

การทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยในลอนและ  
เส้นใยพอลิพรพิลีน

นายกมลศักดิ์ เศรษฐโฆษิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEMULSIFICATION OF BIODIESEL IN WATER EMULSION USING NYLON AND  
POLYPROPYLENE FIBERS

Mr. Kamolsak Sawetkosit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดย
	อาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน
โดย	นายกมลศักดิ์ เศรษฐเมษิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. เจดศักดิ์ ไชยคุณา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัจนวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. เจดศักดิ์ ไชยคุณา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธาวุธวิษ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อัมพิรา เจริญแสง)

กมลศักดิ์ เสวตโมเชิต : การทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบ  
เส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน. (DEMULSIFICATION OF BIODIESEL IN WATER  
EMULSION USING NYLON AND POLYPROPYLENE FIBERS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
อ. ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุนา, 55 หน้า

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลาง  
แบบเส้นใยไพลอน และเส้นใยพอลิโพรพิลีนในการช่วยรวมตัวในระบบแบบต่อเนื่อง อิมัลชันที่ใช้ในการทดลอง  
เป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่มีน้ำมันไบโอดีเซลกระจายตัวอยู่ในน้ำคิดเป็นร้อยละ 1 ของน้ำหนักน้ำ  
นำอิมัลชันไหลผ่านท่อแก้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร ที่บรรจุเต็มด้วยเส้นใยคือ เส้นใยไพลอน และ  
เส้นใยพอลิโพรพิลีน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วการไหลของอิมัลชัน 0.95, 2.30 และ  
4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที และความสูงของท่อ 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวกลางสามารถช่วยให้น้ำมันไบโอดีเซลแยกตัวออกจากอิมัลชัน  
ได้ เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันดีที่สุด ความเร็วการไหลของอิมัลชัน และ  
ความสูงของท่อตัวกลางเพิ่มขึ้นมีผลให้การแยกตัวของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....ลายมือชื่อ.....  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี .....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา.....2555.....

## 5271475721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIODIESEL, EMULSION, DEMULSIFICATION, COALESCES

KAMOLSAK SAWETKOSIT : DEMULSIFICATION OF BIODIESEL IN WATER EMULSION  
USING NYLON AND POLYPROPYLENE FIBERS. ADVISOR : JIRDSAK TSCHEIKUNA,  
Ph.D., 55 PP.

In this study, demulsification of biodiesel in water emulsion using nylon and polypropylene fibers as coalescer were investigated. The experiments were conducted in a continuous system. Oil in water emulsion containing 1 wt% of biodiesel dispersed in water was used as feedstock. The emulsion was allowed to flow through a glass column with inner diameter 15 millimeter packed with nylon fiber and polypropylene fiber. The experiments were conducted at operating temperature of 60 degree celsius, flow velocities of 0.95, 2.30 and 4.85 millimeter per second and media heights of 400, 800 and 1,200 millimeter, respectively.

The results showed that coalescing media can be used to separate biodiesel from oil in water emulsion. Polypropylene fiber showed the best demulsification performance. Increasing flow velocity and media height results an increase of oil removal.

Department : .....Chemical Engineering.....Student's Signature.....

Field of Study : .....Chemical Engineering.....Advisor's Signature.....

Academic Year : .....2012.....

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เจตศักดิ์ ไชยคุณา อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำรวมทั้งแนวความคิดในการปฏิบัติงานและพัฒนางานวิจัยและความช่วยเหลือใน อีกหลายๆด้านมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ สุทธิธรรวัช และ ดร.อัมพิรา เจริญแสง ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ คำแนะนำและความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ สำหรับความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยด้วยดี

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและ เป็นกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1. แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2. อิมัลชัน.....	5
2.3. การทำลายอิมัลชัน.....	6
2.4. วัสดุที่ใช้ทำตัวกลาง.....	11
2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย..... 16
	3.1. การทดลอง..... 16
	3.2. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล.....17
	3.3. ค่าความผิดพลาดในการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 18
4	ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....20
	4.1. อิมัลชันที่เตรียมได้.....21
	4.2. การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง.....22
	4.3. ผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า.....26
	4.4. การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไนลอน.....30
	4.4.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน.....32
	4.4.2 ผลของความสูงของหอแยก.....34
	4.5. การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยพอลิโพรพิลีน.....37
	4.5.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน.....38
	4.5.2 ผลของความสูงของหอแยก.....39
	4.6. ผลของชนิดตัวกลางที่มีต่อการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำ .....40
	4.7. ผลการเปรียบเทียบน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำเสียที่ไม่มีสบู ปนเปื้อน.....43



บทที่	หน้า
5	45
5.1. สรุปผลการวิจัย	45
5.2. ข้อเสนอแนะ	45
รายการอ้างอิง	46
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก	49
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	53
ภาคผนวก ง	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	55

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามูมน้ำของพลาสติกชนิดต่างๆ.....	12
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลอง ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลองเส้นใยไนลอนที่ ความเร็ว 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความสูง 1,200มิลลิเมตร.....	18
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำมันในน้ำ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก.....	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	22
ตารางที่ 4.2 ผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า.....	26
ตารางที่ 4.3 แสดงความเร็วของการไหลที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง การทำลายอิมัลชันของ น้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกในหอแยกเปล่า กับการทำลายอิมัลชันของ น้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก.....	27
ตารางที่ 4.4 แสดงเลขเรย์โนลด์์ของอนุภาคในแต่ละความเร็วของการไหลในหอแยกเปล่า.....	28
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไนลอนในแต่ละการทดลอง.....	30
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนในแต่ละการ ทดลอง.....	37
ตารางที่ 4.7 แสดงผลความสามารถในการจับน้ำมันของเส้นใยไนลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่ 60 องศาเซลเซียส.....	41

ตาราง ก-1	ผลการวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันที่เตรียมได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัด อนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern) .....	49
ตาราง ก-2	ผลการวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันที่ทางออกของหอแยกภายในบรรจุตัวกลางเส้นใย พอลิโพรพิลีน ที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ได้จากเครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern) .....	50
ตาราง ข-1	ผลการทดลองการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการล้าง โดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไนลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน (มีสบู่น้ำมันปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก).....	51
ตาราง ข-2	ผลการทดลองการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ผ่านกระบวนการล้าง โดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไนลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน (ไม่มีสบู่น้ำมันปนเปื้อนอยู่).....	52
ตาราง ค-1	ตารางแสดงเลขเรย์โนลด์์ของอนุภาคอิมัลชันในแต่ละความเร็วของการไหล.....	53
ตาราง ง-1	ผลการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) และการคำนวณ ตามวิธีมาตรฐาน เลขที่ AOCS Ca 5a-40.....	54

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	1
รูปที่ 2.1 ลักษณะของน้ำมันและอิมัลชัน.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานโดยการใช้ตัวกลางเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำ.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงผลของอินทรมีเดียสโตคเซตติง (Intra-Media Stokes Settling).....	9
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการชนโดยตรง.....	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของตัวกลางชนิดแผ่น (Plate coalescence).....	10
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของตัวกลางชนิดอัดแน่นที่เป็นเส้นใย.....	10
รูปที่ 3.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	16
รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคอิมัลชันที่เตรียมได้ โดยใช้เครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern).....	21
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	23
รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการการแยกจากอิมัลชันไปเป็นหยดน้ำมันผ่านกระบวนการครีมมิง กระบวนการฟ็อกคูลेशन และกระบวนการโคเอเลสเซนซ์.....	24
รูปที่ 4.4 แสดงผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล้าที่ความสูงต่างๆ..	27
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะอนุภาคอิมัลชันที่มีขนาดเล็กไหลอยู่ระหว่างวัสดุที่เป็นตัวกลางชนิดแผ่น.....	29
รูปที่ 4.6 แสดงปรากฏการณ์การรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันน้ำมันในน้ำเนื่องจากตัวกลางชนิดแผ่น.....	29
รูปที่ 4.7 แสดงกลไกการทำงานของกระบวนการการโคเอเลสเซนซ์โดยอาศัยตัวกลางเส้นใย ซึ่งได้อธิบาย ไว้โดย Briscoe(2000) .....	31

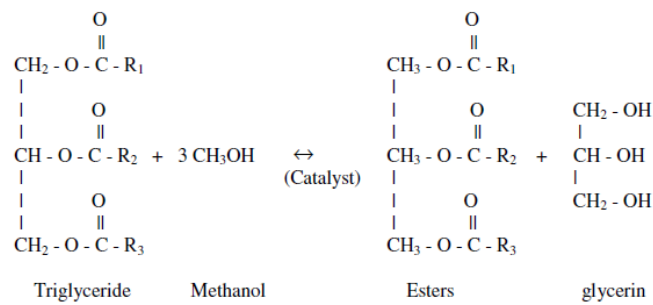
รูปที่ 4.8 แสดงผลความเร็วการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของ ตัวกลางเส้นใยไพลอนกับหอยแครงเปลือกที่ความสูงของหอยแครง 1,200 มิลลิเมตร.....	32
รูปที่ 4.9 แสดงผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของ ตัวกลางเส้นใยไพลอนกับหอยแครงเปลือกที่ความเร็วของการไหลที่ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที.....	34
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองของ Jingquan และ Yongan (2004) แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของอนุภาคอิมัลชันเปรียบเทียบกับจำนวนที่พบในแต่ละความยาวของตัวกลาง.....	35
รูปที่ 4.11 แสดงผลขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันไปโอดีเซลที่ทางเข้าหอยแครงเปรียบเทียบ ขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันที่ทางออกของหอยแครงที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร.....	36
รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการแยกตัวออกของน้ำมันในการวิจัยของ Briscoe(2000) เปรียบเทียบกับ จำนวนเส้นใยที่เพิ่มขึ้น.....	36
รูปที่ 4.13 แสดงผลความเร็วของการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของ ตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนกับหอยแครงเปลือก ที่ความสูงของหอยแครง 1,200 มิลลิเมตร.....	38
รูปที่ 4.14 แสดงผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของ ตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนกับหอยแครงเปลือกที่ความเร็วการไหลที่ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที.....	39
รูปที่ 4.15 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยตัวกลางเส้นใยแต่ละชนิดที่ความเร็วการไหลแต่ละค่า ที่ความสูงของหอยแครง 1,200 มิลลิเมตร.....	40
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของผิวตัวกลางแบบชอบน้ำมัน (Hydrophobic surface) และ แบบชอบน้ำ (Hydrophilic surface) ที่มีผลกับอนุภาคอิมัลชัน.....	42
รูปที่ 4.17 แสดงผลการทำลายอิมัลชันของน้ำเสียที่มีสบู่น้ำมันเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่มีสบู่น้ำมัน เป็อนอยู่.....	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification reaction) ของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ กับเมทานอลหรือเอทานอล ซึ่งจะได้กลีเซอรินเป็นผลผลิตร่วม (By product)



รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Atadashi, Aroua, and Aziz, 2011 : on line)

ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เริ่มต้นจากการเตรียมแอลกอฮอล์ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำให้ละลายในแอลกอฮอล์โดยใช้ถังกวน ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้จะให้เกินพอ เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ สิ่งที่ต้องระวังคือ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริงที่จะใช้ในกระบวนการ เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้หมด เพื่อป้องกันตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันได้เป็นสบู่ ซึ่งสามารถรู้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการได้ด้วยการไตเตรต จากนั้นทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ด้วยการผสมน้ำมันกับแอลกอฮอล์ที่ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะได้เป็นเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอริน ทำการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน เนื่องจากกลีเซอรินมีความหนาแน่นสูงกว่าเมื่อเวลาผ่านไป ของเหลวสองชนิดจะแยกชั้นกัน โดยกลีเซอรินจะอยู่ข้างล่าง หลังจากนั้นทำการล้างไบโอดีเซลที่แยกได้ด้วยน้ำ เพื่อล้างเอาแอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยาในน้ำมัน ทั้งยังสามารถช่วยล้างสิ่งสกปรกอื่นๆ เช่น คราบโซเดียมไบโอดีเซลที่เกิดจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเกินกับจำนวนน้ำมันได้ด้วย วิธีการล้างไบโอดีเซลในอุตสาหกรรมสามารถทำได้โดย วิธีการกวน (Stir washing) เป็นวิธีการล้างโดยใช้การกวน เพื่อให้ น้ำล้างผ่านกับไบโอดีเซลได้มากขึ้น เป็นวิธีการล้างที่เร็วและใช้น้ำในปริมาณมาก ด้วยวิธีการล้างดังกล่าวทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น เนื่องจากการกวนเพื่อล้างทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันบางส่วนแทรกตัวอยู่ในชั้นของน้ำในลักษณะเป็นอิมัลชัน ซึ่งเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in water) และอิมัลชันนี้มีเสถียรภาพสูง เนื่องจากการใช้หมอกน้ำและการกวนทำให้เกิดการกระจายตัวของน้ำและน้ำมันเข้าด้วยกัน อีกทั้งสบู่ที่ล้างออกจากการล้างไบโอดีเซลยังเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของน้ำและน้ำมันออกมาด้วย การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการนี้จึงทำได้ยาก ตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดให้ใช้น้ำมันและไขมันไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำเสียในอุตสาหกรรมจะมีน้ำมันและไขมันปนอยู่ประมาณตั้งแต่ 7,000 ถึง 15,000

มิลลิลิตรต่อลิตร (เอนก สวระอินทร์, วิรัช ทวีปรีดา, อุดมผล พิชนไพบุลย์ และ ชัยศรี สุขสาขาโรจน์, 2552: 4) ซึ่งคิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักของน้ำเสียทั้งหมด

วิธีการการทำลายอิมัลชันสามารถด้วยกันหลายวิธี เช่นโดยทั่วไปใช้ถังแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง การใช้ถังแยก หรือถังตกตะกอนเป็นการแยกเอาน้ำมันที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำทำให้เกิดการแยกชั้นโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องการเวลาในการแยกนาน และในบางลักษณะก็ไม่สามารถแยกน้ำมันที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันได้ด้วย การใช้สารเคมีในการทำลายอิมัลชัน เป็นการใช้สารเคมีหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวมอนุภาคของ อิมัลชันที่แทรกตัวแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสีย ให้มีขนาดโตพอที่จะแยกน้ำกันได้ง่าย วิธีนี้เป็นวิธีการที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่ในบางลักษณะอาจทำให้เกิดสารเคมีตกค้าง และต้นทุนในการบำบัดค่อนข้างสูง หลักการ คือ การที่อิมัลชัน มีความเสถียรเนื่องจากความมีขั้วบวก (Cationic) ดังนั้นการทำลายอิมัลชันเติมสารที่สามารถทำลายขั้วบวก คือ การเติมขั้วลบ (Anionic) ก็จะสามารถการทำลายอิมัลชันได้ จากวิธีการทำลายข้างต้นพบข้อเสีย เช่น เวลาในการแยก ความสามารถในการแยกสารตกค้างและต้นทุน เป็นต้น วิธีการทำลายอิมัลชันโดยการใช้ตัวกลางจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความสะดวก เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมี ต้นทุนต่ำ ทั้งยังมีความสามารถในการทำลายอิมัลชันได้ดี วิธีนี้เป็นการนำตัวกลางที่มีความสามารถจับน้ำมันไปวางขวางทางไหลของอิมัลชัน หยอดของเหลวที่มาก่อนจะชนและติดอยู่บนผิวของตัวกลาง หยอดของเหลวที่ตามมาจะชนแล้วรวมตัวกับหยดของเหลวที่ติดอยู่ก่อน ทำให้หยดของเหลวมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อหยดของเหลวมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเอาชนะแรงยึดติดกับผิวตัวกลาง หยอดของเหลวจะหลุดออกจากตัวกลางแล้วแยกวัฏภาคกันที่ที่สุด ตัวกลางที่ใช้ลักษณะคล้ายตัวกรอง แล้วนำของเหลวไหลผ่าน หลักการของวิธีการนี้ คือ ตัวกลางจะต้องมีลักษณะ ชอบน้ำมัน (Oleophilic) ซึ่งใช้สำหรับแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Oil in Water) หลังจากนั้นนำของเหลวที่ต้องการแยก ผ่านตัวกลางชนิดนั้นๆ โดยลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้การรวมตัวของ อนุภาคของอิมัลชัน แต่ละอนุภาครวมกัน ซึ่งเมื่ออนุภาคของอิมัลชัน มีขนาดใหญ่ขึ้นมีปริมาณเพียงพอที่จะสามารถทำให้น้ำและน้ำมันแยกชั้นกันตัวเอง ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิธีการทำลายอิมัลชันโดยการใช้ตัวกลางอย่างแพร่หลาย เช่น ตริธาร อัมราลิสิต (2547) ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบที่ละกะ และมีการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิดคือเส้นใยปาล์ม เส้นใยสังเคราะห์ และเม็ดหิน โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ ตัวแปรที่สนใจได้แก่ อุณหภูมิที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส อัตราการไหลที่ 0.12, 0.25, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามรายงานพบว่า การทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ โดยเส้นใยปาล์มมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันปาล์มออกมาได้มากที่สุด การเพิ่มอัตราการไหลมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกและมีผลมากในเส้นใยปาล์ม แต่ได้ผลน้อยในเส้นใยสังเคราะห์ และ เม็ดหิน และที่อุณหภูมิสูงจะลดประสิทธิภาพการแยก กิตติภณ วิวัฒน์นากู (2548) ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบต่อเนื่อง และมีการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิดคือเส้นใยปาล์ม เส้นใยไพลอน และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ตัวแปรที่สนใจได้แก่ ความสูงของหอแยกที่ 100, 300, และ 500 มิลลิเมตร ความเร็วที่ 0.75, 1.50 และ 2.25 มิลลิเมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ พบว่า การทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ โดยเส้นใยปาล์มมีประสิทธิภาพในการแยก

