย่างภาคภูมิ ด้วยภูมิปัญญาพื้นบ้าน "ง่ายและประหยัด"

2.1.3 ปัญหาการใช้พลังงานจากชีวมวล

พลังงานจากชีวมวลมีข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และน้ำมันเตาหลายประการ และเป็นเหตุผลที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานหมุนเวียนไม่แพร่หลายเท่าที่ควร เช่น

- ชีวมวลมีปริมาณที่ไม่แน่นอน เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดปลูกเพียงตามฤดูกาลเท่านั้น และผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ เกษตรกรเปลี่ยนชนิดของผลผลิตไปตามความต้องการของตลาด พื้นที่การเกษตรลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพไปสู่เมือง ชีวมวลมีอยู่มากแต่อยู่อย่างกระจัดกระจาย ทำให้รวบรวมได้ยาก เช่น กะลามะพร้าว เศษไม้ ซังข้าวโพด ยอดอ้อยที่อยู่ตามท้องไร่ท้องนาและแกลบตามโรงสีเล็กๆ

- ปริมาณชีวมวลที่มีใช้อยู่ในโรงงานและพื้นที่ใกล้เคียงมีไม่เพียงพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าที่ให้ผลตอบแทนในการลงทุนดีพอ และเมื่อต้องหาชีวมวลประเภทอื่นหรือจากแหล่งอื่นมาเสริมก็จะมีปัญหาในเรื่องต่างๆ ดังนี้ค่าขนส่งจากแหล่งชีวมวลมาสู่โรงงาน ถ้ายิ่งอยู่ไกลพื้นที่ตั้งของโรงงานก็ยิ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง เทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลหลายๆ ชนิดมีราคาแพง มีความเสี่ยงสูงในการรวบรวมชีวมวลจากแหล่งต่างๆ ให้ได้ปริมาณตามต้องการ

- ค่าใช้จ่ายที่สูงในการลงทุนเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าระหว่างโรงงานสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ค่าอุปกรณ์เชื่อมต่อและค่าก่อสร้างระบบสายส่ง เป็นต้น

- โรงงานขาดความเชื่อมั่นที่จะลงทุน เนื่องจากขาดการสนับสนุนการลงทุนจากสถาบันการเงินเนื่องจากความไม่แน่นอนของปริมาณชีวมวล ขาดความมั่นใจด้านเทคโนโลยี ด้วยยังขาดการสาธิตเทคโนโลยี ไม่มีผู้ให้คำปรึกษาทางเทคนิค ขาดบุคลากรที่จะเป็นผู้ดำเนินการและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

- ราคารับซื้อและราคาขายของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานสิ้นเปลืองยังต่ำมาก เมื่อเทียบกับไฟฟ้าที่ได้จากชีวมวล จึงไม่เกิดแรงจูงใจในการผลิต แต่ถ้าราคาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานสิ้นเปลืองสูงขึ้นในอนาคตก็จะเป็นแรงจูงใจให้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงสีข้าวและโรงงานน้ำตาล จนทำให้มีไฟฟ้าเหลือมากพอจำหน่ายคืนเข้าระบบของการไฟฟ้าฯ ได้ (วารสารนโยบายพลังงาน, 2545)

2.1.4 ความเหมาะสมของชีวมวลแต่ละประเภทที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

- กากอ้อย โรงงานน้ำตาลที่มีเครื่องจักรที่ผลิตไฟฟ้าอยู่แล้ว หากมีการดัดแปลงเครื่องจักรเพื่อผลิตไฟฟ้าขายนอกฤดูหีบอ้อย จึงเป็นการลงทุนไม่มาก และได้ผลตอบแทนการลงทุนค่อนข้างดี แต่ปริมาณกากอ้อยที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลต้องมีปริมาณมากพอที่จะผลิตไฟฟ้านอกฤดูหีบอ้อย หรือหากเครื่องจักรที่มีอยู่ (โดยเฉพาะหม้อน้ำ) ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไปก็ควรหาเชื้อเพลิงอื่นมาเสริม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อน้ำให้สามารถทำงานได้มากขึ้น

- แกลบ เป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดในบรรดาชีวมวลทั้งหมดเพราะมีความชื้นต่ำไม่ต้องผ่านเครื่องย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ ประกอบกับมีสัดส่วนขี้เถ้ามากกว่าชีวมวลชนิดอื่น สามารถนำไปทดแทนดินเพื่อปลูกพันธุ์ไม้ต่างๆ ได้ดี การนำแกลบมาเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าจะมีปัญหาอยู่ที่การรวบรวมแกลบจากโรงสีที่มีแหล่งผลิตอยู่กระจัดกระจายทั่วไปหลายๆ แห่งมารวมกัน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้นและเงินลงทุนต่อเมกะวัตต์จะลดลง โดยข้าวเปลือก 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือแกลบประมาณ 220 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 90-125 kWh

- กากปาล์ม โดยทั่วไปโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีเครื่องจักรที่ผลิตไฟฟ้าอยู่แล้ว แต่ส่วนใหญ่จะออกแบบขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าไว้ให้เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในโรงงาน จึงทำให้มีกากปาล์มเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก แนวทางหนึ่งในการบรรเทาปัญหาของโรงงานในการกำจัดกากปาล์มที่เหลือก็คือการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินขายภายนอก

- เศษไม้ เศษไม้ส่วนใหญ่จะเป็นไม้ยางพาราซึ่งมีมากในภาคใต้ของประเทศแต่เนื่องจากเศษไม้มีความชื้นสูงมากและมีแหล่งที่อยู่กระจัดกระจาย ต้นทุนของเศษไม้จึงสูงกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ เช่น ถ้าต้องนำปลายไม้จากสวนยางพารามาเป็นเชื้อเพลิง ในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 4 นิ้ว ยาว 1 เมตร จะมีต้นทุนในการรวบรวมและจัดส่งอย่างต่ำเท่ากับ 250 บาท/ตัน เมื่อเทียบเป็นไม้แห้งโดยหักความชื้นออก ราคาจะสูงขึ้นเป็น 3 เท่า หรือ 750 บาท/ตัน ทั้งนี้ยังไม่รวมต้นทุนในการย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ ดังนั้นผลตอบแทนการลงทุนจึงน้อยกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น

- ซังข้าวโพดและกาบมะพร้าว ชีวมวลทั้ง 2 ชนิดนี้มีปริมาณไม่มากและอยู่กระจัดกระจาย เหมาะที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงเสริมมากกว่าใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า (วารสารนโยบายพลังงาน, 2545)

2.2 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน ในอดีตเราจะคุ้นเคยกับการนำไม้มาเผาเป็นถ่านไม้เท่านั้น แต่ด้วยพระอัจฉริยภาพของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระองค์ทรงทรงเล็งเห็นถึงการขาดแคลนไม้ในอนาคต รวมทั้งพลังงานด้านอื่นๆ พระองค์ทรงมีพระราชดำริให้วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนตั้งแต่ราคาน้ำมันยังถูกและด้วยสายพระเนตรอันยาวไกลของพระองค์ท่านจึงได้ก่อเกิดโครงการในพระราชดำริต่างๆ มากมายในปัจจุบัน สำหรับในด้านการผลิตถ่าน พระองค์ทรงมีพระราชดำริในการนำวัสดุเหลือใช้ เช่น ผักตบชวา มาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงซึ่งเรียกว่า "เชื้อเพลิงเขียว" และถ่านจากแกลบ ซึ่งปัจจุบันโครงการส่วนพระองค์ในสวนจิตรดา ก็มีโครงการเกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่งซึ่งเปิดให้ประชาชนทั่วไปเข้าเยี่ยมชมเพื่อจะได้นำความรู้ไปพัฒนาสำหรับการประกอบอาชีพให้เหมาะสมกับตนเองเพื่อความเป็นอยู่ที่พอเพียงต่อไป

2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

วัตถุดิบในการผลิตถ่านอัดแท่งมีหลากหลายชนิด เช่น ซังข้าวโพด กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว ชานอ้อย ต้นมันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลัง ผักตบชวา กะลาปาล์ม ต้นฝ้าย ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กากทานตะวัน เปลือกทุเรียน เศษถ่านหุงต้มที่เหลือจากการใช้แล้ว เป็นต้น (กรมพัฒนาและการส่งเสริมพลังงาน, 2535)

2.2.2 กรรมวิธีการผลิต

หลักการผลิตถ่านอัดแท่งมี 2 วิธี คือ

- การอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุโดยที่วัสดุไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านมาก่อน เมื่ออัดเป็นแท่งเสร็จแล้วค่อยนำเข้าเตาให้เป็นถ่านอีกครั้งหนึ่ง วัสดุที่สามารถผลิตโดยวิธีการอัดร้อนขณะนี้มี 2 ชนิด คือ แกลบและขี้เลื่อย เพราะวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้เมื่อโดนอัดด้วยความร้อนจะมีสารในเนื้อของวัสดุยึดตัวมันเองจึงทำให้สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้ โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน โดยที่เครื่องอัดต้องเป็นเครื่องอัดชนิดอัดร้อนซึ่งราคาค่อนข้างสูง

- การอัดเย็น เป็นการอัดวัสดุที่เผาถ่านมาแล้ว แล้วนำมาผสมกับแป้งมันหรือวัสดุประสานอื่นๆ โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมัน ถ้าวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว เมื่อผ่านการเผาแล้ว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อน แล้วค่อยนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ (อุกฤษฎ์, 2552)

<u>คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง</u>

- ให้ความร้อนสูง เนื่องจากเป็นถ่านที่ได้รับการเผาไหม้เต็มที่
- ปลอดภัยไม่มีสารตกค้างและไม่ทำลายสุขภาพ เพราะถ่านได้ถูกเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิเกิน 800 องศา
- ทนทานสามารถใช้งานได้นานกว่าถ่านไม้ธรรมดาถึง 2.5 – 3 เท่า
- ประหยัดเพราะใช้ได้นาน ไม่แตก และไม่ดับเมื่อติดแล้ว ทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากถ่านจะเผาไหม้จนกว่าจะกลายเป็นขี้เถ้า
- ไม่แตกประทุอย่างถ่านไม้ทั่วไป
- ไม่มีควันเนื่องจากความชื้นน้อยมาก
- ไม่มีกลิ่นเพราะผลิตจากวัสดุธรรมชาติ 100% ไม่ผสมสารเคมีใดๆ
- ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ ไม่วูบวาบเนื่องจากความหนาแน่นของถ่านไม่เท่ากันทุกส่วน

2.2.3 ประโยชน์ของถ่าน

2.2.3.1 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulpide) โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium Cyanide) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) หรือถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูง (High Fixed Carbon) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย อาทิใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปาและระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้ขี้เถ้าเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้าและมีความแข็งแกร่งขึ้นอีกด้วย (นิตยสารเทคโนโลยีเกษตรแนวใหม่, 2546)

2.2.3.2 การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน

จากคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่านทำให้ในต่างประเทศมีการผลิตเครื่องประดับจากถ่านเพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนซึ่งได้รับความนิยมมาก ในญี่ปุ่นได้ใช้ถ่านเพื่อลดกลิ่นในห้องปรับอากาศ ห้องทำงาน และในรถ โดยคุณลักษณะของถ่านที่มีรูพรุนและจุลินทรีย์ที่

เป็นประโยชน์ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่างๆ ไว้ได้อย่างดี หรือจะใช้ถ่านเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนก่อนปล่อยสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ (นิตยสารเทคโนโลยีเกษตรแนวใหม่, 2546)

2.2.3.3 การใช้ประโยชน์ในการเกษตร

- ถ่านมีรูพรุนมากมาย เมื่อใส่ถ่านลงในดินจะช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้รากของพืชขยายตัวอย่างรวดเร็ว ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเพราะคุณสมบัติต่างๆ ของจุลธาตุที่มีอยู่ในถ่านจะเป็นประโยชน์ให้แก่ พืช ถ่านที่นำมาใช้ปรับปรุงดินควรเป็นเศษถ่านขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร
- ใส่ผงถ่านลงในกล่องบรรจุผักและผลไม้เพื่อดูดซับแก๊สเอธิลีน (Ethyline) เป็นการยับยั้งกลไกการทำให้ผักผลไม้สุกจะช่วยคงความสดอยู่ได้นานถึง 17 วัน โดยไม่เสียหายหรือสุกงอม
- ถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อย ใช้ทดแทนแกลบสำหรับรองพื้นคอกสัตว์ ซึ่งราคาถูก หาง่าย และเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนและแก๊สต่างๆ อันเป็นสาเหตุหนึ่งของอาการเครียดในสัตว์
- นำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำ โดยการนำถ่านใส่กระสอบในปริมาณที่เหมาะกับปริมาณแหล่งน้ำ และวางไว้ที่ก้นบ่อโดยจัดให้มีการไหลเวียนน้ำบริเวณกระสอบถ่าน ซึ่งเศษอินทรีย์วัตถุต่างๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูพรุนของถ่านเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำได้เช่นกัน (นิตยสารเทคโนโลยีเกษตรแนวใหม่, 2546)

2.3 การผลิตไฟฟ้าชีวมวล

การผลิตไฟฟ้าชีวมวลเป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงาน โดยทั่วไปอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การเผาไหม้โดยตรง การผลิตแก๊ส และการผลิตพลังงานร่วม

การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด ใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเชื้อเพลิงแข็ง มีขั้นตอนคือ เผาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรงในเตาเผา ความร้อนที่ได้จะถูกนำไปใช้ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำที่ผลิตได้นี้จะถูกนำไปใช้ขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะเข้าสู่คอนเดนเซอร์ (เครื่องควบแน่น) เพื่อให้เย็นลงและกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ เพื่อปั๊มกลับขึ้นไปป้อนหม้อไอน้ำ โดยถูกอุ่นด้วยไอน้ำที่มาจากกังหัน ณ ที่ความดันช่วงกลาง ก่อนป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำอีกครั้ง ชนิดของเตาซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล สำหรับชีวมวลที่มีขนาดเป็นชิ้นค่อนข้างใหญ่ เช่น

เศษไม้ จะเหมาะกับเตาเผาระบบสโตกเกอร์ (Stoker) ถ้าชีวมวลเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย เช่น ขี้เลื่อย หรือแกลบ เหมาะกับเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) หรือไซโคลน (Cyclone)

การผลิตแก๊ส (Gasification) เป็นกระบวนการผลิตแก๊สจากการเผาไหม้ โดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊ส โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ที่มีอากาศจำกัด ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สหรือแก๊สชีวมวล ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทนในการเผาไหม้ในที่อากาศจำกัดนี้เป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แต่จะเกิดความร้อนเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาประเภทต่างๆ มากมาย เช่น ปฏิกิริยารีดักชั่น ไพโรไลซีสและการอบแห้ง เตาผลิตแก๊สชีวมวลส่วนมากจำแนกตามลักษณะการไหลของอากาศที่ผ่านเตา ซึ่งแบ่งได้ 4 ชนิด คือ

- เตาแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) จะได้แก๊สที่อุณหภูมิไม่สูงแต่จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีน้ำมันดิน (Tar) และเขม่าปะปนเป็นจำนวนมาก
- เตาแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) ได้แก๊สที่สะอาดกว่า
- เตาแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross-draft Gasifier) จะได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำมันและน้ำมันดินต่ำ
- เตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-Bed Gasifier) เตาแบบนี้ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย รักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของขี้เถ้าทำให้ไม่เกิดการจับตัวของขี้โลหะ ได้เชื้อเพลิงที่มีขี้เถ้ามาก ซึ่งถ้านำไปใช้ในเตาผลิตแก๊สแบบอื่นอาจเกิดปัญหามากมาย แก๊สที่ออกมามีปริมาณขี้เถ้าและฝุ่นเนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเตาสูงจึงต้องแยกขี้เถ้าและฝุ่นเหล่านี้ออกโดยใช้เครื่องดักฝุ่น การควบคุมการทำงานได้ยาก ระบบซับซ้อนและมีราคาแพง

โดยแก๊สชีวมวลสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งสำหรับกังหันแก๊สและเครื่องยนต์แก๊ส สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ปัจจุบันหลายประเทศให้ความสนใจผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลโดยใช้กังหันแก๊สกันมากขึ้น เห็นได้จากการเพิ่มจำนวนของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในการนำแก๊สชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าอยู่หลายประการ เช่น

- ปริมาณฝุ่นละอองและน้ำมันดินที่ปนเปื้อนมีปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาต่อการเดินเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้า
- เกิดการจับตัวของขี้โลหะในเตาผลิตแก๊สชีวมวลทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องเตาบ่อยๆ เพื่อกำจัดขี้โลหะที่จับตัวกัน
- เตาผลิตแก๊ส เครื่องกรองและเครื่องลดอุณหภูมิของแก๊สชีวมวลเสื่อมเร็วเนื่องจากเกิดการกัดกร่อน

การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) เป็นการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหรือเชื้อเพลิงเพียงแหล่งเดียว นำมาผลิตพลังงานที่ต่างกัน 2 ชนิด สามารถแบ่งตามลำดับก่อนหลังของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนออกได้เป็น 2 แบบ คือการผลิตไฟฟ้านำหน้าและการผลิตไฟฟ้าตามหลัง ซึ่งการผลิตไฟฟ้านำหน้าเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

ข้อดีของการใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า

ดังที่ได้กล่าวมาชีวมวลส่วนใหญ่ได้จากผลิตผลทางการเกษตร ดังนั้นจึงเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถจัดหาได้ง่าย และในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีการใช้ชีวมวลมาผลิตไฟฟ้ามากขึ้น โดยข้อดีของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลสำหรับประเทศไทย มีดังนี้

- เมืองไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีชีวมวลซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางเกษตรจำนวนมากและมีราคาถูก การนำชีวมวลมาใช้จึงก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ
- ในแง่ของค่าใช้จ่าย ราคาเชื้อเพลิงนำเข้าจากต่างประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น ชีวมวลจึงได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับถ่านหินเชื้อเพลิงนำเข้า
- ความตื่นตัวทางสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะของเสียที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าชีวมวลได้เปรียบในด้านนี้มาก เพราะเป็นวัสดุธรรมชาติเมื่อเผาไหม้ชีวมวล แก๊ส CO_2 ที่ได้จะคืนกลับไปให้พืชได้ใช้หมุนเวียนไปอย่างนี้เรื่อยไป จึงไม่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

2.4 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หรือ Life Cycle Assessment ที่เรียกกันย่อๆ ว่า LCA นั้น เป็นการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือ กิจกรรมอื่นๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งได้นำมาใช้ทั่วโลกโดยรัฐบาลและองค์กรอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้รู้ถึงความเป็นมาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะหาหนทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ตัวอย่างแรกในการทำ LCA ของผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จ คือการศึกษาเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ของน้ำดื่มประเภทหนึ่ง และได้มีการประชาสัมพันธ์ให้ทราบอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 วิธีการในตอนแรกถูกเรียกว่า Resource and Environmental Profile Analyses (REPAs) ได้เน้นที่การศึกษาในเรื่องการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรธรรมชาติและการควบคุมของเสีย แต่สมัยนั้นความรู้เกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมยังมีไม่เพียงพอ การศึกษาเรื่องนี้จึงไม่ได้รับความสนใจมากนัก จนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ. 1970 ประเด็นดังกล่าวได้รับความสนใจอีกครั้ง เนื่องจากเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ประกอบกับนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ ที่มุ่งปลูกจิตสำนึกและการตระหนักถึงปัญหาทางด้าน

สิ่งแวดล้อมให้กับประชาชนมากยิ่งขึ้น การศึกษาเกี่ยวกับ LCA จึงถูกพัฒนาขึ้นควบคู่ไปกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการค้นคว้าและวิเคราะห์ความต้องการในการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอย่างละเอียด และต่อมาก็ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ทางด้านทรัพยากรอื่นๆ รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการปล่อยมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตหรือบริการตามไปด้วย โดยเริ่มมีการศึกษา LCA อย่างจริงจังในปี ค.ศ. 1980

อย่างไรก็ตามเทคนิคที่นำมาใช้ใน LCA นั้น มีหลายวิธี ผลที่ได้จึงแตกต่างกันไปตามวิธีการข้อมูล การตีความของผู้ทำการวิเคราะห์หรือประเมิน รวมถึงการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกันไป ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้ผลที่ได้ต่างกัน แม้จะเป็นการวิเคราะห์หรือประเมินผลิตภัณฑ์เดียวกันก็ตาม จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้การกำหนดมาตรฐานในการจัดทำรายงานทางสิ่งแวดล้อมถูกจัดตั้งขึ้นมาอย่างเป็นสากล โดยจากการจัดการประชุมวิชาการในระดับนานาชาติเกี่ยวกับวิธีการและหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการทำ LCA โดยปัจจุบันอยู่ในการดูแลของสมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC)

SETAC เป็นองค์กรนานาชาติแห่งแรกที่จัดทำผังโครงสร้างสำหรับการทำ LCA ซึ่งเป็นผังโครงสร้างที่เป็นรากฐานสำหรับการทำ LCAในสถานศึกษา โรงงานอุตสาหกรรม และในองค์กรของรัฐ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีการทำ LCA ในหลายวิธีการในปัจจุบัน ซึ่งจุดมุ่งหมายของ SETAC คือการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องเฉพาะทางและการพัฒนาการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ในด้านการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (อนุวัตร์, 2548)

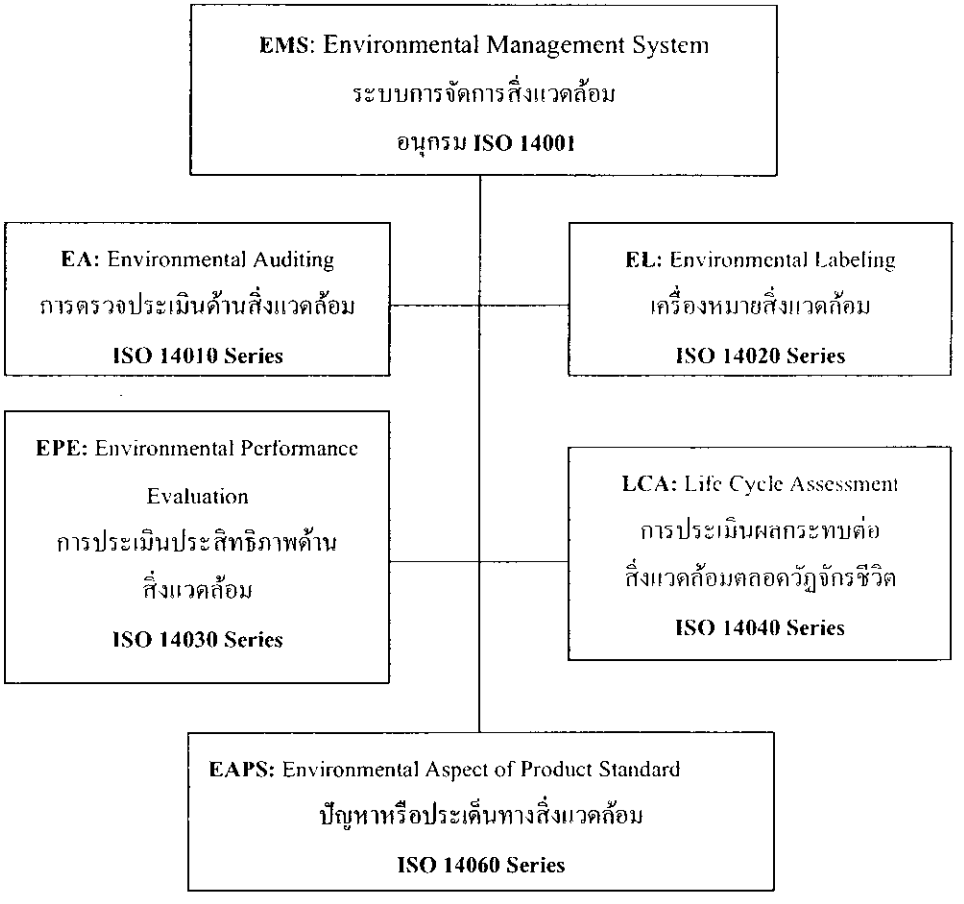
องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standard: ISO) เป็นองค์กรเอกชนที่เป็นผู้ให้การรับรองด้านมาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับทั่วโลก โดยที่เรารู้จักกันดี ได้แก่ การพัฒนาและกำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 9000 ที่ว่าด้วยมาตรฐานการจัดการองค์กร หรืออนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ที่ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อม ในส่วนของ LCA นั้นจัดอยู่เป็นหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 และ 14001 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานต่างๆ ดังภาพที่ 2.1 จะเห็นว่าอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชุด ISO 14040 นั้นมีการกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการศึกษา ดังนี้

- ISO 14040 - Principles and Framework เป็นมาตรฐานกล่าวถึงหลักการและกรอบแนวคิด
- ISO 14041 - Life Cycle Inventory Analysis เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ

- ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- ISO 14043 – Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จาก LCI และ LCIA
- TR 14047 Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- TS 14048 - Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- TR 14049 - Technical Report on "Illustrative examples on how to apply goal and scope definition and inventory analysis" เป็นรายงานวิชาการการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 นี้แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือแนวทางปฏิบัติรวมถึงข้อกำหนดของ ISO และคำนิยามที่เกี่ยวเนื่องกับแนวทางในการปฏิบัติหรือข้อกำหนดนั้นๆ ซึ่งอนุกรมทั้งหมดของกลุ่ม ISO 14000 ยกเว้น ISO 14001 ที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติในรูปของเอกสารเชิงบรรยายมากกว่าข้อกำหนดสำหรับระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ระบบมาตรฐาน ISO 14000 สามารถแบ่งหมวดหมู่ได้เป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 2.2 คือ

