



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

กระบวนการโคะเลสเซอร์สำหรับการแยกน้ำมันจากน้ำในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน
Coalescer process for separating oil from water in palm oil manufactory

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ ENG560087S



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

กระบวนการโคอะเลสเซอร์สำหรับการแยกน้ำมันจากน้ำในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน
Coalescer process for separating oil from water in palm oil manufactory

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ ENG560087S

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยโคเอสเซอร์ ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากบ่อกักน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในการดำเนินการทดลองมีการควบคุมอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส น้ำเสียถูกนำมาทดสอบการแยกน้ำมันด้วยกระบวนการ โคเอสเซอร์ ซึ่งใช้ตัวกลางชนิด Polyethylene-terephthalate (PET) และ polypropylene (PP) แบบ Fiber และ Granular ทำการทดลองในคอลัมน์แนวตั้งขนาด 8 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร เดินระบบแบบต่อเนื่อง ทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหล ตั้งแต่ 44 ถึง 267 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตร ตั้งแต่เวลา 30 ถึง 180 นาที วัดค่า ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดลงของ ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน จากการศึกษาพบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเหมาะสมในการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบคือที่ความสูงของคอลัมน์ไม่เกิน 20 เซนติเมตร เวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 90 ถึง 180 นาที อัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 89 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งในช่วงสภาวะนี้ทำให้ประสิทธิภาพการลด ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.58 ถึง 18.26 และ 39.58 ถึง 53.13 ตามลำดับ และจากการทดลองนี้พบว่าโคเอสเซอร์มีประสิทธิภาพลดค่าซีไอดี และน้ำมันและไขมัน สูงสุดเท่ากับร้อยละ 18.56 และ 53.13 ตามลำดับ ด้วยวัสดุตัวกลาง Polypropylene แบบ Fiber ซึ่งเกิดจากกลไกการกรองและการรวมตัวกันของอนุภาคน้ำมันเมื่อนำน้ำเสียผ่านชั้นตัวกลางที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำและการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสให้มากขึ้นกว่าตัวกลางในรูปแบบ Granular ในขณะที่การแยกชั้นตามธรรมชาติสามารถลดค่าซีไอดี และน้ำมันและไขมันได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 10.60 และ 18.65 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการโคเอสเซอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของซีไอดีและน้ำมันและไขมันในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้มากกว่าการแยกชั้นตามธรรมชาติถึง 1.8 และ 2.9 เท่าตามลำดับ

Abstract

The objective of this research was to study the efficiency of coalescer for oil separation from crude palm oil mill wastewater. The wastewater samples were collected from equalization pond before biogas system. The temperature during experimental operation was controlled at 60-70 °C to prevent grease forming. The coalesce reactor used was a vertical column with 15 cm. of diameter and 50 cm. of height or 8 liters of volume operated in continuous mode. The filters media studied were polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) and each type contained two forms, fiber and granular. The flow rate was varied from 44 to 267 ml/min. The treated wastewater samples were collected at the height of 10, 20, 30 and 40 cm. of column since 30 minutes until 180 minutes of operation times. These samples were analyzed their COD and oil and grease contents. The result was found that the appropriate of coalesce column height for oil separation should not be exceed 20 cm at operation time 90-180 minutes and the flow rate of 44-89 ml/min. At this condition, the system could reduce COD and oil and grease by 14.58-18.26% and 39.58-53.13% respectively. Moreover the result also showed the coalescer used fibrous PP media could reduce COD (18.56%) and oil and grease (53.13%) effectively. It was caused by the filtration mechanism, oil particles aggregation and increasing of contact surface area that occurred during the wastewater flow through the fibrous hydrophobic media. For the natural separation process, it could reduce COD and oil and grease only 1060% and 18.65% respectively. Therefore the coalesce process could enhance the reduction of COD and oil and grease in palm oil mill wastewater by 1.8 and 2.9 times respectively, in comparing with the natural separation process efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2556 คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณการสนับสนุนเงินทุนวิจัย จึงทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินการไปได้ด้วยดี และงานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยหากการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สดุดีท้ายขอขอบพระคุณบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด เป็นอย่างสูง สำหรับความกรุณาในการอนุเคราะห์ ตัวอย่าง และความสะดวกต่างๆ ตลอดการดำเนินงาน โครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
รายการตาราง	vii
รายการภาพประกอบ	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำมันปาล์มดิบและกระบวนการผลิต	4
2.2 รูปแบบการสูญเสียน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	13
2.3 วิธีการแยกน้ำมันปาล์มดิบที่สูญเสียกลับมาของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	15
2.4 ลักษณะการรวมตัวของน้ำและน้ำมัน	17
2.5 การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน	23
2.6 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย	24
2.7 โคอะเลสเซอร์	27
2.8 การใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง	35
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	38
3.1 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง และสารเคมี	38
3.1.1 วัสดุที่ใช้การทดลอง	38
3.1.2 สารเคมี	38
3.1.3 อุปกรณ์การทดลอง	38
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง	41
3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง	42
3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกน้ำมัน	43
3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์	44
3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	46
4.1 คุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง	46
4.2 สมบัติของน้ำวัสดุตัวกลาง	47
4.3 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติ	49
4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์	51
4.5 สภาวะที่เหมาะสมของในการแยกน้ำมันของชุดทดลอง	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ	72
ภาคผนวก ข. วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย	73
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง	76
ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	109
ประวัติคณะผู้วิจัย	145

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศปี พ.ศ. 2536-2549	2
ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการแยกน้ำมันตามวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน โดยใช้เทคโนโลยีการแยกแบบ separator การใช้ decanter และการใช้ decanter ร่วมกับ separator	15
ตารางที่ 2-2 มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ	16
ตารางที่ 2-3 สารปนเปื้อนปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำมันปาล์ม	16
ตารางที่ 2-4 ขนาดหยดอนุภาคของวิกฤตภายในและลักษณะอิมัลชันที่มองเห็น	19
ตารางที่ 2-5 กลุ่มธาตุที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกโพลีเมอร์	30
ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติเฉพาะของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนเทอร์พทาเลท	34
ตารางที่ 3-1 วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	42
ตารางที่ 3-2 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	44
ตารางที่ 4-1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	46
ตารางที่ 4-2 สัดส่วนปริมาณน้ำมันในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	47
ตารางที่ 4-3 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวกลาง	48
ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองและผลการวิเคราะห์ ซีไอดี และ Oil&Grease	56
ตารางที่ 4-5 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับวัสดุ PP แบบ Fiber	57
ตารางที่ 4-6 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับวัสดุ PET แบบ Granular	58
ตารางที่ 4-7 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับวัสดุ PP แบบ Granular	59
ตารางที่ 4-8 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับวัสดุ PET แบบ Fiber	60
ตารางที่ 4-9 Model Summary	61

รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 2-1 น้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์	5
ภาพประกอบที่ 2-2 สัดส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มโลก	6
ภาพประกอบที่ 2-3 สัดส่วนโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลปาล์มสด	8
ภาพประกอบที่ 2-4 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน (แบบเปียก)	9
ภาพประกอบที่ 2-5 เส้นใยปาล์ม	13
ภาพประกอบที่ 2-6 ทะลายปาล์มเปล่า	13
ภาพประกอบที่ 2-7 บ่อคักน้ำมันของน้ำเสียจากหม้อนี้้ง	14
ภาพประกอบที่ 2-8 น้ำเสียจากเครื่องเหวี่ยงแยก	14
ภาพประกอบที่ 2-9 โครงสร้างทางเคมีของกรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดลิกโนเลอิก	17
ภาพประกอบที่ 2-10 แสดงการก่อตัวของไมเซลล์น้ำมัน	18
ภาพประกอบที่ 2-11 Micelle ชนิด O/W และ W/O	21
ภาพประกอบที่ 2-12 แสดงกลไกการเกิดอิมัลชัน	23
ภาพประกอบที่ 2-13 โคอะเลสเซอร์แบบแนวตั้ง	26
ภาพประกอบที่ 2-14 โคอะเลสเซอร์แบบแนวนอน	27
ภาพประกอบที่ 2-15 กลไกการทำงานของโคอะเลสเซอร์	28
ภาพประกอบที่ 2-16 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polypropylene	33
ภาพประกอบที่ 2-17 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polyethylene terephthalate	34
ภาพประกอบที่ 2-18 ข้อมูลจริงกับกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุด	36
ภาพประกอบที่ 3-1 น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	39
ภาพประกอบที่ 3-2 Polypropylene (PP) ชนิด granular	39
ภาพประกอบที่ 3-3 Polypropylene (PP) ชนิด เส้นใย	40
ภาพประกอบที่ 3-4 Polyethylene Terephthalate ชนิด granular	40
ภาพประกอบที่ 3-5 Polyethylene Terephthalate ชนิด เส้นใย	40
ภาพประกอบที่ 3-6 ชุดทดลองโคอะเลสเซอร์	41
ภาพประกอบที่ 3-7 แสดงการแยกชั้นไขมันในขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตั้งต้น	42
ภาพประกอบที่ 3-8 โมเดลการทดลอง	43

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่ 4-1 ลักษณะพื้นผิวของตัวกลาง PET ชนิด Granular และ Fiber	48
(a) ชนิด Granular กำลังขยาย 40 เท่า (b) Fiber กำลังขยาย 100 เท่า	
ภาพประกอบที่ 4-2 ลักษณะพื้นผิวของตัวกลาง PP ชนิด Granular และ Fiber	48
(a) ชนิด Granular กำลังขยาย 40 เท่า (b) Fiber กำลังขยาย 100 เท่า	
ภาพประกอบที่ 4-3 ประสิทธิภาพการลดลง ของซีโอดีและ น้ำมันและไขมัน ที่ระยะเวลา 30-180 นาที	49
ภาพประกอบที่ 4-4 ลักษณะของน้ำมันในน้ำเสียดัวอย่าง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า	50
ภาพประกอบที่ 4-5 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี เมื่อใช้โคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลางชนิด PP และ PET แบบ fiber และ แบบ granular เปรียบเทียบกับ การแยกชั้นตามธรรมชาติ ที่ระยะเวลากักเก็บ 180 นาที	52
ภาพประกอบที่ 4-6 ประสิทธิภาพการลด ซีโอดี (a) ตัวกลางชนิด PP แบบ fiber (b) ตัวกลางชนิด PET แบบ fiber (C) ตัวกลางชนิด PP แบบ granular (d) ตัวกลางชนิด PET แบบ granular	53
ภาพประกอบที่ 4-7 ประสิทธิภาพการลด น้ำมันและไขมัน (a) ตัวกลางชนิด PET แบบ fiber (b) ตัวกลางชนิด PET แบบ fiber (C) ตัวกลางชนิด PP แบบ granular (d) ตัวกลางชนิด PET แบบ granular	54
ภาพประกอบที่ 4-8 ประสิทธิภาพการลด น้ำมันและไขมัน เมื่อใช้โคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลาง ชนิด PP และ PET แบบ fiber และ แบบ granular เปรียบเทียบกับ การแยกชั้นตามธรรมชาติ ที่ระยะเวลากักเก็บ 180 นาที	55
ภาพประกอบที่ 5-1 แนวคิดการประยุกต์ใช้โคอะเลสเซอร์ร่วมกับถังตกจมเดิมของโรงงาน	65

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศเพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรมต่อเนื่องมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี (กรมการค้าภายใน, 2550) ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นพืชที่มีความได้เปรียบทางด้านราคาจำหน่ายเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันประเภทอื่น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว หรือน้ำมันทานตะวัน (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2553) แต่อย่างไรก็ตาม ตัวเลขความต้องการน้ำมันปาล์มในประเทศที่ก็ยังคงสูงเกินกว่ายอดการผลิตในแต่ละปีของไทย แม้ว่ารัฐบาลจะมียุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2547-2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์ม โดยตั้งเป้าหมายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศจาก 2.04 ล้านไร่ เป็น 3.67 ล้านไร่ (วารสาร Engineering Today, 2548) แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ เนื่องจากการปลูกปาล์มต้องอาศัยระยะเวลาประมาณ 5 ปี จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้และด้วยภาวะวิกฤตน้ำมันเชื้อเพลิงในปัจจุบัน พืชปาล์มน้ำมันจึงถูกมองเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งในการนำมาเป็นพลังงานทดแทน ทำให้ผลผลิตน้ำมันปาล์มที่เป็นแหล่งอาหารกลายมาเป็นแหล่งพลังงาน ส่งผลกระทบต่อปริมาณวัตถุดิบน้ำมันทางด้านอาหาร การศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันปาล์มหรือการนำกลับน้ำมันที่สูญเสียระหว่างกระบวนการและปนเปื้อนไปกับน้ำล้างจึงนับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อสถานการณ์ในปัจจุบัน

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยเฉพาะกระบวนการสกัดแบบเปียก น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะมีน้ำเจือปนอยู่ วิธีการในการกำจัดน้ำเหล่านั้นออกจากน้ำมันคือการนำไประเหยน้ำออกเพื่อให้น้ำมันดิบมีความบริสุทธิ์ และยังมีน้ำมันอีกส่วนหนึ่งเจือปนไปกับน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551) ซึ่งคิดเป็น 0.5-2.0% ของน้ำมันทั้งหมดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการแยกของแต่ละโรงงาน (อริญ หันพงศ์กิตติกุล และพูนสุข ประเสริฐสรทรัพย์, 2551) แม้ว่าทางออกหนึ่งในปัจจุบันคือการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการไปผลิตไบโอแก๊สเพื่อเป็นพลังงานทดแทนและช่วยลดต้นทุนในการผลิตทางหนึ่งแล้วก็ตามแต่ก็ยังเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายทาง ในประเทศไทยการศึกษาวิจัยเพื่อคืนกลับและเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากน้ำสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มยังมีอยู่น้อย และยังไม่มีการศึกษาการใช้กระบวนการ โคอะเลสเซอร์กับอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนน้ำมันในน้ำทิ้งจากกระบวนการอย่างจริงจัง ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอื่นๆแล้วว่าสามารถลดการสูญเสียของน้ำมันได้ อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งให้ดีขึ้น เนื่องจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งเป็น

สาเหตุหลักของค่า ซีไอดี บีไอดี ในปริมาณที่สูง รวมทั้ง สี และกลิ่น โดยเฉพาะน้ำเสียของอุตสาหกรรม สกัดน้ำมันปาล์มดิบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการ โคอะเลสเซอร์ในการแยกน้ำมัน จากน้ำสำหรับน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคืนกลับน้ำมันที่ปนเปื้อนออกมาจากกระบวนการสกัด โดยวัสดุที่สนใจศึกษาสำหรับนำมาใช้เป็นตัวกลางของโคอะเลสเซอร์ และศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการแยกน้ำมันจากน้ำ โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ โคอะเลสเซอร์สำหรับอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ด้วย

ตารางที่ 1-1 ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศ ปี พ.ศ. 2536 - 2549

ปี	ผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบ	การใช้ในประเทศ (ในรูปน้ำมันปาล์มดิบ)	การบริโภคในประเทศ (ในรูปน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์)
2536	339,959	272,693	181,795
2537	347,684	380,074	253,383
2538	402,652	415,428	276,952
2539	479,605	478,314	318,876
2540	449,796	436,362	290,908
2541	352,118	375,507	250,338
2542	707,951	523,929	349,286
2543	579,567	545,333	363,555
2544	780,389	633,406	422,271
2545	611,607	610,787	407,191
2546	863,836	647,933	431,955
2547	820,838	723,385	482,257
2548	783,963	744,672	496,448
2549	1,167,126	905,408	603,605

ที่มา : กรมการค้าภายใน, กรกฎาคม 2550

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาใช้เป็นตัวกลางสำหรับอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์ในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม
- 2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันออกจากของน้ำสำหรับอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์
- 2.3 ศึกษาสัดส่วนของวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์
- 2.4 ศึกษาและตรวจสอบประสิทธิภาพของโคอะเลสเซอร์ ในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 3.1 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่สนใจนำมาใช้สำหรับเป็นตัวกลางในอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์ โดยในการทดลองนี้ใช้วัสดุ Polypropylene (PP) และ Polyethylene terephthalate (PET) ในรูปแบบ granular และ fiber
- 3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันปาล์มออกจากน้ำด้วยอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์ตามทีเสนอ ได้แก่ รูปแบบของตัวกลางและอัตราการไหลผ่านของอิมัลชันที่จะนำมาทำการแยก
- 3.3 ศึกษาและตรวจสอบความสามารถในการแยกของอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์
- 3.4 เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และใช้ตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรม

4. ประโยชน์ที่ได้รับ

ความรู้เกี่ยวกับลักษณะของน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบรวมถึงกระบวนการแยกน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ โดยวัสดุตัวกลางสองชนิด เพื่อเป็นแนวทางการลดการสูญเสียน้ำมันจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และการจัดการปัญหาน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันในโรงงาน ซึ่งความรู้ที่จะได้จากการศึกษาวิจัยนี้ จะเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้ประกอบการ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยตรงในการ เพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ากลับคืนมา รวมทั้งสามารถเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 2

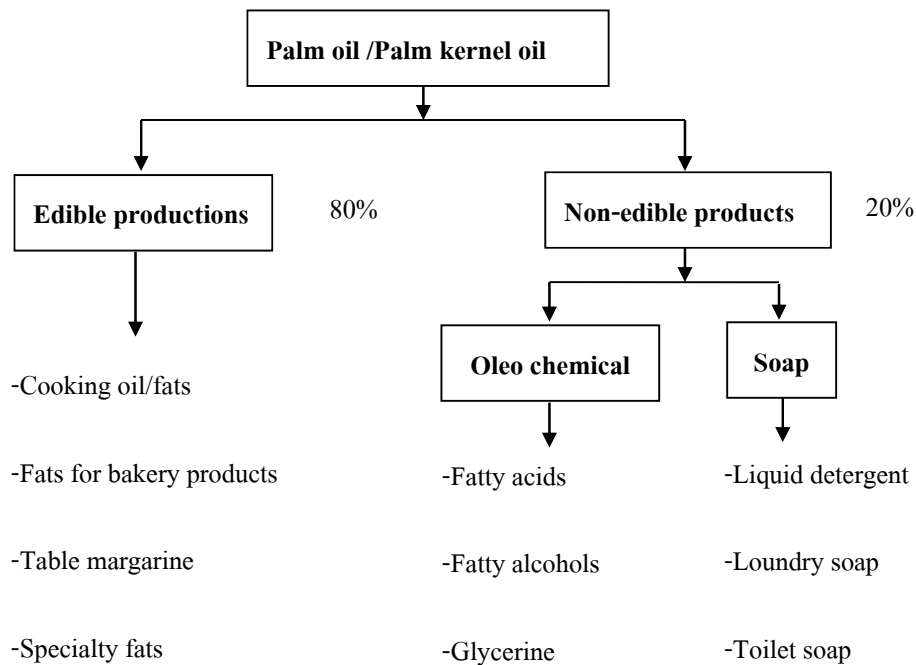
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันปาล์มดิบและกระบวนการผลิต

2.1.1 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นและมีส่วนแบ่งการของตลาดน้ำมันพืช เป็นสัดส่วนมากที่สุดคือ ร้อยละ 65 รองลงมาเป็นน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 25 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 6 ที่เหลือร้อยละ 4 เป็นน้ำมันพืช อื่นๆ อาทิ น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันมะกอก เป็นต้น (ศูนย์วิจัยธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, 2553) น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาหารและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อน ได้สูงและมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น สำหรับประเทศไทยน้ำมันปาล์มสามารถผลิตได้เองในประเทศ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากปาล์ม น้ำมันจึงก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศอีกด้วย (กรมการค้าภายใน, 2554)

น้ำมันปาล์ม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil, CPO) โดยสกัดได้จาก ส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel oil, PKO) ซึ่งสกัดได้จาก เมล็ดในของผลปาล์ม (Silertruksa *et al.*, 2012) โดยทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมด้านอาหารและอุตสาหกรรมโพลิโอเคมีคอล (Corley, 2009) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 โดยประมาณร้อยละ 80 นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน ไอศกรีม ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว เนยโกโก้ ขนมหั้ว ขนมหิงคุ้ ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ (Berger, 2010) และอีกประมาณร้อยละ 20 นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมโพลิโอเคมีคอล เพื่อการผลิตสินค้าอุปโภค เช่น การผลิตกรดไขมันประเภทต่างๆ ทั้งกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเมทิลเอสเทอร์ (Corley, 2009) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมี ระหว่างน้ำมันปาล์ม และเมทิลอัลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และมีผลพลอยได้ที่สำคัญและมีมูลค่าสูงคือ กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในด้านพลังงาน (ไบโอดีเซล) หรือใช้เป็น สารสำหรับผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันประเภทต่างๆ (Lam *et al.*, 2009)



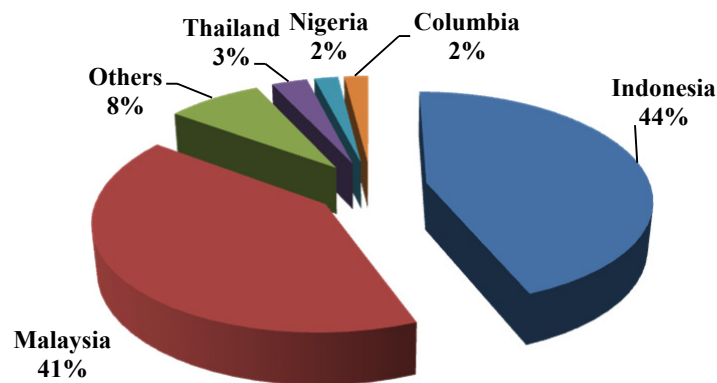
ภาพประกอบที่ 2-1 น้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์

ที่มา : คัดแปลงจาก Silalertruksa *et al.* (2012), Corley (2009), Berger (2010),

และ Lam *et al.* (2009)

2.1.2 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของโลก

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีการเพาะปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้นของโลก โดยพบว่า ปาล์มน้ำมันมีการขยายตัวของพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 40 ปีที่ผ่านมา แต่การขยายตัวของพื้นที่ปลูกดังกล่าวเกิดขึ้นในบางประเทศเท่านั้น (Singh *et al.*, 2010, Wu *et al.*, 2010) ซึ่งประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซียเป็นประเทศผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลก (Lam and Lee, 2011, Poh and Chong, 2009, Wu *et al.*, 2009, Mohammad *et al.*, 2012, Wu *et al.*, 2010) โดยทั้งสองประเทศมีส่วนการผลิตกว่า 85% ของการผลิตทั่วโลก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-2



ภาพประกอบที่ 2-2 สัดส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มโลก

ที่มา : คัดแปลงจาก Mohammad *et al.* (2012), Rupani *et al.* (2010) และ Singh *et al.* (2010)

อย่างไรก็ตาม ได้มีรายงานสถานการณ์ตลาดน้ำมันปาล์มทั่วโลกปี 2554 ซึ่งคาดการณ์ว่าในอนาคตการผลิตน้ำมันปาล์มในมาเลเซียจะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปัญหาการขาดแคลนที่ดินเพาะปลูก ประกอบกับต้นปาล์มน้ำมันมีอายุมาก ในทางตรงข้าม อนาคตการผลิตน้ำมันปาล์มของอินโดนีเซียกลับสดใสเนื่องจากต้นปาล์มน้ำมันยังมีอายุน้อยและยังสามารถขยายพื้นที่การเพาะปลูกออกไปได้อีก ดังนั้น คาดว่าผลผลิตน้ำมันปาล์มของอินโดนีเซียจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคต (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552) พื้นที่สำหรับการปลูกปาล์มเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทย มีจำกัดมาก เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ โดยเฉพาะคู่แข่งคือ ประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย

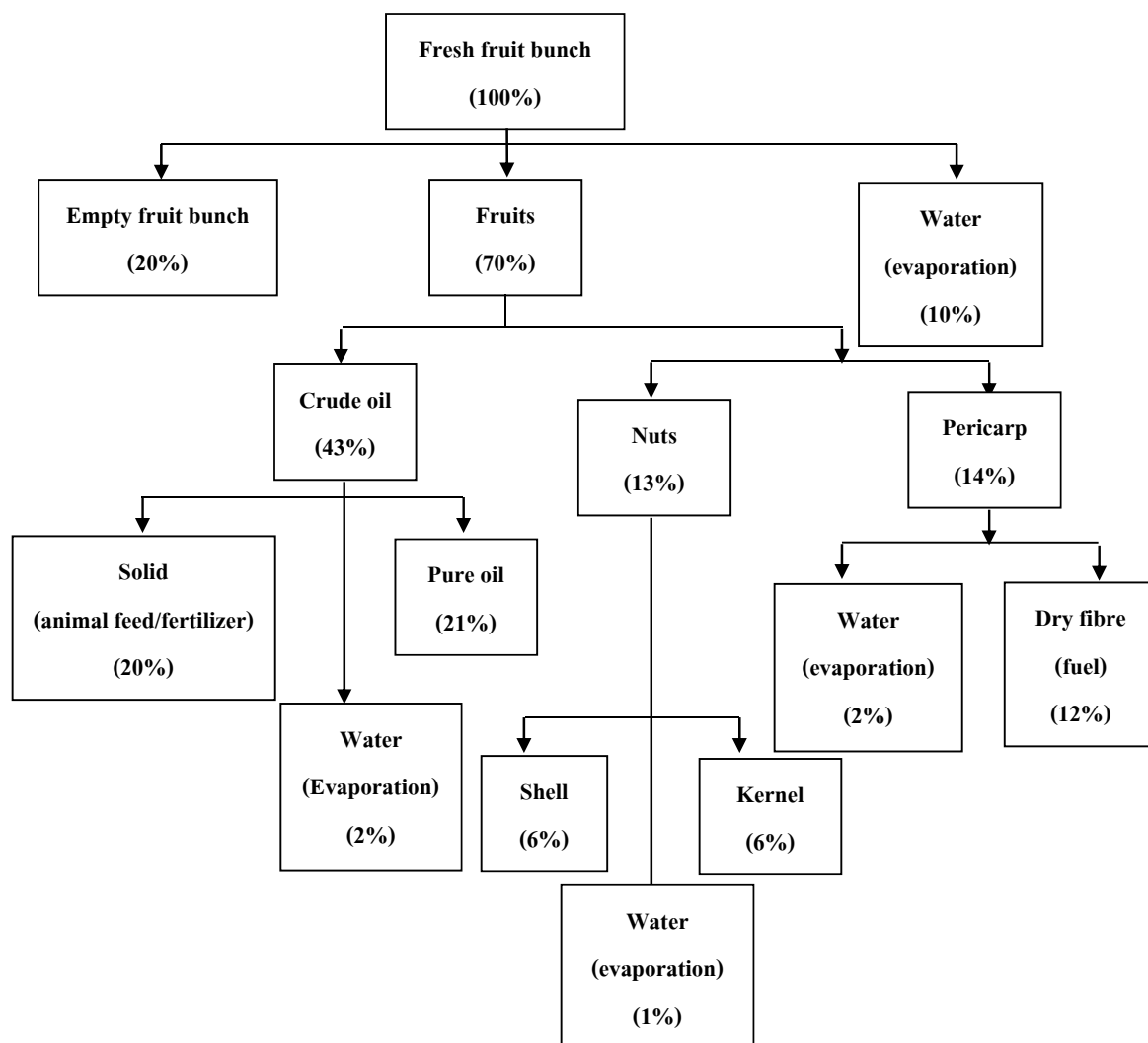
2.1.3 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศไทย

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศไทยเริ่มดำเนินการมากกว่า 30 ปี (GTZ, 2008) โดยในช่วง 20 ปีแรกธุรกิจการสกัดน้ำมันปาล์มดำเนินไปได้ด้วยดี เป็นผลให้มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น แต่ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การผลิตน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยกลับมีเจริญเติบโตลดลงอย่างมาก เนื่องจากพื้นที่ปลูกปาล์มไม่ได้มีการขยายตัวตามและมีจำนวนจำกัด (กรมการค้าภายใน, 2554) ทำให้ผลปาล์มสดมีปริมาณไม่เพียงพอ ดังนั้นผลตอบแทนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงลดลง จึงจำเป็นต้องพิจารณาหาช่องทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มรายได้ อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันก็ยังเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่มีการพึ่งพาตนเองเกือบทั้งหมดในด้านพลังงาน เนื่องจากปริมาณชีวมวลทั้งหมดที่มีอยู่ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่สามารถนำมาผลิตพลังงานได้นั้น โดยทั่วไปจะมีปริมาณมากกว่าความต้องการใช้พลังงานของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (อรัญญา ศรีวิโรจน์, 2554)

การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย นับได้ว่ามีความสำคัญอย่างมาก โดยพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่าร้อยละ 98 อยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย จึงมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของภาคใต้ (Chavalparit *et al.*, 2006) จังหวัดที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมาก คือ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ นครศรีธรรมราช ตรัง สตูล และสงขลา (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553) ทำให้เกิดอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ในภาคใต้เป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานทั้งสิ้นประมาณ 77 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) การสกัดน้ำมันปาล์มนอกจากจะได้น้ำมันปาล์มดิบแล้ว ยังมีวัสดุเศษเหลือและของเสียจำนวนมาก โดยกรมการค้าภายใน (2553) ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณมลสารของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมดกับปริมาณมลสารที่เป็นของเหลวจากบ้านเรือน (60 กรัมบีโอดีต่อคนต่อวัน) จะมีค่าเท่ากับการปล่อยของเสียโดยประชากรประมาณ 3 ล้านต่อคนต่อวัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

2.1.4 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในปัจจุบัน

เนื่องจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีรายละเอียดที่สำคัญ ซึ่งรายละเอียดของหน่วยการผลิตบางอย่างจัดเป็นความลับทางการค้าที่สำคัญของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานจึงอาจแสดงรายละเอียดได้ไม่หมดเนื่องจากเกรงว่าจะเกิดการสูญเสียความได้เปรียบเชิงธุรกิจ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสามารถสรุปกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้เป็น 2 ประเภทคือ กระบวนการสกัดแบบใช้ไอน้ำหรือที่เรียกว่าแบบมาตรฐาน (แบบเปียก) และกระบวนการแบบไม่ใช้ไอน้ำ (กระบวนการสกัดแบบอย่างผลปาล์ม และกระบวนการสกัดแบบทอดผลปาล์ม) (Mohammad *et al.*, 2012) ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อนำผลปาล์มผ่านเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สัดส่วนโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลปาล์มสด จะเป็นดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 สักส่วน โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลปาล์มสด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mohammad *et al.* (2012), Lam and Lee (2011),

และ Poh and Chong (2009)

โดยทั่วไปวิธีการสกัดแบบไม่ใช้น้ำจะไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย แต่กระบวนการสกัดที่สามารถรองรับวัตถุดิบได้ในปริมาณมาก สามารถให้ผลผลิตในรูปแบบน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพ คือ กระบวนการสกัดแบบใช้น้ำ (Rupani *et al.*, 2010) แต่จะเกิดน้ำเสียจากการผลิต ซึ่งเป็นกระบวนการที่สนใจนำมาศึกษา กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบเบบมาตรฐาน (แบบเปียก) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-4

จากภาพประกอบที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้ไอน้ำ เริ่มต้นหลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มจากสวนและขนส่งมายังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยทะลายปาล์มสดจะถูกขนถ่ายลงบนพื้นที่รองรับ (Ramp) และใส่ในตู้ขนาด 2.5 – 3.0 ตัน ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงการนึ่งทะลายปาล์มควรสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และไม่ควรเกิน 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในส่วนเปลือก น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Mohammad *et al.*, 2012) ทำให้น้ำมันมีปริมาณและคุณภาพลดลง จากนั้นจะนำเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีกระบวนการหลักอยู่ 4 ขั้นตอน (Rupani *et al.*, 2010) คือ การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) การแยกผลปาล์ม (Bunch stripping) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) และการทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification)

2.1.4.1 การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization)

การอบนึ่งทะลายปาล์มในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มในห้องฆ่าเชื้อ และทำการนึ่งทะลายปาล์มสดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส (Wu *et al.*, 2010) ที่ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลาประมาณ 40-60 นาที การนึ่งทะลายปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระอันจะเป็นผลให้เกิดการสูญเสีย น้ำมัน และส่งผลให้เกิดกลิ่นหืน การนึ่งปาล์มยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มหลุดร่วงจากทะลายปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ย ง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน (Singh *et al.*, 2010)

2.1.4.2 การแยกผลปาล์ม (Bunch stripping)

ทะลายปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะลายปาล์มออกจากกัน โดยใช้เครื่อง Rotary drum thresher ซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ในส่วนของทะลายปาล์มจะถูกแยกเก็บแล้วนำไปเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ลดปริมาณวัสดุเหลือและเพื่อผลิตเถาสำหรับใช้เป็นปุ๋ยต่อไป ในปัจจุบันอาจนำไปเผาเห็ดและทำปุ๋ยหมัก (Chavalparit *et al.*, 2006) ส่วนผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำส่งไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม (Vertical steam-jacketed drum digesters) โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปถังทรงกระบอกซึ่งภายในมีใบพัด มีลักษณะเป็นแผ่นเพื่อตีผลปาล์มให้แตกและจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อยเพื่อตีผลปาล์มให้ยุ่ย กวนผลปาล์มให้ fiber ฉีกแยกจากเมล็ดและให้เซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว การกวนจะเกิดขึ้นประมาณ 15-20 นาที จากนั้นจึงป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียว (Screw press) ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป (Rupani *et al.*, 2010; Mohammad *et al.*, 2012)

2.1.4.3 การสกัดน้ำมัน (Oil extraction)

น้ำมันที่เกิดขึ้นจากส่วนของเปลือกของผลปาล์มถูกสกัดด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด ได้ของผสมที่มีน้ำมันอยู่ (Oil phase) (Rupani *et al.*, 2010) ซึ่งจะมีปริมาณสารแขวนลอยทำให้แยกน้ำมันได้ยาก มีผลทำให้น้ำเสียของโรงงานมีภาระบรรทุกอินทรีย์ (organic loading) สูง น้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำ เศษfiber รวมทั้งสิ่งสกปรกอื่นๆ โดยการใช้เครื่อง decanter หรือ เครื่อง separator (Wu *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบที่ผ่านเครื่อง separator โดยส่วนใหญ่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่อีกมาก โดยเฉพาะอนุภาคของแข็ง จึงต้องมีการนำมาผ่านเข้าเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อบำบัดอนุภาคของแข็ง หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าสู่เครื่องคูดสุญญากาศเพื่อไล่ความชื้น แล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ รอเข้าสู่ขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์หรือเตรียมจำหน่ายโรงงานผลิตน้ำมันบริสุทธิ์ (Lam and Lee, 2011)

ในส่วนที่เป็นของแข็ง (Press cake) ประกอบด้วยเมล็ดและใย ซึ่งถูกทำให้ร้อนด้วยลมร้อน (135 องศาเซลเซียส) จนแห้งแล้วแยกออกจากกันโดยใช้ไซโคลน เมล็ดปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปเข้าเครื่องกะเทาะ (Centrifuge crackers) เพื่อแยกเมล็ดในและกะลา โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะขายเมล็ดในปาล์มให้โรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดใน แล้วนำfiberและกะลาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำ (Mohammad *et al.*, 2012)

2.1.4.4 การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification)

ขั้นตอนต่างๆ นับจากนี้เป็นต้นไป จะอยู่ในส่วนที่เรียกว่าห้องน้ำมัน (Oil room) ซึ่งจะต้องผ่านการกรองเพื่อแยกอนุภาคขนาดใหญ่จากนั้นจะเข้าสู่ถังตกจมเพื่อแยกส่วนน้ำมันออกจากน้ำสลัดจ์ น้ำมันที่แยกได้จากถังตกจมจะผสมรวมกับน้ำมันที่แยกได้จากน้ำสลัดจ์ และจะเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบที่บริสุทธิ์และจะเก็บไว้ในถังเก็บจนกว่าจะส่งไปขายยังโรงกลั่นบริสุทธิ์ (Rupani *et al.*, 2010)

การกรองน้ำมันดิบ

การแยกน้ำมันจากของผสมที่มีน้ำมันอยู่ จำเป็นต้องเติมน้ำร้อนลงไปให้น้ำมันดิบ แล้วผ่านตะแกรงสั่น (vibrating screen) เป็นตะแกรงกรองfiberและชิ้นส่วนเล็กๆ ของส่วนเปลือกออกจากส่วนที่เป็นของเหลว (Rupani *et al.*, 2010; Lam and Lee, 2011) น้ำมันดิบที่ได้หลังการกรองยังมีอนุภาคขนาดเล็กและน้ำปนกันอยู่ ตะแกรงชนิดนี้มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีการสัมผัสของน้ำมันและออกซิเจนเป็นผลให้คุณภาพน้ำมันลดลง (Wu *et al.*, 2010)

การแยกน้ำมันในถังตกจม

วิธีการแยกน้ำมันและส่วนปนเปื้อน (น้ำและอนุภาคต่างๆ) เกิดขึ้นในถังตกจมโดยมีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรง หรือให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อยู่ในท่อปิดและอาศัยแรงโน้มถ่วง ตลอดจนการเติมน้ำร้อนเพื่อปรับปรุงการแยกน้ำมัน เครื่องมือและวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพการแยกอย่างจำกัด โดยเฉลี่ยสามารถแยกน้ำมันได้เพียงร้อยละ 30 ขึ้นกับอัตราการระบรทุกพื้นผิว (Surface loading rate) (Lam and Lee, 2011) และระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ น้ำมันที่แยกได้ยังคงมีอนุภาคต่างๆปนเปื้อน และส่วนผสมที่ปล่อยออกจากถังตกจมยังคงมีน้ำมันปะปนอยู่มาก การเพิ่มระยะเวลาที่อยู่ในถังตกจมและการใช้อุณหภูมิมีผลให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพลดลง น้ำมันที่อยู่ส่วนบนของถังตกจมจะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ ส่วนของผสมส่วนล่าง (น้ำสลัดจ์) จะถูกรวบรวมไว้ในถังน้ำสลัดจ์ (Sludge tank) และจะถูกส่งไปแยกน้ำมันโดยเครื่องแยกเหวียงต่อไป (Rupani *et al.*, 2010)

การแยกและการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กในน้ำมัน

การให้น้ำมันบริสุทธิ์ในขั้นตอนสุดท้ายโดยใช้วิธีเหวียงแยก เพื่อแยกวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งออก โดยในกระบวนการสกัดแบบใช้ไอน้ำจะมีเทคโนโลยีการแยกอยู่สองแบบคือ เครื่องเหวียงแยกแบบแบบ separator (เครื่องเหวียงแยก 2 ภูมิภาค ของเหลว/ของแข็ง) และแบบ decanter (เครื่องเหวียงแยก 3 ภูมิภาค ของเหลวน้ำ/ของเหลวเบา/ของแข็ง) ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีโดยใช้ decanter มีประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานที่ใช้การแยกโดย separator (Lam and Lee, 2011) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยจะเห็นว่าการใช้ decanter นอกจากจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแล้วยังมีน้ำเสียออกมาน้อยกว่าด้วย (ภาพประกอบที่ 2.5 และ 2.6) และวิธีการสกัดน้ำมันแบบมาตรฐานที่ใช้ decanter ในการแยกโดยตรงยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยการเพิ่ม separator ที่มีประสิทธิภาพเข้าไปเพื่อแยกน้ำมันในน้ำเสียที่ออกจาก decanter ซึ่งสามารถแยกน้ำมันได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด (PORIM-Standard sheet, 1998; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.7 โดยน้ำมันดิบจากถังตกจม (น้ำมันส่วนบน) จะผสมรวมกับน้ำมันที่แยกได้จากน้ำสลัดจ์ และจะเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน (Lam and Lee, 2011)

การกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน

แม้ว่าขั้นตอนการแยกหลายขั้นตอนจะลดปริมาณน้ำของน้ำมันปาล์มดิบบ้างแล้ว แต่ น้ำมันที่ได้ยังคงมีน้ำอยู่ ซึ่งจะถูกรวบรวมออกด้วยการระเหยภายใต้สุญญากาศ น้ำมันปาล์มดิบที่บริสุทธิ์จะเก็บไว้ในถังเก็บจนกว่าจะส่งไปขายยังโรงกลั่นบริสุทธิ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

2.2 รูปแบบการสูญเสียน้ำมันของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

2.2.1 ลักษณะที่ปนเป็นไปกับของแข็ง เช่นการสูญเสียน้ำมันในfiberปาล์มและทะลายปาล์ม เปล่าดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-5 และ 2-6 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 2-5 fiberปาล์ม

ที่มา : ศูนย์ทางด่วนข้อมูลการเกษตร จ.สระบุรี, 2554



ภาพประกอบที่ 2-6 ทะลายปาล์มเปล่า

ที่มา : ศูนย์ทางด่วนข้อมูลการเกษตร จ.สระบุรี, 2554

2.2.2 ลักษณะที่ปนเปื้อนไปกับของเหลว คือ น้ำมันปาล์มดิบปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งในกระบวนการผลิต เช่น ส่วนของหม้อนึ่ง ดังภาพประกอบที่ 2-7 และน้ำเสียจากเครื่องเหวี่ยงแยก ดังภาพประกอบที่ 2-8



ภาพประกอบที่ 2-7 บ่อดักน้ำมันของน้ำเสียจากหม้อนึ่ง
ที่มา: บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด



ภาพประกอบที่ 2-8 น้ำเสียจากเครื่องเหวี่ยงแยก
ที่มา: บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด

สำหรับประเทศไทย ปัจจุบันยังมีการใช้เครื่องแยกเหวี่ยงอยู่ทั้งแบบ separator และแบบ decanter ซึ่งการเลือกใช้เทคโนโลยีการแยกที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่างกันด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-1 โดยเครื่อง decanter จะสามารถผลิตเค้กที่ค่อนข้างจะแห้งกว่า และยังสามารถแยกของแข็งที่มีแรงเกาะระหว่างกันสูง วัสดุที่มีลักษณะเป็นเยื่อเมือก และวัสดุที่มีลักษณะเป็นปุ๋ยอ่อนนุ่มได้ ซึ่งกล่าวได้ว่าการสูญเสียน้ำมันในน้ำเสียและในกากตะกอนดีแคนเตอร์สัมพันธ์กับประสิทธิภาพและการควบคุมระบบของเครื่องเหวี่ยงแยก (อรัญ หันพงษ์กิตติกุล และคณะ, 2549)

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการแยกน้ำมันตามวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน โดยใช้เทคโนโลยีการแยกแบบ Separator การใช้ Decanter และการใช้ Decanter ร่วมกับ Separator

ปัจจัย	หน่วย	วิธีการสกัด		
		separator	decanter	decanter และ separator
ประสิทธิภาพการแยก	ร้อยละ	95.3	95.9	97
การสูญเสียน้ำมันระหว่างการแยก	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	7	7	5
การลดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียน้ำ	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	0	10-20	>20-30
ภาระบรรทุกถังตักจม	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	720	-	-
ภาระบรรทุกเครื่องเหวี่ยงแยกตัวที่ 1	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	820	395	395
ภาระบรรทุกเครื่องเหวี่ยงแยกตัวที่ 2	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	-	-	165
ปริมาณน้ำเสียน้ำ	กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด	892	315	315

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2554)

2.3 วิธีการแยกน้ำมันปาล์มดิบที่สูญเสียกลับมาของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

- นำทะลายปาล์มจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาเข้าเครื่องหีบเพื่อหีบน้ำแต่น้ำมันปาล์มดิบที่เหลือออกอีกครั้งจนทะลายปาล์มฉีกขาดหมด
- ใช้วิธีถังตักจมเพื่อทำให้เกิดการแยกชั้นจากนั้นก็ส่งน้ำมันที่ยังเหลืออยู่ในน้ำสลัดจ์ถูกส่งไปยังเครื่องแยกน้ำสลัดจ์ต่อไป

2.3.1 มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะต้องมีคุณภาพได้มาตรฐานจึงจะจำหน่ายได้ในราคาดี ในทางปฏิบัติทั่วไปนั้น คุณภาพของน้ำมันปาล์มจะวัดด้วย 3 ตัวแปร คือ กรดไขมันอิสระ (VFA) ความชื้น และสิ่งสกปรก (อริฐู หันพงษ์กิตติกุล และคณะ, 2536) ส่วนมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบและสารปนเปื้อนปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำมันปาล์มดังแสดงในตารางที่ 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-2 มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

ตัวแปร	ระดับคุณภาพ				
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	พอใช้	เลว
กรดไขมันอิสระ (%)	น้อยกว่า 2	2.0 – 2.7	2.8 – 3.7	3.8 – 5.0	เกิน 5.0
ความชื้น (%)	น้อยกว่า 0.1	0.1 – 0.19	0.2 – 0.39	0.4 – 0.6	เกิน 0.6
สิ่งสกปรก (%)	น้อยกว่า 0.005	0.005-0.001	0.001-0.025	0.026-0.05	เกิน 0.05

ที่มา : อร์ญ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ, 2536

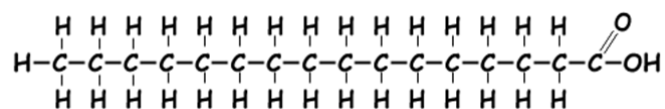
ตารางที่ 2-3 สารปนเปื้อนปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำมันปาล์ม

สารปนเปื้อน	หน่วย	น้ำมันปาล์มธรรมชาติ	น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการสกัด
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	5.0	2.5
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.4	0.1
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.1	0.1
สารหนู	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.1	0.1