น้ำมันปาล์มออกมาได้มากที่สุด และยังพบว่า การเพิ่มความเร็วในการไหลและความสูงของตัวกลาง จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้น ซึ่งความเร็วในการไหลที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ในช่วงของการเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (Laminar flow region) Swarna Bansal และคณะ(2011) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของเส้นใยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันในน้ำออกจากกัน โดยน้ำมันที่ใช้คือไอโซออคเทน (Isooctane) ร้อยละ 0.2 ในน้ำ คุณสมบัติที่สนใจจะศึกษาคือพลังงานพื้นผิว (Surface energy), ขนาดของรูพรุน (pore size) และ ความเป็นรูพรุน (porosity) จากการศึกษาพบว่าที่ขนาดของรูพรุน (pore size) เท่ากัน พลังงานพื้นผิว (Surface energy) ค่าน้อยจะได้ประสิทธิภาพในการแยกดีกว่า และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพในการแยกจะดีมากเมื่อมีความดันลด (Pressure drop) ต่ำ ที่พลังงานพื้นผิว (Surface energy) เท่ากันขนาดของรูพรุน (pore size) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง

งานวิจัยนี้ศึกษาปรากฏการณ์การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยการใช้ตัวกลางที่มีลักษณะเป็นเส้นใย การศึกษานี้ได้ทำการป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเข้าสู่หอแยกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ที่บรรจุตัวกลางเส้นใยไนลอนและเส้นใยโพลีพรพิลีนที่มีความหนาแน่นประมาณ  $1 \times 10^{-4}$  กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิของอิมัลชัน 60 องศาเซลเซียส ความสูงของหอแยก 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร และที่ความเร็วของการไหลที่ 0.95, 2.30 และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยใช้ตัวกลางสองชนิดคือ เส้นใยไนลอนและเส้นใยโพลีพรพิลีน ทำการศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการแยก เช่น ความสูงของหอแยก และ ความเร็วของการไหล เพื่อความเข้าใจและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการการแยกต่อไปในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ศึกษาคืออิมัลชันน้ำมันในน้ำ ความเข้มข้นของอิมัลชันร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก
2. ศึกษาตัวแปรวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางคือ เส้นใยไนลอนและเส้นใยโพลีพรพิลีน
3. ศึกษาตัวแปรความสูงของหอแยกที่ 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร
4. ศึกษาตัวแปรความเร็วการไหลที่ 0.95, 2.30 และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแยกอิมัลชันน้ำมันในน้ำ เพื่อประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล
2. สามารถพัฒนาเพื่อนำไปสู่ระบบจัดการของเสียในลักษณะใกล้เคียง เพื่อเป็นประโยชน์ในการลดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

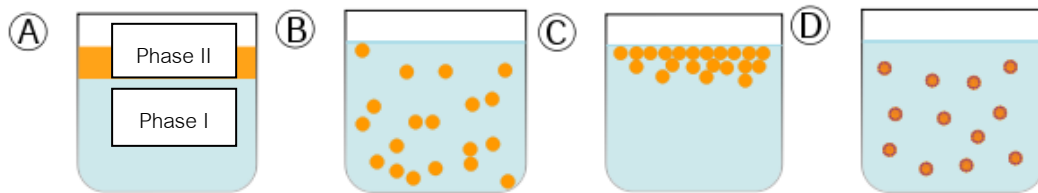
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ อิมัลชัน การทำลายอิมัลชัน และการทำลายอิมัลชันโดยวิธีอาศัยตัวกลาง

#### 2.2 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชัน (Emulsion) คือ สารผสมที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อยสองชนิดที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน ซึ่งของเหลวชนิดหนึ่งเรียกว่า วัฏภาคภายใน โดยจะกระจายตัวอยู่ ของเหลวอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า วัฏภาคต่อเนื่อง อิมัลชัน แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ น้ำมันในน้ำ (Oil in water), น้ำในน้ำมัน (Water in oil) และ อิมัลชันเชิงซ้อน (Multi emulsion)



รูปที่ 2.1 A. Two immiscible liquids, not yet emulsified

- B. An emulsion of Phase II dispersed in Phase I.
- C. The unstable emulsion progressively separates.
- D. Stabilizing the emulsion (Wikipedia, 2011 : online)

ลักษณะของน้ำมันและอิมัลชัน

1. น้ำมันอิสระ (Free oil) คือหยदन้ำมันที่มีขนาดมากกว่า 150 ไมครอน
2. น้ำมันที่กระจายตัว (Dispersed oil) คือหยदन้ำมันที่มีขนาดระหว่าง 20 ไมครอน ถึง 150 ไมครอน
3. อิมัลชันที่เกิดจากแรงกล (Mechanically emulsified oil) คือหยदन้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน
4. อิมัลชันที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี (Chemically emulsified oil) คือหยदन้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน และมีพันธะเคมีกับโมเลกุลอื่น
5. อิมัลชันที่มีความเสถียร (Stable emulsion/ Dissolved oil) คือหยदन้ำมันที่อยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง (ซึ่งเป็นลักษณะของน้ำเสียที่เราศึกษา)

ขนาดหยดอนุภาควิภาคภายใน และ ลักษณะอิมัลชัน ที่มองเห็น

เล็กกว่า 0.05 ไมครอน	โปร่งใส ( Transparent )
0.05 - 0.10 ไมครอน	ขุ่นหรือโปร่งแสง ( Translucent )
0.10 - 1.00 ไมครอน	สีขาวอมฟ้า
ใหญ่กว่า 1.00 ไมครอน	ขุ่นขาวทึบ

กลไกการเกิดอิมัลชัน สารผสมระหว่างน้ำและน้ำมันจะไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เมื่อนำมารวมกันจะแยกชั้นกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำและน้ำมัน แต่เมื่อมีการเขย่า การคนหรือการกวน ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ พลังงานที่ใส่เข้าไปจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวเหล่านั้นเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีการเกิดเป็นลักษณะของอิมัลชันขึ้น แต่จะเกิดเพียงชั่วคราวเท่านั้น โดยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายว่า การเขย่าจะเพิ่มพลังงานอิสระให้แก่พื้นที่ผิวของเหลวจึงเข้ากันได้ สภาวะดังกล่าวจะไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาวะให้เข้าสู่จุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด แต่ลักษณะดังกล่าวสามารถเกิดได้ถาวร ถ้าเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันของของเหลวทั้งสองชนิด

ในกรณีน้ำเสียจากกระบวนการการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลนี้ เป็นแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in water) ซึ่งการแยกน้ำออกจากน้ำนี้ทำได้ยาก เนื่องจากอยู่ในรูปของอิมัลชัน ซึ่งค่อนข้างเสถียรเนื่องจากอนุภาคของน้ำมันมีขนาดเล็กมาก และนอกจากนี้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลยังมีโอกาสเกิดสบู่ เนื่องจากมีการเติมเบส (NaOH) ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่นี้จะทำให้เกิดอิมัลชันและจะมีความเสถียรมาก

## 2.3 การทำลายอิมัลชัน (Demulsification)

การทำลายอิมัลชันคือการแยกของของเหลวที่กระจายตัวออกจากของเหลวที่ครอบคลุมสารทั้งหมด วัตถุประสงค์ของการทำลายอิมัลชันคือการทำลายชั้นรอยต่อระหว่างน้ำกับน้ำมัน และลดแรงตึงผิวไปทั้งด้านน้ำมันหรือด้านขี้เถ้า ทำให้อนุภาคของน้ำมันและตะกอนไปรวมกัน การทำลายอิมัลชันสามารถเพิ่มโดยการลดความหนืดของส่วนของน้ำหรือเพิ่มความหนืดของน้ำมัน การเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำมันและลดความหนาแน่นของน้ำมันในน้ำ

การทำลายอิมัลชันนี้มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไปดังนี้

การใช้ถังแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

การใช้ถังแยก หรือถังตกตะกอนเป็นการแยกเอาน้ำมันที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำทำให้เกิดการแยกชั้นโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องการเวลาในการแยกนาน และในบางลักษณะก็ไม่สามารถแยกน้ำมันที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันได้ด้วย

การใช้สารเคมีในการทำลายอิมัลชัน

เป็นการใช้สารเคมีหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวมอนุภาคของ อิมัลชันที่แทรกตัวแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสีย ให้มีขนาดโตพอที่จะแยกน้ำกันได้ง่าย วิธีนี้เป็นวิธีการที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่ในบางลักษณะอาจทำให้เกิดสารเคมีตกค้าง และต้นทุนในการบำบัดค่อนข้างสูง หลักการคือ การที่อิมัลชัน มีความเสถียรเนื่องจากความมีขั้วบวก (Cationic) ดังนั้นการทำลายอิมัลชันเติมสารที่สามารถทำลายขั้วบวก คือ การเติมขั้วลบ (Anionic) ก็จะสามารถการทำลายอิมัลชันได้

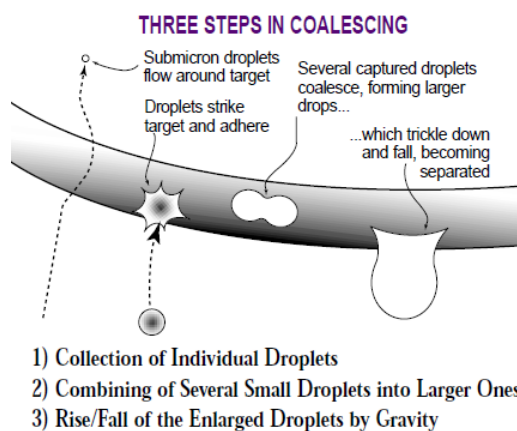
การใช้การแยกด้วยไฟฟ้า

หลักการของระบบคือการติดตั้งแผ่นเยื่อกรองแบบกึ่งซึมผ่าน 2 ชนิด คือ เยื่อกรองประจุบวกและเยื่อกรองประจุลบเรียงสลับกันและผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ เมื่อสารละลายเกลือที่มีประจุบวกและลบเคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรอง ประจุบวกจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรองประจุบวกและถูกจับไว้ด้วยเยื่อกรองประจุลบส่วนประจุลบจะถูกจับไว้ด้วย เยื่อกรองประจุบวกตามลำดับ ก่อนผ่านน้ำเข้าสู่เยื่อกรองควรแยกตะกอนขนาดเล็กและสารอินทรีย์ที่ไม่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ออกจากน้ำก่อน

การใช้ตัวกลางเพื่อทำลายอิมัลชัน

การนำตัวกลางไปวางขวางทางไหลของอิมัลชัน หยดของเหลวที่มาก่อนจะชนและติดอยู่บนผิวของตัวกลาง หยดของเหลวที่ตามมาจะชนแล้วรวมตัวกับหยดของเหลวที่ติดอยู่ก่อน ทำให้หยดของเหลวมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อหยดของเหลวมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเอาชนะแรงยึดติดกับผิวตัวกลาง หยดของเหลวจะหลุดออกจากตัวกลางแล้วแยกวัฏภาคกันที่สุดในที่สุด ตัวกลางที่ใช้ลักษณะคล้ายตัวกรอง แล้วนำของเหลวไหลผ่าน เพื่อแยกน้ำหรือน้ำมันออก (W/O & O/W) หลักการของวิธีการนี้ คือ ตัวกลางจะต้องมีลักษณะ ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งใช้สำหรับการแยกน้ำออกจากน้ำมัน (W/O) หรือ ชอบน้ำมัน (Oleophilic) ซึ่งใช้สำหรับแยกน้ำมันออกจากน้ำ (O/W) หลังจากนั้นนำของเหลวที่ต้องการแยก ผ่านตัวกลางชนิดนั้นๆ โดยลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้การรวมตัวของอนุภาคของอิมัลชัน แต่ละอนุภาครวมกัน ซึ่งเมื่ออนุภาคของอิมัลชัน มีขนาดใหญ่ขึ้นมีปริมาณเพียงพอก็จะสามารถทำให้น้ำและน้ำมันแยกชั้นกันตัวเอง

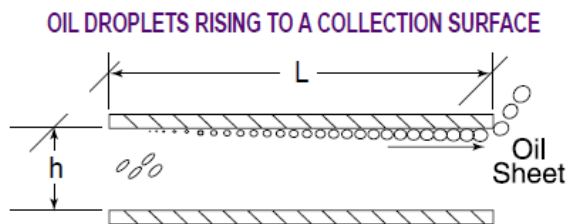
กลไกของการแยกจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนประกอบด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานโดยการใช้ตัวกลางเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำ (ACS industries, 2003 : online)

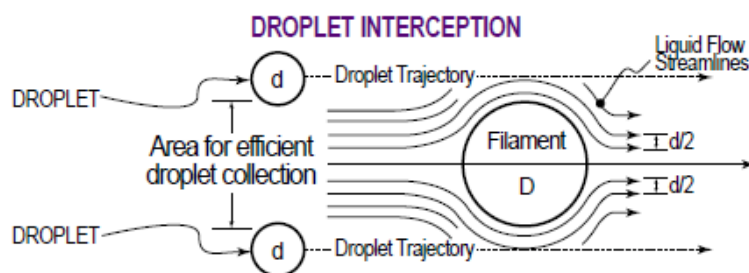
1. การจับตัวของอนุภาคอิมัลชันบนตัวกลาง อนุภาคอิมัลชันที่ไหลอยู่ในน้ำเมื่อผ่านตัวกลางจะการชนกับผิวของตัวกลางแล้วเกาะอยู่บนผิวของตัวกลาง ลักษณะการชนของอนุภาคน้ำมันกับผิวตัวกลางเกิดขึ้นเนื่องจาก อินทรามีเดีย สโตคเซตติง (Intra-Media Stokes Settling) และการชนโดยตรง

อินทรามีเดีย สโตคเซตติง (Intra-Media Stokes Settling) สามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.3 เมื่ออนุภาควิ่งผ่านตัวกลางไปตามระยะจะทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเรื่อยๆจน หลุดออกโดยแรงลอยตัว



รูปที่ 2.3 แสดงผลของอินทรามีเดียสโตกส์เซตติง (Intra-Media Stokes Settling) (ACS industries, 2003 : online)

การชนโดยตรงจะเกิดขึ้นได้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและช่องว่างระหว่างเส้นใยของตัวกลางดังรูปที่ 2.4 ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็ก จำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีเส้นใยที่หนาแน่น เพื่อช่องว่างระหว่างเส้นใยแคบและดักจับอนุภาคน้ำมันได้

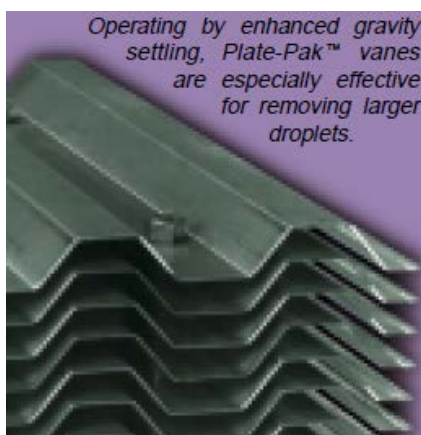


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการชนโดยตรง (ACS industries, 2003 : online)

- อนุภาคน้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวจะรวมตัวกันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกาะเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้ากันได้ของของเหลวและผิวของของแข็ง (Compatibility and Wet ability) ซึ่งความเข้ากันได้จะมีผลอย่างมาก เช่น ถ้าชอบน้ำมันมาก (High oleophilic properties) จะมีผลทำให้หยดน้ำมันเกาะอยู่บนตัวกลางนานขึ้น จะทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวได้มากขึ้น อัตราการแยกระหว่างน้ำกับน้ำมันก็จะเร็วขึ้น
- เมื่ออนุภาคของอิมัลชัน รวมตัวกันมากขึ้นจน มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงที่กระทำระหว่างผิวของตัวกลางได้ หยดน้ำมันจะแยกตัวออกมาจากตัวกลาง แล้วจะน้ำมันจะแยกชั้นกับน้ำได้

ชนิดของตัวกลาง (Coalescence type) แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. ตัวกลางชนิดแผ่น (Plate coalescence) มีลักษณะเป็นแผ่น จะประกอบด้วยแผ่นเอียงที่ทำจากโลหะหรือพลาสติกที่อยู่ภายในภาชนะ เมื่ออนุภาคของอิมัลชันชนกับตัวกลางชนิดนี้จะเคลือบบนผิวของตัวกลางในลักษณะแผ่นฟิล์มบาง และฟิล์มนี้จะหนาขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนการชนของอนุภาคอิมัลชัน และหลุดตัวออกไปในรูปของน้ำมัน ตัวกลางชนิดนี้มีราคาถูก บำรุงรักษาง่าย ไม่เกิดการอุดตัน นิยมใช้กับใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของตัวกลางชนิดแผ่น (Plate coalescence) (ACS industries, 2003 : online)

2. ตัวกลางชนิดอัดแน่น (Packed coalescence) ภาชนะมีลักษณะเป็นคอลัมน์ หรือเป็น แคปซูล (Cartridges) โดยตัวกลางเป็นของแข็งที่มีลักษณะเม็ด หรือเส้นใย ที่ทำจาก โลหะ พลาสติก หรือ เซรามิก ข้อดีของตัวกลางชนิดอัดแน่น คือมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก สามารถใช้ได้กับอิมัลชัน ที่มีขนาดของอนุภาคเล็กมากถึง 25 ไมครอน แต่อาจมีปัญหาเรื่องความดันลด (Pressure drop) และการอุดตัน