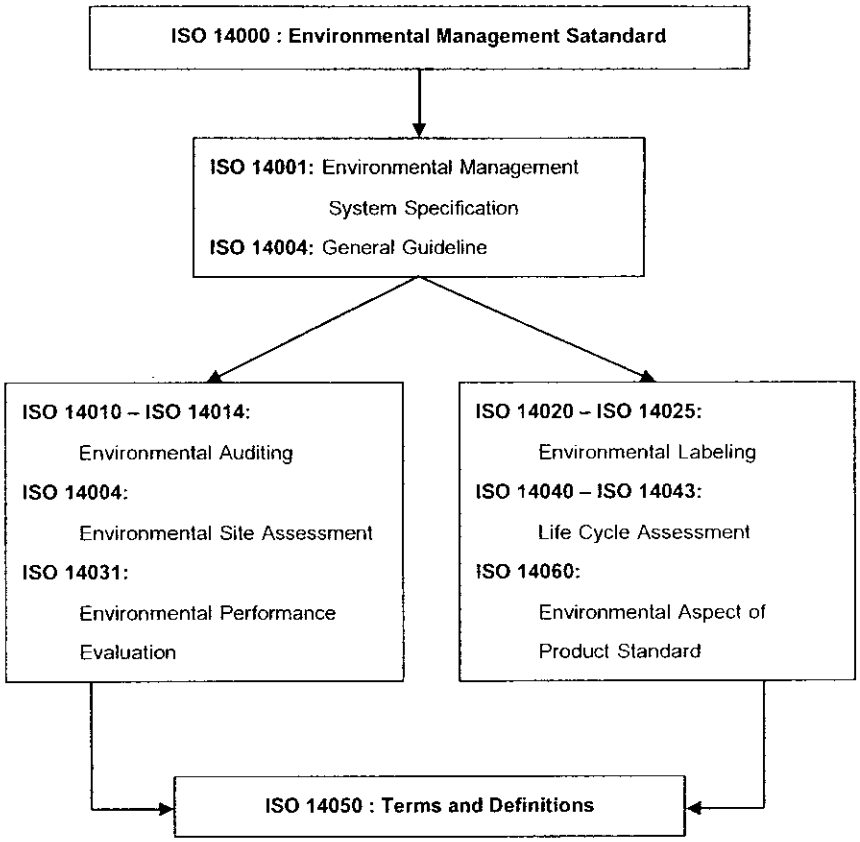
- ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System: EMS) การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing: EA) และการประเมินประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation: EPE)
- มาตรฐานการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product-oriented Standards Life Cycle Assessment: LCA) ได้แก่ เครื่องหมายทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Labeling: EL) และปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects in Product Standards: EAPS)



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ในอนุกรม ISO 14000

ที่มา: S. Sate (2005)

สำหรับมาตรฐานของ ISO ในด้าน LCA นั้นให้ความสนใจทั้งในมุมมองด้านเทคนิค (Technical Aspects) และมุมมองด้านการจัดการในองค์กร (Organization Aspects) สำหรับมุมมองด้านการจัดการนั้น จะมุ่งเน้นในด้านการออกแบบกระบวนการที่เป็นจุดวิกฤติที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และให้ความสนใจเป็นพิเศษต่อการเปรียบเทียบหาสิ่งที่เป็นประโยชน์เพื่อเปิดเผยสู่สาธารณชน อีกทั้งยังครอบคลุมเนื้อหาที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการ กลยุทธ์ที่จะทำให้บรรลุถึงเป้าหมายวางไว้ รวมทั้งข้อกำหนดในการรายงานผล มาตรฐานที่เป็นตัวแสดงถึงการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Environmental Management-Life Cycle Assessment อีกด้วย



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอนุกรม ISO 14000 ในแต่ละอนุกรมและความสัมพันธ์ของอนุกรมที่เกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตกับอนุกรมทั้งหมด

ที่มา: S. Sate (2005)

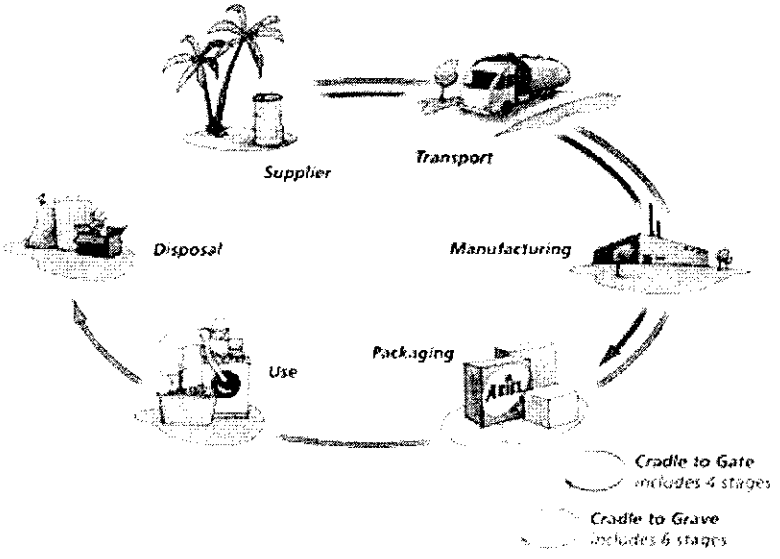
UNEP (The United Nations Environmental Program) โครงการด้านสิ่งแวดล้อมขององค์การสหประชาชาติ UNEP ได้นำ LCA ไปใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายทางสิ่งแวดล้อม และได้ส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative และได้มีการเผยแพร่หลักการโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนาได้นำเอา LCA ไปใช้ ตลอดจนกลุ่มคนที่สนใจเรื่อง LCA หลายๆ กลุ่มทั่วโลกซึ่งมุมมองที่แตกต่างกันเกี่ยวกับ LCA ได้รวมตัวกันเป็นกลุ่มความร่วมมือระหว่างกัน เช่น กลุ่ม LCA ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ CML ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของ UNEP อีกด้วย (อนุวัตร์, 2548)

2.4.1 การนำวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์มาใช้ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความสำคัญ สนับสนุน และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เนื่องจาก LCA เป็นชุดมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยเริ่มต้นจากการประชุมสัมมนา หรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD) องค์กรเอกชนต่างๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจต่อมา LCA ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2545 ได้มีการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจด้าน LCA ของประเทศไทย เรียกว่า Thai LCA forum/network เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้รวมเผยแพร่กิจกรรมต่างๆ ด้าน LCA ดำเนินการผ่านเว็บเพจ (http://www.Thailca.net) ปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่ความสนใจและความรู้ด้าน LCA นั้นได้กระจายออกไปมากขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มนักวิจัย เช่น มหาวิทยาลัยต่างๆ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (สสท.) ได้มีบทบาทสำคัญในการผลักดันองค์ความรู้ด้าน LCA สู่ภาคธุรกิจและสาธารณะ โดยผ่านกิจกรรมการอบรมสัมมนาและการทำโครงการวิจัยเรื่อง LCA และหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน LCA ในประเทศไทย ได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ปัจจุบันทั้ง 2 หน่วยงานได้ดำเนินกิจกรรมด้าน LCA ในเรื่องต่างๆ มากมาย

2.4.2 นิยามและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังหมดอายุการใช้งาน หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA เป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ที่มา: Science in the box (2554)

(http://www.scienceinthebox.com/en_UK/sustainability/lifecycleassessment_en.html)

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน ได้ให้นิยามของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า *"เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต"* (ทนงเกียรติ, 2548)

สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี ได้ให้นิยามของ LCA ว่า *"เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยการพิจารณาครอบคลุมกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก"*

2.4.3 วัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การบริการ การใช้งาน หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ไปปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์และก่อให้เกิดการจัดการที่เป็นระบบและยั่งยืน

สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวี

โดยใช้มุมมองทางสิ่งแวดล้อมมาสนับสนุนอีกทางหนึ่ง ในการนำเอา LCA มาประยุกต์ใช้นั้นมีจุดมุ่งหมายหลัก 3 ประการได้แก่

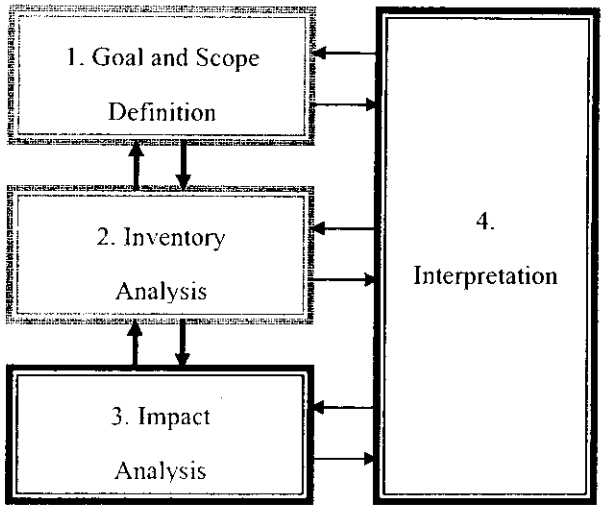
- การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้จาก LCA นั้นสามารถทำให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต ทำให้มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างตรงจุด ทำให้สามารถตัดสินใจในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน และสามารถวางแผลกลยุทธ์ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้ในทิศทางที่ถูกต้องต่อไป
- การมองผลกระทบโดยรวม สามารถมองภาพรวมที่เกิดขึ้นจาก LCA ได้ทั้งหมดและสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของผลกระทบตลอดจนปัญหาได้อย่างชัดเจน
- เป็นการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบ เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้ให้ถึงเหตุที่เกิดจากผลที่สามารถพิสูจน์ได้ โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นรูปธรรมหรือในเชิงปริมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือในการนำมาวิเคราะห์ ไม่ได้เป็นเพียงการตัดสินใจของผู้ที่ทำการศึกษาเท่านั้น

หรืออาจกล่าวได้ว่า วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา LCA คือ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตลอดจนกระบวนการที่เกี่ยวข้องและยังสามารถนำผลการวิเคราะห์มาเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบและตัดสินใจทั้งในการเลือกผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยมีปัจจัยในทางสิ่งแวดล้อมเข้ามาประกอบการตัดสินใจอีกด้วย

2.4.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

เพื่อให้การดำเนินไปของ LCA เป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการศึกษาจึงยึดขั้นตอนในการศึกษา LCA ตามโครงสร้างของ ISO 14040 (1997E) ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษา LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)
4. การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนและโครงข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO

ดัดแปลงจาก: ISO 14040 (1997)

2.4.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

ขั้นตอนแรกในการทำ LCA ก็คือการกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะผลการศึกษาจะออกมาในทิศทางใดขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ โดยต้องพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา ลักษณะในการนำผลที่ได้ไปใช้ ไม่ว่าจะนำไปปรับปรุงกระบวนการ หรือนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการอื่นๆ ภายใต้ขอบเขตที่เรากำหนดไว้ เป็นต้น

การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบด้วย

(1) ขอบเขตของระบบ (System Boundary) คือ ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนปัจจัย หรือกระบวนที่มีความเกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาไม่ว่าจะเป็นวัสดุหรือพลังงาน ที่นำเข้าในระบบ ของเสีย หรือผลพลอยได้ที่ออกจากระบบ เป็นต้น

(2) หน่วยการทำงานของระบบ (Functional Unit) คือหน่วยวัดผลงานของระบบที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัววัดค่าระหว่างผลิตภัณฑ์ สำหรับสิ่งเข้าและสิ่งออกจากระบบมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน โดยลักษณะสำคัญของหน่วยการทำงานของระบบ คือ (1) บอกถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (2) บอกถึงความคงทนของผลิตภัณฑ์ และ (3) บอกถึงคุณสมบัติ

พื้นฐานในการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่สามารถทำได้ด้วยการทำหน้าที่พื้นฐานของระบบที่เหมือนกัน

(3) คุณภาพของข้อมูล (Data Quality) คือการกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการในการทำ LCA เพื่อเป็นพื้นฐานในการหาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา และทำให้เกิดการได้มาของข้อมูลที่เป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน ลักษณะของข้อมูลที่ดีนั้นต้องมีความละเอียดและชัดเจน ซึ่งต้องสามารถระบุถึงการได้มาของข้อมูลว่าได้มาจากวิธีใด ไม่ว่าจะเป็นจากการเก็บข้อมูล การคำนวณ หรือเป็นการอ้างอิงข้อมูลจากที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว เป็นต้น

2.4.4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การจัดทำทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจรวมถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียเข้าสู่อากาศ น้ำ และดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูลควรจะอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย สอดคล้องกับการไหลของกระบวนการโดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

- ต้องมีการคัดเลือกข้อมูลที่เหมาะสมทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ
- ต้องมีการกลั่นกรองขอบเขตของข้อมูลให้สอดคล้องกับระบบ
- ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้
- ความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลสูง มีความน่าเชื่อถือ
- สามารถทำให้เห็นถึงความสอดคล้องและเชื่อมโยงของข้อมูลที่ได้
- สามารถนำไปใช้ได้ในกรณีที่ต้องการการปันส่วนของข้อมูล

สำหรับวิธีการเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักของ ISO 14040 (1997) และ ISO 14041 (1998) การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (อนุวัตร์, 2548)

- การจัดเตรียมการรวบรวมข้อมูล
- รวบรวมข้อมูล
- ตรวจสอบและทวนสอบข้อมูลที่ได้เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง
- หาความสัมพันธ์กับหน่วยของกระบวนการ

- หาความสัมพันธ์กับหน่วยวัดผลงานของระบบ
- พิจารณาเรื่องการใช้พลังงานทดแทน และ การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Allocation and Recycling) เพื่อนำไปหักลบออกจากผลกระทบ
- สรุปผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์
- ปรับปรุงขอบเขตของระบบให้เหมาะสม

2.4.4.3 การประเมินผลกระทบ

ตามอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14042 (1998) ได้กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือการจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการให้เข้ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Selection of Impact Categories, Category Indicators, and Characterization Models) และการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณเองหรือการอาศัยการประเมินผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป จึงทำให้เกิดขั้นตอนนอกเหนือจากอนุกรมมาตรฐาน ซึ่งจะมีกี่ขั้นตอนนั้นก็ขึ้นกับวิธีการที่นำมาประเมินนั่นเอง

(1) การจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท (Classification and Characterization) เป็นการจำแนกกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลที่ได้ในการจัดทำบัญชีรายการหรือ LCI โดยจะดูถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลกับผลกระทบที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น NO_2 ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้านการเกิดฝนกรด (Acidification) และการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชชั้นต่ำในแหล่งน้ำ (Eutrophication) ดังภาพที่ 2.5

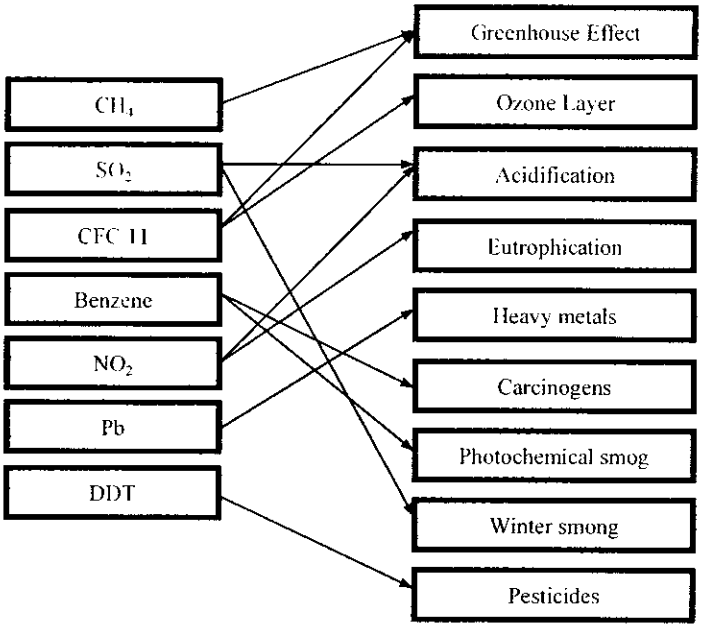
การกำหนดบทบาท (Characterization) คือการแปลงข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านใดแล้วจากขั้นตอนที่ 1 ให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐานหรือที่เรียกว่า Equivalent or Characterization factors: EF โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$EP_i = \sum \left(Q_i \times EF_{ij} \right) \qquad (2.1)$$

EP_j = (Environmental Impact Potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ เทียบในหน่วยกิโลกรัมสารอ้างอิง (kg substance equivalent)

Q_i = (Quantity of Substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} = (Equivalency Factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/ kg substance j)



ภาพที่ 2.5 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา: Goedkoop *et al.* (1996)

(2) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ศึกษากับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลก หรือกับผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$NP_{j(product)} = EP_j / \left(T \times ER_j\right) \qquad (2.2)$$

$NP_{j(ผลิตภัณฑ์)}$= (Normalized Environment Impact Potential) คือค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

T = (Lifetime of Product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j = (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

(3) การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor: WF) ว่าเป็นเท่าใด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \qquad (2.3)$$

WP_j = (Weighted Environmental Impact Potential) คือค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม jใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for Target Year: Pt.)

WF_j = (Weighting Factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

$NP_{j(ผลิตภัณฑ์)}$= (Normalized Environment Impact Potential) คือค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

สำหรับในวิธี EDIP นั้นได้ใช้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ค่าที่ได้หลังจากขั้นตอนการให้น้ำหนัก เรียกว่า คะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) มีหน่วยวัดเป็น Pt. หรือ Person for Target Year หน่วยเดียวกับค่า NP_j ซึ่งหน่วย Pt. เกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวมค่าในกลุ่มผลกระทบที่มีหน่วยต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อนมีหน่วย kg CO_2 การลดลงของชั้นบรรยากาศมีหน่วย kg CFC11 โดยการหาด้วยค่ากลาง ดังนั้นค่า Pt. จะเป็นการแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่าค่านั้นมากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่ากลางหรือเปรียบเทียบกับค่า Pt. ด้วยกัน (ชลธิชา, 2550)

2.4.4.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต

การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของการศึกษา LCA คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมหรือ LCI แล้วทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแล้วนั้นมาสรุป รวบรวม ตีความหมาย และแปลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบว่าในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตที่เกิดผลกระทบมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบนั้นเป็นเท่าใดและสามารถทำให้ทราบถึงที่มาของผลกระทบนั้นเพื่อที่จะนำไปสู่ผลสรุปและข้อเสนอแนะต่อไป ซึ่งในขั้นตอนการแปลความหมายของผลกระทบนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวังและอยู่ภายใต้เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกด้วย

วัตถุประสงค์ของการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นก็เพื่อจำแนกแนวทางและหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างตรงประเด็นหรือสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่สามารถทดแทนกันได้ โดยอาศัยมุมมองทางสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจต่อไป สำหรับขั้นตอนการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นประกอบด้วยขั้นตอนหลักสามขั้นตอนได้แก่

- การจำแนกทางเลือกในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ โดยทั่วไปจะพิจารณาเลือกช่วงในวัฏจักรชีวิตที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหรือปัจจัยที่เป็นสาเหตุเพื่อจะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขให้ผลกระทบลดลงต่อไป
- การวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมประกอบกัน โดยมองถึงความเป็นไปได้ถึงแนวทางทั้งหมดที่จะนำมาปรับปรุง โดยสอดคล้องกันกับกระบวนการ ทั้งในด้านเทคนิคและต้นทุนประกอบกันเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด
- คัดเลือกทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดโดยเรียงลำดับจากวิธีที่เป็นไปได้มากที่สุดจากมากไปหาน้อยในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบกับความเหมาะสมของเทคนิคและต้นทุนในทางเลือกนั้นๆ โดยจัดทำเป็นบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผลที่ได้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบต่อไป

2.5 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis: CBA)

การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ เป็นการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนกับผลประโยชนที่เกิดจากการลงทุนในโครงการต่างๆ เพื่อทำการประเมินดูว่าโครงการนั้นๆ ก่อให้เกิดผลได้หรือผลประโยชน์เท่าใด และเสียต้นทุนไปจำนวนเท่าใด ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุน-

ผลประโยชน์นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจว่าควรจะลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ โดยการวิเคราะห์เปรียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากโครงการ ทั้งนี้ขั้นตอนของการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ของโครงการประกอบด้วย

(1) ศึกษาขอบเขตและวัตถุประสงค์ของโครงการที่จะวิเคราะห์อย่างชัดเจน

(2) ระบุและวัดต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการแต่ละปีตลอดช่วงอายุของโครงการ

(3) ประเมินค่าของต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการในแต่ละปี โดยคำนวณเป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value: PV) ซึ่งหมายถึง การคำนวณหาค่าของเงินที่จะได้รับหรือใช้จ่ายไปในอนาคตว่าจะมีมูลค่าเป็นเท่าไรในปัจจุบัน มูลค่าในอนาคตจะมีมูลค่าปัจจุบันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอัตราส่วนลดที่ใช้ในการคำนวณ

(4) เปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ โดยใช้ดัชนีการวิเคราะห์โครงการต่อไปนี้

(4.1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ (ผลประโยชน์ของโครงการ) กับกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุนของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} NPV &= PVB - PVC \\ &= \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \\ &= \sum_{t=0}^{n} (B_t - C_t)(1+r)^{-t} \end{aligned} \qquad (2.4)$$

ในที่นี้ B_t คือ ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t คือ ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

t คือ ระยะเวลาของโครงการ (0, 1, 2, ... , n)

โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาว่าควรลงทุนก็ต่อเมื่อ $NPV > 0$

(4.2) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการ

$$BCR = PVB / PVC \qquad (2.5)$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^{n} B_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^{n} C_t(1+r)^{-t}}$$

ถ้า BCR มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป
แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

(4.3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เป็นวิธีการคำนวณหาอัตราคิดลด (r) ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 พอดี

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0$$

โดยที่ r คือ IRR

โดยผลที่ได้ควรมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยในปัจจุบัน (ต้นทุนของการกู้ยืม) จึงคุ้มค่าแก่การลงทุน

(4.4) ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP) คือระยะเวลาหรือปีที่ทำมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับ 0 พอดี

(5) วิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลการวิเคราะห์โครงการโดยกำหนดให้สถานการณ์หรือตัวแปรบางอย่างเปลี่ยนแปลง เช่น อัตราดอกเบี้ยเพิ่มขึ้น ราคาวัตถุดิบปรับตัวสูงขึ้น รัฐลดการสนับสนุน หรือจำนวนคู่แข่งเพิ่มขึ้น เป็นต้น

(6) สรุปผลการวิเคราะห์โครงการ โดยพิจารณาจากดัชนีการลงทุนและองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่าควรลงทุนหรือไม่

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

สหัถยา ลาดปาละ และคณะ (2007) ประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล โดยศึกษาประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น

ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือเตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลง ชุดทำความสะอาดแก๊ส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบนี้คือเศษไม้ยูคาลิปตัสจากโรงงานแปรรูป โดยเชื้อเพลิงมีขนาดประมาณ 2× 2×5 ถึง 4× 4×7 เซนติเมตร ความชื้นของเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 10 ส่วนประกอบของเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่า C H O และ N เท่ากับร้อยละ 44.02 5.91 49.13 และ 0.94 (มาตรฐานแห้ง) ตามลำดับ และค่าความร้อนต่ำของชีวมวลเท่ากับ 4,436 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลประมาณ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเชื้อเพลิงชีวมวล 2 กิโลกรัม สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอัตราการผลิตแก๊สของเตาผลิตแก๊สชีวมวลเท่ากับ 135 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลประมาณ 5.05 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งแก๊สชีวมวลประกอบด้วย CO CH_4 CO_2 H_2 N_2 และ O_2 เท่ากับร้อยละ 29.4 0.2 9.71 9.34 5.04 และ 0.22 ตามลำดับ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 73 และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 14 ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยรวมของระบบมีค่าร้อยละ 10

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปี 2004 Daranee and Shabbir H. ศึกษาเรื่องชานอ้อยแหล่งพลังงานยั่งยืนจากโรงงานน้ำตาล ชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำตาล โรงไฟฟ้าพลังงานร่วมที่ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบได้เป็นไอน้ำและกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานน้ำตาลและขายให้กับการไฟฟ้า ชานอ้อยเป็นชีวมวลอีกชนิดหนึ่งสำหรับผลิตพลังงานที่ยั่งยืน อย่างไรก็ตามผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยยังต้องมีการศึกษาว่ามันเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโรงไฟฟ้าจากชานอ้อยขนาด 25 MW ณ โรงงานน้ำตาล จ.นครราชสีมา ผลที่ได้พบว่า โรงไฟฟ้าประเภทนี้ก่อให้เกิดมลพิษ ได้แก่ NO_x และ SO_x ต่ำกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย สำหรับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าประเภทนี้ คือปริมาณ CO และ TSP หรือฝุ่นซึ่งเป็นผลกระทบระดับท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบด้านอื่นน้อย เช่น ภาวะโลกร้อน การเกิดฝนกรด และปริมาณอาหาร เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าแบบเดิม ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยยังเป็นแหล่งที่ดีเพื่อความยั่งยืนในประเทศไทย และในปีเดียวกันนี้ Thipwimon et al. ได้ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากแกลบในประเทศไทย จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นว่าผลกระทบด้านศักยภาพที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากพลังงานแกลบนั้นมีค่าน้อยกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก เพราะ CO_2 จากชีวมวลนั้นเป็นแก๊สที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก ส่วนซัลเฟอร์และไนโตรเจนนั้นมีในแกลบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับอุณหภูมิการเผาไหม้แกลบที่ต่ำกว่า 900°C

นั้นช่วยป้องกันการเกิด NO_x ดังนั้นการเกิด Acidification and Nutrification Potential จึงมีปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลแต่การเกิด Photo-oxidant เนื่องจากแก๊ส CO จากการใช้แกลบนั้นมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องมาจากประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบนั้นต่ำและแกลบมีความชื้น ในส่วนของขยะที่เป็นของแข็งนั้นมีเพียงข้อมูลแกลบซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้หมด ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการใช้แกลบนั้นน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมาก ยกเว้นการก่อให้เกิด Photo-Oxidant ซึ่งมีค่าสูงกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำและความชื้นในแกลบ จึงควรทำการปรับปรุงเทคโนโลยีเพื่อลดการใช้พลังงาน ลดแก๊ส CO และผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น ในส่วนของแกลบที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงควรทำให้แห้งก่อนจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นและลดการสูญเสียพลังงาน ปี 2008 ธีรนันทาและคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค LCA-NETS งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยวิธี LCA-NETS ในการหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งที่เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มาจากแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักและมีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำรอง แก๊สธรรมชาติจะมาจากแหล่งพม่าส่งมาตามท่อขนส่งแก๊ส การศึกษาจะทำการเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและในกรณีที่เป็นโรงไฟฟ้าระบบพลังความร้อนร่วม โดยวัดผลเป็นตัวเลขในหน่วยเดียวกันคือ [NETS] จากงานวิจัยนี้พบว่า โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมให้ประสิทธิภาพสูงกว่าและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดของทุกกระบวนการของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและพลังความร้อนร่วม เมื่อคิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าแยกเป็นแต่ละประเภทผลที่ได้คือ ผลกระทบทางด้านการใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel Depletion) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) และการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามลำดับ และทั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สเมื่อทำงานเข้าใกล้ค่ากำลังการผลิตสูงสุดจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ และในปี 2009 Kamalaporn et al. ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย ในการศึกษาทำการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติในสองเทคโนโลยี คือ ความร้อนและพลังงาน โรงไฟฟ้าความร้อนใช้แก๊สธรรมชาติร้อยละ 56 และน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 44 ในส่วนของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมใช้แก๊สธรรมชาติเป็นพลังงานเริ่มต้น ทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 MWh จากการศึกษาพบว่าโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนก่อให้เกิดผลกระทบ