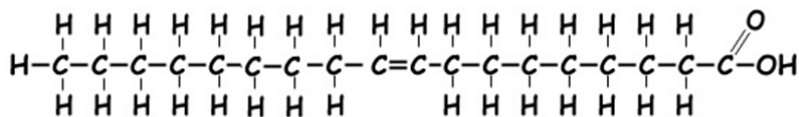
ที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ.2524)

2.4 ลักษณะการรวมตัวของน้ำและน้ำมัน

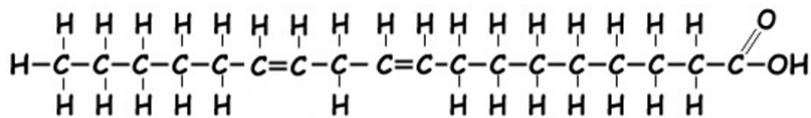
น้ำมันปาล์มเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการรวมตัวของกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) หรือกรดไขมันหลายโมเลกุล ซึ่งตามธรรมชาติที่น้ำมันปาล์มจะประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระชนิด palmitic acid (C16) 42-44% oleic acid (C18) 39-40% และ linoleic acid (C18) 10% (ภาพประกอบที่ 2-9) โดยจะมีกลีเซอรอลหรือกลีเซอริน (Glycerol or Glycerine) เป็นตัวเชื่อม ซึ่งกรดไขมันแต่ละชนิดจะมีสูตรโครงสร้างของตัวเองโดยเฉพาะ การก่อตัวของโมเลกุลน้ำมันดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-10



กรดปาล์มิติก



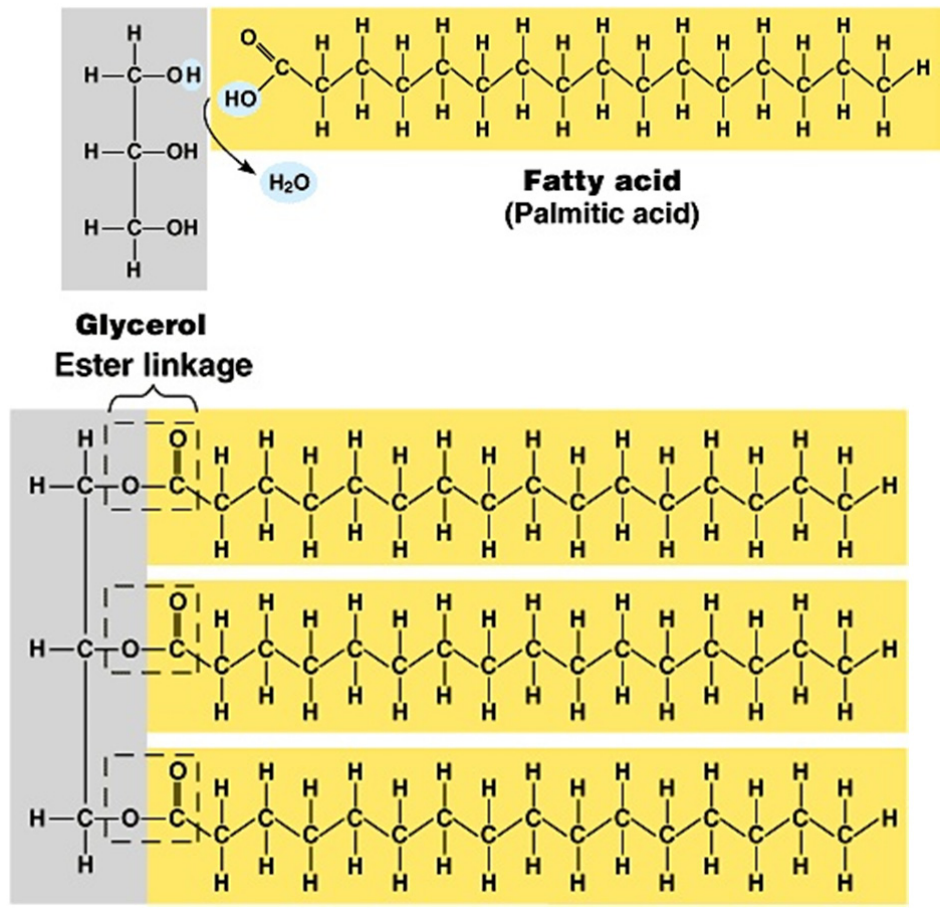
กรดโอเลอิก



กรดลิโนเลอิก

ภาพประกอบที่ 2-9 โครงสร้างทางเคมีของกรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก

น้ำมันเป็นของเหลวที่ผสมเข้ากันไม่ได้ (Immiscible) กับน้ำ เนื่องจากน้ำมันเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว น้ำมันและไขมันเป็นสารประกอบชนิดเดียวกันแต่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน กล่าวคือ ในอุณหภูมิห้อง (25-27 องศาเซลเซียส) ถ้าอยู่ในสภาพของเหลว เรียกว่า น้ำมัน ถ้าอยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่า ไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดก็มีจุดหลอมเหลวคงที่ จึงได้นำมาใช้เป็นประโยชน์ในการจำแนกน้ำมันออกจากกัน



ภาพประกอบที่ 2-10 แสดงการก่อตัวของโมเลกุลน้ำมัน

น้ำสามารถอยู่ในน้ำมันได้ 3 สถานะ คือ

- 1) Dissolved water คือน้ำส่วนที่ละลายเข้าไปปนกับน้ำมัน โมเลกุลของน้ำแตกตัวกระจายอยู่ในน้ำมัน เปรียบเสมือนความชื้นในอากาศ แต่เนื่องจากโมเลกุลได้แตกตัวออกไปทำให้เรามองไม่เห็น น้ำที่ละลายในน้ำมันก็มองไม่เห็นเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่นน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ เช่น น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเทอร์ไบน์ มักจะมีน้ำละลายอยู่ได้ 200-600 ส่วนในล้านส่วน (0.02-0.06%) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของน้ำมัน น้ำมันเก่าจะสามารถรับน้ำในสภาพสารละลายได้มากกว่าน้ำมันใหม่ 3-4 เท่า (บริษัท ออยเชิร์ฟ จำกัด, 2553)
- 2) Emulsified เมื่อมีน้ำปนในน้ำมันจนเกินจุดอิ่มตัวที่น้ำจะละลายเข้าไปในน้ำมันได้น้ำจะกลายเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กปนในน้ำมัน เรียกว่า emulsion คล้ายๆ กับการเกิดหมอกในอากาศ เนื่องจากความชื้นในอากาศมากกว่าจุดอิ่มตัวแล้ว ทำให้เกิดละอองน้ำขนาดเล็กหรือหมอก เช่น ในน้ำมันหล่อลื่น น้ำส่วนนี้จะทำให้น้ำมันเป็นฝ้ามัว ไม่ใสเหมือนน้ำมันใหม่

3) Free water หากมีน้ำมากกว่าน้ำมันอีก น้ำจะแยกตัวออกจากน้ำมันเป็นชั้นของน้ำ และชั้นของ ส่วนที่เป็น Emulsion ยกตัวอย่างเช่นฝนที่ตกลงมาเมื่อมีความชื้นในอากาศมากเกินไป เป็นต้น

2.4.1 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชันหมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่ง ที่ประกอบด้วย ของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากัน หรือไม่ละลายในกันและกัน (เช่น น้ำและน้ำมัน) ซึ่งนำมารวมกัน ในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวผสมผสานของเหลวทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือเห็นเป็นหยดเล็กๆของของเหลวชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายใน (Internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายนอก (External or continuous phase) โดยทั่วไปหยดของวัฏภาคภายในอาจมีขนาดต่างๆกันตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอนจนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของวัฏภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์อิมัลชัน ที่พบโดยทั่วไป มักมีลักษณะขาวขุ่นคล้าย นม แต่ความจริงแล้วอิมัลชันอาจมีลักษณะโปร่งใสก็ได้ โดยข้อมูลขนาดหยดอนุภาคของวัฏภาคภายในและลักษณะอิมัลชันที่มองเห็นดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ขนาดหยดอนุภาคของวัฏภาคภายในและลักษณะอิมัลชันที่มองเห็น

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

ที่มา : คัดแปลงจาก <http://nates.skrc.rmuti.ac.th/webWBT/videoWBT/shampo/course-08.pdf>

2.4.2 ชนิดของอิมัลชัน

การแบ่งชนิดของอิมัลชันอาจมีได้หลายลักษณะ ดังนี้

2.4.2.1 แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) แมโครอิมัลชัน (Macroemulsion) คืออิมัลชันลักษณะขุ่นขาวที่พบโดยทั่วไปนั่นเอง อนุภาคของวัฏภาคภายในของอิมัลชันชนิดนี้ มักมีขนาดตั้งแต่ 0.25-10 ไมครอน (โดยทั่วไปจะใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหของแสงของวัฏภาคทั้งสองและเกิดการกระจายแสง ทำให้คูลมอขุ่นขาว อิมัลชันนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันเนื้อหยาบ (Coarse emulsion) ซึ่งมีอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (Fine emulsion) ซึ่งมีอนุภาคค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป แมโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันชนิดที่พบมากที่สุดทั้งใน อาหาร ยา และเครื่องสำอาง (เช่น ไอศกรีม สลัดครีม ครีมรักษาโรคผิวหนัง ครีมกันแดด โลชันทาผิว ฯลฯ)

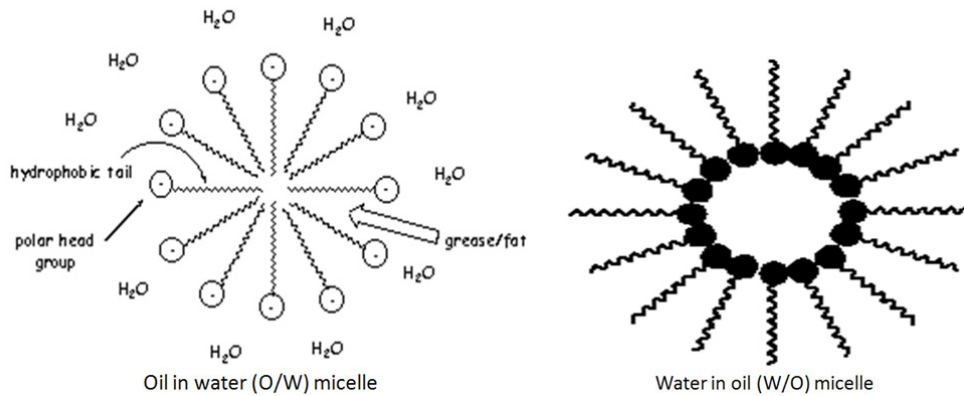
2) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายใน เล็กมาก ประมาณ 10-75 นาโนเมตร (0.01-0.75 ไมครอน) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น แสงที่มองเห็นได้ (Visible light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ดู โปร่งใส หยดของวัฏภาคภายใน มีลักษณะกลม ถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชัน มีทั้ง ชนิด O/W และ W/O

2.4.2.2 แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ จึงมีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจายดี ล้างน้ำออกง่าย เป็นที่นิยมมากใน ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น ครีมและ โลชันทาผิว (Body cream and lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing cream) ครีมกันแดด (Sun screen cream) ครีมรองพื้น (Foundation cream) เป็นต้น

2) อิมัลชัน ชนิด น้ำในน้ำมัน (W/O emulsion) อิมัลชันชนิดนี้กลับกันกลับชนิดแรกคือ มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมัน พบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า (Cleansing cream) ครีมทากลางคืน (Night cream) ครีมนวดหน้า (Massage cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone cream) เป็นต้น เนื่องจากอิมัลชันชนิดนี้ค่อนข้างเหนอะหนะและล้างน้ำ ออกยาก จึงเป็นที่นิยมใช้น้อย

3) อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็น ของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้ สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชัน ชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็ก ๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบ อิมัลชัน ชนิดนี้ บ้าง ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น cold cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 2-11 micelle ชนิด O/W และ W/O

2.4.2.3 แบ่งตามความหนืดของอิมัลชันได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) โลชัน (Lotion) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดต่ำ (เหลว) เพราะมีปริมาณของสารออกฤทธิ์ในปริมาณที่สูง สารออกฤทธิ์ในมักมีไม่เกิน 35% โลชันอาจเป็นทั้งชนิด O/W และ W/O หรือมีชื่อเรียกต่างออกไปว่า นม (Milk or milky lotion) เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดในการผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทาผิว โดยเฉพาะผิวหนังที่มีบริเวณกว้าง เพราะทาแล้วชุ่มชื้น ไม่เหนอะหนะ ouch ซึมดี ให้ความรู้สึกสบาย และล้างออกได้ง่ายเช่น โลชันทาผิว โลชันป้องกันแสงแดด เป็นต้น โลชันชนิด W/O มีการใช้บ้างแต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะเมื่อทาแล้วจะรู้สึกเหนอะหนะผิว เช่น โลชันป้องกันแดดชนิดที่มีคุณสมบัติกันน้ำที่ใช้ทา ก่อนลงเล่นน้ำเป็นต้น คุณสมบัติเช่นนี้อิมัลชันชนิด O/W ไม่สามารถทำได้เพราะ จะถูกน้ำชะล้างออกหมด เป็นต้น โลชันนี้อาจใช้สารเพิ่มความหนืด (Thickener agent) ในปริมาณน้ำเพื่อให้หนืดขึ้นได้ แต่ยังคงเป็นของเหลวที่ไหลได้

2) ครีม (Cream) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดสูง (ลักษณะกึ่งแข็ง) เพราะมีส่วนประกอบของสารพวกไขแข็ง (Waxes) และไขมัน (Fatty acid or fatty alcohol) ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดและเนื้อครีมที่ผสมอยู่กับน้ำมัน (Oils) ในปริมาณน้ำมัน ครีมมีทั้งชนิด O/W และ W/O ครีมมีความหนืดกว่าโลชัน เพราะมีปริมาณสารออกฤทธิ์ในสูงกว่า คือประมาณ 35 – 75 % แล้วแต่ความหนืดที่ต้องการโดยมีการใช้สารเพิ่มเนื้อครีม (Bodying or stiffening agent) เช่น ไขมันและไขแข็งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ ฤทธิ์ของครีมชนิด O/W อาจมีการใส่สารเพิ่มความหนืด (Thickener agent) ร่วมด้วยในตำรับเช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose เป็นต้น ซึ่งช่วยความหนืดให้แก่ปริมาณน้ำ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่เป็นครีมชนิด O/W ได้แก่ ครีมทาผิว ครีมบำรุงขนอมผิว ครีมแต่งผม ครีมโกนหนวด ครีมทากัน

แควด ครีมระงับเหงื่อและกลิ่นตัว ครีมทาแก้ผิว ครีมทาแก้ฝ้า เป็นต้น ครีมชนิด W/O ได้แก่ ครีมฮอร์โมน ครีมล้างหน้า ครีมนวดหน้า ครีมแต่งผม เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีอิมัลชันชนิดพิเศษ คือ Anhydrous emulsion ซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ประกอบด้วยน้ำมันและสาร Polyols เช่น Glycerin, Propylene glycol, PEG 400 เป็นต้น อิมัลชันที่ได้อาจมีลักษณะใสหรือขุ่นขาว

2.4.3 ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์รูปแบบอิมัลชันมีส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วนคือ

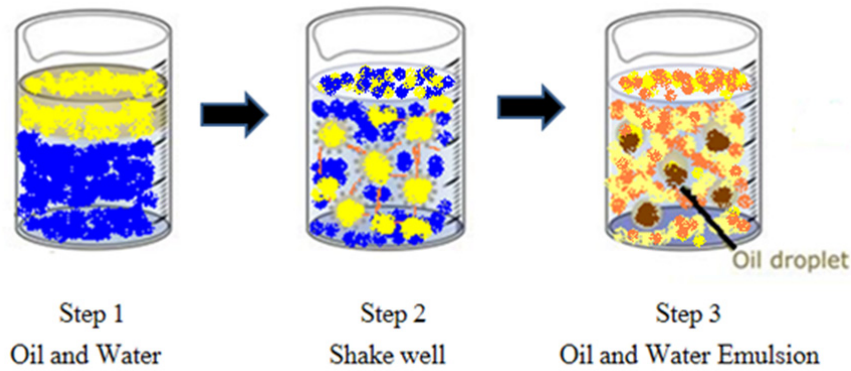
2.4.3.1 วัฏภาคน้ำ (Water phase) ได้แก่ น้ำและสารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose, Carbopol สารอิมัลซิไฟเออร์ เช่น Glycerin, propylene glycol หรือ glycol ทั้งหลาย สารกันเสีย เช่น Methylparaben, Sodium benzoate สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Sodium lauryl sulfate ที่ละลายน้ำ สารต้านออกซิเดชัน เช่น Sodium metabisulfite นอกจากนี้ยังเป็นสารออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น Cetyl pyridinium chloride, Benzalkonium chloride เป็นต้น สารต่างๆ เหล่านี้อาจเติมลงในวัฏภาคน้ำได้ทั้งสิ้นแล้วแต่ส่วนประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

2.4.3.2 วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase) ได้แก่ น้ำมันต่างๆ เช่น Olive oil, Mineral oil, Castor oil ไขมัน เช่น Stearyl alcohol, Stearic acid, Cetyl alcohol, Lanolin ไขแข็ง เช่น Bee wax, Paraffin wax, Carnauba wax ที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่างๆ สารกันหืน เช่น BHT, BHA สารลดแรงตึงผิว เช่น Span, Emulgin C 1000 หรือสารออกฤทธิ์ต่างๆ เช่น ฮอร์โมน วิตามิน เป็นต้น แล้วแต่ส่วนประกอบในสูตรของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทเช่นกัน

2.4.3.3 ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Span, Sodium lauryl sulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็งอนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal magnesium aluminium silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

2.4.4 กลไกการเกิดอิมัลชัน

ปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงผิวระหว่างผิวชั้น แต่เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานแลเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-12



ภาพประกอบที่ 2-12 แสดงกลไกการเกิดอิมัลชัน

อิมัลชันที่มีขนาดของอนุภาคน้ำมันเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร ไม่สามารถแยกออกได้โดยง่าย ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือการปล่อยให้ลอยตัว จำเป็นต้องมีกระบวนการเพื่อแยกหยดน้ำมันออกจากน้ำ กระบวนการ โคเอสเซอร์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแยก (Bansal *et al.*, 2011)

2.5 การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน

การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน เป็นการวัดปริมาณรวมของกลุ่มน้ำมันและไขมันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถละลายรวมกันได้ในตัวทำละลาย ทำให้สามารถสกัดออกจากตัวอย่างน้ำได้เช่น เฮกเซน เป็นต้น วิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน ในน้ำมี 3 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีล้วนใช้ตัวทำละลายในการสกัดหาปริมาณน้ำมันและไขมันทั้งสิ้น ได้แก่

- 1) วิธีพาร์ทิชัน-ชั่งน้ำหนัก (Partition-gravimetric method) เป็นการหาปริมาณโดยใช้ตัวทำละลาย เฮกเซน สกัดน้ำมันและไขมันออกจากตัวอย่างน้ำจากนั้นแยกตัวทำละลายออกเพื่อนำไประเหยให้เหลือแต่น้ำมันและไขมัน ซึ่งชั่งเป็นน้ำหนักได้
- 2) วิธีพาร์ทิชัน-อินฟราเรด (Partition-infrared method) เป็นการหาปริมาณโดยใช้ตัวทำละลาย เฮกเซน สกัดน้ำมันและไขมันออกจากตัวอย่างน้ำจากนั้นแยกตัวทำละลายออกแล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Infrared spectrometer แบบไล่คลื่นแสง เพื่อวัดปริมาณโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน
- 3) วิธีซอกซ์เลต (Soxhlet) เป็นวิธีการหาปริมาณ โดยวิธีนี้ใช้ในกรณีตัวอย่างที่มีความสกปรกสูง ซึ่งสิ่งต่างๆในน้ำอาจขัดขวางการสกัดด้วยตัวทำละลายวิธีการนี้จะทำให้น้ำมัน ไขมันแยกตัวจากน้ำโดยการเติมกรดเกลือ (HCl) หรือกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ให้ได้ pH (ความเป็นกรดต่าง) น้อยกว่า 2 เพื่อปลดปล่อยกรดไขมัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักเป็นสารไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถกรองออกจากน้ำด้วยกระดาษกรอง เมื่อนำกระดาษกรองไปอบแห้งเพื่อไล่น้ำจะ

เหลือเฉพาะน้ำมันและไขมันบนกระดาษกรองจากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายสกัดออกและเมื่อนำตัวทำละลายไประเหยให้แห้ง ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็คือปริมาณน้ำมันและไขมัน

2.6 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย

ในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะมีส่วนประกอบของ น้ำมัน ของแข็ง สารแขวนลอยและน้ำผสมกันอยู่ ซึ่งการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียนั้น สามารถแยกออกได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น

2.6.1 Filtration (การกรอง) ในกรณีที่น้ำมันผสมอยู่ในปริมาณมาก ต้องใช้อัตราการกรองสูงแบบพิเศษที่ติดตั้งด้วยนอกเหนือจาก polyelectrolyte มีความแตกต่างของตัวกลางที่ใช้ในการกรอง เช่น ทราย ถ่านหินทราย เป็นต้น จากรายงานพบว่าการใช้กระบวนการกรองน้ำมันที่มีความเข้มข้น 130-500 mg/L สามารถลดเหลือในช่วง 12-77 mg/L ประสิทธิภาพของกระบวนการกรองในการทำลายอิมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมันคือการแตกตัวในระหว่างที่ผ่านตัวกลางที่ช่วยให้อนุภาคเล็กๆ เชื่อมต่อกัน จากการศึกษาข้อมูลของกระบวนการกรองที่ได้รับการพัฒนาตัวกลางแล้วผลปรากฏว่าสามารถกำจัดสารละลายไฮโดรคาร์บอนออกไปได้มากกว่า 92% อย่างไรก็ตามกระบวนการกรองมีข้อเสียคือต้องเปลี่ยนแผ่นกรองบ่อยและของแข็งแขวนลอยเป็นตัวก่อให้เกิดปัญหา จึงต้องทำการล้างทำความสะอาดบ่อยๆด้วย (Syed *et al.*, 2011)

2.6.2 Adsorption (การดูดซับ) เป็นกระบวนการดักสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง ประเภทของการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force)

2) การดูดซับทางเคมี การดูดซับแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกันจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือจะมีการไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง

2.6.3 Centrifugal Separation (การเหวี่ยงแยก) การหมุนเหวี่ยงน้ำมัน โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของน้ำและน้ำมัน ซึ่งจะมีผลมากเมื่อน้ำมันที่น้ำเจือปนถูกหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงวิธีการนี้จะแยกน้ำส่วนที่ไม่รวมกับน้ำมัน (Free water) ได้ดีกว่าการใช้แรงโน้มถ่วงหรือการตกจม และยังสามารถแยกน้ำส่วนที่เป็น emulsified ได้บางส่วนอีกด้วย แต่ไม่สามารถแยกน้ำที่ละลายเข้าไปผสมกับน้ำมัน (Dissolved water) ได้เหมาะสำหรับใช้กับน้ำมันที่มีการป้องกันการรวมตัวกับน้ำดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น

เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีค่าของ บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และปริมาณน้ำมันสูง ประกอบพวกลอยสารแขวนลอยไม่สามารถแยกโดยวิธีตกจมตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นในส่วนของการบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้ผลดีเมื่อมีการแยกน้ำมันและสารแขวนลอยออกก่อน จากการศึกษาของ PORIM/RRIM สรุปได้ว่า ควรมี physical หรือ chemical treatments น้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่บ่อบำบัด (พูนสุข ประเสริฐสรรพ, 2536) เป็นการช่วยลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียและยังได้น้ำมันกลับมาเพิ่มขึ้นด้วย

2.6.4 Chemical flocculation (การใช้สารเคมีช่วยตกตะกอน) เป็นกระบวนการเพิ่มสารเคมีเพื่อไปเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ของแข็งแขวนลอยประเภทคอลลอยด์ เกิดการตกตะกอนเร็วขึ้นกว่าการตกตะกอนแบบธรรมดา สารเคมีที่นิยมใช้ เช่น ปูนขาว และสารส้ม ประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบวิธีนี้จะขึ้นกับชนิดของแข็งแขวนลอย ความเป็นกรดเป็นด่างของระบบ และปริมาณของสารเคมีที่เติมลงไป

2.6.5 การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการแยกส่วนของอนุภาคของแข็งหรือพวกลอยคอลลอยด์ ออกจากของเหลวโดยวิธีแรงโน้มถ่วงของโลก เป็นการอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของของแข็งกับน้ำ โดยของแข็งจะตกลงสู่ด้านล่างจะเร็วหรือช้า ขึ้นกับความหนักของน้ำ และขนาดของแข็งชนิดของการตกตะกอนแบ่งได้ 3 ประเภท แบ่งจากลักษณะของการตกของของแข็งคือ

1) การตกตะกอนแบบอิสระ (Discrete, free setting) เป็นการตกตะกอนของอนุภาคของแข็งที่ไม่มีการรวมตัวกับอนุภาคของแข็งข้างเคียง ใช้กับพวกมีความเข้มข้นต่ำ มักเป็นพวกสารอินทรีย์ เช่น หิน ทราย เป็นต้น ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มใช้วิธีการตกตะกอนแบบอิสระนี้ในการแยกกรวดทรายออกจากน้ำเสียในบ่อดักน้ำเสีรวม

2) การตกตะกอนแบบรวมเป็นกลุ่ม (Flocculent setting) เป็นการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยและได้มีการรวมตัวกันระหว่างการตก จึงทำให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและมีความเร็วในการตกเร็วขึ้นด้วย โดยวิธีการนี้จะเกิดขึ้นในส่วนของการบำบัดน้ำเสียออกจากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย

3) การตกตะกอนแบบแยกชั้น (Zone setting) เป็นการตกตะกอนของอนุภาคที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ, 2536) ซึ่งจะมีการแบ่งชั้นระหว่างของแข็งและของเหลวอย่างชัดเจน ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะพบวิธีนี้ในส่วนของการแยกน้ำมันในถังตกจม โดยน้ำมันจะมีการลอยตัวอยู่ด้านบน และน้ำกับพวกของแข็ง น้ำมันที่เหลือจะอยู่ชั้นล่าง

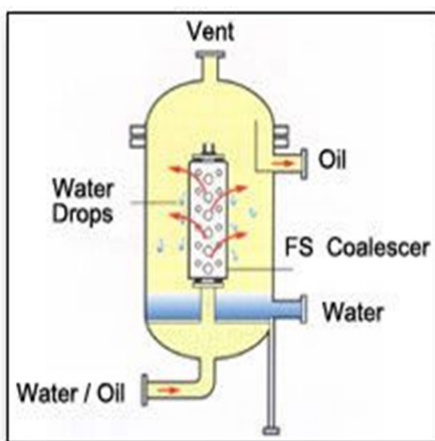
2.6.6 การลอยตัว (Flotation) เป็นการแยกของแข็งหรือของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำออกจากน้ำ โดยการลอยตัวอิสระมีการใช้เวลานาน จึงมีการคิดประยุกต์โดยการเติมอากาศเข้าไปในระบบ (Air

flotation) ฟองอากาศจะเข้าไปเกาะติดกับอนุภาคของสารเล็กๆ ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงจึงลอยตัวได้เร็วขึ้น โดยการทำให้เกิดฟองอากาศ ในการลอยทำได้หลายวิธี

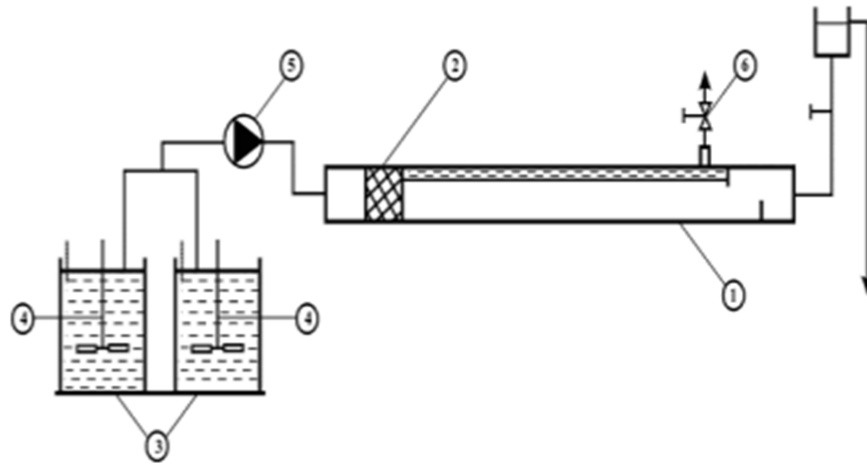
1) การกระจายอากาศ เป็นการเพิ่มอากาศเข้าระบบโดยตรงโดยใช้ diffuser ที่มีรูเล็กๆ ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก

2) การอัดอากาศ การทำให้น้ำมีความอิ่มตัวในถังอัดอากาศภายใต้ความดันจากนั้นจึงปล่อยให้ไปเกิดการลดความดันในระบบน้ำเสีย จะทำให้เกิดฟองอากาศ (Dissolved air flotation) นิยมใช้มาก เนื่องจากได้ฟองอากาศขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 ไมครอน (วิระศักดิ์ ทองลิ้มป์และคณะ, 2536)

2.6.7 Coalescing Separation มีหลายรูปแบบ เช่น แบบแนวตั้ง ดังรูปที่ 2-13 และแบบแนวนอนดังรูปที่ 2-14 เป็นวิธีการแยกโดยอาศัยตัวกลาง (Media) เป็นการนำตัวกลางมาวางทางไหลของน้ำและน้ำมัน ซึ่งลักษณะตัวกลางที่ใช้เป็นแบบ fiber หรือ granular กลมๆขนาดเล็ก และต้องเป็นพวกที่ไม่ชอบน้ำจะทำให้หยดน้ำและหยดน้ำมันที่มาชนตัวกลางโดยน้ำมันจะเกาะติดกับตัวกลาง ส่วนน้ำจะถูกผลักให้ออกห่างจากตัวกลางและเมื่อมีหยดน้ำและหยดน้ำมันที่มาที่หลังเมื่อชนกับตัวกลางอีกจึงทำให้ละอองน้ำที่ลอยตัวในน้ำมันหรือ Emulsified water ถูกผลักออกไปรวมตัวกับหยดน้ำก่อนหน้านี้ เกาะตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำมันก็มีการไปรวมตัวกับน้ำมันที่บริเวณตัวกลางด้วย จนมีขนาดใหญ่พอที่จะเอาชนะแรงยึดติดที่ผิวตัวกลางได้ก็จะหลุดออกไป จึงทำให้น้ำมันแยกตัวออกจากน้ำได้ง่ายขึ้น การที่หยดน้ำมีขนาดใหญ่จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมันน้อยกว่า ละอองน้ำขนาดเล็กๆ หลายนาน (ที่รวมกันแล้วมีปริมาตรเท่ากับหยดน้ำขนาดใหญ่) จึงทำให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมันได้ง่ายขึ้น



ภาพประกอบที่ 2-13 โคอะเลสเซอร์แบบแนวตั้ง
ที่มา : (บริษัท ออยเชิร์ฟ จำกัด, 2553)



ภาพประกอบที่ 2-14 โคอะเลสเซอร์แบบแนวนอน

(1) Coalescer Body; (2) Filter Medium; (3) Tanks;

(4) Stainless Steel Impellers; (5) Pump; (6) Valve of Oil discharge

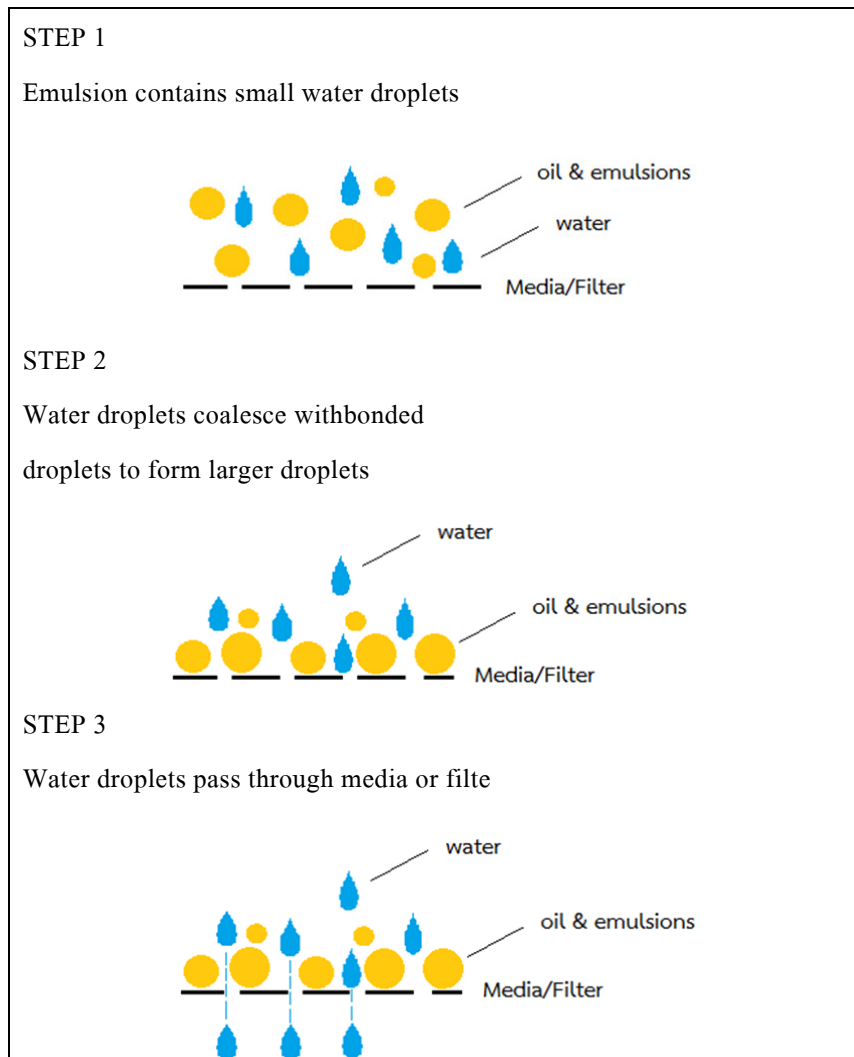
ที่มา : Sokolovic *et al.*, (2553)

2.7 โคอะเลสเซอร์ (Coalescer)

กลไกการทำงานของโคอะเลสเซอร์

กลไกการทำงานของโคอะเลสเซอร์คือการให้อนุภาคน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันไหลผ่านชั้นตัวกลางเข้าสัมผัสกับพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic media) เพื่อเพิ่มโอกาสในการสัมผัสและรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน (Bansal *et al.*, 2007) ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มสูงขึ้นของความเร็วในการแยกอนุภาคน้ำมันจากเฟสน้ำตามกฎของสโตก (Stokes's law) (สุคศิริและคณะ, 2554) กลไกการทำงานของโคอะเลสเซอร์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-15

เนื่องด้วยอุตสาหกรรมทางเคมี อุตสาหกรรมโลหะ และอุตสาหกรรมอาหาร มักพบ liquid waste ที่เป็นทั้ง water-in-oil (W/O) และ oil-in-water (O/W) emulsions (Kukisaki and Koto, 2008, Bansal *et al.*, 2011) ซึ่งจะเกิดขึ้นในกระบวนการอย่างมากมาย emulsions เหล่านี้เป็นลักษณะ liquid-liquid emulsions เป็น secondary emulsion ที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่า 100 ไมโครเมตร การแยกด้วยวิธีการตกตะกอนหรือการปล่อยให้ลอยตัวจะทำได้ยาก (Kukisaki and Koto, 2008) โคอะเลสเซอร์จึงเป็นกระบวนการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี โดยมีกลไกการแยกขึ้นอยู่กับความลึกและพื้นผิวของตัว media เป็นสำคัญ (Bansal *et al.*, 2011)



ภาพประกอบที่ 2-15 กลไกการทำงานของโคอะเลสเซอร์

ที่มา: คัดแปลงจาก <http://www.pall.com/main/fuels-and-chemicals/product.page?lid=gri78lm8#>

โคอะเลสเซอร์มีข้อดีคือ สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ติดตั้งง่าย สามารถแยกอิมัลชันที่อนุภาคน้ำมันมีขนาดเล็กได้ดี (Sokolovic *et al.*, 2010) และกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบันสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีรูปแบบโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อกระบวนการ โคอะเลสเซอร์และประสิทธิภาพในการแยก ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ อัตราการไหลของของไหล คุณสมบัติของของไหล และปรากฏการณ์ที่พื้นผิวของวัสดุ

(Sokolovic *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามวิธีการกระบวนการโคอะเลสเซอร์ก็ยังไม่เหมาะกับอิมัลชันที่มีของแข็งแขวนลอยอยู่ด้วย (Sokolovic *et al.*, 2010)

2.7.1 ตัวกลางในกระบวนการโคอะเลสเซอร์

ตัวกลางในโคอะเลสเซอร์แบ่งได้เป็นสองรูปแบบคือ mechanical coalescers และ electrostatic coalescers โดย mechanical coalescers จะใช้ packing material ที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ เพื่อให้หยดน้ำมันรวมตัวกันเช่น polypropylene, teflon, PVC, polyethylene, borosilicate glass, stainless steel และ ceramic เป็นต้น ขณะที่ electrostatic coalescers จะใช้กระแสไฟฟ้า DC หรือ AC หนึ่งขั้วทำให้เกิดการรวมตัวกันของหยดน้ำมัน (สุคศิริ จิตสุภวัฒน์ และ พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, 2554)

การศึกษาคณะสมบัติของวัสดุ รูปร่าง และลักษณะการแพ็คตัวกลางของโคอะเลสเซอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการแยก เช่นงานวิจัยของณัฐวิญญู ชวเลิศพรศิยา (2552) ศึกษาการใช้โพลีโพรพิลีนที่มีรูปร่างแตกต่างกันได้แก่ ชนิด granular fiber และชนิดหลอดกลวงเป็นตัวกลางโคอะเลสเซอร์ รวมถึงการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการวางตัวกลางแบบขั้นตอนพบว่าชนิดหลอดกลวงมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด และงานวิจัยของกชกร ก้องกังวาลย์ (2552) แนะนำการใช้ตัวกลางเส้นใยกรองน้ำตู้ปลา ร่วมกับสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบชนิด Sodium dodecyl sulphate (SDS) เนื่องจากพบว่าตัวกลางเส้นใยกรองน้ำตู้ปลามีความเหมาะสมมากกว่าเส้นใยสแตนเลส เพราะมีความไม่ชอบน้ำมากกว่า และมีราคาถูก

2.7.2 การเลือกวัสดุตัวกลาง

โดยทั่วไปการเลือกวัสดุตัวกลางของโคอะเลสเซอร์ (packing material) จะมีหลักในการเลือกดังต่อไปนี้

- 1) เลือกใช้วัสดุตัวกลางชนิดที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ เพื่อให้หยดน้ำมันรวมตัวกัน เช่น โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีน (PE) เทฟลอน (PTFE) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ใยแก้ว (Borosilicate glass Fiber) ใยสแตนเลส (Stainless steel fiber) โพลียูรีเทน (PU) และ Ceramic เป็นต้น
- 2) เลือกใช้รูปร่างของตัวกลางที่มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งรูปร่างของตัวกลางจะมีทั้งแบบเม็ดกลมเม็ดเหลี่ยม (granular) และแบบเส้นใย (fiber)

วัสดุที่นิยมเลือกใช้ในการนำมาเป็นตัวกลางของโคอะเลสเซอร์ได้แก่พลาสติกและเทอร์โมพลาสติก

2.7.2.1 พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ ที่มีโมเลกุลหนักซึ่งประกอบด้วยหน่วยอินทรีย์เคมี (organic chemical unit) ซ้ำกันหลายๆหน่วย พลาสติกถูกนำไปทำเป็นรูปร่างต่างๆ กันได้ด้วยการปั้น (mold) การคัดขึ้นรูป (forming) โดยใช้ความร้อน ความดัน หรือทั้งสองอย่างรวมกัน

พลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นสารที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่เกิดจากการสังเคราะห์สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบเรียกว่า โมโนเมอร์ โมโนเมอร์ตัวหนึ่งทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ตัวอื่นๆ ประกอบกันเป็นลูกโซ่เรียกว่า โพลีเมอร์ โมโนเมอร์ที่เป็นวัตถุดิบนี้มีอยู่หลายร้อยชนิดที่สามารถทำเป็นโพลีเมอร์ได้ ตัวอย่างโมโนเมอร์ตัวหนึ่ง ได้แก่ เอททีลีน (ethylene ; $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) เมื่อเรียงตัวกันเป็นโพลีเมอร์ เรียกว่า โพลีเอททีลีน (poly- ethylene) ทำนองเดียวกันโพลีสไตรีน (poly-styrene) ก็เกิดจากโมโนเมอร์สไตรีน (styrene) และ โพลีโพรพิลีน (poly-propylene) ก็เกิดจากโมโนเมอร์โพรพิลีน (propylene) เป็นต้น

โพลีเมอร์ของพลาสติกประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเป็นธาตุหลักจับกับธาตุอื่นๆ ปัจจุบันนักเคมีได้ใช้ธาตุเพียง 8 ธาตุจากร้อยกว่าธาตุที่มีอยู่ เพื่อจับกับคาร์บอนเป็นโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ กว่าพันชนิด ธาตุเหล่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-5 ซึ่งแสดงทั้งน้ำหนักอะตอมและความสามารถในการเกาะตัว กล่าวคือ ซีดแต่ละซิดข้างๆ สัญลักษณ์ของธาตุแต่ละตัวแสดงถึง แขนที่สามารถยึดเกาะกับอะตอมของธาตุเดียวกันหรือธาตุอื่นได้อีก 1 ตัว เพื่อให้เป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ

ตารางที่ 2-5 กลุ่มธาตุที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกโพลีเมอร์

ธาตุ	น้ำหนักอะตอม	จำนวนแขนยึดเกาะ
ไฮโดรเจน (H)	1	H-
คาร์บอน (C)	12	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}- \\ \end{array}$
ไนโตรเจน (N)	14	$\begin{array}{c} \\ -\text{N}- \\ \end{array}$
ออกซิเจน (O)	16	-O-
ฟลูออรีน (F)	19	-F
ซิลิคอน (Si)	28	$\begin{array}{c} \\ -\text{Si}- \\ \end{array}$
กำมะถัน (S)	32	-S-
คลอรีน (Cl)	35	-Cl

ที่มา : ชาญวุติ และสาโรจน์, 2541

การรวมตัวของอะตอมเหล่านี้ ก่อให้เกิดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและมีโครงสร้างสลับซับซ้อน อย่างไรก็ตาม อะตอมแต่ละอะตอมจะรวมตัวกันได้หรือไม่ขึ้นกับพลังงานการเกาะตัว และทุกๆ อะตอมในโมเลกุลที่มีเสถียรภาพจะต้องใช้พลังงานการเกาะตัวจนหมด เช่น ไฮโดรเจนจับกับอะตอมอื่นได้ เพียงตัวเดียว ในขณะที่คาร์บอนต้องจับกับอะตอมอื่นๆ ถึง 4 ตัวจึงจะครบหนึ่งพลังการเกาะตัว ดังนั้นการจับตัวระหว่างไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนเป็น H-H และไฮโดรเจนฟลูออรีนเป็น H-F จึงเป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ ส่วนการจับตัวเป็น C-H และ Si-Cl เป็นโมเลกุลที่ไม่มีเสถียรภาพ

2.7.2.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก หรือเรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลก ได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม ตัวอย่าง พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกใน ตระกูลเทอร์โมพลาสติก ได้แก่

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถู ขวด แทนรองรับสินค้า
- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอทิลีน ทนต่อสารไขมันและความร้อนสูง ใช้ทำแผ่นพลาสติกถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน หลอดดูดพลาสติก เป็นต้น
- พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น
- SAN (styrene-acrylonitrile) เป็นพลาสติกโปร่งใส ใช้ผลิตชิ้นส่วน เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น
- ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) สมบัติคล้ายพอลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตถ้วย ถาด เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร และป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันและไขมันปรุงอาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์ ใช้ทำแผ่นพลาสติก ห่อเนยแข็ง ทำแผ่นแลมินเนตชั้นในของถุงพลาสติก

- ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ทำแผ่นแลมินิกัต สำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ
- พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) เหนียวมาก โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุอาหาร
- พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) มีลักษณะ โปร่งใส แข็ง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหาร จับยาก ใช้ทำถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก

หลักการทำเทอร์โมพลาสติกมีดังนี้

- โพลีเมอไรเซชัน (Polymerization)

เมื่อให้ความร้อนหรือความดันหรือทั้งสองอย่างแก่โมโนเมอร์หลายล้านโมเลกุลในรีแอกเตอร์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย บอนด์คู่ของโมโนเมอร์บางตัวจะแตกออกเป็นบอนด์เดี่ยว บอนด์เดี่ยวเหล่านี้รวมกับบอนด์เดี่ยวของโมโนเมอร์ตัวอื่นๆ ก็ต่อเป็นลูกโซ่ต่อๆ กัน ซึ่งจะไปถึงสิ้นสุดเมื่อปลายบอนด์เป็นอะตอมของไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า โพลีเมอไรเซชัน (Polymerization)

ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันจะมีโพลีเมอร์เกิดขึ้นพร้อมๆ กันหลายล้าน โมเลกุล จนกว่าโมโนเมอร์จะหมดไป นักเคมีสามารถจะกำหนดขนาดความยาวของโพลีเมอร์ได้โดยการควบคุมปริมาณธาตุไฮโดรเจนที่เหมาะสม ขนาด(หรือน้ำหนัก) ของโพลีเมอร์มีความสำคัญมากเพราะจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของพลาสติกเมื่อขนาดของโพลีเมอร์โตขึ้นจะทำให้พลาสติกมีความหยุ่น ความต้านทาน ความยืด การต้าน การแตกร้าว อุณหภูมิหลอมเหลว ความหนืด และความยากในการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

- โคโพลิเมอร์

การสร้างกลุ่มโพลีเมอร์ที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นการสร้างจากโมโนเมอร์ชนิดเดียวกัน ถ้าหากลูกโซ่ที่เกิดจากโมโนเมอร์ต่างกัน 2 ชนิด จะเรียกว่า โคโพลิเมอร์และเรียกปฏิกิริยานี้ว่า โคโพลิเมอไรเซชัน หากเกิดจากโมโนเมอร์ 3 ชนิดต่างหากก็เรียกว่า เทอร์โพลิเมอร์ ทั้งหมดนี้ยังถือว่าเป็นโพลีเมอร์ไม่ว่าจะมีโมโนเมอร์กี่ตัวก็ตาม อนึ่งสำหรับโพลีเมอร์ที่มาจากโมโนเมอร์ตัวเดียวอาจจะเรียกว่า โฮโมโพลิเมอร์ก็ได้

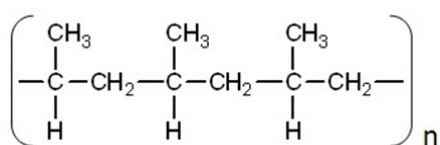
คุณสมบัติของโคโพลิเมอร์จะขึ้นกับสัดส่วนและลักษณะการเรียงตัวของโมโนเมอร์ทั้งสองที่มา รวมกัน การเรียงตัวของโมโนเมอร์ A กับโมโนเมอร์ B อาจจะเป็นแบบไม่เป็นระเบียบทำให้โคโพลิเมอร์แต่ละเส้นอัดตัวกันแน่นบ้างไม่แน่นบ้าง ไม่แน่นอน จึงมีทั้งส่วนที่มีลักษณะเป็นผลึกและอสัณฐาน

รวมกัน ลักษณะแบบนี้ทำให้โคโพลิเมอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติรวมคือ มีความแข็งแรงสูงพร้อมกับความสามารถด้านแรงกระแทกสูงด้วย

ในการศึกษานี้สนใจในการนำเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) มาใช้ในการนำมาเป็นตัวกลางในการศึกษาการแยกน้ำมันจากน้ำด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์

2.7.2.3 Polypropylene (PP)

มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $(C_3H_6)_n$

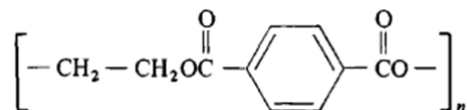


ภาพประกอบที่ 2-16 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Polypropylene

พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือพอลิเมอร์พลาสติกที่สามารถขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซ้ำๆ ได้หลายครั้ง พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ propylene (C_3H_6) หลายๆ ตัว เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซ propylene โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบพวกโลหะ เช่น ไทเทเนียมคลอไรด์ การใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิดคือ isotactic syndiotactic และ atactic ขึ้นอยู่กับทิศทางการจับของหมู่เมทิลกับอะตอมคาร์บอน มีความทนต่อสารเคมีเช่น กรด ด่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการพองตัว อ่อนนุ่ม หรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีน สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave) หรือไมโครเวฟได้ พอลิโพรพิลีน มีคุณสมบัติไม่มีขั้วสามารถดูดซึมสารที่ไม่มีขั้วได้

2.7.2.2 Polyethylene terephthalate (PET)

มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $(C_{10}H_8O_4)_n$



ภาพประกอบที่ 2-17 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Polyethylene terephthalate

พลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพทาเลท (Polyethylene terephthalate) หรือที่เรียกกันโดยย่อว่า PET เป็นพลาสติกเทอร์โมพลาสติก โดยจะหลอมที่อุณหภูมิสูงและแข็งตัวเมื่อเย็น ผลิตขึ้นได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทอพทาเลต หรือระหว่างสารเอทิลีน-ไกลคอลและกรดเทอพทาลิก เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ทนทานต่อสภาวะการใช้งานทั้งความร้อนและการผ่านของอากาศที่ดีและเป็นโพลิเมอร์สายโซ่ตรงชนิดควบแน่นที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง เช่น ผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม แผ่นฟิล์ม เป็นต้น

คุณสมบัติเฉพาะของพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตดังแสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติเฉพาะของพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

Material	Tm Melting point (°C)	Tg Glass transition point (°C)	Tensile Strength Elongation (MN.m-2)	% Modulus	Elastic (Mg.m-3)	Density (MN.m-2)
Polyethylene (PE)	107-138	(-53) - (-23)	20-47	130-800	270-1,200	0.96
Polyethylene terephthalate (PET)	265	63-83	48.2-72.3	30-3,000	2,756-4,135	1.29-1.40

ที่มา: คัดแปลงจาก นเรศ, 2556 และประทุมมา, 2554

2.8 การใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.8.1 การทดสอบที (t-test)

เป็นเทคนิคการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) สถิติทดสอบ t ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้ได้กับกรณีที่มีประชากรหนึ่งกลุ่มและสองกลุ่ม (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551)

2.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าคะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน

2.8.3 การวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) และตัวแปรตาม (Dependent variable)

ผลของการศึกษาจะให้ทราบถึง

- (1) ขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ที่มีต่อตัวแปรตาม และ
- (2) แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์การถดถอย มักเรียกตัวแปรอิสระ ว่า ตัวทำนาย (predictor) หรือตัวแปรกระตุ้น (stimulus variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (criterion variable)

วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

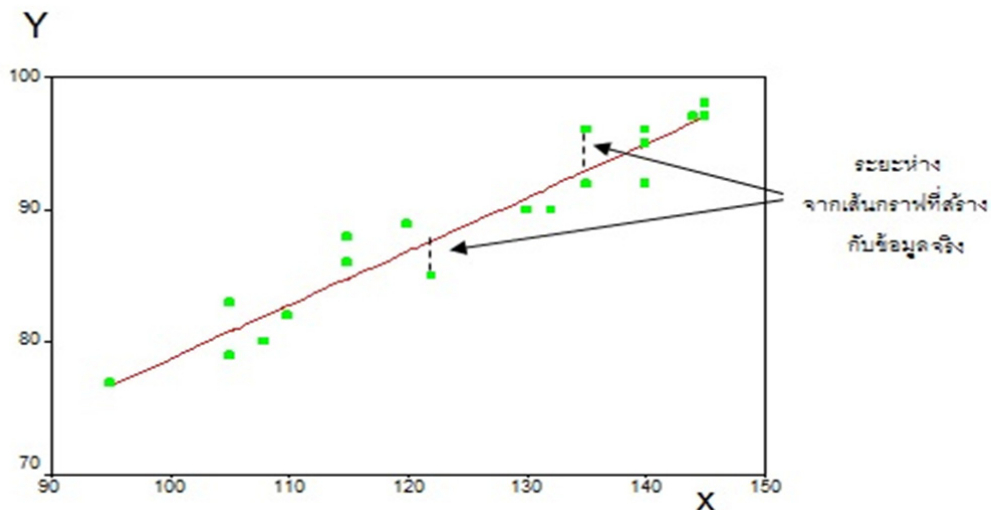
1. ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในกลุ่มตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวนั้น ตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ตัวใดมีความสัมพันธ์สูง ตัวใดมีความสัมพันธ์น้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์ เพื่อที่จะสามารถคาดการณ์ได้ว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุดเช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทารกแรกเกิด กับอายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของมารดา

2. ต้องการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายตัวแปรตาม โดยรูปแบบจำลองดังกล่าวอยู่ในลักษณะสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น ศึกษาปริมาณการใช้จ่ายที่ส่งผลต่อความดันโลหิต
3. ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระบางตัวที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ให้คงที่ เช่น ศึกษาอิทธิพลของความวิตกกังวลที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อควบคุมระยะเวลาในการทำงานติดต่อกันให้คงที่
4. ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทำนายตัวแปรตาม โดยอาจมีแบบจำลองจำนวนมากให้ตัดสินใจ
5. ต้องการทราบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับทำนายนั้นจะมีประสิทธิภาพในการทำนายได้อย่างคงเส้นคงวาหรือไม่ เมื่อนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายต่างๆ กัน

การสร้างสมการตัวแบบ จากวิธีวิเคราะห์ความถดถอย

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (กรณีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย) จะเป็นการนำข้อมูลจากตัวแปรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทนได้ และจะทำการหาเส้นตรงที่ดีที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา

เส้นตรงที่ดีที่สุดจะมีเพียงเส้นเดียวโดยถือหลักการว่าจะต้องมีผลรวมของระยะห่างกำลังสองจากเส้นกราฟถึงทุกๆ จุดนั้น มีค่าน้อยที่สุด เราเรียกหลักการนี้ว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) ตัวอย่างการพลอตข้อมูลจริงกับกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-18



ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://timewith91.exteen.com/20100728/matlab>
ภาพประกอบที่ 2-18 ระยะห่างระหว่างข้อมูลจริงกับกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุด

จากเส้นตรงดังกล่าว ใช้กระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์สมการ สร้างเป็นแบบจำลองในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ เรียก สมการถดถอยเชิงเส้น หรือสมการพยากรณ์ หลังจากได้แบบจำลองแล้ว จึงทำการตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้น มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยมีการทดสอบทางสถิติดังต่อไปนี้

1. ทดสอบความเหมาะสมของโมเดล (เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่) จะใช้สถิติทดสอบ ANOVA
2. ทดสอบค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย ทีละตัวโดยใช้สถิติทดสอบ t
3. พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุ (Multiple R) และค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate)

กระบวนการดังกล่าวทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนจบจะใช้การคำนวณและการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยการคำนวณตัวเลขเอง หรือสามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำการวิเคราะห์ให้ก็ได้

ในการทดลองโดยทั่วไปมักมีตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่สนใจศึกษามากกว่า 1 ตัวแปร ซึ่งแบบหุ่่นทั่วไปจะมีลักษณะดังนี้คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad (1)$$

โดยที่ y = ผลได้
 $\beta_0 - \beta_k$ = ค่าคงที่/ค่าสัมประสิทธิ์
 $x_1 - x_k$ = ปัจจัยที่ 1-k
 ε = ค่าความผิดพลาดของผลได้ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง

บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์การทดลองและสารเคมี

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ของบริษัทพิทักษ์ปาล์ม-ออยล์ จำกัด ดังภาพประกอบที่ 3-1
2. Polypropylene (PP) ชนิด granular และ fiber ดังภาพประกอบที่ 3-2 และ 3-3 ตามลำดับ
3. Polyethylene terephthalate (PET) ชนิด granular และ fiber ดังภาพประกอบที่ 3-4 และ 3-5 ตามลำดับ
4. เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH TS SS BOD₅ ซีโอดี และ Oil & grease
5. น้ำกลั่น

3.1.2 สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซีโอดี เป็นสารเคมีระดับ AR grade
2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ BOD₅ เป็นสารเคมีระดับ AR grade
3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน เป็นสารเคมีระดับ AR grade

3.1.3 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์การทดลองโคอะเลสเซอร์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-6
2. Hot plate ยี่ห้อ PNP รุ่น C-MAG-HS7 ประเทศที่ผลิต USA
3. ซีโอดี reactor ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 839800 ประเทศที่ผลิต Romania
4. เครื่องชั่ง
 - เครื่องชั่งแบบละเอียด 0.01 กรัม รุ่น PG5002-5 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO ประเทศที่ผลิต Switzerland
 - เครื่องชั่งแบบละเอียด 0.001 กรัม รุ่น PG410 ยี่ห้อ OHAUS ประเทศที่ผลิต USA
5. pH meter รุ่น RL150 ยี่ห้อ Russell ประเทศที่ผลิต USA
6. ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert ประเทศที่ผลิต Germany

7. Incubator ควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C รุ่น 2020 ยี่ห้อ SHEL-LAB
8. กล้องจุลทรรศน์ microscope (Nikon รุ่น Eclips E600)
9. ถังพลาสติกความจุ 20 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว



ภาพประกอบที่ 3-1 น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ



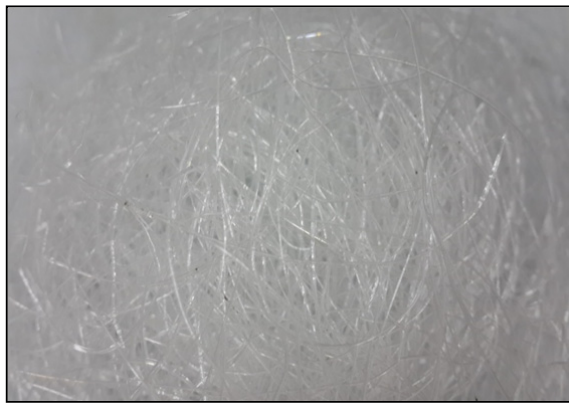
ภาพประกอบที่ 3-2 Polypropylene (PP) ชนิด granular



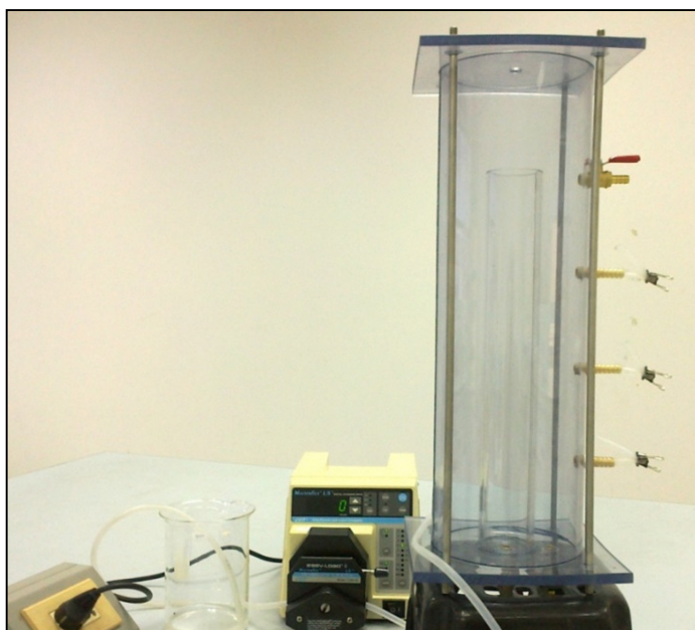
ภาพประกอบที่ 3-3 Polypropylene (PP) ชนิด fiber



ภาพประกอบที่ 3-4 Polyethylene Terephthalate ชนิด granular



ภาพประกอบที่ 3-5 Polyethylene Terephthalate ชนิด fiber



ภาพประกอบที่ 3-6 ชุดทดลองโคอะเลสเซอร์

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อก่อนเข้าระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีการกวนผสมด้วยการเก็บแบบจ้วง (Grab sample) แล้วทำการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่ 4°C เพื่อใช้ในการเตรียมน้ำเสียในการทำการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมน้ำเสียตั้งต้นเพื่อใช้ในการทดลอง ทำโดยการตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันและไขมันตามธรรมชาติโดยเฉลี่ยจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นแยกไขมันที่ลอยตัวอยู่ด้านบนออกจากน้ำเสียส่วนล่าง (ภาพประกอบที่ 3-7) น้ำเสียส่วนล่างนี้จะถูกนำมาใช้ในการทำการทดลองแยกน้ำมันด้วยโคอะเลสเซอร์ในขั้นตอนถัดไป

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียและน้ำเสียส่วนล่างที่ได้แยกชั้นไขมันออกแล้ว โดยจะนำมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆโดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น pH TS SS BOD COD Oil & Grease โดยวิธีตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2005) และ World Environment Center (2540) ดังแสดงในตารางที่ 3-1



ภาพประกอบที่ 3-7 แสดงการแยกชั้นไขมันในขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตั้งต้น

ตารางที่ 3-1 แสดงวิธีการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	Parameters	Method
1.	พีเอช (pH)	pH Meter
2.	บีโอดี (BOD)	5-Day BOD Test
3.	ซีโอดี (ซีโอดี)	Close Reflux , Titration Method
4.	ของแข็งทั้งหมด (TS)	Gravimetric Method
5.	ของแข็งแขวนลอย (SS)	Gravimetric Method
6.	น้ำมันและไขมัน	Soxhlet Method

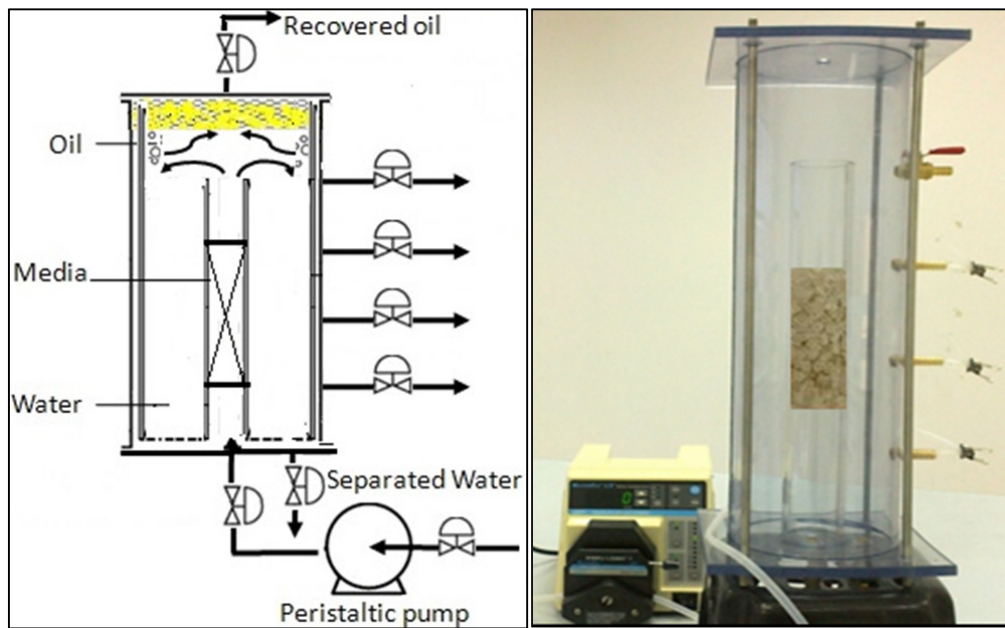
ที่มา: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2012)

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุตัวกลาง

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุตัวกลาง ได้แก่ bulk density, particle size และ surface characteristics วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคน้ำมัน (Oil droplet size) โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Nicon รุ่น Eclips E600 ที่กำลังขยาย 100 เท่า)

3.2.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการแยกน้ำมันด้วยโคอะเลสเซอร์

ศึกษาการปรับค่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการแยกได้แก่ รูปแบบของตัวกลาง และอัตราการไหล ผ่านของอิมัลชันที่จะนำมาทำการแยก โดยทำการทดลองในคอลัมน์แบบแนวตั้งขนาดความจุ 8 ลิตร ดำเนินการทดลองด้วยการปิดต่อเนื่องและควบคุมอัตราการไหลด้วย Peristaltic pump โดยอัตราการไหลที่จะทำการปรับเปลี่ยนคือตั้งแต่ 44 ถึง 267 ml/min (HRT ตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที) อุณหภูมิของน้ำ ตัวอย่างที่ใช้คือ 60°C เพื่อป้องกันการเป็นไขของน้ำมันที่เกิดการแยกชั้นขึ้นและลดความคงตัวของหยด น้ำมันขนาดเล็กที่มีเสถียรภาพ ปรับ pH เป็น 7 เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความสูงจากฐานคอลัมน์ 10 20 30 และ 40 เซนติเมตรที่เวลา 30 ถึง 180 นาทีเพื่อทำการตรวจวัด โมเดลในการทดลองดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 3-8



ภาพประกอบที่ 3-8 โมเดลของการทดลอง

ทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ media 4 ประเภท เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดลงของ ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน กับอัตราการไหลที่เปลี่ยนไป สถานะที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรต้น	พารามิเตอร์
1. อัตราการไหล	44, 67, 89, 133 และ 267 มิลลิลิตร/นาที
2. เวลาในการเก็บตัวอย่าง	30, 60, 90, 120 และ 180 นาที
ตัวแปรควบคุม	พารามิเตอร์
1. ปริมาตรของคอลัมน์	8 ลิตร
2. ความสูงของวัสดุตัวกลาง	15 เซนติเมตร
3. อุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง	60 องศาเซลเซียส
4. พีเอช	7
ตัวแปรตาม	
1. ความเข้มข้นของ ซีไอดี หลังผ่าน โคอะเลสเซอร์	
2. ความเข้มข้นของ น้ำมันและไขมัน หลังผ่าน โคอะเลสเซอร์	

3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์

ทำการหาค่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันของอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้น คำนวณได้จากสมการ

$$E = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100$$

โดยที่ E = Removal efficiency (%)

C_i = Influent concentration (mg/L)

C_e = Effluent concentration (mg/L)

ในการทดลองนี้จะใช้ค่า ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน เป็นตัวแทนของปริมาณน้ำมันในเฟสน้ำ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี closed reflux และ soxhlet extraction methods ตามลำดับ

3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การหาจุดหรือช่วงที่เหมาะสมของระดับตัวแปรอิสระ (หรือตัวแปรต้น) ที่ทำให้ค่าผลได้ อยู่ในช่วงระดับที่เหมาะสม (Optimum Range) โดยทำการศึกษาอัตราการไหล และเวลา ในการศึกษานี้จะวางแผนแบบ 5^2 factorial ในแต่ละจุดเก็บซึ่งมีทั้งหมด 4 จุดเก็บคือที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตรจากฐานคอลัมน์หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปวัดค่าความเข้มข้นของ ซีไอดี และ

น้ำมันและไขมัน เพื่อวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการลดลง จากนั้นทำการทดสอบโดยใช้ T-test และ F-test ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูล วิธีการดังกล่าวจะช่วยในการสรุปผลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ระดับความสูงต่างๆของคอลัมน์ เมื่อทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการใช้ไฟตั้งแต่ 44 ถึง 267 มิลลิวัตต์ต่อนาฬิกา และเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที โดยแต่ละชุดทดลองจะมีจำนวนตัวอย่าง 25 ตัวอย่าง (N=25)

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สำหรับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิตินี้จะใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณและแปรผลจากการทดลองเพื่อค้นหาปัจจัยทางสถิติของชุดทดลองแต่ละชุดที่มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่อัตราการใช้ไฟ และเวลาในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งชุดตัวอย่างจะทำการเก็บที่ความสูงต่างๆของคอลัมน์เพื่อทำการวิเคราะห์ค่า ซี โอ ดี และ น้ำมันและชัน จำนวนตัวอย่างในแต่ละชุดเท่ากับ 100 (N=100) จากนั้นนำค่าคงที่ที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ ซึ่งจากสมการที่ได้จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจากการทดลองได้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย (Wastewater Characteristics)

ตัวอย่างน้ำที่เลือกนำมาศึกษาครั้งนี้เก็บจากบ่อกักน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งน้ำในส่วนนี้ได้ผ่านบ่อ Oil skimming มาแล้วขั้นตอนหนึ่งเพื่อเก็บกวาดน้ำมันที่เกิดการแยกชั้นขึ้นเองตามธรรมชาติและลอยตัวขึ้นสู่พื้นผิวของบ่อ น้ำเสียจะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย เช่น pH BOD₅ COD TSS SS และปริมาณน้ำมัน ทำการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างโดยวิธีตาม Standard Methods รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-1 อธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 4- 1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

Parameter	ความเข้มข้น
pH	5.50-5.60
BOD ₅ (mg/L)	64,000-65,000
ซีโอดี (mg/L)	98,000-98,523
ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	52,150-52,682
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30,800-31,000
น้ำมันและไขมัน (mg/L)	10,000-10,160

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 5.60 ปริมาณของแข็งแขวนลอย 30,800 mg/L ปริมาณของแข็งทั้งหมด 52,682 mg/L ซีโอดี เท่ากับ 98,523 mg/L BOD₅ เท่ากับ 64,000 mg/L และปริมาณน้ำมันและไขมัน 10,160 mg/L ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้พบว่าน้ำเสีย มีค่า ซีโอดี ปริมาณน้ำมันและไขมัน สูง จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ทางโรงงานจะพยายามนำน้ำมันที่สูญเสียเหล่านั้นกลับมา เนื่องจากสามารถขายเป็นการเพิ่มมูลค่าได้ แม้ว่าจะได้ราคาที่ถูกกว่าน้ำมันปาล์มดิบเกรดดีก็ตาม แต่ถือเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง และอีกประการหนึ่งคือเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบผลิตแก๊สชีวภาพ เนื่องจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบลดลง (Igwe and Onyegbado., 2007)

โดยทั่วไปน้ำเสียหลังผ่านบ่อดักน้ำมันซึ่งจะพักน้ำเสียไว้ให้เกิดการแยกชั้นน้ำมันเองตามธรรมชาติแล้วทำการเก็บกวาดชั้นน้ำมันเพื่อนำไปทำความสะอาดจะมีปริมาณน้ำมันและไขมัน เฉลี่ยประมาณ 11,360 mg/L (อรัญ หันพงษ์กิตติกุล และคณะ, 2536) แสดงให้เห็นว่าบ่อดักน้ำมันซึ่งมีหน้าที่ดักน้ำมันที่ปนเปื้อนมาจากการล้างเครื่องมือหรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอย่างกะทันหัน เช่น บั้มที่ใช้สูบน้ำมัน จากถังพักเสีย ช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ไหลลงบ่อบำบัดน้ำเสียได้ระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามก็ยังมีน้ำมันที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียอยู่อีกจำนวนหนึ่ง ในการทดลองนี้พบว่าน้ำตัวอย่างเริ่มต้นมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 1.02 (W/V) ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohamed, (1995) เกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในมาเลเซีย พบว่าจะมีองค์ประกอบของน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 0.5-2.0

ตารางที่ 4-2 สัดส่วนปริมาณน้ำมันในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

Composition	% W/V
Water	95.9
Total solids	5.27
Suspended solids	3.08
Oil and grease	1.02

4.2 คุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง

ในการศึกษานี้ได้ทำการคัดเลือกวัสดุตัวกลางจากการศึกษาขั้นต้นในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการคัดเลือกจากวัสดุตัวกลางหลายชนิดที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ได้แก่ พอลิโพรพิลีน (PP) โพลีเอธิลีน (PE) เทฟลอน (PTFE) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ไยสแตนเลส (Stainless steel fiber) โพลียูรีเทน (PU) พบว่าวัสดุที่มีศักยภาพในการเป็นวัสดุตัวกลาง (Coalescing medium) ของกระบวนการโคอะเลสเซอร์สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีน้ำมันปาล์มปนเปื้อนคือ polypropylene (PP) และ polyethylene-terephthalate (PET) (Kosal *et al.*, 2013) เลือกใช้รูปทรงของตัวกลางที่มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งรูปทรงของตัวกลางจะมีทั้งแบบเม็ด (granular) และแบบเส้นใย (fiber) ซึ่งจากการศึกษาทดลองขั้นต้นในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าควรทำการบรรจุ Coalescing medium ในแกนของคอลัมน์ที่มีความสูง 15 เซนติเมตร

วัสดุตัวกลางแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติเฉพาะดังแสดงในตารางที่ 4-3 และภาพประกอบที่ 4-1 และ 4-2

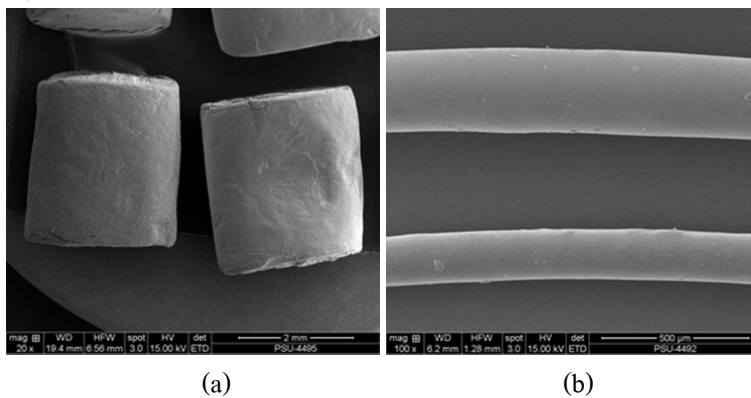
ตารางที่ 4-3 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวกลาง

Coalescing media	Granular		Fiber	
	PET	PP	PET	PP
Bulk Density (g/L) ^a	992	655	379	221
Density (kg/m ³) ^b	1400	960	1400	960
particle size (mm) ^c	2.64-2.69	2.75-2.79	0.16-0.28	0.37-0.39

^a วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ รายละเอียดแสดงในภาคผนวกที่ ก.

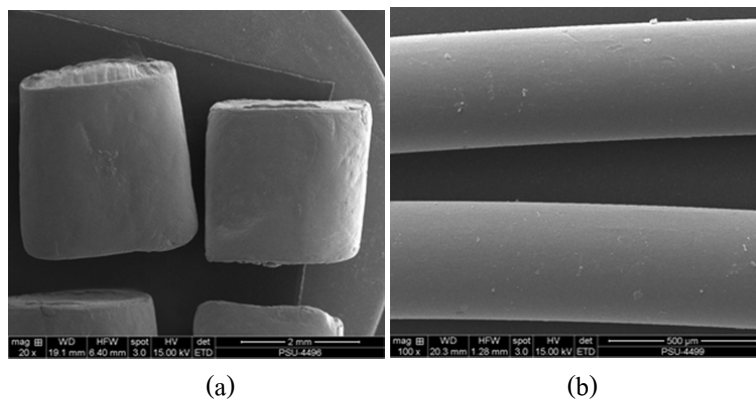
^b นเรศ, 2556 และประทุมมา, 2554

^c ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพประกอบที่ 4-1 ลักษณะพื้นผิวของตัวกลาง PET ชนิด Granular และ Fiber

(a) ชนิด Granular กำลังขยาย 40 เท่า (b) Fiber กำลังขยาย 100 เท่า



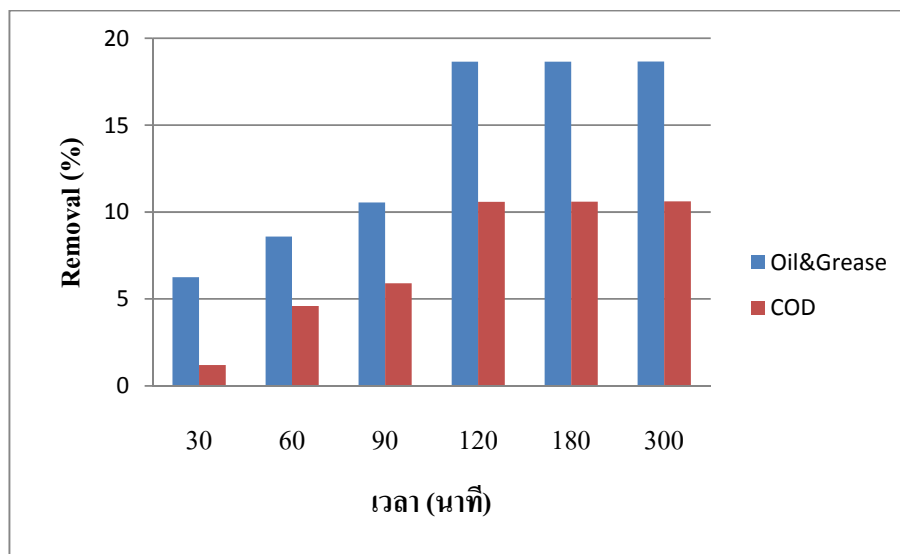
ภาพประกอบที่ 4-2 ลักษณะพื้นผิวของตัวกลาง PP ชนิด Granular และ Fiber

(a) ชนิด Granular กำลังขยาย 40 เท่า (b) Fiber กำลังขยาย 100 เท่า

4.3 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติ

การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่ทางโรงงานเลือกใช้โดยมักเรียกว่า ถังแยกน้ำมันหรือถังตกจม เป็นลักษณะของการทิ้งไขมันหรือน้ำมันแยกชั้นออกจากน้ำตามธรรมชาติ โดยทั่วไปกระบวนการนี้จะมีระยะเวลาที่เก็บอยู่ที่ 5 ถึง 12 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและขนาดของถังพักเพื่อให้เกิดการแยกชั้นที่ดี (สุดสิริ ฐิตสุภวัฒน์ และพิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, 2554)

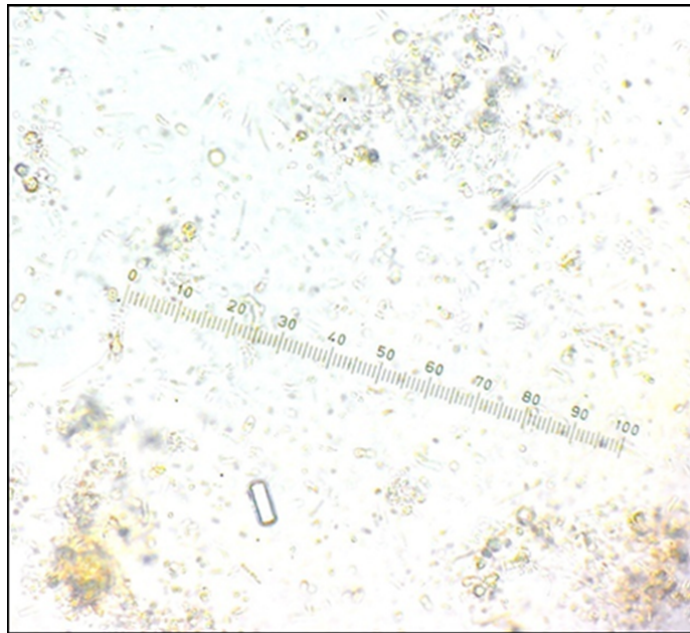
ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาระยะเวลาการแยกน้ำมันด้วยการตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติที่ระยะเวลา 30 ถึง 300 นาที (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ก-1) ลักษณะน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียรวม เมื่อตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่าต้องใช้เวลาานจึงค่อยๆเกิดการแยกชั้นขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการลดลงของ ซีโอดี และน้ำมันและไขมัน พบว่าจะเริ่มมีค่าคงที่ตั้งแต่ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.6 และ 18.59 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-3



ภาพประกอบที่ 4-3 ประสิทธิภาพการลดลงของ ซีโอดี และน้ำมันและไขมัน ที่ระยะเวลา 30 ถึง 300 นาที

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของน้ำมันในตัวอย่างน้ำหลังการตั้งให้เกิดการแยกชั้นเองตามธรรมชาติด้วยกล้องจุลทรรศน์ Microscope (ภาพประกอบที่ 4-4) ซึ่งบริเวณ Stage micrometer จะมีขีดแบ่งไว้ 100 ช่อง แต่ละช่องกว้าง 0.01 มิลลิเมตร มีขีดยาวทุก 10 ช่อง แต่ไม่มีตัวเลขกำกับ ลักษณะ

ของน้ำมันในตัวอย่างพบว่ามีขนาดที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.01-0.1 มิลลิเมตร กระจายอยู่ทั่วไป แสดงให้เห็นว่าน้ำมันส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างนี้มีเสถียรภาพ เนื่องจากขนาดของน้ำมันที่ต่ำกว่า 10 ไมครอนหรือ 0.1 มิลลิเมตร จัดว่าเป็นน้ำมันที่มีความคงตัว (สุคสิริ รุติสุภวัฒน์ และ พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, 2554) ดังนั้นการจะทำการแยกน้ำมันจากน้ำหรือทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำมันอย่างหนึ่งอย่างใดในตัวอย่างที่มีลักษณะเช่นนี้จะต้องทำให้การมีเสถียรภาพหรือความคงตัวลดลงเสียก่อน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้วิธีการให้ความร้อนและการกวนผสมเพื่อลดความคงตัวของน้ำมันในน้ำตัวอย่างก่อนทำการทดลอง



ภาพประกอบที่ 4-4 ลักษณะของน้ำมันในน้ำเสียตัวอย่างส่วนล่างหลังการตั้งให้เกิดการแยกชั้นเองตามธรรมชาติ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

น้ำเสียลักษณะเช่นนี้หากต้องการแยกน้ำมันให้ได้มากจะต้องการเวลานาน ส่งผลให้ขนาดของถังพักแยกน้ำมันต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถใช้กระบวนการโคอะเลสเซอร์เพื่อเร่งการแยกน้ำมันให้เร็วและมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้ โดยทั่วไปแล้วการบำบัดด้วยวิธีการแยกชั้นตามธรรมชาติและกระบวนการโคอะเลสเซอร์ เป็นการบำบัดขั้นต้นเพื่อเป็นการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย ซึ่งอาศัยกระบวนการทางกายภาพเพื่อแยกน้ำมันจากน้ำ จึงไม่ส่งผลต่อกระบวนการทางเคมีและชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ปนกับ

น้ำมันแต่อย่างใด ดังนั้นจากลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างซึ่งมีการปนเปื้อนของมลสารอื่นๆอีก หลังจากผ่านการแยกเพื่อนำกลับน้ำมันแล้วจะต้องมีการบำบัดขั้นต่อไปเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์หรือของแข็งแขวนลอยให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง เช่น บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ เป็นต้น ก่อนจะมีการนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ต่อไป

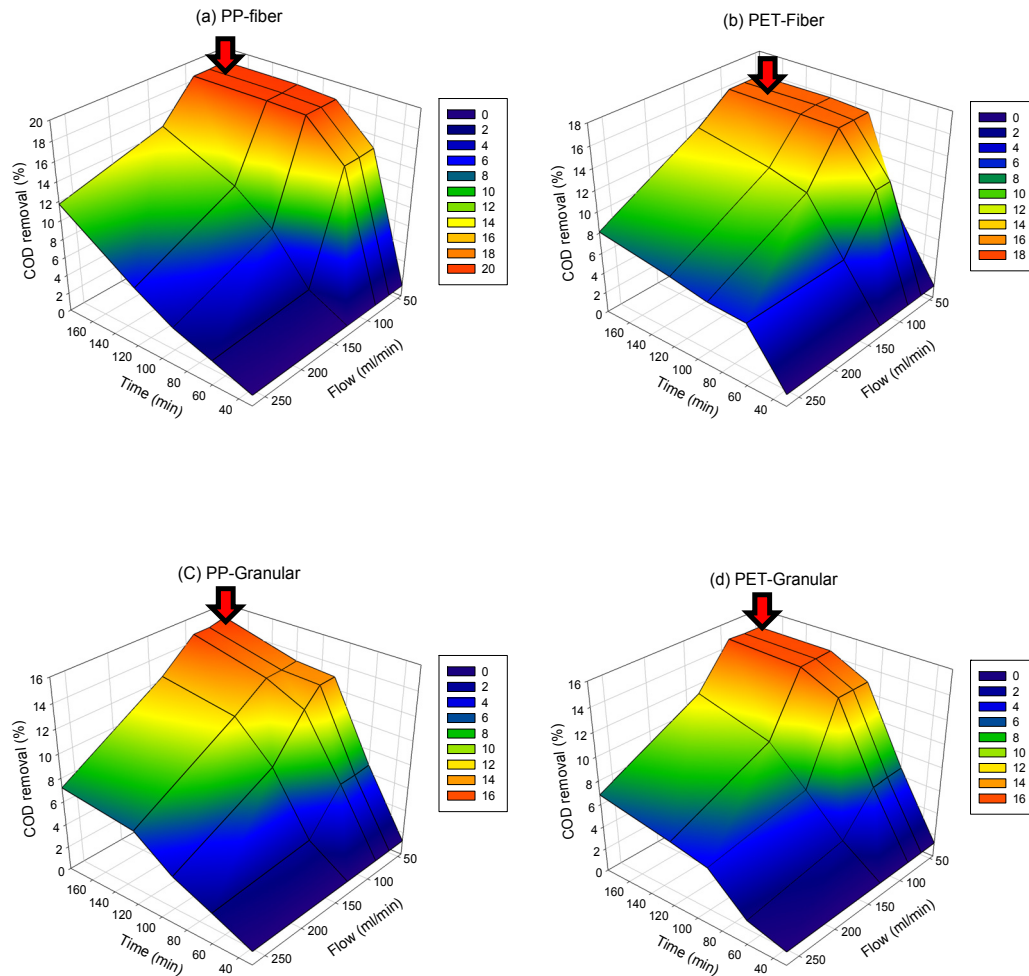
4.4 ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์

เนื่องจากวัสดุตัวกลาง PP และ PET ที่เลือกนำมาใช้ในการศึกษานี้มีคุณสมบัติไม่มีขี้ผึ้งจึงสามารถดูดติดสารที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ ดังนั้นการแยกน้ำมัน (สารที่ไม่มีขี้ผึ้ง) ที่ปนเปื้อนออกจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจึงเกิดขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อนำตัวกลางที่ไม่ชอบน้ำมาขวางทางไหลของน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันจะทำให้หยดน้ำมันที่มาชนตัวกลางเกาะติดกับตัวกลาง ส่วนน้ำจะถูกผลักให้ออกห่างจากตัวกลาง และเมื่อมีหยดน้ำและหยดน้ำมันที่มาที่หลังชนกับตัวกลางอีกน้ำมันก็มีการไปรวมตัวกับน้ำมันที่บริเวณตัวกลางจนมีขนาดใหญ่พอที่จะเอาชนะแรงยึดติดที่ผิวตัวกลางได้ก็จะหลุดออกไป จึงทำให้น้ำมันแยกตัวออกจากน้ำได้ง่ายขึ้น ในการทดลองแยกน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนี้จะใช้น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากบ่อบักน้ำเสียรวม ทำการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการ โคอะเลสเซอร์ โดยการตั้งให้เกิดการแยกชั้นตามธรรมชาติโดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แยกชั้นไขมันออกน้ำเสียส่วนล่างจะถูกนำมาใช้เป็นน้ำเสียเริ่มต้นของกระบวนการโคอะเลสเซอร์ มีค่า ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน เฉลี่ยเท่ากับ $75,029 \pm 15$ และ $9,600 \pm 10$ mg/L ตามลำดับ ปรับ pH เท่ากับ 7 ในการดำเนินการทดลองมีการควบคุมอุณหภูมิ น้ำเสียเริ่มต้นดังกล่าวที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเป็นไขของไขมัน น้ำเสียจะถูกนำมาทดสอบการแยกน้ำมันด้วยกระบวนการ โคอะเลสเซอร์ ซึ่งใช้ตัวกลางชนิด Polyethylene-Terephthalate (PET) และ Polypropylene (PP) แบบ Granular และแบบ Fiber ทำการทดลองในโคอะเลสเซอร์แบบคอลัมน์แนวตั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ภายในบรรจุตัวกลางความสูง 15 เซนติเมตร ทำการปรับเปลี่ยนค่า อัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 267 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตร ตั้งแต่เวลา 30 ถึง 180 นาที วัดค่าซีไอดี และน้ำมันและไขมัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพ

4.4.1 ประสิทธิภาพการลดลงของ ซีไอดี ในน้ำตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการโคอะเลสเซอร์

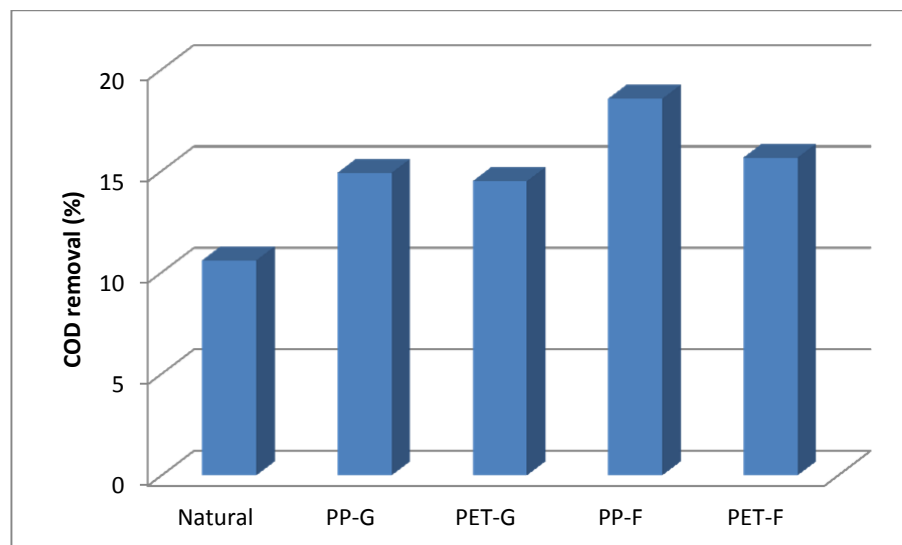
ผลจากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ประสิทธิภาพการลด ของ ซีไอดี ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการปรับเปลี่ยน อัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 267 มิลลิลิตรต่อนาที เวลาในการเก็บตัวอย่าง 30 ถึง 180 นาที จุดเก็บตัวอย่างซึ่งมีทั้งหมด 4 จุดคือที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตร

จากฐานคอลัมน์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปวัดค่าความเข้มข้นของ ซีโอดี เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลด ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค ผลจากการทดลองพบว่าการใช้วัสดุตัวกลางชนิด PP แบบ Fiber ให้ประสิทธิภาพการลด ซีโอดี สูงสุดคือร้อยละ 18.55 ± 0.01 ที่เวลา 120-180 นาที รองลงมาคือ ชนิด PET แบบ Fiber ชนิด PET แบบ Granular และ ชนิด PP แบบ Granular มีประสิทธิภาพสูงสุด 15.6 ± 0.01 14.4 ± 0.9 และ 14.0 ± 0.9 ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 4-5)



ภาพประกอบที่ 4-5 ประสิทธิภาพการลด ซีโอดี ของโคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลาง
 (a) ตัวกลางชนิด PP แบบ Fiber (b) ตัวกลางชนิด PET แบบ Fiber
 (c) ตัวกลางชนิด PP แบบ Granular (d) ตัวกลางชนิด PET แบบ Granular
 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 10 cm

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่ากระบวนการโคอะเลสเซอร์ที่มีวัสดุตัวกลางเป็น PP และ PET ทั้งชนิดแบบ Granular และ Fiber มีประสิทธิภาพสูงกว่าการแยกชั้นตามธรรมชาติซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 10.5 ± 0.1 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-6

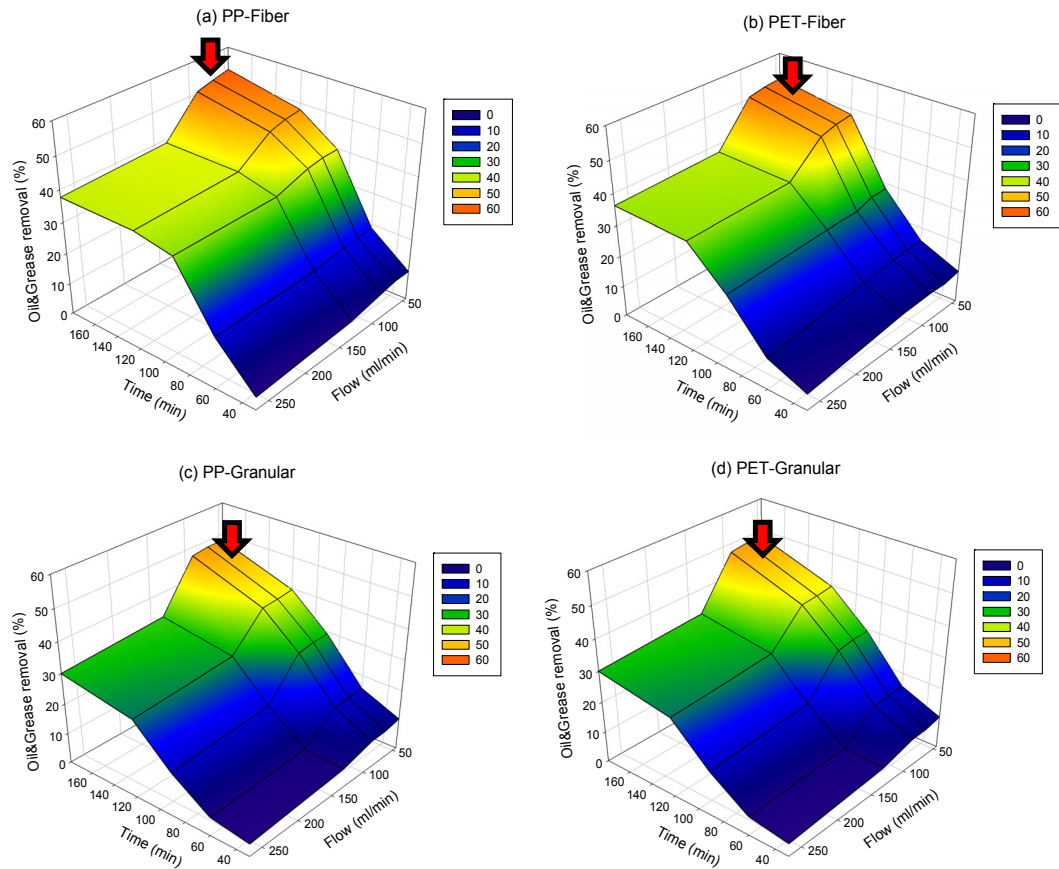


ภาพประกอบที่ 4-6 ประสิทธิภาพการลด ซีโอดี เมื่อใช้โคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลางชนิด PP และ PET แบบ Fiber และ แบบ Granular เปรียบเทียบกับการแยกชั้นตามธรรมชาติ ที่เวลา 180 นาที

4.4.2 ประสิทธิภาพการลดค่าน้ำมันและไขมันในน้ำตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการโคอะเลสเซอร์

ผลจากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ประสิทธิภาพการลด ของ น้ำมันและไขมัน ที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการปรับเปลี่ยน อัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 267 มิลลิลิตรต่อนาที เวลาในการเก็บตัวอย่าง 30 ถึง 180 นาที จุดเก็บตัวอย่างซึ่งมีทั้งหมด 4 จุดคือที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตร จากฐานคอลัมน์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปวัดค่าความเข้มข้นของ ซีโอดี เพื่อวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการลด ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค. ผลจากการทดลองพบว่าการใช้ วัสดุตัวกลางชนิด PP แบบ Fiber ให้ประสิทธิภาพการลดค่าน้ำมันและไขมันสูงสุดคือร้อยละ 51.00 ± 2.5 ที่เวลา 120-180 นาที รองลงมาคือ ชนิด PET แบบ Fiber ชนิด PET แบบ Granular และชนิด PP แบบ Granular มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 50.50 ± 2.5 45.00 ± 0.05 และ 44.5 ± 0.5 ตามลำดับ (ภาพประกอบที่

4-7) ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่ากระบวนการ โคอะเลสเซอร์ที่มีวัสดุตัวกลาง เป็น PP และ PET ทั้งชนิดแบบ Granular และ Fiber มีประสิทธิภาพสูงกว่าการแยกชั้นตามธรรมชาติซึ่ง มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 18.65 ± 0.01 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-8

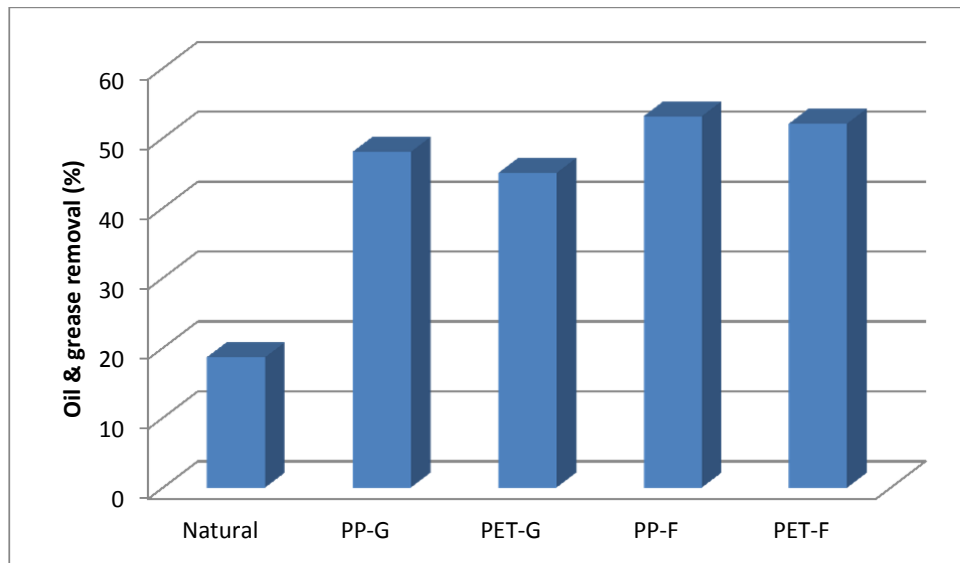


ภาพประกอบที่ 4-7 ประสิทธิภาพการลดน้ำมันและไขมัน ของโคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลาง

(a) ตัวกลางชนิด PET แบบ Fiber (b) ตัวกลางชนิด PET แบบ Fiber

(C) ตัวกลางชนิด PP แบบ Granular (d) ตัวกลางชนิด PET แบบ Granular

ที่จุดเก็บตัวอย่าง 10 cm



ภาพประกอบที่ 4-8 ประสิทธิภาพการลดน้ำมันและไขมันเมื่อใช้โคอะเลสเซอร์ที่มีตัวกลางชนิด PP และ PET แบบ Fiber และ แบบ Granular เปรียบเทียบกับการแยกชั้นตามธรรมชาติ ที่เวลา 180 นาที

4.5 สถานะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบของชุดทดลอง

การหาจุดหรือช่วงที่เหมาะสมของระดับตัวแปรอิสระ (หรือตัวแปรต้น) ที่ทำให้ค่าผลได้ อยู่ในช่วงระดับที่เหมาะสม (Optimum Range) โดยทำการศึกษาอัตราการไหล และเวลา อัตราการไหลที่ใช้ ตั้งแต่ 44 ถึง 267 ml/min และเวลาในการเก็บตัวอย่าง 30 ถึง 180 นาที ในการศึกษาจะวางแผนแบบ 5^2 factorial ในแต่ละจุดเก็บซึ่งมีทั้งหมด 4 จุดเก็บคือที่ความสูง 10 20 30 และ 40 เซนติเมตรจากฐานคอลัมน์หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปวัดค่าความเข้มข้นของ ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน เพื่อวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการลด มีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ

4.5.1 กำหนด Factor ที่ศึกษาและ Factor levels

Flow rate 44 ถึง 267 → 44, 67, 89, 133, 267 ml/min

Contact time 30 ถึง 180 → 30, 60, 90, 120, 180 min

4.5.2. แผนการทดลองที่ใช้ 5^2 factorial ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและผลที่ได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของ ซีไอดี และ น้ำมันและไขมัน

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองและผลการวิเคราะห์ ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน ที่จุดเก็บตัวอย่าง 10 เซนติเมตร

Run	Time (min)	Flow (ml/min)	ซีโอดี (%)	น้ำมันและไขมัน (%)
1	30	266.67	98.81	95.83
2	60	266.67	97.31	83.33
3	90	266.67	95.87	64.58
4	120	266.67	93.58	62.40
5	180	266.67	88.27	62.29
6	30	1333	98.79	93.75
7	60	1333	96.67	83.13
8	90	1333	91.76	64.58
9	120	1333	88.76	61.46
10	180	1333	85.34	61.09
11	30	88.89	98.79	91.67
12	60	88.89	85.43	81.77
13	90	88.89	81.75	61.25
14	120	88.89	81.62	54.15
15	180	88.89	81.59	49.58
16	30	66.67	98.78	90.68
17	60	66.67	85.42	81.46
18	90	66.67	81.74	60.42
19	120	66.67	81.58	52.71
20	180	66.67	81.57	48.13
21	30	444	98.76	90.63
22	60	444	85.32	81.25
23	90	444	81.70	60.31
24	120	444	81.45	51.98
25	180	444	81.44	46.88

4.5.3. ทดสอบสมมติฐานโดยใช้ T-test และ F-test

การทดสอบใช้ T-test และ F-test ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูล วิธีการดังกล่าวจะช่วยในการสรุปผลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ระดับความสูงต่างๆของคอลัมน์ เมื่อทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 267 ml/min และเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที โดยแต่ละชุดทดลองจะมีจำนวนตัวอย่าง 25 ตัวอย่าง (N=25) รายละเอียดการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง.1

ตารางที่ 4-5 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับ โคะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Fiber เป็นตัวกลาง

parameter	เงื่อนไข	ค่าเฉลี่ย	ค่า SD	P-Value (T-test)	P-Value (F-test)
ซีโอดี	ความสูง 10 cm	88.88	7.15	0.946	0.961
	ความสูง 20 cm	898	7.09		
	ความสูง 20 cm	898	7.09	0.125	0.047
	ความสูง 30 cm	91.78	5.49		
	ความสูง 30 cm	91.78	5.49	0.008	0.000
	ความสูง 40 cm	95.15	2.44		
น้ำมันและไขมัน	ความสูง 10 cm	69.4	16.05	0.889	0.681
	ความสูง 20 cm	70.03	15.27		
	ความสูง 20 cm	70.03	15.27	0.094	0.005
	ความสูง 30 cm	76.32	10.34		
	ความสูง 30 cm	76.62	10.34	0.001	0.000
	ความสูง 40 cm	84.48	3.96		

จากตารางที่ 4-5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 10 cm เป็น 20 cm ไม่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน เลย (P-Value ของทั้ง T-test และ F-test มีค่าสูงกว่า 0.05) แม้ว่าค่าเฉลี่ย และ S.D. จะแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ก็ไม่ถือว่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงที่ 20 cm เป็น 30 cm ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของทั้ง ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน (P-Value ของ T-test มากกว่า 0.050) แต่ส่งผลให้ลดความแปรผัน (P-Value ของ

F-test α น้อยกว่า 0.050) โดยที่การเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 20 cm เป็น 30 cm จะลดความผันแปรของค่าความเข้มข้น ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน ของน้ำตัวอย่าง

การเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 30 cm เป็น 40 cm จากผลการทดสอบ T-test จะพบว่า P-Value ของการทดสอบ T-test น้อยกว่า 0.050 ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ความเชื่อมั่น 95%) นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 30 cm เป็น 40 cm จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่สูงขึ้น (จาก Mean=91.78 เป็น 95.15) ส่วนการทดสอบ F-test พบว่า P-Value น้อยกว่า 0.050 ซึ่งแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างส่งผลให้ลดความแปรผันความเข้มข้น ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน ของน้ำตัวอย่าง

ชุดการทดลองของ โคะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุตัวกลางชนิด PET แบบ Granular พบว่ามีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความสูงของจุดเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ใช้วัสดุ PP แบบ Fiber เป็นตัวกลางตั้งที่ได้อธิบายเอาไว้ข้างต้น แต่จะมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นและ S.D. ที่แตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นและ S.D. ของชุดทดลองที่ใช้วัสดุตัวกลางชนิด PET แบบ Granular ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับ โคะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็นตัวกลาง

parameter	เงื่อนไข	ค่าเฉลี่ย	ค่า SD	P-Value (T-test)	P-Value (F-test)
ซีโอดี	ความสูง 10 cm	91.93	5.17	0.970	0.999
	ความสูง 20 cm	91.99	5.15		
	ความสูง 20 cm	91.99	5.15	0.248	0.013
	ความสูง 30 cm	93.47	3.68		
	ความสูง 30 cm	93.47	3.68	0.000	0.000
น้ำมันและไขมัน	ความสูง 10 cm	76.37	14.00	0.849	0.940
	ความสูง 20 cm	77.12	13.48		
	ความสูง 20 cm	77.12	13.48	0.66	0.000
	ความสูง 30 cm	82.93	7.52		
	ความสูง 30 cm	82.93	7.52	0.000	0.000
	ความสูง 40 cm	89.07	2.89		

ในการเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 20 cm เป็น 30 cm สำหรับชุดการทดลองของ โคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็นตัวกลางนั้นพบว่ามีความแตกต่างจากค่าของชุดการทดลองที่ใช้วัสดุ PP แบบ Fiber เล็กน้อยคือพบว่าสำหรับพารามิเตอร์ ซีไอดี นั้น นอกจากจะไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ทดสอบ T-test) แล้ว ยังไม่ส่งผลต่อการแปรปรวนความเข้มข้นในการทดสอบแบบ F-test ด้วย กล่าวคือ P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างนี้ไม่มีผลต่อความแปรปรวนหรือความแปรผันของความเข้มข้น แม้ว่าค่า S.D. ที่ได้จะแตกต่างกันเล็กน้อย คือ 5.01 กับ 3.81 แต่ก็ถือว่ายังไม่มีมีความแตกต่างกันมากพอจนมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4-7 และการเปลี่ยนแปลงความสูงของจุดเก็บตัวอย่างที่ 20 cm เป็น 30 cm สำหรับชุดการทดลองของที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็นตัวกลางนั้นพบว่ามีความแตกต่างจากค่าของชุดการทดลองที่ใช้วัสดุ PP แบบ Fiber สำหรับพารามิเตอร์ น้ำมันและไขมัน คือในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของ น้ำมันและไขมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย (P-Value ของ T-test น้อยกว่า 0.050) ดังแสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับ โคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็นตัวกลาง

parameter	เงื่อนไข	ค่าเฉลี่ย	ค่า SD	P-Value (T-test)	P-Value (F-test)
ซีไอดี	ความสูง 10 cm	91.90	5.04	0.962	0.968
	ความสูง 20 cm	91.97	5.02		
	ความสูง 20 cm	91.97	5.01	0.230	0.055
	ความสูง 30 cm	93.50	3.81		
	ความสูง 30 cm	93.50	3.81	0.001	0.000
น้ำมันและไขมัน	ความสูง 10 cm	76.26	14.22	0.824	0.521
	ความสูง 20 cm	7.31	15.54		
	ความสูง 20 cm	75.31	15.53	0.234	0.006
	ความสูง 30 cm	79.81	10.33		
	ความสูง 30 cm	79.81	10.33	0.001	0.000
	ความสูง 40 cm	87.93	4.27		

ตารางที่ 4-8 สรุปผลวิเคราะห์ T-test และ F-test สำหรับ โคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็นตัวกลาง

parameter	เงื่อนไข	ค่าเฉลี่ย	ค่า SD	P-Value (T-test)	P-Value (F-test)
ซีโอดี	ความสูง 10 cm	90.16	5.61	0.999	0.997
	ความสูง 20 cm	90.17	5.62		
	ความสูง 20 cm	90.17	5.61	0.078	0.050
	ความสูง 30 cm	92.69	4.21		
	ความสูง 30 cm	92.69	4.21	0.000	0.000
	ความสูง 40 cm	96.41	1.41		
น้ำมันและไขมัน	ความสูง 10 cm	72.48	15.65	0.867	0.610
	ความสูง 20 cm	71.73	15.71		
	ความสูง 20 cm	71.73	15.71	0.031	0.000
	ความสูง 30 cm	79.79	9.01		
	ความสูง 30 cm	79.79	9.01	0.007	0.000
	ความสูง 40 cm	85.42	4.29		

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบ T-test และ F-test ของชุดข้อมูลที่มีความสูงต่างๆ ของชุดทดลองโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุตัวกลาง 2 ชนิดในรูปแบบ Fiber และ Granular พบว่ามีผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ ค่าความเข้มข้นของชุดตัวอย่างที่จุดเก็บ 10 และ 20 cm ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของชุดตัวอย่างที่จุดเก็บ 20 และ 30 cm นั้นเป็นช่วงที่ความเข้มข้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในเชิงนัยสำคัญทางสถิติโดยเฉพาะในช่วงระหว่าง 30 และ 40 cm นั้น มีความแตกต่างของความเข้มข้นซีโอดีและน้ำมันและไขมันอย่างเด่นชัด ดังนั้นความเข้มข้นภายในคอลัมน์ของชุดการทดลองโคอะเลสเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือที่ช่วงความสูง 30-40 cm เป็นช่วงที่น้ำตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง ส่วนช่วง 20-30 cm เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนผ่านความเข้มข้นระหว่างส่วนบนที่มีความเข้มข้นสูงและส่วนล่าง (ช่วง 10-20 cm) ดังนั้นที่ระดับความสูงไม่เกิน 20 cm จากฐานของคอลัมน์จะเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี และน้ำมันและไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่จุดเก็บตัวอย่างไม่เกิน 20 cm อัตราการไหลตั้งแต่ 44 ถึง 89 ml/min เป็นอัตราการไหลที่ทำให้ประสิทธิภาพการลด ของ ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14±0.56 และ 50±3.13 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 90 ถึง 180 นาที

4.5.4. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาสมการความสัมพันธ์

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิตินี้จะใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณและแปรผลจากการทดลองเพื่อดูนัยสำคัญทางสถิติของชุดทดลองแต่ละชุดที่มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหล และเวลาในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งชุดตัวอย่างจะทำการเก็บที่ความสูงต่างๆ ของคอลัมน์เพื่อทำการวิเคราะห์ค่า ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน จำนวนตัวอย่างในแต่ละชุดเท่ากับ 100 (N=100) รายละเอียดการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง.2 จากนั้นนำค่าคงที่ที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 Model Summary

Material	Type	Predict	R Square	Equation
PP	Fiber	COD	0.701	$COD = 89.576 + 0.215 * H - 0.078 * T + 0.031 * F$ $SE_{est} = \pm 3.509$
		Oil&Grease	0.718	$Oil\&Grease = 76.190 + 0.515 * H - 0.186 * T + 0.032 * F$ $SE_{est} = \pm 7.348$
	Granular	COD	0.712	$COD = 92.988 + 0.153 * H - 0.058 * T + 0.018 * F$ $SE_{est} = \pm 2.417$
		Oil&Grease	0.743	$Oil\&Grease = 80.105 + 0.395 * H - 0.175 * T + 0.055 * F$ $SE_{est} = \pm 6.576$
PET	Fiber	COD	0.664	$COD = 90.346 + 0.213 * H - 0.059 * T + 0.02 * F$ $SE_{est} = \pm 3.039$
		Oil&Grease	0.737	$Oil\&Grease = 79.470 + 0.469 * H - 0.187 * T + 0.034 * F$ $SE_{est} = \pm 6.898$
	Granular	COD	0.688	$COD = 92.314 + 0.164 * H - 0.055 * T + 0.021 * F$ $SE_{est} = \pm 2.580$
		Oil&Grease	0.718	$Oil\&Grease = 77.681 + 0.439 * H - 0.142 * T + 0.053 * F$ $SE_{est} = \pm 6.233$

หมายเหตุ: COD = ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Oil&Grease = น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SE_{est}	=	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์
H	=	ความสูง (เซนติเมตร)
T	=	เวลา ในการเก็บตัวอย่าง (นาทีก)
F	=	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)

จากตารางที่ 4-9 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อความเข้มข้นของซีโอดี และน้ำมันและไขมัน ของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านชุดทดลอง โคอะเลสเซอร์นี้ โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือใช้ตัวกลางชนิด PP และ PET แบบ Fiber และ Granular ที่มีอัตราการไหลตั้งแต่ 4.4 ถึง 267 ml/min ที่เวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที และเก็บตัวอย่างที่ความสูงตั้งแต่ 10 ถึง 40 cm ซึ่งจากสมการที่ได้จะพบว่าทุกตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของ ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน โดยมี R Square อยู่ที่ประมาณ 0.7 ซึ่งมีความหมายว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์พบว่าความสูงมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของซีโอดีและน้ำมันและไขมันสูงสุด รองลงมาคือ เวลาและอัตราการไหล ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาชนิดของวัสดุตัวกลางในกระบวนการโคอะเลสเซอร์และสภาวะที่เหมาะสมในการแยก การศึกษานี้พบว่า วัสดุ PP ชนิด Fiber มีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวกลางในกระบวนการโคอะเลสเซอร์เพื่อแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้สูงสุด ช่วงของอัตราการไหลที่เหมาะสมตั้งแต่ 44 ถึง 267 ml/min ซึ่งได้ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันในช่วง 48.0-53.3 % ด้วยการเดินระบบแบบต่อเนื่องกับ reactor ขนาด 8 ลิตร ซึ่งกระบวนการโคอะเลสเซอร์นี้มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำได้มากกว่าการแยกชั้นโดยธรรมชาติประมาณ 2.9 เท่า เมื่อใช้ระยะเวลาที่เท่ากัน (180 นาที) และใช้เวลาในการแยกน้อยกว่าการแยกโดยธรรมชาติเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการแยกที่เทียบเคียงกัน นั้นหมายถึงการลดขนาดของบ่อพักเพื่อแยกชั้นน้ำมันโดยธรรมชาติแบบเดิมได้อย่างมาก ประหยัดเวลา ประหยัดต้นทุนและการนำกลับน้ำมันที่ได้มากกว่าการแยกชั้นตามธรรมชาติแบบดั้งเดิม

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่าปริมาณน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ 1.02 % (W/V) น้ำมันในปริมาณนี้หากสามารถคืนกลับมาจากน้ำเสียได้ทั้งหมด จะได้น้ำกลับคืนมาประมาณ 1.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย หรือประมาณ 0.6 กิโลกรัมต่อตันผลปาล์มสด โรงงานมีกำลังการผลิต 45 ตันผลปาล์มสดต่อชั่วโมง หรือประมาณ 1,000 ตันต่อวัน จะได้น้ำมันดิบ 600 กิโลกรัมต่อวัน ทำให้สามารถมีรายได้เพิ่มขึ้น 9,000 บาทต่อวัน หรือ 2.25 ล้านบาทต่อปี (คิดเทียบจากราคาน้ำมันปาล์มดิบที่ 15 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาน้ำมันปาล์มดิบเกรด B) และทำงาน 250 วันต่อปี) ผลจากการศึกษานี้พบว่าอุปกรณ์ชุดทดลองโคอะเลสเซอร์สามารถนำกลับน้ำมันมาได้สูงสุด 53% เทียบเป็นรายได้ที่จะได้กลับคืนกว่า 1.2 ล้านบาทต่อปี เพิ่มขึ้นจากการแยกด้วยการตกจมตามธรรมชาติที่สามารถนำกลับน้ำมันมาได้ 19% คิดเป็นรายได้ที่จะได้กลับคืนกว่า 0.43 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อนำน้ำมันส่วนที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียกลับมาจึงเป็นการเพิ่มผลกำไรแก่โรงงานควบคู่ไปกับการลดการสูญเสียน้ำมันจากส่วนอื่นๆ ของกระบวนการผลิต

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าโคอะเลสเซอร์เป็นแนวทางที่น่าจะนำเสนอให้ประยุกต์ใช้กับถังพักเดิมที่โรงงานส่วนมากมักใช้ในการดักน้ำมันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมันของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ต้องใช้ระยะเวลาการแยกนาน ทำให้ต้องใช้ถังกักเก็บขนาดใหญ่ กล่าวคืออาจนำกระบวนการโคอะเลสเซอร์ ไปประยุกต์เพื่อช่วยเร่งการแยกตัวของน้ำมัน ซึ่งทำให้ช่วยลดขนาดของถังกักเก็บหรือบ่อดักน้ำมันได้โดยไม่ต้องสร้างหรือขยายขนาดของถังพัก และสามารถแก้ไขปัญหาน้ำเสียที่

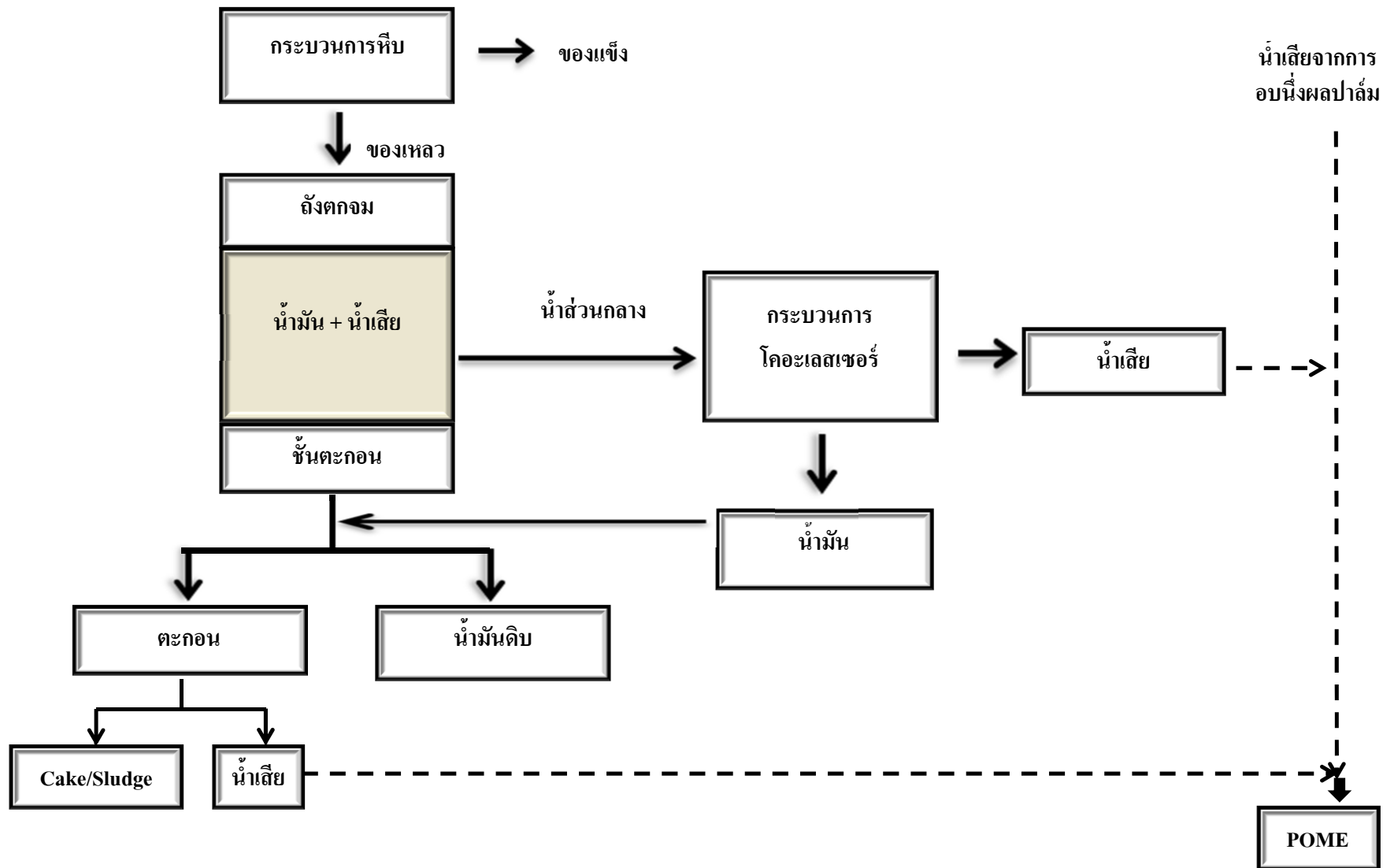
มีน้ำมันเข้มข้นสูงได้โดยอาจนำโคอะเลสเซอร์มาติดตั้งต่อจากถังตกจม ซึ่งมีการแยกชั้นเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นบนเป็นน้ำมันที่มีการแยกออกไปใช้ประโยชน์ต่อไป ชั้นกลางเป็นชั้นที่มีน้ำมันและน้ำผสมอยู่ แยกออกจากกันได้ง่าย ใช้เวลาหลายชั่วโมง และชั้นล่างสุดเป็นชั้นตะกอน โดยอาจสูบน้ำจากชั้นกลางมาผ่านกระบวนการโคอะเลสเซอร์ได้ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันได้สูงขึ้น เนื่องจากมีการแยกชั้นน้ำมันและชั้นตะกอนด้านล่างไปแล้ว โดยมีแนวคิดการประยุกต์ใช้ Coalescer ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5-1 นอกจากนี้การเร่งการแยกชั้นน้ำมันด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ นอกจากจะเป็นการช่วยลดปัญหาเรื่องน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของน้ำมันสูงแล้ว ยังมีส่วนช่วยให้การบำบัดน้ำเสียง่ายขึ้นอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1) จากผลการทดลองทั้งหมดจุดที่ทำให้ ประสิทธิภาพการลด ซีโอดี และ น้ำมันและไขมัน มีค่าสูงสุดคือ 18.56% และ 53.13% ตามลำดับคือที่ เวลา 180 นาที และ อัตราการไหล 44 ml/min ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ความสูง 10 cm จากฐานคอลัมน์ ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่า จุด Optimum โดยช่วงค่าของตัวแปรอิสระทั้งสองที่มีค่าใกล้เคียงจุด Optimum นี้คือที่อัตราการไหล 44 ถึง 89 ml/min เวลา 90 ถึง 180 นาที จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้นในช่วงที่ใกล้เคียงจุด Optimum และนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนาสมการให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการดำเนินการระบบ (Operation) หรือการขยายขนาดระบบ (Scale-up) ให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้มากขึ้นในอนาคต หรือการศึกษาพารามิเตอร์อื่นที่มีผลต่อการแยกน้ำมันเพิ่มเติมเช่นอุณหภูมิ ความหนืด pH เป็นต้น

2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการแยกน้ำมันด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์แล้วไปทำการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งอาจทดสอบเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ (Biochemical methane potential, BMP test) เพื่อศึกษาผลกระทบของการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งในปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่นิยมทำการบำบัดด้วยระบบบ่อบำบัดที่มีการบำบัดแบบไร้อากาศหรือระบบผลิตแก๊สชีวภาพร่วมด้วย

3) งานในอนาคตควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการ recycle หรือ อายุการใช้งานของวัสดุตัวกลางที่นำมาศึกษาทดลอง



ภาพประกอบที่ 5-1 แนวคิดการประยุกต์ใช้โคอะเลสเซอร์ร่วมกับถังตกจมเดิมของโรงงาน

บรรณานุกรม

- กชกร ก้องกังวาลย์. 2552. การปรับปรุงประสิทธิภาพโคอะเลสเซอร์ในการแยกน้ำมันออกจากน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมการค้าภายใน. 2550. ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศ. <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html> (สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2557).
- กรมการค้าภายใน. 2554. สถานการณ์และแนวโน้ม: น้ำมันปาล์ม. ฝ่ายวิจัยธุรกิจ. กระทรวงพาณิชย์. <http://www.exim.go.th/doc/newsCenter/11248.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 1 มกราคม 2557).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2554. แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม. <http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=job>. (สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2555).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556. โรงงานที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงสถิติโรงงานที่ได้รับอนุญาตฯ รายเดือน และรายปี ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535. <http://userdb.diw.go.th/results1.asp>. (สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2556).
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. คาดการณ์ตลาดน้ำมันปาล์ม <http://www.ryt9.com/s/iq11/1095250> (สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2557).
- ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ลูติเกียรติพงศ์ 2541.. วัสดุในงานวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร, ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ณัฐวิญญ์ ชาวเลิศพรศิยา. 2552. การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและแยกอนุภาคน้ำมันจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันตัดโดยกระบวนการโคอะเลสเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. 2524. บัญชีสารปนเปื้อน. น้ำมันปาล์ม. ฉบับที่ 56
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ, 2543. การผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง decanter และคุณลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มรายงานการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและกระบี่.

- พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และอรัญ หันพงศัคดีกุล, 2533. กระบวนการผลิตการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้ง และคุณลักษณะน้ำ ที่ได้จากโรงงานน้ำ มันปาล์ม. ว.สงขลา นครินทร์. 12(2):169-176.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. <http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&doc=rfa1jbumvwv5fdmw> (สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2557).
- วารสาร Engineering Today. 2548. นวัตกรรมน้ำมันปาล์มจากอุตสาหกรรมอาหารสู่แหล่งพลังงานทดแทน. ปีที่ 3 ฉบับที่ 36 ธันวาคม 2548.
- วุฒิวัด หล่อตระกุล, ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล และพิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล. 2552. การศึกษากระบวนการโคเอเลสเซนซ์สำหรับบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องโดยเส้นใยสแตนเลส: กระบวนการวิศวกรรม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. 1(3): 63-72.
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2553. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. วิชาการปาล์มน้ำมัน. <http://www.doa.go.th/palm/octagon.html> (สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2557).
- ศูนย์วิจัยธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร 2553 ย่อยข่าวการเกษตรทางเลือกและพืชพลังงาน คัดจากกรุงเทพธุรกิจ <http://www.thaioctober.com/forum/index.php?action=printpage;topic=720.0>
- สุดศิริ ฐิตสุภวัฒน์ และ พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล. 2554. การบำบัดและการแยกน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการอิเล็กโทรสตาติกโคเอเลสเซนซ์; แนวปฏิบัติที่ดีทางวิศวกรรม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. 3(2): 53-68.
- อรัญ หันพงศัคดีกุล และ พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์. 2536. การศึกษาวิธีการแยกน้ำมันจากน้ำที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โครงการวิจัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อรัญ หันพงศัคดีกุล พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์ และ จวีวรรณ มลิวัลย์ 2549. การใช้ Bacillus sp.A2 ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซลานเนสในการแยกน้ำมันจากน้ำที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- อรัญ หันพงศัคดีกุล และ พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์. 2551. คู่มือการปฏิบัติที่ดีในการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงานในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. โครงการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของวิสาหกิจไทย-เยอรมัน. 115.

- อรัญญา ศรีวิโรจน์. 2554. วิกฤตน้ำมันปาล์ม: บทเรียนจากนโยบายควบคุมของภาครัฐ. วาสาร Focused and Quick 23: 1-5.
- Arif Syed, M, Ahmad, S.A., Kusnin, N. and Abdul Shukor, M.Y. 2011 Purification and characterization of amidase from acrylamide-degrading bacterium Burkholderia sp. Strain Journal of Biotechnology Vol. 11(2), pp. 329-336, 5 January, 2012
- Ban, T., Shibata, M., Kawaizumi, F., Nii, S. and Takahashi, K. 2001. Enhancement of phase separation using a drop coalesce in an aqueous two-phase system. Journal of Chromatography. 760: 65-72.
- Bansal, S., Arnim, V.V., Stegmaier, T. and Planck, H. 2011. Effect of fibrous filter properties on the oil-in-water-emulsion separation and filtratin performance. J. Hazard. Mater. 190: 45–50.
- Berger, K.G. 2010. Quality and functions of palm oil in food applications. Malaysian Palm Oil Council. 17-21.
- Chavalparit, O., Rulkens, W.H., MOL, A.P.J., and Khaodhair, S., 2006. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. Environment, Development and Sustainability 8: 271–287.
- Corley, R.H.V. 2009. How much palm oil do we need?. Environmental Science and Policy 12: 134–139.
- Igwe ,J.C. and Onyegbado, C.C. 2007. A Review of Palm Oil Mill Effluent (Pome) Water Treatment. Global Journal of Environmental Research. 1(2): 54-62.
- Ji, F., Li, C., Dong, X., Li, Y. and Wang, D. 2009. Separation of oil from oily wastewater by sorption and coalescence technique using ethanol grafted polyacrylonitrile, J. Hazard. Mater. 164: 1346–1351.
- Kosal, H., Pattanachot, W. and Suksaroj, K. 2013. Treatment of oily wastewater from waste glycerol by acidification and the coaleacer process. Desalination and Water Treatment. 6:1-8.
- Kukizaki, M. and Goto, M. 2008. Demulsification of water-in-oil emulsion by permeation throught Shirasu-porous-glass (SPG) membranes. J. of Menbbrane Science. 322: 196-203.

- Lam, M.K., Tan, K.T., Lee K.T. and Mohamed, A.R. 2009. Malaysian palm oil: Surviving the food versus fuel dispute for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1456–1464.
- Lam, M.K. and Lee, K.T. 2011. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win–win strategies toward better environmental protection. *Biotechnology Advances* 29: 124–141.
- Li, J. and Gu, T. 2005. Coalescence of oil-in water emulsion in fibrous and granular beds. *Separation and Purification Technology*. 42: 1-13.
- Lin, C., He, G., Li, X., Peng, L., Dong, C., Gu, S. and Xiao, G. 2007. Freeze/thaw induced of water-in-oil emulsion with loosely packed droplets. *Separation and Purification Technology*. 56: 175-183.
- Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 1997. Environmental Management Guideline for the Palm Oil Industry. THAILAND. 73.
- Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 2008. Environmental Management Guideline for the Palm Oil Industry. THAILAND. 73.
- Mohammad, N., Alam, M.Z., Kabbashi, N.A. and Ahsan, A. 2012. Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 58: 69–78.
- Poh, P.E., Chong, M.F. 2009. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresource Technology*. 100: 1–9.
- Rupani, P.F., Singh, R.P., Ibrahim M. H. and Esa, N. 2010. Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods: Vermicomposting as a Sustainable Practice. *World Applied Sciences Journal* 11(1): 70-81.
- Šećerov Sokolovi´c, R.M., Sokolovi´c, S.M. and Dokovic, B.D. 1997. . Effect of working conditions on bed coalescence of an oil-in-water emulsion using a polyurethane foam bed. *Industry Engineering chemical resourch*. 36: 4949-4953.