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของตัวกลางชนิดอัดแน่นที่เป็นเส้นใย (Packed coalescence) (ACS industries, 2003 : online)

3. ตัวกลางชนิดเมมเบรน ตัวกลางชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากทำจากวัสดุที่มีรูพรุน เหมาะกับอิมัลชัน ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก แต่ข้อเสียของตัวกลางชนิดนี้คือ ห้ามมีตะกอนหรือของแข็งปะปนอยู่ ตัวกลางชนิดนี้ควรใช้คู่กับ ตัวกรองเพื่อลดปัญหาดังกล่าว

## 2.4 วัสดุที่ใช้ทำตัวกลาง

ดังได้กล่าวมาแล้วหลักการในการเลือกวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางจะต้องรู้ชนิดของอิมัลชันที่ต้องการแยกคือ

1. ถ้าเป็นน้ำในน้ำมัน (W/O) ควรใช้วัสดุที่ชอบน้ำ โดยวัดได้จากค่ามุมน้ำ (Water contact angle) ถ้าค่านี้มีค่าต่ำจะชอบน้ำมาก วัสดุประเภทนี้เช่น โลหะ แก้ว หรือ พลาสติกบางชนิด เช่น พอลิเมทิลเมทาครีเลท (PMMA)
2. ถ้าเป็นน้ำมันในน้ำ (O/W) ควรใช้วัสดุที่ชอบน้ำมัน หรือไม่ชอบน้ำ โดยวัดจากค่าความสามารถในการเปียก (Wettability) ซึ่งควรมีค่าสูงหรือ ค่ามุมน้ำ (Water contact angle) ควรมีค่าสูง วัสดุประเภทที่ชอบน้ำมันนี้จะเป็นพวกพลาสติก เช่น พอลิโพรพิลีน และ เส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยปาล์ม เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น



การเลือกใช้วัสดุที่นำมาเป็นตัวกลางนั้นต้องคำนึงถึงสมบัติของความสามารถในการเปียกโดยสามารถพิจารณาได้จากค่ามุมน้ำ ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามุมน้ำของพลาสติกชนิดต่างๆ (Falsafi, Mangipudiy, and Owenz, 2006 : 1016)

Polymer	$\gamma_c$ (mN/m)	Reference	$\gamma^d$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma^p$ (mJ/m <sup>2</sup> )	Reference	$\theta(H_2O)$ (deg)	Reference
Poly(haptadecafluorooctyl oxymethylstyrene)	6 <sup>a</sup>	[49]	9 <sup>b</sup>	—	[49]	—	
Poly(pentadecafluorooctyl acrylate)	10.4 <sup>a</sup>	[50]	—	—		—	
Poly(pentadecafluorooctyl methacrylate)	10.6 <sup>a</sup>	[51]	9.1	0.3	[22]	119	[51]
Poly(haptadecafluorooctyl sulfonamido/propyl ethylacrylate)	11.1 <sup>a</sup>	[51]	10.3	0.4	[52]	118	[51]
Poly(hexafluoropropyl siloxy)	16.2 <sup>a</sup>	[63]	11.7	0.7	[52]		
Poly[methyl(nonafluorohexyl) siloxy]	16.3 <sup>a</sup>	[54]	8.4	1.1	[54]	115	[54]
Poly(tetrafluoroethylene)	10.0 <sup>a</sup>	[55]	10.0	0.5	[22]	100	[22]
Poly[methyl(trifluoro)siloxy]	21.4 <sup>a</sup>	[56]	10.8	2.8	[56]	104	[56]
Poly(trifluoroethylene)	22	[57]	19.9	4.0	[22]	92	[57]
Paraffin wax	23	[22]	25.4	0	[22]	112	[58]
Poly(dimethylsiloxane)	24	[59]	21.7	1.1	[22]	101	[22]
Poly(vinylidene fluoride)	25	[57]	23.2	7.1	[22]	82	[57]
Poly(1,2-butadiene)	25	[60]	—	—		—	
Poly(isobutylene)	27	[60]	—	—		—	
Poly(vinyl butyral)	28	[60]	—	—		—	
Poly(vinyl fluoride)	28	[57]	31.3	5.4	[22]	80	[57]
Polypropylene	29	[61]	28.6	0.4	[35]	116	[35]
Poly(chlorotrifluoroethylene)	31	[62]	23.9	3.6	[23]	90	[62]
Polyisoprene, cis	31	[63]	—	—		106	[63]
Poly(oxypropylene)	32	[60]	—	—		—	
Poly(n-butyl methacrylate)	32	[64]	31.3	2.0	[23]	91	[23]
Polystyrene	32.8	[65]	41.4	0.6	[22]	91	[65]
Polyethylene, branched	33	[66]	32.0	1.1	[22]	94	[66]
Poly(undecanamide)	33	[67]	—	—		89	[67]
Poly(epichlorohydrin)	35	[63]	—	—		87	[63]
Poly(vinyl alcohol)	37	[68]	—	—		—	
Poly(vinyl acetate)	37	[60]	—	—		—	
Polychloroprene	38	[63]	—	—		—	
Poly(vinyl chloride)	39	[57]	40.0	1.5	[22]	87	[57]
Cellulose acetate	39	[69]	—	—		65	[69]
Poly(methyl methacrylate)	39	[70]	35.9	4.3	[22]	80	[70]
Poly(vinylidene chloride)	40	[57]	42.0	3.0	[22]	80	[57]
Poly(oxyphenylene)	41	[60]	—	—		—	
Polycaprolactam	42	[64]	—	—		70	[64]
Poly(hexamethylene adipamide)	42.5	[65]	40.8	6.2	[22]	72	[22]
Poly(oxyethyleneoxyterephthaloyl)	43	[65]	43.2	4.1	[22]	76	[22]
Poly(ethylene oxide)	43	[60]	—	—		—	
Poly(acrylonitrile)	44	[60]	—	—		—	
Polyglycine	44	[71]	—	—		49	[71]
Cellulose, regenerated	44	[68]	—	—		—	
Poly(ether ketone ketone)	—		41.7	6.5	[35]	85	[35]
Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)	52	[72]	34.1 <sup>c</sup>	24.3 <sup>c</sup>	[72]	—	
Poly(acrylamide)	52.3	[73]	—	—		—	
Urea formaldehyde resin	61	[74]	—	—		—	

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Radmila และ คณะ (1997) ได้ศึกษาการแยกอิมัลชันน้ำมันในน้ำโดยใช้ตัวกลางแบบอัด โดยตัวกลางแบบอัดทำจากโพลียูรีเทนในลักษณะที่เป็นแผ่น ในงานวิจัยนี้สนใจผลของ ความเร็วของของไหลที่ 10, 13, 16, 19, 30, 35, 40 และ 45 เมตรต่อชั่วโมง ผลของความยาวของท่อแยกที่ 3, 5, 7, 10 และ 15 เซนติเมตร อิทธิพลของปริมาณน้ำมันที่ 500, 800, 1100, 1400 และ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความเข้มข้นของน้ำมันน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการแยก เมื่อความเร็วของน้ำสูงกว่าค่าวิกฤตของอิทธิพลของความเข้มข้นและความยาวของท่อแยกมีการเปลี่ยนแปลง

Radmila และ คณะ (2004) ได้ทำการศึกษาผลของเส้นใยพอลิเมอร์บนตัวกลางแบบอัดเท่ากับอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยเส้นใยที่ใช้ได้แก่ พอลิเอทีลีน พอลิเอสเตอร์ พอลิยูรีเทน และชนิดน้ำมันที่ใช้ศึกษาคือ น้ำมันเนฟทาอีนิก (Naphthenic) โดยศึกษาผลของความเร็วของการไหลอิมัลชันที่ 16 ถึง 70 เมตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการแยกขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของน้ำมัน และความเร็วกวูต และยังพบความแตกต่างจากวัสดุที่มีความสัมพันธ์กันกับแรงตึงผิวของวัสดุชนิดนั้นๆ

Radmila และ คณะ (2007) ได้ศึกษาความยาวของท่อแยกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกอิมัลชันน้ำมันในน้ำ เส้นใยที่ใช้คือ พอลิยูรีเทน โดยศึกษาความยาวท่อแยกตั้งแต่ 1 ถึง 15 เซนติเมตร และมีแรงตึงผิว 23 มิลลินิวตันต่อเมตร ซึ่งจะศึกษากับลักษณะของการไหลสามลักษณะ คือการไหลในแนวอน การไหลในแนวตั้งขึ้น และแนวตั้งไหลลง ซึ่งพบว่า การไหลในแนวอนให้ ความเร็ววิกฤตที่สูงที่สุด

Radmila และ คณะ (2010) ทำการศึกษาผลของลักษณะของการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ลักษณะการไหลที่สนใจ คือการไหลในแนวอน และ การไหลในแนวตั้งลงขึ้นบน ชนิดของตัวกลางที่ใช้ทำการศึกษาคือ พอลิยูรีเทนและพอลิสไตรีน ที่ความเข้มข้นอิมัลชัน 500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 20 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วการไหล 7 เมตรต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของการไหลไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพการแยกขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล

Briscoe และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาการแยกตัวของอิมัลชันของน้ำมัน (di-n-butyl phthalate) กับน้ำโดยเส้นใยเคฟลา (Kevlar) ที่ความเร็วการไหล ความหนาของชั้นเส้นใยถัก และความเข้มข้นของน้ำมันต่างกัน พบว่าความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกตัวออกของน้ำมันสูงขึ้น

Jingquan และ Yongan (2004) ได้ทำการศึกษาการรวม (Coalescence) ของอิมัลชันที่เป็นแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งมีการศึกษาตัวกลางที่แตกต่างกันสามชนิด คือ เส้นใยพอลิโพรพิลีน (Polypropylene) เส้นใยไนลอน (Nylon) และ ตัวกลางชนิดเม็ดที่เป็นพอลิโพรพิลีน (Polypropylene) ในการศึกษาสนใจในผลอัตราการไหลที่มีต่อการแยก ความเข้มข้นของน้ำมันขาเข้า ความยาวของท่อแยกที่ใช้ ความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ทำตัวกลาง ขนาดและชนิดของตัวกลาง ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการ

แยกเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของน้ำมันสูงขึ้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง และพบว่าขนาดของเส้นใยที่เล็กจะทำให้การแยกมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตรีธาร อัมราลิขิต (2547) ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบกะ และมีการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิดคือเส้นใยปาล์ม เส้นใยสังเคราะห์ และเม็ดหิน โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ ตัวแปรที่สนใจได้แก่ อุณหภูมิที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส อัตราการไหลที่ 0.12, 0.25, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามรายงานพบว่า การทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ โดยเส้นใยปาล์มมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันปาล์มออกมาได้มากที่สุด การเพิ่มอัตราการไหลมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกและมีผลมากในเส้นใยปาล์ม แต่ได้ผลน้อยในเส้นใยสังเคราะห์ และ เม็ดหิน และที่อุณหภูมิสูงจะลดประสิทธิภาพการแยก

กิตติภณ วิวัฒน์นากู (2548) ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบต่อเนื่อง และมีการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิดคือเส้นใยปาล์ม เส้นใยไพล่อน และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ตัวแปรที่สนใจได้แก่ ความสูงของหอแยกที่ 100, 300, และ 500 มิลลิเมตร ความเร็วที่ 0.75, 1.50 และ 2.25 มิลลิเมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ พบว่า การทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ โดยเส้นใยปาล์มมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันปาล์มออกมาได้มากที่สุด และยังพบว่า การเพิ่มความเร็วในการไหลและความสูงของตัวกลาง จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้น ซึ่งความเร็วในการไหลที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ในช่วงของการเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (Laminar flow region)

Swarna Bansal และคณะ(2011) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันในน้ำออกจากกัน โดยน้ำมันที่ใช้คือไอโซออกเทน (Isooctane) ร้อยละ 0.2 ในน้ำ คุณสมบัติที่สนใจจะศึกษาคือพลังงานพื้นผิว (Surface energy), ขนาดของรูพรุน (Pore size) และ ความเป็นรูพรุน (Porosity) จากการศึกษาพบว่าที่ขนาดของรูพรุน (pore size) เท่ากัน พลังงานพื้นผิว (Surface energy) คำน้อยจะได้ประสิทธิภาพในการแยกดีกว่า และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพในการแยกจะดีมากเมื่อมีความดันลด (Pressure drop) ต่ำ ที่พลังงานพื้นผิว (Surface energy) เท่ากันขนาดของรูพรุน (Pore size) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง

A.Hong และคณะ (2003) ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวกลางชนิดเมมเบรนที่ทำมาจากพีทีเอฟอี (PTFE) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของการแยกอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ ซึ่งตัวแปรที่มีผลมากคือขนาดของรูพรุน (Pore size) มีการทดลองตั้งแต่ 0.22 ไมครอน จนถึง 5.0 ไมครอน พบว่าขนาดของรูพรุน (Pore size) ที่มีขนาดเล็กจะให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มขึ้น แต่การใช้ลักษณะนี้จะมีผลกระทบเรื่องความดันลด (Pressure drop) ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง

Soumitra Maiti, I.M. Mishra, S.D. Bhattacharya, J.K. Joshi (2011) ศึกษาการแยกน้ำมันจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำโดยอาศัยเรซินโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนและไดไวโนลเบนซีน โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของอิมัลชันร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่างๆกันตั้งแต่ร้อยละ 0.25 จนถึงร้อยละ 4.00 ความสูงของตัวกลางตั้งแต่ 30 จนถึง 100 มิลลิเมตรและอัตราการไหลที่ 10 ถึง 20 ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าประสิทธิภาพการแยกของเรซินมีมากถึงร้อยละ 89 ภายใต้สภาวะที่อัตราการไหลที่ 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร และที่ความสูง 75 มิลลิเมตร โดยสามารถอธิบายได้จากพันธะของไฮโดรเจนและแรงของไฮโดรฟิลิกซึ่งเป็นแรงขับหลักในการทำให้เกิด แรงยึดเกาะระหว่างน้ำมันและผิวของเรซิน

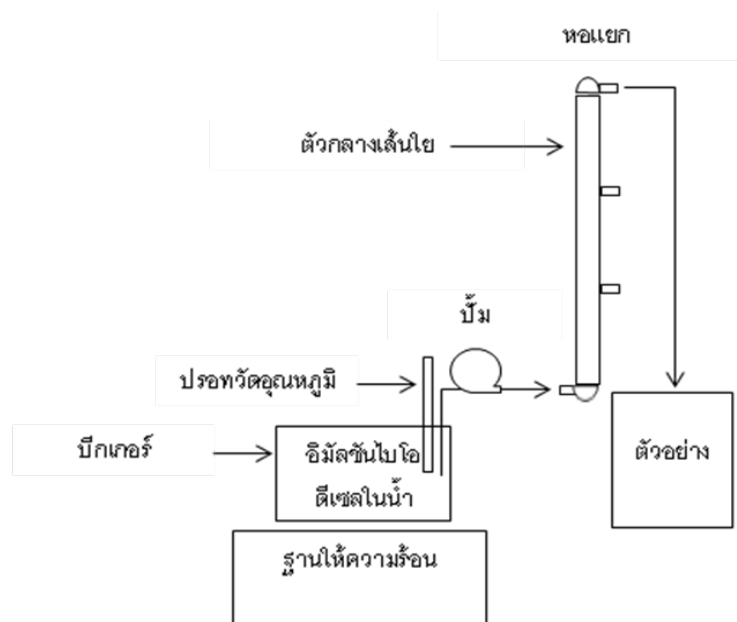
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 การทดลอง

การทดลองทำในหอแยกซึ่งทำจากแก้วโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และมีความสูง 1,200 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยตัวกลางที่เป็นเส้นใย เส้นใยที่ใช้ทำการศึกษาคือ เส้นใยสังเคราะห์ ไนลอน และพอลิโพรพิลีน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดเท่ากับ 40 ไมโครเมตร และมีความหนาแน่นเท่ากับ  $1 \times 10^{-4}$  กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

น้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัยจะเตรียมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการผสม น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification Reaction) ซึ่งไบโอดีเซลนี้ยังไม่ผ่านกระบวนการล้างเตรียมความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักของน้ำเสียลงในน้ำ บั่นผสมกันได้อิมัลชันน้ำมันในน้ำที่มีลักษณะสีขาวขุ่น โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิของอิมัลชัน 60 องศาเซลเซียส การทดลองอิมัลชันจะถูกบั่นผ่านเข้าสู่หอแยกที่มีเส้นใยบรรจุอยู่ในลักษณะแนวตั้ง และทำการป้อนแบบต่อเนื่องจากด้านล่างสู่ด้านบน ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความสูงของหอแยกที่ 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร และความเร็วของการไหลที่ 0.95, 2.30 และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยจะทำการเก็บตัวอย่างของเหลวที่ออกจากปลายด้านบนตามความสูงระยะต่างๆ เก็บตัวอย่างที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตรและเก็บทุกๆ 30 นาที ตัวอย่างที่เก็บได้จะนำมาทำการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในรูปของอิมัลชันที่มีความเสถียร การทดลองจะดำเนินไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว คือวิเคราะห์ได้ปริมาณน้ำมันคงที่ แผนภูมิการทดลองได้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