ได้แก่ The Global Warming, Acidification, and POCPs สูงกว่าโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม แต่เกิด NEP ต่ำกว่า สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนนั้นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะลดลงได้ถ้าลดประมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลง โดยปริมาณผลกระทบที่เกิดในแต่ละกระบวนการของโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานร่วมในแต่ละกระบวนการ

Potential	Natural Gas Extraction	Natural Gas Separation	Natural Gas Transmission	Natural Gas Power Plant	Total
GWP (g CO_2-eq/MWh)	28,498	21,713	3,749	485,499	539,459
ACP (g SO_2-eq/MWh)	-	3.88×10^{-3}	-	761.06	761.06
POCP (g C_2H_4-eq/MWh)	2.22	8.88×10^{-5}	1.14	-	3.36
NEP (g NO_3-eq/MWh)	-	7.30×10^{-3}	-	1,452.96	1,457.83

สำหรับในต่างประเทศก็ได้มีการนำเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ในการศึกษาวิจัยด้านพลังงานโดยในปี 2005 Carpentieri et al. ได้ศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของวัฏจักรความร้อนร่วมกับระบบแก๊สซิฟิเคชั่นจากชีวมวล (IBGCC) และการขจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการวิจัยพบว่าการใช้พลังงานชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าช่วยลดปริมาณ CO_2 ลดภาวะโลกร้อน และลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรได้มากกว่าการใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า และในปี 2008 Gasal et al. ได้วิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างระบบพลังงานชีวมวลจากต้นพอบลาร์ (Poplar) ระบบพลังงานชีวมวลจากต้นมัสตาร์ดและแก๊สธรรมชาติในประเทศภูมิภาคยุโรปใต้ ผลการวิจัยพบว่าระบบพลังงานชีวมวลจากต้นพอบลาร์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการช่วยประหยัดพลังงาน และช่วยลดการเกิดภาวะเรือนกระจก และการเกิดแก๊ส N_2O NH_3 NO_X จึงมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า สำรับในประเทศสเปนก็ได้มีผู้ศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตกังหันลมในประเทศสเปน Martinez et al. (2008) โดยในการศึกษาได้วิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิตทุกส่วนประกอบของกังหัน การขนส่งกังหันจากโรงงานไปยังฟาร์มกังหันลม การติดตั้ง ผลกระทบที่เกิดจากการใช้งาน การบำรุง รักษาตลอดอายุการใช้งาน และการกำจัดกังหันหลังสิ้นสุดการใช้งาน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการผลิตไฟฟ้าโดยฟาร์มกังหันลมช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากช่วยลด

การเกิด CO_2 SO_2 และ NO_X อีกทั้งวัสดุที่ใช้เป็นกังหันสามารถนำมาแปรสภาพหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ในปีเดียวกัน Ramjavon (2008) ได้วิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยในประเทศมอริเชียส ผลการวิจัยพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยจะช่วยลดการเกิดภาวะเรือนกระจก และการเกิดกรดต่างๆ อีกทั้งช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินแต่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำมากกว่า ในขณะที่ประเทศไอร์แลนด์ได้วิจัยเรื่องการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตและผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของพืชพลังงาน Styles and Jones (2008) ซึ่งการประเมินเชิงบูรณาการของศักยภาพในการลดภาวะเรือนกระจกในประเทศไอร์แลนด์ ผลการวิจัยพบว่าการใช้พืชพลังงาน (ในที่นี้คือวิลโลว์และมิสแคนทัส) เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าแทนพลังงานฟอสซิลช่วยลดการเกิด CO_2 ของประเทศได้ร้อยละ 5.2 นอกจากนั้นยังมีความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนทางการเงิน

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ของโครงการ

มยุรี ปิ่นบัณฑิต (2002) วิจัยเรื่องความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าแกลบโดยพิจารณาจากต้นทุนและผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับตลอดอายุโครงการ 25 ปี และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยพิจารณาจากตัวแปรคืออัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อดอลลาร์สหรัฐฯ การเพิ่มขึ้นของราคาเชื้อเพลิงและการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการและการบำรุงรักษา ผู้ลงทุนไม่ขอรับเงินสนับสนุนค่าจำหน่ายไฟฟ้าจากรัฐบาลโดยใช้เกณฑ์ตัดสินใจการลงทุนแบบปรับค่าเวลาและผลตอบแทนโครงการ ได้แก่ NPV และ IRR ผลการวิจัยพบว่าเมื่อกำหนดให้อัตราดอกเบี้ยเท่ากับร้อยละ 8 NPV เท่ากับ 266.5 ล้านบาท IRR เท่ากับร้อยละ 21.12 และเมื่อศึกษาถึงความอ่อนไหวของโครงการพบว่าผู้ลงทุนได้รับผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนและโครงการมีความเหมาะสมต่อการลงทุน ในปีเดียวกัน ฤาชัย ละคำปั่น (2002) ได้วิจัยเรื่องความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยและแกลบเป็นเชื้อเพลิง ผลการวิจัยพบว่าโครงการโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยมีความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและการเงิน โดยมี NPV เท่ากับ 140.33 ล้านบาท IRR เท่ากับ 11.75 ซึ่งนับว่าคุ้มค่าการลงทุน เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยขณะทำการศึกษาซึ่งเท่ากับ ร้อยละ 7.5 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยสมมติให้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ราคาวัตถุดิบและอุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าปรับตัวสูงขึ้นร้อยละ 25 และโครงการได้รับการสนับสนุนการขายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหน่วยละ 10 สตางค์ ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความน่าลงทุนในโครงการยกเว้นกรณีที่ต้องใช้ขยะมูลฝอยอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิงพบว่าไม่คุ้มค่าลงทุน

นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร (2006) ทำการศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์จากรางพาราโบลิกร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ทำการศึกษา

โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft excel และ fortan การคำนวณแบบจำลองแบ่งเป็นสองส่วน คือ แบบจำลองเพื่อการศึกษาทางด้านเทคนิคและแบบจำลองเพื่อการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้ตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (cost of energy) ระยะเวลาคืนทุน (payback period) มูลค่าปัจจุบัน (net present value) และอัตราผลตอบแทน (internal rate of return) ผลการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนใหญ่มาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลและให้ผลทางเศรษฐศาสตร์ที่น่าสนใจคือ ราคาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลอยู่ที่ 2.16 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ในขณะที่ราคาของโรงไฟฟ้ารางพาราโบลิกมีค่า 25 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าพลังงานเสริมชีวมวลมีส่วนช่วยให้โรงไฟฟ้ารางพาราโบลิกมีความน่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์เห็นได้จากค่าไฟฟ้าที่ลดลงจาก 25 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 5.39 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ปี 2006 สมมาส แก้วล้วนและคณะ ได้ทำการประเมินทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เพื่อนำก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กมาใช้กับเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า สำหรับการศึกษาด้านเทคนิคได้มีการประยุกต์เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาดเล็กสูบเดียว 163 cm^3 อัตราส่วนการอัด 8.5:1 พร้อมเครื่องปั่นไฟเพื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ จากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1.6 kW และมีประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 20.8 ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลงจากการใช้ก๊าซโซลีนร้อยละ 10 และผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 40 บาท ต่อ 1 US$ ราคาไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย อัตราส่วนลดร้อยละ 6 ต่อปี ไม่คิดราคาก๊าซชีวภาพ อายุโครงการ 15 ปี สำหรับฟาร์มขนาดเล็กที่มีหมูแม่พันธุ์ 170 ตัว และลูกหมู 255 ตัว ซึ่งได้ติดตั้งบ่อผลิตก๊าซชีวภาพไว้แล้วขนาด 200 m^3 จากการศึกษาพบว่าฟาร์มดังกล่าวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 85.9 m^3/d ค่าความร้อนทางต่ำเท่ากับ 21 MJ/m^3 กำหนดให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สะสมอยู่ในก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 20.8 ทำให้ฟาร์มดังกล่าวมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า 4.3 kW จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ระบบสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 3.64 ปี ในกรณีที่รัฐบาลสนับสนุนค่าก่อสร้างบ่อผลิตก๊าซร้อยละ 45 และระบบสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 6.20 ปี หากเจ้าของฟาร์มลงทุนสร้างบ่อผลิตก๊าซชีวภาพเอง จากนั้นได้มีผู้ศึกษาพลังงานทางเลือกอื่นมากขึ้น โดยในปี 2007 F. Forouzbakhsh และคณะได้วิเคราะห์การลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กและขนาดกลางซึ่งมีความสำคัญพอที่จะเปรียบเทียบกับการลงทุนของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องจากการลงทุนในระยะกลางและกำลังการผลิตต่ำ ในการศึกษานี้เป็นการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ร้อยละที่แตกต่างกันของการลงทุนภาคเอกชน ในโครงการขนาด 3.7 MW และ 30 MW ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าหุ้นของภาคเอกชนในการลงทุนเพิ่มขึ้น B/C และ NPV มีค่าดีขึ้นในทางเศรษฐศาสตร์

และแสดงให้เห็นว่าเมื่อหุ้นของภาคเอกชนเพิ่มขึ้นประโยชน์ที่ได้รับก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นมันจะดีกว่าเมื่อให้หุ้นของรัฐบาลในการร่วมลงทุนโครงการต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ร้อยละ 10 และหลังจากที่การดำเนินการจำนวนโครงการที่คล้ายกันและ มีความมั่นใจการทำงานที่ดีของบริษัทเอกชนหุ้นของรัฐบาลในการลงทุนควรจะลดลงไปเป็นศูนย์ และสำหรับประเทศไทยเองในปี 2008 อโนทัย ศรีมาลานนท์ ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์และกำหนดราคาประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล กรณีศึกษาโครงการลำน้ำเชบก การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลและกำหนดราคาประสิทธิภาพของค่าไฟฟ้าตามหลักเศรษฐศาสตร์ โดยทำการคิดย้อนกลับเป็นมูลค่าปัจจุบันภายใต้อัตราคิดลดสังคมร้อยละ 5 ผลการศึกษาพบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,926,240,644 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 2.53 และอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 42.46 สรุปได้ว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และคุ้มค่ากับการลงทุน

Styles et al. (2008) วิจัยเรื่องพืชพลังงานในประเทศไอร์แลนด์: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่างวิลโลว์และมิสแคนทัสกับการใช้ประโยชน์จากที่ดินในการทำการเกษตรอื่นๆ ผลการวิจัยพบว่าการใช้ที่ดินเพื่อปลูกต้นวิลโลว์และมิสแคนทัสเพื่อเป็นพืชพลังงานให้ผลตอบแทนซึ่งวัดจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่าการใช้ที่ดินเป็นทุ่งเลี้ยงสัตว์ ปลูกอ้อย ข้าวบาร์เล่ย์ และข้าวสาลี แต่ให้ผลตอบแทนน้อยกว่าการทำฟาร์มโคนม อย่างไรก็ตามเนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการปลูกพืชพลังงานจึงนับว่าการลงทุนปลูกพืชทั้งสองชนิดเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการใช้ที่ดินเพื่อทำการเกษตรอื่นๆ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนี้จำแนกเป็นสองส่วนหลักคือ ในส่วนของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลโดยใช้เทคนิค LCA และอีกส่วนหนึ่งคือ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ ซึ่งทำการศึกษาชีวมวลจากแกลบผสมกลีเซอรีน สำหรับขั้นตอนของ LCA นั้นจะยึดขั้นตอนตามหลัก ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (2) การทำบัญชีรายการ (3) การประเมินผลกระทบ และ (4) การแปลผลวัฏจักรชีวิต สำหรับในการศึกษาวิจัยนี้จะแบ่งวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลออกเป็นสามช่วงกระบวนการ คือ (1) การขนส่งวัตถุดิบ (2) การผลิตแท่งถ่านอัดร้อน และ (3) การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ซึ่งในการศึกษาแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.1.1. วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.1.1.1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่นจากแกลบ และเปรียบเทียบผลกระทบในแต่ละกระบวนการ ตั้งแต่การขนส่ง การผลิต และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

3.1.1.2 เพื่อประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล และพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh

3.1.1.3 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

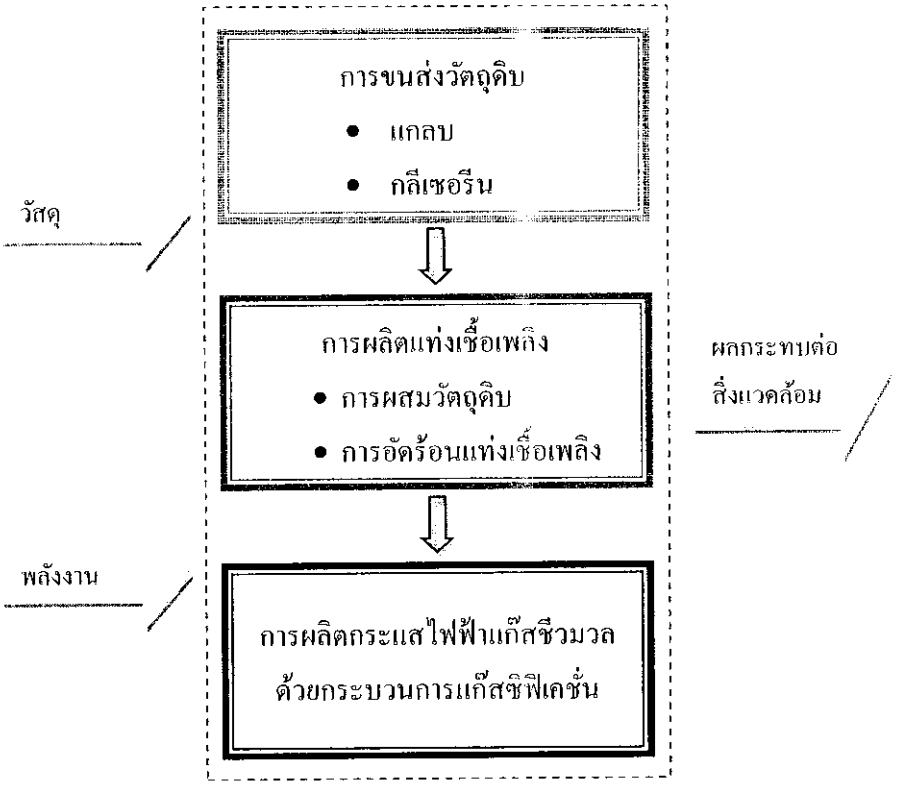
3.1.2 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนี้จะใช้วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.2 และมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

3.1.2.1 ขอบเขตของระบบ (System Boundary)

ทำการศึกษา LCA โดยทำการเก็บข้อมูลและประเมินวัฏจักรชีวิตในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แบ่งวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล เริ่มตั้งแต่การขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิง การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ได้แก่ ชนิดและปริมาณการ

ใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือของเสียที่ออกจากกระบวนการ และการจัดการกับผลกระทบหรือของเสียเหล่านั้น โดยมุ่งพิจารณาปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 CH_4 และ N_2O ที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเป็นหลัก แสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตของระบบในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

สำหรับการศึกษา LCA นั้น จะไม่ทำการศึกษาผลกระทบจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จัดเป็นต้นทุนคงที่ เช่น อาคารหรือโรงเรือน เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ เนื่องจากต้องการทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการใช้ทรัพยากร พลังงาน ในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเป็นหลัก (Major impact) ส่วนผลกระทบที่เกิดจากส่วนที่ไม่นำมาคิดนั้นจัดเป็นผลกระทบรอง (Minor impact) ซึ่งจะทำให้สามารถมองเห็นภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น และในการศึกษานี้กำหนดให้ของเสียทางการเกษตรจัดเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยจึงไม่ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนนี้

3.1.2.2 หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

หน่วยการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้นจะได้เป็น "การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจากแกลบ 1 kWh"

3.2 การทำบัญชีรายการ

ในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการจะทำการเก็บข้อมูล โดยจะมุ่งประเด็นการเก็บข้อมูลไปที่การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบตลอดจนผลิตภัณฑ์พลอยได้ สำหรับข้อมูลทั้งหมดที่มีความสำคัญต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการ (Primary Data) และข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้ (Secondary Data) สามารถจัดทำบัญชีรายการตามการจำแนกกระบวนการได้ดังนี้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบประกอบด้วย โดยพิจารณาถึงวัสดุและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการได้มาของแกลบและกลีเซอรีน โดยวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล ตามลำดับ จึงทำการเก็บข้อมูลตามกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวและไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พิจารณาการได้มาซึ่งแกลบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าว

กระบวนการย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม
กระบวนการทางการเกษตร • การเตรียมเมล็ดพันธุ์ • การดูแลรักษา	ดิน น้ำ สารเคมี พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล
กระบวนการสีข้าว	พลังงานไฟฟ้า เมล็ดข้าว แกลบ บรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 3.2 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พิจารณาการได้มาซึ่งกลีเซอรีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

กระบวนการย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม
กระบวนการทางการเกษตร • การเตรียมเมล็ดพันธุ์ • การเตรียมวัสดุที่ใช้สำหรับเพาะต้นกล้า • การรดน้ำ • การดูแลรักษา	ดิน น้ำ สารเคมี พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล ถุงเพาะชำ
การผลิตไบโอดีเซล • การสกัดน้ำมันปาล์ม • การผลิตไบโอดีเซล	สารเคมี น้ำมันปาล์มดิบ กลีเซอรีน

3.2.1 บัญชีรายการในช่วงการขนส่งวัตถุดิบ

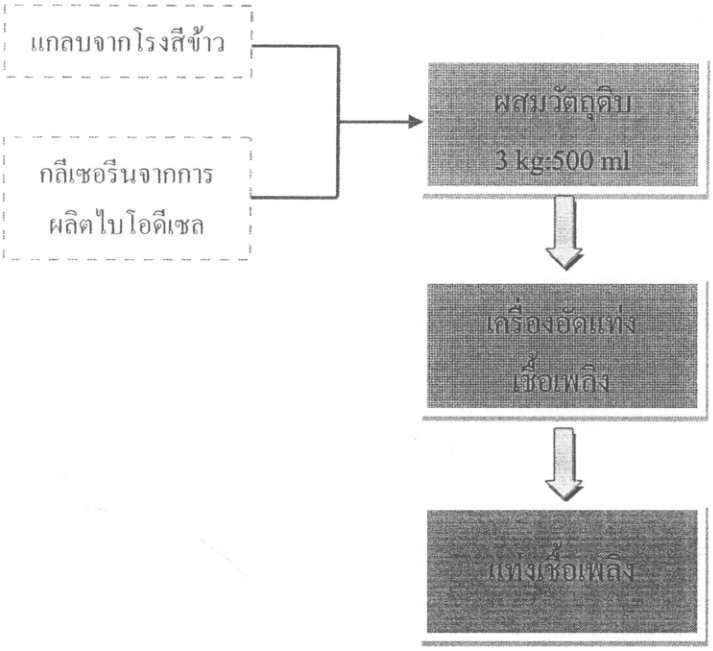
ในส่วนของการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยทำการขนส่งแกลบจากบริเวณ อ.ควนขนุน และ อ.เมือง จังหวัดพัทลุง และขนส่งกลีเซอรีนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางที่ 3.3 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม
แกลบ	น้ำมันดีเซล ระยะทางการขนส่ง
กลีเซอรีน	

3.2.2 บัญชีรายการในช่วงการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อน

ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงนั้นเริ่มจากการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง โดยแสดงขั้นตอนที่เกี่ยวข้องดังภาพที่ 3.2



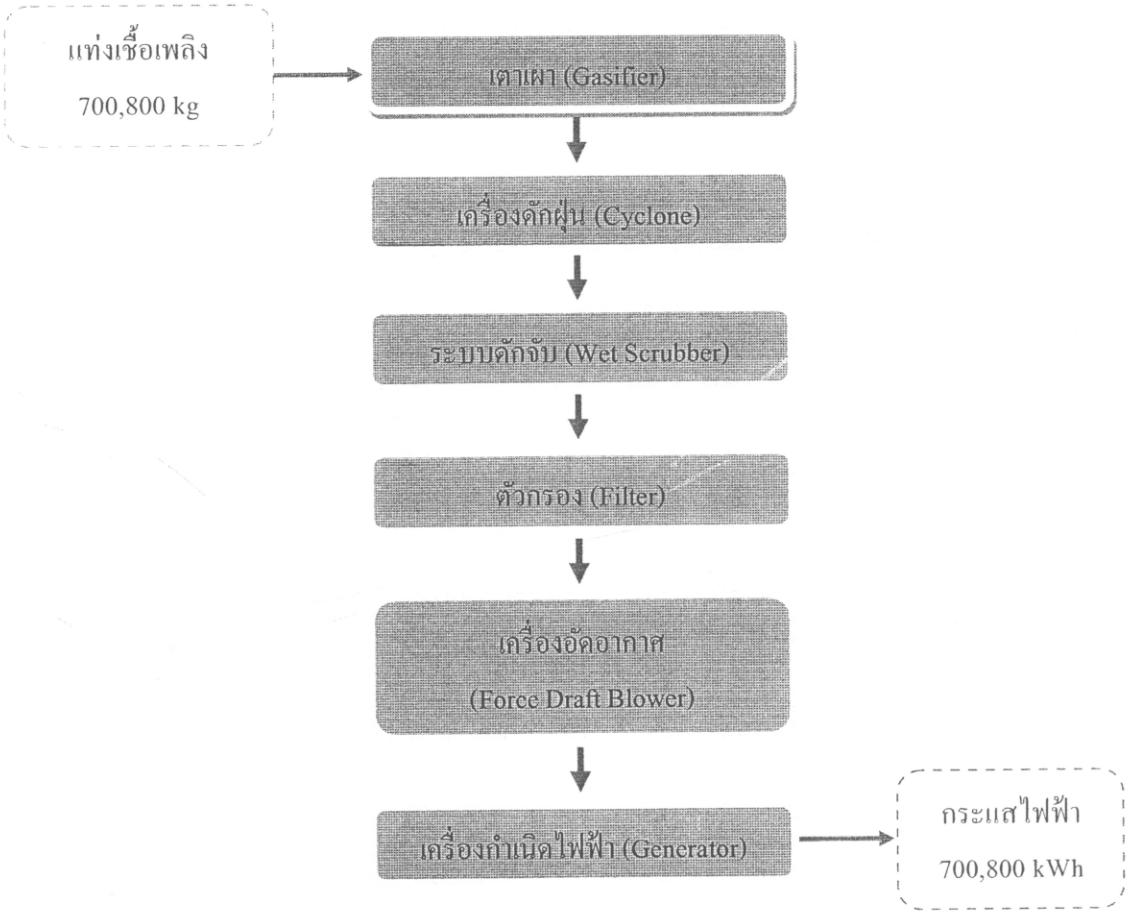
ภาพที่ 3.2 การผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3.4 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อน

กระบวนการ	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม
• การผสมวัตถุดิบ	แกลบ กลีเซอรีน
• การอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง	พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน

3.2.3 บัญชีรายการในช่วงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

จากภาพที่ 3.3 แสดงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น โดยประกอบด้วย 6 ขั้นตอน เริ่มจากขั้นตอนที่เกิดในเตาเผา แก๊สที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องดักฝุ่น ระบบดักจับ ผ่านขั้นตอนการกรองแก๊ส ไปยังเครื่องอัดแก๊สเพื่อเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 3.3 การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น

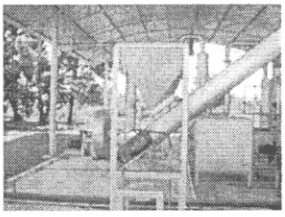
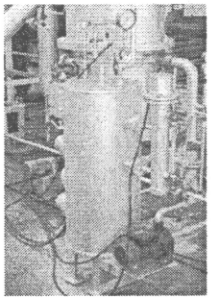
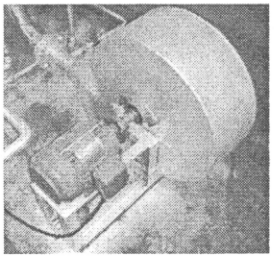
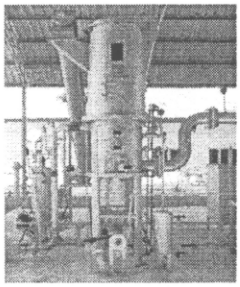
ตารางที่ 3.5 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น

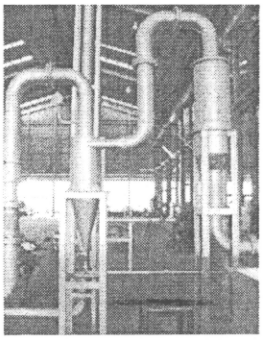
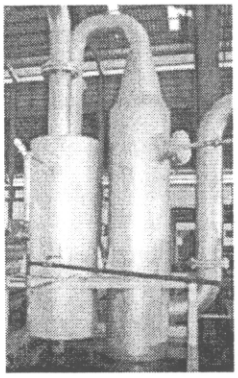
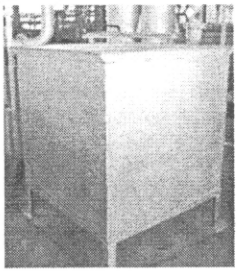
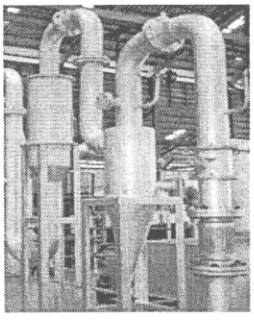
กระบวนการ	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม
การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชัน	แท่งเชื้อเพลิง น้ำ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน

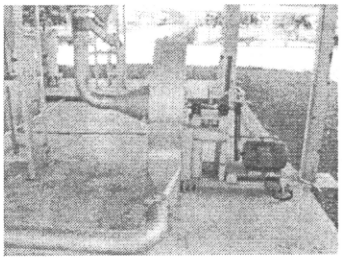
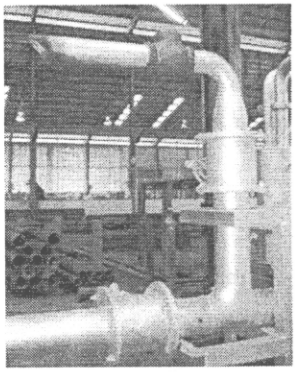
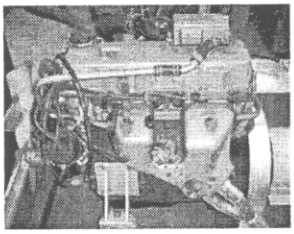
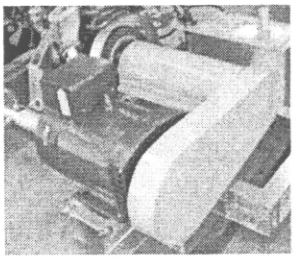
จากตารางบัญชีรายการ 3.1 และ 3.2 สามารถจัดประเภทข้อมูลที่ต้องการในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการในทุกๆ กระบวนการย่อยได้เป็น 3 กลุ่มสำหรับ LCA ดังนี้

1. ชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการ
2. ชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ
3. ชนิดและปริมาณผลกระทบหรือของเสียที่ออกจากกระบวนการ

ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล

อุปกรณ์	การทำงาน
อุปกรณ์ผลิตแก๊สชีวมวล	
1. ชุดป้อนเชื้อเพลิง (Screw-Pressed Fuel Hopper) 	เป็นแบบสกรูเกลียวอัดตรงส่วนล่างของถังป้อนเชื้อเพลิงและมีมอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่ส่งกำลัง โดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 100 kg/hr
2. เครื่องกำเนิดไอน้ำและตัวป้อนอากาศ (Steam Generator and Blower)  	เครื่องกำเนิดไอน้ำอาศัยขดลวดไฟฟ้าขนาด 10 kWe จำนวน 3 ตัว โดยสามารถป้อนไอน้ำได้ในอัตรา 11.7 kg/hr
3. เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง (Fixed Bed Downdraft Gasifier) 	เตาแก๊สซิไฟเออร์เป็นแบบเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยมีขนาดความจุของเตา 1 m^3

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพแก๊สชีวมวล	
4. ไซโคลนและที่ดักเถ้า (Cyclone and Ash Keeper Box) 	
5. สครับเบอร์แบบเปียกและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Wet Scrubber and Shell and Tube Heat Exchanger)  	ชนิด Shell and Tube
6. ตัวกรองและไซโคลนตัวท้าย (Filter and Cyclone) 	ตัวกรองเป็นแบบเบดอัดแน่น (Packed Bed) โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นตัวกรอง

อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้า	
7. พัดลมป้อนแก๊สผลิตภัณฑ์ (Forced Draft Blower) 	
8. ส่วนทดสอบเปลวไฟ (Flare Test Section) 	
9. เครื่องยนต์แก๊ส (Gas Engine) 	เป็นเครื่องยนต์เบนซินขนาดปริมาตรกระบอกสูบ 1,450 cc
10. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) 	ขนาด 10 kWe แบบ 1 เฟส

3.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

เมื่อได้ข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมิน ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิค LCA ในการศึกษานี้ทำการประเมินโดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 7.2 วิธี EDIP 2003 เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้หลายประเภท ซึ่งวิธีการศึกษานี้ได้แบ่งประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 18 ประเภท ได้แก่

(1) Global Warming 100a (GW): ภาวะโลกร้อน

(2) Ozone Depletion (OD): การทำลายชั้นบรรยากาศของโลก

(3) Ozone Formation Vegetation (OF(V)): การเกิดโอโซนที่เป็นพิษต่อพืช

(4) Ozone Formation Human (OF(H)): การเกิดโอโซนที่เป็นพิษต่อมนุษย์

(5) Acidification (Ac): การเกิดฝนกรด

(6) Terrestrial Eutrophication (TE): ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บนบก

(7) Aquatic Eutrophication EP(N): ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในน้ำเนื่องจากปริมาณไนเตรต

(8) Aquatic Eutrophication EP(P): ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในน้ำเนื่องจากปริมาณฟอสเฟส

(9) Human Toxicity Air (HTA): การเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์

(10) Human Toxicity Water (HTW): การเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลต่อมนุษย์

(11) Human Toxicity Soil (HTS): การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์

(12) Ecotoxicity Water Chronic (EWC): การสะสมสารพิษในน้ำ

(13) Ecotoxicity Water Acute (EWA): การเกิดสารพิษในน้ำแบบเฉียบพลัน

(14) Ecotoxicity Soil Chronic (ESC): การสะสมสารพิษในดิน

(15) Hazardous Waste (HW): การเกิดขยะอันตราย

(16) Slags/Ashes (S/A): การเกิดกากหรือตะกอนโลหะ

(17) Bulk Waste (BW): การเกิดขยะในปริมาณมาก

(18) Radioactive Waste (RW): การเกิดขยะกัมมันตรังสี

ในการพิจารณาผลกระทบทุกประเภทนั้น จะพิจารณาความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นในหน่วย Point (Pt.)

สำหรับการประเมินผลกระทบนี้นอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการแล้วยังอาศัยข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูลของโปรแกรม โดยเฉพาะผลกระทบทางอ้อมที่

เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล เนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดช่วงชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้น บางข้อมูลไม่สามารถเก็บรวบรวมได้โดยตรงเนื่องจากต้องอาศัยวิธีการและเครื่องมือที่ซับซ้อน และในประเทศไทยเองยังไม่มีการจัดการฐานข้อมูล LCA ที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ

3.4 แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากจัดทำบัญชีรายการและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์โดยโปรแกรม SimaPro Version 7.2 ด้วยวิธี EDIP 2003 แล้วจะนำค่าที่ได้มาแปลผลข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

3.4.1 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ

โดยนำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลทั้งสามช่วงกระบวนการ คือ การขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิงและการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่ากระบวนการใดมีผลกระทบมากน้อยกว่ากันเท่าใดและผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสาเหตุใดเป็นหลัก

3.4.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการ

โดยนำผลที่ได้จากการประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลทั้งสามช่วงกระบวนการมาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่ากระบวนการใดมีการใช้พลังงานมากน้อยกว่ากันเท่าใดและวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh

3.4.3 หาแนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

เมื่อทราบถึงปริมาณและที่มาของผลกระทบในแต่ละกระบวนการแล้วก็จะหาแนวทางและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด

3.5 วิเคราะห์ต้นทุน – ผลประโยชน์ของโรงไฟฟ้าชีวมวล

ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลโดยใช้ดัชนีชี้วัดได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน ซึ่งทำการประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต ทั้งต้นทุนทางตรง และต้นทุนทางอ้อม และวิเคราะห์หาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลและต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh

โดยจำแนกต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการและคำนวณมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการ ทั้งนี้สามารถจำแนกต้นทุนและผลประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบได้ดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขในการวิเคราะห์และการคำนวณต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล มีดังนี้

1. เงินลงทุนเบื้องต้น (Capital cost) มาจากต้นทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงและการผลิตกระแสไฟฟ้า
2. กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าได้ 700,800 หน่วย/ปี
3. กำหนดให้ในแต่ละปีระบบทำงานได้ 365 วัน การทำงานวันละ 24 ชั่วโมง โดยมี Plant Factor เท่ากับ 0.8 หรือ 7,008 ชั่วโมง/ปี
4. อายุของโครงการเป็น 10 ปี (เท่ากับอายุของเครื่องจักร)
5. อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ MLR ของธนาคารพาณิชย์ ประจำวันที่ 11 มกราคม 2554 ร้อยละ 6.7 ต่อปี (ที่มา: ธนาคารแห่งประเทศไทย http://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrate/_layouts/application/interest_rate/IN_Rate.aspx)
6. ราคาไฟฟ้า (รวม VAT) ปี พ.ศ. 2553 ราคา 2.64 บาท/หน่วย (ราคาจำหน่ายไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก)
7. อัตราการเพิ่มขึ้น (Escalation Rate) ของค่าบำรุงรักษาเท่ากับร้อยละ 3 ต่อปี (จาก Asian Development Outlook 2006 http://www.adb.org/Documents/Books/ADO/2006/tha.asp)
8. อัตราการเพิ่มขึ้น (Escalation Rate) ของค่าใช้จ่ายเท่ากับร้อยละ 3 ต่อปี (จาก Asian Development Outlook 2006 http://www.adb.org/Documents/Books/ADO/2006/tha.asp)
9. กำหนดให้มูลค่าซากของเครื่องจักรเท่ากับร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

ข้อมูลในการคำนวณผลประโยชน์ของโครงการในปีต่างๆ นั้น ในการศึกษาจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. กำหนดราคาขายไฟฟ้าช่วง on-peak เท่ากับ 3.62 บาท/หน่วย และ off-peak เท่ากับ 1.19 บาท/หน่วย (จาก http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#1)
2. ค่า Adder ของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เท่ากับ 0.5 บาท/kWh (จาก http://www2.egat.co.th/ft/CEF_Adder/VSPP%20Adder.htm)
3. ค่าขาย CO_2 เท่ากับ 10 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน CO_2

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

ในบทนี้ เป็นการแสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล โดยแสดงผลในส่วนของการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับละเอียดของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจะแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

4.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis)

การจัดทำบัญชีรายการ ทำให้ทราบถึงข้อมูลในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล โดยแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เข้าสู่กระบวนการ ซึ่งแสดงทั้งชนิดและปริมาณของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนที่เป็นทรัพยากรและพลังงาน รวมถึงปริมาณหรือชนิดของสิ่งที่ออกจากกระบวนการ อันได้แก่ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้และของเสีย ข้อมูลที่จัดทำบัญชีรายการบางส่วนได้จากการเก็บข้อมูลจริง บางส่วนได้มาจากการอ้างอิงข้อมูลที่มีผู้ศึกษาทดลองไว้แล้ว เนื่องจากในการได้มาของข้อมูลบางข้อมูลไม่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือหรือวิธีการทั่วไป ต้องอาศัยวิธีการและเครื่องมือที่ซับซ้อน ทำให้ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เป็นระยะเวลานาน การอ้างอิงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นจึงสามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้

เมื่อจัดทำรายการตลอดวัฏจักรชีวิตแล้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยได้เทียบเคียงผลการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SimaPro 7.2 ซึ่งผลการศึกษาในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ศึกษาโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวล อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง ซึ่งใช้แกลบและกลีเซอรีนเป็นวัตถุดิบในการผลิต มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 100 kW และใช้ข้อมูลที่ได้จากผลการวิจัยจากโครงการย่อยที่ 1 และ 2 เป็นข้อมูลพื้นฐาน

สำหรับกระบวนการที่เกี่ยวข้องนั้นจะแบ่งเป็น 4 ช่วงกระบวนการย่อย คือ การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ การผลิตแท่งเชื้อเพลิง และกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละช่วงกระบวนการย่อยประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 บัญชีรายการในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการได้มาของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงประกอบด้วยแกลบและกลีเซอรีนซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซลตามลำดับ โดยแสดงบัญชีรายการที่เกี่ยวข้องในการได้มาซึ่งวัตถุดิบดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการผลิตข้าวเปลือก 1 ตัน ซึ่งได้แกลบเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้

ลำดับ	กระบวนการ	รายการสารเข้า-ออกในกระบวนการ	
1	กระบวนการทางการเกษตร	$Input_1$	เมล็ดพันธุ์ข้าว 295 กิโลกรัม
			น้ำ 663 กิโลกรัม
			ปุ๋ย 65 กิโลกรัม
			สารเคมี 44 กิโลกรัม
			ดีเซล 30 กิโลกรัม
		$Output_1$	ข้าวเปลือก 1,000 กิโลกรัม
			ฟางข้าว 960 กิโลกรัม
			ขยะ 20 กิโลกรัม
2	กระบวนการสีข้าว	$Input_2$	ข้าวเปลือก 1,000 กิโลกรัม
			น้ำ 1000 ลิตร
			ถุงพลาสติก 3 กิโลกรัม
			ดีเซล 2.86 ลิตร
			ไฟฟ้า 8.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
		$Output_2$	ข้าวสาร 636 กิโลกรัม
			แกลบ 250 กิโลกรัม
			รำข้าว 30 กิโลกรัม
			บรรจุภัณฑ์ 24.5 กิโลกรัม
			น้ำเสีย 960 ลิตร

แหล่งที่มา: Hathaichanok (2007)

ตารางที่ 4.2 บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลใน 1 ปี ซึ่งได้กลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้

ลำดับ	กระบวนการ	รายการสารเข้า-ออกในกระบวนการ	
1	การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมัน	$Input_1$	ถุงเพาะชำ 3.56×10^3 กิโลกรัม
			ดิน 2.12×10^6 กิโลกรัม
			ยาฆ่าแมลง 2.08×10 กิโลกรัม
			ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 77.2 กิโลกรัม 16-16-16 2.82×10^2 กิโลกรัม Boron 1.29×10^2 กิโลกรัม Kieserite 1.29×10^3 กิโลกรัม
			น้ำมันดีเซล 2.41×10^3 ลิตร
			น้ำ 1.78×10^8 ลิตร
			พลังงานไฟฟ้า 1.34×10^2 เมกะวัตต์
2	การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน	$Input_2$	ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 4.49×10^5 กิโลกรัม 16-16-16 5.77×10^5 กิโลกรัม 0-3-0 1.92×10^5 กิโลกรัม KCl 4.49×10^5 กิโลกรัม Kieserite 1.92×10^5 กิโลกรัม Boron 2.57×10^4 กิโลกรัม
			ยาฆ่าแมลง 1.18×10^3 กิโลกรัม
			ยากำจัดวัชพืช 2.04×10^3 กิโลกรัม
			น้ำมันดีเซล 1.17×10^4 ลิตร

ตารางที่ 4.2 บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลใน 1 ปี ซึ่งได้กลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (ต่อ)

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล			
การผลิตไบโอดีเซล	Input	เครื่องจักร/เครื่องมือ	ชุดผลิตไบโอดีเซล
		Input	น้ำมันปาล์มดิบ 3.16×10^{6} ลิตร เมทานอล 7.81×10^{5} กิโลกรัม กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 2.78×10^{4} กิโลกรัม โซดาไฟ (NaOH) 3.26×10^{4} กิโลกรัม น้ำ 2.61×10^{6} ลิตร
			พลังงานไฟฟ้า 7.36×10^{3} เมกะจูล เชื้อเพลิงดีเซล 6.14×10^{4} ลิตร
	Output	Output	น้ำเสีย 2.61×10^{6} ลิตร
			ไบโอดีเซล 3×10^{6} ลิตร กลีเซอรีน 9.98×10^{5} กิโลกรัม เมทานอล (Recovery) 1.32×10^{5} กิโลกรัม

แหล่งที่มา: ปราณี (2551)

จากการวิจัยในโครงการย่อยที่ 2 ได้คุณสมบัติของแกลบและกลีเซอรีนที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อนแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของแกลบและกลีเซอรีนที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	แกลบ		กลีเซอรีน
	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)	
Ultimate Analysis			
Carbon (C)	10.6	Dry	46.73
Oxygen (O)	36.5	Dry	16.46
Nitrogen (N)	0.33	Dry	-
Hydrogen (H)	5.4	Dry	8.98
Sulphur (S)	0.05	Dry	-

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของแกลบและกลีเซอรีนที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง (ต่อ)

คุณสมบัติ	แกลบ		กลีเซอรีน
	ปริมาณ (%)	สถานะ	
Proximate analysis			
Moisture Content (MC)	10.0	Dry	-
Ash Content (AC)	17.1	Dry	-
Volatile Matter (VM)	57.3	Dry	-
Fixed Carbon (FC)	15.6	Dry	-
Lower Heating Value (LHV)	14,360 kJ/kg	Dry	15,221 kJ/kg

เมื่อทราบถึงที่มาและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลแล้ว ขั้นต่อไปจะพิจารณาถึงขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการขนส่งวัตถุดิบและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้า อันประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

4.1.2 บัญชีรายการในกระบวนการขนส่งวัตถุดิบ

โครงการย่อยที่ 2 ได้ทำการสำรวจรายชื่อโรงสีภายในจังหวัดพัทลุงในปี พ.ศ. 2552 จากสำนักงานการค้าภายในจังหวัดพัทลุงพบว่ามีโรงสีจำนวน 65 โรง อำเภอที่มีโรงสีตั้งอยู่มากที่สุดคือ อ.เมือง จำนวน 41 โรง รองลงมาคือ อ.ควนขนุน จำนวน 8 โรง อ.เขาชัยสน 6 โรง ส่วนที่เหลืออีก 10 โรง กระจายอยู่ในอีก 5 อำเภอ

โดยในการศึกษานี้ใช้แกลบจากโรงสีข้าวบริเวณ อ.ควนขนุน และ อ.เมือง จ.พัทลุง ซึ่งอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าประมาณ 20 กิโลเมตร ในการขนส่งแกลบนั้นได้ทำการขนส่งโดยรถบรรทุกที่มีความจุ 20 ตัน/คัน และสำหรับการขนส่งกลีเซอรีนซึ่งมีแหล่งผลิตตั้งอยู่ ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งอยู่ห่างจากที่ตั้งโรงไฟฟ้าประมาณ 108 กิโลเมตร ได้ทำการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกที่มีความจุ 2.5 ตัน/คัน โดยแสดงรายละเอียดบัญชีรายการสารเข้า-ออก ดังตารางที่ 4.4 และแสดงรายละเอียดของมลพิษจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงและการดูแลรักษารถบรรทุกทั้งสองประเภทที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบในภาคผนวก ก

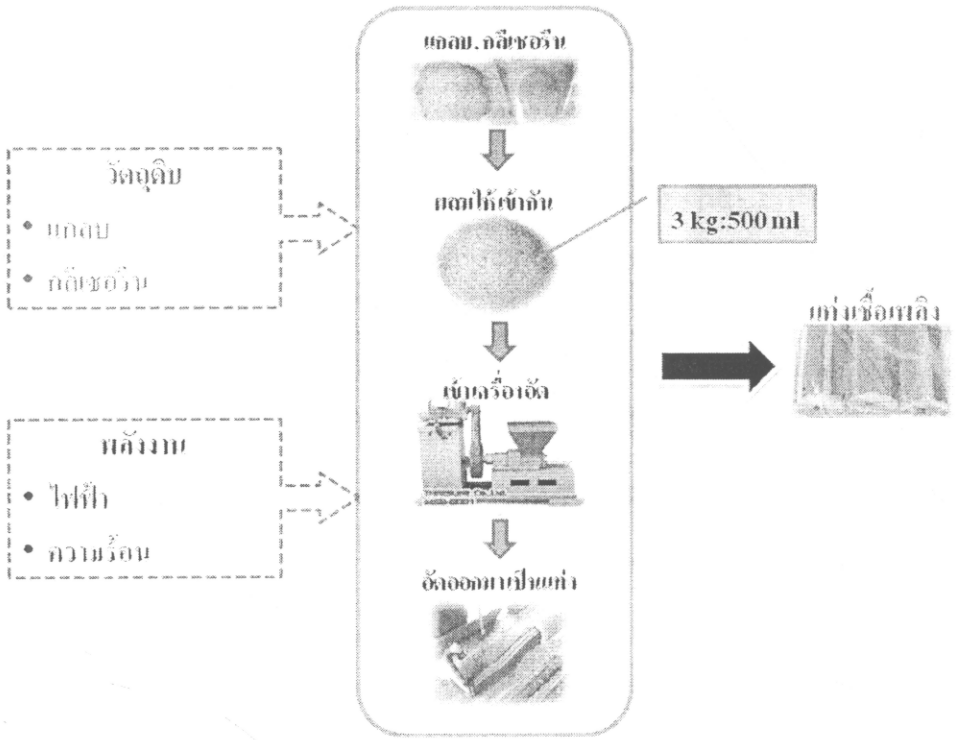
ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการสารเข้า-ออก ในกระบวนการขนส่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไฟฟ้าใน 1 ปี

การขนส่งแกลบ		
Input	เครื่องจักร/เครื่องมือ	รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดบรรทุก 15 ตัน
	พลังงานที่ใช้	น้ำมันดีเซล 543.58 ลิตร
Output	มลพิษ/ของเสียที่เกิด	ก๊าซจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์
	ผลิตภัณฑ์ที่ได้	-
การขนส่งกลีเซอรีน		
Input	เครื่องจักร/เครื่องมือ	รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดบรรทุก 2.5 ตัน
	พลังงานที่ใช้	น้ำมันดีเซล 1,009.48 ลิตร
Output	มลพิษ/ของเสียที่เกิด	ก๊าซจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์
	ผลิตภัณฑ์ที่ได้	-

4.1.3 บัญชีรายการในกระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

เมื่อได้วัตถุดิบพร้อมแล้วก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตแท่ง โดยมีรายละเอียดบัญชีรายการสารเข้า-ออก ดังนี้

โรงไฟฟ้ามีกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยใน 1 ปี สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 700,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งต้องใช้แกลบ 611,523.04 กิโลกรัมต่อปี และใช้กลีเซอรีน 128,521.76 กิโลกรัมต่อปี โดยในการผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อนและการผลิตไฟฟ้า แก๊สซิฟิเคชั่น สำหรับการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อนนั้นจะทำการผสมแกลบและกลีเซอรีนในอัตราส่วนต่างๆ และทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องอัดแท่งถ่าน MSB-0001 ซึ่งมีกำลังการผลิต 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

4.1.3.1 ระบบการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

เครื่องอัดจะทำงานภายใต้แรงดันโดยมีความร้อนเข้าช่วยในการทำให้สารประกอบเซลลูโลส ลิกนิน และ คาร์โบไฮเดรทในแกลบละลาย ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแกลบให้เกาะกันเป็นแท่ง โดยหลักการทำงานของเครื่องจะเริ่มจากการบรรจุแกลบลงในถัง (Hopper) ที่มีทางออกไปสู่กระบอกอัด (Extrusion Cylinder) ที่มีความยาว 28.5 เซนติเมตร ซึ่งภายในกระบอกอัดมีเกลียวสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอน หมุนด้วยความเร็วประมาณ 280 รอบ/นาที การขับเคลื่อนสกรูใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 สาย ขนาด 15 แรงม้า ความเร็ว 1,440 รอบ/นาที ทดรอบด้วยสายพานและเฟืองทดโดยตรงกับสกรู แกลบจะไหลเข้าไปในกระบอกอัด เมื่อสกรูหมุนและถูกสกรูอัดติดผนังกระบอกอัดด้วยแรงดันประมาณ 600 กก./ซม.^{2} และในขณะที่แกลบถูกอัดเป็นแท่งเคลื่อนผ่านกระบอกอัดมานั้นจะได้รับความร้อนที่ปลายกระบอกอัดโดยแท่งถ่านจะเคลื่อนตัวช้าๆ ออกจากปลายกระบอกอัดและจะหักเมื่อสัมผัสกับรางเหล็กฉาก สำหรับความยาวของแท่งฟืนแกลบนั้นสามารถควบคุมได้ด้วยรางเหล็กฉากนี้

4.1.3.2 ลักษณะแกลบที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง ผิวรอบนอกของแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบจะเป็นสีน้ำตาลไหม้หรือดำเนื่องจากโดนความร้อนหลอมละลายผิวของ

แกลบให้ติดกันส่วนข้างในแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบจะยังเห็นเป็นสีขาวเหลืองของแกลบอยู่ยังไม่สุกเป็นถ่าน

4.1.3.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบนั้น ตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้แตกต่างกัน มีดังต่อไปนี้

- ความชื้น

ถ้าหากแกลบมีความชื้นมากเกินไปไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อแกลบได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้แท่งเชื้อเพลิงระเบิดและแตก แต่หากความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้แกลบเกาะกันเป็นแท่งได้ยาก ผิวของแท่งมีรอยแตกร้าว ดังนั้นแกลบควรมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อย 8-12

- อุณหภูมิ

ถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ผิวหน้าของแท่งฟืนไหม้เกรียม การเกาะตัวกันของแกลบไม่เป็นเนื้อเนื่องดีเท่าที่ควรและถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิต่ำความแข็งของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะต่ำ จึงต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

- ความดัน

ความดันในกระบอกอัดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อแกลบถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดและได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกอัดกับการเคลื่อนตัวของแท่งเชื้อเพลิงทำให้การอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น

<u>คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบที่ได้จากกระบวนการผลิต</u>

ในการศึกษาได้ทำการทดสอบส่วนผสมของแกลบและกลีเซอรีนที่อัตราส่วนแตกต่างกันโดยคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบผสมกลีเซอรีนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.5

จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสมวัตถุดิบ แกลบ: กลีเซอรีนอยู่ที่ 3 kg : 500 ml ซึ่งที่อัตราส่วนนี้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนสูง (HHV) ที่สุดและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

<u>ลักษณะพิเศษของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดร้อน</u>

- ช่วยลดมลพิษทางอากาศเพราะการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งก่อให้เกิดควันน้อยกว่าควันจากฟืน
- สะดวกในการใช้งานเนื่องจากสามารถคำนวณและควบคุมปริมาณการใช้ที่เหมาะสมได้

- หากเกิดการแตกหักเสียหายของแท่งเชื้อเพลิง สามารถนำมาผ่านการอัดแท่งใหม่ได้โดยมีค่าความร้อนเท่าเดิม
- การใช้พลังงานจากแท่งเชื้อเพลิงสามารถช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติชนิด อื่นได้ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน หรือป่าไม้ เป็นต้น

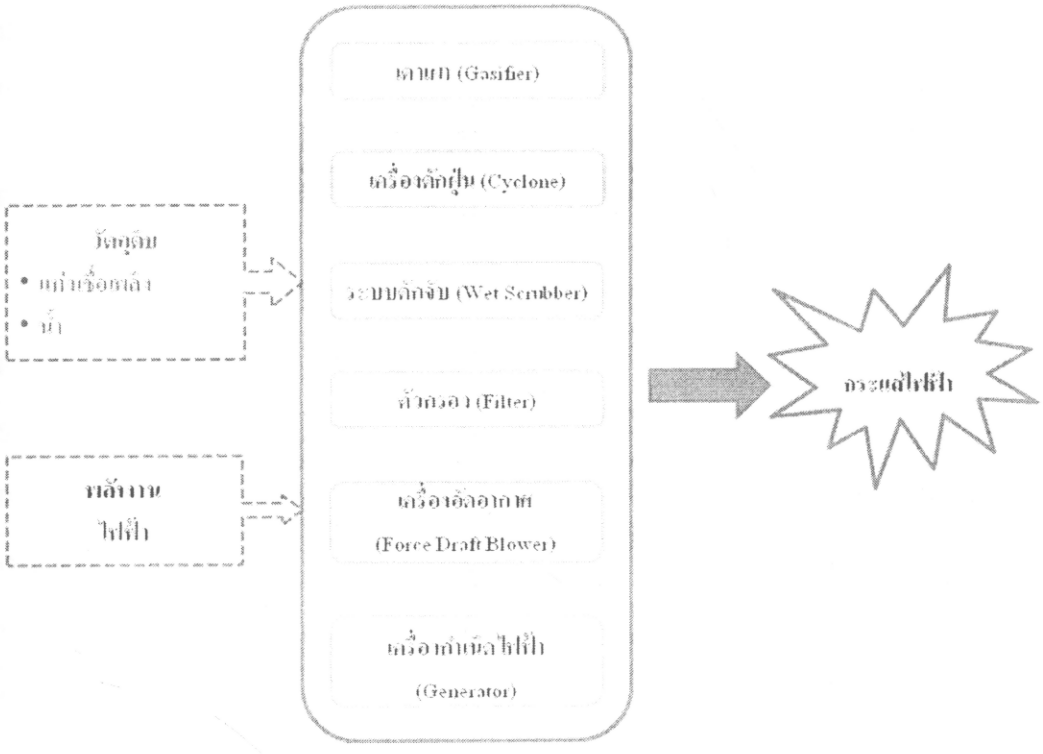
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดร้อน

