



การเปรียบเทียบระบบล้างทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
Comparison of Continuous Water Washing System of Biodiesel

อโนทัย สุธีรยงประเสริฐ
Anothai Sutheerayongprasert

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบระบบล้างทำความสะอาดไปโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
ผู้เขียน นายอโนทัย สุทธิรงค์ประเสริฐ
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ธีระยุทธ หลีวีจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิฐ วิสุทธิ์เมธางกูร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิฐ วิสุทธิ์เมธางกูร)

.....กรรมการ
(ดร.นันทพันธ์ นภัทรานันท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบระบบล้างทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
ผู้เขียน	นายอโนทัย สุทธิรงค์ประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเป็นสารชะล้าง (water washing) ซึ่งได้ประยุกต์หลักการแยกสารระหว่างของเหลว 2 ชนิดด้วยสเปรย์คอลัมน์มาใช้ในการล้างไบโอดีเซล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปริมาณการใช้น้ำและเวลาในการชะล้าง ในการทดลองได้เริ่มต้นจากการหาจำนวนคอลัมน์และดำเนินการสร้างคอลัมน์ตามจำนวนที่หาได้ จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของระบบโดยทดลองเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลในแบบที่สเปรย์น้ำและไม่สเปรย์น้ำ ทั้งนี้ได้ทำการทดลองการล้างแบบกะ (batch) ร่วมด้วยเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้อ้างอิงและเปรียบเทียบกับการล้างแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองทำให้ทราบว่าต้องใช้คอลัมน์จำนวน 3 คอลัมน์ถึงจะสามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่าเป็นกลาง ($\text{pH}=7.0\pm 0.1$) โดยการล้างแบบกะใช้เวลาในการล้างทั้งหมด (total washing times) 1,285 นาที ใช้ปริมาณน้ำคิดเป็น 1.75 เท่าของไบโอดีเซล การล้างแบบต่อเนื่องด้วยอัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:1 เมื่อใช้อัตราไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง เหมาะสมกับขนาดของคอลัมน์ที่สร้างขึ้น โดยที่การล้างแบบไม่สเปรย์น้ำ (semi batch) สำหรับคอลัมน์วางตัวในแนวตั้งใช้เวลาในการชะล้าง (residence times) 10.32 นาที ใช้เวลาในการล้างทั้งหมด 34.27 นาทีและใช้ปริมาณน้ำเพียง 0.5 เท่าของไบโอดีเซล ในขณะที่คอลัมน์วางตัวในแนวราบใช้เวลาในการชะล้าง 10 นาที ใช้เวลาในการล้างทั้งหมด 110 นาทีและใช้ปริมาณน้ำ 0.75 เท่าของไบโอดีเซล ส่วนการล้างแบบสเปรย์น้ำเมื่อคอลัมน์วางตัวในแนวตั้งใช้เวลาในการชะล้าง 15.57 นาที ใช้เวลาในการล้างทั้งหมด 58.22 นาที และใช้ปริมาณน้ำคิดเป็น 2 เท่าของไบโอดีเซล ซึ่งมีค่าของเวลาในการชะล้าง เวลาในการล้างทั้งหมด และปริมาณน้ำล้างที่มากกว่าแบบไม่สเปรย์น้ำ แต่การล้างแบบไม่สเปรย์น้ำนี้มีข้อเสียที่ต้องหยุดการทำงานเพื่อปล่อยน้ำล้างทิ้งไปเมื่อทำการล้างผ่านไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Thesis Title	Comparison of Continuous Water Washing System of Biodiesel
Author	Mr.Anothai Sutheerayongprasert
Major Program	Mechanical Engineering
Academic Year	2009

ABSTRACT

The study of continuous biodiesel washing with water was performed. Liquid-Liquid extraction in spray column was used in this study. The objective was to study the water amount and time used. Numbers of column was first investigated and fabricated. Performance of the system was then tested to compare the washing with water spraying and non-spraying processes. Batch water washing was also tested in order to be the reference data with the continuous washing. It was found that 3 columns have to be used in order to make biodiesel to be neutral ($\text{pH}=7.0\pm 0.1$). For the batch process, the total washing time was 1,285 minutes and the total amount of water was 1.75 times of biodiesel. Continuous washing with biodiesel to water 1:1 and the flow rate of 10 liters per hour was suitable with the size of the designed column. The total washing time in the vertical lining column with semi-batch process was 34.27 minutes and the residence time and the water amount were 10.32 minutes and 0.5 times of biodiesel respectively. The residence time consuming in washing with columns in series was 10 minutes with the total time of 110 minutes and 0.75 times of water amount to biodiesel was consumed. The residence time for washing with water spraying in vertical lining columns consumed 15.57 minutes and the total washing time was 58.22 minutes with the amount of water was 2 times of biodiesel. The residence time, total washing time and total amount of water used were greater than non-spraying process. However the disadvantage of the non-spraying process was that operation has to be halted to drain washed water out of the column after 2 hours of washing.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านคือ รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกูร และรองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ วิสุทธิเมธางกูร ที่กรุณาให้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยรวมถึงการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร ดร.นันทพันธ์ นภัทธานันท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อคิดเห็นและ คำแนะนำที่มีประโยชน์ในการเขียนและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการประสานงาน อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและสถานที่ และ ขอขอบคุณครูช่างทุกท่าน โดยเฉพาะ คุณมนัส จำวัง และคุณนิยม พรหมรัตน์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองสเปร์ยกอลด์มัน์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนทุกท่านที่มีได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้คำแนะนำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จ สมบูรณ์ด้วยดี

อโนทัย สุธีรยงประเสริฐ

คำอุทิศ

คุณค่าทั้งหมดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขออุทิศให้ด้วยความรักแก่ บิดา มารดา พี่ชาย น้องชาย น้องสาว ตลอดจนญาติๆ มิตรสหายอันเป็นที่รักของข้าพเจ้า

อโนทัย สุธีรยงประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(14)
1 บทนำ	
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	5
2 ทฤษฎี	
2.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล	6
2.2 Liquid-Liquid Extraction	8
2.3 Liquid-Liquid Extraction in stirred towers and tanks	9
2.4 ประเภทของการทำความสะอาดไบโอดีเซล	18
2.5 การตรวจวัดความสะอาดของไบโอดีเซล	23
3 วิธีการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ทดลอง	24
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	24
3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	30
4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะ	39
4.2 การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์	44
4.3 การพัฒนาสมรรถนะการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์	53
4.4 การทดลองศึกษาศักยภาพของระบบการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 วิจัยและสรุปผล	
5.1 สรุปผล	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	
ก การล้างใบ โอติเซลแบบเคมีแบบทซ์	68
ข ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ทดลอง	78
ค แบบที่ใช้หาจำนวนสเปิร์มคอลลัมน์	82
ง แบบสเปิร์มคอลลัมน์วางตัวในแนวระดับ	87
จ แบบสเปิร์มคอลลัมน์วางตัวในแนวตั้ง	91
ฉ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	96
ประวัติผู้เขียน	107

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อเสียของเครื่องแยกสารแต่ละประเภท	18
2.2	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549	22
4.1	เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลโดยการสเปรย์น้ำร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศ เมื่อใช้น้ำปริมาณที่ต่างกัน	42
5.1	การเปรียบเทียบผลการล้างไบโอดีเซลในแบบต่างๆ	63

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	7
2.2	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	8
2.3	Extraction flow sheet for an extractor column	8
2.4	การแยกสารแบบต่อเนื่องของ Holland และ Chapman	11
2.5	แสดงเครื่องสกัดแยกของ Holley และ Mott	11
2.6	เครื่องสกัดแยกแบบสเปรย์คอลัมน์ของ Seader และ Henley	12
2.7	การไหลผ่านวัสดุบรรจุแบบโครงสร้าง	13
2.8	วัสดุบรรจุทั่วไป	14
2.9	เครื่องสกัดแยกของ Reman และ Olney	15
2.10	เครื่องสกัดแยกของ Oldshue และ Rushton	16
2.11	เครื่องสกัดแยกของ Scheibel	17
3.1	ชุดผลิตไบโอดีเซลแบบกะ ME_PSU100B	26
3.2	คอลัมน์ที่ใช้ในการหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์	27
3.3	ชุดทดลองสเปรย์คอลัมน์ภายหลังการหาจำนวนคอลัมน์	27
3.4	สเปรย์คอลัมน์แบบ 3 คอลัมน์วางตัวในแนวตั้งผลิตจากท่อพีวีซี	28
3.5	ปั้มน้ำและปั้มไบโอดีเซล	29
3.6	Flow meter สำหรับวัดอัตราไหล	29
3.7	เครื่องไตเตรทอัตโนมัติสำหรับวัดค่า pH	30
3.8	นาฬิกาจับเวลา	30
3.9	ลำดับการทำวิจัย	32
3.10	วิธีการล้างไบโอดีเซลในแบบกะ	34
3.11	วิธีการหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์	35
3.12	วิธีการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:2; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.9 และน้ำเท่ากับ 7.0	39
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:1; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.2 และน้ำเท่ากับ 7.0	39
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:0.5; โดยค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.3 และน้ำเท่ากับ 7.1	40
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:0.25; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.7 และน้ำเท่ากับ 7.6	40
4.5	ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25	41
4.6	ค่า pH ของน้ำหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25	42
4.7	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างทั้งหมดในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.25, และ 1:0.25	43
4.8	เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25	44
4.9	วัสดุบรรจุแบบวงแหวนที่ผลิตจากท่อพีวีซี	45
4.10	การนิยาม residence time ที่ใช้ในการล้างด้วยสเปรย์คอลัมน์	46
4.11	ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยอัตราการไหลไบโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนน้ำ 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 และ 7.0	47

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ค่า pH ของน้ำหลังการล้างด้วยอัตราการไหลไบโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนน้ำ 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25 ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.0 และ 7.0	48
4.13	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.1 และ 7.0	49
4.14	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.1 และ 7.0	50
4.15	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1	51
4.16	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1	52
4.17	วัสดุบรรจุแบบฟอยสเดนเลส	53
4.18	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.5 และ 7.0	54
4.19	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.5 และ 7.0	55
4.20	หัวสเปรย์ไบโอดีเซลและน้ำแบบท่อพีวีซี	56
4.21	หัวฉีดไบโอดีเซลและน้ำแบบความดันสูง	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.9 และ 7.0	57
4.23	เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.9 และ 7.0	58
4.24	ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยอัตราการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1	60
4.25	ค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยอัตราการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1	61

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

B	Biodiesel
DG	Diglyceride
MG	Monoglyceride
ME	Methyl ester
TG	Triglyceride
W	Water

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่มีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถผลิตได้โดยกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากมากนักจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน หรือปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งมีค่าหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่มีในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์จนเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอลขึ้น เมื่อแยกกลีเซอรอลออกมาหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นยังมีสารตกค้าง เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอลบางส่วน หากนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทันทีอาจสร้างความเสียหายรวมทั้งลดประสิทธิภาพ

การทำให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลที่นำไปใช้งานต้องมีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ไม่น้อยกว่า 96.5 %wt. ตามมาตรฐาน EN 14130 ของกรมธุรกิจพลังงาน รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ตกค้างอยู่ในไบโอดีเซลต้องทำการกำจัดออกไปจากไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้งาน กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์มีหลายวิธี เช่น การหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ซึ่งเหมาะกับการผลิตแบบกะ (batch) ขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นแบบสูญญากาศ ซึ่งเป็นการนำไบโอดีเซลที่ผ่านการผลิตแต่มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่า 96.5 %wt. มากลั่นเอาเฉพาะเอสเทอร์ที่มีสารอื่นจำพวกกรดไขมัน กลับมารวมตัวกันอีกครั้ง การใช้แมกนีเซียมซิลิเกตเป็นสารดูดซับ (magnesium silicate adsorbent treatment) สิ่งตกค้างในไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังมีการใช้แผ่นเมมเบรนเป็นตัวกรอง (Filter) ซึ่งมีขนาดของรูพรุนที่เล็กมากในระดับไมโครเมตร จึงสามารถกรองสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลได้ เป็นต้น แต่วิธีการที่ได้กล่าวมานั้นต้องใช้กรรมวิธีที่ยุ่งยากหลายขั้นตอนและต้องลงทุนค่อนข้างสูง วิธีการที่สามารถทำได้สะดวกและเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย คือ การล้างด้วยน้ำ (water washing) น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถรวมตัวกับไบโอดีเซล แต่สามารถชะล้างสิ่งปนเปื้อนออกมาได้กล่าวคือ การผลิตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีสบู่ตกค้างอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา สารตกค้างเหล่านี้สามารถละลายได้ด้วยน้ำ เมื่อทำการล้างซ้ำด้วยน้ำหลายๆ ครั้งในแบบกะซึ่งเหมาะสำหรับกำลังการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ใหญ่มากนัก (100-

1,000 ลิตรต่อครั้ง) ตัวอย่างเช่น การผลิตเมทิลเอสเทอร์ในระดับกึ่งอุตสาหกรรมในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่มีกำลังการผลิต 1,000 ลิตรต่อวัน แต่ก็ยังมีข้อเสียเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซลที่ยังไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน กล่าวคือ ต้องล้างจนกว่าจะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าจะมีอยู่มากในประเทศไทยแต่ก็ควรมีการใช้อย่างประหยัด การศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซลจึงเป็นเรื่องที่ควรคำนึงถึง รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างด้วย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการล้างไบโอดีเซล โดยใช้น้ำให้น้อยลงแต่ยังสามารถล้างไบโอดีเซลได้ เพื่อต้องการศึกษาเปรียบเทียบการทำความสะดวกไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์โดยใช้น้ำเป็นสารชะล้าง หลักการทำงานจะอาศัยการสเปรย์น้ำในชั้นไบโอดีเซลและสเปรย์ไบโอดีเซลในชั้นน้ำ เพื่อช่วยให้เกิดการสัมผัสกันได้อย่างทั่วถึง เมื่อน้ำสัมผัสกับไบโอดีเซลได้มากขึ้นสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลก็จะถูกน้ำละลายออกมาได้มากขึ้นด้วยเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการช่วยให้เกิดการสัมผัสที่มากขึ้นคือ การเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสระหว่างน้ำและสารตกค้างในไบโอดีเซล โดยใส่วัสดุบรรจุไว้ตรงบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไบโอดีเซลและน้ำ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีบทบาทมากในการใช้เป็นพลังงานทดแทน และมีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีหลายวิธี เช่น Rashid และคณะ (2008), Eevera และคณะ (2008), และ Leung และคณะ (2006) ได้ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในถังปฏิกรณ์แบบปิด โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้สัดส่วนเชิงโมลระหว่างเมทิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยใช้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60°C เป็นเวลา 120 นาที การผลิตด้วยวิธีแบบ Supercritical ของ Jian-Zhong และคณะ (2008) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูงในสภาพสูญญากาศของถังปฏิกรณ์แบบ fixed bed และการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยถังปฏิกรณ์แบบเมมเบรนของ Cao และคณะ (2008) โดยสามารถทำปฏิกิริยาและเกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลในเวลาเดียวกัน และไม่ต้องใช้น้ำในการทำความสะอาด

สะอาดไปโอติเซลหลังการล้าง ซึ่งหลายวิธีที่ได้กล่าวมาสามารถผลิตไปโอติเซลโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม จนได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เกิน 96.5 %wt.

1.2.2 กระบวนการทำความสะอาดไปโอติเซล

ภายหลังจากเสร็จสิ้นการผลิตไปโอติเซลแล้ว ยังไม่สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทันทีเนื่องจากมีสารตกค้างปนอยู่ เช่น สบู่ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอลบางส่วน มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาการทำความสะอาดไปโอติเซลโดยใช้น้ำเป็นสารชะล้าง เช่น Tongurai (2001) ได้ทำการล้างไปโอติเซลโดยใช้น้ำฉีดพ่นในครั้งแรกๆ เพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชัน ซึ่งการล้างด้วยวิธีนี้ต้องใช้เวลาในการล้างค่อนข้างมากเนื่องจากต้องการเวลาที่ใช้ในการสัมผัส ดังนั้นจึงได้มีวิธีการเพื่อช่วยเพิ่มการสัมผัสโดยอาศัยการผสม ซึ่งมีด้วยกัน 2 แบบคือ การใช้ฟองอากาศช่วยผสม (bubble washing) การล้างด้วยวิธีนี้ใช้หลังจากการสเปรย์น้ำล้างหลายๆ ครั้ง โดยทำการล้างซ้ำ 2-3 ครั้ง ในครั้งแรกๆ ใช้ปริมาณน้ำ 1/2 ของไปโอติเซลด้วยเวลาประมาณ 15-20 นาที แล้วหยุดการทำงานเพื่อปล่อยให้เกิดการแยกชั้นพร้อมทั้งปล่อยน้ำทิ้ง จากนั้นเติมน้ำใหม่เข้าไปอีกประมาณ 3/4 ของไปโอติเซล แต่ในครั้งที่ 3 ดำเนินการทิ้งไว้เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เกิดการตกตะกอนและปล่อยน้ำทิ้งไป (Suwanmanee, 2006) วิธีที่สองคือการกวน (agitation washing) โดย Berrios และคณะ (2008) ได้ทำการกวนผสมระหว่างน้ำกับไปโอติเซลด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และใช้สัดส่วนน้ำต่อไปโอติเซลเท่ากับ 0.5:1 ซึ่งสามารถลดปริมาณสบู่และกลีเซอรินได้ในเวลา 30 นาที วิธีการที่กล่าวถึงทั้งสองแบบช่วยให้สิ่งปนเปื้อนในไปโอติเซลสามารถสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้การเกิดอิมัลชันเป็นสิ่งที่ทำให้ไม่สามารถล้างไปโอติเซลด้วยน้ำได้ เนื่องจากเมื่อน้ำกับไปโอติเซลผสมกันอย่างรุนแรงต้องใช้เวลาในการแยกนานมาก หรือไม่สามารถแยกออกจากกันทำให้เป็นของเสียไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีกวิธีที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดการเกิดอิมัลชันมีสามวิธี คือ การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 50°C ฉีดพ่นลงไปกับผสมกับไปโอติเซลแล้วปล่อยให้แยกชั้นจากนั้นปล่อยน้ำทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้ค่า pH ของไปโอติเซลหลังการล้างเป็นกลาง (Zlatica, 2008) วิธีที่สองคือการใช้ส่วนผสมกรดฟอสฟอริก 5 %vol. เทเข้าผสมกับไปโอติเซลแล้วปล่อยให้แยกชั้นและปล่อยน้ำทิ้งไป (Berrios และคณะ 2008) ทำซ้ำหลายๆ ครั้งเช่นเดียวกับการใช้น้ำร้อน วิธีที่สามคือ การสเปรย์น้ำหรือไปโอติเซลดังที่กล่าวในตอนต้นเพื่อลดแรงปะทะในการล้างครั้งแรกๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้เลือกใช้กับงานวิจัยนี้

จากที่กล่าวในตอนต้นการใช้น้ำเป็นสารชะล้างยังมีข้อเสียเรื่องน้ำที่ใช้ล้าง ยังมีปริมาณที่ไม่แน่นอนรวมทั้งการเกิดอิมัลชันเมื่อมีการผสมรุนแรงในครั้งแรก เนื่องจากมีปริมาณของ

กลีเซอรินตกค้างอยู่มาก ทั้งนี้หากสามารถลดปริมาณกลีเซอรินที่ตกค้างก่อนนำไปล้าง จะทำให้ล้างได้ง่ายและใช้ปริมาณน้ำน้อยลง จากการศึกษาของ Leung และคณะ (2008) พบว่าหากปล่อยไบโอดีเซลหลังการเกิดปฏิกิริยาทิ้งไว้เป็นเวลา 10-20 ชั่วโมง จะสามารถลดปริมาณสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลลงได้มากขึ้น ซึ่งในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เวลาในการแยกกลีเซอรอล 1 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นเวลาที่ใช้แยกกลีเซอรอลหลังการล้างจึงมีผลต่อความยากง่ายในการล้าง

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สเปรย์คอัลมันน์เป็นระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
2. เพื่อสร้างต้นแบบสเปรย์คอัลมันน์สำหรับระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
3. เพื่อทดสอบหาสมรรถนะที่สำคัญของระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอัลมันน์ ได้แก่ ปริมาณการล้างต่อหน่วยปริมาตรของระบบ และปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยปริมาตรของไบโอดีเซล โดยศึกษาถึงเวลาในการชะล้างและเวลาที่ใช้ในการล้างทั้งหมด
4. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการล้างไบโอดีเซลในแบบต่างๆ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอัลมันน์
5. เพื่อทดสอบหาผลกระทบของตัวแปรการทำงานที่สำคัญ 2 ตัว คือ อัตราส่วนการไหลของน้ำต่อไบโอดีเซล และเวลาในการชะล้าง (residence time) ที่มีผลต่อสมรรถนะของต้นแบบระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ที่ผ่านการทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะรวมถึงข้อดีและข้อเสีย ซึ่งสามารถสรุปหาแบบและสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานจริง เพื่อทำความสะอาดไบโอดีเซลให้ได้ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานระดับชุมชน (พ.ศ. 2549) โดยเน้นในคุณสมบัติความเป็นกรดหรือเบสของไบโอดีเซล

นอกจากนี้ผลสรุปของการวิจัยเชิงเปรียบเทียบนี้ ยังสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ให้มีสมรรถนะและประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้อีกต่อไป

2. ได้ทราบผลกระทบของตัวแปรการทำงานที่สำคัญ 2 ตัว คือ อัตราส่วนการไหลของน้ำต่อไบโอดีเซล และเวลาในการชะล้าง ที่มีผลต่อสมรรถนะของต้นแบบระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์สำหรับการออกแบบและการขยายขนาดต่อไป

3. ได้เผยแพร่ผลงานวิจัย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ไบโอดีเซลที่ป้อนเข้าสู่ระบบทำความสะอาด เป็นไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรอล ซึ่งเตรียมได้โดยการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์แล้ว แยกตัวโดยแรงโน้มถ่วงเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2. อัตราการไหลของไบโอดีเซลที่สนใจ สำหรับระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ต้นแบบ คือ 50 ลิตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ในช่วงการทดสอบหาผลกระทบของอัตราการไหล หรือ residence time ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบจะมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของไบโอดีเซลในช่วงประมาณ 10-40 ลิตรต่อชั่วโมง

3. น้ำที่ใช้ทำความสะอาดไบโอดีเซลเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้อง

4. ถึงแม้ว่าโดยความเป็นจริง ลักษณะทางกายภาพของระบบทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง เช่น ลักษณะห้วงสเปร์ย์น้ำ, รูปแบบของคอลัมน์, รูปแบบของวัสดุบรรจุ (packing) เป็นต้น จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบก็ตาม ในงานวิจัยนี้เมื่อได้ผลสรุปการออกแบบขั้นต้นของลักษณะทางกายภาพของระบบต้นแบบแล้ว จะมีการจำกัดขอบเขตของการศึกษา โดยไม่มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรลักษณะทางกายภาพของระบบดังกล่าว

5. การวิเคราะห์ค่าความสะอาดของไบโอดีเซล สังเกตจากค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างที่มีค่าเป็นกลาง

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในแบบต่างๆ รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบระบบทำความสะอาดไบโอดีเซล อันมีหลักการทำงานที่อ้างอิงมาจากระบบแบบกะซึ่งนำมาใช้กับแบบต่อเนื่องที่ประยุกต์หลักการแยกสารที่เป็นของเหลว โดยการใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อของผสมมีการสัมผัสอย่างเหมาะสม แต่หากมีการสัมผัสที่รุนแรงจะทำให้ยากต่อการแยก ดังนั้นจึงต้องศึกษาหลักการของ Liquid-Liquid Extraction รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ความสะอาดของไบโอดีเซล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานกันมานานแล้ว กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีอยู่หลายวิธี สามารถแบ่งตามการนำไปใช้ได้ทั้งหมด 3 ประเภทคือ

2.1.1 ไบโอดีเซลแบบนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาใช้โดยตรง

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหรือเติมแต่งสารใดๆ เพิ่มเติม เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม เป็นต้น น้ำมันที่ได้จากธรรมชาตินี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่าน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก และทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องยนต์สะดุด มีตะกรัน ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำทำให้สตาร์ทติดยาก แต่มีข้อดีคือ มีราคาถูก และสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ

2.1.2 ไบโอดีเซลแบบถูกผสม

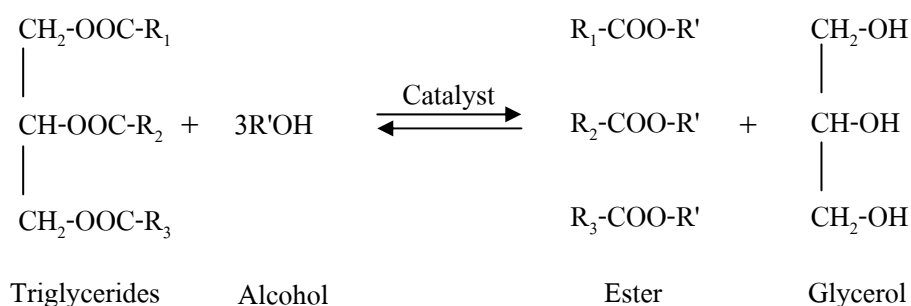
ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเชื้อเพลิงเหลวชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันดีเซล ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอน

สั้นๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่นการนำน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลหรือเรียกว่า ปาล์มดีเซล โดยไบโอดีเซลแบบนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินเรียบ ไม่มีปัญหาเครื่องยนต์สะดุดสตาร์ทติดง่าย แต่ยังมีปัญหาเรื่องความหนืดที่อุณหภูมิต่ำ ใ้ส่กรองเกิดการอุดตัน

2.1.3 ไบโอดีเซล (methyl ester)

ไบโอดีเซล หรือเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์เป็นการแปรสภาพน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมีให้เป็นสารสังเคราะห์ประเภทเอสเทอร์ซึ่งมีกระบวนการผลิตอยู่ 2 วิธีคือ

1. การทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ซึ่งนิยมใช้กับน้ำมันที่มีค่าของกรดไขมันอิสระที่ไม่สูงมาก ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก น้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ (TG) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล (CH₃OH) ในสมการคือ R'OH เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ (ME) หรือไบโอดีเซลกับไดกลีเซอไรด์ (DG) จากนั้นไดกลีเซอไรด์ (DG) ทำปฏิกิริยาต่อกับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับโมโนกลีเซอไรด์ ในขั้นตอนสุดท้าย โมโนกลีเซอไรด์ (MG) ทำปฏิกิริยาต่อกับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลดังแสดงในรูปที่ 2.1

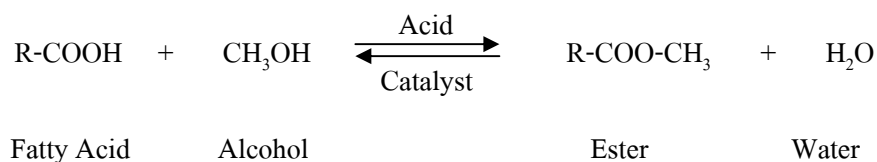


รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ที่มา : Fukuda และคณะ (2001)

2. ปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้เป็นกรดไขมัน และให้กรดไขมันทำปฏิกิริยาต่อกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเค

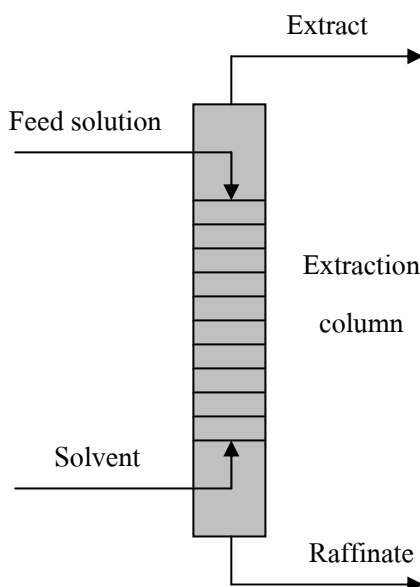
ชัน (Esterification) มีสมการทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.2 ผลผลิตที่ได้หลังทำปฏิกิริยาคือ เอสเทอร์ และน้ำ



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
ที่มา : Alenezi และคณะ (2010)

2.2 Liquid-Liquid Extraction

Liquid-Liquid Extraction คือ กระบวนการสำหรับแยกส่วนประกอบที่มีอยู่ในสารละลายที่ไม่สามารถผสมกันได้ระหว่างของเหลวสองชนิด เมื่อตัวทำละลายไม่สามารถละลายในสารที่ต้องการแยก แต่สามารถละลายสิ่งตกค้างที่แขวนลอยอยู่ เช่น กระบวนการแยกของเหลวหรือการแยกสารละลาย



รูปที่ 2.3 Extraction flow sheet for an extractor column

เครื่องแยกสารดังรูปที่ 2.3 จะมีกระแสน้ำป้อนเข้าสองทางและกระแสน้ำออกสองทาง โดยกระแสน้ำป้อนเข้าประกอบด้วย ท่อส่งตัวทำละลายที่ด้านบนของคอลัมน์ส่วนด้านล่างจะเป็นท่อส่งตัวถูกละลายเพื่อทำการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายที่ป้อนเข้าไป ตัวถูกละลายจะผสมไปกับตัวทำละลายและจะละลายเอาสิ่งตกค้างในสารละลายออกไปด้วย

หลักการทำงานของการแยกชั้นแบบ Liquid-Liquid Extraction คือ อาศัยหลักการความแตกต่างกันระหว่างความหนาแน่นของของเหลวสองชนิด ที่ไม่สามารถละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ การผสมช่วยให้อนุภาคของของเหลวทั้งสองชนิดเกิดการสัมผัสกันได้มากขึ้น และเมื่อเกิดการสัมผัสกันมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการสกัดแยกของเหลวออกจากกันก็จะลดลง วิธีการผสมที่ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุดคือ การกวน (stirring) จากนั้นขั้นตอนต่อไปก็คือการแยกชั้น (separation) ของของเหลวทั้งสองซึ่งจะเกิดโดยแบ่งเป็นชั้นที่ชัดเจนในแนวตั้ง กล่าวคือ ของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะแยกตัวอยู่ในชั้นบน ส่วนของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะแยกตัวอยู่ในชั้นล่าง จากนั้นถึงขั้นตอนสุดท้าย คือ การตกตะกอน (settling) ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดแยก โดยทั่วไปหากปล่อยให้เกิดการตกตะกอนเองโดยธรรมชาติด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity) ซึ่งจะใช้เวลาที่นานมาก จึงมีวิธีที่ช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้นนั่นก็คือการเพิ่มแรงโน้มถ่วง เช่น การหมุนเหวี่ยงด้วยแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (centrifuge)

2.3 Liquid-Liquid Extraction in Stirred Towers and Tanks

การแยกของเหลวออกจากของเหลวโดยการสกัดแยกในถังผสม เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เช่น การแยกน้ำมันกับแรมูเรเนียม จากนั้นเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูงและยังสามารถติดตั้งได้ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน

การแยกของเหลวด้วยวิธีนี้อาศัยการถ่ายโอนมวลระหว่างของเหลวสองชนิดหรือสารละลายที่ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ของเหลวที่ผสมกันจะถูกแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ถ่ายโอนเรียกว่า Raffinate และส่วนที่แยกตัวออกมาเรียกว่า Extract (Holland and Chapman, 1966)

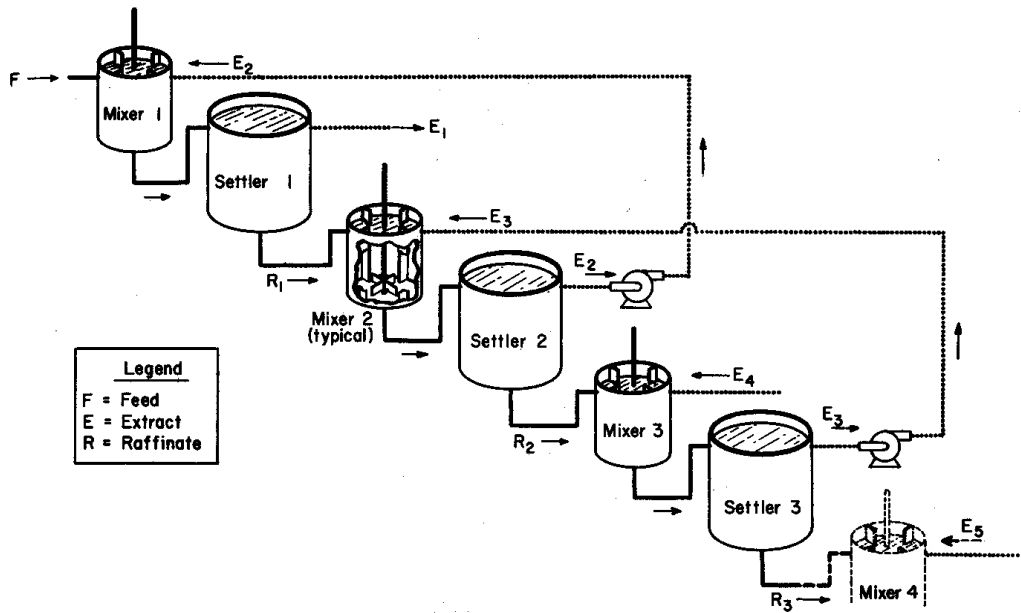
2.3.1 Batch Operation

การดำเนินการแบบกะในที่นี้คือ การแยกของเหลวโดยการป้อนตัวทำละลายและตัวถูกละลายเข้าไปในระบบ และดำเนินการจนเสร็จสิ้นเป็นชุดๆ ภายในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งมีผู้ทำ

การทดลองศึกษาผลของมุมในการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถผสมกันได้ โดยใช้เครื่องกวนที่แตกต่างกัน 7 แบบ ทำการทดสอบการผสมกันระหว่างน้ำกับน้ำมัน เมื่อใช้ใบกวนวางตัวในแนวตั้งและในแนวเอียง 45° พบว่าการกวนในชั้นของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะช่วยให้เกิดการผสมได้ดีกว่าสำหรับใบกวนทุกแบบ (Miller and Mann, 1944 อ้างโดย Holland, 1966) จากนั้น Rodger (1956 อ้างโดย Holland, 1966) พบว่าการกวนในถังแบบกะช่วยให้เกิดการแพร่กระจายของของเหลวในชั้นของเหลวได้ดีขึ้น และการแพร่กระจายของของเหลวขึ้นกับความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนอีกด้วย และ Perry (1963) ได้พบว่าเมื่อนำของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันมาผสมกันในถังกวน จะมีของเหลวส่วนหนึ่งแยกตัวไปอยู่ชั้นล่าง โดยการแพร่กระจายของตัวมันเองในชั้นของเหลวอีกชนิด และจะทำการสกัดแยกออกจากกันยากมากเมื่อชั้นของเหลวที่เป็นตัวแพร่กระจายมีปริมาตรมากกว่า $3/4$ ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด

2.3.2 Continuous Stagewise Operation

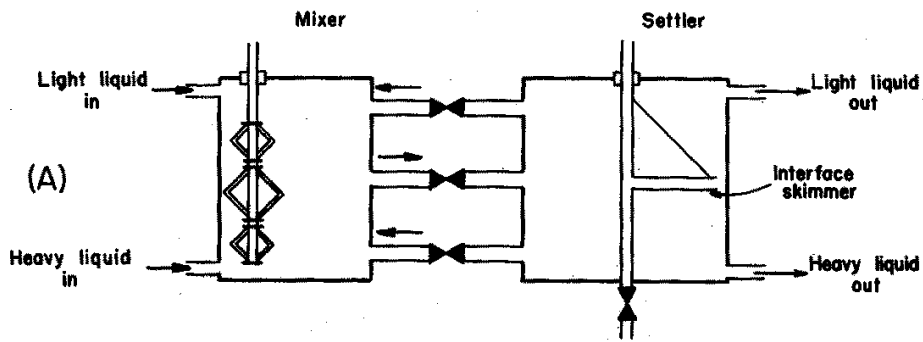
การดำเนินการสกัดแยกแบบหนึ่งขั้นไม่สามารถทำการผสมไปพร้อมๆ กับการตกตะกอนได้ จึงได้มีการเพิ่มถังตกตะกอนเข้าไปในระบบในรูปแบบอนุกรม การผสมจึงเกิดขึ้นพร้อมทั้งการตกตะกอนโดยแยกกันอย่างสิ้นเชิง กระบวนการนี้เรียกว่าการสกัดแยกแบบต่อเนื่องหลายขั้น ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการสกัดแยกแบบไปข้างหน้าและสกัดแยกแบบย้อนกลับ แต่แบบหลังจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบแรก เพราะมีการดูดของผสมในถังตกตะกอนส่วนหนึ่งกลับมาผสมซ้ำในถังผสมเดิมอีกครั้ง จึงเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการสกัดแยกดังรูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการสกัดแยกของเหลวแบบย้อนกลับ เมื่อของเหลวไหลผ่านจากถังผสมที่ 2 ไปทำการแยกในถังตกตะกอนที่ 2 ปัมจะดูดเอาของเหลวในชั้นที่เบากว่ากลับไปผสมในถังผสมที่ 1 อีกครั้ง ในขณะที่ของเหลวในชั้นล่างจะถูกส่งต่อไปยังถังผสมที่ 3 (Holland and Chapman, 1966)