เก็บตัวอย่างของเหลวที่ไหลผ่านหอแยกที่บรรจุด้วยเส้นใย นั้นเก็บเฉพาะส่วนที่เป็นอิมัลชัน 10 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาทีมาทดสอบหาปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในของเหลวรายงานผลเมื่อได้ค่าที่คงที่ การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในน้ำใช้วิธี พาร์ทิชันกาวิเมตริก (Partition-Gravimetric method) ตามวิธีมาตรฐานเลขที่ ASTM D4281-93 ซึ่งความสามารถในการแยกอิมัลชันของน้ำมันไปโอดีเซลออกจากน้ำ (Oil removal %) สามารถวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักโอดีเซลที่หายไปในส่วนของการเหลวอิมัลชันที่ไหลผ่านหอแยก ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในรูปร้อยละโดยน้ำหนักดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{ความสามารถในการแยก (Oil removal \%)} = \frac{(\text{น.น ของอิมัลชันก่อนเข้าหอแยก} - \text{น.น ของอิมัลชันหลังผ่านหอแยก}) \times 100}{(\text{น.น ของอิมัลชันก่อนเข้าหอแยก})} \quad 3.1$$

การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน

1. เก็บตัวอย่างเฉพาะส่วนที่เป็นอิมัลชัน 10 มิลลิลิตรทุกๆ 30 นาที
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ลงในตัวอย่างที่เก็บได้ ซึ่งควรจะทำให้ตัวอย่างที่เก็บได้มีความเป็นกรดเท่ากับ ค่าพีเอชเท่ากับ 2
3. หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยง 5 นาที

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน

1. นำตัวอย่างที่เก็บไว้ในหลอดทดลองเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองที่มีตัวอย่าง
2. เขย่าอย่างรุนแรง 2 นาที แล้วนำเข้าเครื่องเหวี่ยง 5 นาที
3. ของเหลวในหลอดทดลองจะแยกชั้นกันอย่างชัดเจน ชั้นบนคือเฮกเซน และชั้นล่างคือน้ำ ทำการดูดของเหลวชั้นบน
4. นำของเหลวชั้นบนกรองผ่านกระดาษกรองที่มีไฮเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสน้ำหนัก 10 กรัม ซึ่งกรองใส่ ปีกเกอร์ที่ได้ทำการชั่งน้ำหนักแล้ว
5. ทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 กับของเหลวชั้นล่างอีกครั้ง
6. นำปีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักและบรรจุเฮกเซนแล้วไปตั้งบนเตาที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส
7. ระเหยเฮกเซนจนแห้ง แล้วนำปีกเกอร์ไปชั่งน้ำหนัก

### 3.3 ค่าความผิดพลาดในการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ค่าความผิดพลาดในการทดลอง

ค่าความผิดพลาดในการทดลองสามารถบ่งบอกได้จาก ความสามารถในการทำซ้ำ, ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งในการทดลองในแต่ละตัวแปรจะมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง จากข้อมูลทั้ง 3 ครั้งจะใช้ค่าเฉลี่ยโดยหาได้จากสมการที่ 3.2 และสามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{ค่าเฉลี่ย, } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad 3.2$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, } = \frac{\sqrt{(X - \bar{X})^2}}{\bar{X}} \times 100 \quad 3.3$$

จากการทดลอง 3 ครั้งของตัวแปรเส้นใยในลอนที่ ความเร็ว 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร โดยผลการทดลองที่ได้ สามารถแสดงผลการทดลอง ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลอง ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลองเส้นใยในลอนที่ ความเร็ว 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร

การทดลอง	ความสามารถในการแยกน้ำมันอิมัลชัน (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)
1	10.11	10.90	7.22
2	11.50		5.54
3	11.08		1.68

จากผลการทดลองพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.22

ค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผล

เช่นเดียวกับกับค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผล สามารถบ่งบอกได้จาก ความสามารถในการทำซ้ำ, ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในน้ำ 3 ครั้งในตัวอย่างเดียวกัน และสามารถให้วิธีคำนวณตามสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 ผลของการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำมันในน้ำ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำมันในน้ำ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก

การทดลอง	ปริมาณน้ำมันในน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)
1	0.786	0.793	0.88
2	0.795		0.25
3	0.798		0.63

จากผลการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำมันในน้ำที่ความเข้มข้นน้ำมันร้อยละ 1.0 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.88 ผลความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำมันบางส่วนสูญเสียไประหว่างการสกัดน้ำมันในรูปอิมัลชันละลายลงสู่เฮกเซน



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการอภิปรายผลของการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางชนิดเส้นใย การศึกษาทำในลักษณะแบบกระบวนการต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบการทำลายความอิมัลชันด้วยวิธีอาศัยแรงโน้มถ่วงและหอแยกเปล้า การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์จะเก็บเฉพาะส่วนที่เป็นอิมัลชัน มาทดสอบหาปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในของเหลว ผลการทดลองจะถูกนำเสนอตั้งหัวข้อต่อไปนี้

#### 4.1 อิมัลชันที่เตรียมได้

#### 4.2 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

#### 4.3 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล้า

#### 4.4 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยในลอน

##### 4.4.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน

##### 4.4.2 ผลของความสูงของหอแยก

#### 4.5 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยพอลิโพรพิลีน

##### 4.5.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน

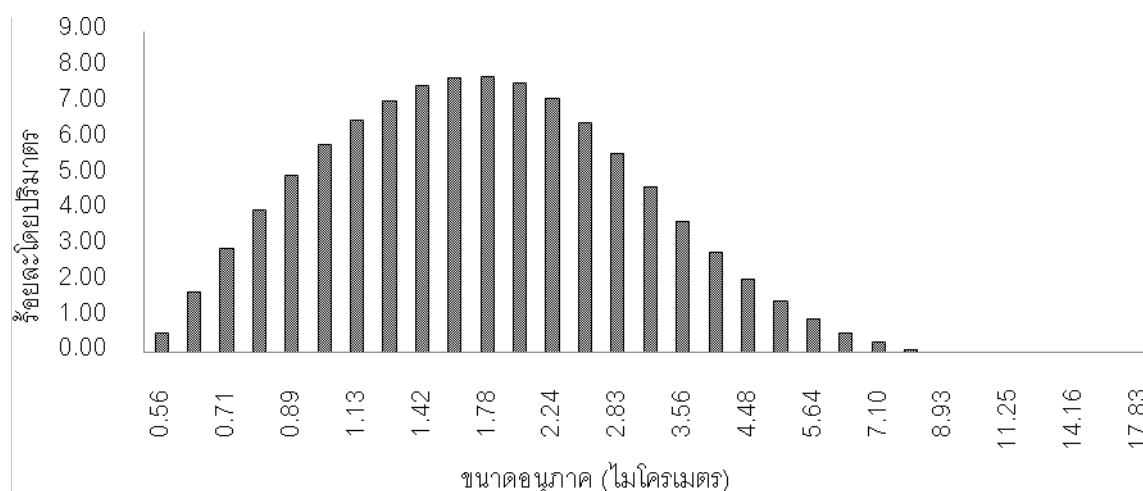
##### 4.5.2 ผลของความสูงของหอแยก

#### 4.6 ผลของชนิดตัวกลางที่มีต่อการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำ

#### 4.7 ผลของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำเสียที่ไม่มีสบู่นปนเปื้อน

#### 4.1 อิมัลชันที่เตรียมได้

อิมัลชันที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านกระบวนการล้างที่ความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักที่กระจายตัวอยู่ในน้ำปราศจากประจุ (De-ionized water) เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้อิมัลชันที่มีลักษณะสีขาวขุ่น นำอิมัลชันที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern) แสดงดังรูปที่ 4.1 (ข้อมูลดิบแสดงอยู่ในภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคอิมัลชันที่เตรียมได้ โดยใช้เครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern).

อนุภาคอิมัลชันที่เตรียมได้มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.811 ไมโครเมตร ในนิยามของอิมัลชันที่มีความเสถียร (Stable emulsion/ Dissolved oil) คือหยดน้ำมันที่อยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร เนื่องจากอนุภาคอิมัลชันนี้มีขนาดเล็ก ในการบำบัดน้ำเสียในลักษณะอิมัลชันนี้จึงทำได้ยาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าอิมัลชันที่เตรียมได้มีความเสถียรเพียงพอสำหรับการทดลอง

#### 4.2. การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

ผลการทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการทำลายอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ทำการทดลองโดยใช้อิมัลชันความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักที่กระจายตัวอยู่ในน้ำปราศจากประจุ (De-ionized water) บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ตัวอย่างจะถูกเก็บทุกๆ 30 นาทีแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันที่เหลืออยู่ในของเหลวอิมัลชัน

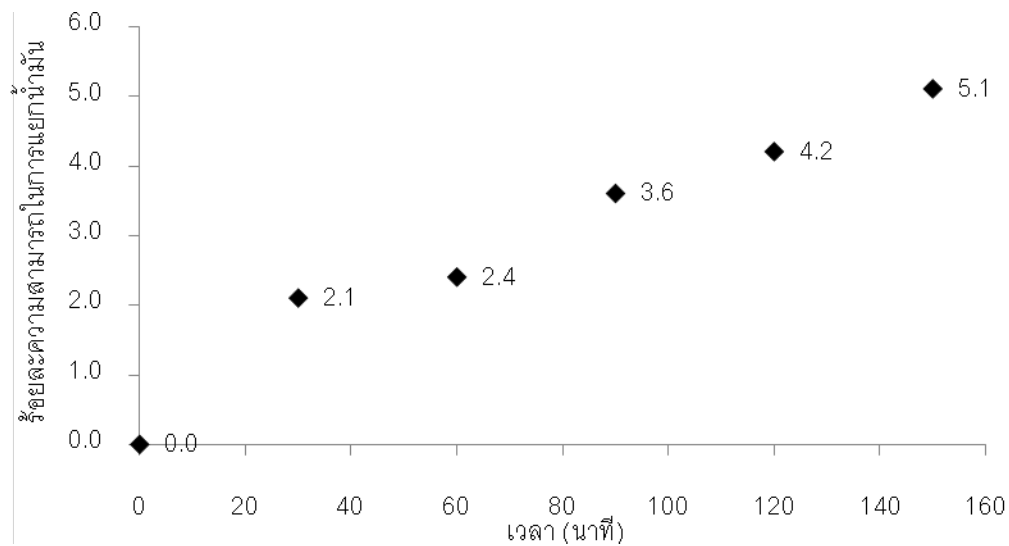
ความสามารถในการแยกน้ำมันออกจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำนี้สามารถนิยามและคำนวณได้โดย สมการที่ 4.1

$$\text{ความสามารถในการแยกน้ำมัน(Oil removal \%)} = \frac{(\text{น.น ของอิมัลชันเริ่มต้น} - \text{น.น ของอิมัลชันที่เวลาใดๆ}) \times 100}{(\text{น.น ของอิมัลชันเริ่มต้น})} \quad 4.1$$

ในระหว่างการทดลองเมื่อเวลาผ่านไปสามารถสังเกตเห็นการเกิดหยดน้ำมันลอยอยู่บนผิวของของเหลวอิมัลชัน ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างอิมัลชันมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำมันบางส่วนหายไป ซึ่งสอดคล้องกับการพบหยดน้ำมันแยกตัวออกมา ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

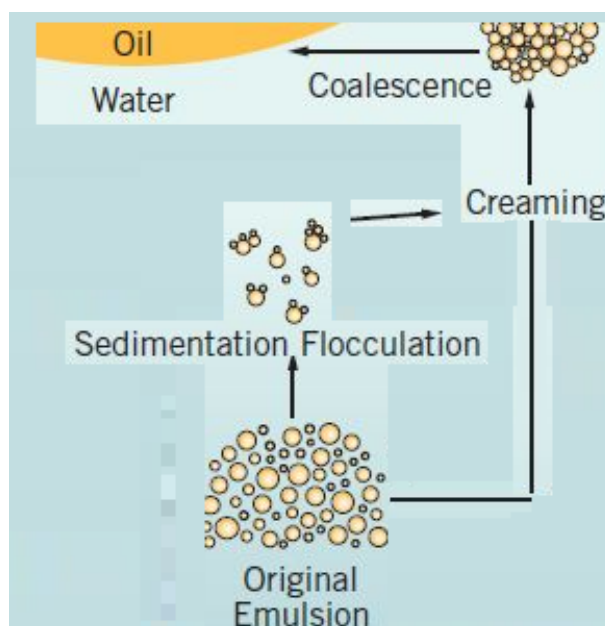
เวลา (นาที)	ร้อยละความสามารถในการแยกน้ำมัน
0	0.0
30	2.1
60	2.4
90	3.6
120	4.2
150	5.1



รูปที่ 4.2 แสดงผลการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในรูปที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าจำนวนของอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำลดลงตั้งแต่ร้อยละ 2.1 ถึง 5.1 โดยจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

ในระหว่างการทดลองพบการเกิดหยดน้ำมันลอยอยู่บนผิวของของเหลวอิมัลชัน ซึ่งการแยกตัวออกมาของหยดอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำนี้ สามารถเกิดขึ้นได้แต่ใช้เวลานานเนื่องจากขนาดของอนุภาคน้ำมันในรูปของอิมัลชันมีความเสถียร ความเสถียรนี้เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคของอิมัลชันมีขนาดเล็กซึ่งทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคภายใน คือน้ำมัน และวัฏภาคต่อเนื่องคือน้ำจนสมดุล ทำให้อนุภาคอิมัลชันไม่เกิดการรวมตัวกัน โดยปกติหยดน้ำมันสามารถรวมตัวกันได้โดยเกิดผ่าน 3 กระบวนการที่แตกต่างกันคือ กระบวนการครีมมิ่ง (Creaming), กระบวนการฟลอคคูเลชัน (Flocculation) และ กระบวนการโคเอเลสเซนซ์ (Coalescence)



รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการการแยกจากอิมัลชันไปเป็นหยดน้ำมัน (Particle Sciences DRUG DEVELOPMENT SERVICES, 2011 : online)

กระบวนการครีมมิ่ง (Creaming) เกิดขึ้นโดยอาศัยผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของวัฏภาคภายใน และวัฏภาคต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันและน้ำ

กระบวนการฟลอคคูเลชัน (Flocculation) เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคอิมัลชันสองอนุภาคหรือมากกว่าเกาะตัวกัน แต่ะกันบางส่วน โดยที่พื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคยังเท่าเดิม

กระบวนการโคเอเลสเซนซ์ (Coalescence) เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคอิมัลชันสองอนุภาคหรือมากกว่ารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นโดยพื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคลดลง

อนุภาคอิมัลชันน้ำมันมีแนวโน้มที่จะแยกชั้นตามทฤษฎีของ กฎของสโตกส์ (Stoke's law) ซึ่งแสดงในสมการที่ 4.2 เมื่ออนุภาคทรงกลมที่ไม่มีประจุในของไหล อนุภาคทรงกลมนี้จะตกตะกอนก็ต่อเมื่อมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันของอนุภาคทรงกลมและของไหล ถ้ายังมีค่าต่างกันมากจะยิ่งส่งผลเร็ว ในทางตรงกันข้าม ถ้าของไหลมีความหนืดสูงผลที่ได้จะลดลงซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

กฎของสโตกส์ (Stoke's law), 
$$v = \frac{2r^2(\rho_2 - \rho_1)g}{9\eta}$$
 4.2

เมื่อ	$v$	= ความเร็วของอนุภาคคอลลอยด์	
	$r$	= รัศมีของอนุภาคคอลลอยด์	( $0.9 \times 10^{-6}$ เมตร)
	$\rho_2$	= ความหนาแน่นของน้ำ	(1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	$\rho_1$	= ความหนาแน่นของน้ำมัน	(887.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	$\eta$	= ความหนืดของหยดน้ำมัน	( $0.422 \times 10^{-3}$ กิโลกรัมต่อเมตร.วินาที)
	$g$	= ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	(9.81 เมตรต่อวินาที <sup>2</sup> )

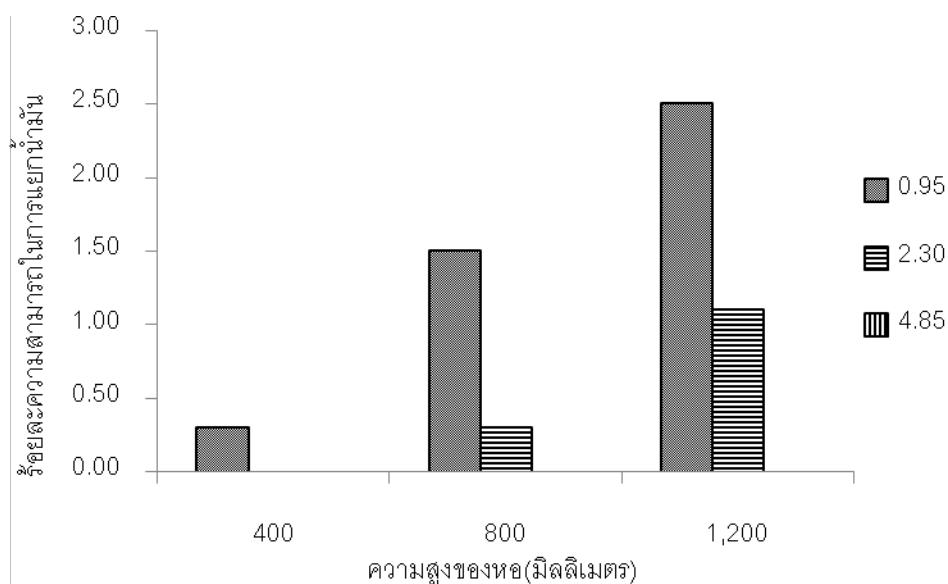
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้จากผลการทดลองสามารถคำนวณหาความเร็วของอนุภาคคอลลอยด์โดยใช้สมการที่ 4.2 ได้ความเร็วของอนุภาคคอลลอยด์เท่ากับ  $4.71 \times 10^{-4}$  มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วที่คำนวณได้สามารถใช้อธิบายผลการทดลองได้ว่า เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ช้า การรวมตัวจึงเกิดได้น้อย ส่งผลให้กระบวนการการแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงใช้เวลานาน