อัตราส่วน	MC	FC	VM	AC	C	H	N	S	O	HHV (cal/g)	Pressure (MPa)	Density (kg/m^3)
3 kg:0 ml	6.2	16.8	57.8	19.2	39.6	5.3	0.25	0.04	35.6	3,585	26.4	1,143.07
3 kg:100 ml	5.7	15.4	59.5	19.4	39.5	5.4	0.35	0.04	35.3	3,617	11.23	1,156.21
3 kg:200 ml	4.9	15.4	60.9	18.8	41.2	5.4	0.37	0.04	34.2	3,767	11.60	1,167.17
3 kg:300 ml	5.8	15.2	60.0	19.0	40.4	5.6	0.29	0.04	34.7	3,737	8.76	1,098.78
3 kg:400 ml	4.2	14.7	61.8	19.3	41.3	5.5	0.35	0.04	33.5	3,858	8.02	1,150.95
3 kg:500 ml	4.4	13.0	64.5	18.1	41.8	5.8	0.36	0.04	33.9	3,916	6.35	1,143.37

หมายเหตุ MC: Moisture Content, FC: Fix Carbon, VM: Volatile Matter, AC: Ash Content

4.1.4 บัญชีรายการในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น

เมื่อได้แท่งเชื้อเพลิงที่ต้องการแล้วจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น ในงานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยี Fixed Bed Gasifies เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าระดับชุมชน ซึ่งสามารถใช้งานง่ายและระบบไม่ซับซ้อนมากนัก โดยโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 100 กิโลวัตต์ไฟฟ้า ใช้เครื่องยนต์เบนซินในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลจากโรงไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กสำหรับชุมชนจากมหาวิทยาลัยทักษิณ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 4.2 และแสดงข้อมูลเงื่อนไขการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลดังตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเงื่อนไขการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

ข้อมูล	ปริมาณ/หน่วย
ชนิดของเครื่องผลิตกำเนิดไฟฟ้า	Down draft Gasifier
กำลังการผลิตไฟฟ้า	100 kW
อัตราการบริโภคเชื้อเพลิง	100 kg/hr
อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า	1 kg/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ชั่วโมงในการทำงานของโรงไฟฟ้า	7,008 ชั่วโมง/ปี
ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง	16,384.54 kJ/kg
อายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า	10 ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าตลอดโครงการ	7,008,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากขั้นตอนในการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น พบว่าใน 1 ปี ระบบมีชั่วโมงการทำงาน 7,008 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆ รวม 135,569.76 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยแสดง

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการดังตารางที่ 4.7 และแสดงบัญชีรายการประมาณสารเข้า-ออก ในการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่นดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น 1 ปี

หน่วยทำงาน	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชั่วโมงทำงาน (hr)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	%
Fuel Feed	0.75	7008	5,256.00	3.88
Steam Generator	0.75	7008	5,256.00	3.88
Blower	0.75	7008	5,256.00	3.88
Heater	10	7008	70,080.00	51.69
Wet Scrubber and Tube Heat Exchanger	1.5	7008	10,512.00	7.75
Forced Draft Blower	5.595	7008	39,209.76	28.92
Total			**135,569.76**	**100**

ตารางที่ 4.8 บัญชีรายการปริมาณสารเข้า-ออก ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล ใน 1 ปี

การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	**Input**	เครื่องจักร/เครื่องมือ	เครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง
		วัสดุที่ใช้	แกลบ 611,523.04 กิโลกรัม กลีเซอรีน 128,521.76 กิโลกรัม
		พลังงานที่ใช้	พลังงานไฟฟ้า 187,231.33 กิโลวัตต์-ชั่วโมง พลังงานความร้อน 1,212,529.66 เมกะจูล
	Output	มลพิษ/ของเสียที่เกิด	มลพิษจากการใช้ไฟฟ้าและการเผาไหม้เชื้อเพลิง
การผลิตไฟฟ้า	**Input**	เครื่องจักร/เครื่องมือ	ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น
		วัสดุที่ใช้	น้ำ 83,703.80 ลิตร
		พลังงานที่ใช้	พลังงานไฟฟ้า 135,569.76 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
	Output	มลพิษ/ของเสียที่เกิด	มลพิษจากการใช้ไฟฟ้าและการเผาไหม้เชื้อเพลิง

4.2 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

จากการจัดทำบัญชีรายการข้างต้นและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ

กรณีที่ 1 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล จึงไม่พิจารณาผลกระทบในส่วนของการผลิตข้าวและไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

กรณีที่ 2 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล และพิจารณาผลกระทบรวมตั้งแต่การผลิตข้าวและการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

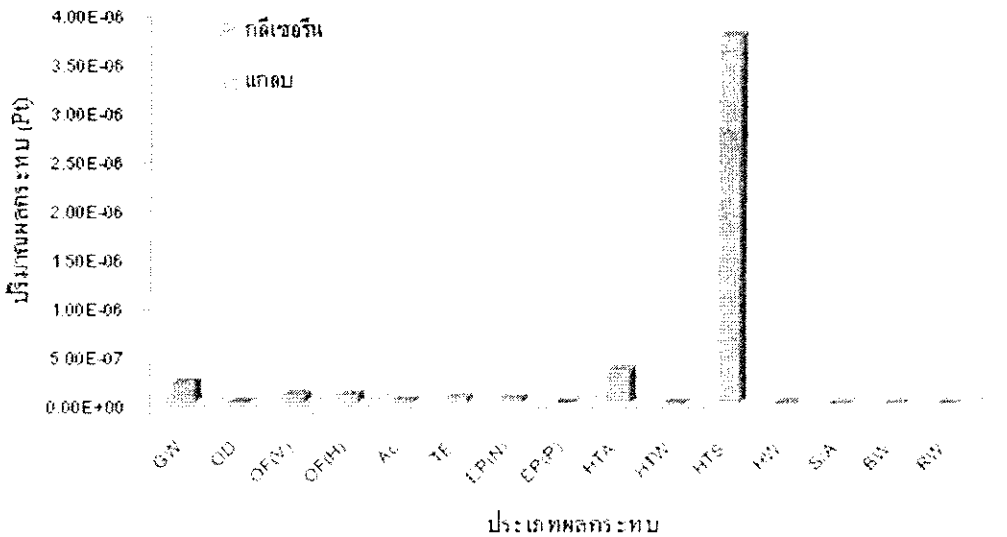
โดยแสดงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

4.2.1 กรณีที่ 1 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้

ในกรณีนี้จะไม่พิจารณาในส่วนของขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ คือ แกลบ และกลีเซอรีน โดยถือว่าไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล ตามลำดับ ซึ่งการนำผลิตภัณฑ์พลอยได้มาใช้ประโยชน์ถือเป็นการช่วยลดปริมาณขยะ

4.2.1.1 ผลกระทบจากการขนส่งวัตถุดิบ

จากบัญชีรายการสารเข้า-ออก ที่แสดงในข้างต้นและนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม SimaPro 7.2 สำหรับผลกระทบที่เกิดในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้า 1 kWh แสดงดังภาพที่ 4.3



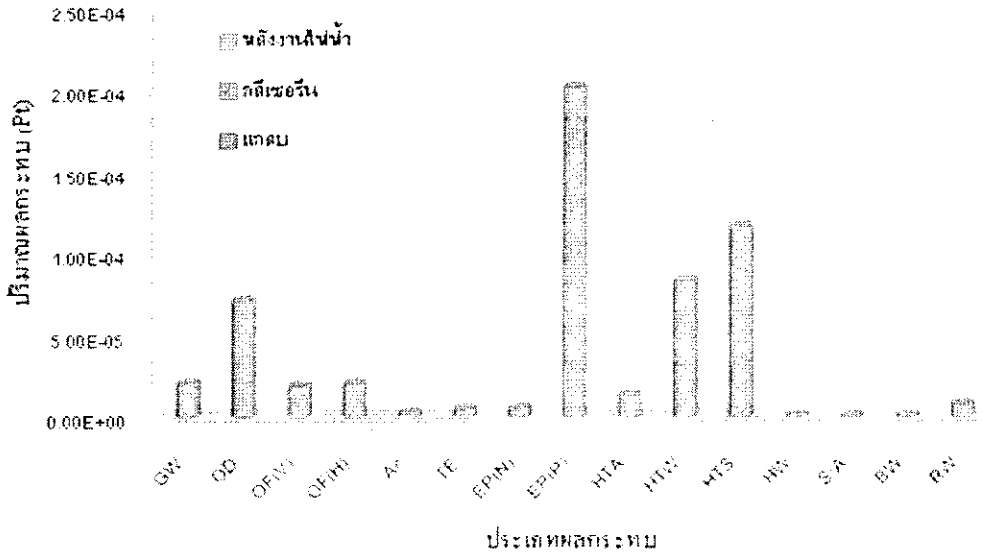
ภาพที่ 4.3 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการขนส่ง

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าผลกระทบหลักที่เกิดในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ (HTS) มีค่าเท่ากับ 3.76×10^{-6} Pt. รองลงมาคือ การเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์ (HTA) โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้มาจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขนส่ง โดยในส่วนของการขนส่งแกลบนั้นก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่าการขนส่งกลีเซอรีน เนื่องจากมีระยะทางในการขนส่งสั้น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่นนั้น ได้แบ่งเป็นสองขั้นตอนย่อย คือ การผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดร้อนและการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น ซึ่งสามารถประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

4.2.1.2 ผลกระทบในจากการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

จากข้อมูลบัญชีรายการข้างต้นที่แสดงถึงชนิดและปริมาณสารเข้า-ออก ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจำนวน 700,800 กิโลกรัม เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่นใน 1 ปี โดยนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม SimaPro 7.2 โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh พบว่าชนิดและปริมาณผลกระทบที่เกิดในขั้นตอนนี้แสดงดังภาพที่ 4.4

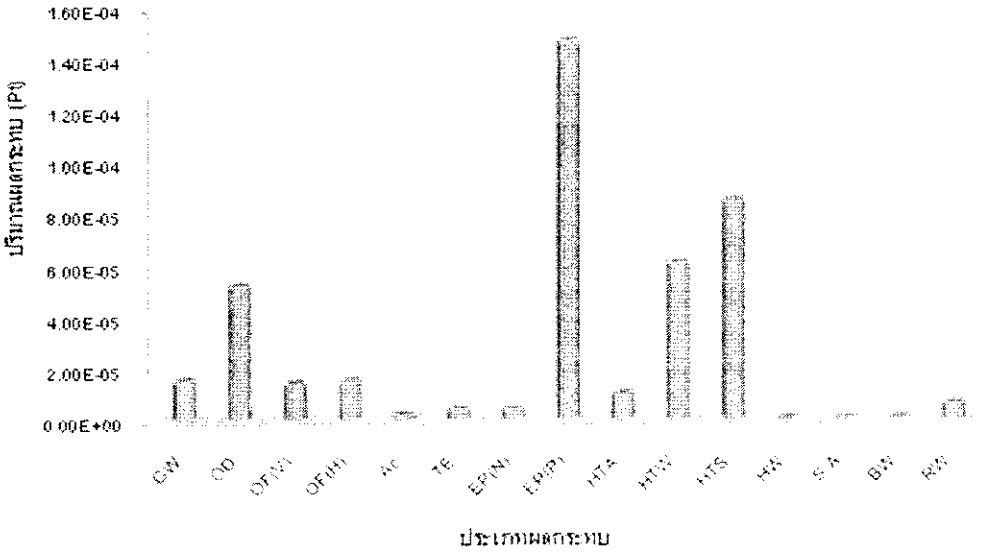


ภาพที่ 4.4 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าแกลบและกลีเซอรีน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงนั้นไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกรณีศึกษานี้กำหนดให้วัตถุดิบเหล่าทั้งสองชนิดเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ จึงถือเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์

4.2.1.3 ผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น

ในการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่นนั้น โรงไฟฟ้ามีการเดินเครื่องคิดเป็นร้อยละ 80 ของเวลา on peak และ off peak จะมีการเดินเครื่องทั้งปีจะเท่ากับ 7,008 ชั่วโมง โรงไฟฟ้ามีกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยทั้งปีจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 700,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลในบัญชีรายการในข้างต้นมาทำการประเมินชนิดและปริมาณของผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh พบว่า ประเภทของผลกระทบที่เกิดสูงสุดคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในน้ำเนื่องจากปริมาณฟอสเฟส (EP(P)) มีค่าเท่ากับ 2.02×10^{-4} Pt. ส่วนผลกระทบหลักรองลงมาคือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTS) และการเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTW) โดยแสดงชนิดและปริมาณผลกระทบที่เกิดดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล

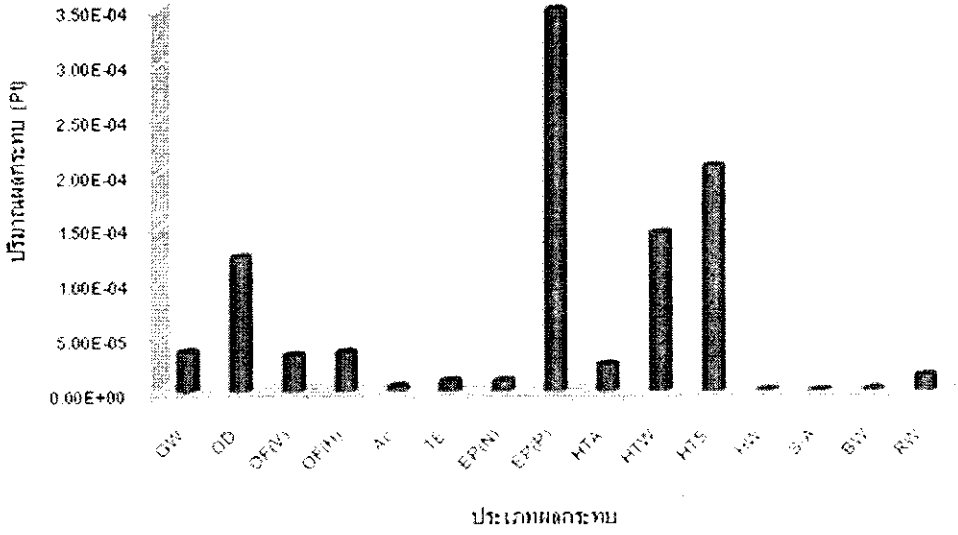
4.2.1.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่เกิดใน 3 ขั้นตอน คือ การขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิงและการผลิตไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชั่น โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของจากการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh ได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh นั้นก็ให้เกิดผลกระทบรวมเท่ากับ 9.90×10^{-4}Pt. โดยในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุด

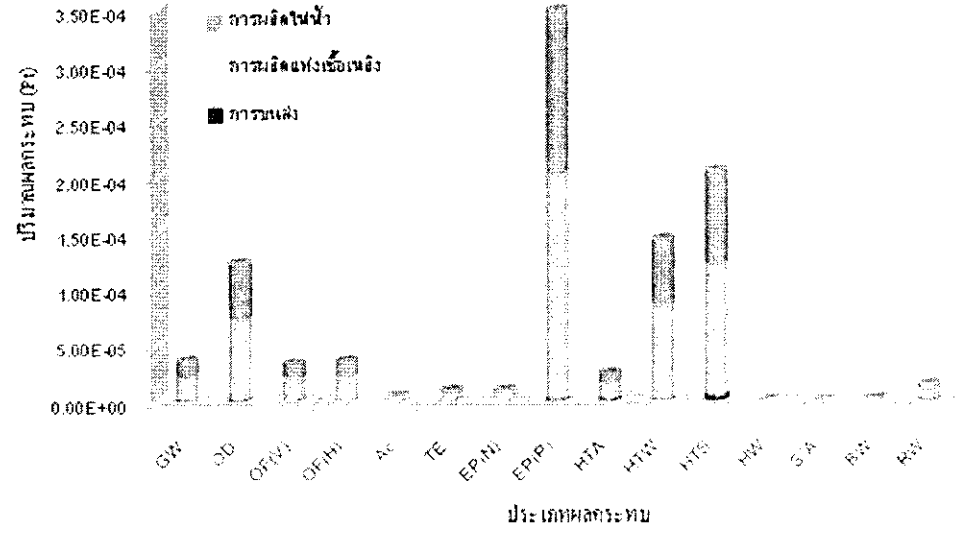
ตารางที่ 4.9 ค่าผลกระทบในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	ค่าผลกระทบ (Pt)	ผลกระทบ (ร้อยละ)
การขนส่ง	4.63×10^{-6}	0.468
การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	5.71×10^{-4}	57.73
การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล	4.14×10^{-4}	41.80
รวม	**9.90×10^{-4}**	**100.00**

แสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 4.6 และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.6 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh

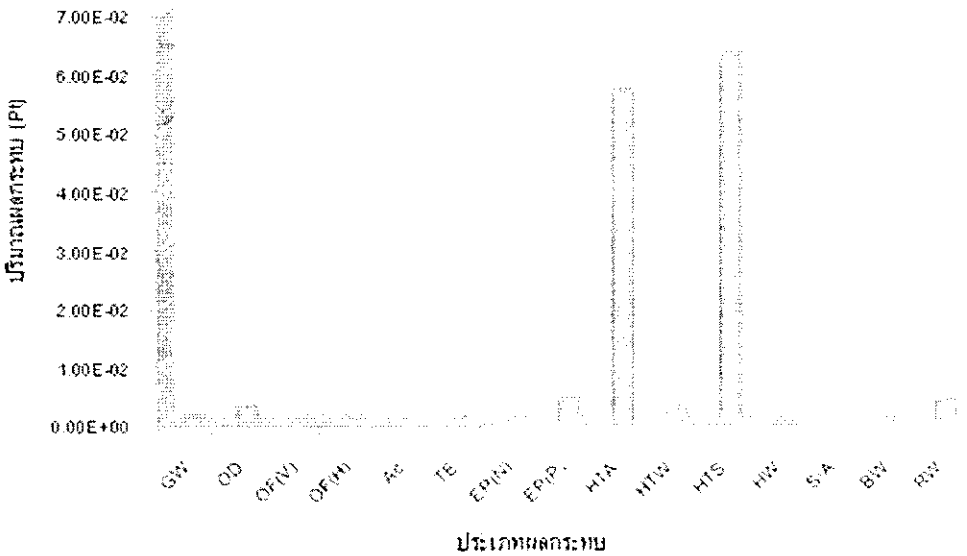


ภาพที่ 4.7 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแต่ละช่วงกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh

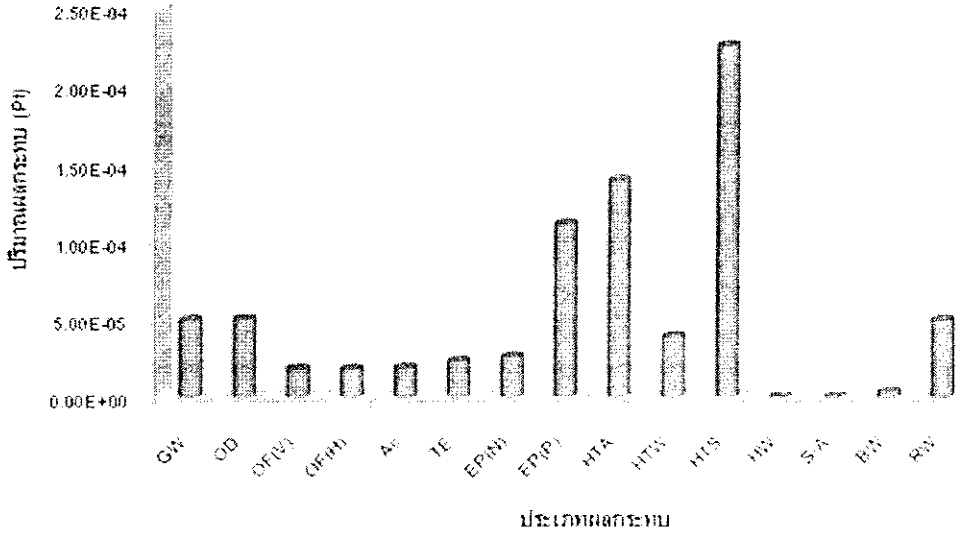
4.2.2 กรณีที่ 2 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล สำหรับในกรณีศึกษานี้ให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล ตามลำดับ จึงต้องพิจารณาถึงที่มาของวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลด้วย โดยในกรณีศึกษานี้ก่อให้เกิดผลกระทบใน 2 กระบวนการที่ต่างจากกรณีแรกคือ กระบวนการผลิตวัตถุดิบและการผลิตแท่งเชื้อเพลิง สำหรับผลกระทบในกระบวนการอื่นจะมีค่าเท่ากับกรณีแรก โดยแสดงรายละเอียดของผลกระทบที่เกิดขึ้นดังนี้

4.2.2.1 ผลกระทบจากการผลิตวัตถุดิบ

โดยผลกระทบที่เกิดจากการผลิตข้าวเพื่อให้ได้มาซึ่งแกลบที่สามารถนำผลิตไฟฟ้าได้ 1 kWh แสดงดังภาพที่ 4.8 จากรูปจะเห็นได้ว่าผลกระทบจะเกิดมาในส่วนของการเกิดพิษในดินที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTS) และการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTW) สำหรับผลกระทบที่เกิดในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเพื่อให้ได้มาซึ่งกลีเซอรีนนั้นแสดงผลกระทบ ดังภาพที่ 4.9

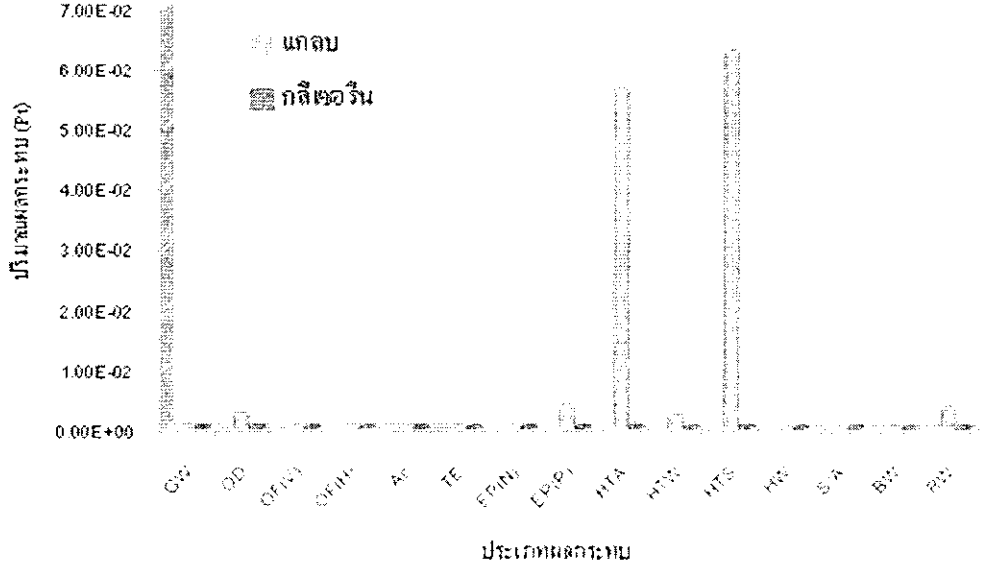


ภาพที่ 4.8 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตข้าวเพื่อให้ได้แกลบ สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kWh



ภาพที่ 4.9 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้กลีเซอรีนสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kWh

จากขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตจากแก๊สชีวมวล 1 kWh เมื่อวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของแต่ละผลกระทบที่เกิดขึ้นพบว่าในขั้นตอนนี้ก่อให้เกิดประเภทและปริมาณผลกระทบที่หลากหลาย โดยเปรียบเทียบผลกระทบจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดได้ดังภาพที่ 4.10

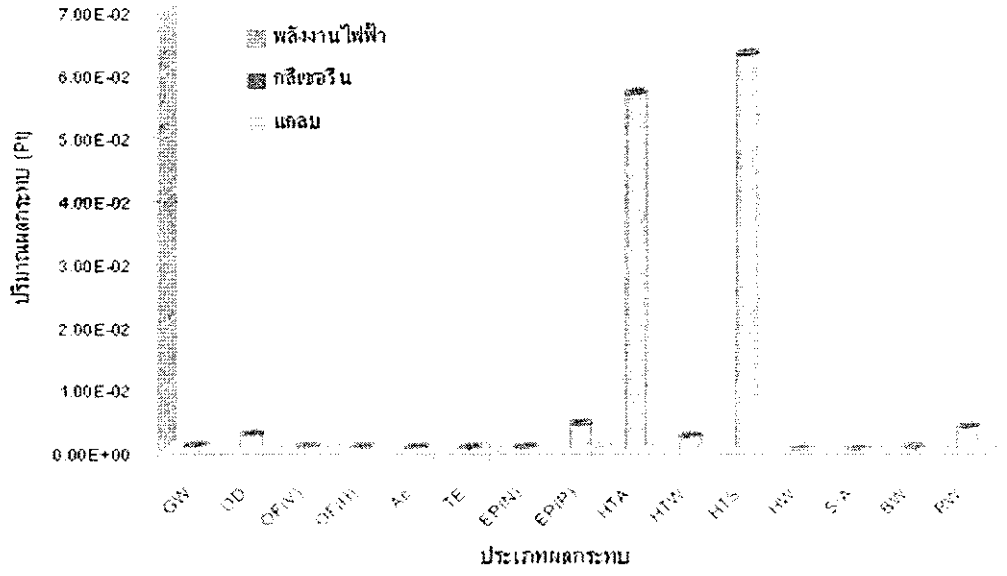


ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดจากการผลิตวัตถุดิบ

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าผลกระทบหลักที่เกิดทั้งจากการผลิตแกลบและกลีเซอรีน คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTS) และการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTA) โดยผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากการผลิตแกลบ เนื่องจากในการผลิตแกลบเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล และการได้มาของแกลบนั้นมีการใช้ปุ๋ยเคมี น้ำมันเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่มากกว่าการผลิตกลีเซอรีน ซึ่งผลกระทบที่เกิดถือเป็นผลกระทบทางอ้อมเนื่องจากกระบวนการผลิตสารเคมีนั่นเอง และแหล่งที่มาของผลกระทบอีกชนิดคือ น้ำมันดีเซลและไฟฟ้า ผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากการได้มาซึ่งพลังงานดังกล่าว

4.2.2.2 ผลกระทบจากการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงนั้นเกิดมาจากการใช้สารเคมี พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลในกระบวนการผลิตข้าว โดยแสดงประเภทและปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากแหล่งที่มาต่างๆ ในกระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากการผลิตแท่งเชื้อเพลิงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh

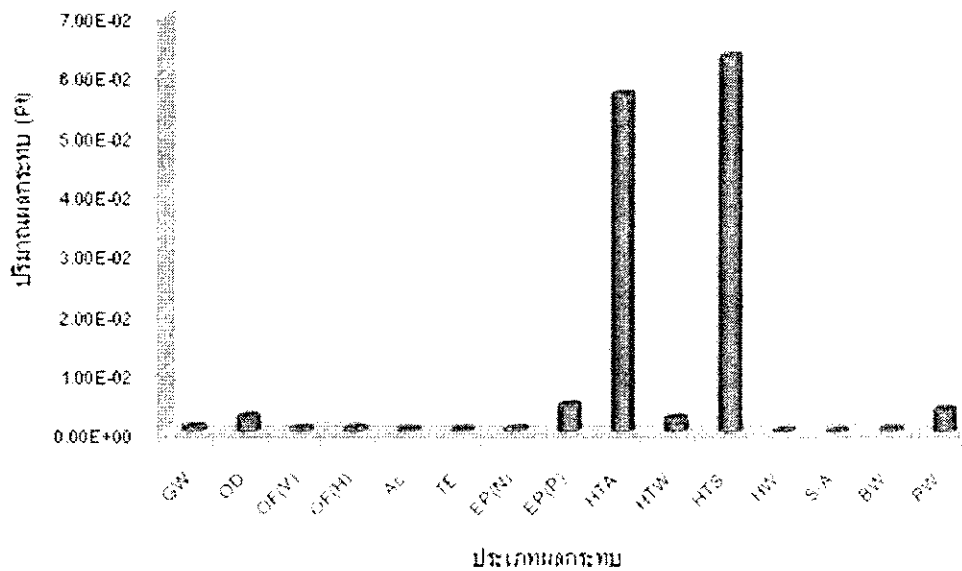
4.2.2.3 เปรียบเทียบผลกระทบในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิต

ปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล โดยเปรียบเทียบในแต่กระบวนการแสดงดังตารางที่ 4.10

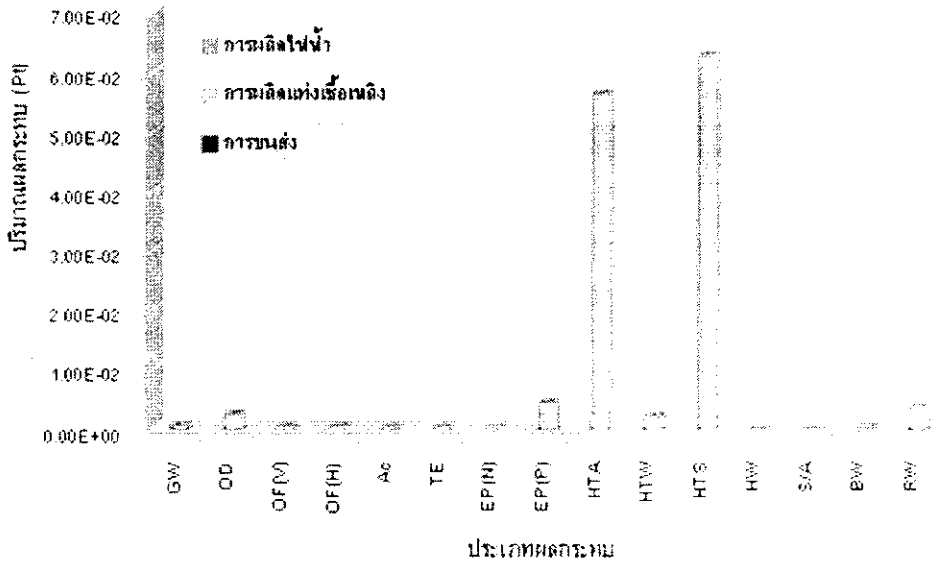
ตารางที่ 4.10 ค่าผลกระทบในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	หน่วย	ค่าผลกระทบ	ร้อยละ
การผลิตแกลบ	Pt	1.33×10^{-1}	98.688
การผลิตกลีเซอรีน	Pt	7.76×10^{-4}	0.577
การขนส่ง	Pt	4.63×10^{-6}	0.003
การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	Pt	5.71×10^{-4}	0.425
การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล	Pt	4.14×10^{-4}	0.307
รวม	**Pt**	$\mathbf{1.35 \times 10^{-1}}$	**100.00**

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจะเห็นว่าผลกระทบแทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาจากขั้นตอนของการผลิตแกลบซึ่งให้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 1.33×10^{-1} Pt รองลงมาคือการผลิตกลีเซอรีนและการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 7.76×10^{-4} Pt, และ 5.71×10^{-4} Pt ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh ดังภาพที่ 4.12 และแสดงปริมาณผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.12 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้น ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh



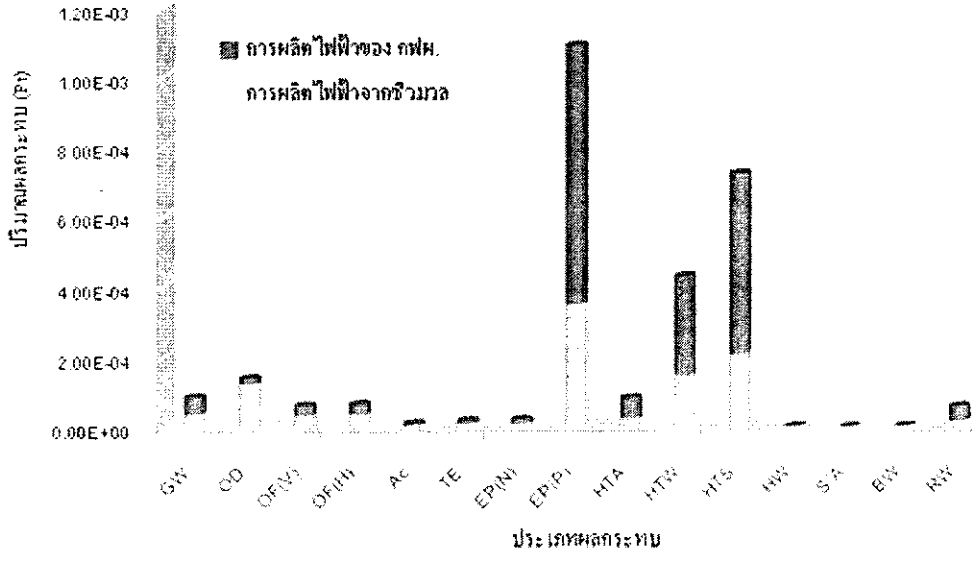
ภาพที่ 4.13 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแต่ละช่วงกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

เมื่อพิจารณาประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าในการประเมินวัฏจักรของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้น ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีค่าสูงสุด คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTS) และการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTA) โดยผลกระทบเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งรวมถึงการผลิตแกลบและกลีเซอรีนด้วย โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นถือเป็นผลกระทบทางอ้อมที่มาจากการผลิตสารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิตวัตถุดิบ เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีในการปลูกข้าว และผลิตไบโอดีเซล การใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล เป็นต้น

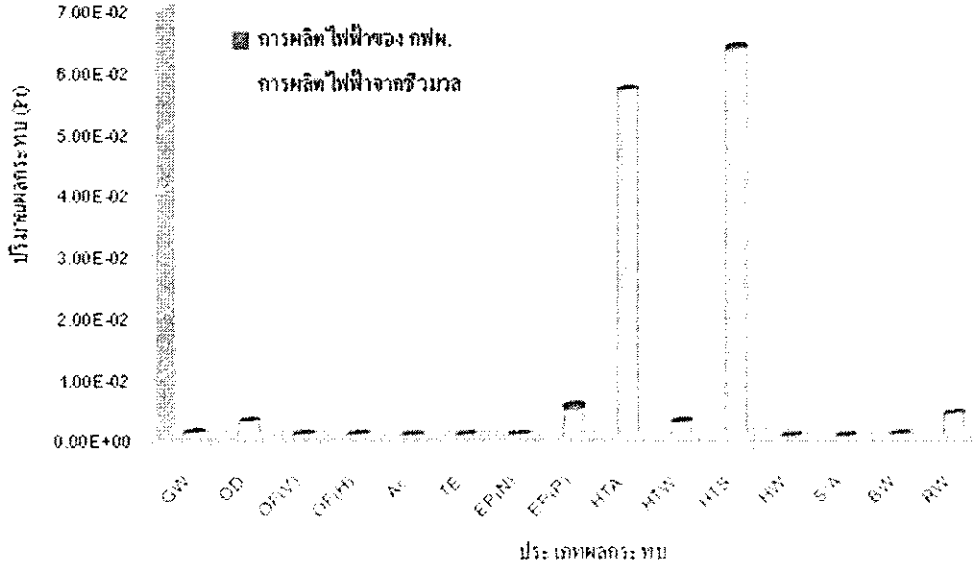
4.3 เปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

ในการนำการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลมาใช้ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับการผลิตไฟฟ้าที่มีในปัจจุบัน โดยในการศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลและการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงธรรมชาติอื่นของประเทศไทยที่ 1 kWh สำหรับฐานข้อมูลไฟฟ้าของประเทศไทยที่ใช้เปรียบเทียบไม่ได้อ้างอิงจากโปรแกรม SimaPro เนื่องจากฐานข้อมูลในโปรแกรมนั้นเป็นของทวีปยุโรปซึ่งอาจมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องแตกต่างกับประเทศไทยมาก ในการศึกษานี้จึงได้ใช้ฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย โดยฐานข้อมูลของการผลิตไฟฟ้า

ของไทยแสดงในภาคผนวก ก และเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลทั้งสองกรณี โดยแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยดังภาพที่ 4.14 และ 4.15



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยใน 1 kWh กรณีที่ 1



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยใน 1 kWh กรณีที่ 2

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย เนื่องมาจากในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเมื่อพิจารณาตามกรณีที่ 1 คือให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้การได้มาของวัตถุดิบจึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีเพียงผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเป็นหลัก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยแล้วก็ยังมีผลกระทบที่น้อยกว่า เพราะการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติและถ่านหินซึ่งการได้มาซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก และจากภาพที่ 4.15 เมื่อพิจารณาผลกระทบตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย เนื่องมาจากเมื่อพิจารณาการได้มาของวัตถุดิบพบว่าในการเพาะปลูกข้าวและปาล์มน้ำมันนั้นมีการใช้สารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในปริมาณมาก โดยเฉพาะการได้มาของแกลบซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไฟฟ้านั้นจะเห็นได้ว่ามีการใช้สารเคมีและพลังงานในปริมาณที่มากซึ่งการได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้าและสารเคมีเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น

เมื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจในขณะนี้ โดยพิจารณาทั้งสองกรณีพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในกรณีที่ 1 กำหนดให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จะให้ค่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเท่ากับ 0.11 กิโลกรัม CO_2 เทียบเท่า แต่ในกรณีที่พิจารณาถึงการได้มาของวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลด้วยนั้น พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้ค่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยถึง 4.56 กิโลกรัม CO_2 เทียบเท่า

จากภาพที่ 4.14 เมื่อพิจารณาผลกระทบประเภทอื่นๆ เช่น EP(P) HTA HTS และ HTW จะเห็นได้ว่าค่าความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลมีค่าน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยอย่างเห็นได้ชัด แต่ในส่วนของผลกระทบที่เกิดในกรณีที่ 2 จากภาพที่ 4.15 พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลให้ค่าผลกระทบทุกประเภทมากกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเนื่องจากการผลิตวัตถุดิบมีการใช้สารเคมีและไฟฟ้าในปริมาณมากซึ่งผลกระทบดังกล่าวล้วนเป็นผลกระทบทางอ้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าและสารเคมีที่นำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ

4.4 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

ในการศึกษาการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ 1 คือให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้เพื่อให้เห็นถึงการใช้พลังงานที่แท้จริงตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

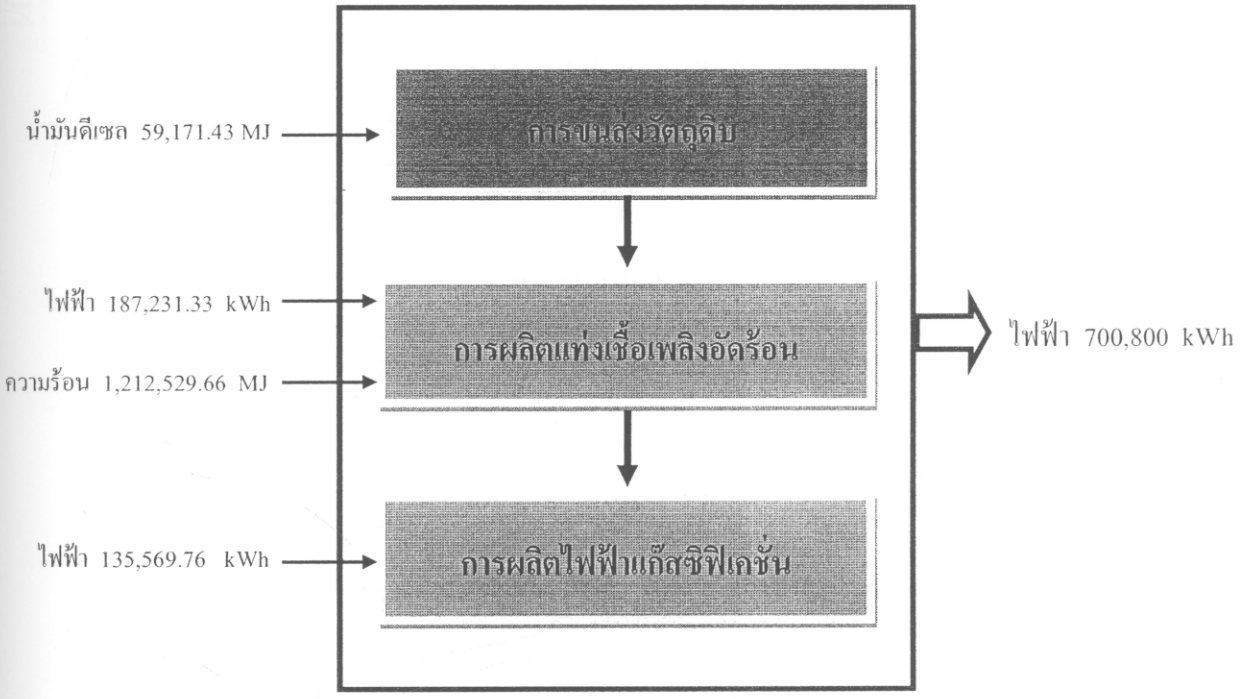
จากผลการจัดทำบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลใน 1 ปี พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจากแท่งเชื้อเพลิงใน 1 ปี

แหล่งพลังงาน	ขั้นตอน			รวม
	การขนส่ง	การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล	
น้ำมันดีเซล (kWh)	16,436.51	-	-	16,436.51
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	-	187,231.33	135,569.76	322,801.09
พลังงานความร้อน (kWh)	-	336,813.79	-	336,813.79
รวม (kWh)	**16,436.51**	**524,045.13**	**135,569.76**	**676,051.40**
ร้อยละ	2.43	77.52	20.05	100

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลใน 1 ปี มีการใช้พลังงานรวม 676,051.40 kWh และเมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่าในส่วนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงนั้นมีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.52 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดเนื่องจากในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงในกระบวนการอัดแท่งถ่านด้วยจึงทำให้มีการใช้พลังงานมาก เมื่อพิจารณาในส่วนของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลพบว่ามีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 20.05 โดยในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะในส่วนของอุปกรณ์การผลิตแก๊ส สำหรับขั้นตอนการขนส่งมีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเพียงแค่ร้อยละ 2.43 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด

โดยแสดงพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลใน 1 ปี ดังภาพที่ 4.16 ซึ่งในแต่ละปีโรงไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 700,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และสมดุลพลังงานในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh เท่ากับ 1.04



ภาพที่ 4.16 พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลใน 1 ปี

4.5 ผลกระทบภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

จากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยและทั่วโลกปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการปล่อยสารเคมีที่เป็นพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม ปัญหาเหล่านี้เป็นผลมาจากการพัฒนาในด้านต่างๆ อาทิ เช่น การขยายตัวของกิจกรรมของมนุษย์ การใช้สารเคมีซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และการใช้พื้นที่ส่วนต่างๆ ของผืนโลกมากขึ้น ซึ่งผลกระทบที่ตามมาก็คือ อากาศเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโลกร้อนขึ้น (Global Warming) ในงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าว สำหรับการเกิดภาวะโลกร้อนนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุลและอายุของแก๊สนั้นๆ ในบรรยากาศ โดยคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในการศึกษานี้จะคิดเทียบในช่วงเวลา 100 ปี จากการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh พบว่า ก่อให้เกิดความรุนแรงของภาวะ

โลกร้อนในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เท่ากับ 3.57×10^{-5} Pt และ 6.26×10^{-4} Pt คิดเป็นปริมาณการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.28 kg และ 4.95 kg ตามลำดับ

ถึงแม้ประเทศไทยมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ประเทศไทยได้รับจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ได้น้อยอย่างปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ประเทศไทยปลดปล่อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปรากฏการณ์ที่สร้างผลกระทบอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โดยมีสภาวะแวดล้อมและภูมิประเทศเป็นตัวกำหนดความรุนแรงของผลกระทบ ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญกับปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น

4.6 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

การคำนวณหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตเทียบเป็นปีปัจจุบัน (2010) อาศัยวิธีการคำนวณดังนี้

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S$$

เมื่อ LCC คือ ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (บาท)
C_C คือ ต้นทุนคงที่ (บาท)
C_O คือ ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)
C_M คือ ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)
C_F คือ ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)
C_R คือ ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)
S คือ มูลค่าซาก (บาท)

เมื่อค่าในทุกตัวแปรเป็นมูลค่าปัจจุบัน (P: Present Value) สามารถสรุปต้นทุนแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

4.6.1 ต้นทุนคงที่ (C_C)

ต้นทุนคงที่หรือเงินเริ่มต้นของโครงการ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งแรกของการลงทุนโดยจะไม่เกิดขึ้นอีกเมื่อเริ่มดำเนินการและไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนหน่วยที่ให้บริการหรือที่ผลิตได้ สำหรับต้นทุนคงที่ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล มีรายละเอียดดังนี้

(1) โรงเรือนสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและอัดแท่งเชื้อเพลิง

มูลค่าเงินลงทุน = 175,000 บาท

(2) เครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

มูลค่าเงินลงทุน = 160,000 บาท

(3) ชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

มูลค่าเงินลงทุน = 702,000 บาท

(4) ระบบสายส่งและอุปกรณ์เชื่อมต่อ

มูลค่าเงินลงทุน = 180,000 บาท

รวมมูลค่าต้นทุนคงที่	=	1,217,000	บาท

4.6.2 ต้นทุนในการดำเนินการ (C_o)

ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มดำเนินการผลิต เป็นค่าใช้จ่ายรายปี สามารถแจกแจงได้ดังนี้

(1) **ค่าเช่าที่ดิน**

จำนวน 1 ไร่

ราคา 20,000 บาท/ปี

(2) ค่าเชื้อเพลิงแกลบ (ราคารวมการขนส่ง)

จำนวน 611.53 ตัน/ปี

ค่าจ้างเหมา 1,500 บาท/ตัน

รวมค่าจ้างเหมา = 611.53 × 1,500 บาท

= 917,284.56 บาท

(3) ค่ากลีเซอรีน

จำนวน 101,920.51 กิโลกรัม/ปี

ราคา 5 บาท/ลิตร

รวมค่ากลีเซอรีน = 101,920.51 × 5 บาท

= 509,602.53 บาท

(4) ค่าน้ำประปา

จำนวน 83.71 หน่วย/ปี

ราคา	11.45	บาท/หน่วย		
รวมค่าน้ำ		=	83.71 × 11.45	บาท
		=	958.41	บาท

(5) ค่าจ้างช่างเทคนิค (สำหรับควบคุม ตรวจสอบการเดินระบบ)

จำนวน	2	อัตรา		
อัตราค่าจ้าง	8,000	บาท/เดือน		
รวมค่าจ้างช่างเทคนิค		=	8,000 × 12 × 2	บาท
		=	192,000.00	บาท

(6) ค่าแรงงานทั่วไป (สำหรับเดินระบบ)

จำนวน	2	อัตรา		
อัตราค่าจ้าง	5,500	บาท/เดือน		
รวมค่าจ้างช่างเทคนิค		=	5,500 × 12 × 2	บาท
		=	132,000.00	บาท
รวมมูลค่าต้นทุนการดำเนินการ		=	1,771,845.50	บาท

จากข้อมูล สามารถหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนในการดำเนินการได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน $$P = \sum_{i=1}^{n} Fn \times \frac{(1+e)^n}{SCA}$$

เมื่อ n = 10, i = 6.7% , e = 3%

$$= \sum_{i=1}^{n} 1,771,845.50 \times \frac{(1+0.03)^{10}}{(1+0.067)^{10}}$$

= 14,667,472.46 บาท

4.6.3 ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (C_M)

ต้นทุนในการซ่อมบำรุง คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการบำรุงรักษาเครื่องจักรหรือเครื่องมือที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเมื่ออัตราการเพิ่มขึ้น (Escalation Rate) ของค่าบำรุงรักษาเท่ากับร้อยละ 5 ต่อปี สามารถจำแนกใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

(1) โรงเรือนสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและอัดแท่งเชื้อเพลิง

มูลค่าเริ่มต้น 175,000 บาท

อัตราการบำรุงรักษาร้อยละ 5 ของมูลค่าเริ่มต้น

รวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโรงเรือน

= 0.05 × 175,000 บาท

= 8,750 บาท

(2) เครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

มูลค่าเริ่มต้น 160,000 บาท

อัตราการบำรุงรักษาร้อยละ 5 ของมูลค่าเริ่มต้น

รวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

= 0.05 × 160,000 บาท

= 8,000 บาท

(3) ชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

มูลค่าเริ่มต้น 702,000 บาท

อัตราการบำรุงรักษาร้อยละ 5 ของมูลค่าเริ่มต้น

รวมค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

= 0.05 × 702,000 บาท

= 35,100 บาท

รวมมูลค่าต้นทุนในการบำรุงรักษา (ซ่อมบำรุง)	=	51,850 บาท

จากข้อมูล สามารถหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนในการบำรุงรักษาได้ดังนี้

$$P = \sum_{i=1}^{n} Fn \times \frac{(1+e)^n}{SCA}$$

เมื่อ n = 10, i = 6.7% , e = 3%

$$= \sum_{i=1}^{n} 51{,}850 \times \frac{(1+0.03)^{10}}{(1+0.067)^{10}}$$

= 429,218.26 บาท

4.6.4 ต้นทุนพลังงาน (C_F)

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลมีต้นทุนด้านพลังงาน คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้เมื่อทราบต้นกำลังของเครื่องจักร

วลาในการทำงาน (ชั่วโมง) จำนวนวันทำงานใน 1 ปี ในการผลิตกระแสไฟฟ้ากำหนดให้มีชั่วโมงในการทำงานเท่ากับ 7,008 ชั่วโมง/ปี สำหรับความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสามารถหาได้เมื่อทราบอัตราการบริโภคน้ำมันของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรและจำนวนระยะทางหรือชั่วโมงในการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

(1) ค่าน้ำมันดีเซลในการขนส่งกลีเซอรีน

(รถกระบะอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง 11 กิโลเมตร/ลิตร)

จำนวนน้ำมันดีเซลที่ใช้	1,009.48	ลิตร	
ราคาน้ำมันดีเซล	29.99	บาท/ลิตร	
รวมค่าน้ำมันดีเซล	=	1,009.48 × 29.99	บาท
	=	30,274.31	บาท

(2) เครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

ความต้องการไฟฟ้าของเครื่อง		25.3	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ความสามารถในการอัดแท่งเชื้อเพลิง		100	กิโลกรัม-ชั่วโมง
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องอัด		740,044.80	กิโลกรัม/ปี
ชั่วโมงการทำงาน	=	7,400.45	ชั่วโมง
ปริมาณไฟฟ้า	=	25.3 × 7,400.45	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
	=	187,231.33	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ราคาไฟฟ้า		2.64	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

รวมต้นทุนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

	=	187,231.33 × 2.64	บาท
	=	494,290.72	บาท

(3) ชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการ	135,569.76	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	
ราคาไฟฟ้า	2.64	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	

ราคาต้นทุนพลังงานไฟฟ้าจากชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

	=	135,569.76× 2.64	บาท
	=	357,904.17	บาท
รวมมูลค่าต้นทุนพลังงาน	=	882,469.19	บาท

จากข้อมูล สามารถหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$P = \sum_{t=1}^{n} Fn \times \frac{(1+e)^n}{SCA}$$

เมื่อ n = 10, i = 6.7% , e = 3%

$$= \sum_{t=1}^{n} 30,274.31 \times \frac{(1+0.05)^{10}}{(1+0.067)^{10}}$$

= 277,442.53 บาท

สำหรับต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้ดังนี้

$$P = \sum_{t=1}^{n} Fn \times \frac{(1+e)^n}{SCA}$$

เมื่อ n = 10, i = 6.7% , e = 3%

$$= \sum_{t=1}^{n} 852.194.89 \times \frac{(1+0.03)^{10}}{(1+0.067)^{10}}$$

= 7,101,087.89 บาท

รวมต้นค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิง (ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง + ต้นทุนพลังงานไฟฟ้า) ตลอดระยะเวลาโครงการ 10 ปี

= 277,442.53 + 7,101,087.89 บาท

= 7,378,530.42 บาท

4.6.5 มูลค่าซากของเครื่องจักร (*S*)

มูลค่าซาก (Salvage Value) คือ มูลค่าของทรัพย์สินที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้งานของระบบหรือเมื่อสิ้นสุดระยะของโครงการ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเงินที่ได้รับคืนมาจากการใช้งานของระบบซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

---

(1) โรงเรือน

มูลค่าเริ่มต้น 175,000 บาท

มูลค่าซากร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

= 175,000 × 0.1 บาท

= 17,500 บาท

(2) เครื่องอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง

มูลค่าเริ่มต้น 160,000 บาท

มูลค่าซากร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

= 160,000 × 0.1 บาท

= 16,000 บาท

(3) ชุดผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

มูลค่าเริ่มต้น 702,000 บาท

มูลค่าซากร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

= 702,000 × 0.1 บาท

= 70,200 บาท

(4) ระบบสายส่งและอุปกรณ์เชื่อมต่อ

มูลค่าเริ่มต้น 180,000 บาท

มูลค่าซากร้อยละ 10 ของเงินลงทุนเริ่มต้น

= 180,000 × 0.1 บาท

= 18,000 บาท

รวมมูลค่าซากของระบบ	=	121,700	บาท

มูลค่าปัจจุบันของมูลค่าซากที่เกิดขึ้นในปีที่ 10 ของการดำเนินการสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S = Fn \times \frac{1}{SCA}$$

