



การศึกษาความเป็นไปได้ในการกลั่นเมทานอลกรด
จากการผลิตไบโอดีเซล

โดย

นายบรรณาวุฒิ ดอกบัว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

การศึกษาความเป็นไปได้ในการกลั่นเมทานอลกรด
จากการผลิตไบโอดีเซล

โดย

นายบรรณวุฒิ ดอกบัว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

Feasibility Study of MeOH Recycle from Acid-MeOH in Biodiesel Production

By

Mr. BANNAWUT DOKBUA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in
Energy and Environmental Technology Management
Faculty of Engineering
Thammasat University
2010

บทคัดย่อ

น้ำมันกรดปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate ; PFAD) เป็น by-product จากการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดย PFAD จะมีค่า Free Fatty Acid (FFA) สูง การผลิตไบโอดีเซลด้วย PFAD กับเมทานอล จะใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยสองส่วน โดยส่วนแรกคือ Fatty Acid Methyl Ester (FAME) และส่วนที่สองคือเมทานอลที่ปนเปื้อนน้ำกับกรดซัลฟิวริก (เมทานอล-กรด) โดยมีเมทานอล 65% น้ำ 29% และ กรดซัลฟิวริก 6% ซึ่งเป็น by-product ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมทานอลบริสุทธิ์และนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น่าจะส่งผลดีทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการประเมินเปรียบเทียบระหว่างการสร้างหอกลั่นเมทานอลโดยคิดที่อายุโครงการ 5 ปี กับการจัดการโดยการส่งให้กับบริษัทรับบำบัดสาร-กากเคมีอันตรายเพื่อเผาทำลาย ซึ่งผลที่ได้คือการนำเมทานอลกรดกลับมาใช้ใหม่ จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนภายใน 1 ปี และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการคือ 2,869,255.30 บาท ซึ่งค่าที่ได้บอกถึงผลตอบแทนที่คุ้มค่า แต่กรณีส่งเมทานอลกรดไปเผาทำลายมีค่าใช้จ่าย 3,150,000 บาท นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยการเพิ่มราคาของตัวแปร ซึ่งประกอบด้วยน้ำเย็น ราคาน้ำ ค่าไฟฟ้า และราคาเมทานอล โดยเพิ่มตั้งแต่ 10% จนถึง 100% ของมูลค่าของตัวแปรเดิม พบว่าราคาเมทานอลมีผลต่อความอ่อนไหวมากที่สุด ในขณะที่ค่าไฟฟ้าส่งผลถึงค่าความอ่อนไหวของมูลค่าปัจจุบันสุทธิน้อยที่สุด เมื่อราคาเมทานอลเพิ่มเป็น 20 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเพิ่มขึ้น 4,925,372 บาท สำหรับค่าไฟฟ้าที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุดนั้น เมื่อเพิ่มค่าไฟฟ้าเป็น 6 บาทต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า มูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลง 889 บาท อนึ่ง ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม กรณีการกลั่นเมทานอลจะช่วยลดผลกระทบด้าน ภาวะโลกร้อนเมื่อคิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แนวทางการกลั่นเมทานอลจะลดการปลดปล่อย 571,346.1 kg CO₂ eq. ส่วนการส่งเผาเพื่อกำจัดเป็นการเพิ่มการปลดปล่อยถึง 2,292,710.4 kg CO₂ eq.

Abstract

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) is a by-product from palm oil refining, which contains high free fatty acid. PFAD and methanol are used as materials to produce biodiesel via esterification process by using sulfuric acid as catalyst. The products consist of Fatty Acid Methyl Ester (FAME) and the contaminated methanol (mixture of 65% unreacted methanol, 29% water and 6% sulfuric acid). The contaminated methanol can be treated to recover pure methanol. The recycled pure methanol will be used as a raw material in biodiesel production process. The recovery of contaminated methanol was hypothesized to give economic profit and environmental conservation. The purpose of this research was to evaluate the economic feasibility of construction of methanol recovery plant during five year of study period and to compare with incineration of contaminated methanol. The result showed that the construction of methanol recovery plant yielded more economical benefit with one year pay-back period and its net present value of 2,869,255.30 THB, while the incineration of waste methanol cost 3,150,000 THB. In addition, the sensitivity of net present value was analyzed by varying the costs of some parameters, such as cooling water, steam, electricity cost and methanol purchase price in the range of 10% to 100% of their estimated values. Amongst these selected parameters, it was found that the purchase price of methanol was the most sensitive, while the electricity cost was the least sensitive to the net present value. At the increase of methanol purchase price by 20 Baht per kilogram, net present value increased by 4,925,372 Baht. At the increase of the electricity cost by 6 Baht per unit, the net present value decreased by 889 Baht. In environmental aspect recycling and reusing of methanol reduced global warming by reducing the emission of green house gas of 571,346.1 kg CO₂ equivalent. In contrast, incineration of contaminated methanol the emission of green house gas of 2,292,710.4 kg CO₂ equivalent.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัทผู้ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล และศึกษาเทคโนโลยีรวมทั้งวิธีการในการผลิตไบโอดีเซลตั้งแต่เริ่มต้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะความรู้ ที่เป็นประโยชน์ในการทำ วิจัย รวมไปถึงอำนวยความสะดวกในงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันวิสาข์ สกลภาพ อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษา ให้โอกาสและแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมไปถึงกำลังใจที่ดี เสมอมา ซึ่งช่วยให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วง

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และได้มอบโอกาสทางการศึกษาให้แก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

บรรณารุณี ดอกบัว

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญตาราง.....	(7)
สารบัญภาพประกอบ.....	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1-4
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5-21
2.1 การผลิตไบโอดีเซล	5
2.1.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	5
2.1.2 กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน.....	6
2.1.3 กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชัน	8
2.1.4 การผลิตไบโอดีเซลของผู้ประกอบการในกรณีศึกษา	9
2.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	10
2.3 การกำจัดกากของเสียอันตราย	13
2.3.1 การลดปริมาณของเสีย	13
2.3.2 การกำจัดหรือทำลายฤทธิ์และฝังกลบอย่างปลอดภัย	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.1 การกำจัดหรือทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์	14
2.3.2.2 การเผาด้วยเตาอุณหภูมิสูง	14
2.3.2.3 การฝังกลบ	15
2.3.3 การกำจัดกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย	14
2.4 การกลั่นอย่างง่ายและการกลั่นลำดับส่วน.....	18
2.4.1 ทฤษฎีการกลั่น	18
 3. การดำเนินการวิจัย	 22-26
3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต	22
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต	22
3.2.1 วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	22
3.2.2 กระบวนการผลิต	23
3.3 การจัดทำข้อมูลและประเมิน.....	24
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	24
3.3.2 คุณภาพข้อมูล	25
3.3.3 ปริมาณเมทานอลกรดในการศึกษา	25
3.3.4 สมดุลมวลสารและพลังงาน	25
3.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	25
3.5 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์.....	26
3.6 การแปรผลการศึกษา	26
 4. ผลการวิจัย	 27-49
4.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิต	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ปริมาณผลิตผลจากการผลิตไบโอดีเซล	28
4.1.2 ส่วนประกอบเมทานอลกรด	29
4.1.3 แนวทางการจัดการเมทานอลกรด	30
4.2 การออกแบบหอกลั่นเมทานอล	31
4.2.1 ผลการออกแบบหอกลั่นเมทานอล	31
4.2.2 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายการทำงานหอกลั่นเมทานอล	35
4.3 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	37
4.4 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	41
4.4.1 ผลการประเมินด้านต้นทุนระบบกลั่นเมทานอล	41
4.4.2 ผลการประเมินต้นทุนด้านการเดินระบบและบำรุงรักษา	41
4.4.3 ผลการประเมินผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์	42
4.4.3.1 หลักในการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์	42
4.4.3.2 เกณฑ์การตัดสินใจ	42
4.4.3.3 ผลการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์	45
4.4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว	47
4.4.4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมทานอลกรด	47
4.4.5 เปรียบเทียบการลงทุนระหว่างการกลั่นและการส่งเผาทำลาย	49
5. สรุปผลการศึกษา	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก ก.	52
ประวัติการศึกษา.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แบบจำลองการวิเคราะห์ Classification & Characterization ตามแบบของ CML2 Baseline 2000	12
4-1	ปริมาณการผลิตไปโอดีเซลช่วงเก็บข้อมูล	28
4-2	ปริมาณเมทานอล, น้ำ และกรดจากการระเหยด้วยเครื่อง Evaporator.....	30
4-3	สภาวะกระแสเข้าและออกหอกลั่นรวมทั้งองค์ประกอบผลิตภัณฑ์.....	33
4-4	รายละเอียดหอกลั่นจากการออกแบบ.....	34
4-5	รายละเอียดคุณสมบัติของปั๊มเมทานอลที่เลือกใช้	35
4-6	พลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ในระบบหอกลั่น.....	36
4-7	ราคาวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้.....	36
4-8	ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	37
4-9	ผลกระทบของ 1 kg Methanol ต่อระบบสิ่งแวดล้อม	38
4-10	ผลกระทบของ 1 kg Sulfuric ต่อระบบสิ่งแวดล้อม	38
4-11	ผลกระทบที่ลดลงของการกลั่น 1 kg Methanol ต่อระบบสิ่งแวดล้อม.....	39
4-12	ผลกระทบของ 1 kg Hazardous Waste Incineration ต่อระบบสิ่งแวดล้อม .	39
4-13	เปรียบเทียบผลกระทบจากการเก็บคั้นเมทานอลและการเผาทำลายตลอดอายุโครงการ.....	40
4-14	ผลการประเมินต้นทุนระบบกลั่นเมทานอล.....	41
4-15	ผลการวิเคราะห์การลงทุนกลั่นเมทานอล.....	47

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2-1	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล.....	6
2-2	ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน.....	7
2-3	กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมัน.....	7
2-4	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	8
2-5	การไฮโดรไลซิสวัตถุดิบน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง	8
2-6	กราฟแสดงจุดเดือดของผสมระหว่างไซโคลเฮกเซนและโทลูอีน.....	19
2-7	แสดงเครื่องมือการกลั่นอย่างง่ายและการกลั่นลำดับส่วน.....	21
3.1	วัตถุดิบและผลิตผลจากกระบวนการผลิต	23
3-2	แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน.....	24
4-1	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม	28
4-2	ผลผลิตเฉลี่ยของการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม.....	29
4-3	ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของเมทานอลกรด.....	29
4-4	แผนแสดงการกลั่นเมทานอล	32
4-5	พลังงานที่ใช้กับปั๊มจากการออกแบบ.....	35
4-6	แสดงรายรับที่ได้ต่อปี	45
4-7	แสดงรายจ่ายต่อปี	46
4-8	แสดงรายจ่ายต่อปีตลอดโครงการ	46
4-9	ความอ่อนไหวของมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการเพิ่มราคาตัวแปร.....	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

จากความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน โดยในปี พ.ศ. 2549 ทั้งประเทศใช้พลังงานเป็นมูลค่าสูงถึง 15.6% ของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product; GDP) ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงในปริมาณจำกัด ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการบริโภค ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานกว่า 90% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และจากการที่ประเทศไทยพึ่งพาพลังงานนำเข้าโดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลต่อความมั่นคงด้านพลังงาน เนื่องจากปัญหาราคาพลังงานที่ผันผวนและสูงขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง และการเพิ่มขึ้นของปัญหาสภาวะแวดล้อมโลก จึงได้มีความพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาใช้ทดแทนพลังงานดั้งเดิมที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ธเนศ อุทิศธรรม และพิสมัย เจริญนิชปัญจะกุล, 2551)

นอกจากนั้น ภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ จากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาผลาญถ่านหินและเชื้อเพลิง รวมไปถึงสารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ใช้ และอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งจากภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม และการคมนาคมขนส่ง จึงทำให้ก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ลอยขึ้นไปรวมตัวกันอยู่บนชั้นบรรยากาศของโลกมากขึ้น ทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่ควรจะสะท้อนกลับออกไปในปริมาณที่เหมาะสม กลับถูกก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้กักเก็บไว้ ทำให้อุณหภูมิของโลกค่อยๆ สูงขึ้นจากเดิม ในปี พ.ศ. 2540 ได้เกิดพิธีสารเกียวโตของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Kyoto Protocol) โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของประเทศที่พัฒนาแล้วให้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 จากระดับการปล่อยโดยรวมในปี พ.ศ. 2533 ซึ่งก๊าซเรือนกระจกที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตมีทั้งหมด 6 ชนิด นั่นคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) โดยรณรงค์ให้ทั่วโลกหันมาใช้พลังงานสะอาด (Clean Energy) หรือพลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกสู่สิ่งแวดล้อมให้น้อยลง

ผลกระทบที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำมันปิโตรเลียม และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม ทำให้เกิดการตื่นตัวในด้านการใช้พลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซล เช่น การนำน้ำมันหรือไขมันจากสัตว์มาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งการใช้พลังงานทดแทนชนิดนี้มีข้อดี คือ เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ มีปริมาณกักตุนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอย่างมาก ช่วยลดการสะสมของก๊าซเรือนกระจก และผลดีจากการสังเคราะห์แสงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชพลังงานทดแทน รวมทั้งช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรให้กับเกษตรกร

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล สำหรับประเทศไทย พืชที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ เพื่อใช้ผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์ม ที่มาจากการนำน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refine Palm Oil) แล้วจึงส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนั้น การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จะมีผลผลิตพลอยได้ คือ น้ำมันปาล์มกรด (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งสามารถผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้เช่นกัน โดยน้ำมันปาล์มกรดจะมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) สูง คือประมาณ 86-87% ส่วนที่เหลือเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประมาณ 13-14% โดยกระบวนการที่เหมาะสมในการนำ น้ำมันปาล์มกรด มาผลิตเป็นไบโอดีเซล คือ กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) เป็นการทำปฏิกิริยา ระหว่างกรดไขมันอิสระและเมทานอล จะได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) มาส่วนหนึ่ง รวมทั้งเมทานอล-กรดและน้ำ (Acid-MeOH) ที่ถูกแยกออกมาหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอีกส่วนหนึ่ง จากนั้นจึงส่งผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อทำให้ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับเมทานอลจนได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้มากที่สุด โดยในช่วงกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ผลผลิตพลอยได้ (By product) ที่ได้มาคือ เมทานอล-กรดและน้ำ (Acid-MeOH) ซึ่งเมทานอล-กรดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้โดยตรง จึงต้องมีการศึกษาถึงความเหมาะสม ในการผลิตเมทานอลบริสุทธิ์ด้วยเมทานอล-กรด รวมทั้งเปรียบเทียบกับจัดการของเสีย งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินในหลาย Scenarios ภายใน scope ของการสร้างหอกกลั่นหรือ จัดการส่งให้กับบริษัทรับบำบัดสาร-กากเคมีอันตราย โดยใช้ข้อมูลการผลิตไบโอดีเซล จากโรงกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลแห่งหนึ่ง ซึ่งดำเนินการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันกรดปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความเสี่ยงทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการลงทุนสร้างหน่วยผลิตเมทานอลบริสุทธิ์ จากเมทานอลเกรดที่เก็บได้ในการผลิตไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับการจัดการของเสีย
2. เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำของเสียที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลมาผลิตเมทานอลบริสุทธิ์ รวมทั้งการเก็บคืนเมทานอลกรดระหว่างการผลิต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงแนวทางการจัดการเมทานอล-กรด ซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม โดยมีแนวทางในการจัดการเพื่อนำมาวิเคราะห์แนวทางที่เหมาะสมดังนี้

1. การออกแบบหอกลั่นเมทานอลด้วยโปรแกรม Aspen Hysys 7.1 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์
2. การเปรียบเทียบวิธีการจัดการของเสียด้วยวิธี เผาทำลาย เพื่อหาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
3. การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม Sima Pro 7.1 เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลกระทบจากการจัดการเมทานอลแบบใดมีผลต่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

จากนั้นจึงดำเนินการนำข้อมูลในการออกแบบหอกลั่น, การจัดการของเสียมาเปรียบเทียบเพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางที่เหมาะสมในการจัดการของเสียเพื่อลดปริมาณของเมทานอล-กรดที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. เพิ่มความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการเก็บคืนเมทานอลที่มาจากการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสีย

3. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่มีการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์มอื่นๆ เพื่อช่วยพัฒนาแนวทางในการผลิต

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากชีวมวลจำพวกพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม มะพร้าว เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานไม่หมด (Renewable Energy) สามารถปลูกทดแทนได้ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะดึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศไปใช้ จึงเป็นหนทางควบคุมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและลดปัญหาโลกร้อน การเผาไหม้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่าและให้ไอเสียที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล ไม่ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากในไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ช่วยลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนลงร้อยละ 65 ลดปริมาณเขม่าลงร้อยละ 45 และลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลงร้อยละ 41 แต่ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ร้อยละ 6) ซึ่งแก้ไขได้โดยการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสม

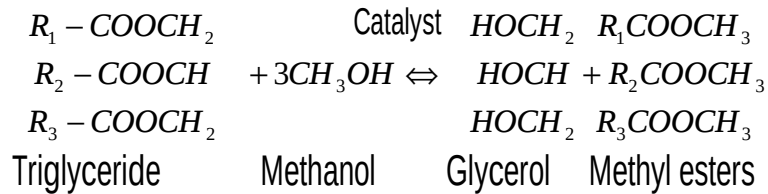
การผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงและทำให้มีความซับซ้อนที่น้อยกว่า เพื่อลดความหนืดและความถ่วงจำเพาะ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก

2.1.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl Ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุลขนาดเล็ก ดังภาพที่ 2-1