#### 4.3 ผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า โดยการป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเข้าสู่หอแยกเปล่าโดยใช้ปั๊ม การทดลองทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วของการไหลที่ใช้คือ 0.95 มิลลิเมตรต่อวินาที, 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความสูงของหอแยก 400 มิลลิเมตร, 800 มิลลิเมตร และ 1,200 มิลลิเมตร โดยการทดลองจะดำเนินไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งการทดลองจะหยุดลงเมื่อได้ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างมีค่าคงที่อย่างน้อย 3 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า

ความเร็วของการไหล (มิลลิเมตรวินาที)	ความสูงของหอ (มิลลิเมตร)	ร้อยละความสามารถในการแยกน้ำมัน	เวลาใน หอแยก
0.95	400	0.30	7.02
	800	1.50	14.04
	1,200	2.50	21.05
2.30	400	0.00	2.90
	800	0.30	5.80
	1,200	1.10	8.70
4.85	400	0.00	1.37
	800	0.00	2.75
	1,200	0.00	4.12



รูปที่ 4.4 แสดงผลของการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่าที่ความสูงต่างๆ

ผลของการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่ความสูงต่างๆ(ดังแสดงในรูปที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าหอแยกเปล่าสามารถทำลายความเป็นอิมัลชันได้ร้อยละ 0-2.5 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหล โดยความเร็วของการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่อนุภาคอิมัลชันไหลอยู่ในหอแยก (Residence time) ลดลง(แสดงค่าในตารางที่ 4.2) เมื่อนำผลความสามารถในการทำลายอิมัลชันมาเปรียบเทียบกัน แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันในหอแยกเปล่าดีกว่าการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง และผลของความเร็วที่ได้จากกฎของสโตกส์สมการที่ 4.2 เปรียบเทียบกับความเร็วที่ใช้ในการทดลองกับหอแยกเปล่า แสดงให้เห็นว่าความเร็วที่ใช้ในการทดลองกับหอแยกเปล่าเร็วกว่าความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทำลายอิมัลชันของไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงความเร็วของการไหลของในหอแยกเปล่า กับการแยกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

การทดลอง	ความเร็วของการไหล(มิลลิเมตร/วินาที)
การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากหอแยกเปล่า	0.95
	2.30
	4.85
การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$4.71 \times 10^{-4}$



ความเร็วที่ใช้ในการทดลองสามารถคำนวณเลขเรย์โนลด์์ของอนุภาค (Reynolds number of particle) ได้ดังตารางที่ 4.4 (ตัวอย่างการคำนวณเลขเรย์โนลด์์ของอนุภาคอิมัลชันได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค.) สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงเลขเรย์โนลด์์ของอนุภาคในแต่ละความเร็วของการไหลในหอแยกเปล่า

ความเร็วของการไหล(มิลลิเมตร/วินาที)	เลขเรย์โนลด์์ของอนุภาค
0.95	$3.62 \times 10^{-3}$
2.30	$8.77 \times 10^{-3}$
4.85	$1.85 \times 10^{-2}$

เลขเรย์โนลด์์ที่คำนวณได้ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความเร็วของการไหลในการทดลองอยู่ในช่วงลักษณะการไหลแบบราบเรียบ(Laminar flow) การแยกที่เกิดขึ้นในผลการทดลองนี้เกิดขึ้นเนื่องผนังของหอแยกประพฤติตัวเป็นตัวกลางในการจับอนุภาคอิมัลชันเอง โดยมีลักษณะเป็นแบบตัวกลางชนิดแผ่นเดี่ยว (Single plate coalescer) ซึ่งได้อธิบายไว้ในงานวิจัยของ กิตติภณ วิวัฒน์นากู (2548) ได้ทำการทดลองโดยป้อนอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำเข้าสู่หอแยกเปล่าและพบว่า ประสิทธิภาพการแยกตัวของน้ำมันจะขึ้นอยู่กับความเร็วการไหลของอนุภาคอิมัลชันโดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการแยกตัวลดลง ซึ่งการไหลแบบราบเรียบจะเกิดฟิล์มน้ำมันบนผนังของหอแยก อนุภาคอิมัลชันบางส่วนเคลื่อนที่ใกล้กับผนังหอแยก จะเกิดการชนและเกาะอยู่บนผนังหอแยก ประพฤติตัวเหมือนตัวกลางชนิดแผ่นเดี่ยว (Single plate coalescer)

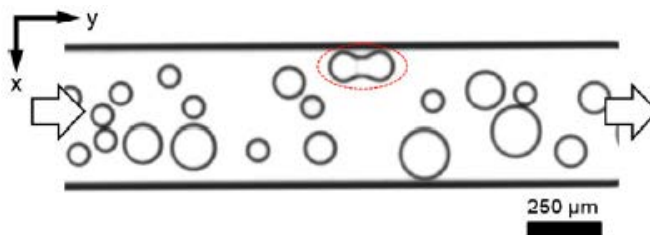
E. Kolehmainen และ I. Turunen (2007) ศึกษาตัวกลางชนิดแผ่น (Plate coalescer) โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วการไหล และ เวลาที่ไหลผ่าน (residence time) โดยประสิทธิภาพของการแยกเป็นฟังก์ชันของความเร็วการไหล และ เวลาที่ไหลผ่าน (residence time) กล่าวคือความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้นเวลาที่ไหลผ่านจะลดลง และพบว่าขนาดของอนุภาคอิมัลชันจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อความเร็วการไหลของอนุภาคลดลง เวลาที่ไหลผ่านบนตัวกลางชนิดแผ่นนาน และประสิทธิภาพของการแยกตัวของน้ำมันจะสูงที่สุด และได้อ้างอิงคำอธิบายปรากฏการณ์จาก Yoshihito Okubo ไว้ดังนี้

Yoshihito Okubo และคณะ(2004) ศึกษากลไกการทำงานของตัวกลางชนิดแผ่น (Plate coalescer) ที่ทำจากแก้วและพลาสติกพีทีเอฟอี (PTFE) ได้อธิบายผลในกรณีที่ ขนาดของอนุภาคเล็กกว่าช่องว่างของตัวกลางชนิดแผ่น พบว่าอนุภาคอาจเกิดการรวมตัวกันเองได้แต่จะไม่ได้รับผลการรวมของตัวกลางชนิดแผ่นแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะอนุภาคอิมัลชันที่มีขนาดเล็กไหลอยู่ระหว่างวัสดุที่เป็นตัวกลางชนิดแผ่น (Yoshihito, Masaaki, Hiroshi, Taisuke, and Kazuhiro, 2004 : 45.)

T. Krebs และคณะ (2013) ทำการศึกษาปรากฏการณ์การรวมตัว (Coalescence) ของอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ซึ่งได้แสดงภาพถ่ายปรากฏการณ์การรวมตัว และได้อธิบายไว้ว่าอนุภาคอิมัลชันติดกับผิวของผนังท่อและเกิดการรวมตัวกับอนุภาคถัดไป ทำให้ขนาดเฉลี่ยของหยดเพิ่มขึ้น การศึกษานี้ทำที่การไหลในช่วงราบเรียบ ที่อนุภาคอิมัลชันติดกับผนังท่อเนื่องจากการดูดซับของแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic) แสดงดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงปรากฏการณ์การรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันน้ำมันในน้ำเนื่องจากตัวกลางชนิดแผ่น (Krebs, Schron, and Boom, 2013 : 330.)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นดังนี้ ความสามารถในการทำลายอิมัลชันไบโอดีเซลในน้ำของเมื่อไหลในท่อแยกเปล่าดีกว่าการทำลายอิมัลชันโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากผนังของท่อแยก ประพฤติตัวเป็นตัวกลางทำหน้าที่ในการรวมอนุภาคอิมัลชัน และเกิดฟิล์มน้ำมันบนผนังของท่อแยก อนุภาคอิมัลชันบางส่วนเคลื่อนที่ใกล้กับผนังท่อแยกชนและเกาะอยู่บนผนังท่อแยก ซึ่งมีลักษณะเหมือนแบบตัวกลางชนิดแผ่น (Single plate coalescer) โดยผลของความเร็วการไหลเพิ่มขึ้น เวลาที่ไหลในท่อแยกจะลดลงทำให้อนุภาคอิมัลชันบางส่วนไม่ได้รับผลของผนังท่อแยก และทำให้ผลของการทำลายอิมัลชันลดลง และเมื่อความเร็วการไหลของอนุภาคลดลง เวลาที่ไหลในท่อแยกนานขึ้น และความสามารถในการแยกของน้ำมันจะสูงที่สุด

#### 4.4 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไพลอน

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไพลอน การทดลองทำโดยป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เข้าหอแยกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ที่ภายในบรรจุด้วยตัวกลางเส้นใยไพลอน ที่ความหนาแน่น  $1 \times 10^{-4}$  กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความเร็วการไหลของอิมัลชันที่ 0.95, 2.30 และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที และความสูงของหอแยกที่ 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร โดยการทดลองจะดำเนินไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งการทดลองจะหยุดลงเมื่อได้ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างมีค่าคงที่อย่างน้อย 3 ครั้ง ในระหว่างการทดลองสามารถสังเกตเห็นการเกิดหยดน้ำมันลอยอยู่บนผิวของตัวอย่างที่ออกมาจากหอแยก ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างส่วนที่เป็นอิมัลชันมาวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณน้ำมันหายไป ซึ่งสอดคล้องกับการพบหยดน้ำมันแยกตัวออกมา ตัวอย่างของผลของการทดลองแสดงตารางที่ 4.5

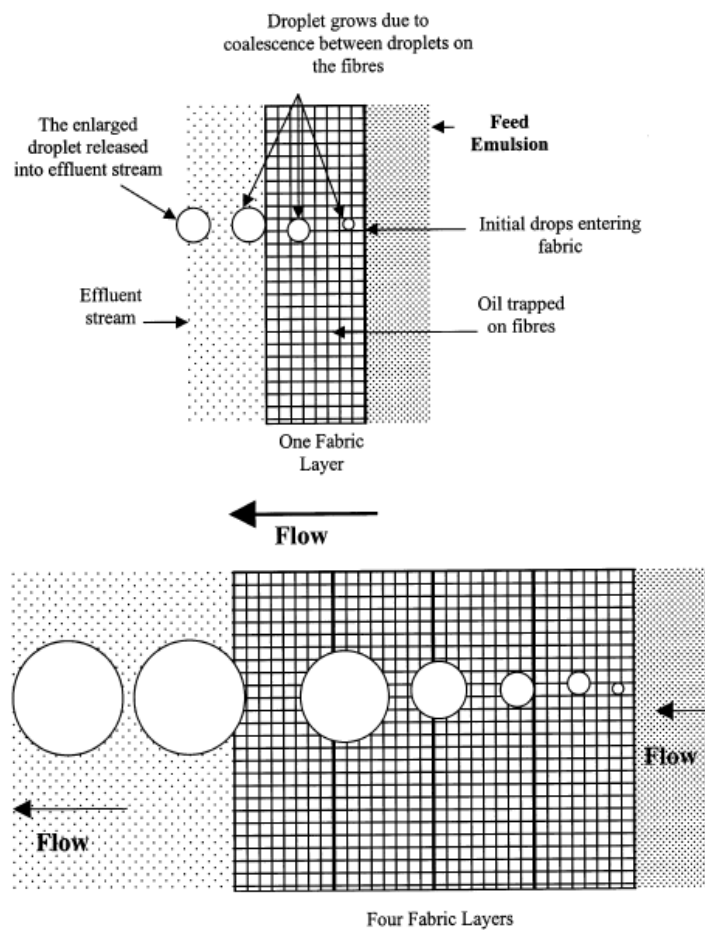
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไพลอนในแต่ละการทดลอง

ความเร็วของการไหล (มิลลิเมตร/วินาที)	ความสูงของหอ (มิลลิเมตร)	ร้อยละความสามารถในการแยกน้ำมัน
0.95	400	6.10
	800	7.69
	1,200	10.88
2.30	400	5.13
	800	7.44
	1,200	10.90
4.85	400	7.09
	800	8.30
	1,200	11.65

เมื่อทำการทดลองโดยการป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำเข้าสู่หอแยกแนวตั้งที่บรรจุด้วยเส้นใยไพลอน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิมัลชันหลังจากผ่านหอแยกออกมานั้น มีชั้นของน้ำมันลอยอยู่บนผิวหน้าของของเหลว ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันอิมัลชันในน้ำ (ของเหลวสีขาวขุ่น) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันในรูปของอิมัลชันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการพบของชั้นน้ำมันที่แยกตัวลอยอยู่บนผิวของของเหลว และสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ อนุภาคอิมัลชันจะชนและเคลือบตัวอยู่บนผิวเส้นใย และเมื่อเวลาผ่านไปการชนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการรวมตัวที่ผิวของเส้นใยเป็นหยดน้ำมัน และเมื่อหยดน้ำมันมี

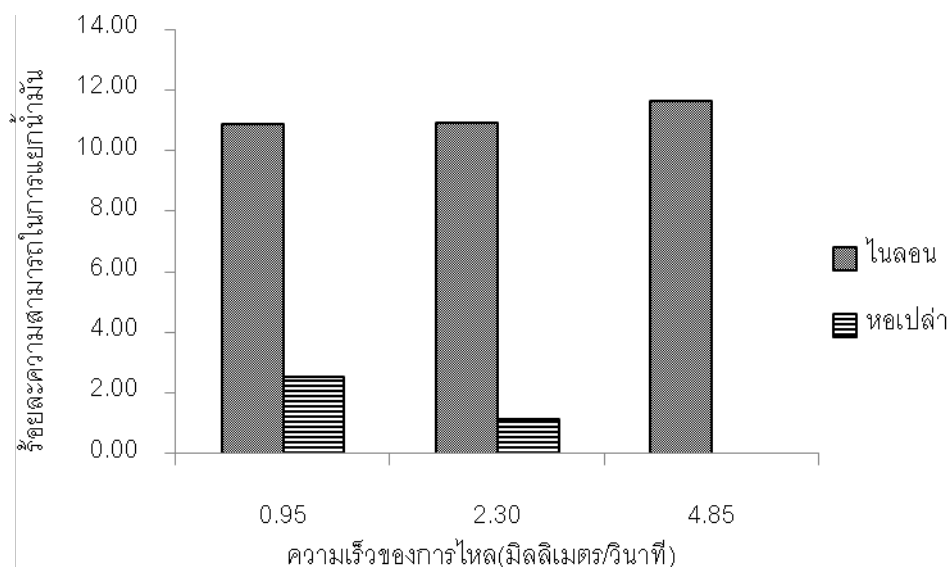
ขนาดที่ใหญ่ขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงที่กระทำระหว่างผิวของตัวกลางได้ หยดน้ำมันจะแยกตัวออกมาจากตัวกลางและน้ำมันจะแยกชั้นกับน้ำ ของเหลวที่ออกมาจากหอแยกจะมีน้ำมันอยู่ในสองลักษณะ คือ น้ำมันที่แยกออกจากน้ำลอยอยู่ที่ผิวของของเหลว และอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ปรากฏการณ์นี้เป็นไปตามทฤษฎีของกระบวนการโคเอเลสเซอร์

ซึ่ง Briscoe(2000) ได้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวไว้ดังรูปที่ 4.7 อนุภาคอิมัลชันเมื่อผ่านเส้นใยจะชนและเกาะอยู่บนผิวเส้นใยและสะสมจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำมันและผิวของเส้นใย หยดน้ำมันจะหลุดและแยกชั้นกับน้ำ ปริมาณอิมัลชันในของเหลวจะลดลง



รูปที่ 4.7 แสดงกลไกการทำงานของกระบวนการการโคเอเลสเซอร์โดยอาศัยตัวกลางเส้นใย ซึ่งได้อธิบายไว้โดย Briscoe(2000) (Biscoe, Luckham, Jayarajah, and Akeju, 2000 : 160)

#### 4.4.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน



รูปที่ 4.8 แสดงผลความเร็วการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยไนลอนและหอยเป่าที่ความสูงของหอยแยก 1,200 มิลลิเมตร

ผลของความเร็วการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำของตัวกลางเส้นใยไนลอนที่ความสูงของหอยแยก 1,200 มิลลิเมตร (แสดงดังรูปที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไนลอนมีความสามารถในการทำลายอิมัลชันได้ และทำลายความเป็นอิมัลชันดีกว่าผลที่เกิดขึ้นในหอยเป่า โดยผลความเร็วของการไหลเมื่อเพิ่มขึ้น จำนวนร้อยละน้ำมันที่แยกได้จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งผลดังกล่าวมีทิศทางตรงกันข้ามกับผลของความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของหอยเป่า ซึ่งได้มีคำอธิบายไว้ดังนี้

H. MOAZED และ T. VIRARAGHAVAN (2000) ได้ศึกษาตัวกรองโคเอเลสเซนซ์ (Coalescence filter) ของสารประกอบออร์แกนโนคลย์แอนทาไซต์ (Granular organo-clay/Anthracite mixture) กับอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ได้มีการอธิบายผลของความเร็วของการไหลไว้ว่า ความเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเฉลี่ยของปริมาตรของของเหลวที่ผ่านตัวกลางต่อปริมาตรตัวกลาง (Hold up value) มีค่าสูงซึ่งหมายถึงของเหลวผ่านตัวกลางมากขึ้นประสิทธิภาพการรวมตัวจึงเพิ่มขึ้น