เมื่อ i= 6.7% และ n=10

$$= 121{,}700 \times \frac{1}{(1+0.067)^{10}}$$

= 55,262.53 บาท

จากคำนวณสามารถสรุปต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

ต้นทุน	เงื่อนไขในการพิจารณา	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
ต้นทุนคงที่	อายุโครงการ (n) 10 ปี อัตราดอกเบี้ย (i) 6.7 %	1,217,000.00
ต้นทุนดำเนินการ	อายุโครงการ (n) 10 ปี อัตราดอกเบี้ย (i) 6.7 %	14,667,472.46
ต้นทุนซ่อมบำรุง	อายุโครงการ (n) 10 ปี อัตราดอกเบี้ย (i) 6.7 % Escalation Rate (e) 3.0 %	429,218.26
ต้นทุนพลังงาน	อายุโครงการ (n) 10 ปี อัตราดอกเบี้ย (i) 6.7 % Escalation Rate (e) การใช้จ่าย 3 %	7,378,530.42
มูลค่าซาก	อายุโครงการ (n) 10 ปี อัตราดอกเบี้ย (i) 6.7 %	55,262.53
	ต้นทุนรวม	**23,636,958.61**

จะได้ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเป็น 23,636,958.61 บาท เมื่ออายุโครงการเป็น 10 ปี และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 7,008,000 kWh ตลอดโครงการ โดยสามารถหาต้นทุนต่อ kWh ได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า} = \frac{23,636,958.61}{7,008,000} \text{ บาท/kWh}$$

$$= 3.37 \text{ บาท/หน่วย}$$

เมื่อไม่พิจารณารวมต้นทุนคงที่พบว่าในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลใน 1 ปี นั้นมีค่าใช้จ่าย 2,706,164.70 บาท ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของค่าดำเนินการซึ่งคิดเป็นร้อยละ 65.47 รองลงมา คือ ต้นทุนพลังงานและต้นทุนในการซ่อมบำรุงซึ่งคิดเป็นร้อยละ 32.61 และร้อยละ 1.92 ตามลำดับ

4.6.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$NPV = PVB - PVC$$

$$= \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$= \sum_{t=0}^{n} (B_t - C_t)/(1+r)^{-t}$$

ในที่นี้ B_t คือ ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t คือ ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6.7

t คือ ระยะเวลาของโครงการ (0, 1, 2, ... , 10)

สำหรับผลประโยชน์ของโครงการในปีต่างๆ นั้น ในการศึกษาจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี เท่ากับ 700,800 kWe
2. กำหนดราคาขายไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (on-peak) = 3.62 บาท/หน่วย และความต้องการไฟฟ้าต่ำ (off-peak) = 1.19 บาท/หน่วย (จาก http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#1)
3. ค่า Adder ของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เท่ากับ 0.5 บาท/kWh (จาก http://www2.egat.co.th/ft/CEF_Adder/VSPP%20Adder.htm)

จะได้ผลประโยชน์จากการขายไฟฟ้าสุทธิต่อปีแสดงรายละเอียด ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าต่อปี

รายการ	หน่วยรวม	ความต้องการไฟฟ้าสูง	ความต้องการไฟฟ้าต่ำ
จำนวนหน่วยที่ขายเข้าระบบ	700,800	258,960.00	441,840.00
หักค่าดำเนินการ 2%		5,179.20	8,836.80
หน่วยไฟฟ้าสุทธิ		253,780.80	433,003.20
ราคาขายไฟฟ้าให้ กฟผ.		3.62	1.19
ราคาขายไฟฟ้า		919,853.89	515,880.01
ราคาขายไฟฟ้าสุทธิ		1,435,733.90	
ค่า Ft	0.9907	680,396.91	
ค่าไฟฟ้ารวมค่า Ft		**2,116,130.81**	
ค่า Adder	0.5	350,400.00	
ค่าไฟฟ้ารวม Adder		**2,466,530.81**	
VAT 7%	0.07	172,657.16	
ค่าไฟฟ้ารวม VAT		**2,639,187.97**	
CO_2 ที่ลดได้	0.5	350,400.00	
CDM ค่าขาย CO_2 (10 US/tonCO_2)	306.6	107,432.64	
หักเข้ากองทุนพัฒนาไฟฟ้า	0.01 บ./kWh	7,008.00	
หักค่าสัญญาเพื่อขายไฟฟ้า (เป็นต้นทุนในปีแรกเท่านั้น)	200 บ./kW	20,000.00	
รายได้สุทธิต่อปี		**2,719,612.61**	

หมายเหตุ CDM: Clean Development Mechanism

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ผลประโยชน์คงที่จะเห็นได้ว่าผลประโยชน์ที่ได้รับใน 1 ปี มีค่ามากกว่าต้นทุนการดำเนินงานเล็กน้อยแสดงว่าโครงการยังสามารถลงทุนได้ แต่หากวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์โดยกำหนดให้อัตราของต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี และกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์โดยให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้น 3 กรณี คือ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ต่อปี และคำนวณค่า NPV BCR และ IRR นั้น ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.14 - 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ต่อปี

Years	Ft (บาท)	CDM (บาท)	Total Benefit (บาท)
1	680,396.91	107,432.64	2,719,612.61
2	714,416.75	112,804.27	2,779,004.08
3	750,137.59	118,444.49	2,820,365.13
4	787,644.47	124,366.71	2,863,794.24
5	827,026.70	130,585.05	2,909,394.80
6	868,378.03	137,114.30	2,957,275.38
7	911,796.93	143,970.01	3,007,550.00
8	957,386.78	151,168.51	3,060,338.35
9	1,005,256.12	158,726.94	3,115,766.11
10	1,055,518.92	166,663.29	3,173,965.27

ตารางที่ 4.15 ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี

Years	Ft (บาท)	CDM (บาท)	Total Benefit (บาท)
1	680,396.91	107,432.64	2,719,612.61
2	748,436.60	118,175.90	2,818,395.56
3	823,280.26	129,993.49	2,905,056.81
4	905,608.29	142,992.84	3,000,384.19
5	996,169.11	157,292.13	3,105,244.30
6	1,095,786.03	173,021.34	3,220,590.42
7	1,205,364.63	190,323.48	3,347,471.16
8	1,325,901.09	209,355.82	3,487,039.97
9	1,458,491.20	230,291.40	3,640,565.66
10	1,604,340.32	253,320.55	3,809,443.92

ตารางที่ 4.16 ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายไฟฟ้าในแต่ละปี เมื่อให้ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 ต่อปี

Years	Ft (บาท)	CDM (บาท)	Total Benefit (บาท)
1	680,396.91	107,432.64	2,719,612.61
2	782,456.45	123,547.54	2,857,787.04
3	899,824.91	142,079.67	2,993,687.64
4	1,034,798.65	163,391.62	3,149,973.32
5	1,190,018.45	187,900.36	3,329,701.86
6	1,368,521.21	216,085.41	3,536,389.68
7	1,573,799.39	248,498.22	3,774,080.68
8	1,809,869.30	285,772.96	4,047,425.32
9	2,081,349.70	328,638.90	4,361,771.66
10	2,393,552.15	377,934.74	4,723,269.95

จากค่า Ft และ CDM ที่อัตราการเพิ่มขึ้นต่างๆ สามารถนำมาคำนวณหาค่า NPV ในแต่ละปี ได้ดังตารางที่ 4.17-4.20

ตารางที่ 4.17 ค่า NPV ที่ต้นทุนและผลตอบแทนคงที่ทุกปี

ปีที่	Cost	Benefit	PVC	PVB	NPV
1	2,706,164.70	2,719,612.61	2,536,236.83	2,548,840.31	12,603.47
2	2,706,164.70	2,739,612.61	2,376,979.22	2,406,358.43	29,379.21
3	2,706,164.70	2,739,612.61	2,227,721.86	2,255,256.26	27,534.40
4	2,706,164.70	2,739,612.61	2,087,836.79	2,113,642.23	25,805.44
5	2,706,164.70	2,739,612.61	1,956,735.51	1,980,920.56	24,185.04
6	2,706,164.70	2,739,612.61	1,833,866.46	1,856,532.85	22,666.39
7	2,706,164.70	2,739,612.61	1,718,712.71	1,739,955.82	21,243.11
8	2,706,164.70	2,739,612.61	1,610,789.79	1,630,698.98	19,909.19
9	2,706,164.70	2,739,612.61	1,509,643.67	1,528,302.70	18,659.03
10	2,706,164.70	2,739,612.61	1,414,848.80	1,432,336.18	17,487.38
Total			**19,273,371.65**	**19,492,844.32**	**219,472.68**

ตารางที่ 4.18 ค่า NPV ที่ต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 5

ปีที่	Cost (บาท)	Benefit (บาท)	PVC (บาท)	PVB (บาท)	NPV (บาท)
1	2,706,164.70	2,719.612.61	2,536,236.83	2,548,840.31	12,603.47
2	2,787,349.64	2,779.004.08	2,448,288.60	2,440,958.22	- 7,330.38
3	2,870,970.13	2,820.365.13	2,363,390.12	2,321,731.96	- 41,658.16
4	2,957,099.23	2,863.794.24	2,281,435.64	2,209,449.77	- 71,985.86
5	3,045,812.21	2,909.394.80	2,202,323.06	2,103,684.28	- 98,638.78
6	3,137,186.58	2,957.275.38	2,125,953.84	2,004,034.77	- 121,919.08
7	3,231,302.17	3,007.550.00	2,052,232.86	1,910,125.58	- 142,107.28
8	3,328,241.24	3,060.338.35	1,981,068.27	1,821,604.49	- 159,463.78
9	3,428,088.48	3,115.766.11	1,912,371.43	1,738,141.28	-174,230.15
10	3,530,931.13	3,173.965.27	1,846,056.77	1,659,426.33	-186,630.45
Total			**21,749,357.42**	**20,757,996.98**	**- 991,360.44**

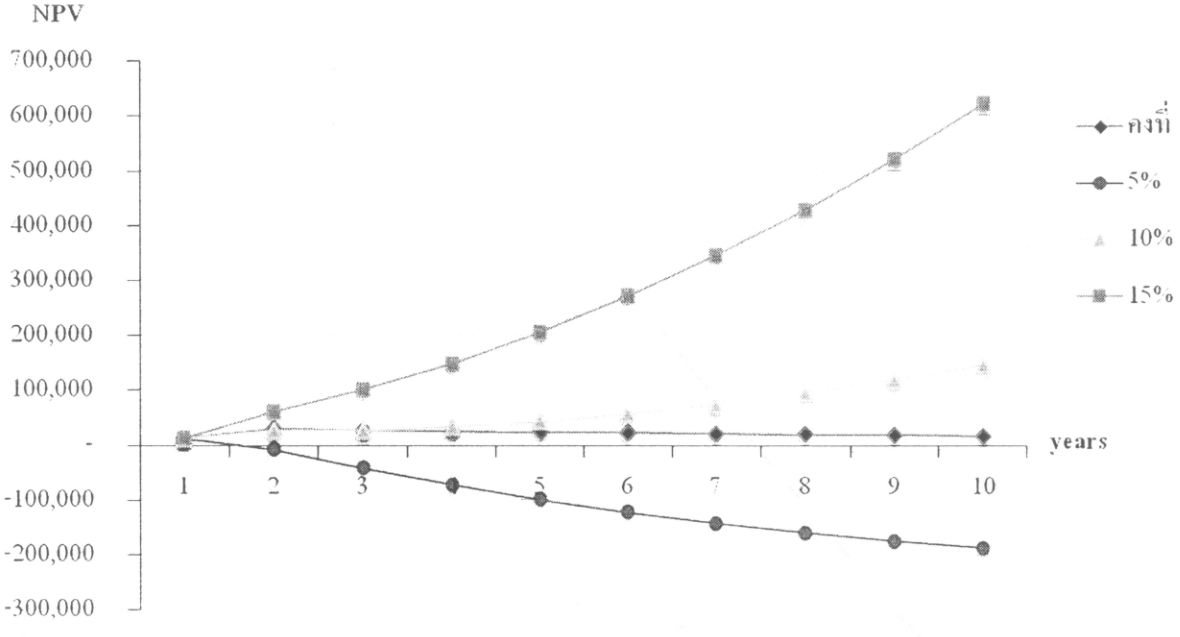
ตารางที่ 4.19 ค่า NPV ที่ที่ต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 10

ปีที่	Cost (บาท)	Benefit (บาท)	PVC (บาท)	PVB (บาท)	NPV (บาท)
1	2,706,164.70	2,719,612.61	2,536,236.83	2,548,840.31	12,603.47
2	2,787,349.64	2,818,395.56	2,448,288.60	2,475,558.01	27,269.41
3	2,870,970.13	2,905,056.81	2,363,390.12	2,391,450.37	28,060.25
4	2,957,099.23	3,000,384.19	2,281,435.64	2,314,830.47	33,394.83
5	3,045,812.21	3,105,244.30	2,202,323.06	2,245,296.38	42,973.32
6	3,137,186.58	3,220,590.42	2,125,953.84	2,182,473.51	56,519.66
7	3,231,302.17	3,347,471.16	2,052,232.86	2,126,012.96	73,780.10
8	3,328,241.24	3,487,039.97	1,981,068.27	2,075,590.00	94,521.73
9	3,428,088.48	3,640,565.66	1,912,371.43	2,030,902.59	118,531.16
10	3,530,931.13	3,809,443.92	1,846,056.77	1,991,670.04	145,613.27
Total			**21,749,357.42**	**22,382,624.63**	**633,267.21**

ตารางที่ 4.20 ค่า NPV ที่ที่ต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 15

ปีที่	Cost (บาท)	Benefit (บาท)	PVC (บาท)	PVB (บาท)	NPV (บาท)
1	2,706,164.70	2,719,612.61	2,536,236.83	2,548,840.31	12,603.47
2	2,787,349.64	2,857,787.04	2,448,288.60	2,510,157.80	61,869.20
3	2,870,970.13	2,993,687.64	2,363,390.12	2,464,411.49	101,021.37
4	2,957,099.23	3,149,973.32	2,281,435.64	2,430,240.19	148,804.55
5	3,045,812.21	3,329,701.86	2,202,323.06	2,407,594.00	205,270.94
6	3,137,186.58	3,536,389.68	2,125,953.84	2,396,478.84	270,524.99
7	3,231,302.17	3,774,080.68	2,052,232.86	2,396,957.00	344,724.15
8	3,328,241.24	4,047,425.32	1,981,068.27	2,409,148.04	428,079.78
9	3,428,088.48	4,361,771.66	1,912,371.43	2,433,229.94	520,858.51
10	3,530,931.13	4,723,269.95	1,846,056.77	2,469,440.54	623,383.77
Total			**21,749,357.42**	**24,466,498.14**	**2,717,140.72**

โดยสามารถเปรียบเทียบค่า NPV ของแต่ละกรณีได้ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า NPV ในแต่ละกรณีตลอดอายุโครงการ

เมื่อพิจารณาถึงค่าความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ในสามกรณีข้างต้น จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า NPV > 0 ซึ่งหมายถึงว่าโครงการนี้สามารถลงทุนได้นั้นจะอยู่ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM เท่ากับร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ต่อปี

4.6.7 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR)

จะพิจารณาค่า BCR ใน 4 กรณี ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM

<u>กรณีที่ 1</u> ค่าต้นทุนและผลตอบแทนคงที่

จะได้ $BCR = \frac{PVB}{PVC}$

$$= \frac{19,492,844.32}{19,273,371.65} = 1.01$$

<u>กรณีที่ 2</u> ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 5

จะได้ $BCR = \frac{PVB}{PVC}$

$$= \frac{20,757,996.98}{21,749,357.42} = 0.95$$

<u>กรณีที่ 3</u> ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 10

จะได้ $BCR = \frac{PVB}{PVC}$

$$= \frac{22,382,624.63}{21,749,357.42} = 1.03$$

<u>กรณีที่ 4</u> ค่า Ft และ CDM เพิ่มขึ้นร้อยละ 15

จะได้ $BCR = \frac{PVB}{PVC}$

$$= \frac{24,466,498.14}{21,749,357.42} = 1.12$$

จากการพิจารณาทั้งสามกรณี พบว่าในกรณีที่ 2 และ 3 โครงการสามารถลงทุนได้ เนื่องจากในการคำนวณได้ค่า BCR > 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป สำหรับในกรณีที่ 1 นั้น ค่า BCR < 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

4.6.8 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

โดยพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน 3 กรณี ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM แสดงค่าที่เกิดดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.21 ค่า IRR ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM

ร้อยละ 5		ร้อยละ 10		ร้อยละ 15	
B-C	NPV	B-C	NPV	B-C	NPV
13,447.91	12,603.47	13,447.91	0.00	13,447.91	0.00
- 8,345.56	- 7,330.38	31,045.92	0.00	70,437.40	0.00
- 50,604.99	- 41,658.16	34,086.68	0.00	122,717.51	0.00
- 93,304.99	- 71,985.86	43,284.95	0.00	192,874.09	0.00
- 136,417.41	- 98,638.78	59,432.09	0.00	283,889.65	0.00
- 179,911.19	- 121,919.08	83,403.85	0.00	399,203.11	0.00
- 223,752.17	- 142,107.28	116,168.99	0.00	542,778.50	0.00
- 267,902.89	- 159,463.78	158,798.73	0.00	719,184.08	0.00
- 312,322.36	- 174,230.15	212,477.19	0.00	933,683.18	0.00
- 356,965.86	- 186,630.45	278,512.79	0.00	1,192,338.82	0.00
	- 991,360.44		**0.00**		**0.00**
IRR = หาค่าไม่ได้		IRR = หาค่าไม่ได้		IRR = 1.31	

จากการวิเคราะห์ค่า IRR พบว่าที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 นั้นไม่สามารถหาค่า IRR ได้เนื่องจากในทั้งสองกรณีนี้ไม่มีผลตอบแทนของโครงการ และเมื่อพิจารณาที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Ft และ CDM ร้อยละ 15 พบว่าค่า IRR ที่ได้ยังไม่น่าสนใจในการลงทุน

อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นเพียงข้อมูลส่วนหนึ่งที่ใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนแต่ไม่ใช่ตัวบ่งชี้หลักในการตัดสินใจ เนื่องจากยังมีปัจจัยด้านอื่นที่ยังต้องคำนึงถึง เช่น ปัจจัยด้านเทคนิคการผลิต ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล

สำหรับผลการวิเคราะห์ในบทที่ 4 ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลทั้งในส่วนของการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิง และการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่น โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งในส่วนของสิ่งที่เข้า (Input) และสิ่งที่ออกจากระบบ (Output) ไม่ว่าจะเป็นวัสดุ พลังงานหรือแม้กระทั่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการได้มาของไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตว่ามีปริมาณเท่าใด เกิดขึ้นจากกระบวนการใดมากที่สุดและเกิดผลกระทบประเภทใดมากที่สุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ในการวิเคราะห์ไปใช้ในการปรับปรุงการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนและสามารถนำไปพิจารณาในการตัดสินใจเลือกแหล่งพลังงานต่อไปในอนาคต โดยสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาได้ตามประเด็นดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ในแต่ละช่วงกระบวนการ

จากบทที่ 4 ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใน 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซล จึงไม่พิจารณาผลกระทบในส่วนของการผลิตข้าวและไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

กรณีที่ 2 กำหนดให้แกลบและกลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิตข้าวและไบโอดีเซลกรณีนี้จึงพิจารณาผลกระทบในขั้นตอนของการผลิตข้าวและการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันด้วย

จากทั้งสองกรณีที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถแสดงปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล 1 kWh

ขั้นตอน	ค่าผลกระทบ (Pt)	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
การขนส่ง	4.63×10^{-6}	4.63×10^{-6}
การผลิตแท่งเชื้อเพลิง	5.71×10^{-4}	1.34×10^{-1}
การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล	4.14×10^{-4}	4.14×10^{-4}
รวม	$\mathbf{9.90 \times 10^{-4}}$	$\mathbf{1.35 \times 10^{-1}}$

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลพบว่า ในขั้นตอนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงให้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงสุดในทั้งสองกรณี โดยผลกระทบที่เกิดในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 5.71×10^{-4} Pt และ 1.34×10^{-1} Pt ตามลำดับ ขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบรองลงมา คือ การผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลและการขนส่งซึ่งทั้งสองกรณีมีค่าผลกระทบเท่ากันคือ 4.14×10^{-4} Pt และ 4.63×10^{-6} Pt ตามลำดับ ในส่วนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงในกรณีที่ 1 พบว่าแหล่งที่มาของผลกระทบเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ส่วนกรณีที่ 2 ค่าผลกระทบในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะมากกว่ากรณีที่ 1 เนื่องจากมีการพิจารณาผลกระทบจากการผลิตวัตถุดิบด้วย สำหรับผลกระทบที่เกิดในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลและการขนส่งนั้นพบว่าแหล่งที่มาของผลกระทบส่วนใหญ่เกิดมาจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยและเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของพาหนะที่ใช้บรรทุกวัตถุดิบ ตามลำดับ

5.1.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล พิจารณาตามประเภทผลกระทบ

เมื่อพิจารณาโดยแยกตามประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีที่ 1 พบว่าผลกระทบที่เกิดมากที่สุดสามอันดับแรก คือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในน้ำเนื่องจากปริมาณฟอสเฟส (EP(P)) คิดเป็นร้อยละ 35.26 ผลกระทบรองลงมา คือการเกิดพิษในดินที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTS) และการเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTW) คิดเป็นร้อยละ 20.79 และร้อยละ14.62 ตามลำดับ แต่สำหรับกรณีที่ 2 พบว่าผลกระทบที่เกิดมากที่สุดสามอันดับแรก คือการเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ คิดเป็นร้อยละ 46.75 รองลงมา คือการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ (HTA) และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในน้ำเนื่องจากปริมาณฟอสเฟส (EP(P)) คิดเป็น

ร้อยละ 41.95 และร้อยละ 3.23 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลกระทบที่เกิดสูงสุดในทั้งสองกรณีอยู่ในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งแหล่งที่มาของผลกระทบมาจากการใช้สารเคมีและพลังงานไฟฟ้าในการผลิตวัตถุดิบและการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

จะเห็นได้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลกระทบทางอ้อมที่เกิดจากการได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซลและสารเคมีที่นำมาใช้ในกระบวนการขนส่ง การผลิตแท่งเชื้อเพลิงและการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล และสำหรับผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่กำลังได้รับความสนใจจากแทบทุกประเทศทั่วโลกนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลพบว่าการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเทียบเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เท่ากับ 0.28 kg CO_2 และ 4.95 kg CO_2 ตามลำดับ

5.1.3 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

ในการเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า 1 kWh โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลในกรณีที่ 1 พบว่าผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh มีค่าเท่ากับ 9.90×10^{-4} Pt ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 1 kWh มีค่าเท่ากับ 1.81×10^{-3} Pt จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เนื่องจากในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลนั้นใช้วัตถุดิบที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยที่ใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติและถ่านหินลิกไนต์

5.1.4 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล

จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล พบว่ามีการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงมีค่ามากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.52 ของพลังงานทั้งหมด โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ คือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอัดร้อนแท่งเชื้อเพลิง รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลซึ่งมีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 20.05 ของพลังงานทั้งหมด สำหรับขั้นตอนการขนส่งมีการใช้พลังงานเพียงร้อยละ 2.43 และจากการพิจารณาการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่าในการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล 1 kWh ต้องใช้พลังงานในการผลิตเท่ากับ 1.04 kWh แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่สูญเสียไปมีค่ามากกว่าพลังงานที่ได้คืนมา

5.2 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวล เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยกำหนดให้มีอายุโครงการ 10 ปี ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลได้ 7,008,000 หน่วย จะได้ค่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเท่ากับ 23,636,958.61 บาท คิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 3.37 บาท/หน่วย โดยต้นทุนในส่วนของค่าดำเนินการมีค่ามากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 65.47 รองลงมาคือต้นทุนด้านพลังงานและค่าบำรุงรักษาคิดเป็นร้อยละ 32.61 และร้อยละ 1.92 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงค่า NPV และ IRR หากต้นทุนในการผลิตมีค่าคงที่ทุกปีโครงการจะยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่หากต้นทุนมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายจะส่งผลให้โครงการจะยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

5.3 ข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

จากผลการศึกษา LCA ที่ได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงที่สุดคือการผลิตแท่งเชื้อเพลิง รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล โดยแหล่งที่มาของผลกระทบเกิดจากพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงเสนอแนะแนวทางในการลดผลกระทบ ดังนี้

- **เปลี่ยนแหล่งพลังงานไฟฟ้า** จากเดิมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าแก๊สชีวมวลมาใช้ในกระบวนการ ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยนั้นจะเห็นได้ว่าในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh นั้นการผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลให้ค่าผลกระทบน้อยกว่า
- **พัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพ** ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะในด้านเศรษฐศาสตร์

- **ภาครัฐเข้ามาช่วยเหลือ** ในระยะเริ่มต้นรัฐบาลควรเข้ามาให้ความช่วยเหลือในการลดต้นทุนแก่ผู้ผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวมวล

อย่างไรก็ตามแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทั้งในทางเทคนิคและต้นทุนที่เกิดขึ้นด้วย จึงจะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำมาใช้มากที่สุด โดยหลังจากนำแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ที่ได้เสนอแนะมาใช้แล้วควรจะมีการวิเคราะห์ LCA อีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้จริงหรือไม่อย่างไร

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). *ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย ปี 2545/2546*. สืบค้นจาก http://www.dede.go.th เมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2551.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. *ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าหมุนเวียน*. สืบค้นจาก http://www2.egat.co.th/ft/CLF_Adder/VSPP%20Adder.htm เมื่อวันที่ 10 มกราคม 2554.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. *อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก*. สืบค้นจาก http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#1 เมื่อวันที่ 10 มกราคม 2554.

ชลธิชา สุทธิบุตร (2550). *การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ. (2548). *โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) โครงการ 1 ตำบล 1 ผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่แข็ง/แช่เย็น*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทนงศักดิ์ วัฒนา. (2553). *อุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย เพื่อการใช้น้ำอย่างยั่งยืน*.สืบค้นจาก http://doocequipment.blogspot.com/2010/08/12553.html. เมื่อวันที่ 10 มกราคม 2554

ธนาคารแห่งประเทศไทย. *อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ MLR ของธนาคารพาณิชย์*. สืบค้นจาก http://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/ interestrate/_layouts/application/interest_rate/IN_Rate.aspx. เมื่อวันที่ 11 มกราคม 2554

ธีรนันทา ฤทธิ์มณี, จิรวรรณ เตียรณ์สุวรรณ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2008). *การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม*. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 15 (3),1-10.