ภาพที่ 2-1

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล



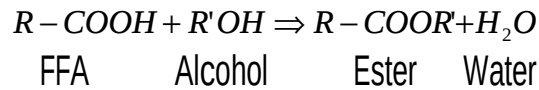
ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดได้ที่มีความดันบรรยากาศ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ (ประมาณ 65 องศาเซลเซียส) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ กรดและเบส โรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์เกือบทั้งหมดในปัจจุบันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เบสจะเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า และใช้ระยะเวลาสั้นกว่าประมาณ 5 นาทีจนถึงประมาณ 1 ชั่วโมง ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น การกวนผสม และอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และของผสมกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นที่ต้องการของโรงกลั่นกลีเซอรอลมากกว่าด้วย โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กัน มีความว่องไวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในเมทานอล ส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลทำให้น้ำเกิดขึ้น ซึ่งจะปลดความว่องไวของเมทอกไซด์ไอออนในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.1.2 กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน

เนื่องจากในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเบส จำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งโดยทั่วไปจะลดให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นในกระบวนการที่ใช้วัตถุดิบราคาถูกและมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-30 จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระออกในกระบวนการนี้ ขั้นแรกเป็นการทำเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ ดังภาพที่ 2-2

ภาพที่ 2-2

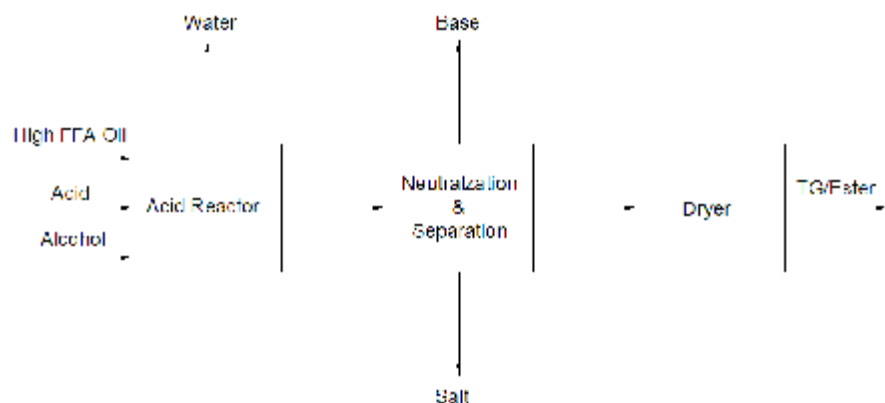
ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน



ภาพที่ 2-3 แสดงตัวอย่างกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยทั่วไปใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูง เช่นเดียวกับกรณีการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ ประมาณ 20 ต่อ 1 ถึง 40 ต่อ 1 และเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาทีจนถึงประมาณ 2 ชั่วโมง ในบางกระบวนการจำเป็นต้องใช้กรดปริมาณมาก เนื่องจากในปฏิกิริยานี้มีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม กรดจะรวมตัวกับน้ำอยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยาลดลง จึงจำเป็นต้องแยกน้ำออกโดยการระเหย การปล่อยให้แยก หรือการปั่นเหวี่ยง น้ำที่ถูกแยกออกจะเป็นของผสมของน้ำและเมทานอล จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบส และทำให้แห้ง ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ สามารถผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เลย

ภาพที่ 2-3

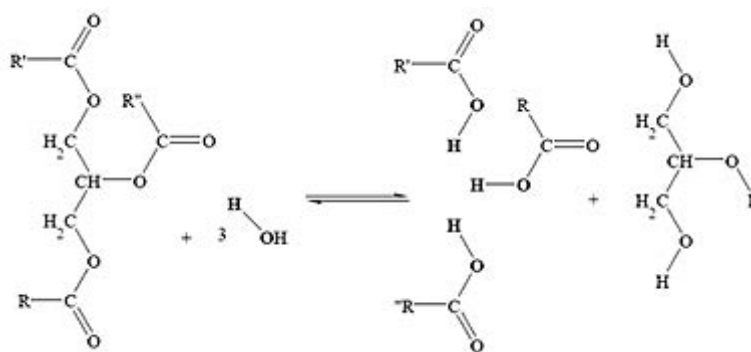
กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมัน



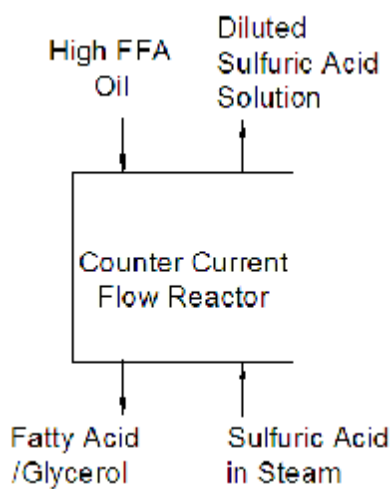
2.1.3 ไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชัน

กระบวนการนี้เป็นวิธีการหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบราคาถูกลงที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ทำโดยการเปลี่ยนน้ำมันพืชตั้งต้นทั้งหมดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



ภาพที่ 2-5
การไฮโดรไลซิสวัตถุดิบน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง



ปกติขั้นตอนนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางต่อเนื่อง (Counter-Current Continuous Flow Reactor) โดยใช้กรดซัลฟิวริกและไอน้ำ ดังภาพที่ 2-5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดไขมันบริสุทธิ์และกลีเซอรอล สิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันส่วนใหญ่จะปะปนในชั้นกลีเซอรอล และบางส่วนออกมาพร้อมกับไอน้ำและน้ำ กรดไขมันบริสุทธิ์จะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางอีกเครื่องหนึ่ง เพื่อทำเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดต่อไป

การผลิตไบโอดีเซลโดยการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันบริสุทธิ์ด้วยกรด มีการทำมานานกว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งให้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 99 กระบวนการอาศัยหลักการไหลสวนทางกันของกรดไขมันและสารละลายกรดซัลฟิวริกในเมทานอล น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากผลิตภัณฑ์ไปในตัวโดยการละลายในเมทานอล สำหรับในระบบที่เป็นแบบตอร์ น้ำที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะรวมตัวกันและแยกเฟสออกจากของผสม ทำให้ปฏิกิริยาชะงักได้ เนื่องจากกรดซัลฟิวริกในเมทานอลจะละลายรวมกับน้ำ ทำให้ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ วิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาปริมาณน้ำในระบบได้ คือ การแบ่งกระบวนการออกเป็นสองขั้นตอน โดยภายหลังการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก สารละลายกรดในเมทานอลจะถูกแยกออก และมีการเติมกรดและเมทานอลเข้าไปใหม่ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำได้และทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เกือบสมบูรณ์

เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวข้างต้น ใช้กรดหรือเบสที่ละลายเป็นวัฏภาคเดียวกับกับเมทานอล น้ำมันตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ได้ ทำให้ต้องใช้ น้ำปริมาณมากในการล้างเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงจะมีความบริสุทธิ์และมีสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการล้าง และลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบต่าง ๆ จึงได้ถูกวิจัยและพัฒนาขึ้น

2.1.4 การผลิตไบโอดีเซลของผู้ประกอบการในกรณีศึกษา

บริษัทผู้ผลิตไบโอดีเซลที่ได้ให้ข้อมูลในการศึกษาเป็นผู้ประกอบการด้านน้ำมันไบโอดีเซลอันดับต้นๆของประเทศไทย ซึ่งมีกำลังการผลิตติดตั้ง 1,400,000 ลิตรต่อวัน (ปี 2550, กรมธุรกิจพลังงาน) ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลในการผลิต ตั้งแต่ ขั้นตอนการผลิต วัตถุดิบ และผลผลิต รวมทั้งผลผลิตพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล และการจัดการกากของเสียด้วยวิธีต่างๆ เพื่อนำมาดำเนินการศึกษา สำหรับประเทศไทย พืชที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ เพื่อใช้ผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มที่มาจากการนำน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ผ่าน

กระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refine Palm Oil) แล้วจึงส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนั้น การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จะมีผลผลิตพลอยได้ คือ น้ำมันปาล์มกรด (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งสามารถผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้เช่นกัน โดยน้ำมันปาล์มกรดจะมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) สูง คือประมาณ 86-87% ส่วนที่เหลือเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประมาณ 13-14% โดยกระบวนการที่เหมาะสมในการนำน้ำมันปาล์มกรด มาผลิตเป็นไบโอดีเซล คือ กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) เป็นการทำปฏิกิริยา ระหว่างกรดไขมันอิสระและเมทานอล จะได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) มาส่วนหนึ่ง รวมทั้งเมทานอล-กรดและน้ำ (Acid-MeOH) ที่ถูกแยกออกมา หลังจากสิ้นสุดกระบวนการอีกส่วนหนึ่ง จากนั้นจึงส่งผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อให้ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับเมทานอลจนได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้มากที่สุด โดยในช่วงกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ผลผลิตพลอยได้ (By product) ที่ได้มาคือ เมทานอล-กรดและน้ำ (Acid-MeOH) ซึ่งเมทานอล-กรดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้โดยตรง จึงต้องมีการศึกษาถึงความเหมาะสม ในการผลิตเมทานอลบริสุทธิ์ด้วยเมทานอล-กรด รวมทั้งเปรียบเทียบกับกำจัดการของเสีย

2.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากร และการปล่อยของเสียหรือสารเข้าและขาออก ในแต่ละกระบวนการที่ได้มาจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ซึ่งการประเมินผลกระทบของการศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง (Midpoint) โดยมุ่งเน้นการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) และภาวะโลกร้อน (Global Warming) ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent) โดยวิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางดังกล่าวนี้ มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ การจำแนกผลกระทบออก เป็นหมวดหมู่ (Classification) และการคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization)

การคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization) เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิง

ปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มของผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential environment impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคซึ่งการคำนวณและการจำแนกกลุ่มของผลกระทบขึ้นกลางในการศึกษานี้จะยึดตามวิธีคำนวณมาตรฐานสากลที่นิยมใช้กันอยู่ปัจจุบัน เช่น CML หรือ Eco-indicator เป็นต้น ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่น่าสนใจ คือ ภาวะโลกร้อน (Global warming) การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification) การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชในแหล่งน้ำ (Eutrophication) ผลกระทบเหล่านี้เกิดจากการปลดปล่อยของมวลสารต่าง ๆ การคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Emission} = \text{AD} \times \text{EF} \quad (2-1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \text{Emission} &= \text{ปริมาณการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม (kg CO}_2\text{eq)} \\ \text{Activity Data (AD)} &= \text{ปริมาณสารที่พิจารณา (kg)} \\ \text{Emission Factor (EF)} &= \text{สัมประสิทธิ์เทียบเท่า CO}_2\text{eq ของปริมาณสารที่พิจารณา} \\ &\quad (\text{kg CO}_2\text{eq / kg of AD}) \end{aligned}$$

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ของงานวิจัยนี้จะใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็น Commercial Software เช่น SimaPro มาช่วยสำหรับการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 2-1

แบบจำลองการวิเคราะห์ Classification & Characterization ตามแบบของ CML2 Baseline 2000

Impact Categories	Model	Reference	ตัวย่อ
การทำให้โลกร้อน (global warming)	IPCC	(kg of CO ₂ -equivalents)	GWP
การทำลายโอโซนในชั้น บรรยากาศ (ozone layer depletion)	WMO	(kg of CFC-11 Equivalents)	ODP
ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (human toxicity)	USES-LCA	(kg of 1,4-DB Equivalents)	HTP
การออกซิเดชันจากปฏิกิริยา แสง-เคมี (photochemical oxidation)	UNECE Trajectory	(kg of C ₂ H ₄)	POCP
ภาวะความเป็นกรด (acidification)	RAINS 10 Model	(kg of SO ₂ equivalents)	AP
การมีสารอาหารของพืชน้ำเกิน สมดุล (eutrophication)	Based on stoichiometric Procedure of Heijung (1992)	(kg of PO ₄ equivalents)	EP
ความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (fresh water aquatic ecotoxicity)	USES - LCA	(kg of 1,4-DB Equivalents)	F RTP _{inf}
ความเป็นพิษในน้ำทะเล (marine aquatic ecotoxicity)	USES - LCA	(kg of 1,4-DB Equivalents)	MAETP _{inf}
ความเป็นพิษในดิน (terrestrial ecotoxicity)	USES - LCA	(kg of 1,4-DB Equivalents)	TETP _{inf}

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2550

ภาวะโลกร้อน (Global warming) เกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลก ถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจก ทำให้กักเก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลก ไม่ให้สะท้อนกลับขึ้นสู่อวกาศ เหมือนเรือนกระจกที่ใช้เพาะปลูกต้นไม้ในเขตหนาว ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปในเรือนกระจกได้ แต่ความร้อนยังคงอยู่ภายใน ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมี 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูโอโรคาร์บอน (PFC) และ ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ตามพิธีสารเกียวโต ซึ่ง PAS 2050 ได้กำหนดให้ใช้ตาม IPCC 2007 ซึ่งมีจำนวนก๊าซเรือนกระจกมากกว่า 60 ชนิด

2.3 การจัดการกากของเสียอันตราย

แนวทางการจัดการกากของเสียอันตรายอันตรายที่ถูกต้อง ควรคำนึงถึงการลดปริมาณของเสียให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด มากกว่าที่จะมุ่งตรงไปที่การหาทางจัดการกำจัดของเสียนั้น ตั้งแต่ต้น และมาตรการจัดการนั้นๆ ต้องสามารถตามจัดการได้ตั้งแต่จุดกำเนิดของเสียไปจนถึงการฝังกลบขั้นสุดท้าย

(ส่วนบริหารจัดการของเสีย สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

2.3.1 การลดปริมาณของเสีย

การลดปริมาณของเสีย (Minimization) หรือเทคนิคในการผลิตที่สะอาด (Clean Technology) หรือการป้องกันมลพิษ (Preventive) หรือเทคนิคในการผลิต ที่มีของเสียน้อย หรือไม่มีของเสียเกิดขึ้นเลย (Low and Non waste) มีแนวทางใหญ่ๆ 2 แนวทาง คือ การลดที่แหล่งกำเนิด เช่นการเปลี่ยนไปใช้วัตถุดิบชนิดใหม่ เปลี่ยนวิธีการผลิต หรือปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เช่น การนำสารตัวทำละลายใช้แล้วมากลั่นใช้ใหม่ และการแยกสารมีค่า หรือโลหะหนักจากน้ำเสียด้วยไฟฟ้า เพื่อนำโลหะมีค่ากลับมาใช้ประโยชน์อีก เป็นต้น ซึ่งทำได้ทั้งในโรงงาน หรือส่งไปจัดการที่อื่น

2.3.2 การกำจัดหรือทำลายฤทธิ์และฝังกลบอย่างปลอดภัย

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปแล้วว่า ไม่ว่าเราจะพยายามลดปริมาณของเสียให้น้อยที่สุดหรือไม่ให้มีเลย หรือพยายามนำของเสียกลับมาใช้ใหม่แล้วก็ตาม ก็ยังคงมีของเสียเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่งที่ต้องนำไปจัดการต่อ ตัวอย่างของประเทศเยอรมัน ใช้วิธีกำหนดมาตรการกำจัดที่เหมาะสมเป็นประเภทๆ คือ ของเสียบางประเภท กำหนดให้ส่งไปฝังกลบได้เลย ซึ่งมีทั้งการฝังกลบแบบของเสียประเภทเดียว (Mono disposal) และการฝังกลบรวมกับของเสียอื่นได้ (Co-disposal) และของเสียประเภทที่ต้องผ่านการกำจัดทำลายฤทธิ์ (Detoxification and Stabilization) ก่อนนำไปฝังกลบ เช่น กำหนดให้กำจัด หรือทำลายฤทธิ์ ด้วยระบบเคมี-ฟิสิกส์ หรือเผาที่อุณหภูมิสูงจนเหลือแต่ขี้เถ้าก่อน ทั้งนี้การเลือกกรรมวิธี การเดินระบบ และการบริหารจัดการ จะต้องได้มาตรฐานที่ระบุไว้

2.3.2.1 การกำจัดหรือทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์

หลักการของวิธีนี้คือ การทำลายฤทธิ์ด้วยสารเคมีให้หมดสภาพอันตราย เช่น สารไซยาไนด์ กรณีเป็นโลหะหนักก็ปรับสภาพให้ตกตะกอนแยกจากน้ำเสีย แล้วนำไปผสมกับสารเคมีให้อยู่ในสภาพคงตัว ไม่ละลายน้ำได้อีก เช่น ผสมปูนขาวและซีเมนต์ แล้วนำไปฝังกลบตามหลักวิชาการ ก่อนนำไปฝังกลบจะต้องทดสอบคุณสมบัติของตะกอนว่า ได้ผ่านการทำให้คงตัวได้สมบูรณ์แล้ว คือไม่ละลายน้ำได้อีก การทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์นี้เหมาะสำหรับของเสียประเภทสารอินทรีย์

2.3.2.2 การเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง

การกำจัดหรือทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์นั้น ไม่สามารถกำจัดทำลายฤทธิ์ของเสียจำพวก น้ำมัน ยาฆ่าแมลงบางชนิด และสารตัวทำละลายได้ เพราะจะไม่ทำปฏิกิริยากัน จึงจำเป็นต้องกำจัดโดยใช้ความร้อนเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ของเสียถูกออกซิไดซ์ไปเป็นขี้เถ้า การเผาเหมาะสำหรับของเสียประเภทสารอินทรีย์ สามารถกำจัดน้ำยาเคมีเสื่อมคุณภาพ หรือของเสียที่มีความสลับซับซ้อนมากๆ (Complex) ได้ ขี้เถ้าหรือกากตะกอนที่เกิดขึ้น ก็ยังต้องนำไปฝังกลบ และกรณีที่มีสารอันตรายเจือปน เช่น โลหะหนัก ต้องทำให้คงรูปไม่ละลายน้ำ ก่อนนำไปฝังกลบ