รูปที่ 2.4 การแยกสารแบบต่อเนื่องของ Holland และ Chapman

ที่มา : Holland และ Chapman (1966)

Holley และ Mott (1929 อ้าง โดย Holland, 1966) สร้างเครื่องสกัดแยกแบบไม่ต้องใช้ปั๊มช่วยในการทำงาน แต่ได้อาศัยการไหลผ่านท่อที่อยู่ตรงกลางจากถังผสมไปสู่ถังตกตะกอน และของเหลวจะไหลย้อนกลับมายังถังผสมอีกครั้งด้วยการแยกเป็นชั้นที่หนักและเบากว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้เกิดการผสมและแยกตัวหลายๆ ครั้งในถังตกตะกอน ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีของ Holland และ Chapman (1966) จะพบว่า มีข้อที่ดีกว่าในเรื่องพื้นที่และอุปกรณ์ เช่น ปั๊ม สารเคมีและถังผสมและถังตกตะกอนในการทำงานที่ต้องใช้เป็นจำนวนมาก

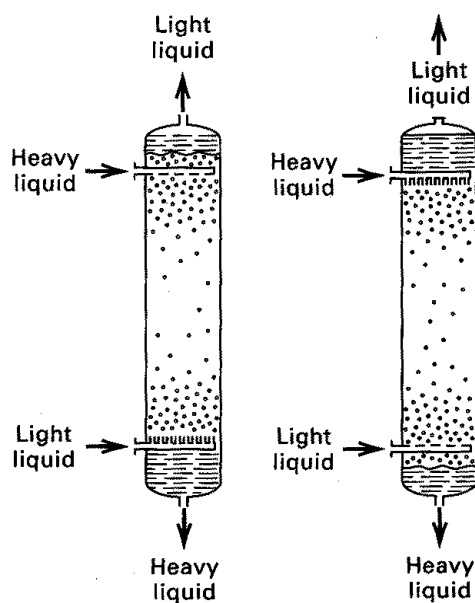


รูปที่ 2.5 เครื่องสกัดแยกของ Holley และ Mott

ที่มา : Holland และ Chapman (1966)

2.3.3 Continuous Differential Operation

spray columns เป็นวิธีแยกสารที่เป็นของเหลวที่ทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน การทำงานของระบบอาศัยการแพร่ของอนุภาคในชั้นของเหลว ที่มีความหนาแน่นมากกว่าเข้าสัมผัสกับชั้นของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า โดยการสเปรย์ด้วย spray nozzle ของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะไหลแบบสวนทางทำให้เกิดการสัมผัสกันได้นานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งรูปด้านซ้ายมือได้แสดงการสเปรย์ของเหลวที่เบากว่ากระจายไปยังชั้นของเหลวที่หนักกว่า และรูปขวามือแสดงการสเปรย์ของเหลวที่หนักกว่าไปยังชั้นของเหลวที่เบากว่า (Seader and Henley, 1999) โดยทั่วไปสามารถนำมาใช้ในการแยกของเหลวกับของเหลวและ ของเหลวกับก๊าซในการกำจัดสารพิษเพื่อลดมลภาวะทางอากาศในอุตสาหกรรมขนาดกลาง เช่น การฉีดขึ้นรูปโลหะ เป็นต้น



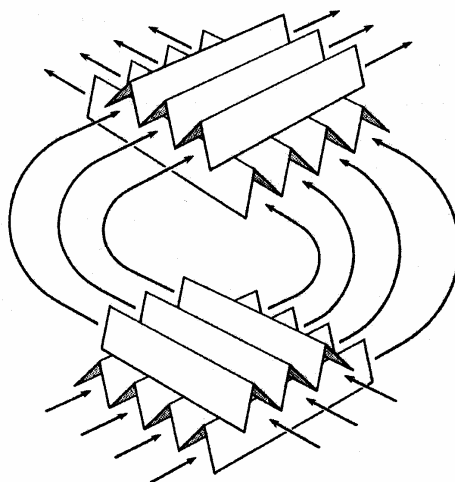
รูปที่ 2.6 เครื่องสกัดแยกแบบสเปรย์คอลัมน์ของ Seader และ Henley

ที่มา : Seader และ Henley (1999)

การใช้งานของสเปรย์คอลัมน์ยังนิยมใช้ร่วมกับวัสดุที่ช่วยเพิ่มการสัมผัสของสารที่ต้องการแยก เรียกว่า วัสดุบรรจุ (packing) ใช้สำหรับบรรจุไว้ในอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการทำงานเกี่ยวกับการแยกสาร เช่น การดูดซึมแก๊สออกจากของเหลว การแยกของเหลวออกจากของเหลว

เป็นต้น หน้าที่ของวัสดุบรรจุคือ ช่วยเพิ่มการสัมผัสและช่วยให้เกิดการแยกชั้นมากขึ้นในระบบ โดยจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยก โดยทั่วไปสามารถแบ่งวัสดุบรรจุออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. วัสดุบรรจุแบบโครงสร้าง (structured packing) มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน มีการใช้งานครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1930 ในงานอุตสาหกรรมซึ่งผลิตเป็นแบบตาข่ายลวด ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนมาใช้แผ่นโลหะหักรูปสามเหลี่ยมเจาะรู ที่มีช่องไหลผ่านทำมุม 45 องศา กับแนวนอน เมื่อนำไปใช้งานจะมีการจัดเรียงตัวให้เกิดการสลับทิศทางการไหลที่ต่างกันในระหว่างชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทำให้เกิดการกระจายตัวของของเหลวและไหลผ่านได้ดี เนื่องจากแต่ละชั้นมีความหนาไม่มากนัก วัสดุบรรจุชนิดอื่นจะแตกต่างกันในขนาดและการจัดของรอยหยักและพื้นที่ผิว ปกติรอยหยักสามเหลี่ยมมีฐานกว้าง 25-40 mm ความยาวด้าน 17-25 mm และความสูงระหว่าง 10-15 mm มีพิสัยความพรุนอยู่ระหว่าง 0.93-0.97 และพื้นที่ผิวจำเพาะ 60-70 ft^2/ft^3 (McCabe *et al.*, 1993)

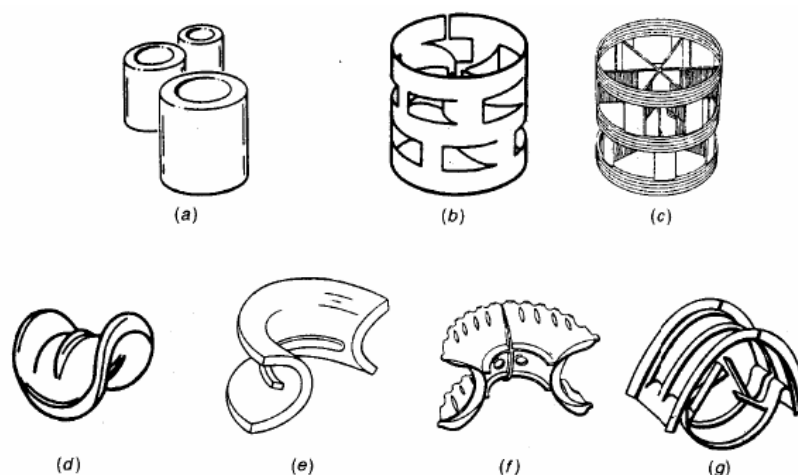


รูปที่ 2.7 การไหลผ่านวัสดุบรรจุแบบโครงสร้าง

ที่มา : McCabe และคณะ (1993)

2. วัสดุบรรจุแบบจัดเรียงด้วยมือ (stacked packing) วัสดุบรรจุชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 50-200 mm ส่วนมากใช้ในงานดูดซึมก๊าซเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีใช้น้อยกว่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีข้อจำกัดเมื่อใช้อัตราไหลของเหลวต่ำ ของเหลวจะไหลเป็นกระแสเล็กๆ และไหลเป็นวิถีจำเพาะผ่านวัสดุบรรจุ ทำให้พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุจะแห้งหรือปกคลุมด้วยฟิล์มของเหลวที่อยู่นิ่ง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า channeling ทำให้เกิดความดันตกและให้สมรรถนะการทำงานที่ต่ำ

3. วัสดุบรรจุแบบเทสุ่ม (dumped packing) มีรูปร่างที่แตกต่างกัน สร้างจากวัสดุที่มีราคาถูกและไม่ทำปฏิกิริยา เช่น ดินเผา (clay) พอร์เลน (porcelain) หรือพลาสติกต่างๆ วงแหวนโลหะบางของเหล็กหรืออลูมิเนียม เป็นต้น วัสดุบรรจุประเภทนี้นิยมใช้กันมากเนื่องจากให้พื้นที่ว่างและความพรุนที่สูงในช่วง 60-90 % เมื่อนำไปใช้งานไม่ต้องจัดเรียง แต่จะเทลงไปในอุปกรณ์ชนิดนั้น ซึ่งวัสดุบรรจุที่ใช้กันทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 เริ่มต้นมีการใช้ในรูปแบบ Raschig ring และ Ceramic Berl saddle แต่ปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก ต่อมาได้มีการปรับปรุงรูปร่างเพื่อป้องกันการเกิด nesting ดังเช่น Intalox saddle มีลักษณะที่คล้ายกับ Berl saddle แต่จะให้ความพรุนที่มากกว่า แบบ Pall rings นิยมใช้ในงานดูดซึมแก๊สเพราะทำจากโลหะบางหรือพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาทนต่อการกัดกร่อน โดยจะให้พื้นที่ว่างมากกว่า 90 % และเกิดความดันลดต่ำ ทั้งนี้มีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับเรื่องลักษณะรูปร่างเพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ว่างกับความพรุน ทำให้มีวัสดุลักษณะต่างๆ เกิดขึ้น (McCabe *et al.*, 1993) เช่น Ban และคณะ (2001) พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Raschig ring มีผลน้อยมากต่อการแยกชั้นของ PEG (8 %wt.) / โปแทสเซียมฟอสเฟต (10 %wt.) แต่วัสดุที่มีรูปร่างแบบ Raschig super-rings ที่ผลิตจากสแตนเลสมีรูปร่างเป็นเส้นเล็กแบบขดรวมกันมีความซับซ้อนมากขึ้น ให้พื้นที่สัมผัส $236.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ และมีพื้นที่ว่าง 96% (Nakov *et al.*, 2006) ช่วยให้เกิดการสัมผัสและช่วยแยกสารได้ดีกว่าแบบแรก

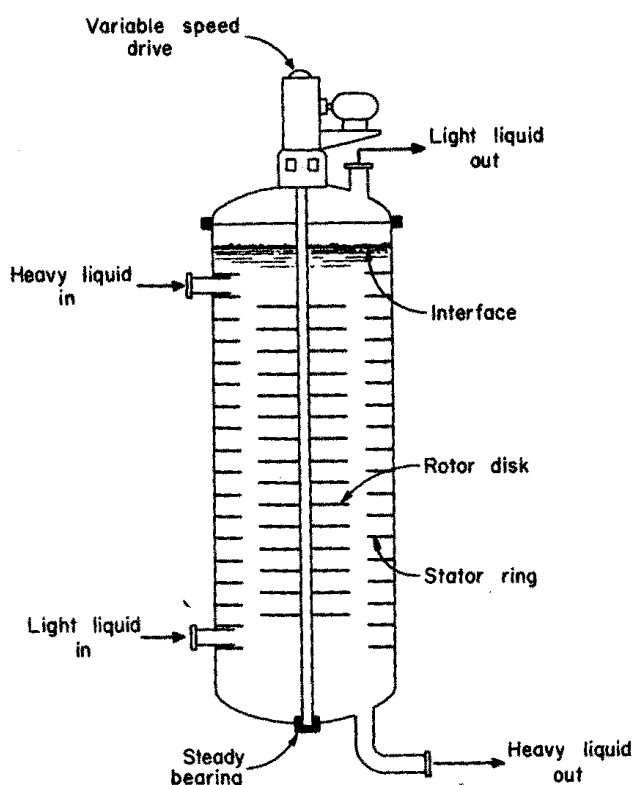


รูปที่ 2.8 วัสดุบรรจุทั่วไป

ที่มา : McCabe และคณะ (1993)

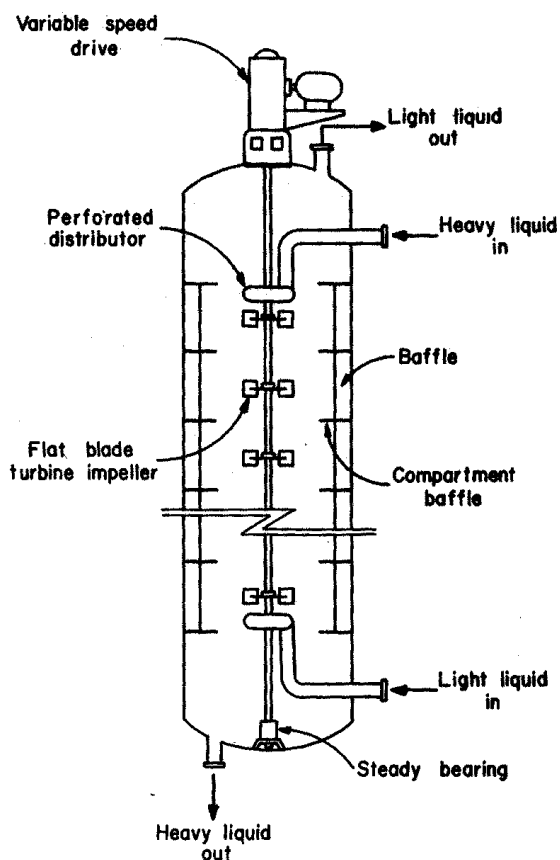
นอกจากนี้ยังมีการแยกสารโดยการใช้กลไกต่างๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันเช่น การทำงานแบบคอลัมน์ผสมของ Reman และ Olney (1955 อ้างโดย Holland, 1966) ที่ได้สร้างเครื่อง

สกัดแยกเป็นแบบทรงกระบอกดังรูปที่ 2.9 ภายในมีแผ่นใบพัดรูปวงกลมสำหรับหมุนผสม การทำงานจะแบ่งเป็น 3 โซน คือ ชั้นบนและชั้นล่างเป็นโซนที่เกิดการตกตะกอน ตรงกลางคอลัมน์เป็นโซนการสกัดแยกโดยอาศัยแผ่นกวนรูปวงกลมทำให้เกิดแรงเหวี่ยงช่วยในการแยกชั้นของของเหลว วิศวภาคอินเตอร์เฟสจึงเกิดขึ้นที่ทั้งสองข้างของการตกตะกอน ความสูงของคอลัมน์ที่ใช้ประมาณ 10 ft เช่นเดียวกับเครื่องสกัดแยกของ Oldshue และ Rushton (1952 อ้างโดย Holland, 1966) ที่สร้างเป็นรูปทรงกระบอกวางตัวในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 เครื่องสกัดแยกของ Reman และ Olney
ที่มา : Holland และ Chapman (1966)

การทำงานจะมีลักษณะที่คล้ายกับของ Reman และ Olney (1955 อ้างโดย Holland, 1966) คือโซนการสกัดแยกจะอยู่ด้านบนและด้านล่าง แต่ด้านบนสามารถเปิดออกเพื่อติดตั้งเพลลา ขับไว้ตรงกลางคอลัมน์ ที่ใช้ใบพัดจำนวน 4 ใบเป็นแผ่นแบนแบบทำมุม 90° กับแนวระดับ อาศัยการไหลแบบสวนทางโดยมีใบกวนช่วยในการสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง

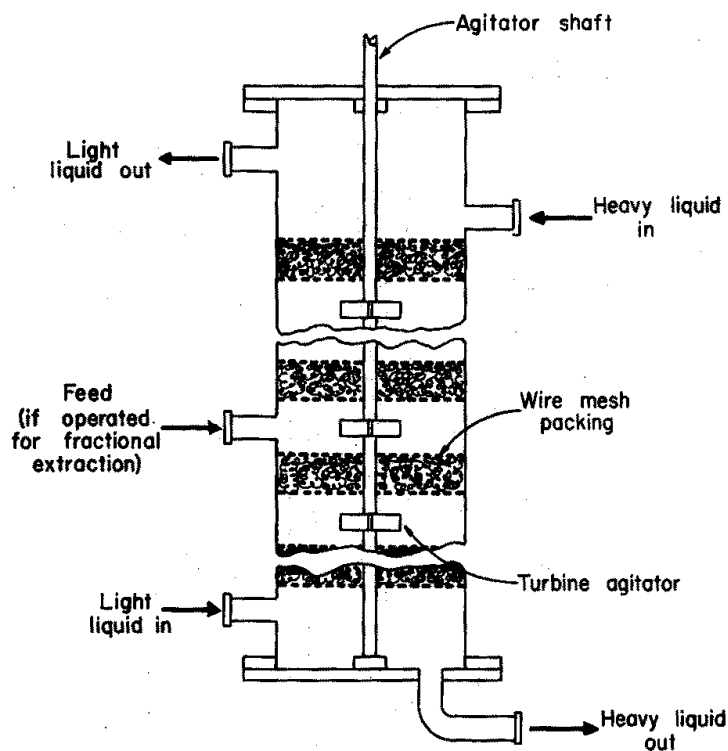


รูปที่ 2.10 เครื่องสกัดแยกของ Oldshue และ Rushton
ที่มา : Holland และ Chapman (1966)

Scheibel (1948 อ้างโดย Holland, 1966) ได้สร้างเครื่องสกัดแยกเป็นแบบคอลัมน์วางตัวในแนวตั้ง ภายในคอลัมน์ประกอบด้วยส่วนที่เกิดการผสมและส่วนของการตกตะกอน กล่าวคือ ตรงกลางจะมีเพลลาซ์ที่มีใบกวนถูกขับโดยเพลลาซ์สลัดกับชุดตะแกรงแบบตาข่าย เพื่อช่วยเพิ่มเวลาและพื้นที่สัมผัสให้มากขึ้น ของเหลวที่ต้องการแยกจะถูกป้อนแบบไหลสวนทางกันดังแสดงในรูปที่ 2.11 ความสูงของคอลัมน์สกัดแยกขึ้นอยู่กับการทำงานในแต่ละประเภทของสารที่ทำการสกัดแยก

จากการทำงานของเครื่องสกัดแยกแบบสังเกตได้ว่ารูปแบบของคอลัมน์สกัดแยกที่ได้กล่าวมา มีหลักการการทำงานที่เหมือนกันในเรื่องการป้อนสารแบบไหลสวนทาง แต่แบบสเปร์ย์คอลัมน์ดังในรูปที่ 2.6 จะไม่ใช่กลไกในการผสมซึ่งในที่นี้คือการกวน แต่ในรูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 จะใช้การกวนช่วยให้เกิดการผสมซึ่งต้องมีการใช้พลังงานเพื่อขับมอเตอร์ ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรทำการศึกษาคูณสมบัติของสารที่ต้องการแยกเสียก่อน เช่น ไบโอดีเซลที่แยกกลี-

เซอรอลแล้วยังคงมีส่วนที่ตกค้างอยู่ การผสมรุนแรงในการล้างครั้งแรกจะทำให้เกิดอิมัลชัน ดังนั้นไม่ควรนำคอลัมน์ที่มีการกวนมาใช้ในการล้างครั้งแรกๆ



รูปที่ 2.11 เครื่องสกัดแยกของ Scheibel

ที่มา : Holland และ Chapman (1966)

จากรูปแบบต่างๆ ของระบบการแยกของเหลวที่ได้กล่าวในเบื้องต้น หากจะจำแนกตามประเภทของการทำงานแล้ว สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักด้วยกัน ก็คือ

1. Mixer-Settler
2. Continuous Counter Flow Contactors (With Mechanical Agitation)
3. Continuous Counter Flow Contactors (With out Mechanical Agitation)

ซึ่งเมื่อจำแนกตามการทำงานแล้ว รูปที่ 2.4 และ 2.5 เป็นแบบ Mixer-Settler ส่วนรูปที่ 2.6 เป็นแบบ Continuous Counter Flow Contactors (With out Mechanical Agitation) และรูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 เป็นแบบ Continuous Counter Flow Contactors (With Mechanical Agitation) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบได้ดังตารางที่ 2.1

จากวิธีการแยกของเหลวแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงในข้างต้นทุกแบบมีการทำงานที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงควรศึกษาการทำงานในแต่ละแบบก่อนเลือกวิธีใดมาใช้ในการทดลอง เมื่อทำการศึกษาการทำงานของแต่ละแบบแล้วควรนำข้อมูลที่มีประโยชน์มาพิจารณาประกอบ และประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการพื้นฐานในการทำความสะอาดไบโอดีเซล เพื่อช่วยให้เลือกแบบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องแยกสารแต่ละประเภท

ชนิดการทำงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
Mixer-Settler	<ul style="list-style-type: none"> • มีการสัมผัสที่ดี • อัตราการไหลมีช่วงกว้าง • ต้องการที่ว่างเหนือหัวน้อย • ประสิทธิภาพสูง • ทราบจำนวนหน่วยทำงาน • ขยายขนาดได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> • ต้นทุนการก่อสร้างสูง • ต้นทุนทำงานสูง • ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ • บางครั้งต้องการปั๊มในการทำงาน
Continuous Counter Flow Contactors (No Mechanical Agitation)	<ul style="list-style-type: none"> • ต้นทุนเริ่มต้นต่ำ • ต้นทุนทำงานน้อย • สร้างได้ไม่ยาก 	<ul style="list-style-type: none"> • มีข้อจำกัดเรื่องความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน • ไม่สามารถใช้งานที่อัตราส่วนการไหลสูง • ต้องการที่ว่างเหนือหัวมาก • ให้ประสิทธิภาพที่ต่ำ • ขยายขนาดได้ยาก
Continuous Counter Flow Contactors (Mechanical Agitation)	<ul style="list-style-type: none"> • แพร่กระจายได้ดี • มีต้นทุนที่เหมาะสม • ทราบจำนวนหน่วยทำงาน 	<ul style="list-style-type: none"> • มีข้อจำกัดเรื่องความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน • เกิดอิมัลชันได้ง่าย

2.4 ประเภทของการทำความสะอาดไบโอดีเซล

วิธีการทำความสะอาดไบโอดีเซลสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การล้างด้วยน้ำ (water washing), การใช้สารดูดซับ (solid absorbent), การกรองด้วยแผ่นเมมเบรน (membrane

filter) การแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิน (ion exchange) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งวิธีการทำความสะอาดออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.4.1 การล้างด้วยน้ำ (water washing)

เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นสารที่ไม่มีขั้วเหมือนกับน้ำจึงไม่มีการทำละลายต่อกัน แต่สิ่งตกค้างในไบโอดีเซลเป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในกระบวนการทำความสะอาดสามารถแบ่งย่อยได้อีก ดังนี้

2.4.1.1 การล้างแบบกะ (batch washing)

การล้างแบบกะ ทำโดยนำเมทิลเอสเทอร์ที่แยกกลีเซอรอลออกแล้วมาผสมกับน้ำในถังล้าง ซึ่งจะทำการล้างจนกว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนเหลืออยู่ในเมทิลเอสเทอร์ โดยทั่วไปมีวิธีการล้างดังนี้

1. การล้างแบบสเปรย์น้ำ เป็นการนำเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการแยกชั้น ระหว่างกลีเซอรอลกับเมทิลเอสเทอร์ออกจากกันแล้วฉีดน้ำให้เป็นฝอยเหมือนบัวรดน้ำ จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นแล้วปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้จะสะอาด วิธีนี้จะปล่อยให้ชั้นของน้ำกับสิ่งปนเปื้อนในเมทิลเอสเทอร์ ได้สัมผัสกันเองแบบไม่มีตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัส เป็นกรรมวิธีที่ใช้เริ่มแรกของการล้างด้วยน้ำ

2. การล้างแบบกวนผสม เป็นวิธีที่มีการกวนให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำและไบโอดีเซล จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น แล้วจึงปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้จะสะอาด การกวนจะช่วยให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสให้มากยิ่งขึ้น จึงช่วยลดเวลาการล้างในแต่ละครั้ง แต่มีข้อควรระวัง คือการเกิดอิมัลชัน เพราะสบู่เป็นสารอิมัลซิฟาย (emulsify) ทำให้เมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว (non-polar) สามารถรวมตัวกับน้ำ ซึ่งเป็นสารมีขั้ว (Polar) ซึ่งเมื่อเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะทำการแยกออกจากกันยาก

Tongurai และคณะ (2001) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากผลิตผลปาล์มน้ำมันหลายชนิด โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:6 ใช้โซดาไฟ 0.5-1% ของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 60-80 °C หลังจากนั้นใช้น้ำอุ่นล้างหลายๆ ครั้ง ซึ่งการล้างครั้งแรกใช้น้ำปริมาณ 1/4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ จะไม่มีการกวนเพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชันเป็นเวลา 4-5 นาที รอให้เกิดการแยกชั้นแล้วถ่ายน้ำออก ทำการล้างซ้ำ 4-5 ครั้ง การล้างในครั้งหลังๆ จะเพิ่มการกวนในการล้างเนื่อง

จากมีปริมาณของสบู่เหลือน้อยลง เมื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้วก็นำไปจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที

3. การล้างแบบใช้ฟองอากาศ การล้างด้วยวิธีนี้ช่วยให้เกิดการสัมผัสกันได้มากขึ้น โดยการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและต่อเนื่องให้กระจายทั่วชั้นของน้ำที่ใช้ล้าง โดยที่ฟองอากาศจะพาเอาน้ำลอยขึ้นไปยังชั้นของไบโอดีเซล น้ำจะชะล้างเอาสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ละลายลงมารวมกับน้ำในชั้นล่าง วิธีนี้นิยมใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการล้างด้วยน้ำและทำการล้างซ้ำ 2-3 ครั้ง โดยจะดำเนินการในครั้งแรกประมาณ 45 นาที แล้วหยุดการทำงานเพื่อปล่อยให้เกิดการตกตะกอนของสิ่งปนเปื้อนและน้ำแล้วปล่อยน้ำทิ้ง จากนั้นเติมน้ำอีกในการล้างครั้งต่อไปประมาณ 1/2 ของปริมาณไบโอดีเซล แต่ในครั้งสุดท้ายจะดำเนินการทิ้งไว้ประมาณ 10-12 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เกิดการตกตะกอนแล้วปล่อยน้ำทิ้ง (Suwanmanee, 2006)

2.4.1.2 การล้างแบบต่อเนื่อง (continuous washing)

การล้างแบบนี้โดยทั่วไปใช้กับกำลังการผลิตขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำการป้อนเมทิลเอสเทอร์ที่แยกกลีเซอรอลออกไปแล้วเข้าผสมพร้อมด้วยน้ำอย่างต่อเนื่อง ส่วนมากจะกระทำในคอลัมน์ที่มีการป้อนแบบไหลสวนทาง กล่าวคือ ป้อนน้ำเข้าทางด้านบนของคอลัมน์และป้อนเมทิลเอสเทอร์เข้าทางด้านล่าง ในช่วงกลางคอลัมน์ก็จะมีการสัมผัสกันของชั้นของเหลวทั้งสองชนิด ซึ่งอาจจะเพิ่มอุปกรณ์สำหรับช่วยในการสัมผัส เช่น ไบกววน แผ่นสกรีน เพื่อทำให้เกิดการสัมผัสกันมากขึ้น ไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างด้วยน้ำแล้วจะไหลออกทางด้านบนของคอลัมน์ส่วนน้ำก็จะตกลงอยู่ด้านล่างและไหลออกไป ทั้งนี้ควรจะให้ช่องทางออกของไบโอดีเซลอยู่สูงกว่าช่องทางเข้าของน้ำเพื่อป้องกันน้ำที่ป้อนเข้ามาไหลออกไปพร้อมกับไบโอดีเซล

ศิริพร และ หนึ่งฤทัย (2006) ได้ศึกษาการล้างสบู่ออกจากเมทิลเอสเทอร์เมื่อแยกกลีเซอรอล ออกแล้วอย่างต่อเนื่องในคอลัมน์สกัดแบบไหลสวนทางโดยใช้น้ำอุ่นในช่วงอุณหภูมิ 60-70 °C ที่อัตราการไหลของน้ำ 5.71 และ 23.26 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้อัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์คงที่ 22.8 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสบู่โดยวิธีการไตเตรท พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำใกล้เคียงกับอัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์ สามารถล้างสบู่ออกจากเมทิลเอสเทอร์ได้ประมาณร้อยละ 76 น้ำอุ่นสามารถล้างสบู่ได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพในการล้างค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้บอกถึงปริมาณการได้คืนของไบโอดีเซลหลังการล้าง เช่นเดียวกับการทดลองล้างไบโอดีเซลของ Berrios และ Skelton (2008) ที่ทำการทดลองล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำซึ่งไม่ได้บอกถึงปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งเวลาที่ใช้ด้วย ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำในการล้างไบโอดีเซลจึงยังเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษา

2.4.2 การล้างแบบไม่ใช้น้ำ (dry washing)

เป็นการทำความสะอาดแบบใช้สารเคมีดูดซับ (solid absorbent) สิ่งตกค้างในไบโอดีเซล เช่น Zlatica และ Predojevic (2008) ที่ทำการวัด yield หลังการทดลองล้างโดยการใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับสิ่งตกค้างในไบโอดีเซล พบว่ามีค่าประมาณ 92% และ Berrios และ Skelton (2008) ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลโดยใช้สารดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต และการแลกเปลี่ยนประจุโดยใช้เรซิน สองวิธีนี้สามารถลดปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลของไบโอดีเซลหลังจากที่ทำการล้างไปหลายๆ ครั้ง ให้ได้ตามมาตรฐาน EN 14214

สำหรับการทำความสะอาดไบโอดีเซลที่มีผู้ได้ทำการทดลอง จะพบว่ายังไม่ได้มีการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับความสะอาดให้ชัดเจน กล่าวคือ ไม่ได้แสดงถึงการคำนวณหรือทดสอบหาปริมาณสิ่งตกค้างในไบโอดีเซล รวมทั้งคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งมีมาตรฐานต่างๆ ที่ใช้ทดสอบเช่น ASTM D 445 เป็นการตรวจหาความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C, ASTM D 5452 ทดสอบหาสิ่งปนเปื้อนทั้งหมด เป็นต้น สำหรับประเทศไทยได้มีการสนับสนุนให้มีการวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล รวมทั้งการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซล เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสั้นหรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซลชนิด B100 โดยกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2549 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)

พ.ศ. 2549

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ^{1/}	
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (Density at 15 °C, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (Viscosity at 40 °C, เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ (Flash Point , องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน (Sulphur, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน (Water and Sediment, ร้อยละโดยปริมาตร %vol.)	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด (Acid Number, มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี (Colour)		ม่วง ^{2/}	ตรวจพินิจด้วย สายตา
13	สารเติมแต่ง (Additive)	ตามอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ

- 1/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้
- 2/ ใช้สารประกอบประเภท 1, 4-dialkylamino anthraquinone และ alkyl derivatives of azobenzene-4-azo-2-naphthol

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน (2549)

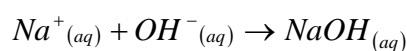
2.5 การตรวจวัดความสะอาดของไบโอดีเซล

สำหรับการตรวจวัดความสะอาดของไบโอดีเซล ภายหลังจากการทำความสะอาดโดยใช้น้ำ ในขั้นต้นสามารถกระทำได้โดยการวัดค่าความเป็นกรดหรือเบสของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง ทั้งนี้ค่าที่แสดงจะมีผลมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ดังนั้นไบโอดีเซลก่อนทำการล้างจึงมีความเป็นเบสที่สูงในช่วง pH 10 ถึง 13 เมื่อผ่านการล้างจนสะอาดไบโอดีเซลจะมีค่า pH=7 โดยมีหลักการเกี่ยวกับการเป็นกรดและเบสดังต่อไปนี้

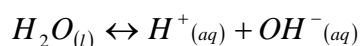
จากความรู้เรื่องกรด-เบสทำให้จำแนกสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ออกเป็นสามประเภทดังนี้

1. สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลาง (neutral solution) คือ สารละลายที่ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนเท่ากันซึ่งเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $[H^+] = [OH^-]$
2. สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid solution) คือ สารละลายที่มีปริมาณของไฮโดรเจนไอออนมากกว่าไฮดรอกซิลไอออนซึ่งเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $[H^+] > [OH^-]$
3. สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นเบส (basic solution) คือ สารละลายที่มีปริมาณของไฮดรอกซิลไอออนมากกว่าไฮโดรเจนไอออนซึ่งเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $[OH^-] > [H^+]$

การล้างไบโอดีเซลโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสารตกค้างต่างๆ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH) และกลีเซอรอล ($C_3H_5(OH)_3$) บางส่วน สารเหล่านี้จะมีองค์ประกอบของหมู่ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน โดยเฉพาะโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นเบสแก่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ 100% ดังนี้



ส่วนน้ำก็สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เช่นเดียวกันดังนี้



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทำวิจัยรวมถึงขั้นตอนการทำวิจัยซึ่งเป็นงานที่มุ่งเน้นศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน โดยการทดลองในครั้งนี้ยังไม่ทราบถึงตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ จึงได้สร้างชุดทดลองขึ้นมาก่อนเพื่อศึกษาถึงการทำงานของระบบว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ เนื่องจากการที่จะหาตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบก่อนที่จะสร้างชุดทดลองในงานวิจัยนี้ ทำได้ยากมากและต้องใช้เวลาานาน ตัวแปรที่ได้กำหนดให้คงที่ในการทดลองนี้คือ ลักษณะทางกายภาพ (geometry) เช่น ลักษณะหัวสเปร์ย์น้ำ, รูปแบบของคอลัมน์, รูปแบบของวัสดุบรรจุเพิ่มพื้นที่สัมผัส (packing) ซึ่งตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการทดลองครั้งนี้คือ

1. อัตราส่วนการไหล (flow rate ratio)
2. เวลาในการชะล้าง (residence time)

3.1 สารเคมีที่ใช้ทดลอง

โดยแบ่งเป็นสารที่ใช้ตรวจคุณภาพน้ำมันก่อนผลิต สารที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล และสารเคมีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล

- 3.1.1 น้ำมันพืชใช้แล้ว ต้องมีค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5 %
- 3.1.2 เมทิลแอลกอฮอล์ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99 %
- 3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99 %
- 3.1.4 ไอโซโพรพานอล
- 3.1.5 ฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ได้แบ่งออกเป็นอุปกรณ์สำหรับเตรียมไบโอดีเซล ชุดทดลองที่ออกแบบสร้างขึ้นมาและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ชุดผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนการเตรียมไบโอดีเซลเพื่อทำการทดลอง ไบโอดีเซลถูกผลิตด้วยชุดผลิตไบโอดีเซลแบบกะ ME_PSU100B ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วยถังวัดอุณหภูมิสำหรับบรรจุน้ำมันพืชเพื่อทำการอุ่นให้ร้อนและ เพื่อเป็นการกำจัดน้ำตกค้างก่อนนำไปทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลจะถูกนำไปแยกกลีเซอรอลในถังแยกด้วยหลักการความแตกต่างของความหนาแน่น ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการเตรียมไบโอดีเซลสำหรับทดลอง



รูปที่ 3.1 ชุดผลิตไบโอดีเซลแบบกะ ME_PSU100B

3.2.2 ชุดทดลอง

สเปรย์คอัลมันน์ได้ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ในเบื้องต้นนั้นยังไม่สามารถทราบถึงตัวแปรที่ใช้ออกแบบ ดังนั้นจึงดำเนินการสร้างขึ้นมาโดยไม่ได้คำนึงถึงขนาดทางกายภาพ คอัลมันน์ที่ใช้ทดลองหาจำนวนสเปรย์คอัลมันน์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 mm สูง 1,500 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 คอลัมน์ที่ใช้ในการหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์

ภายหลังจากทำการทดลองเพื่อหาจำนวนคอลัมน์ พบว่าต้องใช้จำนวน 3 คอลัมน์ โดยใช้ท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm สูง 1,250 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดทดลองสเปรย์คอลัมน์ภายหลังจากการหาจำนวนคอลัมน์

ชุดทดลองที่ได้สร้างโดยใช้พลาสติกใสมีความแข็งแรงน้อยมาก หลังจากทำการทดลองจึงเกิดการแตกร้าว และไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีกครั้ง อีกทั้งการทดลองโดยใช้คอลัมน์จำนวน 3 คอลัมน์ มีการพอกตัวของไบโอดีเซลเนื่องจากต้องมิดังพัก ดังนั้นจึงได้สร้างชุดทดลองขึ้นมาใหม่โดยใช้วัสดุที่ผลิตจากโพลีไวนิลคลอไรด์ หรือเรียกว่า พีวีซี โดยได้สร้างเป็นคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm สูง 2,420 mm จำนวน 1 คอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สเปรย์คอลัมน์แบบ 3 คอลัมน์วางตัวในแนวตั้งผลิตจากท่อพีวีซี

3.2.3 ปั้มน้ำและไบโอดีเซล ได้ดัดแปลงจาก centrifugal pump เพื่อให้สามารถใช้ปรับอัตราการไหลให้ใช้งานที่ค่าน้อยๆ โดยการต่อท่อ by pass กลับมายังถังวัตถุดิบดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ปั้มน้ำและปั้มไบโอดีเซล

