บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2548, **โครงการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน**, รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และ บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551, **โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาการผลิตขยะเชื้อเพลิง (RDF)**

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ, 2552, **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ**, ชุดโครงการ การศึกษาเชิงนโยบายและการยอมรับของประชาชนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล, โครงการที่ 2, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ทุน สกว. – บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ทุนวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2551, **โครงการแปรรูปขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Waste) ให้เป็นแหล่ง Refuse Derived Fuel (RDF) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์**

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552, **online available for http://www.efe.or.th**

สายวสันต์ วิชาดี, 2548, **การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะเทศบาลนครเชียงใหม่**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Jidapa Nithikul, 2007, **POTENTIAL OF REFUSES DERIVED FUEL PRODUCTION FROM BANGKOK MUNICIPAL SOLID WASTE,** School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, THAILAND

ภาคผนวก ก.

รายงานการวิจัย

โครงการย่อยที่ 1

การสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับแผนงานวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(ภาษาอังกฤษ) Demonstration Project on RDF-5 Production from Municipal Waste: A Case Study of Chiang Mai University

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 1,471,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 24 พฤษภาคม 2553 ถึง 23 พฤษภาคม 2554

หน่วยงานและคณะผู้ดำเนินงานวิจัย

1. หัวหน้าโครงการย่อย 1:

อาจารย์ ดร. ณัฐนี วรยศ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

2. ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร. จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศีล

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

3. ผู้ร่วมงานวิจัย

นายภมร แสนสิ่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

4. ผู้ร่วมงานวิจัย

นางสาวทัศวรรณ ใจเที่ยง

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

ส่วนที่ 2 **บทคัดย่อ**

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบทั้งทางด้านสภาวะเศรษฐกิจและสังคมจากปัญหาการขาดแคลนน้ำมันและราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องเร่งสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ภายในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ โดยทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจได้แก่การนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีปัญหาปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการพัฒนาประเทศและการเพิ่มขึ้นของประชากรโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง

ในงานนี้จะเป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสร้างต้นแบบอุปกรณ์สาธิตการผลิตเชื้อเพลิงชนิด RDF-5 จากขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย รวมทั้งการศึกษาผลกระทบด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม และต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ผลการพัฒนากระบวนการผลิต พบว่าสามารถผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ และมีคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิง คือ ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนเป็นไปตามค่ามาตรฐานของยุโรป ผลการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากงานวิจัย ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 ซึ่งมีการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ด้านระบบนิเวศน์ และด้านทรัพยากรธรรมชาติ พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์จากกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ส่วนผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ที่มากที่สุด คือ การใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land Use) และผลกระทบด้านทรัพยากรที่สำคัญ คือ ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิล และผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในเบื้องต้น พบว่ามีต้นทุนเท่ากับ 3.58 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 3,581 บาทต่อตันของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

ABSTRACT

Thailand is directly affected both economic and social crisis from oil scarcity and oil price increasing. One way to solve these problems is to explore and develop domestic energy resources which could be used to substitute the imported oil. Energy generation from waste is one of the interesting methods that the waste could be disposed and the community could gain the revenue from the energy produced.

This project focuses on RDF-5 production from the university waste, including study of environmental impacts from RDF-5 production and costs. It is found that the produced RDF-5 characteristics, density and heating value, are in the European Standard range. From a Life Cycle Assessment (LCA) by SimaPro software, with Eco-Indicator 95 which considers the impacts due to the RDF-5 production on human heath, ecological system, and natural resources, it is found that the main impacts are due to the impact on the climate change, the land use and the fossil fuel demand, respectively. The cost of the produced RDF-5 is about 3.58 Baht/kg or 3,581 Baht/ton.

คำสำคัญ (Keywords)

พลังงานทดแทน / ขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง / Alternative Energy / Refuse Derived Fuel (RDF)

สารบัญเรื่อง

บทที่	หัวข้อ	หน้า
1	**บทนำ**	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	ก.1-1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	ก.1-4
2	**การศึกษาทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	ก.2-1
	2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	ก.2-12
3	**ระเบียบวิธีวิจัย**	
	3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	ก.3-1
	3.2 การกำหนดสมมติฐานในการวิจัย	ก.3-2
	3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย	ก.3-3
4	**ผลการดำเนินงานวิจัย**	
	4.1 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของขยะเพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-1
	4.2 ผลการจัดเตรียมสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต	ก.4-3
	4.3 ผลการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-8
	4.4 ผลการออกแบบและสร้างห้องเก็บขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-19

บทที่	หัวข้อ	หน้า
4	**ผลการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)**	
	4.5 ผลการทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-20
	4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-28
	4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ก.4-31
	4.8 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-37
5	**การอภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงาน**	
	5.1 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.5-1
	5.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องจักร/อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.5-2
	5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้	ก.5-3
6	**สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ**	
	6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	ก.6-1
	6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	ก.6-2
บรรณานุกรม		

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA	ก.2-9
2.2	ตัวอย่างค่า Equivalency Factor: EF_{ij} สำหรับกรณีภาวะโลกร้อนขึ้น	ก.2-10
3.1	คุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF	ก.3-3
3.2	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	ก.3-3
4.1	ค่าความร้อนของขยะที่จะนำมาผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-21
4.2	ตัวอย่างขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนผสมต่างกัน	ก.4-27
4.3	ค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-29
4.4	ค่าความร้อนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-30
4.5	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Eco-indicator 95	ก.4-36
4.6	ระบบและเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-37
4.7	ประมาณการราคาเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	ก.4-38

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	การจำแนกประเภทการเปลี่ยนรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงในแบบต่างๆ	ก.1-3
1.2	ขั้นตอนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน	ก.1-3
2.1	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาใน LCA	ก.2-4
2.2	กรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040	ก.2-5
2.3	แผนภาพกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	ก.2-15
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะที่สามารถนำมาผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-2
4.2	แผนที่สถานที่ตั้งโรงงานสาธิต	ก.4-4
4.3	การปรับปรุงพื้นที่เพื่อตั้งโรงงานสาธิต	ก.4-6
4.4	การออกแบบอาคารโรงงานสาธิต	ก.4-7
4.5	การออกแบบและพัฒนาห้องอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน	ก.4-9
4.6	การออกแบบและพัฒนาห้องอบแห้ง	ก.4-10
4.7	เครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ที่ทดลองใช้	ก.4-12
4.8	เครื่องตัดย่อยกิ่งไม้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	ก.4-12
4.9	เครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ใบไม้ที่ออกแบบและพัฒนาในโครงการ	ก.4-12
4.10	การทดลองตัด/ย่อยกระดาษ	ก.4-13
4.11	การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยกระดาษ	ก.4-13
4.12	การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยพลาสติก	ก.4-14
4.13	การออกแบบเครื่องตัด/ย่อยพลาสติก	ก.4-15

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.14	การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสม	ก.4-16
4.15	การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-17
4.16	ผังกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-18
4.17	ห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-19
4.18	องค์ประกอบหลักของขยะเชื้อเพลิง RDF	ก.4-20
4.19	การลดขนาดขยะแต่ละประเภท	ก.4-22
4.20	การผสมส่วนผสมของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-23
4.21	การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น	ก.4-23
4.22	การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น โดยใช้น้ำในการช่วยประสาน	ก.4-24
4.23	ขยะเชื้อเพลิงแท่ง RDF-5 ที่ผลิตได้	ก.4-25
4.24	ขยะเชื้อเพลิงแท่ง RDF-5 ที่ผลิตได้	ก.4-25
4.25	ตัวอย่างขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ทั้งหมดที่ทดลองผลิตในช่วงเริ่มต้น	ก.4-26
4.26	การตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-28
4.27	ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต	ก.4-31
4.28	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แยกตามประเภทของผลกระทบ	ก.4-34
4.29	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แยกตามกระบวนการผลิต	ก.4-34
4.30	ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ก.4-35

บทที่ 1

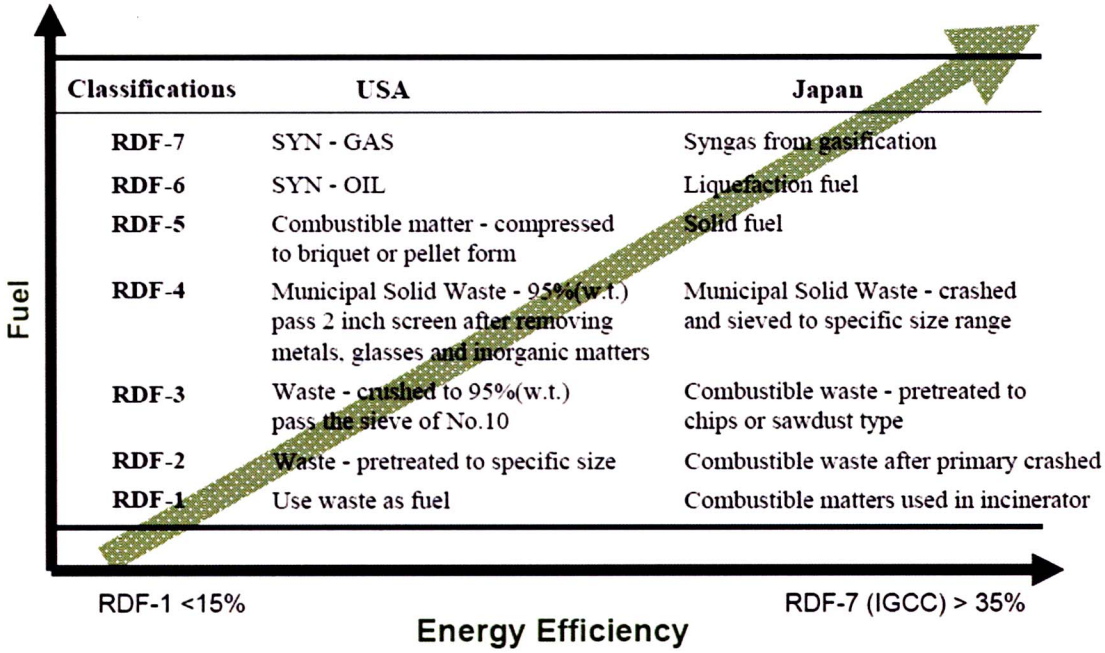
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบทั้งทางด้านสภาวะเศรษฐกิจและสังคมจากปัญหาการขาดแคลนน้ำมันและราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องเร่งสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ภายในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ โดยทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจได้แก่การนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีปัญหาปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการพัฒนาประเทศและการเพิ่มขึ้นของประชากรโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง โดยในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีปริมาณขยะชุมชนเกิดขึ้นถึง 14.63 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2548 ประมาณ 0.33 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นขยะชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครประมาณวันละ 8,473 ตัน เขตเทศบาลภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และเขตเทศบาลเมืองพัทยาประมาณวันละ 12,912 ตัน และนอกเขตเทศบาลประมาณวันละ 18,697 ตัน ซึ่งจากปริมาณทั้งหมดนี้มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพียงร้อยละ 22 โดยปริมาณขยะที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่ถูกนำไปเททิ้งรวมกันกลางแจ้ง เผาทิ้งกลางแจ้ง หรือเผาด้วยเตาเผาประสิทธิภาพต่ำ ที่ไม่มีการนำความร้อนทิ้งไปใช้ประโยชน์และในขณะเดียวกันก็ก่อให้ เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อชุมชนและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งหากสามารถนำขยะที่เหลือเหล่านี้มาแปรรูปเป็นพลังงานจะสามารถทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และในขณะเดียวกันก็ลดปัญหาการสะสมของปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทั้งในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า จากขยะมูลฝอย เช่น การนำความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้ขยะมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) การผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ที่เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ซึ่งนอกจากจะเป็นการทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงแล้วเนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) การดักจับลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซดังกล่าวยังเป็นการช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย นอกจากนั้นก็ยังมีเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่าง ๆ เช่นการคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้และวัสดุที่นำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะออกเป็นชิ้น

เล็กๆ การทำให้ขยะปลอดเชื้อโดยการใช้ไอน้ำความดันสูง (Steam Autoclave) การแยกกากสกปรกในรูปของเซลลูโลสไฟเบอร์ เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยให้สม่ำเสมอกลายเป็น**ขยะเชื้อ เพลิง (Refuse-Derived Fuel: RDF)** ก่อนที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนต่อไป ซึ่งวิธีการดังกล่าวช่วยลดปัญหาความไม่แน่นอนขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอยซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งเป็นการลดความชื้นและเพิ่มค่าความร้อน ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่าง ๆ รวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่รวบรวมมา อย่างไรก็ตามถึงแม้มีเทคโนโลยีในการแปรรูปขยะเป็นพลังงานจะได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง แต่การนำเทคโนโลยีเหล่านั้นมาใช้ยังมีปัจจัยและข้อจำกัดต่างๆ เช่น ปริมาณขยะ ชนิดและองค์ประกอบของขยะ พื้นที่และสถานที่ติดตั้ง เงินลงทุน และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน ยกตัวอย่างเช่น ในการใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ ต้องมีปริมาณขยะที่มีองค์ประกอบที่เหมาะ สมในพื้นที่ฝังกลบไม่น้อยกว่า 1 ล้านตันขึ้นไปตลอดอายุการดำเนินงานเฉลี่ย 20 ปี และต้องมีความลึกชั้นฝังกลบมากกว่า 12 เมตร ดังนั้นเพื่อให้การนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ควรมีการศึกษาศักยภาพ แนวทางการจัดการและการเลือกใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมเสียก่อน

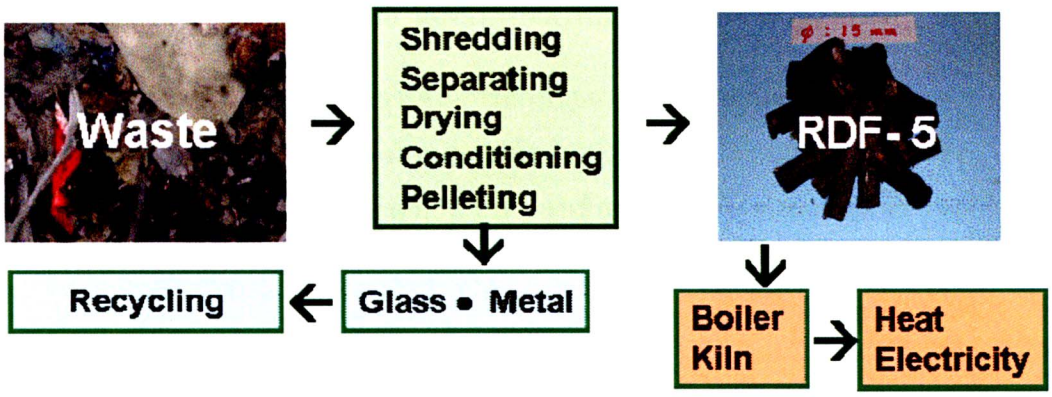
RDF-5 เป็นรูปแบบหนึ่งในการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงานอัดในรูปของแท่งหรือเม็ด ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งขยะชุมชนจะถูกนำไปแยก ย่อย อบแห้ง และผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงออกมาในรูปของเชื้อเพลิงอัด ดังรูปที่ 2 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางความร้อนหรือผลิตไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง โดยที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเป็นทั้งการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะชุมชนและปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงาน นอกจากนี้ RDF-5 จะกลายเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตขายและสามารถส่งข้ามพื้นที่ในรูปของเชื้อเพลิงได้



Classifications	USA	Japan
RDF-7	SYN - GAS	Syngas from gasification
RDF-6	SYN - OIL	Liquefaction fuel
RDF-5	Combustible matter - compressed to briquet or pellet form	Solid fuel
RDF-4	Municipal Solid Waste - 95%(w.t.) pass 2 inch screen after removing metals, glasses and inorganic matters	Municipal Solid Waste - crashed and sieved to specific size range
RDF-3	Waste - crushed to 95%(w.t.) pass the sieve of No.10	Combustible waste - pretreated to chips or sawdust type
RDF-2	Waste - pretreated to specific size	Combustible waste after primary crashed
RDF-1	Use waste as fuel	Combustible matters used in incinerator

รูปที่ 1.1 การจำแนกประเภทการเปลี่ยนรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงในแบบต่างๆ

ที่มา มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน

ที่มา Jidapa Nithikul (2007)

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการนำร่องเพื่อจัดตั้งโรงงานสาธิต โดยใช้ขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในการเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการเปลี่ยนรูปขยะมาเป็นพลังงานความร้อน รวมถึงการลดปริมาณขยะ ทั้งยังช่วยเพิ่มรายได้จากการขายเชื้อเพลิงที่ผลิตได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปเผยแพร่ให้แก่ชุมชน อันจะนำไปสู่การจัดการลดปริมาณขยะรวมถึงการยอมรับของประชาชนในชุมชนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อจัดสร้างต้นแบบอุปกรณ์สาธิตการผลิตเชื้อเพลิงชนิด RDF-5 จากขยะ
2) เพื่อศึกษาผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
3) ศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5จากขยะ

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 มีการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งมีหลักการดังนี้

- ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA เกิดขึ้นครั้งแรกเนื่องมาจากการเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 และจากนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศต่างๆ ส่งผลให้เกิดการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมให้กับประชาชน การศึกษา LCA จึงถูกพัฒนาขึ้นควบคู่ไปกับแนวคิดที่ต้องการวิเคราะห์การใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอย่างละเอียด ต่อมาการศึกษา LCA ได้ขยายไปถึงการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรอื่นๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษ และของเสียที่เกิดขึ้นด้วย การศึกษา LCA อย่างจริงจังเริ่มชัดเจนขึ้นในปี ค.ศ. 1980 เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) รัฐบาลประเทศต่างๆ เริ่มนำผลการจากการศึกษา LCA ไปประยุกต์ใช้มากขึ้น
2) การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ปัญหาภาวะโลกร้อน และปัญหาการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เนื่องจาก LCA เป็นส่วนหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 โดยเริ่มต้นจากการสัมมนาหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม หรือ Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD องค์กรเอกชนต่างๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2545 ได้เกิดการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจ

ศึกษา LCA ในประเทศไทยจึงได้จัดตั้งเป็น Thai LCA Forum/Network เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความรู้ และเผยแพร่กิจกรรมต่างๆ ด้าน LCA โดยมีการดำเนินการผ่านทางเว็บไซต์ **http://www.thailca.net** สำหรับหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดันการศึกษา LCA ในประเทศไทย ได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

LCA จัดอยู่ในชุดอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยมีหัวข้อหลักๆ ได้แก่

- **ISO 14040 : Life Cycle Assessment – Principle and Framework**
- **ISO 14041 : Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis**
- **ISO 14042 : Life Cycle Assessment – Impact Assessment**
- **ISO 14043 : Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation**

- นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตมากจากคำในภาษาอังกฤษ คือ Life Cycle Assessment หรือ LCA คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ เริ่มตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่าเป็น **"การเก็บรวบรวมและทำการประเมินค่าของสารขาเข้าและขาออก รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต"**

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา LCA คือ เพื่อการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ และกระบวนการที่เกี่ยวข้อง หรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเป็นเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยการนำ LCA มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1) LCA มีการตั้งโจทย์จากผลิตภัณฑ์

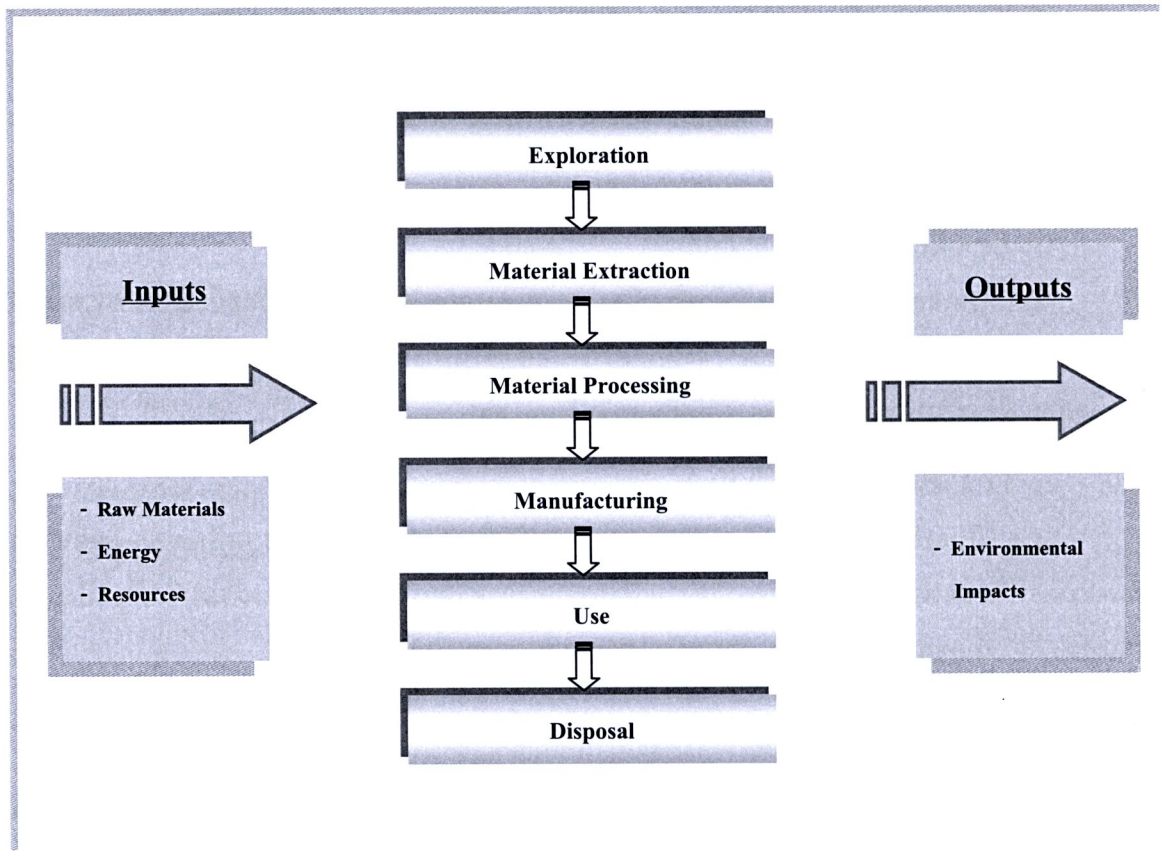
LCA เป็นเทคนิคที่มุ่งเน้นไปที่ตัวผลิตภัณฑ์และครอบคลุมไปถึงส่วนที่เครื่องมือด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ไม่สามารถครอบคลุมถึง ดังนั้น LCA จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

2) LCA เป็นการมองภาพโดยรวม

LCA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือการใช้งาน ซึ่งการมองภาพโดยรวมนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายของปัญหาจากขั้นตอนหนึ่งไปยังอีกขั้นตอนหนึ่งได้

3) LCA เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์และให้ข้อมูลเชิงปริมาณ

การศึกษา LCA ตั้งอยู่บนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ ให้ข้อมูลในเชิงปริมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่ดีในการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือในผลการวิเคราะห์มากกว่าการใช้ความรู้สึกของผู้ศึกษาตัดสินใจในเรื่องที่ซับซ้อน และเป็นเครื่องมือที่มีความเป็นกลางของวิธีการป้อนข้อมูล



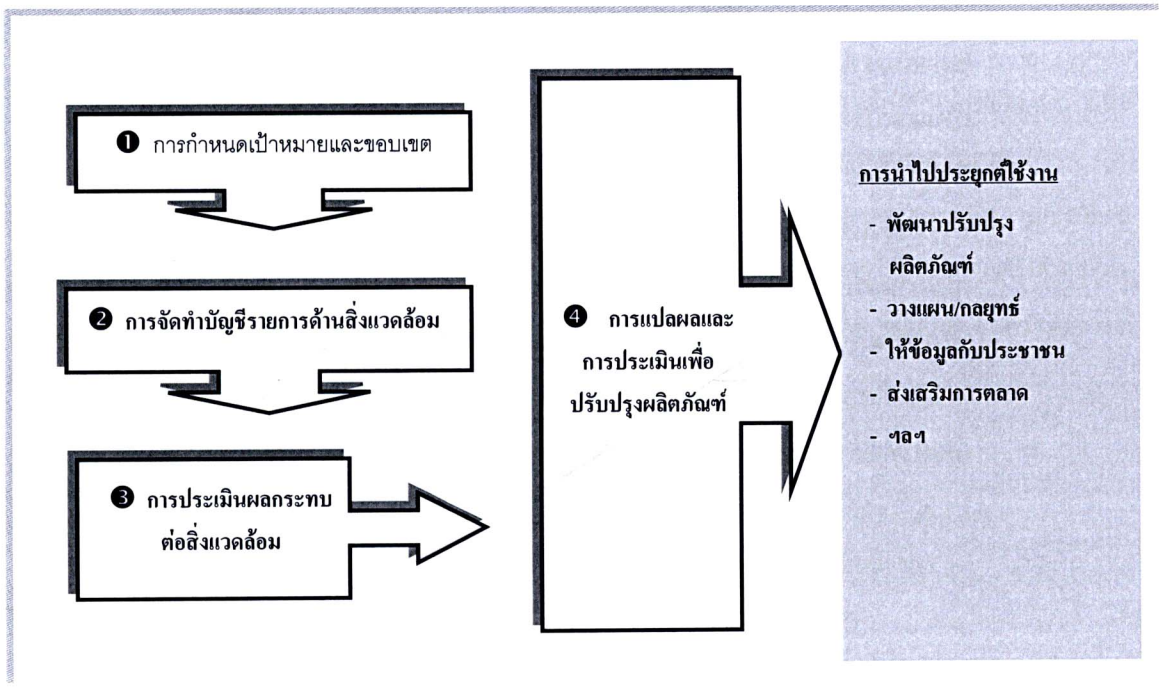
รูปที่ 2.1 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาใน LCA

ที่มา ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2552)

- วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต

วิธีการดำเนินการ LCA มีหลายวิธี แต่ปัจจุบันวิธีการหลักๆ เริ่มมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามกรอบมาตรฐาน ISO 14040 มากขึ้น กรอบการดำเนินงานของอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 แบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังรูปที่ 2.2 ได้แก่

1) **การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา**
2) **การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม**
3) **การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต**
4) **การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุง**



รูปที่ 2.2 กรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040
ที่มา ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2552)

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> : การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การศึกษา LCA นั้น ขั้นตอนแรกจะต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษา และจะทำการศึกษาอย่างไร ซึ่งผลจากการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดย LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ของการศึกษาวิจัยที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่ เพื่อการวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์, เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตประกอบด้วยประเด็นหลักที่มีความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) เป้าหมาย (Goal) หรือจุดมุ่งหมาย โดยต้องมีการระบุผลของการใช้ และผู้ที่จะนำไปใช้ การกำหนดเป้าหมายจะต้องเข้าใจรายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างดี อาจกล่าวได้ว่าเป้าหมายเป็นหัวใจของการศึกษา รายละเอียดและการสรุปผลรายงาน เพราะเป้าหมายจะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่างๆ ในเนื้อหาได้

2) **ขอบเขต (Scope)** การพิจารณาขอบเขตของระบบ มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- **หน่วยการทำงาน (Functional Unit)** คือส่วนที่เป็นพื้นฐานของการศึกษา LCA เพราะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ หรือเป็นตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ มีการให้นิยามของหน่วยการทำงานที่หลากหลาย เช่น เป็นมาตรฐานของ Inputs และ Outputs ที่เป็นกลาง โดยหน่วยการทำงานของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่างชัด ซึ่งผลจากการวัดจะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้ ลักษณะ 3 ประการของหน่วยการทำงาน ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (2) ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และ(3) คุณสมบัติพื้นฐาน ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบสามารถทำได้ด้วยฟังก์ชันที่มีลักษณะพื้นฐานเหมือนกัน
- **คุณภาพของข้อมูล (Data Quality)** คุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการของ LCA จะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้จาก LCA โดยคุณภาพของข้อมูลจะทำให้ทราบรายละเอียดต่างๆ ที่สำคัญ และทำให้การประเมินเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> : การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนของการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้เหล่านี้ ได้แก่ การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และการปล่อยสารออกสู่อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย และควรจะประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา และข้อจำกัดของข้อมูล เป็นต้น โดยมีประเด็นที่สำคัญดังต่อไปนี้

- **การคัดเลือกข้อมูล (Data Collection)** คือ การคัดเลือกและจัดการกับข้อมูลของวัตถุดิบ ที่ใช้ของเสีย และสิ่งที่แพร่กระจายออกจากทุกๆ ขั้นตอนในระบบผลิตภัณฑ์ ข้อมูลจะต้องแสดงรายละเอียดทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ
- **การกลั่นกรองขอบเขตของระบบ (Refining System Boundaries)** คือ การกำหนดส่วน Scope Definition Procedure หลังจากการคัดเลือกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว
- **กระบวนการคำนวณ (Calculation Procedure)** สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ Spreadsheet หรือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ LCA โดยเฉพาะ เป็นต้น

- **ความถูกต้องของข้อมูล (Validation of Data)** ต้องมีการควบคุมกระบวนการตั้งแต่การคัดเลือกข้อมูลจนถึงการปรับปรุงข้อมูล และสรุป
- **การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating Data)** ข้อมูลที่ได้ต้องมีความเชื่อมโยงกัน โดย Inputs และ Outputs จะต้องสัมพันธ์กับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ส่วนต่างๆ ในกระบวนการย่อย
- **การปันส่วน และการแปรใช้ใหม่ (Allocation and Recycling)** บางระบบที่มีความซับซ้อนทำให้ไม่สามารถประเมินและได้ผลลัพธ์ตรงตามขอบเขตที่กำหนดไว้ จึงต้องแก้ปัญหาโดย (1) เพิ่มขอบเขตของระบบ โดยรวม Inputs และ Outputs ที่มีทั้งหมด หรือ (2) จัดทำรายการที่มีความสัมพันธ์กับการศึกษาและการประเมินผลกระทบ

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> : การประเมินค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือ Life Cycle Impact Assessment เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพและปริมาณ เพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลกระทบต่อสภาวะทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- **การกำหนดประเภท (Category Definition)** คือ การเตรียมทางเลือกของผลกระทบแต่ละประเภทที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ ผลกระทบจากแหล่งอชีวภาพ (Abiotic Resource), ผลกระทบจากแหล่งชีวภาพ (Biotic Resource), ผลกระทบต่อดิน น้ำ และอากาศ, ปัญหาโลกร้อนขึ้น, ปัญหาการลดลงของโอโซน, ของเสียจากมนุษย์ ฯลฯ
- **การจำแนกประเภท (Classification)** คือ การจำแนก Input และ Output ที่ได้จากการกำหนดประเภท เป็นขั้นตอนของการจำแนกวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงคุณภาพของผลกระทบที่มีความสัมพันธ์กัน โดยมีการแสดง Input และ Output ที่ได้จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งนำไปสู่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยตรง
- **การกำหนดบทบาท (Characterization)** คือ การแสดงประเภทผลกระทบในรูปแบบของดัชนีชี้วัด (Indicator) ผลที่ได้จากการกำหนดบทบาท คือ การแสดงการแบ่งประเภทของ Initial Loading และข้อมูลการลดลงของทรัพยากรประเภทต่างๆ
- **การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Valuation or Weighting)** คือ การจัดอันดับ การคัดเลือก หรือการจัดกลุ่มของผลกระทบแต่ละประเภทที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐาน 3 ประการ ได้แก่ (1) การแสดงความสัมพันธ์เบื้องต้นขององค์กร กลุ่ม หรือผู้มีส่วน

เกี่ยวข้อง (2) สามารถรับประกันได้ว่ากระบวนการนั้นมีความเป็นไปได้ สามารถจัดทำเป็นเอกสารและรายงานได้ และ(3) สามารถตั้งความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ที่เป็นรากฐานของผลกระทบแต่ละประเภทได้

- **การเทียบหน่วย (Normalization)** คือ การศึกษาเพิ่มเติมว่าผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวมอย่างไร การเปรียบเทียบอาจทำโดยการเทียบปริมาณทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด หรือเทียบต่อประชากร 1 คน ว่าเป็นต้นเหตุในการเกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใด เป็นต้น

อย่างไรก็ดีการให้น้ำหนักของผลกระทบ (Valuation or Weighting) และการเทียบหน่วย (Normalization) เป็นเพียงส่วนที่ควรจัดทำเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินวงจรชีวิตไปใช้ประโยชน์เฉพาะด้านต่อไป

การประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

เนื่องจากการศึกษา LCA จำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นจำนวนมาก และต้องนำข้อมูลหรือตัวเลขเหล่านั้นมาทำการคำนวณค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อความสะดวกจึงมีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณ ปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจัดทำ LCA โดยเฉพาะ ซึ่งใช้งานง่ายและเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนจำนวนมาก และสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ทั่วโลกได้ ตารางที่ 2.1 แสดงโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA

ตารางที่ 2.1 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศผู้ผลิต
SimaPro 5.1	Pre' Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมนี
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL - Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	Ifu / ifeu	เยอรมนี
EcoPro	EMPA, Sinum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE - LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น*
JEMAI - LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น*

*** มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่น**

ที่มา ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2552)

การวิเคราะห์ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ โปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ **(1) ฐานข้อมูลบัญชีรายการ** และ **(2) ข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม** โดยทั้ง 2 ส่วนได้มีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไว้มากมาย แต่ไม่สามารถเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ ได้

การคำนวณในโปรแกรม SimaPro อาศัยหลักการของ **Environmental Design of Industrial Products** หรือ **EDIP** ซึ่งมีขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

1) **การกำหนดบทบาท (Characterization)** คือ ขั้นตอนการคำนวณหาศักยภาพผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในแต่ละรูปแบบของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคำนวณให้อยู่ในรูปของปริมาณสารอ้างอิงในแต่ละชนิดของผลกระทบนั้นๆ เช่น สารที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกคำนวณให้อยู่ในหน่วยของ CO_2 – equivalent เป็นต้น ค่าศักยภาพผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในแต่ละชนิดของผลกระทบ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\mathbf{EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij})} \qquad \textbf{(1)}$$

โดย **EP_j (Environmental Impact Potential)** คือ ค่าศักยภาพผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ j ใดๆ

Q_i (Quantity of Substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency Factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่า Equivalency Factor: EF_{ij} สำหรับกรณีภาวะโลกร้อนขึ้น

Substance	Formula	GWP (100 years) g CO2 – eq / g substance
Carbon Dioxide	CO2	1
Methane	CH4	25
CFC11	CFCl3	4000
CFC12	CF2Cl2	8500
CFC113	CF2ClCFCl2	5000
CFC114	CF2ClCF2Cl	9300
CFC115	CF2ClCF3	9300
Tetrachloromethane	CCl4	1400
HCFC22	CHF2Cl	1700
HFC123	CF3CHCl2	93
HFC124	CF3CHCFCl	480
HFC134a	CH2FCF3	1300
HFC152a	CHF2CH3	140
Carbon Monoxide	CO	2

ที่มา : Henrik Wenzel et. al. (1997)

2) **การเทียบหน่วย (Normalization)** คือ ขั้นตอนการหาความสำคัญของศักยภาพ ของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์กับผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$NP_j = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2)$$

โดย **NP_j (Normalization Environmental Impact Potential)** คือ ค่าศักยภาพผลกระทบที่เป็นสัดส่วนที่เกิดจากการกระทำของคน 1 คน ในแต่ละประเภทของผลกระทบ j

T (Lifetime of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปริมาณผลกระทบ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคน 1 คนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

3) **การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting)** คือ การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับผู้ทำการประเมิน เช่น มีการนำนโยบายสิ่งแวดล้อมของโลกในการลดมลภาวะมาเป็นค่า Weighting Factor (WF) หรือการนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศ เกี่ยวกับการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะมาเป็นค่า WF เป็นต้น สำหรับโปรแกรมการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ซึ่งทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คนในจำนวน 1000 คนต่อปี

โครงการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม **SimaPro Version 7.2** ซึ่งมีการแบ่งประเภทของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีพิจารณาออกเป็น 15 ประเภท ได้แก่ (1) Global Warming (GW), (2) Ozone Depletion (OD), (3) Acidification (Ac), (4) Eutrophication (Eu), (5) Photochemical Smog (PS), (6) Ecotoxicity to Water Chronic (EWC), (7) Ecotoxicity to Water Acute (EWA), (8) Ecotoxicity to Soil Chronic (ESC), (9) Human Toxicity to Air (HTA), (10) Human Toxicity to Water (HTW), (11) Human Toxicity to Soil (HTS), (12) Bulk Waste (BW), (13) Hazardous Waste (HW), (14) Radioactive Waste (RW) และ (15) Slag/Ashes (S/A) โดยผลกระทบทุกประเภทถูกพิจารณาทั้งในแง่ของปริมาณและความรุนแรง และแสดงค่าผลกระทบในหน่วยของ Point (Pt)

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> : การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Improvement and Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผล หรือ Interpretation คือ การนำผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงกันเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงการจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้เป็นที่เข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ การแปลผลจากการศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ ได้แก่

- การจำแนกประเด็นสำคัญที่ได้จากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์ LCI และ LCIA
- การประเมินค่า (Evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องกันของข้อมูล
- การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการรายงานผล

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการสำรวจวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Survey) มุ่งเน้นที่งานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง RDF และการออกแบบกระบวนการผลิต ดังนี้

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2548) ออกแบบระบบการผลิตเชื้อเพลิงขยะ กรณีศึกษาขยะชุมชนเทศบาลบางปู จังหวัดสมุทรปราการ สามารถสรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้

1. เกณฑ์ในการออกแบบเบื้องต้น

- ปริมาณขยะที่เข้าสู่ระบบ 140 ตันต่อวัน 51,100 ตันต่อปี

- องค์ประกอบและลักษณะสมบัติของขยะ

<u>องค์ประกอบ</u>	<u>เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)</u>	<u>ปริมาณ (ตันต่อวัน)</u>
ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย	42.99	60.19
พลาสติก	19.92	27.89
กระดาษ	13.88	19.43
แก้ว	6.97	9.76

โลหะ	3.68	5.15
ผ้าและสิ่งทอ	1.55	2.17
ไม้	3.63	5.08
หนังและยาง	4.3	6.02
กระเบื้อง หิน เซรามิค	0.00	0.00
ขยะอันตราย	0.42	0.59
อื่นๆ	2.18	3.05
รวม	**100.0**	**140.0**

- แผนงานการเดินระบบ

จำนวนชั่วโมง/วันที่ปฏิบัติงาน	365	วัน/ปี
	2,920	ชั่วโมง/ปี
จำนวนกะในการเดินระบบคัดแยกขยะมูลฝอย	1	กะ/วัน
จำนวนชั่วโมงปฏิบัติงาน การเดินระบบคัดแยกขยะ	8	ชั่วโมง/วัน

2. องค์ประกอบของโครงการ

องค์ประกอบของโครงการผลิตพลังงานจากขยะของเทศบาลตำบลบางปู ในกรณีที่เลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ จะประกอบด้วย