การเผาของเสียอันตรายต้องเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,000 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส เตาเผาต้องมีเวลาในการเผาไหม้ได้นานกว่า 2 วินาที ซึ่งต้องใช้เตาที่มีส่วนเผาไหม้ (After Burner) และมีการปรับเชื้อเพลิง อากาศให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ มีการติดตั้งเครื่องฟอกไอเสีย ที่มีประสิทธิภาพ เช่น เครื่องดักฝุ่น เครื่องชะไฮดรอกไซด์ อาจมีเครื่องดูดซับ Dioxin รวมทั้งเครื่องเผาเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำก่อนระบายออกทางปล่อง เพื่อให้ไอเสียมีอุณหภูมิสูงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษ นอกจากนี้ เตาเผานี้ยังต้องติดตั้งเครื่องตรวจวัด และจุดบันทึกคุณภาพอากาศที่ระบายออกมาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งเตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีระบบฟอกอากาศครบถ้วนจึงมีราคาแพง ค่าบริการเผาก็สูงมาก ของเสียที่ไม่อันตรายจึงควรจัดการด้วยวิธีอื่น

2.3.2.3 การฝังกลบ

สิ่งปฏิกูลหรือกากของเสียที่จะนำมาฝังกลบต้องผ่านการบำบัดที่เหมาะสม เมื่อทำการสกัดและวิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รวมทั้งให้จัดทำบันทึกการดำเนินงาน ซึ่งมีรายการแสดงเกี่ยวกับประเภท ชนิด ปริมาณ วิธีการฝัง รวมทั้งผังการจัดแบ่งส่วน (Cell) หลุมฝัง และชนิดของสิ่งปฏิกูลที่อยู่ในแต่ละส่วนของหลุมฝัง โดยให้เก็บรักษานี้ไว้ เพื่อให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมตรวจสอบได้ทุกเมื่อ และต้องจัดให้มีวัสดุปิดคลุมสิ่งปฏิกูล ในหลุมฝังกลบ หลังจากเสร็จสิ้นการฝังในแต่ละวัน เพื่อลดการกระจายของฝุ่นอันเกิดจากแรงลม รวมทั้งปลูกพืชคลุมดินบนหลุมฝังกลบที่ปิดแล้ว เพื่อลดความรุนแรงของการพังทลายของผิวน้ำดิน โดยพืชที่ปกคลุมดินจะต้องเป็นพืชรากสั้น หรือมีเอกสารที่พิสูจน์ได้ว่าความยาวที่สุดของรากจะยาวน้อยกว่า 90 เซนติเมตร และเมื่อเลิกใช้หลุมฝังกลบ โดยปิดคลุมด้านบนเรียบร้อยแล้ว ผู้ประกอบการจะต้องรับผิดชอบดูแลรักษา ตรวจสอบหลุมฝังกลบ ไปอีกเป็นระยะเวลา 30 ปี นับจากวันที่ปิดหลุมฝังกลบเรียบร้อยแล้ว

2.3.3 การจัดการกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ปัจจุบัน ศูนย์บริการกำจัดกากที่เปิดดำเนินการแล้วมี 2 แห่ง คือ (1) ศูนย์บริการกำจัดกากแขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน พื้นที่ฝังกลบ จ.ราชบุรี และศูนย์บริการกำจัดกาก นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ปัจจุบัน บริษัทผู้รับสัมปทานในการดำเนินการศูนย์ก่อสร้างทั้ง 2 แห่ง คือ บริษัท บริหารและพัฒนาการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (General Environmental Conversation

Co., Ltd.) หรือเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในนาม GENCO ซึ่งมีการก่อตั้งตามกฎหมายมหาชนเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ.2537

การให้บริการของทั้ง 2 ศูนย์นี้ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ (ก) การขนส่งกากของเสีย (ข) การศึกษาวิเคราะห์ของเสียก่อนการบำบัด (ค) การบำบัดน้ำเสีย (ง) การปรับเสถียรกากของเสีย (จ) การฝังกลบอย่างปลอดภัย และ (ฉ) การผสมกากเป็นเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้ (ก) การขนส่งกากของเสีย

ในการขนส่งกากของเสีย GENCO ได้จัดการขนส่งด้วยวิธีต่างๆ ตามลักษณะของของเสีย รถทุกคันต้องมีอุปกรณ์กู้ภัยในกรณีเหตุฉุกเฉิน เช่น อุปกรณ์ดับเพลิง เครื่องดูดสารเคมี เครื่องสูบน้ำ หมวก ชุดนิรภัย อุปกรณ์สื่อสาร วิธีการขนส่งของเสียมีดังนี้

- ของแข็ง เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ถ่านไฟฉาย จะเก็บขนโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ที่ปิดมิดชิด ทาง GENCO ได้นำตู้คอนเทนเนอร์เปล่ามาตั้งไว้ให้ที่โรงงาน เมื่อใส่ของเสียเต็มแล้ว ก็จะมียกตู้ใส่รถพ่วงไปบำบัดที่ศูนย์
- ของเหลวปริมาณน้อย เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ ตะกอนสี จะบรรจุไว้ในถังพลาสติกที่มีฝาปิดมิดชิดและเข็มขัดรัดฝา ในการขนส่งจะวางถังเหล่านี้ในตู้ปิดทึบ เพื่อป้องกันการรั่วไหลเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
- ของเหลวปริมาณมาก เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ จะใช้รถบรรทุกที่มีลักษณะคล้ายรถน้ำมัน

(ข) การศึกษาวิเคราะห์ของเสียก่อนการบำบัด

ก่อนที่โรงงานใดจะทำสัญญาว่าจ้าง GENCO ทำการบำบัดของเสีย นั้น โรงงานจะต้องจัดส่งตัวอย่างของเสียมาให้ GENCO เพื่อตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของของเสีย สารปนเปื้อนในของเสีย และการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียด้วย ดังนั้น เมื่อถึงขั้นตอนที่โรงงานส่งของเสียมาบำบัดจริง GENCO จะต้องทำการตรวจสอบปริมาณและสมบัติของเสียว่า เป็นประเภทเดียวกับที่ตกลงกันไว้หรือไม่ วิธีใดเป็นวิธีการบำบัดที่เหมาะสม และจะต้องใช้สารเคมีในการบำบัดเท่าใด

(ค) การบำบัดน้ำเสีย

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสีย มีเฉพาะที่ศูนย์เสม็ดคำเท่านั้น น้ำเสียที่รับบำบัด ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมและโรงงานชุบโลหะ รายละเอียดกระบวนการบำบัดน้ำเสียมี ดังนี้

- บ่อสูบน้ำเสีย

- ถังวัดอัตราการป้อนน้ำเสียด้วย weir สามารถปรับให้น้ำเสียไหลผ่านตามที่ต้องการ น้ำส่วนเกินจะไหลผ่านท่อน้ำล้นกลับเข้าสู่บ่อสูบน้ำ

- ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) ทำการกวนเร็ว เพื่อผสมสารเคมีช่วยในการตกตะกอนอนุภาคต่างๆ ในขั้นตอนนี้เป็นการช่วยทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย

- ถังกวนช้า (Flocculation Tank) เป็นการกวนช้า เพื่อช่วยให้ตะกอนรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่

- ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank หรือ Clarifier) เป็นถังที่ปล่อยให้ น้ำนิ่ง เพื่อให้ตะกอนแยกจากน้ำ

- บ่อฝักร (Stabilization Pond) น้ำใสจากถังตกตะกอนจะปล่อยลงสู่บ่อฝักรจำนวน 3 บ่อ ซึ่งต่อกันแบบอนุกรม เพื่อลดปริมาณ BOD และมลสารอื่นๆ ในน้ำ

- ถังทำตะกอนข้น (Sludge Thickener) เป็นตะกอนจากถังตกตะกอน จะทำให้น้ำขุ่นขึ้น

- ลานตากตะกอน (Sludge Drying Bed) ตะกอนที่ผ่านการทำให้ข้นแล้วจะนำมาตากไว้ที่ลานตากตะกอน เพื่อให้ได้ตะกอนที่แห้งมาก สะดวกต่อการนำมาฝังกลบที่ศูนย์ จ. ราชบุรี ต่อไป

(ง) การปรับเสถียรภาพของเสีย (Stabilization and Solidification)

กากของเสียต่างชนิดกันจะมีวิธีการที่เหมาะสมในการปรับเสถียรต่างกัน ดังนั้น ก่อนการปรับเสถียรของเสียชนิดใดๆ ต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้นในห้องทดลองก่อนเสมอ ตัวอย่างการปรับเสถียร ได้แก่ กากตะกอนพรอท นำมาปรับเสถียรด้วยไฮเดียมซัลไฟด์แล้วผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ ทำให้กลายเป็นของแข็ง สารเหล่านี้จะถูกนำมาผสมกันผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องมือผสม

(จ) การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)

กากของเสียที่ผ่านการบำบัดที่เหมาะสมแล้วจะนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย ลักษณะของหลุมฝังกลบดังที่กล่าวมาแล้วจากจากศูนย์ผสมดำถูกส่งไปฝังกลบที่ จ.ราชบุรี ส่วนศูนย์มาบตาพุดมีพื้นที่ฝังกลบในบริเวณนั้นอยู่แล้ว

(ฉ) การผสมกากเป็นเชื้อเพลิง

เป็นการนำของเสียที่เป็นสารอินทรีย์มาผสมเป็นเชื้อเพลิง เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ สารอินทรีย์ที่นำมากำจัดโดยวิธีนี้จะต้องไม่เป็นสารที่มีปฏิกิริยารุนแรง สารที่ระเหยได้ สารกัมมันตภาพรังสี

2.4 การกลั่นอย่างง่ายและการกลั่นลำดับส่วน

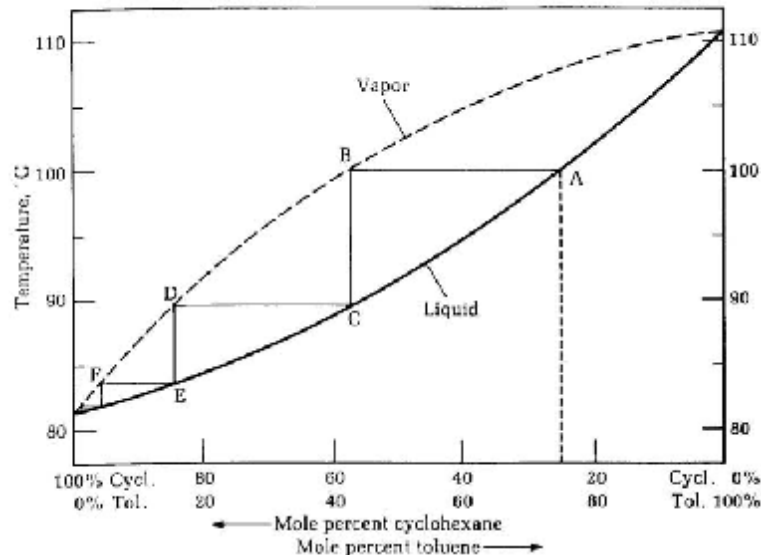
การกลั่นคือกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่ของเหลวเพื่อให้ระเหยกลายเป็นไอ เมื่อไอได้รับความเย็นก็จะควบแน่นเปลี่ยนเป็นของเหลวไหลลงสู่ภาชนะที่รองรับ ของเหลวที่กลั่นได้นี้เรียกว่าของเหลวกลั่น (Distillate หรือ Condensate) ส่วนของเหลวที่ยังเหลืออยู่ในภาชนะที่ให้ความร้อนเรียกว่า ของเหลวตกค้าง (Residue) การกลั่นเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำของเหลวบริสุทธิ์ขึ้น การกลั่นยังใช้เพื่อหาช่วงการเดือดของของเหลวที่สนใจเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์พิสูจน์ทราบชนิดของสารด้วย

2.4.1 ทฤษฎีการกลั่น

การกลั่นทำของเหลวบริสุทธิ์ มีการใช้กับอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การกลั่นน้ำมันปิโตรเคมี การกลั่นแอลกอฮอล์ การกลั่นน้ำมันพืช ซึ่งหลักการเบื้องต้นจะมีหลักการที่เหมือนกัน ดังนั้นในการทำความเข้าใจกับทฤษฎีการกลั่นจึงควรทำความเข้าใจหลักการเบื้องต้น ซึ่งสามารถอธิบายให้เข้าใจได้โดยการพิจารณาจากตัวอย่างการกลั่นของผสมระหว่างไซโคลเฮกเซน (bp 82 °C) และโทลูอีน (bp 111 °C) ดังภาพที่ 2-6 จะทำให้ทราบข้อมูลว่า ถ้านำของผสมระหว่างไซโคลเฮกเซน (C) และโทลูอีน (T) ที่อัตราส่วนจำนวนโมล C:T เท่ากับ 25:75 เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลว ของเหลวจะเดือดที่ 100 °C (จุด A) เมื่อของเหลวเดือดหมายถึงของเหลวกลายเป็นไอ คำถามก็คือถ้าของเหลวที่ให้ความร้อนมีอัตราส่วนจำนวนโมล C : T เป็น 25 : 75 แล้วไอที่เกิดขึ้นจะมีสารทั้งสองอยู่มากน้อยเท่าไร? สัดส่วนของสาร C และ T ในไอที่เกิดขึ้นจะมากน้อยแค่ไหนนั้นย่อมขึ้นอยู่กับว่า C และ T มีความดันไอย่อย (Partial Pressure) เท่าไรที่อุณหภูมิ 100 °C สารที่มีความดันไอย่อยสูงย่อมกลายเป็นไอดีมากกว่า ความดันไอย่อยของสารขึ้นกับสัดส่วนจำนวนโมลของสารนั้นๆ ในของผสมดังสมการที่ 2-2

ภาพที่ 2-6

กราฟแสดงจุดเดือดของของผสมระหว่างไซโคลเฮกเซนและโทลูอีน



$$P_c = P_c^0 X_c \quad (2-2)$$

เมื่อ P_c คือความดันย่อยของสาร C X_c คือ สัดส่วนจำนวนโมลของสาร C ในของผสม

P_c^0 คือความดันของสาร C ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ดังนั้นที่ 100°C ของผสมดังกล่าวจึงประกอบด้วยความดันย่อยของไซโคลเฮกเซน(C) ในของผสม คิดเป็น 433 mmHg ซึ่งคิดได้จาก

ความดันไอของไซโคลเฮกเซน(C) บริสุทธิ์ที่ $100^\circ\text{C} = 1732 \text{ mm Hg}$

สัดส่วนของไซโคลเฮกเซน (C) ในของผสมคิดเป็น = 25/100

ความดันย่อยของไซโคลเฮกเซน (C) ในของผสม = $1732 \times 25/100 = 433 \text{ mm Hg}$

ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณความดันไอย่อยของโทลูอีน(T) ในของผสม คิดเป็น 327 mm Hg ซึ่งคิดได้จาก

ความดันไอของโทลูอีน(T) บริสุทธิ์ที่ $100^\circ\text{C} = 436 \text{ mm Hg}$

สัดส่วนของโทลูอีน(T) ในของผสมคิดเป็น = 75/100

ความดันย่อยของโทลูอีน(T) ในของผสม = $436 \times 75/100 = 327 \text{ mm.Hg}$

ความดันไอลอยของทั้งสาร C และ T เมื่อรวมกันแล้วจะมีค่าเท่ากับ 760 mm Hg ซึ่งเท่ากับความดันบรรยากาศ ของเหลวจึงเดือดได้ สัดส่วนโมลของสาร C และ T ในไอสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{สัดส่วนของไซโคลเฮกเซน (C) ในไอ} = 433 \times 100/760 = 57\%$$

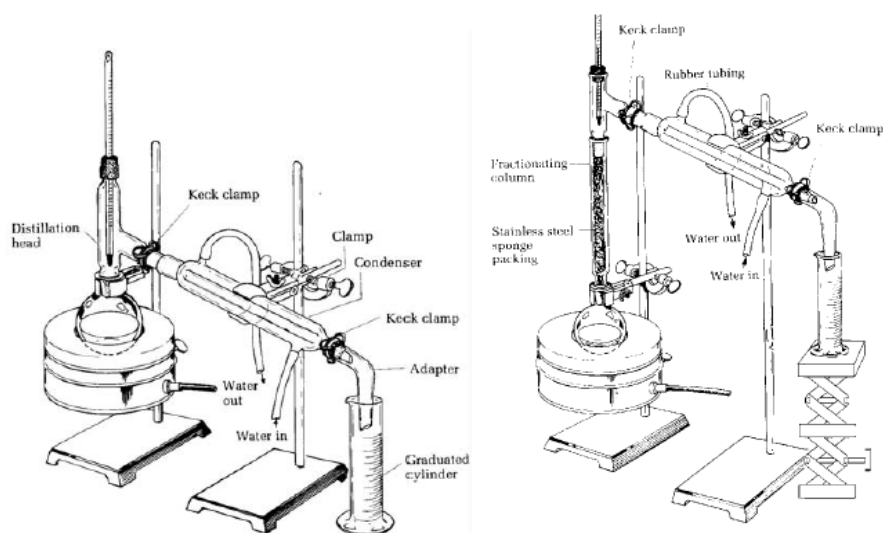
$$\text{สัดส่วนของโทลูอีน (T) ในไอ} = 327 \times 100/760 = 43\%$$