3.2.4 Flow meter เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำและไบโอดีเซล ยี่ห้อ NITTO รุ่น Z-3000 สามารถวัดอัตราการไหลในช่วง 0.1-1.4 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 flow meter สำหรับวัดอัตราการไหล

3.2.5 เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น T50 สำหรับการวัดค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องไตเตรทอัตโนมัติสำหรับวัดค่า pH

3.2.6 นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 1/100 ของนาฬิกา ใช้สำหรับจับเวลาการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างไปตรวจวัดค่า pH ดังแสดงในรูปที่ 3.8



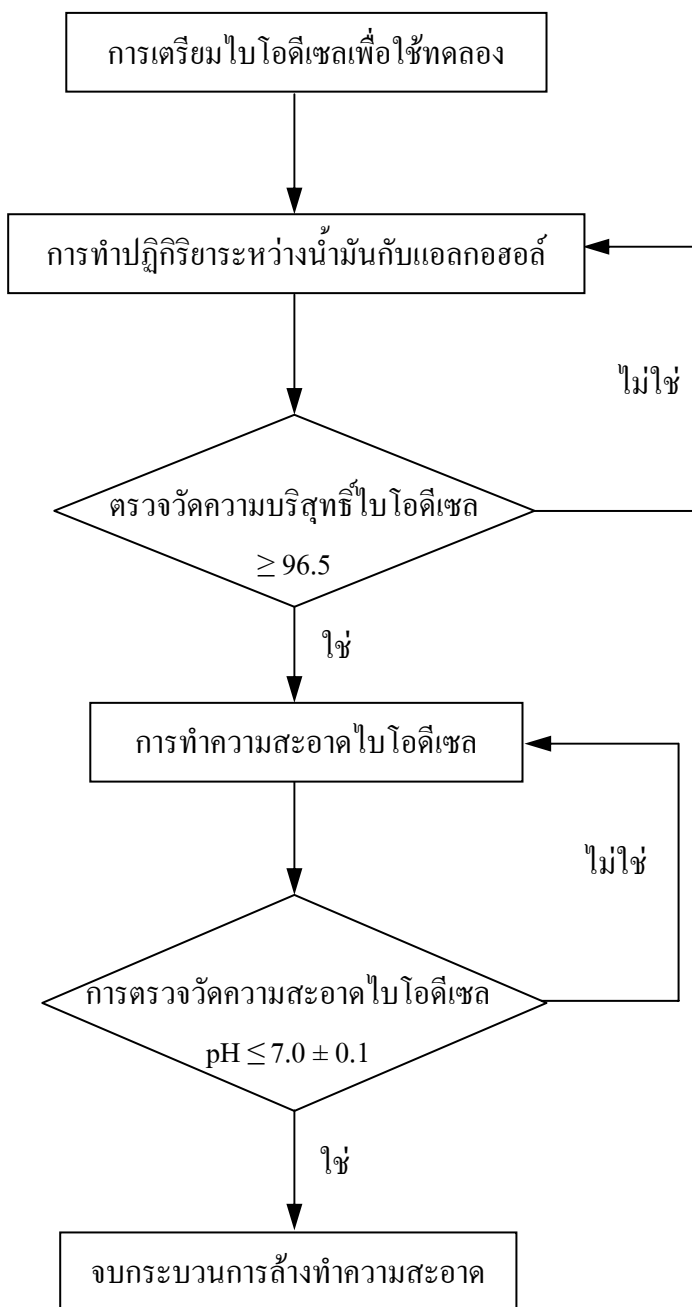
รูปที่ 3.8 นาฬิกาจับเวลา

3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดลอง ซึ่งผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5 %vol. ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันกับเมทิลแอลกอฮอล์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากผลิตแล้วต้องทำการแยกกลีเซอรอลด้วยการวางทิ้งไว้ให้แยกชั้นก็จะได้ไบโอดีเซลสำหรับใช้ทดลอง

ขั้นตอนที่ 2: การทำความสะอาดไบโอดีเซล สำหรับการทดลองได้ใช้น้ำเป็นสารชะล้าง โดยเริ่มต้นจะทำการหาจำนวนครั้งการล้างด้วยสเปรย์คอลัมน์ที่ทำให้ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างมีค่าเป็นกลาง และทำการสร้างคอลัมน์ตามจำนวนครั้งที่หาได้ จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำและเวลาที่ใช้ของการล้างในแต่ละแบบ

ขั้นตอนที่ 3: การตรวจวัดความสะอาดไบโอดีเซล วิเคราะห์ความสะอาดของไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างด้วยน้ำแล้วนั้น ในเบื้องต้นสามารถสังเกตได้จากความใสและค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง เนื่องจากไบโอดีเซลมีความเป็นเบสสูง เมื่อน้ำชะล้างจนสะอาดจะมีค่า pH เป็นกลาง จากนั้นนำข้อมูลปริมาณน้ำและเวลาที่ใช้ในการล้างแต่ละแบบมาเปรียบเทียบกันเพื่อนำไปสู่การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำความสะอาดที่ทำการศึกษา โดยมีขั้นตอนการทำวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งบอกถึงลำดับวิธีที่ใช้ทำวิจัย



รูปที่ 3.9 ลำดับการทำวิจัย

3.3.1 การเตรียมไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดลอง

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.3.1.1 การตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมัน

นำน้ำมันพืชที่ต้องการไปอุ่นให้ร้อนประมาณ 60-80 °C เป็นเวลา 15-20 นาทีเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้าง จากนั้นตวงน้ำมันด้วยปิเปตใส่ในขวดรูปชมพู่ (Flask) ปริมาตร 4 ml ผสมด้วยไอโซโพรพานอลปริมาตรเล็กน้อยเพื่อทำละลายน้ำมันพร้อมทั้งผสมฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์ลงไป ในน้ำมันตัวอย่างประมาณ 1-2 หยด เพื่อบอกจุดยุติ จากนั้นนำน้ำมันตัวอย่างไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนถึงม่วงเข้ม บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดไขมัน ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วง 0.5-2.5 %wt. (Tomasevic, 2002) ขึ้นอยู่กับค่าของกรดไขมันอิสระที่หาได้ เช่น การไตเตรตได้ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทดลองได้เท่ากับ 0.9 ml แสดงว่าต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 0.9 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระจนเป็นกลาง และต้องใช้อีกจำนวน 5 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของระบบ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาตร 500 ml ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรด 98% ปริมาณ 2.95 กรัม

3.3.1.2 การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์

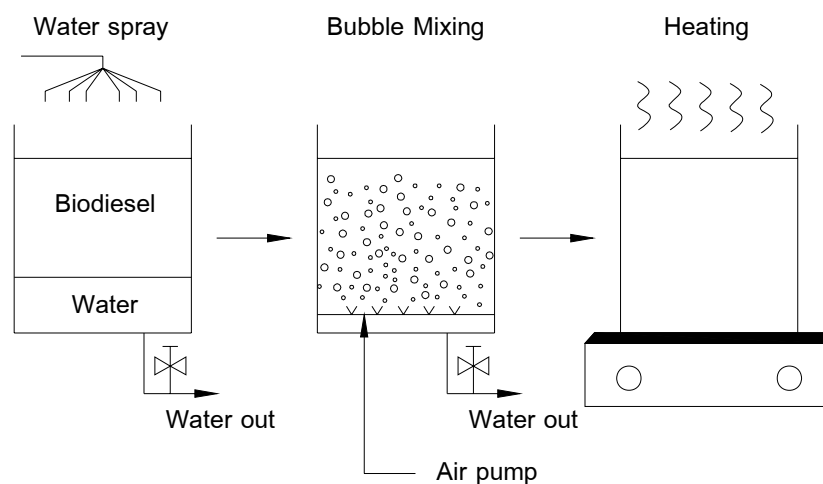
เตรียมน้ำมันที่ผ่านการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระแล้ว นำมาทำปฏิกิริยากับเมทิลแอลกอฮอล์ที่ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2.95 กรัม ตามที่คำนวณไว้แล้ว โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 1:6 หรือประมาณ 23 %vol. ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C (Zhang, 2003) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาทีทั้งนี้ไม่ควรให้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยามีค่าเกิน 64.5 °C เนื่องจากเป็นจุดเดือดของเมทิลแอลกอฮอล์ และทำการแยกกลีเซอรอลโดยวิธีการวางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2 การทำความสะอาดไบโอดีเซล

ขั้นตอนการทำความสะอาดไบโอดีเซล ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ

3.3.2.1 การทำความสะอาดในแบบกะ

แบ่งไบโอดีเซลที่ผลิตเป็น 3 ชุด โดยใช้ไบโอดีเซล 500 ml และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 ในครั้งแรกจะทำการสเปรย์ด้วยน้ำและวางไว้ให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 5-10 นาที จากนั้นถ่ายน้ำออกพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างไปตรวจด้วยเครื่อง Titration Excellence T50 เพื่อวัดค่าความเป็นกรดและเบส ในครั้งต่อไปจะเปลี่ยนวิธีการล้างมาเป็นการผสมด้วยฟองอากาศโดยใช้ปั๊มลมขนาด 58 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยในการผสมครั้งแรกจะใช้เวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชัน จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 10-15 นาที ทำการวัดค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำล้าง ทำซ้ำจนกว่าจะได้ไบโอดีเซลที่มีค่าเป็นกลาง โดยในครั้งต่อไปจะเพิ่มเวลาเป็น 30, 60, 120 นาทีจนในครั้งหลังๆ ใช้เวลาดังที่ 480 นาที

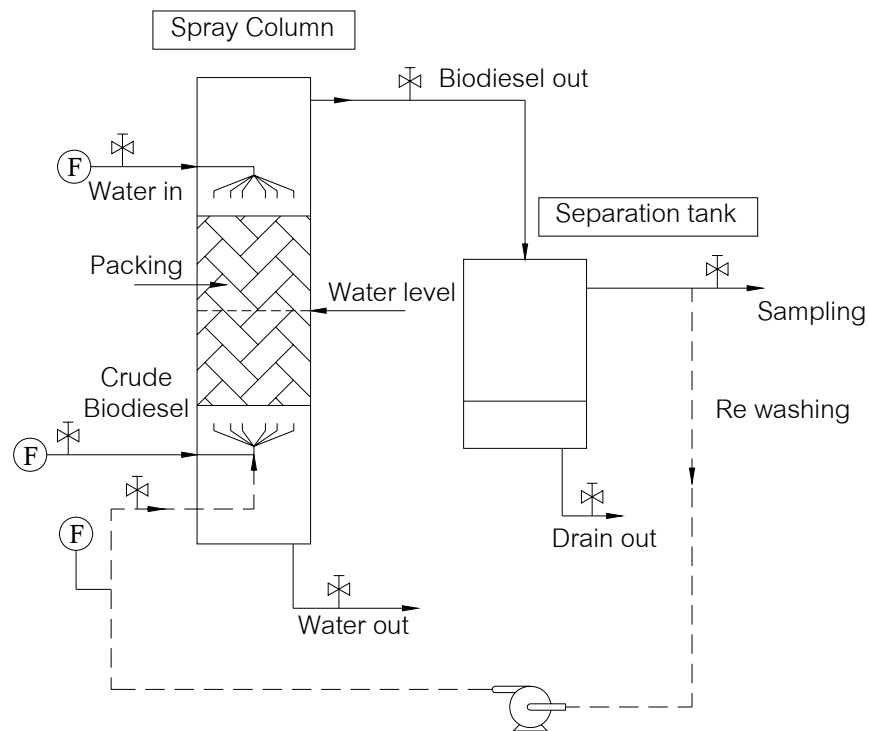


รูปที่ 3.10 วิธีการล้างไบโอดีเซลในแบบกะ

3.3.2.2 การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

เนื่องจากคอลัมน์ที่สร้างขึ้นเพื่อการทดลองยังไม่ทราบถึงขีดความสามารถของการทำงานและไม่ทราบจำนวนคอลัมน์ที่ต้องใช้ ดังนั้นการทดลองครั้งนี้เพื่อหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง โดยเลือกใช้วัสดุบรรจุแบบวงแหวน (raschig rings) หัวสเปรย์ไบโอดีเซลและน้ำแบบท่อพีวีซี มีแผนผังการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ป้อนน้ำเข้าสู่สเปรย์คอลัมน์ให้ระดับน้ำอยู่ที่กึ่งกลางคอลัมน์ เปิดวาล์วน้ำทิ้งเพื่อปรับระดับน้ำให้มีระดับคงที่ จากนั้นป้อนไบโอดีเซลและน้ำเข้าไป โดยเริ่มต้นกำหนดให้อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 50 ลิตรต่อชั่วโมง
2. เมื่อไบโอดีเซลไหลถึงระดับผิวน้ำคงที่ บันทึกเวลาที่ใช้ แล้วจับเวลาต่อไปจนสิ้นออกมาเข้า separation tank ทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 60 นาที ไปตรวจค่า pH และดูความขุ่นของไบโอดีเซล และบันทึกเวลาที่ใช้ทั้งหมด
3. หากค่า pH ของน้ำและไบโอดีเซลยังไม่เท่ากับ 7 หรือไบโอดีเซลยังมีความขุ่นอยู่มาก ให้ป้อนไบโอดีเซลจาก separation tank กลับไปล้างซ้ำในสเปรย์คอลัมน์
4. ทดลองซ้ำจากข้อ 1-3 ปรับอัตราไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 0.5:1, 1:1, 2:1 หน่วยตามลำดับ แล้วตรวจเช็คเหมือนข้อ 3
5. ทดลองซ้ำจากข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนอัตราไหลของไบโอดีเซลและน้ำจาก 50 ลิตรต่อชั่วโมงเป็น 20 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วตรวจเช็คเหมือนข้อ 3
6. ทดลองซ้ำจากข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนอัตราไหลของไบโอดีเซลและน้ำจาก 20 ลิตรต่อชั่วโมงเป็น 10 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วตรวจเช็คเหมือนข้อ 3
7. เปรียบเทียบค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำที่ใช้ล้างทั้งหมด รวมทั้งเวลาในการชะล้างและเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้าง



รูปที่ 3.11 วิธีการหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์

ผลการทดลองในหัวข้อ 3.3.2.2 ทำให้ต้องปรับปรุงลักษณะการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ ของสเปรย์คอลัมน์โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 3.3.2.3

3.3.2.3 การพัฒนาสมรรถนะการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

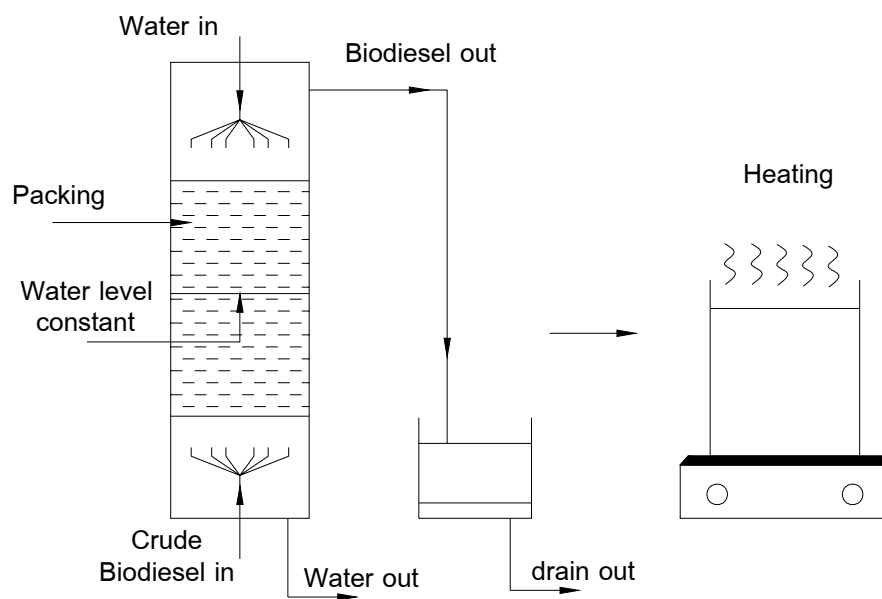
วิธีการทดลองในหัวข้อนี้มีลักษณะเหมือนกับก่อนดำเนินการปรับปรุงคอลัมน์ ซึ่งหลังจากทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนอัตราไหลให้น้อยลง จากนั้นทำการเปลี่ยนวัสดุบรรจุและหัวสเปรย์ไบโอดีเซลและน้ำ ดังหัวข้อต่อไปนี้

ก. การพัฒนาโดยใช้วัสดุบรรจุเป็นฝอยสแตนเลสที่อัตราการไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง

ข. การพัฒนาโดยใช้หัวสเปรย์แบบความดันสูงที่อัตราไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง

3.3.2.4 การทดลองศึกษาศักยภาพของระบบการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

การทดลองในหัวข้อนี้ดำเนินการโดยป้อนไบโอดีเซลและน้ำเข้าไปในระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งป้อนน้ำเข้าทางด้านบนและป้อนไบโอดีเซลเข้าทางด้านล่างคอลัมน์ในลักษณะถัดเป็นฝอยดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วิธีการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

การทดลองด้วยวิธีนี้จะทำการป้อนไบโอดีเซลและน้ำเข้าสู่คอลัมน์พร้อมกันด้วยอัตราส่วนการไหลเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง โดยเตรียมไบโอดีเซลไว้ปริมาณ 30 ลิตร มีวิธีการทดลองดังนี้

1. ป้อนน้ำเข้าคอลัมน์ให้ได้ปริมาณ 12.5 ลิตร (ความสูง 1955 mm) วัดจากฝาปิดด้านล่างของคอลัมน์
2. ป้อนไบโอดีเซลเข้าทางด้านล่างด้วยอัตราไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง จับเวลาที่เริ่มป้อนจนกระทั่งไบโอดีเซลสิ้นถึงระดับน้ำคงที่ บันทึกเวลาที่ใช่ จากนั้นจับเวลาต่อไปจนไบโอดีเซลเริ่มล้นจากคอลัมน์ บันทึกเวลาที่ใช่ทั้งหมด

3. ทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 120 นาที เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า pH หลังการล้าง หากยังไม่มีค่าเป็นกลางให้นำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างในครั้งที่ 1 ป้อนซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนน้ำล้างใหม่ก่อนทดลองซ้ำ

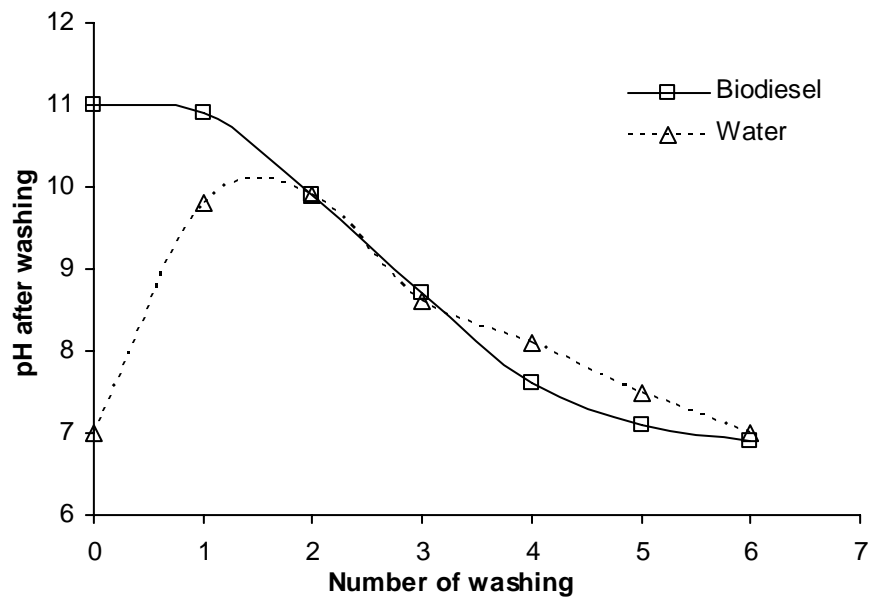
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

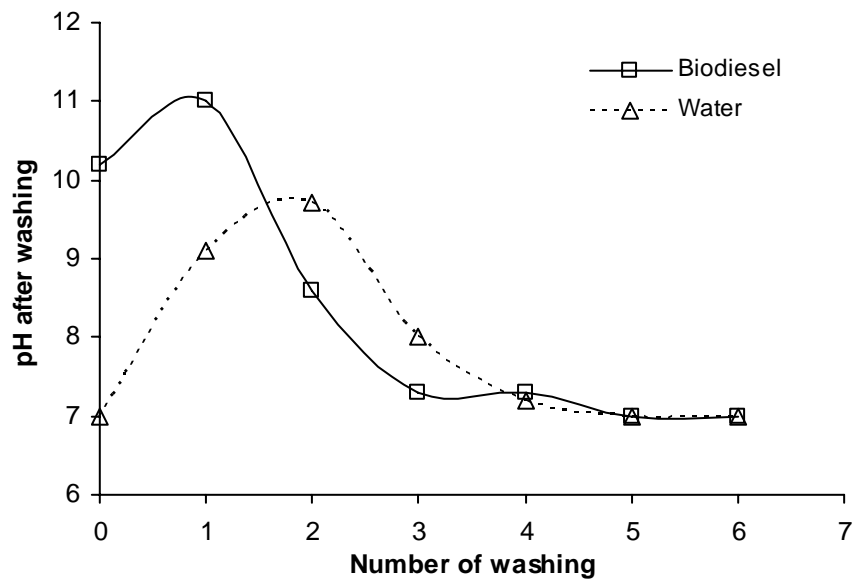
วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อต้องการพัฒนาระบบทำความสะอาดไบโอไดเซลแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเป็นสารชะล้าง (water washing) ซึ่งได้ประยุกต์หลักการแยกสารระหว่างของเหลว 2 ชนิด มาใช้ร่วมกับการล้างไบโอไดเซลด้วยสเปรย์คอลัมน์ ในขั้นตอนการทำวิจัยได้แบ่งเป็น การหาข้อมูลที่ใช้ออกแบบสร้างคอลัมน์โดยทำการทดลองหาข้อมูลในการล้างแบบกะเพื่อนำไปอ้างอิงและเปรียบเทียบกับการล้างแบบต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นต้องทราบจำนวนคอลัมน์ที่ใช้ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบที่อัตราการไหลต่างๆ และทำการปรับปรุงสมรรถนะของคอลัมน์จนได้คุณลักษณะการล้างที่เหมาะสม จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของระบบเพื่อศึกษาถึงปริมาณการใช้น้ำและเวลาในการชะล้างของระบบ มีผลการทำวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 การล้างไบโอไดเซลในแบบกะ

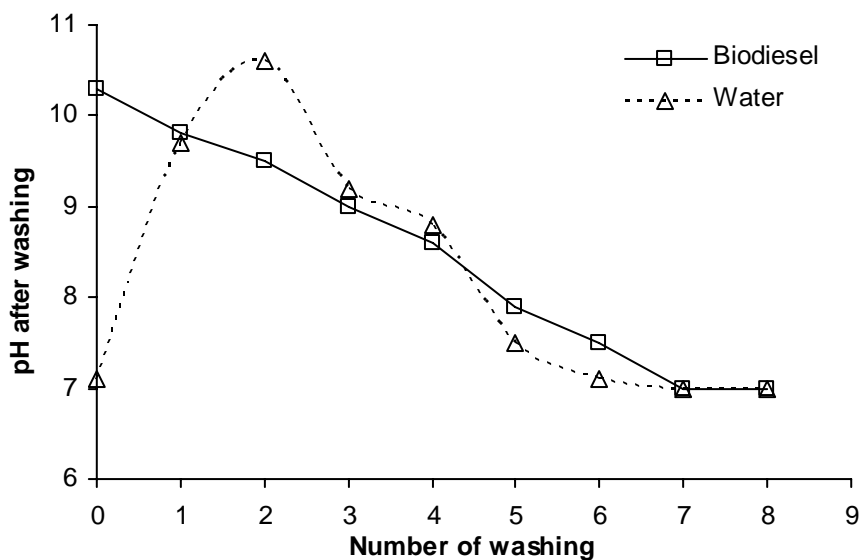
การศึกษาการทำความสะอาดไบโอไดเซลในแบบกะมีวัตถุประสงค์เพื่อหาข้อมูลที่สามารถนำมาเปรียบเทียบและอ้างอิงกับระบบแบบต่อเนื่อง เช่น เวลาที่ใช้ล้าง ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อไบโอไดเซลหนึ่งหน่วยซึ่งสามารถกระทำได้ในระบบแบบกะ โดยใช้ไบโอไดเซลปริมาณ 500 ml และปรับใช้น้ำล้างเป็นครั้งๆ ในอัตราส่วนไบโอไดเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:2, 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 ในขั้นแรกของการทดลองจะทำการสเปรย์น้ำและปล่อยให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 15 นาที แล้วปล่อยน้ำล้างทิ้งไป จากนั้นทำการล้างด้วยวิธีการผสมด้วยฟองอากาศ เป็นเวลา 30, 60, 120 และ 480 นาที ทำการเก็บตัวอย่างไบโอไดเซลและน้ำล้างทุกๆ ครั้งด้วยการวางทิ้งไว้ให้แยกชั้น 15 นาที ไปตรวจวัดค่า pH ซึ่งจะต้องมีค่าเท่ากับ 7 หากมีค่าที่มากกว่านี้ ก็จะทำการล้างต่อไปโดยใช้การผสมด้วยฟองอากาศเป็นเวลา 480 นาที ผลการทดลองดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่า pH หลังการล้างของไบโอไดเซลและน้ำ ซึ่งสังเกตได้ว่าไบโอไดเซลก่อนล้างมีค่า pH = 10.9 และจะมีค่าลดลงเมื่อทำการล้างไปหลายๆ ครั้งจนมีค่าเป็นกลาง ส่วนค่า pH ของน้ำก่อนล้างมีค่าเท่ากับ 7 เมื่อทำการล้างไปหลายๆ ครั้ง pH มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งตกค้างในไบโอไดเซลละลายปนออกมากับน้ำ ทำให้น้ำมีความเป็นเบสสูงขึ้นซึ่งแนวโน้มของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนกันกับกราฟในรูปที่ 4.2, 4.3, และ 4.4



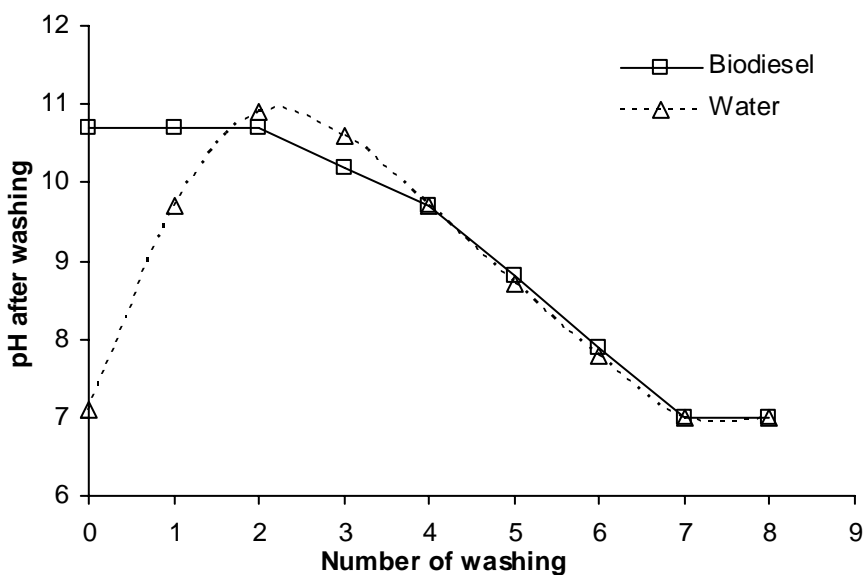
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:2; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.9 และน้ำเท่ากับ 7.0



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:1; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.2 และน้ำเท่ากับ 7.0

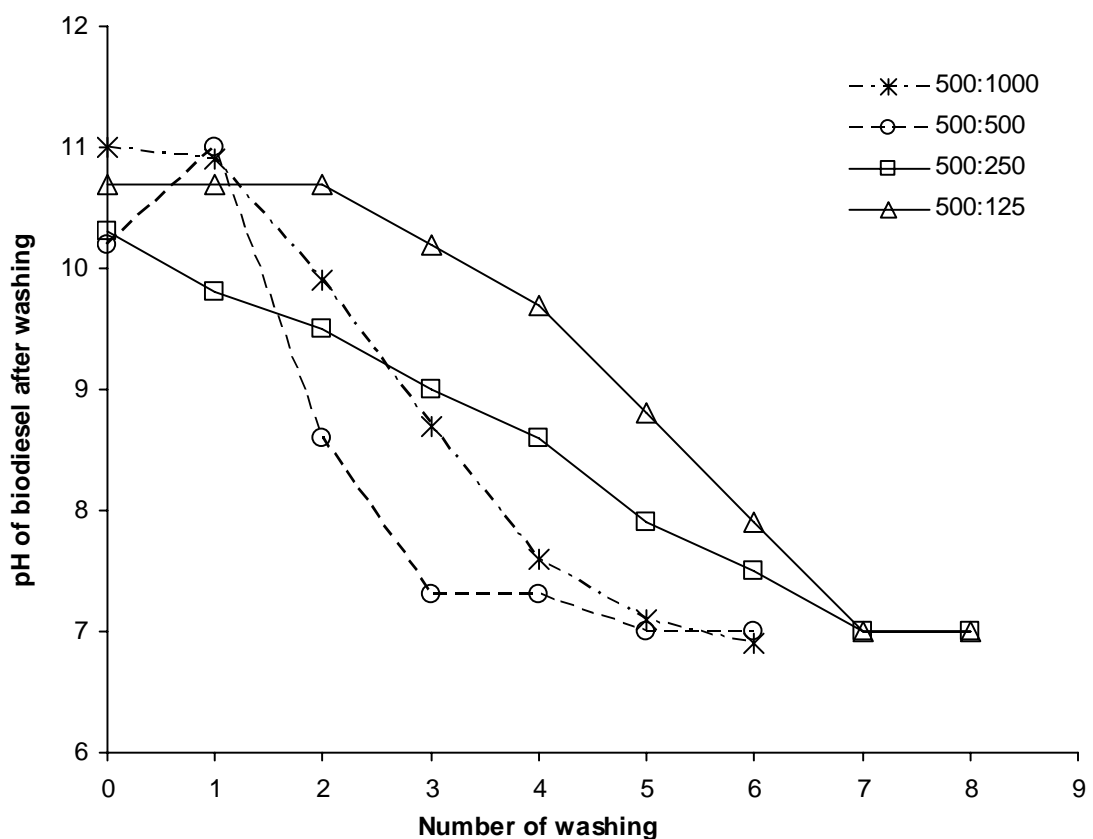


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:0.5; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.3 และน้ำเท่ากับ 7.1

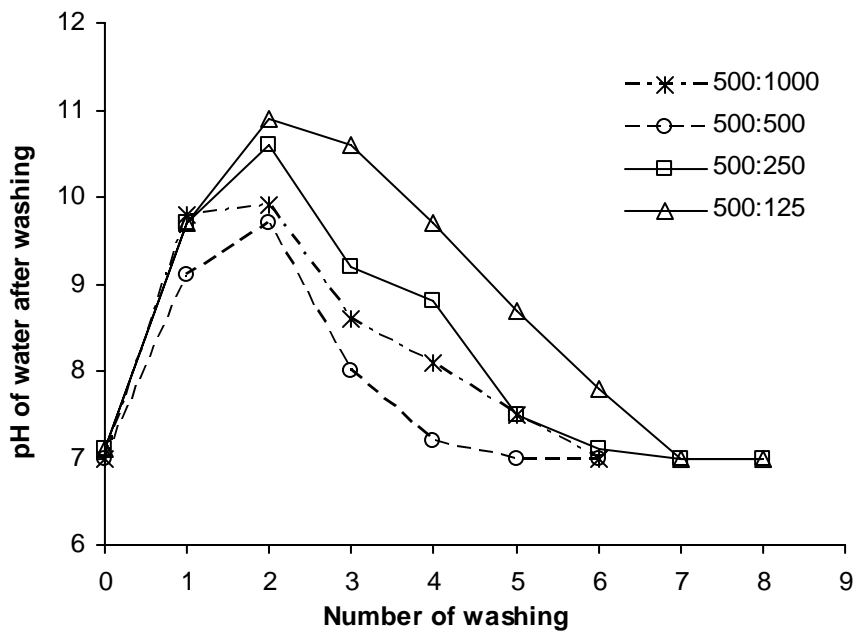


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการล้างกับ pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:0.25; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 10.7 และน้ำเท่ากับ 7.6

เมื่อนำค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงค่าแต่ละอัตราส่วนในรูปแบบที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าการใช้น้ำที่อัตราส่วน 1:2 ต้องทำการล้าง 6 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 12 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 775 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 469 ml ที่อัตราส่วน 1:1 ต้องทำการล้าง 6 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 6 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 775 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 470 ml ที่อัตราส่วน 1:0.5 ต้องทำการล้าง 7 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 3.5 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 1285 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 466 ml และที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:0.25 ต้องทำการล้าง 7 ครั้งหรือใช้ปริมาณน้ำเพียง 1.75 เท่าของไบโอดีเซล และได้ไบโอดีเซลคืนมา 468 ml



รูปที่ 4.5 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25



รูปที่ 4.6 ค่า pH ของน้ำหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25

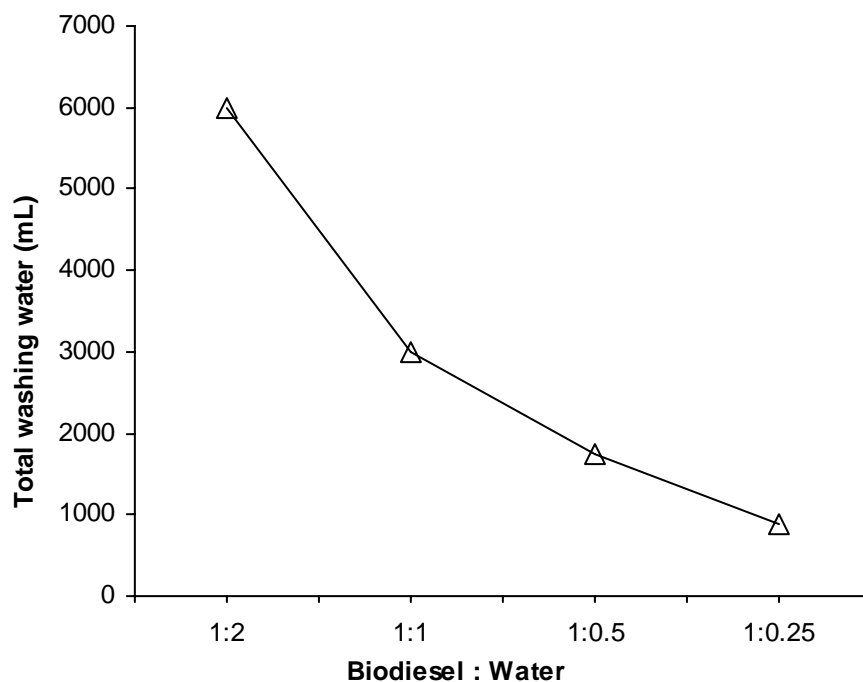
เมื่อนำข้อมูลการใช้ น้ำและเวลาที่ทำ การล้างมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าแนวโน้มการใช้ น้ำรวมในการล้างมีค่าที่ลดลงเมื่อใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในการล้างแต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลโดยการสเปรย์น้ำร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศเมื่อใช้น้ำปริมาณที่ต่างกัน

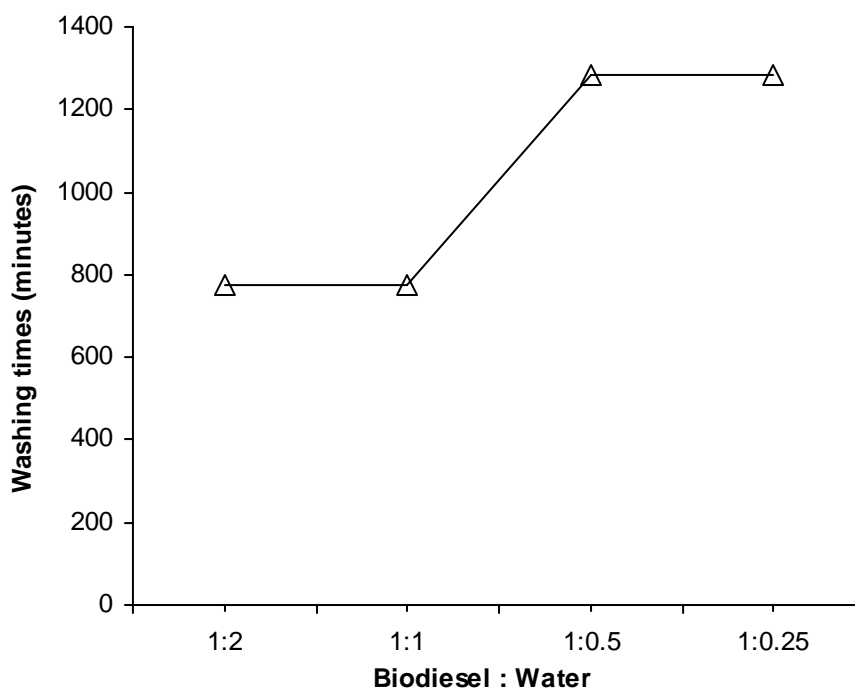
ไบโอดีเซล ต่อน้ำ (มิลลิลิตร)	น้ำที่ใช้ล้างใน แต่ละครั้ง (มิลลิลิตร)	จำนวนครั้งการ ล้าง (ครั้ง)	เวลาที่ใช้ ทั้งหมด (นาที)	ปริมาณไบโอ ดีเซลหลังล้าง (มิลลิลิตร)
1:2	1000	6	775	469
1:1	500	6	775	470
1:0.5	250	7	1285	466
1:0.25	125	7	1285	468

