

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศ

นาย ศิวารุช ตู๋แมน
นางสาว อัญชญา คำดีโ

๒๕๖๘
๒๕๖๘
๒๕๖๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62645
วัน,เดือน,ปี. 2.1 ส.ค. 25๖๘

b.....
i.....

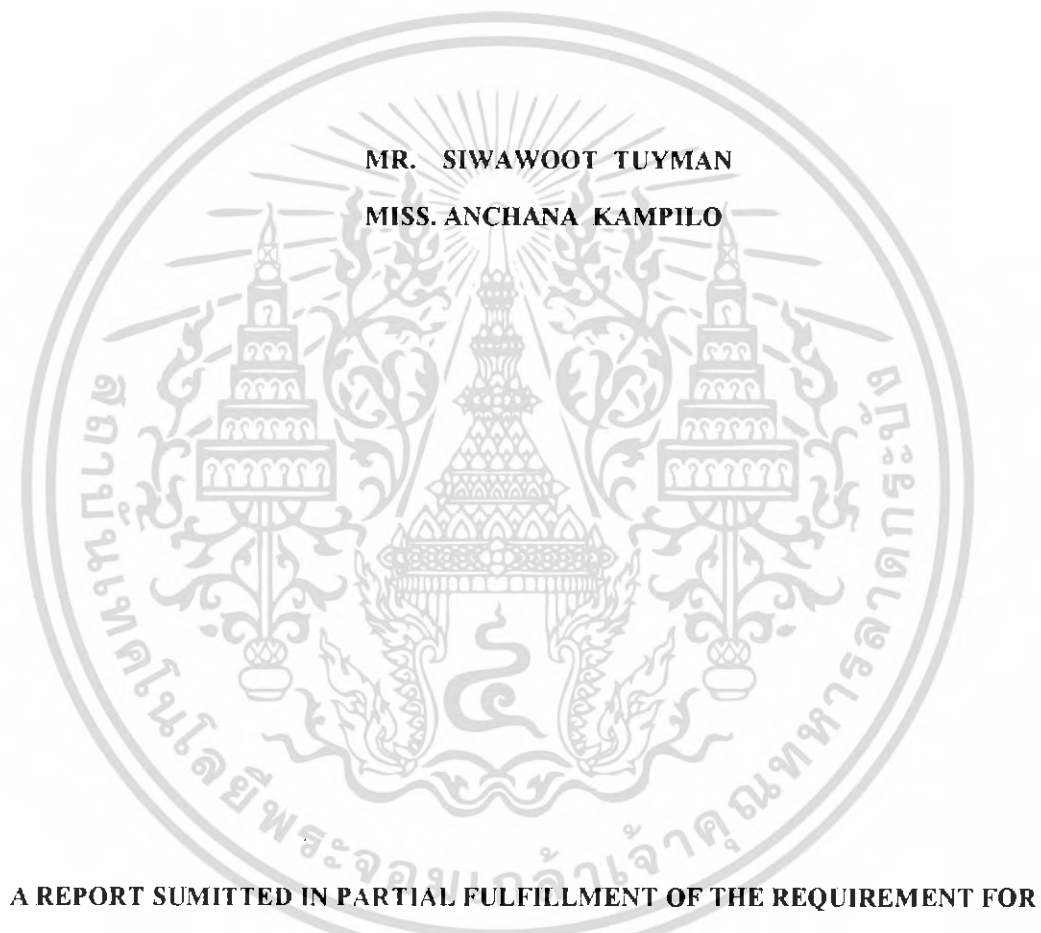
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIODIESEL BUBBLE WASHING

MR. SIWAWOOT TUYMAN

MISS. ANCHANA KAMPILO



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR IN ENGINEERING (CHEMICAL ENGINEERING)

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศ
จัดทำโดย นาย ศิวารุช ตู๋แม่นัน เลขประจำตัว 46015551
นางสาว อัญชญา คำภีโล เลขประจำตัว 46015552
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา


ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์




.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)


.....กรรมการ
(รศ.ดร. ไพศาล นาคหิพัฒน์)


.....กรรมการ
(ดร. สุธาสินี เนรมิตคพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศ	
จัดทำโดย	นาย ศิวาวุธ คู้ยแมน	เลขประจำตัว 46015551
	นางสาว อัญชนา คำภีโส	เลขประจำตัว 46015552
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิ่งไชยา	
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี	
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีฟองอากาศแบบกะกับวิธีปั่นกววนแบบกะ พบว่าการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศแบบกะให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีความใส กว่าแบบปั่นกววนแบบกะ ต่อมาได้มีการพัฒนาการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศแบบกะมาเป็นแบบต่อเนื่องไหลสวนทาง พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ ต่อน้ำประปาที่ใช้ในการศึกษา คือ 1:0.5, 1:0.3 และ 1:0.2 ลิตรต่อชั่วโมง ได้ค่าความเป็นกรดที่เหลือในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังการล้าง คือ 0.79, 0.77 และ 0.39 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง คือ 5.08, 5.01 และ 4.25 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ เห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพ 1:0.2 ให้ค่าความเป็นกรด และค่าความหนืดเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

Report Title Bubble Washing Biodiesel
By Mr. Siwawoot Tuyman ID.NO. 460105551
 Miss Anchana Kampilo ID.NO. 460105552
Advisor Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya
Report for Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering)
 Department of Chemical Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project aim to study the purification of crude biodiesel by two methods, namely bubble washing and agitation in the batch mode. It was washed biodiesel by bubble washing gave clear product. A continuous counter current bubble washing was developed at different flow rate ratio of crude biodiesel and water (1:0.5, 1:0.3 and 1:0.2 L/h) and found that the residue acid value were 0.79, 0.77 and 0.39 mg KOH /g and kinematic viscosity were 5.08 , 5.01 and 4.25 cst (centistokes) respectively. The optimum flow rate ratio of crude biodiesel and water was 1:0.2 that gives residue acid value and kinematic viscosity to meet the ASTM standard requirement.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำแนวทางในการวิจัย ทำให้เกิดทักษะในการทำงานมากยิ่งขึ้น

สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยที่เอื้อเฟื่องบประมาณ

คุณจุฬารัตน์ อินทร์นา คุณวิชุดา ไชยเขตต์ และคุณศัลยเวช เกตุแก้ว นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่แนะนำวิธีการในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

คุณจักรี ไทยสุชาติ วิศวกรเคมี บริษัท นาโนเอนเตอร์ไพรส์ ที่ให้คำแนะนำวัสดุในการทำเครื่องสำอาง

คุณจิระนุช สืบสุข ที่ให้คำแนะนำในการทำรายงานและช่วยแก้ไขตรวจรูปเล่มรายงาน

คุณชรรษณีย์ สาริตพิฑูถ คุณนารีรัตน์ พลายนหาร คุณปฐมภรณ์ ทรัพย์เจริญ ที่ช่วยในการจัดทำรายงาน

และบุคคลที่สำคัญที่สุด คือ บิดามารดาที่ให้อำนาจใจ สนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
รายการสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ความหมายน้ำมันดีเซลชีวภาพ	3
2.2 น้ำมันดีเซลชีวภาพในประเทศไทย	3
2.3 เหตุผลที่ต้องมีการศึกษางานเพื่อพัฒนาน้ำมันดีเซลชีวภาพ	4
2.4 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ	4
2.5 การทำน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์	5
2.6 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกเทคนิคที่ใช้ในการถ่วงน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ	6
2.7 สมดุลระหว่างเฟส (Phase equilibrium)	7
2.8 กระบวนการถ่ายเทมวลแบบต่อเนื่อง (Continuous mass transfer processes)	10
2.9 การไหลสวนทาง (Countercurrent flow)	11
2.10 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction)	13
2.11 สมดุลเฟสของเหลวของเหลว (Liquid-Liquid Phase Equilibrium)	13
2.12 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)	14
2.14 การละลาย	15
2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 การเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากกระบวนการผลิตแบบกะ.....	20
3.2 การเปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ด้วยวิธีฟองอากาศแบบกะและวิธีปั่นกวนแบบกะ.....	21
3.3 การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ ด้วยฟองอากาศแบบสวนทาง.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	27
4.1 การเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากกระบวนการผลิตแบบกะ.....	27
4.2 การเปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ด้วยฟองอากาศแบบกะและแบบปั่นกวนแบบกะ.....	27
4.3 การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ ด้วยฟองอากาศแบบ ไหลสวนทาง.....	29
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	33
ภาคผนวก ก การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	34
ภาคผนวก ข วิธีหาต่างในน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	36
ภาคผนวก ค การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดและด่าง.....	37
ภาคผนวก ง การหาค่าความหนืดของน้ำมัน.....	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2548.....	7
4.1 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพอัตราส่วน โดยปริมาตรของน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบน้ำประปา 10:1.6.....	27
4.2 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพอัตราส่วน โดยปริมาตรน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบน้ำประปา 10:2	28
4.3 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพอัตราส่วน โดยปริมาตรของน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบน้ำประปา 10:3.....	28
4.4 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง ของอัตราการไหลน้ำมันดีเซลชีวภาพต่อน้ำประปา 1 : 0.5 ลิตร ต่อ ชั่วโมง.....	30
4.5 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพ หลังล้าง ของอัตราการไหลน้ำมันดีเซลชีวภาพต่อน้ำประปา 1 : 0.3 ลิตร ต่อ ชั่วโมง.....	30
4.6 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพ หลังล้างของอัตราการไหลน้ำมันดีเซลชีวภาพน้ำประปา 1 : 0.2 ลิตร ต่อ ชั่วโมง.....	31
4.7 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง.....	31
4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง.....	31
ก.1 น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน ปริมาตรของแอลกอฮอล์และความเข้มข้นของเบสที่ต้องใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่างๆ.....	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยทั่วไปจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	5
2.2 หอปั๊มเบสิล.....	10
2.3 การถ่ายเทมวลระหว่างเฟสแบบไหลสวนทาง	11
2.4 ภาพการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุล.....	16
3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	21
3.2 ชุดอุปกรณ์ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยวิธีฟองอากาศแบบกะ.....	22
3.3 ชุดอุปกรณ์ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยวิธีปั่นกววน.....	23
3.4 ชุดอุปกรณ์ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศแบบไหลสวนทาง.....	24
3.5 หัวพ่นอากาศทำจากคั่วให้อากาศของตู้ปลาแบบทรายละเอียด.....	25
3.6 หัวพ่นอากาศ ในถังล้างที่ 1, 2 และ 3	26
4.1 น้ำมันที่ล้างด้วยฟองอากาศแบบกะและน้ำมันที่ล้างปั่นกววนแบบกะ.....	29



รายการสัญลักษณ์

G	ฟลักซ์ของการกระแสน้ำหรือไอ ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
G_s	ฟลักซ์ของการกระแสน้ำ(ไม่รวมตัวถูกละลาย) ($\text{mol}/\text{hr} \cdot \text{m}^2$)
k_D	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย, ไม่มีหน่วย
L	ความยาว หรือฟลักซ์ของกระแสของเหลว($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
L_s	ฟลักซ์ของกระแสของเหลว(ไม่รวมตัวถูกละลาย) ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
X_i	อัตราส่วนโมลของ i (mole ratio) ของเฟสของเหลว
Y_i	อัตราส่วนโมลของก๊าซเฟส หรือ unaccomplished concentration
α	ค่าการเลือก, ไม่มีหน่วย
ρ	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)
γ	ค่าแรงตึงผิว (J/m^2)
η	ค่าความหนืด ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมมีราคาสูงขึ้น ทำให้มีการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนขึ้นมาหลายประเภท น้ำมันดีเซลชีวภาพก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