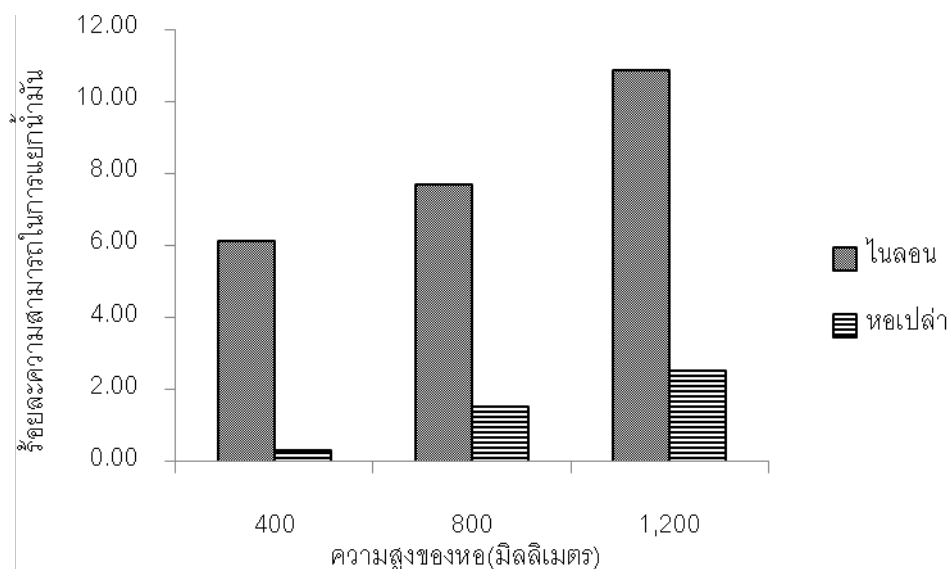
Jingquan และ Yongan (2004) ได้ทำการศึกษาการรวม (Coalescence) ของอิมัลชันที่เป็นแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งมีการศึกษาตัวกลางที่แตกต่างกันสามชนิด คือ เส้นใยโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) และเส้นใยไนลอน (Nylon) ในการศึกษาสนใจในผลอัตราการไหลที่มีต่อการแยก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวเกิดเนื่องจากเมื่อความเร็วมากขึ้น

ผลของ 3 กระบวนการคือ การที่อนุภาคชน รวมตัวบนเส้นใย และแยกตัวออกจากเส้นใย ก็จะมีมากขึ้นตาม และส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้น

และสอดคล้องกับคำอธิบายของ กิตติภณ วิวัฒนาภู (2548) ที่ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชัน ร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยแบบต่อเนื่อง และมีการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิด คือเส้นใยปาล์ม เส้นใยไนลอน และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วการไหล จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้น ได้อธิบายผลดังกล่าวไว้ว่า กระบวนการการรวมโดยมีเส้นใยเป็นตัวกลาง จะเกิดผ่านกระบวนการแรกคือ อนุภาคอิมัลชันเข้าใกล้ตัวกลางเส้นใย (Approach) ความเร็วของอนุภาคเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้จำนวนของอนุภาคอิมัลชันเข้าใกล้ตัวกลางเส้นใยจำนวนมากขึ้น และเกิดการชนกับผิวตัวกลางมากขึ้น (Attached) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถอธิบายผลความเร็วการไหลของอิมัลชันที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ดังนี้ ความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้จำนวนร้อยละน้ำมันที่แยกได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วเพิ่มขึ้น ผลของ 3 กระบวนการคือ การที่อนุภาคชน รวมตัวบนเส้นใย และแยกตัวออกจากเส้นใย จะเกิดมากขึ้นตาม และส่งผลให้ความสามารถในการการแยกเพิ่มขึ้น

#### 4.4.2 ผลของความสูงของหอแยก



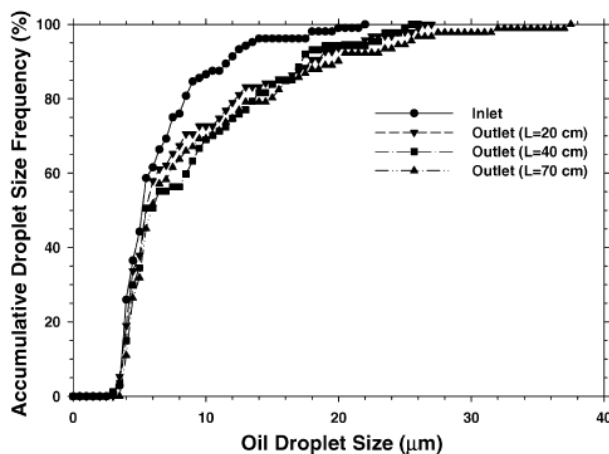
รูปที่ 4.9 แสดงผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยไนลอนกับหอแยกเปล่าที่ความเร็วของการไหลที่ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที

ผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยไนลอน (แสดงในรูปที่ 4.9) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความสูงของตัวกลางเพิ่มขึ้น จำนวนร้อยละน้ำมันที่แยกได้จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับผลกับความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของหอแยกเปล่าพบว่ามีความโน้มในทิศทางเดียวกัน

กิตติภณ วิวัฒน์นกรู (2548) ได้ทำการทดลองเพื่อทำลายอิมัลชันร้อยละ 1.0 ของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำ โดยอาศัยตัวกลางเส้นใยแบบต่อเนื่อง ทำการทดลองกับเส้นใย 3 ชนิดคือเส้นใยปาล์ม เส้นใยไนลอนและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของหอแยก จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้น และจากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า ผลของความสูงของหอแยกที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาการไหลผ่านของอิมัลชันในหอตัวกลางเพิ่มขึ้น (Residence time เพิ่มขึ้น) ทำให้หยดน้ำมันมีโอกาสรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากสัมผัสกับผิวตัวกลางนานขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น

Jingquan และ Yongan (2004) ได้ทำการศึกษาการรวม (Coalescence) ของอิมัลชันที่เป็นแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งมีการศึกษาตัวกลางที่แตกต่างกันสามชนิด คือ เส้นใยพอลิโพรพิลีน (Polypropylene) และเส้นใยไนลอน (Nylon) ศึกษาตัวแปรความยาวของตัวกลาง (Bed length) กับขนาดของอนุภาคอิมัลชัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความยาวของตัวกลางที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดอนุภาคอิมัลชันที่มีขนาดเล็กมีจำนวนลดลงเมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคอิมัลชันที่เท่ากันก่อนทำการทดลอง เช่น ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดที่ออกจาก

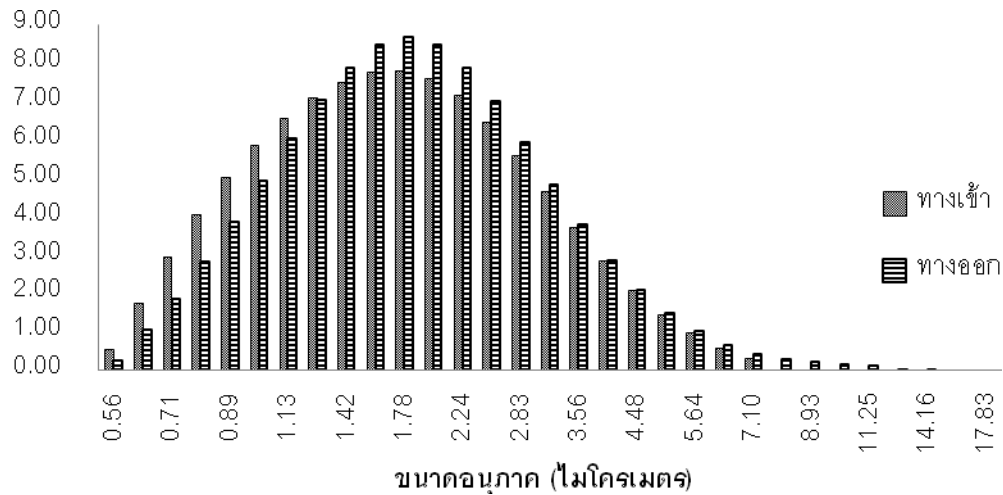
ตัวกลางยาว 70 เซนติเมตรมีค่าเท่ากับ 38 ไมโครเมตร ในขณะที่ขนาดอนุภาคก่อนเข้าตัวกลางมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดมีค่าเท่ากับ 22 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองของ Jingquan และ Yongan (2004) แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคอิมัลชันเปรียบเทียบกับจำนวนที่พบในแต่ละความยาวของตัวกลาง (Jingquan, and Yongan, 2004 : 10)

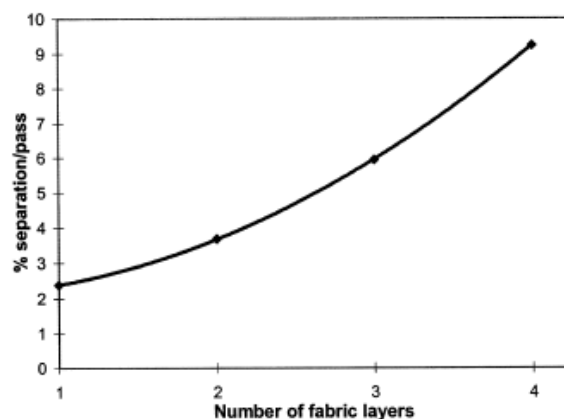
ผลการทดลองของ Jingquan และ Yongan (2004) สามารถสนับสนุนผลการทดลองของขนาดของอนุภาคอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านหอแยกมาแล้ว รูปที่ 4.11 แสดงขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่ทางเข้าหอแยกเปรียบเทียบกับขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันที่ทางออกของหอแยกภายในบรรจุตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน ที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอิมัลชันที่ทางเข้าเท่ากับ 1.811 ไมโครเมตร และวัดเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ทางออกเท่ากับ 2.163 ไมโครเมตร และแนวโน้มการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้น ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดการชนและรวมตัวกันของอนุภาคอิมัลชัน จึงทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น





รูปที่ 4.11 แสดงผลขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันไบโอดีเซลที่ทางเข้าหอแยกเปรียบเทียบกับขนาดการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันที่ทางออกของหอแยกที่ความสูง 1,200 มิลลิเมตร

Briscoe และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาการแยกตัวของอิมัลชันของน้ำมัน (di-n-butyl phthalate) กับน้ำ โดยเส้นใยเคฟลา (Kevlar) ที่ความหนาของชั้นเส้นใยถัก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหนาของชั้นเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกตัวของอิมัลชันของน้ำมันสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.12 และได้อธิบายปรากฏการณ์ไว้ว่า อนุภาคอิมัลชันเมื่อผ่านเส้นใยจะชนและเกาะอยู่บนผิวเส้นใยและสะสมจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำมันและผิวของเส้นใย หยดน้ำมันจะหลุดและแยกชั้นกับน้ำ ปริมาณอิมัลชันในของเหลวจะลดลงลง ผลของพื้นที่ผิวที่ให้อนุภาคอิมัลชันเกาะเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการแยกตัวของอิมัลชันในการวิจัยของ Briscoe เปรียบเทียบกับจำนวนเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (Briscoe, Luckham, Jayarajah, and Akeju, 2000 : 161)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถอธิบายผลของความสูงของหอแยกที่เกิดขึ้นในการทดลองดังนี้ การเพิ่มความสูงของหอแยก จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้นเนื่องจาก พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวกลางและอิมัลชันมีมากขึ้น อนุภาคอิมัลชันเมื่อผ่านเส้นใยจะชนและเกาะอยู่บนผิวเส้นใยจึงมากขึ้น และสะสมจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำมันและผิวของเส้นใย หยดน้ำมันจะหลุดและแยกชั้นกับน้ำ

#### 4.5 การทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยพอลิโพรพิลีน

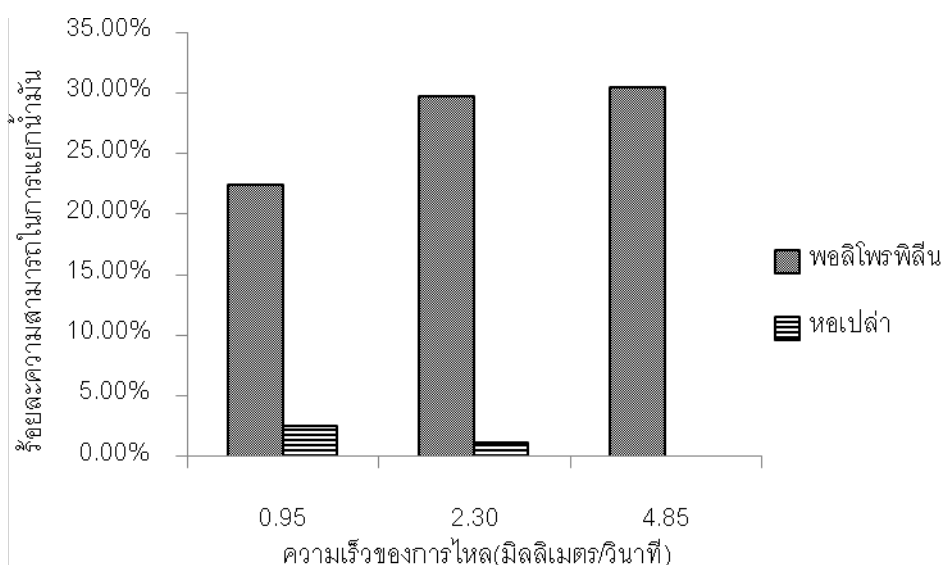
การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน การทดลองทำโดยป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเข้าสู่หอแยกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ที่ภายในบรรจุด้วยตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน ที่ความหนา  $1 \times 10^{-4}$  กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความเร็วการไหลของอิมัลชันที่ 0.95, 2.30 และ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที และความสูงของหอแยกที่ 400, 800 และ 1,200 มิลลิเมตร โดยการทดลองจะดำเนินไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งการทดลองจะหยุดลงเมื่อได้ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างมีค่าคงที่อย่างน้อย 3 ครั้ง ในระหว่างการทดลองสามารถสังเกตเห็นการเกิดหยดน้ำมันลอยอยู่บนผิวของตัวอย่างที่ออกมาจากหอแยก ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างส่วนที่เป็นอิมัลชันมาวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำมันหายไป ซึ่งสอดคล้องกับการพบหยดน้ำมันแยกตัวออกมา ตัวอย่างของผลของการทดลองแสดงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนในแต่ละการทดลอง

ความเร็วของการไหล (มิลลิเมตร/วินาที)	ความสูงของหอ (มิลลิเมตร)	ร้อยละความสามารถในการแยกน้ำมัน
0.95	400	12.61
	800	15.08
	1,200	22.36
2.30	400	15.84
	800	21.05
	1,200	29.66
4.85	400	17.96
	800	21.42
	1,200	30.40

ทำการทดลองโดยป้อนอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำเข้าสู่หอแยกแนวตั้งที่บรรจุด้วยเส้นใยพอลิโพรพิลีน พบว่าของเหลวอิมัลชันหลังจากผ่านหอแยกออกมา มีชั้นของน้ำมันลอยอยู่บนผิวหน้าของเหลว ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันอิมัลชันในน้ำ (ของเหลวสีขาวขุ่น) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันในรูปของอิมัลชันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการพบของชั้นน้ำมันที่แยกลอยอยู่บนผิวของของเหลว ลักษณะดังกล่าวเป็นผลเช่นเดียวกับผลของเส้นใยในลอนและได้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นไว้ในหัวข้อที่ 4.4 แล้ว

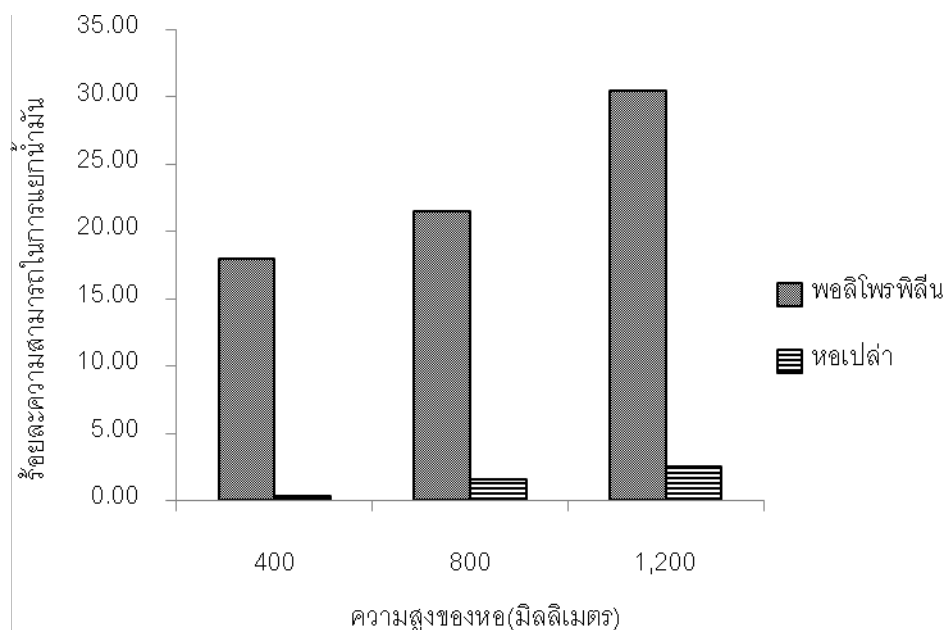
#### 4.5.1 ผลของความเร็วการไหลของอิมัลชัน



รูปที่ 4.13 แสดงผลความเร็วของการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนกับหอแยกเปล่า ที่ความสูงของหอแยก 1,200 มิลลิเมตร