- **ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยและระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง** ซึ่งประกอบด้วย เครื่องจักรอุปกรณ์สำคัญ คือ Trommel Screen, Magnetic Separator และ Eddy Current Separator, Dryer, Shredder, Air Classifier รวมถึงอุปกรณ์อัดแท่งขยะ (Densifier)
- **ระบบเสริมการทำงาน (Auxiliary System)** ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดกลิ่น ระบบน้ำใช้ ระบบปรับอากาศ และระบบป้องกันอัคคีภัย
- **ระบบไฟฟ้า (Electrical System)** ซึ่งจะประกอบด้วย ระบบไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน
- **ระบบเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ควบคุม** (Instrument and Control System)
- **งานโยธาและอาคาร (Civil Work and Building)** ได้แก่ งานการเตรียมพื้นที่ งานอาคารโรงคัดแยกขยะ โรงเก็บRDF ห้องควบคุม ห้องซ่อมบำรุง ห้องไฟฟ้า
- **งานระบบสาธารณูปโภค** ได้แก่ งานถนนและการปูพื้น ระบบระบายน้ำ ภูมิทัศน์ รั้วและประตูทางเข้า ป้อมยาม

3. เครื่องจักรอุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบ

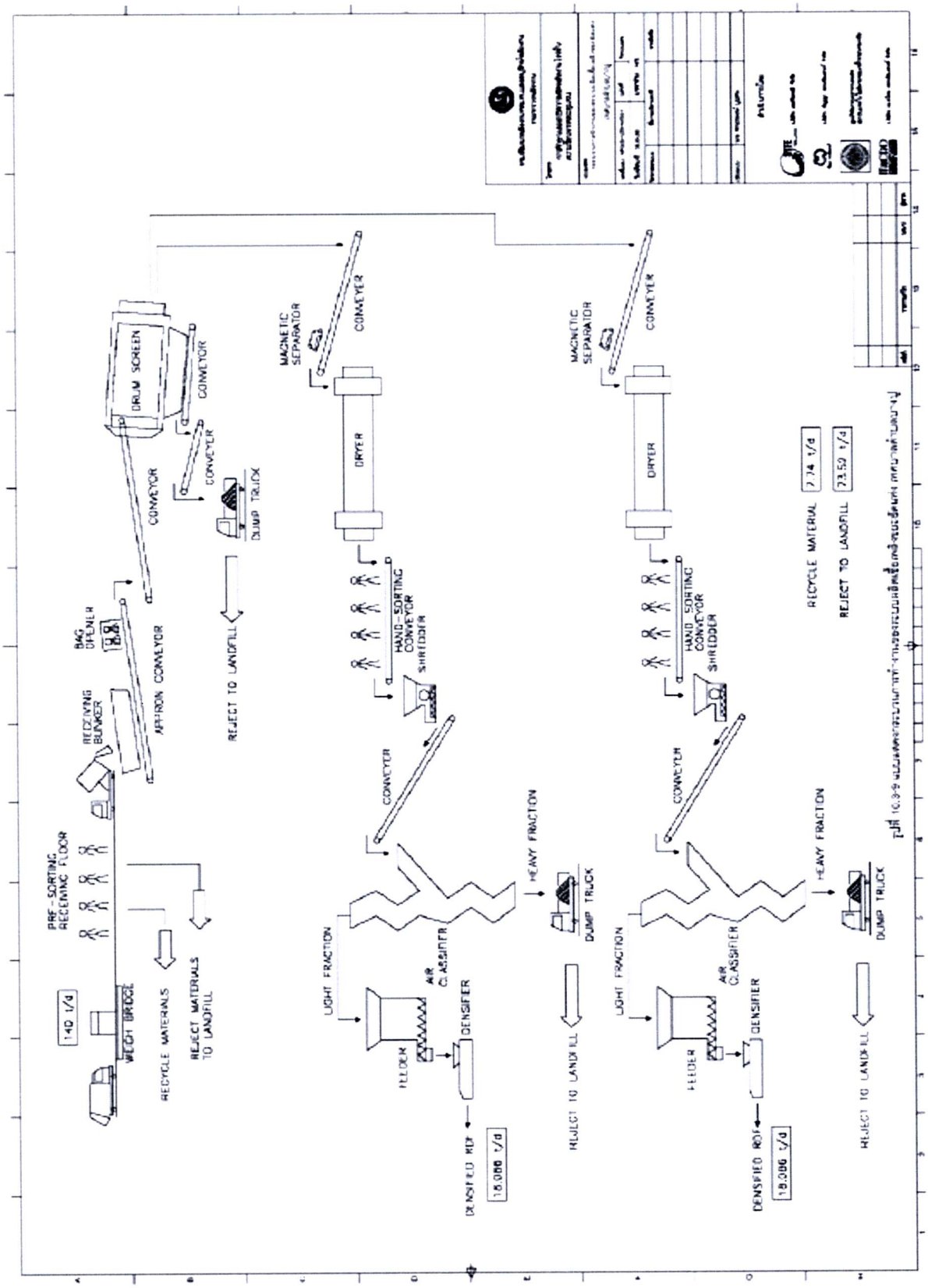
เครื่องจักรอุปกรณ์	จำนวน	ขนาด	หน่วย
Trommel Screen	1	15	ตันต่อชั่วโมง
Magnetic Separator and	2	5	ตันต่อชั่วโมง
Eddy Current Separator Dryer	2	6	ตันต่อชั่วโมง
Shredder	2	6	ตันต่อชั่วโมง
Air Classifier	2	5	ตันต่อชั่วโมง
Densifier	2	6	ตันต่อชั่วโมง
Hand Picking Conveyor			

4. สมดุลระบบ (Process Balance)

Material Input	ขยะชุมชน 140 ตันต่อวัน	51,100 ตันต่อปี
Material Output	RDF 36.17 ตันต่อวัน	13,202 ตันต่อปี
	ค่าความร้อนของ RDF	19.62 MJ/kg
วัสดุรีไซเคิล	โลหะ 4.42 ตันต่อวัน	1,613 ตันต่อปี
	แก้ว 3.31 ตันต่อวัน	1,211 ตันต่อปี
วัสดุคัดทิ้งที่ต้องกำจัดด้วย	73.52 ตันต่อวัน	26,835 ตันต่อปี

การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (ประกอบด้วย กระดาษ พลาสติก ขยะอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ เนื่องจากไม่สามารถทำการคัดแยกออกจากกันได้ทั้งหมด)

แผนภาพแสดงการทำงานของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF (RDF Process Flow Diagram with Main Equipment and Mass Flow) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF

ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2548)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีระเบียบวิธีวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

<u>ส่วนที่ 1</u> การศึกษารูปแบบเทคโนโลยีและสมรรถนะการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงาน

ส่วนนี้จะทำการศึกษารูปแบบของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็น RDF-5 ในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การคัดแยก การอบแห้ง การฆ่าเชื้อซึ่งอาจมีการใช้ไอน้ำ และ/หรือโอโซน การย่อย และบดอัด เพื่อหาแนวทางในการเลือกใช้ เทคโนโลยีที่เหมาะสม และศึกษาสมรรถนะในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้จะมีการทดลอง สร้างชุดต้นแบบ และศึกษาสภาพการทำงาน ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดจากการใช้งานจริงต่อไป

<u>ส่วนที่ 2</u> การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการนำขยะมาแปรรูปเป็นพลังงาน รวมถึงต้นทุนการผลิต

ส่วนนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการนำเทคโนโลยีต่างๆ ในการนำขยะจากแหล่งที่มีศักยภาพมาแปรรูปเป็นพลังงาน รวมถึงการพิจารณาสมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นในการผลิตเชื้อเพลิงดังกล่าว รวมถึงต้นทุนการผลิต

<u>ส่วนที่ 3</u> การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการนำ RDF-5 มาเป็นเชื้อเพลิง

ส่วนนี้เป็นการทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ และมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังกล่าว

3.2 การกำหนดสมมติฐานในการวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 มีการกำหนดสมมติฐานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

(1) กระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

กระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยทั่วไป ประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่ การคัดแยก การลดขนาดด้วยการตัดหรือบดย่อย การผสม และการอัดเป็นแท่งหรือเม็ด

การกำหนดสมมติฐานในงานวิจัยนี้ กำหนดให้เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีกระบวนการหลักๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว และยังมีกระบวนการเสริมเพิ่มเติมอีก ได้แก่ การอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน เนื่องจากขยะดังกล่าวจะต้องมีการสัมผัสโดยคน การฆ่าเชื้อโรคจึงเป็นการดำเนินการให้ถูกต้องตามหลักการอนามัยที่ดี นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมกระบวนการอบแห้งด้วยอุโมงค์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยลดความชื้นของขยะและขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพได้ทางหนึ่ง

(2) สมรรถนะของเครื่องจักร/อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

สมมติฐานสมรรถนะของเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวมีกำลังการผลิตไม่น้อยกว่ากำลังการผลิตที่กำหนดไว้ในข้อเสนอโครงการ คือ ไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีกำลังการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน

(3) คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

การกำหนดคุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้จากกระบวนการของโรงงานสาธิตในโครงการวิจัยนี้ กำหนดให้มีค่าคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น ค่าความร้อน ความชื้น ความหนาแน่น ฯลฯ ต้องเป็นไปตามค่ามาตรฐานคุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF ตามมาตรฐานของยุโรป ดังตารางที่ 3.1 เนื่องจากยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานดังกล่าวสำหรับประเทศไทย

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF

Parameters	Finland[a]	Italy	United Kingdom
Calorific Value (MJ/kg)	13-16	15	18.7
Moisture content %w	25-35	25 max	7-28[b]
Ash content %w	5-10	20	12
Sulfur %w	0.1-0.2	0.6	0.1-0.5
Chlorine %w	0.3-1.0	0.9	0.3-1.2

[a] Restriction for household wastes
[b] 7-28 for densified-RDF and 28 for coarse-RDF

ที่มา Jidapa Nithikul, 2007

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานของโครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	เดือน					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. การเตรียมขยะและทำการคัดแยก						
2. ออกแบบและสร้างชุดอบฆ่าเชื้อ ชุดอบแห้ง ชุดย่อย และชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง						
3. ออกแบบและสร้างห้องเก็บเชื้อเพลิงเม็ด						
4. การศึกษาคุณภาพเชื้อเพลิงที่ได้ และ Emissions						
5. การประเมินสมรรถนะอุปกรณ์ และวิเคราะห์ต้นทุน						
6. สรุปผลและเผยแพร่ผลการดำเนินงาน						

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานของโครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีผลการดำเนินงานตามลำดับ ดังนี้

(1) ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของขยะเพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

(2) ผลการจัดเตรียมสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต

(3) ผลการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

(4) ผลการออกแบบและสร้างห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5

(5) ผลการทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

(6) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

(7) ผลการวิเคราะห์ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(8) ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

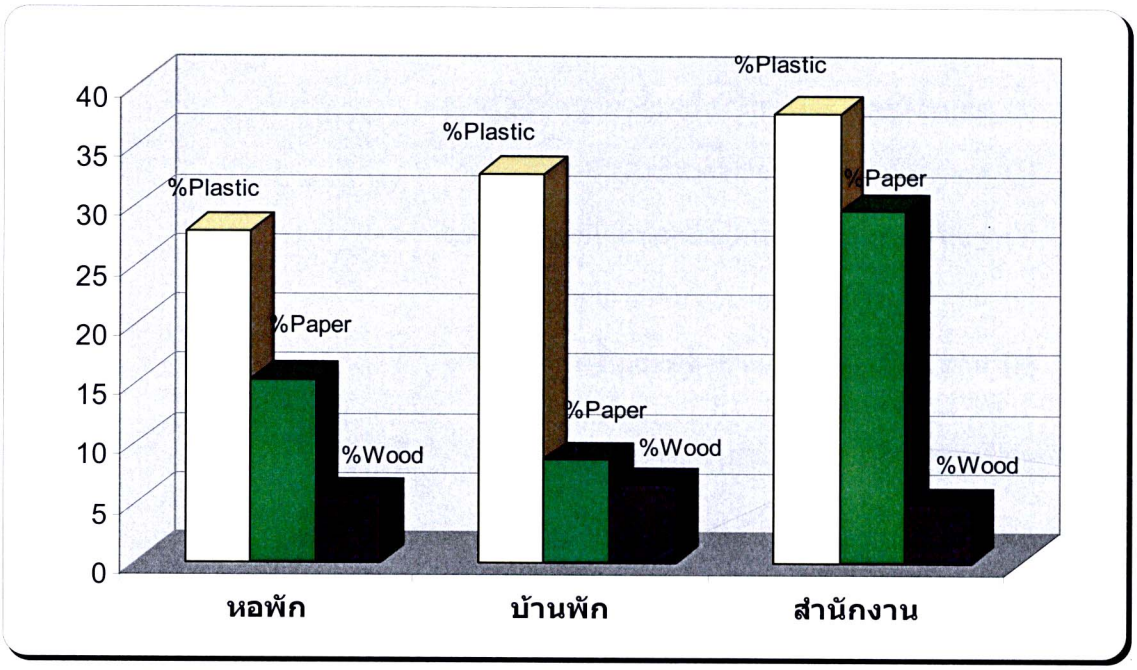
รายละเอียดผลการดำเนินงานในแต่ละส่วนมีดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของขยะเพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

การวิเคราะห์ศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งในด้านปริมาณและองค์ประกอบ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนกระบวนการผลิตและการกำหนดส่วนผสมของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่จะทำการผลิต

การวิเคราะห์ศักยภาพของขยะในส่วนนี้ เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ของแผนงานวิจัยมาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ปริมาณขยะรวมที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า มีขยะเกิดขึ้นเฉลี่ย **4.28 ตันต่อวัน** โดยขยะชุมชนที่สามารถนำมาผลิตเป็น

เชื้อเพลิง RDF-5 ต้องเป็นขยะที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ขยะจำพวกเศษไม้และใบไม้แห้ง เศษพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก และกระดาษ ผลการศึกษาพบว่าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF ได้ประมาณ 2.09 ตันต่อวัน หรือคิดเป็น 48% ของปริมาณขยะรวม รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยพิจารณาเฉพาะปริมาณของขยะจำพวกไม้ พลาสติก และกระดาษ พบว่า**ขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเป็นขยะจำพวกพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นกระดาษ และไม้ ตามลำดับ** ซึ่งข้อมูลนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดกำลังการผลิตของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต และกำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบ พลาสติก : กระดาษ : ไม้ ที่จะใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ต่อไป



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะที่สามารถนำมาผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

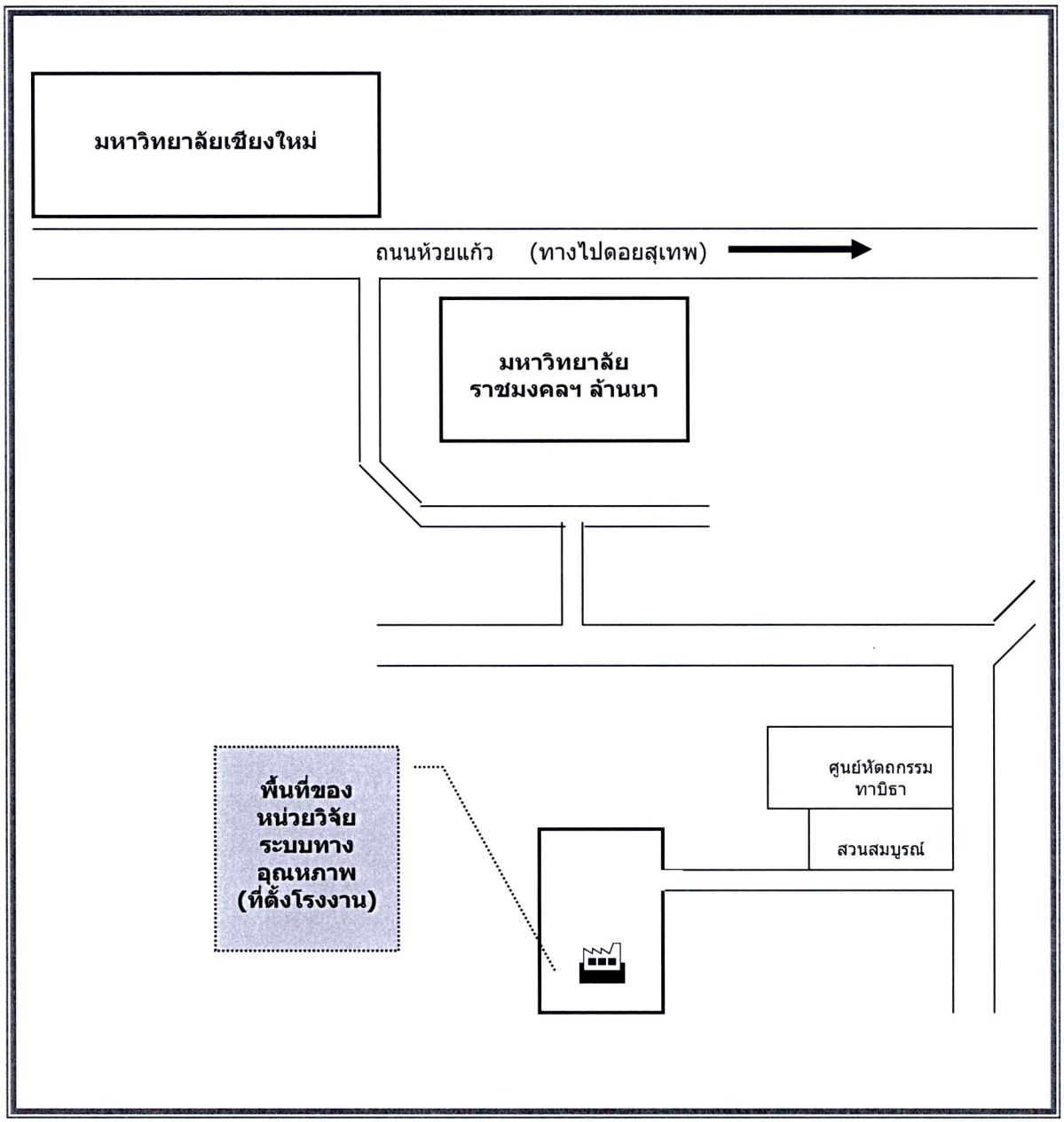
4.2 ผลการจัดเตรียมสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต

ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 สถานที่ที่จะดำเนินการจัดตั้งโรงงานสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ได้แก่ พื้นที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ว่างอยู่ด้านข้างของภาควิชา โดยคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการขออนุมัติการใช้พื้นที่จากทางมหาวิทยาลัย ต่อมาได้รับแจ้งว่าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจะมีการปรับปรุงพื้นที่ดังกล่าวเป็นสวนหย่อม จึงทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต

คณะผู้วิจัยได้มีการหารือถึงสถานที่ที่เหมาะสม พบว่ามีทางเลือก 2 สถานที่ คือ (1) สถานที่ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ ซึ่งมีเนื้อที่ 1,293 ไร่ อยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประมาณ 6 กิโลเมตร และ (2) พื้นที่ของหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ที่ตำบลช่างเคี่ยน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประมาณ 1.5 กิโลเมตร ปัจจุบันมีการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบและดำเนินงานวิจัยต่างๆ

ผลการหารือพบว่าพื้นที่ของหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีระยะทางไม่ห่างไกลจากมหาวิทยาลัยมากนัก ซึ่งจะทำให้การขนส่งขยะจากมหาวิทยาลัยไปยังโรงงานผลิตมีความสะดวก และประหยัดพลังงานรวมทั้งต้นทุนในด้านการขนส่ง

รูปที่ 4.2 แสดงแผนที่สถานที่ตั้งโรงงานสาธิต

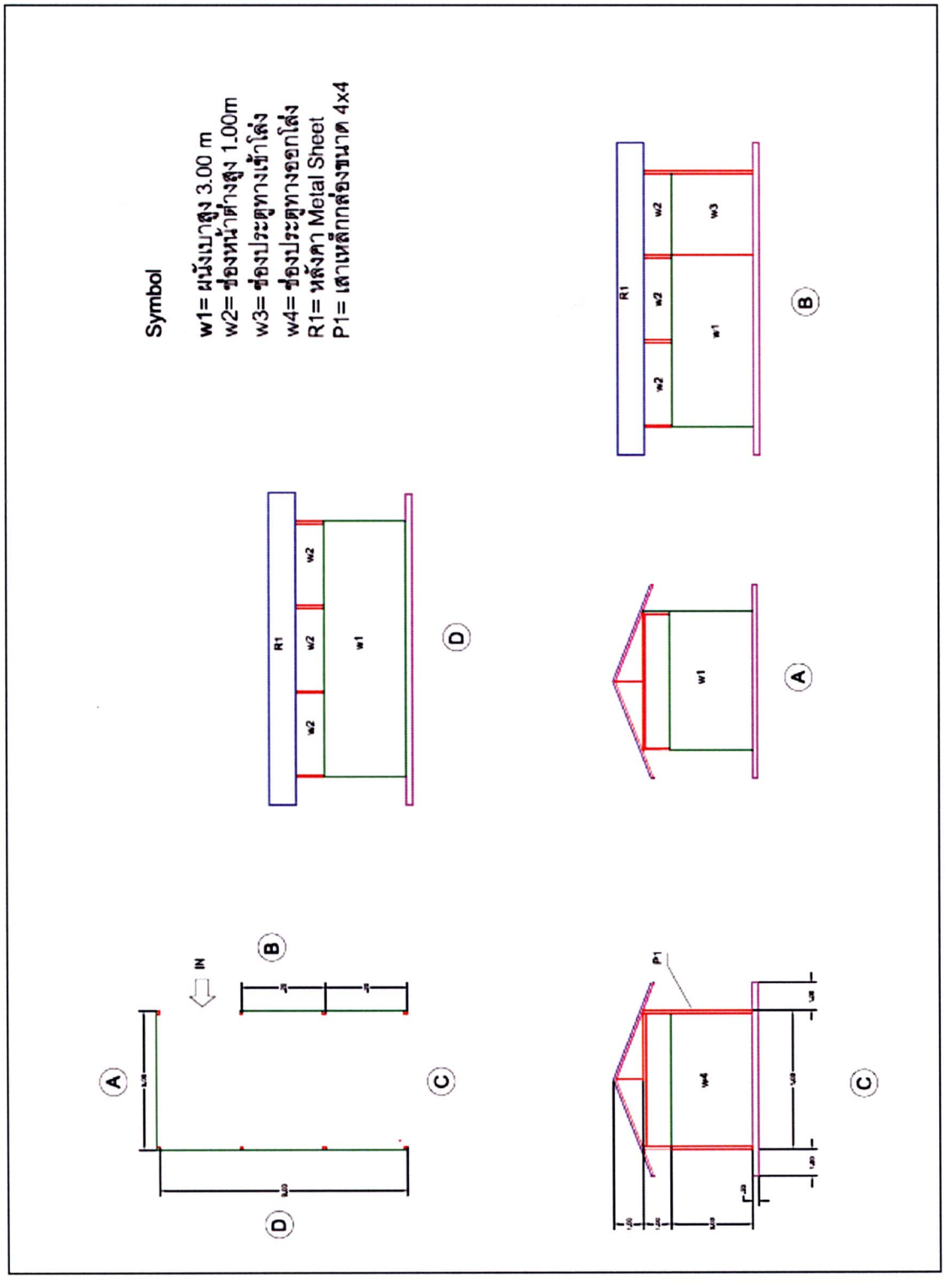


รูปที่ 4.2 แผนที่สถานที่ตั้งโรงงานสาธิต

การออกแบบและปรับปรุงสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต พบว่า พื้นที่ที่จะดำเนินการตั้งโรงงานมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่ง ตัวอาคารเดิมมีพื้นที่ 45 ตารางเมตร ในการปรับปรุงสถานที่จะมีการปรับพื้นที่และเทคอนกรีตเป็นพื้นที่ประมาณ 75 ตารางเมตร นอกจากนี้ยังต้องมีการเดินระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อรองรับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต และการเดินระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

รูปที่ 4.3 แสดงการปรับปรุงพื้นที่ และรูปที่ 4.4 แสดงการออกแบบอาคารโรงงานสาธิต

รูปที่ 4.3 การปรับปรุงพื้นที่เพื่อตั้งโรงงานสาธิต



รูปที่ 4.4 การออกแบบอาคารโรงงานสาธิต

4.3 ผลการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

กระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีทั้งหมด 6 กระบวนการ โดยมีการกำหนดรายละเอียดของแต่ละกระบวนการและการออกแบบพัฒนาเครื่องจักร ดังนี้

กระบวนการที่ 1 การคัดแยกขยะ

คำอธิบายงาน

กระบวนการคัดแยกขยะมีความสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 เนื่องจากเหตุผลหลักๆ 2 ประการ คือ (1) ขยะแต่ละประเภทต้องใช้เครื่องตัด/ย่อย (Shredder) ต่างชนิดกัน และ (2) สัดส่วนของขยะแต่ละประเภท คือ พลาสติก : กระดาษ : ไม้ ที่จะใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 เพื่อให้ได้ค่าตามมาตรฐาน มีสัดส่วนของวัสดุทั้ง 3 ประเภทที่แตกต่างกันและจำเป็นต้องผสมสัดส่วนให้ได้ตามปริมาณที่กำหนด

กระบวนการคัดแยกขยะ กำหนดให้ขยะมีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดขยะ ซึ่งได้แก่ สำนักงานของคณะต่างๆ บ้านพักอาจารย์และเจ้าหน้าที่ และหอพักนักศึกษา และนำเฉพาะขยะที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ขนส่งมายังโรงงานสาธิต ขยะแต่ละประเภท ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และไม้ จะมีการคัดแยกและบรรจุใส่ถุงดำ จากนั้นจึงขนส่งไปยังโรงงานสาธิตด้วยรถกระบะ

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

- ผ้าใบ ขนาด 3x3 เมตร
- คราดเหล็ก
- เข่งหรือถังพลาสติก
- ถุงพลาสติกชนิดดำ
- ยางรัดหรือเชือกพลาสติก
- ผ้าปิดจมูก หรือหน้ากากป้องกันฝุ่น
- รองเท้าบู๊ท
- ถุงมือยางแบบหนา
- คีมคีบ

กระบวนการที่ 2 การอบฆ่าเชื้อโรค

คำอธิบายงาน

เนื่องจากขยะจะต้องถูกสัมผัสโดยคน ดังนั้นเพื่อให้ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล จึงควรมีการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น ซึ่งกระบวนการนี้ในโรงงานสาธิต ได้มีการออกแบบเบื้องต้นให้มีลักษณะเป็นห้องอบโอโซน โดยมีการลำเลียงขยะใส่ในรถเข็นที่มีลักษณะแบ่งเป็นชั้นๆ จากนั้นนำรถเข็นเข้าห้องอบ และมีการพ่นโอโซนในสัมผัสขยะ

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

- ห้องอบโอโซน
- เครื่องผลิตโอโซน
- รถเข็น

การออกแบบและพัฒนาห้องอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน

ห้องอบมีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยม ขนาด 3.6 × 3.0 × 2.4 เมตร ภายในห้องมีเครื่องผลิตโอโซนพ่นไอไปยังรถเข็นขยะ เพื่อให้โอโซนได้สัมผัสกับขยะ รูปที่ 4.5 แสดงการออกแบบและพัฒนาห้องอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน

รูปที่ 4.5 การออกแบบและพัฒนาห้องอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน

กระบวนการที่ 3 การอบแห้ง

คำอธิบายงาน

เนื่องจากขยะที่ออกจากกระบวนการอบฆ่าเชื้อโรคยังคงมีความชื้นหรือมีน้ำปะปนอยู่ จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อไล่น้ำออก โดยในกระบวนการนี้จะใช้การอบแห้งในอุโมงค์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีอุณหภูมิในห้องอบประมาณ 40-50 °C

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

- ห้องอบแห้ง
- รถเข็น

การออกแบบและพัฒนาห้องอบแห้ง

คณะผู้วิจัยได้มีการพัฒนาห้องอบแห้ง โดยการออกแบบให้มีลักษณะเป็นอุโมงค์อบแห้งแสงอาทิตย์ ขนาด 2.4 × 3.6 × 2.4 เมตร ตัวอุโมงค์เป็นโครงเหล็กปิดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต อุณหภูมิภายในห้องอบอยู่ที่ 40 -50 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 การออกแบบและพัฒนาห้องอบแห้ง

กระบวนการที่ 4 การลดขนาดของขยะ

คำอธิบายงาน

การลดขนาดของขยะอาศัยการการตัด/บด/ย่อย เพื่อให้ขยะมีขนาดเล็กลง โดยใช้เครื่อง Shredder ซึ่งขยะแต่ละประเภทต้องมีการใช้เครื่องตัดหรือบดย่อยต่างชนิดกัน

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

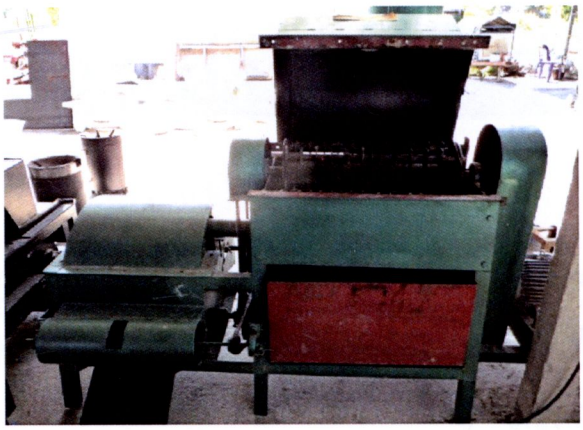
- เครื่องตัด/ย่อยขยะประเภทกระดาษ
- เครื่องตัด/ย่อยขยะประเภทพลาสติก
- เครื่องตัด/ย่อยขยะประเภทไม้
- ตะกร้าหรือถังรองรับขยะ

กระบวนการลดขนาดของขยะประเภทถุงพลาสติก กระดาษ และเศษใบไม้/กิ่งไม้ ได้มีการพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยขยะแต่ละประเภท ดังนี้

(1) เครื่องตัด/ย่อยไม้

เครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้เป็นแบบ Hammer Mill ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเกษตร มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองตัดกิ่งไม้และใบไม้จากเครื่องที่มีอยู่เดิม พบว่าต้องใช้เวลาในการตัดย่อยนาน เนื่องจากตัวใบตัดเป็นชนิดไม่มีคม ทำให้กิ่งไม้ไม่สามารถย่อยได้ละเอียด ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องเพื่อใช้ในโรงงานจึงได้มีการปรับปรุงพัฒนาลักษณะใบตัดให้มีความคม รวมถึงได้มีการปรับปรุงตะแกรงคัดขนาดให้สามารถใช้ได้กับกิ่งไม้ขนาดต่างๆ

รูปที่ 4.7 แสดงเครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ที่ทดลองใช้ รูปที่ 4.8 แสดงเครื่องตัดย่อยกิ่งไม้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และรูปที่ 4.9 แสดงเครื่องตัดย่อยกิ่งไม้ใบไม้ที่ออกแบบและพัฒนาใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.7 เครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ที่ทดลองใช้

รูปที่ 4.8 เครื่องตัดย่อยกิ่งไม้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

รูปที่ 4.9 เครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ใบไม้ที่ออกแบบและพัฒนาในโครงการ

(2) เครื่องตัด/ย่อยกระดาษ

เครื่องตัด/ย่อยกระดาษเป็นการนำเครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้แบบ Hammer Mill มาปรับปรุงพัฒนา โดยทำการปรับใบมีดให้มีความคม และปรับปรุงรูตะแกรงให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถย่อยกระดาษได้มีขนาดเล็กลง รูปที่ 4.10 แสดงการทดลองตัด/ย่อยกระดาษ ด้วยเครื่องตัด/ย่อยกิ่งไม้ ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้ดี และรูปที่ 4.11 แสดงเครื่องตัด/ย่อยกระดาษที่มีการออกแบบและพัฒนาในโครงการ

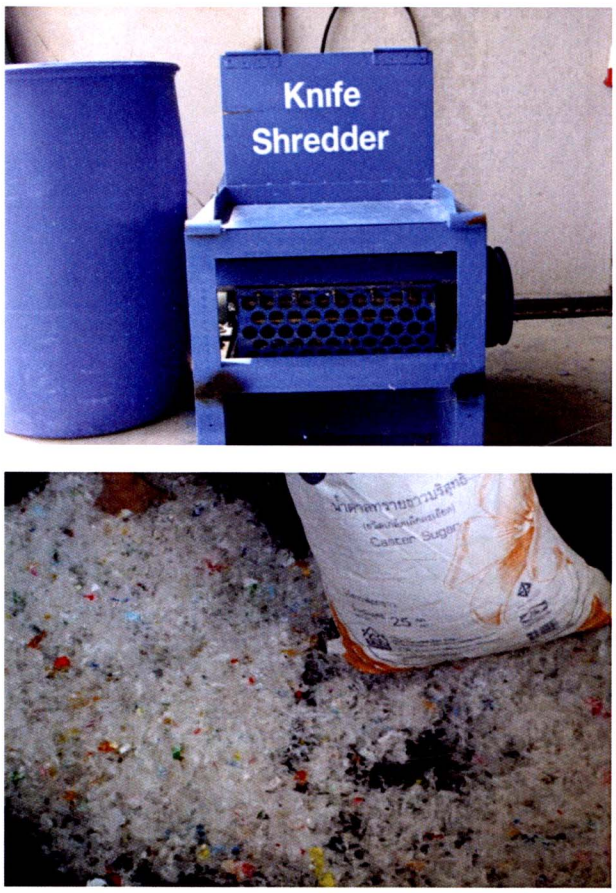
รูปที่ 4.10 การทดลองตัด/ย่อยกระดาษ

รูปที่ 4.11 การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยกระดาษ

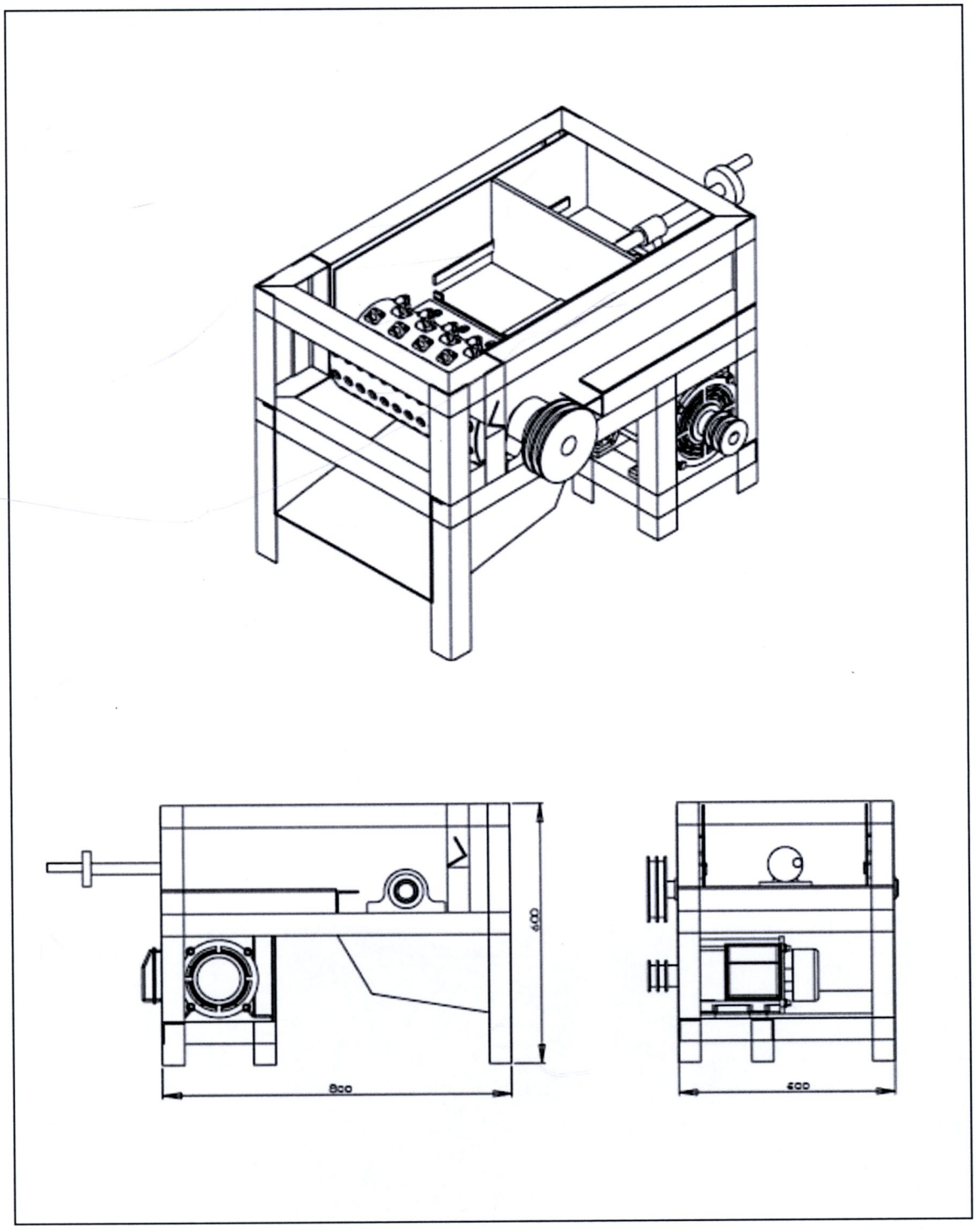
(3) เครื่องตัด/ย่อยพลาสติก

คณะผู้วิจัยได้มีการพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยพลาสติกเอง โดยได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นใบมีดเคลื่อนที่ 3 ชุด และมีใบมีดแบบไม่เคลื่อนที่ 2 ชุด โดยใบมีดทั้ง 5 ชุด เป็นแบบฟันเลื่อย (Saw Tooth) ซึ่งสามารถตัดพลาสติกได้เป็นชิ้นเล็กๆ คล้ายรูปสามเหลี่ยม เป็นชิ้นๆ ไม่ติดกัน

รูปที่ 4.12 แสดงเครื่องตัด/ย่อยพลาสติกที่ได้มีการออกแบบและพัฒนา ซึ่งพบว่าสามารถหั่นย่อยพลาสติกประเภทถุงให้เป็นชิ้นเล็กๆ ได้ และรูปที่ 4.13 แสดงการออกแบบเครื่องตัด/ย่อยพลาสติก



รูปที่ 4.12 การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัด/ย่อยพลาสติก



รูปที่ 4.13 การออกแบบเครื่องตัด/ย่อยพลาสติก

กระบวนการที่ 5 การผสมขยะ

คำอธิบายงาน

การผสมขยะเป็นการนำขยะจำพวกพลาสติก ไม้ และกระดาษ ที่ผ่านกระบวนการตัดหรือย่อยแล้ว มาผสมกันตามสัดส่วนที่เหมาะสมในเครื่องผสม (Mixer)