น้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ โมโนอัลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันหรือไขมันของพืชและสัตว์ซึ่งสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลหรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นด่าง กรด หรือเอนไซม์ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะช่วยลดการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสีย อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เพราะให้ความหล่อลื่นมากกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

ปัญหาที่สำคัญในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพก็คือ สิ่งเจือปนในการสังเคราะห์โมโนอัลคิลเอสเทอร์ เช่น สบู่ สารละลายกรด สารละลายด่าง ละสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการขจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยน้ำอุ่น เพราะถ้าหากใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องอาจทำให้เกิดฟองสบู่ และเกิดอิมัลชัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิค การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบโดยใช้ฟองอากาศ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างและสกัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบขึ้นมา เพื่อประหยัดเวลาและปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบออกให้หมด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ
2. ออกแบบและสร้างเครื่องล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ

1.3 ขอบเขตของศึกษา

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพบริสุทธิ์ เช่น อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันและน้ำ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราการไหลของอากาศ
2. เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากวิธีฟองอากาศแบบกะ กับแบบปั่นกววนแบบกะ
3. วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (Acid Value) และความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล
2. ทำการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากวิธีฟองอากาศแบบกะ กับแบบปั่นกววนแบบกะ โดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพบริสุทธิ์ คือ หาอัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันและน้ำที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราการไหลของอากาศ
4. วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด และความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ หลังจากทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เครื่องต้นแบบ ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) [1]

น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ มาสกัดเอาสิ่งเจือปนออก แล้วนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ และกลีเซอไรด์ ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือเรียกว่า น้ำมันดีเซลชีวภาพนั่นเอง โดยเมทิลเอสเทอร์มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็ก มีความเสถียรภาพ และมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

2.2 น้ำมันดีเซลชีวภาพ ในประเทศไทย [1]

ประเภทของน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่มีใช้งานในประเทศไทยประกอบด้วย

2.2.1 น้ำมันพืชผสมที่คิดค้น โดยภูมิปัญญาชาวบ้าน เป็นการนำน้ำมันพืชดิบมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงอื่น เพื่อลดความหนืดและนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น เครื่องมือทางการเกษตร ได้แก่

- อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสาคร ใช้น้ำมันมะพร้าวดิบมาผสมกับน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน โดยปริมาตร 20:1:4

- อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ใช้น้ำมันมะพร้าวดิบผสมกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน โดยปริมาตร 20:1

- จังหวัดชุมพร ใช้น้ำมันมะพร้าวดิบมาผสมกับน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน โดยปริมาตร 60:7:40

2.2.2 น้ำมันพืชที่นำเสนอ โดยการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) เป็นการนำน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการกลั่น ได้แก่ น้ำมันปาล์มกลั่น หรือน้ำมันมะพร้าวกลั่น มาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน โดยปริมาตร 1:9 โดย ปตท. มีแผนการผลิตและจำหน่ายใช้งานกับรถยนต์ดีเซลของหน่วยงานราชการ และรัฐวิสาหกิจ เพื่อเป็นตัวอย่างในการประหยัดน้ำมันและลดการนำเข้าน้ำมันลง เนื่องจากปัจจุบันนี้ราคาน้ำมันสูงขึ้น

2.3 เหตุผลที่ต้องมีการศึกษางานเพื่อพัฒนาน้ำมันดีเซลชีวภาพ [2]

2.3.1 ราคาน้ำมันและแหล่งน้ำมัน

ปัจจุบันนี้ราคาน้ำมันสูงมากและคาดว่าจะสูงขึ้นต่อไปอีก ในทางกลับกันแหล่งน้ำมันก็ค่อยๆ หมดไปจากส่วนต่างๆ ของโลก แต่ละประเทศจึงต้องหาทางลดการใช้ น้ำมันลง เช่น การใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือไม่ก็หาพลังงานอื่นทดแทน ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานน้ำ เป็นต้น

2.3.2 เศรษฐกิจของประเทศ

เศรษฐกิจของประเทศไทยนั้นยังไม่ดีเท่าไรนักเพราะราคาสินค้าสูงขึ้นตามราคาของน้ำมัน แต่ราคาพืชผลทางการเกษตรยังคงต่ำ เป็นปัญหาต่อเนื่องมาตลอด การสร้างเสถียรภาพของราคาสินค้าเกษตร คือการสร้างความต้องการที่คงที่ การพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรไปเป็นวัตถุดิบของพลังงานจะเป็นการแก้ปัญหาที่ได้ผลทั้งระยะสั้นและระยะยาว

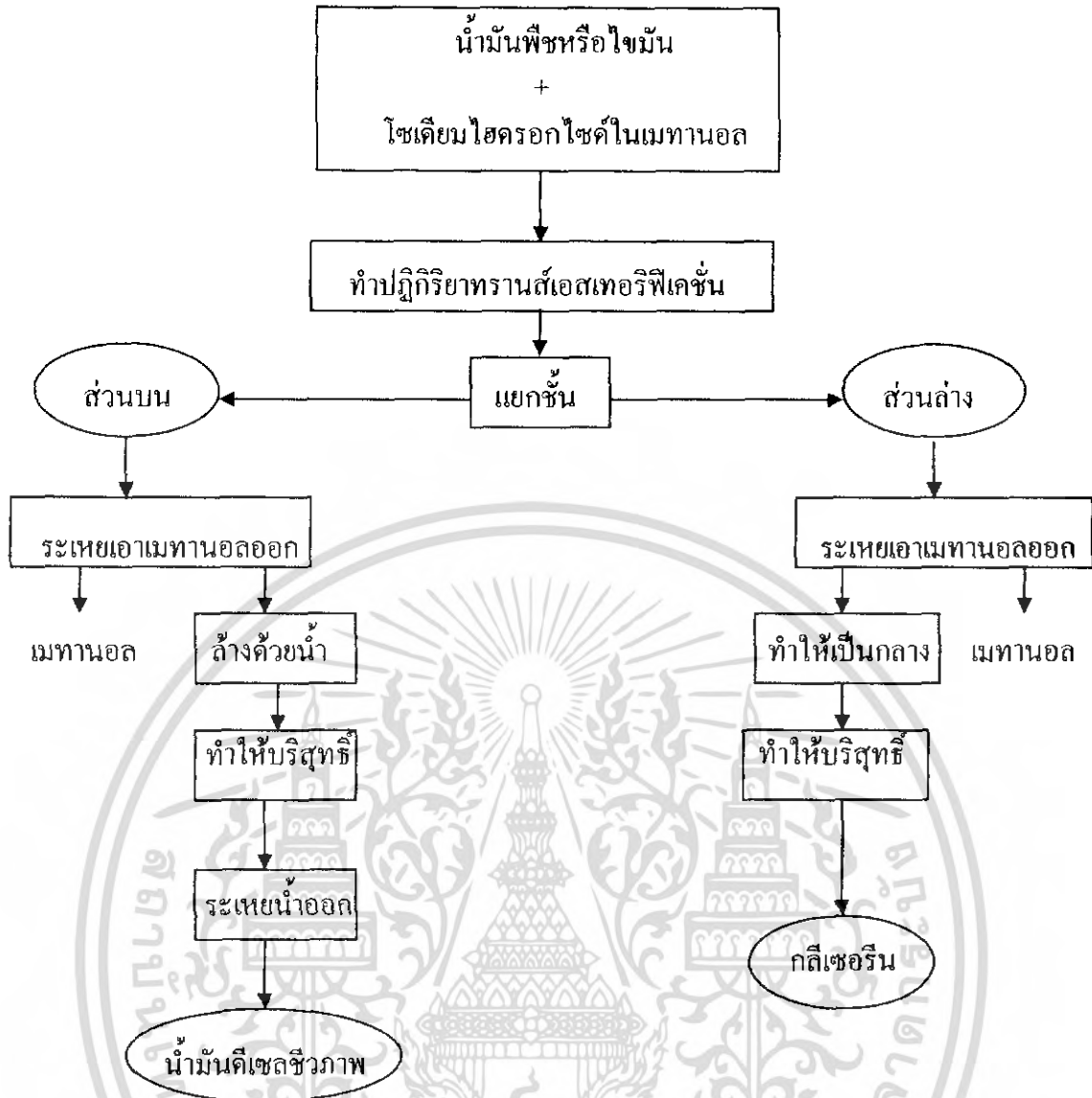
2.3.3 สิ่งแวดล้อม

- ลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงปกติลง การใช้ น้ำมันดีเซลชีวภาพจะลดผลของปรากฏการณ์เรือนกระจก ได้อย่างน้อย 3.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลต่อกิโลกรัมของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ใช้ อาจกล่าวได้ว่า ก๊าซผสมในกลุ่มซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดลง 99 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซผสมในกลุ่มของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 32 เปอร์เซ็นต์ และในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

- น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ สามารถถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติย่อยสลายได้ มีรายงานว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ สามารถถูกย่อยสลายได้ 90 เปอร์เซ็นต์ภายใน 3 สัปดาห์ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

2.4 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [3]

กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ของน้ำมันหรือไขมันจากพืชและสัตว์โดยใช้เมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำได้ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยทั่วไปจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [3]

2.5 การทำน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ [3]

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและผ่านการแยกส่วนของน้ำมันดีเซลชีวภาพออกจากกลีเซอริน น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบที่ได้ยังคงมีสิ่งปนเปื้อน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการนำน้ำมันดีเซลชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องผ่านขั้นตอนที่จะทำให้ให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

ขั้นตอนย่อยของการทำน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ มีดังนี้

1. การขจัดเมทานอล เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจจะมีเมทานอลบางส่วนหลงเหลืออยู่ โดยการขจัดเมทานอลนี้จะนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่หรือขจัดทิ้งออกไป ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่จะเลือกใช้และแนวคิดที่จะนำเมทานอลกลับมาใช้

2. การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างและสกัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบออก

3. การขจัดน้ำ หลังจากการทำปฏิกิริยาและการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบแล้วจะมีน้ำอยู่บางส่วนในน้ำมันดีเซลชีวภาพ ซึ่งต้องขจัดออกโดยการระเหย

ขั้นตอนย่อยๆเหล่านี้ ขั้นตอนที่สำคัญและยุ่งยากที่สุด คือ การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบเพราะมีสิ่งที่จะต้องคำนึงอยู่มากมาย การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบจะใช้หลักการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ซึ่งเหมาะสมกับการสกัดสิ่งปนเปื้อนและลดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำมันดีเซลชีวภาพ สารที่ใช้สกัดมักจะเป็นน้ำหรือน้ำผสมกรดเล็กน้อย

2.6 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกเทคนิคที่ใช้ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบ [3]