- Šećerov Sokolović, R.M., Vulić, T. and Sokolović, S. 2007. Effect of bed length on steady-state coalescence of oil-in-water emulsion. *Separation and Purification Technology*. 56: 79–84.
- Šećerov Sokolović, R.M., Sokolović, S.M. and Šević, S. 2009. Oily water treatment using a new steady-state fiber-bed coalescer. *J. Hazard. Mater.* 162: 410–415.
- Šećerov Sokolović, R.M., Govedarica, D.D. and Sokolović, D.S. 2010. Separation of oil-in-water emulsion using two coalescence of different geometry. *J. Hazard. Mater.* 162: 1001–1006.
- Silalertruksa, T., Bonnet, S. and Gheewala S.H. 2012. Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. *Journal of Cleaner Production* 28: 225-232.
- Singh, R.P., Ibrahim, M.H., Esa, N. and Iliyana, M.S. 2010. Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 9: 331–344. DOI 10.1007/s11157-010-9199-2.
- Speth, H., Pfenning, A., Chatterjee, M. and Franken, H. 2003. Coalescence of secondary dispersions in fiber beds. *Separation and Purification Technology*. 29: 113-119.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, J.M. and Anuar N. 2009. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. *Biotechnology Advances* 27: 40–52.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, J.M. and Anuar N. 2010. Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal of Environmental Management* 91: 1467-1490.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

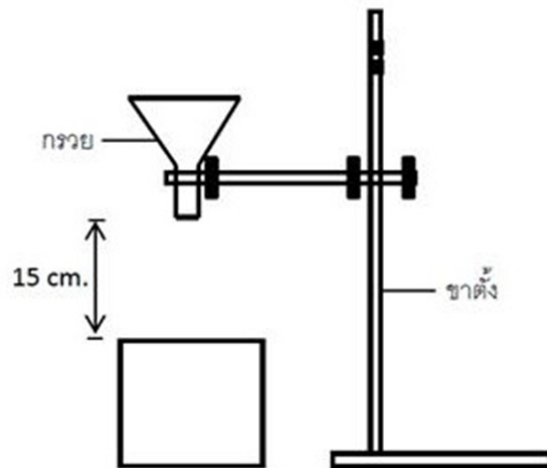
ความหนาแน่นรวม (bulk density)

เป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่น (density) ของวัสดุปริมาณมวล (bulk material) ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่าง (pore) ระหว่างชิ้นวัสดุด้วยการหาค่า bulk density ทำได้โดยการบรรจุวัสดุลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรแล้วนำไปชั่ง ปราด หรือเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ซึ่งจะต้องระบุความสูงของระดับที่เทวัสดุลงในภาชนะด้วยเนื่องจากมีผลต่อการอัดแน่น (Compaction) ของวัสดุ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวล (mass) ของวัสดุ}}{\text{ปริมาตร (volume) ของวัสดุ}}$$

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- 2) วัสดุตัวอย่าง
- 3) Beaker ขนาด 1 ลิตรจำนวน 1 ใบ



ภาพประกอบ ก-1 การเตรียมอุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

วิธีการคำนวณหาน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันและไขมัน ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Soxhlet Extraction Method หลักการวิเคราะห์ ปริมาณ น้ำมันและไขมันในน้ำคือการสกัดน้ำมันและไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ในที่นี้ใช้ n-hexane เป็นตัวทำละลาย ทำให้ตัวอย่างเป็นกรด (acidify) โดยใช้ 1:1 HCl (หรือ 1:1 H₂SO₄) จนได้ pH 2 หรือต่ำกว่า จากนั้นเก็บในตู้เย็น (ในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ภายในเวลา 2 ชั่วโมง)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดเครื่องมือที่ใช้สำหรับสกัด(soxhlet)
2. เครื่องดูดสุญญากาศ
3. Buchner funnel
4. อ่างไอน้ำ
5. ขวดสกัด (extraction flask)
6. เครื่องชั่งทศนิยมสามตำแหน่ง
7. ตู้อบ
8. Glass vials
9. เดซิเคเตอร์
10. กระดาษกรอง Whatman No.40 เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร
11. ฝ้ามัสลินตัดเป็นวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร
12. หลอดสำหรับสกัด (paper extraction thimble)
13. กรด HCl
14. Solvent mixture, 80% n-hexane/20% MTBE (V/V)

วิธีการหา

1. เตรียมตัวอย่าง โดยทำให้เป็นกรดด้วย 1:1HCl จนมี pH 2 หรือต่ำกว่า
2. เตรียมการกรองโดยการวางฝ้ามัสลินบนที่กรองแล้ววางทับด้วยกระดาษกรอง แล้วผ่านสารละลาย filter aid ลงไปบนที่กรองแล้วเปิดเครื่องสุญญากาศและล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร จนกระทั่งแห้ง

3. กรองตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้ดูจนแห้ง
15. ใช้ปากกิมหีบกระดาษกรองออกมา วางบนกระดาษนาฬิกา เช็ดข้างๆที่กรองโดยใช้กระดาษกรองชุ่มเฮกเซนเช็ดด้านข้างของกรวยบูชเนอร์ วางกระดาษกรองนี้รวมบนกระดาษนาฬิกา ม้วนกระดาษกรองเข้าด้วยกันแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับสกัดที่ทำด้วยกระดาษกรอง (paper extraction thimble)
4. นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใส่เม็ดแก้วลงไปให้เต็ม ชั่งขวดที่จะใช้สกัด ใส่ thimble ลงไปในเครื่องสกัด เติม Solvent mixture ลงในขวดที่ใช้สกัด แล้วสกัดที่อัตราเร็ว 20 รอบต่อชั่วโมงเป็นเวลา 4 ชั่วโมง นับจากเริ่มการสกัดรอบแรก
5. จากนั้นกลั่นตัวทำละลายจากขวดสกัดในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วนำขวดที่ใช้สกัดไปทำให้แห้งโดยใช้อ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 1 นาที
6. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ 30 นาที ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของขวดสกัดคือ ปริมาณน้ำมันและไขมัน

$$\text{mg/l Oil and Grease} = \frac{(B - A)}{\text{ml Sample}} \times 1000$$

เมื่อ A = น้ำหนักของขวดสกัดก่อนการทดลอง (mg)

B = น้ำหนักของขวดสกัดหลังการทดลอง (mg)

วิธีการคำนวณหา COD

การหา COD ทำได้โดยใช้สาร oxidant ที่สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ในตัวอย่างได้สูง ในที่นี้ใช้โพแทสเซียมไดโครเมต

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Digestion vessel ขนาด 16x100 มิลลิเมตร พร้อมด้วยฝาเกลียวปิดซึ่งภายในเป็น TFE
2. Block heater ให้ความร้อน พร้อมรูสำหรับใส่หลอด
3. test tube rack
4. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับใช้ย่อยสลาย 0.01667 M
5. สารละลายไทเทรนต์เฟอร์ริสแอมโมเนียมซันเฟต (FAS) 0.1 M
6. น้ำยากรดซันฟิวริก
7. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์

วิธีการหา

1. ใส่ตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอด digestion vessel เติมสารละลายสำหรับใช้ย่อยสลาย 1.5 มิลลิลิตรและน้ำยากรดซันฟิวริก 3.5 มิลลิลิตร
2. ปิดจุกหลอดให้แน่น กลับหลอดไปมาหลายครั้งเพื่อให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์
3. วางหลอดลงใน block digester ที่ preheat ไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสก่อนแล้ว รีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง
4. ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วถ่ายหลอดลงใน test tube rack
5. เติม 0.1 มิลลิลิตรของเฟอร์โรอินดิเคเตอร์แล้วคนอย่างรวดเร็ว
6. ไทเทรตด้วย 0.1 M FAS จุดสิ้นสุดเมื่อสีเปลี่ยนจาก blue-green ไปเป็น reddish-brown
7. ทำการรีฟลักซ์และไทเทรตแบบลงค้ำซึ่งมีน้ำกลั่นและน้ำยาเคมีในปริมาณเดียวกันกับตัวอย่าง

$$\text{COD} = \frac{(A-B) \times M \times 8,000}{\text{ml (sample)}}$$

เมื่อ	M	= molarity ของ FAS
	A	= ปริมาตรของ FAS ที่ใช้สำหรับแบลนค์ (ml)
	B	= ปริมาตรของ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (ml)
	8,000	= น้ำหนักมิลลิกรัมสมมูลย์ของออกซิเจน x 1,000

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตาราง ค-1 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการตั้งไว้ให้แยกชั้นตามธรรมชาติ

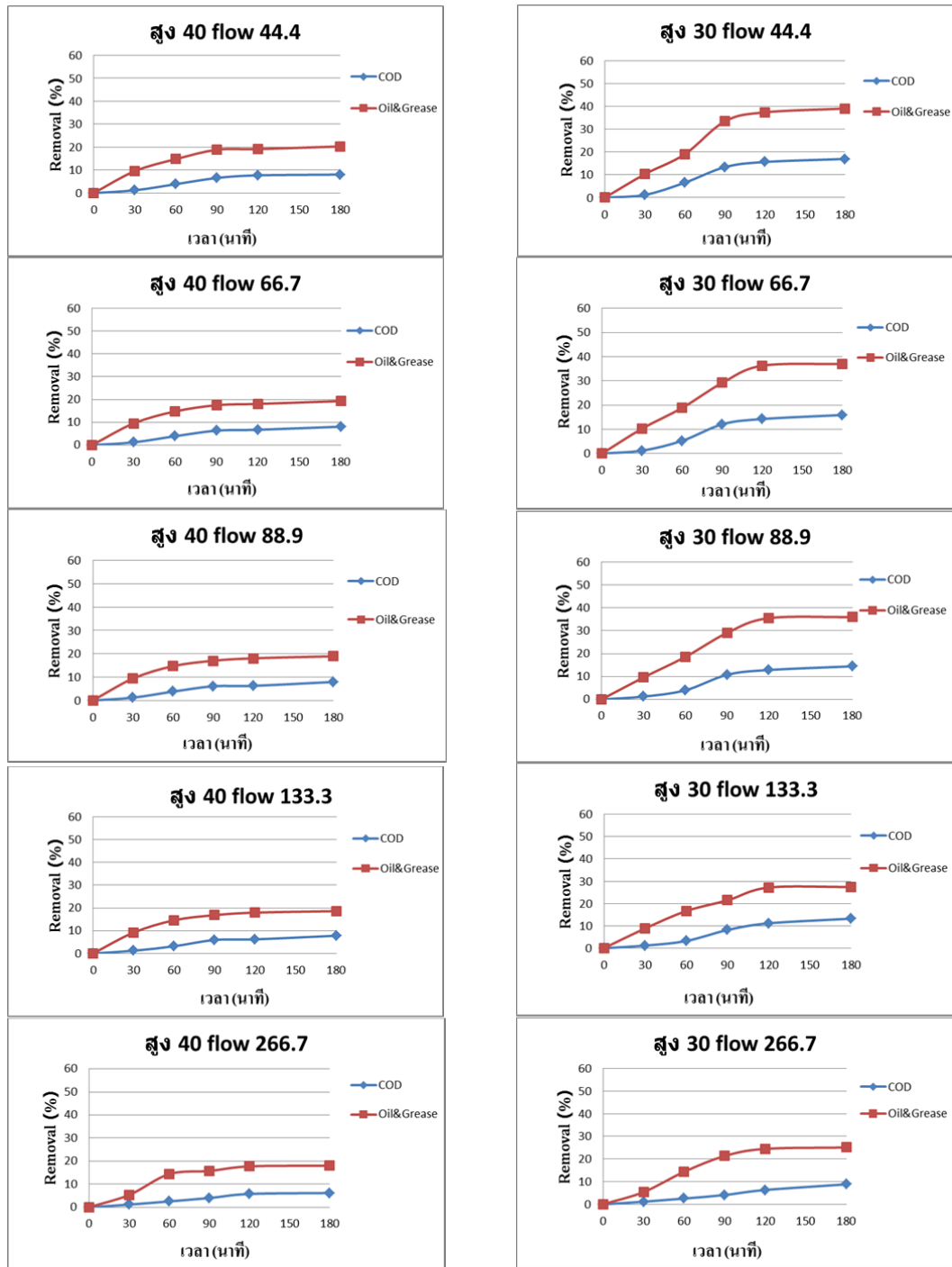
เวลา (นาที)	COD Removal (%)	Oil&grease Removal (%)
30	1.20	6.25
60	4.60	8.59
90	5.90	10.55
120	10.59	18.65
150	10.59	18.65
180	10.60	18.65
210	10.60	18.65
240	10.60	18.66
270	10.60	18.65
300	10.60	18.66

ตาราง ค-2 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยโคอะเลสเซอร์โดยใช้วัสดุตัวกลาง PP ชนิด Fiber

จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
10 cm	30	1.19	4.17	1.21	6.25	1.21	8.33	1.22	9.32	1.24	9.38
	60	2.69	16.67	3.33	16.88	14.57	18.23	14.58	18.54	14.68	18.75
	90	4.13	35.42	8.24	35.42	18.25	38.75	18.27	39.58	18.30	39.69
	120	6.42	37.60	11.24	38.54	18.38	45.85	18.42	47.29	18.55	48.02
	180	11.72	37.71	14.66	38.91	18.41	50.42	18.43	51.88	18.56	53.13
20 cm	30	1.18	5.21	1.19	8.33	1.19	9.38	1.21	9.58	1.22	9.90
	60	2.58	15.10	3.30	16.77	14.35	18.23	14.45	18.54	14.46	18.75
	90	4.12	32.29	8.22	34.58	17.44	39.06	18.23	39.38	18.28	39.58
	120	6.37	35.63	11.22	36.56	18.17	45.85	18.37	46.35	18.46	46.67
	180	11.63	35.94	14.63	36.82	18.19	48.96	18.41	50.00	18.55	51.75

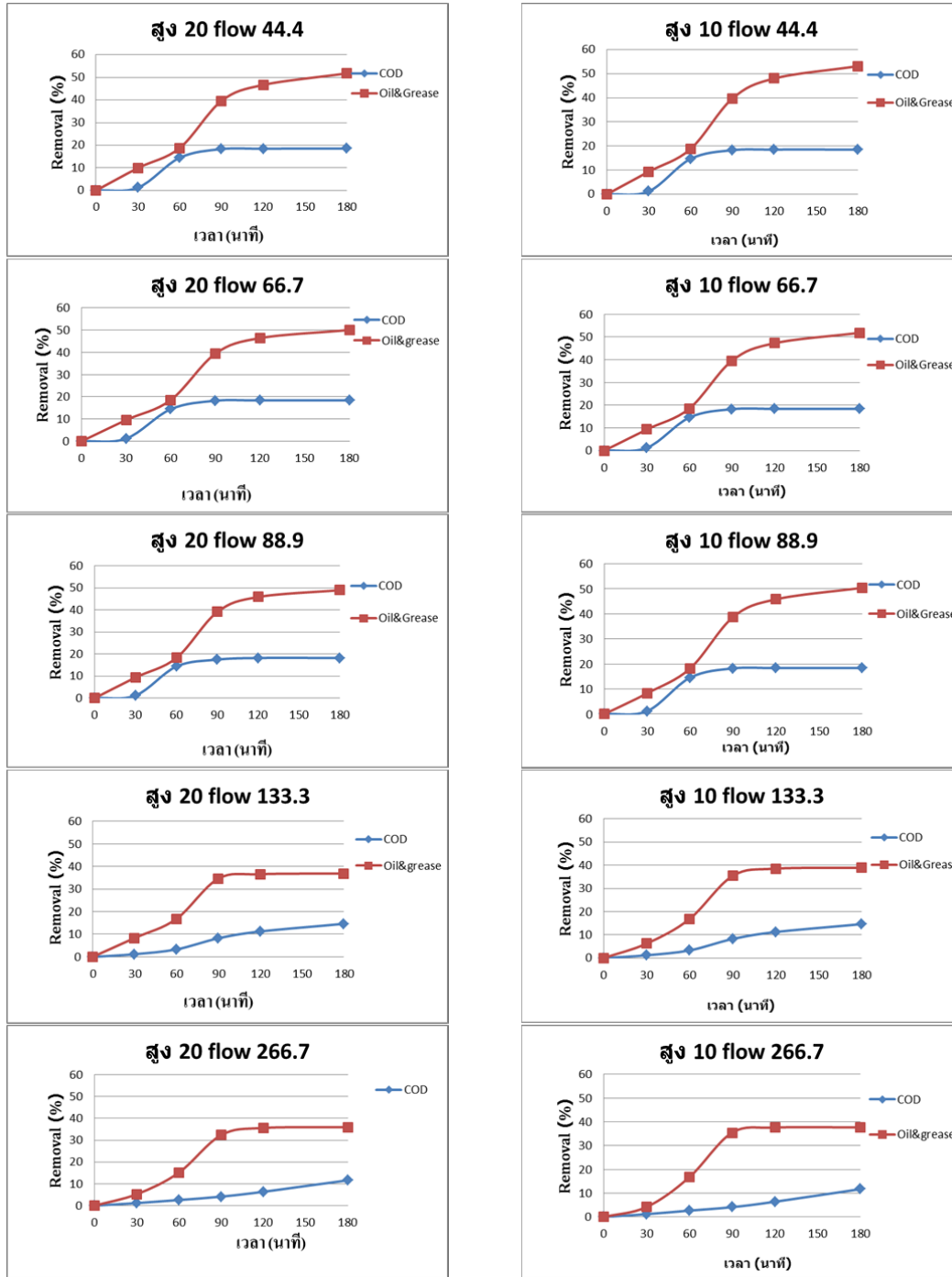
จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
30 cm	30	1.15	5.42	1.18	8.85	1.19	9.58	1.19	10.29	1.21	10.31
	60	2.54	14.38	3.24	16.67	3.94	18.54	5.25	18.85	6.57	19.06
	90	4.11	21.35	8.17	21.46	10.73	29.06	12.06	29.17	13.37	33.46
	120	6.33	24.48	11.14	27.19	12.83	35.52	14.23	36.25	15.63	37.40
	180	8.84	25.10	13.25	27.45	14.45	36.00	15.90	37.00	16.97	39.06
40 cm	30	1.13	5.31	1.17	9.17	1.18	9.38	1.18	9.49	1.20	9.57
	60	2.53	14.38	3.13	14.58	3.77	14.69	3.88	14.74	3.88	14.79
	90	4.00	15.73	5.90	16.82	6.04	16.98	6.30	17.48	6.57	18.88
	120	5.74	17.71	6.17	17.92	6.24	18.02	6.72	18.05	7.70	19.17
	180	6.17	18.00	7.77	18.59	7.90	18.91	8.04	19.27	8.05	20.31

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูง 30 และ 40 cm



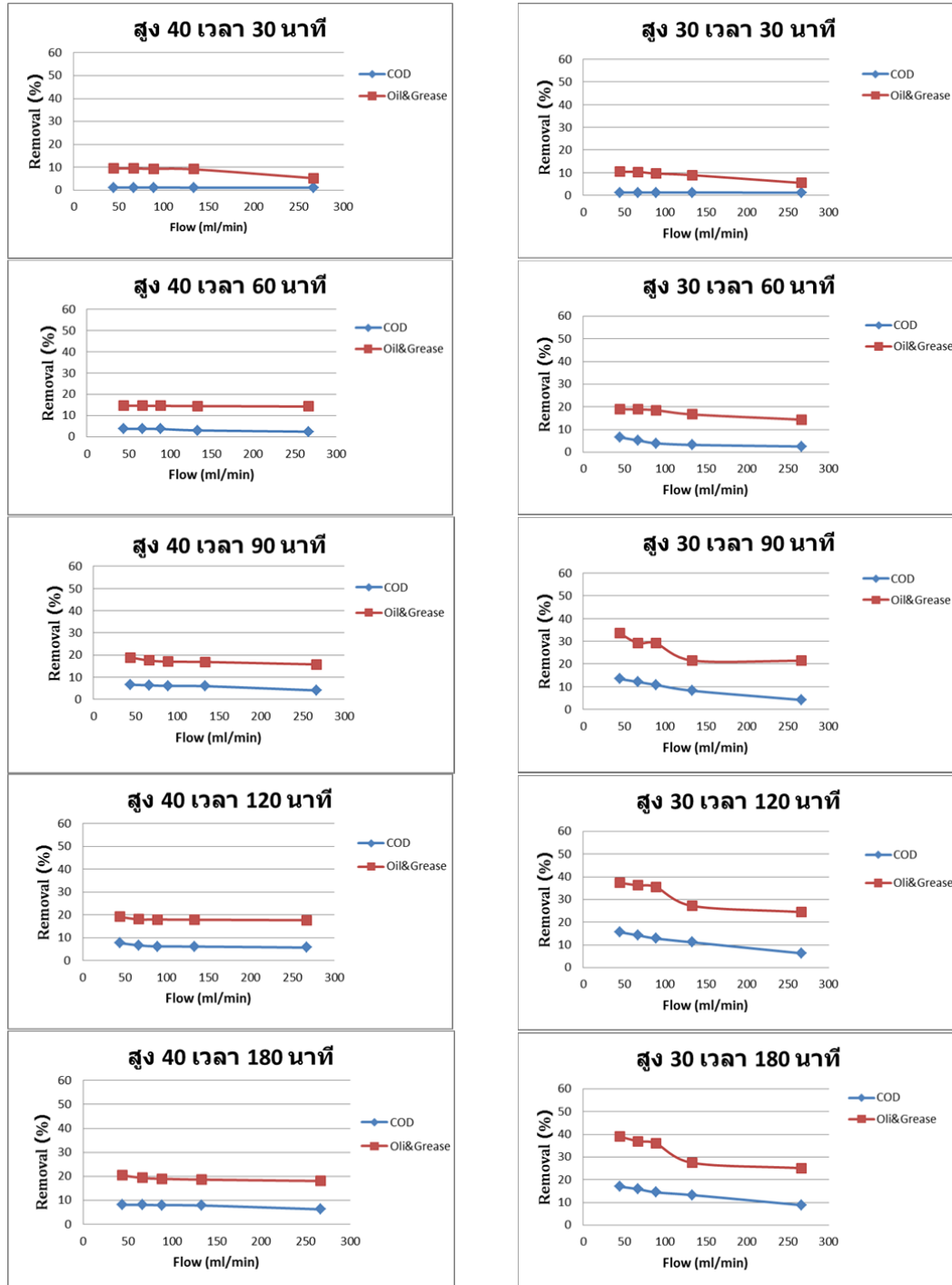
ภาพ ค-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลาที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่ความสูง 10 และ 20 cm



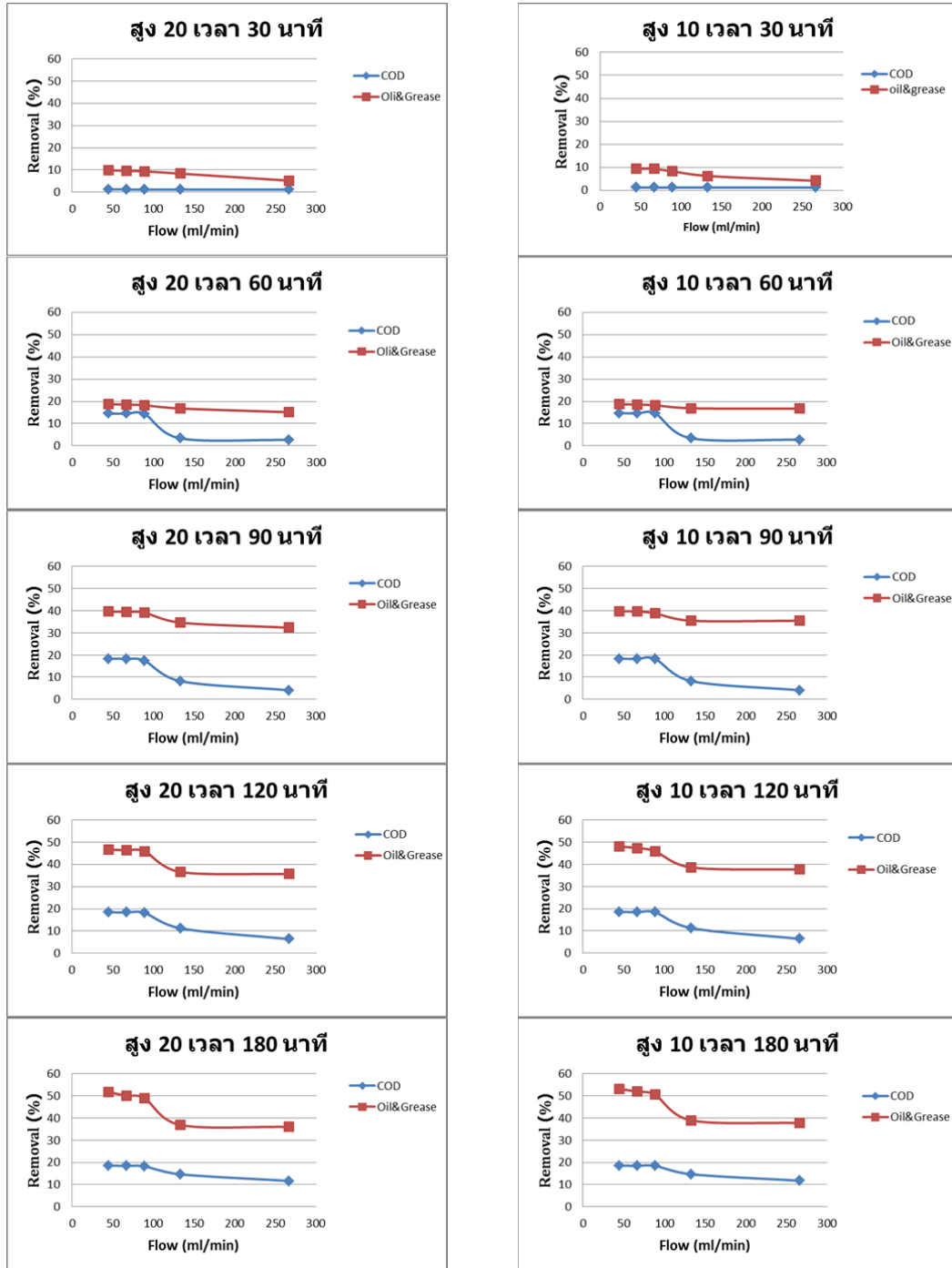
ภาพ ค-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 30 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของ โคลอสเทเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 30 และ 40 cm



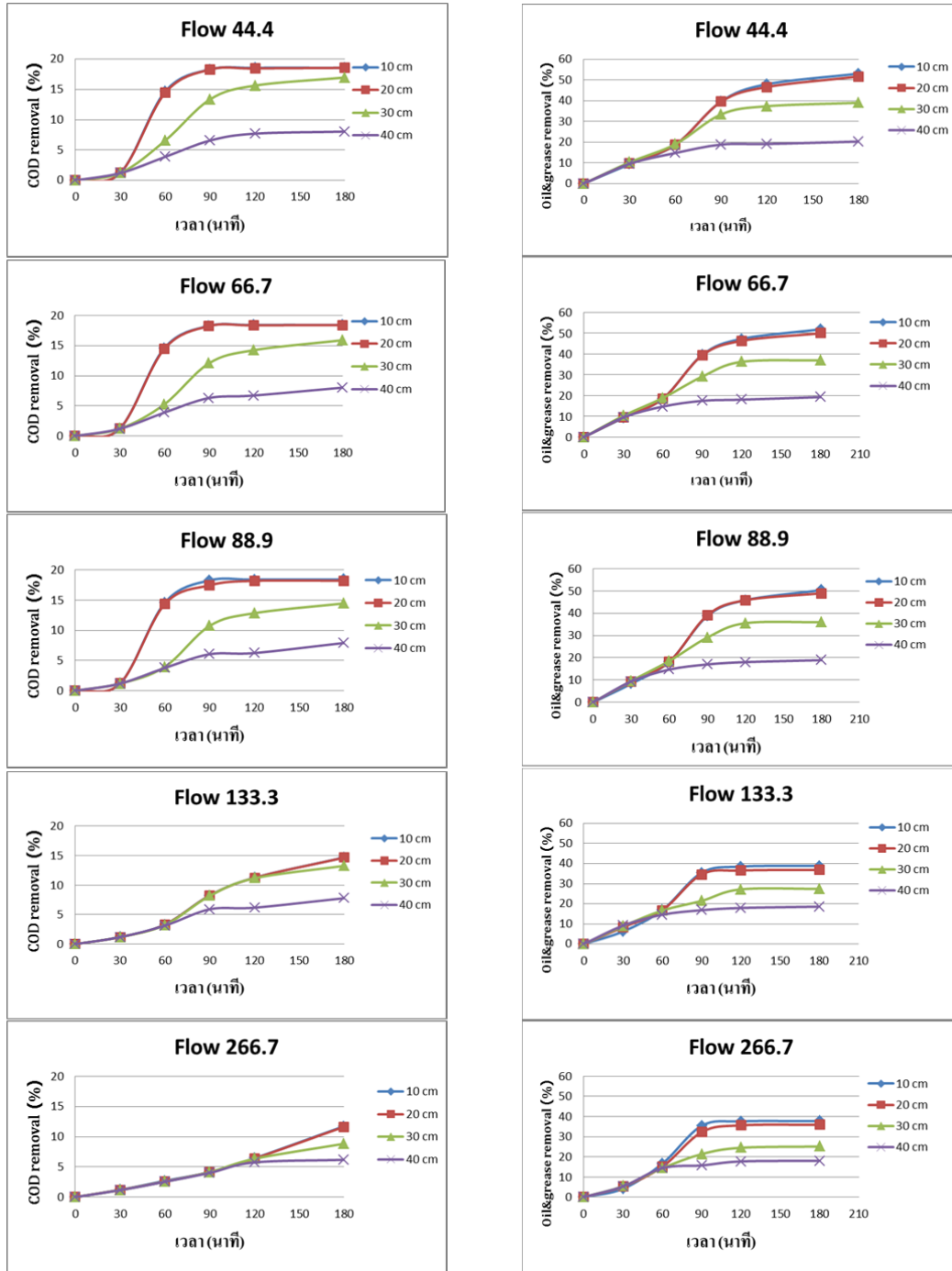
ภาพ ก-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 10 และ 20 cm



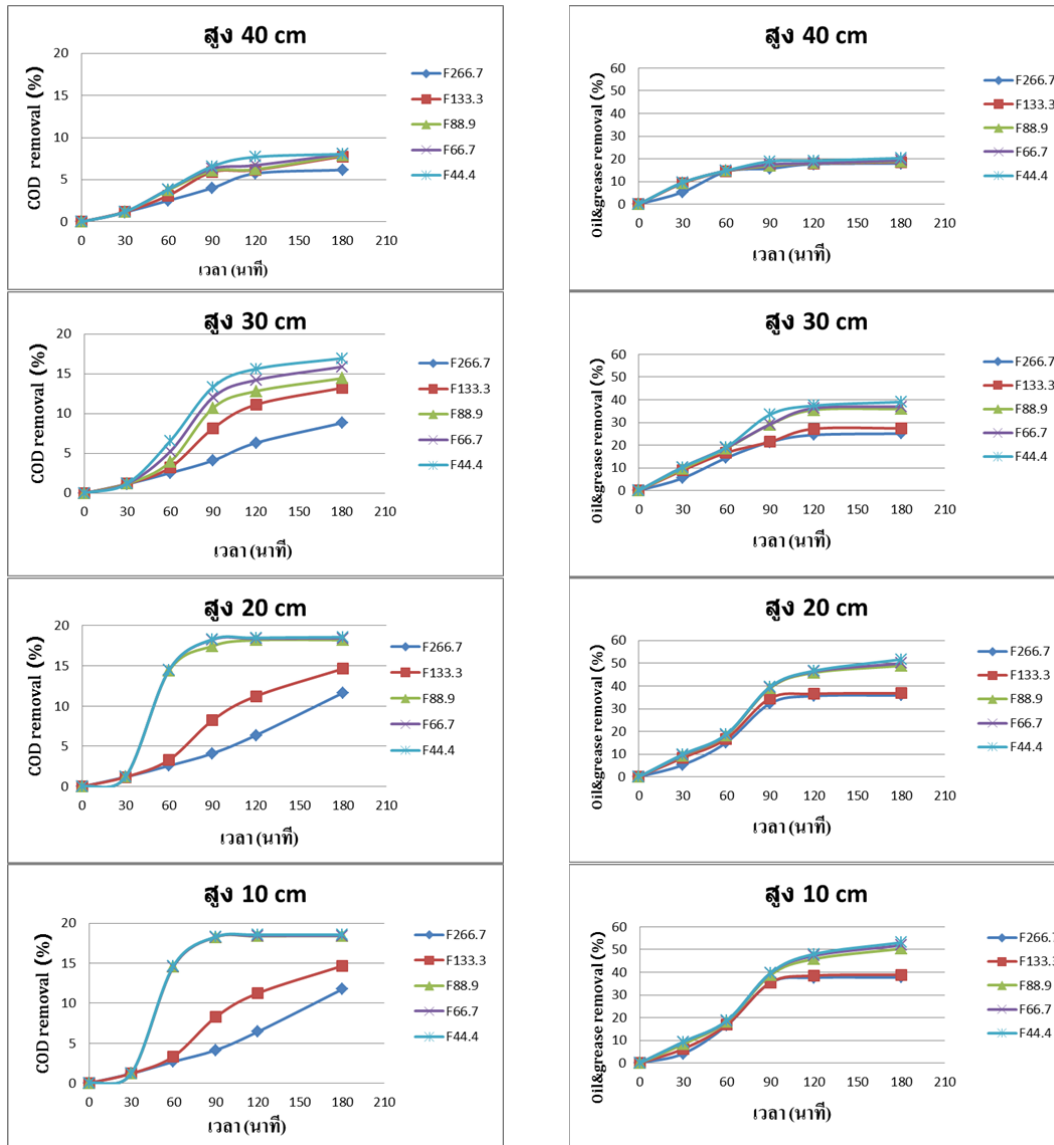
ภาพ ค-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของ โคลอสเตเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูงต่างๆ



ภาพ ค-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 20 30 และ 40 cm เมื่อพิจารณาอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคโละเลสเตอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

พิจารณาตามความสูงที่อัตราการไหลต่างๆ



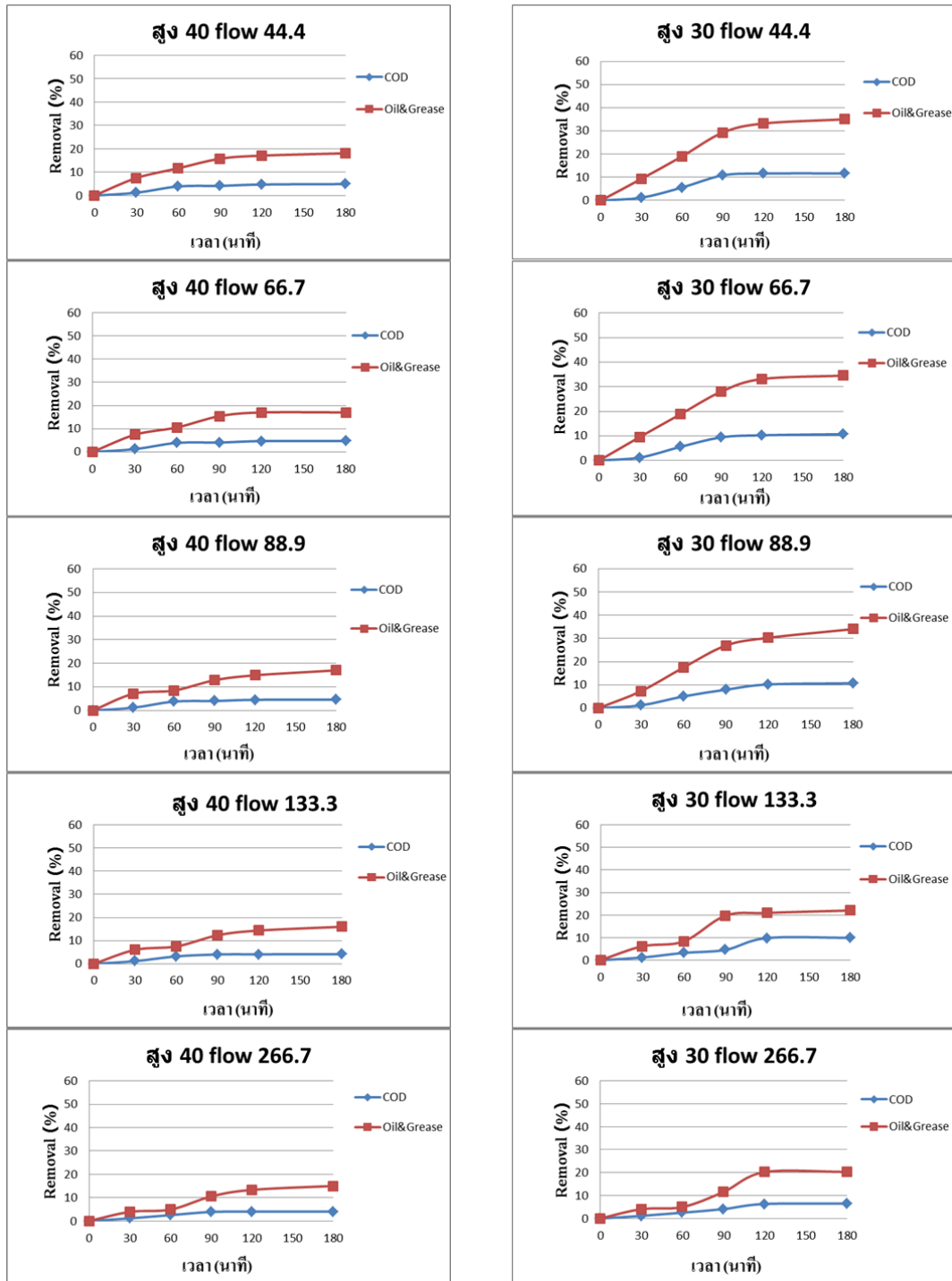
ภาพ ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่อัตราการไหล 44.4 66.7 88.9 133.3 และ 266.7 ml/min เมื่อพิจารณาที่ความสูงตั้งแต่ 10 ถึง 40 cm ของโคเอสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ fiber เป็น media

ตาราง ค-3 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยโคอะเลสเซอร์โดยใช้วัสดุตัวกลาง PP ชนิด Granular

จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
10 cm	30	1.19	4.17	1.21	6.46	1.21	9.17	1.22	9.32	1.24	10.31
	60	2.69	6.20	3.33	7.24	6.57	15.10	6.58	15.42	6.69	15.63
	90	4.13	14.58	8.24	16.67	11.59	28.33	12.93	29.17	12.97	29.27
	120	6.42	25.94	11.24	28.13	13.05	38.56	13.09	38.96	13.22	39.58
	180	7.20	30.00	12.30	32.03	14.60	47.29	14.61	48.00	14.91	48.02
20 cm	30	1.18	4.11	1.18	6.25	1.19	7.40	1.21	9.58	1.22	9.90
	60	2.58	5.31	3.30	7.03	6.46	9.38	6.54	18.54	6.56	18.75
	90	4.12	13.54	8.22	16.35	11.04	28.13	12.90	39.38	12.95	39.58
	120	6.37	25.83	11.22	26.15	12.84	37.52	13.03	46.35	13.13	46.67
	180	7.19	29.80	12.21	31.51	14.59	46.04	14.59	47.00	14.89	47.08

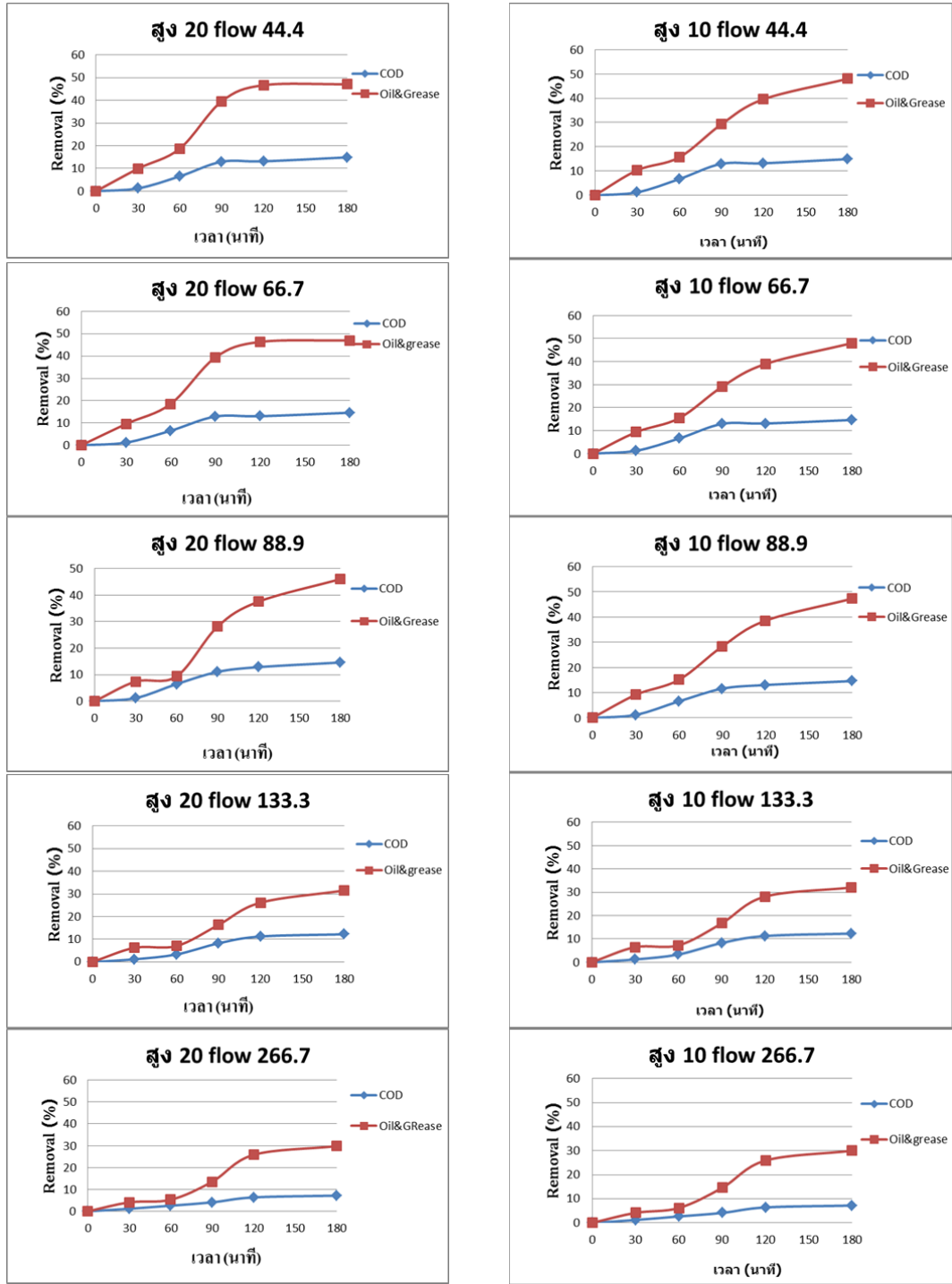
จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
30 cm	30	1.14	4.06	1.18	6.15	1.18	7.29	1.19	9.58	1.21	9.38
	60	2.54	5.00	3.24	8.33	5.02	17.50	5.56	18.85	5.61	19.06
	90	4.11	11.56	4.57	19.74	7.93	26.98	9.40	28.02	10.83	29.29
	120	6.33	20.21	9.81	20.94	10.17	30.31	10.23	33.13	11.63	33.23
	180	6.50	20.31	9.93	22.03	10.70	34.07	10.70	34.53	11.70	35.05
40 cm	30	1.13	3.91	1.17	6.04	1.18	7.08	1.18	7.41	1.20	7.49
	60	2.53	4.90	3.21	7.50	3.77	8.44	3.88	10.57	3.90	11.67
	90	3.87	10.52	4.04	12.34	4.01	12.81	4.02	15.40	4.14	15.75
	120	4.00	13.33	4.10	14.38	4.50	14.90	4.64	17.01	4.70	17.08
	180	4.05	15.00	4.14	16.00	4.60	17.00	4.71	17.03	4.90	18.07

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูง 30 และ 40 cm



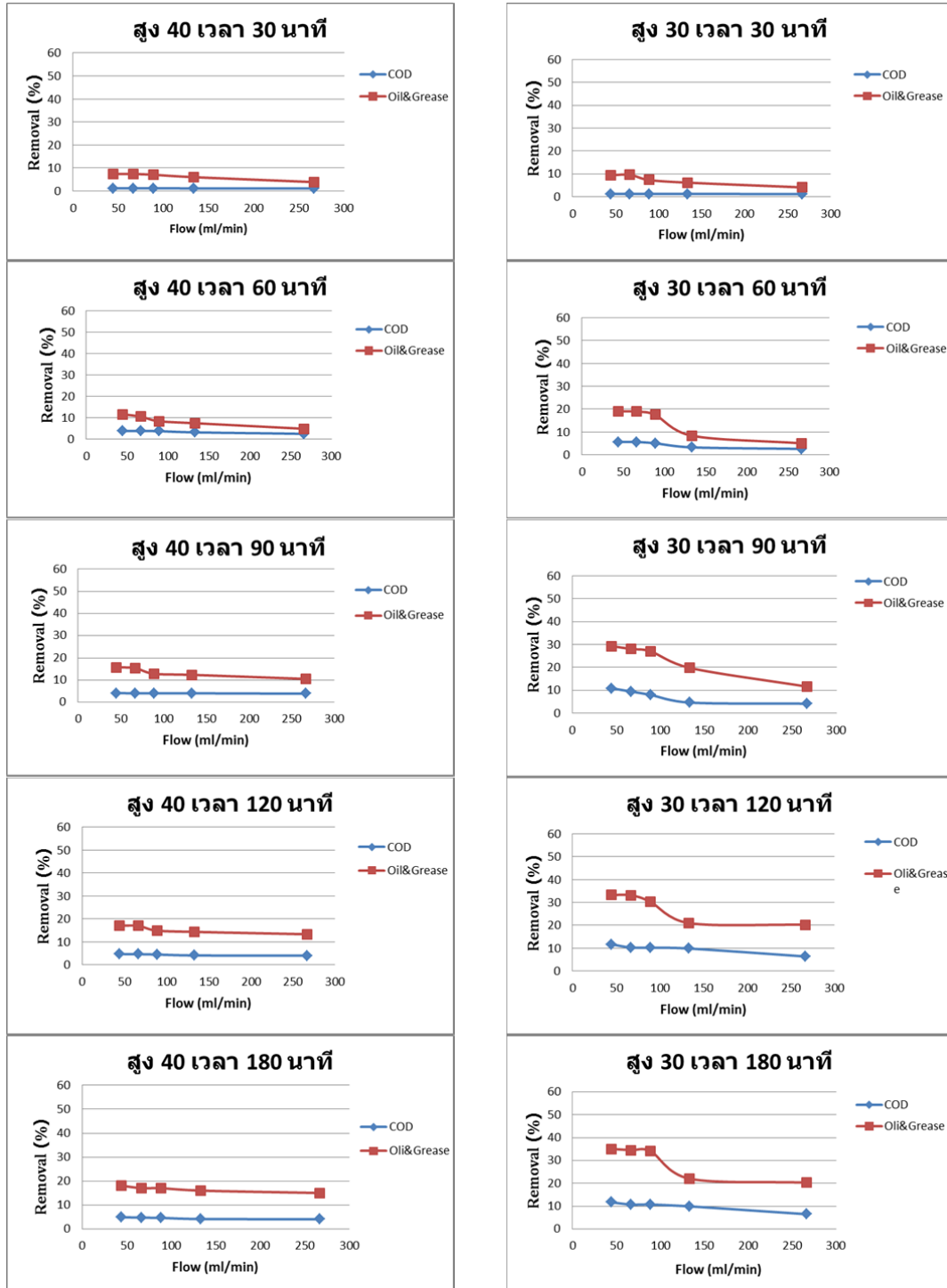
ภาพ ก-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลาที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่ความสูง 10 และ 20 cm



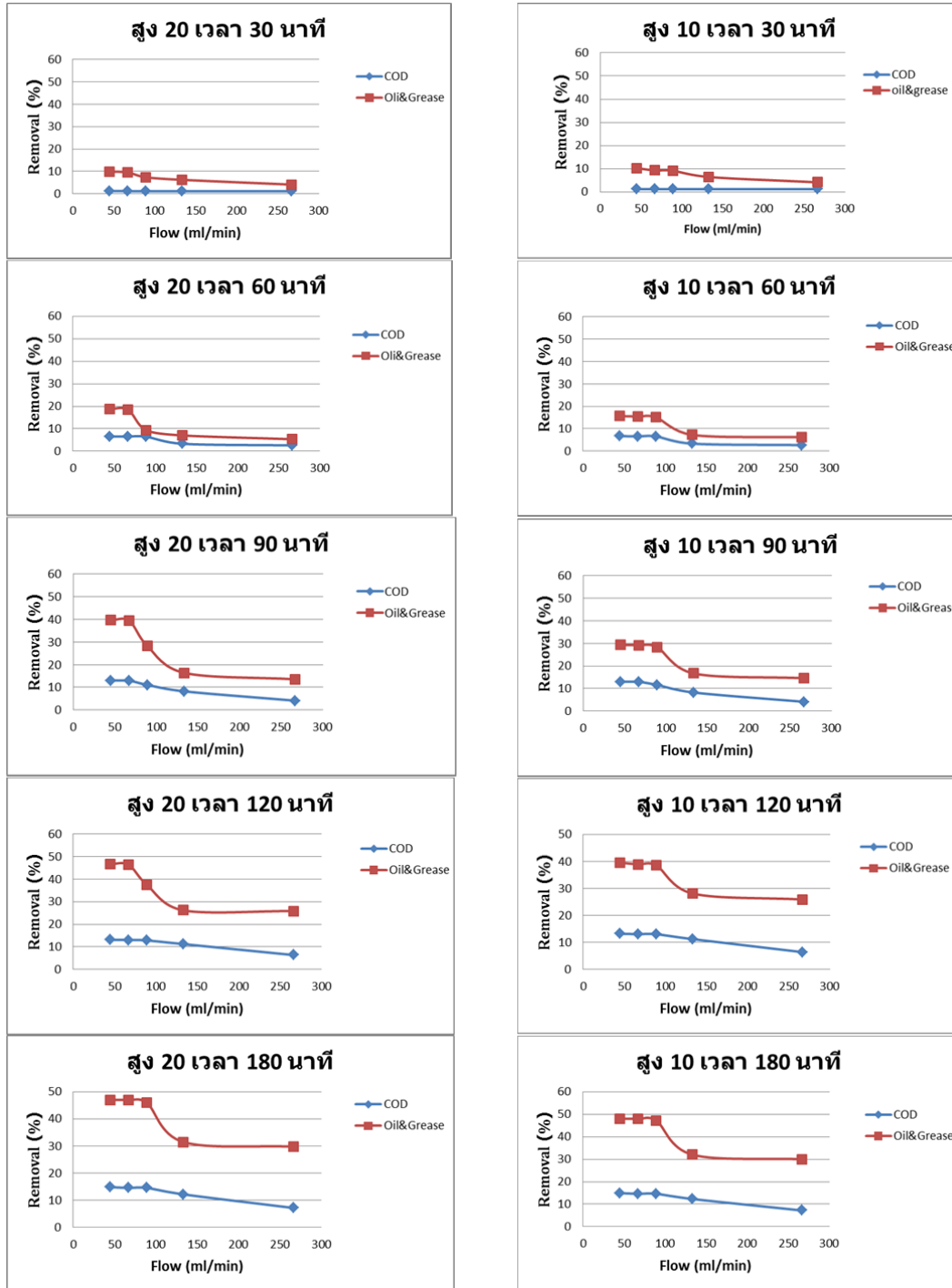
ภาพ ก-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลาที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 30 และ 40 cm