เมื่อนำผลการทดลองในตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟเปรียบเทียบผลของสัดส่วนน้ำในการล้างแต่ละครั้งต่อปริมาณน้ำรวมที่ต้องใช้ทั้งหมดในการล้างไบโอดีเซลให้สะอาดดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการใช้สัดส่วนน้ำในปริมาณที่น้อยสำหรับการล้างแต่ละครั้ง มีแนวโน้มที่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำรวมของระบบให้น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:2 ต้องใช้ปริมาณน้ำล้างรวมทั้งหมดมากที่สุด และปริมาณการใช้น้ำรวมได้ลดลงตามอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ลดลง ดังที่อัตราส่วน 1:0.25 มีการใช้ปริมาณน้ำรวมทั้งหมดน้อยที่สุด

แต่ในทางกลับกัน แนวโน้มของเวลาที่ใช้ล้างจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งการล้างดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.8 ซึ่งที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:1 ใช้เวลาในการล้างเท่ากัน แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้อัตราส่วน 1:0.5 เวลาการล้างรวมที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งคงที่ที่อัตราส่วน 1:0.25



รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างทั้งหมดในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.25, และ 1:0.25



รูปที่ 4.8 เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ เป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25

4.2 การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

เนื่องจากการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์จำเป็นต้องทราบจำนวนคอลัมน์ที่ใช้ทดลอง ดังนั้นจึงทำการหาจำนวนคอลัมน์โดยใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 mm สูง 1,500 mm จำนวน 1 ชุด ภายในมีวัสดุบรรจุแบบวงแหวน (raschig rings) ผลิตจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 14 mm หนา 1 mm ยาว 6 mm ดังแสดงในรูปที่ 4.9 บรรจุไว้เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัส

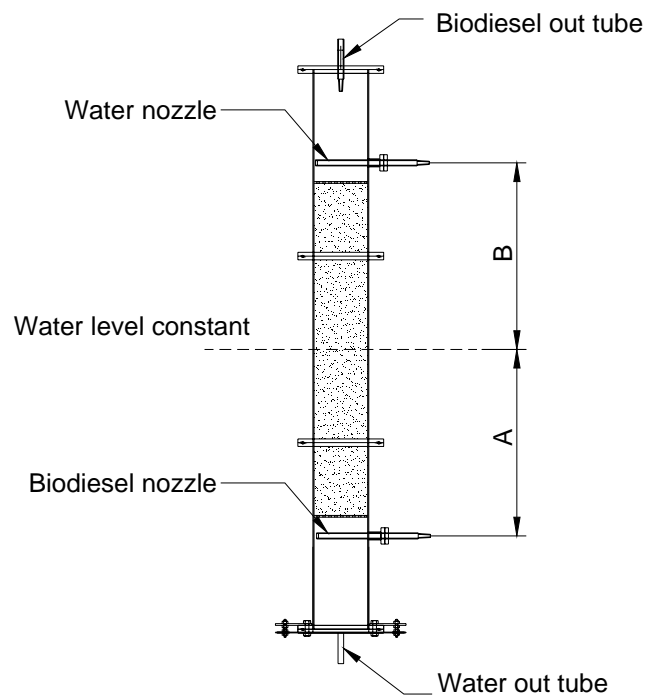


รูปที่ 4.9 วัสดุบรรจุแบบวงแหวนที่ผลิตจากทอพีวีซี

การทดลองนี้เพื่อศึกษาถึงผลของเวลาในการชะล้างและอัตราส่วนการไหลระหว่างไบโอดีเซลและน้ำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

4.2.1 การล้างแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลไบโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง

การทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้อัตราไหลของไบโอดีเซลเท่ากับ 50 ลิตรต่อชั่วโมง และทำการปรับอัตราส่วนการไหลระหว่างไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25 ได้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.9% โดยปริมาตร พบว่าเวลาที่ใช้ในการล้างทั้งหมดเท่ากับ 8.36 นาทีต่อครั้ง ซึ่งเวลาที่กล่าวถึงนี้นิยามเป็น total washing time ที่วัดได้จริงโดยอ้างอิงจากระดับของหัวสเปรย์ของไบโอดีเซลจนถึงทางออกของไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.10 น้ำที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์จากด้านบนถูกควบคุมให้มีระดับคงที่ที่ความสูง 750 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางคอลัมน์ เวลาที่ไบโอดีเซลไหลผ่านชั้นน้ำจนถึงตำแหน่งนี้คือ 1.19 นาที เรียกว่า residence time โดยได้นิยามให้เป็นระยะตั้งแต่หัวสเปรย์ของไบโอดีเซลจนถึงระดับน้ำคงที่แทนด้วยเส้นประ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือระยะ A จากเส้นประจนถึงหัวสเปรย์ของน้ำกำหนดให้เป็นระยะ B ใช้เวลา 7.17 นาที

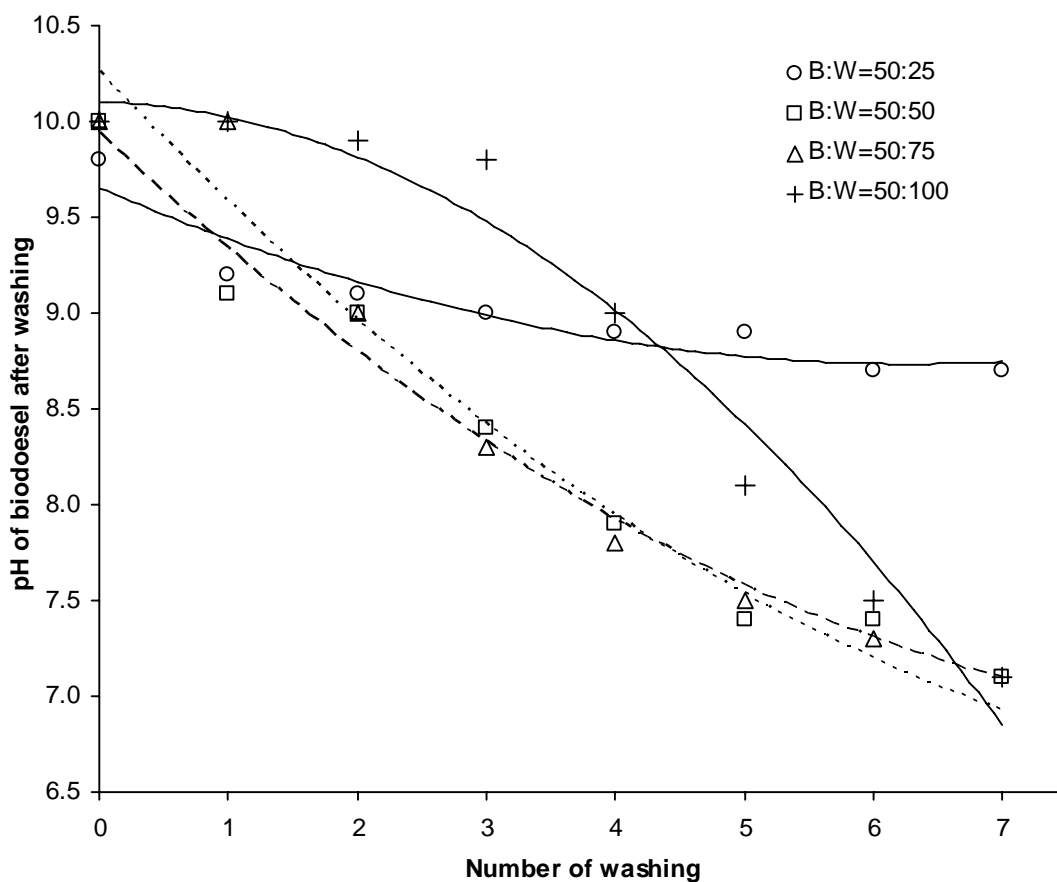


รูปที่ 4.10 การนิยาม residence time ที่ใช้ในการล้างด้วยสเปรย์คอลัมน์

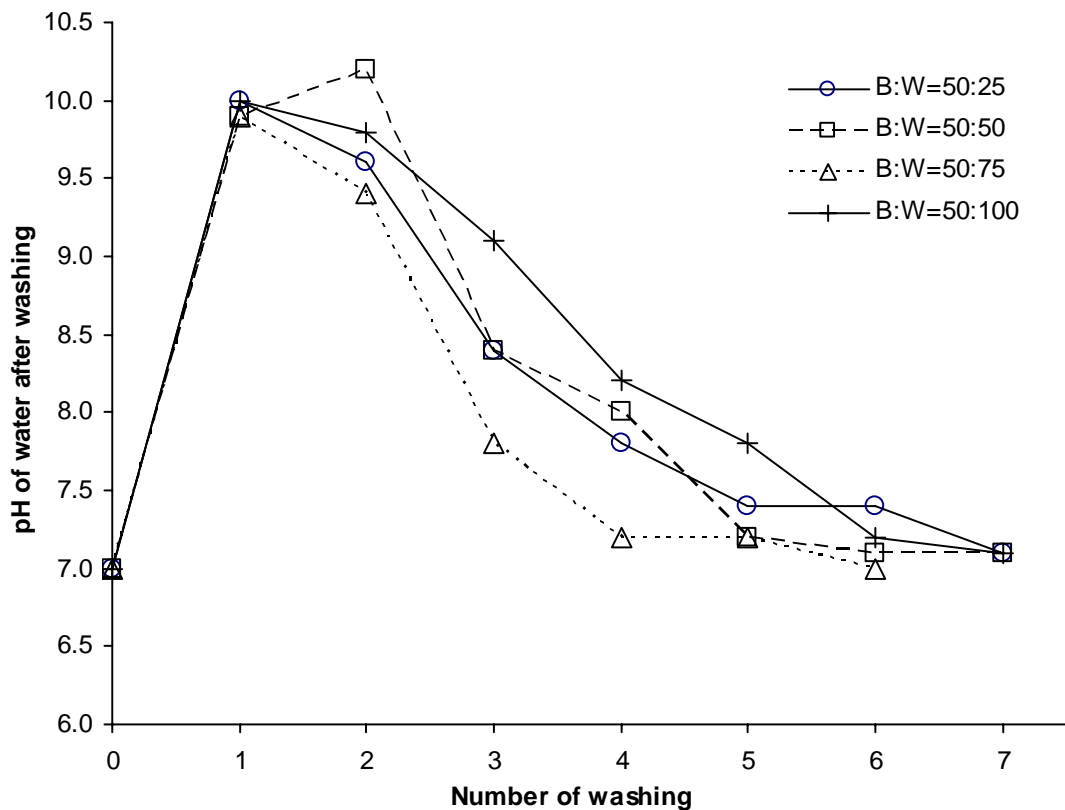
รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงจำนวนครั้งการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำ หลังการล้างในแต่ละครั้ง โดยที่อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำ 50:50 ต้องทำการล้าง ทั้งหมด 7 ครั้ง pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างมีค่าอยู่ในช่วง 7.1-9.1 และ 7.1-9.9 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วน 50:100 ต้องทำการล้างทั้งหมด 7 ครั้ง pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างมีค่าอยู่ในช่วง 7.1-10.0 ในขณะที่อัตราส่วนการไหล 50:75 ต้องทำการล้างทั้งหมด 6 ครั้ง pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างมีค่าอยู่ในช่วง 7.3-10.0 และ 7.0-9.9

ที่อัตราส่วนการไหล 50:25 ไม่สามารถล้างไบโอดีเซลให้สะอาดโดยสังเกตจากค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 6 และ 7 มีค่าคงที่เท่ากับ 8.7 ในทางกลับกันค่า pH ของน้ำ หลังการล้างมีค่าเท่ากับ 7.4 และ 7.1 ซึ่งมีค่าไม่ต่างจากก่อนล้างมากนัก แสดงว่าน้ำไม่สามารถชะล้างสิ่งตกค้างในไบโอดีเซล ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราไหลของน้ำมีค่าเป็น 0.5 เท่าของอัตราไหลของไบโอดีเซลซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาก ดังนั้นอัตราส่วนการไหลที่เหมาะสมต่อการล้างแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์คือ 1:1 ทั้งนี้ค่า pH ของไบโอดีเซลเริ่มต้นจะมีค่าที่สูง เมื่อล้างไปหลายครั้งค่า pH ก็ จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่ง ในทำนองเดียวกันน้ำที่มีค่าเป็นกลางในตอนเริ่มต้น จะมีค่า pH ที่สูงขึ้นใน การล้างครั้งที่ 1 และ 2 แต่จะค่อยๆ ลดลงเมื่อทำการล้างไปต่อไปในครั้งที่ 3 จนถึงครั้งที่ 7 ค่า pH ก็ น้อยลงจนเป็นกลาง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลเกิดการละลายและ

รวมตัวกับน้ำทำให้น้ำมีค่า pH สูงขึ้น เมื่อปล่อยน้ำที่มีสิ่งสกปรกเกือบแห้งไป ความเข้มข้นของสิ่งตกค้างในคอลัมน์ก็มีย่าน้อยลงน้ำล้างจึงมีค่า pH น้อยลงด้วย



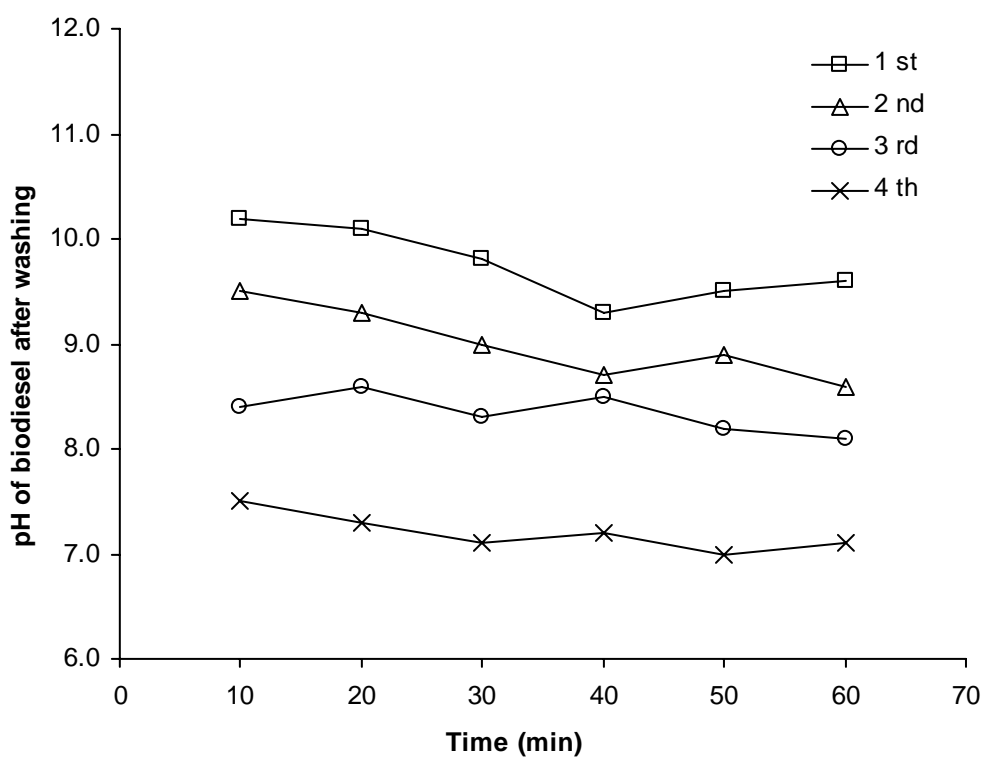
รูปที่ 4.11 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยอัตราการใช้ไบโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนน้ำ 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25; pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 และ 7.0



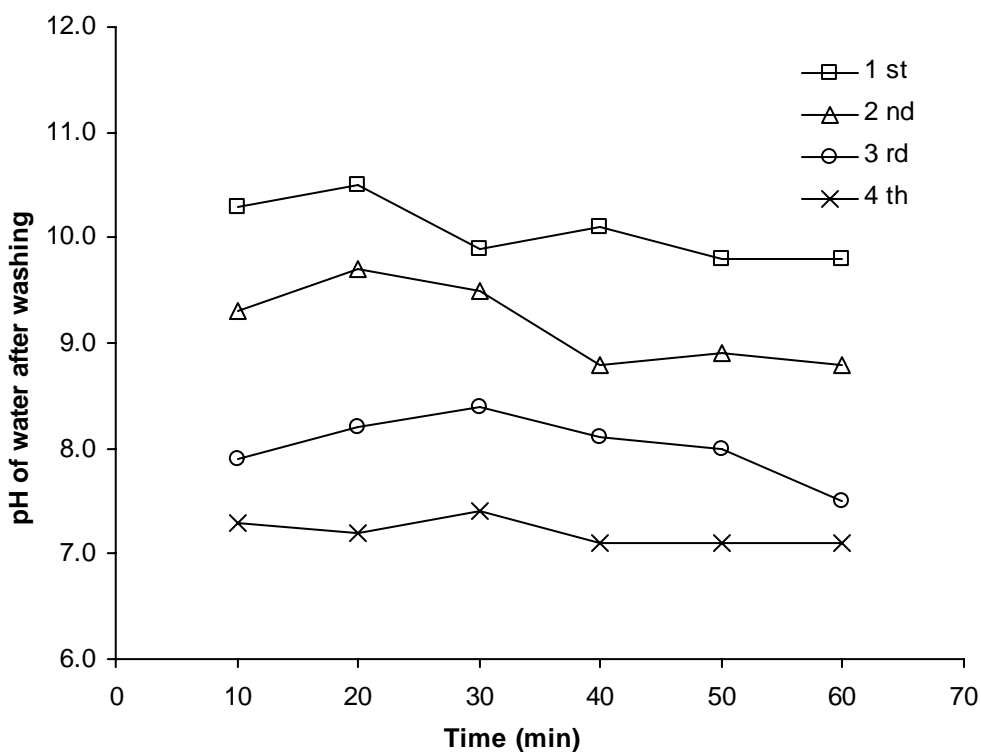
รูปที่ 4.12 ค่า pH ของน้ำหลังการล้างด้วยอัตราการใช้ไฮโปโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนน้ำ 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25 ค่า pH เริ่มต้นของไฮโปโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.0 และ 7.0

4.2.2 การล้างแบบต่อเนื่องที่อัตราการใช้ไฮโปโอดีเซล 20 ลิตรต่อชั่วโมง

จำนวนครั้งการล้างที่ทำได้จากการทดลองด้วยอัตราการใช้ไฮโปโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง มีจำนวนเท่ากับ 7 ครั้ง เมื่อใช้อัตราส่วนการใช้ไฮโปโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 50:50 ลิตรต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นปริมาณน้ำเท่ากับ 7 เท่าของไฮโปโอดีเซลโดยปริมาตร นับได้ว่าเป็นปริมาณน้ำล้างจำนวนมาก ดังนั้นการลดอัตราการใช้ไฮโปโอดีเซลให้น้อยลงจะทำให้ไฮโปโอดีเซลมีเวลาสัมผัสกับน้ำได้นานมากขึ้น การทดลองนี้ได้ใช้อัตราส่วนการใช้ไฮโปโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากการทดลองด้วยอัตราการใช้ไฮโปโอดีเซลที่เท่ากันจะใช้น้ำในปริมาณที่น้อยที่สุด การทดลองครั้งนี้เก็บตัวอย่างไฮโปโอดีเซลและน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที มีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.1 และ 7.0



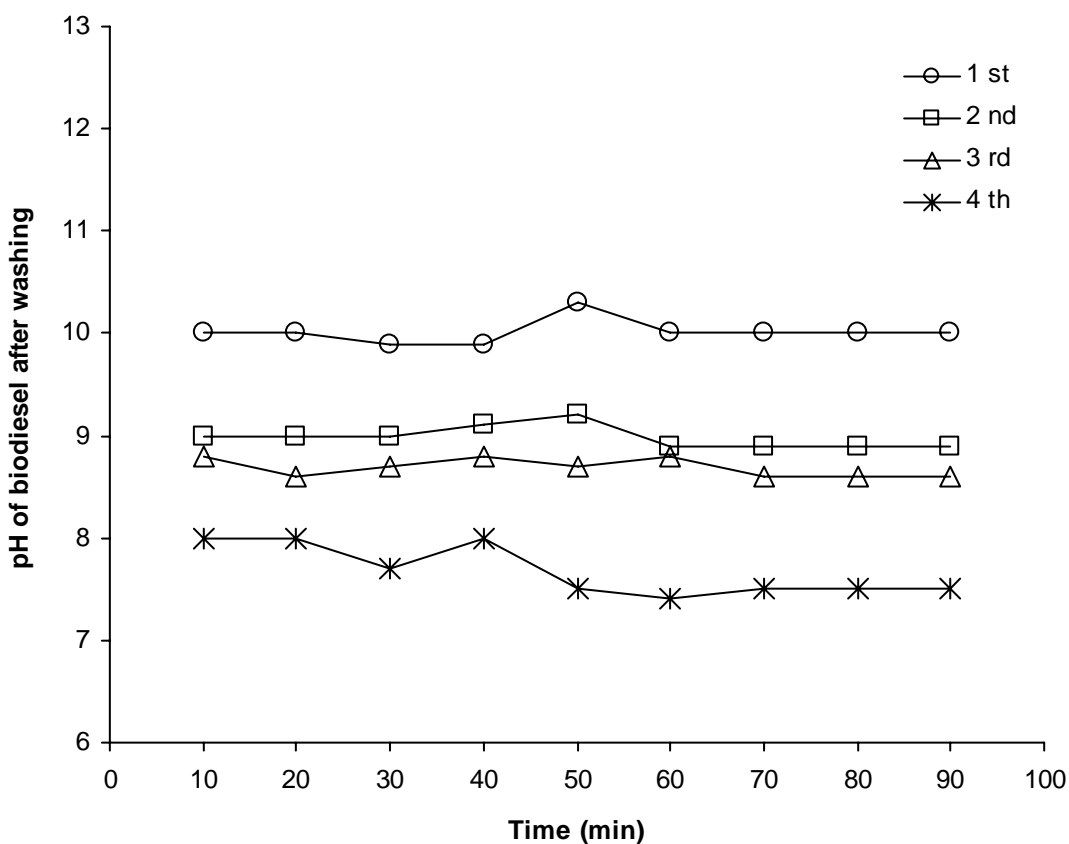
รูปที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซล และน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.1 และ 7.0

จากข้อมูลของจำนวนครั้งการล้างที่มีค่าเท่ากับ 4 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 4 เท่าของไบโอดีเซล ซึ่งมีค่าน้อยลงกว่าการใช้อัตราการไหล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นการลดอัตราไหลของการป้อนไบโอดีเซลและน้ำ ทำให้ใช้น้ำล้างในปริมาณที่น้อยลง ถ้าหากลดอัตราไหลลงอีกผลที่ได้ควรจะทำให้ใช้ปริมาณน้ำล้างน้อยลงได้อีก ดังนั้นการทดลองที่ได้ดำเนินการต่อไปคือ การล้างแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

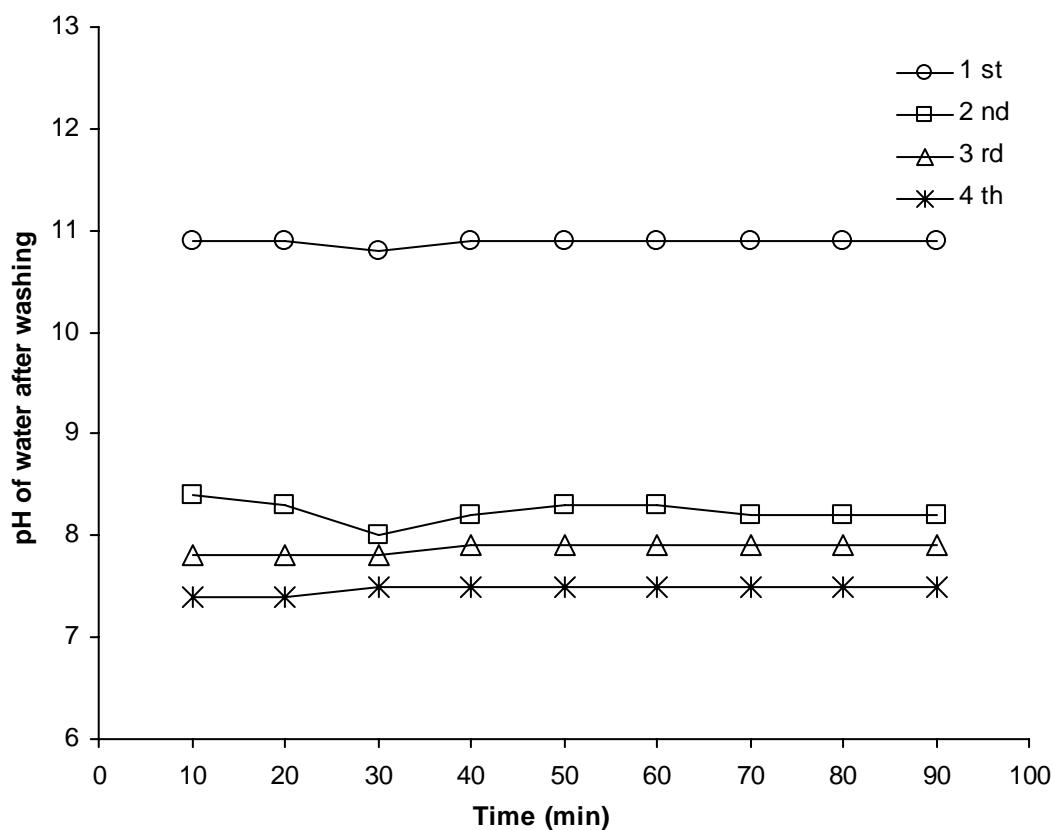
4.2.3 การล้างแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง

เมื่อทำการล้างแบบต่อเนื่องด้วยอัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าต้องทำการล้างทั้งหมด 4 ครั้งจนได้ไบโอดีเซลที่มีค่าเป็นกลาง ใช้เวลาในการชะล้าง 2.28 นาทีต่อครั้ง และใช้เวลาล้างรวมทั้งหมด 40.48 นาทีต่อครั้ง มีค่าความเป็นกรดและเบสดังแสดงในรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ซึ่งค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้าง

ในครั้งที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 7.5-8.0 และค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 7.4-7.5 ดังนั้นเมื่อทำการล้างทั้งหมด 4 ครั้ง หรือคิดเป็นปริมาณน้ำ 4 เท่าของไบโอดีเซล น้ำที่ใช้ล้างมีปริมาณเท่ากับการล้างโดยใช้อัตราส่วนการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงว่าการลดอัตราไหลของไบโอดีเซลและน้ำให้น้อยลงไม่สามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ล้างได้ สำหรับระบบการล้างแบบต่อเนื่องโดยใช้หัวสเปรย์แบบท่อพีวีซีร่วมกับวัสดุบรรจุแบบวงแหวน ดังนั้นการทดลองที่ได้ดำเนินการต่อไปคือ การปรับปรุงสเปรย์คอสมัน์โดยเปลี่ยนวัสดุบรรจุ และหัวสเปรย์ไบโอดีเซลและน้ำ



รูปที่ 4.15 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างทุกๆ 10 นาที เมื่อใช้อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1



รูปที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไปโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไปโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1

4.2.4 สรุปผลการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

การล้างไปโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์ เมื่อใช้วัสดุบรรจุแบบ raschig ring และหัวสเปรย์ที่ผลิตจากท่อพีวีซี เจาะรูรอบๆ ท่อ เมื่อทำการทดลองด้วยอัตราการไหลไปโอดีเซล 50 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับอัตราการไหลของน้ำ ผลปรากฏว่าต้องทำการล้าง 7 ครั้ง คิดเป็นปริมาณน้ำที่มาก จากนั้นได้ทำการทดลองซ้ำ แต่ลดอัตราการไหลของไปโอดีเซลเหลือ 20 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากต้องการเพิ่มเวลาในการสัมผัสให้มากขึ้น ผลปรากฏว่าต้องใช้คอลัมน์จำนวน 4 คอลัมน์เท่ากัน ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำ 4 เท่าของไปโอดีเซลโดยปริมาตร ซึ่งมีปริมาณที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างในแบบกะ ดังนั้นการลดอัตราการไหลของไปโอดีเซลในการล้างด้วยสเปรย์คอลัมน์ร่วมกับวัสดุบรรจุและหัวสเปรย์ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น ต้องใช้สเปรย์คอลัมน์

จำนวน 4 คอลัมน์ การทดลองที่ได้ดำเนินการต่อไปคือการลดจำนวนสเปรย์คอลัมน์ให้น้อยลงโดยทำการปรับปรุงสมรรถนะของสเปรย์คอลัมน์ ดังในหัวข้อต่อไป

4.3 การพัฒนาสมรรถนะการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

จากการทดลองหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ยังคงใช้น้ำในปริมาณมาก ดังนั้นจึงทำการลดอัตราการไหลของไบโอดีเซลจาก 50 ลิตรต่อชั่วโมง เป็น 20 ลิตรต่อชั่วโมงและ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่ายังต้องทำการล้าง 4 ครั้ง ซึ่งแสดงว่าการลดอัตราไหลมีผลน้อยต่อการลดปริมาณการใช้น้ำเมื่อใช้วัสดุบรรจุแบบวงแหวน (raschig rings) ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาสมรรถนะของสเปรย์คอลัมน์โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือการเปลี่ยนวัสดุบรรจุจากท่อพีวีซีเป็นฝอยสแตนเลส ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และการเปลี่ยนหัวสเปรย์เป็นแบบหัวฉีดความดันสูง

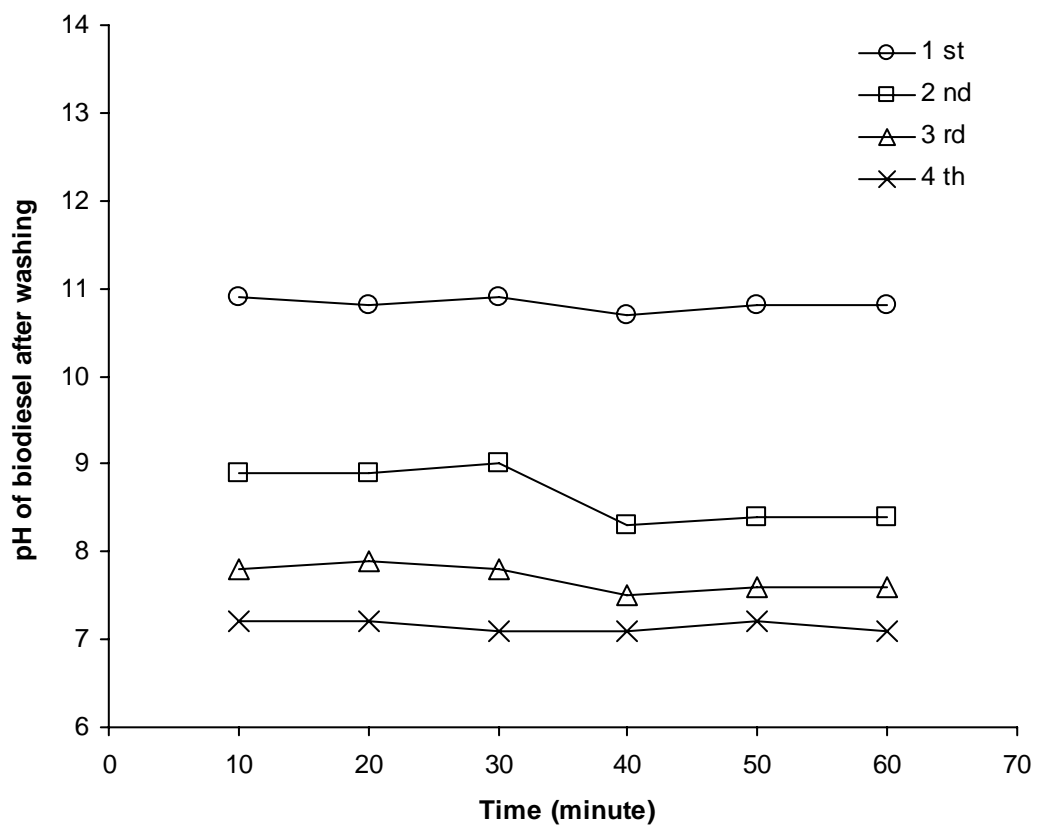
4.3.1 การพัฒนาโดยใช้วัสดุบรรจุเป็นฝอยสแตนเลสที่อัตราการไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง



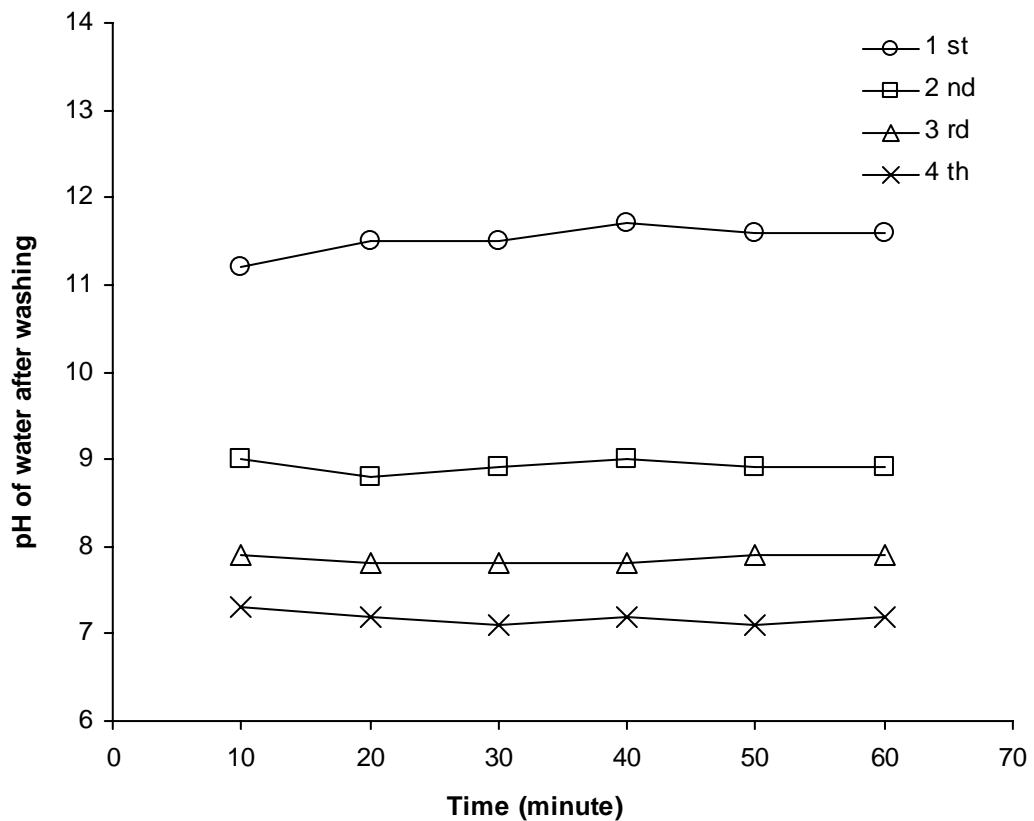
รูปที่ 4.17 วัสดุบรรจุแบบฝอยสแตนเลส

การทดลองที่ได้ดำเนินการในหัวข้อที่ 4.2 เป็นการทดลองโดยใช้วัสดุบรรจุแบบวงแหวน ซึ่งเมื่อทำการล้างแบบต่อเนื่องยังต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนมาใช้วัสดุบรรจุแบบฝอยสแตนเลส ทำการทดลองในแบบต่อเนื่องโดยใช้อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อ น้ำเท่ากับที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง มีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 7.1-7.2 และรูปที่ 4.19 ค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 4

มีค่าอยู่ในช่วง 7.1-7.3 เมื่อทำการล้างทั้งหมด 4 ครั้ง หรือใช้น้ำ 4 เท่าของไบโอดีเซล การเปลี่ยนวัสดุบรรจุเป็นแบบฝอยสแตนเลสเมื่อใช้ร่วมกับหัวสเปรย์แบบท่อพีวีซี ยังคงใช้น้ำล้างในปริมาณที่เท่ากับการทดลองโดยใช้หัวสเปรย์แบบท่อพีวีซีร่วมกับวัสดุบรรจุแบบวงแหวน แต่เมื่อสังเกตค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างพบว่า การทดลองโดยใช้วัสดุบรรจุแบบฝอยสแตนเลสจะให้ค่า pH ในการล้างครั้งที่ 4 ที่เข้าใกล้ 7 ได้มากกว่า สำหรับการทดลองที่ได้ดำเนินการต่อไปคือการเปลี่ยนรูปแบบของหัวฉีดไบโอดีเซลและน้ำ เพื่อทดสอบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้อีกหรือไม่ ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.18 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.5 และ 7.0