เมื่อไอกถูกทำให้เย็นก็จะควบแน่นกลายเป็นของเหลว (Distillate) ที่มี C:T เป็น 57:43 โมล ของเหลวที่เหลืออยู่ในขวดกลั่น (Residue) ย่อมมีอัตราส่วน C:T เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้น ของเหลวที่เหลืออยู่ในขวดกลั่นจึงเดือดที่จุดเดือดต่างไปจากเดิม จะเห็นได้ว่าของเหลวที่ได้จากการกลั่นมีสัดส่วนของ C เพิ่มขึ้น นั่นหมายถึง ของเหลวที่เหลืออยู่ในขวดกลั่นจะต้องมีสัดส่วน C น้อยลง จุดเดือดจึงเคลื่อนไปตามกราฟทางขวามือเรื่อยๆ นั่นคือจุดเดือดสูงขึ้น (จุดเดือดของของเหลวจึงไม่คงที่) เมื่ออุณหภูมิจุดเดือดเปลี่ยนไป สัดส่วนของ C และ T ในไอก็เปลี่ยนตามไปด้วยมีผลทำให้ของเหลวที่ได้จากการกลั่นมีสัดส่วนของ C:T เปลี่ยนไปตามเส้นกราฟ (เส้นประ) จากจุด B ไปในทางขวามือจากการพิจารณารูปภาพที่ 2-6 ข้างต้นจะเห็นว่า เมื่อใดก็ตามที่ของเหลวที่ผสมกันอยู่มีความดันไอด่างกันมากๆ (จุดเดือดต่างกันมากๆ ด้วย) การกลั่นอย่างง่ายจะช่วยทำให้ได้สารบริสุทธิ์ขึ้น ตัวอย่างเช่น ของเหลว A ผสมอยู่กับ ของเหลว B ในอัตราส่วน 1:1 จุดเดือดของของผสมอยู่ที่ 150 °C โดยที่ 150 °C นี้ A มีความดันไอลอยเป็น 695 mm Hg และ B มีความดันไอลอยเป็น 65 mm Hg ไอที่เกิดขึ้นจึงมีสัดส่วนจำนวนโมล A:B ที่ 695/760:65/760 ด้วยการกลั่นอย่างง่ายนี้จึงได้ A ที่บริสุทธิ์เพิ่มขึ้นมากโดยการกลั่นเพียงหนเดียว อย่างไรก็ตามจากตัวอย่างที่กล่าวไปข้างต้นที่มีของเหลว C และ T ผสมกันด้วยอัตราส่วนจำนวนโมล C:T เป็น 25:75 นั้น หากต้องการทำให้ได้ C และ T ที่บริสุทธิ์ขึ้นจะไม่สามารถทำได้ด้วยการกลั่นอย่างง่ายเพียงครั้งเดียว จะต้องอาศัยการนำของเหลวที่กลั่นได้ (Distillate) ไปทำการกลั่นซ้ำ มีเครื่องมือการกลั่นที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลที่เทียบเท่ากับการกลั่น Distillate ที่ได้ซ้ำกันหลายๆ ครั้ง ด้วยการทำโดยการกลั่นเพียงครั้งเดียว เครื่องมือการกลั่นส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าวเรียกว่า คอลัมน์แยก (Fractionating Column) และการกลั่นที่ใช้คอลัมน์แยกดังกล่าวเรียกว่า การกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) จากภาพที่ 2-7 (ขวา) จะเห็นว่าคอลัมน์แยกจะต้องตั้งอยู่ระหว่างขวดกลั่นกับ หัวกลั่น (Distillation head) ที่ต่อไปยัง เครื่องควบแน่น (Condenser) ในคอลัมน์แยกมักบรรจุเศษแก้วหรือลูกแก้วเล็กๆ ที่ทำให้เกิดวงจรการกลายเป็นไอ-การควบแน่นหลายๆ รอบ ลองพิจารณาการกลั่นลำดับส่วนของของผสม C และ T ที่มีอัตราส่วน C:T เป็น 25:75 ในตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว (ภาพที่ 2-7 ซ้าย) เมื่อให้ความร้อนแก่ของผสมจนถึงอุณหภูมิ 100 °C (จุด A) ซึ่งของเหลว

กลายเป็นไอ ไอจะขึ้นไปสู่คอลัมน์แยก ที่คอลัมน์แยกนี้ไอดังกล่าวจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่มีสัดส่วนจำนวนโมลเท่ากับสัดส่วนจำนวนโมลของไอที่เกิดขึ้น ซึ่งคือ C:T เป็น 57:43 (จุด B) จากนั้นของเหลวที่ได้ก็จะเดือดแล้วกลายเป็นไ้อีกครั้งหนึ่ง ของเหลวที่สัดส่วนนี้จะเดือดที่อุณหภูมิ 90°C (จุด C) ทำให้ได้ไอที่มีสัดส่วนจำนวนโมลเป็น C:T 85:15 (จุด D) เมื่อไอเคลื่อนที่ขึ้นสูงต่อไปในคอลัมน์แยก ไอนี้ก็จะควบแน่นเป็นของเหลวอีก (จุด E) จากนั้นของเหลวที่เกิดขึ้นก็เดือดกลายเป็นไอ วงจรดังกล่าวเกิดซ้ำๆ กันจนกระทั่งถึงวงจรการกลายเป็นไอ-ควบแน่นวงจรสุดท้ายที่ส่วนบนสุดของคอลัมน์แยก ไอที่ได้นั้นก็จะมืองค์ประกอบเป็นไซโคลเฮกเซน (C) ที่บริสุทธิ์

ภาพที่ 2-7

แสดงเครื่องมือการกลั่นอย่างง่าย (ซ้าย) และ การกลั่นลำดับส่วน (ขวา)



เมื่ออ่านอุณหภูมิของไอที่ส่วนบนสุดของคอลัมน์แยกจะได้อุณหภูมิที่เป็นจุดเดือดของไซโคลเฮกเซนบริสุทธิ์ที่คงที่ (82°C) เมื่อไซโคลเฮกเซนกลั่นออกมาหมด อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกลายเป็นจุดเดือดของโทลูอีนที่บริสุทธิ์ (111°C)

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

เป้าหมายและขอบเขตในการทำวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบหอกลิ้นเมทานอลด้วยโปรแกรม Aspen Hysys 7.1 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์
2. การเปรียบเทียบวิธีการจัดการของเสียด้วยวิธีเผาทำลาย และการเก็บด้วยการกลั่นเมทานอลกรด เพื่อหาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
3. การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม Sima Pro 7.1 เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลกระทบจากการจัดการเมทานอลแบบใดมีผลต่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

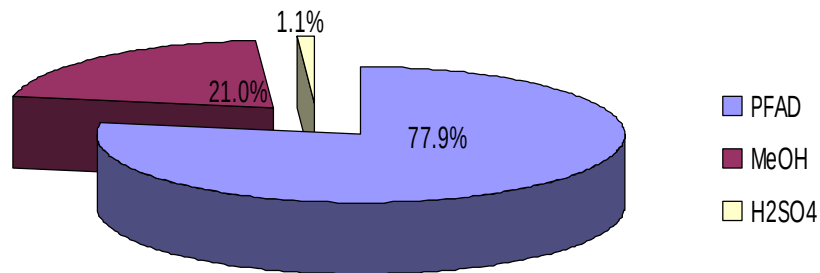
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

ในการศึกษากระบวนการผลิต จำเป็นต้องเก็บข้อมูลในการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม ซึ่งมีผลิตผลพลอยได้คือ เมทานอลกรด ที่ต้องนำมาศึกษาถึงความเหมาะสมในการจัดการ โดยโรงงานที่ผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยรายหนึ่ง ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูลการผลิตรวมถึงปริมาณผลิตผลพลอยได้ เพื่อใช้ในการศึกษา

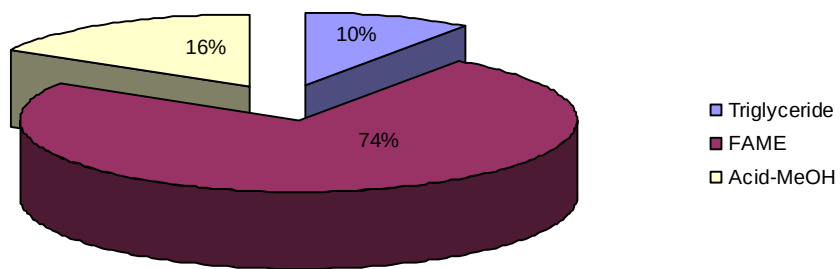
3.2.1 วัตถุดิบและผลิตผล

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ น้ำมันกรดปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) สูง คือประมาณ 86-87% ส่วนที่เหลือเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประมาณ 13-14% ,เมทานอล และกรดซัลฟิวริก ส่วนผลิตผลที่ออกมา มี ไบโอดีเซลที่ยังมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ผสมอยู่ อีกส่วนหนึ่งคือ เมทานอลกรด ซึ่งมีน้ำผสมอยู่ด้วยดังแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1
วัตถุดิบและผลิตผลจากกระบวนการผลิต



ก. วัตถุดิบที่ใช้



ข. ผลิตผล

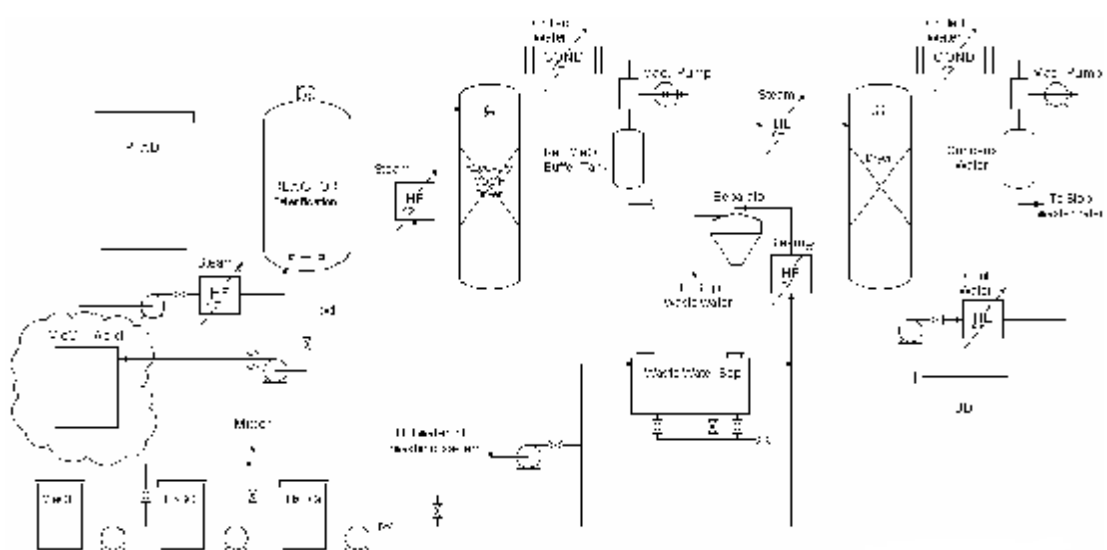
3.2.2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยทั่วไปใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูง เช่นเดียวกับกรณีการทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ ประมาณ 20 ต่อ 1 ถึง 40 ต่อ 1 และเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาทีจนถึงประมาณ 2 ชั่วโมง ในบางกระบวนการจำเป็นต้องใช้กรดปริมาณมาก เนื่องจากในปฏิกิริยานี้มีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม กรดจะรวมตัวกับน้ำอยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยาลดลง จึงจำเป็นต้องแยกน้ำออกโดยการระเหย การปล่อยให้แยก หรือการปั่นเหวี่ยง น้ำที่ถูกแยกออกจะเป็นของผสมของน้ำและเมทานอล จากนั้นทำ

เมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบส และทำให้แห้ง ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ สามารถผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เลย แสดงในภาพที่ 3.2 ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ของบริษัทผู้ผลิตไบโอดีเซล โดยมีผลิตภัณฑ์ได้ออกมาคือเมทานอลกรด

ภาพที่ 3.2

แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน



3.3 การจัดทำข้อมูลและประเมิน

3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็นข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิคือข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การตรวจวัดจากการลงพื้นที่ และการสอบถามสัมภาษณ์กลุ่มเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าจากรายงาน งานวิจัยต่าง ๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เช่น ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.1 ข้อมูลในการประมาณราคาการสร้างความสามารถในการถนอมเมทานอล รวมถึงข้อมูลในการจัดการกากของเสียอันตรายแต่ละประเภทจากบริษัทผู้ผลิตไบโอดีเซล

ข้อมูลในการออกแบบหอกลั่นเมทานอลด้วยโปรแกรม Aspen hysys 7.1 ข้อมูลทางด้าน เศรษฐศาสตร์จากการคำนวณ เป็นต้น

3.3.2 คุณภาพข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานผู้ผลิตไบโอดีเซลของบริษัทผู้ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นโรงงาน ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลขนาดใหญ่และผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากกรมธุรกิจพลังงาน จึง สามารถเป็นตัวแทนของโรงงานผู้ผลิตไบโอดีเซลในการศึกษาถึงผลกระทบจากเมทานอลกรดที่เกิดขึ้นได้

3.3.3 ปริมาณเมทานอลกรดในการศึกษา

ปริมาณเมทานอลกรดในการศึกษาค้างนี้คือ เมทานอลกรดจากการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีอัตราการเกิดขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม

3.3.4 สมดุลมวลสารและพลังงาน

1. สมมติฐานและวิธีการคำนวณปริมาณเมทานอลจากการกลั่นได้จากการออกแบบ ด้วยโปรแกรม Aspen hysys 7.1 ซึ่งกำหนดอัตราการป้อนเมทานอลกรดเข้ากระบวนการกลั่นที่ 1,000 kg/hr และนำมาสมดุลมวลสาร
2. สมมติฐานและวิธีการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) สารทำความเย็น CFC-11 เทียบเท่า และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า เพื่อ ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้วยโปรแกรม Sima Pro 7.1

3.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งจะประเมินในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent)

3.5 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) หมายถึง กระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดหรือวัดความสามารถในการทำกำไร (Profitability) ของโครงการลงทุนในระยะยาว หรือเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถในการทำกำไรระหว่างโครงการลงทุนที่มีโอกาสเลือกลงทุนตั้งแต่ 2 โครงการขึ้นไป ซึ่งโครงการลงทุนนี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้ปัจจัยการผลิตช่วงเวลาติดต่อกันหลายปี เพื่อมุ่งหวังว่าปัจจัยการผลิตดังกล่าวจะก่อให้เกิดกระแสเงินสดเข้าหรือผลตอบแทนต่อเนื่องในอนาคต ดังนั้นโครงการลงทุนในลักษณะนี้จึงเป็นการลงทุนในระยะยาว เพราะมีต้นทุนและผลตอบแทนที่ต่อเนื่องกันเป็นเวลาหลายปี และต้องมีการกำหนดระยะเวลาที่แน่นอน แนวคิดเบื้องต้นในการการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการใดๆ ก็คือ การเปรียบเทียบการลงทุนหรือต้นทุน (Cost) กับรายได้ (Income) หรือผลตอบแทน (Benefits) เพื่อที่จะพิจารณาความเหมาะสมของโครงการที่ให้ผลตอบแทนจากการลงทุนนั้นๆ โดยคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยรายละเอียดการคำนวณอยู่ใน บทที่ 4

3.6 การแปลผลการศึกษา

การแปลผลการศึกษา คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัด และการจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการศึกษาวิจัย ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการหาสภาวะการดำเนินการที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective Optimization) ตั้งแต่ค่าใช้จ่ายดำเนินการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

ผลการวิจัย

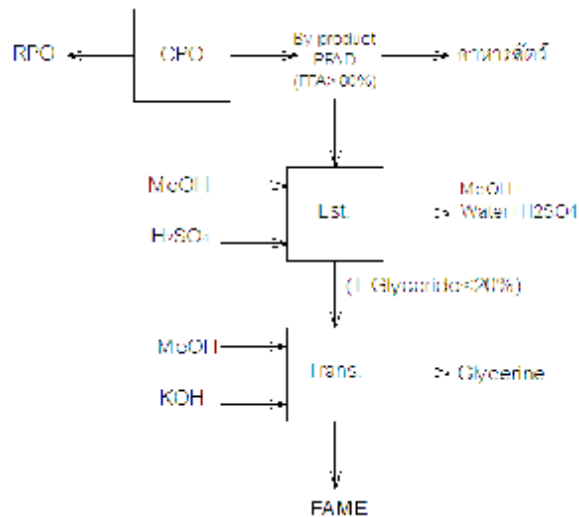
ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการวิจัยของการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการกับเมทานอลกรดที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยจะเสนอกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วยการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์มและแนวทางในการจัดการผลิตผลพลอยได้, ผลการออกแบบหอกลั่นเมทานอล, ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิต

จากการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งน้ำมันกรดปาล์มจะมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) สูง คือ ประมาณ 86-87% ส่วนที่เหลือเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประมาณ 13-14% โดยกระบวนการที่เหมาะสมในการนำน้ำมันกรดปาล์มมาผลิตเป็นไบโอดีเซล คือ กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระและเมทานอล จะได้ผลผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) ส่วนหนึ่ง ปนเปื้อนกับเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (เมทานอล-กรด) และน้ำ ซึ่งจะแยกออกจากกันภายหลังสิ้นสุดกระบวนการ จากนั้นจึงส่งผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อให้ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับเมทานอลจนได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้มากขึ้น โดยในช่วงกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันจะมีผลิตภัณฑ์ร่วม (By product) คือ เมทานอล-กรดและน้ำ (Acid-MeOH) ซึ่งเมทานอล-กรดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ โดยผลิตภัณฑ์ร่วมนี้จำเป็นต้องหาวิธีการในการจัดการเพื่อความเหมาะสมทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยขั้นตอนการผลิตแสดงดังภาพที่ 4-1 ซึ่งเป็นกระบวนการหลักตั้งแต่การนำน้ำมันปาล์มดิบมากลั่นจนได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refine Palm Oil) และน้ำมันกรดปาล์ม แล้วจึงนำน้ำมันกรดปาล์มไปผลิตเป็นไบโอดีเซล

ภาพที่ 4-1

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม



4.1.1 ปริมาณผลิตผลจากการผลิตไบโอดีเซล

จากการสำรวจกระบวนการผลิตเพื่อรวบรวมข้อมูลวัตถุดิบไปจนถึงผลิตผลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลระหว่างเดือนสิงหาคม ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า อัตราการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์มมีอัตราการผลิตเฉลี่ยคือ ไบโอดีเซล 95.016 ตันต่อเดือน รวมกับไตรกลีเซอไรด์อีก 12.84 ตันต่อเดือน จะมีเมทานอลกรดเกิดขึ้น 20.544 ตันต่อเดือน ดังตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-1