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

- เครื่องผสม (Mixer)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสม

เครื่องผสมขยะในงานวิจัยนี้พัฒนามาจากเครื่องผสมปูนที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองผสมส่วนผสมของขยะ พบว่าสามารถผสมขยะได้อย่างรวดเร็ว และได้มีการปรับปรุงโดยการขยายช่องทางในการนำส่วนผสมออกจากเครื่อง

รูปที่ 4.14 แสดงเครื่องผสมปูนที่ทดลองใช้ในช่วงแรก จากนั้นจึงมีการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมสำหรับใช้ในโครงการ

รูปที่ 4.14 การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสม

กระบวนการที่ 6 การอัดแท่ง

คำอธิบายงาน

การอัดแท่งเป็นการนำขยะที่ผสมแล้วมาอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่อง Densifier หรือ เครื่อง Extruder ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5 จากนั้นจึงลำเลียงขยะอัดแท่งไปยังห้องเก็บขยะเชื้อเพลิง

อุปกรณ์/เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้

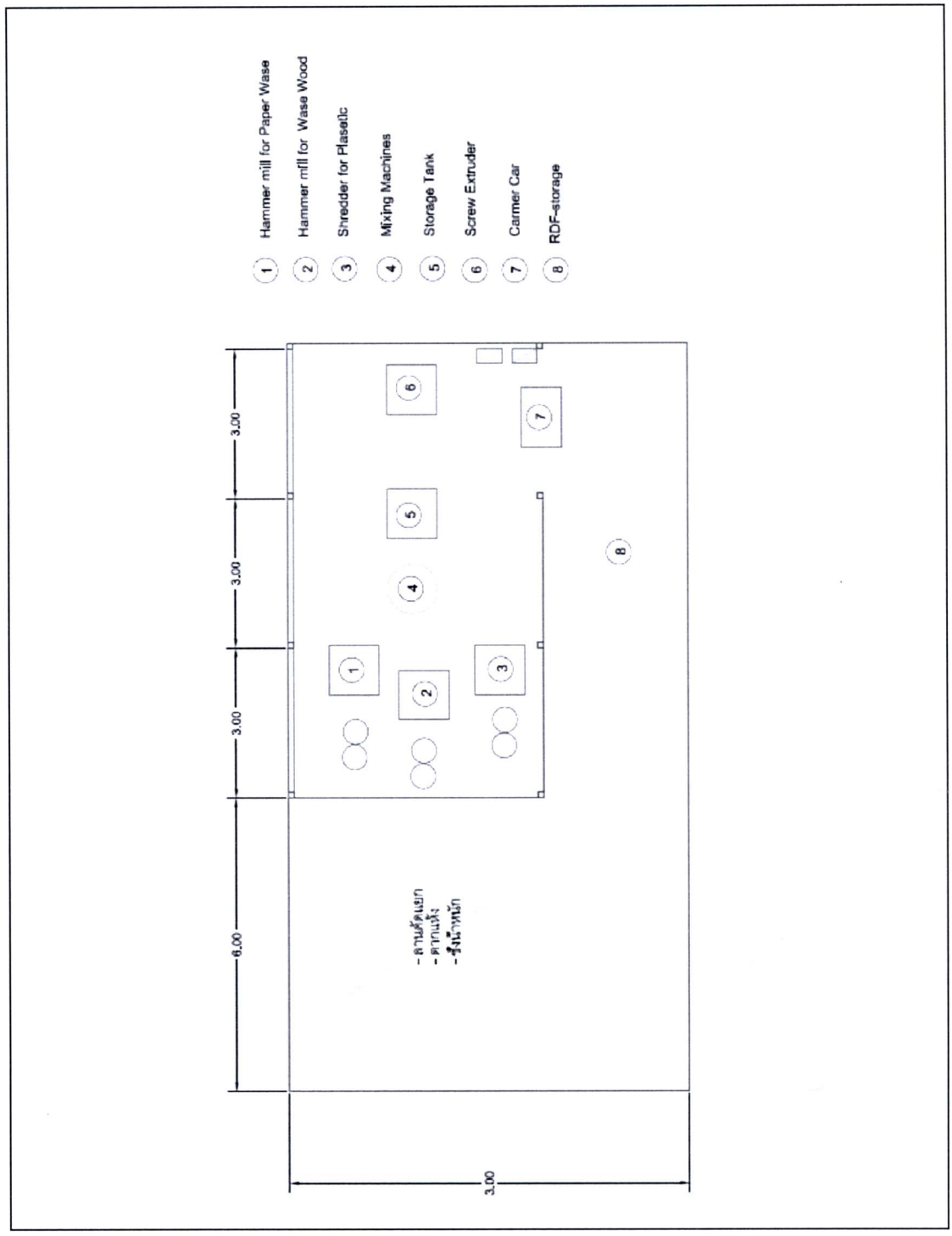
- เครื่อง Densifier หรือ เครื่อง Extruder

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

เครื่องอัดแท่งขยะเชื้อเพลิงพัฒนามาจากเครื่องอัดแท่งถ่านสำหรับชุมชน เป็นแบบ Screw Extruder โดยในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทดลองอัดแท่งขยะเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องอัดแท่งถ่านที่มีอยู่ที่ศูนย์วิจัยพลังงาน พบว่าเกิดปัญหาขึ้นหลายประการ เช่น แกนของสกรูช่วงปลายหักหลายครั้ง เนื่องจากการอัดแท่งขยะมีความหนาแน่นมากกว่าการอัดแท่งถ่าน และส่วนผสมของขยะยังไม่คงที่หรือไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบปัญหามอเตอร์ไม่สามารถขับเครื่องได้ เนื่องจากกำลังไม่พอ ทำให้ผู้วิจัยได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเฉพาะสำหรับขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยได้มีการปรับปรุงขนาดแกนสกรูของเครื่องและเพิ่มกำลังของมอเตอร์ ซึ่งพบว่าสามารถทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี รูปที่ 4.15 แสดงเครื่องอัดแท่งและการทดลองอัดแท่งขยะเชื้อเพลิง RDF-5

รูปที่ 4.15 การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งขยะเชื้อเพลิง RDF-5

คณะผู้วิจัยได้มีการจัดวางผังกระบวนการผลิตในโรงงานสาธิต ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผังกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

4.4 ผลการออกแบบและสร้างห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5

การออกแบบห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ จะมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมมีพื้นที่ประมาณ 12 ตารางเมตร ผนังห้องเปิดช่องด้านบนเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ดี และมีการติดตั้งชั้นวางที่ทำจากเหล็ก การจัดเก็บเชื้อเพลิงจะจัดวางบนชั้นเพื่อให้มีการระบายความชื้นได้ดี เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ยังคงมีความชื้นที่เกิดในกระบวนการผสม ที่ต้องมีการใช้ตัวประสาน (Binder or Adder) และน้ำ เพื่อช่วยให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี รูปที่ 4.17 แสดงห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5

รูปที่ 4.17 ห้องเก็บเชื้อเพลิง RDF-5

4.5 ผลการทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงเป็นการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงขยะชนิด RDF 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยทำการวิเคราะห์ส่วนที่สำคัญ ได้แก่

(1) สัดส่วนขององค์ประกอบหลัก ได้แก่ กระดาษ : พลาสติก : ไม้

(2) ชนิดและสัดส่วนของตัวประสาน (Binder or Adder)

รูปที่ 4.18 องค์ประกอบหลักของขยะเชื้อเพลิง RDF

คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนของวัสดุแต่ละประเภท โดยพิจารณาขยะที่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ พลาสติก กระดาษ และไม้ ที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งค่าความร้อนของขยะทั้ง 3 ประเภท แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าขยะพลาสติกมีค่าความร้อนสูงที่สุด รองลงมาเป็นไม้และกระดาษ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ค่าความร้อนของขยะที่จะนำมาผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

วัสดุ	ค่าความร้อน (kcal/kg)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
พลาสติก	10,974.55	45.87
กระดาษ	3,662.73	15.31
ไม้	4,298.92	17.97

การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น

ในครั้งแรกที่นักวิจัยทำการทดลองผลิต ได้ทำการลดขนาดของขยะแต่ละประเภท ดังรูปที่ 4. 19 และทำการผสมพลาสติก : กระดาษ : ไม้ โดยใช้สัดส่วนที่เท่ากัน คือ 1 : 1 : 1 และใช้แป้งมันและปูนขาวเป็นตัวประสาน ดังรูปที่ 4.20 ผลการทดลอง พบว่า ขยะเชื้อเพลิงที่ได้ยังไม่เกาะตัวเป็นแท่งเท่าที่ควร และองค์ประกอบหลักของขยะทั้งสามประเภทไม่สามารถเกาะตัวกันได้ ดังรูปที่ 4.21

ต่อมานักวิจัยมีการทดลองใช้น้ำในการช่วยประสาน ผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบของขยะเชื้อเพลิงมีการเกาะตัวได้ดีขึ้น อย่างไรก็ดี ยังไม่สามารถทำให้เป็นรูปร่างที่เป็นแท่งสวยงามได้ ดังรูปที่ 4.22

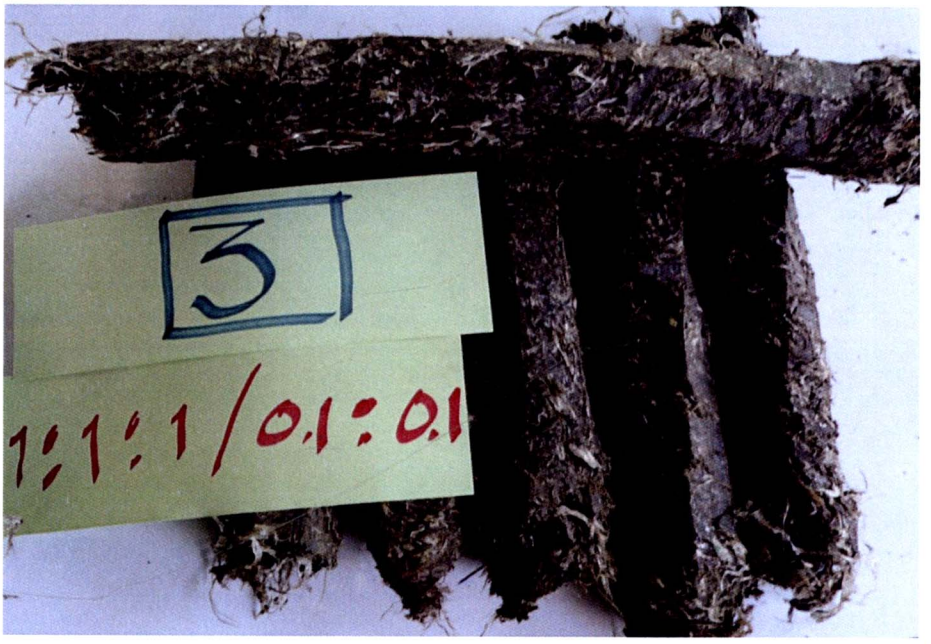
รูปที่ 4.19 การลดขนาดขยะแต่ละประเภท

รูปที่ 4.20 การผสมส่วนผสมของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

รูปที่ 4.21 การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 4.22 การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น โดยใช้น้ำในการช่วยประสาน

นักวิจัยได้ทำการทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 อย่างต่อเนื่อง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้เป็นตัวช่วยประสาน และศึกษาเทคนิคในการอัดด้วยเครื่องอัด (Extruder) จนสามารถผลิตขยะเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนขององค์ประกอบหลักที่ 1 : 1 : 1 และใช้แป้งมันและปูนขาวเป็นตัวประสาน ที่มีลักษณะเป็นแท่งได้ และทำการทดลองผลิตซ้ำจนได้ผลิตภัณฑ์ขยะเชื้อเพลิงปริมาณมาก เพื่อส่งให้แก่โครงการย่อยที่ 2 นำไปทดสอบต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ถึงรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.23 ขยะเชื้อเพลิงแท่ง RDF-5 ที่ผลิตได้

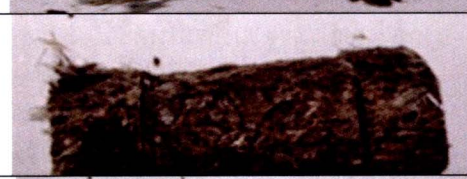
รูปที่ 4.24 ขยะเชื้อเพลิงแท่ง RDF-5 ที่ผลิตได้

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ทั้งหมดที่ทดลองผลิตในช่วงเริ่มต้น

การทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ส่วนผสมต่างๆ

เมื่อทดลองผลิตเบื้องต้นจนกระทั่งสามารถผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีรูปร่างที่เหมาะสมได้แล้ว ต่อมานักวิจัยได้ทำการศึกษาและผลผลิตขยะเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบหลักอื่นๆ ได้แก่ สัดส่วนพลาสติก : กระดาษ : ไม้ เท่ากับ 1 : 1 : 1 และ 4 : 3 : 1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่คำนวณจากปริมาณของขยะทั้ง 3 ประเภทที่มีในขยะรวมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมีการใช้ตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างผลการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีสัดส่วนและตัวประสานต่างกัน

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนผสมต่างกัน

สัดส่วน (พลาสติก : กระดาษ : ไม้ : ตัวประสาน)	ตัวประสานที่ใช้	ลักษณะขยะเชื้อเพลิง RDF-5
1 : 1 : 1 : 0.05	ส่าเหล้า	
	แป้ง	
	ปูนขาว	
	กากน้ำตาล	
4 : 3 : 1 : 1	ส่าเหล้า	
	แป้ง	
	ปูนขาว	
	กากน้ำตาล	

4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

หลังจากที่ผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แล้ว ได้มีการนำตัวอย่างของเชื้อเพลิงดังกล่าวไปวิเคราะห์คุณสมบัติ โดยมีการวิเคราะห์คุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงแข็ง 2 ประการ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อน ดังนี้

(1) ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง RDF-5

มาตรฐานเชื้อเพลิง RDF ของยุโรป กำหนดค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ว่าต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 600 kg/ m^3 ผู้วิจัยจึงทำตรวจสอบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยการชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.26 และทำการคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงตัวอย่าง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ทุกส่วนผสม มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า 600 kg/ m^3 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

รูปที่ 4.26 การตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง RDF-5

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

สัดส่วน (พลาสติก : กระดาษ : ไม้ : ตัวประสาน)	ตัวประสานที่ใช้	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
1 : 1 : 1: 0.05	ส่าเหล้า	1,022.72
	แป้ง	1,141.43
	ปูนขาว	1,235.04
	กากน้ำตาล	1,109.05
4 : 3 : 1 : 1	ส่าเหล้า	1,010.48
	แป้ง	1,009.49
	ปูนขาว	1,101.40
	กากน้ำตาล	1,018.93

(2) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5

คณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF ที่ผลิตได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน โดยการตรวจวัดค่าความร้อน ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งการหาค่าความร้อนเป็นการวิเคราะห์โดยตรง โดยการนำตัวอย่างขยะเชื้อเพลิงมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ผลการตรวจวัดค่าความร้อนของขยะเชื้อเพลิงตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความร้อนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

สัดส่วน (พลาสติก : กระดาษ : ไม้ : ตัวประสาน)	ตัวประสาน	ค่าความร้อน (kcal/kg)		ค่าความร้อนเฉลี่ย (kcal/kg)	ค่าความร้อนเฉลี่ย (MJ/kg)
1 : 1 : 1 : 0.05	ส่าเหล้า	ครั้งที่ 1	6,241.43	6,367.53	26.64
		ครั้งที่ 2	6,493.62		
	แป้ง	ครั้งที่ 1	4,785.43	5,110.18	21.38
		ครั้งที่ 2	5,434.93		
	ปูนขาว	ครั้งที่ 1	5,699.74	5,541.34	23.18
		ครั้งที่ 2	5,382.94		
	กากน้ำตาล	ครั้งที่ 1	5,882.43	6,018.16	25.18
		ครั้งที่ 2	6,153.89		
4 : 3 : 1 : 1	ส่าเหล้า	ครั้งที่ 1	6,618.86	6,713.59	28.09
		ครั้งที่ 2	6,808.31		
	แป้ง	ครั้งที่ 1	6,637.69	6,935.27	29.02
		ครั้งที่ 2	7,232.86		
	ปูนขาว	ครั้งที่ 1	6,358.96	6,148.21	25.72
		ครั้งที่ 2	5,937.46		
	กากน้ำตาล	ครั้งที่ 1	7,260.22	7,296.80	30.53
		ครั้งที่ 2	7,333.38		

4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) โดยมีการดำเนินการตามกรอบมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่

(1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

(2) การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

(3) การประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(4) การแปรผลการศึกษาและการประเมินเพื่อปรับปรุง

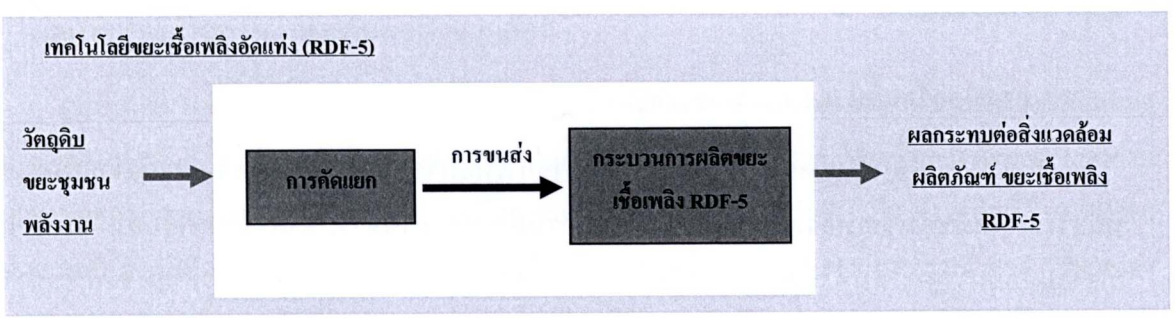
ผลการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> : การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

1) การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition) การศึกษาวิจัยประกอบด้วยเป้าหมาย คือ

- เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต ของเทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะในมหาวิทยาลัย

2) การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) ขอบเขตของระบบ (System Boundary) ที่ทำการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

3) การกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) โครงการศึกษาวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผลกระทบจากการใช้พลังงาน, การใช้ทรัพยากร วัตถุดิบ สารเคมี วัสดุต่างๆ และผลกระทบหรือของเสียประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของระบบผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาหรือคำนวณค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อหน่วย **1 ตันของขยะเชื้อเพลิง RDF-5**

ขั้นตอนที่ 2 : การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ คือ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่สำคัญ และจำเป็นต้องใช้สำหรับการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นข้อมูลปริมาณของสารที่เข้าและออกจากระบบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่

- ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน และพลังงานประเภทต่างๆ
- ปริมาณวัตถุดิบ, วัสดุ และทรัพยากรต่างๆ
- ปริมาณการใช้สารเคมี
- ปริมาณของเสียประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้น
- ฯลฯ

ขั้นตอนที่ 3 : การประเมินค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

ขั้นตอนการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดำเนินการโดยการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ซึ่งมีแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะของผลกระทบประเภทต่างๆ ที่สำคัญ อาทิเช่น

- **ภาวะโลกร้อนขึ้น (Global Warming)**

ภาวะโลกร้อนขึ้นเกิดจากกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งมักเกิดจากกระบวนการที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อก๊าซชนิดนี้ลอยสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศของโลก จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่รังสีความร้อนถูกกักขังไว้ในโลก ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก หรือ Greenhouse Effect กล่าวคือ เมื่อรังสีความร้อนผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกแล้ว จะไม่สามารถสะท้อนออกไปได้

- **การทำลายชั้นบรรยากาศของโลก (Ozone Layer Depletion)**

การทำลายชั้นบรรยากาศของโลกมีสาเหตุหลักจากการใช้สาร CFC เช่น สารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น ตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศ, สเปรย์ และโฟม เป็นต้น เมื่อชั้นบรรยากาศโลกถูกทำลายแล้ว ส่งผลให้รังสี UV จากดวงอาทิตย์มาถึงผิวโลกมากขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในโลก เช่น การก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง เป็นต้น

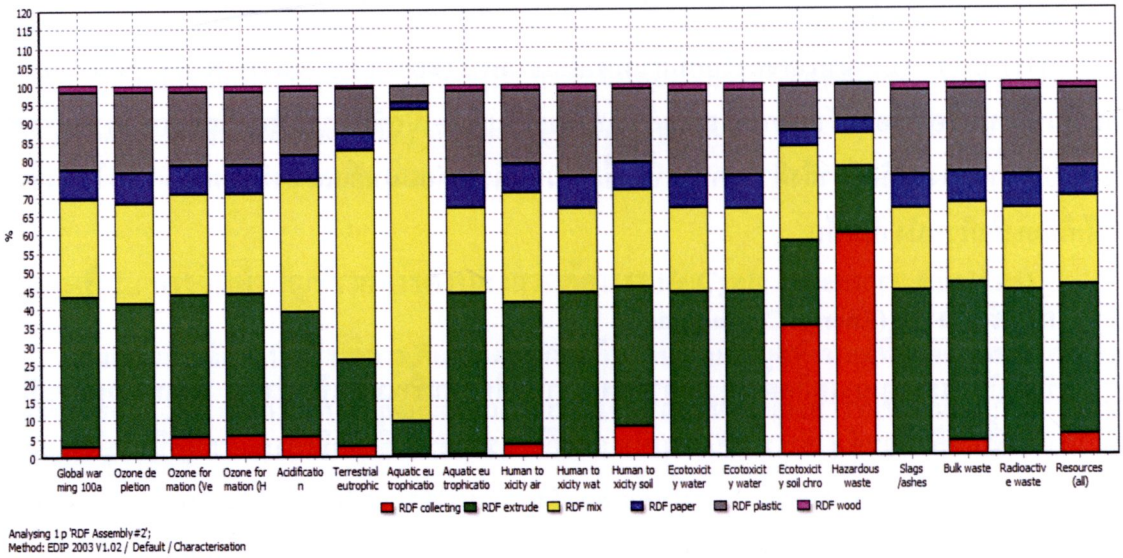
- **การใช้พลังงาน (Energy Consumption)**

ปัจจุบันกระบวนการผลิตต่างๆ มักอาศัยพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงเป็นสำคัญ เชื้อเพลิงหลักๆ ที่มีการนำมาใช้ คือ เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมักมีการก่อกำเนิดที่ซับซ้อน และต้องอาศัยระยะเวลายาวนานในการก่อตัว การนำเชื้อเพลิงดังกล่าวมาใช้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้หากกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ใดๆ มีการนำเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้ในปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดการลดลงในเชิงปริมาณ ซึ่งการลดลงในสัดส่วนที่มากเกินกว่าการก่อตัวขึ้นใหม่ จะทำให้เกิดการขาดแคลนได้ในอนาคต โดยปัจจุบันพบว่าปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงเหล่านี้ที่มีอยู่ในโลกลดน้อยลงอย่างมาก และคาดว่าจะหมดไปในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นจึงเป็นปัญหาที่ควรพิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไขโดยเร็ว

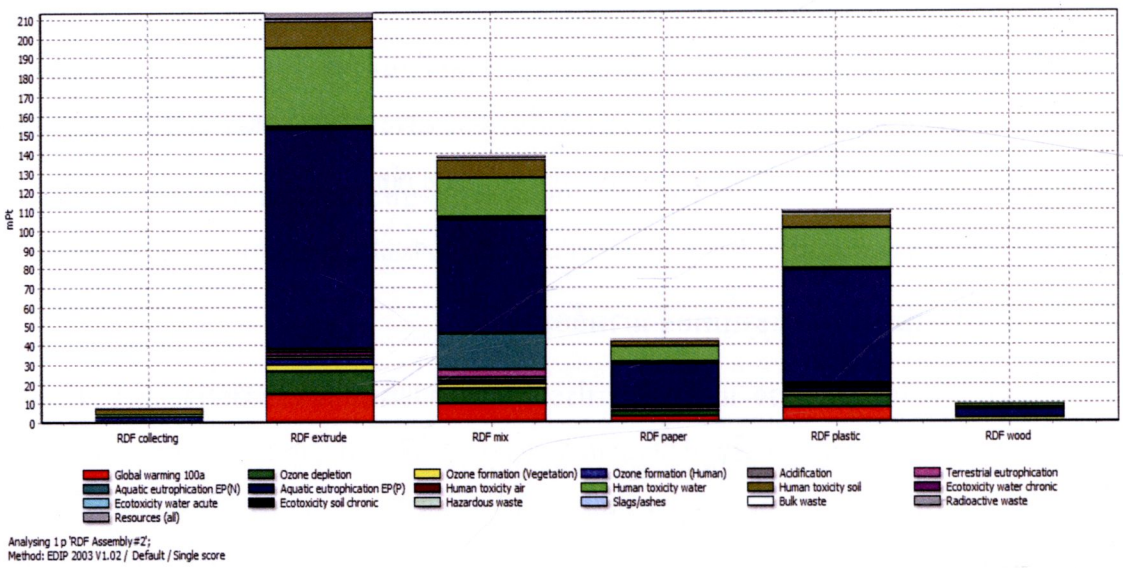
การคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดำเนินการโดยป้อนค่าของข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมในขั้นตอนของการจัดทำบัญชีรายการลงในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าผลกระทบประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

ผลการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

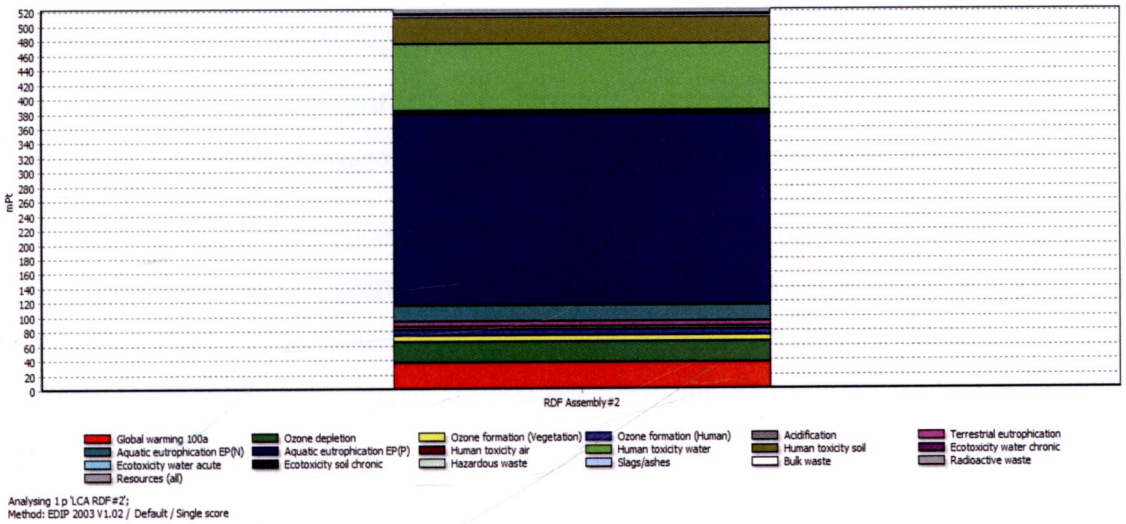
รูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 แสดงผลการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีผลิตขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.2 วิธี EDIP 2003 โดยเป็นการพิจารณาแยกตามประเภทของผลกระทบและตามกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่ากระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่อง Extruder และรูปที่ 4.30 แสดงค่าผลกระทบรวมที่เกิดขึ้น พบว่ากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวม 520 mPt โดยมีผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ Ozone Formation (Human)



รูปที่ 4.28 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แยกตามประเภทของผลกระทบ



รูปที่ 4.29 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แยกตามกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.30 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมของการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ค่าผลกระทบโดยใช้โปรแกรม SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 ซึ่งมีการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ด้านระบบนิเวศน์ และด้านทรัพยากรธรรมชาติ พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์จากกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ส่วนผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ที่มากที่สุด คือ การใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land Use) และผลกระทบด้านทรัพยากรที่สำคัญ คือ ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังแสดงในตารางที่ 4.5

โดยผลกระทบด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ มีหน่วย คือ DALY (Disability adjusted life years; this means different disability caused by diseases are weighted) ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพและทำให้มนุษย์เกิดโรคมากที่สุดคือ ผลกระทบที่มากจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Climate Change) ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 6.01×10^{-5} DALY รองลงมาได้แก่ ผลกระทบที่เกิดจาก Resp. Inorganics ซึ่งหมายถึง พวกอนุภาคเล็กๆ หรือเขม่าดีเซลที่เกิดขึ้น ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 4.97×10^{-5} DALY ตามมาด้วย ผลกระทบที่มาจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) มีค่าผลกระทบเท่ากับ 4.56×10^{-5} DALY ผลกระทบที่เกิดจาก Resp. organics มีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.63×10^{-7} DALY ผลกระทบจากการแผ่รังสี (Radiation) มีค่าผลกระทบเท่ากับ 3.99×10^{-8} DALY และผลกระทบต่อมนุษย์น้อยที่สุด คือ ผลกระทบของชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer) ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 4.32×10^{-8} DALY

ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ มีหน่วยเป็น PDF*m2yr หมายถึง สัดส่วนที่อาจทำให้พันธุ์พืชนั้นหายไป ซึ่งการใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land Use) เป็นการทำลายพันธุ์พืชมากที่สุด โดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 34.72348 PDF*m2yr รองลงมา คือ ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) มีค่าผลกระทบเท่ากับ 21.06014 PDF*m2yr และความเป็นกรด (Acidification/Eutrophication) ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ 2.462779 PDF*m2yr

ด้านผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ มีหน่วยเป็น MJ surplus หมายถึง ความต้องการพลังงานเพิ่มเติมเพื่อชดเชยในอนาคต ซึ่งในกรณีของการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 มีเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) เป็นเชื้อเพลิงที่มีความต้องการมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 465.2281 MJ surplus รองลงมาได้แก่ พลังงานจากการทำเหมืองแร่ (Minerals) ที่มีค่าเท่ากับ 0.35209 MJ surplus

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Eco-indicator 95

Impact category	Unit	Total
สารก่อมะเร็ง (Carcinogens)	DALY	4.56E-05
Resp. organics	DALY	1.63E-07
Resp. Inorganics	DALY	4.97E-05
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)	DALY	6.01E-05
การแผ่รังสี (Radiation)	DALY	3.99E-08
ชั้นบรรยากาศ (Ozone layer)	DALY	4.32E-08
ระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity)	PAF*m2yr	21.06014
ความเป็นกรด (Acidification/ Eutrophication)	PDF*m2yr	2.462779
การใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land use)	PDF*m2yr	34.72348
เหมืองแร่ (Minerals)	MJ surplus	0.35209
เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuels)	MJ surplus	465.2281

4.8 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

- **การกำหนดขนาดของระบบ**

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ได้มีการกำหนดขนาดของระบบในเบื้องต้น โดยเป็นระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในลักษณะที่เป็นชุดต้นแบบ ซึ่งมีกำลังการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน (25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) หรือคิดเป็นกำลังการผลิต 73 ตันต่อปี โดยมีเกณฑ์การออกแบบเบื้องต้น ดังนี้

- **ปริมาณขยะที่เข้าสู่ระบบ** 200 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็น 73 ตันต่อปี
- **ปริมาณขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้** 200 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็น 73 ตันต่อปี

เครื่องจักรหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระบบและเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

เครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	กำลังผลิต (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1. เครื่องผลิตโอโซน	1	25
2. ระบบอบแห้ง	1	25
3. เครื่องย่อยไม้ แบบ Hammer Mill	1	25
4. เครื่องย่อยกระดาษแบบ Hammer Mill	1	25
5. เครื่องย่อยพลาสติก	1	25
6. เครื่องผสม	1	25
7. เครื่องอัดแท่ง	1	25

การวิเคราะห์ต้นทุนมีลักษณะเป็นการวิเคราะห์เงินลงทุนเริ่มต้นของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ และการประเมินต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ ในหน่วยบาทต่อกิโลกรัม หรือ บาทต่อตัน ดังนี้

- **การประมาณการเงินลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost)**

เงินลงทุนเริ่มต้นของชุดต้นแบบการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่จะใช้ในโครงการ พิจารณาเฉพาะเงินลงทุนในเครื่องจักร โดยไม่มีการพิจารณาค่าที่ดินและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ตารางที่ 4.7 แสดงประมาณการราคาเครื่องจักรที่จะใช้ในโครงการ

ตารางที่ 4.7 ประมาณการราคาเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

เครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	ราคาต่อหน่วย (บาท/เครื่อง)	ราคารวม (บาท)
1. ระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน	1	20,000	20,000
2. ระบบอบแห้ง	1	40,000	40,000
3. เครื่องย่อยไม้ แบบ Hammer Mill	1	35,000	35,000
4. เครื่องย่อยกระดาษแบบ Hammer Mill	1	32,000	32,000
5. เครื่องย่อยพลาสติก	1	90,000	90,000
6. เครื่องผสม	1	48,000	48,000
7. เครื่องอัดแท่ง	1	45,000	45,000
ราคารวมของเครื่องจักรทั้งหมด			310,000

- **การประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต (Operation and Maintenance Costs)**

การประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต พิจารณาจากค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และค่าสาธารณูปโภค ได้แก่ ค่าไฟฟ้า

• สมมติฐานเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการ

	หน่วย	ค่าที่ใช้ในการคำนวณ
อายุของเครื่องจักร	**Year**	5
อัตราคิดลด (Discount Rate)	**%**	4, 6, 10
ปริมาณขยะรวมที่เข้าสู่ระบบ เฉลี่ยต่อวัน	**Tons/day**	0.2
	Tons/year	73
ปริมาณขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้	**Tons/day**	0.2
	Tons/year	73

ผลการประเมินต้นทุนต่อหน่วย

การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ พิจารณาที่ส่วนผสมของขยะพลาสติก : กระดาษ : ไม้ ที่ 1:1:1 และ 4:3:1 โดยใช้ตัวประสานต่างชนิดกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีต้นทุน คือ กากน้ำตาลและส่าเหล้า มีราคา 11 บาทต่อกิโลกรัม แป้งมัน มีราคา 24 บาทต่อกิโลกรัม และปูนขาวมีราคา 3 บาทต่อกิโลกรัม ผลการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้มีดังนี้

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 1:1:1 ที่อัตราคิดลด 4%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. Operating Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	16060	35040	4380	16060
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total operating per year	257200	276180	245520	257200
- Find P given A	**1145009**	**1229504**	**1093011**	**1145009**
Total Cost	**1455009**	**1539504**	**1403011**	**1455009**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**3986.33**	**4217.82**	**3843.87**	**3986.33**
Cost per kg RDF-5	**3.99**	**4.22**	**3.84**	**3.99**

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 1:1:1 ที่อัตราคิดลด 6%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. Operating Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	16060	35040	4380	16060
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total operating per year	257200	276180	245520	257200
- Find P given A	**1083420**	**1163371**	**1034020**	**1083420**
Total Cost	**1393420**	**1473371**	**1344020**	**1393420**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**3817.59**	**4036.63**	**3682.25**	**3817.59**
Cost per kg RDF-5	**3.82**	**4.04**	**3.68**	**3.82**

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 1:1:1 ที่อัตราคิดลด 10%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. Operating Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	16060	35040	4380	16060
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total operating per year	257200	276180	245520	257200
- Find P given A	**974990**	**1046939**	**930714**	**974990**
Total Cost	**1284990**	**1356939**	**1240714**	**1284990**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**3520.52**	**3717.64**	**3399.22**	**3520.52**
Cost per kg RDF-5	**3.52**	**3.72**	**3.40**	**3.52**

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 4:3:1 ที่อัตราคิดลด 4%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. O&M Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	80300	175200	21900	80300
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total O&M per year	321440	416340	263040	321440
- Find P given A	**1430994**	**1853472**	**1171007**	**1430994**
Total Cost	**1740994**	**2163472**	**1481007**	**1740994**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**4769.85**	**5927.32**	**4057.55**	**4769.85**
Cost per kg RDF-5	**4.77**	**5.93**	**4.06**	**4.77**

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 4:3:1 ที่อัตราคิดลด 6%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. O&M Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	80300	175200	21900	80300
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total O&M per year	321440	416340	263040	321440
- Find P given A	**1354022**	**1753776**	**1108020**	**1354002**
Total Cost	**1664022**	**2063776**	**1418020**	**1664002**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**4558.96**	**5654.18**	**3884.99**	**4558.91**
Cost per kg RDF-5	**4.56**	**5.65**	**3.88**	**4.56**

ผลการประเมินต้นทุนที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 4:3:1 ที่อัตราคิดลด 10%

	สาเหล้า	แป้งมัน	ปูนขาว	กากน้ำตาล
1. Investment Costs	**310000**	**310000**	**310000**	**310000**
2. Operating Costs				
2.1 Labour Cost	219000	219000	219000	219000
2.2 Binder Cost	80300	175200	21900	80300
2.3 Infrastructure	22140	22140	22140	22140
- Total operating per year	321440	416340	263040	321440
- Find P given A	**1218510**	**1578256**	**997129**	**1218510**
Total Cost	**1528510**	**1888256**	**1307129**	**1528510**
Productivity (5 years)	**365**	**365**	**365**	**365**
Cost per ton RDF-5	**4187.70**	**5173.30**	**3581.18**	**4187.70**
Cost per kg RDF-5	**4.19**	**5.17**	**3.58**	**4.19**

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ส่วนผสมของขยะ 1:1:1 มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าที่ส่วนผสม 4:3:1 เล็กน้อย เนื่องจากมีต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบ คือ ตัวประสานที่น้อยกว่า อย่างไรก็ดีพบว่าขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5 ที่ส่วนผสม 4:3:1 จะมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่สูงกว่า และที่ส่วนผสมนี้ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของขยะประเภทพลาสติก กระดาษ และเศษไม้ ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จะทำให้สามารถกำจัดขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยต่อวันได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมกว่า และการใช้ตัวประสาน คือ ปูนขาวจะทำให้มีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำที่สุด ซึ่งค่าต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ที่อัตราส่วนผสม 4:3:1 และที่อัตราคิดลด (Discount Rate) 10% จะมีต้นทุนต่ำที่สุดคือ **3.58 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 3,581 บาทต่อตัน**

บทที่ 5

การอภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงาน

5.1 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

การกำหนดสมมติฐาน

การกำหนดสมมติฐานในงานวิจัยนี้ กำหนดให้เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีกระบวนการหลักๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว และยังมีกระบวนการเสริมเพิ่มเติมอีก ได้แก่ การอบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน เนื่องจากขยะดังกล่าวจะต้องมีการสัมผัสโดยคน การฆ่าเชื้อโรคจึงเป็นการดำเนินการให้ถูกต้องตามหลักการอนามัยที่ดี นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมกระบวนการอบแห้งด้วยอุโมงค์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยลดความชื้นของขยะและขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพได้ทางหนึ่ง

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการทดลองผลิตขยะเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้น โดยมีเฉพาะกระบวนการผลิตหลักๆ ได้แก่ การคัดแยก การลดขนาดด้วยการบดย่อย การผสม และการอัดแท่ง พบว่าสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ดี นอกจากนี้เมื่อเพิ่มเติมกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนเข้ามา พบว่าขยะที่เป็นวัตถุดิบมีความสะอาดขึ้น และเมื่อเพิ่มกระบวนการอบแห้งเข้ามาก็ทำให้ขยะมีความชื้นลดลง

5.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องจักร/อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

การกำหนดสมมติฐาน

สมมติฐานสมรรถนะของเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวมีกำลังการผลิตไม่น้อยกว่ากำลังการผลิตที่กำหนดไว้ในข้อเสนอโครงการ คือ ไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีกำลังการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน

ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่พัฒนาขึ้น พบว่า อุปกรณ์ที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้แก่ ระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน ระบบอบแห้ง เครื่องย่อยไม้ เครื่องย่อยกระดาษ เครื่องผสม และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยเครื่องจักรบางตัวมีกำลังการผลิตมากกว่า 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เช่น เครื่องย่อยกระดาษ เครื่องย่อยไม้ และเครื่องผสม อย่างไรก็ดี เครื่องย่อยพลาสติกที่พัฒนาขึ้นยังคงมีกำลังการผลิตประมาณ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้เล็กน้อย

5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

การกำหนดสมมติฐาน

การกำหนดคุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้จากกระบวนการของโรงงานสาธิตในโครงการวิจัยนี้ กำหนดให้มีค่าคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น ค่าความร้อน ความชื้น ความหนาแน่น ฯลฯ ต้องเป็นไปตามค่ามาตรฐานคุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF ตามมาตรฐานของยุโรป ดังตารางที่ 3.1 ในบทที่ 3 เนื่องจากยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานดังกล่าวสำหรับประเทศไทย

ผลการดำเนินงานวิจัย

มาตรฐานเชื้อเพลิง RDF-5 ของยุโรป กำหนดค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ว่าต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 600 kg/ m^3 ผู้วิจัยจึงทำตรวจสอบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งพบว่าค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ทุกส่วนผสม มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า 600 kg/ m^3 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมีค่าอยู่ในช่วง **1,009.49 – 1,235.04 kg/ m^3**

สำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าค่ามาตรฐานของประเทศในแถบยุโรป มีค่าต่ำที่สุดและสูงที่สุด อยู่ระหว่าง 13-18.7 MJ/kg ขณะที่ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง **21.38 - 30.53 MJ/kg** ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานวิจัยของโครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สามารถสรุปได้ดังนี้

- ผลการวิเคราะห์ปริมาณขยะรวมที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า มีขยะเกิดขึ้นเฉลี่ย **4.28 ตันต่อวัน** โดยขยะชุมชนที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ต้องเป็นขยะที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ขยะจำพวกเศษไม้และใบไม้แห้ง เศษพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก และกระดาษ ผลการศึกษาพบว่าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF ได้ประมาณ **2.09 ตันต่อวัน**
- ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยพิจารณาเฉพาะปริมาณของขยะจำพวกไม้ พลาสติก และกระดาษ พบว่า**ขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเป็นขยะจำพวกพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นกระดาษ และไม้ตามลำดับ**
- ผลการจัดหาสถานที่ตั้งโรงงานสาธิต พบว่าพื้นที่ของหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ที่ตำบลช่างเคี่ยน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประมาณ 1.5 กิโลเมตร มีความเหมาะสมที่สุด
- ผลการพัฒนากระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 กำหนดให้มีทั้งหมด 6 กระบวนการ ได้แก่ การคัดแยกขยะ การอบฆ่าเชื้อโรค การอบแห้ง การลดขนาดด้วยการตัด/ย่อย การผสม และการอัดแท่ง
- ผลการพัฒนาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต พบว่าเครื่องจักรสามารถทำการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ได้เป็นอย่างดี

- ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ โดยมีการวิเคราะห์คุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงแข็ง 2 ประการ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อน พบว่ามีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานของประเทศในแถบยุโรป
- ผลการวิเคราะห์ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) โดยใช้โปรแกรม SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 ซึ่งมีการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ด้านระบบนิเวศน์ และด้านทรัพยากรธรรมชาติ พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์จากกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ส่วนผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ที่มากที่สุด คือ การใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land Use) และผลกระทบด้านทรัพยากรที่สำคัญ คือ ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิล
- ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าขยะเชื้อเพลิงที่เหมาะสมมีต้นทุนเท่ากับ **3.58 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 3,581 บาทต่อตันขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้**

6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ถึงผลของปัจจัยต่างๆ ที่จะทำให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าดีขึ้น อาทิเช่น รูปร่างลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ชนิดและปริมาณของตัวประสานที่ใช้ เป็นต้น
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไปใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น การใช้ในระบบเตาเผาในอุตสาหกรรม เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2548, **โครงการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน**, รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และ บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551, **โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาการผลิตขยะเชื้อเพลิง (RDF)**

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ, 2552, **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ**, ชุดโครงการ การศึกษาเชิงนโยบายและการยอมรับของประชาชนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล, โครงการที่ 2, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ทุน สกว. – บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ทุนวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2551, **โครงการแปรรูปขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Waste) ให้เป็นแหล่ง Refuse Derived Fuel (RDF) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์**

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552, **online available for http://www.efe.or.th**

สายวสันต์ วิชาดี, 2548, **การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะเทศบาลนครเชียงใหม่**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Jidapa Nithikul, 2007, **POTENTIAL OF REFUSES DERIVED FUEL PRODUCTION FROM BANGKOK MUNICIPAL SOLID WASTE,** School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, THAILAND

ภาคผนวก ข.