รูปที่ 4.19 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.5 และ 7.0

4.3.2 การพัฒนาโดยใช้หัวสเปรย์แบบความดันสูงที่อัตราไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง

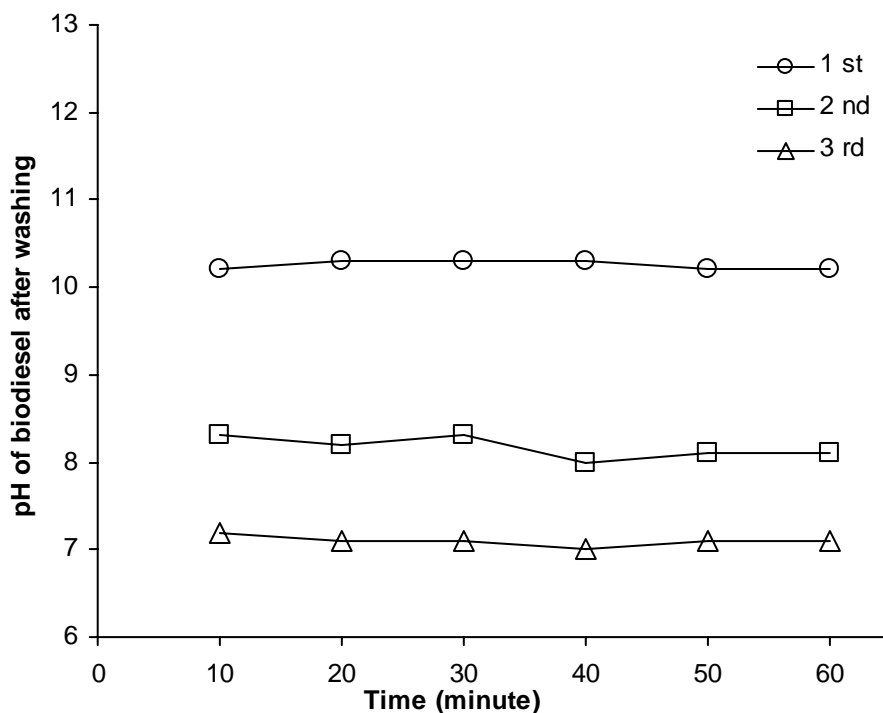
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าการฉีดไบโอดีเซลให้มีความแรงมากขึ้น และกระจายได้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของคอล์มน์ จะช่วยให้การสัมผัสระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำเกิดขึ้นได้ดีกว่าเดิมหรือไม่ โดยการเปลี่ยนจากหัวสเปรย์แบบใช้ท่อพีวีซีเจาะรูดังแสดงในรูปที่ 4.20 มาเป็นหัวฉีดความดันสูงดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งหัวสเปรย์แบบเดิมมีรูที่เจาะขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู เมื่อนำไปใช้งานสามารถฉีดน้ำได้เป็นฝอยขนาดเล็กแต่ไม่ทั่วพื้นที่หน้าตัดคอล์มน์



รูปที่ 4.20 หัวสเปรย์ไบโอดีเซลและน้ำแบบท่อพีวีซี

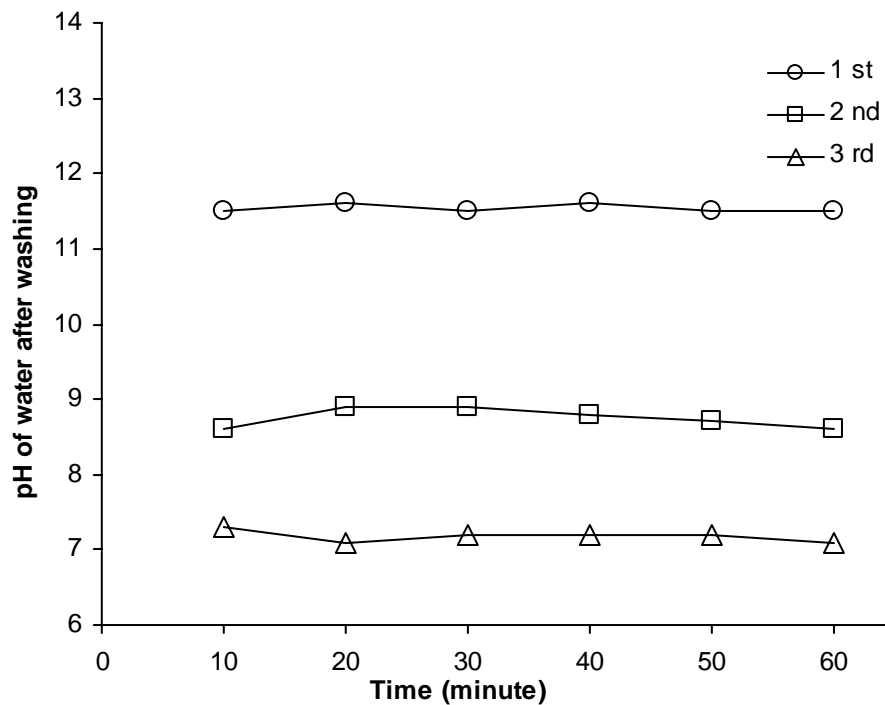


รูปที่ 4.21 หัวฉีดไบโอดีเซลและน้ำแบบความดันสูง



รูปที่ 4.22 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของไบโอดีเซลหลังล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.9 และ 7.0

เมื่อเปลี่ยนหัวสเปรย์และนำไปทดลองโดยวิธีการล้างแบบต่อเนื่อง ที่อัตราไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ผลการทดลองพบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำในครั้งที่ 3 มีค่าในช่วง 7.1-7.2 และ 7.1-7.3 ตามลำดับ ซึ่งทำการล้างทั้งหมด 3 ครั้ง คิดเป็นสัดส่วนน้ำเท่ากับ 3 เท่าของไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ดังนั้นหัวสเปรย์แบบหัวฉีดความดันสูงที่มีรูฉีด 1 รู สามารถกระจายไบโอดีเซลและน้ำได้ดีกว่าแบบท่อพีวีซี ซึ่งรายละเอียดของลักษณะการกระจายตัวและขนาดของอนุภาค ไม่ได้ทำการวัดและเก็บข้อมูล เนื่องจากเป็นการศึกษาเบื้องต้น พฤติกรรมของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเรื่องที่น่าสนใจ และสามารถนำไปใช้วิจัยได้อีกหลากหลาย



รูปที่ 4.23 เวลาที่ใช้ในการล้างกับค่า pH ของน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที อัตราการไหลไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.9 และ 7.0

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.22 พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลเมื่อผ่านการล้างในครั้งที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 6.9-7.0 ซึ่งมีค่าที่เป็นกลางแสดงว่ามีความสะอาด นั่นหมายความว่าถ้าหากใช้สเปรย์คอล์มน์จำนวน 3 คอล์มน์ทำการล้างแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถทำความสะอาดไบโอดีเซลได้สะอาดเมื่อผ่านคอล์มน์ที่ 3 ซึ่งจะทำให้การทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้ในการทดลองแบบต่อเนื่องเมื่อออกแบบสร้างคอล์มน์ตามที่หาได้ ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

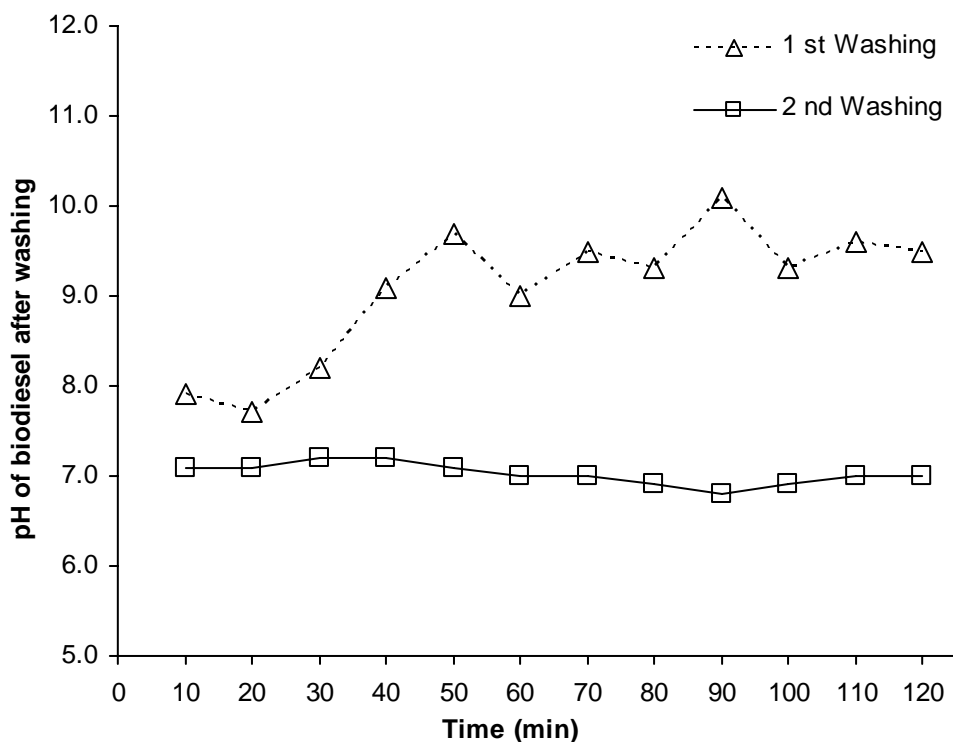
4.3.3 สรุปผลการพัฒนาสมรรถนะของสเปรย์คอล์มน์

การปรับปรุงสเปรย์คอล์มน์ในการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ได้ใช้ปริมาณน้ำล้างเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะการล้างที่ดีขึ้น เมื่อทำการทดลองที่อัตราไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าการเปลี่ยนวัสดุบรรจุเป็นฟอสเฟตผสมร่วมกับหัวฉีดแบบทอพีวีซี ต้องทำการล้างทั้งหมด 4 ครั้ง แต่เมื่อเปลี่ยนหัวสเปรย์เป็นแบบหัวฉีดความดันสูง และทดลองที่อัตราการไหลเดียวกันต้องทำการล้างทั้งหมด 3 ครั้ง แสดงว่าการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอล์มน์

ควรใช้วัสดุบรรจุแบบฟอยสแตนเลสร่วมกับหัวฉีดความดันสูง และใช้อัตราการไหลไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อัตราส่วนการไหล 1:1

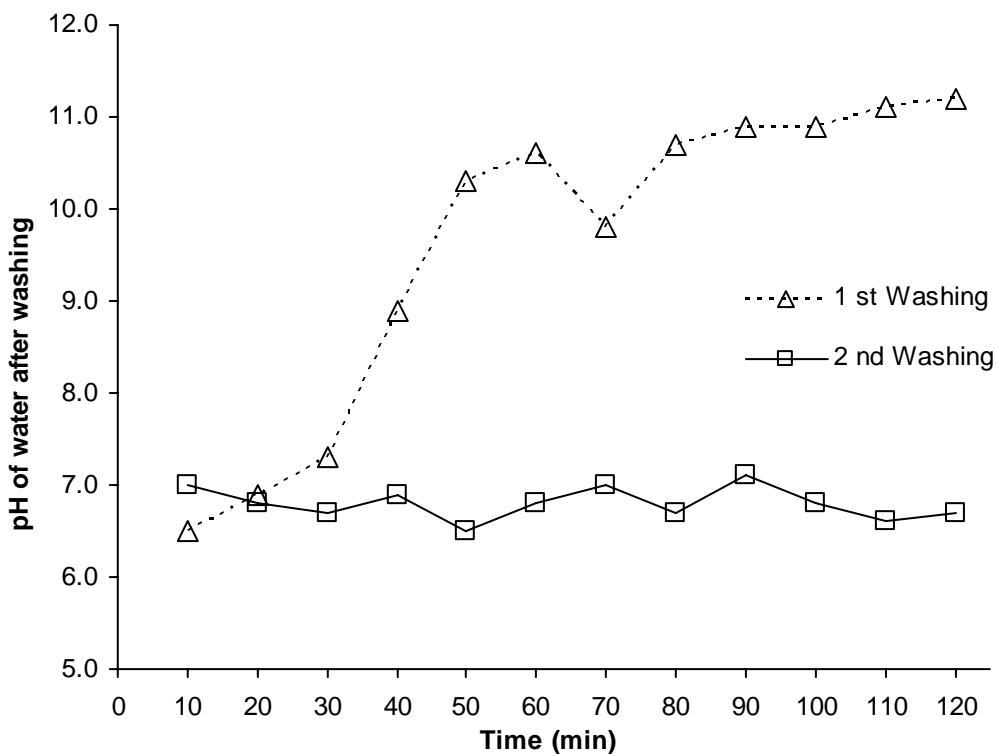
4.4 การทดลองศึกษาศักยภาพของระบบการล้างแบบต่อเนื่องในสเปรย์คอลัมน์

จากการสร้างชุดทดลองทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยนำคอลัมน์ที่ใช้ทดลองจำนวน 3 คอลัมน์ รวมกันเป็น 1 คอลัมน์วางตัวในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 3.12 และทำการทดสอบโดยใช้อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการชะล้างเท่ากับ 7.12 นาที และเวลาในการล้างทั้งหมด 28.57 นาที เมื่อทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 120 นาที พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการทำความสะอาดในครั้งที่ 1 ยังมีค่าที่สูงอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งมีค่า pH หลังการล้างของไบโอดีเซลอยู่ในช่วง 7.9-9.5 เช่นเดียวกับค่า pH หลังการล้างครั้งที่ 1 ของน้ำที่แสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งมีค่าในช่วง 6.5-11.2 ค่า pH หลังการล้างในครั้งที่ 1 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่า 7 แสดงว่าไบโอดีเซลยังไม่สะอาด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าสิ่งตกค้างที่ละลายออกมาปนกับน้ำถึงแม้จะมีการปล่อยน้ำทิ้งไปแต่ก็มีการตกค้างอยู่ค่อนข้างมากกับวัสดุบรรจุ และการปล่อยน้ำทิ้งสำหรับการล้างแบบคอลัมน์วางซ้อนกัน 3 คอลัมน์ในแนวตั้งมีการปล่อยน้ำออกเพียง 1 ช่องทาง ต่างกับแบบคอลัมน์วางตัวแบบ series 3 คอลัมน์ที่มีการปล่อยน้ำออกทั้ง 3 คอลัมน์จึงมีการสะสมของสิ่งตกค้างที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.24 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยอัตราการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองซ้ำโดยป้อนน้ำเข้าไปในคอลัมน์ จนกระทั่งไบโอดีเซลที่ค้างอยู่ล้นออกมาจนหมด ปล่อยน้ำในคอลัมน์ทิ้งแล้วเติมน้ำเข้าไปใหม่ให้มีระดับเท่ากับการทดลองครั้งที่ผ่านมา จากนั้นป้อนไบโอดีเซลหลังการล้างครั้งที่ 1 เข้าไปล้างซ้ำในคอลัมน์ด้วยอัตราส่วนการไหลของน้ำและไบโอดีเซลเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ใช้เวลาในการชะล้างเท่ากับ 8.45 นาที และเวลาในการล้างทั้งหมด 29.25 นาทีเมื่อทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 2 ไปตรวจวัดค่า pH พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 2 มีค่าในช่วง 6.8-7.1 และค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 2 มีค่าในช่วง 6.5-7.1 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง แสดงว่าไบโอดีเซลมีความสะอาด



รูปที่ 4.25 ค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยอัตราการไหลของไบโอดีเซลต่อ น้ำเท่ากับ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 10.7 และ 7.1

ผลการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยสเปรย์ทั้งไบโอดีเซลและน้ำ มีข้อสังเกตคือ ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่า 7 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อนำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างในครั้งที่ 1 มาล้างซ้ำเป็นครั้งที่ 2 จะให้ค่า pH หลังการล้างเข้าใกล้ความเป็นกลาง หรือทำให้ไบโอดีเซลสะอาดได้เร็วกว่า ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุคือ การล้างแบบต่อเนื่องทำให้ต้องป้อนไบโอดีเซลและน้ำเข้าคอตัมน์ตลอดเวลา ถึงแม้จะมีการถ่ายน้ำออกตลอดเวลาด้วยเช่นกัน แต่อาจเกิดการสะสมของสิ่งตกค้างต่างๆ สังเกตได้จากการล้างในครั้งที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ รูปที่ 4.25 จะเห็นว่าค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำมีค่าเป็นกลางได้เร็ว เนื่องจากมีการถ่ายน้ำทิ้งและเติมน้ำใหม่เข้าไปทดแทนสิ่งตกค้างต่างๆ ได้ถูกปล่อยทิ้งไปด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ในลักษณะการล้างที่แตกต่างกัน ซึ่งตัวบ่งชี้ความสะอาดคือค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างที่มีค่าเป็นกลาง ในการทดลองได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของน้ำที่ใช้กับอัตราส่วนการไหลและเวลาในการล้าง โดยเริ่มจากศึกษาถึงข้อมูลพื้นฐานในแบบกะแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบต่อเนื่อง ซึ่งแบบต่อเนื่องก็จะแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ การล้างแบบสเปรย์น้ำและแบบที่ไม่สเปรย์น้ำ สามารถสรุปได้เป็นประเด็นต่างๆ ดังนี้

5.1 สรุปผล

1. การศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้สเปรย์คอลัมน์เป็นอุปกรณ์ทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ซึ่งการล้างไบโอดีเซลในครั้งแรกหลังจากทำการแยกกลีเซอรอลโดยการวางทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยังคงมีกลีเซอรอลบางส่วนที่แขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลไม่สามารถใช้การผสมอย่างรุนแรงโดยการกวน หรือใช้วิธีผสมด้วยฟองอากาศเพราะจะทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน ดังนั้นการใช้สเปรย์คอลัมน์โดยมีวัสดุบรรจุใส่ไว้ภายในจึงช่วยให้สามารถล้างไบโอดีเซลได้ดี และป้องกันการเกิดอิมัลชันระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำ

2. สรุปผลการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ในการล้างแบบต่อเนื่องนั้นเริ่มต้นทดลองยังไม่ทราบจำนวนคอลัมน์ที่ใช้จึงทำการทดลองหาจำนวนสเปรย์คอลัมน์ ผลการทดลองพบว่าต้องใช้คอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 250 mm ยาว 1,500 mm จำนวน 3 คอลัมน์ร่วมกับวัสดุบรรจุที่ผลิตจากฟอสเฟตเคลส ใช้หัวฉีดไบโอดีเซลและน้ำแบบหัวฉีดความดันสูง โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยอัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำหลายๆ อัตราส่วนพบว่าการใช้อัตราไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อัตราส่วนการไหลของไบโอดีเซลต่อน้ำเท่ากับ 1:1 สามารถล้างไบโอดีเซลได้มีค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างมีค่าเป็นกลางและเหมาะสมกับขนาดคอลัมน์ที่ได้ออกแบบไว้

3. การเปรียบเทียบการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะกับแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองพบว่า การทดลองล้างไบโอดีเซลในแบบกะเมื่อใช้ปริมาณน้ำที่น้อยลงยังคงสามารถ

ล้างไบโอดีเซลได้เป็นกลางแต่ต้องใช้เวลาในการล้างรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้มีค่าเป็น 1.75 เท่าของไบโอดีเซลโดยปริมาตร ใช้เวลาในการล้างรวมทั้งหมด 1,285 นาที หรือ 21 ชั่วโมง 25 นาที ในขณะที่การล้างด้วยวิธีแบบต่อเนื่องเมื่อสเปรย์ทั้งน้ำและไบโอดีเซลด้วยอัตราส่วนการไหลเท่ากันที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ต้องใช้ปริมาณน้ำเป็น 2 เท่าของไบโอดีเซลโดยปริมาตร แต่ใช้เวลาในการล้างทั้งหมด 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง ซึ่งเห็นได้ชัดว่าใช้เวลาในการล้างน้อยกว่าในแบบกะ ดังนั้นถ้าหากต้องการผลิตไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่มีเวลาจำกัด การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเป็นอย่างมากต่อการนำไปใช้งาน

การสรุปผลการทดลองที่กล่าวมาในหัวข้อต่างๆ ข้างต้นสามารถนำมาเรียบเรียงในรูปแบบของตาราง เพื่อทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบสมรรถนะของการทำงานของสเปรย์คอลัมน์ที่ใช้ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลการล้างไบโอดีเซลในแบบต่างๆ

วิธีการล้าง	ปริมาณน้ำต่อ	เวลาในการชะล้าง	เวลาในการล้างทั้งหมด
	ไบโอดีเซล	(นาที)	(นาที)
Batch	1.75	-	1,285
Semi-batch *			
- series	0.75	10	110
- Vertical lining	0.5	10.32	34.27
Continuous *			
- Vertical lining	2	15.57	58.22

* หมายเหตุ ใช้อัตราไหลของไบโอดีเซล 10 ลิตรต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 5.1 เวลาที่ใช้ในการชะล้างเป็นค่าที่บอกถึงระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อช่วยให้สิ่งตกค้างในไบโอดีเซลและน้ำได้สัมผัสกัน ทั้งนี้ถ้าหากต้องการนำไปประยุกต์ใช้กับการล้างด้วยน้ำโดยใช้วิธีอื่นๆ หรือขยายกำลังการผลิตให้มากขึ้น ควรให้มีเวลาในการชะล้างเพียงพอหรือใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ทดลองทั้งนี้สามารถอ้างอิงไปจากข้อมูลเบื้องต้นนี้ได้

เมื่อสังเกตปริมาณน้ำที่ใช้ล้างในแต่ละแบบจะพบว่าการล้างแบบต่อเนื่องมีการใช้ปริมาณน้ำที่มากกว่าแบบกะและแบบเซมิแบทซ์ แต่เมื่อนำเวลาในการล้างทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันก็จะพบว่าการล้างแบบต่อเนื่องจะใช้เวลาน้อยกว่าแบบกะ แต่ยังคงมากกว่าการล้างแบบเซมิแบทซ์ เมื่อจัดวางคอลัมน์แบบ series ทั้งนี้ในการล้างแบบต่อเนื่องนั้นจะมีข้อได้เปรียบกว่าแบบเซมิแบทซ์ในเรื่องการทำงานที่ไม่ต้องหยุดระบบเพื่อถ่ายน้ำล้างทิ้งทุกๆ 2 ชั่วโมง ทำให้แบบเซมิแบทซ์มีความยุ่งยากในการทำงาน เพราะก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งไปต้องนำไปโอติเซลที่ล้างในคอลัมน์ออกมาให้หมดเพื่อป้องกันการปล่อยไปโอติเซลทิ้งรวมไปกับน้ำล้าง และต้องมีถังที่ใช้เก็บไปโอติเซลในช่วงเวลาที่ทำการถ่ายน้ำทิ้งทำให้ต้องมีพื้นที่ในส่วนนี้เพิ่มขึ้นมา ดังนั้นเมื่อนำตัวแปรเรื่องปริมาณน้ำและเวลาในการล้างมาพิจารณาพร้อมกับความยุ่งยากในการทำงาน จะพบว่าการล้างแบบต่อเนื่องมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากกว่า 2 วิธีที่กล่าวมา

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการล้างไปโอติเซลแบบต่อเนื่องโดยใช้น้ำ ซึ่งได้มุ่งเน้นศึกษาถึงการนำไปใช้งานได้จริง จึงไม่ได้ศึกษาถึงตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อการล้าง เช่น ลักษณะทางกายภาพของคอลัมน์ หัวสเปรย์ของไปโอติเซลและน้ำ วัสดุบรรจุ เป็นต้น ดังนั้นจึงยังมีเรื่องที่น่าสนใจที่จะศึกษาอีกมากมาย และสิ่งที่ควรมีการศึกษาต่อเป็นอย่างยิ่งคือ การนำน้ำที่ผ่านการล้างในครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 ของการล้างไปโอติเซลแบบต่อเนื่องโดยจัดวางคอลัมน์แบบ series 3 คอลัมน์ มาใช้ล้างซ้ำกับการล้างในครั้งที่ 1 ทั้งนี้ถ้าสังเกตจากค่า pH ของน้ำหลังการล้างในครั้งที่ 2 และ 3 พบว่ายังมีค่าอยู่ในช่วง 7-8 ซึ่งยังมีค่าที่ไม่สูงมาก แสดงว่ายังมีศักยภาพการล้างที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ได้ ทำให้สามารถประหยัดน้ำที่ใช้ล้างให้มีปริมาณที่น้อยลงได้อีก

สำหรับการล้างแบบเซมิแบทซ์ดังที่กล่าวไว้ในภาคผนวก ก ถึงจะมีผลการใช้น้ำและเวลาในการล้างที่ดีกว่าแบบกะและแบบต่อเนื่อง แต่ก็มีความยุ่งยากในการทำงานดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่ถ้าหากมีการปรับปรุงการทำงานให้ไม่ต้องหยุดการทำงานของระบบ ก็จะทำให้สามารถนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งอาจจะใช้วิธีการเติมน้ำเข้าระบบพร้อมทั้งปล่อยน้ำทิ้งไปอย่างช้าๆ โดยคิดเทียบจากเวลา 2 ชั่วโมงจะต้องมีปริมาณน้ำที่เข้าคอลัมน์เท่ากับปริมาณน้ำที่เติมไว้ใน การล้างแบบไม่ปล่อยน้ำทิ้ง จะทำให้การล้างเหมือนกับแบบเซมิแบทซ์แต่มีการปล่อยน้ำทิ้งไปตลอดเวลา

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549. (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/biodiesel/community_biodiesel_2007.pdf
 (24 กุมภาพันธ์ 2552)
- ศิริพร สุวรรณศิริ และ หนึ่งฤทัย เกื้อเส้ง. 2549. การด้างสบู่ออกจากเมทิลเอสเทอร์อย่างต่อเนื่อง. โครงการงานปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Alenezi, R., Leeke, G.A., Winterbottom, J.M., Santos, R.C.D. and Khan, A.R. 2010. Esterification kinetics of free fatty acids with supercritical methanol for biodiesel production, *J. Energy Conversion and Management*. xxx : xxx-xxx.
- Berrios, M. and Skelton, R.L. 2008. Comparison of purification methods for biodiesel, *J. Chemical Engineering*. 144 : 459-465.
- Cao, P., Dube, M.A. and Tremblay, A.Y. 2008. High-purity fatty acid methyl ester production from canola, soybean, palm, and yellow grease lipids by means of a membrane reactor, *J. Biomass and Bioenergy*. 32 : 1028-1036.
- Eevera, T., Rajendran, K. and Saradha, S. 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, *J. Renewable Energy*. 34 : 762-765.
- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils, *J. Bioscience and Bioengineering*. 92 : 405-416.
- Holland, F.A. and Chapman, F.S. 1966. Liquid-Liquid Extraction in Stirred Towers and Tanks. *In* Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks, Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Jian-Zhong, Y., Min, X. and Ji-Bin, S. 2008. Biodiesel from soybean oil in supercritical methanol with co-solvent, *J. Energy Conversion and Management*. 49 : 908-912.
- Leung, D.Y.C. and Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production, *J. Fuel Processing Technology*. 87 : 883-890.

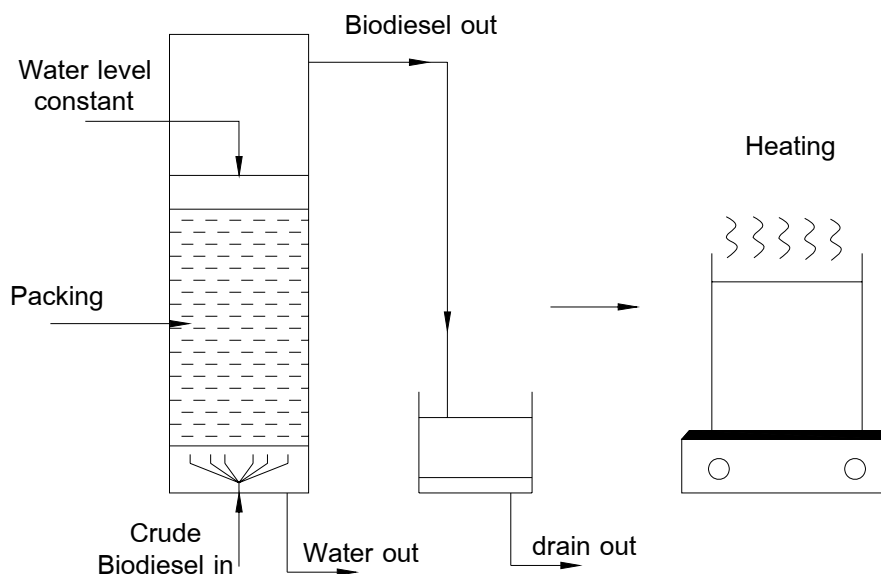
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering, 5th ed. McGraw-Hill International Edition.
- Nakov, Sv., Kolev, N., Ljutzkanov, L. and Kolev, D. 2007. Comparison of the effective area of some highly effective packings, *J. Chemical Engineering and Processing*. 46 : 1385-1390.
- Perry, J.H., 1963. Chemical Engineering's Handbook. McGraw-Hill Book Company. Inc. New York.
- Rashida, U., Anwara, F., Bryan, R. M. and Ashraf, S. 2008. Production of sunflower oil methylesters by optimized alkali-catalyzed methanolysis, *J. Biomass and Bioenergy*. 32 : 1202-1205.
- Seader, J.D. and Henley, E.J. 1999. Liquid-Liquid Extraction with Ternary Systems. *In Separation Process Principles*. p. 432. John Wiley and Sons. New York.
- Suwanmanee, S. 2006. Cost Analysis of Biodiesel Production from A 100-Litre-Batch Community Plant. M.Sc. The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Takahiko, B., Masamichi, S., Fumio, K., Susumu, N. and Katsuroku, T. 2001. Enhancement of phase separation using a drop coalescer in an aqueous two-phase system, *J. Journal of Chromatography B*. 760 : 65-72.
- Tongurai, C., Klinpikul, S., Bunyakan, C. and Kiatsimkul, P. 2001. Biodiesel production from palm oil, *J. Songklanakarin J. Sci. Technol.* 23(Suppl.): 831-841.
- Zlatica, J. and Predojevic. 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps, *J. Fuel*. 87 : 3522-3528.

ภาคผนวก ก
การล้างใบโอติเซลแบบเซมิแบทช์

การล้างไบโอดีเซลแบบเคมีเบส

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณน้ำล้าง โดยทำการทดลองแบบเคมีเบสในคอลัมน์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm สูง 1,250 mm จำนวนสามท่อนโดยมีหัวฉีดไบโอดีเซลอยู่ด้านล่าง แบ่งการทดลองเป็น 2 แบบ คือ

- ก. การทดลองแบบคอลัมน์วางตัวในแนวระดับ 3 คอลัมน์ มีวิธีการทดลองดังนี้
 1. ป้อนน้ำเข้าคอลัมน์ให้ได้ปริมาตร 18 ลิตร ทั้ง 3 คอลัมน์
 2. ป้อนไบโอดีเซลปริมาณ 18 ลิตร เข้าไปทางด้านล่างคอลัมน์ด้วยอัตราไหลคงที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ ก 1 จับเวลาที่เริ่มป้อนจนกระทั่งไบโอดีเซลล้นถึงระดับน้ำคงที่ จากนั้นจับเวลาต่อไปจนไบโอดีเซลเริ่มล้นออกจากคอลัมน์
 3. ทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลทุกๆ 10 นาทีจนครบ 60 นาที เมื่อไบโอดีเซลล้นออกมาจากคอลัมน์ทั้งหมด โดยป้อนน้ำเข้าไปแต่อย่าให้เกิดความรุนแรงเนื่องจากจะทำให้เกิดการชะล้าง ทั้งนี้เพื่อใช้น้ำดันไบโอดีเซลที่ค้างในคอลัมน์ออกมาทั้งหมด
 4. ทำการทดลองซ้ำโดยนำไบโอดีเซลที่ได้จากคอลัมน์ที่ 1 ป้อนเข้าไปในคอลัมน์ที่ 2 และไบโอดีเซลที่ได้จากคอลัมน์ที่ 2 ป้อนเข้าไปในคอลัมน์ที่ 3 ทดลองจนครบทั้ง 4 อัตราส่วน พร้อมทั้งบันทึกค่าเวลาที่ใช้ในการชะล้างและเวลาที่ใช้ในการล้างทั้งหมด
 5. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-3 แต่ทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:0.25, 1:0.5, และ 1:0.75



รูปที่ ก 1 วิธีการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยไม่สเปรย์น้ำ

ข. การทดลองแบบคอลัมน์วางตัวในแนวตั้ง 3 คอลัมน์ ขั้นตอนนี้ได้นำคอลัมน์ที่ใช้ทดลองในแบบวางตัวในแนวระดับประกอบขึ้นในแนวตั้ง มีวิธีการทดลองดังนี้

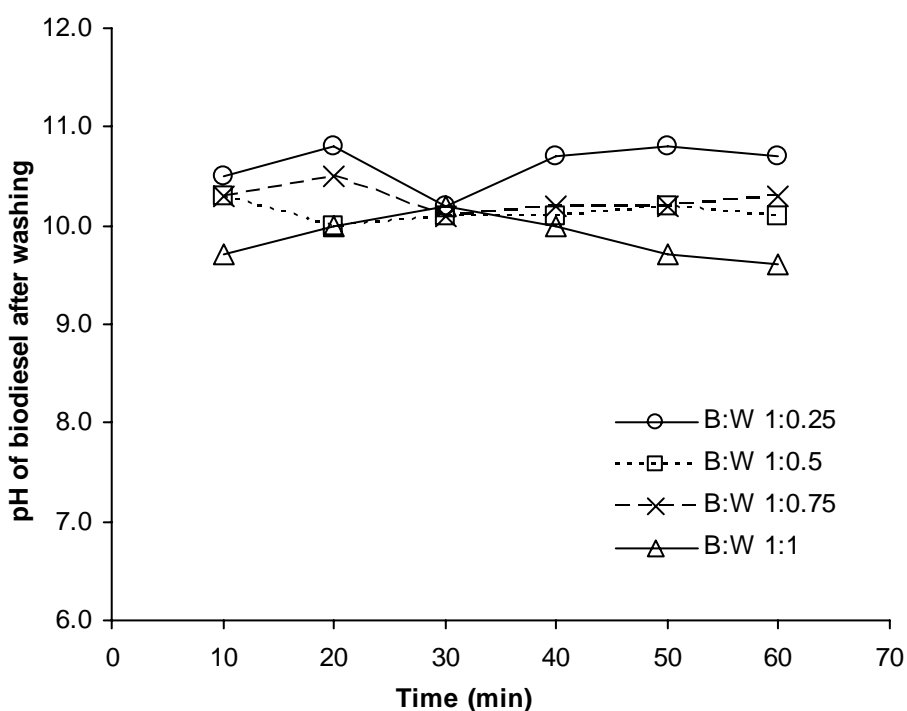
1. ป้อนน้ำเข้าคอลัมน์ให้ได้ปริมาณ 12.5 ลิตร (ความสูง 1,955 mm)
2. ป้อนไบโอดีเซลปริมาณ 50 ลิตร เข้าทางด้านล่างด้วยอัตราไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง จับเวลาที่เริ่มป้อนจนกระทั่งไบโอดีเซลล้นถึงระดับน้ำคงที่ จากนั้นจับเวลาต่อไปจนไบโอดีเซลเริ่มล้นออกจากคอลัมน์

3. เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลทุกๆ 10 นาที จนได้ปริมาณคิดเป็นอัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:1, 2:1, 3:1, และ 4:1 ซึ่งแต่ละครั้งที่ได้ครบอัตราส่วนดังกล่าว ให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำล้างไปตรวจวัดค่า pH ที่อัตราส่วน 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1, 3.5:1, และ 4:1 หรือที่เวลา 37.5, 75, 112.5, 150, 187.5, 225, 262.5, 300

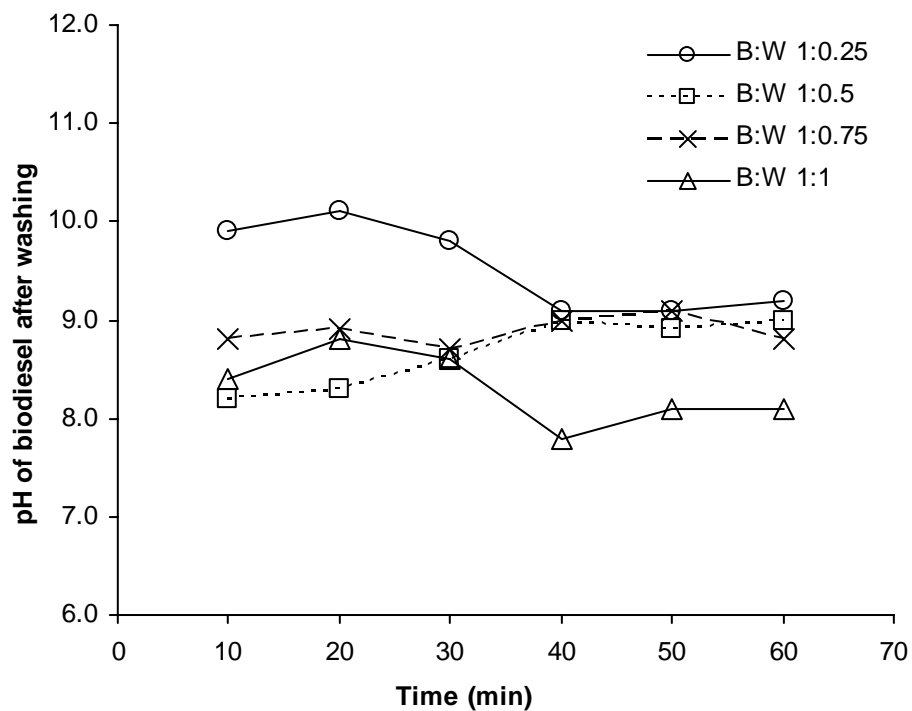
ในช่วงแรกที่ป้อนไบโอดีเซลจนกระทั่งล้น จะมีไบโอดีเซลเข้าไปก่อนแล้วส่วนหนึ่ง ดังนั้นการวัดปริมาณที่ล้นออกมาในครั้งแรกจะไม่ใช่สัดส่วนที่แท้จริง ควรนำไบโอดีเซลส่วนนี้มาคิดด้วยผลการทดลองในหัวข้อนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ผลการทดลองแบบคอลัมน์วางตัวในแนวระดับ 3 คอลัมน์ และผลการทดลองแบบคอลัมน์วางตัวในแนวตั้ง 3 คอลัมน์ มีรายละเอียดดังนี้