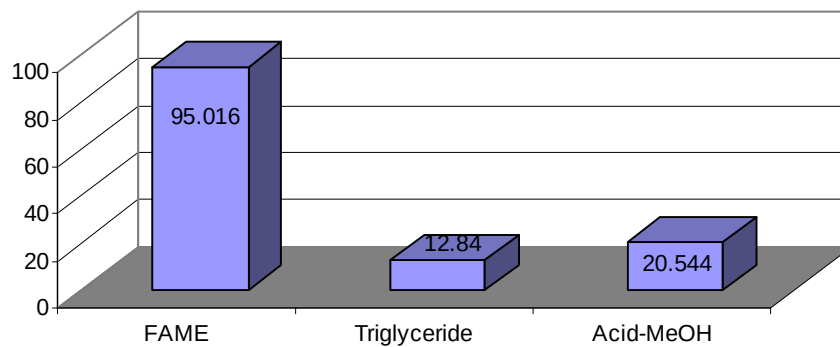
ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลช่วงเก็บข้อมูล

เดือน/ปี	ไบโอดีเซล (ตัน)	ไตรกลีเซอไรด์ (ตัน)	เมทานอลกรด (ตัน)
สิงหาคม 2552	94.143	12.45	20.335
กันยายน 2552	95.554	13.51	20.660
ตุลาคม 2552	95.351	12.56	20.617
เฉลี่ย	95.02	12.84	20.54

ภาพที่ 4-2

ผลผลิตเฉลี่ยของการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม

ผลิตผล (ตันต่อเดือน)



หมายเหตุ: ข้อมูลการผลิตระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม 2552

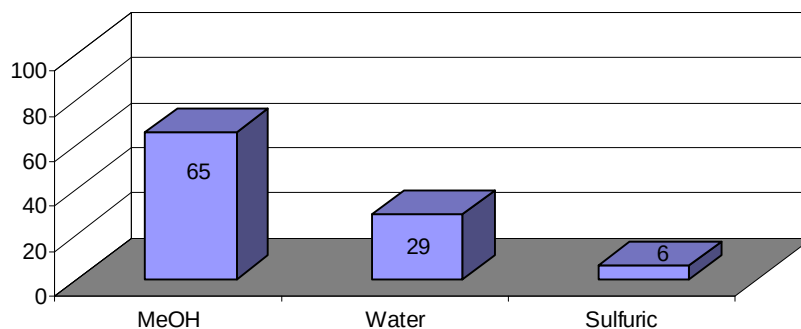
4.1.2 ส่วนประกอบเมทานอลกรด

ในการประเมินปริมาณของส่วนประกอบของเมทานอลกรดเพื่อหาปริมาณเมทานอลที่ต้องการนำกลับมาใช้นั้นอาศัยการระเหยเมทานอลกรดด้วยเครื่องอีวาโปเรเตอร์ ที่ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิบาร์ ซึ่งได้ส่วนประกอบคือ เมทานอล 65%wt น้ำ 29%wt และ กรดซัลฟิวริก 6 %wt แสดงผลดังตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-3

ภาพที่ 4-3

ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของเมทานอลกรด

สัดส่วนของสาร (%wt)



ตารางที่ 4-2

ปริมาณเมทานอล, น้ำ และกรดซัลฟิวริกจากการระเหยด้วยเครื่อง Evaporator

ครั้งที่	MeOH (%wt)	Sulfuric (%wt)	H ₂ O (%wt)
1	64.1	6.5	29.4
2	65.6	5.8	28.6
3	64.9	5.8	29.3
4	65.1	6.5	28.4
5	65.5	5.8	28.7
6	64.4	6.5	29.1
7	64.7	5.8	29.5
8	65.9	5.2	28.9
9	64.2	6.6	29.2
10	65.6	5.5	28.9
เฉลี่ย	65.1	5.9	28.8
STDEV	0.80	0.67	0.36

STDEV คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง

4.1.3 แนวทางการจัดการเมทานอลกรด

จากการศึกษาถึงกระบวนการผลิตและปริมาณเมทานอลกรดที่เกิดขึ้นรวมทั้งการหาแนวทางในการจัดการเมทานอลกรด จะพิจารณาได้ทั้งหมด 2 แนวทาง โดยเบื้องต้นประกอบด้วยการออกแบบและสร้างหอกลั่นเพื่อระเหยเมทานอล และการกำจัดเมทานอลโดยการเผาทำลายที่อุณหภูมิสูง ณ แหล่งกำจัดกากอุตสาหกรรม

4.2 การออกแบบหอกลั่นเมทานอล

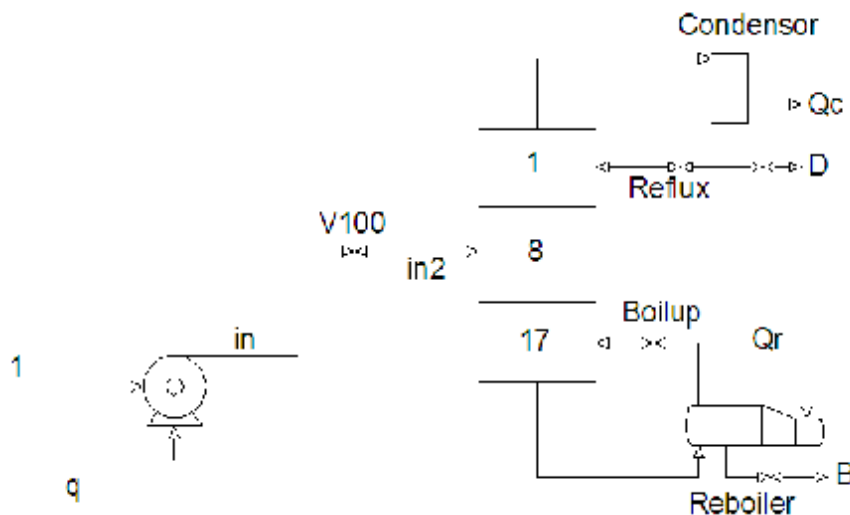
จากข้อมูลการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันกรดปาล์ม ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ร่วมคือ เมทานอลกรดเกิดขึ้นเฉลี่ย 20.544 ตันต่อเดือน โดยใช้โปรแกรม Aspen Hysys 7.1 ในการออกแบบ และกำหนดอัตราการป้อนเข้าสู่หอกลั่นที่ 1 ตันต่อชั่วโมง ภายใต้การดำเนินการของระบบการกลั่น 1 ครั้งต่อเดือน โดยการทำงานต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ เนื่องจากช่วงเริ่มเดินระบบหอกลั่นจะยังไม่ได้เมทานอลบริสุทธิ์ออกมาแต่ต้องมีการปรับปรุงกรณีในระบบ และป้อนเมทานอลกรดให้วนเวียนในหอกลั่นจนเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงจะสามารถเดินระบบแล้วได้เมทานอลบริสุทธิ์ออกมา

4.2.1 ผลการออกแบบหอกลั่นเมทานอล

เริ่มด้วยการออกแบบวงจรการทำงานของกระบวนการแล้วจึงระบุคุณสมบัติต่างๆ ของสารที่จะส่งเข้าหอกลั่น จากนั้นจึงระบุคุณสมบัติต่างๆ ของเมทานอล-กรดเพื่อให้โปรแกรม คำนวณค่าและออกแบบสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาคำนวณค่าใช้จ่าย เพื่อประเมินความเป็นไปได้ จากรายการอุปกรณ์รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมด สามารถนำมา ประเมินค่าใช้จ่ายโดยการประเมินราคาในการสร้างหอกลั่นรวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ทุกชิ้น ส่วนค่า พลังงานแบ่งออกเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งในส่วนของความร้อนนั้นอ้างอิง จากค่าไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีราคา 500 บาทต่อตันไอน้ำซึ่งใช้ถ่านหินบิทูมินัส เป็นเชื้อเพลิง ส่วนค่าน้ำเย็นสำหรับระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์นั้นมีราคา 20 บาทต่อลูก บาทเมตร และค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากอัตราการใช้ภายในโรงงานแบบ TOU (Time of Use) ราคา 3 บาทต่อหน่วยที่ใช้ ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดอ้างอิงจากข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ดังนั้นจึงต้อง คำนวณปริมาณไอน้ำและหน่วยไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการดำเนินการ

ข้อมูลสำหรับการออกแบบอ้างอิงที่อัตราการไหลเข้าหอกลั่นของเมทานอลกรดคือ 1 ตันต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิและความดันของเมทานอลกรด 35 องศาเซลเซียส 101.3 กิโลปาสกาล โดยกำหนดความต้องการความบริสุทธิ์ของเมทานอลในการผลิตมากกว่าหรือเท่ากับ 95% และเมทานอลที่ติดค้างกับผลผลิตส่วนล่างของหอกลั่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5%

ภาพที่ 4-4
แผนแสดงการกลั่นเมทานอล



โดยที่ ;

- 1 = เมทานอลกรดและน้ำที่ป้อนเข้าระบบ
- D = เมทานอลบริสุทธิ์
- B = น้ำและกรดซัลฟิวริก
- q = พลังงานไฟฟ้า
- Qc = ความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์
- Qr = ความร้อนป้อนเข้ารีบอยเลอร์

จากการออกแบบหอกลั่นเมทานอล ด้วยโปรแกรม ASPEN HYSYS 7.1 ผลที่ได้ให้ ความเหมาะสมที่สุดในการออกแบบหอกลั่นเมทานอล-กรด ประกอบไปด้วยรายละเอียดของค่า คุณสมบัติต่างๆของแต่ละกระแสน้ำของส่วนประกอบเมื่อเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-3 นอกจากนั้นต้องมีการหาขนาดของหอกลั่น รายละเอียดและขนาดของส่วนประกอบต่างๆที่จะต้อง สร้างขึ้นเพื่อคำนวณถึงค่าใช้จ่ายเริ่มต้นหรือต้นทุนคงที่ รวมทั้งหาปริมาณพลังงานที่ต้องใช้สำหรับ แต่ละอุปกรณ์ ซึ่งประกอบด้วยคอนเดนเซอร์และรีบอยเลอร์ รวมทั้งพลังงานที่ต้องใช้กับปั๊มป้อนเมทานอลกรดเข้าสู่หอกลั่น เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ โดยค่าทุกค่าจะต้องนำไปคำนวณ

ความคืบหน้าทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนั้น ตารางที่ 4-3 จะแสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทานอลที่กลั่นได้มีค่า 611.9 kg/h หรือ 0.7683 m³/h ซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปประเมินถึงผลที่ได้รับ

ตารางที่ 4-3

a) สภาวะกระแสเข้าและออกหอกกลั่น

Name	1	D	B	in	in2	Reflux	Cond	Boilup	Reboil
Temperature (°C)	35.00	64.61	114.5	35.30	35.34	64.61	64.84	114.5	103.7
Pressure (kPa)	101.3	101.3	202.6	976.5	476.5	101.3	101.3	202.6	202.6
Molar Flow (kg Mole/h)	37.22	19.17	18.05	37.22	37.22	21.74	40.92	41.55	59.60
Mass Flow (kg/h)	1000	611.9	388.1	1000	1000	694.1	1306	893.7	1282
Volume Flow (m ³ /h)	1.138	0.7683	0.3694	1.138	1.138	0.8714	1.64	0.98	1.349

ตารางที่ 4-3

b) องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

	Composition		
	D	B	in2
Comp Mole Frac (Methanol)	0.9913	0.0555	0.5375
Comp Mole Frac (H ₂ O)	0.0087	0.9107	0.4461
Comp Mole Frac (H ₂ SO ₄)	0.0000	0.0338	0.0164

ส่วนการประมาณราคาในการสร้างหอกลั่นต้องใช้ข้อมูลจากการออกแบบซึ่งจะมีขนาดของส่วนต่างๆของหอกลั่น เพื่อประมาณราคาวัสดุและการก่อสร้าง ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4

รายละเอียดหอกลั่นจากการออกแบบ

	ค่าที่ได้
Minimum Number of Tray	7.7770
Actual Number of Tray	17.3190
Optimal Feed Stage	9.5990
Tray Space (m)	0.1524
Tray Volume (m ³)	0.2693
Tray Diameter (m)	1.5000
Weir Height (mm)	50.0000
Weir Length (m)	1.2000
Flow Paths	1
Condenser Temp (°C)	64.5600
Reboiler Temp (°C)	120.3000

ค่าจากตารางที่ 4-4 เป็นขนาดของส่วนประกอบหอกลั่น ซึ่งเป็นข้อมูลในการนำมาประมาณราคาในการสร้างหอกลั่นเมทานอล ในส่วนของคอนเดนเซอร์และรีบอยเลอร์ค่าที่แสดงออกมาระบุเฉพาะปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ ในการประมาณราคาจึงต้องคำนวณขนาดของคอนเดนเซอร์และรีบอยเลอร์ เพื่อกออกแบบและทำการประเมิน โดยข้อมูลการประมาณราคาสร้างหอกลั่นคอนเดนเซอร์ และรีบอยเลอร์ แสดงในภาคผนวก ก. ส่วนปั๊มเมทานอลที่ต้องใช้สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมคือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ ความดันที่ต้องการของระบบ เพื่อเลือก

ปั๊มที่สามารถใช้งานกับระบบได้ ดังภาพที่ 4-5 โดยปั๊มที่เหมาะสมจากการเลือกมาใช้งานเป็นปั๊มชนิดใบพัดเฟืองโดยมีราคา 3,500 บาท แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-5

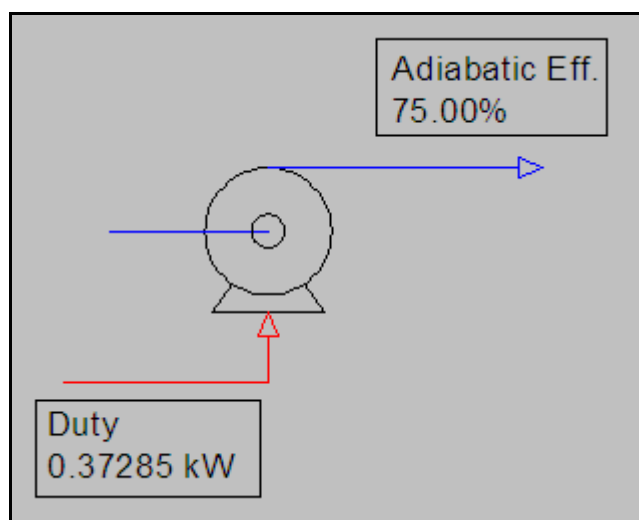
ตารางที่ 4-5

รายละเอียดคุณสมบัติของปั๊มเมทานอลที่เลือกใช้

		Nominal		Q=Capacity (m ³ /hr)						
Voltage		Power		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
50 Hz	Amp.	Hp	kW	Total Head in metres W.C.						
Single phase 230 V	12.5	2	1.5	85	80	75	70	65	60	55

ภาพที่ 4-5

พลังงานที่ใช้สำหรับปั๊มจากการออกแบบ



4.2.2 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายการทำงานหอกลิ้นเมทานอล

การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่จากรายละเอียดที่ได้จากการออกแบบหอกลิ้นเมทานอลนั้น คัดจากราคาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ซึ่งดำเนินการโดยระบุขนาดอุปกรณ์ รวมทั้งระบบท่อเพื่อประเมินโดย

สอบถามราคาอุปกรณ์จากบริษัทผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นราคาในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 โดยผลการประเมินตั้งแต่การประมาณขนาดและจำนวนวัสดุที่ต้องใช้รวมไปถึงค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดได้ระบุอยู่ในภาคผนวก ก. โดยค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบหมักกลั่นมีราคา 790,703 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ซึ่งต้องทราบพลังงานที่ใช้ แล้วจึงนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดมาวิเคราะห์เทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัด โดยค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอ้างอิงจากปริมาณพลังงานที่คำนวณออกมาจากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6

พลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ในระบบหมักกลั่น

อุปกรณ์	พลังงานที่ใช้ (kJ/h)
คอนเดนเซอร์ (Qc)	1.446×10^6
รีบอยเลอร์ (Qr)	1.628×10^6
ปั๊มเมทานอล	1342.26

ตารางที่ 4-7

ราคาวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้

รายการ	บาทต่อหน่วย
ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 3Bar(บาท/ตัน)	500.00
น้ำเย็นอุณหภูมิ 7 °C (บาท/ลบ.ม.)	20.00
ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU (บาท/kWh)	3.00
เมทานอล (บาท/กิโลกรัม)	10.00

หมายเหตุ ข้อมูลอ้างอิงจากบริษัทผลิตไบโอดีเซลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

จากนั้นนำมาคิดเทียบ เป็นปริมาณไอน้ำ, ปริมาณน้ำเย็น และค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินระบบ กับปริมาณเมทานอลที่ผลิตได้ เพื่อหาผลประโยชน์

ที่ได้รับจากการกลั่น โดยเมทานอลมีราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งอ้างอิงจากบริษัทผลิตไบโอดีเซล
ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

ตารางที่ 4-8

ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ผลที่ได้ (บาท/วัน)
คอนเดนเซอร์ (Qc)	-33,154
รีบอยเลอร์ (Qr)	-9,030
ปั๊มเมทานอล	-27
แรงงาน	-750
เมทานอลที่ได้	146,856
รวม	103,895

จากผลที่ได้เมื่อประเมินถึงผลตอบแทนในการสร้างระบบขึ้นมานั้น ในส่วนผล
ประหยัคที่ได้คือ 103,895 บาทต่อวัน ที่อัตราการเดินระบบเมทานอลกรด 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งใน
หนึ่งเดือนจะเดินระบบเพียง 1 วันต่อเดือนเนื่องจากปริมาณเมทานอลกรดที่ได้จากการผลิตไบโ
อดีเซลมีปริมาณ 20.544 ตันต่อเดือน ดังนั้น ผลประหยัคต่อเดือนคือ 103,895 บาท ซึ่งต้องนำค่านี้
ไปวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4.3 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ของ
งานวิจัยนี้จะใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็น
Commercial Software เช่น SimaPro นอกจากนั้นยังใช้การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
จากภาคอุตสาหกรรมตามคู่มือ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