2.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบหลังจากการล้าง

การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบ เป็นวัตถุประสงค์หลักในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ เทคนิคที่จะนำมาใช้จึงต้องสามารถปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันดีเซลชีวภาพให้ใกล้เคียงค่าความเป็นกลาง หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7

2.6.2 การเกิดอิมัลชัน

การเกิดอิมัลชันระหว่างในขั้นตอนการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ จะทำให้ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้หลังจากการสกัดลดลง และเป็นการเพิ่มสิ่งปนเปื้อน ทำให้ขั้นตอนการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นไปได้ยากมาก

2.6.3 การกัดกร่อน

บางเทคนิคอาจจะมีข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุที่นำมาใช้สร้างเป็นถังล้างเนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบนั้นจะมีสภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง และมีลักษณะเป็น โมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งอาจจะกัดกร่อนวัสดุบางประเภทได้

2.6.4 เวลาที่ใช้ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกเทคนิคการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพอีกตัวแปรหนึ่ง โดยเฉพาะการประยุกต์ให้เป็นกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวล ซึ่งต้อง

พิจารณาที่น้ำสัมผัสกับน้ำมันดีเซลชีวภาพเพื่อถ่ายเทมวล ของค้างหรือกรดจากน้ำมันดีเซลชีวภาพมาสู่น้ำมันค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำมันดีเซลชีวภาพประมาณ 7

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [4]

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงค่า	วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methyl Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C , kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ เซนติสโตกส์ (viscosity at 40 °C , cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulphur, % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D
6	กากถ่าน ร้อยละ โดยน้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10% distillation residue , % wt.)	ไม่สูงกว่า และ ไม่ต่ำกว่า 0.30 51	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulfated Ash. , % wt.)		ASTM D 874
9	น้ำ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Water, % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Total Contaminate, % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D 6452

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	number1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110 °C, hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน กรัมไอโอดีน/100กรัม (Iodine Value, g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14103
16	เมทานอล ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Diglyceride, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Triglyceride, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Free glycerin, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Total glycerin, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na ⁺ K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca ⁺ K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	prEN 14538
23	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบ จากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นเทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดใน
รายละเอียดแนบท้ายนี้

2.7 สมดุลระหว่างเฟส (Phase equilibrium) [5]

การถ่ายเทมวล โดยการแพร่หรือโดยการพาที่ตามเป็นกลไกซึ่งขึ้นอยู่กับผลต่างความเข้มข้น
ภายในเฟส การถ่ายเทระหว่างเฟสก็เช่นเดียวกัน เกิดขึ้นเพราะมีผลต่างของความเข้มข้นเฉลี่ยในเฟส
หรือ ระบบไม่ได้อยู่ที่สมดุล ในการศึกษาการถ่ายเทมวลระหว่างเฟสจำเป็นต้องเข้าใจหลักการของ
สมดุลระหว่างเฟส ในที่นี้จะยกตัวอย่างระบบซึ่งประกอบด้วยก๊าซเฟสคือ อากาศกับแอมโมเนีย และ
เฟสของเหลว คือ น้ำ เมื่อทั้งสองเฟสอยู่ร่วมกันแอมโมเนียซึ่งละลายน้ำได้ก็จะถูกถ่ายเทไปยังน้ำ ใน
ขณะเดียวกันน้ำก็ระเหยไปยังก๊าซเฟส เมื่อระบบอยู่ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ก็จะเข้าสู่สมดุล ไดนา
มิกส์ในที่สุด หมายความว่าที่สมดุลโมเลกุลของน้ำกลายเป็นไอด้วยอัตราการเร็วเท่ากับการที่ไอน้ำกลับ
สู่เฟสของเหลว ในทำนองเดียวกันอัตราที่โมเลกุลของแอมโมเนียละลายน้ำเท่ากับอัตราที่แอมโมเนีย
กลับสู่ก๊าซเฟสและอัตรานี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำและความดันไอของแอมโมเนีย ที่
สมดุลความเข้มข้นของแอมโมเนียในทั้งสองเฟสจะมีค่าคงที่

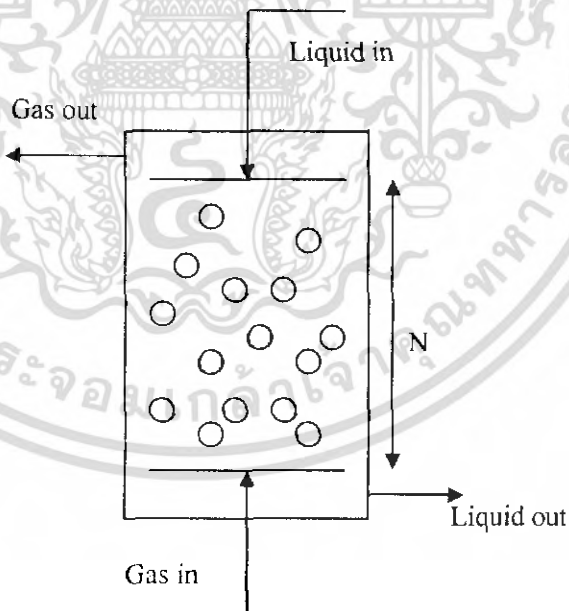
2.8 กระบวนการถ่ายเทมวลแบบต่อเนื่อง (Continuous mass transfer processes) [5]

จากความรู้พื้นฐานที่ศึกษามาสามารถนำไปใช้ในการศึกษากระบวนการถ่ายเทมวลแบบต่อเนื่องได้ โดยเฉพาะในการออกแบบอุปกรณ์ถ่ายเทมวลระหว่างเฟส เช่น การดูดซับก๊าซ (gas absorption) โดยตัวถูกละลายถ่ายเทจากก๊าซเฟสไปยังเฟสของเหลว ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นการแยกก๊าซหนึ่งออกจากเฟสของเหลว เรียกว่า desorption/stripping เมื่อก๊าซเฟสเป็นอากาศซึ่งสัมผัสกับน้ำทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น เรียกว่า กระบวนการเพิ่มความชื้น (humidification)

การถ่ายเทมวลระหว่างเฟสอื่นๆ เช่น กระบวนการกลั่น (distillation) การสกัดด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction) การสกัดแยกองค์ประกอบหนึ่งออกจากของแข็งโดยใช้ของเหลว (leaching) เป็นต้น ชนิดของอุปกรณ์ถ่ายเทมวลระหว่างเฟสแบบต่อเนื่อง เช่น

- หอสเปรย์
- หอบีบเบิ้ล
- หอแผ่นบับเบิล
- หอแผ่นตะแกรง
- หอบรรจุ

ตัวอย่างหอบีบเบิ้ล (Bubble tower) มีลักษณะคือ ก๊าซจะไหลผ่านเฟสของเหลวในลักษณะของฟองอากาศเล็กๆ การถ่ายเทมวลเกิดขึ้น เมื่อเกิดฟองอากาศและระหว่างที่ฟองอากาศเคลื่อนที่ขึ้นผ่านของเหลว การเคลื่อนที่ของฟองอากาศช่วยลดความต้านทานในเฟสของเหลว หอบีบเบิ้ลจึงเหมาะสมกับการที่การถ่ายเทมวลถูกควบคุมโดยเฟสของเหลวการทำงานอาจเป็นแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง ตัวอย่าง เช่น ถังเติมอากาศ (aeration tank) ถังหมัก (fermentors)



รูปที่ 2.2 หอบีบเบิ้ล

คุณวมลสำหรับหอสัมผัสแบบต่อเนื่อง : สมการเส้นดำเนินการ

(Mass balance for continuous contact tower : operating line equations)

ในการออกแบบอุปกรณ์ถ่ายเทวมลแบบสัมผัสต่อเนื่องต้องทราบข้อมูลพื้นฐานคือ

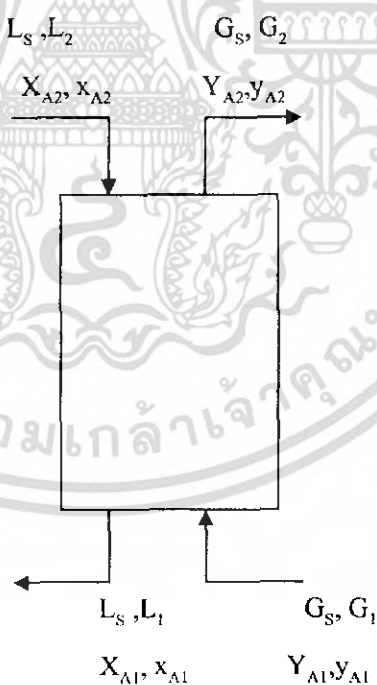
- สมการคุณวมลและคุณพลังงานของทั้งเฟส
- สมดุลระหว่างเฟสอาจเป็นข้อมูลหรือความสัมพันธ์สมดุลในรูปของสมการ
- สมการการถ่ายเทวมลสัมประสิทธิ์การถ่ายเท
- ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและลักษณะของอุปกรณ์ อัตราการไหล ความดันลด ชนิดของวัสดุบรรจุ

และอื่นๆ

การทำคุณวมลและคุณพลังงานซึ่งเป็นส่วนสำคัญ เพราะจะได้สมการในการคำนวณส่วนประกอบของทั้งสองเฟสที่จุดใดๆ ในหอสัมผัส นอกจากนี้การใช้สมการเชิงอนุพันธ์ของการถ่ายเทวมลร่วมกับการทำคุณวมล จะได้ความสูงของหอหรือระยะทางที่สองเฟสสัมผัสกันในอุปกรณ์การถ่ายเทวมล

2.9 การไหลสวนทาง (Countercurrent flow) [5]

กระบวนการถ่ายเทวมลที่สภาวะคงตัว ของไหลสองเฟสซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน(ในที่นี้แทนด้วยG และL) มีการสัมผัสแบบต่อเนื่องและไหลสวนทางกัน



รูปที่ 2.3 การถ่ายเทวมลระหว่างเฟสแบบไหลสวนทาง

G_1 จำนวนโมลของเฟส G ที่ไหลเข้าต่อชั่วโมงต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ

L_1 จำนวนโมลของเฟส L ที่ไหลออกต่อชั่วโมงต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ

y_{A1} เศษส่วนโมลของ A ใน G_1 (จำนวนโมลของ A ต่อจำนวนโมลทั้งหมดของเฟส G)

x_{A1} เศษส่วนโมลของ A ใน L_1 (จำนวนโมลของ A ต่อจำนวนโมลทั้งหมดของเฟส L)

สัญลักษณ์ 1 และ 2 แทนตำแหน่งส่วนล่างและส่วนบนของหอตามลำดับ ดังนั้น G_2, L_2, y_{A2} และ x_{A2} มีความหมายเช่นเดียวกับ G_1, L_1, y_{A1} และ x_{A1} สำหรับด้านบนของหอหรือตำแหน่ง 2 ที่สภาวะคงตัว และเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ A เนื่องจากปฏิกิริยาเคมี