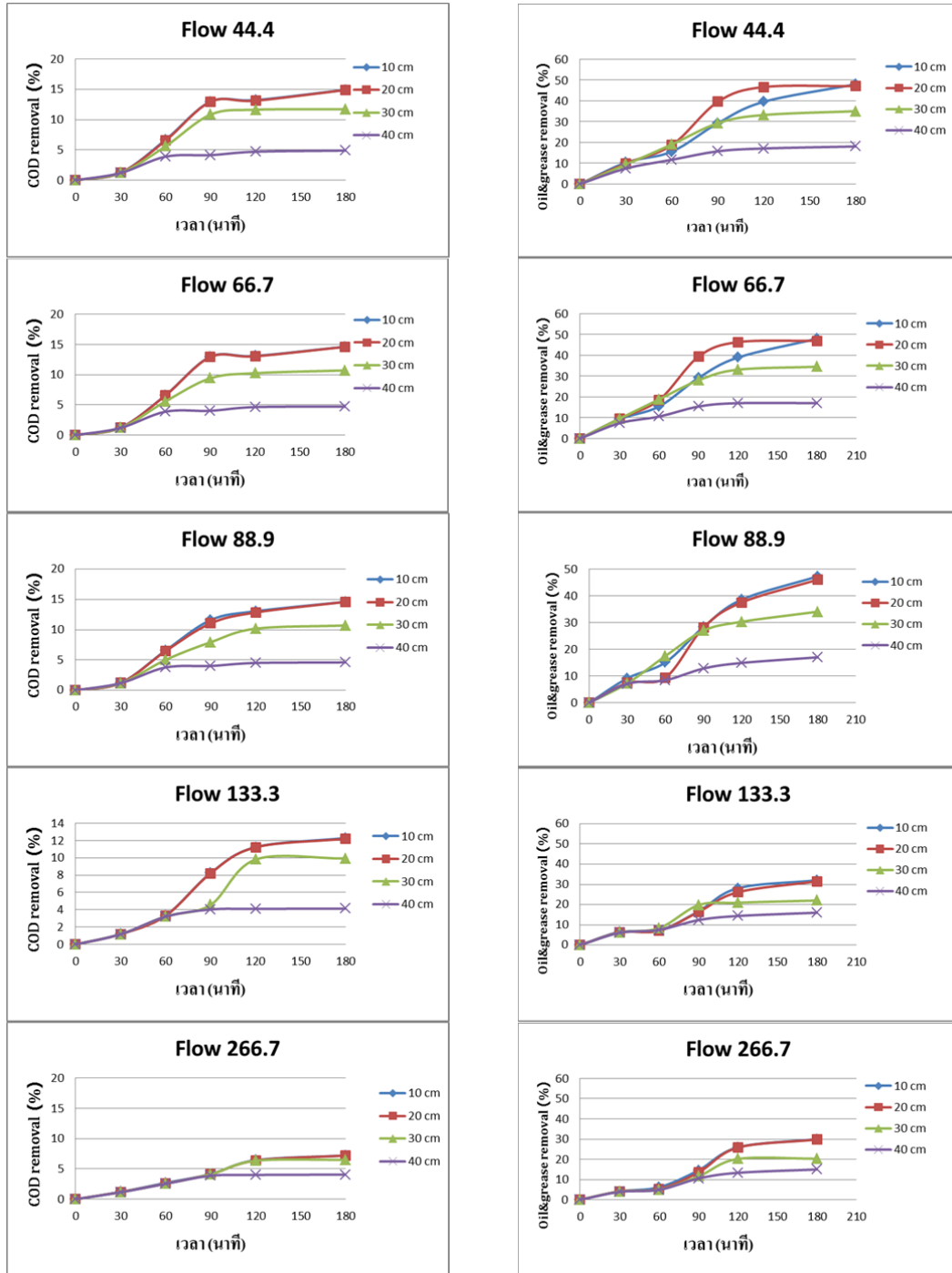
ภาพ ก-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 10 และ 20 cm



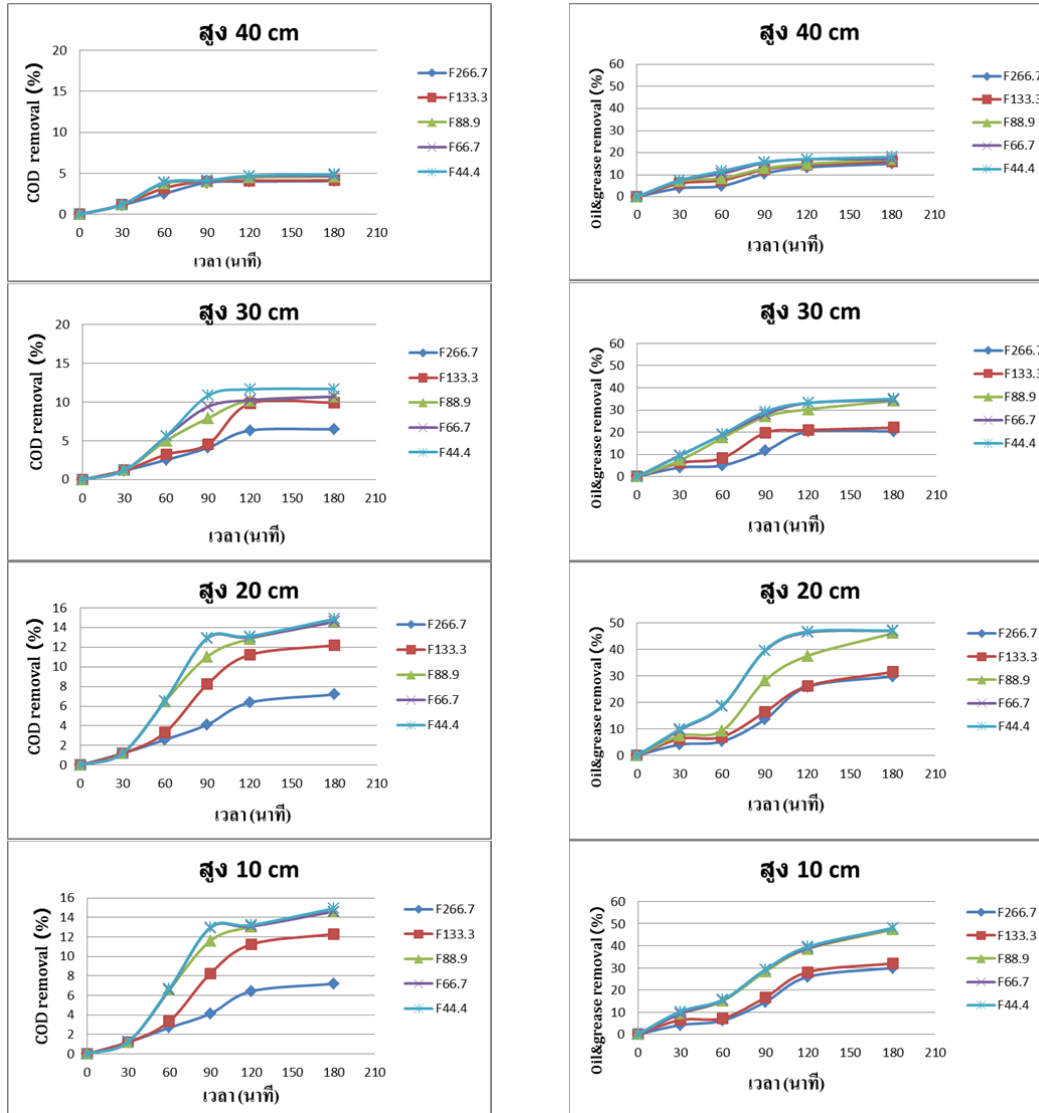
ภาพ ก-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูงต่างๆ



ภาพ ค-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 20 30 และ 40 cm เมื่อพิจารณาอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของ โคละเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามความสูงที่อัตราการไหลต่างๆ



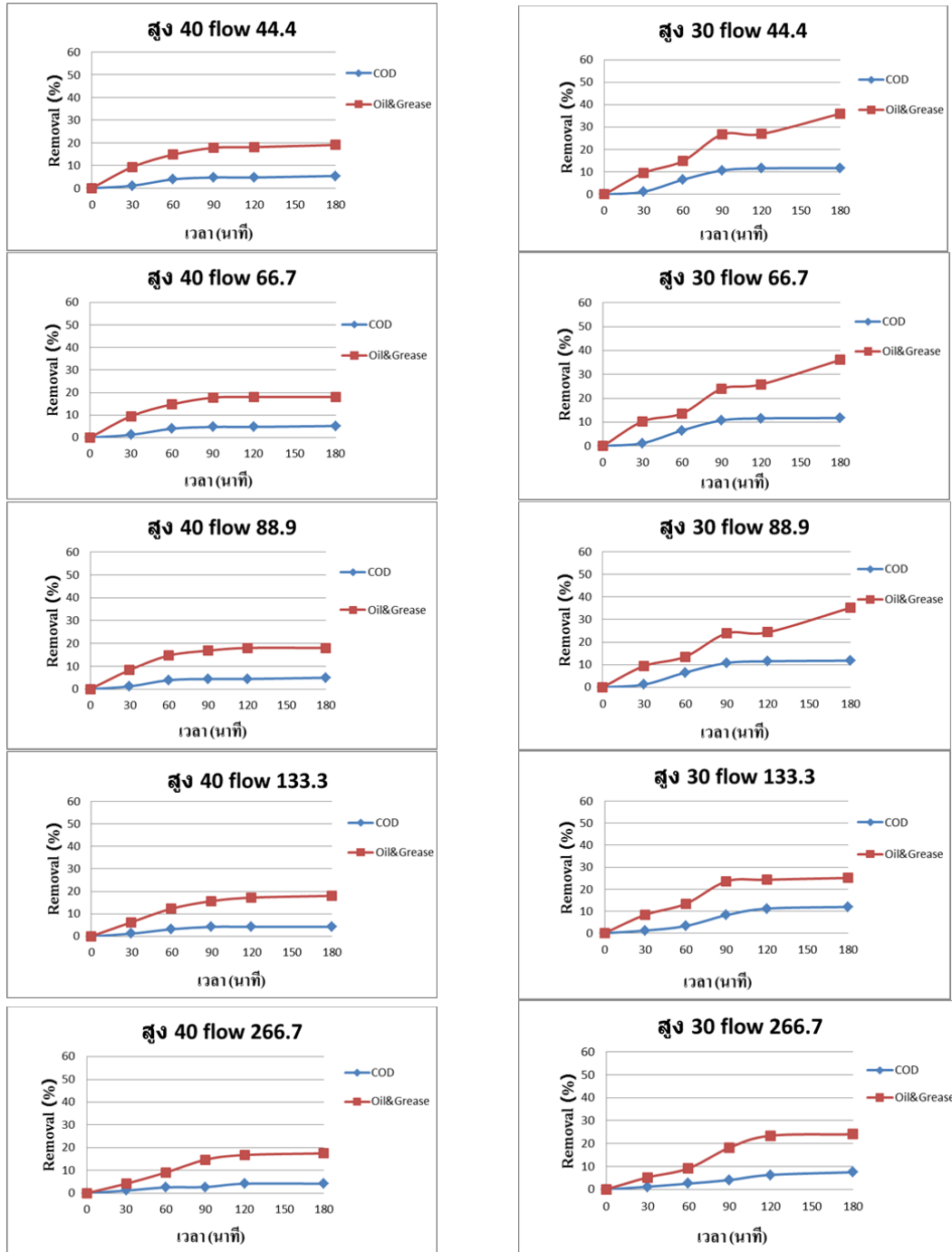
ภาพ ค-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่อัตราการไหล 44.4 66.7 88.9 133.3 และ 266.7 ml/min เมื่อพิจารณาที่ความสูงตั้งแต่ 10 ถึง 40 cm ของโคเอสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PP แบบ Granular เป็น media

ตาราง ค-4 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยโคเอสเซอร์โดยใช้วัสดุตัวกลาง PET ชนิด Fiber

จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
10 cm	30	1.198	4.17	1.205	6.25	1.210	8.33	1.221	9.32	1.238	9.38
	60	6.138	10.42	6.145	13.75	11.089	15.10	11.099	15.42	6.685	15.63
	90	6.336	24.48	11.084	26.04	15.535	26.25	15.544	28.13	15.559	28.23
	120	7.028	35.52	12.072	36.46	15.584	45.85	15.766	47.29	15.766	48.02
	180	8.114	36.25	13.324	37.41	15.634	50.42	15.643	51.51	15.657	52.08
20 cm	30	1.196	5.21	1.198	8.33	1.201	9.38	1.214	9.58	1.212	9.90
	60	6.136	9.90	6.138	13.65	11.081	14.06	11.093	15.42	6.685	15.52
	90	6.333	24.06	11.078	24.38	15.527	39.06	15.538	39.38	15.536	39.58
	120	7.025	35.42	12.066	35.63	15.576	45.85	15.766	46.35	15.766	46.67
	180	8.112	35.21	13.324	36.25	15.626	48.13	15.637	49.22	15.699	50.00

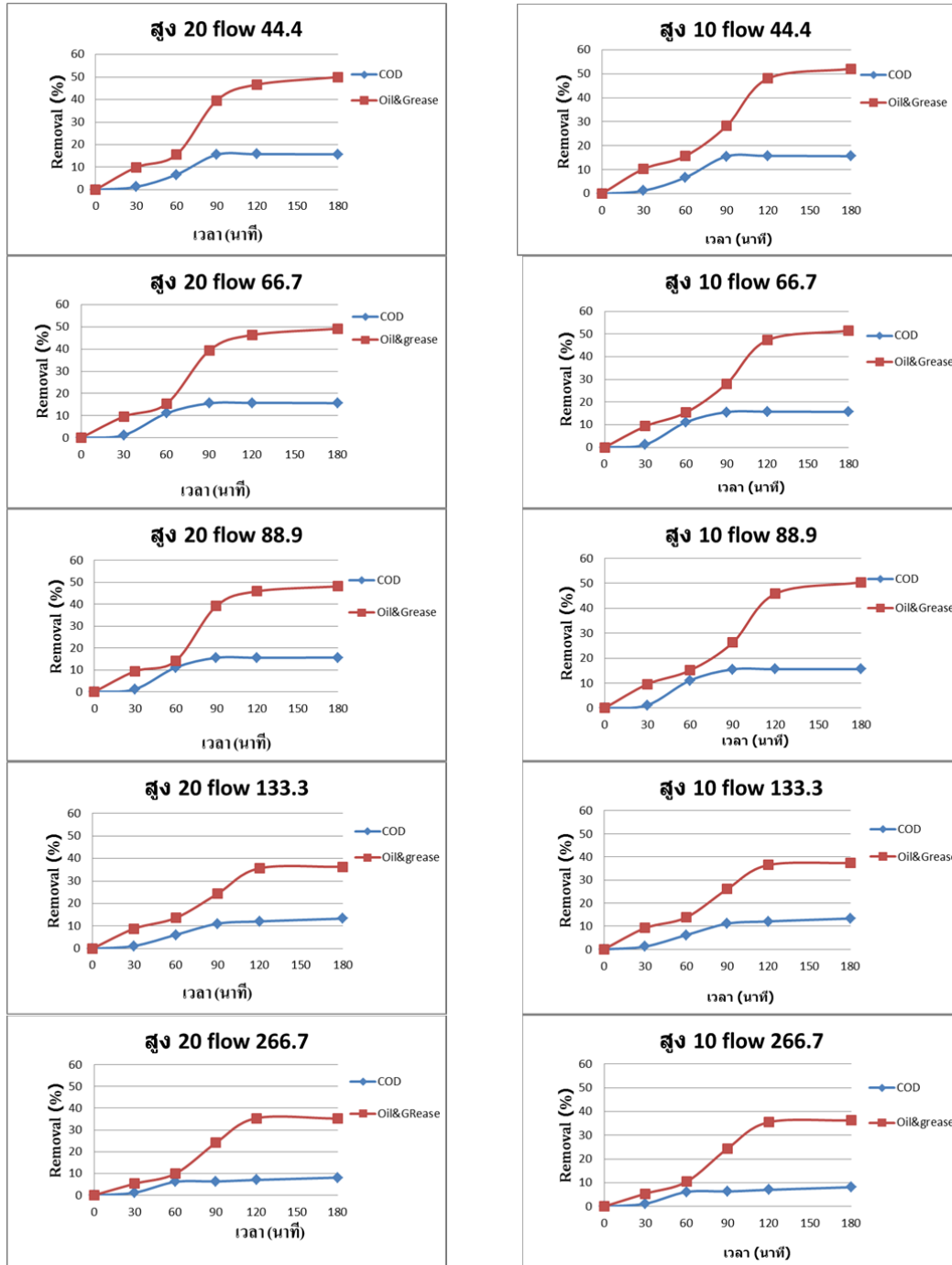
จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
30 cm	30	1.145	5.42	1.178	8.85	1.185	9.58	1.192	10.29	1.212	10.31
	60	2.544	9.17	3.237	13.33	6.503	13.54	6.529	13.65	6.569	14.90
	90	4.110	18.23	8.169	23.54	10.728	23.85	10.728	23.96	10.703	26.79
	120	6.330	23.44	11.141	24.27	11.501	24.38	11.568	25.83	11.634	26.98
	180	7.502	24.06	11.914	25.10	11.782	35.21	11.701	36.04	11.754	36.02
40 cm	30	1.132	5.31	1.172	9.17	1.178	9.38	1.184	9.49	1.092	9.57
	60	2.531	9.07	3.131	12.29	3.917	14.69	3.924	14.74	3.930	14.79
	90	2.667	14.69	4.170	15.63	4.410	16.82	4.677	17.73	4.704	17.79
	120	4.144	16.77	4.197	17.19	4.437	17.99	4.704	18.02	4.730	18.13
	180	4.170	17.50	4.184	18.00	4.970	18.01	5.103	18.02	5.370	19.06

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูง 30 และ 40 cm



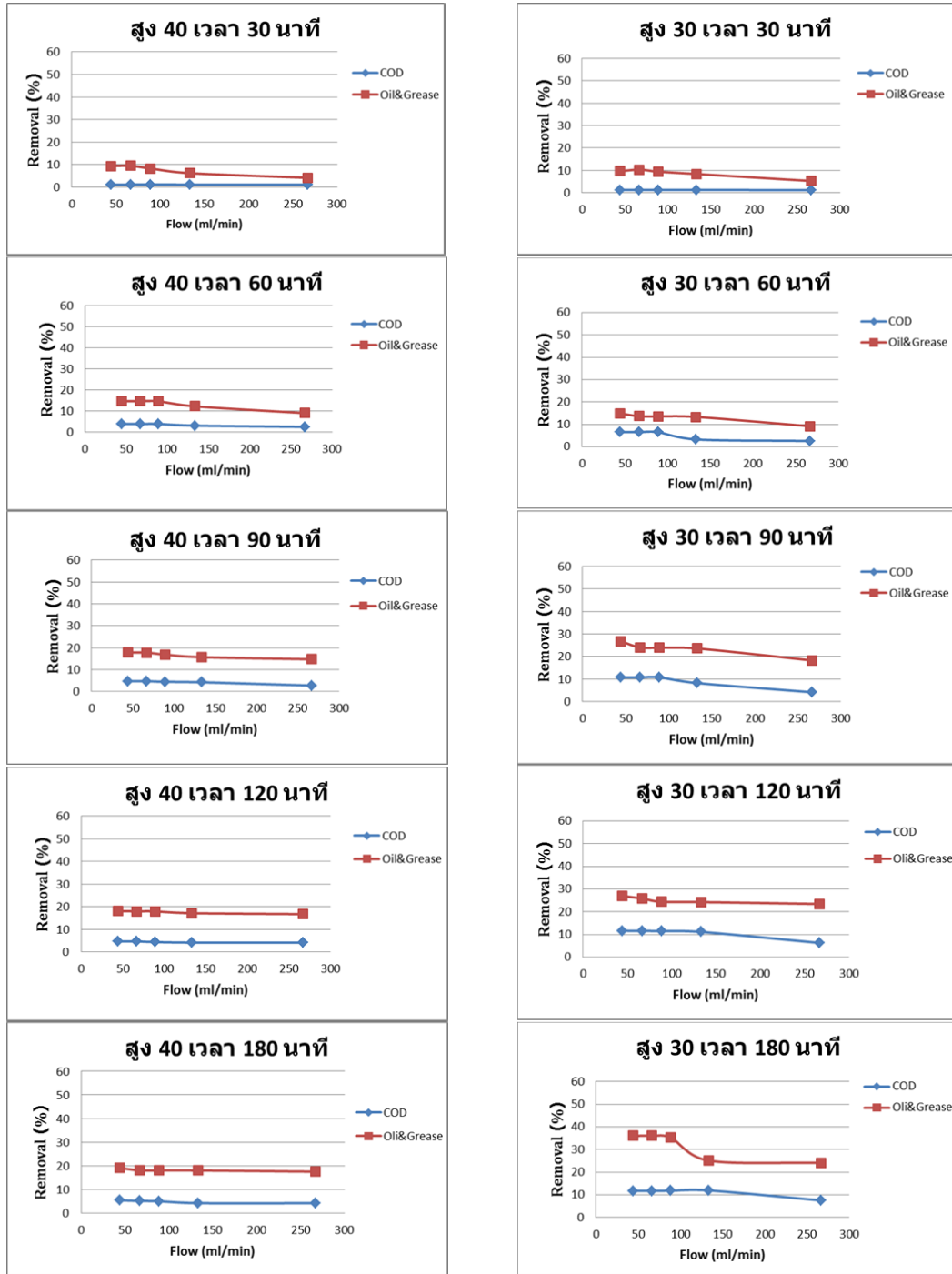
ภาพ ค-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคเอสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูง 10 และ 20 cm



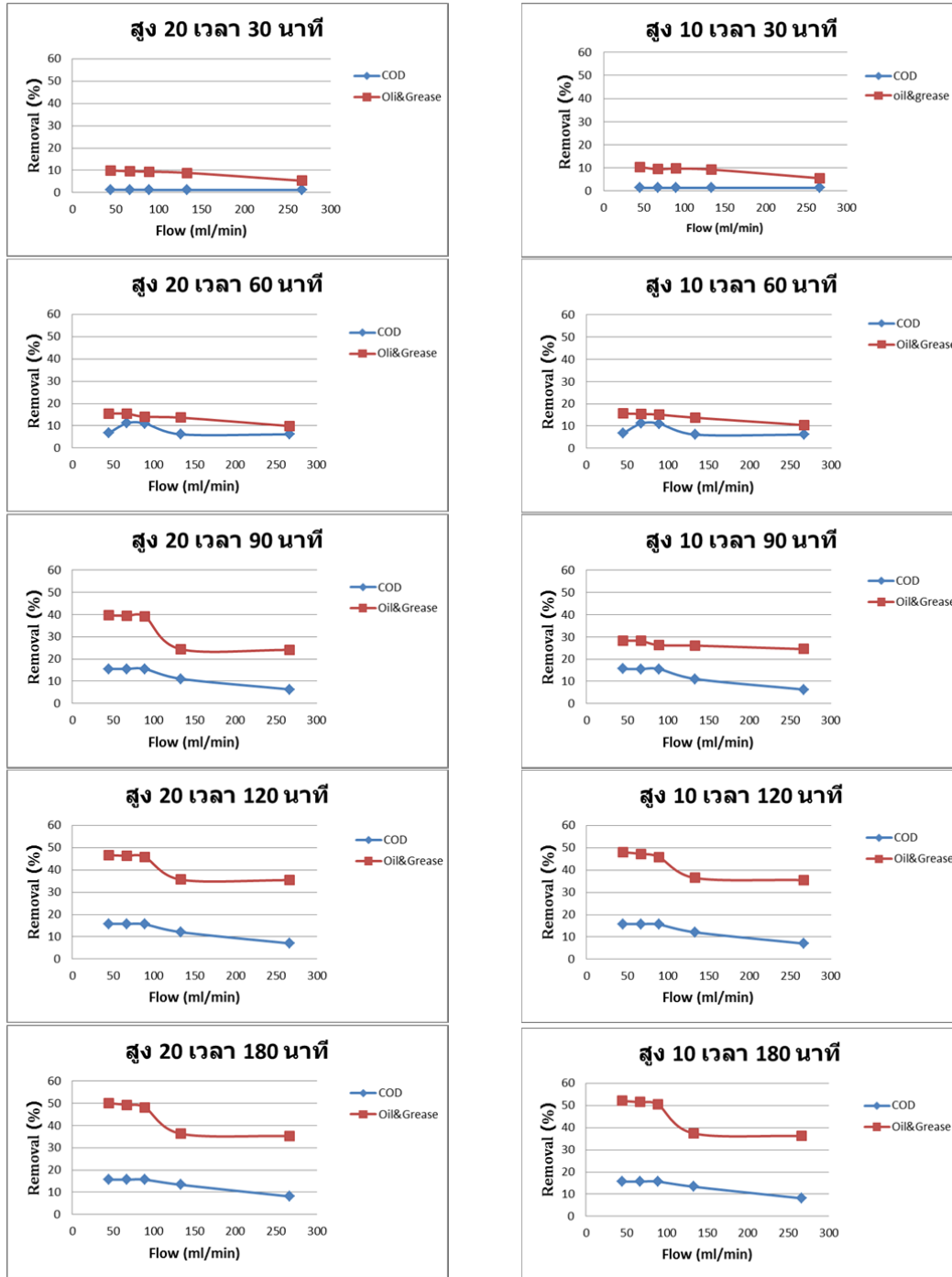
ภาพ ค-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 30 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคเอสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 30 และ 40 cm



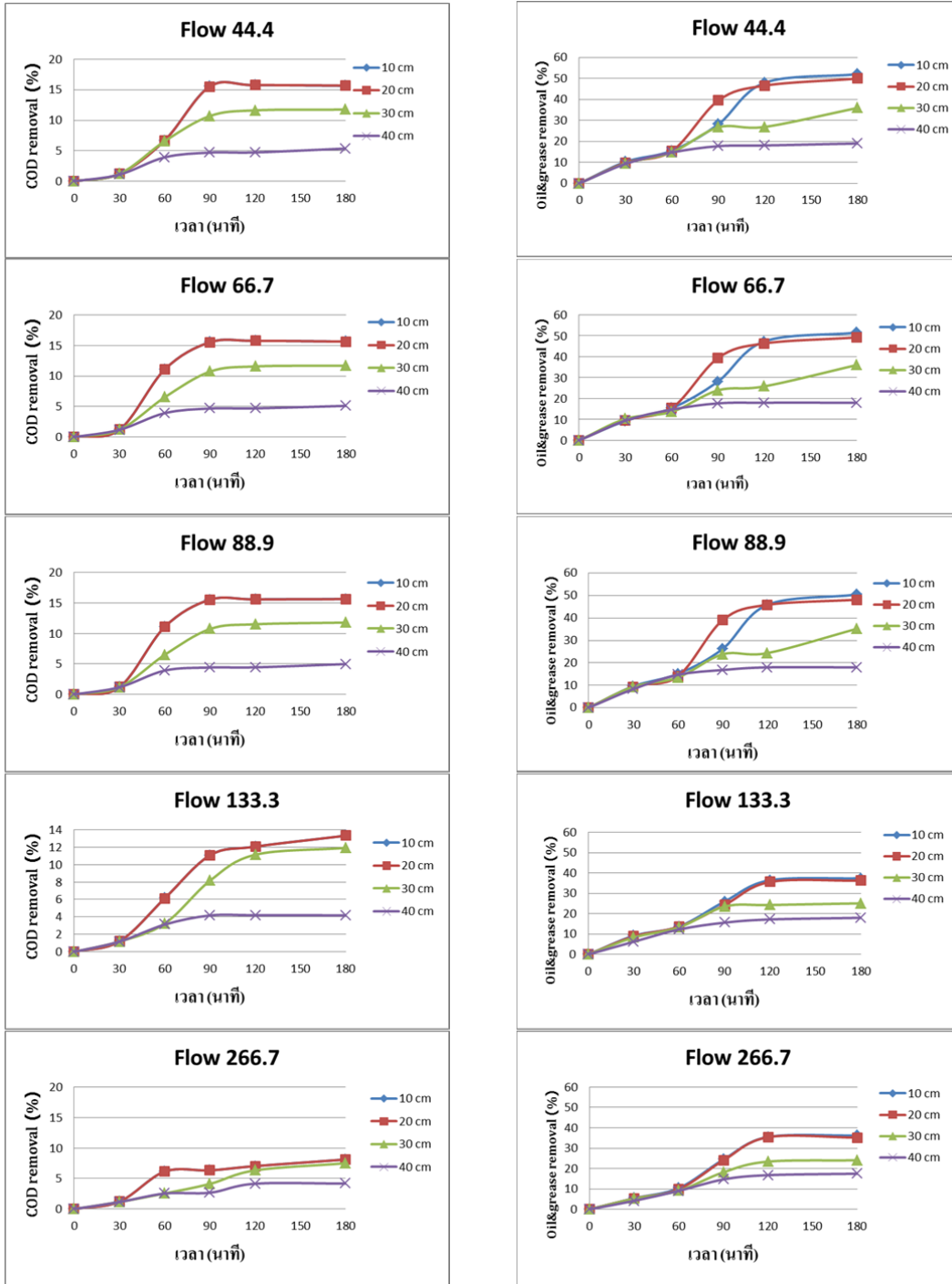
ภาพ ก-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของโคโอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 10 และ 20 cm



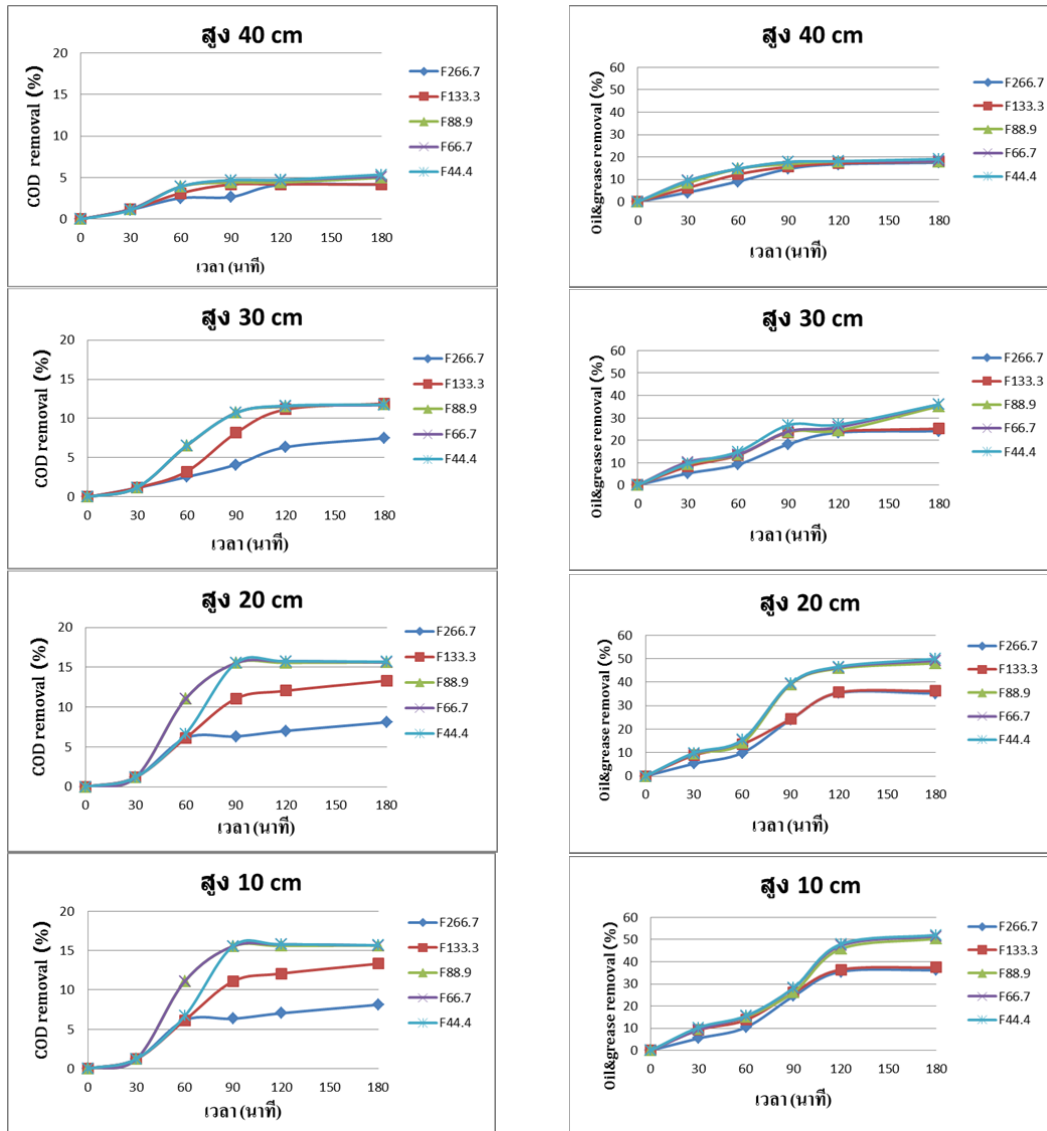
ภาพ ค-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของ โคลอสเทเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูงต่างๆ



ภาพ ค-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 20 30 และ 40 cm เมื่อพิจารณาอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโกละเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

พิจารณาตามความสูงที่อัตราการไหลต่างๆ



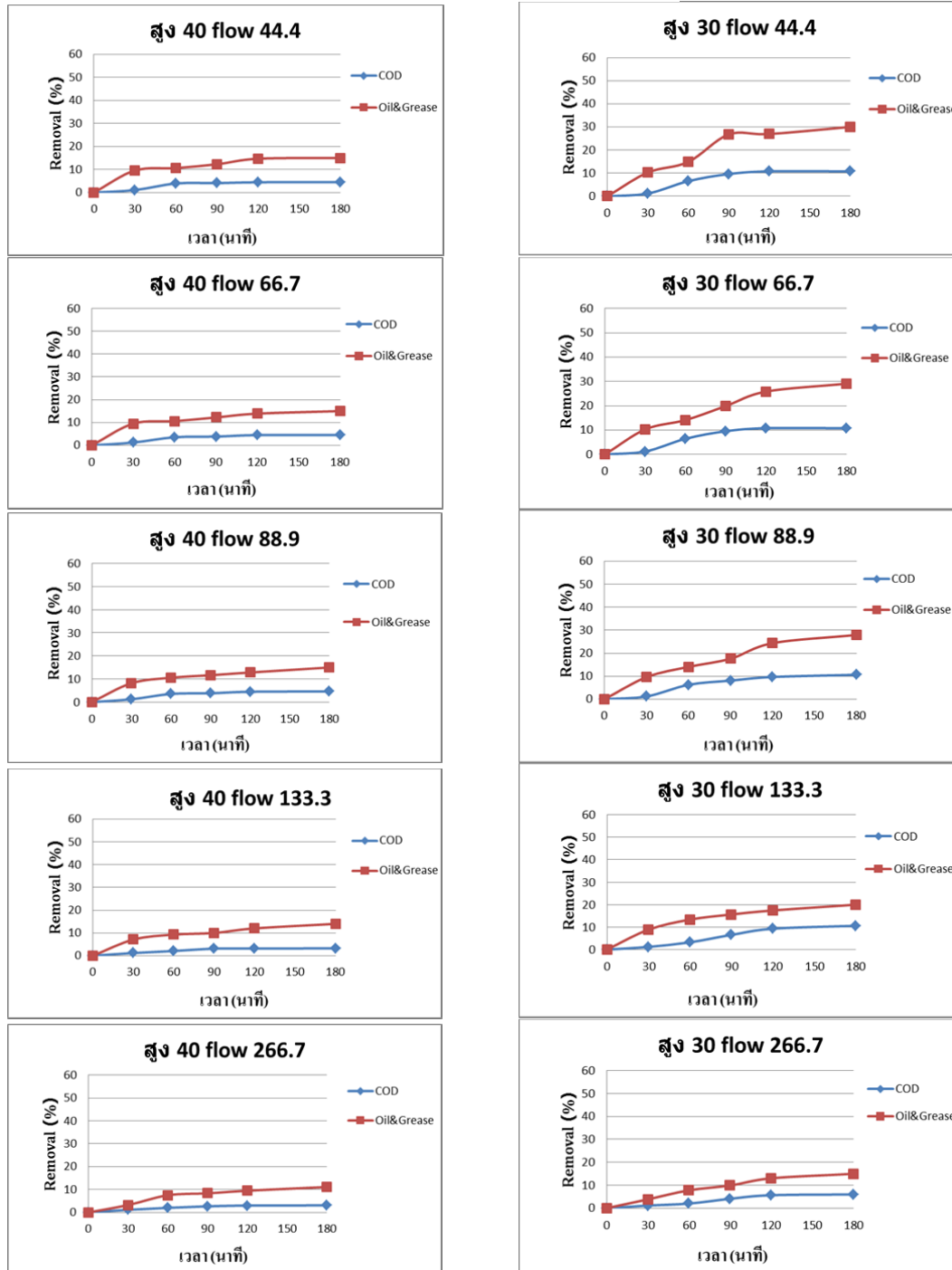
ภาพ ค-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่อัตราการไหล 44.4 66.7 88.9 133.3 และ 266.7 ml/min เมื่อพิจารณาที่ความสูงตั้งแต่ 10 ถึง 40 cm ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Fiber เป็น media

ตาราง ค-5 การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยโคอะเลสเซอร์โดยใช้วัสดุตัวกลาง PET ชนิด Granular

จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
10 cm	30	1.198	4.17	1.205	6.25	1.210	8.33	1.221	9.32	1.238	9.38
	60	2.139	8.33	3.479	10.63	6.557	15.10	6.636	16.46	6.685	17.71
	90	5.017	14.06	6.552	18.75	12.870	24.17	12.878	25.00	12.892	28.23
	120	5.695	24.58	9.407	28.96	14.300	43.77	14.366	44.17	14.433	44.90
	180	6.836	24.90	11.200	29.06	14.600	44.53	14.502	44.79	14.500	45.00
20 cm	30	1.196	3.96	1.198	8.33	1.201	9.38	1.214	9.58	1.212	9.90
	60	2.133	8.13	3.464	9.38	6.396	11.98	6.503	15.42	6.685	15.52
	90	5.003	14.06	6.543	15.00	12.847	24.48	12.84	39.38	12.759	39.58
	120	5.682	24.53	9.402	25.21	14.193	29.81	14.233	40.10	14.366	40.42
	180	6.504	20.00	11.121	28.02	14.586	42.81	14.486	43.02	14.480	44.01

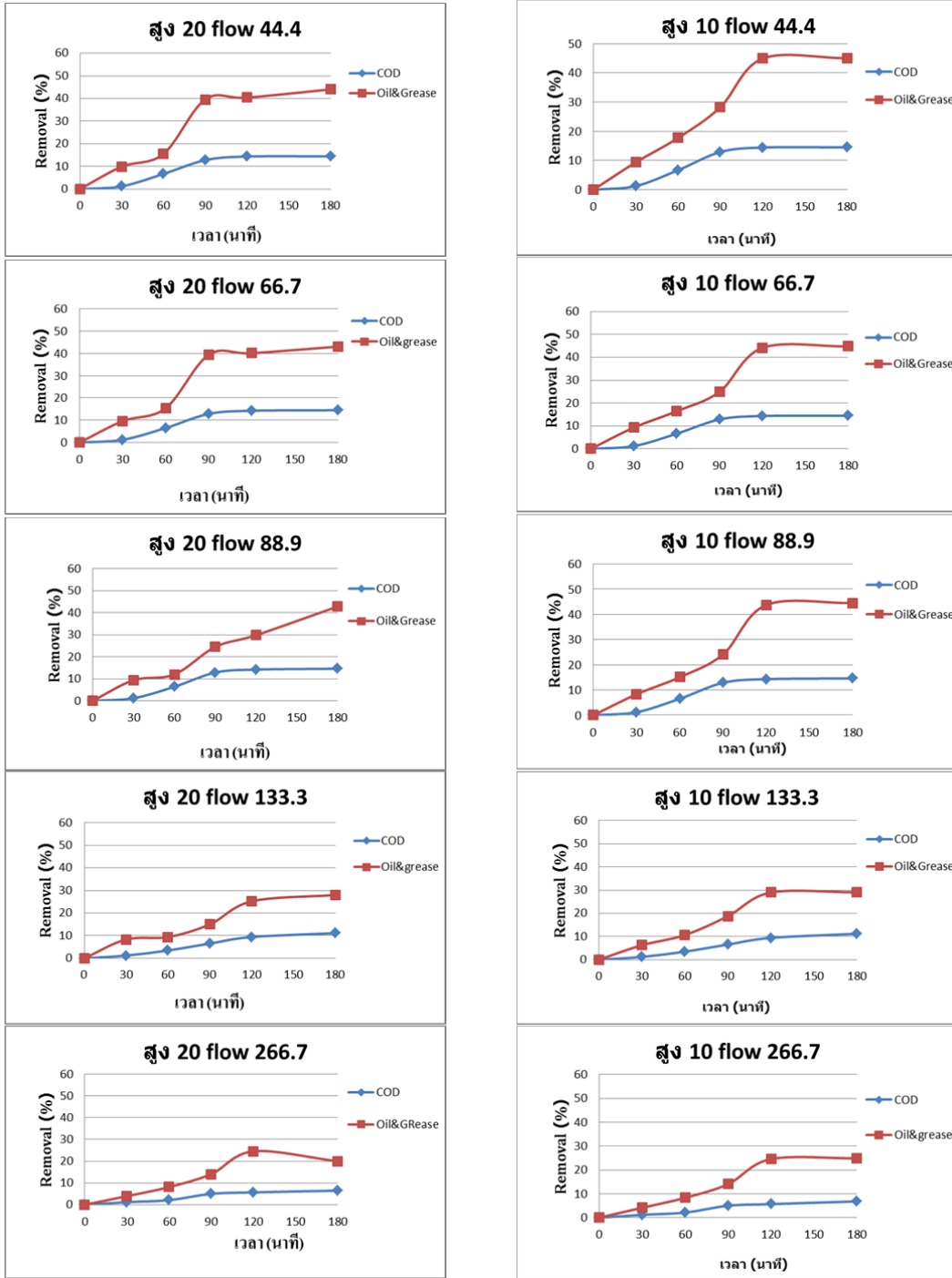
จุดเก็บ ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	อัตราการไหล									
		44.4 (ml/min)		66.7 (ml/min)		88.9 (ml/min)		133.3 (ml/min)		266.7 (ml/min)	
		COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)	COD removal (%)	Oil & grease removal (%)
30 cm	30	1.145	3.85	1.178	8.85	1.185	9.58	1.192	10.29	1.212	10.31
	60	2.011	7.81	3.237	13.33	6.263	14.06	6.436	14.11	6.569	14.90
	90	4.110	9.90	6.529	15.63	8.062	17.60	9.528	19.90	9.623	26.79
	120	5.655	13.02	9.275	17.40	9.635	24.38	10.768	25.83	10.808	26.98
	180	6.000	15.00	10.601	20.00	10.624	27.97	10.771	29.06	10.814	30.04
40 cm	30	1.132	3.23	1.172	7.08	1.178	8.13	1.184	9.49	1.092	9.57
	60	1.998	7.50	2.065	9.27	3.519	10.52	3.524	10.57	3.930	10.63
	90	2.654	8.33	3.077	10.00	3.797	11.61	3.811	12.21	4.090	12.29
	120	2.971	9.48	3.131	11.98	4.437	12.78	4.441	13.85	4.450	14.69
	180	3.077	11.09	3.191	14.01	4.570	14.95	4.497	14.98	4.504	15.00