1. การทดลองโดยจัดวางคอลัมน์แบบ series 3 คอลัมน์

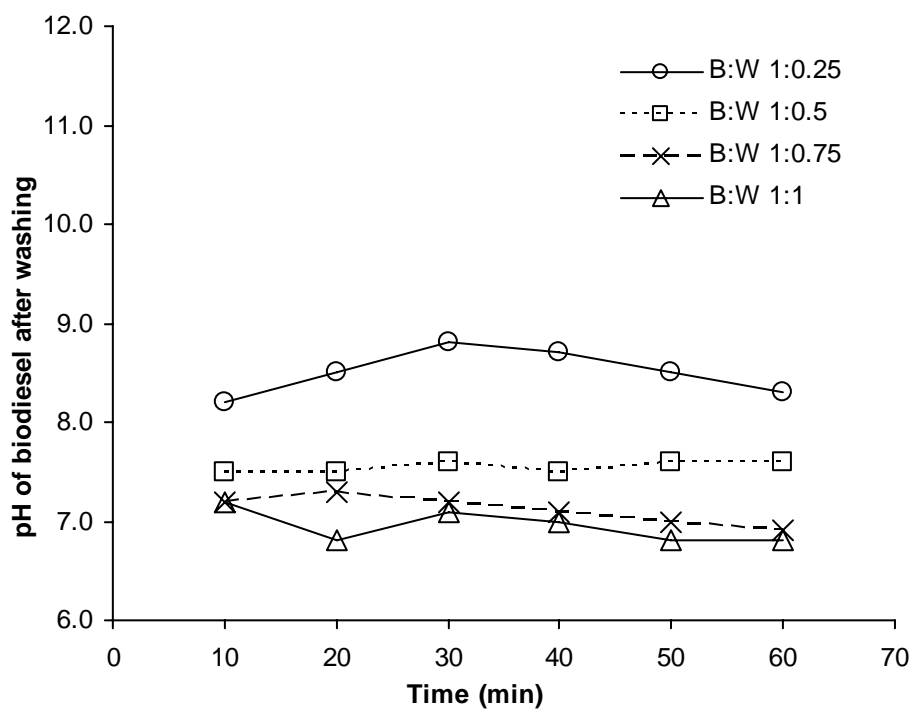
จากการทดลองทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ด้วยการสเปรย์ไบโอดีเซลในชั้นน้ำ พบว่าความสะอาดของไบโอดีเซลในการทดลองสามารถสังเกตได้จากค่า pH หลังการล้าง นั่นคือมีค่าเท่ากับ 7 รูปที่ ก 2 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 1 ในแต่ละอัตราส่วนซึ่งยังมีค่าที่สูงในช่วง 9-10 เนื่องจากปริมาณสารตกค้างยังมีอยู่มาก และไม่มีการเติมน้ำเข้าไปทดแทน เมื่อนำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างจากคอลัมน์ที่ 1 ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ที่ 2 วัดค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างได้ดังแสดงในรูปที่ ก 3 ซึ่งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 8-9



รูปที่ ก 2 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 1



รูปที่ 3 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 2



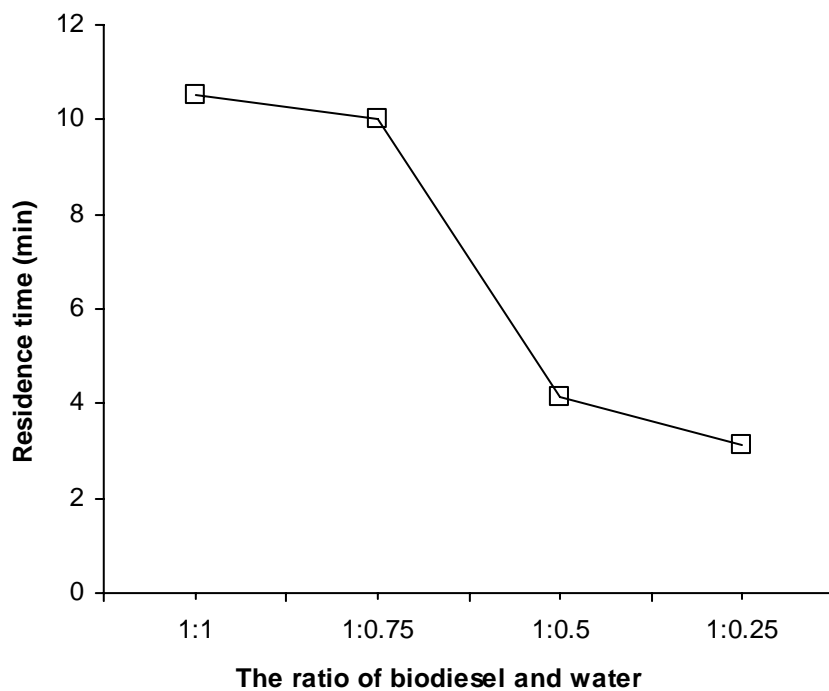
รูปที่ 4 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 3

เมื่อนำไบโอดีเซลจากคอลัมน์ที่ 2 ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ที่ 3 ค่า pH ของไบโอดีเซล หลังการล้างที่วัดได้มีค่าดังแสดงในรูปที่ ก 4 ซึ่งมีค่าที่อยู่ในช่วง 7-8 โดยที่อัตราส่วน 1:0.75 และ 1:1 มีค่า pH ใกล้เคียง 7 มากที่สุด แต่อัตราส่วน 1:0.25 และ 1:0.5 ไม่สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่า เป็นกลางได้

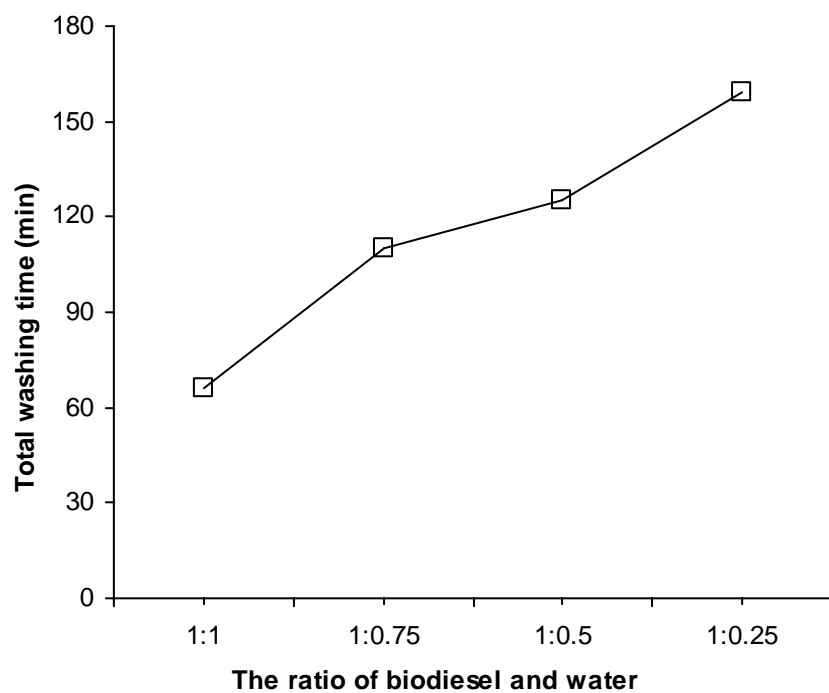
ตารางที่ ก 1 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์ที่อัตราส่วนต่างกัน

ไบโอดีเซล ต่อน้ำ (ลิตร)	เวลาในการชะล้าง (นาท)	เวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาท)	ปริมาณไบโอ ดีเซลหลังล้าง (%)
1:1	10.52	66.36	84
1:0.75	10.00	110.15	85
1:0.5	4.12	125.08	84
1:0.25	3.14	159.49	84

ผลการทดลองในตารางที่ ก 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาในการชะล้าง (residence time) กับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้าง (total washing time) พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาในการชะล้าง 10.52 นาที เวลาทั้งหมดในการล้าง 65.96 นาที ได้ไบโอดีเซลหลังล้าง 84% ที่อัตราส่วน 1:0.75 ใช้เวลาในการชะล้าง 10 นาที เวลาทั้งหมดในการล้าง 110.15 นาที ได้ไบโอดีเซลหลังล้าง 85% ที่อัตราส่วน 1:0.5 ใช้เวลาในการชะล้าง 4.15 นาที ใช้เวลาทั้งหมดในการล้าง 125.08 นาที และที่อัตราส่วน 1:0.25 ใช้เวลาในการชะล้าง 3.14 นาที และใช้เวลาทั้งหมดในการล้าง 159.49 นาที สังเกตได้ว่าแนวโน้มของการใช้น้ำมากกว่า จะใช้เวลาในการชะล้างที่นานกว่าแต่จะใช้เวลารวมทั้งหมดน้อยกว่า ดังแสดงให้ชัดเจนในกราฟรูปที่ ก 5 และ ก 6 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากจะทำให้ไบโอดีเซลสามารถสัมผัสกับน้ำได้นานขึ้น ทำให้สามารถล้างไบโอดีเซลได้ดีขึ้นด้วย และสังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 1:0.75 จะใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:1 แต่สามารถล้างไบโอดีเซลได้สะอาดเหมือนกัน และนอกจากนี้ในแต่ละอัตราส่วนไม่มีผลต่อการได้คืนหลังการล้างของไบโอดีเซล



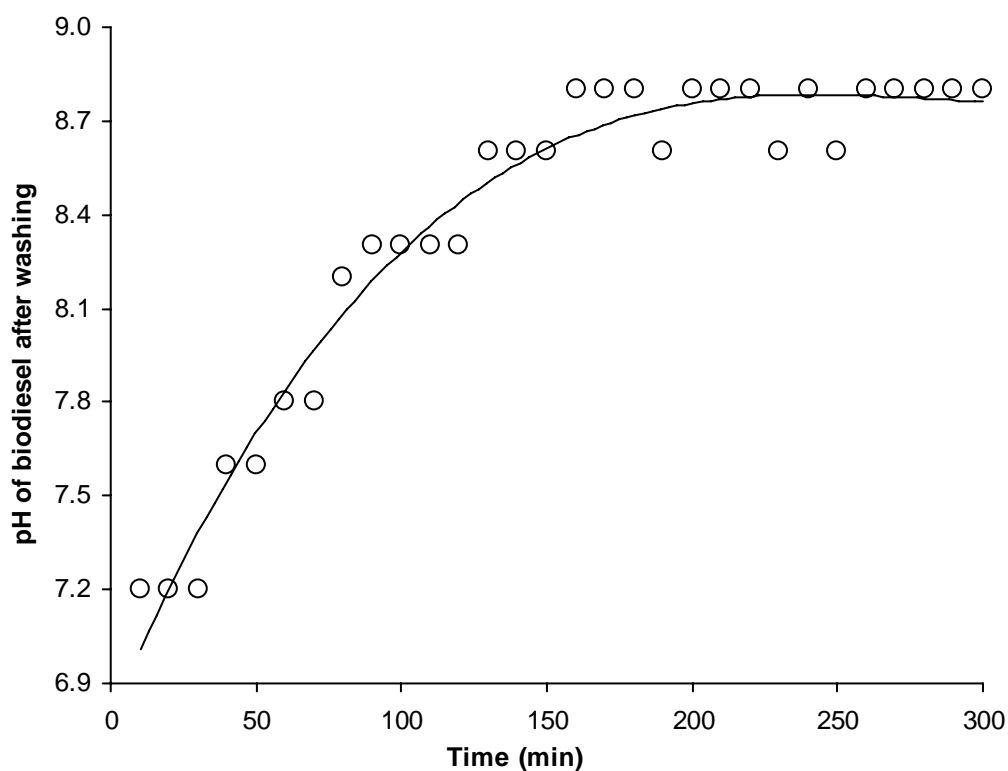
รูปที่ ก 5 เวลาในการชะล้างไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน



รูปที่ ก 6 เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน

2. การทดลองแบบคอลัมน์วางซ้อนกันในแนวตั้ง 3 คอลัมน์

ผลการทดลองพบว่า การป้อนไบโอดีเซลด้วยอัตราการไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการชะล้างเท่ากับ 10.32 นาทีและเวลาที่ใช้ในการล้างทั้งหมด 34.27 นาที คิดเป็นปริมาณไบโอดีเซลที่ป้อนเข้าไปเท่ากับ 5.71 ลิตร เมื่อทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 300 นาที เพื่อตรวจค่า pH มีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ ก 7 สังเกตได้ว่าค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างมีค่าเริ่มต้นที่ 7.2 และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 120 ค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 8.3 และมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นดังแสดงในรูปที่ ก 8

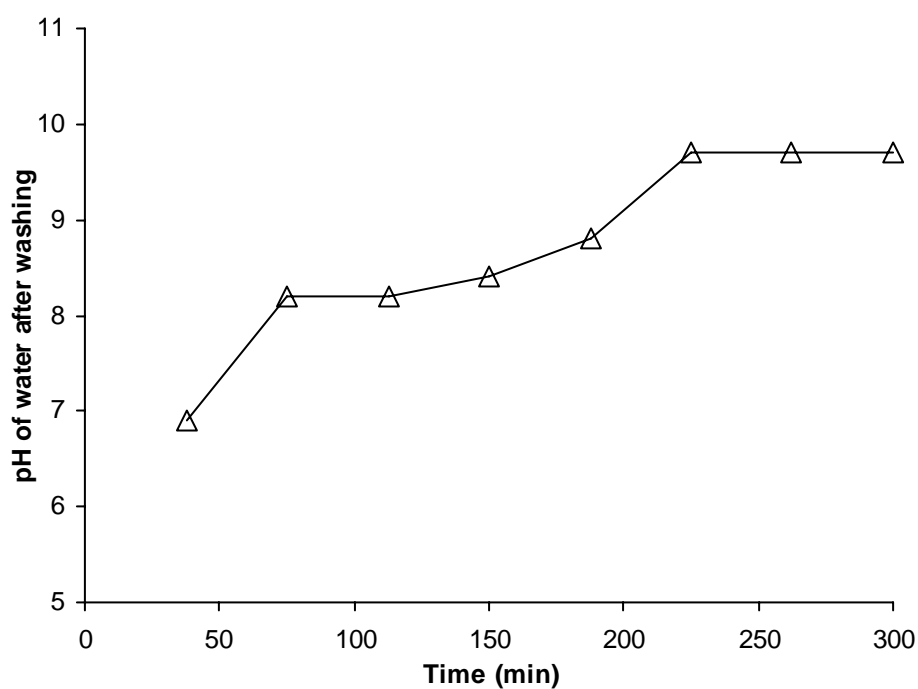


รูปที่ ก 7 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างเมื่อสั้่นออกจากคอลัมน์ทุกๆ 10 นาที เมื่อค่า pH เริ่มต้นของไบโอดีเซลเท่ากับ 12.4



รูปที่ 8 ลักษณะตัวอย่างของไบโอดีเซลหลังการล้าง

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำหลังการล้างไปดำเนินการวัดค่า pH มีค่าดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งสังเกตได้ว่า นาที่ที่ 225 จนถึงนาที่ที่ 300 มีค่า pH คงที่เท่ากับ 9.7



รูปที่ 9 ค่า pH หลังการล้างของน้ำ เมื่อไบโอดีเซลล้นออกมาทุกๆ 0.5 เท่าของน้ำ เมื่อค่า pH เริ่มต้นของน้ำเท่ากับ 7.0

ทั้งนี้ผลการทดลองมีข้อสังเกตคือ จากค่า pH หลังการล้างของไบโอดีเซลในรูปที่ ก 7 จะเห็นว่าในช่วงเวลา 130 - 300 นาทีค่า pH เริ่มคงที่ในช่วง 8.6 และ 8.8 ในขณะที่ค่า pH หลังการล้างของน้ำในรูปที่ ก 9 เริ่มคงที่ที่เวลา 225 นาที มีค่า pH เท่ากับ 9.7 ซึ่งแสดงว่าสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลจะไม่สามารถถูกชะล้างได้อีกต่อไปตั้งแต่เวลาที่ 130 หรือเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของไบโอดีเซลหลังการล้างที่แสดงในรูปที่ ก 7 จะเห็นว่าที่เวลา 120 นาที จะมีสีขาวขุ่นอันเนื่องมาจากไบโอดีเซลปนอยู่กับน้ำและไม่สามารถแยกชั้นกันได้ ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดจากสิ่งตกค้างที่มีปริมาณมาก เมื่อไม่มีการถ่ายน้ำทิ้งและไม่ได้เติมน้ำเข้าไปเพิ่มทำให้มีสิ่งปนเปื้อนอยู่มาก การชะล้างจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้อีกต่อไป

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ทดลอง

Chromatogram: ~ervice1348

Date: 1/8/2551 Time: 13:28

Author:

Notes:

Sample Identifier:

Data Processing Parameters

Injected on: 1/8/2551

Injected at: 13:22

Slice Width (ms): 100

Noise (μ V/s): undefined

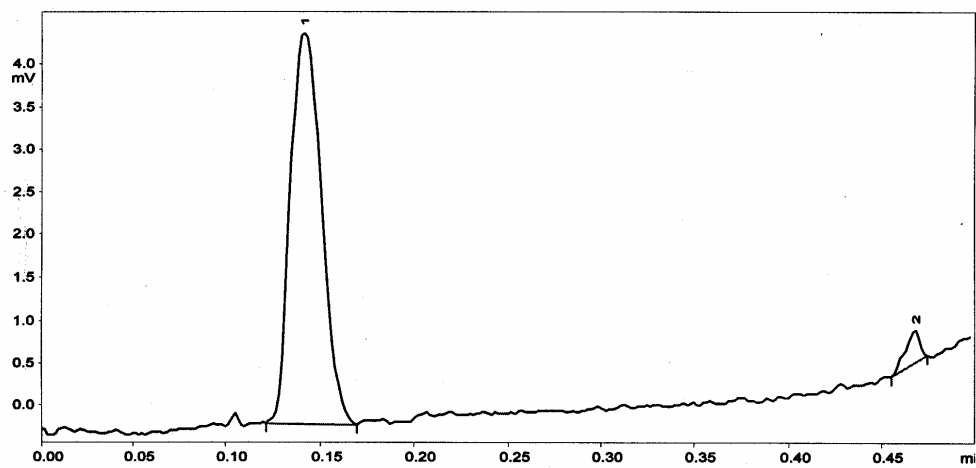
Threshold (mV): 0

Skim Ratio: 0

Parameter Files:

Data Handling File:SERVICE

Calculation-File:~ERVICE1348



Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.142	0.122	0.170	2763	4.55	95.844
2	0.468	0.455	0.475	120	0.37	4.156
				2883	4.92	100.000

Chromatogram: ~ervice1346

Date: 1/8/2551 Time: 13:28

Author:

Notes:

Sample Identifier:

Data Processing Parameters

Injected on: 1/8/2551

Injected at: 13:20

Slice Width (ms): 100

Noise (μ V/s): undefined

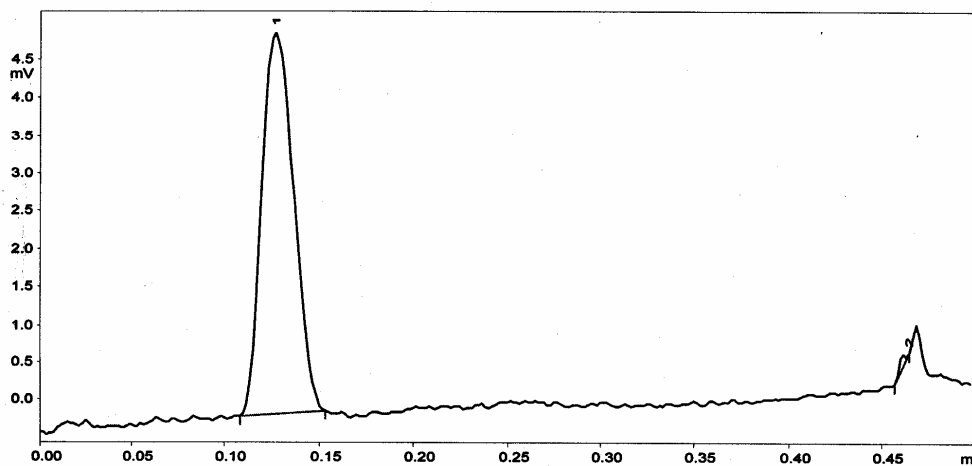
Threshold (mV): 0

Skim Ratio: 0

Parameter Files:

Data Handling File:SERVICE

Calculation-File:~ERVICE1346



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	PK.Start (min)	PK.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.127	0.108	0.153	3110	5.01	99.056
2	0.465	0.457	0.465	30	0.02	0.944
				3140	5.03	100.000

Chromatogram: ~ervicel343 (1)

Date: 1/8/2551 Time: 13:27

Author:

Notes:

Sample Identifier:

Data Processing Parameters

Injected on: 1/8/2551

Injected at: 13:18

Slice Width (ms): 100

Noise (μ V/s): undefined

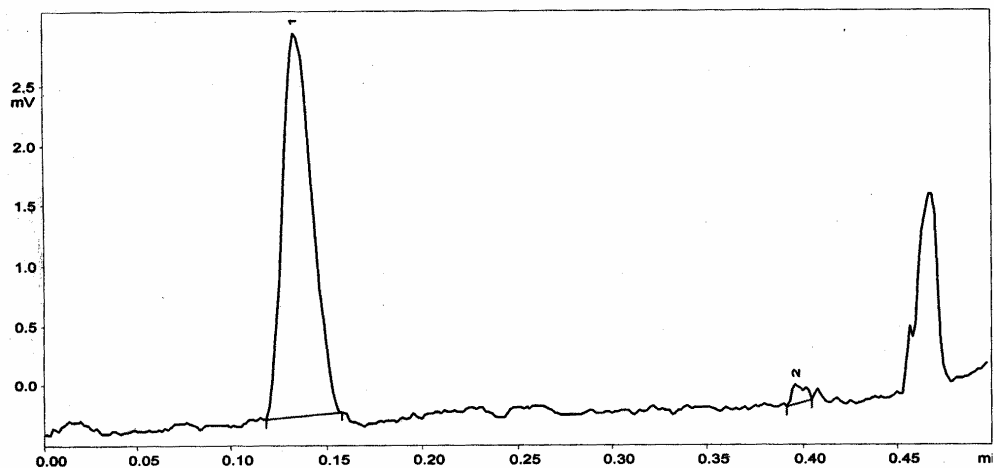
Threshold (mV): 0

Skim Ratio: 0

Parameter Files:

Data Handling File:SERVICE

Calculation-File:~ERVICEL343 (1)

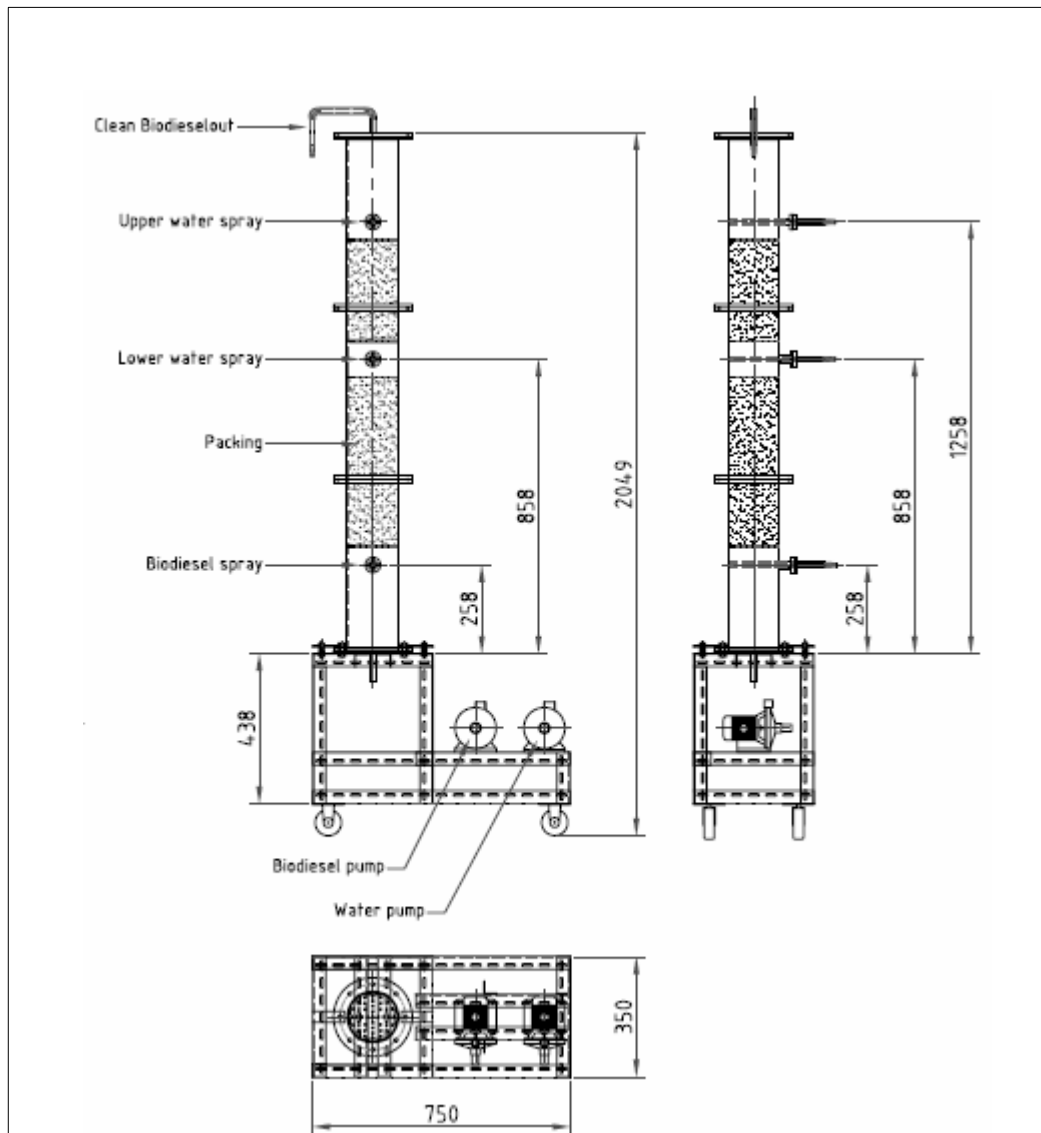


Calculation Method : Percent

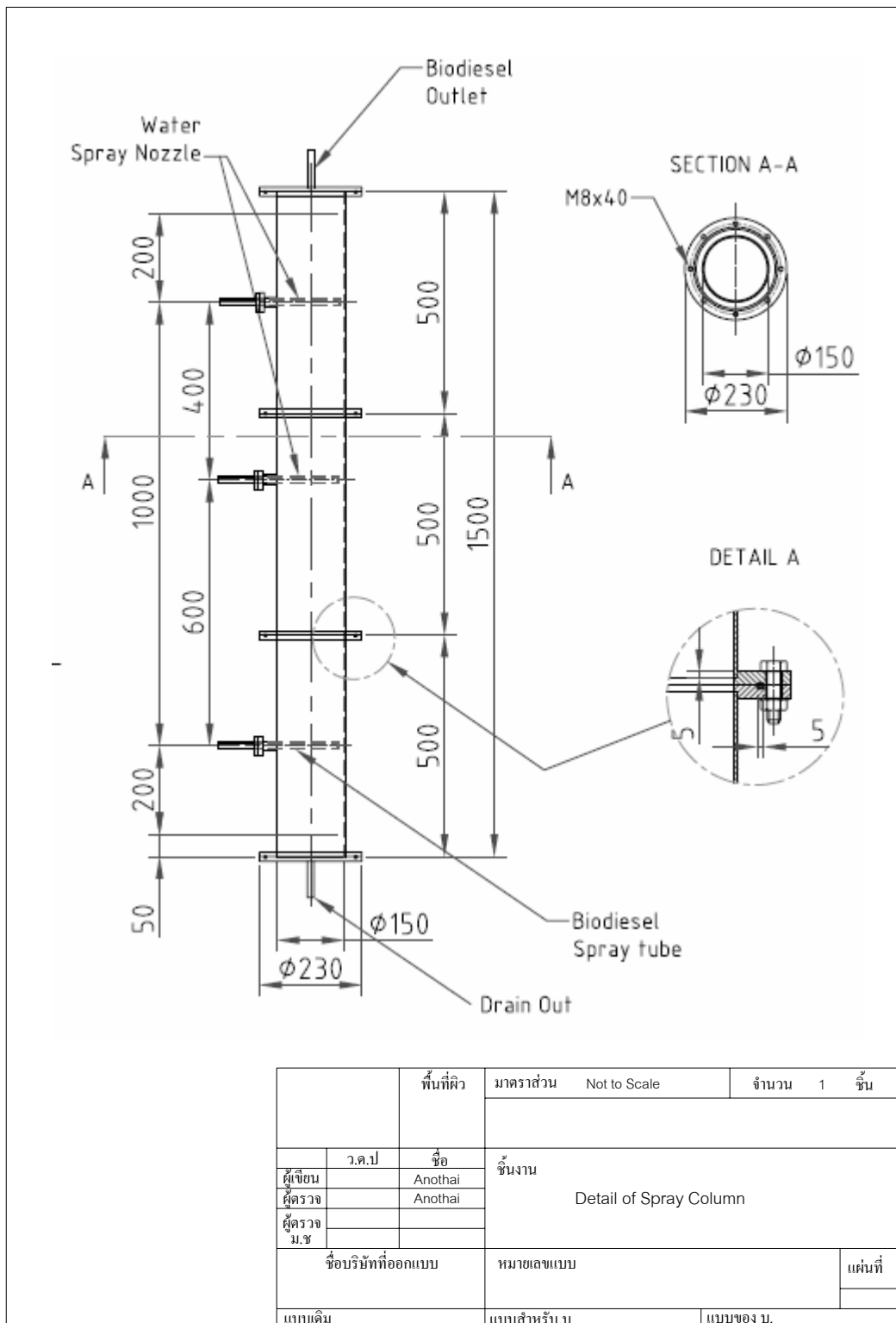
Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.133	0.118	0.158	1797	3.17	97.834
2	0.397	0.392	0.405	40	0.15	2.166

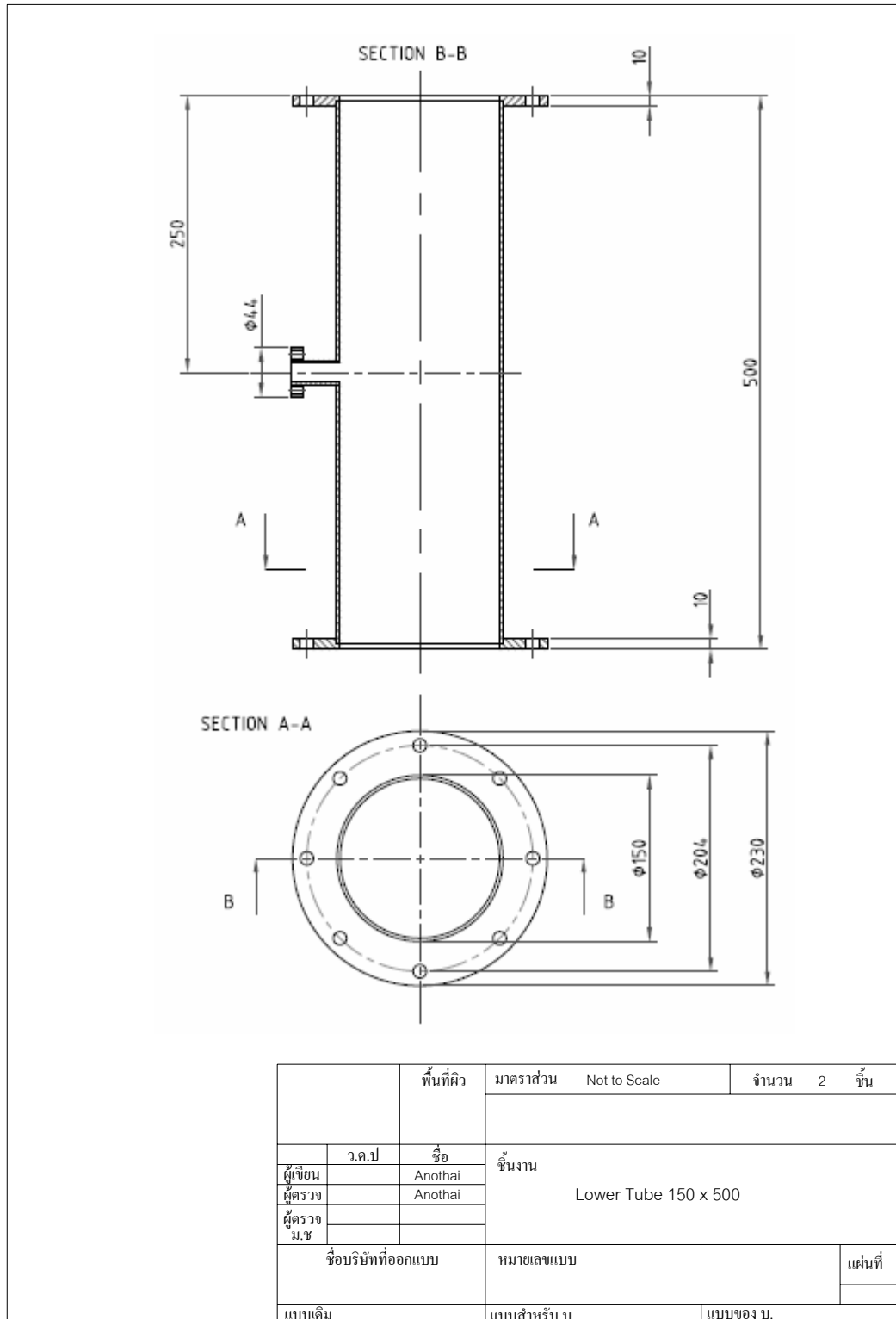
1837 3.32 100.000

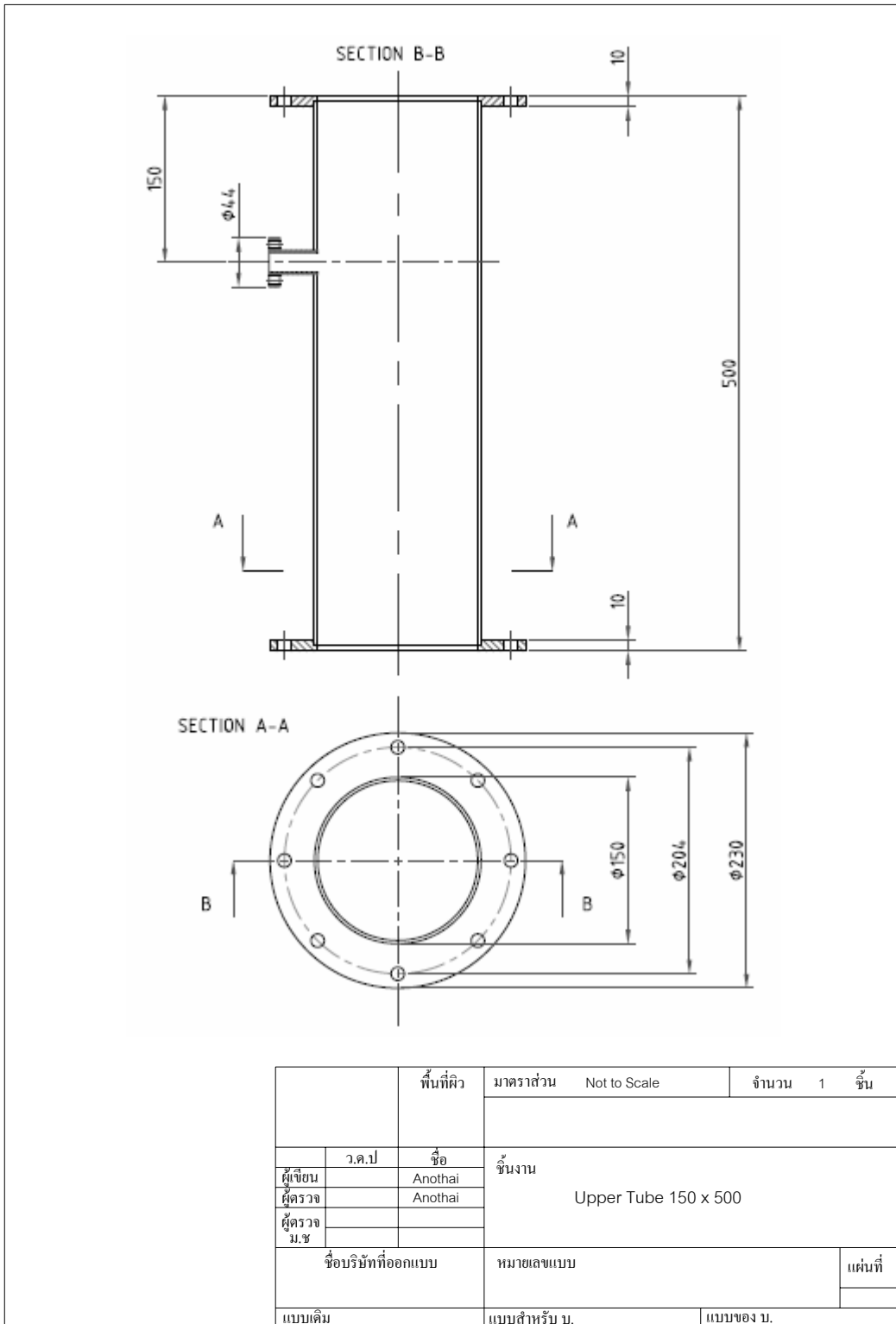
ภาคผนวก ค
แบบที่ใช้หาจำนวนสเปรย์คอสมัน



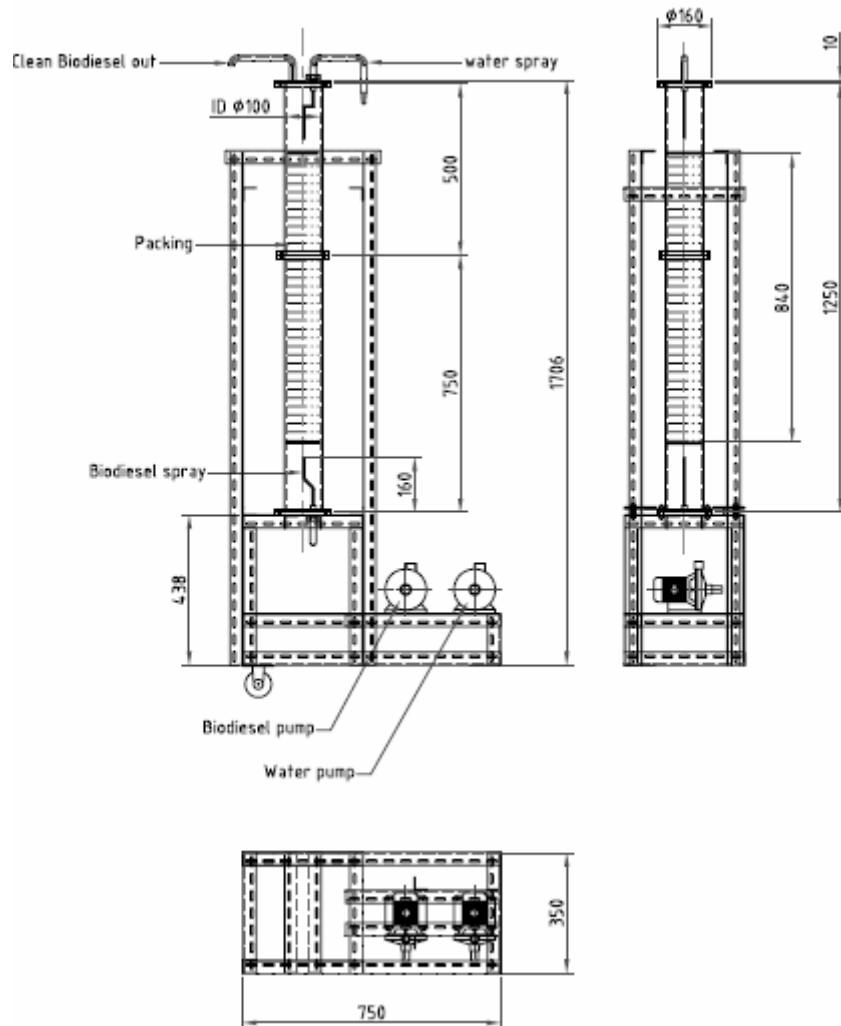
		พื้นที่ผิว	มาตราส่วน	Not to Scale	จำนวน	1	ชิ้น
ผู้เขียน	ว.ค.ป	ชื่อ	ชิ้นงาน Spray Column 50 L/hr				
ผู้ตรวจ		Anothai					
ผู้ตรวจ ม.ช		Anothai					
ชื่อบริษัทที่ออกแบบ		หมายเลขแบบ					แผ่นที่
แบบเดิม		แบบสำหรับ บ.					แบบของ บ.