รายงานการวิจัย

โครงการย่อยที่ 2

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF - 5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF-5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้

(ภาษาอังกฤษ) Potential of Power Generation by Producer Gas from RDF-5: Case Study of Maejo University

หน่วยงานและคณะผู้ดำเนินงานวิจัย

หัวหน้าโครงการย่อย 2: ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ ดุษฎี
ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
โทรศัพท์ 053-878333, 081-5315376 โทรสาร 053-878333

นักวิจัย ผศ.ดร. ชูรัตน์ ธารารักษ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา โทรศัพท์ 081-5304028
อาจารย์นิกราน หอมดวง ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
นายกิตติกร สาสุจิตต์ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

งบประมาณและระยะเวลาทำวิจัย

ได้รับงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 งบประมาณที่ได้รับ 507,936 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย ตั้งแต่ พฤษภาคม 2553 ถึง พฤษภาคม 2554

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาขยะชุมชนเป็นปัญหาที่หน่วยงานและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไข หากไม่มีการจัดการที่ดีและเป็นระบบจะส่งผลกระทบทั้งในภาคเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน ดังนั้นการนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนในรูปของไฟฟ้าหรือความร้อนเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการจัดการสิ่งแวดล้อม การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 นอกจากจะเป็นการกำจัดขยะแล้ว และทำให้มีรายได้ทางหนึ่งแล้ว ยังสามารถขายไฟฟ้าที่ผลิตได้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งรัฐบาลยังได้สนับสนุนอีกในอัตรา 2.5 บาท/kWh จึงถือว่าเป็นการระบวนการกำจัดที่เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิง จากขยะ RDF-5 สำหรับประเทศไทยยังถือได้ว่ามีข้อมูลน้อยมาก ยังต้องการงานวิชาการที่จะช่วยตอบปัญหาด้านสมรรถนะโรงไฟฟ้า และต้นทุนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งมลพิษที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบดังกล่าว

โครงการย่อยที่ 2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF - 5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากโครงการย่อยที่ 1 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) ซึ่งสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งข้อมูลสมรรถนะของอุปกรณ์ คุณภาพเชื้อเพลิง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือต้นทุนพลังงานที่ไปใช้ประโยชน์ จะถูกวิเคราะห์เพื่อใช้ในการขยายผลต่อไป การศึกษา พบว่าการนำแท่งเชื้อเพลิงมาผลิตเป็นโปรดิวเซอร์แก๊สด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นแบบไหลลง คุณสมบัติทางความร้อนของแก๊สที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ถ่านและไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากใกล้เคียงกันและมีค่าความร้อนประมาณ 3,231.13 kJ/Nm3 ซึ่งสามารถนำไปใช้เครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าได้ ผลการนำโปรดิวเซอร์แก๊สจากแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิงทดแทนแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า พบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45 % ที่ภาระทางไฟฟ้า 63 % หรือ18 kW ผลการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่า การปลดปล่อย CO_2 จะต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว แต่การปลดปล่อย NOx และค่าควันดำที่เกิดขึ้นต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยไอเสีย ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้อุณหภูมิที่บริเวณการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 1,100 – 1,200 °C ซึ่งสูงมากพอในการกำจัดไดออกซิน ที่เกิดจากพลาสติกในเชื้อเพลิง RDF ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า โครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคา

น้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่เกิน 4.0 บาท/กิโลกรัม โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 ปี ในกรณีที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง 100 % มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.82-4.73 บาท/kWh และค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ควรอยู่ที่ 3.5-4.5 บาท/kWh

ABSTRACT

Presently, municipal solid waste (MSW) is a big problem which all concerned authorities should pay attention and improve. If it is lack of suitable management, it will affect economic sector, environment and human health. Consequently, transformation of MSW to electricity or thermal energy is one of the possible methods to reduce the environmental impacts. Electricity generation from RDF-5 producer gas is a method not just only for waste disposal but a revenue could be obtained. This might be supported by Thai Government that the electricity could be purchased with an adder of 2.50 baht/kWh. The sub-project 2, Potential of power generation by producer gas from RDF-5: a case study of Maejo University, focuses on producer gas from RDF-5 which is the product from the sub-project 1. The producer gas comes from partial combustion and it is used to generate electricity by co-firing with diesel oil in an internal combustion engine. Performance of equipment, fuel quality, environmental impacts and fuel cost or energy cost are considered. The results show that the producer gas from the RDF-5 have fuel characterization quite similar to charcoal and wood and it gives a heating value of 3,231.13 kJ/Nm^3 which could be used for electricity generation in an internal combustion engine. The RDF-5 producer gas could replace diesel oil in the diesel engine generator and it could reduce 45% diesel oil at 63% electricity load or 18 kW. The CO_2 emission is higher than that from diesel but the NOx emission and black smoke are less. All the emissions are found to be less than standard of diesel engine. Moreover, the temperature in the combustion zone is between 1,100 – 1,200 ^{o}C which is high enough to dispose dioxin from plastic in the RDF fuel. From economic analysis, it could be found that the payback period is about 6 years when

the diesel price rises to 34 Baht/liter and cost of RDF-5 is up to 4.0 Baht/kg. In case of using 100% of RDF-5 as fuel the results are found that electricity cost are in range of 2.82 – 4.73 Baht/kWh while adder for electricity purchasing from RDF-5 should be in range of 3.5 – 4.5 Baht/kWh.

คำสำคัญ (Keywords)

แก๊สเชื้อเพลิง / ขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง / การผลิตไฟฟ้า

Producer Gas / Refuse Derived Fuel (RDF-5) / Electricity Generation

สารบัญเรื่อง

บทที่	หัวข้อ	หน้า
1	**บทนำ**	ข.1-1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	ข.1-1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	ข.1-5
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	ข.1-5
2	**การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย**	ข.2-1
	2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะและการจัดการขยะ	ข.2-1
	2.2 การศึกษาด้านปริมาณและองค์ประกอบของขยะชุมชน	ข.2-2
	2.3 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า	ข.2-5
	2.4 สรุปสาระสำคัญจากการทบทวนวรรณกรรม	ข.2-5
3	**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย**	ข.3-1
	3.1 เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.3-1
	3.1.1 เชื้อเพลิงขยะ RDF	ข.3-1
	3.2 ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น	ข.3-2
	3.2.1 ชนิดของระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.3-3
	3.2.2 ปฏิกิริยาเคมีในแต่ละชั้นของเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.3-4
	3.3 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	ข.3-6
	3.3.1 หลักการเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	ข.3-6
	3.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.3-8

บทที่	หัวข้อ	หน้า
	3.4.1 การประเมินความดันเฉลี่ยเบรก	ข.3-8
	3.4.2 การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ข.3-9
	3.4.3 การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ	ข.3-9
	3.4.4 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล	ข.3-9
	3.4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซล	ข.3-10
	3.4.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซล	ข.3-10
	3.5 มลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์	ข.3-10
	3.5.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	ข.3-10
	3.5.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (NOX)	ข.3-11
	3.5.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	ข.3-11
	3.5.4 ควันดำ (Black smoke)	ข.3-11
	3.5.5 มลพิษทางเสียง	ข.3-12
4	<u>ระเบียบวิธีวิจัย</u>	ข.4-1
	4.1 ระเบียบวิธีวิจัย	ข.4-1
	4.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	ข.4-2
	4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ	ข.4-5
	4.3.1 ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-5
	4.3.2 เครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สกำเนิดไฟฟ้า	ข.4-6
	4.3.3 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย	ข.4-8
	4.4.4 ชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ข.4-8
	4.3.5 ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-9
	4.3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ	ข.4-9
	4.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	ข.4-11

บทที่	หัวข้อ	หน้า
5	**ผลการวิจัย**	ข.5-1
	5.1 การศึกษาปริมาณขยะมหาวิทยาลัยแม่โจ้	ข.5-1
	5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)	ข.5-3
	5.3 องค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)	ข.5-4
	5.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.5-5
	5.5 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.5-6
	5.5.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิในชั้นต่างๆ ของเตาผลิตแก๊สชีวมวล	ข.5-6
	5.5.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ	ข.5-7
	5.5.3 สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล	ข.5-8
	5.5.4 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า	ข.5-8
	5.6 มลพิษทางอากาศ	ข.5-10
	5.6.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	ข.5-11
	5.6.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และไนตริกออกไซด์	ข.5-12
	5.6.3 เขม่าและควันดำ	ข.5-13
	5.4.4 อุณหภูมิท่อไอเสียเครื่องยนต์	ข.5-15
	5.6.5 ค่าสารประกอบไดออกซิน	ข.5-15
	5.7 มลพิษทางเสียง	ข.5-16
	5.8 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง	ข.5-17
	5.8.1 ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-17
	5.8.2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล	ข.5-17
	5.8.3 การวิเคราะห์ความไวต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล	ข.5-19
	5.9 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิงจาก RDF-5	ข.5-20
	5.9.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง	ข.5-20

บทที่	หัวข้อ	หน้า
	5.9.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในและปริมาณไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) ที่เหมาะสม	ข.5-24
6	<u>สรุปและข้อเสนอแนะ</u>	ข.6-1
	6.1 สรุปผลการวิจัย	ข.6-1
	6.2 ข้อเสนอแนะ	ข.6-2

บรรณานุกรม

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1	ปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการในปี2550	ข.1-2
2.1	รายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตพลังงานขยะ	ข.2-2
2.2	การประเมินปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากการคำนวณค่าในอนาคต	ข.2-3
2.3	องค์ประกอบของขยะ และ RDF	ข.2-5
3.1	คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้	ข.3-2
4.1	รายละเอียดข้อมูลเทคนิคเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า Caterpillar ขนาด 32kWe	ข.4-7
5.1	ปริมาณขยะภายใน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ข.5-2
5.2	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)	ข.5-4
5.3	แสดงองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5) โดยปริมาตร	ข.5-5
5.4	ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สที่เชื้อเพลิงต่างกัน	ข.5-5
5.5	การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส ขนาด 32kW	ข.5-9
5.6	ค่ามาตรฐานการควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย	ข.5-10
5.7	แสดง Emission ที่ภาวะโหลด	ข.5-11
5.8	ปริมาณควันดำไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส จากเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-15
5.9	ประเมินต้นทุนต่อหน่วยของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-17
5.10	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์โครงการ	ข.5-18
5.11	จุดคุ้มทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างดีเซลและขยะเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-19

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	การแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นขยะเชื้อเพลิง	ข.1-3
1.2	อัตราส่วนเพิ่มของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ	ข.1-4
2.1	ขยะชุมชนและเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน	ข.2-3
2.2	องค์ประกอบของขยะชุมชน	ข.2-4
2.3	โรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบขนาด 100 kW ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ข.2-6
3.1	เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบ Up-draft, Cross-draftและ Down-draft	ข.3-4
3.2	จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	ข.3-8
4.1	ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-6
4.2	เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-6
4.3	ภาระโหลดแบบลวดความร้อนและชุดควบคุมโหลด	ข.4-7
4.4	เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสียและควันดำ	ข.4-8
4.5	ชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	ข.4-9
4.6	ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-9
4.7	เครื่องวัดอุณหภูมิระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.4-10
4.8	ไดอะแกรมการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	ข.4-10
5.1	องค์ประกอบของขยะมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (%)	ข.5-2
5.2	องค์ประกอบของขยะที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)	ข.5-3
5.3	เชื้อเพลิงขยะ (RDF-5) ขนาด 3cm x 3cm x 5cm	ข.5-4
5.4	การกระจายอุณหภูมิในชั้นต่าง ๆ ภายในเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง	ข.5-6

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.5	อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเชื้อเพลิง	ข.5-7
5.6	สัดส่วนการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล	ข.5-8
5.7	ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า	ข.5-9
5.8	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-12
5.9	ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-13
5.10	ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5	ข.5-14
5.11	ระดับความเข้มเสียงของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส	ข.5-16
5.12	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล	ข.5-19

สัญลักษณ์

P_g	ความต้องการปริมาณโปรดิวเซอร์แก๊สของเครื่องยนต์, kW
$r_{A/G}$	อัตราส่วนอากาศต่อโปรดิวเซอร์แก๊ส
rpm	ความเร็วรอบเครื่องยนต์, rpm
D	ปริมาตรกระบอกสูบ, L
f	ประสิทธิภาพท่อร่วมไอดี ,%
GHV	ค่าความร้อนโปรดิวเซอร์แก๊ส,kJ/m^3
Bcg	อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส, kg/hr
η_g	ประสิทธิภาพเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส, %
LHV_g	ค่าความร้อนถ่านไม้ที่ความชื้น, kJ/kg
d_{th}	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอคอดเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส, cm
h_{nozz}	ระยะความสูงของหัวฉีดเมื่อเทียบกับระนาบเส้นผ่าศูนย์กลางคอคอด, mm
$\frac{h}{d_h}$	อัตราส่วนความสูงของหัวฉีดเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางคอคอด ดังรูปที่ 3.3
Q_H	อัตราการถ่ายเทความร้อน, kW
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, kW/m^{2}K
A_{HE}	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, m^2
$LMTD$	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิล๊อกมีน, K
F	ค่าแฟคเตอร์แก้, LMTD
Q_g	อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส, m^3/s
V	ความเร็วโปรดิวเซอร์แก๊สทางเข้าไซโคลน, m/s
$\eta_{gasifier}$	ประสิทธิภาพเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส, %
H_g	ค่าความร้อนโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้, kJ/m^3
Q_g	อัตราการไหลเชิงโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้, m^3/s
H_s	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ใส่, kJ/kg
M_s	อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใส่, kg/s

สัญลักษณ์(ต่อ)

H_g คือค่าความร้อนโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้

V_{CO} สัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยปริมาตร

V_{H_2} สัดส่วนของแก๊สไฮโดรเจนโดยปริมาตร

V_{H_2} สัดส่วนของแก๊สไฮโดรเจนโดยปริมาตร

$BMEP$ ความดันเฉลี่ยเบรก, N/m^2

P กำลังเครื่องยนต์, kW

V_d ขนาดความจุกระบอกสูบ, m^3

n_R จำนวนรอบการหมุนเพลาข้อเหวี่ยงต่อ 1 วัฏจักรการทำงาน

N ความเร็วรอบเครื่องยนต์, rev/s

$\dot{m}$ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, kg/hr

m มวลน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์, kg

t เวลา, hr

SFC อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ, kg/kWh

BP กำลังไฟฟ้า, kW

DR อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล %

SFC_{diesel} อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซล, kg/kWh

SFC_{dual} อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส, kg/kWh

m_{f_diesel} อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล, kg/s

Q_{LHV_diesel} ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล, kJ/kg

m_{f_gas} อัตราความสิ้นเปลืองโปรดิวเซอร์แก๊ส, Nm^3/s

Q_{LHV_gas} ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส, kJ/Nm^3

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยต้องจัดหาพลังงานโดยเฉพาะที่เป็นน้ำมัน ซึ่งมีการนำเข้าเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 45 นอกจากนั้นยังต้องนำเข้าแก๊สธรรมชาติบางส่วน ถ่านหิน และไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านด้วย รวมเป็นสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกอยู่ในระดับสูงกว่าร้อยละ 55 รัฐบาลได้กำหนดนโยบายพลังงาน โดยให้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ มีแผนงานที่จะเพิ่มสัดส่วนใช้พลังงานทดแทน จากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 12 ในปี 2554 [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552] โดยจะมีการสนับสนุนการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชน หมู่บ้าน ภายใต้มาตรการจูงใจที่เหมะสม ดังนั้นการจัดหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ต้องดำเนินการเร่งด่วน และสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลปัจจุบัน

ขยะชุมชนเป็นปัญหาที่หน่วยงานและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไข หากไม่มีการจัดการที่ดีและเป็นระบบจะส่งผลกระทบทั้งในภาคเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน ดังนั้นการนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนในรูปของไฟฟ้าหรือความร้อนเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการจัดการสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม พบว่าสภาพการณ์ปัจจุบัน การพัฒนาพลังงานขยะทั้งในรูปไฟฟ้าและความร้อนที่ได้จากการกำจัดขยะมูลฝอยทั่วประเทศ พบว่ามีประมาณเพียง 5 MW [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552] โดยพบว่ามีปัญหาอุปสรรคหลายประการที่ทำให้การลงทุนเพื่อการผลิตพลังงานจากขยะไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ได้แก่ กฎหมายและระเบียบต่างๆ การขาดความเข็มแข็งของชุมชนในการจัดการและการรณรงค์คัดแยกขยะ รวมทั้งการขาดความเชื่อมั่นในเทคโนโลยีที่มีอยู่ ปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นเป็นปัญหาใหญ่ที่จำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสม จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ในปี 2550 มีปริมาณขยะเกิดขึ้น 14.72 ล้านตัน หรือ 40,332 ตัน/วัน มีการกำจัดขยะอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการประมาณ 14,432 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 35.8 ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับในพื้นที่ภาคเหนือในเขตเทศบาล พบว่าในปี 2549 ขยะชุมชนมีปริมาณ 2,195 ตันต่อวัน [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552] ซึ่งถ้าหากมีการนำขยะเหล่านี้มาแปรรูปเป็นขยะเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในระบบผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมได้ ก็จะสามารถที่จะลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีได้

ตารางที่ 1.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการในปี 2550

พื้นที่	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน)		
	เกิดขึ้น	กำจัด	สัดส่วน (%)
กรุงเทพมหานคร	8,532	8,532	21.2
เขตเทศบาลและเมืองพัทยา (1,277 แห่ง)	13,600	4,810	11.9
นอกเขตเทศบาล (6,500 แห่ง)	18,200	1,090	2.7
รวม	40,332	14,432	35.8

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551 [1]

เทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอยมีหลายวิธี เช่น เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังขยะ เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5) เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค เทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีเตาเผาขยะ ในแต่ละเทคโนโลยีก็มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งในโครงการนี้เลือกทีจะกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีเทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ โดยมีขั้นตอนและข้อดี ดังนี้

- นำขยะมูลฝอยมาผ่านกระบวนการคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกเป็นการฉีกหรือตัดขยะเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผ่านกระบวนการการจัดการ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ทำให้เป็นเชื้อเพลิงขยะและสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้
- ขยะเชื้อเพลิง (RDF-5) มีค่าความร้อนสูง มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรงเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพสม่ำเสมอกว่า
- เทคโนโลยีมีข้อดีคือสามารถกำจัดขยะได้หลายประเภท และปลอดเชื้อโรค แต่ยังมีต้นทุนสูง และต้องมีการนำไปผลิตพลังงานในเตาเผาที่เหมาะสม

ขยะที่ผ่านกระบวนการจัดการเพื่อเตรียมผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะ (RDF)
(ภาพ : www.edie.net)

เชื้อเพลิงขยะ (RDF)
(ภาพ : www.withoidings.com)

รูปที่ 1.1 การแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นขยะเชื้อเพลิง

ขยะเชื้อเพลิงเมื่อผลิตได้แล้วจำเป็นต้องนำมากำจัดอีกครั้งหนึ่งด้วยการนำมาเผา จึงสามารถนำปริมาณพลังงานที่ได้นำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานในรูปความร้อนหรือพลังงานในรูปพลังงานไฟฟ้าได้ สำหรับชุมชนได้ การนำขยะเชื้อเพลิง (RDF-5) มาจำกัดด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นทำขยะเชื้อเพลิงให้เป็นก๊าซโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) โดยสารอินทรีย์ในขยะจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ที่เรียกว่าก๊าซเชื้อเพลิง (Producer gas) ซึ่งสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในหรือให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีข้อดีคือการเผาในแก๊สซิไฟเออร์จะมีมลพิษน้อยกว่าการเผาแบบทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังจำเป็นต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพของแก๊สที่ผลิตได้ ในด้านองค์ประกอบแก๊ส และค่าความร้อนของแก๊สที่ได้ รวมถึงมลภาวะอื่นๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของขยะเชื้อเพลิงที่มาจากแหล่งขยะต่างๆ กัน รวมถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าเมื่อนำมาใช้กับแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5

อัตราส่วนเพิ่ม (Adder) บาท/หน่วย	
ชีวมวล	0.5
ก๊าซชีวภาพ	0.5
พลังน้ำ (50-200 kW)	0.8
พลังน้ำ (50 kW)	1.5
ขยะ	2.5
พลังงานลม	4.5
พลังงานแสงอาทิตย์	8.0

รูปที่ 1.2 อัตราส่วนเพิ่มของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 นอกจากจะเป็นการกำจัดขยะแล้ว ซึ่งจะทำให้มีรายได้ทางหนึ่งแล้ว ยังสามารถขายไฟฟ้าที่ผลิตได้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งรัฐบาลยังได้สนับสนุนอีกในอัตรา 2.5 บาท/kWh จึงถือว่าเป็นการระบวนการกำจัดที่เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิง จากขยะ RDF-5 สำหรับประเทศไทยยังถือได้ว่ามีข้อมูลน้อยมาก ยังต้องการงานวิชาการที่จะช่วยตอบปัญหาด้านสมรรถนะโรงไฟฟ้า และ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งมลพิษที่เกิดขึ้น เนื่องจากระบบดังกล่าวมีราคาสูงและมีขนาดใหญ่มีการใช้งานแพร่หลายในต่างประเทศ ดังนั้นศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จึงได้เสนอ "โครงการการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5" เพื่อใช้เป็นต้นแบบการจำกัดขยะที่เหมาะสมสำหรับชุมชน โดยเลือกกรณีการจำกัดขยะภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มีนักศึกษาและบุคลากรประมาณ 15,000 คน มีปริมาณขยะประมาณ 1.5-2 ตันต่อวัน ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีแนวทางการกำจัดที่ชัดเจน โดยเทศบาลเมืองแม่โจ้ รวบรวมนำไปกำจัด บางส่วนเกิดมลพิษด้านกลิ่นรบกวนและน้ำเสียในกรณีที่ฝนตก มหาวิทยาลัยแม่โจ้มองเห็นสภาพปัญหาดังกล่าวจึงสนับสนุนโครงการนี้โดยมหาวิทยาลัยจะสนับสนุนในเรื่องของต้นแบบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงขนาด 40 kWe ซึ่งเป็นข้อดีที่จะทำให้โครงการประสบความสำเร็จโดยการมีส่วนร่วมในหลายภาคส่วน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบขยะ RDF-5 ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง
2) เพื่อประเมินสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง
3) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและผลกระทบไอเสียเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล
4) เพื่อสาธิตโรงไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ต้นแบบระดับมหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasifier) ที่ใช้ขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง ที่สามารถรองรับขยะชุมชนได้ประมาณ 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
2) ศึกษาสมรรถนะโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม (Duel Fuel) ระหว่างน้ำมันดีเซลและแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะและการจัดการขยะ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552) ได้รวบรวมข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานขยะดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า เทคโนโลยีที่จะนำไปส่งเสริมให้กับชุมชน ไม่ควรที่จะเป็นเทคโนโลยีที่ซับซ้อนเกินไป มีการทำงานที่ยอมรับได้ในแง่ประสิทธิภาพและความปลอดภัย และที่จำเป็นที่สุดต้องมีการควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีให้อยู่ในระดับที่ชุมชนยอมรับได้ หรือได้ตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งก็พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาขยะน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากมีข้อดีคือสามารถกำจัดขยะได้รวดเร็ว ใช้พื้นที่น้อย มีความยืดหยุ่นต่อประเภทขยะสูง

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และปรีชา มาระกะ (2548) ทำการวิจัยเพิ่มสมรรถนะเตาเผาขยะที่มีหัวเผาน้ำมัน โดยเน้นการวิจัยเพื่อประหยัดพลังงานและมีการปลดปล่อยมลพิษในระดับต่ำ โดยทำการศึกษากับเตาที่มีกำลังผลิต 25 kg/h และ 50 kg/h ในการศึกษาวิจัยเพิ่มประสิทธิภาพเตาด้วยการปรับปรุงการป้อนเชื้อเพลิงใหม่ด้วยการทำประตู 2 ชั้น ซึ่งพบว่าสามารถป้องกันอุณหภูมิภายในเตาลดลงขณะที่ป้อนเชื้อเพลิงได้ นอกจากนั้นยังมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ปล่องไอเสียนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการอุ่นอากาศก่อนส่งไปเผาไหม้ การปรับปรุงด้วยสองวิธีดังกล่าวสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และลดการใช้น้ำมันลงได้

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตพลังงานขยะ

เทคโนโลยี	ข้อดี/ข้อจำกัด
เทคโนโลยีเตาเผาขยะ	• มีความยืดหยุ่นต่อประเภทขยะ และปริมาณขยะ • ลดมวลและปริมาตรได้มาก • เวลากำจัดสั้นและใช้พื้นที่น้อย
เทคโนโลยีการย่อยลลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	• ต้องมีระบบการแยกขยะอินทรีย์ • ลดมวลและปริมาตรได้มากแต่ต้องใช้ควบคู่กับการจำกัดแบบอื่น • เวลากำจัดสั้นและใช้พื้นที่น้อย
เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลมขยะ	• ใช้พื้นที่มาก • โอกาสถูกต่อต้านในพื้นที่สูง
เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ	• ระบบยังไม่เบ็ดเสร็จในตัวเองเชื้อเพลิงที่ได้จำเป็นต้องมีการกำจัดขั้นสุดท้าย แต่สามารถขนย้ายเชื้อเพลิงได้ • ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่นไพโรไรซีส/ก๊าซซิฟิเคชั่น
เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง	• ลดมวลและปริมาตรได้ดี • เวลากำจัดสั้นใช้พื้นที่น้อย • เป็นเทคโนโลยีชั้นสูง และค่าใช้จ่ายสูง
เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค	• เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง • ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง • ขี้เถ้าที่เกิดจากกระบวนการถูกเปลี่ยนสภาพเป็น slag
เทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง	• ต้องมีการแยกประเภทขยะพลาสติกและทำความสะอาดพลาสติก • ขยะส่วนที่เหลือต้องนำมากำจัดด้วยวิธีอื่น

2.2 การศึกษาด้านปริมาณและองค์ประกอบของขยะชุมชน

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2550) ทำการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของประเทศไทย พบว่าสำหรับศักยภาพพลังงานขยะปริมาณขยะที่จะเกิดขึ้นในอนาคตในปี 2558 จะมีประมาณขยะที่เกิดขึ้นสูงถึง 53,191 ตัน/วัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน
(Municipal Solid Waste Gasification:
MSW Gasification)
(ที่มา: www.reaxker.com)

รูปที่ 2.1 ขยะชุมชนและเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน

ตารางที่ 2.2 การประเมินปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากการคำนวณค่าในอนาคต

ปี พ.ศ.	ศักยภาพสูงสุด (ตัน/วัน)
2546	41,941
2548	43,635
2553	48,177
2554	49,141
2558	53,191
2563	58,728

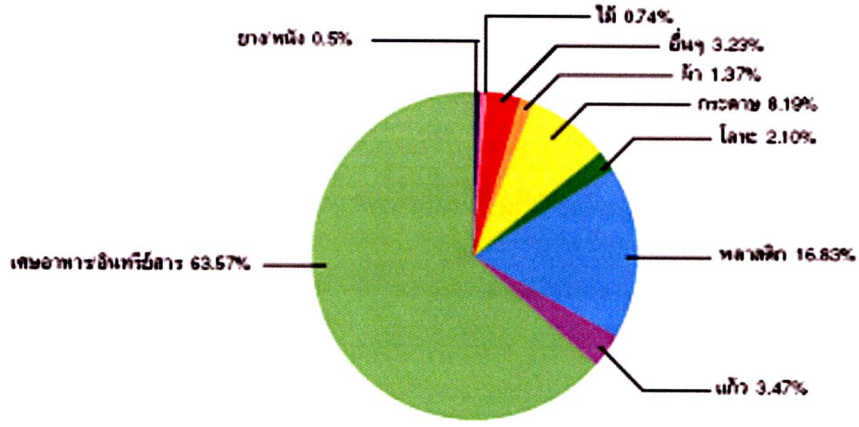
จากการสำรวจองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศปี 2547 (กรมควบคุมมลพิษ 2547) พบว่ามีองค์ประกอบดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ขยะที่เผาไหม้ได้ (Combusible) ซึ่งได้แก่

- เศษอาหาร/อินทรีย์สาร 63.57 %
  (เศษอาหาร 30.59% , สารอินทรีย์ (ใบไม้,กิ่งไม้,อื่น ๆ) 32.98%)
- กระดาษ 8.19 %
- พลาสติก 16.83%
- ไม้ 0.74%
- ยาง/หนัง 0.5 %
- ผ้า 1.37 %
- อื่น ๆ ที่แยกไม้ได้ 3.23% (ผ้าอ้อม , ผ้าอนามัย, และกระดาษทิชชู)

ขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non Combusible) ซึ่งได้แก่

- โลหะ 2.10%
- แก้ว 3.47%



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของขยะชุมชน

ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะ 1 ตัน ขึ้นอยู่กับการจัดเก็บขยะกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะ และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ จากรายงานของ European Commission Directorate General Environment กล่าวว่าการผลิตเชื้อเพลิงขยะอยู่ในช่วงระหว่าง 23 ถึง 50% โดยน้ำหนักของขยะที่มาแปรรูป

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะที่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณซัลเฟอร์และคลอไรด์ ตัวอย่างคุณลักษณะของขยะและ RDF ที่ได้จากการแปรรูปขยะแสดงในตารางที่ ซึ่งพบว่าความชื้นใน RDF ลดลงอย่างมาก (~50%) เมื่อเปรียบเทียบกับขยะก่อนที่จะนำมาแปรรูป ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของขยะ และ RDF

Proximate Analysis			Elemental Analysis		
	MSW(wt%)	RDF(wt%)		MSW(wt%)	RDF(wt%)
Moisture	55.93	29.29	Carbon	51.33	50.87
Volatile	35.28	54.27	Hydrogen	6.77	6.68
Fixed Carbon	4.27	10.98	Oxygen	30.92	26.66
Ash	4.52	5.46	Nitrogen	1.42	1.56
Calorific Value					
LHV(KJ/Kg)	9,736.17	14,805.25	HHV(KJ/Kg)	21,894.33	21,306.77

Dry Basis: modified from K.Silvapalan, 2003.