จำนวน โมลของ A ที่เข้าสู่หอ = จำนวน โมลของ A ที่ออกจากหอ

หรือ

$$G_1 y_{A1} + L_2 x_{A2} = G_2 y_{A2} + L_1 x_{A1} \quad (2.30)$$

การใช้หน่วยของความเข้มข้นเป็นเศษส่วนโมลมีฐานเป็นจำนวน โมลทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่คงที่ (เมื่อเกิดการถ่ายเทมวล) การทำสมมูลมวลเพื่อให้ได้สมการซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ควรใช้หน่วยความเข้มข้นซึ่งมีฐานเป็นจำนวน โมลที่คงที่ซึ่ง ไม่รวมตัวถูกละลาย A (solute-free basis) ดังนี้

Y_A เป็นจำนวน โมลของ A ในเฟส G ต่อจำนวน โมลของ G ซึ่ง ไม่รวม A หรือ

$$Y_A = y_A / (1 - y_A) \quad (2.31)$$

X_A เป็นจำนวน โมลของ A ในเฟส L ต่อจำนวน โมลของ L ซึ่ง ไม่รวม A หรือ

$$X_A = x_A / (1 - x_A) \quad (2.32)$$

เมื่อใช้ฐานเป็นจำนวน โมลซึ่ง ไม่รวม A ให้อัตราการไหลเป็น L_S และ G_S

L_S คือ จำนวน โมลของเฟส L ไม่รวม A ต่อชั่วโมงต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ

G_S คือ จำนวน โมลของเฟส G ไม่รวม A ต่อชั่วโมงต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ

ทั้ง L_S และ G_S จึงเป็นค่าคงที่ตลอดความยาวของหอ สมการสมดุลมวลในเทอมซึ่ง ไม่รวม A จึงเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} G_S Y_{A1} + L_S X_{A2} &= G_S Y_{A2} + L_S X_{A1} \\ G_S (Y_{A1} - Y_{A2}) &= L_S (X_{A1} - X_{A2}) \end{aligned} \quad (2.33)$$

หรือ

$$L_S / G_S = (Y_{A1} - Y_{A2}) / (X_{A1} - X_{A2}) \quad (2.34)$$

2.10 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction) [6]

การสกัดของเหลวด้วยของเหลว เป็นวิธีกระบวนการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยเป็นกรรมวิธีที่ใช้แยกสารออกจากของผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันหรือละลายได้บางส่วนเท่านั้น กับสารละลายเดิมและตัวทำละลายจะต้องมีคุณสมบัติที่จะละลายสารชนิดหนึ่งออกจากของผสมได้ดี โดยทั่วไปการแยกของเหลวออกจากกันนั้นมักใช้วิธีการกลั่น แต่ในบางครั้งที่มีข้อจำกัดเช่น สารที่กลั่นแยกมีค่าความดันไอใกล้เคียงกัน สารที่จะแยกเกิดเป็นของผสมอะซีไอโทรป ของผสมเจือจางมาก ไม่สามารถให้ความร้อนได้โดยตรงเนื่องจากอาจเกิด การสลายตัวของสารต้องใช้พลังงานมากเมื่อสารบางชนิดมีจุดเดือดสูง ซึ่งวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้แยกสารที่ต้องการ โดยหลีกเลี่ยงปัญหาที่กล่าวมาได้

การออกแบบวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวนั้น จะต้องทำการเลือกตัวทำละลายที่ได้ในการสกัดแยกสาร โดยคุณสมบัติที่ใช้ในการเลือกเป็นตัวทำละลายได้แก่

- ค่าการเลือก (selectivity, α)
 - ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient, K_{Di})
 - การละลายของตัวทำละลายเข้าสู่เฟสที่ถูกสกัด (Reffinate phase) เพื่อลดการสูญเสียตัวทำละลาย
 - ค่าความหนาแน่น (Density, ρ) ควรมีความแตกต่างกันมากพอ จะสามารถแยกเฟสได้ง่ายและทำให้เกิดการไหลสวนทางกันในหอสกัดได้
 - สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
 - ค่าแรงตึงผิว (Surface tension, γ) เพื่อให้เกิดการกระจายเฟสได้ดี
 - ค่าความหนืด (Viscosity, η) เพื่อให้เกิดการแยกเฟสได้เร็วเมื่อสารสัมผัสกัน
 - อื่นๆ เช่น ไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อน ราคาถูก
- ค่าการเลือกและสัมประสิทธิ์การกระจายนั้น เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลสมดุลของเหลวในระบบที่ใช้ในการสกัดข้อมูลสมดุลของเหลวของเหลวนั้น จะต้องนำมาใช้เพื่อกำหนดสถานะในการสกัด

2.11 สมดุลเฟสของเหลวของเหลว (Liquid-Liquid Phase Equilibrium) [6]

กฎของเฟส (Phase rule) มีความสำคัญในการบ่งบอกถึงคุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณสาร (Intensive properties) เนื่องจากก่อนที่จะบอกว่าสารใดมีคุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณอย่างไรขึ้นจำเป็นที่จะต้องกำหนดคุณสมบัติหรือจำนวนตัวแปรที่ต้องการจำนวนหนึ่งโดยมีกฎทั่วไปที่ใช้ในการ

หาจำนวนตัวแปร ในการหาจำนวนตัวแปรในแบบที่ต้องการศึกษา จำนวนตัวแปรอิสระนี้ เรียกว่า “ระดับขั้นความเสรี” (Degree of Freedom, F) เขียนเป็นสมการ ได้คือ

$$F = C - P + 2 \quad (2.35)$$

F = ระดับขั้นความเสรี

C = จำนวนองค์ประกอบที่อยู่ในระบบ

P = จำนวนเฟส

เฟส (Phase) หมายถึง สารที่มีขอบเขตแน่ชัด และเป็นเนื้อเดียวกันไม่จำเป็นที่เฟสจะต้องต่อเนื่องกันตลอด ตัวอย่างเช่น ฟองก๊าซในเฟสของเหลว หรือหยดของเหลวที่กระจายอยู่ในของเหลว ในกรณีนี้จะมีอยู่ 2 เฟส คือ เฟสที่กระจายเข้าไปอยู่ในเฟสอื่น (Dispersed phase) และเฟสที่อยู่ต่อเนื่องกัน (Continuos phase)

2.12 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) [6]

การสกัดด้วยตัวทำละลายที่สามารถทำได้ โดยใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดหนึ่ง จะมีชื่อเรียกการสกัดนี้ว่า liquid-liquid extraction ซึ่งมีเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์อยู่ 3 วิธี คือ วิธีการสกัดแบบกะ (Batch extraction) วิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) และการสกัดแบบไหลสวนทาง (Counter current extraction) การสกัดจะเกิดขึ้นดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย ถ้าตัวถูกละลายสามารถละลายได้น้อย จำเป็นต้องใช้เทคนิคของการสกัดที่ทำให้ได้อย่างต่อเนื่อง และใช้ตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าเทคนิคในการสกัดมีได้หลายวิธี การสกัดจะเลือกใช้เทคนิคและวิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสกัด หรือชนิดของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วและประหยัด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ใช้เพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) ของสารที่สนใจวิธีหนึ่ง

2.13 เทคนิคการเลือกตัวทำละลายในการสกัด [7]

การสกัดจำเป็นจะต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการจะแยก ซึ่งมีหลักที่ควรพิจารณาในการเลือกตัวทำละลายดังต่อไปนี้

1. สารที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันย่อมละลายในตัวละลายที่คล้ายคลึงกัน
2. ตัวทำละลายอินทรีย์จะละลายตัวละลายอินทรีย์
3. น้ำใช้เป็นตัวทำละลายสารประกอบอนินทรีย์รวมทั้งเกลือของกรดและเบสอินทรีย์
4. กรดอินทรีย์ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และสามารถสกัดโดยใช้สารละลายเบส เช่น

โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) หรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) ก็ได้

2.14 การละลาย [8]

เมื่อเกิดการละลายของสารชนิดหนึ่งในของเหลว เราจะเรียกสารผสมนั้นว่า สารละลาย โดยเรียกสารที่ละลายอยู่ในของเหลวนั้นว่าตัวถูกละลาย และเรียกของเหลวนั้นว่าตัวทำละลาย สารละลายที่ไม่สามารถใส่ตัวถูกละลายลงไปเพิ่มได้อีกแล้ว จะเรียกว่า สารละลายอิ่มตัว แต่ในบางสภาพ ตัวถูกละลายนั้นก็อาจละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกันได้มากกว่าปกติจนอิ่มตัว จะเรียกสารละลายที่อิ่มตัวนั้นว่า สารละลายอิ่มตัวด้วย

ความสามารถในการละลายของสารชนิดหนึ่งในสารอีกชนิดหนึ่งนั้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลาย กับตัวทำละลาย หรือ อัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลาย กับสารละลาย ในสถานะที่สารละลายนั้นเป็นสารละลายอิ่มตัว ซึ่งสามารถบอกเป็นความหนาแน่นสูงสุดของสารละลายนั้นได้อีกด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย อุณหภูมิ ความดัน และปัจจัยอื่นๆ

ในตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีสภาพขั้วของสารชนิดนั้นๆ โดยโมเลกุลที่มีขั้วจะสามารถละลายสารประกอบไอออนิกและสารประกอบโควาเลนต์ที่มีขั้วได้ ส่วนโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะสามารถละลายสารประกอบโควาเลนต์ที่ไม่มีขั้วได้ ตัวอย่างเช่น เกลือแกง เป็นสารประกอบไอออนิก สามารถละลายในน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว แต่ไม่สามารถละลายในเอทานอลได้ แต่น้ำกับสารที่ไม่มีขั้วจะไม่สามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่จะแยกออกเป็นชั้นๆ หรือรวมกันเป็นคอลลอยด์แบบอิมัลชันดังเช่นในน้ำมัน ตัวทำละลายที่นิยมใช้กับสารอินทรีย์ ได้แก่ อะซีโตน เอทานอล น้ำ และ เบนซีน

กฎการละลายน้ำ [9]

ถ้าจะศึกษาเกี่ยวกับสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ควรจะพิจารณากฎหรือหลักเกณฑ์การละลายของสารในน้ำซึ่งเป็นหลักโดยทั่วไป ดังนี้

1. เกลือของสารประกอบหมู่ IA และ NH_4^+ ละลายน้ำได้
2. เกลือของสารประกอบ อาซิเตต และไนเตรตละลายได้
3. สารประกอบ 2 ธาตุของหมู่ VIIA (Cl, Br, I) กับโลหะอื่นๆ ละลายน้ำได้ยกเว้น กับโลหะ Ag, Hg(I) และ Pb
4. สารประกอบ ซัลเฟต ละลายน้ำได้ ยกเว้น ซัลเฟตของ Ca, Sr, Ba, Ag, Pb และ Hg