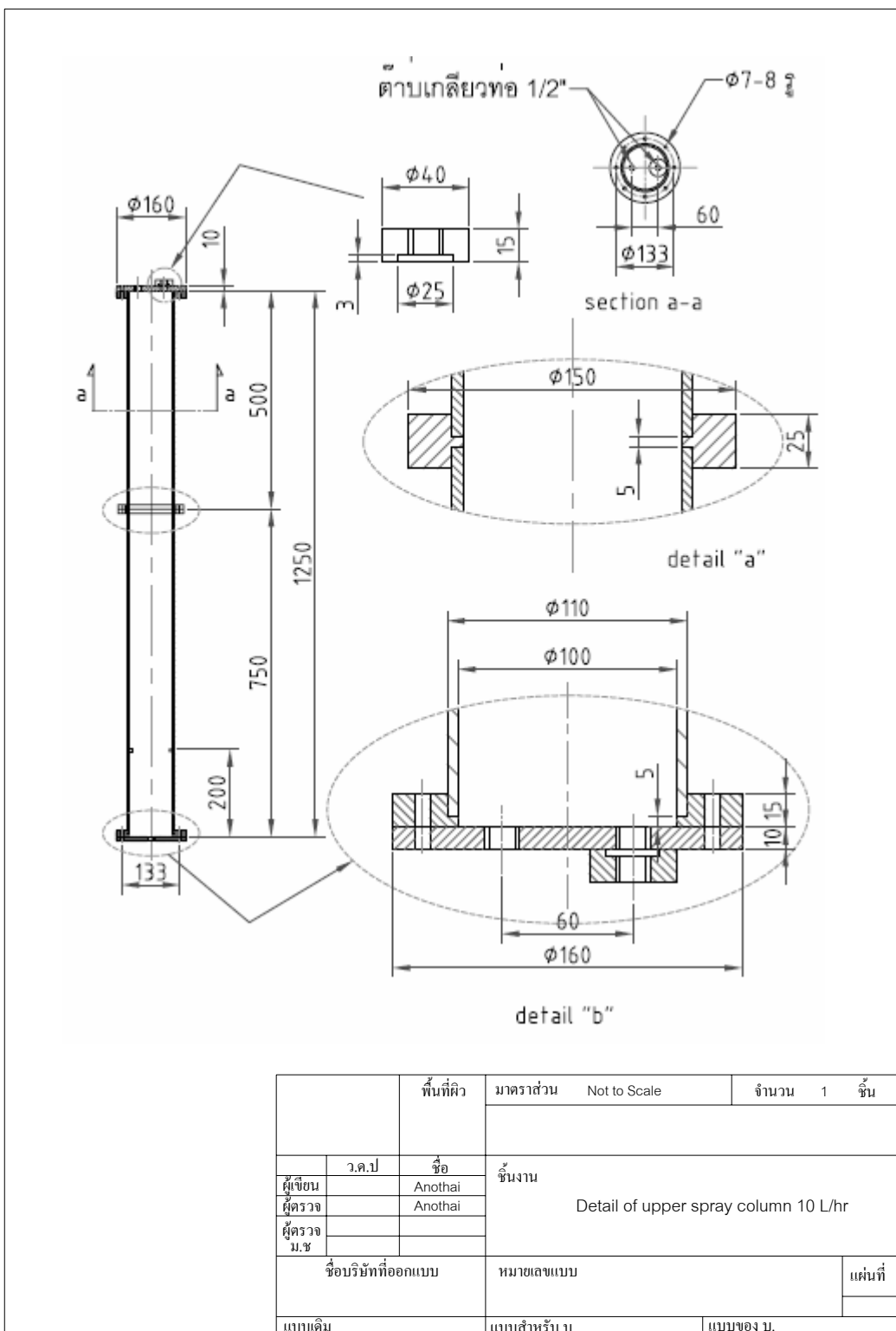


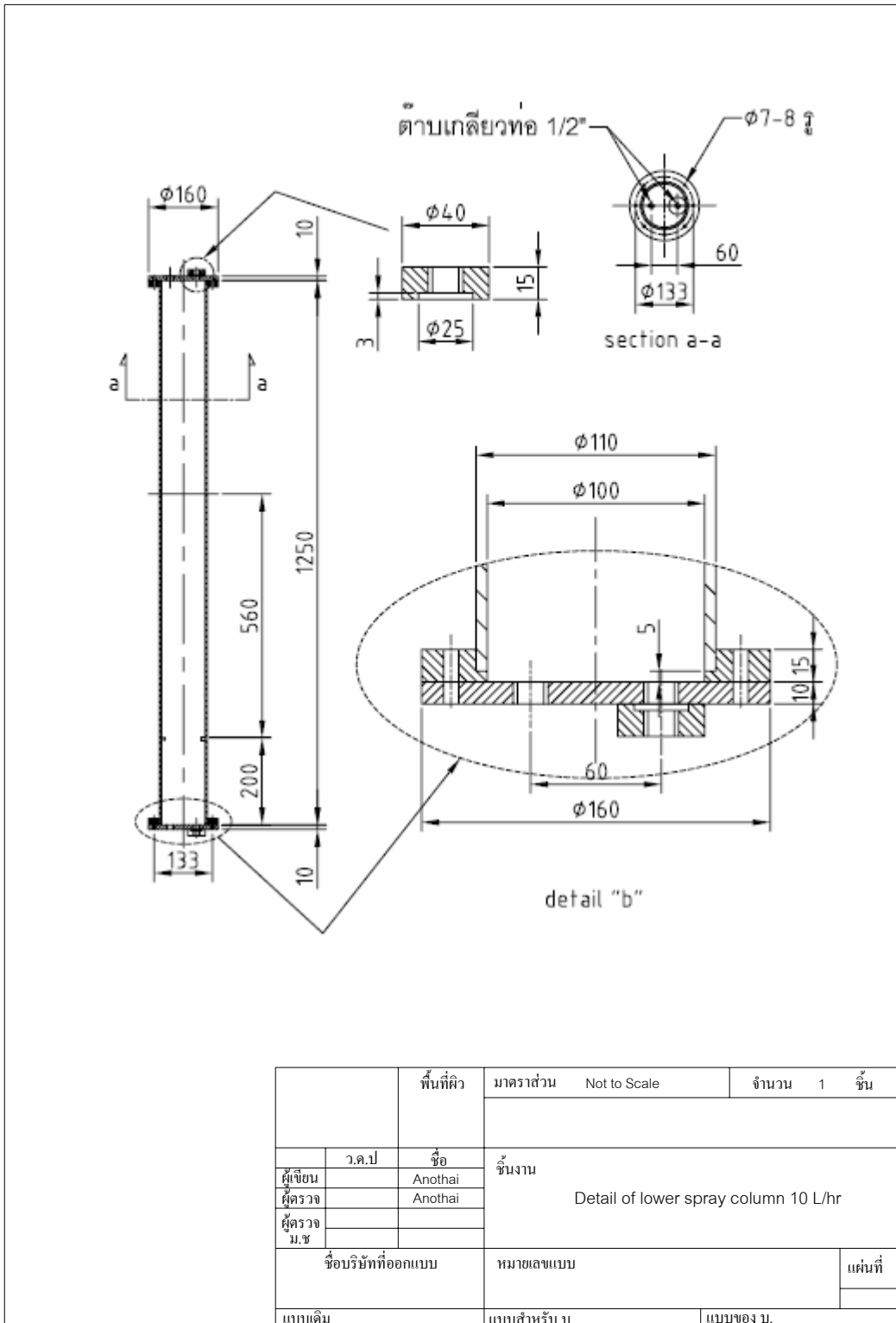


ภาคผนวก ง
แบบสปรีย์คอล์มหน้าต่างตัวในแนวระดับ

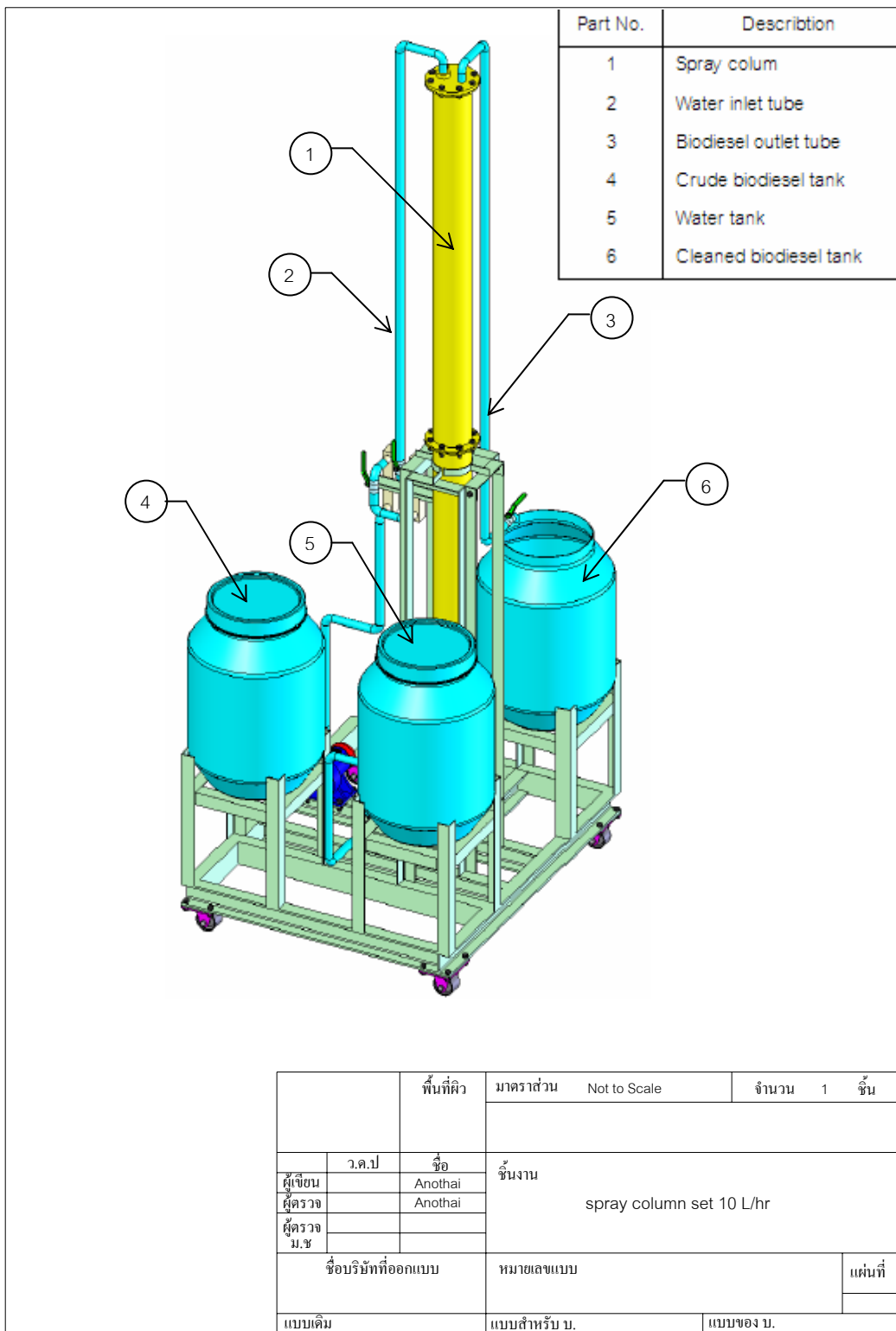


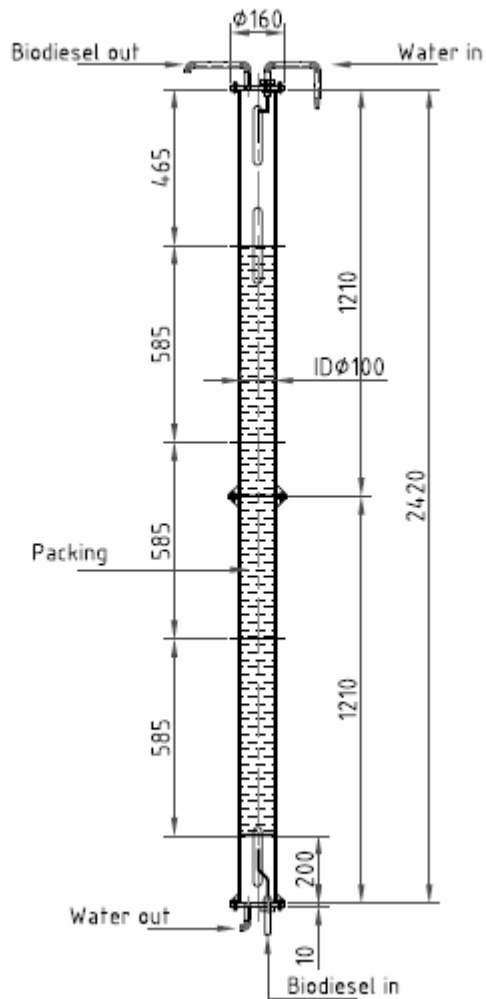
		พื้นที่ผิว	มาตราส่วน	Not to Scale	จำนวน	1	ชั้น
ผู้เขียน	ว.ด.ป	ชื่อ	ชิ้นงาน Spray Columnn 10 L/hr				
ผู้ตรวจ		Anothai					
ผู้ตรวจ ม.ช		Anothai					
ชื่อบริษัทที่ออกแบบ		หมายเลขแบบ			แผ่นที่		
แบบเดิม		แบบสำหรับ บ.		แบบของ บ.			



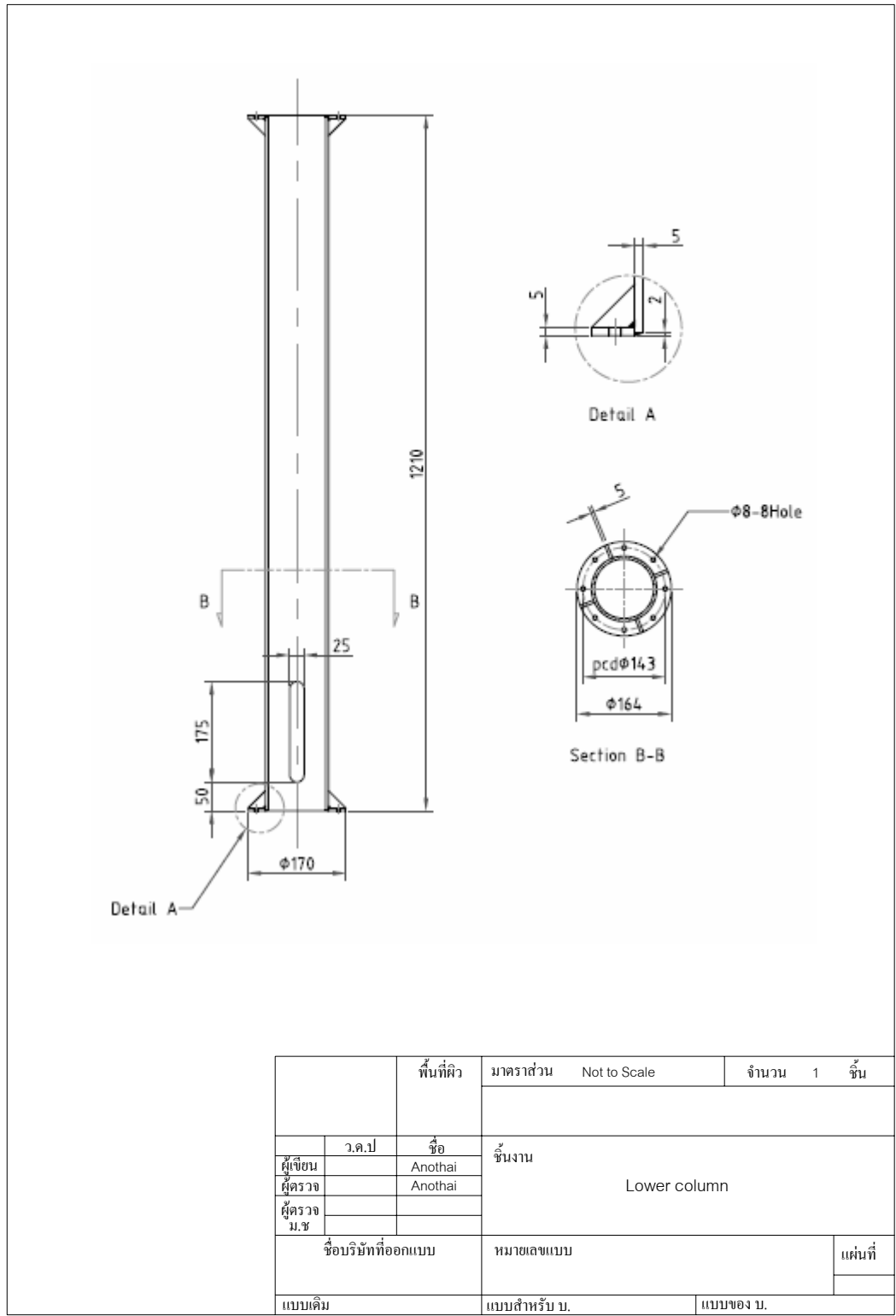


ภาคผนวก จ
แบบสปรย์คอล์มหน้าต่างตัวในแนวตั้ง

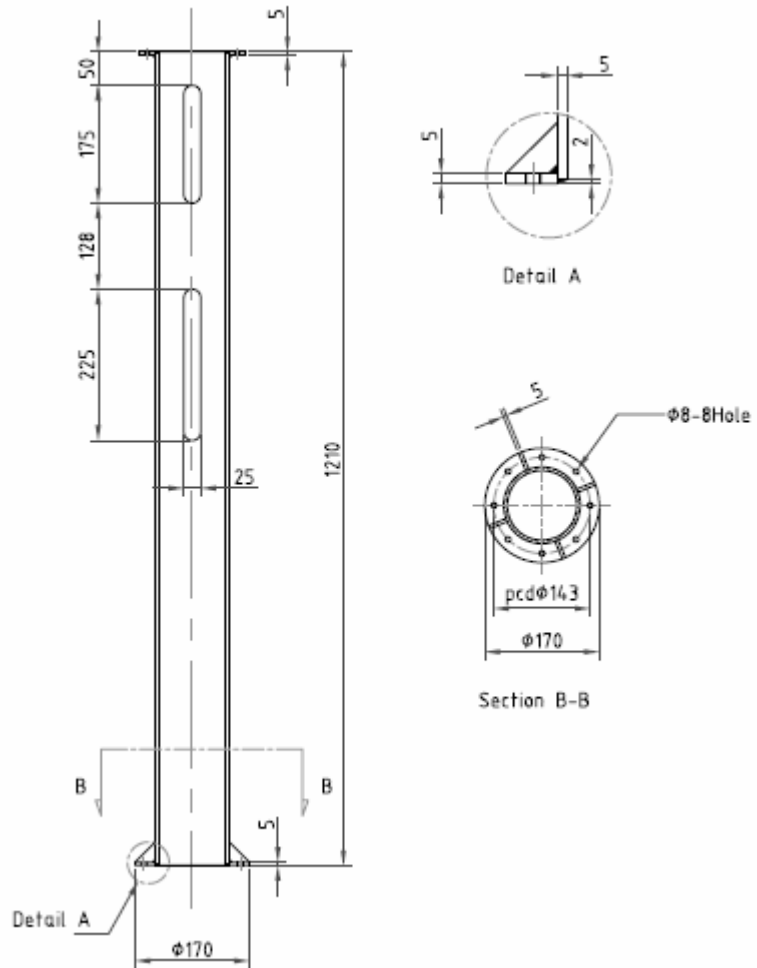




	พื้นที่ผิว	มาตราส่วน	Not to Scale	จำนวน	1	ชั้น
	ว.ค.ป	ชื่อ	ชิ้นงาน Spray column 10 L/hr			
ผู้เขียน	Anothai					
ผู้ตรวจ ม.ช	Anothai					
ชื่อบริษัทที่ออกแบบ		หมายเลขแบบ				แผ่นที่
แบบเดิม		แบบสำหรับ บ.		แบบของ บ.		



		พื้นที่ผิว	มาตรฐาน	Not to Scale	จำนวน	1	ชั้น
	ว.ค.ป	ชื่อ	ชิ้นงาน Lower column				
ผู้เขียน		Anothai					
ผู้ตรวจ		Anothai					
ผู้ตรวจ ม.ช							
ข้อบรียัพที่ออกแบบ			หมายเลขแบบ				แผ่นที่
แบบเดิม			แบบสำหรับ บ.		แบบของ บ.		



		พื้นที่ผิว	มาตรฐาน	Not to Scale	จำนวน	1	ชิ้น
	ว.ค.ป	ชื่อ	ชั้นงาน Upper column				
ผู้เขียน		Anothai					
ผู้ตรวจ		Anothai					
ผู้ตรวจ ม.ช							
		ชื่อบริษัทที่ออกแบบ	หมายเลขแบบ				แผ่นที่
		แบบเดิม	แบบสำหรับ บ.				แบบของ บ.

ภาคผนวก จ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

ETM017

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ปริมาณการใช้น้ำในการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะโดยการสเปรย์น้ำร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศ

Water Using in Batch Purification of Biodiesel by Water spray and Bubble Mixing

อโนทัย สุธีรวงประเสริฐ* กำพล ประทีปชัยกุล วีระยุทธ หลีวิจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทร 0-7428-7036 โทรสาร 0-7421-2893 *อีเมลล์ ats_anothai@hotmail.com

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการสุดท้ายของการผลิตยังคงมีสารตกค้างอยู่ในไบโอดีเซล เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ สบู่ และกลีเซอรอลบางส่วน ซึ่งหากนำไปใช้จะสร้างความเสียหายให้กับเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ การทำความสะอาดไบโอดีเซลจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ จากการศึกษาพบว่าสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลสามารถละลายได้ในน้ำ แต่หากมีปริมาณน้ำที่จำนวนมากจะส่งผลต่อมลภาวะทางด้านน้ำ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไบโอดีเซลต่อน้ำในการล้างแบบกะ ด้วยการสเปรย์น้ำผ่านชั้นไบโอดีเซลร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศ โดยตัวแปรในการศึกษาขึ้นคือ อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ pH ของไบโอดีเซลและน้ำก่อนและหลังทำการล้าง เวลา และปริมาณไบโอดีเซลหลังการล้าง (yield) เมื่อปรับใช้ไบโอดีเซลต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25 จากผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำในอัตราส่วน 1:2 ใช้ปริมาณน้ำรวมมากที่สุดถึง 12 เท่าของไบโอดีเซลด้วยเวลา 12.55 ชั่วโมง โดยที่อัตราส่วน 1:0.25 ใช้น้ำเพียง 1.75 เท่าของไบโอดีเซล ด้วยเวลา 21.25 ชั่วโมง โดยทั้ง 2 อัตราส่วนได้ไบโอดีเซลคืนมาประมาณ 93% การใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง สามารถทำความสะอาดไบโอดีเซลให้ได้ค่า pH=7.0±0.1 มีแนวโน้มที่จะลดปริมาณการใช้น้ำโดยไม่มีผลต่อการได้คืนของไบโอดีเซล แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งการล้างและเวลา

Abstract

Crude biodiesel produced from transesterification using base as catalyst still contains some impurities such as catalyst, soap, alcohol, and glycerol. These contaminations will damage diesel-engine whenever it is used immediately as fuel oil. The primary study indicated that almost impurities can be dissolved in water, but the environment will be effected by this waste water. The purpose of this study was to investigate the quantities of water

used at batch purification process for washing all contamination. Water spraying and bubble mixing will be used for washing. In this work, the washing ratio between biodiesel and water were investigated and presented. The pH of biodiesel and water before and after, the washing time, and the yield of biodiesel after washing were compared. The crude biodiesel was washed with the ratio of biodiesel to water at 1:2, 1:1, 1:0.5, and 1:0.25. The result showed that at the ratio of 1:2, the quantity of water would be at maximum and it was found to be at 12 times of biodiesel volume and the washing time was 12.55 hours. At the ratio of biodiesel to water at 1:0.25, the total of water used was 1.75 time of biodiesel with the washing time at 21.25 hours. In summary, using less water than biodiesel could neutralize biodiesel to pH=7.0±0.1. Moreover, the decreasing of water volume is not effected to the yield, but this will increase both the number of washing and time used for purification process.

1. บทนำ

ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่มีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากสามารถผลิตได้โดยกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากมาก จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยา หรือปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันซึ่งมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ จนเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอลขึ้น เมื่อแยกกลีเซอรอลออกมาหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้ว ไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นยังมีสารตกค้าง เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอลบางส่วน หากนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทันที อาจสร้างความเสียหายรวมทั้งลดประสิทธิภาพ ดังนั้นการทำไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลที่นำไปใช้งานต้องมีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ไม่น้อยกว่า 96.5% ตามมาตรฐาน EN 14130 ของกรมธุรกิจพลังงาน [1] รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ตกค้างอยู่ในไบโอดีเซล ต้องทำการกำจัดออกไปจากไบโ

ดีเซลก่อนนำไปใช้งาน กระบวนการทำไบโอดีเซลให้มีหลายวิธี เช่น การหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ซึ่งเหมาะกับการผลิตไบโอดีเซลแบบกะขนาดใหญ่นอกโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นแบบสูญญากาศ ซึ่งนำไบโอดีเซลที่ผ่านการผลิต แต่มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่า 96.5% เพื่อกลั่นเอาเฉพาะเอสเทอร์ที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนออกจนได้สารบริสุทธิ์ การใช้แมกนีเซียมซิลิเกตเป็นสารดูดซับ (Magnesium Silicate Adsorbent Treatment) ซึ่งตกค้างในไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังมีการใช้แผ่นเมมเบรนเป็นตัวกรอง (Filter) ซึ่งมีขนาดของรูพรุนที่เล็กมากในระดับไมโครเมตร จึงสามารถกรองสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลได้ เป็นต้น แต่วิธีการที่ใ้กล่าวมานั้นต้องใช้กรรมวิธีที่ยุ่งยากหลายขั้นตอนและต้องลงทุนค่อนข้างสูง วิธีการที่สามารถทำได้สะดวกและเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย คือ การใช้น้ำเป็นตัวชะล้าง (Water Washing) น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถรวมตัวกับไบโอดีเซล แต่สามารถชะล้างสิ่งปนเปื้อนออกมาได้ กล่าวคือ ในการผลิตที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีสบู่ตกค้างอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา สารตกค้างเหล่านี้สามารถละลายด้วยน้ำ เมื่อทำการล้างซ้ำด้วยน้ำหลายๆ ครั้งใน แบบกะ (Batch) ซึ่งเหมาะสำหรับกำลังการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ใหญ่มากนัก (100-1000 ลิตร) เช่น การผลิตเมทิลเอสเทอร์ในระดับกึ่งอุตสาหกรรม ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่มีกำลังการผลิต 1000 ลิตรต่อวัน แต่ก็ยังมีข้อเสียเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล ที่ยังไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน กล่าวคือ ต้องล้างจนกว่าจะใสไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าจะมีอยู่มากในประเทศไทย แต่ก็ควรมีการใช้อย่างประหยัด การศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างจึงเป็นเรื่องที่ควรคำนึงถึง รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างด้วย ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ในการล้างไบโอดีเซล โดยใช้ให้น้ำให้น้อยลงแต่ยังสามารถล้างไบโอดีเซลได้ดี จึงเป็นที่มาของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อต้องการศึกษาการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะโดยใช้ร้ล้างที่มีปริมาณน้อยกว่าไบโอดีเซล หลักการทำงานจะอาศัยการผสมกันระหว่างน้ำและไบโอดีเซล การผสมจะช่วยให้เกิดการสัมผัสกันได้มากขึ้นเมื่อน้ำสัมผัสกับไบโอดีเซลได้มากขึ้น สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลก็จะถูกน้ำละลายออกมาได้มากขึ้นด้วย การผสมจึงเป็นวิธีที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทำความสะอาด

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะ เมื่อมีการใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง จะสามารถทำความสะอาดไบโอดีเซลได้ดีและลดปริมาณน้ำได้อีกหรือไม่ รวมทั้งจำนวนครั้งการล้างและเวลาในการล้าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบปริมาณการได้คืน (yield) ของไบโอดีเซลหลังการล้าง

2. การทำความสะอาดไบโอดีเซล

วิธีการทำความสะอาดไบโอดีเซลสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การล้างด้วยน้ำ (Water washing), การใช้สารดูดซับ (Solid absorbent), การกรองด้วยแผ่นเมมเบรน (Membrane filter) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการล้างด้วยน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการทำความสะอาดออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.1 การล้างแบบกะ (Batch Washing)

2.2 การล้างแบบต่อเนื่อง (Continuous Washing)

2.1 การล้างแบบกะ

เป็นการนำเมทิลเอสเทอร์หรือก็คือไบโอดีเซล ที่ทำการแยกกลีเซอรอลออกไปแล้วมาผสมกับน้ำในถังล้าง โดยทำการล้างภายในเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นจะหยุดการทำงานเพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและน้ำ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงพร้อมทั้งปล่อยน้ำที่ใช้แล้วทิ้งไปในแต่ละครั้ง ทำซ้ำแบบเดิมจนกว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนเหลืออยู่ในไบโอดีเซล ซึ่งโดยทั่วไปไม่มีวิธีการล้างดังนี้

2.1.1 การล้างแบบสเปรย์น้ำ

เป็นการนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรอลออกไปแล้ว มาฉีดด้วยน้ำลักษณะเป็นฝอยกระจายทั่วผิวหน้าของไบโอดีเซล จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นแล้วปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้จะสะอาด วิธีนี้จะปล่อยให้ชั้นของน้ำกับสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลได้สัมผัสกันเอง แบบไม่มีตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัส เป็นกรรมวิธีที่ใช้เริ่มแรกของการล้างด้วยน้ำ

2.1.2 การล้างแบบกวน

เป็นวิธีที่มีการกวนให้เกิดการผสมกัน ระหว่างน้ำและไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างแบบสเปรย์น้ำมาแล้วหลายๆ ครั้ง จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น แล้วจึงปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้มีความสะอาด การกวนจะช่วยให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสให้มากขึ้น จึงช่วยลดเวลาการล้างในแต่ละครั้งแต่มีข้อควรระวัง คือการเกิดอิมัลชัน เพราะสบู่เป็นสารอิมัลซิฟาย (Emulsify) ทำให้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว (Non-Polar) สามารถรวมตัวกับน้ำ ซึ่งเป็นสารมีขั้ว (Polar) ซึ่งเมื่อเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะทำให้การแยกออกจากกันยาก

2.1.3 การล้างแบบผสมด้วยฟองอากาศ

การล้างด้วยวิธีนี้ช่วยให้เกิดการสัมผัสกันได้มากขึ้น โดยการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและต่อเนื่องให้กระจายทั่วชั้นของน้ำที่ใช้ล้าง ฟองอากาศจะพาเอาน้ำลอยขึ้นไปยังชั้นของไบโอดีเซล น้ำก็จะชะล้างเอาสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ตกลงมากับน้ำในชั้นล่าง วิธีนี้นิยมใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการล้างด้วยน้ำโดยทำการล้างซ้ำ 2-3 ครั้ง โดยในครั้งแรกจะใช้น้ำประมาณ 1/2 ของไบโอดีเซลใช้เวลา ประมาณ 15 ถึง 20 นาที แล้วหยุดการทำงานเพื่อปล่อยให้เกิดการตกตะกอนของสิ่งปนเปื้อนในน้ำพร้อมทั้งปล่อยน้ำทิ้ง จากนั้นเติมน้ำอีกในการล้างครั้งต่อไปประมาณ 3/4 ของปริมาณไบโอดีเซล แต่ในครั้งสุดท้ายจะดำเนินการทิ้งไว้ประมาณ 10-12 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เกิดการตกตะกอนแล้วปล่อยน้ำทิ้ง [2]

2.2 การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

การล้างแบบนี้โดยทั่วไปใช้กับกำลังการผลิตขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้การป้อนเมทิลเอสเทอร์ที่แยกกลีเซอรอลออกไปแล้ว เข้าผสมพร้อมกันกับน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีอุปกรณ์หลายแบบ เช่น คอลัมน์แบบไหลสวนทาง ถังล้างแบบหมุนเวียน (circulation tank) ชุดล้างแบบผสมและตกตะกอนแยกชั้น (mixer-settler) เป็นต้น ส่วนมากจะกระทำในคอลัมน์ที่มีการป้อนแบบไหลสวนทาง กล่าวคือ ป้อนน้ำเข้าทางด้านบนของ