2.3 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า

วีระชัยและคณะ (2550) ศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW ที่ใช้ไม้โตเร็วเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเตาแบบ Downdraft Gasifier ที่พัฒนาโดยบริษัทซาตาเก้ ประเทศญี่ปุ่น นำแก๊สเชื้อเพลิงมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าในระบบเชื้อเพลิงคู่ พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 1.7 kg/kWh และสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 60-70 % ในปีเดียวกัน ณัฐวุฒิ และคณะ (2552) ทดสอบการเดินเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าขนาด 25 kW เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบพบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล 0.398 ลิตร/kWh ส่วนน้ำมันปาล์มดิบสิ้นเปลืองสูงกว่าประมาณ 15-20 %

2.4 สรุปสาระสำคัญจากการทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาของเทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่ายังไม่มีการใช้งานและงานวิจัยสนับสนุนอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะการนำขยะ RDF-5 มาผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการที่จะส่งเสริมหรือนำไปใช้งานจริงนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 และสมรรถนะของเครื่องยนต์กำเนินไฟฟ้าเมื่อใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล รวมทั้งต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและผลการะทบเบื้องต้นทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอที่ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการขยะในระดับมหาวิทยาลัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้เกิดการใช้งานจริงในระดับชุมชนในอนาคต

รูปที่ 2.3 โรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบขนาด 100 kW ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1 เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสามารถออกแบบให้ใช้กับเชื้อเพลิงต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางตั้งแต่ถ่านไม้จนถึงไม้หรือผลิตภัณฑ์จากไม้หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ซังข้าวโพดหรือแกลบเป็นต้น เชื้อเพลิงแต่ละแหล่งมีคุณภาพที่ต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ชนิดเชื้อเพลิง ค่าความร้อน ความชื้น ความหนาแน่น ขนาด เป็นต้น แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพเชื้อเพลิงอย่างมากคือปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนสูงก็จะส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ขบวนการบางอย่างสามารถปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงได้โดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้นได้เช่นการเผาถ่านและการทำถ่านโค้กเป็นต้น การเลือกชนิดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการซึ่งในที่นี้ขอกล่าวถึงเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

3.1.1 เชื้อเพลิงขยะ RDF

เชื้อเพลิงขยะ (RDF) เป็นการปรับปรุง และแปลงสภาพของขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้าน ค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ คุณลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะประกอบด้วย

- ปลอดเชื้อโรคจากการอบด้วยความร้อน ลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรค ไม่มีกลิ่น
- มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผา-หม้อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร ความยาว 30-150 มิลลิเมตร)
- มีความหนาแน่นมากกว่าขยะมูลฝอยและชีวมวลทั่วไป (450-600 kg/m^3) เหมาะสมต่อการจัดเก็บและขนส่ง
- มีค่าความร้อนสูงเทียบเท่ากับชีวมวล (~ 13-18 MJ/kg) และมีความชื้นต่ำ (~ 5-10%)
- ลดปัญหามลภาวะจากการเผาไหม้ เช่น NO_x และไดออกซินและฟูราน

เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ ประกอบด้วย

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor, Pulverized Fuel Combustor
RDF5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m3	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swirl Burner
RDF7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, Integreated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2547

3.2 ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน แกลบ และขี้เลื่อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถติดไฟได้ ให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ๆมีออกซิเจนอยู่อย่างจำกัดซึ่งแก๊สที่ได้มีส่วนประกอบหลัก คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรเจน (H_2), แก๊สมีเทน (CH_4) และพวกสารระเหยต่างๆ ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้เรียกว่า โปรดิวเซอร์แก๊ส ประสิทธิภาพของการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ขึ้นกับกระบวนการผลิตและคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตเป็นหลัก

เทคโนโลยีการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงแข็งเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมและครัวเรือน พลังงานที่ผลิตขึ้นได้จากโปรดิวเซอร์แก๊สมีการใช้อย่างแพร่หลายเมื่อ 100 ปีผ่านมาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในยุโรปเป็นแหล่งที่มีถ่านหินที่สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สได้และใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้วเป็นต้น และในระดับครัวเรือนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสามารถใช้ในการหุงต้มอาหาร ให้ความร้อนแก่บ้านเรือนซึ่งในสมัยที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ยังสามารถใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้ในการให้แสงสว่างยามค่ำคืนได้อีกด้วยแต่เมื่อมีการนำเอาผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมมาใช้อย่างกว้างขวางจึงทำให้ความสำคัญของเชื้อเพลิงชนิดนี้ลดน้อยลงไป

3.2.1 ชนิดของระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้วัตถุดิบและขั้นตอนการเกิดแก๊สซิฟิเคชั่นในเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ได้แก่

1. แบบ Fixed Bed Gasifier หรือ Pack Bed Gasifier
2. แบบ Fluidized Bed Gasifier
3. Entrained Flow Gasifier
4. Molten Media Gasifier

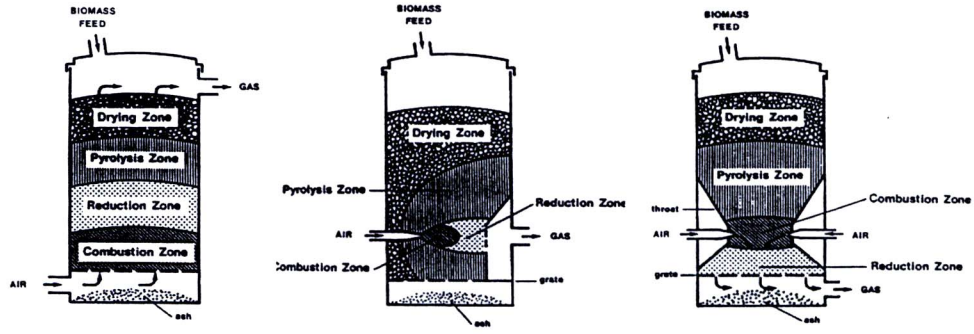
การศึกษาโครงการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบ Fixed Bed Gasifier ดังนั้นจึงจะขอกล่าวถึงรายละเอียดแต่เฉพาะเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบ Fixed Bed Gasifier เท่านั้น เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบ Fixed Bed Gasifier สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลขึ้น (Up-draft) และเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลขวาง (Cross-draft) เครื่องผลิต โปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลลง (Down-draft) โดยคุณลักษณะของเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สทั้ง 3 ชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Up-draft Gasifier ดังรูปที่ 3.1 (A) แบ่งโซนเชื้อเพลิงออกเป็น 3 โซน เรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง คือ Distillation Zone, Reduction Zone และ Combustion Zone โดยอากาศจะไหลเข้ามาทางด้านล่างและก๊าซที่ผลิตได้จะไหลออกมาทางด้านบน Gasifier ประเภทนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนักเพราะว่ามีปัญหาทางเรื่อง Clinker, Tar และต้องมีการเติมไอน้ำเข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยาที่ Reduction Zone

2. Cross-draft Gasification ดังรูปที่ 3.1 (B) ซึ่ง Gasification ประเภทนี้การออกแบบจะง่ายและมีขนาดเล็ก อากาศจะเข้ามาทางด้านหนึ่งและก๊าซที่ผลิตได้จะออกไปในด้านตรงกันข้ามอากาศที่เข้ามาในตอนแรกนั้น

จะผ่าน Combustion Zone และ Reduction Zone ตามลำดับเพื่อผลิตก๊าซ โดยที่อากาศเข้ามาจะมีความเร็วและปริมาณสูงมากเพื่อให้การเผาไหม้ที่บริเวณ Combustion Zone เป็นไปอย่างรวดเร็ว บริเวณของ Combustion Zone และ Reduction Zone จะอยู่ตรงกลางของ Gasifier และมีเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ล้อมรอบอยู่ ซึ่งจะเป็นการดีเพราะว่าเป็นการป้องกันอุณหภูมิของผนังเตาไม่ให้สูงเกินไป

3. Down-draft Gasifier ดังรูปที่ 3.1 (C) แบ่งโซนเชื้อเพลิงออกเป็น 3 โซน เรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง คือ Distillation Zone, Combustion Zone และ Reduction Zone โดยอากาศจะไหลเข้ามาทางด้านบนและก๊าซที่ผลิตได้จะไหลออกมาทางด้านล่าง ซึ่งข้อดีของเครื่องผลิตแก๊สประเภทนี้ คือ บริเวณ Combustion Zone จะไม่ติดกับบริเวณส่วนที่เป็นขี้เถ้า ดังนั้นในกรณีที่อุณหภูมิของ Combustion Zone สูง ๆ จะไม่ทำให้เกิดการละลายและรวมตัวเป็นก้อนของขี้เถ้า (Clinker) และนอกจากนี้ Gasifier ชนิดนี้ยังสามารถนำความชื้นที่ได้จากการอบเชื้อเพลิงที่บริเวณ Distillation Zone มาใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ Reduction Zone ได้ด้วย



Up-draft Gasifier (A) | Cross-draft Gasifier (B) | Down-draft Gasifier (C)

รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบ Up-draft, Cross-draftและ Down-draft

(ที่มา Thomas B. Reed and Agua Das, 1988)

3.2.2 ปฏิกิริยาเคมีในแต่ละชั้นของเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

กระบวนการเกิดโปรดิวเซอร์แก๊สสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้น คือชั้นการเผาไหม้ ชั้นรีดักชั่น ชั้นไพโรไรซีสและชั้นทำให้แห้ง ปฏิกิริยาทั้ง 4 ชั้น สามารถแยกออกจากกันตามผลผลิตจากปฏิกิริยาทางเคมีที่ได้ปริมาณออกซิเจนในแต่ละชั้นที่อุณหภูมิแตกต่างกันรายละเอียดปฏิกิริยาเคมีในแต่ละชั้นมีดังนี้

Combustion Zone อากาศจะถูกส่งผ่านเข้ามาบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่เชื้อเพลิงกับอากาศสัมผัสกันเป็นจุดแรกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงซึ่งทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ตามสมการ ที่ 3.1 และ 3.2 อุณหภูมิโซนนี้จะอยู่ในช่วง 1,100°C – 1,500°C

$C + O_2 \longrightarrow CO_2$ + ความร้อน (3.1)

$H_2 + 1/2O_2 \longrightarrow H_2O$+ ความร้อน (3.2)

Reactant $\longrightarrow$ Products (3.3)

Reduction Zone คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่ได้จากชั้นการเผาไหม้จะไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชั่นซึ่งในปฏิกิริยาชั้นนี้จะเป็นแบบดูดความร้อนโดยเปลี่ยนแก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำบางส่วนให้มาเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่เกิดขึ้นในชั้นการเผาไหม้จะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนร้อนคือ ชั้นรีดักชั่นจะได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการที่ 2.4 และอุณหภูมิในโซนนี้จะอยู่ในช่วง 500-900°C

$C + CO_2$+ ความร้อน $\longrightarrow$ 2CO Boudouard Reaction (3.4)

$C + H_2O$+ ความร้อน $\xrightarrow{900^\circ C}$ CO+ H_2 Water gas Reaction (3.5)

$C + 2H_2O$+ ความร้อน $\xrightarrow{400\text{-}600^\circ C}$ CO_2+ $2H_2$ Water gas Reaction (3.6)

$CO + H_2O$+ ความร้อน $\longrightarrow$ O_2+ H_2+ความร้อน Water Shift Reaction (3.7)

$C + 2H_2$+ ความร้อน $\xrightarrow{560^\circ C}$ CH_4 Methanetion Reaction (3.8)

Distillation Zone หรือ Pyrolysis Zone ในบริเวณนี้เชื้อเพลิงแข็งจะถูกย่อยสลายด้วยความร้อนที่สูงในที่ไม่มีออกซิเจนอยู่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการดูดความร้อนโดยรับความร้อนจากชั้นรีดักชั่นเพื่อเปลี่ยนแปลงสารออแกนิกส์ในเชื้อเพลิงให้ได้สารระเหยแก๊สที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ในช่วง 200-600°C ของแข็งที่เหลือในชั้นนี้คือ คาร์บอนที่อยู่ในรูปถ่านซึ่งจะทำปฏิกิริยาในชั้นรีดักชั่นและการเผาไหม้ในกรณีใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.9 ในช่วงแรกอุณหภูมิในบริเวณนี้จะเพิ่มสูงขึ้น

จนกระทั่งสูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงจึงเริ่มสะสมความร้อนอีกครั้งเพื่อการเกิดปฏิกิริยาครั้งต่อไป

$$\text{Dry wood+ความร้อน} \longrightarrow \text{Charcoal+ CO+ } CO_2\text{+ } H_2O\text{+ } CH_4\text{+ } C_8H_8 \text{ +Pyroligneous Acids Tar} \quad (3.9)$$

Drying Zone กระบวนการนี้พลังงานส่วนหนึ่งจะใช้ในการระเหยความชื้นจากเชื้อเพลิงเมื่อกระบวนการนี้เริ่มขึ้นน้ำหนักของเชื้อเพลิงจะลดลงขนาดและสีของเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนไปโดยมีสีเข้มขึ้น พลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในการระเหยความชื้นจะใช้โดยประมาณ 1.26 kcal/kg น้ำ หรือ 5.27 kJ/kg น้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดในชั้นนี้ดังสมการที่ 3.10 และผลผลิตของชั้นนี้คือไอน้ำและสารละเหยที่ปนออกมาเล็กน้อย

$$H_2O\text{+ ความร้อน} \xrightarrow{100\text{-}135^{\circ}C} H_2O\text{ (แก๊ส)} \quad (3.10)$$

3.3 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

3.3.1 หลักการเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical energy) ของเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล (Mechanical energy) เชื้อเพลิงถูกจุดให้ลุกไหม้ด้วยความร้อนของอากาศซึ่งถูกอัดตัวให้มีกำลังดันสูง โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่สำคัญเพื่ออัดอากาศและฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อผลิตกำลังงานชิ้นส่วนนั้นได้แก่ กระบอกสูบ (Cylinder) และลูกสูบ (Piston) ซึ่งเลื่อนขึ้นลงในกระบอกสูบโดยลูกสูบจะต่อกับกลไกที่ควบคุมการเลื่อนขึ้นลงเรียกว่าก้านสูบ (Connecting rod) โดยปลายอีกด้านหนึ่งของก้านสูบจะต่อกับข้อเหวี่ยง (Crankpin) ของเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft) ที่ปลายทั้งสองด้านของก้านสูบจะมีแบริ่งรองรับข้อเหวี่ยงจะทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่กลับไปมาของลูกสูบเป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งกำลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตขึ้นจะถูกส่งผ่านเพลาข้อเหวี่ยงนี้ เครื่องยนต์ดีเซลจำแนกได้เป็น 2ประเภท คือเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ และ เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ โดยหลักการเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ มีดังนี้

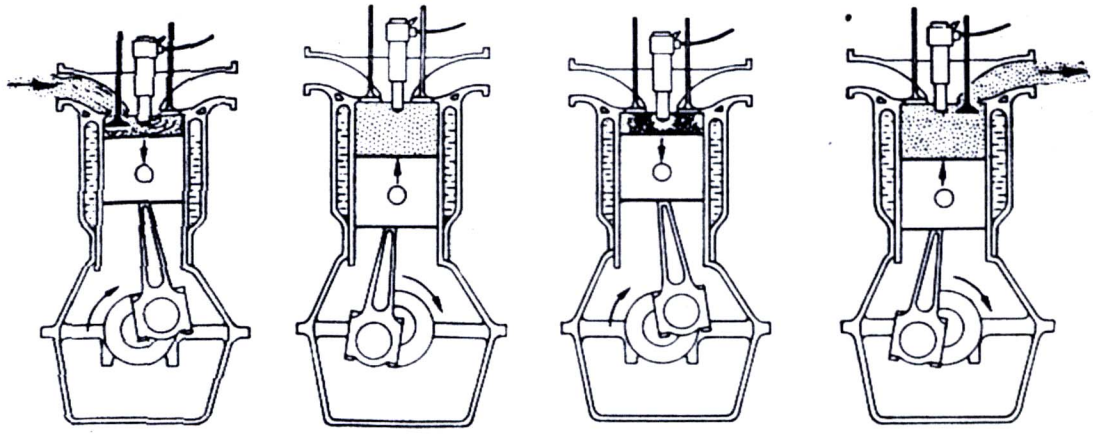
จังหวะดูด (Intake หรือ Suction หรือ Induction) วาล์วไอดีเริ่มเปิดล่วงหน้าเล็กน้อยก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะเกิดแรงดูดขึ้นภายในกระบอกสูบ อากาศจะไหลผ่านช่องวาล์วไอดีเข้ากระบอกสูบ (วาล์วไอเสียปิด) จังหวะดูดจะสิ้นสุดเมื่อวาล์วไอดีปิด ซึ่งจะปิดช้าเล็กน้อยหลังจากลูกสูบถึง ศูนย์ตายล่าง ดังนั้นเพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนมากกว่าครึ่งรอบเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.10

จังหวะอัด (Compression) ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างปริมาตรในกระบอกสูบจะลดลงและความดันของอากาศจะเพิ่มขึ้น วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด อากาศจะถูกอัดจนมีความดันเพิ่มขึ้น ถึง 16-20 เท่าของความดันบรรยากาศ (1,600-2,000 kPa) หรืออาจสูงกว่านี้ในบางเครื่องยนต์ อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงถึงประมาณ 550°C จังหวะอัดจะสิ้นสุดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์จะหมุนได้น้อยกว่าครึ่งรอบเล็กน้อย

จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน (Power หรือ Expansion) ก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อยน้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) จะถูกฉีดเข้ากระบอกสูบโดยผ่านหัวฉีด ความดันของการฉีดอยู่ในช่วง 14,000-20,000 kPa น้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเป็นฝอยละเอียดและผสมกับอากาศร้อนและจุดระเบิดเกิดการเผาไหม้ ความดันและอุณหภูมิภายในกระบอกสูบจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายบนไปแล้วเพียงเล็กน้อย ความดันในห้องเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2-3 เท่าของความดันอัด (3,200-6,000 kPa) ความดันสูงนี้จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่างซึ่งทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน พลังงานส่วนมากสะสมไว้ในล้อช่วยแรงจังหวะกำลังนี้จะสิ้นสุดเมื่อวาล์วไอเสียเริ่มเปิด ซึ่งจะเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่างเล็กน้อยเพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนไปน้อยกว่าครึ่งรอบเล็กน้อย

จังหวะคาย (Exhaust) ก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่างเล็กน้อยวาล์วไอเสียจะเปิดออก เมื่อลูกสูบเคลื่อนผ่านศูนย์ตายล่างแล้วเคลื่อนที่ขึ้นปริมาตรภายในกระบอกสูบจะเริ่มลดลง ไอเสียภายในกระบอกสูบจะถูกดันออกจากกระบอกสูบโดยผ่านช่องวาล์วไอเสียและท่อร่วมไอเสีย จังหวะคายจะสิ้นสุดเมื่อวาล์วไอเสียปิดซึ่งจะปิดหลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายบนมาแล้วเล็กน้อยและเพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนมากกว่าครึ่งรอบเล็กน้อย

การทำงานของเครื่องยนต์เมื่อครบ 4 จังหวะ เพลาข้อเหวี่ยงหมุนครบ 2 รอบ หรือเป็นมุมรวม 720 องศา และให้กำลังงาน 1 ครั้ง โดยลูกสูบเลื่อนขึ้น 2 ครั้ง เลื่อนลง 2 ครั้ง เป็นการทำงานครบ 1 วัฏจักร การทำงานครบ 1 วัฏจักร พลังงานบางส่วนของเครื่องยนต์จะสะสมไว้ในล้อช่วยแรง ซึ่งทำให้เพลาข้อเหวี่ยงยังคงหมุนต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง อัตราเร็วของเครื่องยนต์ แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ากระบอกสูบ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงถูกควบคุมโดยกลไกปั๊มหัวฉีด (Injector pump) โดยต่อกับแป้นคันเร่ง



รูปที่ 3.2 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

3.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส

3.4.1 การประเมินความดันเฉลี่ยเบรก

กำลังงานของเครื่องยนต์สามารถวัดได้จากไดนาโมมิเตอร์ดังนั้นความดันเฉลี่ยเบรกหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Heywood, 1989)

$$BMEP = \frac{Pn_R \times 10^3}{V_d \times N} \qquad (3.18)$$

เมื่อ $BMEP$ = ความดันเฉลี่ยเบรก, N/m^2

P = กำลังเครื่องยนต์, kW

V_d = ขนาดความจุกระบอกสูบ, m^3

n_R = จำนวนรอบการหมุนเพลาข้อเหวี่ยงต่อ 1 วัฏจักรการทำงาน

N = ความเร็วรอบเครื่องยนต์, rev/s

3.4.2 การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสามารถหาได้โดยการวัดปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์เทียบกับเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานภายใต้โหลดในสภาวะต่างๆ อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหาได้จากสมการดังนี้ (Siripol, 2007)

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \qquad (3.19)$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, kg/hr

m = มวลน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์, kg

t = เวลา, hr

3.4.3 การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ คืออัตราส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ให้เครื่องยนต์ต่อกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้ ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้ (Siripol, 2007)

$$SFC = \frac{m_f}{BP} \qquad (3.20)$$

เมื่อ SFC = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ, kg/kWh

BP = กำลังไฟฟ้า, kW

3.4.4 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล คือความสามารถของโปรดิวเซอร์แก๊สในการทดแทนน้ำมันดีเซลในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยมีรูปแบบสมการดังนี้ (Singh et al, 2007)

$$DR = \frac{SFC_{diesel} - SFC_{dual}}{SFC_{diesel}} * 100 \qquad (3.21)$$

เมื่อ DR = อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล %

SFC_{diesel} = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซล, kg/kWh

SFC_{dual} = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส, kg/kWh

3.4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซล

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลคืออัตราส่วนของพลังงานที่ได้จากการสันดาปของน้ำมันดีเซลเทียบกับปริมาณงานทางไฟฟ้าที่เครื่องยนต์ผลิตได้โดยมีรูปแบบสมการดังนี้ (Singh et al, 2007)

$$\eta_{th} = \frac{BP}{m_{fdiesel} \times Q_{LHV\_Diesel}} \times 100 \qquad (3.22)$$

เมื่อ m_{f_diesel} = อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล, kg/s

Q_{LHV_diesel} = ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล, kJ/kg

3.4.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซล/โปรดิวเซอร์แก๊ส

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สคืออัตราส่วนของพลังงานที่ได้จากการสันดาปของน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สเทียบกับปริมาณงานทางไฟฟ้าที่เครื่องยนต์ผลิตได้โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สมีรูปแบบสมการดังนี้ (Singh et al, 2007)

$$\eta_{th} = \frac{BP}{m_{fdiesel} \times Q_{Diesel} + m_{fgas} \times Q_{gas}} \times 100 \qquad (3.23)$$

เมื่อ m_{f_gas} = อัตราความสิ้นเปลืองโปรดิวเซอร์แก๊ส, Nm^3/s

Q_{LHV_gas} = ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส, kJ/Nm^3

3.5 มลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์

3.5.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เกิดเนื่องจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปเกิดจากมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าส่วนผสมหนา ซึ่งปกติแล้วจะไม่เกิดก๊าซนี้เมื่อส่วนผสมบาง แต่ในความเป็นจริงสามารถเกิดขึ้นแม้มีส่วนผสมบาง สาเหตุการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้แก่เกิดจากการดับของเปลวไฟขณะกระบวนการเผา

ไหม้เนื่องจากไอดีที่อยู่บริเวณติดกับผนังห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากการจ่ายน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการ แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หมด

3.5.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X)

เกิดจากการสันดาปในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง หมายความว่าถ้ามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดได้นั้นต้องมีปัจจัยอยู่ 2 อย่าง คือ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้และอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับอัตราส่วนผสมที่ระดับต่างๆ กัน จะมีผลทำให้เกิดก๊าซในปริมาณที่ต่างกัน

3.5.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

เกิดจากกระบวนการสันดาปที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ในกระบวนการสันดาปที่สมบูรณ์ ออกซิเจน (O_2) ที่ได้จากอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน (H_2) ในน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำและคาร์บอน (C) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

3.5.4 ควันดำ (Black smoke)

เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันในห้องสันดาปที่มีความร้อนไม่ทั่วถึง ทำให้ไม่สามารถเผาน้ำมันเชื้อเพลิงได้หมด สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ จะเกิดการคายไฮโดรเจน เนื่องจากในห้องสันดาปมีแรงดันและมีอุณหภูมิสูง ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิสระและรวมตัวกันกับเม็ดคาร์บอนออกมาในรูปที่ควันดำ การเกิดควันดำจากเครื่องยนต์ดีเซลมาก เนื่องจากน้ำมันดีเซลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีไขน้ำมัน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงปนอยู่มากและห้องสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซลมีแรงดันและมีอุณหภูมิสูงเหมาะแก่การเกิดปฏิกิริยาคายไฮโดรเจน

3.5.5 มลพิษทางเสียง

มลพิษทางเสียงหมายถึงสภาพแวดล้อมที่มีเสียงดังเกินค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดอันก่อให้เกิดความรำคาญ สร้างความรบกวน ทำให้เกิดความเครียดทั้งทางร่างกายและจิตใจ ทำให้ตกใจและอาจ

ถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้เช่น เสียงที่ดังมากหรือเสียงที่ดังต่อเนื่องยาวนานไม่จบสิ้น แหล่งที่ก่อให้เกิดเสียงรบกวนอันเป็นมลพิษทางเสียงส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งกำเนิดของมลพิษทางเสียงแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

➢ ประเภทเคลื่อนที่ ได้แก่

- เสียงจากยานพาหนะทางบก ได้แก่ รถไฟ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ เป็นต้น
- เสียงจากยานพาหนะทางน้ำ เช่น เรือหางยาว เป็นต้น
- เสียงจากยานพาหนะทางอากาศ เช่น เครื่องบิน เป็นต้น
- เสียงจากเครื่องกลหนักที่ใช้ในการก่อสร้าง
- เสียงจากเครื่องขยายเสียงบนรถโฆษณาเคลื่อนที่

➢ ประเภทอยู่กับที่ ได้แก่

- สถานประกอบการต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม อู่ซ่อมรถยนต์ โรงมหรสพ และสวนสนุก ในศูนย์การค้า เป็นต้น
- เสียงจากเครื่องมือกลที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เครื่องเจาะคอนกรีตหรือเครื่องไสเป็นต้น
- เครื่องขยายเสียงตามสถานที่ต่างๆ สถานเริงรมย์ ฯลฯ
- เสียงจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า ฟ้าร้อง ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

การวัดความดังหรือขนาดของเสียงเป็นการวัดในลักษณะเปรียบเทียบกับการได้ยินของคน โดยมีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel; dB) ระดับเสียงที่ปลอดภัยในการได้ยิน คือ เสียงที่มีความดังไม่เกิน 85dB แต่เมื่อสัมผัสวันละ 8hr จะได้รับอันตรายซึ่งอันตรายที่เกิดจากมลพิษของเสียงมักจะไม่เห็นผลโดยทันที แต่ถ้าได้สัมผัสวันละหลายๆชั่วโมงเป็นเวลานานๆ ก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (อีพีเอ) ได้สรุปว่า ผู้ที่ได้ยินเสียงตลอด 24 hr เฉลี่ยเกิน 70 dB จะกลายเป็นคนหูตึงภายในเวลา 40 ปี เสียงที่ดังมากเกินไปเป็นปัญหาสำคัญ และจะเพิ่มอันตรายมากขึ้นทุกที องค์การอนามัยโลกได้กำหนดว่าเสียงที่เป็นอันตรายได้แก่เสียงที่ดังเกิน 85 dB ที่ทุกความถี่ ถ้าสัมผัสนานเกินไปหรือได้ยินติดต่อกันเป็นเวลานานกว่าวันละ 2.5hr จะทำให้ประสาทหูเสื่อมและจากการสำรวจเรื่องเสียงจากแหล่งต่างๆ พบว่าเสียงยานพาหนะตามท้องถนนในช่วงกลางวันในกรุงเทพมหานครมีความดังถึง 95 dB และในเวลากลางคืนมีความดังถึง 97 dB เสียงของรถยนต์เมื่อวัดห่างจากตัวรถ 4.6 m มีความดัง 85 dB รถบรรทุกดัง 96 dB และรถสามล้อเครื่องดัง 92 dB

เสียงเป็นพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนและทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอนุภาคของก๊าซในบรรยากาศแล้วมากระทบหูทำให้ได้ยินเสียง เสียงมีคุณสมบัติเฉพาะตัว 2 ประการ คือความถี่ของเสียงและความดังของเสียงโดยความถี่ของเสียงที่มีความถี่มากจะเป็นเสียงสูงและเสียงที่มีความถี่น้อยจะเป็นเสียงต่ำ

มนุษย์ได้ประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือสำหรับวัดความถี่ของเสียงขึ้นเรียกว่า เฮิรตซ์ ใช้วัดความถี่ของเสียงเป็นครั้งต่อวินาที เสียงที่อยู่ในระดับปกติที่คนเราจะได้ยินมีความถี่ระหว่าง 20-20,000 ครั้งต่อวินาที เสียงที่ความถี่ต่ำกว่า 20 ครั้งต่อวินาที จะมีลักษณะเป็นความสั่นสะเทือน ซึ่งเมื่อกระทบกับร่างกายบ่อยครั้งและมีขนาดรุนแรงก็เป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายและจิตใจได้เช่นกับเสียงที่มีความถี่เกิน 20,000 ครั้งต่อวินาที เสียงในระดับปกติที่มนุษย์เราได้ยินอยู่ในระดับความดัง 0-27 dB และจะต้องไม่เกิน 85 dB เสียงที่มีความดังเกิน 85 dB เป็นเสียงที่ทำความรบกวนและเป็นอันตรายต่อหูและอวัยวะอื่นถึงขั้นพิการได้

บทที่ 4

ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF-5 กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีระเบียบวิธีวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่

<u>ส่วนที่ 1</u> การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5

การดำเนินงานส่วนนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 กับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ Downdraft Gasifier

ตัวแปรที่ผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตแก๊ส ได้แก่

- ชนิดและขนาดเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของขยะ RDF-5
- ความชื้นของเชื้อเพลิง RDF-5
- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงขยะ RDF-5
- อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และในส่วน Zone ต่างๆ ของระบบ

โดยประสิทธิภาพจะประเมินจากองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ฝุ่นและทาร์ที่เจือปนอยู่ในโปรดิวเซอร์แก๊ส

<u>ส่วนที่ 2</u> การศึกษาแนวทางการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5

การดำเนินงานส่วนนี้เป็นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 นำแก๊สที่ได้ต่อกับเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าชนิดเชื้อเพลิงคู่ ระหว่างน้ำมันดีเซลและแก๊สเชื้อเพลิง และศึกษาอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล รวมทั้งสมรรถนะของเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เพลิงคู่

ตัวแปรที่จะศึกษาด้านสมรรถนะได้แก่

- กำลังเครื่องยนต์

- องค์ประกอบแก๊สไอเสียเช่น CO_2 , CO, NO, NO_x
- ระดับเสียงเครื่องยนต์
- อุณหภูมิไอเสีย
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
- สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงหลัก (น้ำมันดีเซล)

<u>ส่วนที่ 3</u> การศึกษาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5

การดำเนินงานส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง โดยจะมีการศึกษาถึงผลตอบแทนภายใน (IRR), อัตราการคืนทุน โดยจะประเมินทั้งระบบที่มีส่วนเพิ่ม (Adder) และการใช้งานปกติ, รวมถึงรายได้จากการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยหรือชุมชน และมีการศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นจากไอเสียเครื่องยนต์ และแก๊สอื่นๆ ในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

<u>ส่วนที่ 4</u> เสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการขยะที่เหมาะสมระดับมหาวิทยาลัย

การดำเนินงานส่วนนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพทั้งระบบและเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการขยะในระดับมหาวิทยาลัย พร้อมทั้งเผยแพร่ด้วยการจัดประชุมให้กับหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งหน่วยงานทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเข้าร่วม ประมาณ 100 คน

4.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยของโครงการ แบ่งออกเป็น 7 กิจกรรมหลักๆ คือ

กิจกรรมที่ 1 รวบรวมข้อมูลศักยภาพด้านขยะภายในมหาวิทยาลัย

กิจกรรมที่ 2 ติดตั้งโรงไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

กิจกรรมที่ 3 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง

กิจกรรมที่ 4 ทดสอบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์ต้นทุนและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากไอเสียเครื่องยนต์และองค์ประกอบของแก๊สอื่นๆ

กิจกรรมที่ 6 จัดทำรูปแบบการบริหารจัดการขยะระดับมหาวิทยาลัย

กิจกรรมที่ 7 ประชุมเผยแพร่และสรุปจัดทำรายงาน

รายละเอียดของแต่ละกิจกรรมมีดังนี้

กิจกรรมที่ 1 รวบรวมข้อมูลศักยภาพด้านขยะภายในมหาวิทยาลัย

สอบถามข้อมูลเบื้องต้นกับหน่วยงานที่ทำหน้าที่ดูแลและจัดการด้านขยะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในเรื่องของกระบวนการจัดเก็บ การคัดแยก ค่าใช้จ่ายรวมถึงปริมาณขยะที่มีต่อวันของมหาวิทยาลัยหลังจากได้ข้อมูลจากส่วนของมหาวิทยาลัยแล้วจึงทำการตรวจวัดจริงโดยนำรถที่เก็บขยะของมหาวิทยาลัยไปชั่งน้ำหนักในแต่ละวัน โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากมหาวิทยาลัย

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดแล้วทำการตรวจวัดองค์ประกอบของขยะที่เกิดขึ้นโดยกำหนดให้ใช้รถขยะ 1 คันต่อการหาองค์ประกอบขยะ 1 ครั้ง ซึ่งตรวจหาองค์ประกอบขยะจำนวน 1 สัปดาห์

กิจกรรมที่ 2 ติดตั้งโรงไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

เป็นการนำโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีอยู่แล้วเดิมมาใช้ในการทดสอบกับการใช้เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่ในการผลิตไฟฟ้า

กิจกรรมที่ 3 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบแบ่งออกเป็นส่วนที่หนึ่งการทดสอบด้วยไม้โดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบเป็นอัตราการไหลของอากาศ และ 48.60 m^3/hr เพื่อให้ได้ปริมาณของโปรดิวเซอร์แก๊สที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการทดสอบเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ตามเงื่อนไขของการทดสอบด้วยไม้โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพคือ

- ชนิดและขนาดเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของขยะ RDF-5
- ความชื้นของเชื้อเพลิง RDF-5
- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงขยะ RDF-5
- อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และในส่วน Zone ต่างๆ ของระบบ

และประสิทธิภาพจะประเมินจากองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ฝุ่นและทาร์ที่เจือปนอยู่ในโปรดิวเซอร์แก๊ส

กิจกรรมที่ 4 ทดสอบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

ทำการเลือกสภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตโปรดิเซอร์แก๊สจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แล้วจึงนำสภาวะนั้นไปใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าโดยการต่อเข้ากับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่ระหว่างน้ำมันดีเซลและก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งจะทำการศึกษาถึงอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล สมรรถนะของเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เพลิงคู่ ตัวแปรที่จะศึกษาด้านสมรรถนะได้แก่

- กำลังเครื่องยนต์
- องค์ประกอบแก๊สไอเสียเช่น CO_2 , CO, NO, NO_x
- ระดับเสียงเครื่องยนต์
- อุณหภูมิไอเสีย
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
- สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงหลัก (น้ำมันดีเซล)

กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์ต้นทุนและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากไอเสียเครื่องยนต์และองค์ประกอบของแก๊สอื่นๆ

วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง โดยจะมีการศึกษาถึงผลตอบแทนภายใน (IRR) , อัตราการคืนทุน โดยจะประเมินทั้งระบบที่มีส่วนเพิ่ม (Adder) และการใช้งานปกติ, รวมถึงรายได้จากการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยหรือชุมชน

ศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นจากไอเสียเครื่องยนต์และแก๊สอื่นๆ ในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

กิจกรรมที่ 6 และ 7 จัดทำรูปแบบการบริหารจัดการขยะระดับมหาวิทยาลัยประชุมเผยแพร่และสรุปจัดทำรายงาน

ประเมินประสิทธิภาพทั้งระบบและเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการขยะในระดับมหาวิทยาลัย พร้อมทั้งเผยแพร่ด้วยการจัดประชุมให้กับหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งหน่วยงานทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเข้าร่วม ประมาณ 100 คน

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

การดำเนินการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 เครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สกำเนิดไฟฟ้าขนาด 32 kW เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส เครื่องวัดอุณหภูมิ โดยรายละเอียดเครื่องมือวัดและติดตั้งเครื่องมือมีดังนี้

4.3.1 ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลมีอุปกรณ์หลักอยู่ 3 ส่วนคือ เครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ชุดลดอุณหภูมิ และชุดทำความสะอาดโปรดิวเซอร์แก๊ส ดังรูปที่ 4.1 โดยเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้เป็นแบบชนิดไหลลง เติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง มีห้องเผาไหม้เป็นรูปกรวย คอคอดของมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14.83cm บรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทไม้ได้ประมาณ 40-50 kg ชุดลดอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊ส เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างโปรดิวเซอร์แก๊สกับน้ำ โดยท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.08cm เชื่อมต่อระหว่างไซโคลนดักฝุ่นกับปั๊มอากาศ แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในถังโลหะขนาด 90L มีปั๊มน้ำขนาด 0.5kW สำหรับสร้างอัตราการไหลให้น้ำหล่อเย็นไหลเวียน ระบบทำความสะอาดโปรดิวเซอร์แก๊สมีอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ส่วนคือ ไซโคลน สครับเบอร์ กรองชีวมวล และกรองโปรดิวเซอร์แก๊สแบบกระดาษ โดยไซโคลนดักฝุ่น ทำหน้าที่ดักอนุภาคฝุ่นก่อนเข้าระบบทำความสะอาด สครับเบอร์หรือเครื่องจับฝุ่นแบบเปียกใช้แบบเวนทูรี่ที่ทำงานร่วมกับสครับเบอร์แบบหอแพคและเครื่องแยกความชื้น โดยระบบนี้มีหลักการทำงานโดยใช้ปั๊มน้ำที่มีแรงดันประมาณ 2 บาร์ ต่อร่วมกับหัวฉีดน้ำแล้วฉีดเข้าไปในท่อสครับเบอร์แบบเวนทูรี่และ สครับเบอร์แบบหอแพคพร้อมกันเพื่อทำความสะอาดและการลดอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สในครั้งที่ 2 กรองชีวมวลใช้ขี้เลื่อยทำหน้าที่ในการกรองฝุ่น

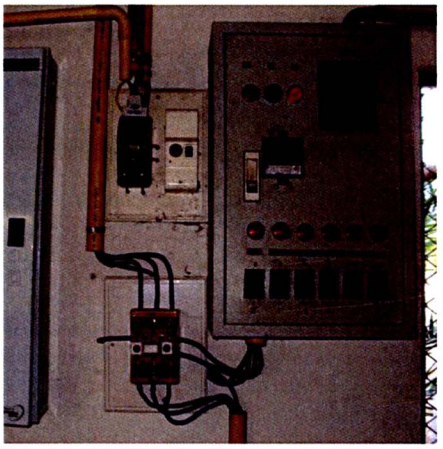
อนุภาคฝุ่นและความชื้นของโปรดิวเซอร์แก๊สและกรองแบบกระดาษทำหน้าที่ในการกรองโปรดิวเซอร์แก๊สครั้งสุดท้ายโดยมีประสิทธิภาพการกรอง 0.5 -1 ไมครอน

รูปที่ 4.1 ชุดผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

4.3.2 เครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้า Caterpillar รุ่น 11034A ขนาด 62 hp ดังรูปที่ 4.2 โดยได้ติดตั้งชุดกำเนิดไฟฟ้าขนาด 32 kW ซึ่งเป็นแบบ 3 Phase 4 wire แรงดันไฟฟ้า 380V ความถี่ 50 Hz ต่อร่วมกับชุดภาระโหลด แบบลวดความร้อน (heater) ขนาด 25 kW มีพัดลมเป่าระบายความร้อน ดังรูปที่ 4.3 ในส่วนของเครื่องยนต์ดีเซลไม่มีการดัดแปลงชิ้นส่วนอะไหล่ รายละเอียดข้อมูลเทคนิคของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.2 เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส



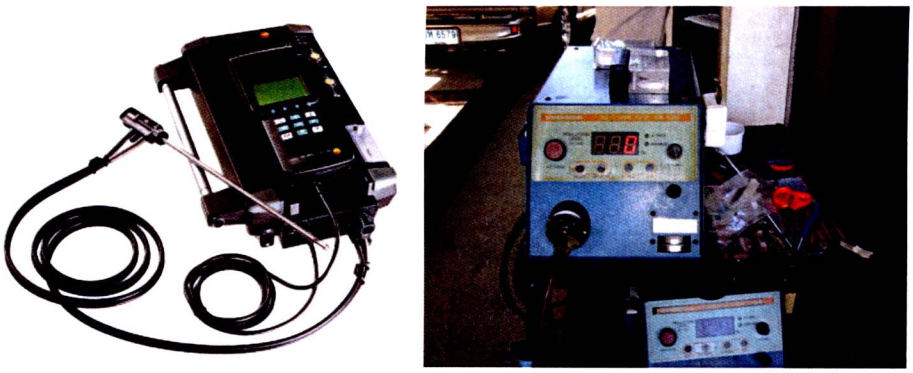
รูปที่ 4.3 ภาระโหลดแบบลวดความร้อนและชุดควบคุมโหลด

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดข้อมูลเทคนิคเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า Caterpillar ขนาด 32kWe

เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า	รายละเอียด
Engine make & Model	Perkins 1103A
Cylinder/Alignment	4/ Inline.
cycle	4 stroke
Compression Ratio	17.25:1
Bore	105mm. (4.1in)
Stroke	127mm. (5.0in)
Cylinder Capacity	3,300cc. (201in^3)
Engine Speed	1500 rpm
Gross Engine Power	62 hp (46.4 kW)
Cooling System Capacity	10.2 litre
Total Oil Capacity	8.3 litre
Oil Type	API CG4 15W-40
Fuel Consumption	5.1 Litre/hr @ Load 50%
Alternator manufacturer	Olympian 3 phases 50 Hertz 380V 40 kVA