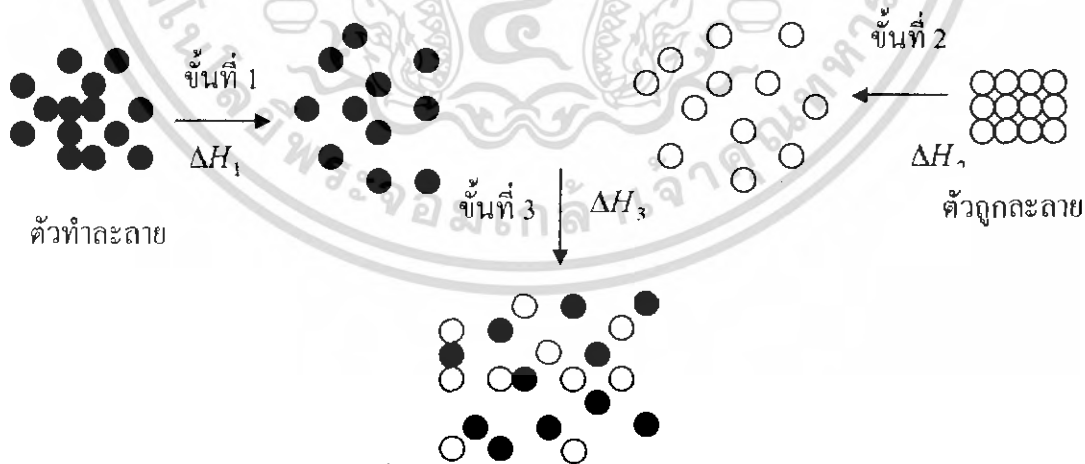
5. ยกเว้น เกลือของสารประกอบ หมู่ IA และNH' สารประกอบคาร์บอเนต ฟอสเฟตออกไซด์ ซัลไฟท์ และไฮดรอกไซด์ไม่ละลาย

กระบวนการการละลาย

ในของเหลวและของแข็ง โมเลกุล แรงเหล่านี้มีบทบาทอันสำคัญในการเกิดสารละลาย เมื่อสารชนิดหนึ่ง (ตัวถูกละลาย) ละลายในสารอีกชนิดหนึ่ง (ตัวทำละลาย) อนุภาคของตัวถูกละลาย จะกระจายไปทั่วปริมาตรของตัวทำละลายและแทรกตัวอยู่ระหว่าง โมเลกุลของตัวทำละลายโดยเข้าแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายบางส่วน อนุภาคของตัวถูกละลายจะเข้าแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายได้ง่ายเพียงใด ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูด 3 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายกับตัวทำละลาย ระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลาย และระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลายเพื่อให้เห็นภาพได้ง่ายขึ้น เราจะแบ่งกระบวนการการละลายออกเป็น 3 ขั้นตอน (ดูรูป) ขั้นที่ 1 เป็นการแยก โมเลกุลของตัวทำละลายออกจากกัน และขั้นที่ 2 เป็นการแยกโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากกัน ทั้ง 2 ขั้นนี้ต้องใช้พลังงานเพื่อสลายแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุล จึงเป็นกระบวนการดูดกลืนความร้อน ขั้นที่ 3 เป็นการนำโมเลกุลของตัวทำละลายมารวมกัน ซึ่งเป็นกระบวนการคายความร้อน กระบวนการรวมอาจคายหรือดูดกลืนความร้อนก็ได้ ความร้อนของการละลายหรือ ΔH_{soln} ซึ่งหาได้จาก

$$\Delta H_{soln} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

ถ้าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายมีค่าสูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายและแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลาย การเกิดสารละลายจะเป็นกระบวนการคายความร้อน ($\Delta H_{soln} < 0$) แต่ถ้าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายมีค่าต่ำกว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลาย การเกิดสารละลายจะเป็นกระบวนการดูดกลืนความร้อน ($\Delta H_{soln} > 0$)



รูปที่ 2.4 ภาพการเปลี่ยนแปลงในระดับ โมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำไกหอสุมคกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อาจตั้งข้อสงสัยว่าเพราะเหตุใดตัวถูกละลายถึงละลายในตัวทำละลายได้ทั้งๆ ที่ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายมีค่าสูงกว่าระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายความจริงกระบวนการละลายก็เหมือนกับกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางกายภาพอื่นๆ คือถูกละลายด้วยปัจจัย 2 ประการ ปัจจัยแรก ได้แก่ พลังงานซึ่งเป็นปัจจัยที่ตัดสินว่ากระบวนการนั้นจะคายหรือจะดูดกลืนความร้อน ส่วนปัจจัยที่สอง ได้แก่ แนวโน้มที่ระบบจะมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นตามธรรมชาติถ้าเรานำไฟจากสารใหม่ (ที่เรียงอย่างเป็นระเบียบ) มาสับเพียง 2 - 3 ครั้งไฟทั้งหมดจะปนเปกันอย่างไม่เป็นระเบียบในทำนองเดียวกัน เมื่อนำโมเลกุลของตัวถูกละลายกับตัวทำละลายมาผสมกันเป็นสารละลาย ความไม่เป็นระเบียบจะเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายบริสุทธิ์หรือตัวถูกละลายบริสุทธิ์ อะตอมโมเลกุล หรือไอออนที่มีอยู่มีความเป็นระเบียบพอควรในสามมิติแต่ความเป็นระเบียบนี้ส่วนหนึ่งถูกทำลายไปเมื่อมีตัวถูกละลายละลายลงในตัวทำละลาย (ดังรูป) ดังนั้น การละลายจะทำให้ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นเสมอ ความไม่เป็นระเบียบที่เพิ่มขึ้นนี้เองที่ทำให้การละลายเกิดขึ้นได้แม้จะเป็นการบวนการดูดกลืนความร้อนก็ตาม

ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความไม่เป็นระเบียบเป็นตัวการทำให้การละลายเกิดขึ้นได้ ได้แก่ การผสมแก๊สที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน เช่น N_2 และ O_2 เข้าด้วยกัน ที่สภาวะปกติแก๊สทั้งสองมีพฤติกรรมเป็นแก๊สสมบูรณ์แบบ ถือว่าไม่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเลย เมื่อนำแก๊สมาผสมกันก็จะไม่มีการคายหรือดูดกลืนความร้อนแต่อย่างใด แต่พบว่าแก๊สทั้งสองเข้าผสมกันได้อย่างง่ายคาย การที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นนั่นเอง

การละลายได้ [11]

ปริมาณของตัวถูกละลายที่สามารถละลายในตัวทำละลายได้นั้น มีขอบเขตจำกัดที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ เกลือ $NaCl$ สามารถละลายในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรได้มากที่สุดเพียง 35.7 กรัมเท่านั้น ถ้าเติมเกลือ $NaCl$ ลงไปมากกว่านี้ ส่วนที่เกิน 35.7 กรัม จะไม่ละลาย คือจะคงสภาพเป็นของแข็งอยู่ในสารละลาย แต่ที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ เกลือ $NaCl$ ละลายได้ถึง 39.1 กรัมในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าทำให้สารละลายนี้เย็นลงจนถึง $0^{\circ}C$ $NaCl$ จะตกตะกอนจนเหลือส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลาย 35.7 กรัม สารละลายที่มีตัวถูกละลาย ละลายอยู่มากที่สุด จนไม่สามารถละลายได้อีกที่อุณหภูมิกำหนดให้ เรียกว่าสารละลายอิ่มตัว ปริมาณของตัวถูกละลายในตัวทำละลายจำนวนหนึ่งที่กำหนดให้ในสารละลายอิ่มตัว ณ อุณหภูมิหนึ่ง เรียกว่าการละลายได้ (Solubility) ซึ่งนิยามบอกเป็นกรัมของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 100 กรัม

ในสารละลายอิ่มตัว ตัวถูกละลายส่วนที่มาละลาย อยู่ในสภาวะสมดุลพลวัต กับตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย อัตราที่ตัวถูกละลาย (ส่วนที่ไม่ละลาย) ละลายลงในสารละลาย เท่ากับอัตราที่

62645

ตัวถูกละลายในสารละลายกลับคืนสู่ของแข็ง ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายจึงคงที่และปริมาณของตัวถูกละลายส่วนที่ไม่ละลาย ก็คงที่ จึงเห็นได้ว่า ตัวถูกละลายส่วนที่ไม่ละลายซึ่งยังคงอยู่ในสารละลายๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัวเปลี่ยนแปลง

สารบางชนิดสามารถละลายได้เกินจุดอิ่มตัว ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้ เช่น โซเดียมอะซิเตต ที่จุดอิ่มตัวละลายได้ 119 กรัมในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0°C แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 0°C จะละลายได้มากกว่า 119 กรัม และถ้าทำให้เย็นลงจนถึง 0°C โซเดียมอะซิเตตส่วนที่ละลายเพิ่มขึ้นจาก 119 กรัม จะไม่ตกตะกอนลงมา แต่ยังคงละลายอยู่ในสารละลายเรียกสารละลายที่ได้นี้ว่า สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated solution) สารละลายที่ไม่เสถียรถ้านำผลึกของโซเดียมอะซิเตตจุ่มลงไป โซเดียมอะซิเตตส่วนที่ละลายเพิ่มขึ้นจาก 119 กรัม จะตกผลึกออกมา (โดยเกาะอยู่บนผลึกที่จุ่มลงไป) จนเหลือโซเดียมอะซิเตตในสารละลาย 119 กรัม คือเท่ากับความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวดนี้ จึงใช้ประโยชน์ในการทำสารให้บริสุทธิ์โดยการตกผลึก

การละลายได้หรือความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัว ขึ้นกับสาเหตุหลายประการ เช่น ธรรมชาติของตัวทำละลาย ธรรมชาติของตัวถูกละลาย อุณหภูมิและความดัน

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการละลายได้ [11]

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการละลายได้ของสารอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การละลายของสารจะดูดความร้อนหรือคายความร้อนออกมา ถ้าการละลายของสารเป็นการดูดความร้อนการละลายได้ของสารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการ



การละลายของสารในสมการนี้ เป็นการดูดความร้อน ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสมดุลจะเลื่อนไปทางขวามือ สารจึงละลายได้เพิ่มขึ้น หรือการละลายได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น NH_4NO_3 , NH_4Cl เป็นต้น

แต่ถ้าการละลายของสาร เป็นการคายความร้อนออกมา การละลายได้ของสารจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการ

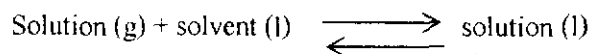


ตัวอย่างสารที่คายความร้อนเมื่อละลายน้ำ เช่น Li_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , $\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีการคายความร้อนมีข้อยกเว้นอยู่มาก

อิทธิพลของความดันต่อการละลายได้ [11]

ความดันมีผลต่อการละลายของแก๊สในของเหลวมาก แต่มีผลต่อการละลายของของแข็งและของเหลวในของเหลวน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าความดันของแก๊สเหนือของเหลวเพิ่มขึ้นแก๊สจะละลายเพิ่มขึ้น เช่น ถ้ามีสารละลายอิ่มตัวของแก๊สในของเหลวซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับแก๊สเหนือสารละลายที่

มีความดันจำนวนหนึ่งภายในภาชนะปิด อัตราที่แก๊สเหนือของเหลวละลายลงในสารละลาย เท่ากับ อัตราที่แก๊สจากสารละลายเข้าไปอยู่ในวัฏภาคแก๊ส เขียนสมการแสดงภาวะสมดุลได้ดังนี้