นิตยสารเทคโนโลยีเกษตรแนวใหม่. (2546). *การใช้ประโยชน์จากถ่านไม้*. ปีที่4 ฉบับที่ 39, หน้า 62-65. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/charcoal_fun2.php.

นิพนธ์ เกตุจ้อย และ วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. (2006). *ศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์จากรางพาราโบลิกร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล*. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

ปราณี หนูทองแก้ว. (2551). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มยุรี ปิ่นบัณฑิต. (2545). *ความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าแกลบ*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤาชัย ละกำปั่น. (2545). *ความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยและแกลบเป็นเชื้อเพลิง*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารสารนโยบายพลังงาน. *ปัญหาการใช้พลังงานจากชีวมวล*. ฉบับที่ 55 มกราคม-มีนาคม 2545.

วารสารนโยบายพลังงาน. *ความเหมาะสมของชีวมวลแต่ละประเภทที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า*. ฉบับที่ 55 มกราคม-มีนาคม 2545.

สมมาส แก้วล้วน พิชัย อัษฎมงคล และสุนีรัตน์ พิพัฒน์มโนมัย. (2006). *การประเมินทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เพื่อนำก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กมาใช้กับเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า*. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

สำนักงานการค้าภายในจังหวัดพัทลุง. *รายชื่อผู้ประกอบการโรงสีข้าวในจังหวัดพัทลุงปี พ.ศ. 2552*. สืบค้นจาก http://www.dit.go.th/uploadnew/Phattalung. เมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2554

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. *เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รายจังหวัด ปี 2552*. สืบค้นจาก http://www.oae.go.th. เมื่อ 20 มกราคม 2554.

สหัถยา ลาดปาละ, นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. *การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล*. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550.

อนุวัตร์ เดชครุฑ. (2548). *การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะโดยเทคนิคแอลซีเอ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุกฤษฏ์ โข่ศรี. คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร. สืบค้นจาก http://www.clinictech.most.go.th. เมื่อ 28 มกราคม 2554.

อโนทัย ศรีมาลานนท์. (2008). *การวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์ และกำหนดราคาประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล กรณีศึกษาโครงการลำน้ำ*

เชษก. เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

Carpentieri M., Corti A. and Lombardi. (2005). *Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO_2 removal*. Energy Conversion & Management 46. 1790-1808.

Chungsangunsit1 T., Gheewala S.H., and Patumsa S. *Environmental Profile of Power Generation from Rice Husk in Thailand*. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)" 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand

Fredriksson, H., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, A., Noren, O. and Hansson, P.-A. *Use of on-farm produced biofuels on organic farms-Evaluation of energy balances and environmental loads for three possible fuels*. Agricultural Systems. Volume 89, Issue 1, July 2006, Pages 184-203.

F. Forouzbakhsh, S.M.H. Hosseini, and M. Vakilian. (2007). An approach to the investment analysis of small and medium hydro-power plants. Energy Policy 35 (2007) 1013–1024.

Gasal C.M., Gabarrell X., Anton A., Rigola M., Carrasco J.. Ciria P. and Rieradevall J. (2008) *LCA of poplar bioenergy system compared with brassica carinata energy crop and natural gas in regional scenario*. Biomass & Bioenergy.

Hathaichanok Nadsathaporn. (2007). *Enviromental Life Cycle Assessment of Rice Products*. Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering, Suranaree University of Technology.

ISO 14040. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework; 1997.

Janghathaikul D. and Gheewala S.H. *Bagasse - A Sustainable Energy Resource from Sugar Mills*. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)" 1-3 December 2004.

Liamsanguan C. and Gheewala S.H. (2008) *LCA: A decision support tool for Environmental of MSW management System*. Journal of Environmental Management: 87,132-138.

Martinez E.,Sanz F., Pellegrini S.,Jimenez E. and Blango J. (2008) *Life cycle assessment of a multi-megawatt wild turbine*. Renewable Energy 30.1-7.

Phumpradab K., Gheewala S.H. and Sagisaka M. *Life cycle assessment of natural gas power plants in Thailand.* Enviromental Impact of Electricity Generation Technology, Int J Life Cycle Assess (2009) 14:354–363

Ramjavon T. (2008) *Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius.* Journal of Cleaner Production 16, 1727-1734.

Sampattagul S. (2005). *Life Cycle Impact Analysis and Development of NETS-GPI for Electricity Generation System in Thailand* (pp. 22-23), Division of System Engineering, Graduate School of Engineering: Mie, Japan.

Stayle D. and Jones M.B. (2008). *Life-cycle environmental and economic impacts of energy-crop fuel-chains: an integrated assessment of potential GHG avoidance in Ireland.* Environmental Science&Policy 11, 294-306.

Stayle D., Thorne F. and Jones M.B. (2008). *Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and Miscanthus production with conventional farming systems.* Biomass Energy 32. 407-408.

Yossapol C. and Nadsataporn H. (2008). *Life Cycle Assessment of Rice Production in Thailand.* Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ก1 รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้และบำรุงรักษารถบรรทุก

ในส่วนของบัญชีรายการสารเข้าและสารออกในกระบวนการใช้และบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของรถบรรทุกแต่ละประเภทต่อการขนส่งสินค้า 1 ตัน เป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร แสดงรายละเอียดดังตารางที่ ก1 โดยอ้างอิงข้อมูลบัญชีรายการจากรายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องการพัฒนาฐานข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตการขนส่งโดยรถบรรทุก

ตารางที่ ก1 ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการใช้งาน **(Operation)** ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ** [1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No Load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full Load)
พลังงาน (Inputs)				
- น้ำมันดีเซล: ลิตร [2]	0.0883	0.1356	0.0964	0.0767
มลพิษทางอากาศ (Emission to Air)				
- Carbon Dioxide (CO_2): กรัม	212.35	335.70	238.75	190.01
- Carbon Monoxide (CO): กรัม	2.6330	4.1625	2.9604	2.3560
- Nitrogen Oxides (NO_x): กรัม	0.5684	0.8985	0.6390	0.5086
- Particulate Matter (PM): กรัม	0.0177	0.0280	0.0199	0.0159
- Hydrocarbons (HC): กรัม	0.4916	0.7772	0.5528	0.4399
- Methane (CH_4): กรัม	0.0118	0.0187	0.0133	0.0106
- Benzene (C_2H_6): กรัม	0.0093	0.0148	0.0105	0.0084
- Toluene (C_7H_8): กรัม	0.0039	0.0062	0.0044	0.0035
- Xylene (C_8H_{10}): กรัม	0.0039	0.0062	0.0044	0.0035
- Non – Methane Volatile Organic	0.2636	0.4046	0.2878	0.2290
- Sulfur Oxides (SO_x): กรัม	0.0501	0.0769	0.0547	0.0435
- Nitrous Oxide (N_2O): กรัม	0.0090	0.0138	0.0098	0.0078
- Cadmium: กรัม	7.16E-07	1.10E-06	7.81E-07	6.22E-07
- Copper: กรัม	1.22E-04	1.87E-04	1.33E-04	1.06E-04

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No Load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full Load)
- Chromium : กรัม	3.58E-06	5.49E-06	3.91E-06	3.11E-06
- Nickel : กรัม	5.01E-06	7.69E-06	5.47E-06	4.35E-06
- Selenium : กรัม	7.16E-07	1.10E-06	7.81E-07	6.22E-07
- Zinc: กรัม	7.16E-05	1.10E-04	7.81E-05	6.22E-05
- Lead: กรัม	7.87E-09	1.21E-08	8.59E-09	6.84E-09
- Mercury : กรัม	1.43E-09	2.20E-09	1.56E-09	1.24E-09

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) ลักษณะและคุณภาพน้ำมันดีเซลมาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ฉบับที่ 2 ปี 2550 และ ฉบับที่ 3 ปี 2551 และมาตรฐาน SAE J-313C

ตารางที่ ก2 ฐานข้อมูลบัญชีรายการของ**กระบวนการซ่อมบำรุง (Maintenance)** ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ**[1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No Load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full Load)
ทรัพยากร/วัตถุดิบ (Inputs)				
- ยาง (Tire): เส้น	4.85E-05	7.69E-05	5.66E-05	4.74E-05
- น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์: ลิตร [2]	9.00E-04	8.00E-04	5.33E-04	4.00E-04
- น้ำมันหล่อลื่นระบบเกียร์: ลิตร [3]	7.50E-05	1.00E-04	6.67E-05	5.00E-05
- น้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองท้าย: ลิตร [4]	6.00E-05	8.00E-05	5.33E-05	4.00E-05
- น้ำมันหล่อลื่นระบบพวงมาลัยเพาเวอร์: ลิตร [5]	3.25E-05	4.33E-05	2.89E-05	2.17E-05

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เบอร์ 15W – 40 เกรด CH-4 (ผู้ผลิต: เชลล์, คาสตรอน, บีพี) หรือ เกรด CI-4 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์ เชฟรอน, เอ็กซอนโมบิล)

(3) น้ำมันหล่อลื่นระบบเกียร์ เบอร์ 15W – 40 เกรด CD/CE/CF (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, คาสตรอน, บีพี) หรือ เกรด SJ/CF (ผู้ผลิต: เชลล์) หรือ เกรด CI-4 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, เอ็กซอนโมบิล)

(4) น้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองท้าย

เบอร์ 80W – 90 เกรด GL-5 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, คาสตรอน, บีพี, เอ็กซอนโมบิล)

เบอร์ 90 เกรด GL-5 (ผู้ผลิต: เชลล์)

(5) น้ำมันหล่อลื่นระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ ชนิด เด็กซ์รอน III

ตารางที่ ก3 ฐานข้อมูลบัญชีรายการวัสดุของ**ส่วนประกอบยางรถ (Tire Components)** ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "2.5 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ** [1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No Load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full Load)
- Natural Rubber: กรัม	0.1391	0.2206	0.1624	0.1360
- Synthetic Rubber: กรัม	0.0255	0.0405	0.0298	0.0250
- Halogen Butyl Rubber: กรัม	0.0091	0.0145	0.0106	0.0089
- Electroplated Steel Wire: กรัม	0.0629	0.0998	0.0735	0.0615
- Nylon Fabric: กรัม	0.0009	0.0014	0.0011	0.0009
- Electro – Plated Stranded Steel Wire: กรัม	0.0903	0.1432	0.1054	0.0883
- Carbon Black: กรัม	0.0962	0.1526	0.1123	0.0941
- Zinc Oxide: กรัม	0.0091	0.0145	0.0106	0.0089
- Sulfur : กรัม	0.0046	0.0072	0.0053	0.0045
- Additives: กรัม [2]	0.0182	0.0289	0.0213	0.0178

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) Additive ในการผลิตยางสำหรับรถบรรทุก

ตารางที่ ก4 ฐานข้อมูลบัญชีรายการของ**กระบวนการใช้งาน (Operation)** ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน "15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ**[1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No Load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full Load)
พลังงาน (Inputs)				
- น้ำมันดีเซล: ลิตร [2]	0.1541	0.0420	0.0295	0.0228
มลพิษทางอากาศ (Emission to Air)				
- Carbon Dioxide (CO_2): กรัม	376.85	110.94	77.83	60.28
- Carbon Monoxide (CO): กรัม	0.7927	0.2334	0.1637	0.1268
- Nitrogen Oxides (NO_x): กรัม	1.5177	0.4468	0.3135	0.2428
- Particulate Matter (PM): กรัม	0.0785	0.0231	0.0162	0.0126
- Hydrocarbons (HC): กรัม	1.83E-01	5.39E-02	3.78E-02	2.93E-02
- Methane (CH_4): กรัม	4.40E-03	1.29E-03	9.08E-04	7.03E-04
- Benzene (C_2H_6): กรัม	3.48E-03	1.02E-03	7.19E-04	5.57E-04
- Toluene (C_7H_8): กรัม	1.47E-03	4.31E-04	3.03E-04	2.34E-04
- Xylene (C_8H_{10}): กรัม	1.47E-03	4.31E-04	3.03E-04	2.34E-04
- Non – Methane Volatile Organic Compounds	0.6059	0.1652	0.1159	0.0897
- Sulfur Oxides (SO_x): กรัม	8.74E-02	2.38E-02	1.67E-02	1.29E-02
- Nitrous Oxide (N_2O): กรัม	1.57E-02	4.28E-03	3.01E-03	2.33E-03
- Cadmium: กรัม	1.25E-06	3.40E-07	2.39E-07	1.85E-07
- Copper: กรัม	2.12E-04	5.78E-05	4.06E-05	3.14E-05
- Chromium : กรัม	6.24E-06	1.70E-06	1.19E-06	9.24E-07
- Nickel : กรัม	8.74E-06	2.38E-06	1.67E-06	1.29E-06
- Selenium : กรัม	1.25E-06	3.40E-07	2.39E-07	1.85E-07
- Zinc: กรัม	1.25E-04	3.40E-05	2.39E-05	1.85E-05
- Lead: กรัม	1.37E-08	3.74E-09	2.63E-09	2.03E-09
- Mercury : กรัม	2.50E-09	6.80E-10	4.77E-10	3.70E-10

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) ลักษณะและคุณภาพน้ำมันดีเซลมาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ฉบับที่ 2 ปี 2550 และ ฉบับที่ 3 ปี 2551 และมาตรฐาน SAE J-313C

ตารางที่ ก5 ฐานข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการซ่อมบำรุง (Maintenance) ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน 15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบ ต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ** [1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (No load)	50% ของน้ำหนักบรรทุก	75% ของน้ำหนักบรรทุก	บรรทุกเต็มน้ำหนัก (Full load)
ทรัพยากร/วัตถุดิบ (Inputs)				
- ยาง (Tire): เส้น	5.40E-05	1.47E-05	1.07E-05	8.76E-06
- น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์: ลิตร [2]	6.50E-04	1.53E-04	1.02E-04	7.65E-05
- น้ำมันหล่อลื่นระบบเกียร์: ลิตร [3]	1.20E-04	2.82E-05	1.88E-05	1.41E-05
- น้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองท้าย: ลิตร [4]	1.63E-04	3.82E-05	2.55E-05	1.91E-05
- น้ำมันหล่อลื่นระบบพวงมาลัยเพาเวอร์: ลิตร [5]	7.50E-05	1.76E-05	1.18E-05	8.82E-06

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เบอร์ 15W – 40 เกรด CH-4 (ผู้ผลิต: เชลล์, คาสตรอน, บีพี) หรือ เกรด CI-4 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, เอ็กซอนโมบิล)

(3) น้ำมันหล่อลื่นระบบเกียร์ เบอร์ 15W – 40 เกรด CD/CE/CF (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, คาสตรอน, บีพี) หรือ เกรด SJ/CF (ผู้ผลิต: เชลล์) หรือ เกรด CI-4 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, เอ็กซอนโมบิล)

(4) น้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองท้าย

เบอร์ 80W – 90 เกรด GL-5 (ผู้ผลิต: คาลเท็กซ์/เชฟรอน, คาสตรอน, บีพี, เอ็กซอนโมบิล)

เบอร์ 90 เกรด GL-5 (ผู้ผลิต: เชลล์)

(5) น้ำมันหล่อลื่นระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ ชนิด เด็กซ์รอน III

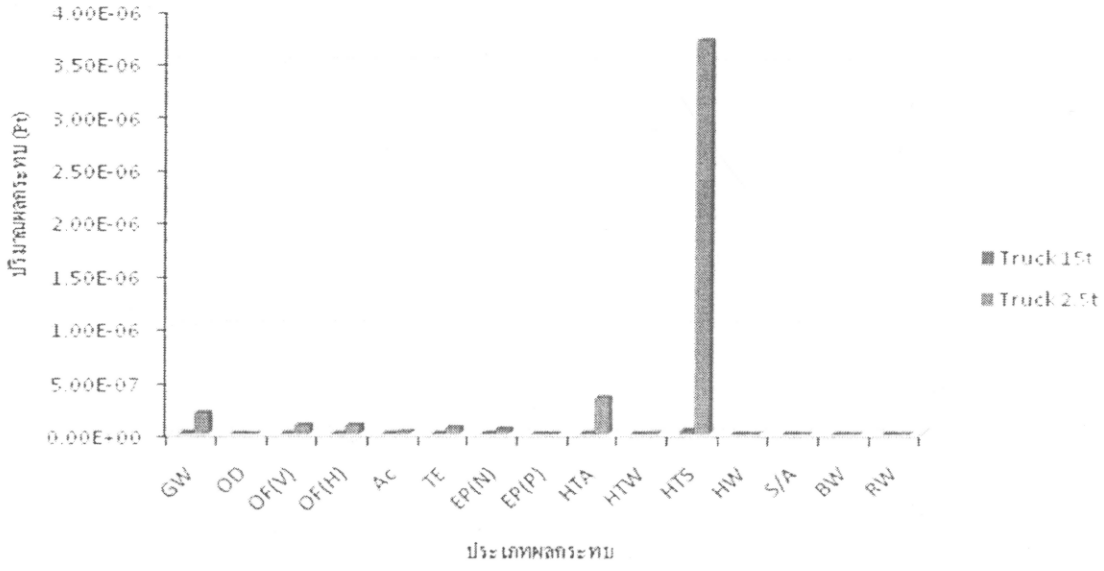
ตารางที่ ก6 ฐานข้อมูลบัญชีรายการวัสดุของส่วนประกอบยางรถ **(Tire Components)** ต่อการขนส่ง 1 ตัน-กิโลเมตร (tkm) ในกรณีของ "รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก" ขนาดพิกัดรวมบรรทุกไม่เกิน 15 ตัน" ที่รูปแบบการบรรทุกแบบ ต่าง ๆ **ภายใต้สภาพการทำงานปกติ** [1]

รายการ	รูปแบบการบรรทุก			
	ไม่มีน้ำหนัก	50% ของ	75% ของ	บรรทุกเต็ม
- Natural Rubber: กรัม	0.4065	0.1109	0.0803	0.0660
- Synthetic Rubber: กรัม	0.0746	0.0204	0.0148	0.0121
- Halogen Butyl Rubber: กรัม	0.0267	0.0073	0.0053	0.0043
- Electroplated Steel Wire: กรัม	0.1839	0.0502	0.0364	0.0299
- Nylon Fabric: กรัม	0.0027	0.0007	0.0005	0.0004
- Electro – Plated Stranded Steel Wire: กรัม	0.2639	0.0720	0.0522	0.0428
- Carbon Black: กรัม	0.2812	0.0767	0.0556	0.0456
- Zinc Oxide: กรัม	0.0267	0.0073	0.0053	0.0043
- Sulfur : กรัม	0.0133	0.0036	0.0026	0.0022
- Additives: กรัม [2]	0.0533	0.0145	0.0105	0.0087

หมายเหตุ (1) สภาพการใช้งานปกติ ได้แก่ การขนส่งบนเส้นทางราบปกติ เช่นบนเส้นทางหลวงนอกเมือง ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราการหยุดชะลอรถน้อยกว่า 40% ของระยะทางการขนส่งทั้งหมด

(2) Additive ในการผลิตยางสำหรับรถบรรทุก

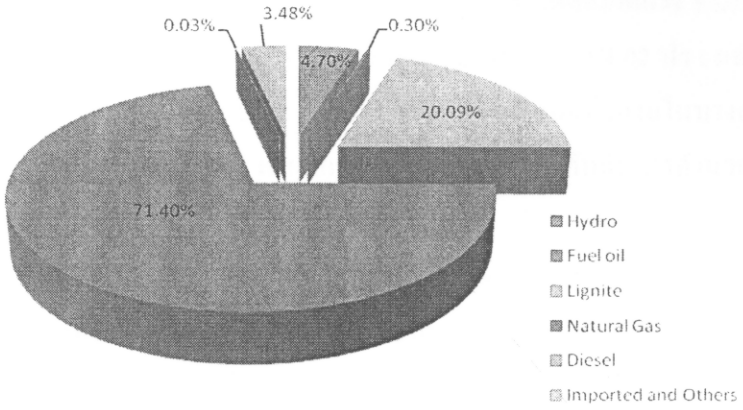
จากบัญชีรายการในข้างต้นนำไปประเมินผลกระทบของการใช้งานและบำรุงรักษารถบรรทุกทั้งสองชนิดดังรูปที่ ก1



รูปที่ ก1. ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษา

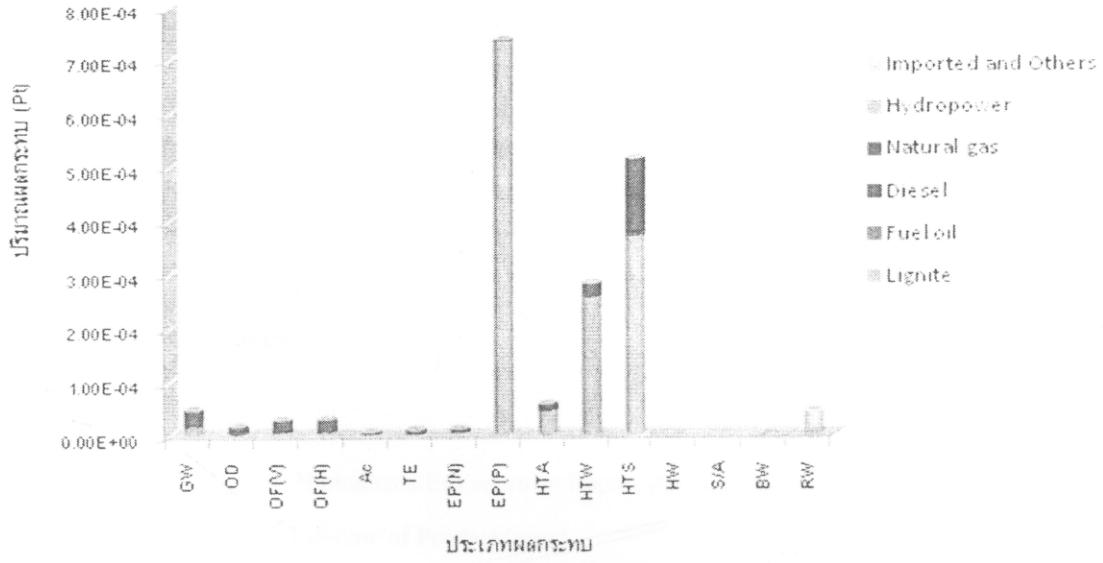
ก2 รายละเอียดเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า

จากผลการประเมินในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าในกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีการปันส่วนข้อมูลเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้อาศัยเชื้อเพลิงหลายประเภทในการผลิตดังแสดงรูปที่ ก2



รูปที่ ก2 การปันส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยประจำปี 2552 จำแนกตามชนิดเชื้อเพลิง (สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552)

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของพลังงานไฟฟ้าจากที่มาของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 1 kWh โดยวิธี EDIP 2003 พบว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยนั้นก่อให้เกิดประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้าน EP(P) มากที่สุดรองลงมาคือ HTS และ HTW ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้ลิกไนต์และก๊าซธรรมชาติ ดังแสดงปริมาณผลกระทบประเภทต่างๆ ในรูปที่ ก3



รูปที่ ก3 ผลกระทบทางสิงแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภท สำหรับผลิตไฟฟ้า 1 kWh ในประเทศไทย

ก3 ข้อมูลมาตรฐานและตัวอย่างการการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี EDIP 2003 V1.02

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCIA) ตามวิธีการ EDIP 2003 V1.02 ประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนที่กล่าวถึงรายละเอียดแล้วในบทที่ 2 ในที่นี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนทั้งสามในบางส่วนเพื่อทบทวนความเข้าใจก่อนที่จะแสดงหลักการคำนวณผลกระทบ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับการคำนวณผลกระทบของซอร์ฟแวร์ที่เลือกใช้

- **การจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท (Classification and Characterization)**

คือขั้นตอนการจำแนกกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม กำหนดบทบาท และแปลงข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าเป็นทางด้านใดให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าว กับสารอ้างอิงพื้นฐานหรือที่เรียกว่า Equivalent or Characterization Factors: EF โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) ดังนี้

$$EP_i = \sum (Q_i \times EF_{ij})$$

เมื่อ EP_i = Environmental Impact Potential (kg substance equivalent)

Q_i = Quantity of Substance (kg substance j)

EF_{ij} = Equivalency Factor (kg substance equivalent/ kg substance j)

- **การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)**

คือขั้นตอนการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ศึกษากับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลก หรือกับผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$NP_j(\text{product}) = EP_j \times \frac{1}{T \times ER_j}$$

เมื่อ $NP_{j(\text{product})}$ = Normalized Environment Impact Potential (person)

T = Lifetime of Product (year)

ER_j = Normalization Reference (kg substance equivalent/person/year)

ในที่นี้ได้กำหนดให้ค่า ER หรือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปีมีค่าแสดงดังตารางที่ ก8

- **การให้น้ำหนัก (Weighting)**

คือขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor: WF) ว่าเป็นเท่าใด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

เมื่อ WP_j = Weighted Environmental Impact Potential (Person for Target Year: Pt.)

WF_j = Weighting Factor

สำหรับโปรแกรมที่เลือกใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนี้ได้กำหนดค่ามาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามแนวทางของ M. Hauschild and Potting, J., 2003 ดังแสดงค่าในตาราง ก7

ตารางที่ ก7 EDIP 2003 V1.02 Normalization and Weighting Factor

Impact categories	**Unit (ER_j)**	$(\frac{1}{T \times ER_j})$	**Weighting Factor** (WF_j)
Global Warming 100a	kg CO_2-eq./kg/person/year	1.15E-04	1.1
Ozone Depletion	kg CFC-11-eq./kg/person/year	9.71E+00	63
Ozone Formation (Vegetation)	m^2.ppm.h / kg/person/year	7.14E-06	1.2
Ozone Formation (Human)	person.ppm.h / kg/person/year	1.00E-01	1.2
Acidification	m^2/kg/person/year	4.55E-04	1.3
Terrestrial Eutrophication	m^2/kg/person/year	4.76E-04	1.2
Aquatic Eutrophication EP(N)	kg N/kg/person/year	8.33E-02	1.4
Aquatic Eutrophication EP(P)	kg P/kg/person/year	2.44E+00	1
Human Toxicity Air	m^3/kg/person/year	5.88E-09	1.1
Human Toxicity Water	m^3/kg/person/year	1.69E-05	1.3
Human Toxicity Soil	m^3/kg/person/year	3.23E-03	1.2
Ecotoxicity Water Chronic	m^3/kg/person/year	0.00E+00	0
Ecotoxicity Water Acute	m^3/kg/person/year	0.00E+00	0
Ecotoxicity Soil Chronic	m^3/kg/person/year	0.00E+00	0
Hazardous Waste	kg/kg /person/year	4.83E-02	1.1
Slags/Ashes	kg/kg/person/year	2.86E-03	1.1
Bulk Waste	kg/kg/person/year	7.41E-04	1.1
Radioactive Waste	kg/kg/person/year	2.86E+01	1.1

ที่มา: EDIP 2003 V1.02 Method, SimaPro Software