ในการคำนวณเป็นการเปรียบเทียบจากปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงต่อ 1
กิโลกรัมของเมทานอลตั้งแต่แนวทางการเก็บคืนเมทานอลโดยการกลั่น ซึ่งเป็นการลดภาระต่อ
สิ่งแวดล้อมแต่ยังคงมีกรดซัลฟิวริกที่คงเหลืออยู่ จึงต้องนำไปคิดเทียบระหว่าง 1 กิโลกรัมเมทานอ

ลดกรดที่ส่งเข้าสู่ระบบการกลั่นกับการจัดการโดยการเผาทำลายที่อุณหภูมิสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4-9

ผลกระทบของ 1 kg Methanol ต่อระบบสิ่งแวดล้อม
CML 2 baseline (Sima Pro 7.1, Amersfoort, Netherlands)

ประเภท สิ่งแวดล้อม	ปริมาณ	หน่วย eq
Global warming	0.7575	kg CO ₂
Ozone depletion	1.42 x10 ⁻⁷	kg CFC -11
Acidification	0.0018	kg SO ₂
Human toxic	0.0814	kg 1,4 DB

ตารางที่ 4-10

ผลกระทบของ 1 kg Sulfuric acid ต่อระบบสิ่งแวดล้อม
CML 2 baseline (Sima Pro 7.1, Amersfoort, Netherlands)

ประเภท สิ่งแวดล้อม	ปริมาณ	หน่วย eq
Global warming	0.08605	kg CO ₂
Ozone depletion	9.84 x10 ⁻⁹	kg CFC -11
Acidification	0.01565	kg SO ₂
Human toxic	0.01754	kg 1,4 DB

จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเมทานอลและกรดซัลฟิวริก ด้วยโปรแกรม Sima Pro 7.1 เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลกระทบที่ลดลงจากการกลั่นเมทานอลด้วยเมทานอลกรดจากการผลิตไบโอดีเซล แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11

ผลกระทบที่ลดลงของการกลั่น 1 kg Methanol ต่อระบบสิ่งแวดล้อม

ประเภท สิ่งแวดล้อม	ปริมาณ	หน่วย eq
Global warming	0.7575	kg CO ₂
Ozone depletion	9.171x10 ⁻⁹	kg CFC -11
Acidification	2.31x10 ⁻⁴	kg SO ₂
Human toxic	0.05186	kg 1,4 DB

ในส่วนผลกระทบจากการกำจัดเมทานอลกรดด้วยการเผาทำลายเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับแนวทางในการเก็บคืนเมทานอลแสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12

ผลกระทบของ 1 kg Hazardous waste incineration ต่อระบบสิ่งแวดล้อม
CML 2 baseline (Sima Pro 7.1, Amersfoort, Netherlands)

ประเภท สิ่งแวดล้อม	ปริมาณ	หน่วย eq
Global warming	1.86	kg CO ₂
Ozone depletion	1.05x10 ⁻⁷	kg CFC -11
Acidification	0.00293	kg SO ₂
Human toxic	0.215	kg 1,4 DB

ข้อมูลจากตารางที่ 4-11 แสดงผลกระทบที่ลดลงของการกลั่น 1 kg Methanol จาก MeOH-Acid และ ตาราง 4-12 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเผาทำลาย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการจัดการของเสีย เนื่องจากการเก็บคืนเมทานอลโดยการกลั่นเมทานอลกรด 1 กิโลกรัม สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้ 0.7575 กิโลกรัม แต่การเผาทำลายขยะอันตราย 1 กิโลกรัม ทำให้เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 1.86 กิโลกรัม ซึ่งสามารถนำค่าไปคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดอายุโครงการตามสมการ 2-1

$$\text{Emission} = \text{AD} \times \text{EF} \quad (2-1)$$

โดยที่

Emission = ปริมาณการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม (kg CO₂eq)

Activity Data (AD) = ปริมาณสารที่พิจารณา (kg)

Emission Factor (EF) = สัมประสิทธิ์เทียบเท่า CO₂eq ของปริมาณสารที่พิจารณา (kg CO₂eq / kg of AD)

ตารางที่ 4-13

เปรียบเทียบผลกระทบจากการเก็บคืนเมทานอลและการเผาทำลายตลอดอายุโครงการ

การจัดการ	ปริมาณสาร (kg/Month)	ปริมาณสารตลอดโครงการ (kg)	EF	kg CO ₂ eq
เมทานอลที่เก็บได้	-12,570.87	-754,252.2	0.7575	-571,346.1
เผาทำลาย	20,544.00	1,232,640.0	1.86	2,292,710.4

จากตารางที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดอายุโครงการนั้น แนวทางการเก็บคืนเมทานอลสามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 571,346.1 kg CO₂ eq. แต่ในกรณีของการส่งเผาเพื่อกำจัดทิ้ง ทำให้เกิดการแพร่กระจายถึง 2,292,710.4 kg CO₂ eq.

4.4 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการนี้ มีการประเมินโดยนำต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน และผลตอบแทน มาคำนวณเพื่อนำค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน มาใช้วิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมในการลงทุน โดยมีรายละเอียดการคำนวณและวิเคราะห์ผลดังนี้

4.4.1 ผลการประเมินด้านต้นทุนระบบกลั่นเมทานอล

การลงทุนสร้างระบบกลั่นเมทานอลซึ่งเป็นต้นทุนคงที่ ได้จากการประเมินราคาวัสดุ และการสร้างหอกลั่นและอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในหัวข้อ 4.2 นั่นคือมีค่าใช้จ่ายในการสร้างหอกลั่น คอนเดนเซอร์, รีบอยเลอร์, ปัม, งานโครงสร้างและฐานราก และอุปกรณ์ท่อในระบบ เป็นเงิน 790,703 บาท

4.4.2 ผลการประเมินต้นทุนด้านการเดินระบบและบำรุงรักษา

ต้นทุนด้านการเดินระบบและบำรุงรักษาระบบการกลั่นเมทานอลซึ่งประกอบไปด้วยหอกลั่น คอนเดนเซอร์, รีบอยเลอร์ รวมไปถึงปั๊มและระบบท่อนั้น ประกอบไปด้วย 2 ส่วนดังนี้

- (1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินระบบต่อปี
- (2) ต้นทุนด้านการซ่อมบำรุงประจำปี

ตารางที่ 4-14

ผลการประเมินต้นทุนระบบกลั่นเมทานอล

ลำดับที่	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
1	ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินระบบต่อปี	515,532	บาท/ปี
2	ต้นทุนด้านการซ่อมบำรุงประจำปี	5,000	บาท/ปี
	รวม	520,532	บาท/ปี

4.4.3 ผลการประเมินผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

4.4.3.1 หลักในการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์

(1.) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Costs) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ใช้เพื่อเป็นพื้นฐานหรือสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในการผลิต ค่าใช้จ่ายในการลงทุน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เงินลงทุนในโครงการ เป็นเงินลงทุนในทรัพย์สินถาวรที่มีอายุใช้งานมากกว่า 1 ปีที่ใช้ในการดำเนินการ เช่น ค่าก่อสร้างอาคาร, ค่าก่อสร้างบ่อหมักก๊าซ, ค่าอุปกรณ์ระบบจ่ายก๊าซ เป็นต้น

(2.) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Costs) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อการดำเนินโครงการ หรือจำนวนเงินที่โครงการจ่ายออกไปเพื่อดำเนินงานตามปกติของโครงการนั่นเอง เช่น ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ เป็นต้น

(3.) ผลตอบแทนโครงการ (Benefits) หมายถึง ผลตอบแทนที่สามารถคิดเป็นมูลค่าหรือตัวเงินได้ เช่น ผลตอบแทนจากการประหยัดค่าใช้จ่าย จากการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเหลว ผลตอบแทนจากการประหยัดไฟฟ้า เป็นต้น

(4.) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เป็นค่าที่ทำให้รู้ความระยะเวลาในการคืนทุนทั้งหมดที่จ่ายไป

4.4.3.2 เกณฑ์การตัดสินใจ

(1.) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมระหว่างผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของรายได้ที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีกับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายที่จ่ายออกไปตลอดอายุโครงการ ซึ่งมีสูตร ดังสมการที่ 4-1

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} \quad (4-1)$$

กำหนดให้ ;

- NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
- B_t = มูลค่ารายได้จากการกลั่นเมทานอลในปีที่ t
- C_t = มูลค่ารายจ่ายในการกลั่นเมทานอลในปีที่ t
- t = อายุระบบกลั่นเมทานอลตั้งแต่ปีที่ 0, 1, 2, 3,..., n
- n = อายุระบบกลั่นเมทานอล 5 ปี
- i = อัตราคิดลด

หลักเกณฑ์การตัดสินใจคือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก และไม่ควรถือว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ

(2.) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราดอกเบี้ยที่ใช้คิดหักส่วนลดแล้ว ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ สูตรในการคำนวณ มีดังนี้

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + \frac{IRR}{100})^t} = 0 \quad (4-2)$$

กำหนดให้ ;

- IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน
- B_t = มูลค่ารายได้จากการกลั่นเมทานอลในปีที่ t
- C_t = มูลค่ารายจ่ายในการกลั่นเมทานอลในปีที่ t
- t = อายุระบบกลั่นเมทานอลตั้งแต่ปีที่ 0, 1, 2, 3,..., n
- n = อายุระบบกลั่นเมทานอล 5 ปี

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ คือ ถ้าค่าอัตราผลตอบแทนภายในโครงการที่คำนวณได้สูงกว่าที่กำหนดก็ยอมรับโครงการนั้น ถ้าต่ำกว่าก็ปฏิเสธโครงการ โดยทั่วไปถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราคิดลด จะเหมาะสมในการลงทุน

อัตราผลตอบแทนภายใน > อัตราคิดลด แสดงว่าการลงทุนในกิจการให้ผลคุ้มค่า

อัตราผลตอบแทนภายใน = อัตราคิดลด แสดงว่าการลงทุนในกิจการพอเป็นไปได้

อัตราผลตอบแทนภายใน < อัตราคิดลด แสดงว่าการลงทุนในกิจการให้ผลไม่คุ้มค่า

(3.) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : B/C) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้กับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายรวมตลอดอายุโครงการ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการ ที่ 4-3

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n (B_t)/(1+i)^t}{\sum_{t=0}^n (C_t)/(1+i)^t} \quad (4-3)$$

กำหนดให้ ;

B/C = อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

B_t = มูลค่ารายได้จากการกลั่นเมทานอลในปีที่ t

C_t = มูลค่ารายจ่ายในการกลั่นเมทานอลในปีที่ t

t = อายุระบบกลั่นเมทานอลตั้งแต่ปีที่ 0, 1, 2, 3,..., n

n = อายุระบบกลั่นเมทานอล 5 ปี

i = อัตราคิดลด

หลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ควรลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง และไม่ควรลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนค่าน้อยกว่า 1

(4.) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) เป็นวิธีการหาจุดคุ้มทุนซึ่งแสดงออกมาในรูปของระยะเวลาที่ได้รับเงินลงทุนคืนมาจากรายได้สุทธิที่ได้รับ โดยสามารถช่วยในการ

ตัดสินใจลงทุนกับโครงการ คือ โครงการไม่น่าสนใจถ้าโครงการที่ลงทุนต้องใช้ระยะเวลาคืนทุนหลายปีเมื่อเปรียบเทียบกับอายุโครงการ แต่ถ้าใช้ระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าทำให้น่าสนใจในการลงทุน ซึ่งคำนวณตามสมการ 4-4

$$PB = \text{ปีที่คืนทุน} - \frac{\text{ผลตอบแทนปัจจุบันของปีที่คืนทุน}}{\text{ผลตอบแทนปัจจุบันของปีที่คืนทุน} - \text{ผลตอบแทนปัจจุบันของปีก่อนคืนทุน}} \quad (4-4)$$

กำหนดให้ ;

$$PB = \text{ระยะเวลาคืนทุน}$$

4.4.3.3 ผลการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์

ภาพที่ 4-6
แสดงรายรับที่ได้ต่อปี

รายละเอียดโครงการ			
โครงการ	กลั่นเมทานอลจากเมทานอลกรด		
บริษัท	ผลิตไบโอดีเซล		
ประเภทการลงทุน	☐ เพิ่มกำลังผลิต ☐ ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ☒ ลดต้นทุนและของเสีย		
เงินลงทุน (บาท)	790,703.00		
อายุโครงการ (ปี)	5		
อายุเครื่องจักร/อุปกรณ์(ปี)	0		
รายการรายรับ			
รายการรายรับ	บาท / ปี	การเปลี่ยนแปลง	
		เพิ่มขึ้น %	ลดลง %
1. ปริมาณเมทานอลที่เก็บได้	1,762,272.00	-	-
2.		-	-
3.		-	-
4. -	-	-	-
5. -	-	-	-
6. -	-		
มูลค่าซากที่กำหนด ณ ปีสิ้นสุดอายุโครงการ เท่ากับ		-	บาท
(คิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง)			

ภาพที่ 4-7
แสดงรายจ่ายต่อปี

รายละเอียดโครงการ			
โครงการ	กลั่นเมทานอลจากเมทานอลกรด		
บริษัท	ผลิตไบโอดีเซล		
เงินลงทุน (บาท)	790,703.00		
อายุโครงการ (ปี)	5		
รายการค่าใช้จ่าย			
รายการค่าใช้จ่าย	บาท / ปี	การเปลี่ยนแปลง	
		เพิ่มขึ้น %	ลดลง %
1. ค่าดำเนินการที่เพิ่มขึ้นรายปี	515,532.00	-	-
2. ค่าบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้นรายปี	5,000.00	-	-
3.		-	-
4. -	-	-	-
5. -	-	-	-
6. -	-		

ภาพที่ 4-8
แสดงรายจ่ายต่อปีตลอดโครงการ

Total Cash Flow WACC = 8.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ : B (1)	รายจ่าย : C (2)	ภาษี : Tax (3)	ผลตอบแทนสุทธิ (4) = (1) - (2) - (3)	DF (5)	PV (4) x (5)	PVB (1) x (5)	PVC (2+3) x (4)	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		790,703	-	790,703	1.0000	790,703	-	790,703	790,703	790,703
1	1,762,272	520,532.00	325,080	916,660	0.9259	848,769	1,631,733	481,974	58,056	125,957
2	1,762,272	520,532.00	325,080	916,660	0.8573	785,888	1,510,864	446,272	843,945	1,042,617
3	1,762,272	520,532.00	325,080	916,660	0.7938	727,674	1,398,948	413,215	1,571,619	1,959,278
4	1,762,272	520,532.00	325,080	916,660	0.7350	673,773	1,295,323	382,607	2,245,392	2,875,938
5	1,762,272	520,532.00	325,080	916,660	0.6806	623,864	1,199,373	354,265	2,869,255	3,792,598

หน่วย : บาท

NPV (บาท) 2,869,255.30

IRR 113.30%

PI 4.63

DPB (ปี)

PB (ปี)

B/C Ratio

0.93

0.86

2.45

AW (บาท) 718,623.51

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio

DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

จากการคำนวณการเปรียบเทียบของการลงทุนกับอัตราผลตอบแทน เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมของโครงการโดยพิจารณาตามค่าต่างๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.15 ซึ่งเป็นการคำนวณโดยยึดอายุโครงการเป็นระยะเวลา 5 ปี ซึ่งข้อมูลการคำนวณอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.15

ผลการวิเคราะห์การลงทุนกลิ่นเมทานอล

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV)	2,869,255.30	บาท
มูลค่าของโครงการที่เท่ากันทุกปี (AW)	718,623.51	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	113.30	%
ความสามารถในการทำกำไร (PI)	4.63	-
ระยะเวลาคืนทุน (PB)	0.86	ปี

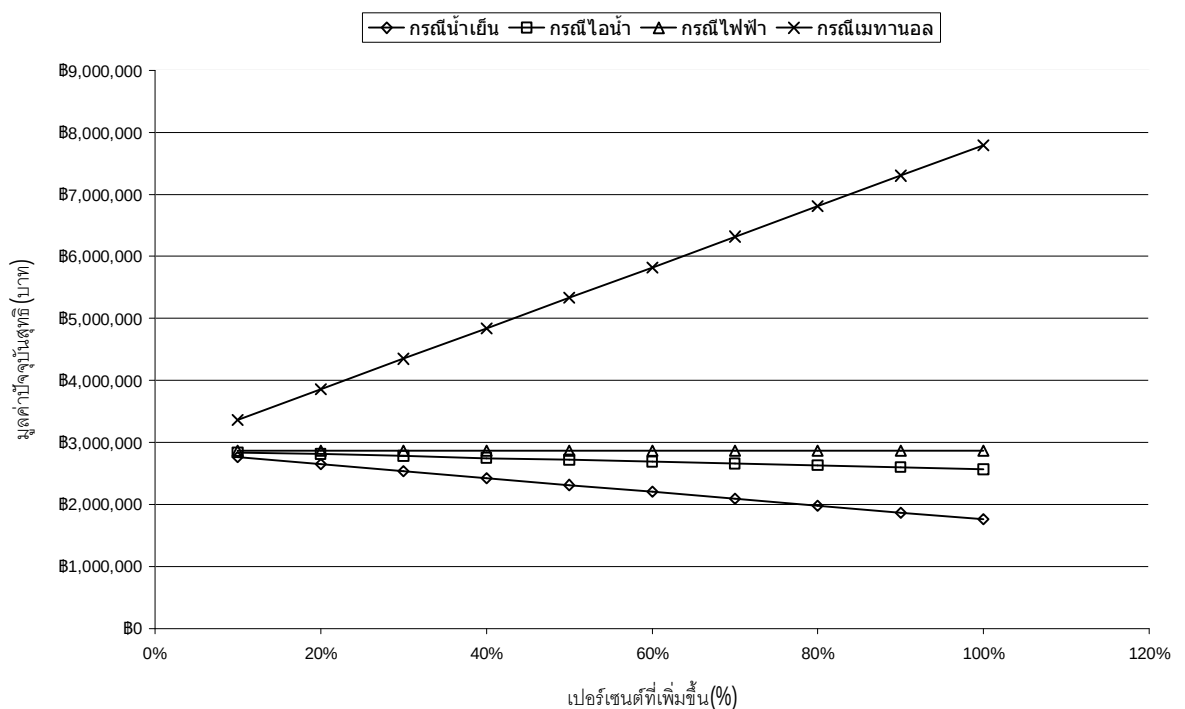
4.4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