ถ้าเพิ่มความดันให้แก่ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลนี้ สมดุลจะเลื่อนไปทางที่ผ่อนคลายความดันของระบบให้ลดลง สมดุลจึงเลื่อนไปทางขวา โดยแก๊สเหนือของเหลวละลายลงในสารละลายเพิ่มขึ้น จำนวนโมเลกุลของแก๊สเหนือของเหลวจึงลดลง ซึ่งเป็นเหตุให้ความดันของแก๊สเหนือของเหลว(ของระบบ) ลดลง ดังนั้น ถ้าความดันเพิ่มขึ้น แก๊สละลายได้มากขึ้น

การละลายของสารในของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน [11]

โดยทั่วไปการละลายได้ของสารชนิดหนึ่งในตัวทำละลายต่างชนิดกันย่อมต่างกัน เช่น การละลายของ I_2 ใน CCl_4 จะต่างกับน้ำ ดังนั้นถ้ามีตัวทำละลาย 2 ชนิด ที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันอยู่ในภาชนะเดียวกันเมื่อเติมสารชนิดหนึ่งที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดนั้น เขย่าและทิ้งไว้ให้แยกชั้น ในภาวะสมดุลได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$K = C_2/C_1$$

สมการที่ได้เรียกว่า กฎการแยกส่วนการละลาย (Distribution law) เมื่อ K เป็นค่าคงที่ของการแยกส่วนการละลาย C_1 และ C_2 เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ 1 และ ที่ 2 ตามลำดับ

ถ้าสมมติ K มีค่าเท่ากับ 20 ย่อมแสดงว่า สารชนิดนั้นละลายได้ในตัวทำละลายที่ 2 เป็น 20 เท่าของการละลายของสารนั้น ในตัวทำละลายชนิดที่ 1 เรื่องนี้จึงมีประโยชน์ในการแยกสารออกในตัวทำละลายชนิดหนึ่งได้ เช่น ถ้าต้องการแยกสารซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่งออกจากสารละลายเราก็หาตัวทำละลายใหม่ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายเดิม แต่มีความสามารถในการละลายสารที่ต้องการแยกดีกว่าตัวทำละลายเดิม มาเติมลงไปในการละลายนั้น เขย่า สารส่วนใหญ่จะเข้ามาละลายอยู่ในตัวทำละลายใหม่มากกว่าตัวทำละลายเดิม เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ถ้าแยกชั้นของตัวทำละลายใหม่ออกมาได้ ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำตัวทำละลายใหม่ที่แยกออกมาได้ทุกๆ ครั้ง มารวมกัน จากนั้นจึงแยกสารออกจากตัวทำละลายใหม่นั้น โดยวิธีกลั่นก็ได้ การแยกสารโดยวิธีนี้การสกัดด้วยตัวทำละลาย

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบด้วยฟองอากาศ (bubble washing) ถูกพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยไอดาโฮ (University of Idaho) [12] การล้างด้วยฟองอากาศจะใช้ ปิ๋วอากาศ (ปิ๋วอากาศที่ใช้กับตู้ปลา) ค่อกับหัวฟ่นอากาศ โดยใช้ปริมาณน้ำล้างหนึ่งในสี่ของปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบและใช้น้ำล้าง 3 ครั้ง จนกระทั่งน้ำล้างครั้งที่ 3 มีค่า pH 7 ± 1

บทที่ 3

อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน จากกระบวนการผลิตแบบกะ

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดปฏิกรณ์เคมี
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ชุดอุปกรณ์ฟลักซ์
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. แท่งกวนแม่เหล็ก
6. เครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้า
7. บีกเกอร์
8. ขวดรูปชมพู่
9. กรวยแยก

3.1.2 สารเคมี

1. น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ได้จากโรงงานผลิตมันฝรั่งทอด
2. เมทานอล 95 % ระดับคุณภาพในเชิงพาณิชย์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.3 วิธีการทดลอง

3.1.3.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

หาปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Cd 3a-63 (ซึ่งได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก) [3] เพื่อหาค่าความเป็นกรด ในน้ำมันที่ใช้ในการสังเคราะห์ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

3.1.3.2 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

1) ทำการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน กับเมทานอล ด้วยชุดเครื่องมือการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบกะ พร้อมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วของแท่งแม่เหล็กสำหรับกวน ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดในการเตรียมดังนี้

- เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % ของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

- อัตราส่วนปริมาตรของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อเมทานอล คือ 10:2
- อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง
- อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที

จากนั้นทำการแยกชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพติดกับกลีเซอริน ด้วยกรวยแยก โดยไขชั้นกลีเซอรินออกทางด้านล่าง

2) นำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่แยกชั้น ไปวิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือในชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพติด (ภาคผนวก ข) และนำไปล้างในชั้นคอนต่อไป



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน

3.2 การเปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยวิธีฟองอากาศแบบกะและวิธีปั่นกวนแบบกะ

3.2.1 วิธีการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพติด ด้วยฟองอากาศ

3.2.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ปีมอากาศ
2. สายยาง
3. หัวฟ่นอากาศ
4. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
5. ปิเปต

6. เครื่อง pH – Meter

3.2.1.2 สารเคมี

1. น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบจากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในข้อ 3.1

3.2.1.3 วิธีการทดลอง

1) ตวงน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ ปริมาตร 1250 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร ที่มีหัวฟ่นอากาศต่อกับปั๊มอากาศ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ในการถ่วงน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบวิธีฟองอากาศแบบกะ

- 2) เทน้ำประปาปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบอยู่
- 3) เปิดสวิทช์ปั๊มอากาศ ทำการฟ่นฟองอากาศเป็นเวลา 10 นาที
- 4) หลังจากนั้นปล่อยให้ น้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพแยกชั้น ใช้ปิเปตดูดน้ำประปาที่ด้านล่าง มาวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ด้วยเครื่อง pH – Meter หากค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำประปาที่ผ่านการล้างด้วยฟองอากาศ ยังไม่เป็นกลาง ให้ทำการล้างใหม่โดยการแยกน้ำที่ล้างไปแล้วออกให้หมด แล้วทำซ้ำข้อที่ 2 ถึง 4 ใหม่ จนได้ค่า pH ของน้ำประปาที่ใช้แล้วเป็นกลาง ($\text{pH } 7 \pm 1$)
- 5) เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการล้าง มาเป็น 20 และ 30 นาที ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปาเป็น 10:2 และ 10:3 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.2.2 วิธีการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ แบบปั่นกวน

3.2.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
2. แท่งกวนแม่เหล็ก
3. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
4. พีเปต
5. เครื่อง pH – Meter

3.2.2.2 สารเคมี

1. น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบจากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพใน

ข้อ 3.1

3.2.2.3 วิธีการทดลอง

1. ตวงน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ ปริมาตร 1250 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร และใส่แท่งกวนแม่เหล็กลงไป
2. เติมน้ำประปา ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบอยู่ แล้วนำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที ดังรูปที่

3.3



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบแบบปั่นกวน

3. หลังจากนั้นปล่อยให้ น้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพแยกชั้น ใช้พีเปตดูดน้ำประปาที่ด้านล่าง มาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH – Meter หากค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำประปาที่ผ่านการล้างแบบปั่นกวน ยังไม่เป็นกลาง ให้ทำการล้างใหม่โดยการแยกน้ำที่ล้างไปแล้วออกให้หมด แล้วทำซ้ำข้อที่ 2 และ 4 ใหม่ จนได้ค่า pH ของน้ำประปาที่ใช้แล้วเป็นกลาง ($\text{pH } 7 \pm 1$)

4. เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการล้างที่ใช้ในการล้างมาเป็น 20 และ 30 นาที ตามลำดับ และอัตราส่วน โดยปริมาตร ของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับดื่มน้ำประปาเป็น 10:2 และ 10:3 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.3 การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ ด้วยฟองอากาศแบบสวนทาง

เนื่องจากการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศ ใช้เวลาในการล้างน้อยกว่าแบบปั่นกววน จึงได้มีการพัฒนาจากแบบกะ มาเป็นแบบสวนทาง 6 ดัง เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังพลาสติกขนาด 2 ลิตร
2. กาว
3. หางปลาไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
4. สายยางขนาด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
5. ปีมอากาศของผู้ปลา
6. สายยาง
7. หัวพ่นอากาศ
8. ปิเปต
9. ปิมน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ
10. น้ำประปา

3.3.2 สารเคมี

1. น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบจากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในข้อ 3.1

3.3.3 เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

- 1) นำถังพลาสติกขนาด 2 ลิตร มาเจาะรูด้านข้างถึงเพื่อให้เป็นทางเข้าออกของน้ำมันดีเซลชีวภาพและน้ำประปา นำถึงที่เจาะรูทั้งหมดถึงมาต่อเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ในการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบด้วยฟองอากาศแบบไหลสวนทาง

(1) ถังล้างที่ 1, (2) ถังล้างที่ 2, (3) ถังล้างที่ 3, (ก) ถังแยกที่ 1, (ข) ถังแยกที่ 2, (ค) ถังแยกที่ 3

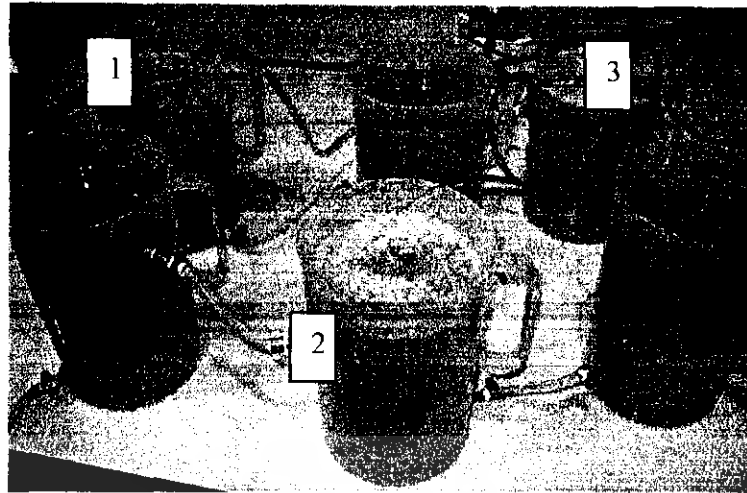
- 2) จะทำการปั้มน้ำมันเข้าสู่ถังที่ตั้งที่ 1 โดย ต่อกับถังแยก ก เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผสมกับน้ำประปาไปแยกที่ถังแยก ก โดยถังที่ตั้งที่ 1 จะรับน้ำล้างจากถังแยก ข
- 3) ถังที่ตั้งที่ 2 ต่อกับถังแยก ข เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผสมกับน้ำประปาไปแยกที่ถังแยก ข โดยถังที่ตั้งที่ 2 จะรับน้ำล้างจากถังแยก ค
- 4) ถังที่ตั้งที่ 3 ต่อกับถังแยก ค เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผสมกับน้ำประปาไปแยกที่ถังแยก ค โดยถังที่ตั้งที่ 3 จะรับน้ำล้างจากปั้มน้ำประปา
- 5) หัวพ่นอากาศทำจากตัวให้อากาศของตู้ปลาแบบทรายละเอียดกว้าง 2.0 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ซึ่งเป็นตัวพ่นอากาศจะติดตั้งด้านล่างของถังที่ตั้ง เพื่อให้อากาศเข้าสู่ถัง มีลักษณะเป็นฟองเล็กๆ ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 หัวพ่นอากาศทำจากตัวให้อากาศของตู้ปลาแบบทรายละเอียด