4.3.3 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

ใช้สำหรับวัดแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สซึ่งสามารถวัดค่าองค์ประกอบแก๊สไอเสีย เช่น ก๊าซ O_2, CO_2, NO, NO_X และ SO_2 ดังรูปที่ 4.4 ก๊าซ O_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 - 25%Vol โดยมีความละเอียดในการแสดงผล 0.01 %Vol ก๊าซ CO_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 ถึง CO_2max Vol%CO2. โดยมีความละเอียด 0.01 %Vol ก๊าซ CO สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 - 10,000 ppm โดยมีความละเอียดแสดงผล 1 ppm ก๊าซ NO สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 3,000 ppm โดยมีความละเอียดในการแสดงผล 1 ppm ก๊าซ NO_X สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 5000 ppm โดยมีความละเอียดในการแสดงผล 0.1 ppm ก๊าซ SO_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 5,000 ppm โดยมีความละเอียดในการแสดงผล 1 ppm เครื่องตรวจวิเคราะห์ควันดำในไอเสียใช้ผลิตภัณฑ์ของ HESHBON รุ่น HBN 1500B ชนิดวัดควันดำด้วยกรองสะท้อนแสงแบบปั๊มแสดงผลทางหน้าปัด มีช่วงการวัดควันดำ 0-100% มีความละเอียด 0.1% เครื่องวิเคราะห์ไอเสียและวิเคราะห์ควันดำเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสียและควันดำ

4.4.4 ชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

เครื่องมือวัดอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สประกอบด้วยถังบรรจุเชื้อเพลิง เครื่องชั่ง น้ำหนักเชื้อเพลิงและนาฬิกาจับเวลา โดยเครื่องชั่งน้ำหนักเป็น ผลิตภัณฑ์ของ Jadever ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 1500 g และต่ำสุด 25 g ความละเอียด 0.1 g ค่าความคลาดเคลื่อน 0.5 g และในส่วน การติดตั้งชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ชุดวัดอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

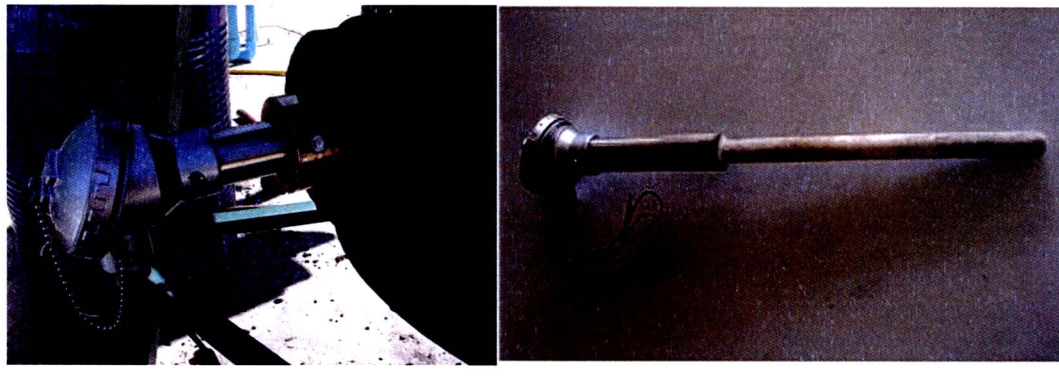
4.3.5 ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส

ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างโปรดิวเซอร์แก๊สเพื่อนำไปทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติของโปรดิวเซอร์แก๊ส การเก็บโปรดิวเซอร์แก๊สได้ใช้ถุงเก็บขนาด 1 L ติดตั้งร่วมกับชุดท่อเก็บโปรดิวเซอร์แก๊สดังรูปที่ 4.6 ซึ่งการติดตั้งถุงเก็บแก๊สทำโดยการนำท่อซิลิโคนต่อระหว่างถุงเก็บกับชุดท่อเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยมีวาล์วควบคุมการปิด-เปิดการนำโปรดิวเซอร์แก๊สเข้าถุง

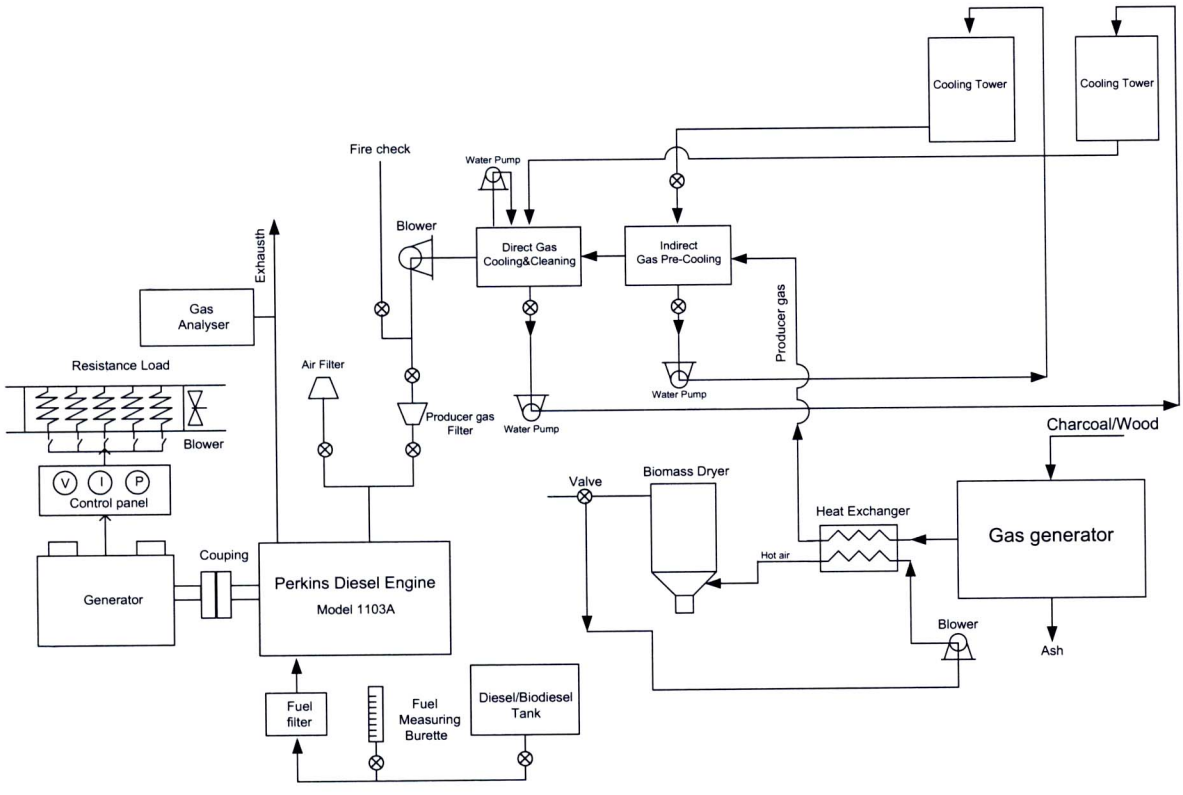
รูปที่ 4.6 ถุงเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส

4.3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ

การตรวจวัดอุณหภูมิของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สมีทั้งหมด 6 จุด ประกอบด้วยการตรวจวัดเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส 4 จุด จุดโปรดิวเซอร์แก๊สออก 1 จุด และอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์ 1 จุด เครื่องวัดอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สในโซนห้องเผาไหม้และโซนรีดักชั่นใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ type R ชนิดทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1,400°C ในส่วนของโซนไพโรไรซีส โซนอบแห้งและระบบทำความสะอาดและลดอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ type K ชนิดทนอุณหภูมิได้สูงสุด 600°C ดังรูปที่ 4.7 ไดอะแกรมการเก็บข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 เครื่องวัดอุณหภูมิระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊ส



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การประเมินปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใช้วิธีการสอบถามและชั่งน้ำหนักขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยโดยใช้รถเก็บขยะของทางเทศบาลแม่โจ้ในการเก็บข้อมูลและใช้การคัดแยกขยะเพื่อหาสัดส่วนของขยะและหาองค์ประกอบโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้

- การสุ่มตัวอย่างที่จะใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องคัดเลือกให้ได้ตัวแทนที่ดีที่สุด และต้องพยายามทำให้กองขยะรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ให้มากที่สุด
- ใช้ขยะจากรถยนต์เก็บขนขยะที่เก็บขนขยะจาก มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จำนวน 1 คัน

- สุ่มตัวอย่างขยะมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร
- ทดสอบหาความหนาแน่น
- แบ่งกองขยะออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) เลือกส่วนตรงกันข้ามมารวมกันแล้วทิ้งออกไปสองส่วน
- Quartering ต่อไปหลาย ๆ ครั้งจนกระทั่งเหลือขยะประมาณ 100 ลิตรแล้วจึงทำการคัดแยกเพื่อหาองค์ประกอบที่จะนำมาผลิตเป็น RDF-5

ส่วนที่ 2 การประเมิณศักยภาพของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

ใช้การหาคุณสมบัติตามมาตรฐาน RDF-5 ในส่วนของ ค่าความหนาแน่น ความชื้นและค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ส่วนที่ 3 การประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

ในการประเมินจะประเมินจากค่า ความดันเฉลี่ยเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ดีเซลโดยจะใช้สมาการในบทที่ 3 ในการประเมิน

ส่วนที่ 4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า จะวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการการผลิตไฟฟ้าโดยจะมีการศึกษาถึงผลตอบแทนภายใน (IRR) อัตราการคืนทุนโดยจะประเมินทั้งระบบที่มีส่วนเพิ่ม (Adder) และการใช้งานปกติ

บทที่ 5
ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาวิจัยการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 แบ่งออกเป็น 5 ส่วน หลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 การศึกษาปริมาณขยะมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ส่วนที 2 การประเมินศักยภาพของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

ส่วนที่ 3 การประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

ส่วนที่ 4 การประเมินมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้า

ส่วนที่ 5 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การประเมินปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

5.1 การศึกษาปริมาณขยะมหาวิทยาลัยแม่โจ้

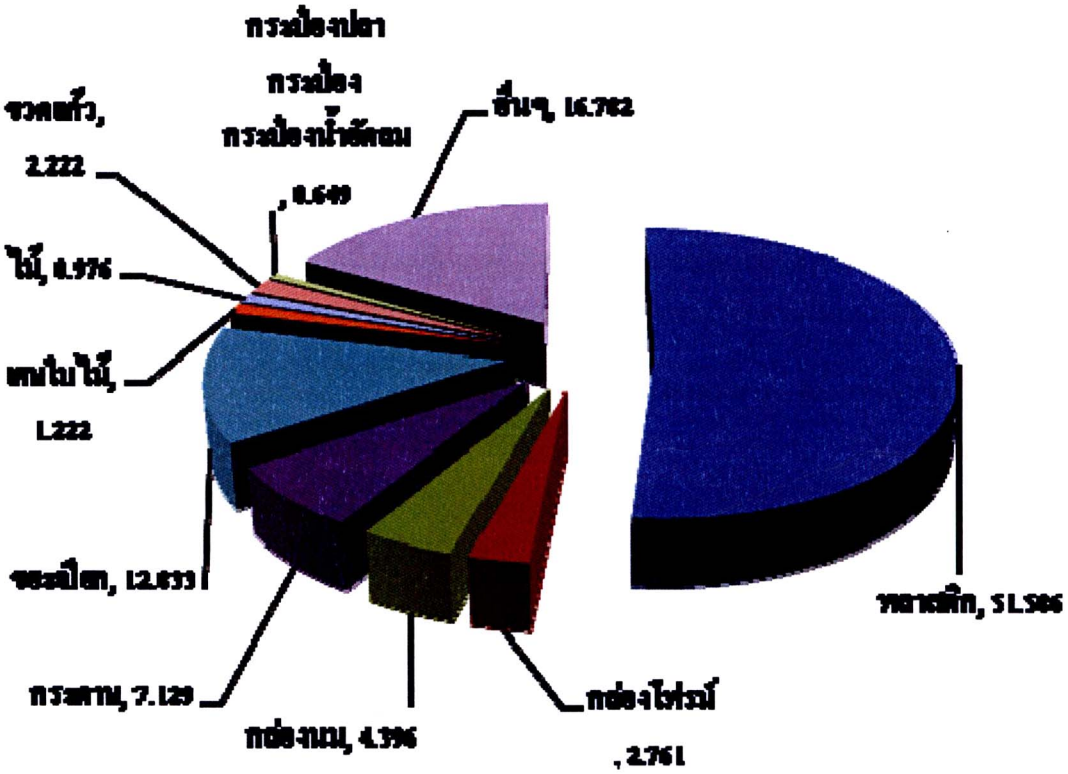
สำรวจข้อมูลด้านขยะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า มีปริมาณขยะรวมเฉลี่ยต่อวัน 1,555 kg/day โดยส่วนใหญ่เป็นขยะแห้งและรองลงมาจะเป็นขยะเปียกดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งขยะเปียกทางมหาวิทยาลัยจะนำไปใช้ในโครงการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ขยะแห้งจะนำไปทิ้งรวมกับเทศบาลแม่โจ้

องค์ประกอบของขยะแห้งส่วนที่นำไปทิ้ง พบว่า มีขยะจำพวก พลาสติก กล่องโฟม กล่องนม เศษกระดาษ เศษอาหาร เศษผลไม้ ใบไม้ เศษไม้ ขวดแก้ว โลหะและอื่นๆ ที่ไม่สามารถแยกประเภทได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.1

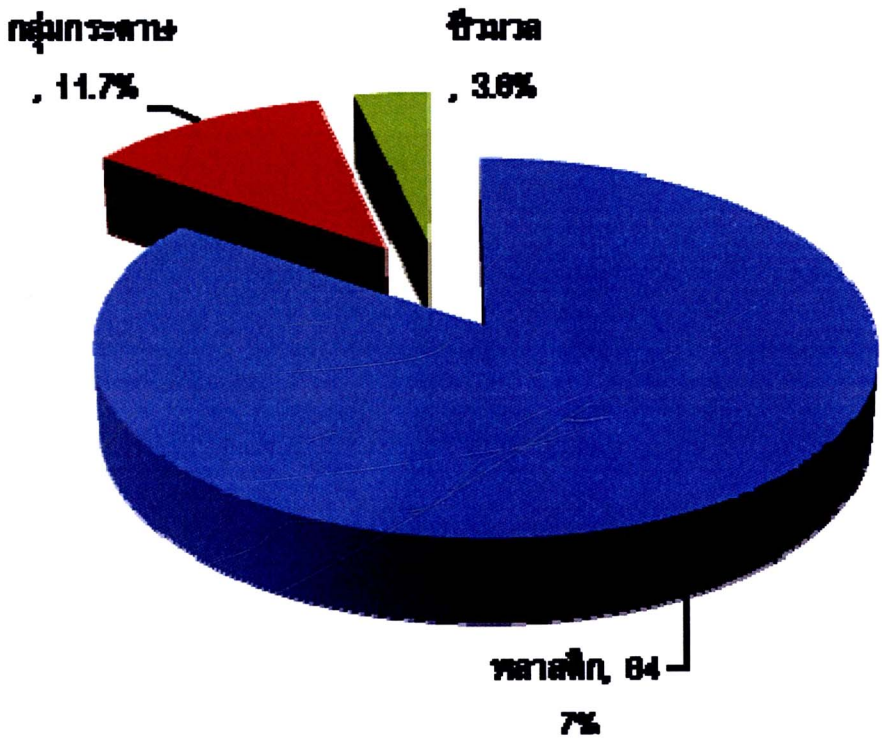
จากข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ต้องแยกวัสดุที่สามารถเผาไหม้ได้มาใช้ พบว่า มีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พลาสติก เศษกระดาษและชีวมวลคิดเป็น พลาสติก 84.7% กระดาษ 11.7% และชีวมวล 3.6%

ตารางที่ 5.1 ปริมาณขยะภายใน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชนิด	ปริมาณ kg/day
แห้ง	1,530
เปียก	325
รวม	1,555



รูปที่ 5.1 แสดงองค์ประกอบของขยะมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (%)



รูปที่ 5.2 องค์ประกอบของขยะที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)

<u>ส่วนที่ 2</u> การประเมินศักยภาพของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)

ขยะภายหลังจากคัดแยก นำส่วนที่เป็นขยะส่วนที่ติดไฟได้มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยพบว่าเมื่อนำพลาสติก กระดาษ และใบไม้ มาบดย่อยในอัตราส่วน 1:1:1 และนำมาผสมกับตัวประสานปูนขาวและแป้งมันสำปะหลัง 10 % พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานขยะ RDF-5 โดยมีค่าความร้อน 19.11 MJ/kg ค่าความหนาแน่นจริง 1042.45 kg/m3 และค่าความชื้น 4.39 % wb ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งการนำขยะมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงนอกจากช่วยในการกำจัดขยะแล้วยังเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม

รูปที่ 5.3 เชื้อเพลิงขยะ (RDF-5) ขนาด 3cm x 3cm x 5cm

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)

คุณสมบัติ	RDF-5	เกณฑ์
ค่าความร้อน (MJ/kg)	19.105	13-16[(2)]
ความหนาแน่น(kg/m^3)	1,042.45	600[(1)]
ความชื้น (wb%)	4.39	<10%[8]

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),2547[1], Jidapa Nithikul,2007[2]

5.3 องค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5)

จากการศึกษาองค์ประกอบของโปรดิเซอร์แก๊สที่ได้จากกระบวนการ Gasification พบว่าแก๊สที่ได้ประกอบด้วย แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) แก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาบอนไดอกไซค์ (CO_2) ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงขยะ (RDF-5) โดยปริมาตร

องค์ประกอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. Hydrogen, H_2	4.5	7	4.3
2. Oxygen, O_2	5.3	7.1	6.5
3. Nitrogen, N_2	62	61	63
4. Carbon monoxide, CO	24	20	22
5. Methane, CH_4	0	0.58	0
6. Carbon dioxide, CO_2	4.6	4.9	4.3

พิจารณาส่วนประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส จากตารางเห็นว่าตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มากกว่าตัวอย่างที่ 2 เป็นผลจากความชื้นของเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาใน Reduction Zone ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) รวมตัวกับความชื้นทำให้เกิด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) ทำให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อยลง

5.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส

จากการประเมินค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สโดยใช้องค์ประกอบแก๊สที่วิเคราะห์ได้พบว่า แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงขยะ(RDF-5) มีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,231.128 kJ/Nm^3 เมื่อเทียบกับค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงอื่นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สที่เชื้อเพลิงต่างกัน

โปรดิวเซอร์แก๊ส	ค่าความร้อน kJ/Nm^3
RDF-5	3,231.13
ไม้	3,216.97
ถ่าน	3,381.46

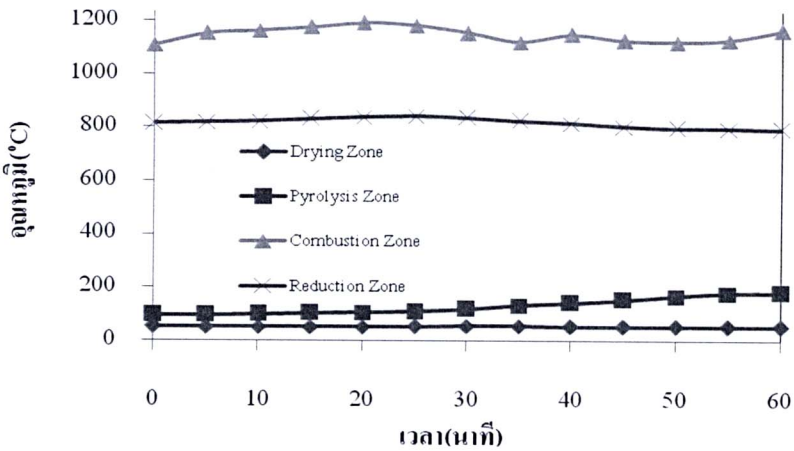
ส่วนที่ 3 การประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

5.5 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส

การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สในโครงการนี้ได้ใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์ 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล และดีเซล/โปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 โดยได้ประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า และมลพิษไอเสียเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 โดยมีผลการประเมินดังต่อไปนี้

5.5.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิในชั้นต่างๆ ของเตาผลิตแก๊สชีวมวล

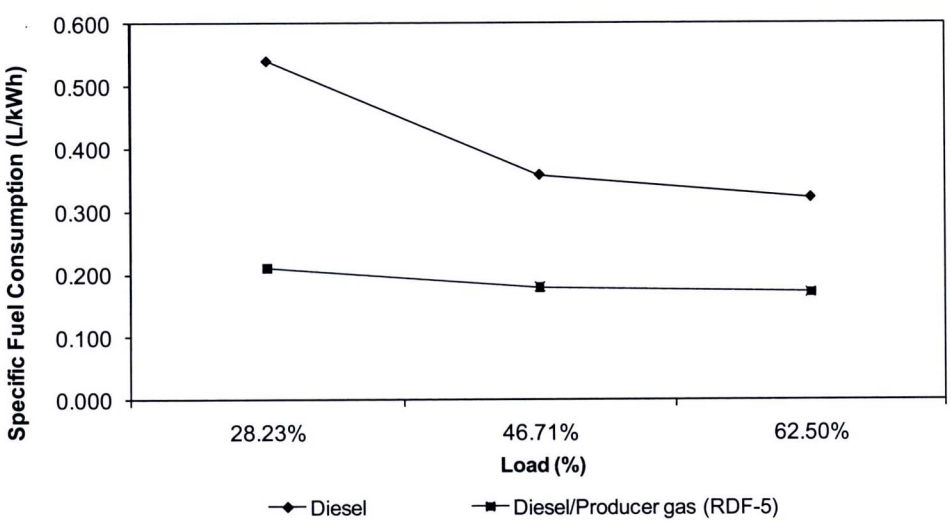
จากการทดสอบการนำแท่งขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มาเป็นเชื้อเพลิงผลิตแก๊สชีวมวล ในเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงพบว่าอุณหภูมิในชั้นเผาไหม้ (Combustion zone) มี1,100-1,200 °C ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงพบว่ามีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งการที่เตามีอุณหภูมิในชั้นเผาไหม้สูงเกินกว่า 850 °C ตามทฤษฎีการเผาไหม้แสดงว่าไดออกซินซึ่งอยู่ในแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงพวกพลาสติกเกิดการสลายตัว นอกจากนั้นแล้วเมื่อนำแก๊สที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งอุณหภูมิห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าสูงกว่า 1000 °C ก็เป็นการสลายไดออกซินที่อาจหลงเหลือติดมากับแก๊สอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 5.4 การกระจายอุณหภูมิในชั้นต่าง ๆ ภายในเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง

5.5.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

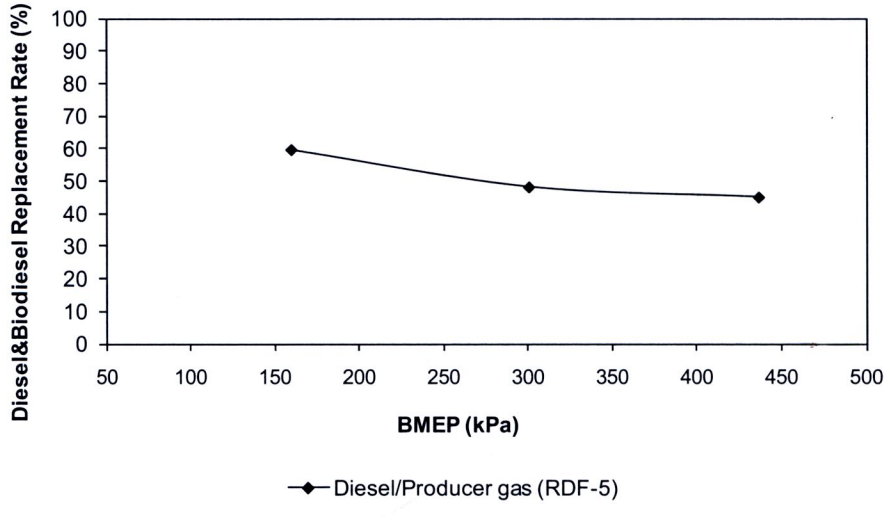
การประเมินผลการทดสอบอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 32kWe เป็นเครื่องทดสอบ โดยแบ่งโหลดทดสอบเป็น 28.23%, 46.71% และ62.50% คิดเป็นกำลังไฟฟ้า 9.03kWe, 14.94kWe,และ 20kWe, ตามลำดับ การวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใช้วิธีการชั่งน้ำหนักแล้วเปรียบเทียบกับเวลา โดยมีมิเตอร์ทางไฟฟ้าเป็นตัวบอกปริมาณการใช้ไฟฟ้า จากการทดสอบพบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานมีผลให้อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภท ลดต่ำลง ดังรูปที่ 5.5 โดยที่ภาระโหลดการทำงานที่ 28.23% มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุด และที่ภาระโหลดการทำงานที่ 62.50% มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุด ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการทดสอบของ (Siripol, 2007) อัตราการใช้เชื้อเพลิงดีเซลจำเพาะที่โหลด 28.23%, 46.71% และ62.50% เท่ากับ 0.540 L/kWh, 0.359 L/kWh และ 0.323 L/kWh ตามลำดับ การน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 100% โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 44-59% อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้น้ำมันดีเซลร่วมโปรดิวเซอร์แก๊สจาก RDF-5 เท่ากับ 0.210 L/kWh, 0.180 L/kWh และ 0.171 L/kWh ที่ภาระโหลดทำงาน 28.23%, 46.71% และ62.50% ตามลำดับ รายละเอียดการประเมินอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะดังตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.5 อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเชื้อเพลิง

5.5.3 สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล

การประเมินสัดส่วนการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลหาได้จากอัตราส่วนของผลต่างอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจาก RDF-5 เทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยทำการทดสอบที่ภาระโหลดการทำงาน 28.23%, 46.71% และ 62.50% ซึ่งพบว่าการเพิ่มภาระโหลดการทำงาน ส่งผลให้ความดันเบรกเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5.6 โดยที่ภาระโหลดการทำงาน 62.50% ให้ค่าความดันเบรกเฉลี่ยสูงสุด 436.36 kPa และที่ภาระโหลดการทำงาน 28.23% ให้ค่าความดันเบรกเฉลี่ยต่ำสุด 160.00kPa การใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 ให้สัดส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด 59.71% ที่ภาระโหลดการทำงาน 28.23% และที่ภาระโหลดการทำงาน 62.50% การใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 ให้สัดส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลต่ำสุด 44.99%

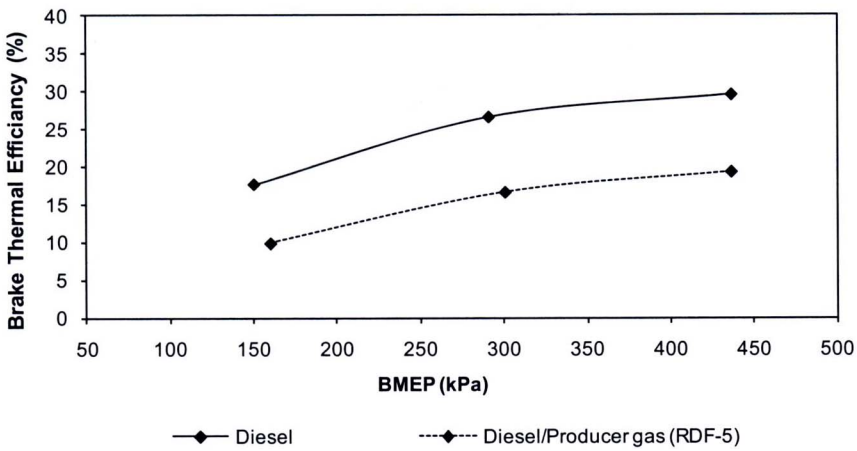


รูปที่ 5.6 สัดส่วนการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

5.5.4 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าหาได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่ระบบผลิตได้ต่อพลังงานที่ใส่ให้กับระบบ พลังงานที่ผลิตได้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นกิโลวัตต์และพลังงานที่ใส่ให้กับระบบคือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ได้แก่ น้ำมันดีเซลและโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าการเพิ่มโหลดทำงานส่งผลให้ความดันเบรกเฉลี่ยและประสิทธิภาพ

เชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ (Siripol, 2007) การใช้น้ำมันดีเซลจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 ในทุกภาระโหลดทำงาน ที่ภาระโหลดทำงาน 62.50% การใช้น้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 29.62% การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจาก RDF-5 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำสุด 19.34% ที่โหลดการทำงาน 28.230% การใช้น้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 17.70% การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจาก RDF-5 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำสุด 9.90%



รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 5.5 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลปรดิวเซอร์แก๊ส ขนาด 32kW

ชนิดเชื้อเพลิง	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (ลิตร/kWh)		
	28 %	47 %	63%
ดีเซล	0.540	0.359	0.323
ดีเซลร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง	0.210	0.180	0.171
	สัดส่วนการทดแทนดีเซล		
ดีเซลร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง	59.7	48.2	45.0
	ประสิทธิภาพเครื่องยนต์		
ดีเซล	17.7	26.7	29.6
ดีเซลร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง	9.9	16.7	19.3

ส่วนที่ 4 การประเมินมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้า

5.6 มลพิษทางอากาศ

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศจากเตามูลฝอย ไว้ว่า อากาศที่ปล่อยจากเตาเผามูลฝอยที่กำจัดมูลฝอยได้ตั้งแต่ 1 ตันต่อวันแต่ไม่เกิน 50 ตันต่อวัน ต้องมีค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศจากเตาเผามูลฝอยที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่ามาตรฐานการควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย

Emission	มาตราฐาน
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	< 30 ppm
ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)	< 250 ppm
ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCI)	< 136 ppm
สารประกอบไดออกซิน	< 30 ng/m^3
ปริมาณฝุ่นละออง	< 400 mg/m^3
ความทึบแสง	< 20 %

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2554

การประเมินผลกระทบทางอากาศของปล่องทิ้งอากาศเสียกับผลกระทบทางอากาศจากไอเสียเครื่องยนต์มีความแตกต่างกัน ซึ่งการประเมินผลกระทบทางอากาศจากไอเสียเครื่องยนต์จะประเมินจากองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็มีบางค่าที่สามารถเทียบเคียงกันได้

การประเมินแก๊สมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส ประกอบด้วยการประเมินปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ และควันดำ โดยใช้เชื้อเพลิงจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซลและดีเซล/โปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียอ่านค่าปริมาณมลพิษที่วัดได้ มีการปรับโหลดทดสอบทั้งหมด 3 ค่า คือ 28.23%, 46.71% และ62.50% ผลการประเมินมลพิษไอเสียเครื่องยนต์ แสดงในตารางที่ 5.7 และมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

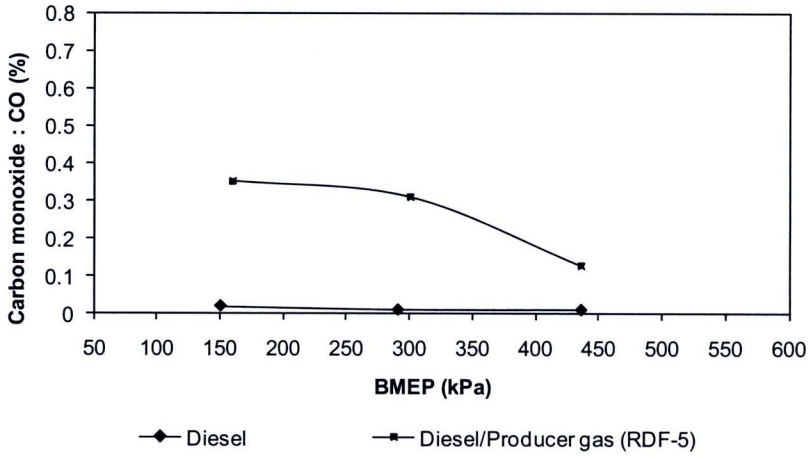
ตารางที่ 5.7 แสดง Emission ที่ภาวะโหลดต่าง ๆ

Emission	Diesel/Producer gas (RDF-5)			Diesel		
	Load (%)			Load (%)		
	28.23	46.71	62.5	28.23	46.71	62.5
CO (%)	0.35	0.31	0.13	0.02	0.01	0.01
CO2 (%)	4.71	5.47	6.68	4.28	4.97	6.33
NO (ppm)	102.50	145	276	391	734	892
Nox (ppm)	104.25	147	279	395	737	895
Smoke (%)	0	0	0	0	5.90	6.20
Noise (dB)	86.4	87.9	91.5	85.8	87.1	91.2
Exhaust Temperature (^{o}C)	227.9	252.0	297.9	292.3	295.8	300.7

5.6.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

กระบวนการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากอัตราการไหลของอากาศลดต่ำลงแต่ถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์เบนซินแล้วพบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (หลาบ, 2528) จากการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า การเพิ่มภาระโหลดทำงานส่งผลให้ความดันเฉลี่ยเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดต่ำลงทุกกรณีการใช้เชื้อเพลิงดังรูป 5.8 ซึ่งการลดลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มภาระโหลดทำงาน ซึ่งการเพิ่มอากาศให้กับเครื่องยนต์นี้จะช่วยให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องเผาไหม้เจือจางลง การใช้น้ำมันดีเซลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 0.01%-0.02% การใช้โปรดิวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลปกติทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ด้วยอากาศเป็นหลักและเมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สซึ่งมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกือบ 20% ดังนั้นการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบยังอาจจะมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บางส่วนเหลืออยู่ โดยค่าที่วัดได้กับเครื่องยนต์ที่เดินเครื่องร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่าอยู่ในช่วง 0.13-0.35% ดังตารางที่ 5.7 และจากผลการทดสอบเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ระพีพันธุ์, 2548) ได้กำหนดให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ไม่เกิน 6% หรือ 60,000 ppm ดังนั้นจากผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยระบบดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สกับเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด จะให้ค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่ามาตรฐานทุกภาระโหลดการทำงานและในส่วนของแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์พบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานส่งผลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกกรณีการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 กับการใช้น้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 ให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.71-6.68% และการใช้น้ำมันดีเซลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.28-6.33% ดังตารางที่ 5.7

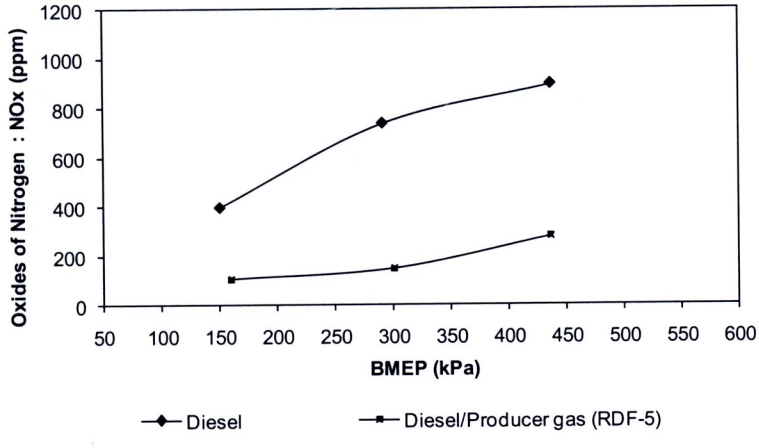


รูปที่ 5.8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5

5.6.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และไนตริกออกไซด์

กระบวนการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่สูงจนเกินไป ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของห้องเผาไหม้ อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง จังหวะการฉีด คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและกระบวนการเผาไหม้ (ปราโมทย์,2538) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานมีผลให้ความดันเฉลี่ยเบรกและปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ของน้ำมันดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีผลสอดคล้องใกล้เคียงกับการทดสอบของ (Siripol, 2007) ดังรูปที่ 5.9 การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สส่งผลให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันดีเซลที่ใช้มีค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงกว่าซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ การใช้น้ำมันดีเซลให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในช่วง 395-895ppm การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในช่วง 104-279ppm และเมื่อนำแก๊สไนโตรเจนออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไอเสียเครื่องยนต์พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนด

ไว้ไม่เกิน 450ppm (พูลพร, 1994) ดังนั้นจากผลการทดสอบสรุปได้ว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สให้ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์กว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลและมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานไอเสีย และในส่วนของแก๊สไนตริกออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแก๊สเฉื่อย พบว่าการเพิ่มภาระโหลดส่งผลให้ปริมาณแก๊สมีค่าเพิ่มซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน การใช้น้ำมันดีเซลจะให้ค่าไนตริกออกไซด์อยู่ในช่วง 391-892ppm และการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 จะให้ค่าไนตริกออกไซด์อยู่ในช่วง 102-276ppm ดังตารางที่ 5.9

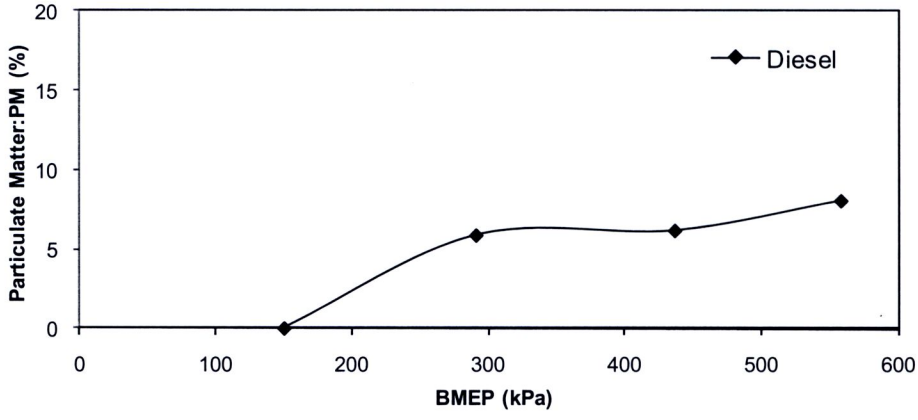


รูปที่ 5.9 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5

5.6.3 เขม่าและควันดำ

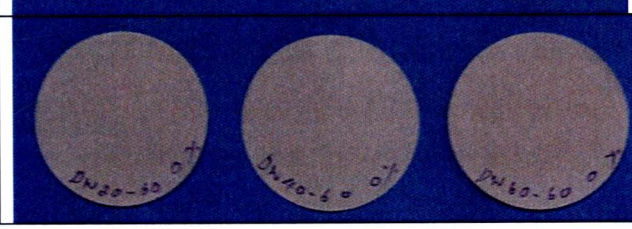
ควันดำคืออนุภาคเล็กๆของเขม่าหรือผลจากการเผาไหม้ที่รวมตัวกันจนหนาแน่นที่มองได้ด้วยตาเปล่า กระบวนการเกิดควันดำในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่หมด โดยสาเหตุของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดจากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่หนา อัตราการฉีดน้ำมัน ระบบการฉีด คุณสมบัติเชื้อเพลิง ภาระงานและชนิดของเครื่องยนต์ (ปราโมทย์, 2538) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณควันดำในเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส พบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานมีผลให้ความดันเฉลี่ยเบรกและปริมาณควันดำมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเท่านั้นในส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่มีควันดำเกิดขึ้นดังรูปที่ 5.10 โดยการใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำอยู่ในช่วง 0-8.1% สาเหตุของควันดำที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ในกรณีใช้น้ำมันดีเซลมีค่าต่ำเกิดจากอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันมีความเหมาะสม ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ จึงทำให้ปริมาณควันดำที่ออกมามีปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐาน และในส่วนของการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สพบว่าโปรดิวเซอร์แก๊สซึ่งประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน

(FAO, 1986) เมื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะส่งผลให้อัตราส่วนของน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลกับอากาศมีส่วนผสมที่บางลง ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นซึ่งมีผลให้ควันดำเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำจนไม่สามารถวัดค่าออกมาได้ ซึ่งก็หมายความว่าควันดำที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าศูนย์ ดังนั้นจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันดีเซลหรือ ไบโอดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สมีปริมาณควันดำที่เกิดขึ้นต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงชนิดเดียวและต่ำกว่ามาตรฐานของกรมขนส่งทางบกที่กำหนดให้ปริมาณควันดำสูงสุดไว้ไม่เกิน40% ปริมาณควันดำไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สที่สภาวะโหลดต่างๆ ดังตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.10 ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5

ตารางที่5.8 ปริมาณควันดำไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5

Mode of Operation	Engine Load		
	28.23%	46.71%	62.50%
Diesel			
Diesel/Producer gas (RDF-5)			

5.6.4 อุณหภูมิท่อไอเสียเครื่องยนต์

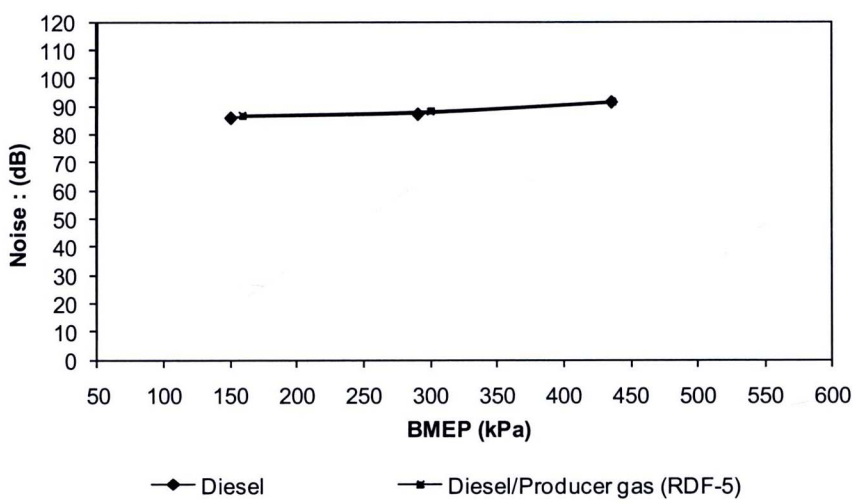
การวัดอุณหภูมิของไอเสียเครื่องยนต์จะช่วยบอกความสมบูรณ์ของส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศ (Air-Fuel Meter) ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับแต่งอัตราส่วนผสมให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดและช่วยให้สามารถป้องกันอาการน็อกของเครื่องยนต์ได้ จากการทดสอบพบว่าการเพิ่มภาระโหลดการทำงานมีผลให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นและการใช้ดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 227.97 $^{\circ}$C -297.94 $^{\circ}$C ดังตารางที่ 5.7

5.6.5 ค่าสารประกอบไดออกซิน

จากการตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตา ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่มีความแตกต่างกัน และอุณหภูมิภายในเตามีค่าระหว่าง 1,100-1,200 C ซึ่งตามทฤษฎีแล้วสารไดออกซินจะสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 850 C นอกจากนั้นแล้วเมื่อนำแก๊สที่ผลิตได้ไปใช้ในเครื่องยนต์ซึ่งอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงกว่า 1,000 C จึงทำให้สารไดออกซินที่อาจตกค้างอยู่เผาไหม้อีกครั้งหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตควรมีการส่งตัวอย่างไอเสียเครื่องยนต์และแก๊สเชื้อเพลิงไปทดสอบในห้องปฏิบัติการในต่างประเทศอีกครั้งหนึ่ง

5.7 มลพิษทางเสียง

เสียงเป็นพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนและทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอนุภาคของก๊าซในบรรยากาศแล้วมากระทบกับหูทำให้ได้ยินเสียง เสียงที่ดังเกินค่ามาตรฐานเป็นมลพิษที่ก่อให้เกิดความรำคาญ สร้างความรบกวน ทำให้เกิดความเครียดทั้งทางร่างกายและจิตใจ ทำให้ตกใจและอาจถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้ จากการวิเคราะห์ระดับความเข้มเสียงเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงRDF-5 พบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานมีผลให้แนวโน้มของระดับความเข้มเสียงเพิ่มขึ้น โดยเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภท มีระดับความเข้มเสียงไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.11 โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีช่วงระดับความเข้มเสียงดังและกว้างสูงสุดอยู่ในช่วง 85.8-91.5dB เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงRDF-5 มีระดับความเข้มเสียงอยู่ในช่วง 86.4-91.5dB ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานระดับความเข้มเสียงของเครื่องยนต์พบว่า การใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภทให้ระดับความเข้มเสียงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, ข้อมูลออนไลน์วันที่ 12 ก.ค 2553) โดยค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กกำหนดระดับความเข้มเสียงไว้ไม่เกิน 115 dB ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิงRDF-5 ให้ระดับความเข้มเสียงต่ำกว่าข้อกำหนดของกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดไว้



รูปที่ 5.11 ระดับความเข้มเสียงของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส

ส่วนที่ 5 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

5.8 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิงจาก RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

5.8.1 ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5

กระบวนการพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 และขยะที่นำมาทดสอบในโครงการ นำมาจากโครงการวิจัยในโครงการย่อยที่ 1 ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่รับผิดชอบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีต้นทุนในการผลิตขยะ RDF-5 ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่พบว่ามีต้นทุน ประมาณ 3.58 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 5.9 (รายละเอียดดูได้จากรายงานวิจัยโครงการที่ 1)

ตารางที่ 5.9 ประเมินต้นทุนต่อหน่วยของขยะเชื้อเพลิง RDF-5

รายการ	หน่วย	ค่าที่ใช้ในการคำนวณ
อายุของเครื่องจักร	Year	5
เงินลงทุนเริ่มต้น	Baht	310,000
ค่าวัตถุดิบ	Baht/year	21,900
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา	Baht/year	25,000
ค่าแรงงาน	Baht/year	219,000
ค่าไฟฟ้า	Baht/year	22,140
ผลการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย	Baht/kg	3.58

5.8.2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

จากการทดสอบการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไปผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า พบว่าที่ภาระทางไฟฟ้า 63 % (18 kW) แก๊สเชื้อเพลิงสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45% จากการประเมินโดยใช้ราคาแท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 3.58 บาท/กิโลกรัม อ้างอิงราคาผลิตของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าถ้าใช้น้ำมันดีเซล 100 % ในการผลิตไฟฟ้าจะมีต้นทุนเฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 10.34 บาท/kWh และถ้าใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 จะมีต้นทุนเฉพาะค่าเชื้อเพลิง 7.13 บาท/kWh

ซึ่งจากการนำไปประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้เชื้อเพลิงร่วมและราคาการผลิตขยะเชื้อเพลิงตามอ้างอิงโครงการไม่มีจุดคุ้มทุน ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตาราง 5.10 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์โครงการ

รายการ		งบประมาณ	หน่วย
ข้อมูลลงทุน	เงินลงทุนเพิ่มเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	450,000	บาท
	อายุโครงการ	15	ปี
	มูลค่าซาก	10	%
ราคาเชื้อเพลิง	ดีเซล	32	บาท/ลิตร
	ขยะเชื้อเพลิง RDF-5	3.58	บาท/กก.
โรงไฟฟ้า	วันทำงาน	250	วัน/ปี
	ชั่วโมงทำงาน (2 กะ)	16	ชั่วโมง/วัน
	กำลังการผลิต	18	kW
	ไฟฟ้าที่ผลิตได้	72,000	kWh/ปี
ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง	ดีเซล 100 %	10.34	บาท/kWh
	ดีเซล + ขยะเชื้อเพลิง	7.13	บาท/kWh
	ประหยัดน้ำมันดีเซล	3.21	บาท/kWh
	ผลการประหยัดดีเซล	230,920	บาท/ปี
ค่าใช้จ่าย	ค่าซ่อมบำรุง 5% ของเงินลงทุน	22,500	บาท/ปี
	จำนวนแรงงาน (เพิ่มจากดีเซล 1 คน/กะ)	2	คน
	ค่าแรงงานขั้นต่ำ	210	บาท/วัน
	ค่าใช้จ่ายค่าแรงงาน	105,000	บาท/ปี
	ค่าใช้จ่ายขยะเชื้อเพลิง	103,966	บาท/ปี
	รวมค่าใช้จ่าย	231,678	บาท/ปี
รายได้สุทธิ		-(758)	**บาท/ปี**

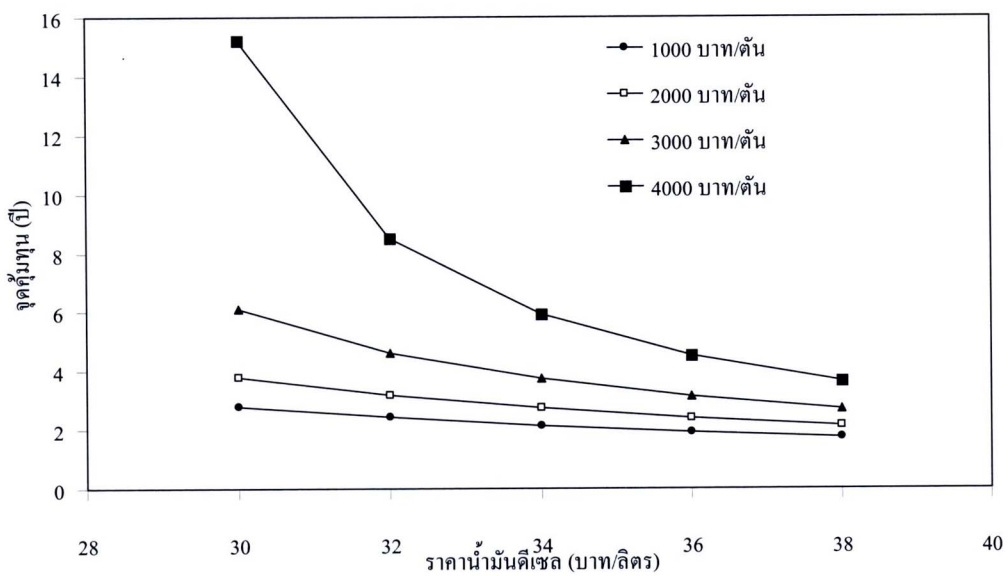
<u>หมายเหตุ</u> รายได้สุทธิติดลบ

5.8.3 การวิเคราะห์ความไวต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

จากการวิเคราะห์ความไวของราคาน้ำมันดีเซลและขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยปรับค่าราคาของน้ำมันดีเซลในช่วง 30-38 บาท/ลิตร และลดราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในช่วง 1000-4000 บาท/ตัน พบว่าถ้าต้องการให้โครงการมีจุดคุ้มทุนไม่เกิน 6 ปี ราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ต้องไม่เกิน 4000 บาท/ตัน เป็นต้นดังแสดงในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.12

ตารางที่ 5.11 จุดคุ้มทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างดีเซลและขยะเชื้อเพลิง RDF-5

ราคา (บาท/ตัน)	ราคาดีเซล (บาท/ลิตร)				
RDF-5	30	32	34	36	38
1,000	2.77	2.42	2.15	1.94	1.76
2,000	3.81	3.18	2.73	2.39	2.13
3,000	6.09	4.63	3.74	3.13	2.70
4,000	15.22	8.52	5.92	4.53	3.67



รูปที่ 5.12 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นระบบเชื้อเพลิงร่วมดีเซล/โปรดิวเซอร์แก๊สจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ทำให้ไม่สามารถคิดปริมาณค่าไฟส่วนเพิ่ม (Adder) ได้ เนื่องจากยังมีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอยู่ ซึ่งถ้าจะคิดปริมาณค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม มหาวิทยาลัยต้องลงทุนด้านเครื่องยนต์แก๊ส และค่าเชื่อมต่อระบบจำหน่ายกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งต้องลงทุนสูง นอกจากนั้นแล้วปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ประมาณวันละ 1-2 ตัน ซึ่งยังมีปริมาณน้อยยังไม่คุ้มกับการลงทุน

5.9 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง

5.9.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิง

การใช้ขยะเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มอยู่ที่ 2.5 บาท/kWh สำหรับพื้นที่ทั่วไป และ 3.5 บาท/kWh สำหรับพื้นที่ 3 จังหวัดภาคใต้ ซึ่งการที่จะได้รับค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม จำเป็นต้องมีการลงทุนด้านเครื่องยนต์ที่สามารถใช้แก๊สเชื้อเพลิงได้ 100 % ซึ่งขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมขั้นต่ำประมาณ 100 kW จึงจะมีความคุ้มค่าในการผลิตเพื่อจำหน่าย เนื่องจากในการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีต้นทุนด้านการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าซึ่งเป็นต้นทุนคงที่ ซึ่งถ้าระบบมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 5.12 โดยมีต้นทุน 7,500,000 บาท ซึ่งต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าสามารถประเมินได้การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน งบการดำเนินการและมูลค่าซากของโครงการดังแสดงในสมการที่ (5.1) และ (5.2)

$$PVC = I + ComxSPWF(i\%, n) - SxPWF(i\%, n) \tag{5.1}$$

$$Cost = \frac{PVC}{Et}, Baht/kWh \tag{5.2}$$

เมื่อ PVC = มูลค่าปัจจุบันการลงทุน, บาท

Cost = ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย, บาท/kWh

Et = จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดโครงการ, kWh

SPWF = Uniform series present worth factor

$$= \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

PWF = Single Payment Present worth factor

$$= \frac{1}{(1+i)^n}$$

I = เงินลงทุน, บาท

Com = ต้นทุนค่าดำเนินการ, บาท/ปี

S = มูลค่าซาก, บาท (10%)

i = ดอกเบี้ย, เศษส่วน

n = อายุโครงการ

ต้นทุนต่อหน่วยที่คำนวณได้จากสมการที่ 5.2 ยังไม่ได้รวมต้นทุนค่าดอกเบี้ยเงินกู้ ซึ่งในการดำเนินการโครงการที่จำเป็นต้องกู้เงินในการลงทุนสามารถประเมินจำนวนเงินกู้ที่ต้องชำระในแต่ละปีตลอดอายุโครงการได้จาก

$$A = P \, x \, CRF(i\%, n) \tag{5.3}$$

เมื่อ A = จำนวนเงินกู้ที่ต้องชำระรายปี, บาท

P = เงินลงทุน, บาท

CRF = Capital recovery factor

$$= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

ซึ่งเมื่อสามารถประเมินเงินกู้ที่ต้องชำระในแต่ละปีได้ก็จะสามารถประเมินมูลค่าที่ต้องชำระทั้งหมดตลอดอายุโครงการ ซึ่งเมื่อหักออกด้วยเงินลงทุนเบื้องต้นก็จะสามารถประเมินดอกเบี้ยที่ต้องชำระตลอดอายุโครงการได้ และสามารถนำมาประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของดอกเบี้ยเงินกู้ได้จาก

$$Ci = \frac{Ir}{Et} \tag{5.4}$$

เมื่อ Ci = ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของดอกเบี้ยเงินกู้, บาท/kWh

Ir = ดอกเบี้ยรวมตลอดอายุโครงการ, บาท

Et = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุโครงการ,บาท

ตารางที่ 5.12 สมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง ขนาด 100 kW

	รายการ	ค่าคำนวณ	
1	ประมาณการเงินลงทุนรวม	7,500,000	บาท
	ระบบผลิตแก๊สชีวมวล	4,200,000	บาท
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแก๊ส	2,000,000	บาท
	ระบบเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	1,300,000	บาท
	มูลค่าซาก (10 %)	750,000	บาท
2	ผลิตไฟฟ้าได้	100	kW (gross)
		804,000	kWh (gross)/year
	ผลิตไฟฟ้าสุทธิ (คำนวณที่โรงไฟฟ้ามี Internal Load ~7%)	93	kW (net)
	ผลิตไฟฟ้าสุทธิจำหน่าย กฟภ. (VSPP)	747,720	kWh/year
3	ชั่วโมงทำงาน (335 วัน/ปี)	8,040	ชั่วโมง/ปี
	plant factor	0.92	
4	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา	**622,100**	บาท/ปี
	ค่าซ่อมบำรุง 2% ของเงินลงทุน	150,000	บาท/ปี
	ค่าแรงงาน (2 คน x 3 กะ x 210 บาท)	422,100	บาท/ปี
	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (วัสดุสิ้นเปลือง,ค่าน้ำ)	50,000	บาท/ปี
5	ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง	2,894,400	บาท/ปี
	ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ใช้ (1.2 kg/kWh)	965	ตัน/ปี
	ราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5	3,000	บาท/ตัน
6	รายรับค่าไฟฟ้า (VSPP Scheme)	4,650,818	บาท/ปี
	รายรับค่าไฟฟ้าจากการขายไฟฟ้าเข้าระบบแบบ VSPP	4,650,818	บาท/ปี
	(2.72 บาท/kWh = average On-Off Peak +Adder)	6.22	บาท/kWh
	ค่าราคาไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder)	3.50	บาท/kWh
7	รายได้สุทธิหลังหักค่าใช้จ่าย	1,134,318	บาท/ปี
8	Simple Payback Period	6.6	ปี

ตารางที่ 5.12 สมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง ขนาด 100 kW (ต่อ)

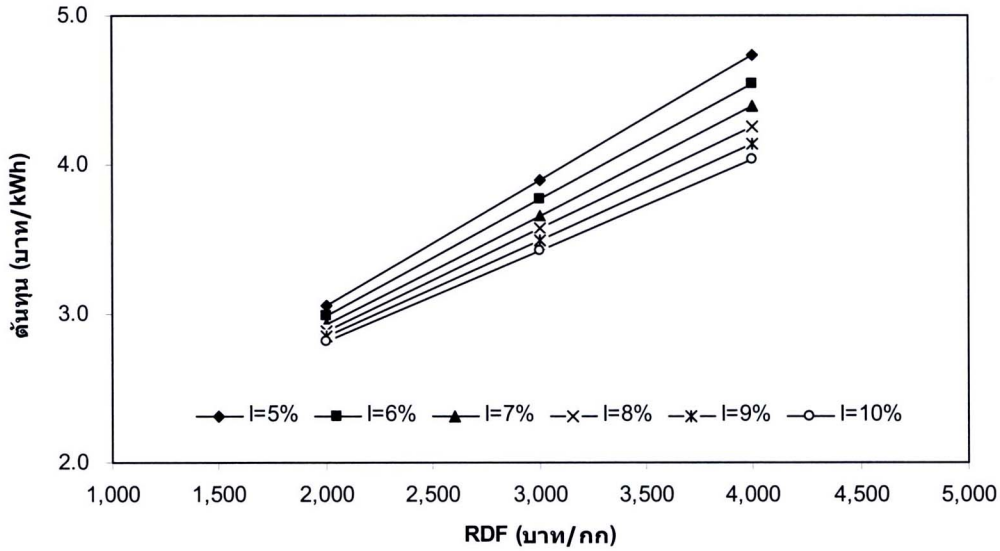
	รายการ	ค่าคำนวณ	
9	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า		
	ดอกเบี้ย	10	%
	อายุโครงการ	15	ปี
	PWF (10%,15)	0.2394	
	SPWF (10%,15)	7.6061	
	PVC	34,067,235	บาท
	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	2.82	บาท/kWh
	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยรวมต้นทุนดอกเบี้ยเงินกู้	3.43	บาท/kWh
10	ต้นทุนดอกเบี้ย		
	CRF (10%,15)	0.2394	
	ผ่อนชำระ 15 ปี	986,053	บาท/ปี
	รวมผ่อนชำระ 15 ปี	14,790,800	บาท
	รวมดอกเบี้ยทั้งหมด	7,290,800	บาท
	ต้นทุนดอกเบี้ย	0.60	บาท/kWh

จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิงที่ต้นทุน RDF-5 มีค่า 2,000-4,000 บาท/ตันและค่าดอกเบี้ยโครงการ 5-10 % พบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 2.82-4.73 บาท/kWh ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.13 ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงซึ่งถ้าไม่มีปริมาณค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) จะทำให้โครงการไม่มีผลตอบแทนในการลงทุน

ตารางที่ 5.13 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะเชื้อเพลิงต่อหน่วย

หน่วย: บาท/kWh

RDF-5 (บาท/ตัน)	I=5%	I=6%	I=7%	I=8%	I=9%	I=10%
2,000	3.06	2.99	2.93	2.88	2.85	2.82
3,000	3.90	3.77	3.66	3.57	3.49	3.43
4,000	4.73	4.54	4.39	4.25	4.14	4.04



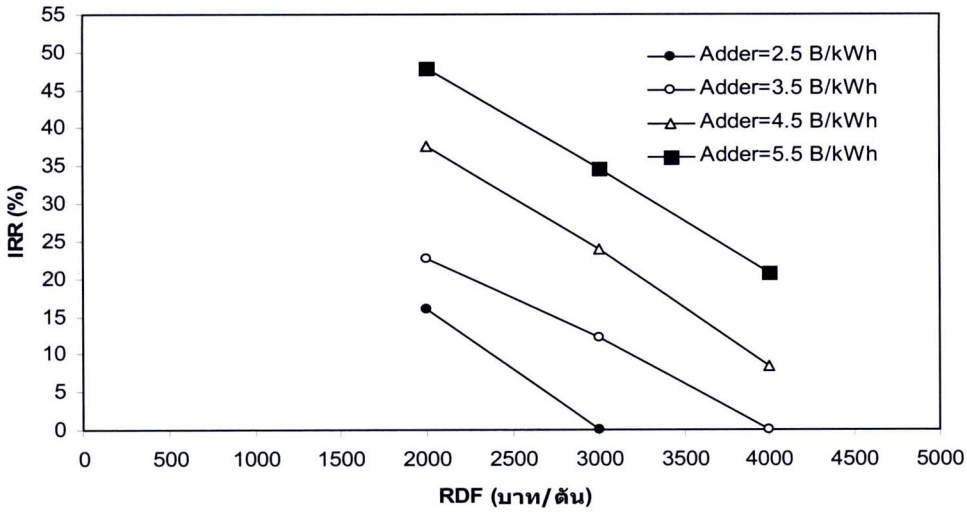
รูปที่ 5.13 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง

5.9.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในและอัตราค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) ที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ผลตอบแทนภายใน (IRR) สามารถประเมินได้จากอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้รายได้โครงการมีมูลค่าเท่ากับเงินลงทุน ซึ่งสามารถประเมินได้จากสมการที่ 5.4

$$Investment = Net\ Income\ x\ SPWF(i\%, n) + SxPWF(i\%, n) \qquad (5.4)$$

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนด้วยการวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ค่าต้นทุนขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่า 2,000-4,000 บาท/ตัน และอัตราค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม 2.5-5.5 บาท พบว่าที่อัตราค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มปัจจุบัน 2.5 บาท/kWh ถ้าต้นทุนขยะเชื้อเพลิง RDF-5 สูงกว่า 3,000 บาทต่อตันโครงการจะไม่คุ้มค่าการลงทุน ดังแสดงในรูปที่ 5.14 และตารางที่ 5.14 สำหรับค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม 3.5 บาท โครงการมีค่า IRR 12.5 % ซึ่งถ้าต้นทุนในการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่า 3,000-4,000 บาท/ตัน ปริมาณค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มที่เหมาะสมควรอยู่ในระดับ 4.5 บาท/kWh ซึ่งจะทำให้ค่า IRR โครงการอยู่ในช่วง 8.3-24 %



รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์ผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโรงไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5.14 การวิเคราะห์ผลตอบแทนโรงไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง

IRR (%)	Adder (บาท/kWh)	RDF-5 (บาท/ตัน)
15.9	2.5	2,000
22.7	3.5	2,000
37.6	4.5	2,000
47.8	5.5	2,000
-	2.5	3,000
12.2	3.5	3,000
24	4.5	3,000
34.6	5.5	3,000
-	2.5	4,000
-	3.5	4,000
8.3	4.5	4,000
20.8	5.5	4,000

บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1) ขยะชุมชนมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยพบว่าเมื่อนำพลาสติก กระดาษ และใบไม้ มาบดย่อยในอัตราส่วน 1:1:1 และนำมาผสมกับตัวประสานปูนขาวและแป้งมันสำปะหลัง 10 % พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานขยะ RDF-5 โดยมีค่าความร้อน 19.11 MJ/kg ค่าความหนาแน่นจริง 1042.45 kg/m3 และค่าความชื้น 4.39 % wbซึ่งการนำขยะมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงนอกจากช่วยในการกำจัดขยะแล้วยังเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม

2) การนำแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 มาผลิตเป็นโปรดิวเซอร์แก๊สด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นแบบไหลลง คุณสมบัติทางความร้อนของแก๊สที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ถ่านและไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยองค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากใกล้เคียงกับการใช้ไม้และถ่านเป็นเชื้อเพลิง โดยมีแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 4.3-7 % แก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์ (CO) 20-24% และแก๊สมีเทน (CH_4) 0-5.8% โดยมีค่าความร้อนประมาณ 3,231.13 kJ/Nm^3 ซึ่งสามารถนำไปใช้เชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าได้

3) การนำโปรดิวเซอร์แก๊สจากแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า พบว่าที่ภาระทางไฟฟ้า 63 % (18 kW) สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45 % ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและการใช้เชื้อเพลิงร่วมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 10 % โดยการใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพ 29.6 % และการใช้เชื้อเพลิงร่วมมีประสิทธิภาพ 19.4 %

4) การประเมินมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์ด้านมลพิษทางอากาศจากองค์ประกอบไอเสียเครื่องยนต์และมลพิษทางเสียงพบว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซล/โปรดิวเซอร์แก๊ส องค์ประกอบแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด มลพิษด้านเสียง (ความเข้มเสียง) ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และพบว่าการใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 1,100-1,200 C ซึ่งสูงกว่า 850 C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สารประกอบไดออกซินสลายตัว

5) ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ณ ราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ปัจจุบัน (3.58 บาท/กิโลกรัม) และราคาน้ำมันดีเซล 32 บาท/ลิตร การใช้โปรดิวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าในโครงการไม่

มีจุดคุ้มทุน แต่ทั้งนี้โครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่เกิน 4,000 บาท/ตัน โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 ปี

6) ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าขนาด 100 kW ที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง 100 % มีต้นทุนอยู่ที่ 2.82-4.73 บาท/kWh ขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการลงทุน และต้นทุนขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงซึ่งถ้าไม่มีคิดค่าปริมาณค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) จะทำให้โครงการไม่มีผลตอบแทนในการลงทุน

7) ต้นทุนค่าผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ปัจจุบันอยู่ที่ตันละ 3,000-4,000 บาท/ตัน ค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ควรอยู่ที่ 3.5-4.5 บาท/kWh

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) การนำขยะมาผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพื่อนำมาผลิตเป็นไฟฟ้าในการดำเนินการครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงประเด็นผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมด้านฝุ่น เสียง และสารที่อาจส่งผลผลต่อสุขภาพของชุมชน เช่น สารไดออกซิน ซึ่งในประเทศไทยยังไม่ห้องปฏิบัติการที่ทดสอบได้ ต้องเก็บส่งไปทดสอบต่างประเทศและมีค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ตามถ้าจะส่งเสริมการใช้งานในระดับชุมชนควรมีการศึกษาวิจัยต่อยอดถึงผลกระทบดังกล่าวด้วย

2) ค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) ของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขยะเป็นเชื้อเพลิง ยังไม่สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ควรมีการเพิ่มค่า Adder ในช่วง 3.5-4.5 บาท/kWh ซึ่งจะทำให้โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนและเป็นการจูงใจให้ชุมชนกำจัดสิ่งปฏิกูลของชุมชนเอง

บรรณานุกรม

1. วีระชัย อาจหาญ, นิวัฒน์ คงกระพี้, กฤษกร รับสมบัติ ปภัส ชนะโรค และทิพย์สุภินทร์ หินซุย (2550) การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้า ชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน, รายงานการประชุมวิชาการเรื่อง โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนครบวงจร, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, วันที่ 19-20 กรกฎาคม 2550, ณ.โรงแรมราชพฤกษ์ แกรนโฮเทล จังหวัดนครราชสีมา หน้า 103-163

2. สหัถยา ลาดปาละ, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร (2550) การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, วันที่ 23-25 พฤษภาคม 2550, ณ โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพมหานคร

3. ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ชูรัตน์ ธารารักษ์, นิกราน หอมดวง, กันยาพร ไชยวงค์, เสรี กังวานกิจ (2553) การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันไบโอดีเซล

4. กิตติกร สาสุจิตต์, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, นิกราน หอมดวง, ชูรัตน์ ธารารักษ์, อุกฤต สมัครสมาน, นรินทร์ ปิ่นแก้ว (2553) โครงการการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารสู่สุขลักษณะที่ดีของโรงอาหารในฝัน"

5. สำเริง สุขานุยุทธ์ (2545) การศึกษาการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากผักตบชวาอัดแท่ง วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. สุรพงษ์ คล้ายมุข (2545) การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

7. นคร ทิพยาวงศ์ (2550) วิศวกรรมการแปลงสภาพชีวมวล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

8. วีระ พันอินทร์, สมชาย มณีวรรณ์, ศิรินุช จินดารักษ์, ฉันทนา พันธุ์ (2550) การศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของขยะ ที่ผ่านกระบวนการบำบัดเชิงกลชีวภาพ และกากตะกอนน้ำมันดิบ, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, 5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

9. ปราโมทย์ อ่อนประไพ (2538). เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล.กรุงเทพฯ:บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

10.พูลพร แสงบางปลา (2537) ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

11.ระพีพันธุ์ ภาสบุตร, สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ (2548) มาปลูกสบู่ดำกันเถอะ วารสารส่งเสริมการเกษตร มิ.ย.2548 สำนักหอสมุด ม.เกษตรศาสตร์

12.หลาบ รับสิริ (2528) เครื่องยนต์สันดาปภายใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โรงพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพมหานคร

13. Siripol Tongorn, (2007), Study on Advanced Injection Timing on A Dual Fuel Diesel Engine with Producer Gas for Power Generation, Thesis submitted in Partial Fulfillment of Requirements for The Degree of Master Science in Automotive Engineering, King Mongkut s University of Technology North Bangkok.

14. Pratik Pratik (2009) "Experimental studies on producer gas generation from wood west in a downdraft biomass gasifier" Bioresource Technology Vol.100 3127-3133.

15. Thomas B. Reed and Agua Das,(1988) Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, Solar Technical information Program.

16. Food and Agriculture Organization (FAO), (1986) Wood Gas as Engine fuel Mechanical Wood product Branch

17. Garcia-Bacaicoa, J. F. Mastral, J. Ceamanos, C. Berrueco, S. Serrano (2007), " Gasificatio of biomass/high density polyethylene mixtures in a downdraft gasifier" Bioresourch Technology.

18. Food and Agriculture Organization (FAO), Wood Gas as Engine fuel Mechanical Wood product Branch, 1986

ภาคผนวก ค.

สรุปภาพรวมของแผนงานและประวัติคณะนักวิจัย

สรุปภาพรวมของแผนงาน

แผนงานวิจัย **โครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน** เป็นโครงการวิจัยเพื่อดำเนินการศึกษาและสาธิตการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 และการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิง โดยมี 2 โครงการย่อยที่เชื่อมโยงกัน คือ โครงการย่อยที่ 1 ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นการศึกษาการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 และโครงการย่อยที่ 2 ซึ่งดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ของแผนงานและความเชื่อมโยงของโครงการย่อยทั้ง 2 โครงการ ดังนี้

วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1) เพื่อสร้างโรงงานสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF – 5 จากขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (โครงการย่อยที่ 1)
2) เพื่อสร้างโรงงานสาธิตการนำเชื้อเพลิง RDF – 5 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (โครงการย่อยที่ 2)
3) เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำเชื้อเพลิง RDF – 5 ที่ผลิตได้ มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระแสผลิตไฟฟ้า
4) เพื่อศึกษาต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิง RDF – 5 และเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้า
5) เพื่อศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน รวมถึงปัญหาข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

<u>โครงการย่อยที่ 1</u> โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อจัดสร้างต้นแบบอุปกรณ์สาธิตการผลิตเชื้อเพลิงชนิด RDF-5 จากขยะ
2) เพื่อศึกษาผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
3) ศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5จากขยะ

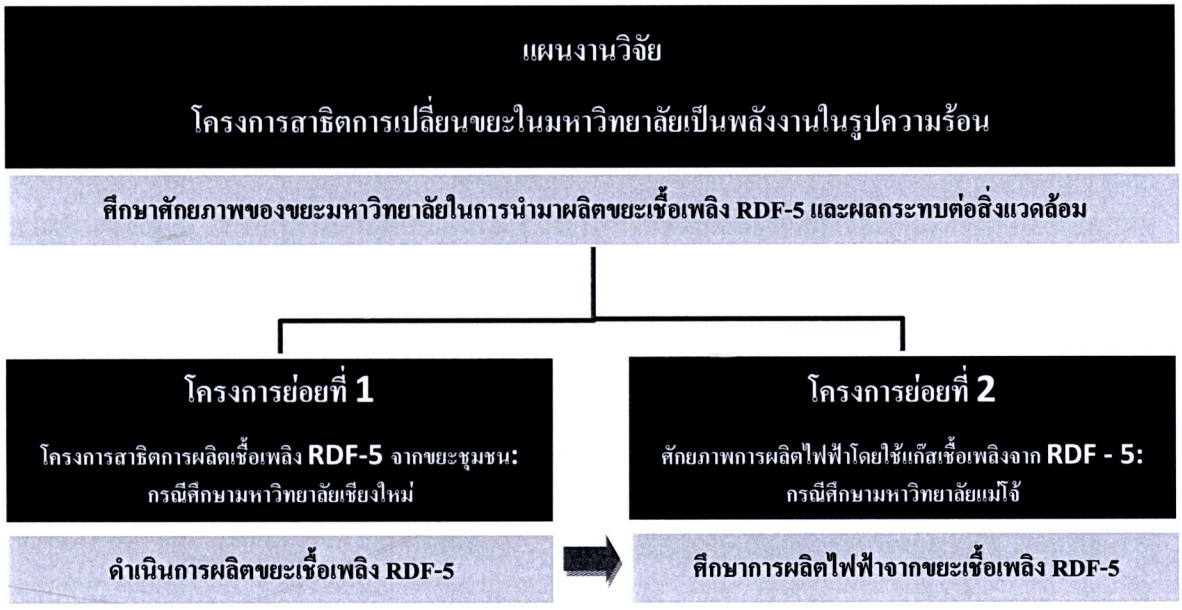
<u>โครงการย่อยที่ 2</u> ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF - 5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบขยะ RDF-5 ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง
2) เพื่อประเมินสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง
3) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและผลกระทบไอเสียเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ร่วมกับน้ำมันดีเซล
4) เพื่อสาธิตโรงไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ต้นแบบระดับมหาวิทยาลัย

การดำเนินงานในส่วนของแผนงาน เป็นการประสานงานและติดตามผลของโครงการย่อยทั้ง 2 โครงการ และดำเนินการศึกษาด้านศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่จะสามารถนำมาผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ รวมทั้งได้มีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโครงการ โดยการใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) และปัญหาด้านกฎหมาย ในการจัดการขยะดังกล่าว และมีการนำข้อมูลด้านเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นไปทำการถ่ายทอดให้แก่ประชาชนในชุมชนและเผยแพร่สู่สาธารณะ ทั้งนี้ความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัย แสดงในรูปที่ ค.1 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ทั้งในแง่หลักกฎหมายในการจัดตั้งโรงงานสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง กฎหมายควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง และการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

การดำเนินงานของแผนงานวิจัย ในส่วนของการศึกษาศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัย ทั้งด้านปริมาณและองค์ประกอบเพื่อพิจารณาการนำไปผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ต่อไป ผลการศึกษาศักยภาพด้านปริมาณขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าปริมาณขยะเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยจะมีค่าอยู่ที่ **4.28 ตันต่อวัน** ขณะที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้มีปริมาณขยะเกิดขึ้นเฉลี่ย **3.5 ตันต่อวัน** สำหรับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า ประเภทของขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จะเป็นพลาสติก ตามด้วย กระดาษ และเศษไม้ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณรวม 2.09 ตันต่อวัน ซึ่งเพียงพอในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในระดับสาธิต ซึ่งกำหนดกำลังการผลิตที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน



รูปที่ ค.1 ผังความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 **โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่** เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 รวมทั้งยังมีการศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตและต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ผลการพัฒนากระบวนการผลิต พบว่าสามารถผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ และมีคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ผลการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากงานวิจัย ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 ซึ่งมีการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ด้านระบบนิเวศน์ และด้านทรัพยากรธรรมชาติ พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์จากกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ส่วนผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ที่มากที่สุด คือ การใช้ประโยชน์จากที่ดิน (Land Use) และผลกระทบด้านทรัพยากรที่สำคัญ คือ ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิล และผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในเบื้องต้น พบว่ามีต้นทุนเท่ากับ 3.58 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 3,581 บาทต่อตันของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

โครงการย่อยที่ 2 **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF - 5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้** เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากโครงการย่อยที่ 1 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) ซึ่งสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลศึกษาการนำโปรดิวเซอร์แก๊สจากแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า พบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45 % ที่ภาระทางไฟฟ้า 63 % (18 kW) ผลการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่า การปลดปล่อย CO_2 จะต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว แต่การปลดปล่อย NO_x และค่าควันดำที่เกิดขึ้นต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยไอเสีย ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้อุณหภูมิที่บริเวณการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 1,100 – 1,200 ^{o}C ซึ่งสูงมากพอในการกำจัดไดออกซิน ที่เกิดจากพลาสติกในเชื้อเพลิง RDF ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าโครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่เกิน 4.0 บาท/กิโลกรัม โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 ปี

ผลการดำเนินโครงการก่อให้เกิดประโยชน์ ได้แก่

- **ประโยชน์ที่ได้รับในเชิงวิชาการ**

1) มีโรงงานสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน (โครงการย่อย 1) และโรงงานสาธิตการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF-5 (โครงการย่อย 2)
2) ได้ข้อมูลต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงและความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยอื่นๆ รวมถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

- **ประโยชน์ที่ได้รับในเชิงสังคมและชุมชน**

1) ประชาชนในชุมชนและผู้ที่สนใจสามารถเรียนรู้และเข้าใจเทคโนโลยี รวมถึงการนำไปสู่การยอมรับอย่างมีเหตุผลของประชาชน ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้งานจริงในชุมชน
2) ข้อมูลที่ได้สามารถขยายผลไปในชุมชนอื่นๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาด้านขยะชุมชนและด้านพลังงาน รวมถึงการลดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล
3) หน่วยงานต่างๆ ได้แก่ ส่วนราชการและชุมชน สามารถสร้างรายได้จากการนำขยะมาผลิตเป็นพลังงาน

ประวัตินักวิจัย

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

1. ชื่อ –นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Tanongkiat Kiatsiriroat

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3-1018-00521-17-4

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200, โทรศัพท์ 053-944144, โทรสาร 053-944145

5. ประวัติการศึกษา

มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) 2521
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย	D. Eng (Energy Technology), 2530

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Heat Recovery Systems: Heat Exchanger Design, Heat Pump
- Heat Transfer Enhancement: Use of Electric Field, Use of Working Fluid Mixtures, Electronics Cooling
- Thermal Energy Storage: Phase-Change Thermal Energy Storage, Ice-Thermal Energy Storage, Direct-Contact Heat Exchange
- **Solar Thermal Processes: Solar Heating and Cooling, Solar Absorption and Adsorption Cooling, Solar Distillation**
- Energy Conservation

7. ประสบการณ์การทำงาน

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย (เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้อง) :

โครงการการเพิ่มสมรรถนะเตาเผาขยะที่มีหัวเผาน้ำมัน, แหล่งเงินอุดหนุน สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) งบประมาณ 838,200 บาท ระยะเวลา 1 ปี ระยะเวลาวิจัย 20 มค.47 – 19 มค.48

โครงการจัดทำแผนพลังงานจังหวัดเชียงใหม่, กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียง ใหม่ 2548

การพัฒนาเตาต้มที่มีส่วนทำความร้อนภายนอกสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 5 (สกว.) งบประมาณ 1,304,600 บาท ระยะเวลา 1ปี (1 กรกฎาคม 2549 – 30 มิถุนายน 2550)

โครงการเรื่อง **"การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ"** สำนัก งานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในวงเงิน 750,000.- บาท (เจ็ดแสนห้าหมื่นบาทถ้วน) ระยะเวลา 1 ปี (15 สิงหาคม 2550 – สิงหาคม 2551)

7.2 ผู้ร่วมวิจัย:

โครงการวิจัยเรื่อง"การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชนโดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว" จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณรวมทั้งสิ้น 7,000,000.- บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี (28 กันยายน 2549 – 28 พฤศจิกายน 2550)

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : *(ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุนย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)*

การเพิ่มสมรรถนะเตาเผาขยะที่มีหัวเผาน้ำมัน, แหล่งเงินอุดหนุน สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) งบประมาณ 838,200 บาท ระยะเวลา 1 ปี ระยะเวลาวิจัย 20 มค.47 – 19 มค.48

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ รายงานฉบับสมบูรณ์, 2548

โครงการจัดทำแผนพลังงานจังหวัดเชียงใหม่, กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2548

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ รายงานฉบับสมบูรณ์, 2548

การพัฒนาเตาต้มที่มีส่วนทำความร้อนภายนอกสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน

สำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 5 (สกว.) งบประมาณ 1,304,600 บาท ระยะเวลา 1ปี (1 กรกฎาคม 2549 – 30 มิถุนายน 2550)

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

วาสนา คำโอภาส กันยาพร ไชยวงศ์ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ วศิน เรืองกำเนิด, การพัฒนาเตาต้มที่มีส่วนทำความร้อนภายนอกสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน, **การประชุมวิชาการ การถ่ายเท พลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7,** วันที่ 13-14 มีนาคม 2551 โรงแรมยูเรเซีย เชียงใหม่

การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในวงเงิน 750,000.- บาท (เจ็ดแสนห้าหมื่นบาทถ้วน) ระยะเวลา 1 ปี (15 สิงหาคม 2550 – สิงหาคม 2551)

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

เหมือนจิต แจ่มศิลป์ จอมอัฐ สว่างวงศ์ ณัฐนี วรยศ และ ทนงเกียรติเกียรติศิริโรจน์, การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน, **การประชุมวิชาการ การถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 8,** วันที่ 12-13 มีนาคม 2552 โรงแรมโพธิ์วดล รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดเชียงราย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชนโดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณรวมทั้งสิ้น 7,000,000.- บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี (28 กันยายน 2549 – 28 พฤศจิกายน 2550)

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

Vorayos, N., Vorayos, N. and Kiatsiriroat, T., Life cycle assessment of dendrothermal power generation in Thailand including economic feasibility analysis: A case study,

The International Life Cycle Assessment and Life Cycle Management Conference, October, 2007, Portland, Oregon, USA.