ผลของความเร็วการไหลที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำของตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน (ดังแสดงในรูปที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่าตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการทำลายอิมัลชันได้ และทำลายอิมัลชันได้ดีกว่าการทำลายความเป็นอิมัลชันในหอแยกเปล่า โดยความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้น จำนวนร้อยละน้ำมันที่แยกได้จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งผลดังกล่าวมีทิศทางตรงกันข้ามกับผลของความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของหอแยกเปล่า ผลดังกล่าวสอดคล้องและเป็นในทิศทางเดียวกับผลที่เกิดขึ้นกับเส้นใยในลอนในหัวข้อที่ 4.4.1 ซึ่งได้อธิบายปรากฏการณ์และเหตุผลไว้แล้ว

#### 4.5.2 ผลของความสูงของหอแยก

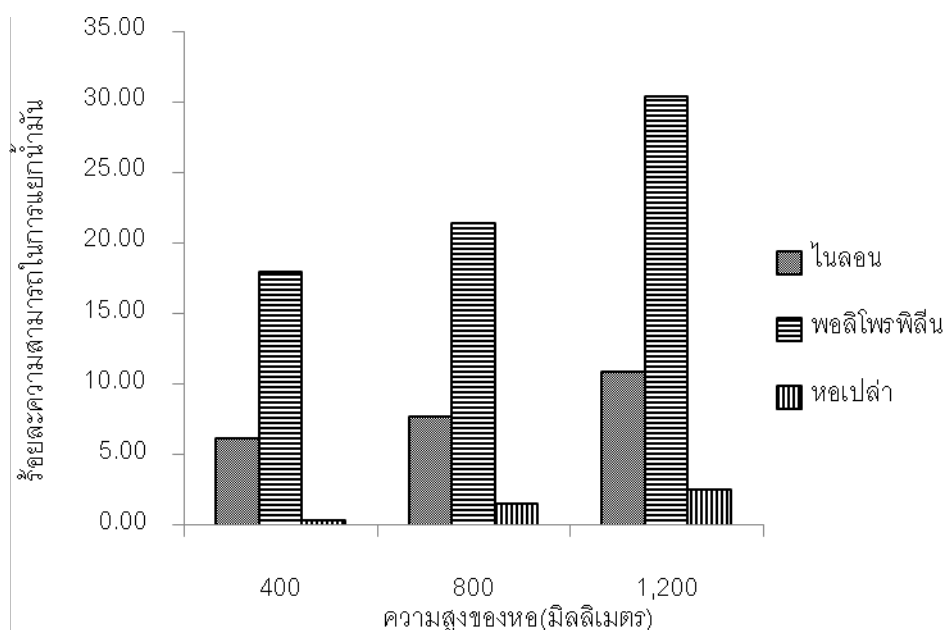


รูปที่ 4.14 แสดงผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีนกับหอแยกเปล่าที่ความเร็วการไหลที่ 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที

ผลความสูงของตัวกลางที่มีต่อความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน (ดังแสดงในรูปที่ 4.14) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความสูงของตัวกลางที่เพิ่มขึ้นจำนวนร้อยละน้ำมันที่แยกได้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการทำลายความเป็นอิมัลชันของหอแยกเปล่า จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ผลดังกล่าวสอดคล้องและเป็นในทิศทางเดียวกับผลที่เกิดขึ้นกับเส้นใยไนลอนในหัวข้อที่ 4.4.2 ซึ่งได้อธิบายปรากฏการณ์และเหตุผลไว้แล้ว

#### 4.6 ผลของชนิดตัวกลางที่มีต่อการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำ

หัวข้อนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของชนิดของตัวกลางเส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่มีต่อการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำ



รูปที่ 4.15 แสดงผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยตัวกลางเส้นใยแต่ละชนิดที่ความเร็วการไหลแต่ละค่า ที่ความสูงของหอแยก 1,200 มิลลิเมตร

ผลการทำลายความเป็นอิมัลชันโดยตัวกลางเส้นใยแต่ละชนิดที่ความเร็วการไหลแต่ละค่า (ดังแสดงในรูปที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่าตัวกลางสามารถทำลายความเป็นอิมัลชันได้ และเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการทำลายอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำได้ดีกว่าเส้นใยไนลอน โดยเมื่อความเร็วการไหลเพิ่มขึ้นทำให้ผลของการทำลายอิมัลชันของไบโอดีเซลในน้ำเพิ่มขึ้น

เส้นใยทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลอง นำมาทดสอบความสามารถในการซับน้ำมัน (Wettability) โดยการชั่งน้ำหนักของตัวกลางก่อนซับน้ำมันหรือน้ำ แล้วจึงนำไปจุ่มน้ำมันหรือน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักของตัวกลางเส้นใยหลังซับน้ำมันหรือน้ำ นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการซับน้ำมันและน้ำของตัวกลางเส้นใยจากสมการที่ 4.3

$$\text{ความสามารถในการซึบน้ำมัน} = \frac{(W_{\text{oil}}/W_{\text{medium}})}{(W_{\text{water}}/W_{\text{medium}})} \quad 4.3$$

เมื่อ  $W_{\text{oil}}$  = น้ำหนักของเส้นใยที่ซึบน้ำมัน

$W_{\text{water}}$  = น้ำหนักของเส้นใยที่ซึบน้ำ

$W_{\text{medium}}$  = น้ำหนักของเส้นใยแห้ง

ผลของความสามารถในการซึบน้ำมัน (Wettability) แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลความสามารถในการซึบน้ำมันของเส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

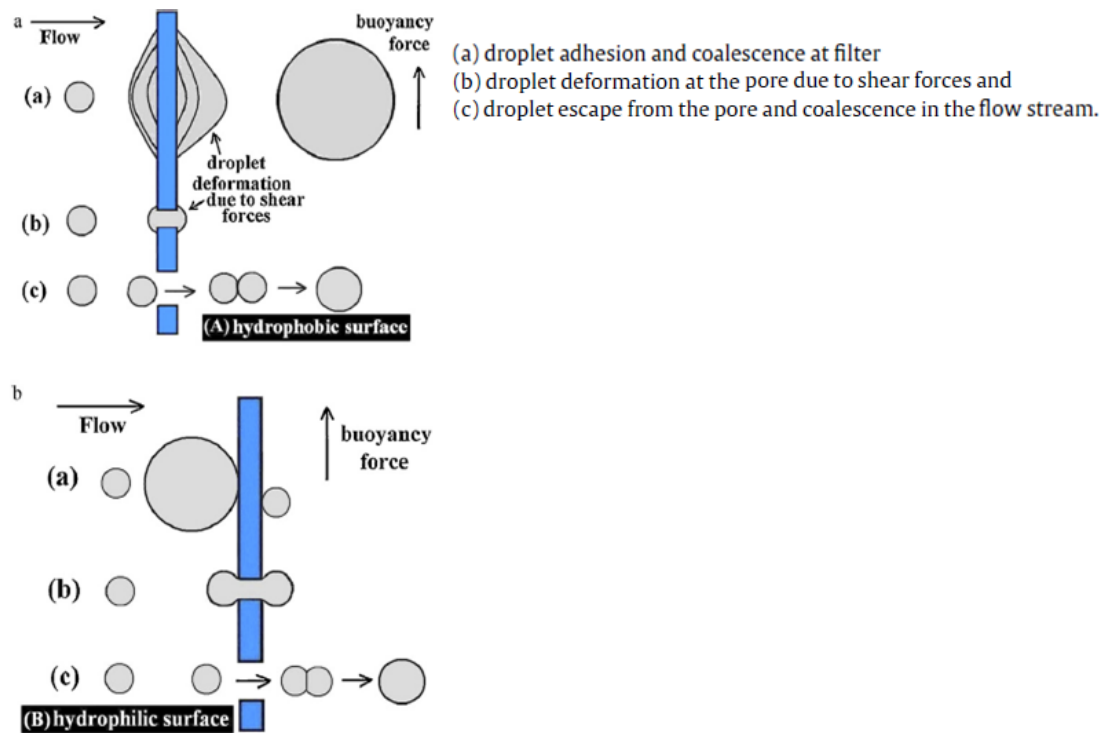
ชนิดเส้นใย	ความสามารถในการซึบน้ำมันที่ 60 องศาเซลเซียส
ไพลอน	0.78
พอลิโพรพิลีน	1.11

ผลแสดงดังตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสามารถในการซึบน้ำมันของเส้นใยไพลอนมีค่าเท่ากับ 0.78 ซึ่งแสดงถึงเส้นใยไพลอนมีความสามารถในการซึบน้ำมันน้อยกว่าน้ำเนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 1 ในขณะที่เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าเท่ากับ 1.11 ซึ่งแสดงถึงเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการซึบน้ำมันมากกว่าน้ำเนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

เนื่องจากไพลอนมีค่ามุมน้ำ (Water contact angle) เท่ากับ 70 องศา และพลังงานพื้นผิว (Surface energy) เท่ากับ 42 มิลลิวัตต์ต่อเมตร พอลิโพรพิลีนมีค่ามุมน้ำ (Water contact angle) เท่ากับ 116 องศา และพลังงานพื้นผิว (Surface energy) เท่ากับ 29 มิลลิวัตต์ต่อเมตร (Falsafi, Mangipudiy, and Owenz, 2006 : 1016) ค่าทั้งสองนี้สามารถบอกถึงลักษณะพื้นผิววัสดุได้ โดยถ้ามีค่ามุมน้ำสูงจะมีค่าพลังงานพื้นผิวดำพื้นผิวจะมีลักษณะชอบน้ำมัน (Oleophilic) ซึ่งสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.15 ได้ว่า เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าพลังงานพื้นผิวที่ต่ำกว่าเส้นใยไพลอนซึ่งทำให้ความสามารถในการซึบน้ำมันอิมัลชันของเส้นใยพอลิโพรพิลีนดีกว่าเส้นใยไพลอน ส่งผลให้เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการแยกน้ำมันอิมัลชันได้ดีกว่าเส้นใยไพลอน เมื่ออนุภาคอิมัลชันชนและก่อตัวเป็นฟิล์มบนผิวเส้นใยหนาขึ้น จนหยดน้ำมันสามารถเอาชนะแรงระหว่างหยดน้ำมันและผิวของเส้นใย การแยกชั้นจึงเกิดขึ้น

Swarna Bansal และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของเส้นใยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันในน้ำออกจากกัน โดยน้ำมันที่ใช้คือไอโซออคเทน (Isooctane) ร้อยละ 0.2 ในน้ำ คุณสมบัติที่สนใจจะศึกษาคือพลังงานพื้นผิว (Surface energy) โดยช่วงของการศึกษาคือ 14 ถึง 46 มิลลิวัตต์ต่อเมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าที่ขนาดของรูพรุน (pore size) เท่ากัน พลังงานพื้นผิว (Surface energy) ค่าน้อยจะได้ประสิทธิภาพในการแยกดีกว่า และได้อธิบายลักษณะพื้นผิวของตัวกลางดังรูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของผิวตัวกลางแบบชอบ

น้ำมัน (Hydrophobic surface) และ แบบชอบน้ำ (Hydrophilic surface) ที่มีผลกับอนุภาคอิมัลชันน้ำมัน โดยอนุภาคอิมัลชันน้ำมันจะเกาะหรือดูดซับลงบนผิวของตัวกลางที่ชอบน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับผิวตัวกลางที่ชอบน้ำจะได้ผลในทางตรงกันข้าม



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของผิวตัวกลางแบบชอบน้ำมัน (Hydrophobic surface) และ แบบชอบน้ำ (Hydrophilic surface) ที่มีผลกับอนุภาคอิมัลชัน (Bansal, Arnim, Stegmaier, and Planck, 2011 : 6)

Soumitra Maiti, I.M. Mishra, S.D. Bhattacharya, J.K. Joshi(2011) ศึกษาการแยกน้ำมันจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำโดยอาศัยเรซินโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนและไดไวนิลเบนซีน โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของอิมัลชันร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการแยกของเรซินมีมากถึงร้อยละ 89 ภายใต้สภาวะที่อัตราการไหลที่ 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร และที่ความสูง 75 มิลลิเมตร โดยสามารถอธิบายได้จากพันธะของไฮโดรเจนและแรงของไฮโดรฟิลิกซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนหลักในการทำให้เกิด แรงยึดเกาะระหว่างน้ำมันและผิวของเรซิน

WANG Shuo, QIN Wei และ DAI Youyuan(2012) ทำการศึกษาการแยกของน้ำมันอิมัลชันในน้ำโดยอาศัยตัวกลางชนิดแผ่นคู่ขนาน (Plate coalescer) ชนิดพลาสติกที่ทำการศึกษา 3 ชนิดคือ พลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) พลาสติกพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) และ ไนลอน (Nylon) การศึกษาแสดงให้เห็นว่าพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีประสิทธิภาพการแยกน้ำมันอิมัลชันที่ดีที่สุด รองลงมาคือ พลาสติก

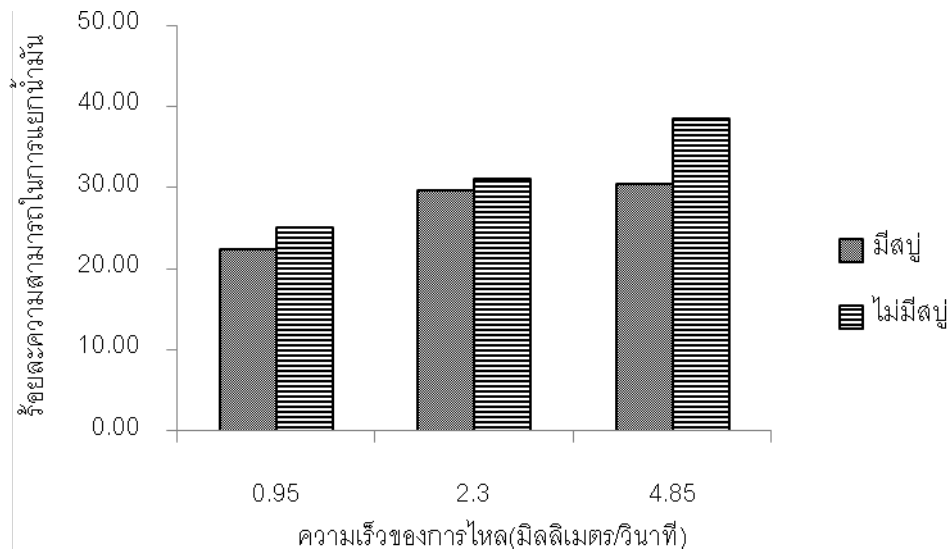
พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน และ ไนลอนตามลำดับ และเมื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (spreading coefficient) แสดงให้เห็นว่าพลาสติคพอลิโพรพิลีนมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวมากที่สุดและรองลงมาคือ พลาสติคพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน และ ไนลอนตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยได้อธิบายไว้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว ระหว่างหยดน้ำมันและผิวของแผ่นตัวกลาง ถ้ามีค่าสูงจะมีผลทำให้แรงยึดเกาะระหว่างน้ำมันกับผิวของตัวกลางมากขึ้นทำให้การแยกเกิดได้ดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถอธิบายผลของชนิดตัวกลางที่มีต่อการทำลายความเป็นอิมัลชันของน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ดังนี้ เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าพลังงานพื้นผิวที่ต่ำกว่าเส้นใยไนลอน จึงทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างตัวกลางกับหยดน้ำมันมากกว่า และทำให้ความสามารถในการจับน้ำมันอิมัลชันของเส้นใยพอลิโพรพิลีนดีกว่าเส้นใยไนลอน ส่งผลให้เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการแยกน้ำมันอิมัลชันได้ดีกว่าเส้นใยไนลอน เมื่ออนุภาคอิมัลชันชนและก่อตัวเป็นฟิล์มบนผิวเส้นใยหนาขึ้น จนหยดน้ำมันสามารถเอาชนะแรงระหว่างหยดน้ำมันและผิวของเส้นใย การแยกชั้นจึงเกิดขึ้น

#### 4.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำเสียที่ไม่มีสบู่ปนเปื้อน

การทดลองที่ผ่านมาลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้จากการเตรียมจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification Reaction) ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการล้าง เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid) ซึ่งพบว่ามีสบู่ปนเปื้อนอยู่ประมาณ 0.2% (วิธีการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระและการคำนวณ ตามวิธีมาตรฐานเลขที่ AOCS Ca 5a-40 ผลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ง.) ซึ่งการทดลองในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ผ่านมา กับน้ำเสียที่ไม่มีสบู่ปนเปื้อนอยู่





รูปที่ 4.17 แสดงผลการทำลายอิมัลชันของน้ำเสียที่มีสบู่ปนเปื้อนเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่มีสบู่ปนเปื้อนอยู่

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่ไม่มีสบู่ปนเปื้อนสามารถทำลายความเป็นอิมัลชันได้ง่ายกว่าน้ำเสียที่มีสบู่ปนเปื้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ WANG Shuo, QIN Wei และ DAI Youyuan(2012) ทำการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่มีต่อการแยกน้ำมันอิมัลชันในน้ำ โดยพบว่าผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นทำให้แยกน้ำมันอิมัลชันในน้ำลดลง เนื่องจากแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมันลดลง ส่งผลให้เกิดอิมัลชันมีเสถียรภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากกระบวนการล้างไปโอดีเซลจะมีสบู่ปนเปื้อนออกมาอยู่แล้ว สบู่เกิดขึ้นเนื่องจากกรดไขมันอิสระ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน พบว่า

1. วิธีการทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยดีกว่าการทำลายอิมัลชันด้วยแรงโน้มถ่วง
2. วัสดุที่ใช้ทำตัวกลางที่มีพลังงานพื้นผิว (Surface energy) ต่ำหรืออีกนัยหนึ่งคือมีลักษณะพื้นผิวชอบน้ำมัน (Oleophilic) สามารถทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลได้ดีกว่าวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางที่มีพลังงานสูง เช่น เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลได้ดีกว่าเส้นใยไพลอน
3. การเพิ่มขึ้นของตัวแปรความเร็วการไหล และความสูงของหอแยกส่งผลให้การทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางในเส้นใยทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น