3.3.4 วิธีการทดลอง

- 1) เติมน้ำประปาใส่ถังตั้งทุกถังให้มีปริมาตรน้ำประปา 300 มิลลิลิตรปรับอัตราการไหลของน้ำประปาไว้ที่ 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง ปั้มน้ำประปาเข้าสู่ถังที่ตั้งที่ 3 และให้ไหลต่อไปยังทุกๆ ถังให้มีปริมาตรน้ำประปา 300 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำมันดีเซลชีวภาพใส่ถังตั้งทุกถังให้มีปริมาตรน้ำมันดีเซลชีวภาพ 1000 มิลลิลิตรปรับอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบไว้ที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมงปั้มน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบเข้าสู่ถังที่ตั้งที่ 1 และให้ไหลต่อไปยังทุกๆ ถังให้มีปริมาตรน้ำมันดีเซลชีวภาพคิบ 1000 มิลลิลิตร
- 3) ใส่หัวพ่นอากาศ ในถังที่ตั้งที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เปิดปั้มน้ำอากาศ



รูปที่ 3.6 หัวฟ่นอากาศ ในถังล้างที่ 1, 2 และ 3

4) ปรับอัตราการไหลออกของน้ำมันและน้ำประปาจนทำให้ระดับน้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพเข้าสู่ภาวะคงตัว (Steady State) บันทึกอัตราการไหลออกของน้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพ

5) ใช้ปิเปตดูดน้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละถังล้างและถังแยก มาวัดค่าความเป็นกรด (ซึ่งได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก) [3] เพื่อหาค่าความเป็นกรด ซึ่งครั้งแรกในการดำเนินการล้างค่าความเป็นกรดจะเท่ากันทั้ง 6 ถัง ทำการล้างจนกระทั่ง ค่าความเป็นกรดของทั้ง 3 ถังแยกมีค่าคงที่ กล่าวคือน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบของถังแยก ค มีค่าความเป็นกรดน้อยกว่าถังแยก ข และ ก ตามลำดับจากน้อยไปมาก บันทึกผล

6) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 และ 5 แต่เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบต่อน้ำประปาเป็น 1:0.3 และ 1:0.2 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ล้างเสร็จแล้วนำไปให้ความร้อนเพื่อไล่เอาน้ำออกเพื่อนำมาหาค่าความเป็นกรดและ ค่าความหนืด ดังได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ข และ ง ตามลำดับเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน จากกระบวนการผลิตแบบกะ

จากการหาปริมาณกรดไขมันอิสระเพื่อหาค่าความเป็นกรด น้ำมันพืชที่ใช้แล้วซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.34 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าหากน้ำมันมีปริมาณค่ากรดสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างต้องใช้ปริมาณมากขึ้นตามด้วย เพราะถ้าหากใส่ด่างน้อยกว่าปริมาณกรดที่มีอยู่ในน้ำมันด่างก็จะถูกทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระไปหมดเกิดเป็นเกลือของกรดไขมัน ไม่เหลือไว้ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว พบว่าน้ำมันที่ใช้แล้วที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น มีปริมาณด่างเหลือในชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบอยู่ 0.0241 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักโดยปริมาตร เห็นได้ว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีปริมาณด่างค่อนข้างน้อย เนื่องจากปริมาณด่างส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในชั้นกลีเซอริน

4.2 การเปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยฟองอากาศแบบกะและแบบปั่นกวนแบบกะ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อัตราส่วน โดยปริมาตร ของน้ำมันชีวภาพดิบกับน้ำประปา 10:1.6 ลิตร

วิธีล้าง น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้าง			ลักษณะน้ำมัน
	ล้างครั้งที่1	ล้างครั้งที่2	ล้างครั้งที่3	
แบบฟองอากาศ				
ที่เวลา 10 นาที	2.46	4.05	6.64	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 20 นาที	4.48	7.10	-	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 30 นาที	4.65	6.89	7.1	น้ำมันขุ่น
แบบปั่นกวน				
ที่เวลา 10 นาที	2.15	3.08	6.84	น้ำมันขุ่นมาก
ที่เวลา 20 นาที	2.25	6.45	6.9	น้ำมันขุ่นมาก
ที่เวลา 30 นาที	2.49	6.58	7.1	น้ำมันขุ่นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

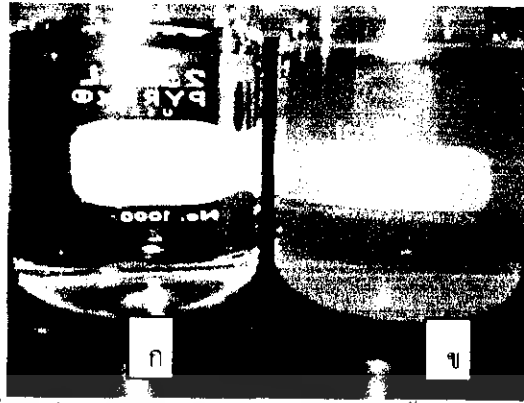
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อัตราส่วน โดยปริมาตรน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบกับน้ำประปา 10:2 ลิตร

วิธีล้าง น้ำมันดีเซลชีวภาพคืบ	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้าง			ลักษณะน้ำมัน
	ล้างครั้งที่1	ล้างครั้งที่2	ล้างครั้งที่3	
แบบพองอากาศ				
ที่เวลา 10 นาที	4.65	6.95	-	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 20 นาที	4.48	7.10	-	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 30 นาที	4.2	6.89	-	น้ำมันขุ่น
แบบปั่นกววน				
ที่เวลา 10 นาที	2.78	6.77	7.56	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 20 นาที	2.78	4.60	6.90	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 30 นาที	1.87	6.80	-	น้ำมันขุ่น

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อัตราส่วน โดยปริมาตรของน้ำมันดีเซลชีวภาพคืบกับน้ำประปา 10:3 ลิตร

วิธีล้าง น้ำมันดีเซลชีวภาพคืบ	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้าง			ลักษณะน้ำมัน
	ล้างครั้งที่1	ล้างครั้งที่2	ล้างครั้งที่3	
แบบพองอากาศ				
ที่เวลา 10 นาที	3.89	6.89	-	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 20 นาที	4.65	6.95	-	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 30 นาที	4.01	6.26	6.79	น้ำมันใส
แบบปั่นกววน				
ที่เวลา 10 นาที	2.49	6.28	6.8	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 20 นาที	2.13	6.58	6.9	น้ำมันขุ่น
ที่เวลา 30 นาที	2.48	6.7	6.78	น้ำมันขุ่น

จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพและน้ำประปาพบว่าที่อัตราส่วน 10:3 ของการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบพองอากาศแบบกะที่เวลา 30 นาที นั้นให้ลักษณะน้ำมันที่ใสกว่าแบบปั่นกววน และการล้างด้วยพองอากาศจะใช้เวลาในการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับน้ำประปาเร็วกว่าแบบปั่นกววน



รูปที่ 4.1 (ก) น้ำมันที่ล้างด้วยฟองอากาศแบบกะ (ข) น้ำมันที่ล้างปั่นกวนแบบกะ

4.3 การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ ด้วยฟองอากาศแบบไหลสวนทาง

4.3.1 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง

เนื่องจากการล้างน้ำมันด้วยฟองอากาศแบบกะ ใช้เวลาในการล้างสั้นกว่าแบบปั่นกวน และให้ลักษณะน้ำมันที่ใสกว่าแบบปั่นกวน จึงได้มีการพัฒนาเป็นการไหลต่อเนื่องแบบสวนทาง และจากการล้างด้วยฟองอากาศแบบกะ 3 ครั้งจึงจะสามารถทำให้ค่าในน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบลดลง และน้ำมันที่ได้ใสกว่าแบบปั่นกวน จึงได้มีการทำถังล้างด้วยฟองอากาศ 3 ถัง คือถังหมายเลข 1, 2 และ 3 และถังแยกอีก 3 ถังคือ ถังแยก ก, ข และ ค ต่อกัน โดยน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบจะเข้ามายังถังล้างที่ 1 โดยมีน้ำประปาที่ผ่านการล้างมาแล้วไหลมาจากถังแยก ข ซึ่งในถังที่ 1 นี้เอง น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปาผสมกันในถังที่ 1 ไหลมาแยกชั้นกันในถังแยกที่ ก น้ำที่แยกได้จะถูกทิ้งไป ส่วนน้ำมันที่แยกได้นั้นจะไหลไปยังถังล้างที่ 2 ไปผสมกับน้ำประปาที่ใช้แล้วจากถังแยก ค น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปาที่ผสมกัน จะมาแยกที่ถังแยก ข และที่ถังแยกนี้เอง น้ำมันจะถูกแยกไปยังถังล้างที่ 1 ไปผสมกับน้ำประปาใหม่ ที่ยังไม่ผ่านการล้างจากเครื่องสูบน้ำ และที่ถังล้างที่ 3 นี้เองน้ำมันดีเซลชีวภาพและน้ำประปาที่ผสมกันจะไหลไปยังถังแยก ค เพื่อแยกน้ำประปากับน้ำมันดีเซลชีวภาพออกจากกัน ที่ถังแยกนี้จะได้ น้ำมันดีเซลชีวภาพไหลไปยังถังเก็บ และน้ำประปาที่แยกได้จะไหลไปยังถังล้างที่ 2

ก่อนการทดลองได้วัดค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพเท่ากับ 1.303 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม ในการทดลองได้ใช้สภาวะดังต่อไปนี้

สภาวะที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณน้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ เริ่มต้นเป็น 500 และ 1500 มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง ของอัตราการไหลน้ำมันดีเซลชีวภาพ ต่อหน้าประปา 1:0.5 ลิตรต่อชั่วโมง

ถังแยกที่	ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม)
1	0.90
2	0.88
3	0.79
ก	0.90
ข	0.88
ค	0.79

สภาวะที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณน้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ เริ่มต้นเป็น 1400 และ 600 มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพ หลังล้าง ของอัตราการไหลน้ำมัน ดีเซลชีวภาพ ต่อหน้าประปา 1:0.3 ลิตรต่อชั่วโมง

ถังแยกที่	ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม)
1	0.83
2	0.79
3	0.77
ก	0.81
ข	0.79
ค	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณน้ำประปาและน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ เริ่มต้นเป็น 1250 และ 750 มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพ หลังล้างของอัตราการไหลน้ำมันดีเซล ชีวภาพ ค่อน้ำประปา 1:0.2 ลิตรต่อชั่วโมง

ถังแยกที่	ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม)
1	0.45
2	0.40
3	0.39
ก	0.44
ข	0.40
ค	0.39

ตารางที่ 4.7 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้างด้วยฟองอากาศแบบไหลสวนทาง

สถานะที่	ค่าความเป็นกรดในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม)
1	0.79
2	0.77
3	0.39