Piamdee, J., Vorayos, N., Kiatsiriroat, T., Arjharn, W. and Vorayos, N., Comparison study on Life Cycle Assessment of small-scale dendrothermal power generation in

Thailand including economic feasibility analysis: a case study, **World Renewable Energy Congress 2009-Asia**, 19-22 May, 2009, Bangkok, Thailand

7.4 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ :

โครงการเรื่อง "กลุ่มวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์เชิงนิเวศน์" สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) โครงการพัฒนากลุ่มวิจัยในสถาบันอุดมศึกษา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันของประเทศไทย ปี 2549 งบประมาณ 7,500,000.- บาท ระยะเวลา 3 ปีๆ ละ 2,500,000 บาท (ตุลาคม 2549 – กันยายน 2552)(หัวหน้าโครงการ)

งานดำเนินการแล้ว 90 %

โครงการเรื่อง **"Use of Vapor Compression Heat Pump for Recovering Waste Heat from AirConditioner"** งบประมาณ 545,600- บาท บริษัทไดกิ้น อินดัสตรี้ส์(ประเทศไทย) จำกัด 2552 (เมษายน 2552-มีนาคม 2553)(หัวหน้าโครงการ)

งานดำเนินการแล้ว 40 %

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ –นามสกุล	(ภาษาไทย)	นาย ไพสิฐ พาณิชย์กุล
	(ภาษาอังกฤษ)	Mr. Paisit Panichkul
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน		
3. ตำแหน่งปัจจุบัน		อาจารย์
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก		คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200, โทรศัพท์ 053-943571 ต่อ 106
5. ประวัติการศึกษา		
		นิติศาสตรบัณฑิต พ.ศ. 2528 เนติบัณฑิตไทย พ.ศ. 2529 นิติศาสตรมหาบัณฑิต พ.ศ. 2534

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ: กฎหมายมหาชน กฎหมายเกี่ยวกับธรรมาภิบาลและการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

7. ประสบการณ์ทำงาน

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:

โครงการศึกษาวิจัยเพื่อการปรับปรุงกฎหมายตามยุทธศาสตร์การแก้ปัญหาความยากจนกรณีกลุ่มกฎหมายเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ (พ.ศ. 2549)

โครงการศึกษาวิเคราะห์เพื่อพัฒนานโยบายป่าไม้เป็นนโยบายสาธารณะ (พ.ศ. 2550)

โครงการศึกษาเพื่อจัดทำข้อเสนอในการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายที่เป็นอุปสรรคต่อการส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตมาบตาพุดและจังหวัดระยอง (พ.ศ. 2551)

การจัดลำดับความสำคัญการวิจัยด้านคุณภาพอากาศในเขตภาคเหนือตอนบน (2551)

ผู้ร่วมวิจัย

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาวเหมือนจิต แจ่มศิลป์

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MS. MUANJIT CHAMSILPA

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3-7499-00360-15-8

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ประจำสาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

   ผู้ช่วยผู้อำนวยการ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะผลิตกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย

จังหวัดเชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-878333 โทรสาร 053-878333

E-mail Address entaneer007@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

Year	Level	Degree	Field	Faculty	Institute
2010	Doctor	PhD. Eng.	Energy Engineering	Engineering	Chiang Mai University
2009	Bachelor	B. Econ.	Economics	Economics	Sukhothai Thammathirat Open University
2003	Master	M. Eng.	Energy Engineering	Engineering	Chiang Mai University
2000	Bachelor	B. Eng.	Industrial Engineering	Engineering	Chiang Mai University

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Energy and Environment
- Energy Economics
- Life Cycle Assessment

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

International and National Publications

1. ***Siva Achariyaviriya, Muanjit Chamsilpa, Optimal Operating Conditions of a Papaya Glace' Drying Using Heat Pump Dryer, Engineering Journal, Chiang Mai University, Volume 13 (2) May-August 2006, ISSN 0857-2178.***

2. ***Sampattagul, S., Chamsilpa, M., Kiatsiriroat, T., Sadamichi, Y., and Kato, S., Evaluation of Environmental Impacts of Polycrystalline Silicon Solar Cell by Using LCA Aspect, Int. Life Cycle Assessment and Life Cycle Management Conf. InLCA/LCM 2006, 4th – 6th October 2006, Washington DC., USA.***

3. ***Muanjit Chamsilpa, Natanee Vorayos, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Life Cycle Inventory of Amorphous Silicon Solar Module Manufacturing Using Activity-Based Approach, International Conference on Green and Sustainable Innovation (ICGSI), 29th - 30th December 2006, Chiang Mai, THAILAND.***

4. *Muanjit Chamsilpa*, ***Sate Sampattagul, Yucho Sadamichi, Natanee Vorayos, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Life Cycle Assessment of Greenhouse Gases from a Solar Cell Power Plant, Heat and Mass Transfer Conference, 15th - 16th March 2007, Chiang Mai, THAILAND.***

5. *Muanjit Chamsilpa*, ***Natanee Vorayos, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Energy and Environmental Assessment over the Entire Life of Amorphous Silicon Solar Module for a Solar Cell Power Plant, Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies: APRC 2007, 1st-2nd August 2007, Khon Kaen, THAILAND.***

6. *Muanjit Chamsilpa*, ***Sate Sampattagul, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Life Cycle Analysis and Externality Evaluation of Multicrystalline Silicon Solar Cell Power Plant in Thailand, The International Journal of Life Cycle Assessment, 2009 (Under Reviewing)***

7. *Muanjit Chamsilpa*, ***Natanee Vorayos, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Evaluation of Life Cycle Assessment including Externality Cost of Power Plant using Amorphous Silicon Solar Cell in Thailand, The International Journal of Energy Research, 2009 (Under Reviewing)***

8. *Muanjit Chamsilpa* ***and Tanongkiat Kiatsiriroat, Life Cycle Assessment of Amorphous Silicon Solar Cell Power Plant Using Activity-Based Approach, IIRE International Journal of Renewable Energy, January – June 2010.***

9. *Muanjit Chamsilpa*, ***Natanee Vorayos, and Tanongkiat Kiatsiriroat, Environmental impact analysis of solar cell power plant compare to fossil fuel power plants in Thailand, Asian Journal on Energy and Environment. (Under Reviewing)***

10. **เหมือนจิต แจ่มศิลป์**, จอมอัฐ สว่างวงศ์, ณัฐนี วรยศ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, *การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน*, การประชุมวิชาการ การถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 8, วันที่ 12-13 มีนาคม 2552 โรงแรมโพธิ์วดล รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดเชียงราย

หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว ณัฐนี วรยศ

(ภาษาอังกฤษ) Miss. NATANEE VORAYOS

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 5-5014-00020-12-0

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ 053-944146 ต่อ 971, โทรสาร 053-944145
E-mail natanee@dome.eng.cmu.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล), 2542
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ปรัชญามหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) 2544
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) 2549

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

กระบวนการทางความร้อน, การประเมิณวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment), การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

7. ผลงานวิจัย

<u>ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ</u>

1. Kiatsiriroat, T., **Vorayos, N.** and Nuntaphan, A. (2001). "Feasibility of Using Ice Thermal Energy Storage with Direct Contact Evaporator in an Office Building", Asian Journal of Energy & Environment, vol. 2, Issue 3-4, pp. 199-231.
2. Kiatsiriroat, T., Vithayasai, S., **Vorayos, N.**, Nunthaphan, A. and Vorayos, N. (2003). "Heat transfer prediction for a direct contact ice thermal energy storage", Energy Conversion & Management, vol. 44, pp. 497-508.

<u>ผลงานวิชาการอื่น ๆ</u>

<u>International Conference</u>

1. **Vorayos, N.** and Kiatsiriroat, T. (2003). "Life Cycle Impact Assessment of Solar Ethanol Distillation Evaluated by NETS Method", PSU-UNS International Conference 2003 – Energy and the Environment, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
2. **Vorayos, N.,** Vorayos, N. and Kiatsiriroat, T. (2003). "Experimental Investigation of Ethanol Distillation System with Different Types of Solar Collectors", Destination Renewables ANZSES 2003 Conference, University of Melbourne, Melbourne, Australia.
3. **Vorayos, N.**, Kiatsiriroat, T., Vorayos, N. and Kongboon, P. (2003). "Mathematical and Experimental Studies of a Batch-Type Solar Ethanol Distiller", the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket, Thailand.
4. **Vorayos, N.** and Lumpaopong, P. (1998). "Alternative Refrigerants for Environmental Care", the 5th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 1998, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
5. **Vorayos, N.** and Kiatsiriroat, T. (1997). "Simplified Method for Estimating Thermodynamic Properties of Refrigerant Mixtures", the 4th Tri-University International Joint Seminar and Symposium 1997, Mie University, Japan.

8. ประสบการณ์การทำงาน

หัวหน้าโครงการวิจัย โครงการเรื่อง **"การสร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานสำหรับโรงเรียนในเขตภาคเหนือตอนบน"** กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ในวงเงิน 3,808,500.- บาท (สามล้านแปดแสนแปดพันห้าร้อยบาทถ้วน) ระยะเวลา 1 ปี (28 กันยายน 2550 – 28 กันยายน 2551)

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายจิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศีล

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Jitthep Prasityousil

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3-50701-00993-56-7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 053-944133 ต่อ 106

E-mail jitthep@eng.cmu.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วศ.บ(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), 2531

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วศ.มหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), 2535

Hokkaido University ประเทศญี่ปุ่น D. Eng. (วิศวกรรมสุขาภิบาล), 2542

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Waste Water Treatment

Phosphorus Recovery

7. ผลงานวิจัย

- Coliform Bacteria Removal Efficiency in Septc Tank Effluent Using as Anaerobic Filter with Submerged Half Media, 1992.
- Characterized Phosphorus-from in Excess Sludge from Hybrid Wastewater Treatment system, Proceeding of the 3rd International symposium of ETERNET-APR : Conservation of the Hydro-spheric Environment, December 5, 1996.
- Recovery of Phosphorus from Municipal; Wastewater by Coagulation and the Dissolution of the Coagulated Phosphorus by Enzyme and Organic Acid Secreted from Plant Roots,1999.
- ผู้เชี่ยวชาญงานออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสีย, โครงการศึกษาและออกแบบรายละเอียดเพิ่มเติม ระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองตาก, 2538

- ผู้เชี่ยวชาญงานออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสีย, โครงการศึกษาและออกแบบรายละเอียดเพิ่มเติม ระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลอำเภอแม่สาย, 2539
- หัวหน้าโครงการสำรวจและออกแบบรายละเอียดระบบระบายน้ำและระบบรวบรวมน้ำเสีย เทศบาลนครเชียงเชียงใหม่, 2544
- หัวหน้าโครงการสำรวจและออกแบบระบบมูลฝอยรวมเทศบาลนครเชียงใหม่, 2545
- หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟอสฟอรัสในตะกอนการกำจัดน้ำเสีย

หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2

1. ชื่อ –นามสกุล (ภาษาไทย) นายณัฐวุฒิ ดุษฎี

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Nattawud Dussadee

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3-2406-00471-07-4

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8 สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-498168 , 081-5315376 โทรสาร 053-498168

E-mail Address Natthawu@mju.ac.th; natthawu@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา.....ฟิสิกส์..... ปีที่จบ.....2532..... เกรด. 2.64.....

สถาบัน....มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรจน์(บางแสน) ประเทศ... ไทย.....

ปริญญาโทสาขา.....เทคโนโลยีพลังงาน..... ปีที่จบ.....2534.....เกรด. 3.39....

สถาบัน....สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ..... .ประเทศ.....ไทย.....

ปริญญาโทสาขา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ปีที่จบ.....2540.....เกรด. ..3.50.....

สถาบัน....มหาวิทยาลัยเชียงใหม่..... ประเทศ.....ไทย.....

ปริญญาเอกสาขา..... เทคโนโลยีพลังงาน...(หลักสูตรนานาชาติ).....ปีที่จบ...2546.....

สถาบัน....มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี...ประเทศ.....ไทย.....

6.สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Energy Conservation	Energy Conservation in Industry and Building
- Renewable Energy	Biomass, Solar, Wind, Bio-fuel
- Solar energy and Thermal Process	Solar Heating, Heat Exchanger
- Agricultural Processes	Drying of Foods, Grains Storage
- Computer Application	Computer Simulation, Computer Programming

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

มีประสบการณ์ทางการสอนและวิจัย และที่ปรึกษา ด้านการจัดการและอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และ ด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวลอย่างต่อเนื่องมากกว่า 17 ปี เคยทำงานวิจัย 41 โครงการ มีผลงานตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ ระดับชาติ และประชุมวิชาการ ประมาณ 39 เรื่อง ปัจจุบันเป็นผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพลังงาน และประธานหลักสูตรสาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีเครือข่ายร่วมกับองค์กรในระดับจังหวัดและชุมชนในเขตภาคเหนือ และเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท/เอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หลักสูตรฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และหลักสูตร

7.1 ผลงานวิจัยย้อนหลังและสถานภาพ 5 ปี

ปี	ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	สถานภาพ	ความก้าวหน้า
2552	โครงการการการพัฒนาระบบประเมินความชื้นลำไยแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ	หัวหน้าโครงการ	กำลังดำเนินการ (สิ้นสุด ตุลาคม 2552)
2551	การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในเขตภาคเหนือตอนบน: ระยะที่ 2 การคัดเลือกแหล่งพัฒนาฟาร์มกังหันลม	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	ผู้อำนวยการ/ หัวหน้าโครงการ	กำลังดำเนินการ (สิ้นสุด กันยายน 2552)
2551	การลดพลังงานในหน่วยงานภาครัฐขนาดเล็ก พื้นที่สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10	สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10 เชียงใหม่	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์

2551	การจัดทำแผนพลังงานชุมชน เพื่อชุมชนสีเขียว	สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10 เชียงใหม่	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2550	การจัดทำแผนพลังงานชุมชน สนองพระราชดำริ"เศรษฐกิจพอเพียง"	สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2550	การพัฒนาระบบการให้น้ำลำไยด้วยการควบคุมความชื้นในดิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2549	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชนโดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2549	การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในเขตภาคเหนือตอนบน	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2549	การพัฒนาเตาแก๊สซิไฟเออร์เพื่อทดแทน LPG สำหรับครัวเรือนชนบท	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	เมธีวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2549	การศึกษาศักยภาพการให้ผลผลิตและปริมาณน้ำมันของปาล์มน้ำมันในเขตภาคเหนือ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	เมธีวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2549	พัฒนากลุ่มโรงอบแห้งลำไยเพื่อลดต้นทุนการผลิต	จังหวัดเชียงใหม่	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2549	การพัฒนาเตาต้มที่มีส่วนทำความร้อนภายนอกสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2548	การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเมื่อใช้ระบบการดึงความเหยกลับคืนร่วมกับระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	สภาวิจัย	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2548	ปรับปรุงเครื่องอบแห้งลำไยเนื้อ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีลำพูน	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์

2548	สาธิตระบบอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้และเครื่องจักรสาน	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2548	ระบบการใช้พลังงานชีวมวลแบบรวมศูนย์สำหรับอบแห้งลำไยด้วยเครื่องอบแบบกระบะ (โครงการวิจัยรัฐร่วมเอกชนเชิงพาณิชย์)	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2548	การพัฒนาโรงงานต้นแบบระบบกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคปั๊มฟอง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2547	การประหยัดพลังงานของระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนกระจกโดยใช้ Chilled Water Night Cooling	สภาวิจัยแห่งชาติ	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2547	การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปลำไยอบแห้ง	ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2547	การพัฒนาเครื่องต้นแบบเตาอบลำไยประสิทธิภาพสูง โดยใช้เทคนิคการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้	กระทรวงวิทยาศาสตร์	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2547	การทำความเย็นจากต้นไม้	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	หัวหน้าโครงการ	เสร็จสมบูรณ์
2547	การพัฒนาต้นแบบเครื่องอบแห้งลำไยประสิทธิภาพสูงด้วยเทคนิคการลดความชื้นอากาศก่อนเผาไหม้	กระทรวงวิทยาศาสตร์	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์

7.2 การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

International Journal

[1] Soponronnarit, S., **N. Dussadee**, J. Hirunlabh, , P. Namprakai, and S. Thepa, (1992), "Computer Simulation of Solar Energy Assisted Fruit Drying" RERIC international Energy Journal, 14(1), p 59-70.

[2] Kiatsiriroat, T and **N. Dussadee**, 2001, " Reduction of Heat Accumulated in a Thermosyphon-Paddy Bulk Storage", International Journal of Ambient Energy, 22(1), p 12-18.

[3] **Dussadee, N.**, and T. Kiatsiriroat, (2004), "Performance Analysis and Economic Evaluation of Thermosyphon Paddy Bulk Storage", International Journal of Applied Thermal Engineering. 24:p401-414

[4] **Dussadee, N.**, T. Pansansri, and T.Kiatsiriroat.(2007), "Temperature Control of Paddy Bulk Storage with Aeration-Thermosyphon Heat Pipe. International of Energy Conversion and Management., 48:1 , p.138-145

[5] Tanate Chaichana1,Sumpun Chaitep, Wasan Jompakdee and Natthawud Dussadee (2008), "Energy analysis of wet season rice production in northern Thailand. International Journal of Agricultural Engineering.

International Conference

[6] **Dussadee, N**., and T. Kiatsiriroat, (2001), "Deterioration Delay of Wet Paddy By Using Thermosyphon Heat Pipe" Paper Presented at the 20th ASEAN/2ndAPEC International Seminar on Postharvest Technology, September 11-14, 2001 Chiang Mai, Thailand.

[7] **Dussadee N**., W. Phaphuangwittayakul, K. Sasujit, V. Changrue and G.S.V. Raghavan (2008), **"Rice Husk Cyclonic Combustor for Longan Batch Dryer"** Paper Presented at the International Conference on "Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Production for Mankind".1-3 Apr 2009, Nakonrachsima, Thailand

[8] **Nyanakorn Sutassanamarlee** Natthawud Dussadee **Choorat Thararat and Sirichai Hongwittayakorn (2007)** 'Evaluation of Heat Reduction Potential of Ambient Air by Plant" INTERNATIONAL RESEARCH CONFERENCE on "Recreating Research Culture and Leadership in the Academe in a Knowledge-Based Society" April 13 – 15, 2007 Hotel Supreme, Baguio City, The Philippines.

National journal

[9] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** ,จงจิตร์ หิรัญลาภ ,พิชัย นามประกาย และ ศิริชัย เทพา , 2535 "การจำลองแบบการอบแห้ งผลไม้โดยชัพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม" , วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 3 (1) :1-12

[10] อติพงศ์ นันทพันธุ์, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, และ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี**, (2548), การทดสอบสมรรถนะของสารดูดความชื้นแบบถาดสำหรับกระบวนการอบแห้งลำไย. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศรวร. 13(1): 25-36.

[11] อติพงศ์ นันทพันธุ์, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, และ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี**, (2549), การประหยัดพลังงานในเตาอบลำไยโดยการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 13 (1): 8-18.

[12] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** ชูรัตน์ ธารารักษ์ ศิริชัย หงษ์วิทยากร ญาณากร สุทัสนมาลี นิตย์ (2549) การสร้างความเย็นจากต้นไม้เพื่อลดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม วารสารวิศวกรรมสารศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[13] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี , และ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550). การประหยัดพลังงานในระบบระบายอากาศของไซโลเก็บข้าวเปลือก. วารสารโลกพลังงาน

[14] พานิช อินต๊ะ และ**ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550) คุณลักษณะทางไฟฟ้าสถิตของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมสำหรับจำกัดอนุภาคที่ปล่อยออกจากเตาเผาชีวมวล วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 14(1), 1-13

[15] จาตุพงศ์ วาฤทธิ์, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, ชานนท์ เวียนทอง, อานนท์ สุจริต และ**ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550) ระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการล้างแบบ Cleaning in Place ของศูนย์รับน้ำนมดิบ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 30 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2550 หน้า 623-632

National Conference

[16] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี**, จงจิตร์ หิรัญลาภ, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, พิชัย นามประกาย และ ศิริชัย เทพา, 2535. การอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม, ประชุมทางวิชาการเรื่อง ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 25-26 มิถุนายน 2535.

[17] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** , อภิชัย ธีรธร, วารีย์ ไชยเทพ, และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, (2544). การควบคุมอุณหภูมิกองข้าวเปลือกชื้นก่อนอบแห้งโดยใช้ท่อความร้อน. การประชุมวิชาการ เรื่อง เครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรจน์ ประสานมิตร. 28-30 พฤศจิกายน 2544.

[18] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี**, (2545). สมการจลนศาสตร์และพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการอบแห้งถั่วเหลือง. การประชุมวิชาการ เรื่อง สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย : วิศวกรรมเกษตรกับการพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่น. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 23-24 พฤษภาคม 2545.

[19] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** , อุเทน กันทา, และ อติพงศ์ นันทพันธุ์ (2545). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาอุตสาหกรรมครัวเรือน. การประชุมวิชาการ เรื่อง เครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. 14-16 ตุลาคม 2545. ภูเก็ต.

[20] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2546). การวิเคราะห์สมรรถนะเทคนิค เทอร์โมไซฟอน-การเป่าอากาศ การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 1. 24-25 มีนาคม 2546. ศูนย์ฝึกอบรมแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ, ลำปาง.. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[21] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2546). การจำลองสมรรถนะระบบเก็บข้าวเปลือกด้วยท่อความร้อนร่วมกับการระบายอากาศ. การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 2. 25-26 กันยายน 2546. ศูนย์ฝึกอบรมไทยพาณิชย์. เชียงใหม่.. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[22] ธเนศ ไชยนะ, วสันต์ จอมภักดี, **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** และสัมพันธ์ ไชยเทพ. (2547). การวิเคราะห์พลังงานเพื่อการผลิตข้าวในภาคเหนือของประเทศไทย (ข้าวนาปรัง). การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 20-21 พฤษภาคม 2547. ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่

[23] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี**, ชูรัตน์ ธารารักษ์ อติพงศ์ นันทพันธุ์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2547). การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้พลังงานชีวมวล. การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3. 21-22 สิงหาคม 2547. เบลวิลล่ารีสอร์ท. เชียงใหม่.. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[24] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี ,ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2547). การประหยัดพลังงานในระบบระบายอากาศของไซโลเก็บข้าวเปลือก. การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3. 21-22 สิงหาคม 2547. เบลวิลล่ารีสอร์ท. เชียงใหม่.. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[25] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** นิตย์ ศกุนรักษ์ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2548) การประเมินศักยภาพท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนในการควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง. การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 4. 4-5 กรกฎาคม 2548 . โรงแรมโกลเด้นท์ไพน์รีสอร์ท เชียงราย . คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[26] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** ชูรัตน์ ธารารักษ์ ศิริชัย หงษ์วิทยากร ญาณากร สุทัสนมาลี (2549) การประเมินศักยภาพของต้นไม้ในการลดความร้อนอากาศแวดล้อม การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 5. 6-7 เมษายน 2549 . โรงแรมปางสวนแก้ว เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[27] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี ,ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2549). การออกแบบท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนในถังเก็บเมล็ดพืช การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 5. 6-7 เมษายน 2549 . โรงแรมปางสวนแก้ว เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[28] ดุษฎี คำบุญเรือง[1] ศิรินุช จินดารักษ์[1] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2549) การสำรวจการใช้และการจัดหาแหล่งพลังงานในระดับหมู่บ้านเพื่อการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 25-26 พฤษภาคม 2549. ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่

[29] กิตติกร สาสุจิตต์, วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล, พาวิน มะโนชัย, ญาณากร สุทัสนมาลี, **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550) ระบบการใช้พลังงานชีวมวลแบบรวมศูนย์สำหรับการอบแห้งลำไยด้วยเครื่องอบแบบกระบะ การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6. 15-16 มีนาคม 2550 โรงแรมอโมร่า เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[30] พานิช อินต๊ะ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550) ศักยภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยจากเตาเผาชีวมวลด้วยเทคนิคการตะตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6. 15-16 มีนาคม 2550 โรงแรมอโมร่า เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[31] ภราดร หนูทอง , กันยาพร ไชยวงศ์ , ณัฐณี วรยศ , **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** และ ทนงเกียรติ เกียรติ ศิริโรจน์ (2550) . การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิง LPG ในระบบอบแห้งไม้. การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6. 15-16 มีนาคม 2550 . โรงแรมอโมร่า เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[32] จาตุพงศ์ วาฤทธิ์, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, ชานนท์ เวียนทอง, อานนท์ สุจริต และ**ณัฐวุฒิ ดุษฎี** (2550) การพัฒนาระบบอุ่นน้ำป้อนสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำด้วยแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ การประชุมวิชาการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[33] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** กิตติกร สาสุจิตต์ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล พาวิน มะโนชัย และญาณากร สุทัสนมาลี (2551) การประเมินต้นทุนการอบแห้งลำไยด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระบะโดยใช้พลังงานชีวมวลแบบรวมศูนย์ การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551 31 มกราคม -1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่

[34] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** กิตติกร สาสุจิตต์ ธเนศ ไชยชนะ นิรันดร์ สุวรรณสิทธิ์ อภิชาติ สวนคำกอง และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2551) การประเมินศักยภาพพลังงานลมเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551 31 มกราคม -1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่

[35] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2551) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการประหยัดพลังงานในระบบระบายอากาศร่วมกับท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนของไซโลเก็บข้าวเปลือก การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551 31 มกราคม -1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่

[36] ธเนศ ไชยชนะ สัมพันธ์ ไชยเทพ วสันต์ จอมภักดี วิวัฒน์ คล่องพานิช และ**ณัฐวุฒิ ดุษฎี** การวิเคราะห์ศักยภาพกำลังลมในฤดูฝนที่โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน โดยวิธีการแจกแจงแบบไวบูลล์ การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 28-29 มกราคม 2551

[37] **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** กิติกร สาธุจิตต์ นิกราน หอมดวง อภิชาต สวนคำกอง เสรี กังวานกิจ (2551) การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับครัวเรือนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง การประชุมวิชาการประจำปี 2551 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 4-5 ธันวาคม 2551 เชียงใหม่

[38] แสนวสันต์ ยอดคำ **ณัฐวุฒิ ดุษฎี** วสันต์ จอมภักดี และ นิกราน หอมดวง (2551) สมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบแบบดีกัมม์ผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การประชุมวิชาการประจำปี 2551 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 4-5 ธันวามคม 2551 เชียงใหม่

[39] ธเนศ ไชยชนะ ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง และ ทรงพล หารศิริมีชัย (2552) การศึกษาการใช้พลังงานระดับชุมชน: กรณีศึกษา ตำบลนาสัก อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7. มีนาคม 2552 . คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[40] นิกราน หอมดวง ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ ธเนศ ไชยชนะ (2552) ศักยภาพชีวมวลภาคการเกษตรและชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ในภาคเหนือ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 เมษายน 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร

[41] ธเนศ ไชยชนะ ณัฐวุฒิ ดุษฎีและกิตติกร สาธุจิตต์ (2552) การวิเคราะห์ลักษณะและศักยภาพพลังงานลมของสถานีวัดลมกิ่วลม จังหวัดแม่ฮ่องสอน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 เมษายน 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ –นามสกุล (ภาษาไทย) นายนิกราน หอมดวง

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Nigran Homdoung

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 5015 00284 21 1

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-498168 , 081-5315376 โทรสาร 053-498168

E-mail Address Nigran_kan@hotmail.co

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมเครื่องกล ปีที่จบ 2545 เกรด. 2.94

สถาบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศไทย

ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมพลังงาน ปีที่จบ 2550 เกรด. 3.50

สถาบัน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย

6. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- Energy Conservation — Energy Conservation in Building
- Renewable Energy — Biomass, Solar, Wind, Bio-fuel and Hydro
- Automotive engineering — Internal Combustion Engine , Diesel&Gasoline

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 ผลงานวิจัย

ปี	โครงการ	แหล่งทุน	สถานภาพ	ความก้าวหน้า
2552	ครงการการการพัฒนาระบบประเมินความชื้นลำไยแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ	ผู้ร่วมวิจัย	กำลังดำเนินการ
2551	การลดพลังงานในหน่วยงานภาครัฐขนาดเล็กพื้นที่สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10	สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10 เชียงใหม่	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2551	แผนพลังงานชุมชนและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนสำหรับชุมชนรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	คณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาชุมชนในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าจังหวัดลำปาง	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2551	การจัดทำแผนพลังงานชุมชน เพื่อชุมชนสีเขียว	สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 10 เชียงใหม่	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์
2551	โครงการ Research and Development of the new biofuel by bending Crude palm	Mazoil Technology Ltd. (Maz) Singapore	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์

	oil with Etanol and Maz additive			
2551	โครงการศึกษาการใช้ชีวมวลในภาคเศรษฐกิจต่างๆและชีวมวลที่ไม่ใช้ประโยชน์	มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม	ผู้ร่วมวิจัย	เสร็จสมบูรณ์

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. วิทยานิพนธ์เรื่อง "สมรรถนะแรงยกของโรเตอร์ภาคตัดปีกแบบมีแคมเบอร์ ในสภาวะออโตไจโรใช้เพลาร่วมแกนส่งกำลังหมุนสวนทางโดยใช้ทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์" 2550

2. HOMDOUNG, Nigran and CHAITEP, Sumpun (2006) "*Lift Coefficient and Drag Coefficient in AutoGyro Mode with Co Axial Contra Rotating Shaft Transmission Rotor*", in CASE 2006 of the Third Conference Consortium of Aerospace Engineering, Thailand. 2549

3. ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง กันยาพร ไชยวงศ์ อภิชาต สวนคำกอง และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2550) การประเมินสมรรถนะระบบสูบน้ำโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7 13-14 มีนาคม 2551 โรงแรมยูเรเซีย เชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

4. แสนวสันต์ ยอดคำ ณัฐวุฒิ ดุษฎี วสันต์ จอมภักดีและนิกราน หอมดวง(2551) สมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบแบบดีกัมม์ผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การประชุมวิชาการประจำปี 2551 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 4-5 ธันวาคม 2551

5. ณัฐวุฒิ ดุษฎี กิตติกร สาสุจิตต์ นิกราน หอมดวง อภิชาติ สวนคำกอง เสรี กังวานกิจ (2551) การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับครัวเรือนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง การประชุมวิชาการวิชาการประจำปี 2551 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 4-5 ธันวาคม 2551

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ –นามสกุล (ภาษาไทย) นายชูรัตน์ ธารารักษ์

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Churat Tararuk

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ 8

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ

128 ถ. ห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่

50300

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา	คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมเครื่องกล (คอ.บ)
	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวทศ์
ปริญญาโทสาขา	วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปริญญาเอกสาขา	เทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

Agricultural Machinery	Tractor and Automotive Engine
Agricultural Processes	Drying of Foods, Grains Storage
Energy Conservation	Energy Conservation in Industry and Building
Solar energy and Thermal Process	Solar Heating, Heat Exchanger

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

2521 – 2532 สอนบรรยายและปฏิบัติการ ประจำที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2533 – ปัจจุบัน สอนบรรยายและปฏิบัติการ ประจำที่ แผนกวิชาช่างกลเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยี

เครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเขตพื้นที่ ภาคพายัพ

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

2547	ร่วมโครงการ การพัฒนาเครื่องตัดแต่งกิ่งเพื่ออุตสาหกรรมไม้ผล	กองทุนสนับสนุนทุนวิจัย (สกว)	ผู้ร่วมวิจัย
2547	ร่วมโครงการการพัฒนาต้นแบบเครื่องขัดล้างด้วยน้ำร้อนและเคลือบผิวของมะม่วงและส้มโอ	สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผู้ร่วมวิจัย
2549	โครงการการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องหยอดดินขาวลงในแบบพิมพ์กระเบื้องดินเผา และ เครื่องขูดผิวกระเบื้องดินเผา	สำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ)	หัวหน้าโครงการ
2550	โครงการการจัดการซังข้าวโพดเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำรองของหม้อต้มน้ำร้อนสำหรับโรงบ่มใบยาสูบ	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และโครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ	หัวหน้าโครงการ

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

ผลงานวิจัย/เอกสารตีพิมพ์/รายงาน

1. **C. Thararux and T. Kiatsiriroat** "Performance and Financial Analysis of a Rotary Drum Longan Dryer" International Energy Journal: Vol. 3, No. 1, June 2002, p. 23-34
2. **C. Thararux and T. Kiatsiriroat** "Drying Strategy of a Rotary Drum Longan Dryer" International Energy Journal: Vol. 4, No. 2, December 2003, p. 105-117
3. **C. Thararux and T. Kiatsiriroat** "Experimental Study of a Rotary Drum Longan Dryer" Quality Management and Market Access Proceedings of the 20th Asean/2nd APEC Seminar on Postharvest Technology, p. 301-305
4. **ชูรัตน์ ธารารักษ์ และ รศ. ตะวัน สุจริตกุล** "เครื่องคัดมะม่วงควบคุมด้วย Microprocessor" การสัมนาทางวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 9 2538 คณะวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
5. **ชูรัตน์ ธารารักษ์** "เครื่องย่อยกิ่งไม้และใบไม้" การประชุมวิชาการโครงการวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ 2539 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

6. **ชูรัตน์ ธารารักษ์** "เครื่องตัดแต่งกิ่งไม้ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก" การประชุมวิชาการ โครงการวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ 2541 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

7. ธงชัย ยันตรศรี, **ชูรัตน์ ธารารักษ์**, สาทิส ถาวรนันท์, ขจรเดช พิมพ์พิไล, สว่าง อินทะขิน, จินดา ศรศรีวิชัย. การออกแบบขั้นต้นของต้นแบบเครื่องตัดแต่งกิ่งไม้ผลยืนต้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 : 2-3 พฤศจิกายน 2543, โรงแรม โนโวเทล, เชียงใหม่. หน้า 120-125.

8. ธงชัย ยันตรศรี, **ชูรัตน์ ธารารักษ์**, กัลย์ กัลญาณมิตร, พัฒนะ อรรจนสุพพัติ, ทนงเกียรติ ศิริโรจน์. การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดผลส้มฟ่ามโดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 : 2-3 พฤศจิกายน 2543, โรงแรมโนโวเทล, เชียงใหม่. หน้า 114-119.

9. ธงชัย ยันตรศรี และ ชูรัตน์ ธารารักษ์. การพัฒนาเครื่องตัดแต่งกิ่งเพื่ออุตสาหกรรมไม้ผล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 34 ฉบับที่ 1-3 (พิเศษ) มกราคม – มิถุนายน 2546, หน้า 223-226.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
www.nrct.go.th

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทร. 0 5394 4144

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทร. 0 5387 5140