คอลลิ้นและป้อนเมทิลเอสเทอร์เข้าทางด้านล่าง ในช่วงกลางคอลลิ้นก็ จะมีการสัมผัสกันของชั้นของเหลวทั้งสองชนิด ซึ่งอาจจะเพิ่มอุปกรณ์ สำหรับช่วยในการสัมผัส เช่น ไบคอน แผ่นสกรีน เพื่อทำให้เกิดการ สัมผัสกันมากขึ้น ไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อผ่านการ ล้างด้วยน้ำแล้วจะไหลออกทางด้านบนของคอลลิ้น ส่วนน้ำมีความ หนาแน่นมากกว่าจะตกลงอยู่ด้านล่างและไหลออกไป ทั้งนี้ควรจะให้ ช่องทางออกของไบโอดีเซลอยู่สูงกว่าช่องทางเข้าของน้ำ เป็นระยะพอสมควร เพื่อป้องกันน้ำที่ป้อนเข้ามาไหลออกไปพร้อมกับไบโอดีเซล

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการเตรียมไบโอดีเซล

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1.1 การตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมัน

นำน้ำมันพืชที่ต้องการ ไปอุ่นให้ร้อนประมาณ 60-80°C เป็นเวลา 15-20 นาทีเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้าง จากนั้นตวงน้ำมันด้วยปิเปตใส่ในขวด รูปทรงฟลู (Flask) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมด้วยไฮโซโพรพานอล ปริมาตรเล็กน้อย เพื่อทำลายน้ำมันพร้อมทั้งผสมทีแอลพีทาลีนอินดิ เคเตอร์ ลงไปในสารละลายประมาณ 1-2 หยด เพื่อบอกจุดยุติ นำ สารละลายไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ม ีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสี เป็นสีชมพู – ม่วง บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอก ไซด์เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

การคำนวณ

ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วง 0.5-2.5% wt. [3] สำหรับการไตเตรตปริมาณของ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทดลองได้เท่ากับ 0.9 มิลลิลิตร แสดงว่าต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 0.9 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระจนเป็นกลาง และต้องใช้ฉีก จำนวน 5 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของระบบ ดังนั้นเมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้วปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต้องใช้โซเดียมไฮ ดรอกไซด์เกรด 98% ปริมาณ 2.95 กรัม

3.1.2 การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์

เตรียมน้ำมันที่ผ่านการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระแล้ว นำมาทำ ปฏิกิริยากับเมทิลแอลกอฮอล์ที่ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2.95 กรัม ตามที่คำนวณไว้แล้ว โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ เมทิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 1:6 หรือประมาณ 23% โดยปริมาตรของ น้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C [4] เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที ทั้งนี้ไม่ควรให้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยามีค่าเกิน 64.5°C เนื่องจากเป็น จุดเดือดของเมทิลแอลกอฮอล์ และทำการแยกกลีเซอรอลโดยวิธีการ วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

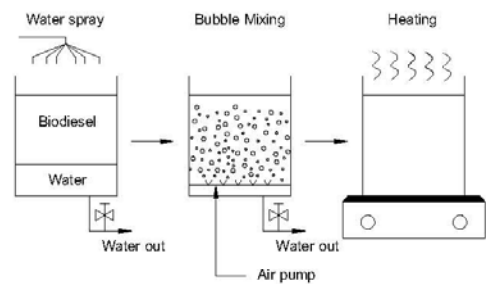
3.2 วิธีการทำความสะอาดไบโอดีเซลไบโอดีเซล

แบ่งไบโอดีเซลที่ผลิตเป็น 3 ชุด โดยใช้ไบโอดีเซล 500 มิลลิลิตร และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 ในครั้ง แรกจะทำการสเปรย์ด้วยน้ำและวางไว้ให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 5-10

นาที จากนั้นถ่ายน้ำออกพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลและน้ำหลัง การล้างไปตรวจด้วยเครื่อง Titration Excellence T50 เพื่อวัดค่าความ เป็นกรดและเบส ในครั้งต่อไปจะเปลี่ยนวิธีการล้างมาเป็นการผสมด้วย ฟองอากาศโดยใช้ปั๊มลมขนาด 58 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยในการ ผสมครั้งแรกจะใช้เวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชัน จากนั้น วางทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 10-15 นาที ทำการวัดค่า pH ของไบโอดีเซลและน้ำล้าง ทำซ้ำจนกว่าจะได้ไบโอดีเซลที่มีค่าเป็นกลาง โดยในครั้งต่อไปจะเพิ่มเวลาเป็น 30, 60, 120, จนในครั้งหลังๆ ใช้เวลา คงที่ที่ 480 นาที

3.3 วิธีการวัดปริมาณการได้คืนของไบโอดีเซล

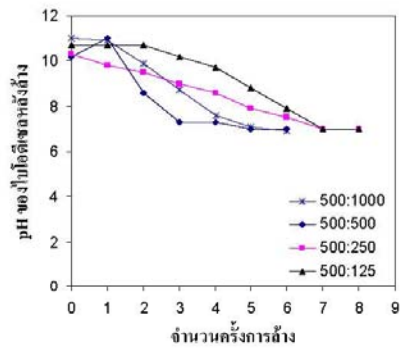
นำไบโอดีเซลที่ล้างจนมีค่า pH=7.0 แล้วไปวัดปริมาณที่เหลืออยู่ พร้อมทั้งบันทึกค่า จากนั้นนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 120°C เป็นเวลา 15-20 นาทีเพื่อกำจัดน้ำตกค้าง และนำไปวัดปริมาตร อีกครั้งพร้อมทั้งบันทึกผลที่ได้



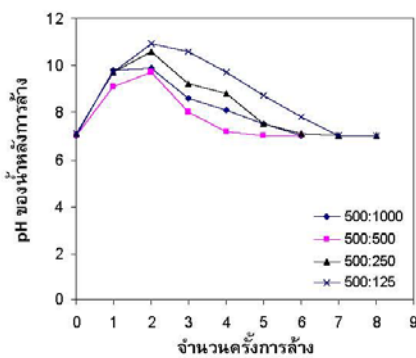
รูปที่ 1 วิธีการล้างไบโอดีเซลในแบบกะ

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะโดยการสเปรย์ น้ำร่วมกับฟองอากาศ พบว่าความสะอาดของไบโอดีเซล ในการทดลอง สามารถสังเกตได้จากความเป็นกรดและเบสของไบโอ ดีเซลและน้ำหลังการล้าง นั่นคือเมื่อมีค่า pH=7 จากกราฟในรูปที่ 2 และ 3 แสดงค่า pH หลังการล้างของไบโอดีเซลและน้ำ ซึ่งไบโอดีเซล ก่อนล้างมีความเป็นด่างที่สูงมากประมาณ pH=11 เมื่อทำการล้างไป หลายๆ ครั้งจะมีค่าลดลงเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ละลายออกมารวม กับน้ำ ซึ่งก่อนล้างมีค่าเป็นกลาง (pH=7) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน ช่วงแรก เมื่อล้างไปในครั้งหลังๆ ค่า pH ของน้ำ ก็จะเริ่มลดลงจนมีค่า เป็นกลางอีกครั้ง



รูปที่ 2 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25



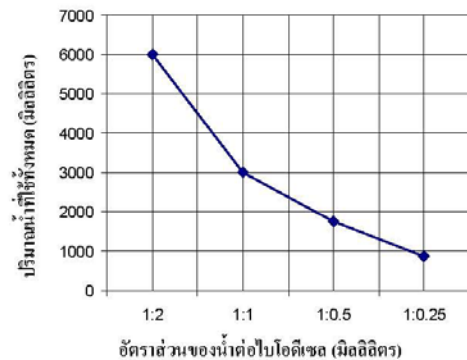
รูปที่ 3 แสดงค่า pH ของน้ำหลังการล้างในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25

ปริมาณการใช้น้ำกับจำนวนครั้งการล้าง รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการล้างสามารถแสดงดังในตารางที่ 1 ซึ่งการใช้น้ำในอัตราส่วน 1:2 ต้องทำการล้าง 6 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 12 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 775 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 469 มิลลิลิตร ที่อัตราส่วน 1:1 ต้องทำการล้าง 6 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 6 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 775 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 470 มิลลิลิตร ที่อัตราส่วน 1:0.5 ต้องทำการล้าง 7 ครั้ง หรือใช้ปริมาณน้ำ 3.5 เท่าของไบโอดีเซล ใช้เวลา 1285 นาที ได้ไบโอดีเซลคืนมา 466 มิลลิลิตร และที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:0.25 ต้องทำการล้าง 7 ครั้งหรือใช้ปริมาณน้ำเพียง 1.75 เท่าของไบโอดีเซล และได้ไบโอดีเซลคืนมา 468 มิลลิลิตร

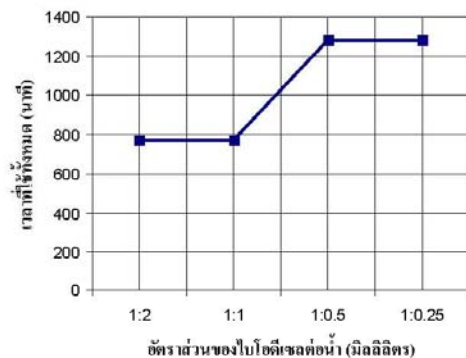
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลโดยการสเปรย์น้ำร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศเมื่อใช้น้ำปริมาณที่ต่างกัน

ไบโอดีเซลต่อน้ำ (มิลลิลิตร)	น้ำที่ใช้ล้างในแต่ละครั้ง (มิลลิลิตร)	จำนวนครั้งการล้าง (ครั้ง)	เวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)	ปริมาณไบโอดีเซลหลังล้าง (มิลลิลิตร)
1:2	1000	6	775	469
1:1	500	6	775	470
1:0.5	250	7	1285	466
1:0.25	125	7	1285	468

เมื่อนำผลการทดลองในตารางที่ 1 มาเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างที่ใช้ทั้งหมด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในการล้างแต่ละครั้ง มีแนวโน้มที่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำรวมของระบบให้น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ 1:2 ต้องใช้ปริมาณน้ำล้างรวมทั้งหมดมากที่สุด และปริมาณการใช้น้ำรวมได้ลดลงตามอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ลดลง ซึ่งที่อัตราส่วน 1:0.25 มีการใช้น้ำรวมทั้งหมดน้อยที่สุด แต่ในทางกลับกัน แนวโน้มของเวลาที่ใช้ล้างจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งการล้างดังแสดงในกราฟรูปที่ 5 ซึ่งที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:1 ใช้เวลาในการล้างเท่ากัน แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้อัตราส่วน 1:0.5 เวลาการล้างรวมทั้งใช้ก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งคงที่ที่อัตราส่วน 1:0.25



รูปที่ 4 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างทั้งหมดในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.25, และ 1:0.25



รูปที่ 5 แสดงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลในแบบกะเมื่อใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:2, 1:1, 1:0.5, และ 1:0.25

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะโดยใช้การสเปรย์น้ำร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศ สามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในการล้างแต่ละครั้ง สามารถทำความสะอาดไบโอดีเซลได้ดี โดยสังเกตจากไบโอดีเซลหลังการล้างมีความใสมากกว่าก่อนล้าง และค่า pH หลังการล้างของไบโอดีเซลและน้ำมีค่าเป็นกลาง ($pH=7\pm 0.1$) การใช้สัดส่วนของน้ำในปริมาณที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในการล้างแต่ละครั้ง มีแนวโน้มที่ลดปริมาณการใช้น้ำล้างรวมในระบบ กล่าวคือ ที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลและน้ำเท่ากับ 1:0.25 มีการใช้ปริมาณน้ำรวมน้อยที่สุดคิดเป็น 1.75 เท่าของไบโอดีเซล ซึ่งน้อยกว่าที่อัตราส่วน 1:0.5, 1:1, และที่อัตราส่วน 1:2 มีการใช้ปริมาณน้ำรวมมากที่สุดคิดเป็น 12 เท่าของไบโอดีเซล ทั้งนี้ต้องใช้เวลาในการล้างเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากต้องใช้จำนวนครั้งในการล้างเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการไต่คืนของไบโอดีเซลหลังการล้าง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Energy Business, 2007. "Specification and biodiesel quality of methyl ester (biodiesel community)". Available online: <http://www.doeb.go.th/lv/law/data/biodiesel.pdf>
2. Suttinee, S., 2006. "Cost Analysis of Biodiesel Production from A 100-Litre-Batch Community Plant", A thesis submitted at The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 3 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

3. Tomasevic, A.V., Siler-Marinkovic, S.S., 2002. "Methanolysis of used flying oil", Fuel Processing Technology, 81, pp. 1-6.
4. Zhang Y., Dube M.A., McLean D.D., Kates M., 2003. "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", Bioresource Technology, 89, pp. 1-16.

ปริมาณการใช้น้ำทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์ Water Consumption in Continuous Purification of Biodiesel Using Spray Column

อโนทัย สุธีระยงประเสริฐ* ก้าพล ประทีปชัยกูร วรวัช วิสุทธิเมธางกูร และ ชีระยุทธ หลีวีจิตร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: ats_anothai@hotmail.com

Anothai Sultheerayongprasert* Gumpon Prateepchaikul Worawut Wisutmethangoon Theerayut Leevijit
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
E-mail: ats_anothai@hotmail.com*

บทคัดย่อ

สารตกค้างในไบโอดีเซล เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ สบู่ และกลีเซอรอลบางส่วน หากไม่กำจัดจะสร้างความเสียหายให้กับเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ การทำความสะอาดไบโอดีเซลจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ จากการศึกษาพบว่าสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลสามารถละลายได้ในน้ำ แต่หากมีปริมาณน้ำที่จำนวนมากจะส่งผลต่อมลภาวะทางน้ำ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงปริมาณการใช้น้ำ ในการทำความสะอาดแบบต่อเนื่อง ด้วยการสเปรย์ไบโอดีเซลผ่านชั้นของน้ำในคอลัมน์ โดยตัวแปรในการศึกษา คือ อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำ pH ของไบโอดีเซลก่อนและหลังการล้าง เวลา และปริมาณไบโอดีเซลหลังการล้าง (yield) เมื่อทดลองใช้ไบโอดีเซลต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, และ 1:1 จากผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำในอัตราส่วน 1:1 และ 1:0.75 สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่า pH เป็นกลาง ด้วยเวลาทั้งหมด 1.06 และ 1.50 ชั่วโมง ได้ไบโอดีเซลหลังการล้างประมาณ 84% โดยที่อัตราส่วน 1:0.5 และ 1:0.25 ไม่สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่า pH เป็นกลางได้

คำหลัก ไบโอดีเซล, purification, water washing, spray column

Abstract

The impurities in crude biodiesel such as catalyst, soap, alcohol, and glycerol will damage diesel-engine whenever it is not removed. The primary study indicated that almost impurities can be dissolved in water, but the

environment will be affected by this waste water. The purpose of this study was to investigate the quantities of water in continuous purification. In this work, the washing ratios between biodiesel and water were investigated. The pH of biodiesel before and after, the washing time, and the yield of biodiesel after washing were compared. The crude biodiesel was washed with the ratio of biodiesel to water of 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, and 1:1. The result showed that at the ratio of 1:1 and 1:0.75, the biodiesel after washing was clear in pH with the washing time of 1.06 and 1.50 hours, the yield after washing was 84%. At the ratio of 1:0.5 and 1:0.25, the biodiesel after washing was not clear in pH.

1. บทนำ

น้ำมันไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่มีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถผลิตได้โดยกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากมาก จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งมีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งมีการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ จนเกิดเป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลและผลพลอยได้อื่นๆ ที่รวมอยู่ในกลีเซอรอล เมื่อแยกกลีเซอรอลออกมาหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้ว ไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นยังมีสารตกค้าง เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ แอลกอฮอล์และกลีเซอรอลบางส่วน หากนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทันที อาจสร้างความเสียหายรวมทั้งลดประสิทธิภาพ ดังนั้น การทำไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลที่นำไปใช้งานต้องมีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ไม่น้อยกว่า 96.5% ตามมาตรฐาน EN 14130 ของกรมธุรกิจ

พลังงาน [1] รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ตกค้างอยู่ในไบโอดีเซล ต้องทำการกำจัดออกไปก่อนนำไปใช้งาน กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์มีหลายวิธี เช่น การหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ซึ่งเหมาะกับกำลังการผลิตแบบขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นแบบสุญญากาศ ซึ่งนำไบโอดีเซลที่ผ่านการผลิต แต่มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่า 96.5% เพื่อกลั่นเอาเฉพาะเอสเทอร์ที่มีสารอื่นจำพวกกรดไขมันอิสระกลับมารวมตัวกันอีกครั้ง การใช้เมกนีเซียมซิลิเกตเป็นสารดูดซับ (Magnesium Silicate Adsorbent Treatment) สิ่งตกค้างในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังมีการใช้แผ่นเมมเบรนเป็นตัวกรอง (Filter) ซึ่งมีขนาดของรูพรุนที่เล็กมากในระดับไมโครเมตร จึงสามารถกรองสิ่งตกค้างในไบโอดีเซลได้ เป็นต้น แต่วิธีการที่ใ้กล่าวมานั้นต้องใช้กรรมวิธีที่อยู่ยากหลายขั้นตอนและต้องลงทุนค่อนข้างสูง วิธีการที่สามารถทำได้สะดวกและเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย คือ การใช้น้ำเป็นตัวชะล้าง (Water Washing) น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถรวมตัวกับไบโอดีเซล แต่สามารถชะล้างสิ่งปนเปื้อนออกมาได้ กล่าวคือ ในการผลิตที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีสบู่ตกค้างอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา สารตกค้างเหล่านี้สามารถละลายด้วยน้ำ เมื่อทำการล้างซ้ำด้วยน้ำหลายๆ ครั้งใน แบบกะ (Batch) ซึ่งเหมาะสำหรับกำลังการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ใหญ่มากนัก (100 ถึง 1000 ลิตรต่อครั้ง) เช่น การผลิตไบโอดีเซลในระดับที่อุตสาหกรรมภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่มีกำลังการผลิต 1000 ลิตรต่อวัน แต่ก็ยังมีข้อเสียเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล ที่ยังไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน กล่าวคือ ต้องล้างจนกว่าจะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าจะมีอยู่มากในประเทศไทยแต่ก็ควรมีการใช้อย่างประหยัด การศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างจึงเป็นเรื่องที่ควรคำนึงถึง รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างด้วย ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ในการล้างไบโอดีเซล โดยใช้น้ำให้น้อยลงแต่ยังสามารถล้างไบโอดีเซลได้ดี จึงเป็นที่มาของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อต้องการศึกษาการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบต่อเนื่อง หลักการทำงานจะอาศัยการสเปรย์ไบโอดีเซลผ่านชั้นของน้ำ โดยมีวัสดุบรรจุที่ช่วยเพิ่มการสัมผัสและเวลาในการชะล้างให้มากขึ้น สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลก็จะถูกน้ำละลายออกมาได้มากขึ้นด้วย งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำ ความสะอาดไบโอดีเซลในแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง จะสามารถทำความสะอาดไบโอดีเซลได้ดีและลดปริมาณน้ำได้อีกหรือไม่ รวมทั้งจำนวนครั้งการล้างและเวลาในการล้าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบปริมาณการได้คืน (yield) ของไบโอดีเซลหลังการล้าง

2. การทำความสะอาดไบโอดีเซล

วิธีการทำความสะอาดไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การล้างด้วยน้ำ (Water washing), การใช้สารดูดซับ (Solid adsorbent), การกรองด้วยแผ่นเมมเบรน (Membrane filter) เป็น

ต้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการล้างด้วยน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการทำความสะอาดออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.1 การล้างแบบกะ (Batch Washing)

2.2 การล้างแบบต่อเนื่อง (Continuous Washing)

2.1 การล้างแบบกะ

เป็นการนำเมทิลเอสเทอร์หรือก็คือไบโอดีเซล ที่ทำการแยกกลีเซอรอลออกไปแล้วมาผสมกับน้ำในถังล้าง โดยทำการล้างภายในเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นจะหยุดการทำงานเพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและน้ำ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงพร้อมทั้งปล่อยน้ำที่ใช้แล้วทิ้งไปในแต่ละครั้ง ทำซ้ำแบบเดิมจนกว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนเหลืออยู่ในไบโอดีเซล ซึ่งโดยทั่วไปมีวิธีการล้างดังนี้

2.1.1 การล้างแบบสเปรย์น้ำ

เป็นการนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรอลออกไปแล้วมาฉีดด้วยน้ำในลักษณะเป็นฝอยกระจายทั่วผิวหน้าของไบโอดีเซล จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นแล้วปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไปทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้จะสะอาด วิธีนี้จะปล่อยให้ชั้นของน้ำกับสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลได้สัมผัสกันเอง แบบไม่มีตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัส เป็นกรรมวิธีที่ใช้เริ่มแรกของการล้างด้วยน้ำ

2.1.2 การล้างแบบกวาน

เป็นวิธีที่มีการกวานให้เกิดการผสมกัน ระหว่างน้ำและไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างแบบสเปรย์น้ำมาแล้วหลายๆ ครั้ง จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น แล้วจึงปล่อยน้ำที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนกว่าไบโอดีเซลที่ได้มีความสะอาด การกวานจะช่วยให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสให้มากขึ้น จึงช่วยลดเวลาการล้างในแต่ละครั้งแต่มีข้อควรระวัง คือการเกิดอิมัลชัน เพราะสบู่เป็นสารอิมัลซิฟาย (Emulsify) ทำให้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว (Non-Polar) สามารถรวมตัวกับน้ำ ซึ่งเป็นสารมีขั้ว (Polar) ซึ่งเมื่อเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะทำการแยกออกจากกันยาก

2.1.3 การล้างแบบผสมด้วยฟองอากาศ

การล้างด้วยวิธีนี้ช่วยให้การสัมผัสกันได้มากขึ้น โดยการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและต่อเนื่องให้กระจายทั่วชั้นของน้ำที่ใช้ล้าง ฟองอากาศจะพาเอาหน้าลอยขึ้นไปยังชั้นของไบโอดีเซล น้ำก็จะชะล้างเอาสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ตกมากับน้ำในชั้นล่าง วิธีนี้นิยมใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการล้างด้วยน้ำ โดยทำการล้างซ้ำ 2-3 ครั้ง โดยในครั้งแรกจะใช้น้ำประมาณ 1/2 ของไบโอดีเซลใช้เวลา ประมาณ 15 ถึง 20 นาที แล้วหยุดการทำงานเพื่อปล่อยให้เกิดการตกตะกอนของสิ่งปนเปื้อนในน้ำพร้อมทั้งปล่อยน้ำทิ้ง จากนั้นเติมน้ำอีกในการล้างครั้งต่อไปประมาณ 3/4 ของปริมาณไบโอดีเซล แต่ในครั้งสุดท้ายจะดำเนินการทิ้งไว้ประมาณ 10-12 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เกิดการตกตะกอนแล้วปล่อยน้ำทิ้ง [2]

2.2 การล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

การล้างแบบนี้โดยทั่วไปใช้กับกำลังการผลิตขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้การป้อนเมทิลเอสเทอร์ที่แยกกลีเซอรอลออกไปแล้ว เข้าผสม

พร้อมกันกับน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีอุปกรณ์หลายแบบ เช่น คอลัมน์แบบไหลสวนทาง ตั้งถังแบบหมุนเวียน (circulation tank) ชุดล้างแบบผสมและตกตะกอนแยกชั้น (mixer-settler) เป็นต้น ส่วนมากจะกระทำในคอลัมน์ที่มีการป้อนแบบไหลสวนทาง กล่าวคือ ป้อนน้ำเข้าทางด้านบนของคอลัมน์และป้อนเมทิลเอสเทอร์เข้าทางด้านล่าง ในช่วงกลางคอลัมน์ก็จะมีการสัมผัสกันของชั้นของเหลวทั้งสองชนิด ซึ่งอาจจะเพิ่มอุปกรณ์สำหรับช่วยในการสัมผัส เช่น ใบกวน แผ่นสกรีน เพื่อทำให้เกิดการสัมผัสกันมากขึ้น ไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำแล้ว จะไหลออกทางด้านบนของคอลัมน์ ส่วนน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าจะตกลงอยู่ด้านล่างและไหลออกไป ทั้งนี้ควรจะให้ช่องทางออกของไบโอดีเซลอยู่สูงกว่าช่องทางเข้าของน้ำ เป็นระยะพอสมควร เพื่อป้องกันน้ำที่ป้อนเข้ามาไหลออกไปพร้อมกับไบโอดีเซล

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการเตรียมไบโอดีเซล

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1.1 การตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมัน

นำน้ำมันพืชที่ต้องการ ไปอุ่นให้ร้อนประมาณ $60-80^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15-20 นาทีเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้าง จากนั้นตวงน้ำมันด้วยปิเปตใส่ในขวดรูปชมพู่ (Flask) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมด้วยไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย เพื่อทำลายน้ำมันพร้อมทั้งผสมทีโนลล์ฟอสฟอรัสอินดิเคเตอร์ ลงไปในสารละลายประมาณ 1-2 หยด เพื่อบอกจุดยุติ นำสารละลายไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสี เป็นสีชมพู – ม่วง บันทึกปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.1.2 การคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์

ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วง 0.5-2.5% wt. [3] สำหรับการไตเตรท ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.8 มิลลิลิตร แสดงว่าต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 3.8 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระจะเป็นกลาง และต้องใช้อีกจำนวน 5 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของระบบ ดังนั้นเมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณ 30 ลิตร ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรด 98% ปริมาณ 264 กรัม

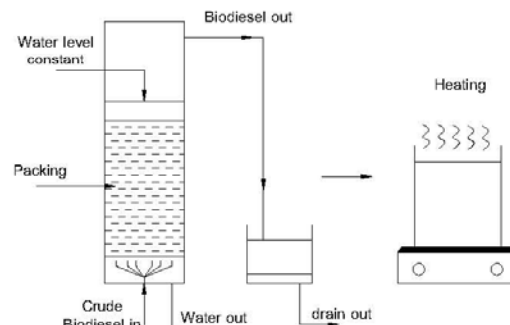
3.1.3 การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์

เตรียมน้ำมันที่ผ่านการตรวจสอบค่าของกรดไขมันอิสระ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับเมทิลแอลกอฮอล์ ที่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 264 กรัม ตามที่คำนวณไว้แล้ว โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 1:6 หรือประมาณ 23% โดยปริมาตรของน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C [4] เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที ทั้งนี้ไม่ควรให้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยามีค่าเกิน

64.5°C เนื่องจากเป็นจุดเดือดของเมทิลแอลกอฮอล์ และทำการแยกสีเซอร์อลโดยวิธีการวางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที

3.2 วิธีการทำความสะอาดไบโอดีเซล

ใช้คอลัมน์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 มิลลิเมตร สูง 1250 มิลลิเมตร จำนวนสามท่อนโดยมีหัวฉีดไบโอดีเซลอยู่ด้านล่าง แบ่งไบโอดีเซลที่ผลิตเป็น 4 ชุด โดยใช้ไบโอดีเซล 18 ลิตร ป้อนเข้าไปด้วยอัตราไหลคงที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง และทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, และ 1:1 ไบโอดีเซลถูกป้อนเข้าคอลัมน์ด้านล่างในลักษณะเป็นละอองเล็กๆ ความดันสูงด้วยปั๊มขนาด 0.37 kW ผ่านชั้นของน้ำที่มีวัสดุบรรจุที่ผลิตจากฝอยเตนเลส ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มป้อน จนกระทั่งไบโอดีเซลไหลพ้นชั้นน้ำบันทึกเวลา จับเวลาต่อจนกระทั่งไบโอดีเซลล้นออกทางด้านบนของคอลัมน์ บันทึกเวลาทั้งหมด และเริ่มจับเวลาทุกๆ 10 นาที จนครบ 60 นาที เพื่อทำการชักตัวอย่างไบโอดีเซล จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจค่า pH ด้วยเครื่อง Titration Excellence T50 ทำการทดลองซ้ำโดยนำไบโอดีเซลที่ได้จากคอลัมน์ที่ 1 ป้อนเข้าไปในคอลัมน์ที่ 2 และไบโอดีเซลที่ได้จากคอลัมน์ที่ 2 ป้อนเข้าไปในคอลัมน์ที่ 3 ทดลองจนครบทั้ง 4 อัตราส่วน พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงวิธีการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

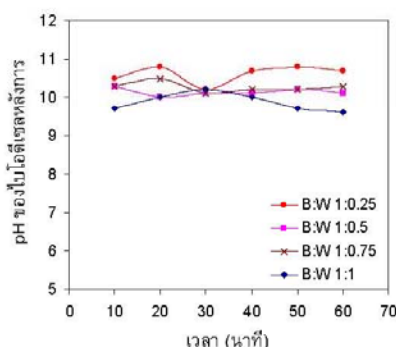
3.3 วิธีการวัดปริมาณการได้คืนของไบโอดีเซล

นำไบโอดีเซลที่ล้างจนมีค่า pH=7.0 แล้วไปวัดปริมาตรที่เหลืออยู่พร้อมทั้งบันทึกค่า จากนั้นนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $100-120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15-20 นาทีเพื่อกำจัดน้ำตกค้าง และนำไปวัดปริมาตรอีกครั้งพร้อมทั้งบันทึกผลที่ได้

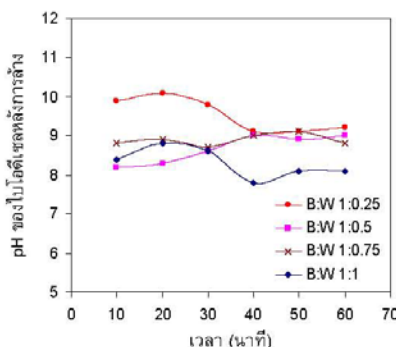
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยการสเปรย์ไบโอดีเซลในชั้นน้ำ พบว่าความสะอาดของไบโอดีเซลในการทดลองสามารถสังเกตได้จากค่า pH หลังการล้าง นั่นคือมีค่าเท่ากับ 7 จากกราฟในรูปที่ 2 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการ

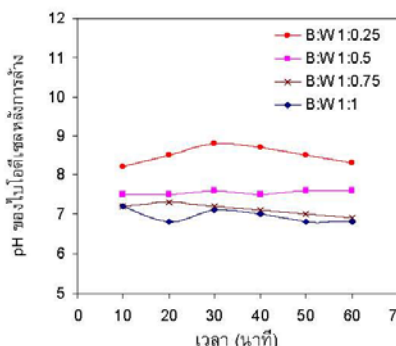
ล้างด้วยคอลัมน์ที่ 1 ในแต่ละอัตราส่วนซึ่งยังมีค่าที่สูงในช่วง 9-10 เนื่องจากปริมาณสารตกค้างยังมีอยู่มาก และไม่มีการเติมน้ำเข้าไปทดแทน เมื่อนำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างจากคอลัมน์ที่ 1 ไปนเข้าสู่คอลัมน์ที่ 2 วัดค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างได้ตั้งแสดงในกราฟรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 8-9



รูปที่ 2 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 1



รูปที่ 3 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 2



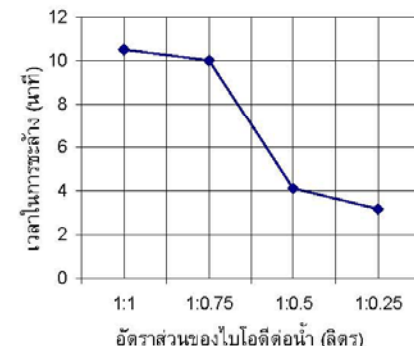
รูปที่ 4 แสดงค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างด้วยคอลัมน์ที่ 3

เมื่อนำไบโอดีเซลจากคอลัมน์ที่ 2 ไปนเข้าสู่คอลัมน์ที่ 3 ค่า pH ของไบโอดีเซลหลังการล้างที่วัดได้มีค่าตั้งแสดงในกราฟรูปที่ 4 ซึ่งมีค่าที่อยู่ในช่วง 7-8 โดยที่อัตราส่วน 1:0.75 และ 1:1 มีค่า pH ใกล้เคียง 7 มากที่สุด แต่อัตราส่วน 1:0.25 และ 1:0.5 ไม่สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่าเป็นกลางได้

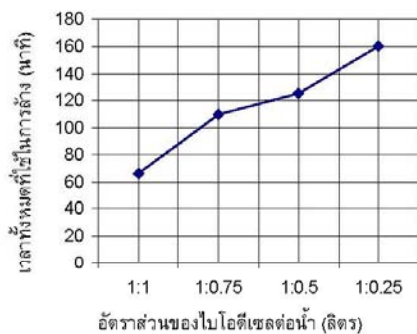
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์ที่อัตราส่วนต่างกัน

ไบโอดีเซล ต่อน้ำ (ลิตร)	เวลาในการ ชะล้าง (นาที)	เวลาที่ใช้ ทั้งหมด (นาที)	ปริมาณไบโอ ดีเซลหลังล้าง (%)
1:1	10.52	66.36	84
1:0.75	10.00	110.15	85
1:0.5	4.12	125.08	84
1:0.25	3.14	159.49	84

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาในการชะล้าง กับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้าง พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาในการชะล้าง 10.52 นาที เวลาทั้งหมดในการล้าง 66.36 นาที ได้ไบโอดีเซลหลังล้าง 84% ที่อัตราส่วน 1:0.75 ใช้เวลาในการชะล้าง 10.00 นาที เวลาทั้งหมดในการล้าง 110.15 นาที ได้ไบโอดีเซลหลังล้าง 85% ที่อัตราส่วน 1:0.5 ใช้เวลาในการชะล้าง 4.12 นาที ใช้เวลาทั้งหมดในการล้าง 125.08 นาที และที่อัตราส่วน 1:0.25 ใช้เวลาในการชะล้าง 3.14 นาที และใช้เวลาทั้งหมดในการล้าง 159.49 นาที สังเกตได้ว่าแนวโน้มของการใช้น้ำมากกว่า จะใช้เวลาในการชะล้างที่นานกว่าแต่จะใช้เวลารวมทั้งหมดน้อยกว่า ดังแสดงให้ชัดเจนในกราฟรูปที่ 5 และ 6 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากจะทำให้ไบโอดีเซลสามารถสัมผัสกับน้ำได้นานขึ้น ทำให้สามารถล้างไบโอดีเซลได้ดีขึ้นด้วย และสังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 1:0.75 จะใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:1 แต่สามารถล้างไบโอดีเซลได้สะอาดเหมือนกัน และนอกจากนี้ในแต่ละอัตราส่วนไม่มีผลต่อการได้คืนหลังการล้างของไบโอดีเซล



รูปที่ 5 แสดงเวลาในการชะล้างไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน



รูปที่ 6 แสดงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองล้างไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ด้วยสเปร์ย์คอลัมน์สรุปได้ว่า ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:0.75 สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่าเป็นกลางได้ดีพอๆ กัน แต่ที่อัตราส่วน 1:0.5 และ 1:0.25 ไม่สามารถล้างไบโอดีเซลให้มีค่าเป็นกลางได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้จะมีความสัมพันธ์กับเวลาในการชะล้าง ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำที่มากกว่าทำให้มีเวลาในการชะล้างที่นานกว่า แต่จะมีปริมาณที่เหมาะสม กล่าวคือ ที่อัตราส่วน 1:0.75 ใช้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:1 แต่ต้องใช้เวลาในการล้างทั้งหมดนานกว่า และไม่มีผลต่อการได้คืนของไบโอดีเซลหลังการล้าง ทั้งนี้ผลการทดลองที่แสดงไว้ข้างต้น เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการทดลองเพื่อศึกษาถึงปริมาณน้ำ ในการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ซึ่งการทดลองที่คาดว่าจะทำต่อไปคือ ศึกษาถึงศักยภาพของน้ำที่สามารถชะล้างสิ่งตกค้างในไบโอดีเซล จนกระทั่งไม่สามารถชะล้างได้อีกแล้ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุน นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Energy Business, 2007. "Specification and biodiesel quality of methyl ester (biodiesel community)". Available online: <http://www.doeb.go.th/th/law/data/biodiesel.pdf>
2. Suttinee, S., 2006. "Cost Analysis of Biodiesel Production from A 100-Litre-Batch Community Plant", A thesis submitted at The Joint Graduate School of Energy

and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

3. Tomasevic, A.V., Siler-Marinkovic, S.S., 2002. "Methanolysis of used flying oil", Fuel Processing Technology, 81, pp. 1-6.
4. Zhang Y., Dube M.A., McLean D.D., Kates M., 2003. "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", Bioresource Technology, 89, pp. 1-16.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายอโนทัย สุธีรยงประเสริฐ	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910120091	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2545

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนสนับสนุนการวิจัยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทนของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2550

ทุนผู้ช่วยสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี 2550-2552

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

อโนทัย สุธีรยงประเสริฐ กำพลประทีปชัยกูร และธีระยุทธ หลีวิจิตร, 2551 “ปริมาณการใช้น้ำในการทำความสะอาดไบโอดีเซลในแบบกะโดยการสเปรย์น้ำ ร่วมกับการผสมด้วยฟองอากาศ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต หน้า 145-149.

อโนทัย สุธีรยงประเสริฐ กำพลประทีปชัยกูร วรวิฑู วิสุทธิเมธางกูร ธีระยุทธ หลีวิจิตร “ปริมาณการใช้น้ำทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยสเปรย์คอลัมน์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 339-343.