จากสรุปผลดังกล่าว เทคโนโลยีการใช้ตัวกลางเส้นใยเพื่อทำลายความเป็นอิมัลชันได้รับการพัฒนาอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเนื่องจากไปยังอุปกรณ์ที่เรียบง่าย ใช้พลังงานต่ำ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันที่ดี ซึ่งมีความเหมาะสมกับสถานะการณ์ปัจจุบันที่มีการแข่งขันเพื่อลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต อีกทั้งยังมีการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อออกแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการจริงต่อไป

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจกงานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาการทำลายอิมัลชันน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำโดยอาศัยตัวกลางเส้นใยไพลอนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน โดยทำการศึกษาวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางและผลกระทบของตัวแปรความเร็วการไหลและความสูงของหอแยก แต่เนื่องจากขอบเขตความเร็วการไหลที่ใช้ในการวิจัยนี้อยู่ในช่วงของการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งในอนาคต

1. ควรขยายขอบเขตไปสู่ช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเพื่อเปรียบเทียบผล
2. ควรศึกษาปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของตัวกลาง

## รายการอ้างอิง

- กิตติภณ วิวัฒน์นากู. การทำลายอิมัลชันแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำโดยใช้ตัวกลางแบบเส้นใย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- ตรีธาร อัมราลิขิต. การแยกน้ำมันปาล์มดิบที่กระจายตัวอยู่ในน้ำโดยอาศัยตัวกลางช่วยทำให้เกิดการรวมตัวกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- เอนก. สภาวะอินทร์., วิรัช. ทวีปรีดา., อุดมผล. พีชนิไพบุลย์., ชัยศรี. สุขสาโรจน์. การทำลายเสถียรภาพและการลดอิมัลชันของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออะลูมิเนียม. ใน การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8, หน้า 1-9. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2552.
- ACS industries. Liquid-Liquid coalesce design manual. [Online]. 2003. Available from : <http://www.acsseparations.com/> [2011, November 14]
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., and Abdul Aziz, A. Biodiesel separation and purification : A review, Renewable Energy 36 (2011) : 437-443.
- Bansal, S., Arnim, V., Stegmaier, T., and Planck, H. Effect of fibrous filter properties on the oil-in-water-emulsion separation and filtration performance. Journal of Hazardous Materials (2011) : 1-6.
- Biscoe, B.J., Luckham, P.F., Jayarajah, J.N., and Akeju, T. Separation of Emulsions Using Fibrous Fabric. Colloids and Surfaces Journal 163 (2000) : 151-164.
- Falsafi, A., Mangipudiy, S., and Owenz, M. Surface and Interfacial Properties. Physical Properties of Polymers Handbook Second Edition 59 (2006) : 1011-1020.
- Hong, A., Fane, A.G., and Burford, R. Factors affecting membrane coalescence of stable oil-in-water emulsions. Journal of Membrane Science 222 (2003) : 19-39.
- Jingquan, L. and Yongan, G. Coalescence of oil-in-water emulsions in fibrous and granular beds. Separation and Purification Technology. (2004) 05 : 1-12.

- Kolehmainen, E., and Turunen, I. Micro-scale liquid–liquid separation in a plate-type coalesce. Chemical Engineering and Processing 46 (2007) : 834–839.
- Krebs, T., Schron, C.G.P.H., and Boom, R.M. Coalescence kinetics of oil-in-water emulsions studied with microfluidics. Fuel 106 (2013) : 327–334.
- MOAZED, H., and VIRARAGHAVAN, T. Coalescence/Filtration of an oil-in-water emulsion in a granular organo-clay/anthracite mixture bed. Water, Air, and Soil Pollution 138 (2002) : 253–270.
- Radmila, M.S.S., Dragan, D.G., and Dunja, S.S., Separation of oil in water emulsion using two coalescers of different geometry. Journal of Hazardous Materials 175 (2010) : 1001-1006.
- Radmila, M.S.S., Tatjana, J.V., and Slobodan, M.S. Effect of bed length on steady-state coalescence of oil-in-water emulsion. Separation and Purification Technology 56 (2007) : 79-84.
- Radmila, M., et al. Effect of working conditions on bed coalescence of oil-in-water emulsion using a polyurethane form bed. Industrial and Engineering Chemistry Research 36 (1997) : 4949-4953.
- Soumitra, M., Mishra, I.M., Bhattacharya, S.D., and Joshi, J.K. Removal of oil from oil-in-water emulsion using a packed bed of commercial resin. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 389 (2011) : 291-298.
- WANG, S., QIN, W., and DAI, Y. Separation of oil phase from dilute Oil/Water emulsion in confined space apparatus. SEPARATION SCIENCE AND ENGINEERING Chinese Journal of Chemical Engineering 20(2) (2012) : 239-245.
- Wikipedia. Emulsion [Online]. Available from : <http://en.wikipedia.org/wiki/Emulsion/> [2011, November 14]
- Yoshihito, O., Masaaki, T., Hiroshi, U., Taisuke, M., and Kazuhiro, M. Microchannel devices for the coalescence of dispersed droplets produced for use in rapid extraction processes. Chemical Engineering Journal 101 (2004) : 39–48.

ภาคผนวก

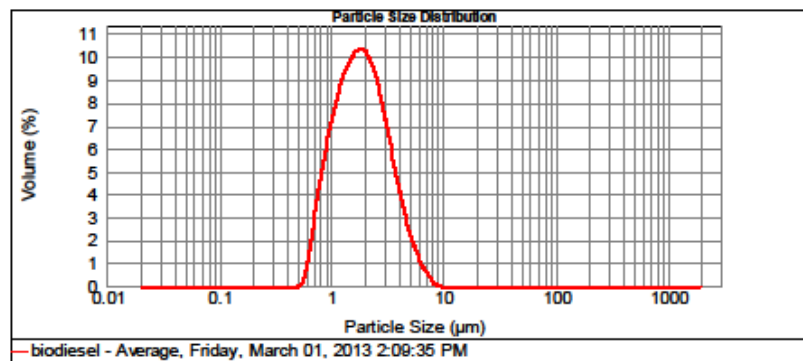
ภาคผนวก ก.

ตาราง ก-1 ผลการวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันที่เตรียมได้ ซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern)

**Result Analysis Report**

<b>Sample Name:</b> biodiesel - Average	<b>SOP Name:</b>	<b>Measured:</b> Friday, March 01, 2013 2:09:35 PM	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Factory - scale box	<b>Measured by:</b> Defult	<b>Analysed:</b> Friday, March 01, 2013 2:09:35 PM	
<b>Sample bulk lot ref:</b>	<b>Result Source:</b> Averaged		
<b>Particle Name:</b> biodiesel	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000MU (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.430	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 5.79 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 1.456 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0024 %Vol	<b>Span :</b> 1.572	<b>Uniformity:</b> 0.494	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific surface area :</b> 4.3 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 1.603 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 2.124 um	

d(0.1): 0.911 um      d(0.5): 1.811 um      d(0.9): 3.759 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.032	5.95	7.096	0.31	50.239	355.659	0.00	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	6.54	7.962	0.07	56.368	390.052	0.00	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	7.09	8.634	0.00	63.248	447.744	0.00	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.418	7.70	10.024	0.00	70.963	502.377	0.00	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	7.40	11.247	0.00	79.621	563.677	0.00	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	7.73	12.619	0.00	89.337	632.458	0.00	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	7.77	14.159	0.00	100.257	708.627	0.00	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	7.58	15.867	0.00	112.488	796.214	0.00	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	7.14	17.825	0.00	126.191	893.387	0.00	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	6.45	20.000	0.00	141.589	1002.374	0.00	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	5.59	22.440	0.00	158.868	1124.683	0.00	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	4.85	25.179	0.00	178.250	1261.915	0.00	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	3.89	28.251	0.00	200.000	1415.552	0.00	0.00
0.089	0.00	0.632	0.54	4.477	2.82	31.698	0.00	224.404	1588.659	0.00	0.00
0.100	0.00	0.710	2.94	5.024	1.44	35.988	0.00	251.795	1782.502	0.00	0.00
0.112	0.00	0.796	4.02	5.637	0.95	39.905	0.00	282.508	2000.000	0.00	0.00
0.126	0.00	0.893	5.00	6.325	0.57	44.774	0.00	316.979		0.00	0.00
0.142	0.00	1.002		7.096	0.31	50.239	0.00	355.659		0.00	0.00

Operator notes:

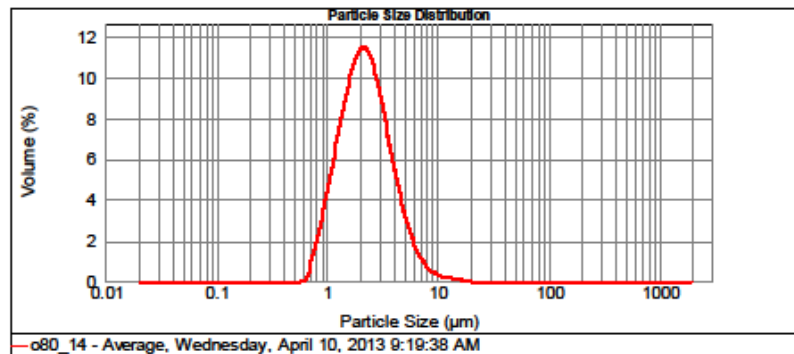
ภาคผนวก ก.

ตาราง ก-2 ผลการวัดขนาดอนุภาคอีมีลชันที่ทางออกของหอแยกภายในบรรจุตัวกลางเส้นใยพอลิโพรพิลีน ที่ ความสูง 1,200 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 4.85 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องวัดอนุภาค Mastersizer 2000 (Malvern)

**Result Analysis Report**

<b>Sample Name:</b> o80_14 - Average	<b>SOP Name:</b>	<b>Measured:</b> Wednesday, April 10, 2013 9:19:38 AM	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Factory - scale box	<b>Measured by:</b> Default	<b>Analysed:</b> Wednesday, April 10, 2013 9:19:39 AM	
<b>Sample bulk lot ref:</b>	<b>Result Source:</b> Averaged		
<b>Particle Name:</b> palm oil	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000MU (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.458	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obecuration:</b> 5.25 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 1.094 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0016 %Vol	<b>Span :</b> 1.502	<b>Uniformity:</b> 0.489	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific surface area :</b> 3.09 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 1.940 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 2.560 um	

d(0.1): 1.130 um      d(0.5): 2.163 um      d(0.9): 4.380 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.032	3.98	7.098	0.95	50.238	0.00	395.698	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	4.93	7.982	0.42	56.368	0.00	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	4.93	8.934	0.28	63.248	0.00	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.418	6.02	10.024	0.20	70.983	0.00	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	7.02	11.247	0.20	79.821	0.00	563.877	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	7.87	12.619	0.14	86.337	0.00	632.486	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	8.45	14.159	0.10	100.237	0.00	708.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	8.98	15.887	0.08	112.488	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	8.47	17.825	0.04	126.191	0.00	893.387	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	7.98	20.000	0.00	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	6.99	22.440	0.00	158.898	0.00	1124.883	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	5.94	25.179	0.00	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	4.82	28.251	0.00	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	3.78	31.698	0.00	224.404	0.00	1588.698	0.00
0.100	0.00	0.710	0.25	5.024	2.88	35.988	0.00	251.795	0.00	1792.502	0.00
0.112	0.00	0.798	1.04	5.637	2.09	39.905	0.00	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	1.85	6.325	1.48	44.774	0.00	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	2.81	7.098	1.00	50.238	0.00	355.698	0.00		

Operator notes:

## ภาคผนวก ข.

ตาราง ข-1 ผลการทดลองการทำลายอิมัลชันไบโอดีเซลในน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการล้าง โดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไนลอนและเส้นใยโพลีโพรพิลีน (มีสบู่น้ำมันอยู่ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก)

Media type	Velocity (mm/sec)	Column height (mm)	1st sampling	2nd sampling	3rd sampling	Oil removal (%)
Nylon fiber	0.95 mm/sec	400	5.80	6.40	6.10	6.10%
		800	8.10	7.90	7.07	7.69%
		1,200	11.05	10.70	10.90	10.88%
	2.30 mm/sec	400	4.89	5.29	5.20	5.13%
		800	7.52	7.30	7.50	7.44%
		1,200	10.11	11.50	11.08	10.90%
	4.85 mm/sec	400	7.24	7.73	6.30	7.09%
		800	7.89	8.28	8.73	8.30%
		1,200	11.33	11.26	12.36	11.65%
Polypropylene fiber	0.95 mm/sec	400	11.78	13.01	13.05	12.61%
		800	14.90	16.15	14.20	15.08%
		1,200	21.80	22.53	22.75	22.36%
	2.30 mm/sec	400	16.73	14.69	16.09	15.84%
		800	21.97	21.19	19.99	21.05%
		1,200	29.20	29.55	30.24	29.66%
	4.85 mm/sec	400	17.61	18.31	17.96	17.96%
		800	20.66	22.18	21.42	21.42%
		1,200	29.46	31.34	30.40	30.40%



## ภาคผนวก ข.

ตาราง ข-2 ผลการทดลองการทำลายอิมัลชันไฮโดรคาร์บอนในน้ำที่ผ่านกระบวนการล้าง โดยอาศัยตัวกลางแบบเส้นใยไนลอนและเส้นใยโพลีโพรพิลีน (ไม่มีสบู่นปนเปื้อนอยู่)

Media type	Velocity (mm/sec)	Column height (mm)	1st sampling	2nd sampling	3rd sampling	Oil removal (%)
Nylon fiber	0.95 mm/sec	400	6.29%	7.64%	10.23%	8.06%
		800	7.03%	8.01%	9.86%	8.30%
		1,200	13.56%	12.58%	12.21%	12.78%
	2.30 mm/sec	400	10.11%	11.22%	9.99%	10.44%
		800	12.45%	10.11%	11.96%	11.51%
		1,200	13.07%	15.04%	12.76%	13.63%
	4.85 mm/sec	400	10.23%	10.97%	10.73%	10.65%
		800	13.44%	11.96%	13.44%	12.95%
		1,200	16.03%	15.29%	16.77%	16.03%
Polypropylene fiber	0.95 mm/sec	400	12.45%	13.81%	14.18%	13.48%
		800	16.77%	17.02%	18.74%	17.51%
		1,200	25.89%	24.91%	24.54%	25.11%
	2.30 mm/sec	400	16.65%	18.25%	16.65%	17.18%
		800	19.85%	19.98%	18.13%	19.32%
		1,200	32.06%	30.46%	30.76%	31.09%
	4.85 mm/sec	400	19.85%	18.37%	20.10%	19.44%
		800	31.32%	33.05%	32.68%	32.35%
		1,200	40.69%	39.33%	35.27%	38.43%

## ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณเลขเรย์โนลด์ของอนุภาคอิมัลชัน (Reynolds number of emulsion particle)

$$Re_p = \frac{\rho_L D_p u_s}{\mu} \quad \text{--- A}$$

$Re_p$  = เลขเรย์โนลด์ของอนุภาคอิมัลชัน (Reynolds number of emulsion particle)

$\rho_L$  = ความหนาแน่นของของเหลว (Density of liquid)

$D_p$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิมัลชัน (Emulsion particle diameter)

$u_s$  = ความเร็วของการไหล (Superficial velocity)

$\mu$  = ความหนืด (Viscosity)

ค่า  $\rho_L / \mu$  ของของเหลวมีค่าเท่ากับ  $= 1/\nu = 2.1 \times 10^6 \text{ s/m}^2$

ขนาดของอนุภาคอิมัลชัน ( $D_p$ ) มีค่าเท่ากับ  $= 1.8 \times 10^{-6} \text{ m}$

ความเร็วของของเหลว ( $u_s$ ) มีค่าเท่ากับ  $= 0.95 \text{ m/s}$

จาก A เลขเรย์โนลด์ของอนุภาคอิมัลชันจะมีค่าเท่ากับ  $= 2.6 \times 10^{-3}$

ตาราง ค-1 ตารางแสดงเลขเรย์โนลด์ของอนุภาคอิมัลชันในแต่ละความเร็วของการไหล

Flow rate	170	410	860	(mm <sup>3</sup> /sec)
Diameter	15	15	15	(mm)
Cross section Area	176.79	176.79	176.79	(mm <sup>2</sup> )
Velocity	0.95	2.30	4.85	mm/sec
$\rho/\mu$	2,103,704	2,103,704	2,103,704	s/m <sup>2</sup>
$\nu$	4.754E-07	4.754E-07	4.754E-07	m <sup>2</sup> /s
Re	30	73	153	
Particle diameter	1.81E-06	1.81E-06	1.81E-06	m
Re particle	3.62E-03	8.77E-03	1.85E-02	

## ภาคผนวก ง.

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์หาคกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) และการคำนวณ ตามวิธีมาตรฐานเลขที่ AOCS

Ca 5a-40

น้ำหนักไบโอดีเซลที่ชั่งได้	ปริมาตร NaOH 0.01N ที่ไตเตรตได้	Free fatty acid %
4.997 g	4.3 mL	0.22
5.005 g	4.4 mL	0.23
5.001 g	4.2 mL	0.22

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย กมลศักดิ์ เศรษฐโฆษิต เกิดเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่กรุงเทพมหานคร มีพี่น้องร่วม 3 คน เป็นบุตรชายคนโตของครอบครัว ในปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร และในปี พ.ศ. 2552 ได้ศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จ การศึกษา