พิจารณาตามอัตราการไหลที่ความสูง 30 และ 40 cm



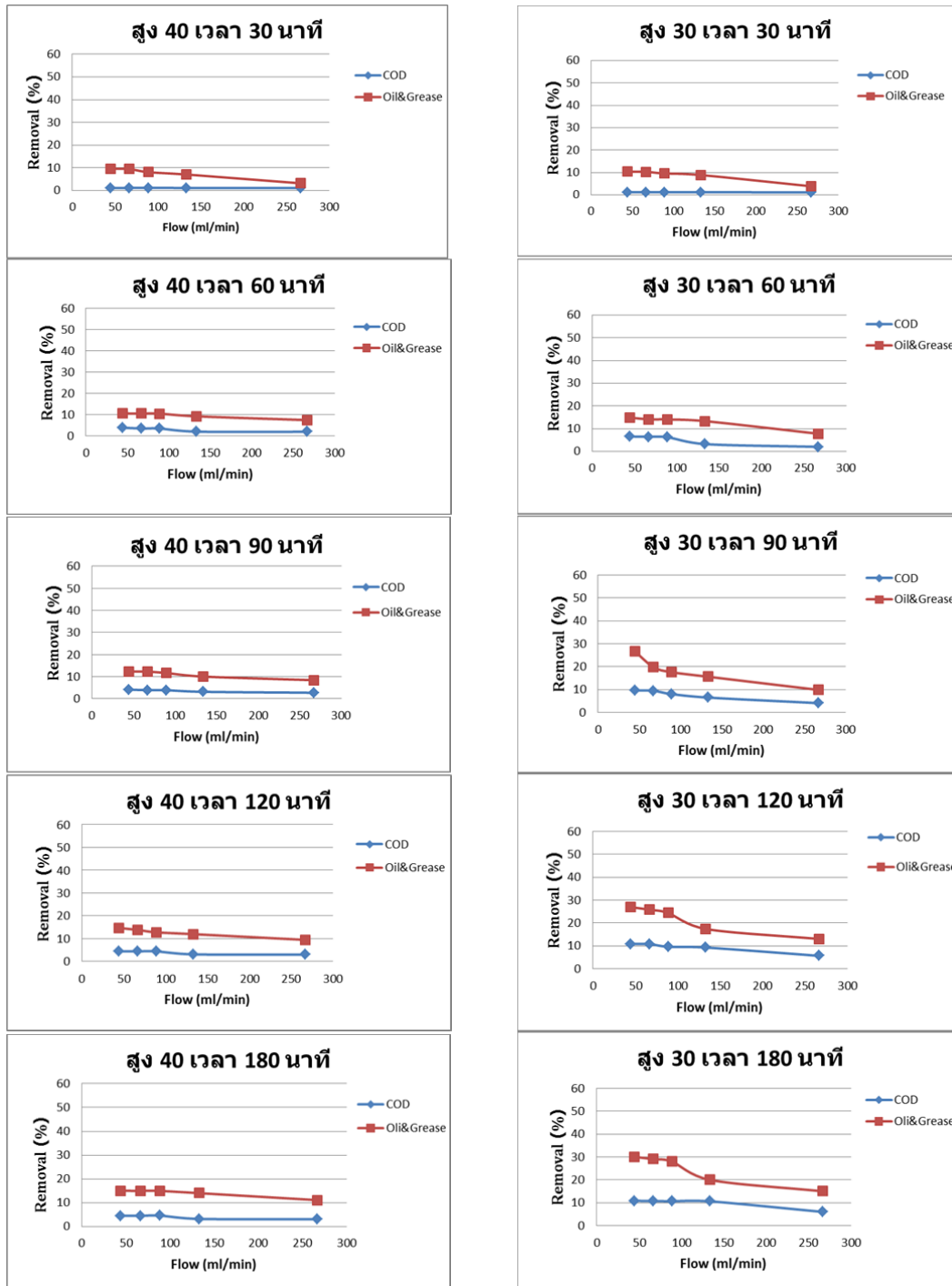
ภาพ ค-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคเคเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูง 10 และ 20 cm



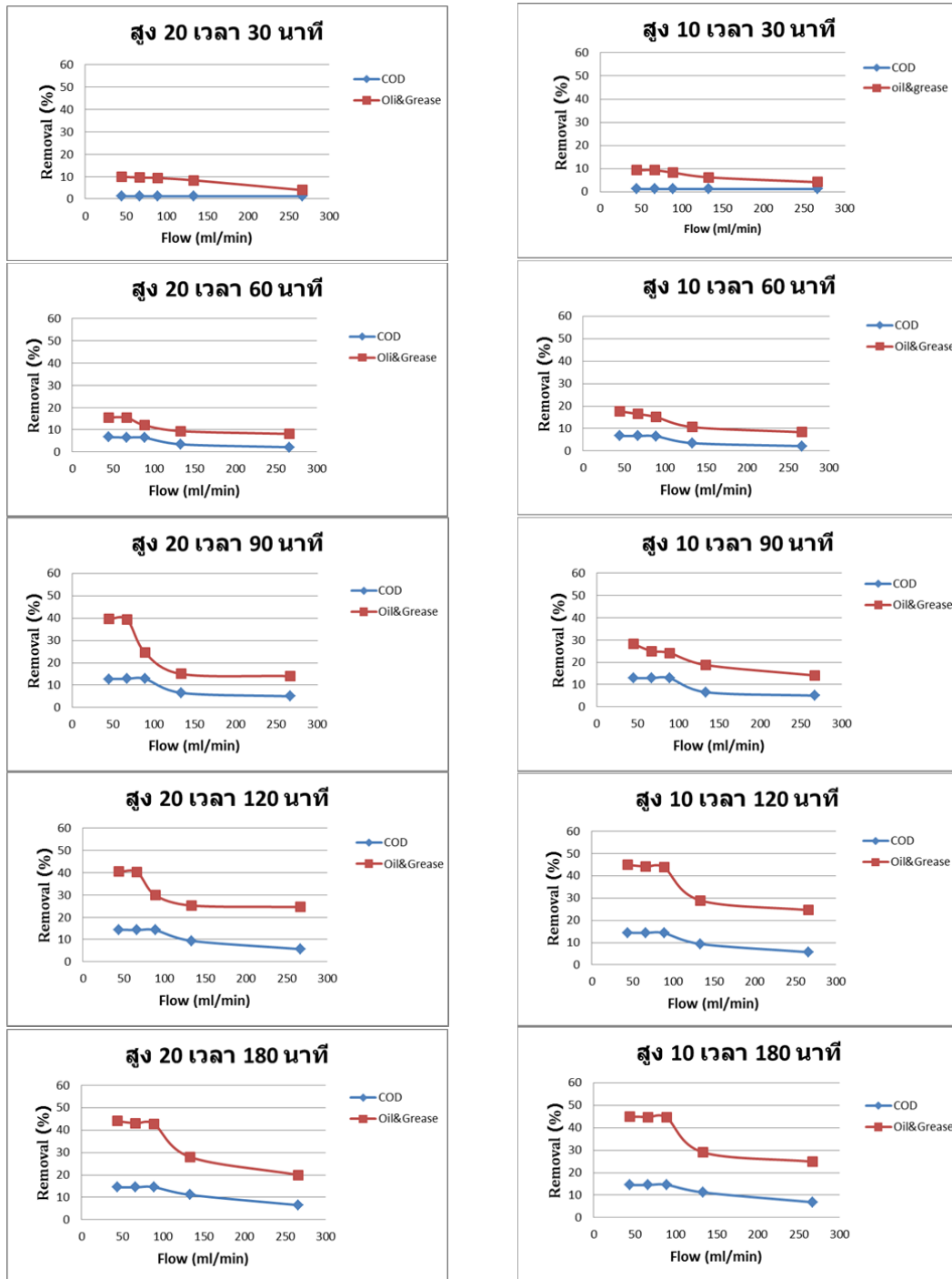
ภาพ ค-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของ โคลเอสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Ganular เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 30 และ 40 cm



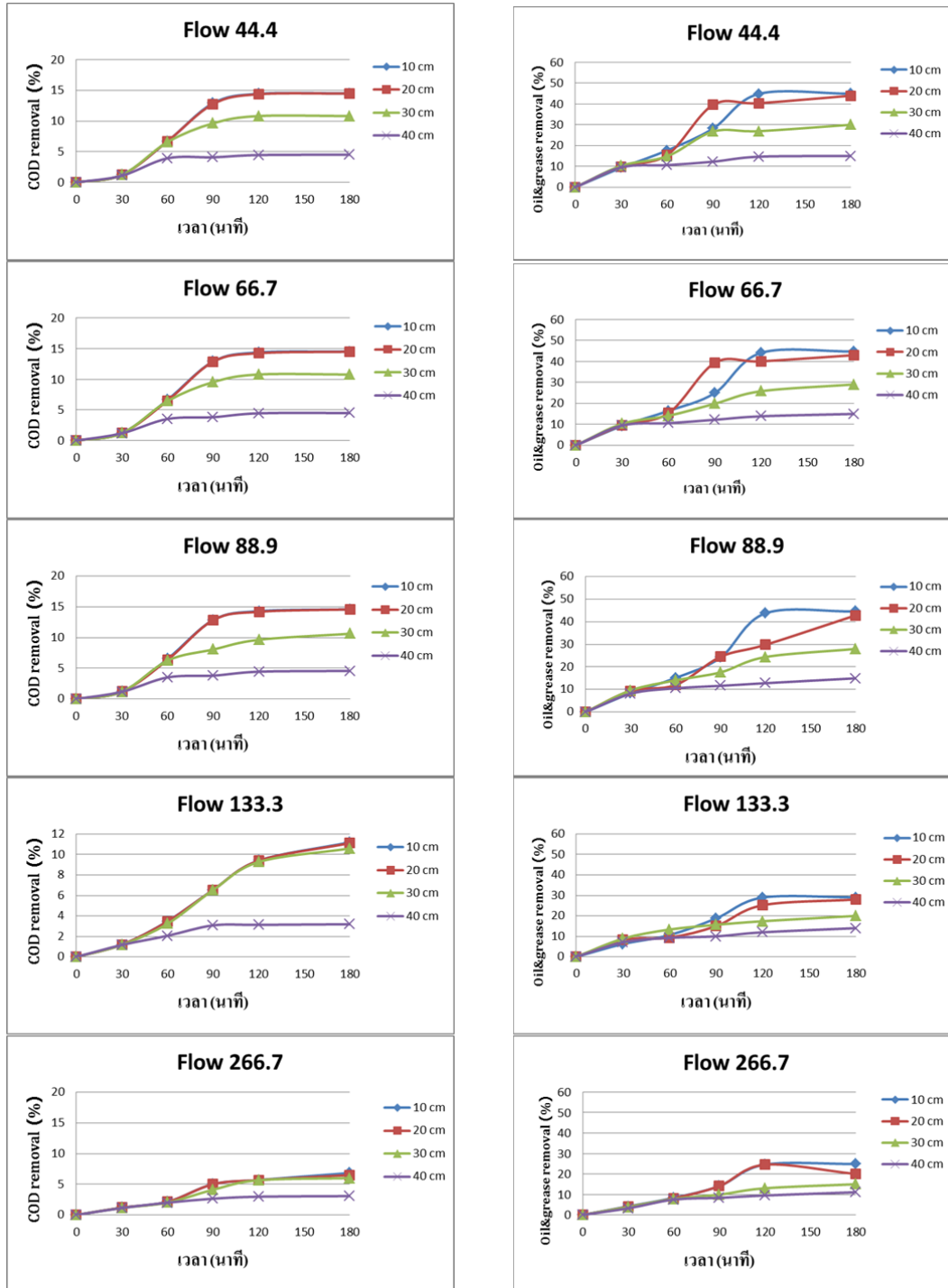
ภาพ ค-21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 30 และ 40 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามเวลาที่เปลี่ยนไปที่ความสูง 10 และ 20 cm



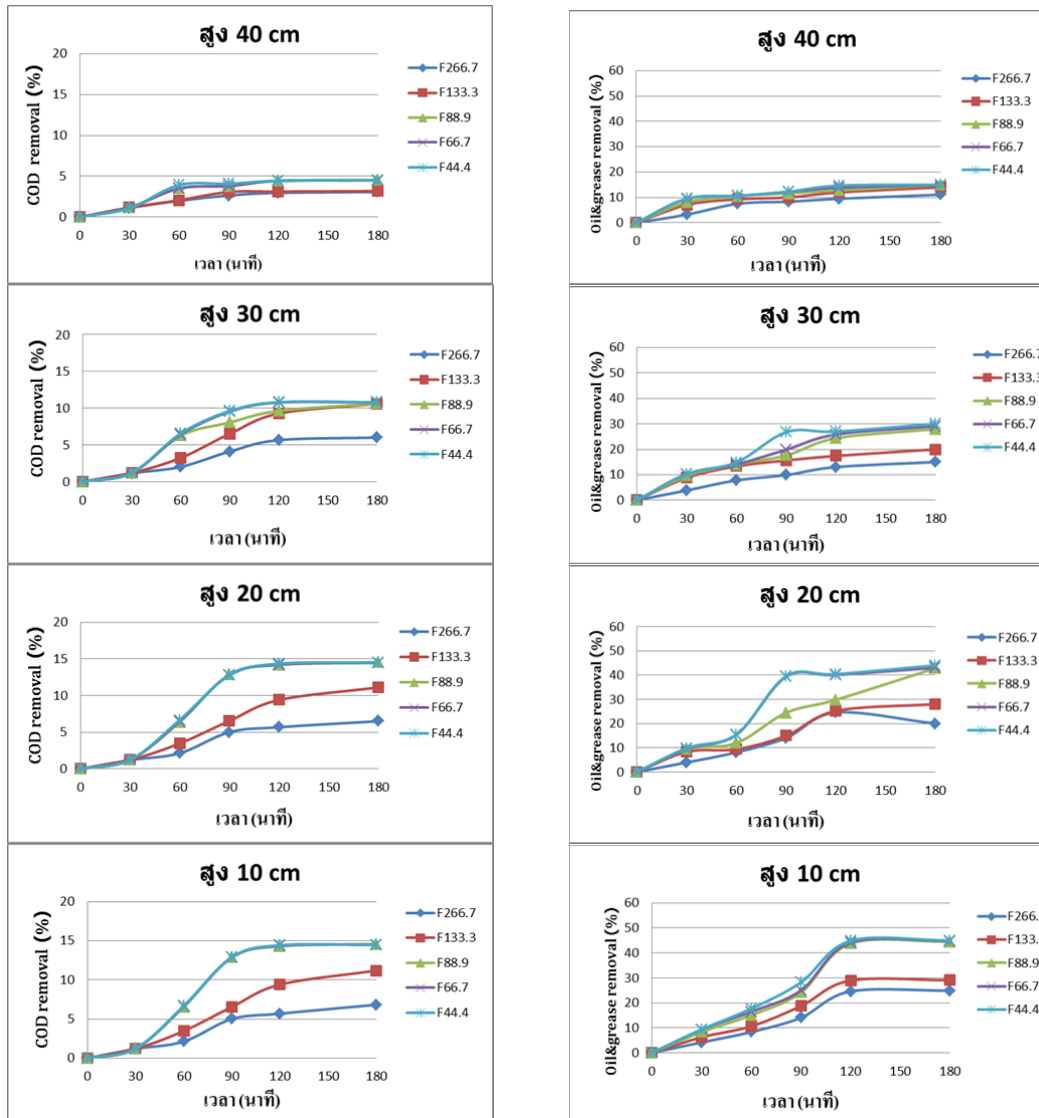
ภาพ ค-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับอัตราการไหล ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 และ 20 cm เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 30 ถึง 180 min ของ โคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามอัตราการไหลที่มีความสูงต่างๆ



ภาพ ก-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่ความสูงของคอลัมน์ 10 20 30 และ 40 cm เมื่อพิจารณาอัตราการไหลตั้งแต่ 44.4 ถึง 266.7 ml/min ของโคะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็น media

พิจารณาตามความสูงที่อัตราการไหลต่างๆ



ภาพ ก-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % removal ของ COD และ Oil&Grease กับเวลา ที่อัตราการไหล 44.4 66.7 88.9 133.3 และ 266.7 ml/min เมื่อพิจารณาที่ความสูงตั้งแต่ 10 ถึง 40 cm ของโคอะเลสเซอร์ที่ใช้วัสดุ PET แบบ Granular เป็น media

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ง. 1 T-tast และ F-test

ง. 2 Multiple linear regression

3.1 T-tast and F-test

វិធាន PP របស់ Fiber: COD

Group Statistics

High	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD H10	25	88.8840	7.15195	1.43039
H20	25	88.9840	7.09335	1.41867

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD	Equal variances assumed	.005	.946	-.050	48	.961	-.10000	2.01461	-4.15064	3.95064
	Equal variances not assumed			-.050	47.997	.961	-.10000	2.01461	-4.15064	3.95064

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD2 H20	25	88.9840	7.09335	1.41867
H30	25	91.7820	5.49098	1.09820

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD2	Equal variances assumed	4.159	.047	-1.560	48	.125	-2.79800	1.79406	-6.40520	.80920
	Equal variances not assumed			-1.560	45.164	.126	-2.79800	1.79406	-6.41106	.81506

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD3 H30	25	91.7820	5.49098	1.09820
H40	25	95.1056	2.44401	.48880

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD3	Equal variances assumed	27.564	.000	-2.765	48	.008	-3.32360	1.20206	-5.74051	-.90669
	Equal variances not assumed			-2.765	33.150	.009	-3.32360	1.20206	-5.76880	-.87840

វិធាន PP ប្រភេទ Fiber: Oil&Grease

Group Statistics

High1		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil1	H10	25	69.4124	16.05613	3.21123
	H20	25	70.0328	15.27175	3.05435

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil1	Equal variances assumed	.171	.681	-1.140	48	.889	-.62040	4.43182	-9.53117	8.29037
	Equal variances not assumed			-1.140	47.880	.889	-.62040	4.43182	-9.53175	8.29095

Group Statistics

High2		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil2	H20	25	70.0328	15.27175	3.05435
	H30	25	76.3244	10.33518	2.06704

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil2	Equal variances assumed	8.636	.005	-1.706	48	.094	-6.29160	3.68805	-13.70691	1.12371
	Equal variances not assumed			-1.706	42.172	.095	-6.29160	3.68805	-13.73348	1.15028

Group Statistics

High3		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil3	H30	25	76.3244	10.33518	2.06704
	H40	25	84.4836	3.96717	.79343

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil3	Equal variances assumed	24.205	.000	-3.685	48	.001	-8.15920	2.21409	-12.61092	-3.70748
	Equal variances not assumed			-3.685	30.922	.001	-8.15920	2.21409	-12.67532	-3.64308

Group Statistics

High1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD1 H10	25	91.9028	5.03533	1.00707
H20	25	91.9716	5.01303	1.00261

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD1	Equal variances assumed	.002	.968	-.048	48	.962	-.06880	1.42106	-2.92602	2.78842
	Equal variances not assumed			-.048	47.999	.962	-.06880	1.42106	-2.92602	2.78842

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD2 H20	25	91.9716	5.01303	1.00261
H30	25	93.5036	3.81389	.76278

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD2	Equal variances assumed	3.853	.055	-1.216	48	.230	-1.53200	1.25978	-4.06496	1.00096
	Equal variances not assumed			-1.216	44.811	.230	-1.53200	1.25978	-4.06963	1.00563

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD3 H30	25	93.5036	3.81389	.76278
H40	25	96.4972	1.28399	.25680

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD3	Equal variances assumed	36.906	.000	-3.719	48	.001	-2.99360	.80485	-4.61185	-1.37535
	Equal variances not assumed			-3.719	29.371	.001	-2.99360	.80485	-4.63879	-1.34841

វិធាន PP ឃ្លង Granular: Oil&Grease

Group Statistics

High1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil1 H10	25	76.2588	14.22101	2.84420
H20	25	75.3140	15.53961	3.10792

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil1	Equal variances assumed	.419	.521	.224	48	.824	.94480	4.21292	-7.52584	9.41544
	Equal variances not assumed			.224	47.627	.824	.94480	4.21292	-7.52755	9.41715

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil2 H20	25	75.3140	15.53961	3.10792
H30	25	79.8168	10.33334	2.06667

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil2	Equal variances assumed	8.204	.006	-1.206	48	.234	-4.50280	3.73233	-12.00716	3.00156
	Equal variances not assumed			-1.206	41.754	.234	-4.50280	3.73233	-12.03627	3.03067

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil3 H30	25	79.8168	10.33334	2.06667
H40	25	87.9352	4.37512	.87502

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil3	Equal variances assumed	14.981	.000	-3.617	48	.001	-8.11840	2.24428	-12.63082	-3.60598
	Equal variances not assumed			-3.617	32.337	.001	-8.11840	2.24428	-12.68798	-3.54882

វិធាន PET របស់ Fiber: COD

Group Statistics

High1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD1 H10	25	90.1656	5.61305	1.12261
H20	25	90.1680	5.61720	1.12344

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD1	Equal variances assumed	.000	.997	-.002	48	.999	-.00240	1.58820	-3.19568	3.19088
	Equal variances not assumed			-.002	48.000	.999	-.00240	1.58820	-3.19568	3.19088

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD2 H20	25	90.1680	5.61720	1.12344
H30	25	92.6988	4.20831	.84166

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD2	Equal variances assumed	4.055	.050	-1.803	48	.078	-2.53080	1.40375	-5.35323	.29163
	Equal variances not assumed			-1.803	44.487	.078	-2.53080	1.40375	-5.35900	.29740

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD3 H30	25	92.6988	4.20831	.84166
H40	25	96.4076	1.40955	.28191

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD3	Equal variances assumed	36.972	.000	-4.178	48	.000	-3.70880	.88762	-5.49348	-1.92412
	Equal variances not assumed			-4.178	29.318	.000	-3.70880	.88762	-5.52333	-1.89427

Group Statistics

High1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil1 H10	25	72.4784	15.65350	3.13070
H20	25	71.7316	15.71383	3.14277

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil1	Equal variances assumed	.264	.610	.168	48	.867	.74680	4.43602	-8.17241	9.66601
	Equal variances not assumed			.168	47.999	.867	.74680	4.43602	-8.17242	9.66602

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil2 H20	25	71.7316	15.71383	3.14277
H30	25	79.7980	9.01787	1.80357

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil2	Equal variances assumed	21.059	.000	-2.226	48	.031	-8.06640	3.62351	-15.35196	-.78084
	Equal variances not assumed			-2.226	38.261	.032	-8.06640	3.62351	-15.40017	-.73263

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil3 H30	25	79.7980	9.01787	1.80357
H40	25	85.4192	4.29820	.85964

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil3	Equal variances assumed	18.224	.000	-2.813	48	.007	-5.62120	1.99796	-9.63837	-1.60403
	Equal variances not assumed			-2.813	34.369	.008	-5.62120	1.99796	-9.67994	-1.56246

Group Statistics

High1		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD1	H10	25	91.9344	5.17008	1.03402
	H20	25	91.9904	5.15521	1.03104

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD1	Equal variances assumed	.000	.999	-.038	48	.970	-.05600	1.46022	-2.99197	2.87997
	Equal variances not assumed			-.038	48.000	.970	-.05600	1.46022	-2.99197	2.87997

Group Statistics

High2		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD2	H20	25	91.9904	5.15521	1.03104
	H30	25	93.4712	3.68156	.73631

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD2	Equal variances assumed	6.582	.013	-1.169	48	.248	-1.48080	1.26697	-4.02821	1.06661
	Equal variances not assumed			-1.169	43.427	.249	-1.48080	1.26697	-4.03515	1.07355

Group Statistics

High3		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COD3	H30	25	93.4712	3.68156	.73631
	H40	25	96.9008	1.22559	.24512

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
COD3	Equal variances assumed	27.397	.000	-4.419	48	.000	-3.42960	.77604	-4.98993	-1.86927
	Equal variances not assumed			-4.419	29.255	.000	-3.42960	.77604	-5.01618	-1.84302

វិធាន PET បែប Granular: Oil&Grease

Group Statistics

High1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil1 H10	25	76.3788	14.00272	2.80054
H20	25	77.1212	13.48486	2.69697

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil1	Equal variances assumed	.006	.940	-.191	48	.849	-.74240	3.88802	-8.55979	7.07499
	Equal variances not assumed			-.191	47.932	.849	-.74240	3.88802	-8.56008	7.07528

Group Statistics

High2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil2 H20	25	77.1212	13.48486	2.69697
H30	25	82.9372	7.51957	1.50391

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil2	Equal variances assumed	13.963	.000	-1.883	48	.066	-5.81600	3.08795	-12.02473	.39273
	Equal variances not assumed			-1.883	37.610	.067	-5.81600	3.08795	-12.06935	.43735

Group Statistics

High3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Oil3 H30	25	82.9372	7.51957	1.50391
H40	25	89.0712	2.88930	.57786

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Oil3	Equal variances assumed	21.312	.000	-3.807	48	.000	-6.13400	1.61111	-9.37336	-2.89464
	Equal variances not assumed			-3.807	30.935	.001	-6.13400	1.61111	-9.42016	-2.84784

3. 2 Multiple linear regression

វិធាន PP របស់ Fiber: COD

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
COD	91.1889	6.31562	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		COD	High	Time	Flow
Pearson Correlation	COD	1.000	.382	-.637	.387
	High	.382	1.000	.000	.000
	Time	-.637	.000	1.000	.000
	Flow	.387	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	COD	.	.000	.000	.000
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.000	.500	.500	.
N	COD	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.637 ^a	.405	.399	4.89474	.405	66.820	1	98	.000	
2	.745 ^b	.555	.546	4.25722	.149	32.549	1	97	.000	
3	.837 ^c	.701	.691	3.50922	.146	46.759	1	96	.000	1.204

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, Flow

c. Predictors: (Constant), Time, Flow, High

d. Dependent Variable: COD

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1600.893	1	1600.893	66.820	.000 ^a
	Residual	2347.928	98	23.958		
	Total	3948.821	99			
2	Regression	2190.801	2	1095.400	60.440	.000 ^b
	Residual	1758.020	97	18.124		
	Total	3948.821	99			
3	Regression	2766.616	3	922.205	74.887	.000 ^c
	Residual	1182.205	96	12.315		
	Total	3948.821	99			

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, Flow

c. Predictors: (Constant), Time, Flow, High

d. Dependent Variable: COD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	98.631	1.034		95.421	.000					
	Time	-.078	.009	-.637	-8.174	.000	-.637	-.637	-.637	1.000	1.000
2	(Constant)	94.942	1.107		85.734	.000					
	Time	-.078	.008	-.637	-9.398	.000	-.637	-.690	-.637	1.000	1.000
	Flow	.031	.005	.387	5.705	.000	.387	.501	.387	1.000	1.000
3	(Constant)	89.576	1.204		74.415	.000					
	Time	-.078	.007	-.637	-11.402	.000	-.637	-.758	-.637	1.000	1.000
	Flow	.031	.004	.387	6.921	.000	.387	.577	.387	1.000	1.000
	High	.215	.031	.382	6.838	.000	.382	.572	.382	1.000	1.000

a. Dependent Variable: COD

Excluded Variables^c

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
					Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	
1	High	.382 ^a	5.614	.000	.495	1.000	1.000	1.000
	Flow	.387 ^a	5.705	.000	.501	1.000	1.000	1.000
2	High	.382 ^b	6.838	.000	.572	1.000	1.000	1.000

a. Predictors in the Model: (Constant), Time

b. Predictors in the Model: (Constant), Time, Flow

c. Dependent Variable: COD

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Time	Flow	High
1	1	1.881	1.000	.06	.06		
	2	.119	3.972	.94	.94		
2	1	2.636	1.000	.02	.03	.04	
	2	.268	3.135	.01	.33	.66	
	3	.096	5.242	.97	.64	.30	
3	1	3.469	1.000	.01	.02	.02	.01
	2	.275	3.551	.00	.18	.78	.03
	3	.195	4.215	.01	.52	.05	.43
	4	.061	7.563	.98	.28	.15	.53

a. Dependent Variable: COD

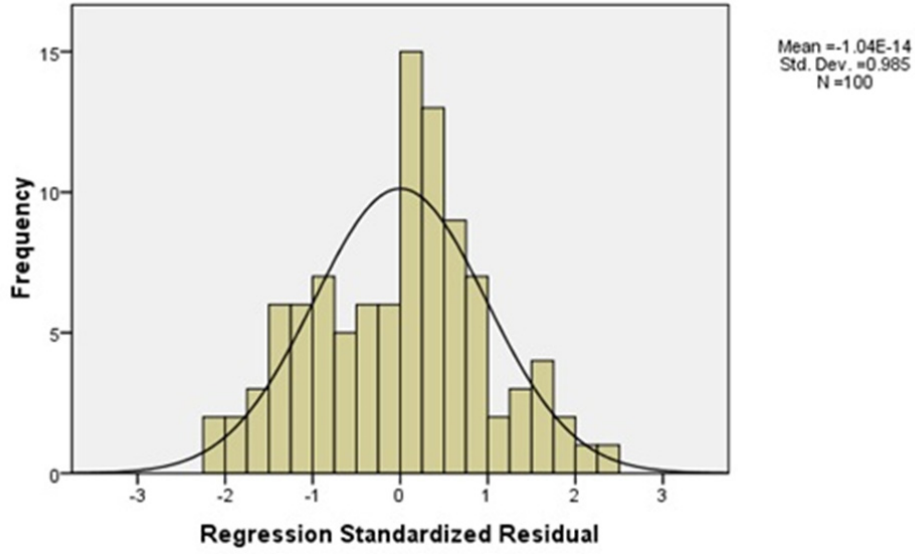
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	79.1350	104.0335	91.1889	5.28636	100
Residual	-7.17144	7.99701	.00000	3.45564	100
Std. Predicted Value	-2.280	2.430	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.044	2.279	.000	.985	100

a. Dependent Variable: COD

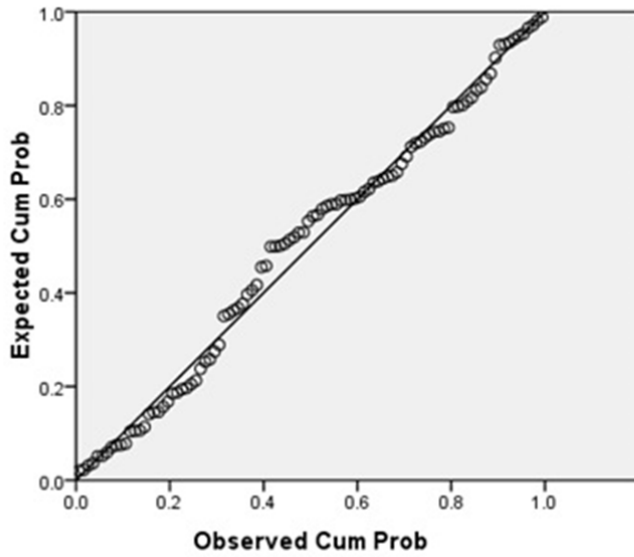
Histogram

Dependent Variable: COD



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: COD



វីដេអូ PP របប Fiber: Oil&Grease

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Oil	75.0633	13.63862	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		Oil	High	Time	Flow
Pearson Correlation	Oil	1.000	.424	-.709	.189
	High	.424	1.000	.000	.000
	Time	-.709	.000	1.000	.000
	Flow	.189	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Oil	.	.000	.000	.030
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.030	.500	.500	.
N	Oil	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.709 ^a	.503	.498	9.66647	.503	99.079	1	98	.000	
2	.826 ^b	.683	.676	7.76007	.180	55.066	1	97	.000	
3	.848 ^c	.718	.710	7.34861	.036	12.166	1	96	.001	1.291

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, High

c. Predictors: (Constant), Time, High, Flow

d. Dependent Variable: Oil

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9258.003	1	9258.003	99.079	.000 ^a
	Residual	9157.191	98	93.441		
	Total	18415.195	99			
2	Regression	12573.985	2	6286.993	104.403	.000 ^b
	Residual	5841.209	97	60.219		
	Total	18415.195	99			
3	Regression	13231.001	3	4410.334	81.670	.000 ^c
	Residual	5184.194	96	54.002		
	Total	18415.195	99			

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, High

c. Predictors: (Constant), Time, High, Flow

d. Dependent Variable: Oil

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	92.960	2.041		45.539	.000					
	Time	-.186	.019	-.709	-9.954	.000	-.709	-.709	-.709	1.000	1.000
2	(Constant)	80.083	2.387		33.554	.000					
	Time	-.186	.015	-.709	-12.399	.000	-.709	-.783	-.709	1.000	1.000
	High	.515	.069	.424	7.421	.000	.424	.602	.424	1.000	1.000
3	(Constant)	76.190	2.521		30.225	.000					
	Time	-.186	.014	-.709	-13.093	.000	-.709	-.801	-.709	1.000	1.000
	High	.515	.066	.424	7.836	.000	.424	.625	.424	1.000	1.000
	Flow	.032	.009	.189	3.488	.001	.189	.335	.189	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Oil

Excluded Variables^c

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
					Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	
1	High	.424 ^a	7.421	.000	.602	1.000	1.000	1.000
	Flow	.189 ^a	2.738	.007	.268	1.000	1.000	1.000
2	Flow	.189 ^b	3.488	.001	.335	1.000	1.000	1.000

a. Predictors in the Model: (Constant), Time

b. Predictors in the Model: (Constant), Time, High

c. Dependent Variable: Oil

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Time	High	Flow
1	1	1.881	1.000	.06	.06		
	2	.119	3.972	.94	.94		
2	1	2.733	1.000	.01	.03	.02	
	2	.199	3.710	.01	.66	.34	
	3	.069	6.298	.98	.32	.64	
3	1	3.469	1.000	.01	.02	.01	.02
	2	.275	3.551	.00	.18	.03	.78
	3	.195	4.215	.01	.52	.43	.05
	4	.061	7.563	.98	.28	.53	.15

a. Dependent Variable: Oil

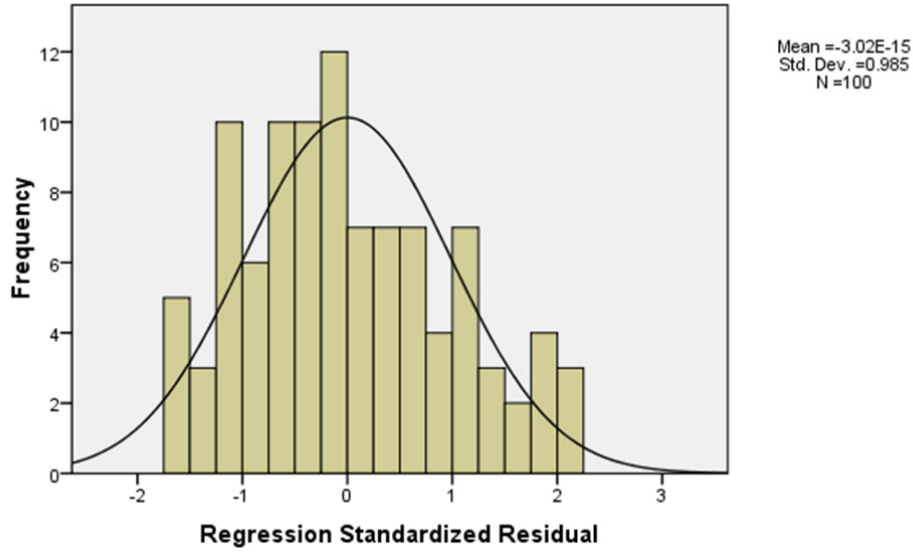
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	49.2269	99.8512	75.0633	11.56056	100
Residual	-12.85467	15.33034	.00000	7.23641	100
Std. Predicted Value	-2.235	2.144	.000	1.000	100
Std. Residual	-1.749	2.086	.000	.985	100

a. Dependent Variable: Oil

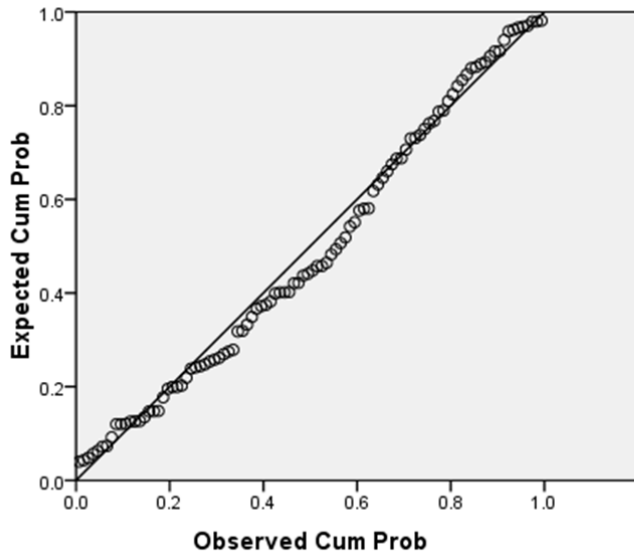
Histogram

Dependent Variable: Oil



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: Oil



វិធាន PP របប Granular: COD

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
COD	93.4688	4.43467	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		COD	High	Time	Flow
Pearson Correlation	COD	1.000	.388	-.674	.326
	High	.388	1.000	.000	.000
	Time	-.674	.000	1.000	.000
	Flow	.326	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	COD	.	.000	.000	.000
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.000	.500	.500	.
N	COD	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.674 ^a	.455	.449	3.29103	.455	81.761	1	98	.000	
2	.778 ^b	.605	.597	2.81423	.151	37.020	1	97	.000	
3	.844 ^c	.712	.703	2.41715	.106	35.488	1	96	.000	1.191

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, High

c. Predictors: (Constant), Time, High, Flow

d. Dependent Variable: COD

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	885.539	1	885.539	81.761	.000 ^a
	Residual	1061.426	98	10.831		
	Total	1946.964	99			
2	Regression	1178.733	2	589.366	74.416	.000 ^b
	Residual	768.231	97	7.920		
	Total	1946.964	99			
3	Regression	1386.073	3	462.024	79.078	.000 ^c
	Residual	560.891	96	5.843		
	Total	1946.964	99			

a. Predictors: (Constant), Time

b. Predictors: (Constant), Time, High

c. Predictors: (Constant), Time, High, Flow

d. Dependent Variable: COD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	99.004	.695		142.455	.000					
	Time	-.058	.006	-.674	-9.042	.000	-.674	-.674	-.674	1.000	1.000
2	(Constant)	95.175	.866		109.959	.000					
	Time	-.058	.005	-.674	-10.574	.000	-.674	-.732	-.674	1.000	1.000
	High	.153	.025	.388	6.084	.000	.388	.526	.388	1.000	1.000
3	(Constant)	92.988	.829		112.151	.000					
	Time	-.058	.005	-.674	-12.311	.000	-.674	-.782	-.674	1.000	1.000
	High	.153	.022	.388	7.084	.000	.388	.586	.388	1.000	1.000
	Flow	.018	.003	.326	5.957	.000	.326	.520	.326	1.000	1.000

a. Dependent Variable: COD

Excluded Variables^c

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
					Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	
1	High	.388 ^a	6.084	.000	.526	1.000	1.000	1.000
	Flow	.326 ^a	4.853	.000	.442	1.000	1.000	1.000
2	Flow	.326 ^b	5.957	.000	.520	1.000	1.000	1.000

a. Predictors in the Model: (Constant), Time

b. Predictors in the Model: (Constant), Time, High

c. Dependent Variable: COD

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Time	High	Flow
1	1	1.881	1.000	.06	.06		
	2	.119	3.972	.94	.94		
2	1	2.733	1.000	.01	.03	.02	
	2	.199	3.710	.01	.66	.34	
	3	.069	6.298	.98	.32	.64	
3	1	3.469	1.000	.01	.02	.01	.02
	2	.275	3.551	.00	.18	.03	.78
	3	.195	4.215	.01	.52	.43	.05
	4	.061	7.563	.98	.28	.53	.15

a. Dependent Variable: COD

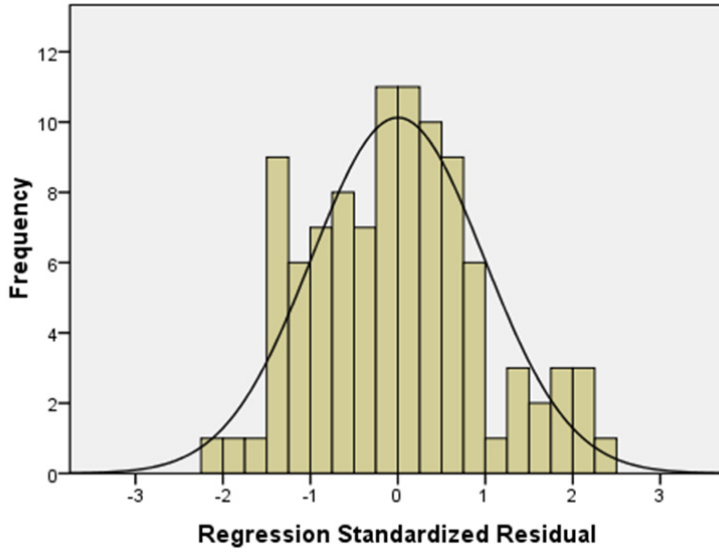
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	84.9514	102.2444	93.4688	3.74176	100
Residual	-4.97702	5.55403	.00000	2.38024	100
Std. Predicted Value	-2.276	2.345	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.059	2.298	.000	.985	100

a. Dependent Variable: COD

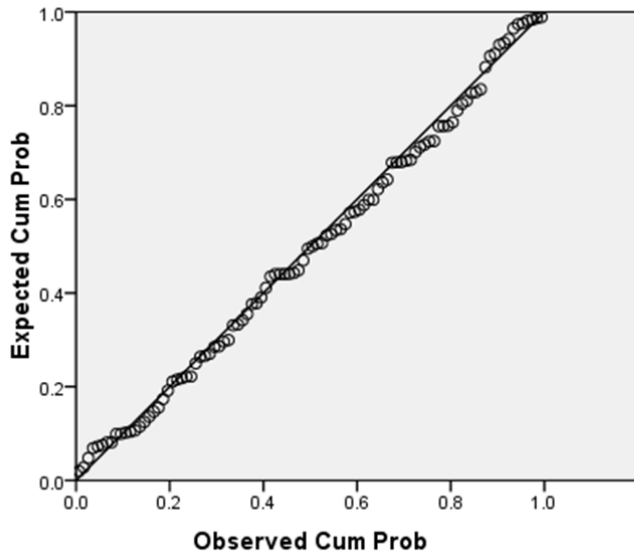
Histogram

Dependent Variable: COD



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: COD



វិធាន PP របប Granular: Oil&Grease

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Oil	79.8312	12.76925	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		Oil	High	Time	Flow
Pearson Correlation	Oil	1.000	.348	-.710	.343
	High	.348	1.000	.000	.000
	Time	-.710	.000	1.000	.000
	Flow	.343	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Oil	.	.000	.000	.000
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.000	.500	.500	.
N	Oil	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.862 ^a	.743	.735	6.57677	.743	92.400	3	96	.000	1.078

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11989.954	3	3996.651	92.400	.000 ^a
	Residual	4152.372	96	43.254		
	Total	16142.325	99			

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	80.105	2.256		35.508	.000						
	High	.395	.059	.348	6.720	.000	.348	.566	.348	1.000	1.000	
	Time	-.175	.013	-.710	-13.715	.000	-.710	-.814	-.710	1.000	1.000	
	Flow	.055	.008	.343	6.628	.000	.343	.560	.343	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Oil

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	High	Time	Flow
1	1	3.469	1.000	.01	.01	.02	.02
	2	.275	3.551	.00	.03	.18	.78
	3	.195	4.215	.01	.43	.52	.05
	4	.061	7.563	.98	.53	.28	.15

a. Dependent Variable: Oil

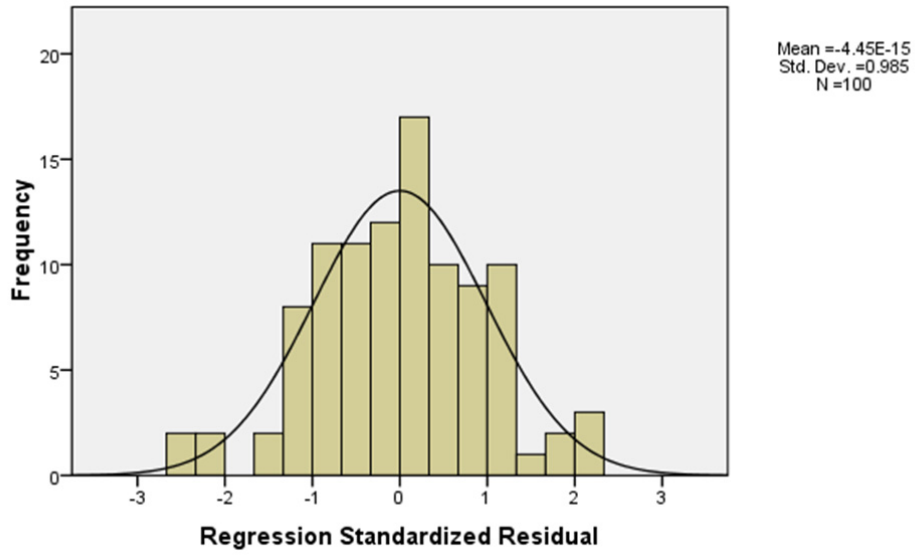
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	55.0525	105.3875	79.8312	11.00503	100
Residual	-17.06793	15.01788	.00000	6.47635	100
Std. Predicted Value	-2.252	2.322	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.595	2.283	.000	.985	100

a. Dependent Variable: Oil

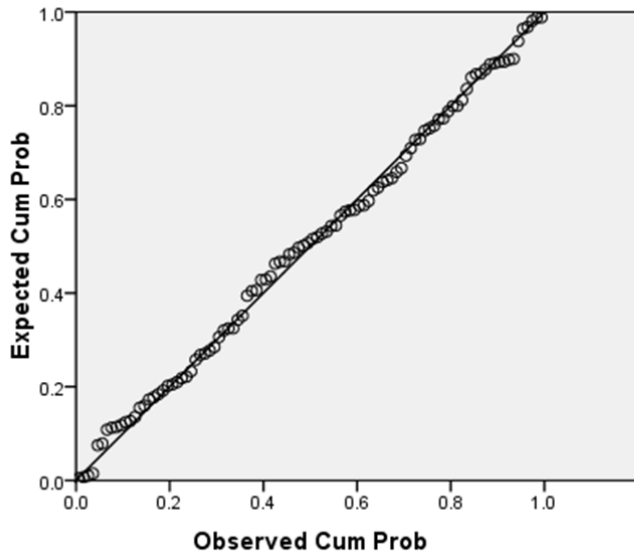
Histogram

Dependent Variable: Oil



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: Oil



វីដេអូ PET របស់ Fiber: COD

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
COD	92.3600	5.16309	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		COD	High	Time	Flow
Pearson Correlation	COD	1.000	.463	-.596	.307
	High	.463	1.000	.000	.000
	Time	-.596	.000	1.000	.000
	Flow	.307	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	COD	.	.000	.000	.001
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.001	.500	.500	.
N	COD	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.815 ^a	.664	.653	3.03956	.664	63.217	3	96	.000	1.231

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: COD

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1752.161	3	584.054	63.217	.000 ^a
	Residual	886.935	96	9.239		
	Total	2639.096	99			