การวิเคราะห์และตัดสินใจโดยอาศัยข้อมูลต่างๆ อาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้เมื่อดำเนินโครงการจริงๆ เช่น ผลตอบแทนที่ได้ประมาณไว้ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงขึ้น เป็นต้น จะส่งผลให้การตัดสินใจผิดพลาดได้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรต่างๆจะทำให้มีความมั่นใจในการลงทุนมากขึ้น จึงต้องมีการประเมินความอ่อนไหวเมื่อค่าใช้จ่ายของตัวแปรแต่ละตัวเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มราคาของวัตถุดิบที่ใช้หรือราคาของต้นทุนแปรผัน ตั้งแต่ราคาของน้ำเย็นที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเมทานอลในคอนเดนเซอร์ ราคาของไอน้ำที่ใช้ในการให้ความร้อนที่รีบอยเลอร์ ราคาค่าไฟฟ้าในการใช้งานปั๊มเมทานอล รวมไปถึงราคาของผลผลิตที่ได้ นั่นคือราคาของเมทานอล เพื่อดูแนวโน้มของแต่ละตัวแปรว่าตัวแปรใดมีความอ่อนไหวมากที่สุดกับมูลค่าปัจจุบัน

สุทธิ ซึ่งการเพิ่มค่าของตัวแปรแต่ละตัว ใช้วิธีเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ของราคาดำเนินการที่ 10 บาท ราคาไฟฟ้า 20 บาทต่อล.บ.ม. ราคาไอน้ำ 500 บาทต่อตัน และค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย ดังตารางที่ 4-7 แล้วนำค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นไปคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิทุกการเปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงนำค่าทุกค่าที่คำนวณเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิไปสร้างกราฟดังภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบความอ่อนไหวเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแต่ละตัวแปร

ภาพที่ 4-9

ความอ่อนไหวของมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการเพิ่มราคาตัวแปร



จากการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ โดยการเพิ่มราคาของตัวแปร ซึ่งประกอบด้วยน้ำเย็น ไอน้ำ ค่าไฟฟ้า และราคาเมทานอล กราฟที่มีความชันมากที่สุดคือราคาของเมทานอล แสดงให้เห็นว่ามีความอ่อนไหวมากที่สุด โดยเมื่อราคาเมทานอลเพิ่มเป็น 20 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเพิ่มขึ้น 4,925,372 บาท แต่ในส่วนของค่าใช้จ่ายจะมีความชันที่น้อยกว่า เมื่อราคาน้ำเย็นเพิ่มเป็น 40 บาทต่อล.บ.ม. มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะลดลง 1,111,933 บาท ส่วนค่าไอน้ำเมื่อราคา 1,000 บาทต่อตันไอน้ำ ก็จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลง 302,838 บาท และค่าไฟฟ้าที่มีผลน้อยที่สุด คือเมื่อเพิ่มค่าไฟฟ้าเป็น 6 บาทต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ลดลง 889 บาท ดังนั้น ถึงแม้จะมีการเพิ่มของราคาวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นไปถึงร้อยละ 100 ก็ยังมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการสูงอยู่

4.4.4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมทานอลกรด

จากการสอบถามบริษัทรับบำบัดและกำจัดกากสารเคมีผ่านทางบริษัทผลิตไบโอดีเซลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 เพื่อกำจัดเมทานอลกรดนั้น วิธีการที่บริษัทรับกำจัดสารเคมีใช้คือการเผาทำลายที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากวิธีการอื่นไม่มีความเหมาะสม โดยค่าใช้จ่ายที่คิดคือ 2,500 บาทต่อตันเมทานอลกรด ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่รวมทั้งการขนส่งและเผาทำลาย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายต่อปีคือ 630,000 บาทต่อปี

4.4.5 เปรียบเทียบการลงทุนระหว่างการกลั่นและการส่งเผาทำลาย

จากการประเมินการลงทุนเพื่อกลั่นเมทานอลแสดงถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของทั้งโครงการ 2,869,255.30 บาท แต่การส่งเผาทำลายมีค่าใช้จ่ายตลอดโครงการถึง 3,150,000 บาท ดังนั้นเมื่อพิจารณาการกลั่นเมทานอลจึงให้ประโยชน์ได้ดีกว่า ถึงแม้จะมีการเพิ่มขึ้นของราคาต้นทุนด้านพลังงานที่ต้องใช้ในการดำเนินการ แต่ก็ส่งผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการน้อยมาก

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการกลั่นเมทานอลจากเมทานอลกรดและการกำจัดเมทานอลกรดซึ่งเป็นกากของเสียด้วยวิธีการเผาทำลาย แนวทางที่ให้ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อมคือ การนำเมทานอลกรดกลับมากลั่นเพื่อให้ได้เมทานอลเพื่อกลับมาใช้ใหม่ โดยผลจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น ในการลงทุนสร้างและเดินระบบการกลั่นเมทานอลที่มีอายุโครงการ 5 ปี จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 0.86 ปี และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการคือ 2,869,255.30 บาท รวมทั้งอัตราผลตอบแทนภายในคือ 113.30% ซึ่งค่าที่ได้บอกถึงผลตอบแทนที่ได้รับจากการกลั่นเมทานอล และระยะเวลาคืนทุนที่ไม่นาน เมื่อเปรียบเทียบกับอายุโครงการ แต่กรณีส่งเมทานอลกรดไปเผาทำลายจะต้องใช้เงินตามระยะเวลา 5 ปี เพื่อให้เท่ากับอายุโครงการกลั่นเมทานอล มีค่าใช้จ่าย 3,150,000 บาท และจากการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ โดยการเพิ่มราคาของตัวแปร ซึ่งประกอบด้วยน้ำเย็น ใอน้ำ ค่าไฟฟ้า และราคาเมทานอล กราฟที่มีความชันมากที่สุดคือราคาของเมทานอล แสดงให้เห็นว่ามีความอ่อนไหวมากที่สุด โดยเมื่อราคาเมทานอลเพิ่มเป็น 20 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเพิ่มขึ้น 4,925,372 บาท แต่ในส่วนของการใช้จ่ายจะมีความชันที่น้อยกว่า เมื่อราคาน้ำเย็นเพิ่มเป็น 40 บาทต่อลบ.ม. มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะลดลง 1,111,933 บาท ส่วนค่าใอน้ำเมื่อราคา 1,000 บาทต่อตันใอน้ำ ก็จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลง 302,838 บาท และค่าไฟฟ้าที่มีผลน้อยที่สุด คือเมื่อเพิ่มค่าไฟฟ้าเป็น 6 บาทต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า มูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลง 889 บาท ดังนั้น ถึงแม้จะมีการเพิ่มของราคาวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นไปถึงร้อยเปอร์เซ็นต์ก็ยังมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการสูงอยู่นอกจากนั้น ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม กรณีการกลั่นเมทานอลจะช่วยลดผลกระทบด้าน ภาวะโลกร้อน คิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 0.7575 kg ต่อ 1 kg ของเมทานอล แต่ในกรณีของการเผาทำลายจะเป็นการเพิ่มภาวะโลกร้อน คิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 1.86 kg ต่อ 1 kg ของเมทานอล นั่นคือถ้าคิดตลอดอายุโครงการ แนวทางการกลั่นเมทานอลจะลดการปลดปล่อย 571,346.1 kg CO₂ eq. ส่วนการส่งเผาเพื่อกำจัดเป็นการเพิ่มการปลดปล่อยถึง 2,292,710.4 kg CO₂ eq.

บรรณานุกรม

หนังสือและบทความในหนังสือ

- ธเนศ อุทิศธรรม และพิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. (2551). สถานการณ์และแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย. เราไม่จ่ายน้ำมัน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ปทุมธานี : สำนักพิมพ์ฐานบุ๊คส์.
- ไพบูลย์ แยมเพื่อน. (2548). การประมาณค่าและการวิเคราะห์ความไว. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น
- ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์. (2550). ไปโอดีเซลพลังงานทางเลือก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มิตรภาพการพิมพ์และสตูดิโอ
- วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2529). ปัมและระบบสูบน้ำ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. (2526). อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ภาพพิมพ์

วิทยานิพนธ์

- อุกฤต สมัครสมาน. (2552). การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยกระบวนการคลีนอัลตราโซนิกร่วมกับคลื่นรังสีไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย. (2552). เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล. ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิง, ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2553.
<http://www.vcharkarn.com/varticle/37458>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การออกแบบอุปกรณ์และประมาณราคา

1. การคำนวณการแลกเปลี่ยนความร้อนและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
อุปกรณ์หลักอีกสองเครื่องที่มีความสำคัญ คือ คอนเดนเซอร์และรีบอยเลอร์ ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่งเพื่อให้ได้อุณหภูมิหรือสภาพของสารตามที่ต้องการ โดยหลักการในการคำนวณใช้ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อน

คอนเดนเซอร์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับลดอุณหภูมิของสาร หรือเปลี่ยนสถานะของสารนั้นให้เป็นของเหลว โดยสารที่ต้องการลดอุณหภูมิในที่นี้คือ เมทานอลที่ระเหยออกมาจากหอกลั่น สิ่งที่ต้องคำนวณหาคือปริมาณน้ำเย็นที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิของเมทานอล ซึ่งสามารถหาได้โดยการคำนวณดังนี้

$$Q = m_w C_{pw} dT_w$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (kJ/hr)}$$

$$m_w = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็น (kg/hr)}$$

$$C_{pw} = \text{ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (kJ/kg °C)} = 4.187 \text{ kJ/kg °C}$$

$$dT_w = \text{ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าออกคอนเดนเซอร์ (°C) โดยที่น้ำเข้า 7°C ออก 12°C}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนซึ่งถ่ายเทที่คอนเดนเซอร์จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Aspen Hysys 7.1 นั้นคือ 1.466×10^6 kJ/hr ต้องใช้น้ำเย็นในการระบายความร้อน ดังนี้

$$m_w = \frac{Q}{C_{pw} dT_w} = \frac{1.466 \times 10^6}{4.187 \cdot 5} = 70,026 \text{ kg/hr}$$

นั่นคืออัตราน้ำเย็นที่ต้องใช้คือ 70,026 kg/hr หรือ 70 m³/hr ซึ่งเป็นน้ำที่ต้องใช้ในการระบายความร้อนให้กับเมทานอลในคอนเดนเซอร์

ในส่วนของรีบอยเลอร์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับต้มซ้ำให้กับสาร นั่นคือต้มให้กับเมทานอลที่ออกมาจากด้านล่างของหอกลั่นสามารถคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนกับสารที่เหลือออกมาจากด้านล่างของหอกลั่น ดังนี้

$$Q = m_f h_{fg}$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (kJ/hr)}$$

$$m_f = \text{อัตราการไหลของไอน้ำร้อน (kg/hr) โดยออกแบบใช้ไอน้ำที่ความดัน 3 Barg}$$

$$h_{fg} = \text{ค่าความร้อนแฝงของไอน้ำที่ 3 Barg, อุณหภูมิ } 143.75^\circ\text{C} = 2,133.4 \text{ kJ/kg}$$

$$m_f = \frac{Q}{h_{fg}} = \frac{1.628e06}{2133.4} = 763 \text{ kg/hr}$$

นั่นคืออัตราไอน้ำที่ต้องใช้คือ 763 kg/hr ซึ่งเป็นไอน้ำร้อนที่ต้องใช้ในการต้มซ้ำเพื่อให้ความร้อนกับสารที่ออกมาจากด้านล่างของรีบอยเลอร์

ในการหาขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำมาประเมินราคาในการสร้างและติดตั้งนั้น จำเป็นต้องคำนวณตามอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์นั้น โดยสมการดังนี้

$$Q = U A dT_{lm}$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (kJ/hr)}$$

$$U = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (kJ/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$$

$$A = \text{พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (m}^2\text{)}$$

$$dT_{lm} = \text{ผลต่างอุณหภูมิ log mean (}^\circ\text{C)}$$

ในส่วน of ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสามารถเปิดตารางที่เคยมีการทำวิจัยได้ ดังตาราง ที่ ก-1

ตารางที่ ก-1

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

การใช้	สารอุณหภูมิสูง	สารอุณหภูมิต่ำ	U (kJ/hr m ² °C)
เครื่องระบายความร้อน	เมทานอล	น้ำ	5024.4-10216.3
เครื่องให้ความร้อน	ไอน้ำ	เมทานอล	4187.0-14235.8

ที่มา ดรวิวัฒน์ ตัณฑพานิชกุล, 2526, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากค่าตามตาราง ก-1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีช่วงสูงและต่ำ แต่เพื่อความมั่นใจในการคำนวณ จึงเลือกค่าที่ต่ำมาใช้ในการออกแบบเพื่อประมาณราคาอุปกรณ์ จากนั้นจึงคำนวณค่าของพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์และรีบอยเลอร์ แสดงในตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2

ขนาดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน

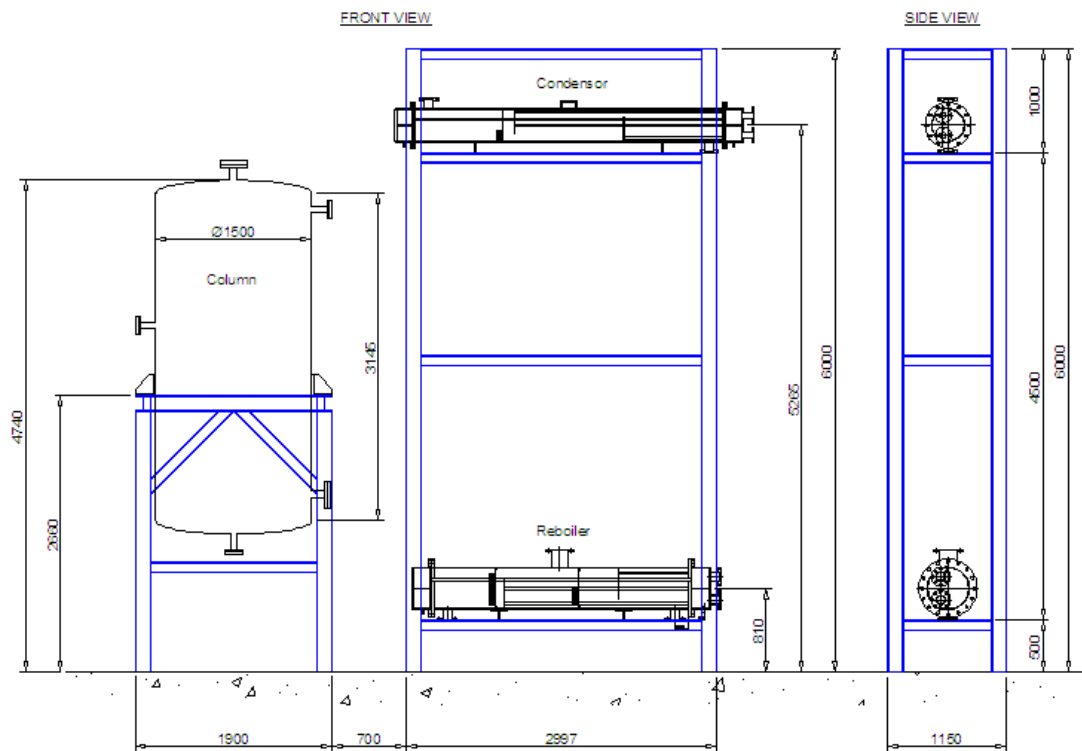
อุปกรณ์	คอนเดนเซอร์		รีบอยเลอร์	
Q (kJ/hr)	1.47E+06		1.63E+06	
U (kJ/ hr m ² °C)	5024.4		4187	
Fluid	Methanol	Water	Steam@3Barg	Methanol
T _{in} (°C)	64.84	7	143.75	103.7
T _{out} (°C)	64.61	12	143.75	114.5
dT _{lm} (°C)	55.19064927		34.36764021	
A (m ²)	5.29E+00		1.13E+01	

2. การออกแบบและวางตำแหน่งอุปกรณ์ในระบบ

ข้อมูลขนาดและรายละเอียดของระบบหอกลั่นเมทานอลที่ได้จากโปรแกรม เมื่อนำมาออกแบบและจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกในการแจกแจงรายละเอียดของวัสดุที่ต้องใช้ในการประมาณราคา โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์หลักแสดงอยู่ในแบบ ดังภาพที่ ก 1.- ก 7.

ภาพที่ ก 1.

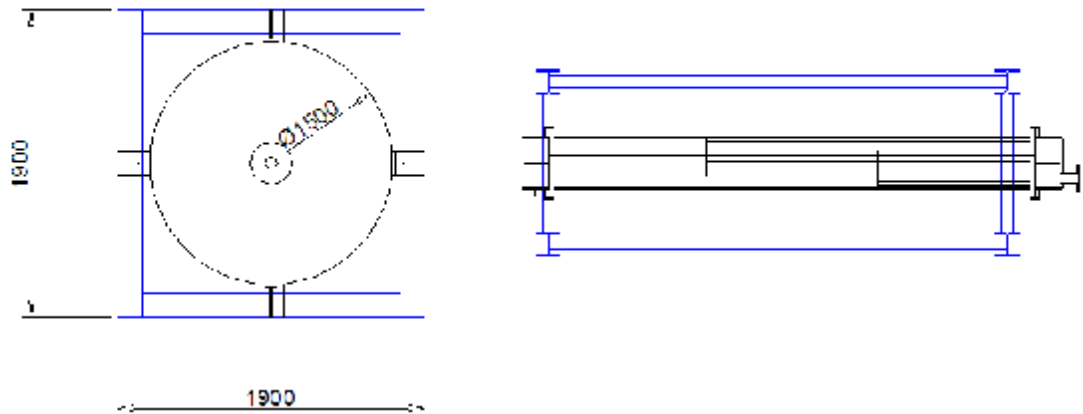
ภาพด้านหน้าและด้านข้างของระบบ



ภาพที่ ก 2.

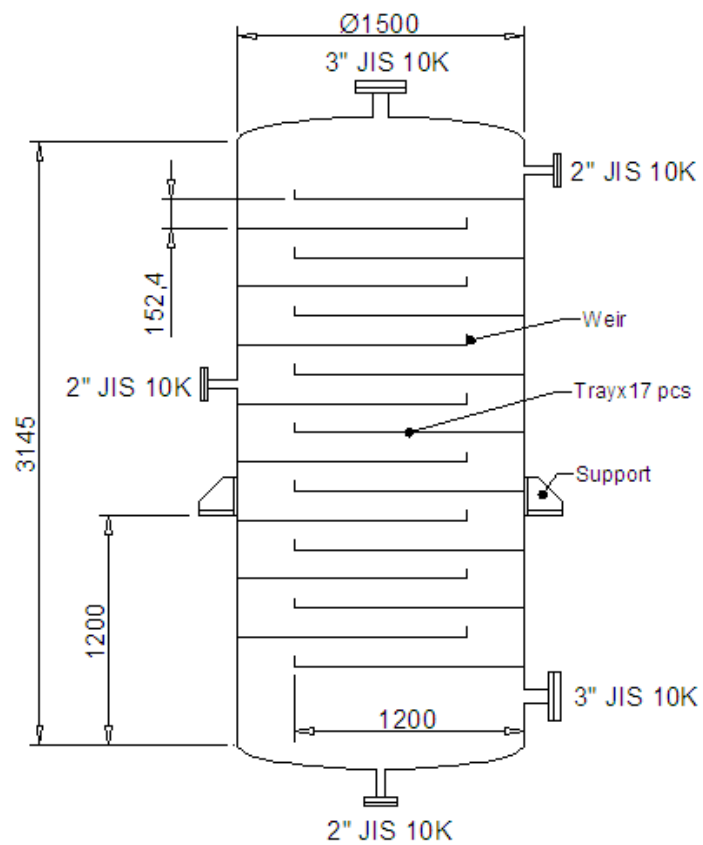
ภาพด้านบนของระบบ

TOP VIEW

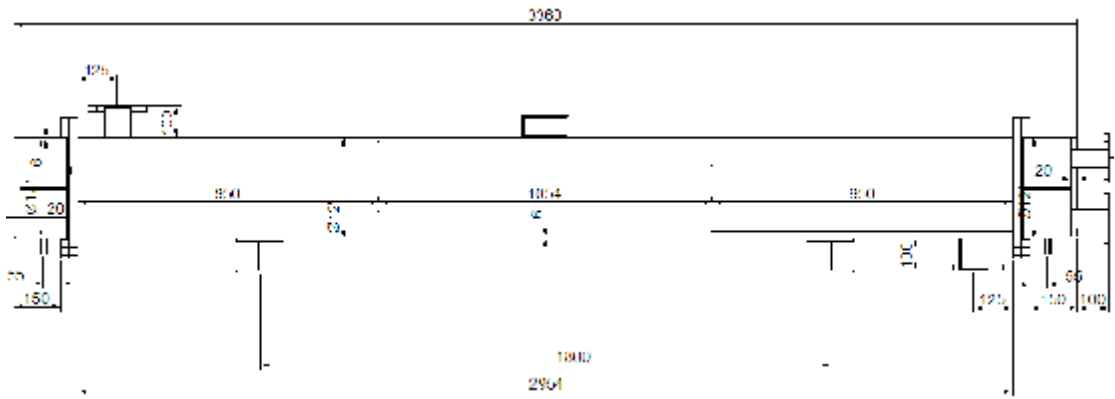


ภาพที่ ก 3.

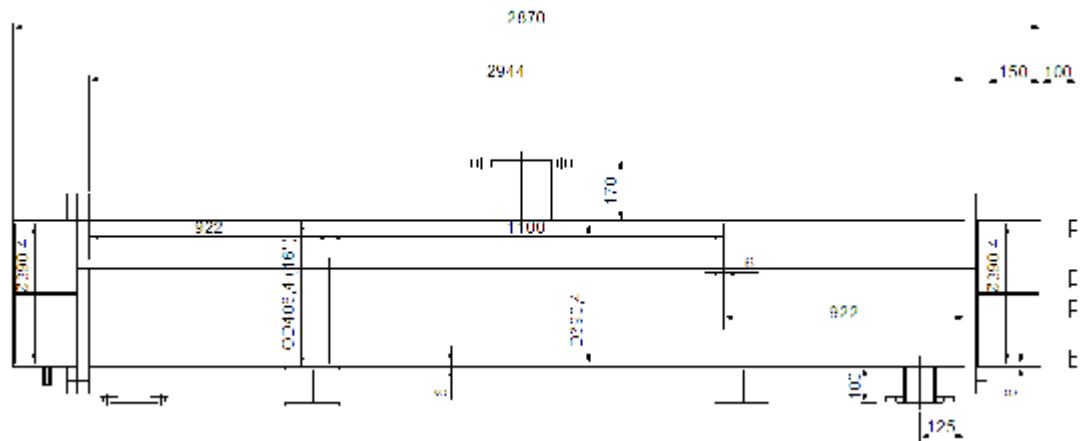
รายละเอียดหอกลิ้น



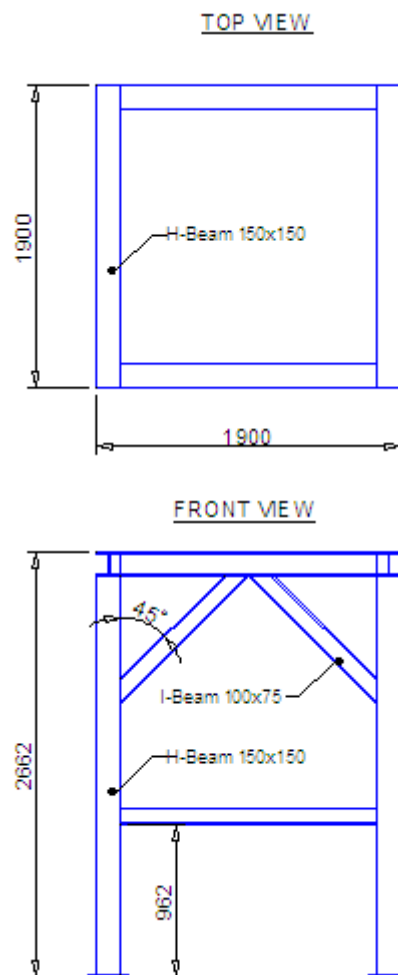
รายละเอียดคณเดนเซอร์



รายละเอียดครบถ้วน

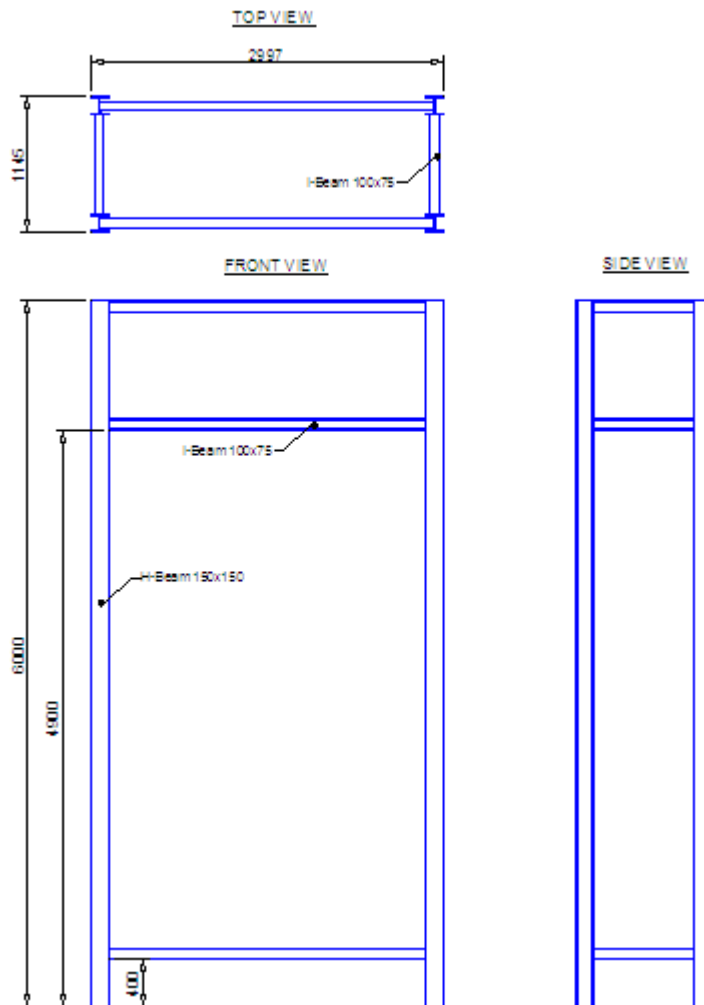


ภาพที่ ก 6.
โครงสร้างรองรับหอกลิ้น



ภาพที่ ก 7.

โครงสร้างรองรับคอนกรีตและรีบอยเลอร์



3. การประมาณราคาการสร้างหอกลั่น

หลังจากได้ข้อมูลของวัสดุที่ต้องใช้ในการสร้างระบบหอกลั่น แล้วนำมาแจกแจงรายละเอียดเพื่อให้รู้ว่าต้องใช้วัสดุอุปกรณ์อะไรบ้าง จากนั้นจึงสอบถามราคาของวัสดุอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อนำมาประมาณราคา รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและติดตั้งระบบ โดยราคาวัสดุและค่าแรงอ้างอิงจากข้อมูลของบริษัทผลิตไบโอดีเซล ข้อมูลแสดงตามตาราง ก-1

ตาราง ก-3
ประมาณราคาหอกลั่น

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
1	หอกลั่น	-	Dia.1.5 m x 3 m	1	-	-	-
1.1	Column Shell	SS400	5' x 10' x 12 mm	5	25	บ./กก.	53,055
1.2	Tray	SS400	5' x 10' x 6 mm	9	25	บ./กก.	47,750
1.3	Weir	SS400	4' x 8' x 6 mm	1	25	บ./กก.	3,396
1.4	Flange 2"	SS400	2" 10K	3	146	บ./ชิ้น	438
1.5	Flange 3"	SS400	3" 10K	2	219	บ./ชิ้น	438
1.6	Support	SS400	1 m x 1 m x 25 mm	1	25	บ./กก.	4,913
						รวม	109,989

ตาราง ก-4
ประมาณราคาคอนเดนเซอร์

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
2	Condensor	-	Dia.12"	1	-	-	-
2.1	Inlet Channel	SUS304	6mmx5'x10' 1/8แผ่น	1	3,625	บ./ชิ้น	3,625
2.2	Outlet Chan.	SUS304	6mmx5'x10'1/8แผ่น	1	3,625	บ./ชิ้น	3,625
2.3	MeOH In	SUS304	Flang 3" 10K	1	795	บ./ชิ้น	795

ตาราง ก-4 (ต่อ)

ประมาณราคาคอนเดนเซอร์

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
2.4	MeOH Out	SUS304	Flang 2" 10K	1	530	บ./ตัว	530
2.5	Water In	SUS304	Flang 2" 10K	1	530	บ./ตัว	530
2.6	Water Out	SUS304	Flang 2" 10K	1	530	บ./ตัว	530
2.7	Tube Sheet	SUS304	Blind 12" 10K	2	6,030	บ./ตัว	12,060
2.8	Chan. Flang	SUS304	Flang 12" 10K	2	3,150	บ./ตัว	6,300
2.9	Tie rod A	SUS304	Tube 1/2" #40	4	1,310	บ./ตัว	5,240
2.10	Tie rod B	SUS304	Tube 1/2" #40	2	1,310	บ./ตัว	2,620
2.11	Tube	SUS304	Tube 3/4" #10	49	1,390	บ./ตัว	68,110
2.12	Shell	SUS304	Tube 12" Seam #10	1	37,500	บ./ตัว	37,500
2.13	Buffle A	SUS304	6mmx5'x10'1/4 แผ่น	3	1,208	บ./ตัว	3,625
2.14	Buffle B	SUS304	6mmx5'x10'1/4 แผ่น	3	1,208	บ./ตัว	3,625
2.15	Gasket	Kinger	หนา 3 mm 1 แผ่น	2	2,700	บ./ตัว	5,400
2.16	Socket	SUS304	1/2"	3	50	บ./ตัว	150
2.17	Chan. Buffle A	SUS304	6mmx5'x10'1/2แผ่น	3	2,417	บ./ตัว	7,250
2.18	Chan.Buffle B	SUS304	6mmx5'x10' 1/2แผ่น	3	2,417	บ./ตัว	7,250
2.19	Cover Chan.	SUS304	6mmx5'x10' 1/4แผ่น	2	3,625	บ./ตัว	7,250
2.20	Pipe In-Out	SUS304	Tube 2" SUS304	1	11,180	บ./ตัว	11,180
						รวม	187,195

ประมาณราคาريبةอยเลอร์

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
3	Reboiler	-	Dia.16"	1	-	-	-
3.1	In-Out Chan.	SUS304	6mmx5"x10'1/8 แผ่น	1	3,625	บ./ชิ้น	3,625
3.2	Channel	SUS304	6mmx5"x10'1/8 แผ่น	1	3,625	บ./ชิ้น	3,625
3.3	Steam Inlet	SUS304	Flange 2" 10K	1	530	บ./ชิ้น	530
3.4	Steam Outlet	SUS304	Flange 2" 10K	1	530	บ./ชิ้น	530
3.5	Bottom In	SUS304	Flange 2" 10K	1	530	บ./ชิ้น	530
3.6	Bottom Out	SUS304	Flange 2" 10K	1	530	บ./ชิ้น	530
3.7	Reboiler Out	SUS304	Flange 3" 10K	1	795	บ./ชิ้น	795
3.8	Tube Sheet	SUS304	Blind 16" 10K	2	24,532	บ./ชิ้น	49,064
3.9	Chan.Flange	SUS304	Flange 16" 10K	2	11,085	บ./ชิ้น	22,170
3.10	Tie rod A	SUS304	Tube 1/2" #40	4	1,310	บ./ชิ้น	5,240
3.11	Tie rod B	SUS304	Tube 1/2" #40	2	1,310	บ./ชิ้น	2,620
3.12	Tube	SUS304	Tube 3/4" #10	60	2,010	บ./ชิ้น	120,600
3.13	Shell	SUS304	Tube 16" Seam #10	1	68,000	บ./ชิ้น	68,000
3.14	Buffle A	SUS304	6mmx5"x10'1/4 แผ่น	3	1,208	บ./ชิ้น	3,625
3.15	Buffle B	SUS304	6mmx5"x10'1/4 แผ่น	3	1,208	บ./ชิ้น	3,625
3.16	Gasket	Kinger	หนา 3 mm 1 แผ่น	2	2,700	บ./ชิ้น	5,400
3.17	Socket	SUS304	1/2"	2	50	บ./ชิ้น	100
3.18	Chan. Buffle A	SUS304	6mmx5"x10'1/2 แผ่น	3	2,417	บ./ชิ้น	7,250
3.19	Chan. Buffle B	SUS304	6mmx5"x10'1/2 แผ่น	3	2,417	บ./ชิ้น	7,250
3.20	Cover Chan.	SUS304	6mmx5"x10'1/4 แผ่น	2	5,590	บ./ชิ้น	11,180
3.21	Pipe In-Out	SUS304	Tube 2" ยาว 6 ม.	1	7,250	บ./ชิ้น	7,250
						รวม	323,539

ตาราง ก-6
ประมาณราคาโครงสร้าง

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
4	Support	-	-	-	-	-	-
4.1	H-Beam	SS400	150x150x31.5 kg/m	7	4725	บ./ชิ้น	14,175
4.2	I-Beam	SS400	100x75x12.9 kg/m	6	1935	บ./ชิ้น	5,805
						รวม	19,980

ตาราง ก-7
ประมาณราคาค่าแรงและวัสดุสิ้นเปลือง

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	หน่วย	ราคารวม
5	ค่าแรงอื่นๆ	-	-	-	-	-	-
5.1	งานสร้าง	-	-	-	-	-	80,000
5.2	งานติดตั้ง	-	-	-	-	-	20,000
5.3	วัสดุอื่นๆ	-	-	-	-	-	50,000
						รวม	150,000

จากการประมาณราคาทั้งหมดคิดเป็นราคารวมคือ 790,703 บาท ซึ่งใช้เป็นต้นทุนในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายบรรณวุฒิ ดอกบัว
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 20 ตุลาคม 2519
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล พ.ศ. 2543
ตำแหน่ง	นักศึกษาปริญญาโท
ทุนการศึกษา	-
ผลงานทางวิชาการ	การประชุมวิชาการของสถาบันอาหาร สังกัด กระทรวง อุตสาหกรรม “การลดต้นทุนในอุตสาหกรรมอาหาร เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการกลั่นเมทานอลกรดจากการ ผลิตไบโอดีเซล วันที่ 13 – 15 สิงหาคม 2552”
ประสบการณ์ทำงาน	วิทยาลัยการอาชีพปากช่อง พ.ศ. 2543 - 2546 บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด พ.ศ. 2546 - ปัจจุบัน