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้างด้วยฟองอากาศแบบไหลสวนทาง

สถานะที่	ค่าความหนืด (เซนติสโตกส์)
1	5.08
2	5.01
3	4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยวิธีฟองอากาศแบบกะกับวิธีปั่นกวนแบบกะ พบว่าการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศ ใช้จำนวนครั้งในการล้าง น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบจนกระทั่งมีความเป็นกลาง คือ 3 ครั้งและใช้เวลาในการแยกชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพน้อยกว่าการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบปั่นกวน น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ล้างด้วยฟองอากาศนั้นจะมีความใสกว่าแบบปั่นกวน

ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพด้วยฟองอากาศแบบกะ มาเป็นแบบต่อเนื่องไหลสวนทาง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและประหยัดน้ำที่ใช้ในการล้าง โดยการสร้างเครื่องต้นแบบนั้นจะใช้ถังล้าง 3 ถัง และถังแยกอีก 3 ถัง ซึ่งถังล้างทั้ง 3 ถังจะมีหัวฟ่นฟองอากาศแบบทรายละเอียดติดตั้งด้านล่างของถังล้าง ส่วนถังแยกอีก 3 ถัง จะไม่มีหัวฟ่นฟองอากาศ

เนื่องจากการล้างด้วยฟองอากาศแบบต่อเนื่องไหลสวนทาง ฟองอากาศจะถูกล้อมรอบไปด้วยน้ำแล้วเคลื่อนไปยังชั้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ เนื่องจากต่าง กรด กลือ หรือสิ่งเจือปนอื่นๆสามารถละลายในน้ำประปาได้ดีกว่าในน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ ต่าง กรด กลือและสิ่งเจือปนต่างๆจึงแพร่จากชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบเข้ามายังชั้นน้ำประปา และการที่เกิดเป็นฟองอากาศเล็กๆนั้นก็เหมือนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปา และในถังล้างนี้เองน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปาจะผสมกันจึงต้องมีถังแยกน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบกับน้ำประปาออกจากกัน โดยให้ไหลมาแยกในถังแยกที่ไม่มีหัวฟ่นฟองอากาศ

ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ประจำปี พ.ศ. 2548 ได้กำหนดค่าความเป็นกรดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ ไม่ต่ำกว่า 3.5 และไม่สูงกว่า 5.0 เซนติสโตกส์ ในการทดลองก่อนการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบพบว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบมีค่าความเป็นกรด (acid value) 1.303 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม ดังนั้นจึงต้องมีการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบโดย อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพดิบ ต่อ น้ำประปา ที่ใช้ในการศึกษา คือ 1:0.5, 1:0.3 และ 1:0.2 ลิตรต่อชั่วโมง ได้ค่าความเป็นกรดที่เหลือในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังการล้างคือ 0.79, 0.77 และ 0.39 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัม ตามลำดับ และค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังล้าง 5.08, 5.01 และ 4.25 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ เห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลชีวภาพ 1:0.2 ให้ค่าความเป็นกรดและค่าความหนืดต่ำที่สุด และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. ผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่อเครื่องยนต์และมลพิษทางอากาศ. แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. มิถุนายน 2544: F1-F3.
- [2] กล้าณรงค์ ศรีรอด. ไบโอดีเซลแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาสำหรับประเทศไทย, แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. มิถุนายน 2544 : ก1-ก20
- [3] ธนวัฒน์ อุดคมะรูป และธิตี เรียบรพฤทธิ์. “การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอิมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544
- [4] กรมธุรกิจพลังงานกระทรวงพลังงาน. การกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน. กรุงเทพฯ. 2548
- [5] รัตนา จิระรัตนานนท์ “การถ่ายเทมวล” เอกสารประกอบการเรียนภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ 2528
- [6] Seader, J.D., Henley, E.J., “Separation Process Principle”, John Wiley & Sons, 1998.
- [7] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. เทคนิคทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประกายพริ้ง, 2539.
- [8] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี ฐานข้อมูลออนไลน์. เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org>
- [9] อินทิวา หาญพงษ์พันธ์ และ บัญชา พูลโกศา. เคมีทั่วไปสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [10] นกคด ไชยคำและคณะ. เคมี1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ที่อป, 2546
- [11] ทบวงมหาวิทยาลัย. เคมี1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, 2538
- [12] Bubble washing [online]. Available:
http://journeytoforever.org/biodiesel_bubblewash.html#bubble
- [13] AOCS. Cd 3a-63: free fatty acid. In: Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 5th Ed. Illinois: American Oil Chemist' Society 1997a.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตามมาตรฐาน A.O.C.S Official Method Cd 3a-63 ได้กล่าวถึงการหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง อย่างเช่น น้ำมันพืชทั้งที่บริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ น้ำมันปลา ไขมันสัตว์ไว้ดังนี้ [12]

ก.1 การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลินเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในเอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
2. นำเอทานอล มาเติมฟีนอล์ฟทาลิน แล้วค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู
3. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามตารางที่ ก.1
4. นำน้ำมันตัวอย่างมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน ปริมาตรของแอลกอฮอล์และความเข้มข้นของเบสที่ต้องใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่างๆ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของเบส (นอร์มอล)
0.00 - 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2 - 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0 - 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0 - 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0 - 100	3.525 ± 0.001	100	1.0

ก.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเอทานอลที่เตรียมได้มาผสมกับน้ำมันตัวอย่าง เติมฟีนอล์ฟทาลิน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกลายเป็นสีชมพู โดยสีจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 30 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 การคำนวณ

1. เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ (% free fatty acid) ที่อยู่ในไขมันและน้ำมันส่วนใหญ่ จะกรดไขมันลอริกและปาล์มติก

$$1.1 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{alkali} \times C_{alkal} \times 28.2}{g_{oil}} \quad (\text{ก.1})$$

$$1.2 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{alkal} \times C_{alkal} \times 20.0}{g_{oil}} \quad (\text{ก.2})$$

$$1.3 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดปาล์มมิติก(เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{alkal} \times C_{alkal} \times 25.6}{g_{oil}} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ V_{alkali} คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [มิลลิลิตร]

g_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมัน [กรัม]

C_{alkal} คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [นอร์มอล]

2. กรดไขมันอิสระสามารถแสดงในรูปของค่าความเป็นกรด (acid value) แทน เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ ค่าความเป็นกรด คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นมิลลิกรัม ที่ใช้ในการทำตัวอย่าง 1 กรัม ให้เป็นกลาง การจะเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิกให้คูณด้วยด้วย 1.99

ภาคผนวก ข

วิธีหาค่าในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

ข.1 สารเคมี

- 1.1 สารละลายอะซิโตน
- 1.2 สารละลายโบรโมไทมอลบลู อินดิเคเตอร์
- 1.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- 1.4 น้ำมันดีเซลชีวภาพ

ข.2 วิธีการทดลอง

- 1 ละลายสารตัวอย่าง ใน สารละลายอะซิโตน 100 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้สารตัวอย่าง 0.5 กรัม สำหรับกลีเซอรอลดิบ สารตัวอย่าง 5 กรัมสำหรับ น้ำมันดีเซลชีวภาพดิบที่ยังไม่ได้ล้าง และสารตัวอย่าง 100 กรัม สำหรับน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ล้างแล้ว
- 2 เติมสารละลายโบรโมไทมอลบลู อินดิเคเตอร์ ซึ่งอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีที่ pH 4.5
- 3 ไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสีเหลือง

ข.3 วิธีการคำนวณ

$$\frac{B * 0.1 * 56}{1000 * W} = \text{จำนวนกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัมของตัวอย่าง}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท [มิลลิลิตร]

W = น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ [กรัม]

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดและด่าง

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์ ความเข้มข้นที่แน่นอนสามารถหาได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate, $\text{HKC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) ซึ่งเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ

ค.1 สารเคมี

- 1 สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต เตรียมได้โดยการนำโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลตชนิดรีเอเจนต์เกรด นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งให้ได้น้ำหนักของสารที่แน่นอน และมีมวลอยู่ระหว่าง 2.0-2.4 กรัม แล้วนำมาละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายอื่นนี้
- 2 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์
- 3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) เข้มข้น 0.5 กรัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค.2 การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์

- 1 บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในบิวเรต บันทึกระดับของสารละลายบนสเกลก่อนการไตเตรต
- 2 ใช้ปิเปตขนาด 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดูดสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลตใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. แล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 2-3 หยด เขย่าสารละลายที่ได้แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรตจนได้สีชมพูอ่อนเกิดขึ้น บันทึกระดับของสารละลายบนสเกลของบิวเรตอีกครั้ง และหาปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
- 3 ทำการไทเทรตซ้ำอีกครั้ง หาปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะต้องไม่แตกต่างกันเกินกว่า 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าเกินต้องทำการไทเทรตซ้ำอีกครั้ง นำปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่ามาหาค่าเฉลี่ย นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การหาค่าความหนืดของน้ำมัน

สำหรับเครื่องวัดค่าความหนืดที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590 ซึ่งการวิเคราะห์นี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D88 โดยเครื่องวัดความหนืดที่ใช้เป็นเครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล

เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล (Saybolt Universal) เป็นการวัดค่าความหนืดของน้ำมัน โดยการจับเวลาการไหลเป็นวินาที ของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ไหลผ่านรูขนาดเส้นผ่านกลาง 0.0695 นิ้ว (1.77 มิลลิเมตร) ความยาว 0.4823 นิ้ว (12.25 มิลลิเมตร) โดยค่าความหนืดที่ได้มีหน่วยเป็นวินาทีเซโบล์ (Saybolt Universal Seconds; SUS)

ขั้นตอนการวัดความหนืด

1. ทำความสะอาดท่อทางเดินน้ำมันในเครื่องทดสอบ
2. ปิดจุกก๊อกที่รูไหลของน้ำมัน
3. เทน้ำมันลงในท่อที่ทดสอบในระดับที่ต่ำกว่าขอบเล็กน้อย โดยปรับเครื่องทดสอบให้มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และรอน้ำมันที่ทดสอบมีอุณหภูมิที่คงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
4. นำขวดแก้วสำหรับรอน้ำมันขนาด 60 มิลลิลิตร วางใต้จุกก๊อก โดยประมาณให้น้ำมันที่ไหลจากรูสัมผัสกับด้านในของขวด เพื่อป้องกันน้ำมันกระเด็นหรือเกิดฟอง
5. ดึงจุกก๊อกออกพร้อมกับเริ่มจับเวลา จนกระทั่งระดับของน้ำมันในขวดถึงขีดบอกปริมาตร 60 มิลลิลิตร บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาทีสำหรับน้ำมันที่ผ่านเครื่องทดสอบนี้ ต้องนำมาเปลี่ยนหน่วยความสมการที่ ง เพื่อเปลี่ยนหน่วยจากวินาทีเซย์โบลต์ เป็นเซนติสโตกส์ ซึ่งเครื่องวัดนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อน้ำมันสกปรกจะไปอุดตันรูไหลของน้ำมันได้

$$U = 0.226t - \frac{195}{t} \quad (\text{เมื่อค่า } t \text{ อยู่ระหว่าง } 32\text{-}100 \text{ วินาที}) \quad (\text{ง-1})$$

$$U = 0.220t - \frac{135}{t} \quad (\text{เมื่อค่า } t \text{ มากกว่า } 100 \text{ วินาที}) \quad (\text{ง-2})$$