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: COD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	90.346	1.043		86.652	.000					
	High	.213	.027	.463	7.819	.000	.463	.624	.463	1.000	1.000
	Time	-.059	.006	-.596	-10.078	.000	-.596	-.717	-.596	1.000	1.000
	Flow	.020	.004	.307	5.192	.000	.307	.468	.307	1.000	1.000

a. Dependent Variable: COD

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	High	Time	Flow
1	1	3.469	1.000	.01	.01	.02	.02
	2	.275	3.551	.00	.03	.18	.78
	3	.195	4.215	.01	.43	.52	.05
	4	.061	7.563	.98	.53	.28	.15

a. Dependent Variable: COD

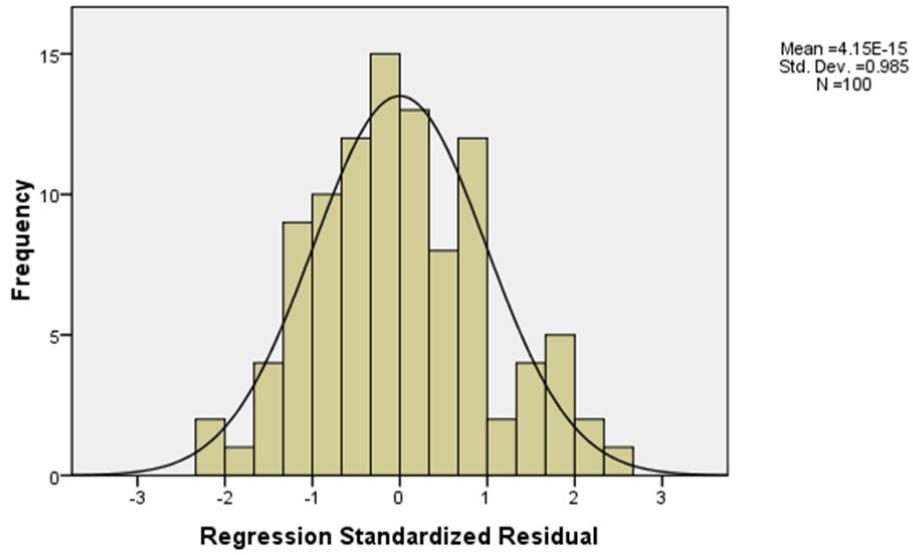
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	82.6770	102.3952	92.3600	4.20697	100
Residual	-6.56181	7.18096	.00000	2.99315	100
Std. Predicted Value	-2.302	2.385	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.159	2.363	.000	.985	100

a. Dependent Variable: COD

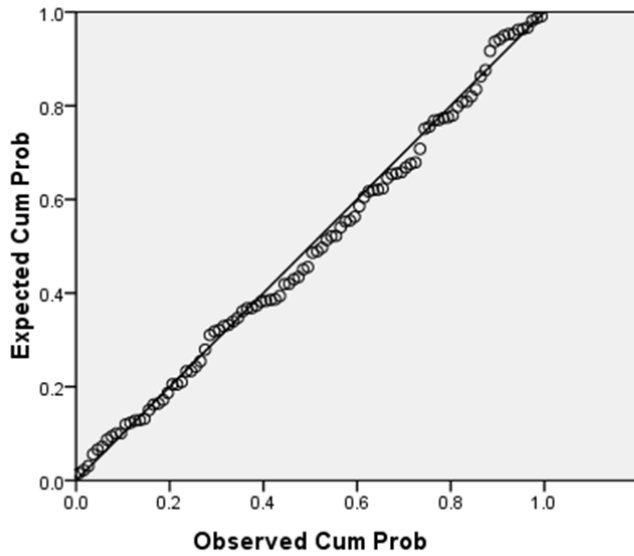
Histogram

Dependent Variable: COD



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: COD



វិធាន PET របប Fiber: Oil&Grease

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Oil	77.3568	13.24294	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		Oil	High	Time	Flow
Pearson Correlation	Oil	1.000	.398	-.732	.205
	High	.398	1.000	.000	.000
	Time	-.732	.000	1.000	.000
	Flow	.205	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Oil	.	.000	.000	.020
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.020	.500	.500	.
N	Oil	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.858 ^a	.737	.729	6.89866	.737	89.605	3	96	.000	1.359

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12793.368	3	4264.456	89.605	.000 ^a
	Residual	4568.790	96	47.592		
	Total	17362.158	99			

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	79.470	2.366		33.583	.000					
	High	.469	.062	.398	7.599	.000	.398	.613	.398	1.000	1.000
	Time	-.187	.013	-.732	-13.988	.000	-.732	-.819	-.732	1.000	1.000
	Flow	.034	.009	.205	3.925	.000	.205	.372	.205	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Oil

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	High	Time	Flow
1	1	3.469	1.000	.01	.01	.02	.02
	2	.275	3.551	.00	.03	.18	.78
	3	.195	4.215	.01	.43	.52	.05
	4	.061	7.563	.98	.53	.28	.15

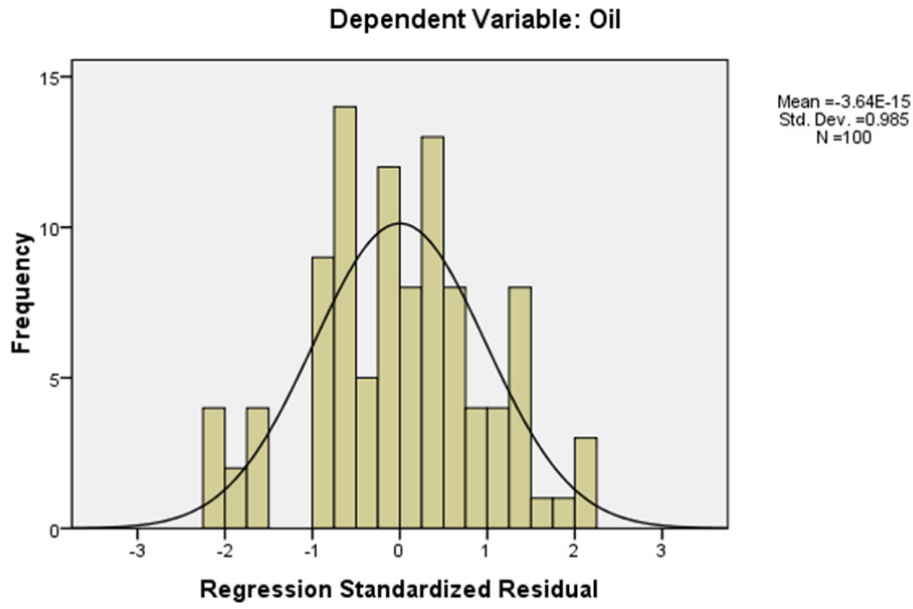
a. Dependent Variable: Oil

Residuals Statistics^a

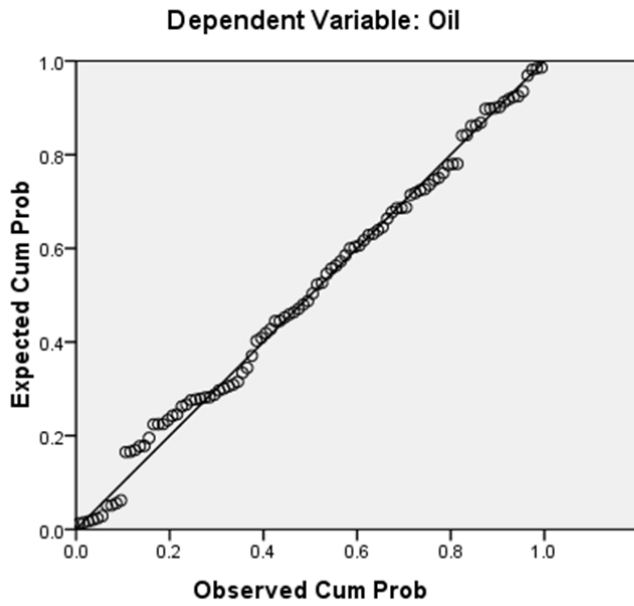
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	52.0291	101.7563	77.3568	11.36776	100
Residual	-15.30907	15.12243	.00000	6.79333	100
Std. Predicted Value	-2.228	2.146	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.219	2.192	.000	.985	100

a. Dependent Variable: Oil

Histogram



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



វិធីសាស្ត្រ PET បែប Granular: COD

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
COD	93.5742	4.54777	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		COD	High	Time	Flow
Pearson Correlation	COD	1.000	.405	-.629	.358
	High	.405	1.000	.000	.000
	Time	-.629	.000	1.000	.000
	Flow	.358	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	COD	.	.000	.000	.000
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.000	.500	.500	.
N	COD	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.829 ^a	.688	.678	2.58034	.688	70.508	3	96	.000	1.108

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: COD

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1408.359	3	469.453	70.508	.000 ^a
	Residual	639.183	96	6.658		
	Total	2047.542	99			

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: COD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	92.314	.885		104.296	.000					
	High	.164	.023	.405	7.097	.000	.405	.587	.405	1.000	1.000
	Time	-.055	.005	-.629	-11.033	.000	-.629	-.748	-.629	1.000	1.000
	Flow	.021	.003	.358	6.279	.000	.358	.540	.358	1.000	1.000

a. Dependent Variable: COD

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	High	Time	Flow
1	1	3.469	1.000	.01	.01	.02	.02
	2	.275	3.551	.00	.03	.18	.78
	3	.195	4.215	.01	.43	.52	.05
	4	.061	7.563	.98	.53	.28	.15

a. Dependent Variable: COD

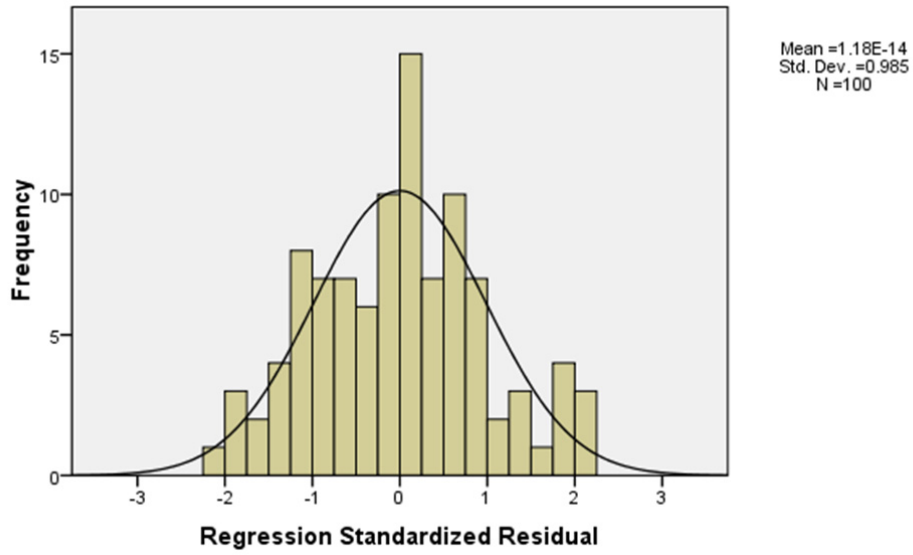
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	84.9345	102.6792	93.5742	3.77172	100
Residual	-5.29821	5.65150	.00000	2.54094	100
Std. Predicted Value	-2.291	2.414	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.053	2.190	.000	.985	100

a. Dependent Variable: COD

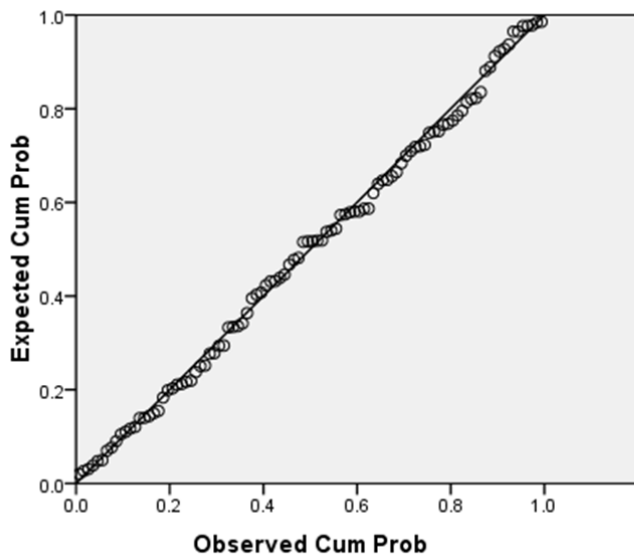
Histogram

Dependent Variable: COD



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: COD



វិធាន PET របប Granular: Oil&Grease

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Oil	81.3771	11.56696	100
High	25.0000	11.23666	100
Time	96.0000	51.87397	100
Flow	120.0000	79.40564	100

Correlations

		Oil	High	Time	Flow
Pearson Correlation	Oil	1.000	.426	-.636	.363
	High	.426	1.000	.000	.000
	Time	-.636	.000	1.000	.000
	Flow	.363	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Oil	.	.000	.000	.000
	High	.000	.	.500	.500
	Time	.000	.500	.	.500
	Flow	.000	.500	.500	.
N	Oil	100	100	100	100
	High	100	100	100	100
	Time	100	100	100	100
	Flow	100	100	100	100

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.848 ^a	.718	.710	6.23398	.718	81.611	3	96	.000	1.296

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9514.849	3	3171.616	81.611	.000 ^a
	Residual	3730.802	96	38.863		
	Total	13245.651	99			

a. Predictors: (Constant), Flow, Time, High

b. Dependent Variable: Oil

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
		1	(Constant)	77.681			2.138		36.327	.000	
	High	.439	.056	.426	7.872	.000	.426	.626	.426	1.000	1.000
	Time	-.142	.012	-.636	-11.747	.000	-.636	-.768	-.636	1.000	1.000
	Flow	.053	.008	.363	6.699	.000	.363	.564	.363	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Oil

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	High	Time	Flow
1	1	3.469	1.000	.01	.01	.02	.02
	2	.275	3.551	.00	.03	.18	.78
	3	.195	4.215	.01	.43	.52	.05
	4	.061	7.563	.98	.53	.28	.15

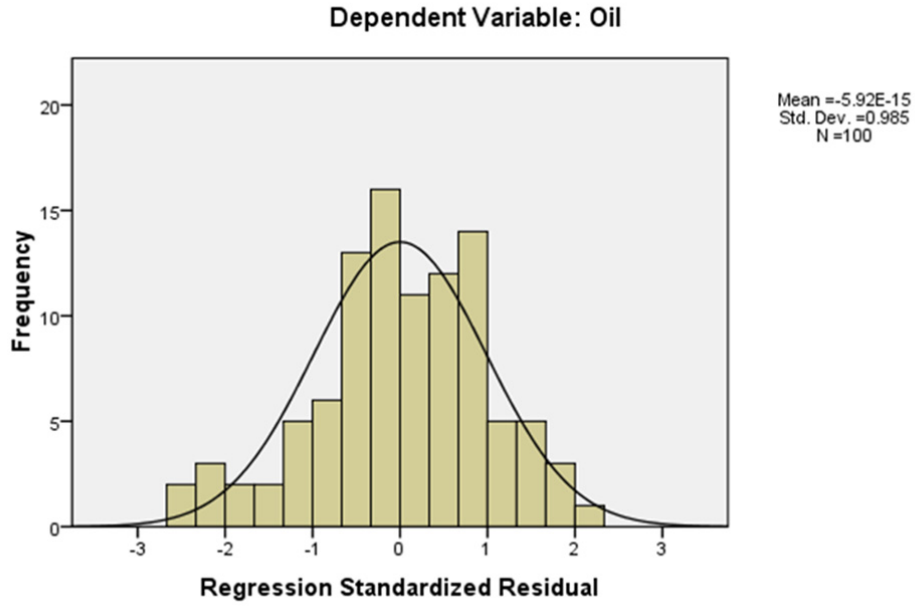
a. Dependent Variable: Oil

Residuals Statistics^a

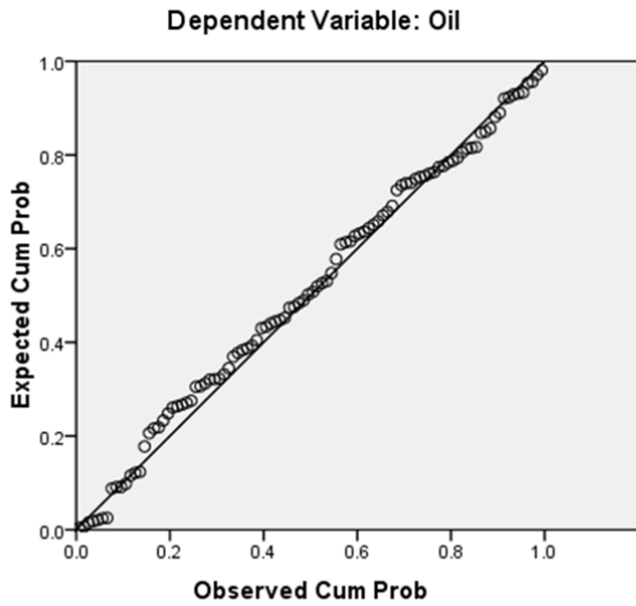
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	58.8813	105.0779	81.3771	9.80355	100
Residual	-16.58470	12.95070	.00000	6.13880	100
Std. Predicted Value	-2.295	2.418	.000	1.000	100
Std. Residual	-2.660	2.077	.000	.985	100

a. Dependent Variable: Oil

Histogram



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



ประวัตินักวิจัย

คณะผู้วิจัย

ชื่อ : นายชัยศรี สุขสาโรจน์
: Chaisri SUKSAROJ
ID No. : 373-99-00-168-7-3-7
ตำแหน่ง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ที่อยู่ปัจจุบัน : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ (074) 287-116 โทรสาร (074) 459-396
E-mail : schaisri@eng.psu.ac.th, suksaroj@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2538 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2542 : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2549 : Dr.Ing. (Science and Biological Process and Industrial: Chemical
Engineering) Universite Montpellier II, France

ใบประกอบวิชาชีพ

: วิศวกรรมควบคุม ประเภทภาควิชากร
สาขาวิศวกรรมโยธา เลขที่ ภย.18708
: วิศวกรรมควบคุม ประเภทสามัญวิศวกร
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เลขที่ สส.170

สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

(1) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมด้านเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เช่น กระบวนการตกตะกอนทางเคมี กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง และกระบวนการ เมมเบรน เป็นต้น

- (2) การจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาและการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปา
- (3) กระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาดและฉลากคาร์บอน
- (4) การประเมินก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอยและบ่อหมักไร้อากาศ

ประวัติการทำงาน

ก.ค. 2542 – ปัจจุบัน	: อาจารย์ (2542-2552) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (2552-ปัจจุบัน) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
เม.ย.-พ.ค.2542	: วิศวกรสิ่งแวดล้อม (Freelance) บริษัท เอ็น เอส คอนซัลแตนท์ จำกัด
2538-2539	: วิศวกรโยธา/แหล่งน้ำ บริษัท ธาราคอนซัลแตนท์ จำกัด

ประสบการณ์งานการวิจัย (5 ปีย้อนหลัง)

งานวิจัยที่เสร็จแล้ว

1. ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำล้างกับคุณภาพของเนื้อปลาเพื่อการผลิตซูริมิ ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครื่องข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2551 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เสร็จสิ้นโครงการ
2. การบำบัดน้ำเสียที่มีสีจากกระบวนการพิมพ์กล่องกระดาษด้วยกระบวนการเฟนตันและ เมมเบรนเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครื่องข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2551 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เสร็จสิ้นโครงการ เป็นหัวหน้าโครงการ
3. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์ EM และเฟนตัน ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2550 เป็นผู้ร่วมวิจัย
4. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ทุนพัฒนานักวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ มีนาคม 2551 ถึง มีนาคม 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
5. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการกายภาพ-เคมี ทุนวิจัยจากสกว MAG window I ปี 2551 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2551 ถึง มิถุนายน 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
6. การประเมินก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบแบบเทกองเปิดและแบบสุขาภิบาล ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551-2552 เป็นหัวหน้าโครงการ

7. การเพิ่มมูลค่าของเสียฟิล์มยางที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยาง ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นหัวหน้าโครงการ
8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี 2551 ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง ตุลาคม 2552 เป็นผู้ร่วมวิจัย
9. การลดกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาโดยใช้กระบวนการเมมเบรน ทุนวิจัยจากสกว MAG window II ปี 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
10. การบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติเพื่อลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทุนวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พฤศจิกายน 2552 ถึง พฤศจิกายน 2553 เป็นผู้ร่วมวิจัย

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการบวนการผลิตอาหารกุ้งโดยการเพิ่มผลประสิทธิผลการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาด (P-10-10876) ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2553 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นหัวหน้าโครงการ

การเพิ่มมูลค่าของเสียขี้เถ้าด้วยการนำมาใช้เป็นวัสดุทำกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2553

ผลงานวิชาการ

บทความวิจัยและบทความวิชาการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

Cheerawit Rattanapan, Aneak Sawain, Thunwadee Suksaroj, Chaisri Suksaroj (2011). Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes. *Desalination* (in press) doi:10.1016/j.desal.2011.07.018

Qiao-guang Xie, Wirach Taweeprada, Charongpun Musikavong and Chaisri Suksaroj (2011). Removal of organic impurities in waste glycerol from biodiesel production process through the acidification and coagulation processes. *Water Science and Technology* (in press).

Wathida Kananama, Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj, Chaisri Suksaroj (2011). Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Science Asia* 37 (1), 17-23, doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.017

- Tassana Kueseng, Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj, Charongpun Musikavong² and Chaisri Suksaroj (2011). Enhanced Coagulation for Removal of Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Formation Potential from Raw Water Supply in Sri-Trang Reservoir, Thailand *Water Practice & Technology*. Vol 6 No 1, IWA Publishing 2011 doi:10.2166/WPT.2011.002
- ชนกฤต พรหมทอง ชันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) กลไกและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยากำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเฟินต้นรีเอเจนต์ วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 : หน้า 37-47
- เอนก สวาอินทร์ วิรัช ทวีปรีดา อุดมผล พิษณุไพบูลย์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) การทำลายเสถียรภาพและการลดออกซิเจนของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออะลูมิเนียม วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 24 ฉบับที่ 1 : หน้า 57-66
- Warintorn Banchapattanasakda, Wirach Taweepreda, Tunwadee Tachapattaworakul Suksaroj and Chaisri Suksaroj (2009). Shrinkage and Compressive Strength Behaviors of Clay Brick Blended with Concentrated Latex Industry's Waste Residue. *KKU Engineering Journal* Volume 36 Number 4 October-December, 283-292.
- Suksaroj C., Rattanamanee P., Musikavong C. and Wattanachira S. (2009). The Determination of Tryptophan and Humic and Fulvic Acid-Like Substances Reduction in RAW Water From U-TAPAO Basin Thailand with Alum Coagulation. *Water Practice & Technology*. Vol 4 No 2, IWA Publishing 2009 doi: 10.2166/WPT.2009.022.
- Suksaroj C., Chaimongkol P., Wattanachira S., and Musikavong C. (2008). Characterization and Treatment of Natural Organic Matter from Raw Water Supply Reservoir in Thailand" *KKU Research Journal*. 13 (9), 1098-1106.
- Musikavong C., Chaimongkol P., Suksaroj C., and Wattanachira S. (2008). Relationship between Trihalomethane Formation Potential and Surrogate Parameters for Dissolved Organic Matter in Reservoir Water and Treated Wastewater in Thailand" *KKU Research Journal*. 13 (9), 1089-1097.
- Suksaroj C., Héran M., Allègre C. and Persin F. (2005). Treatment of textile plant effluent by nanofiltration (NF) and/or reverse osmosis (RO) for water reuse. *Desalination*. **178**: 1-3: 333-341.

บทความวิชาการเสนอในที่ประชุมวิชาการ และมีการพิมพ์รวมเล่ม

จรงค์พันธ์มุสิกะวงค์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน:

ศักยภาพการพัฒนาสู่กลไกการพัฒนาที่สะอาด” การประชุมทางวิศวกรรมศาสตร์ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 21-22 พฤษภาคม 2552 จ.สงขลา

ชัยศรี สุขสาโรจน์, 2550 “น้ำเสียจากโรงฟอกย้อม...เป็นไปได้หรือไม่ที่จะนำกลับมาใช้ใหม่”, หนังสือ

วิชาการครบรอบ 40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ชัยศรี สุขสาโรจน์, 2550 “กระบวนการเมมเบรนแบบนาโนฟิวเตรชั่นและรีเวอร์สออสโมซิสสำหรับ

งานปรับปรุงคุณภาพน้ำ”, หนังสือวิชาการครบรอบ 40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ และมีการพิมพ์รวมเล่ม

เมธิชา หมวดนิม ชัยศรี สุขสาโรจน์ และ ชันวดี สุขสาโรจน์ “การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วม

แบบกะของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลที่บำบัดขั้นต้นแล้วกับกากตะกอนดีแคนเตอร์จาก

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 10, 23-25 มีนาคม 2554, ณ โรงแรมบีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดสงขลา

Warintorn Banchapattanasakda, Charongpun Musikavong , Thunwadee Tachapattaworakul Suksaraj,

Suraphong Wattanachira and Chaisri Suksaraj, “Reduction of Dissolved Organic Matter in Raw Water Supply Reservoir by Hybrid Ultrafiltration Process”. The Proceeding of the 8th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 24-26, 2010, Phuket, Thailand, 67-75.

Xie Qiao-guang, Chaisri Suksaraj, Wirach Taweepreda and Charongpun Musikavong, “Pretreatment

of waste glycerol from biodiesel process and investigation of following treatment by polymer coagulation”. The Proceeding of the 8th Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmenttal Technologies (APRC2010), Ubon Ratchathani University, Ubonratchathani, Thailand, March 24-27, 2010.

วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ ชันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ และ

ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาโดยใช้กระบวนการร่วม โค แอกลูเลชันและเมมเบรน” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

บุญฤทธิ์ การุณเมธี ชันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “แนวทางการจัดการ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ของโรงพยาบาลชุมชนขนาด 30-60 เตียง กรณีศึกษาจังหวัด

- กระบี่” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- กรรณิการ์ คงวาริน ชัยศรี สุขสาโรจน์ ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และจรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “การประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากบ่อหมักไร้อากาศแบบเปิดที่มีชั้นฝ้าไขปกคลุม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- กาญจณีย์ ศรีเมือง ชัยศรี สุขสาโรจน์ ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชัน: การวิเคราะห์โดยวิธี FTIR” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- Sawain A., Taweepreda W., Puetpaiboon and Suksaroj C., “The effect of pH on the stability of Grease and Oil in wastewater from biodiesel production process”. The Proceeding of the 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; 1-3 April 2009.
- เอนก สวาอินทร์ วิรัช ทวีปริดา อุดมผล พิชนไพบุลย์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การทำลายเสถียรภาพและการลดคิมัลชันในน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออนินทรีย์” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8, 25-27 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- ทัศนาก่อเส็ง ชัยศรี สุขสาโรจน์ ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และจรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “ผลของพีเอชต่อการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารประกอบอลูมิเนียม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8, 25-27 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- Xie Qiao-guang, Chaisri Suksaroj, Wirach Taweepreda and Charongpun Musikavong, “Removal of Oily Sludge in waste glycerol from biodiesel process by Coagulation”. The Proceeding of the 4th International Congress of Chemistry and Environment, Thailand, January 21-23, 2009.
- Sripanpong P., Suksaroj C., Tachapattaworakul T., Sakunrat J., and Musikavong C., “Treatment of Organic Matter Landfill Lechate by Bioextract Juice”. The Proceeding of the 6th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 29-31, 2008, Bandung, Indonesia, 343-349.

Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj and Chaisri Suksaroj, Reduction of Natural Organic Matters by Contact Flocculation Filtration Using Alum or Ferric Chloride as a Coagulant. The Proceeding of the 6th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 29-31, 2008, Bandung, Indonesia, 130-137.

Suksaroj C, Rattanamanee P, Musikavong C and Wattanachira S. “The Determination of Tryptophan and Humic and Fulvic acid-like substances Reduction in Raw Water from U-Tapao Basin THAILAND with Alum coagulation”. The proceeding of natural organic matter: from source to tap, 2-4 September 2008, Baht, UK.

Musikavong C, Rattanamanee P, Suksaroj C, and Wattanachira S. “Three-Dimensional Fluorescent Spectroscopy Analysis for Characterization the Origin of Dissolved Organic Matter in U-Tapao Canal, Songkla, Thailand”. The proceeding of natural organic matter: from source to tap, 2-4 September 2008, Baht, UK.

Suksaroj C, Chaimongkol P, Wattanachira S, Musikavong C. “Characterization and treatment of natural organic matter from raw water supply reservoir in Thailand”. The proceeding of 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management, 25-29 August 2008 Khon- Khan, Thailand.

Musikavong C, Chaimongkol P, Suksaroj C, Wattanachira S. “Relationships between trihalomethane formation potential and surrogate parameters for organic matter in reservoir water and treated wastewater in Thailand”. The proceeding of 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management, 25-29 August 2008 Khon- Khan, Thailand.

กมลนาวิน อินทนุจิตร พยอม รัตน์มณี ชัยศรี สุขสาโรจน์ สุรพงษ์ วัฒนนะจีระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ “การลดสารกลุ่มไทโรซีน เทปโตรฟานและฮิวมิกและฟลูวิกเอซิดในน้ำดิบ ปรระปาจากคลองอุ้ตะเภาโดยโคแอกกลูเลชั่นที่ใช้สารส้ม” เอกสารประชุมวิชาการ The first Conference on Water Resources Management and Technology: 71-77, 8-9 พฤษภาคม 2551, หาดใหญ่, สงขลา

นิวัฒน์ มุหมีน กมลนาวิน อินทนุจิตร จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ สุรพงษ์ วัฒนนะจีระ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยการกรองส้มฝัด” เอกสารประชุม วิชาการ The first Conference on Water Resources Management and Technology: 64-70, 8-9 พฤษภาคม 2551, หาดใหญ่, สงขลา

เขาวมาลย์ สุดาจันทร์ วิทยา โพธิ์เย็น ชัยศรี สุขสาโรจน์ สุรพงษ์ วัฒนนะจีระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ “การจำแนกกลุ่มสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำด้วยการวิเคราะห์โดยสเปค

โตรฟลูโอโรมิสทรีและการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำ” เอกสารการประชุมวิชาการ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7, 12-14 มีนาคม 2551, กรุงเทพ

อาอี๊ยะ ละไบจิ ชันวดี เตชะภัททวรกุล และชัยศรี สุขสาโรจน์ “การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำ
ด้วยการกรองสัมผัสด” เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9
พฤษภาคม 2551 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

ปิ่นรัตน์ สิริพันธ์พงษ์ จีร์รัตน์ สกฤรัตน์ ชันวดี เตชะภัททวรกุล และชัยศรี สุขสาโรจน์ “ประสิทธิภาพ
การบำบัดน้ำชะมูลฝอยของ EM” เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่
8-9 พฤษภาคม 2551 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

ชนกฤต พรหมทอง ฌัฐพล เสนางคนิกกร กมลธรรม อ่ำสกุล ชันวดี เตชะภัททวรกุล และ
ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การกำจัดสีของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยจุลินทรีย์” เอกสารการ
ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

Suksaroj C., and Persin F. “**Décoloration et dégradation de solutions synthétiques contenant des
colorants organiques et d'autres molécules auxiliaires à la teinture par procédés
d'oxydation avancée.**” The conference on 2^{ème} CONGRES Méditerranéen (WATMED 2),
14-17 November 2005, Marrakech, Morocco.

Suksaroj C., Héran M., Allègre C. and Persin F. “**Traitement tertiaire des effluents de teinturerie
de l'industrie textile par procédé membranaire avec oxydation des concentras**” The
conference on 10^{ème} CONGRES DE LA SOCIETE FRANÇAISE DE GENIE DES
PROCEDES (SFGP 2005), 20-22 September 2005, Toulouse France.

Suksaroj C., Héran M., Allègre C. and Persin F. “Treatment of multi-component solutions by
nanofiltration and/or reverse osmosis: Application to textile and dye wastewater treatment” The
IWA specialized conference on water environment-membrane technology 2004, 7-10 June
2004, Seoul, Korea.

ประสบการณ์งานวิชาชีพ (5 ปีย้อนหลัง)

งานบริการวิชาการ

- 2549-ปัจจุบัน เช่น งานทดสอบคุณภาพน้ำและน้ำเสีย, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2553 โครงการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียบ่อผุด แม่น้ำ และห้วยถนน
อ. เกาะสมุย จังหวัด สุราษฎร์ธานี
- 2553 โครงการเฝ้าระวังมลพิษทางทะเลกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน
- 2553 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเอส เจ เจ ซีฟู้ดโปรดักส์ จำกัด
จ.ปัตตานี
- 2553 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดชา โครงการ
พระราชดำริ จ.เชียงราย
- 2551 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยางแท่ง วายทีอาร์ซี รับเบอร์
จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี
- 2550 โครงการตรวจสอบลักษณะสมบัติและปริมาณน้ำเสียของเทศบาลเมืองบ้าน
พรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
- 2549 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซล
ขนาด 10,000 ลิตรต่อวัน, องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี
จ.สุราษฎร์ธานี
- 2549 โครงการศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตน้ำประปา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

การทำงานด้านเทคโนโลยีสะอาด

1. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ การปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด
ผ่านการฝึกงานภาคฤดูร้อน ปี 2550-2554 และ โครงการต่อเนื่อง ใครงงานนักศึกษาปริญญาตรี ปี
2550 - 2553
2. อาจารย์ที่ปรึกษาโรงงานในโครงการ GP และ Carbon footprint ของสถาบันอาหารปี 2551-
2554

คณะผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล : นาง ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์
: Mrs. Thunwadee tachapattaworakul Suksaroj
ID No. : 3-8205-00-220-64-3
ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงาน : คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตู้ ปณ. 50 คอหงส์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
โทร. 074-286844 โทรสาร 074-429758 e-mail: thunwadee.t@psu.ac.th
ประวัติการศึกษา: 2549 Dr.Sc. (Food Science) Université Montpellier II สาธารณรัฐฝรั่งเศส
2544 วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล
2541 วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชา วิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม
เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยมหิดล
สาขาวิชาการชำนาญ: เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม/ เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม/อนามัย
สิ่งแวดล้อม/นิเวศวิทยาอุตสาหกรรม

ประสบการณ์งานวิจัย (5 ปีย้อนหลัง):

โครงการวิจัย : งานวิจัยที่ดำเนินการเสร็จแล้ว

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ ล้างกับคุณภาพของเนือปลาเพื่อ การผลิตซูริมิ	ทุนอุดหนุนงานวิจัยและพัฒนาด้าน เทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ ประจำปี 2550	หัวหน้าโครงการ
การบำบัดน้ำเสียที่มีสีจาก กระบวนการพิมพ์กล่อง	ทุนอุดหนุนงานวิจัยและพัฒนาด้าน เทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ ประจำปี 2551	ผู้ร่วมโครงการ
กระดาษด้วยกระบวนการเพน ตันและเมมเบรนเพื่อนำน้ำ กลับมาใช้ใหม่	ทุนรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์-ทุน พัฒนานักวิจัยใหม่ ประจำปี 2551	หัวหน้าโครงการ
ความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากน้ำอัดลมหมดอายุด้วย ยีสต์และแบคทีเรีย		

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
--------------------	-----------------	----------------------

การปรับปรุงประสิทธิภาพการ บำบัดน้ำอัดลมหมอคายูด้วย จุลินทรีย์	ทุน สกว.- อุตสาหกรรม (MAG Window I) ประจำปี 2551	หัวหน้าโครงการ
การประเมินการแพร่ระบาดของ มีเทนจากหลุมฝังกลบแบบ สุขาภิบาล	ทุนรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์-ทุน ทั่วไป ประจำปี 2551	ผู้ร่วมโครงการ

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อ การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อ มะเร็งในน้ำประปา	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552	ผู้ร่วมโครงการ
พลวัตระบบของออกซิเจน ละลายในคลองอู่ตะเภา	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552	หัวหน้าโครงการ
การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจของกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคโนโลยี สะอาด	ทุน สกว.- อุตสาหกรรม (MAG Window I) ประจำปี 2553	หัวหน้าโครงการ
การเสริมศักยภาพกระบวนการ ผลิตน้ำยางชั้นสำหรับ ผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง ด้วยประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจ	ทุน สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม	ผู้ร่วมโครงการ
การประเมินความเสี่ยงต่อ สุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร ก่อมะเร็งในสระว่ายน้ำ	ทุน สกว.	หัวหน้าโครงการ

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียชุมชน โดยหมักร่วมกับเศษอาหาร	ทุน สกว.	ผู้ร่วมโครงการ
การประเมินความเสี่ยงทาง สุขภาพจากการได้รับสัมผัส ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ พนักงานในโรงงานน้ำยางชั้น สนับสนุนจาก	ทุน มูลนิธิโรคหืดแห่งประเทศไทย	ผู้ร่วมโครงการ
เทคโนโลยีใหม่ในการเพิ่ม มูลค่ากากของเสียขี้เป้งจาก อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น	ทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	ผู้อำนวยการ โครงการชุด

ผลงานทางวิชาการ :

- ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

Kueseng T., Tachapattaworakul Suksaroj T., Musikavong C. and Suksaroj C. (2011) Enhanced coagulation for removal of dissolved organic matter and trihalomethane formation potential from raw water supply in Sri-trang reservoir, Thailand. *Water practice and Technology*, 6(1) online: doi:10.2166/WPT.2011.002.

Kananam W., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. (2011) Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Scienceasia* 37:17-23.

Saeng, C., Cheirrsilp, B., Tachapattaworakul, T. and Bourtoom, T.(2011) Efficient concomitant production of lipids and carotenoids by oleaginous red yeast *Rhodotorula glutinis* cultured in palm oil mill effluent and application of lipids for biodiesel production, *Biotech. Bioprocess Eng.*, 16(1):23-33

Saeng, C., Cheirrsilp, B., Tachapattaworakul, T. and Bourtoom, T.(2011) Potential use of oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* for the bioconversion of crude glycerol from biodiesel plant to lipids and carotenoids. *Process Biochemistry*, 46(1):210-218

T. Tachapattaworakul, A. Fontana-Tachon, J.P. Guiraud, and R. Ratomahenina. (2008) Application of benomyl resistance and RAPD-PCR for detecting a *Trichoderma atroviride* strain used as biocontrol agent. *Biological Agricultural & Horticulture*, 25(4):367-377.

มารีณี โด ชีระวิทย์ รัตนพันธ์ และ ฉันทวี สุขสาโรจน์ (2554) ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ. *วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา*, 9(2): 209-222.

ชนกฤต พรหมทอง ฉันทวี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) กลไกและจนผลศาสตร์ของปฏิกิริยากำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเฟินต้นริเอเจนต์. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 24(2):37-47.

วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์ วิรัช ทวีปรีดา ฉันทวี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ (2552) พฤติกรรมการหอดตัวและกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเหนียวเมื่อผสมกากขี้เป้ง. *วิศวกรรมสาร มข.*, 36(4) ซ 283-292.

รุสนี โตะกิเล ฉันทวี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ เบญจมาศ เขียวศิริศิลป์ (2552) ความคงตัวของเอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์สารเร่ง พด.1 เพื่อการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 37(4): 407-416.

อรกัญญา แม่หนู บรรจง วิทย์วิรัชศักดิ์ และ ฉันทวี เตชะภักทวรกุล (2551). ปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในสาหร่ายเขากวาง (*Caulerpa racemosa* var. *corynephora*) ที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล เปรียบเทียบกับที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมี. *วารสารการประมง*, 60(1): 43-50.

- การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการและมีการพิมพ์เป็นรูปเล่ม (oral presentation/proceeding)

Tachapattaworakul Suksaroj T. (2009). Bioethanol production from agro-industrial wastewater. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.

Kueseng T., Tachapattaworakul Suksaroj T., Musikavong J. and Suksaroj C. (2009). Efficiency of PACl Coagulation Combined with Cationic Polymer and Powder Activated Carbon for Dissolved Organic Matter Removal in Raw Water Supply. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.

Issaro C., Taweepreeda W., Tonguri C. Tachapattaworakul Suksaroj T. and Suksaroj C. (2009). A Study of Inclusion Complexes Formation between Glycerol and Cyclodextrins by X-Ray Diffraction. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.

Hemmanee B., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Boonsawang P. (2009). Pretreatment of Palm Oil Mill Wastewater for Ethanol Production. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May

2009, Songkhla, Thailand.

- Tongsri F., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Ethanol Production from Expired Carbonated Soft Drink by *Zymomonas mobilis*. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Ma-ae A., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. and Musikavong J. (2009) Evaluation of Methane Emission from Sanitary Landfill: A Case Study of Hat Yai, Songkhla province. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Inthanuchit K., Suksaroj S., Tachapattaworakul T. and Musikavong J. (2009). Reduction of Tryptophan and Humic and Fulvic-Like Substance from U-Tapao Canal by Enhanced Coagulation. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Kongnoo A., Tachapattaworakul T., Musikavong C. and Suksaroj C. (2009). Tree-Dimension Spectroscopy Analysis for Characterizing Nature of Dissolved Organic Matter in Treated Wastewater from Para Rubber, Seafood and Palm Oil Industries. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Boungdukjai T., Surasit S., Suksaroj C., Ua-kritdathikarn P. and Tachapattaworakul Suksaroj T. (2009) System Dynamics Model of Water Quality in Klong U-Tapao. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Muadpon R., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Ethanol Production from Expired Carbonated Soft Drink Using *Saccharomyces cerevisiae*. The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, 1-3 April 2009, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Poboornchern P., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Pretreatment of Expired Carbonated Soft Drink by Microorganisms. The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, 1-3 April 2009, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Siripanpong P., Suksaroj C., Tachapattaworakul T., Sakunrat J. and Musikavong J. (2008). Treatment of Organic Matters in Landfill Leachate by Bioextract juice. The 6th international symposium on Southeast Asian environment, 29-31 October 2008, Bandung, Indonesia.

Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C., Pongpetch N. and Anontree A. (2008). The Effect of Washing Water Volume Decrease on Frozen Surimi Quality. Annual cleaner technology meeting, Bangkok.

Klodkaew S., Tachapattraworakul T. and Kanthachot D. (2008). Non-Specific disease Resistance Stimulation of Cucumber by Effective Microorganisms. **The 10th National Graduate Research Conference** ,11-12 September 2008 ,Bangkok.

Labaiji A., Tachapattaworakul T. and Suksaroj C. (2008). Water treatment by contact Flocculation filtration. The 1st conference on water resource management and technology, May 8-9, 2008, Songkhla, Thailand.

Ounsancha W., Tachapattaworakul T. and Boonsawang P. (2008). Appropriate approach for implementing environmental management system) ISO 14001 : 2004) in aqua feed industry. The 7th national environmental conference, March, 12-14, 2008, Bangkok, Thailand.

-การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการ (poster presentation)

Tachapattaworakul T.S. and Suksaroj C. (2008) Reduction of Natural Organic Matters by Contact Flocculation Filtration using Alum or Ferric Chloride as a Coagulant, presented in poster session : The 6th international symposium on southeast asian environment, 29-31 October 2008, Bundung, Indonesia.

Tachapattaworakul T., Fontana-Tachon A. and Guiraud JP. (2006) *Trichoderma atroviride* cultivation in liquid medium for production of biomass and 6-pentyl- α -pyrone (6-PP), presented in poster session : 20th International ICFMH Symposium, 29 August-2 September 2006, Bologna, Italy.

Ratomahenina R., Tachapattaworakul T. and Guiraud JP. (2006) Rapid detection and identification of *Trichoderma atroviride* by RAPD-PCR technique and use of mutants resistant, presented in poster session : 2nd FEMs Congress of European Microbiologists, 4-8 July, Madrid, Spain

Tachapattaworakul T., Fontana-Tachon A. and Guiraud JP. (2006) Production of *Trichoderma atroviride*, a biocontrol agent, by solid and liquid state fermentation, presented in poster session : Annual Conference of the Association of General and Applied Microbiology (VAAM), 19-22 March 2006, Jena, Germany.

คู่มือ/หนังสือ :

- “มาตรฐานคุณภาพน้ำและดัชนีหลักในการประเมินคุณภาพน้ำ” หน้า 19-27 ในคู่มือ “การประเมินผลคุณภาพน้ำ” (137 หน้า) โดยคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

- สมทิพย์ ดำเนินวิชย์ เจริญชัย ศิริวงศ์ พนาลี ชิวกิดาการ ภทรธร เอื้อกฤดาภิการ และ ธีรวดี เตชะภัททวารกุล. (2553) คุณภาพน้ำและการจัดการ. สำนักพิมพ์จอยพรินท์ สงขลา

งานบริการวิชาการ :

- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2551 บริษัท หาดทิพย์ จำกัด (มหาชน)
- ที่ปรึกษา โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีเขียว ประจำปี 2551 บริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด
- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2551 บริษัท เอส. แพ็ค แอนท์ พรินท์ จำกัด (มหาชน)
- ที่ปรึกษา โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีเขียว ประจำปี 2551 บริษัท แปซิฟิกปลาแปน จำกัด
- หัวหน้าโครงการประเมินสภาพแวดล้อมโรงโม่และเหมืองหิน จ. กระบี่ ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ จ. กระบี่ ตาม โครงการ โรงโม่เหมืองหินติดดาวประจำปี 2551 ของกรมควบคุมมลพิษ
- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2550 บริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด
- หัวหน้าโครงการ การประเมินความเสี่ยงโรงงานผลิตไบโอดีเซล ขนาดกำลังการผลิต 10,000 ลิตร/วัน องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี