ผลกระทบของลักษณะพื้นผิววัสดุและสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

น.ส.รัฐกานต์ จำรูญรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of surface characteristic and operating conditions on oil recovery efficiency of drum skimmer

Miss Ratthakarn Jumroonrat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของลักษณะพื้นผิววัสดุและสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง
โดย	น.ส.รัฐกานต์ จำรูญรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ณัฐวิญญ์ ชวเลิศพรศิยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.ณัฐวิญญ์ ชวเลิศพรศิยา)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มรุพัชร จำนงค์วงศ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รัฐกานต์ จำรูญรัตน์ : ผลกระทบของลักษณะพื้นผิววัสดุและสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง. (Effects of surface characteristic and operating conditions on oil recovery efficiency of drum skimmer) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ณัฐวิญญ์ ชวเลิศพรศิยา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุพื้นผิวและสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยใช้น้ำมันปาล์มน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และ SAE 20W-50 ในการศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุพื้นผิว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน รวมไปถึงสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ทำนายอัตราการนำกลับน้ำมัน

ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง แบ่งตามชนิดน้ำมัน ได้แก่ 1) น้ำมันปาล์ม มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุด 97% และอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.28 มิลลิลิตรต่อวินาที ด้วยวัสดุพอลิโพรไพลีน 2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 97% มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.31 มิลลิลิตรต่อวินาที ด้วยวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ และ 3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 98% มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.50 มิลลิลิตรต่อวินาที ด้วยวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยแนวคิด DOE และการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ พบว่า พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาทั้งหมดส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน โดยสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันมีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดสอบการนำกลับน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยสภาวะการเดินระบบแบบพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์และพื้นผิวพอลิโพรไพลีนเท่ากับ 32% 23% ตามลำดับ และ 16% 24% สำหรับน้ำมันหล่อลื่นตามลำดับ

สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

6070288621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD:

Ratthakarn Jumroonrat : Effects of surface characteristic and operating conditions on oil recovery efficiency of drum skimmer . Advisor: Prof. PISUT PAINMANAKUL, Ph.D. Co-advisor: Nattawin Chawaloesphonsiya, Ph.D.

This work aims to investigate effects of material types and operating condition on the oil recovery performance of drum skimmer. Palm oil and two lubricants (SAE10W-40 and SAE20W-50) were applied to determine effects of material types, drum size, ratio of oil thickness to submerged drum, and rotating speed. The results were analyzed to identify parameter affecting the performance as well as construct a mathematical for predicting oil recovery rate.

The optimal condition for effective oil recovery was different for each oil type as (1) palm oil with 97% oil recovery and 24.28 ml/s by PP; (2) SAE10W-40 with 97% oil recovery and 24.31 ml/s by PVC; and (3) SAE20W-50 with 98% and 24.50 ml/s by PVC. The analysis by DOE shows that all interested parameters can affect the oil recovery efficiency, which correspond to the application of Buckingham Pi theorem in constructing a mathematical correlation for predicting oil recovery rate. The accuracy of the correlation was examined by comparing the predicted results to those obtained from real samples of rejected palm oil and spent lubricant. The discrepancy in the oil recovery rate between predicted and experimental values of 32% and 23% was found for recovering used palm oil with PVC and PP, respectively. Likewise, the error of 16% from PVC and 24% from PP was acquired for recovering spent lubricant oil by drum skimmer.

Field of Study:	Environmental Engineering	Student's Signature ....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จรุร่วงไปได้ด้วยดีนั้นจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ให้ความอนุเคราะห์ ดังนี้

ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.ณัฐวิญญ์ ชวเลิศพรศิยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้โอกาสในการทำวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาตลอดช่วงเวลาในการทำการทำวิจัยพร้อมทั้งให้คำชี้แนะ ติชม รวมถึงให้แนวคิดในการพัฒนางานวิจัย ทำให้งานวิจัยครั้งสำเร็จไปได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ ที่คอยให้คำแนะนำตลอดจนการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิตที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ภายใต้การดำเนินงานของ สกว. ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จรุร่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการใช้งานในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ นายกริชชาติ ว่องไวลิขิต และนายเธียรสิทธิ์ กิตติจิตต์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณสมาชิกทุก ๆ คนในห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิตที่คอยให้คำชี้แนะ ช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยในตลอดระยะเวลา 1 ปี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา พี่สาว ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาตลอดมา

รัฐกานต์ จำรูญรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญภาพ .... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์ 1

1.2 คำสำคัญ 1

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ชนิดของน้ำมัน 5

2.1.1 น้ำมันสำหรับประกอบอาหาร 5

2.1.2 ปิโตรเลียม (Petroleum) 6

2.2 น้ำมันรั่วจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม 7

2.2.1 การซึมของน้ำมันตามธรรมชาติ (Natural oil seepage) 7

2.2.2 การรั่วไหลจากการสำรวจ ขุดเจาะ และผลิต 7

2.2.3 การรั่วไหลจากการขนส่งน้ำมันปิโตรเลียม 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 การรั่วไหลจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม 8
2.2.5 การปนเปื้อนที่เกิดจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม..... 8
2.2.6 การรั่วไหลของเรืออับปาง 9
2.3 น้ำมันจากกิจกรรมในครัวเรือน..... 9
2.3.1 น้ำมันพืช 9
2.3.2 น้ำมันหมู 9
2.4 การแยกน้ำมันปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย 9
2.4.1 ลักษณะน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย..... 9
2.4.2 ถังแยกน้ำมันแบบ API..... 10
2.5 วิธีการนำกลับน้ำมันจากการรั่วไหลลงสู่น้ำ..... 12
2.5.1 สกิมเมอร์ที่แบ่งตามการติดตั้งการใช้งาน..... 12
2.5.2 สกิมเมอร์ที่แบ่งตามหลักการทำงาน..... 15
2.6 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer) 16
2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 17
2.7 แรงตึงผิว (Surface tension)..... 18
2.7.1 การเกิดหยดของเหลว (Droplet)..... 18
2.7.2 แรงยกตัว (Capillarity) (สุระ วุฒิพรหม, 2559)..... 19
2.7.3 การวัดแรงตึงผิว..... 20
2.8 คุณสมบัติของพื้นผิว..... 22
2.8.1 สภาวะการเปียก (Wetting)..... 22
2.8.2 มุมสัมผัส (Contact angle, θ)..... 22
2.8.3 ความหยาบผิว (Surface roughness testing) 23
2.9 สมการ Buckingham Pi Theorem..... 27
2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10.1 สกิมเมอร์ 31

2.10.2 มุมสัมผัส (Contact angle) 42

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 50

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 50

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 53

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ 53

3.2.2 สารเคมี 55

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 56

<u>ส่วนที่ 1</u> การวิเคราะห์คุณสมบัติ 56

ส่วนที่ 1.1 : วิเคราะห์คุณสมบัติของของเหลว 56

ส่วนที่ 1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ 59

ส่วนที่ 1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว 61

<u>ส่วนที่ 2</u> การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 63

<u>ส่วนที่ 3</u> การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 68

<u>ส่วนที่ 4</u> : การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบ และศึกษาสภาวะการทดลองที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพนำกลับน้ำมัน 72

<u>ส่วนที่ 4.1</u> การศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งด้วยแนวคิด Design of experiment (DOE) 72

<u>ส่วนที่ 4.2</u> การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยการสร้างสมการ Buckingham Pi Theorem 73

<u>ส่วนที่ 5</u> : การทดสอบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันจากผลการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์ 74

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 76

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเหลวและวัสดุพื้นผิว 76
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของของเหลว 76
4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ 79
4.1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว 80
4.2 ผลการศึกษาสภาวะการทดลอง 82
4.2.1 ชนิดวัสดุพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 95
4.2.2 ชนิดน้ำมัน 97
4.2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 98
4.2.4 ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 98
4.2.5 ความเร็วรอบในการหมุน 99
4.3 สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมกับการนำกลับน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 101
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหลังการทำการทดลอง 102
4.4.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ 104
4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 107
4.5.1 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำกลับน้ำมันโดยไม่มีน้ำเจือปน 107
4.5.2 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่สามารถนำน้ำที่เหลือจากการนำกลับน้ำมันเข้าสู่ถังดักไขมัน 109
4.6 สมการทำนายประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 117
4.6.1 การทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมันด้วยโปรแกรม D.O.E (Design of experiment) 117
4.6.2 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งด้วยทฤษฎี Bucking ham pi theorem 121
4.7 การทดสอบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันจริง 124
4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 124

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7.2 ผลการศึกษาสภาวะการทดลอง 127
4.7.2.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว 127
4.7.2.2 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว 128
4.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 129
4.7.3.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว 129
4.7.3.2 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว 130
4.7.4 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วหลังทำการทดลอง 132
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 136
5.1 สรุปผลการวิจัย 136
5.1.1 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 136
5.1.2 สภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ 138
5.1.3 สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 138
5.1.4 การประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมในการนำกลับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 138
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป 139
บรรณานุกรม 170
ประวัติผู้เขียน 173

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันประกอบอาหาร (บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน), 2553)..... 5

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (สราวุธ สุธีรวงศ์, 2559).. 7

ตารางที่ 2-3 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (ศรีธน วรศักดิ์โยธิน, 2546)... 18

ตารางที่ 2-4 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์ (Topham, 2003) 36

ตารางที่ 2-5 สรุปการนำกลับน้ำมันด้วยการใช้สกิมเมอร์และใช้ I-Petrogel เป็นตัวดูดซับ (Nam และคณะ, 2018).. 37

ตารางที่ 2-6 สรุปสภาวะเดินระบบที่เหมาะสมของสกิมเมอร์ (Hoang และ Chau, 2018)............. 38

ตารางที่ 2-7 สรุปปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ (Widiaksana, Yudiana และ Nugroho, 2018)....... 40

ตารางที่ 2-8 คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาใช้ทดลอง (El-Zahaby และคณะ, 2011)....... 41

ตารางที่ 2-9 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์และสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม ... 45

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว 56

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดของของเหลว 57

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพื้นผิววัสดุ 58

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหยาบพื้นผิว 59

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานพื้นผิว 60

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดมุมสัมผัส (Contact angle) 62

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 69

ตารางที่ 3-8 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะของพื้นผิววัสดุ และศึกษาสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 75

ตารางที่ 4-1 ค่าความหนาแน่นของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส................................ 77

ตารางที่ 4-2 ค่าความหนืดของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส... 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-3 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส 78

ตารางที่ 4-4 ค่าความหยาบของพื้นผิววัสดุ.. 79

ตารางที่ 4-5 ค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุ.. 80

ตารางที่ 4-6 มุมสัมผัสระหว่างวัสดุพื้นผิวและน้ำประปา 80

ตารางที่ 4-7 มุมสัมผัสระหว่างวัสดุพื้นผิวและน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และ น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 81

ตารางที่ 4-8 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์ม (ร้อยละ)... 83

ตารางที่ 4-9 ปริมาณน้ำมันปาล์มที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร).. 84

ตารางที่ 4-10 อัตราการนำกลับน้ำมันปาล์ม (มิลลิลิตรต่อวินาที) 85

ตารางที่ 4-11 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันปาล์ม 86

ตารางที่ 4-12 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (ร้อยละ)............................. 87

ตารางที่ 4-13 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร) 88

ตารางที่ 4-14 อัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (มิลลิลิตรต่อวินาที)........................... 89

ตารางที่ 4-15 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40..................... 90

ตารางที่ 4-16 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (ร้อยละ)............................. 91

ตารางที่ 4-17 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร) 92

ตารางที่ 4-18 อัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (มิลลิลิตรต่อวินาที) 93

ตารางที่ 4-19 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50..................... 94

ตารางที่ 4-20 ค่าความหนาแน่นของของเหลว 104

ตารางที่ 4-21 ค่าความหนืดของของเหลว 105

ตารางที่ 4-22 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว... 106

ตารางที่ 4-23 ร้อยละการนำกลับน้ำมันแต่ละชนิดที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านเข้าถังดักไขมันได้.. 110

ตารางที่ 4-24 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันปาล์ม 111

ตารางที่ 4-25 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 113

ตารางที่ 4-26 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 115

ตารางที่ 4-27 ค่า P Value ของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์ม 117

ตารางที่ 4-28 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันปาล์ม 118

ตารางที่ 4-29 ค่า P Value ของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 118

ตารางที่ 4-30 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 119

ตารางที่ 4-31 ค่า P Value ของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 119

ตารางที่ 4-32 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 120

ตารางที่ 4-33 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 125

ตารางที่ 4-34 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 126

ตารางที่ 4-35 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 126

ตารางที่ 4-36 สรุปสภาวะการเดินระบบของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว 131

ตารางที่ 4-37 สรุปสภาวะการเดินระบบของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว 131

ตารางที่ 4-38 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการทดลอง 133

ตารางที่ 4-39 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการวิจัย 134

ตารางที่ 4-40 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการทดลอง 134

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ถังแยกน้ำมันแบบ API (API oil–water separator) ... 11

รูปที่ 2-2 ถังดักไขมัน ... 12

รูปที่ 2-3 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer) ... 13

รูปที่ 2-4 สกิมเมอร์แบบดิสก์ (Disc skimmer) ... 13

รูปที่ 2-5 สกิมเมอร์แบบสายพาน (Belt skimmer) ... 13

รูปที่ 2-6 สกิมเมอร์แบบฝาย (Weir skimmer) ... 14

รูปที่ 2-7 สกิมเมอร์แบบสูญญากาศ (Vacuum truck and air conveyor) ... 14

รูปที่ 2-8 สกิมเมอร์แบบแปรง (Brush skimmer) ... 15

รูปที่ 2-9 สกิมเมอร์แบบใบพัด (Paddle skimmer) ... 15

รูปที่ 2-10 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ... 17

รูปที่ 2-11 หยดปรอท ... 19

รูปที่ 2-12 ลักษณะของโค้งรอยต่อระหว่างก๊าซกับของเหลวเมื่อสัมผัสกับผิวของแข็ง ... 20

รูปที่ 2 -13 เครื่อง DunoÜy tensiometer ... 21

รูปที่ 2-14 เครื่อง Wilhelmy plate ... 22

รูปที่ 2-15 ลักษณะการกระจายตัวของของเหลว ... 23

รูปที่ 2-16 ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต ... 24

รูปที่ 2-17 ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง ... 24

รูปที่ 2-18 ความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาณ ... 25

รูปที่ 2-19 ความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง ... 25

รูปที่ 2-20 ความหยาบผิวโดยรวม ... 26

รูปที่ 2-21 ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด ... 26

รูปที่ 2-22 ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด ... 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-23 ความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย 27

รูปที่ 2-24 สมดุลแรง 28

รูปที่ 2-25 แผนผังการทดสอบสกิมเมอร์ (Broje และ Keller, 2007) 31

รูปที่ 2-26 ลักษณะพื้นผิวของสกิมเมอร์ 32

รูปที่ 2-27 อัตราการนำกลับน้ำมันที่ 10°C ของ (a) Endicott (b) Hydrocal (c) Diesel 33

รูปที่ 2-28 อุปกรณ์สกิมเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย (Hammoud และคณะ, 2003) 34

รูปที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 52

รูปที่ 3-2 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 53

รูปที่ 3-3 มอเตอร์ควบคุมความเร็วรอบ 54

รูปที่ 3-4 เครื่องวัดความเร็วรอบ 54

รูปที่ 3-5 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง 55

รูปที่ 3-6 ขวด Pycnometer 56

รูปที่ 3-7 เครื่อง Viscometer 57

รูปที่ 3-8 เครื่อง Tensiometer 58

รูปที่ 3-9 เครื่อง Surface roughness tester 59

รูปที่ 3-10 ตัวอย่างกราฟ Zisman plot 61

รูปที่ 3-11 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ 61

รูปที่ 3-12 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (อำพล รัตนสุวงศ์ชัย, 2530) 64

รูปที่ 3-13 การติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (ด้านหน้า) 65

รูปที่ 3-14 การติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (ด้านข้าง) 65

รูปที่ 3-15 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียม 66

รูปที่ 3-16 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวยาง และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก 67

รูปที่ 3-17 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วที่ระยะความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ที่ระยะต่าง ๆ 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-18 แผนผังการวิเคราะห์และศึกษาสภาวะการนำกลับน้ำมันที่เหมาะสมของ 70

รูปที่ 3-19 การทดลองการนำกลับน้ำมันปาล์มด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 71

รูปที่ 4-1 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง 77

รูปที่ 4-2 น้ำมันก่อนทำการทดลองและหลังทำการทดลอง 103

รูปที่ 4-3 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันปาล์ม .. 122

รูปที่ 4-4 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 123

รูปที่ 4-5 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 123

รูปที่ 4-6 น้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว 125

รูปที่ 4-7 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว 132

รูปที่ 4-8 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : ผลกระทบของลักษณะพื้นผิววัสดุและสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง
ภาษาอังกฤษ : Effects of surface characteristic and operating conditions on oil recovery efficiency of drum skimmer

1.2 คำสำคัญ

สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer)
ฟิล์มน้ำมัน (Oil film)
การนำกลับน้ำมัน (Oil recovery)
ลักษณะของพื้นผิว (Surface characteristics)

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในปัจจุบันแหล่งน้ำตามธรรมชาติถูกการปนเปื้อนด้วยน้ำมันหลายรูปแบบจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การคมนาคม และการอุปโภคบริโภค ทั้งนี้การขยายตัวของชุมชนและการพัฒนาในด้านอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณการใช้น้ำมัน และเพิ่มความเสี่ยงในการปนเปื้อนของน้ำมันออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำมีอยู่หลายลักษณะ แต่มักพบเห็นได้ในรูปฟิล์มน้ำมันหรือชั้นน้ำมันที่ลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของน้ำ การปนเปื้อนของน้ำมันในน้ำลักษณะนี้จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่วงกว้างจากการกระจายตัวแม้จะมีปริมาณน้ำมันที่ปนเปื้อนไม่มากนัก วิธีการแยกน้ำมันในลักษณะดังกล่าวที่มีความรวดเร็วจึงมีความจำเป็นเพื่อลดผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำมันในธรรมชาติ นอกจากนี้ แนวคิดในการจัดการชั้นน้ำมันในลักษณะนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการรับมือเหตุการณ์น้ำมันรั่วจากการผลิตหรือขนส่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งจะมีการรั่วไหลของน้ำมันปริมาณมากในครั้งเดียว และน้ำมันส่วนใหญ่จะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำที่ต้องการการแยกและนำกลับอย่างรวดเร็ว

โดยทั่วไปการแยกน้ำมันออกจากน้ำมักจะทำการแยกด้วยวิธีทางกายภาพ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย ใช้เวลาไม่นาน และเป็นการแยกด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดปริมาณและความเข้มข้นของน้ำมันก่อนผ่านเข้าสู่การบำบัดทางชีวภาพต่อไป ซึ่งอุปกรณ์สกิมเมอร์ถือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการน้ำมันซึ่งสามารถแยกและรวบรวมน้ำมันเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ จึงสามารถประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำมันรั่ว และการรวบรวมน้ำปนเปื้อนน้ำมันของโรงงานอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เช่น น้ำปนเปื้อนน้ำมันตัด และน้ำปนเปื้อนน้ำมันปาล์ม โดยในปัจจุบัน ในบางอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบท่อตัวซี (C-pipe skimmer) ในการนำกลับน้ำมัน ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำในการนำกลับน้ำมันจากความหนาของชั้นน้ำมัน ทำให้เกิดการเจือปนของน้ำเมื่อความหนาของน้ำมันไม่คงที่รวมไปถึงส่งผลต่อสุขลักษณะที่ไม่ดีต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งต้องมีการควบคุมอุปกรณ์ตลอดเวลา จึงมีการพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมัน เช่น สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ที่อาศัยการเกาะติดผิวของน้ำมันบนพื้นผิวลูกกลิ้งเพื่อแยกและนำกลับน้ำมัน

อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer) เป็นอุปกรณ์นำกลับน้ำมันที่สามารถใช้งานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบให้เกิดการดูดติดน้ำมันบริเวณพื้นผิวของวัสดุลูกกลิ้งเพื่อทำการแยกและนำกลับน้ำมัน โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างเฟสของของไหลกับพื้นผิวของแข็ง (Adhesion force) ที่มากกว่าแรงดึงดูดของของไหลในเฟสเดียวกัน (Cohesion force) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อแรงตึงผิวของของไหลมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งจะทำให้เกิดการนำกลับน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการทดลองนี้สนใจที่จะศึกษาวัสดุพื้นผิว 5 ชนิด ได้แก่ (1) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาถูก หาซื้อได้ทั่วไป โดยมีคุณสมบัติในด้านการต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีและน้ำหนักเบา (2) อลูมิเนียม (Aluminium) เป็นวัสดุที่มีความทนทาน แข็งแรง มีคุณสมบัติที่จะไม่ทำให้เกิดสนิม ทนความร้อน และมีน้ำหนักเบา (3) พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสีได้ดี (4) ยาง (Rubber) เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถผลิตได้เองในประเทศและมีราคาถูก โดยวัสดุยางพารามีความเหนียวและคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ได้ดี และ (5) ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic natural rubber, TPNR) เนื่องจากเป็นยางที่มีการปรับคุณสมบัติให้มีความทนทานต่อแรงดึง การขัดถู รวมถึงแรงกระแทก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้อุปกรณ์นำกลับน้ำมันประเภทสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง สามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำเพื่อการนำกลับน้ำมันได้จากคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิววัสดุเพื่อทำให้เกิดการดูดติดน้ำมัน ซึ่งปัจจัยด้านพื้นผิววัสดุถือเป็นส่วนที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันได้ดีขึ้นเช่นเดียวกับการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้มีสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง สำหรับเป็นอุปกรณ์ขั้นต้นในการนำกลับและแยกน้ำมันก่อนการปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย สามารถเคลื่อนย้ายเพื่อติดตั้งและเดินระบบในพื้นที่จริงได้ง่ายและเหมาะกับการนำกลับน้ำมันเบาหรือน้ำมันที่แยกชั้นและลอยตัวอยู่บนผิวน้ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและลักษณะพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ชนิดน้ำมัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน ทั้งนี้จะประเมินประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์ในการทดลองจาก การนำกลับน้ำมันจากปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ นอกจากนี้จะทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลองที่ได้สำหรับการทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันภายใต้สภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน รวมไปถึงทำการทดสอบการนำกลับน้ำมันจากน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ผลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์สกิมเมอร์สำหรับนำกลับน้ำมันและแยกน้ำมันออกจากน้ำในขั้นต้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่เกิดขึ้นทั้งจากกิจกรรมในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุและลักษณะพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน

1.4.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

1.4.3 เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับทำนายประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการนำกลับน้ำมันภายใต้สภาวะการเดินระบบที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) การทดลองทั้งหมดดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1.5.1 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

1.5.2 ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อการนำกลับน้ำมัน

1.5.3 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งทำจากวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP) และอลูมิเนียม (Aluminium) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 6 และ 8 นิ้ว โดยมีวัสดุพันรอบแกน คือ ยาง (Rubber) และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)

1.5.4 ควบคุมระยะความหนาชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของลูกกลิ้งที่อัตราส่วน 3:2 1:1 และ 2:3 ที่ความเร็วรอบในการหมุน 10 25 40 และ 60 รอบต่อนาที

1.5.5 พิจารณาประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์จาก ปริมาตรของน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ

1.5.6 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และสร้างสมการคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

1.5.7 ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากน้ำปนเปื้อนน้ำมันจริง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ต้นแบบของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง สำหรับการนำกลับน้ำมัน

1.6.2 สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมในการนำกลับน้ำมันด้วยสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

1.6.3 สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายประสิทธิภาพที่ใช้ในการออกแบบและเลือกสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จะกล่าวในเรื่องต่อไปนี้คือ ชนิดน้ำมัน น้ำมันรั่ว การแยกน้ำมันปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย วิธีการนำกลับน้ำมันจากการรั่วไหลลงสู่น้ำ ปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง แรงตึงผิว คุณสมบัติของพื้นผิว รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์สกิมเมอร์เพื่อใช้ในการนำกลับน้ำมัน

2.1 ชนิดของน้ำมัน

น้ำมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.1 น้ำมันสำหรับประกอบอาหาร

2.1.1.1 น้ำมันจากสัตว์ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่ คือ กรดไขมันอิ่มตัว มีคุณสมบัติเป็นไขได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ เช่น น้ำมันหมู น้ำมันวัว และน้ำมันปลา

2.1.1.2 น้ำมันจากพืช คือ สารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีความหนืดสูง มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันซึ่งมีองค์ประกอบชนิดต่าง ๆ กัน และมีปริมาณไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันรำข้าว น้ำมันงา และน้ำมันปาล์ม โดยมีค่าความหนาแน่นของน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 2-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2-1 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันประกอบอาหาร (บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน), 2553)

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น (กรัม/มล.) ที่ 22°C
น้ำมันปาล์ม (Palm oil)	0.898
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918
น้ำมันดอกทานตะวัน	0.918
น้ำมันมะพร้าว	0.915
น้ำมันในเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil)	0.904

2.1.1.3 น้ำมันปาล์ม (Palm oil) (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2561) คือ น้ำมันพืชชนิดนึงที่ใช้วัตถุดิบหลักจากผลปาล์มน้ำมัน 2 ส่วน ได้แก่

1. จากเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) น้ำมันที่ได้เรียกกว่า น้ำมันจากเนื้อปาล์ม (palm oil)
2. จากเนื้อในของเมล็ด (palm kernel) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม palm kernel oil โดยมีน้ำมันร้อยละ 44-48 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารและใช้ในการประกอบอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง น้ำมันปาล์มมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น โดยกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) โดยทำการอบด้วยอุณหภูมิ 130-135 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2.5 ถึง 3 บาร์ ใช้เวลา 50 ถึง75 นาที ซึ่งจะช่วยในปฏิกิริยาไฮโปไลซิส ที่ก่อให้เกิดไขมันอิสระในผลปาล์ม และช่วยให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วผลได้ง่าย

2) การแยกผล (Stripping) เป็นการนำทะลายปาล์มเข้าเครื่องแยกผลปาล์ม สำหรับทะลายปาล์มจะถูกแยกออกไป และจากนั้นผลปาล์มจะถูกย่อย เพื่อให้ส่วนเปลืองแยกออกจากเมล็ด

3) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) นำส่วนเปลือกไปอบที่อุณหภูมิ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 ถึง 30 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบคือ น้ำมันร้อยละ 66 น้ำร้อยละ 24 และของแข็งร้อยละ 10

4) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) เป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบไปกรองเพื่อทำการแยกน้ำและของแข็งออกจากกัน และนำเข้าเครื่องเหวี่ยงอีกครั้ง ทำการไล่น้ำออกเพื่อทำให้แห้ง และส่งเข้าถังเก็บเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.1.2 ปิโตรเลียม (Petroleum) คือ สารไฮโดรคาร์บอน ที่มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) โดยอาจมีธาตุอโลหะชนิดอื่น เช่น กำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยสถานะของปิโตรเลียมเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบรวมทั้งสภาวะที่ทำให้เกิด ได้แก่ ความร้อนและความดันในการเปลี่ยนสภาพของซากสิ่งมีชีวิตในแหล่งกักเก็บ โดยปิโตรเลียมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยทั่วไปจะแบ่งตามสถานะได้ 2 ชนิด คือ น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซปิโตรเลียม

ปิโตรเลียมทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถนำมาผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วน หรือกลั่นแยกโดยอาศัยจุดเดือดที่แตกต่างกัน เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และยางมะตอย ตัวอย่างคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมบางชนิด แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (สราวุธ สุธีรวงศ์, 2559)

ชนิดน้ำมัน	ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
น้ำมันก๊าด (Kerosene)	0.73	น้อยกว่า 30
ก๊าซโซลีน	0.68	65-170
ดีเซล	0.81 – 0.87	250-350
น้ำมันเตา	0.94	มากกว่า 400
ยางมะตอย (Asphalt)	1.01 - 1.08	มากกว่า 500

2.2 น้ำมันรั่วจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

สาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำมันรั่ว (Oil spill) แบ่งได้เป็น 6 ประเภท คือ

2.2.1 การซึมของน้ำมันตามธรรมชาติ (Natural oil seepage)

สารไฮโดรคาร์บอนมีความสามารถในการซึมลงสู่ผิวดินได้ตามธรรมชาติ โดยพบในปริมาณน้อยเป็นระยะ ๆ จึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่ในบางกรณีอาจพบในปริมาณสูง จากการประมาณการพบปริมาณการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลจากสาเหตุนี้มีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับประเภทอื่น ๆ โดยมีประมาณ 0.2 ล้าน ถึง 20 ล้านตันต่อปี

2.2.2 การรั่วไหลจากการสำรวจ ขุดเจาะ และผลิต

ในระหว่างการขุดเจาะน้ำมันดิบขึ้นมาจะมีน้ำใต้ดินเจือปนเข้ามาด้วย จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำส่วนนี้ก่อนการสูบกลับเข้าสู่แอ่งน้ำใต้ดินเดิม หรือกำจัดจากแท่นขุดเจาะ ซึ่งน้ำส่วนนี้จะมีปริมาณน้ำมันเจือปนต่ำโดยน้ำมันจะถูกละลายลงสู่น้ำอย่างรวดเร็ว แต่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการรั่วไหลประเภทอื่น ๆ

2.2.3 การรั่วไหลจากการขนส่งน้ำมันปิโตรเลียม

2.2.3.1 การรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน

เป็นวิธีการขนถ่ายน้ำมันปริมาณมากทั้งในรูปแบบน้ำมันดิบและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลั่นแล้ว จึงเป็นสาเหตุการรั่วไหลของน้ำมันที่มีผลกระทบมากที่สุด เนื่องจากอาจเป็นแบบรั่วไหลครั้งเดียวในปริมาณสูง และต้องทำการจัดการอย่างถูกวิธี

2.2.3.2 การรั่วไหลจากท่อส่งน้ำมัน

ท่อส่งน้ำมันเป็นการขนถ่ายบนดินและใต้ดิน โดยมีปริมาณน้ำมันมาก เช่น น้ำมันดิบและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลั่นแล้ว ซึ่งหากการรั่วไหลเป็นแบบท่อใต้ทะเลจะส่งผลต่อทะเลโดยตรง

มีลักษณะคล้ายคลึงกับเรือบรรทุกน้ำมัน ส่วนท่อส่งน้ำมันที่อยู่บนบกอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันบนพื้นดินและน้ำผิวดินโดยตรง

2.2.3.3 การรั่วไหลจากการขนส่งทางรถไฟ

วิธีนี้ถือเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการรั่วไหลประเภทอื่น ๆ เนื่องจากในการขนส่งผ่านรถไฟในแต่ละครั้งมีปริมาณน้ำมันไม่มาก และการรั่วไหลจะเป็นเพียงการปนเปื้อนสู่รางรถไฟหรือพื้นดินใกล้เคียงเท่านั้น

2.2.3.4 การรั่วไหลจากการขนส่งทางถนน

วิธีนี้ถือเป็นวิธีการรั่วไหลของน้ำมันที่มีปริมาณสูงรองมาจากการขนส่งด้วยเรือบรรทุกน้ำมัน ส่วนใหญ่มีสาเหตุการรั่วไหลมาจากอุบัติเหตุทำให้เกิดการเปื้อนถนน แต่สามารถกำจัดและรวบรวมได้ง่าย

2.2.4 การรั่วไหลจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

การรั่วไหลที่เกิดขึ้นจะมีผลกระทบค่อนข้างน้อยต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีกฎหมายควบคุมการปล่อยน้ำเสีย/น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการควบคุมไว้อยู่แล้ว และหากเกิดการรั่วไหลจะระบุผลกระทบที่เกิดขึ้นค่อนข้างยาก

2.2.5 การปนเปื้อนที่เกิดจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม

2.2.5.1 การปนเปื้อนจากเรือ

การรั่วไหลประเภทนี้เกิดจากการเดินเรือของชาวประมง เรือขนสินค้า รวมไปถึงเรือท่องเที่ยวที่เกิดการรั่วไหลระหว่างการเดินทางหรือการเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนส่งน้ำมันทางเรือต่าง ๆ ซึ่งปริมาณน้ำมันที่รั่วที่เกิดจากเรือนี้ถือเป็นปริมาณค่อนข้างสูง และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก เนื่องจากแหล่งสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายในทะเล และเป็นการปล่อยของเสียแบบไม่มีจุดกำเนิดที่แน่นอนจึงจัดการได้ยาก

2.2.5.2 การปนเปื้อนจากเครื่องจักร

ในที่นี้หมายถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะน้ำมันจากทะเล สถานีบริการเชื้อเพลิง จุดพักยานพาหนะ และเครื่องจักรของบ้านเรือน ซึ่งจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการรั่วของน้ำมันประเภทอื่น ๆ จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อย

2.2.5.3 การปนเปื้อนจากอากาศยาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิจกรรมที่เกิดการรั่วของน้ำมันภายในท่าอากาศยานถือเป็นกรณีนี้ทั้งหมด ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ มาจากภาวะคับขันขณะบินที่จำเป็นต้องทิ้งน้ำมันเพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่เกิดขึ้นนั้นถือเป็นปริมาณที่น้อย

2.2.5.4 การปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์

การปนเปื้อนของน้ำมันที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในสังคมเมืองจัดอยู่ในกรณีนี้ทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งปล่อยน้ำมันที่ไม่มีจุดกำเนิดที่แน่นอน (Non-point source) จึงรวบรวมได้ยาก และหากมีปริมาณน้ำมันที่สูงมากอาจส่งผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียได้ จึงควรมีการจัดการน้ำมันที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการล้มเหลวของระบบ

2.2.6 การรั่วไหลของเรืออับปาง

ถือเป็นการรั่วไหลของน้ำมันที่ได้รับความสนใจตั้งแต่ในช่วงปี 1970 เนื่องจากยังคงมีปริมาณเรือรบบรรจุน้ำมันล่มอีกมากที่ยังไม่ถูกค้นพบจากสงครามโลกครั้งที่ 2 และสงครามอื่น ๆ ซึ่งค้นหาได้ยากเนื่องจากเรือจมอยู่ใต้ทะเลลึกและเรือในสมัยดังกล่าวเป็นเรือที่ไม่ได้มีมาตรฐานที่ดีในการบรรจุน้ำมัน จึงอาจถูกกัดกร่อนจากสภาวะที่อยู่ใต้ทะเลลึกได้

2.3 น้ำมันจากกิจกรรมในครัวเรือน

2.3.1 น้ำมันพืช ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากกว่าน้ำมันสัตว์ ไขมันไม่อิ่มตัวนี้มักจะไม่เปลี่ยนสภาพเป็นไข แม้จะอยู่ในที่เย็น แต่จะทำปฏิกิริยากับความร้อนและออกซิเจนได้ง่าย และมักทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนภายหลังจากใช้ประกอบอาหารแล้ว

2.3.2 น้ำมันหมู ส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไขได้ง่ายเมื่ออากาศเย็น และมีกลิ่นเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติ

2.4 การแยกน้ำมันปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย

2.4.1 ลักษณะน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

การแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำเสีย มีหลากหลายกระบวนการซึ่งขึ้นกับลักษณะน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

2.4.1.1 น้ำมันที่ละลายในน้ำ

Chulalongkorn University

โดยจะสามารถละลายเพิ่มขึ้นได้ตามการมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุล ดังนั้นโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวจะละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะสารประกอบที่มีโมเลกุลเป็นวง เช่น เบนซีนละลายน้ำได้ถึง 1650 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ ความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น นั่นคือ น้ำมันที่ระเหยได้ง่ายจะละลายน้ำได้ดี

2.4.1.2 น้ำมันในรูปอิมัลชันที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว

ในกรณีที่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว จะทำให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันกลายเป็นอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะแปรผันตรงกับแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำ และแปรผกผันกับพลังงานที่ใช้ ดังนั้น น้ำมันที่มีแรงตึงผิวต่ำและถูกปั่นกวนด้วยพลังงานกลสูงจะเกิดเป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็ก

2.4.1.3 น้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันที่มีสารลดแรงตึงผิว

โดยทั่วไปน้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรม มักพบการปนเปื้อนของสารลดแรงตึงผิวอยู่เสมอ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลักของสารทำความสะอาดทั่วไป เช่น น้ำยาล้างจานหรือผงซักฟอก โดยโมเลกุลของสารประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ ได้แก่ โมเลกุลที่ชอบน้ำมันและโมเลกุลที่ชอบน้ำ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะแทรกอยู่ระหว่างผิวสัมผัสน้ำและน้ำมัน ภายใต้สภาวะนี้จะทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้เอง และมักจะมีความคงตัว อนุภาคน้ำมันที่อยู่ในอิมัลชันลักษณะนี้จึงมักจะมีขนาดเล็ก และแยกออกจากน้ำได้ยาก

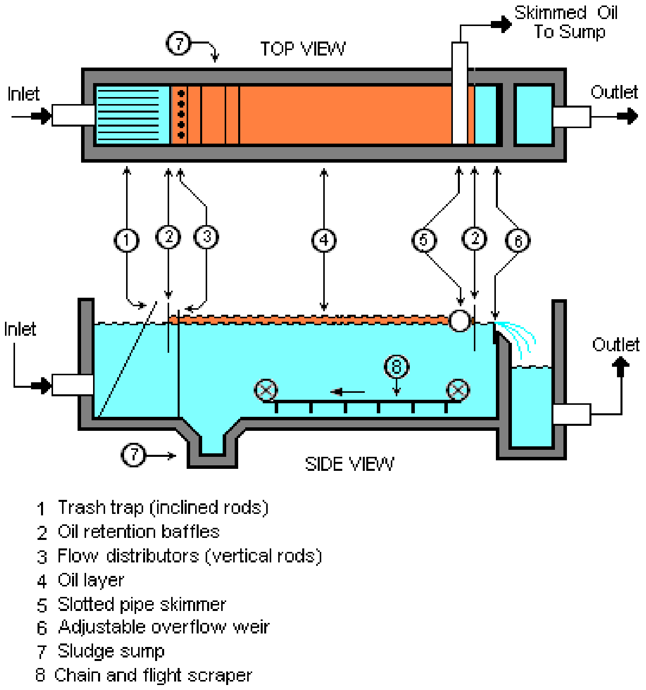
2.4.1.4 น้ำมันที่ลอยเป็นลักษณะฟิล์มบนผิวน้ำ

น้ำมันโดยส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ จึงมักลอยอยู่บนผิวน้ำในลักษณะชั้นน้ำมันหรือฟิล์มน้ำมัน ซึ่งจะทำให้เกิดการขัดขวางของการถ่ายเทออกซิเจนและแสง การปนเปื้อนของน้ำมันในลักษณะนี้จะเกิดการกระจายตัวเป็นวงกว้างแม้จะมีปริมาณน้ำมันน้อย จึงอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ขนาดใหญ่ได้

2.4.2 ถังแยกน้ำมันแบบ API

ถังแยกน้ำมันแบบ API หรือ American petroleum institute oil-water separator เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ ภายในถังประกอบด้วยแผ่นกั้น (Baffles) และแผ่นเร่งการรวมตัว (Coalescers) ที่ช่วยเร่งให้เกิดการแยกสิ่งปฏิกูลและน้ำมันออกจากน้ำของเสีย น้ำมันที่แยกออกมาจะถูกรวบรวมด้วยอุปกรณ์กวาดไขและน้ำมันก่อนจะถูกเก็บอยู่ภายในเครื่อง ในขณะที่น้ำจะถูกปล่อยออกโดยแรงโน้มถ่วงด้านล่าง โดยเป็นวิธีการที่มักใช้เป็นกระบวนการขั้นต้น เพื่อลด

ปริมาณน้ำมันในน้ำก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการบำบัดอื่น ๆ ต่อไป เช่น กระบวนการเมมเบรนหรือกระบวนการทางเคมี โดยการกำจัดน้ำมันนี้จะช่วยลดความเสียหายและการอุดตันของเมมเบรน หรือลดปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด ถัง API นิยมใช้ในการจัดการน้ำปนเปื้อนน้ำมันปริมาณมาก เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานปิโตรเลียม โดยปกติแล้วไขมันและน้ำมันที่แขวนลอยอยู่บนผิวน้ำจะถูกแยกออกด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์ออกจากถัง API ดังแสดงในรูปที่ 2-1 (Metcalf & Eddy, 1991)



รูปที่ 2-1 ถังแยกน้ำมันแบบ API (API oil-water separator)

(ที่มา: David Robinson, 2556)

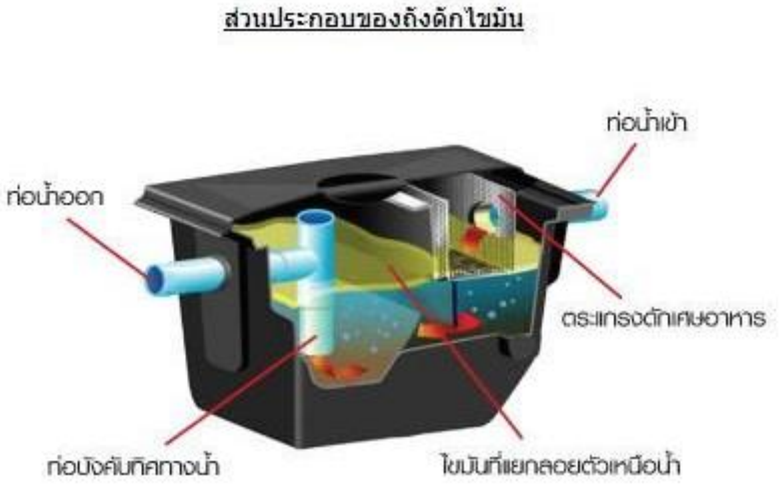
2.4.3 ถังดักไขมัน (Grease tank)

คือ อุปกรณ์ที่ช่วยดักจับไขมันจากการล้างภาชนะและอุปกรณ์หุงต้มอาหาร ไม่ให้ไหลปนไปกับน้ำทิ้ง เนื่องจากไขมันจะลอยตัวอยู่ผิวน้ำทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อย เป็นสาเหตุให้น้ำเน่าเสียและท่อระบายน้ำอุดตัน ถังดักไขมันมี 2 ประเภท คือ แบบตั้งบนพื้น และแบบฝังดิน แสดงในรูป 2-2 ซึ่งประกอบด้วย

1. ตะแกรงดักเศษอาหาร ทำหน้าที่กรองเศษอาหารที่ปนมากับน้ำทิ้ง
2. ส่วนแยกไขมัน น้ำและไขมันจะถูกแยกออกจากกันโดยที่ไขมันจะลอยตัวอยู่ที่ผิวน้ำ
3. ท่อระบายน้ำทิ้ง เป็นท่อระบายน้ำสำหรับน้ำที่แยกไขมันออกแล้วลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ท่อนี้

จะติดตั้งลงไปลึกกว่าระดับไขมันที่ลอยอยู่ด้านบน เมื่อมีการระบายน้ำจากอ่างล้างจาน น้ำที่ทิ้งมาใหม่จะผ่านกระบวนการแยกไขมัน และดันให้น้ำในถังเดิมไหลลงสู่ท่อระบายน้ำทิ้งสาธารณะ

4. ท่อระบายไขมัน ถังดักไขมันบางรุ่นจะมีท่อระบายไขมัน ติดตั้งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทิ้ง เพื่อให้ไขมันที่ลอยอยู่ด้านบนไหลออกมา



รูปที่ 2-2 ถังดักไขมัน
(ที่มา: http://www.nsplusengineering.com/
index.php?lay=show&ac=article&Id=539330306)

2.5 วิธีการนำกลับน้ำมันจากการรั่วไหลลงสู่น้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การนำกลับน้ำมัน เป็นวิธีการจัดการน้ำมันรั่วไหลหลังจากที่ทำการกักน้ำมันได้แล้วโดยอาจอาศัยการล้อมของแนวกั้นน้ำมัน (Containment boom) เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายออกไปและรวมให้น้ำมันมีความเข้มข้นมากขึ้นหรือชั้นน้ำมันมีความหนามากขึ้น โดยการนำกลับน้ำมันจะมีประสิทธิภาพเมื่อปริมาณน้ำมันมีชั้นความหนาและไม่มีการแปรสภาพของน้ำมันไปมาก อุปกรณ์ที่นำมาใช้ คือ อุปกรณ์สกิมเมอร์ ซึ่งเป็นการจัดการน้ำมันที่ลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของของเหลว

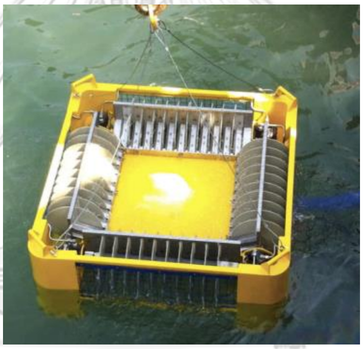
2.5.1 สกิมเมอร์ที่แบ่งตามการติดตั้งการใช้งาน เป็น 3 ประเภท คือ

2.5.1.1 Stationary skimmer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บน้ำมันแบบอยู่กับที่ เช่น สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer) แสดงในรูปที่ 2-3 สกิมเมอร์แบบดิสก์ (Disc skimmer) แสดงในรูป 2-4 และสกิมเมอร์แบบสายพาน (Belt skimmer) แสดงในรูปที่ 2-5 ซึ่งสกิมเมอร์

ประเภทนี้จะมีหน้าที่ในการกวาดน้ำมันที่ผิวของเหลวให้รวมกันก่อนนำไปแยกหรือกำจัดต่อไป โดยปกติแล้วจะใช้คุณสมบัติการดูดซับของพื้นผิว (Adsorption) ในการนำกลับน้ำมัน

รูปที่ 2-3 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer)

(ที่มา https://www.elastec.com/products/oil-spill-skimmers/drum-oil-skimmers/tds-118/)



รูปที่ 2-4 สกิมเมอร์แบบดิสก์ (Disc skimmer)

(ที่มา: http://www.nauticexpo.com/prod/empteezy/product-34428-253156.html)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2-5 สกิมเมอร์แบบสายพาน (Belt skimmer)

(ที่มา: https://www.mini-skimmer.com/ss-belt-mini-skimmers/)

2.5.1.2 Vacuum system skimmer เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการนำกลับน้ำมันในปริมาณมาก ซึ่งจะมีการสูบหรือระบบไฮดรอลิคและการบำบัดเป็นขั้นตอนต่อไป เช่น สกิมเมอร์แบบสูบ (Pump skimmer) สกิมเมอร์แบบฝาย (Weir skimmer) แสดงในรูปที่ 2-6 และสกิมเมอร์แบบสูญญากาศ (Vacuum truck and air conveyor) แสดงในรูปที่ 2-7

รูปที่ 2-6 สกิมเมอร์แบบฝาย (Weir skimmer)

(ที่มา: http://www.oilski,.com/oil-skimmer/3f-series-floating-weir-skimmers)

รูปที่ 2-7 สกิมเมอร์แบบสูญญากาศ (Vacuum truck and air conveyor)

(ที่มา: http://www.elastic.com/products/vacuum-systems/all-terrain-vac/)

2.5.1.3 Advancing skimmer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในของเหลวที่มีการไหลหรือเคลื่อนที่ โดยสกิมเมอร์ประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่และจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับแนวกั้น (Boom) เพื่อให้เกิดความหนาของชั้นน้ำมันเพิ่มขึ้นและป้องกันการกระจายตัวของน้ำมัน เหมาะกับการใช้งานการนำกลับน้ำมันรั่วในทะเล เช่น สกิมเมอร์แบบจูงหรือผลักด้วยเรือ (Self-propelled) สกิมเมอร์แบบแปรง (Brush skimmer) ในรูปที่ 2-8 และสกิมเมอร์แบบใบพัด (Paddle skimmer) แสดงในรูปที่ 2-9

รูปที่ 2-8 สกิมเมอร์แบบแปรง (Brush skimmer)

(ที่มา: http://www.yersatech.com/brush-disc-drum-skimmer.php)

รูปที่ 2-9 สกิมเมอร์แบบใบพัด (Paddle skimmer)

(ที่มา: http://www.china-dredger.com/product/trash-skimmer-yakai-garbage-trash-skimmer-for-sale/)

2.5.2 สกิมเมอร์ที่แบ่งตามหลักการทำงาน แบ่งออกเป็น

2.5.2.1 อุปกรณ์สกิมเมอร์ที่มีพื้นผิวชอบน้ำมัน (Oleophilic surface skimmer) เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่มีคุณสมบัติการดูดซับ (Sorbent surface skimmer) ของพื้นผิวหน้าอุปกรณ์จะเป็นการเกาะติดเพื่อทำการนำกลับน้ำมัน โดยหากค่า Surface tension ของพื้นผิววัสดุมีค่าใกล้เคียงกับ Surface energy ของน้ำมัน จะทำให้เกิดการดูดติดง่ายขึ้นและมีปริมาณน้ำมันมากขึ้น

เช่น สกิมเมอร์จานหมุน (Disc skimmer) สกิมเมอร์สายพาน (Brush skimmer) และสกิมเมอร์ลูกกลิ้ง (Drum skimmer) โดยเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะกับการแยกน้ำมันเบา

2.5.2.2 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบฝาย (Weir skimmer) เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่ใช้หลักการแรงโน้มถ่วงเพื่อทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำมัน ส่วนประกอบของสกิมเมอร์ประเภทนี้ คือ ส่วนกั้นที่เป็นสันเขื่อน ถังเก็บน้ำมัน และเครื่องสูบ แต่มักพบปัญหาระดับความสูงที่ไม่สม่ำเสมอกันของชั้นน้ำมัน ใช้ไม่ได้กับบริเวณที่มีคลื่นลมแรง และไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันหนัก

2.5.2.3 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบสุญญากาศ (Suction or Vacuum skimmer) เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่อาศัยหลักการสุญญากาศในการดูดน้ำมันออกจากผิวน้ำ ซึ่งเหมาะสำหรับน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำจนถึงปานกลาง โดยข้อจำกัดคือหากมีสิ่งกีดขวางหรือวัสดุต่าง ๆ อาจทำให้เกิดการอุดตันของท่อได้และใช้งานในที่ที่มีลมไม่แรง แต่ข้อดีคือเป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดและมีขนาดเล็ก

2.5.2.4 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบยกขึ้น (Elevating skimmer) เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่ใช้การยกขึ้นจากสายพาน โดยจะทำการตักน้ำมันที่บริเวณผิวน้ำ จึงจำเป็นต้องรักษาระดับผิวน้ำให้คงที่ และสามารถใช้งานเฉพาะกับน้ำมันความหนาแน่นปานกลางไปจนถึงสูง

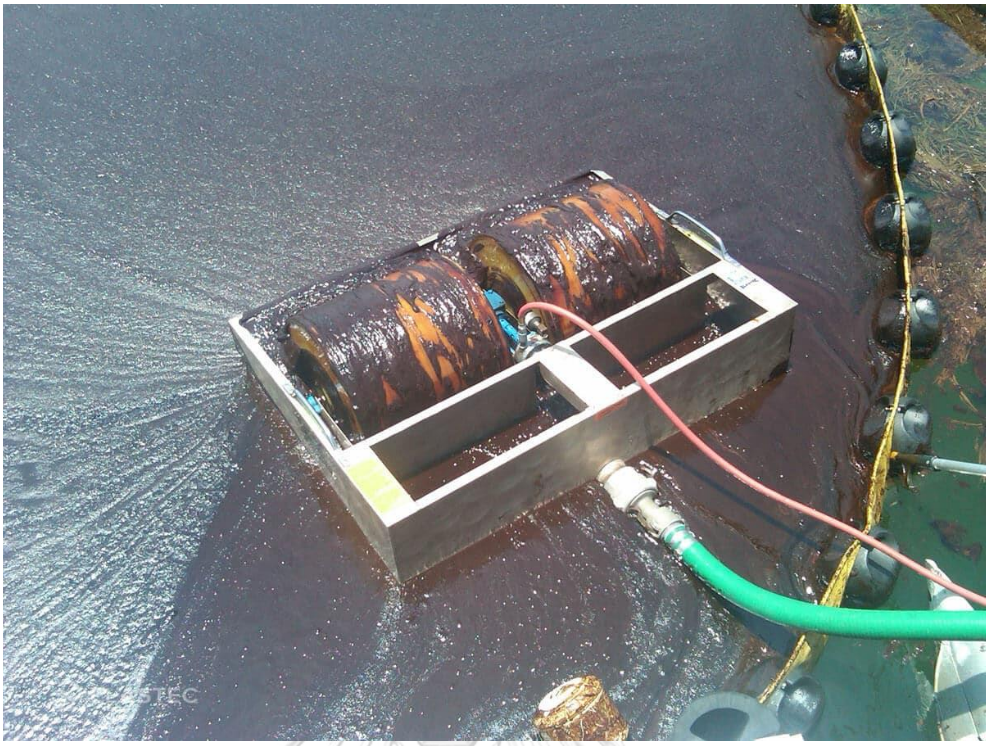
2.5.2.5 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบจม (Submersion skimmer) เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่ใช้แผ่นหรือสายพานเอียงอยู่ใต้ผิวน้ำ เพื่อทำให้เกิดการดึงน้ำมันให้ติดกับสายพานขึ้นมาเหนือน้ำและทำการเก็บน้ำมันไว้ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถทำงานได้รวดเร็ว ที่ความหนาแน่นของน้ำมันต่ำ

2.5.2.6 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบใช้แรงเหวี่ยง (Vortex or Centrifugal skimmer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำมันและน้ำในการแยกชั้น โดยเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากต้องใช้แรงดันในการสูบน้ำมากและควบคุมอุปกรณ์ได้ยาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer)

สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก โดยปกติแล้วลูกกลิ้งทำมาจากวัสดุพอลิเมอร์หรือโลหะพิเศษ โดยมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันได้ดีเมื่อใช้กับน้ำมันเบาและน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถเก็บน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำได้ดี แต่มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกน้ำมันหนัก โดยสามารถนำอุปกรณ์ สกิมเมอร์นี้ไปติดตั้งได้ในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมัน หรือเป็นอุปกรณ์ในการเก็บรวมรวมน้ำมันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง
(ที่มา: https://www.elastec.com/products/oil-spill-skimmers/drum-oil-skimmers/minimax/)

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมา ปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง อัตราการหมุน ความยาวลูกกลิ้ง แรงตึงผิวของพื้นผิววัสดุ ความหนาแน่นของน้ำมัน แรงตึงผิวของน้ำมัน ความหนาชั้นน้ำมัน และความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของลูกกลิ้ง

2.6.1.1 ข้อดีของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิตและดำเนินการต่ำ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาง่าย สามารถนำกลับน้ำมันได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อลดปัญหาการใช้สกิมเมอร์ในด้านความหนาของชั้นน้ำมัน และลดปัญหามลภาวะทางน้ำ

2.6.1.2 ข้อจำกัดของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

กรณีที่แหล่งน้ำประกอบด้วยสารแขวนลอย และสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ อาจทำให้ประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมันต่ำ เนื่องจากถูกเจือปนด้วยน้ำ

2.7 แรงตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิว คือ แรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับเฟสอื่น เช่น หยดของของเหลว ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมากที่มีแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน โมเลกุลของของเหลวที่อยู่ตรงกลางจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลข้างเคียงและดึงดูดกันทุกทิศทาง แต่โมเลกุลที่ผิวหน้าจะดึงดูดกับโมเลกุลข้างเคียงที่อยู่ด้านข้างและด้านล่าง ผลรวมของแรงตึงผิวจึงมีทิศทางลงสู่ด้านล่างเท่านั้น แรงตึงผิวนี้เป็นแรงที่ทำให้ของเหลวคงรูปเป็นหยดกลมเพื่อทำให้พื้นที่ผิวของของเหลวเหลือน้อยที่สุด โดยอาจเรียกว่าพลังงานอิสระของพื้นผิว (Surface free energy) ในกรณีของแข็ง ตัวอย่างค่าแรงตึงผิวของของเหลวบางชนิดแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (ศรีธน วรศักดิ์โยธิน, 2546)

ของเหลว	**อุณหภูมิ (°C)**	**แรงตึงผิว (mN/m)**
Benzene	20	28.9
Carbon tetrachloride	20	26.8
Ethyl alcohol	20	22.3
Glycerin	20	63.1
Mercury	20	465
Olive oil	20	32.0
Soap solution	20	25.0
Water	0	75.6
	20	72.8
	25	72.0
	60	66.2
	100	58.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.1 การเกิดหยดของเหลว (Droplet)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นกับของเหลวที่มีขนาดเล็กและอยู่อย่างอิสระ เช่น เม็ดของของเหลวในบรรยากาศ หยดปรอท แสดงในรูป 2-11 หรือเม็ดของของเหลวที่เกิดจากหัวฉีดที่ฉีดของเหลวออกมาเป็นฝอยหรือละอองเล็ก ๆ หรือเม็ดของของเหลวที่เกาะตามใบไม้ ซึ่งอิทธิพลของแรงตึงผิวจะพยายามปรับรูปร่างให้เม็ดของของเหลวมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ทำให้แรงดันในหยดของเหลวมาก

ขึ้น เพื่อให้เกิดแรงต้านแรงตึงผิวเป็นผลให้หยดของเหลวคงสภาพอยู่ได้อย่างสมดุลถ้าพิจารณาหยดของเหลวทรงกลม

โดย แรงดันภายในหยดของเหลว $= P\pi R^2$

แรงตึงผิว $= 2\pi R\gamma$

จากสมดุลแรง แรงดันภายในหยดของของเหลว = แรงตึงผิว

$$P\pi R^2 = 2\pi R\gamma$$

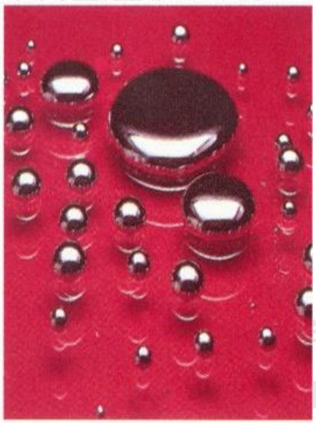
ดังนั้น

$$P = \frac{2\gamma}{R}$$

เมื่อ P = ความดันภายในหยดของเหลว (atm)

R = รัศมีของของเหลว

γ = แรงตึงผิว (mN/m)



รูปที่ 2-11 หยดปรอท

(ที่มา: https://sites.google.com/site/thermophysic/khxnghil/surface-tension)

2.7.2 แรงยกตัว (Capillarity) (สุระ วุฒิพรหม, 2559)

คือ ปรากฏการณ์ที่ของไหลที่สัมผัสกับวัตถุแล้วมีลักษณะสูงขึ้นหรือต่ำลง เนื่องมาจากอิทธิพลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น เช่น บริเวณที่น้ำสัมผัสกับผิวแก้ว จะมีระดับน้ำสูงขึ้นเล็กน้อย เพราะแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของแก้วมีมากกว่าแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของน้ำ แต่ถ้าเป็นบริเวณที่ปรอทสัมผัสกับผิวแก้ว ระดับปรอทจะต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของปรอทมีมากกว่าแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของปรอทกับโมเลกุลของแก้ว ซึ่งเมื่อนำหลอดแก้วขนาดเล็กที่มีรัศมี R จุ่มลงในของเหลวโดยมีแรงเกาะติดระหว่างโมเลกุลของปรอท

มีค่ามากกว่าแรงยึดติด พบว่าของเหลวจะสูงขึ้นเป็นระยะ h โดยของเหลวจะมีหน่วยแรงตึงผิว γ ทำมุม θ กับแนวดิ่ง แสดงในรูป 2-12

โดย	น้ำหนักของของเหลว	W	$= \pi R^2 \rho hg$
	แรงกระทำระหว่างผิว	F_y	$= \gamma 2\pi R\cos\theta$
	สมดุลของแรง	ΣF_y	$= 0$

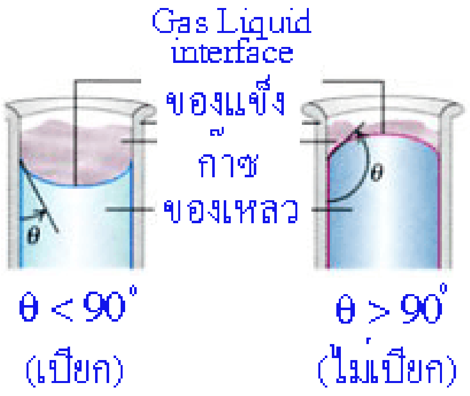
$$\pi R^2 h \rho g = \gamma 2\pi R\cos\theta$$

$$h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho Rg}$$

เมื่อ h = ความสูงของลำของเหลวในหลอด

θ = มุมสัมผัสของของเหลวกับหลอดแก้ว

R = รัศมีของหลอดแก้ว



รูปที่ 2-12 ลักษณะของโค้งรอยต่อระหว่างก๊าซกับของเหลวเมื่อสัมผัสกับผิวของแข็ง (ที่มา: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-physics2/lesson7_5.html)

2.7.3 การวัดแรงตึงผิว

2.7.3.1) DuNoÜy ring

DuNoÜy tensiometer มีลักษณะวงแหวนจุ่มลงในภาชนะที่มีสารตัวอย่าง แล้วทำให้แรงยกแหวนขึ้น เพื่อทำให้เกิดชั้นฟิล์มแสดงในรูปที่ 2-13 และบันทึกแรงที่ใช้ในการยกวงแหวนให้หลุดออกจากน้ำ ดังสมการที่ 2-1

$$W_{total} = W_{ring} + 2(2\pi R)\gamma_a \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ W_{total} = Total weight

W_{ring} = Ring weight

γ_a = ค่าแรงตึงผิวที่วัดได้

แต่วิธีการนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากถึง 25% เนื่องจากรัศมีลวดของวงแหวน และปริมาตรของของเหลวที่ถูกดึง จึงใช้การวัดแรงที่อ่านค่าได้ คูณด้วยค่า Correction factor เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ดังสมการที่ 2-2

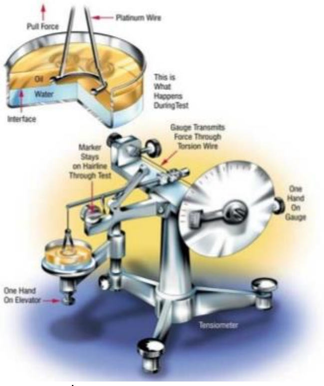
$$\gamma_b = \frac{F \times \beta}{2\pi R} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ γ_b= ค่าแรงตึงผิวที่ปรับแก้แล้ว

F = Dial reading (dyne)

β = Correction factor

R = รัศมีวงแหวน



รูปที่ 2 -13 เครื่อง DunoÜy tensiometer

2.7.3.2) Wilhelmy plate

Wilhelmy plate มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะแพลทินัม (Platinum) หรือแก้วบางมีผิวขรุขระ จุ่มลงในภาชนะที่มีสารตัวอย่างแล้วเลื่อนแผ่นโลหะลงจนแตะผิวของเหลว แสดงในรูปที่ 2-14 และทำการบันทึกค่าแรงตึงผิวที่วัดได้ ดังสมการที่ 2-3

$$\gamma = \frac{W_{total} - (W_{plate} - W_b)}{2L\ \cos\theta} \qquad (2\text{-}3)$$

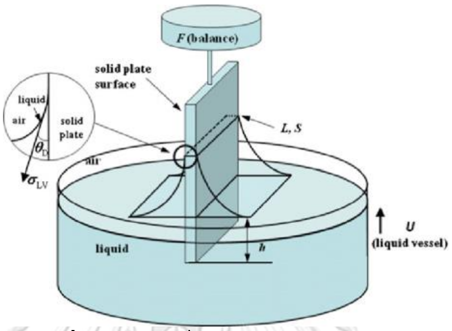
เมื่อ γ = ค่าแรงตึงผิว

W_{total} = น้ำหนักรวม

W_{plate} = น้ำหนักแผ่นโลหะ

W_b = แรงลอยตัว (Buoyancy force)

L = ความยาวแผ่นโลหะ



รูปที่ 2-14 เครื่อง Wilhelmy plate

2.8 คุณสมบัติของพื้นผิว

2.8.1 สภาวะการเปียก (Wetting)

คือ ความสามารถของของเหลวในผิวหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล โดยสภาวะการเปียกระหว่างสมดุลแรง Adhesion และ Cohesion ที่จะทำให้รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งมีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ ถ้าแรง Adhesion มากกว่าแรง Cohesion ของเหลวชนิดนั้นมีแนวโน้มจะแผ่กระจายบนพื้นผิวของแข็ง หรือทำให้เกิดสภาวะการเปียก ในทางกลับกัน หากของเหลวนั้นมีแรง Cohesion มากกว่าแรง Adhesion ของเหลวจะรักษาสภาพอยู่ในรูปหยดของเหลวบนพื้นผิว จึงเกิดการเปียกได้น้อย

2.8.2 มุมสัมผัส (Contact angle, θ)

มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงยึดติด (Adhesion) กับแรงเชื่อมแน่น (Cohesion)

มุมสัมผัสนี้ก็จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว แสดงในรูป 2-15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° (C) โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° (B) โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำ

สำหรับกรณีถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำ ของเหลวจะมีการกระจายตัวได้ดีบนพื้นผิวจะถูกเรียกว่า Hydrophilic และของเหลวที่มีการกระจายตัวไม่ดีบนพื้นผิวจะเรียกว่า Hydrophobic โดยพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° (A) ทำให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมาก ๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

รูปที่ 2-15 ลักษณะการกระจายตัวของของเหลว

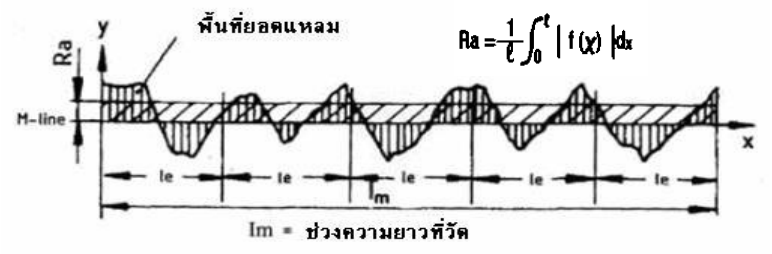
2.8.3 ความหยาบผิว (Surface roughness testing)

ความหยาบผิวหรือความเรียบผิว (Surface roughness) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่แสดงลักษณะของพื้นผิว โดยหากมีความขรุขระของพื้นผิวมากแสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระพื้นผิวน้อยแสดงว่ามีความหยาบน้อย การวัดความหยาบผิวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความหยาบผิวโดยค่าเฉลี่ย กับความหยาบผิวโดยขนาด โดยใช้เครื่องมือวัดความหยาบผิวซึ่งมีช่วงค่าที่สามารถวัดได้ (ความหยาบผิวสูงสุดและต่ำสุด) สอดคล้องกับช่วงความหยาบของตัวอย่างที่ต้องการวัด มีความละเอียดมากพอและมีความคลาดเคลื่อนไม่สูงมาก (โดยทั่วไปไม่เกิน 10%) รวมไปถึงมีระยะการวัด (Evaluation Length) ที่สอดคล้องกับตัวอย่างที่ต้องการวัดว่ามีระยะกว้างหรือแคบเพียงใด โดยในการวัดความหยาบผิวจะต้องมีการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับแผ่นสอบเทียบ (Calibration plate) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความหยาบผิว เครื่องวัดความหยาบผิวเป็นเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์จึงมีผลกระทบจากช่วงอุณหภูมิที่ทำการวัด โดยมักจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 10-45 องศาเซลเซียส

2.8.3.1 การวัดความหยาบผิวเฉลี่ย (Average parameter)

คือการวัดและคำนวณความหยาบผิว ทำให้เรารู้ความหยาบโดยรวม แต่ไม่สามารถรู้ลักษณะความคลาดเคลื่อนสูงต่ำของความหยาบผิว พารามิเตอร์ของการวัดแบบเฉลี่ย ได้แก่ ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Ra) ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง (Rq) ความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาณ (Rsk)

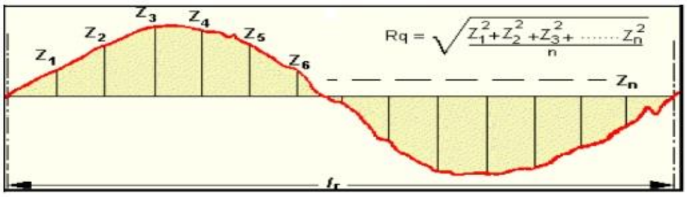
ก.) ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average: Ra) เป็นการแสดงความหยาบด้วยค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักจะนิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว แสดงในรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต

(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20120206/surface_roughness.html)

ข.) ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง (Roughness root mean square: Rq) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยรากที่ 2 ของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความหยาบผิวที่วัด แสดงในรูปที่ 2-17

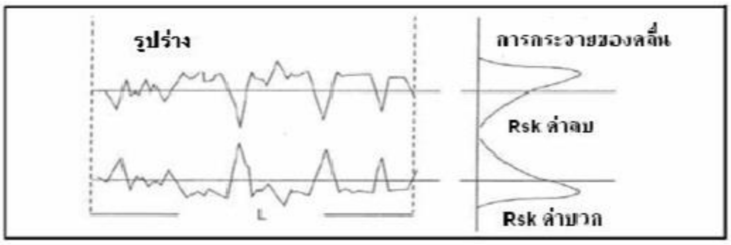


รูปที่ 2-17 ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง

(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20120206/surface_roughness.html)

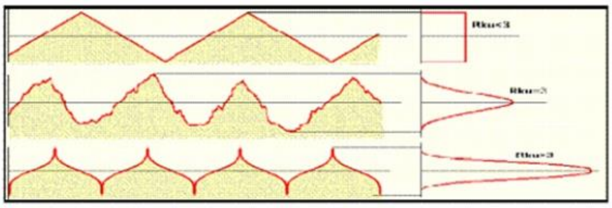
ค.) ความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาณ (Roughness Skewness: Rsk) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยการวัดปริมาณของยอดและหลุม โดยปริมาณของยอดให้ค่าเป็นบวก ส่วนปริมาณหลุมให้ค่าเป็นลบ หากค่าใดมีมากก็แสดงให้เห็นถึงการมียอดหรือหลุมมาก แสดงในรูปที่ 2-18

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2-18 ความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาณ
(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/
campaign/email20120206/surface_roughness.html)

ง.) ความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง (Roughness Kurtosis : Rku) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างหรือยอดผิวว่ามีลักษณะเป็นยอดโค้ง ยอดเรียบ หรือยอดแหลม แสดงในรูปที่ 2-19



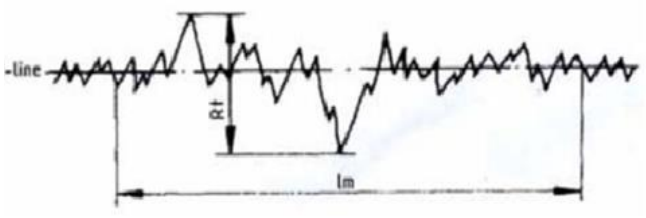
รูปที่ 2-19 ความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง
(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/
campaign/email20120206/surface_roughness.html)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.3.2 การวัดความหยาบผิวโดยขนาด (Amplitude parameter)

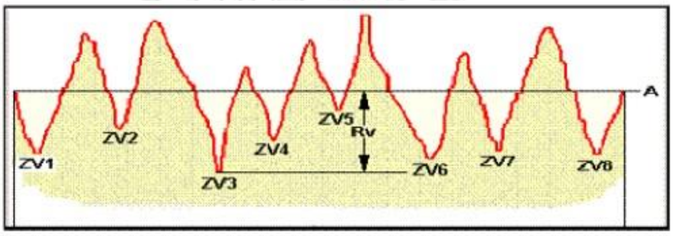
เป็นการวัดหาค่าสูงต่ำของขนาดความหยาบของพื้นผิว ทำให้รู้ลักษณะของความหยาบพื้นผิวได้ชัดเจนกว่า พารามิเตอร์ของวิธีวัดนี้ ได้แก่ ความหยาบผิวโดยรวม (Rt Ry) ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด (Rv) ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด (Rp) และความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย (Rz)

ก.) ความหยาบผิวโดยรวม (Roughness total height : Rt Ry) เป็นการแสดงความหยาบผิวโดยวัดขนาดจากยอดสูงสุดถึงจุดที่เป็นหลุมลึกที่สุด เมื่อต้องการขัดพื้นผิวเพื่อวัดความขรุขระออกให้หมดเพื่อจะได้รู้ว่าต้องขัดพื้นผิวลงไปกี่ไมครอน แสดงในรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20 ความหยาบผิวโดยรวม
(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/
campaign/email20120206/surface_roughness.html)

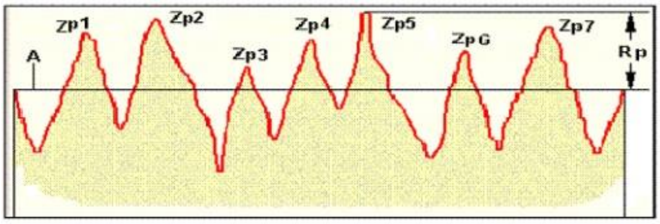
ข.) ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด (Roughness valley : Rv) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยการวัดขนาดความลึกของหลุม โดยแสดงความลึกหลุมที่มีขนาดลึกที่สุด แสดงในรูปที่ 2-21



รูปที่ 2-21 ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด
(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/
campaign/email20120206/surface_roughness.html)

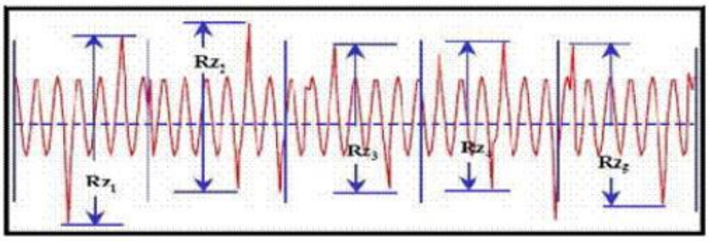
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.) ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด (Roughness peak :Rp) เป็นการแสดงความหยาบผิวโดยการวัดขนาดยอดสูงสุด แสดงในรูปที่ 2-22



รูปที่ 2-22 ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด
(ที่มา: https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/
campaign/email20120206/surface_roughness.html)

ง.) ความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย (Roughness ten-point mean : Rz) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดกับความลึกของหลุม โดยแสดงความหยาบเฉลี่ยของระยะระหว่างความสูงของยอดกับความลึกของหลุม ทั้งหมด 5 ชุด การวัดทดสอบเป็นช่วงเท่าๆ กัน 5 ช่วง และนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร แสดงในรูปที่ 2-23



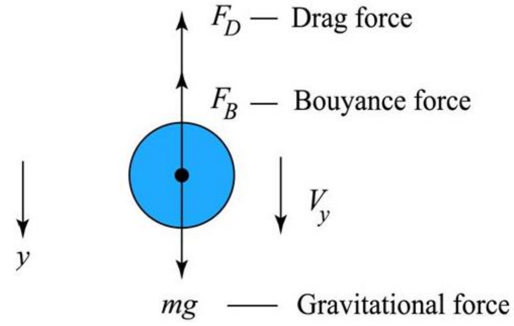
รูปที่ 2-23 ความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย
(ที่มา: http://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/campeign/email20120206/surface_roughness.html)

2.9 สมการ Buckingham Pi Theorem

เป็นการวิเคราะห์เชิงมิติ โดยการนำตัวแปรเชิงเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมาทำการวิเคราะห์ เพื่อจัดกลุ่มของตัวแปรให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ ซึ่งการหาตัวแปรไร้มิตินั้นจะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดที่คาดว่าจะมีผลต่อการทดลอง ซึ่งสมการ Buckingham Pi Theorem เหมาะกับการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองมากกว่า 4 ตัวแปร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Buckingham Pi ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในตัวกลางที่เป็นของไหล เมื่อพิจารณาสมดุลแรงของวัตถุของแข็งทรงกลมที่เคลื่อนที่ในทิศทางลงในตัวกลางของไหล ซึ่งมีแรงที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ F_D = แรงต้านของของไหล F_B = แรงลอยตัวของวัตถุ และ mg = น้ำหนักของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2-24



รูปที่ 2-24 สมดุลแรง

จาก F_D = f (ρ, V , D , μ) ให้หากลุมตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless groups)

วิธีทำ

1. ตัวแปรทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้แก่ F ρ V D และ μ (n = 5)
2. เลือกใช้มิติปฐมภูมิคือ M L และ t
3. แจกแจงมิติของตัวแปร

ตัวแปร	มิติ
c	ML/t^2
ρ	M/L^3
V	L/t
D	L
μ	M/Lt

4. ตัวแปรทั้งหมด n = 5

   จำนวนมิติปฐมภูมิ m = r = 3

ดังนั้น จะมีตัวแปรซ้ำ 3 ตัวให้ ρ V D เป็นตัวแปรซ้ำ

กลุ่มตัวแปร n – m = 5 – 3 = 2

∴ มีกลุ่มตัวแปรอิสระ 2 กลุ่ม คือ π_1 π_2

จะได้ว่า

$$\pi_1 = \rho^a V^b D^c F$$

$$\pi_2 = \rho^d V^e D^f \mu$$

5. วิเคราะห์มิติของ π_1

$$\pi_1 = \rho^a V^b D^c F$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$= (\frac{M}{L^3})^a\ (\frac{L}{t})^b\ (L)^c\ \left(\frac{ML}{t^2}\right)$$

$= M^0L^0t^0$

พิจารณามิติของมิติปฐมภูมิแต่ละตัวได้ดังนี้

M : a + 1 = 0

a = -1

L : -3a + b + c + 1 = 0

b + c = -4

t : -b -2 = 0

b = -2

c = -2

แทนค่า a b และ c

$\pi_1 = \rho^a V^b D^c F$

$$= \frac{F}{\rho V^2 D^2}$$

วิเคราะห์มิติของ π_2

$\pi_2 = \rho^d V^e D^f \mu$

$$= (\frac{M}{L^3})^d\ (\frac{L}{t})^e\ (L)^f\ \left(\frac{M}{Lt}\right)$$

$= M^0L^0t^0$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พิจารณามิติ m มิติปฐมภูมิแต่ละตัวได้ดังนี้

M : d + 1 = 0

d = -1

L : -3d + e + f - 1 = 0

e + f = -2

f = -1

t : -e -1 = 0

e = -1

แทนค่า d , e , f

$$\pi_2 = \rho^d V^e D^f \mu$$
$$= \frac{\mu}{\rho V D}$$

π_1 และ π_2 มีความสัมพันธ์กันคือ

$$\pi_1 = f(\pi_2)$$
$$\frac{F}{\rho V^2 D^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho V D}\right)$$

ทั้งนี้ เทอมขวามือในวงเล็บจะเป็นส่วนกลับของเลขเรย์โนลด์ (Re = ρVD/μ) และเนื่องจากเลขเรย์โนลด์นี้เป็นกลุ่มตัวแปรไร้หน่วย เราจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ใหม่ว่า

$$\frac{F}{\rho V^2 D^2} = f\left(\frac{\rho V D}{\mu}\right)$$

โดยเทอมซ้ายมือ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของของไหล (Drag coefficient, C_D) จึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ในด้านบนใหม่ได้เป็น C_D = f (Re) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบของการไหล (Flow regime) ที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการ Buckingham Pi Theorem มาใช้ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแสดงได้ดังสมการที่ 2-4 ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ในการทำนายประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง รวมถึงเลือกสภาวะเดินระบบที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานสกิมเมอร์ในการแยกของเหลวหรือของแข็งชนิดอื่น ๆ ต่อไป

$$f_1(Q, d, L, W, h, t, \rho, \mu, \sigma, Ra) = 0 \qquad (2\text{-}4)$$

เมื่อ Q (m^3/min) = อัตราการนำกลับน้ำมัน (ปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ต่อเวลา)

d (m) = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

L (m) = ความยาวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ω (RPM) = อัตราการหมุนของลูกกลิ้ง

h (m/m) = ความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ

t (m) = ความหนาของชั้นน้ำมัน

ρ (kg/m^3) = ความหนาแน่นของของเหลว

μ (Pa.s) = ความหนืดของเหลว

σ (N/m) = แรงตึงผิวของเหลว

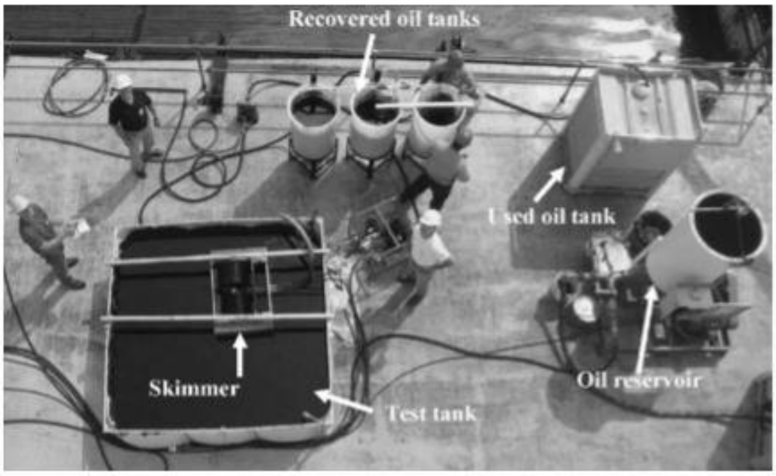
Ra (nm) = ความหยาบพื้นผิว

2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 สกิมเมอร์

Broje and Keller (2007) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันด้วยสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวชอบน้ำมัน แสดงในรูปที่ 2-25 มีความกว้าง 25.4 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35.6 เซนติเมตร โดยทำการศึกษา 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดน้ำมัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันดิบ Endicott และน้ำมันหล่อลื่น HydroCal ชั้นความหนาน้ำมัน 10 25 และ 50 มิลลิลิตร อัตราเร็วในการหมุน 30 40 และ 65 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 10-25 องศาเซลเซียส และวัสดุพื้นผิว ได้แก่ อลูมิเนียม นีโอพลีน และพอลิเอทิลีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



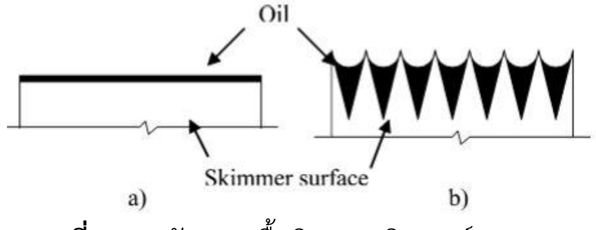
รูปที่ 2-25 แผนผังการทดสอบสกิมเมอร์ (Broje และ Keller, 2007)

จากผลการทดลองพบว่า

1. สำหรับน้ำมันที่เป็นชั้นบางและความหนืดต่ำ วัสดุพื้นผิวนีโอพลีนจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงกว่าอลูมิเนียมและโพลีเอทิลีน แต่ที่ชั้นน้ำมันหนา วัสดุพื้นผิวพอลิเอทิลีนจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงที่สุด
2. อัตราการนำกลับน้ำมัน HydroCal เพิ่มขึ้นเมื่อชั้นน้ำมันมีความหนา 10-25 มิลลิลิตร แต่หากชั้นน้ำมันมีความหนามากกว่า 25 มิลลิลิตร จะมีอัตราการนำกลับน้ำมันลดลง
3. อัตราการนำกลับน้ำมันของ Hydrocal จะสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีความหนืดสูงกว่า ในขณะที่ดีเซลซึ่งมีความหนืดต่ำที่สุดจะมีอัตราการนำกลับน้ำมันต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น
4. ที่อุณหภูมิต่ำและค่าความหนืดของน้ำมันสูง จะทำให้อัตราการนำกลับน้ำมันเพิ่มขึ้นได้
5. ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนดรัมที่ดีที่สุดคือ 40 รอบต่อนาที โดยหากเพิ่มอัตราความเร็วรอบการหมุนมากกว่านี้จะทำให้มีปริมาณน้ำเจือปนในน้ำมันที่นำกลับได้สูงขึ้น

Broje and Keller (2006) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งซึ่งทำจากอลูมิเนียม โดยการปรับปรุงลักษณะพื้นผิว และศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมัน โดยพื้นผิวที่ทำการศึกษามี 2 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-26 คือ พื้นผิวเรียบ (a) และพื้นผิวแบบร่อง (b) ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ 5 ประเภท ได้แก่

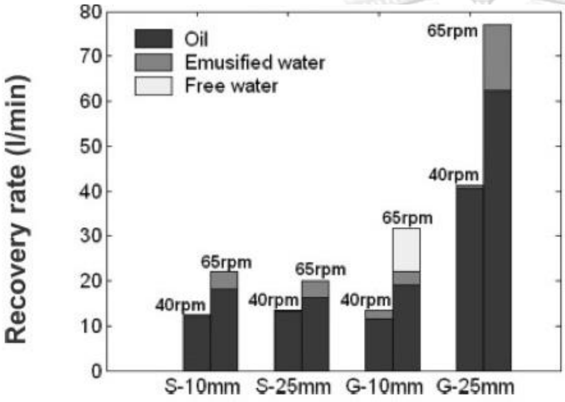
1. ลักษณะพื้นผิว ได้แก่ พื้นผิวเรียบและพื้นผิวแบบร่องซึ่งมีความลึกของร่อง 2.54 เซนติเมตร ทำมุม 30 องศา
2. ชนิดน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันดิบ Endicott และน้ำมันหล่อลื่น HydroCal300
3. ชั้นความหนาน้ำมัน 10 25 และ 50 มิลลิลิตร
4. ความเร็วรอบในการหมุน 30 40 และ 65 รอบต่อนาที
5. อุณหภูมิห้อง 10-15 และ 25-30 องศาเซลเซียส



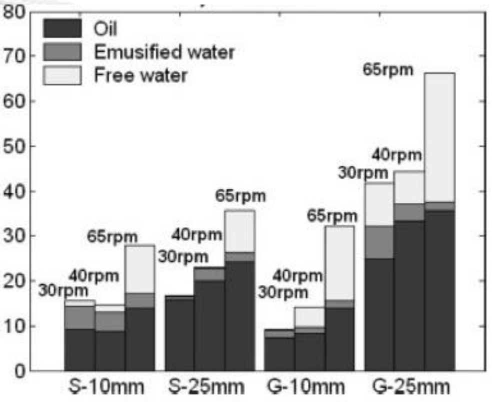
รูปที่ 2-26 ลักษณะพื้นผิวของสกิมเมอร์

(a) ลักษณะพื้นผิวแบบเรียบ (b) ลักษณะพื้นผิวแบบร่อง

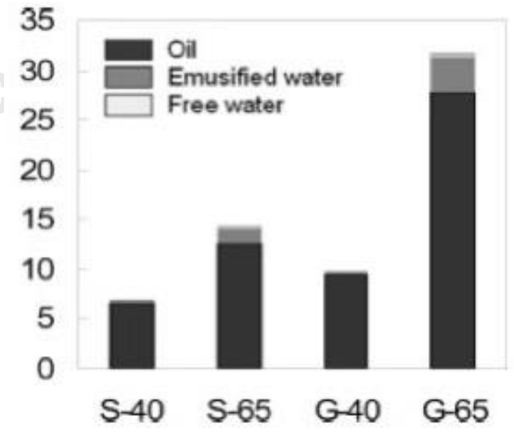
ผลการทดลอง พบว่า พื้นผิวแบบร่องมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันมากกว่าแบบเรียบ 3 เท่าดังแสดงในรูปที่ 2-27 ดังนั้น HydroCal Endicott และน้ำมันดีเซล ที่ 10 และ 25 องศาเซลเซียส ความหนาน้ำมัน 25 มิลลิลิตร ที่ใช้พื้นผิวเป็นร่อง พบอัตราการนำกลับน้ำมันสูงกว่าที่ระดับอื่น ๆ เนื่องจากพื้นที่ผิวของแบบร่องมีพื้นที่สัมผัสมากกว่าพื้นผิวแบบเรียบทำให้สามารถสัมผัสกับน้ำมันได้มากกว่า และพื้นผิวแบบร่องเมื่อใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะทำให้เกิดการสร้างแผ่นฟิล์มได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีความหนืดสูง ดังนั้น Endicott จึงมีอัตราการนำกลับน้ำมันสูงกว่า HydroCal และน้ำมันดีเซล และอุณหภูมิมีผลต่อการนำกลับน้ำมันชนิด Endicott โดยที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 60 ลิตร/นาที ซึ่งมีสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เกือบ 2 เท่า ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันอีก 2 ชนิดไม่มากนัก



(a)



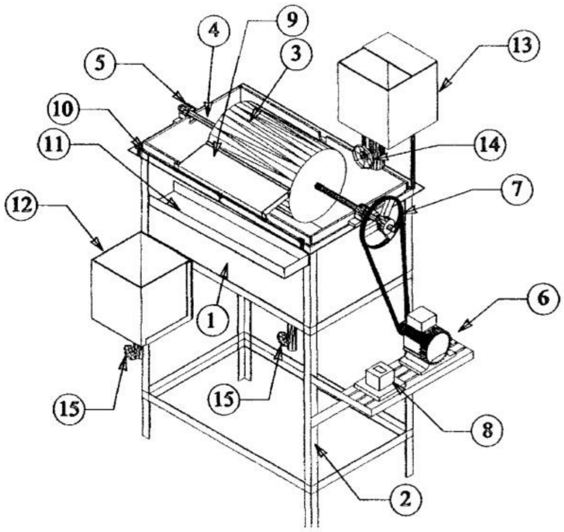
(b)



(c)

รูปที่ 2-27 อัตราการนำกลับน้ำมันที่ 10°C ของ (a) Endicott (b) Hydrocal (c) Diesel

Hammoud and Khalil (2003) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งซึ่งทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ แสดงในรูปที่ 2-28 โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของลูกกลิ้ง ความเร็วรอบในการหมุน ความหนาของน้ำมัน และสัดส่วนความหนาชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยใช้น้ำมัน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น SAE10W และน้ำมันหล่อลื่น SAE140W เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ในการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างสมการ (Empirical equation) สำหรับทำนายอัตราการนำกลับน้ำมัน



PART NAME	PART no
RESERVOIR	1
STEEL FRAME	2
DRUM SKIMMER	3
SHAFT	4
JOURNAL BEARINGS	5
A.C. MOTOR	6
PULLEY & BELT	7
FREQUENCY INVERTER	8
PLATE SCRAPERS	9
GUIDE BAR	10
TRAY	11
COLLECTING TANK	12
COMPENSATING TANK	13
CONTROL VALVE	14
DRAIN VALVE	15

รูปที่ 2-28 อุปกรณ์สกิมเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย (Hammoud และคณะ, 2003)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดลองพบว่าการนำกลับน้ำมันที่ดีที่สุด คือ ความสูงของลูกกลิ้งอยู่เหนือกว่ารอยต่อระหว่างชั้นน้ำมันและน้ำ (Oil-water interface) 90 มิลลิเมตร ที่ระยะความหนาของน้ำมัน 10-44 มิลลิลิตร ได้ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 97% ที่ความเร็วรอบในการหมุน 60 รอบต่อนาที และได้ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 95% ที่ความเร็วรอบในการหมุน 75 รอบต่อนาที

จากการทดลองจะได้สมการทำนายประสิทธิภาพ ดังสมการที่ 2-5 ซึ่งมีช่วงค่าของแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้

$0.2 < d$ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง) < 0.3 เมตร

$0.15 < L$ (ความยาวลูกกลิ้ง) < 0.45 เมตร

$25 < N$ (ความเร็วรอบในการหมุนลูกกลิ้ง) < 75 รอบต่อนาที

0.01 < t (ชั้นความหนาน้ำมัน) < 0.04 เมตร

0.05 < h (ความสูงของลูกกลิ้งอยู่เหนือกว่ารอยต่อระหว่างชั้นน้ำมันและน้ำ) < 0.12 เมตร

$$Q\ (m^3/s) = 0.026521 \times \frac{\omega^{1.23} d^{1.75} h^{0.17} t^{0.1} L\ \mu^{0.65}}{\rho^{0.21}\ \sigma^{0.41}} \quad (2\text{-}5)$$

โดยสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลอง 17.32% ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและเลือกสภาวะการเดินระบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์เพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำได้

Farooq และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาการเกิดฟอร์มตัวของน้ำมันที่รั่วไหลที่ถูกรวบรวมโดยใช้สกิมเมอร์ ทำการทดลองกับน้ำมันที่จำลองจากเหตุการณ์น้ำมันรั่ว ได้แก่ น้ำมันดิบที่ผ่านการทำให้ระเหย และอิมัลชันของน้ำมันดิบที่มีการเติมน้ำมันเรือ (Bunker oil) ประเภท IFO380 5wt% และสารอิมัลซิไฟเออร์ (0.37wt% และ 0.75wt%) โดยพบว่าหากใช้ความเข้มข้นสาร อิมัลซิไฟเออร์ที่สูงกว่า 0.5% จะทำให้น้ำมันกระจายตัวในน้ำในลักษณะอนุภาคอิมัลชัน และที่ 220–240 องศาเซลเซียส จะเกิดการคงตัวของอิมัลชันน้ำมัน การเติมน้ำมันเรือลงไปเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มการเกาะผิวระหว่างน้ำมันและผิวหน้าสกิมเมอร์ที่ทำจากพอลิเอทิลีน แต่เมื่อมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งทำให้แรงตึงผิวระหว่างเฟส (Interfacial tension) และการเกาะติดของน้ำมันบนผิวหน้าสกิมเมอร์ที่ต่ำลงเนื่องจากแรงผลักระหว่างพื้นผิววัสดุและประจุในสารอิมัลซิไฟเออร์ อย่างไรก็ตาม การทำให้น้ำมันดิบระเหยไม่ส่งผลกระทบต่อการเกาะติดของน้ำมันดิบบนพื้นผิวสกิมเมอร์มากนัก นอกจากนี้ การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปกลับทำให้เสถียรภาพของอิมัลชันน้ำมันลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Topham, (2002) ได้ทำการศึกษาโมเดลอัตราการไหลผ่านของฝาย (Weir) ด้วยการเปรียบเทียบชนิดของเวียร์สกิมเมอร์ (Weir skimmer) โดยอัตราการไหลสามารถอธิบายได้ด้วย Froude number ซึ่งเป็นตัวแปรไร้หน่วยที่รวมผลของความหนาแน่นของน้ำมัน ความหนาชั้นน้ำมัน ความกว้างของฝาย และความเร็วการไหลผ่านฝาย ประสิทธิภาพของ Weir skimmer จะพิจารณาจากค่าอัตราส่วน Oil content factor (OCF) โดยที่เลข Froude number เท่ากัน จะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสกิมเมอร์ชนิดต่าง ๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2-4 โดยสกิมเมอร์แบบฝายที่ให้ผลการนำกลับน้ำมันดีที่สุดคือ Esso petroleum SLURP ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 80% ซึ่งจัดเป็นสกิมเมอร์แบบฝายในกลุ่มที่สามารถปรับระดับความสูงของฝายได้ (Hydro-adjustable weir) ได้แก่ Oela III Skim-Pac Cyclonet s050 และ Esso Petroleum SLURP ทำให้สามารถรักษาระดับความสูงเพื่อแยกชั้นน้ำมันออกมาได้มีประสิทธิภาพสูงกว่ากลุ่ม Fixed weir

skimmers หรือเวียร์ที่ปรับระดับไม่ได้ตามระดับน้ำและน้ำมัน ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันจึงไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลหรือระดับน้ำในระบบ

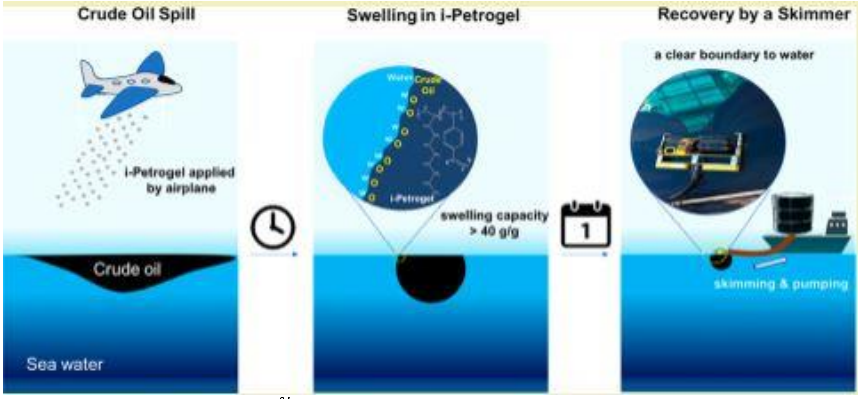
ตารางที่ 2-4 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์ (Topham, 2003)

Skimmer unit	Efficiency
Oela III	0.49
Skim-Pac	0.46
Cyclonet S050	0.35
Esso Petroleum SLURP	0.8
Manta–Ray aluminum	0.30
Manta–Ray flexible	0.17
Acme mini-skimmer	0.13
Laboratory circular weir tests	0.5

Nam et al. (2018) ได้ทำการพัฒนาการนำกลับน้ำมันรั่วด้วยการใช้วัสดุจากพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefin) หรือ I-Petrogel เป็นตัวดูดซับ ซึ่งมีส่วนผสมระหว่าง Linear low density polyethylene (LLDPE) และ Poly (1-decene-co-divinylbenzene) (D-DVB) และใช้ สกิมเมอร์ลูกกลิ้งในการเก็บน้ำมัน โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2-29 คือ

1. ขั้นตอนการโปรย I-Petrogel ลงสู่บริเวณที่ต้องการเก็บน้ำมัน
2. น้ำมันเกิดการรวมตัว เพื่อทำให้เพิ่มความหนาให้กับชั้นน้ำมัน และไม่ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันเปลี่ยนสภาพไป
3. นำสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งเก็บน้ำมันที่ได้รับการรวมตัวแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2-29 ขั้นตอนการทดลอง (Nam et al. (2018)

โดยใช้น้ำมัน ANS (Alaska north slopes crude) ทำการทดลองด้วยการใส่ I-Petrogel ลงไป 0.2 กรัม ในน้ำมันดิบ 20 มิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 2-5 เพื่อหาเวลาที่ดรัมสกิมเมอร์ใช้เวลาในการเก็บน้ำมันได้ดี ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และไม่ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันเปลี่ยนไป และดรัมสกิมเมอร์มีประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมันที่มีปริมาณน้ำเจือปนน้อยเมื่อเทียบกับสกิมเมอร์แบบสูญญากาศ

ตารางที่ 2-5 สรุปการนำกลับน้ำมันด้วยการใช้สกิมเมอร์และใช้ I-Petrogel เป็นตัวดูดซับ (Nam และคณะ, 2018)

run	ANS oil (gallons)	i-Petrogel (kg)	ANS oil/i-Petrogel (weight ratio)	testing time (h)	skimmer type
test 1	20	1/1 (1.7)	40	18 (overnight)	drum skimmer
test 2	20	1/1 (2.26)	30	2 (day time)	drum skimmer
test 3	20	3/1 (1.7)	40	18 (overnight)	drum skimmer
test 4	20	3/1 (2.72)	25	4 (day time)	vacuum pumping

Hoang และ Chau (2018) ทำการรวบรวมงานวิจัยของการใช้บูมกั้นน้ำมันร่วมกับการใช้งานของ Oleophilic skimmer ในการจัดการน้ำมันรั่ว โดยใช้น้ำมัน 4 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องชนิด SAE10W และน้ำมันเครื่องชนิด SAE140W เพื่อการนำกลับน้ำมัน ที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

Chulalongkorn University

1. สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของ Disc skimmer คือ 80 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมัน 20 มิลลิลิตร โดยมีประสิทธิภาพ 90%
2. สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมชอง Drum skimmer คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาดใหญ่ ขนาดท่อยาว ความสูงเหนือท่อ และมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความหนืดของน้ำมัน แรงตึงผิว ความหนาแน่น
3. ตัวแปรที่ส่งผลต่อการทำงานชอง Blanket belt skimmer คือ ความเร็วรอบ มุมสัมผัสของสายพาน และความหนาของชั้นน้ำมัน

โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 สรุปสภาวะเดินระบบที่เหมาะสมของสกิมเมอร์ (Hoang และ Chau, 2018)

Skimmer type	Wind velocity (knots)	Current velocity (knots)	Wave height (m)	Oil viscosity (cSt)	Sensitivity to debris	Recovery efficiency (%)	Nominal recovery rate (m^3/h)
Oleophilic drum	10	1.0	1.2	30,000	Medium	50 - 90	1 - 60
Oleophilic disc	10	1.0	1.2	3,300	Medium	50 - 90	1 - 400
Oleophilic belt	6	1.0	1.2	1,000	Medium	50 - 90	10 - 400
Oleophilic rope	10	1.0	1.2	20,000	Medium	50 - 90	1- 50

Dawood และ Algawi (2017) ได้ทำการศึกษาการแยกน้ำมันออกจากผิวน้ำโดยใช้สกิมเมอร์สายพาน แสดงดังรูปที่ 2-30 โดยทำการควบคุมพารามิเตอร์ ได้แก่ ความหนาชั้นน้ำมัน อุณหภูมิน้ำมัน ความเร็วรอบในการหมุน พีเอชของน้ำ ชนิดน้ำมัน และวัสดุในการทำสกิมเมอร์แบบสายพาน และทำการสร้างสมการ Empirical สำหรับการทำนายพารามิเตอร์ โดยทำการพิจารณาจากอัตราการนำกลับน้ำมัน (Oil recovery rate) และประสิทธิภาพการการนำกลับน้ำมัน (Oil recovery efficiency) ซึ่งทำการควบคุมพารามิเตอร์ ดังนี้ อัตราการนำกลับน้ำมัน 3.8 ลิตร/ชั่วโมง สายพานยาว 25.4 มิลลิเมตร ความยาวสายพาน 45.8 เซนติเมตร ทำมาจากวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิโพรไพลีน เพื่อใช้ในการนำกลับน้ำมันประเภทน้ำมันเบา พีเอช 3-13 ที่อุณหภูมิ 15 30 45 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเครื่องและน้ำมันดิบ สรุปผลการทดลอง ดังนี้

1. เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน จากการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันกับสายพาน
2. อัตราการนำกลับน้ำมัน เพิ่มขึ้นตามความหนาของชั้นน้ำมัน และอุณหภูมิของน้ำมันที่ลดลง
3. ค่าความหนืดสูงและอุณหภูมิต่ำของแต่ละชนิดน้ำมัน มีผลต่อการเพิ่มปริมาณการนำกลับน้ำมัน
4. สายพานที่ทำจากวัสดุ Synthetic rubber สามารถเพิ่มอัตรานำกลับน้ำมันและประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน เนื่องจากคุณสมบัติด้าน Hydrophobic ที่ความหนาน้ำมันสูง และความหนืดต่ำ

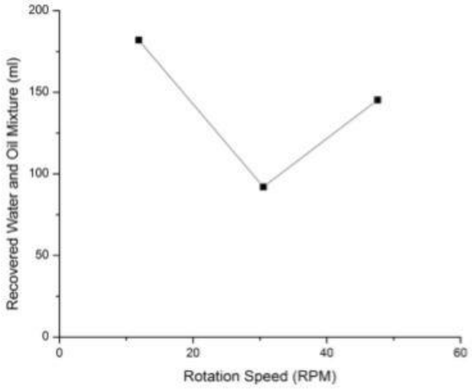
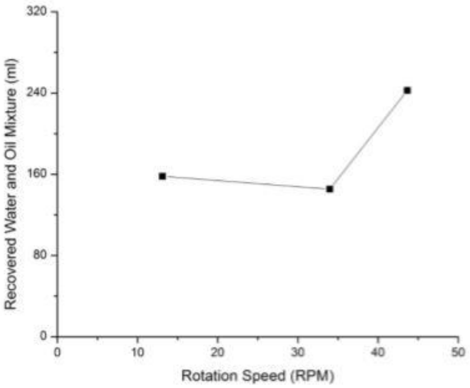
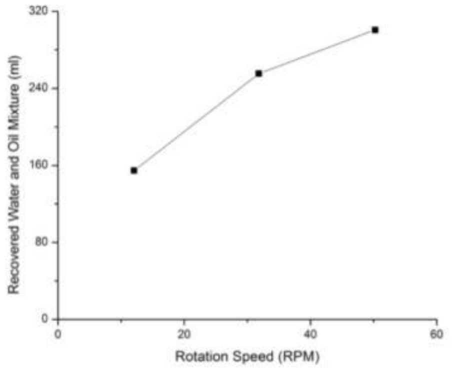
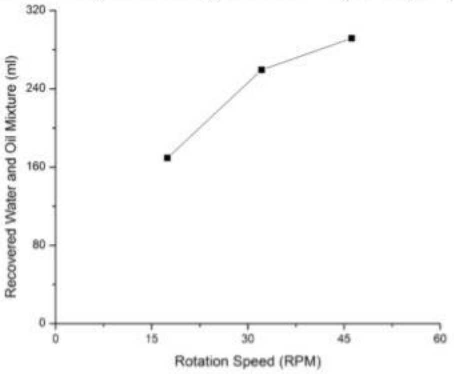
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-30 สกิมเมอร์แบบสายพานที่ใช้ในงานวิจัย (Dawood & Algawi, 2017)

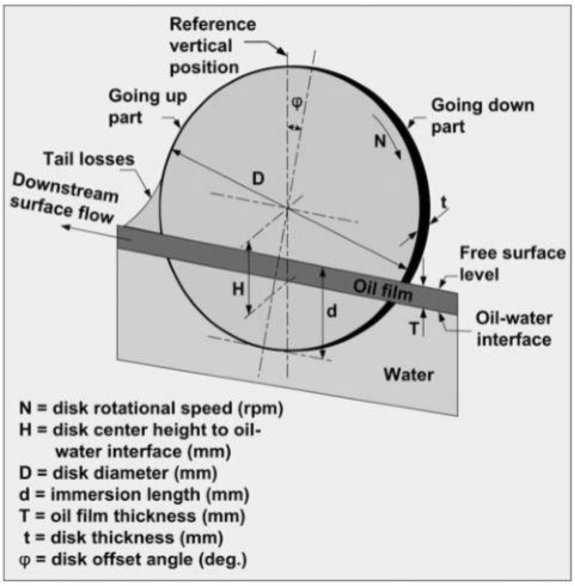
Widiaksana และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยการใช้อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบดิสก์ทำจากสแตนเลส ดังรูปที่ 2-31 โดยควบคุมพารามิเตอร์ ดังนี้ ความลึกของแผ่นดิสก์ที่จมน้ำ พื้นที่ในการจมน้ำของแผ่นดิสก์ ความหนาของชั้นน้ำมัน ความเร็วรอบในการหมุน ใช้น้ำมัน 15W-40 SAE และมีระยะการจมของแผ่นดิสก์ที่ระยะ 27 และ 55 มิลลิเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสของเหลว 31.35 และ 88.83 ตารางเซนติเมตร ทำการจับเวลา 5 นาที พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบการหมุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ แสดงดังตารางที่ 2-7 แต่ระยะมุมสัมผัสของแผ่นดิสก์ไม่มีผลต่อการนำกลับน้ำมัน

รูปที่ 2-31 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย
(Widiaksana, Yudiana และ Nugroho, 2018

ตารางที่ 2-7 สรุปปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ (Widiaksana, Yudiana และ Nugroho, 2018)

<table>
<tr><td colspan="2">ความลึกแผ่นดิสก์ที่ 27 มิลลิเมตร</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>พื้นที่ส่วนที่จมน้ำ 90.46 ตารางเซนติเมตร</td><td>พื้นที่ส่วนที่จมน้ำ 139 ตารางเซนติเมตร</td></tr>
<tr><td colspan="2">ความลึกแผ่นดิสก์ที่ 55 มิลลิเมตร</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>พื้นที่ส่วนที่จมน้ำ 90.46 ตารางเซนติเมตร</td><td>พื้นที่ส่วนที่จมน้ำ 139 ตารางเซนติเมตร</td></tr>
</table>

El-Zahaby และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบดิสก์ที่ทำจากไม้อัดเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 2-32 โดยควบคุมพารามิเตอร์ ดังนี้ น้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันไฮดรอลิคชนิดที่ 1 น้ำมันไฮดรอลิคชนิดที่ 2 และน้ำมันเครื่อง SAE40 แสดงค่าคุณสมบัติน้ำมันดังตารางที่ 2-8 ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์ 3 ขนาด คือ 40.64 35.56 และ 30.48 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ดีที่สุด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์ 40.64 เซนติเมตร ความสูงจากชั้นน้ำมันถึงเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์ (H) 10.5 เซนติเมตร มุมสัมผัสของแผ่นดิสก์ 20 องศากับระนาบแนวดิ่ง ความหนาของชั้นน้ำมัน 10 มิลลิเมตร มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 88% ซึ่งเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นน้ำมันเป็น 20 มิลลิเมตร และใช้ดิสก์ขนาดใหญ่ที่สุด สามารถเพิ่มอัตราการนำกลับน้ำมันเป็น 204%



รูปที่ 2-32 ตัวอย่างอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย (El-Zahaby และคณะ, 2011)

ตารางที่ 2-8 คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาใช้ทดลอง (El-Zahaby และคณะ, 2011)

	Color	*Density (kg/m³)*	*Viscosity (mPa · s)*
Oil1 (used hydraulic oil)	Black	876	158.42
Oil2 (used hydraulic oil)	Yellow	882	274.38
Oil3 (used SAE40)	Black	891	524.77

Ambient temperature at 23°C.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

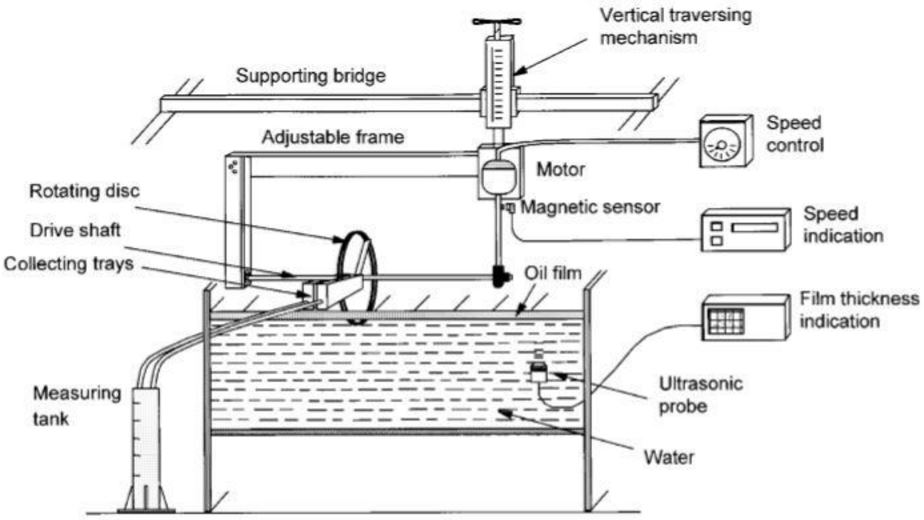
Najar และ Turner (2000) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แผ่นดิสก์ ที่ทำจากเหล็กไร้สนิม ดังแสดงในรูปที่ 2-33 ทำการควบคุมพารามิเตอร์ ได้แก่ ความหนาชั้นน้ำมัน ความลึกของแผ่นดิสก์ พบว่า

1. ที่ความเร็วรอบในการหมุนที่สูง จะทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำมันบางลงจึงทำให้อัตราการนำกลับน้ำมันลดลง

2. ฟิล์มน้ำมันจะมีแรงเฉือนที่บริเวณขอบแผ่นซึ่งมีความเร็วสูงสุด

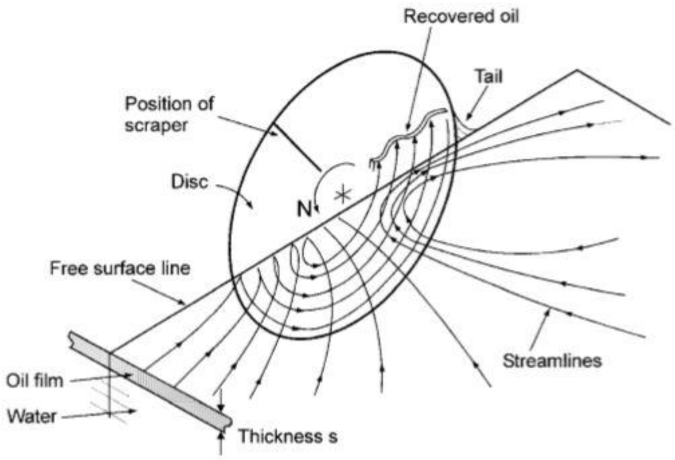
3. น้ำมันจะเคลือนที่เข้าตรงกลางแผ่นดิสก์และกระจายออกตามแนวรัศมีข้างขอบแผ่นดิสก์ เพื่อทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำมันและพื้นผิวบนแผ่นดิสก์ ซึ่งอาจมีน้ำมันบางส่วนหลุดออกจากพื้นผิว (Tail) แสดงดังรูปที่ 2-34

4. จะมีน้ำเจือปนเข้าสู่น้ำมันที่นำกลับได้ในปริมาณมาก เมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนของดิสก์สูงเกินกว่าความเร็วการหมุนที่ให้อัตราการนำกลับน้ำมันสูงสุด



รูปที่ 2-33 ตัวอย่างอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบแผ่นดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย

(Najar และ Turner, 2000)



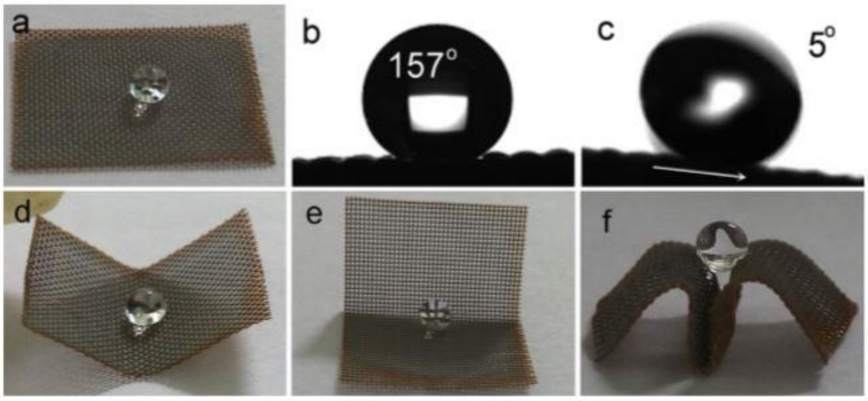
รูปที่ 2-34 การทำงานของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบแผ่นดิสก์

(Najar และ Turner ,2000)

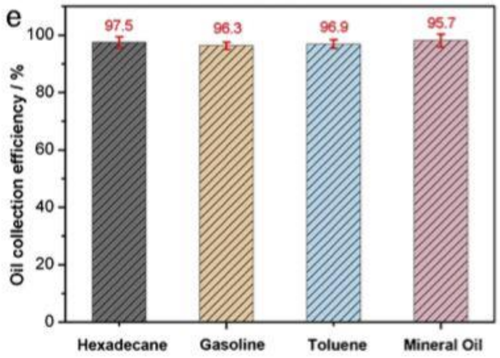
2.10.2 มุมสัมผัส (Contact angle)

Ren et al. (2018) ได้ทำการศึกษาวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบ Superhydrophobic ด้วยตาข่ายทองแดง (Copper mesh) เพื่อแยกน้ำและน้ำมันออกจากกัน ทำการทดสอบกับน้ำมัน 4 ชนิด ได้แก่ Hexadecane Gasoline Toluene และ Mineral oil โดยตาข่ายทองแดงจะถูกเคลือบด้วย

กรดสเตียริค เมื่อทำการหยดของเหลวลงบนวัสดุตาข่ายทองแดงของเหลวจะฟอร์มตัวเป็นหยดทรงกลมบนวัสดุตาข่ายทองแดง แสดงในรูปที่ 2-35 พบว่าจะวัดมุมสัมผัสระหว่างน้ำและวัสดุตาข่ายทองแดงได้ค่ามุมน้อยกว่า 5 องศา เป็นการแบ่งเฟสของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ ออกจากกันได้ชัดเจน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการนำกลับน้ำมัน Hexadacane จากผิวน้ำได้ประสิทธิภาพสูงสุด 97.5% แสดงในรูปที่ 2-36 จากนั้นจะทำการเก็บรวบรวมน้ำมันแล้วจะใช้วิธีการดูดด้วยสุญญากาศเพื่อเป็นการแยกน้ำมันก่อนการกักเก็บไว้ ซึ่งน้ำมันจะเกาะติดอยู่บนผิววัสดุ และผลักน้ำที่เจือปนออกจากอุปกรณ์เก็บน้ำมัน จึงสามารถนำกระบวนการลักษณะนี้มาใช้ได้กับเรือขนาดเล็กและอุปกรณ์สกิมเมอร์น้ำมัน



รูปที่ 2-35 การฟอร์มตัว และมุมสัมผัสระหว่างของเหลวและตาข่ายทองแดง (Ren และคณะ, 2018)

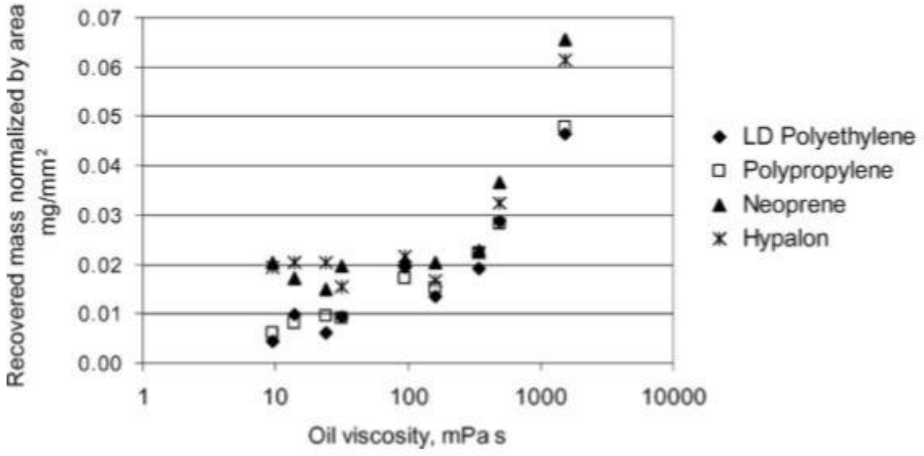


รูปที่ 2-36 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Ren และคณะ, 2018)

Broje และ Keller (2007) ได้ทำการศึกษาสภาวะการเปียก (Wetting) และแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมและวัสดุพื้นผิว เพื่อใช้ในการนำกลับน้ำมันรั่ว โดยใช้วัสดุพื้นผิว 2 ประเภท ได้แก่

1. Hard polymer ได้แก่ สแตนเลส อลูมิเนียม Low density polyethylene (LDPE) และ Polypropylene (PP)

2. Elastomers ได้แก่ Ozone resistant hypalon rubber Styrene-buta-diene rubber Epichlorohydrin rubber (ECH) และ Neoprene rubber
ซึ่งใช้น้ำมันปิโตรเลียม 4 ชนิด ได้แก่ Hydrocal300 (Hydrotreated naphthenic grade lube stock) IFO-120 (Intermediate fuel oil) Cook's inlet และ Pt. Mcintyre จากน้ำมันดิบอลาสกา ทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิห้องที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการวัดมุมสัมผัสโดยใช้เครื่อง Eletronic micrometer วัดมุมของเหลวและวัสดุพื้นผิวต่าง ๆ พบว่าวัสดุประเภท Hard polymer มีค่ามุมสัมผัสน้อย เนื่องจากมีแรงยึดเกาะแน่น และวัสดุประเภท Elastomers พบการกระจายตัวของของเหลวมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้พบว่า Oleophilic Elastomers คือ การรวมวัสดุเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น Neoprene และ Hypalon มีประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมันได้ดีจากพื้นผิวที่มีลักษณะชอบน้ำมัน และเมื่อเปรียบจากพื้นผิววัสดุเดียวกัน ปริมาณการนำกลับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามค่าความหนืด ดังแสดงในรูปที่ 2-37



รูปที่ 2-37 ผลของค่าความหนืดต่อการนำกลับน้ำมัน (Broje and Keller (2007b)

โดยประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมจากการศึกษาที่ผ่านมาสรุปได้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์และสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม

ประเภทสกิมเมอร์	วัสดุพื้นผิว	ชนิดน้ำมัน	สภาวะเดินระบบ	ประสิทธิภาพ	แหล่งอ้างอิง
1. สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง	1. อลูมิเนียม 2. นีโอพลีน 3. พอลิเอทิลีน	1. น้ำมันดีเซล 2. น้ำมันดิบ Endicott 3.น้ำมันหล่อลื่น HydroCal	1. ชั้นความหนาน้ำมัน 10 25 และ 50 มิลลิเมตร 2. อัตราเร็วในการหมุน 30 40 และ 65 รอบต่อนาที	อัตราการนำกลับน้ำมัน 0.5 ลิตร/นาที	Broje และ Keller (2007)
2. สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง	อลูมิเนียม	1. น้ำมันดีเซล 2. น้ำมันดิบ Endicott 3.น้ำมันหล่อลื่น HydroCal300	1.ชั้นความหนาน้ำมัน 10 25 และ 50 มิลลิเมตร 2.ความเร็วรอบในการหมุน 30 40 และ 65 รอบต่อนาที 3.อุณหภูมิห้อง 10-15 และ 25-30 องศาเซลเซียส	- พื้นผิวแบบร่องมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันมากกว่าแบบเรียบ 3 เท่า เนื่องจากพื้นที่ผิวของแบบร่องมีพื้นที่สัมผัสมากกว่าพื้นผิวแบบเรียบ ทำให้สามารถสัมผัสกับน้ำมันได้มากกว่า และพื้นผิวแบบร่องเมื่อใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะทำให้เกิดการสร้างแผ่นฟิล์มได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีความหนืดสูง ซึ่งมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 60 ลิตร/นาที	Broje และ Keller (2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเภทสกิมเมอร์	วัสดุพื้นผิว	ชนิดน้ำมัน	สภาวะเดินระบบ	ประสิทธิภาพ	แหล่งอ้างอิง
3. สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง	พอลิไวนิลคลอไรด์	1. น้ำมันดิบ 2. น้ำมันดีเซล 3. น้ำมันหล่อลื่น SAE10W 4. น้ำมันหล่อลื่น SAE140W	1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2. ความยาว 3. ความเร็วรอบในการหมุน 4. ความหนาของน้ำมัน 5. สัดส่วนน้ำมันต่อชั้นที่จมของดรัมสกิม	ความสูงของลูกกลิ้งอยู่เหนือกว่ารอยต่อระหว่างชั้นน้ำมันและน้ำ (Oil-water interface) 90 มิลลิเมตร ที่ระยะความหนาของน้ำมัน 10-44 มิลลิเมตร 1. ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 95% ที่ความเร็วรอบในการหมุน 75 รอบต่อนาที 2. ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 97% ที่ความเร็วรอบในการหมุน 60 รอบต่อนาที	Hammoud และคณะ (2003)
4. เวียร์สกิมเมอร์	-	-	1. ความหนาน้ำมัน 2. ความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันและน้ำ	Esso petroleum SLURP ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 80%	Topham (2002)
5. สกิมเมอร์แบบดิสก์	-	1. น้ำมันดิบ 2. น้ำมันดีเซล	-	- สกิมเมอร์แบบดิสก์ มีประสิทธิภาพ 90% ที่ 80 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมัน 20 มิลลิลิตร	Hoang และ Chau (2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทสกิมเมอร์	วัสดุพื้นผิว	ชนิดน้ำมัน	สภาวะเดินระบบ	ประสิทธิภาพ	แหล่งอ้างอิง
สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง และสกิมเมอร์แบบสายพาน		3.น้ำมันเครื่องชนิด SAE10W 4. น้ำมันเครื่องชนิด SAE140W		- สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาดใหญ่ ขนาดท่อยาว ความสูงเหนือท่อ - สกิมเมอร์แบบสายพาน คือ ความเร็วรอบ มุมสัมผัสของสายพาน และความหนาของชั้นน้ำมัน	
6. สกิมเมอร์สายพาน	-	1. น้ำมันเครื่อง 2. น้ำมันดิบ	1. ความหนาชั้นน้ำมัน 2. อุณหภูมิน้ำมัน 3. ความเร็วรอบในการหมุน 4. พีเอชของน้ำ 5. ชนิดน้ำมัน 6. วัสดุในการทำสกิมเมอร์แบบสายพาน	-	Dawood and Algawi (2017)
7. สกิมเมอร์แบบดิสก์	สแตนเลส	น้ำมัน 15W-40 SAE	1. ความลึกของแผ่นดิสก์ที่จมน้ำ 2. พื้นที่ในการจมน้ำของแผ่นดิสก์	ที่ความลึกแผ่นดิสก์ที่ 55 มิลลิเมตร พื้นที่ส่วนที่จมน้ำ 90.46 ตารางเซนติเมตร มีปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ 310 มิลลิลิตร ที่ 50 รอบต่อนาที	Widiaksana, Yudiana และ Nugroho (2018)

ประเภทสกิมเมอร์	วัสดุพื้นผิว	ชนิดน้ำมัน	สภาวะเดินระบบ	ประสิทธิภาพ	แหล่งอ้างอิง
			3. ความหนาของชั้นน้ำมัน 4. ความเร็วรอบในการหมุน		
8. สกิมเมอร์แบบดิสก์	ไม้อัดเคลือบผิว	1.น้ำมันไฮดรอลิคชนิดที่ 1 2.น้ำมันไฮดรอลิคชนิดที่ 2 3. น้ำมันเครื่อง SAE40	1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์ 40.64 เซนติเมตร 2.ความสูงจากชั้นน้ำมันถึงเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์ (H) 10.5 เซนติเมตร 3. มุมสัมผัสของแผ่นดิสก์ 20 องศากับระนาบแนวดิ่ง 4. ความหนาของชั้นน้ำมัน 10 มิลลิเมตร	- มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 88% ความหนาของชั้นน้ำมัน 10 มิลลิเมตร - อัตราการนำกลับน้ำมันเพิ่มขึ้น 2 เท่าเมื่อความหนาของชั้นน้ำมันเป็น 20 มิลลิเมตร	El-Zahaby และคณะ (2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทสกิมเมอร์	วัสดุพื้นผิว	ชนิดน้ำมัน	สภาวะเดินระบบ	ประสิทธิภาพ	แหล่งอ้างอิง
9. อุปกรณ์สกิมเมอร์แผ่นดิสก์	เหล็กไร้สนิม	-	1. ความหนาชั้นน้ำมัน 2. ความลึกของแผ่นดิสก์	ปริมาณน้ำกลับน้ำมัน 0.8 มิลลิลิตร/วินาที ที่ความเร็วรอบการหมุน 45 รอบต่อนาที	Najar และ Turner (2000)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของลักษณะพื้นผิววัสดุและสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง และการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยทำการศึกษาวัสดุพื้นผิว 5 ชนิด คือ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) อลูมิเนียม (Aluminum) พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP) ยาง (Rubber) และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic natural rubber, TPNR) ในการนำกลับน้ำมันที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม (Palm oil) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 รวมทั้งทำการทดสอบการนำกลับน้ำมันจากน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งจากปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

<u>ส่วนที่ 1</u> การวิเคราะห์คุณสมบัติ
<u>ส่วนที่ 1.1</u> วิเคราะห์คุณสมบัติของของเหลว
  - ส่วนที่ 1.1.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของของเหลว (Density)
  - ส่วนที่ 1.1.2 การวิเคราะห์ความหนืดของของเหลว (Viscosity)
  - ส่วนที่ 1.1.3 การวิเคราะห์แรงตึงผิว (Surface tension)

<u>ส่วนที่ 1.2</u> วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ
  - ส่วนที่ 1.2.1 การวิเคราะห์ความหยาบพื้นผิว (Surface roughness)
  - ส่วนที่ 1.2.2 การวิเคราะห์พลังงานพื้นผิว (Surface free energy)

<u>ส่วนที่ 1.3</u> วิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุและของเหลว
  - ส่วนที่ 1.3.1 การวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง

<u>ส่วนที่ 2</u> การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ส่วนที่ 3</u> การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของวัสดุพื้นผิว 5 ประเภท ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) อลูมิเนียม (Aluminum) พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) ยาง (Rubber) และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic natural plastic, TPNR) โดยควบคุม 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดน้ำมัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ระยะความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน

<u>ส่วนที่ 4</u> การวิเคราะห์ผลการทดลอง ด้วยโปรแกรม DOE (Design of experiment) และ Buckingham Pi theorem เพื่อหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพนำกลับน้ำมัน และสร้างสมการทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งภายใต้สภาวะการเดินระบบต่าง ๆ

<u>ส่วนที่ 5</u> การทดสอบความคลาดเคลื่อนของสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งจากผลการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์

แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงในรูปที่ 3-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่วนที่ 1 : การวิเคราะห์คุณสมบัติ

ส่วนที่ 1.1 : วิเคราะห์คุณสมบัติของของเหลว

ส่วนที่ 1.1.1 วัดค่าความหนาแน่นของของเหลว (Density)

ส่วนที่ 1.1.2 วัดค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity)

ส่วนที่ 1.1.3 วัดค่าแรงตึงผิว (Surface tension)

ส่วนที่ 1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ

ส่วนที่ 1.2.1 วัดค่าความหยาบพื้นผิว (Surface roughness)

ส่วนที่ 1.2.2 วัดค่าพลังงานพื้นผิว (Surface free energy)

ส่วนที่ 1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว

ส่วนที่ 1.3.1 วัดมุมสัมผัส (Contact angle)

↓

ส่วนที่ 2 : การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

↓

ส่วนที่ 3 : การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ดังนี้

1. ประเภทพื้นผิววัสดุ
2. ชนิดน้ำมัน
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์
4. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์
5. ความเร็วรอบในการหมุน

↓

ส่วนที่ 4 : การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม DOE (Design of experiment) และ Buckingham Pi theorem

↓

ส่วนที่ 5 : การทดสอบความคลาดเคลื่อนของสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

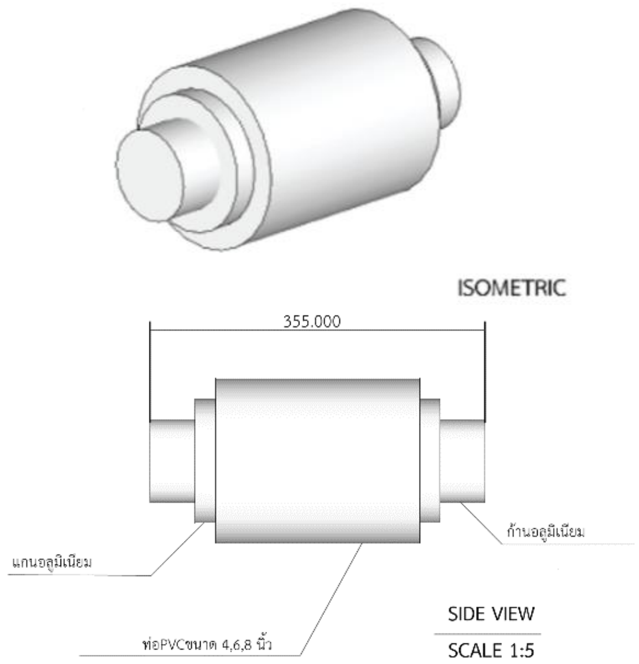
รูปที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1.1 สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Drum skimmer) ทำจาก ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ท่อพอลิโพรไพลีน (PP) และท่ออลูมิเนียม (Aluminum) แสดงในรูป 3-2



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-2 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

3.2.1.2 วัสดุบนพื้นผิวลูกกลิ้ง 5 ชนิด ได้แก่

1) <u>พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC)</u> มีความหนาแน่น 1380 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ในช่วง 50–80 เมกะพาสคัล (MPa) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ในช่วงร้อยละ 20–40

2) <u>อลูมิเนียม (Aluminum)</u> มีความหนาแน่น 2643 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) 241 เมกะพาสคัล (MPa) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ร้อยละ 12

3) พอลิโพรไพลีน (Polyethylene, PP) มีความหนาแน่น 900-910 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ในช่วง 29.3–38.6 เมกะพาสคัล (MPa) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ในช่วงร้อยละ 500–900

4) ยางพารา (Rubber) มีความหนาแน่น 930 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) 20 MPa

5) ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic natural rubber, TPNR) มีความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ในช่วง 5–19 เมกะพาสคัล (MPa) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ในช่วงร้อยละ 300–500

3.2.1.3 มอเตอร์ควบคุมความเร็วรอบ ขนาด 220 วัตต์ 6 โวลต์ ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ 10-90 รอบต่อนาที (RPM) แสดงในรูปที่ 3-3

รูปที่ 3-3 มอเตอร์ควบคุมความเร็วรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1.4 เครื่องวัดความเร็วรอบ ฮอล์พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ และแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 3-4

รูปที่ 3-4 เครื่องวัดความเร็วรอบ

3.2.1.5 ตู้กระจก มีขนาด 30*50*30 เซนติเมตร

3.2.1.6 ใบกวาดน้ำมันทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมที่ปลายหุ้มด้วยยาง เพื่อใช้ในการกวาดน้ำมันออกจากพื้นผิวอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

3.2.2 สารเคมี

3.2.2.1 <u>น้ำมันปาล์ม</u> จากบริษัทมรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด เป็นน้ำมันที่ผลิตมาจากเนื้อของผลปาล์ม มีความหนาแน่น (Density) 914 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าความหนืด (Viscosity) 7.89 เซนติสโตก ที่ 100 องศาเซลเซียส

3.2.2.2 <u>น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE10W-40</u> จากบริษัท ปตท. จำกัด เป็นน้ำมันหล่อลื่นดีเซลกึ่งสังเคราะห์ประสิทธิภาพสูง มีความหนาแน่น (Density) 865 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ 15 องศาเซลเซียส และมีความหนืด (Viscosity) 13.80 เซนติสโตก ที่ 100 องศาเซลเซียส

3.2.2.3 <u>น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE20W-50</u> จากบริษัท ปตท. จำกัด เป็นน้ำมันหล่อลื่นดีเซลกึ่งสังเคราะห์ประสิทธิภาพสูง มีความหนาแน่น (Density) 872 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ 15 องศาเซลเซียส และมีค่าความหนืด (Viscosity) 17 เซนติสโตก ที่ 100 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3-5 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

<u>**ส่วนที่ 1**</u> **การวิเคราะห์คุณสมบัติ**

ส่วนที่ 1.1 : วิเคราะห์คุณสมบัติของของเหลว

ส่วนที่ 1.1.1 วัดค่าความหนาแน่นของของเหลว (Density)

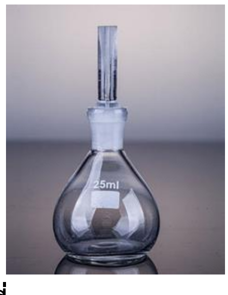
วัดความหนาแน่นของของเหลวด้วยเครื่อง Pycnometer (รูปที่ 3-6) คือ บีกเกอร์แก้วในปริมาตรที่กำหนด ซึ่งถูกชั่งน้ำหนักโดยไม่มีตัวอย่าง (M1) ก่อนใส่ตัวอย่างลงไปและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (M2) ความแตกต่างระหว่าง M1 และ M2 (มวลของตัวอย่าง) หารด้วยปริมาตรบีกเกอร์ (V) จะได้ความหนาแน่นของตัวอย่าง ณ อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัด

เมื่อของเหลวที่มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จะทำให้น้ำมันลอยตัวอยู่ที่ผิวน้ำและสามารถดูดติดกับผิวหน้าวัสดุพื้นผิวของลูกกลิ้งสกิมเมอร์ เพื่อนำกลับน้ำมัน ดังแสดงในสมการที่ 3-1 และตัวแปรที่เกี่ยวข้องแสดงในตารางที่ 3-1

$$\text{Density} = \frac{(M2-M1)}{V} \qquad (3\text{-}1)$$

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ปริมาตรของเหลว	25 มิลลิลิตร
ตัวแปรต้น	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดของเหลว	1. น้ำประปา 2. น้ำมันปาล์ม 3. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 10W-40 4. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 20W-50
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ค่าความหนาแน่น (Density)	อุปกรณ์ Pycnometer



รูปที่ 3-6 ขวด Pycnometer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่วนที่ 1.1.2 วัดค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity)

ความหนืดเป็นคุณสมบัติต้านทานการไหลของของเหลว ยิ่งของเหลวชนิดใดมีความหนืดมากก็ต้องใช้พลังงานในการต้านแรงเยอะขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ความหนืดของน้ำมันที่มีค่าน้อยกว่าจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันได้ดีกว่าน้ำมันที่มีค่าความหนืดสูง

วัดความหนืดของเหลวด้วยเครื่อง Viscometer ยี่ห้อ Brookfield รุ่น LVDVIII ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ แสดงในรูปที่ 3-7 โดยตัวเครื่องประกอบด้วย แท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) ที่หมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด ณ อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัด โลหะทรงกระบอกนี้หมุนได้โดยต่อกับมอเตอร์ การวัดความหนืดจะวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นค่า Torque และนำมาคำนวณโดยการคูณด้วยค่าคงที่ตามที่กำหนดมากับเครื่อง หรือสามารถอ่านค่าเป็น Centipoise ได้โดยตรงจากเครื่อง หรือเครื่องสามารถนำมาต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์บันทึกและรายงานผลการทดสอบ ซึ่งแสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดของของเหลว

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ปริมาตรของเหลว	6.7 มิลลิลิตร
ตัวแปรต้น	**ค่าทีใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดของเหลว	1. น้ำประปา 2. น้ำมันปาล์ม 3. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 10W-40 4. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 20W-50
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ค่าความหนืด (Viscosity)	เครื่อง Viscometer

รูปที่ 3-7 เครื่อง Viscometer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่วนที่ 1.1.3 วัดค่าแรงตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิว เป็นแรงที่ยึดผิวโมเลกุลบริเวณผิวหน้าของของเหลวไว้ด้วยกัน ซึ่งแรงนี้เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวซึ่งเป็นโมเลกุลชนิดเดียวกัน และจะมีทิศขนานไปตามผิวของของเหลวเสมอ ซึ่งหากของเหลวมีค่าแรงตึงผิวที่ใกล้เคียงกับค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุมากเท่าไร จะทำให้อัตรานำกลับน้ำมันที่พื้นผิวได้สูงขึ้นตามไปด้วย

วัดค่าแรงตึงผิวของของเหลวด้วยเครื่อง Tensiometer ยี่ห้อ Kruss รุ่น Easydyne ของวิทยาลัยปิโตและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในรูปที่ 3-8 ของของเหลว 3 ชนิด คือ น้ำประปา น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 20W-50 ณ อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัด แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพื้นผิววัสดุ

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ปริมาตรของเหลว	25 มิลลิลิตร
ตัวแปรต้น	**ค่าทีใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดของเหลว	1. น้ำประปา 2. น้ำมันปาล์ม 3. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 10W-40 4. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 20W-50
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ค่าความหนาแน่น (Density)	อุปกรณ์ Pycnometer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-8 เครื่อง Tensiometer

ส่วนที่ 1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ

ส่วนที่ 1.2.1 วัดค่าความหยาบพื้นผิว (Surface roughness)

วัดค่าความหยาบของพื้นผิวโดยขนาดของวัสดุทั้ง 5 ประเภท ด้วยเครื่อง Surface roughness tester non contact ยี่ห้อ ALICONA รุ่น INFINITEFOCUS SL ของศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในรูปที่ 3-9 โดยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวจะทำงานด้วยการกระจายแสงลงบนพื้นผิววัสดุซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเป็นการแสดงสภาพพื้นผิวจริงที่ถูกขยายเป็นเส้นโปรไฟล์ที่มีความละเอียดสูง ทั้งนี้จะเลือกค่ากำลังขยายเลนส์จากลักษณะพื้นผิว โดยหากพื้นผิวที่มีค่าความหยาบสูง ควรใช้เลนส์ 50X เพื่อให้เก็บภาพตัวอย่างได้อย่างละเอียดก่อนที่นำภาพที่เก็บได้ ไปขยายเพื่อวัดผล ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวัดความหยาบพื้นผิวแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหยาบพื้นผิว

ตัวแปรต้น	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดวัสดุพื้นผิว	1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) 2. อลูมิเนียม (Aluminium) 3. พอลิโพรไพลีน (PP) 4. ยาง (Rubber) 5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ค่าความหยาบพื้นผิวโดยขนาด	เครื่อง Surface Roughness Tester

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-9 เครื่อง Surface roughness tester

ส่วนที่ 1.2.2 วัดค่าพลังงานพื้นผิว (Surface free energy)

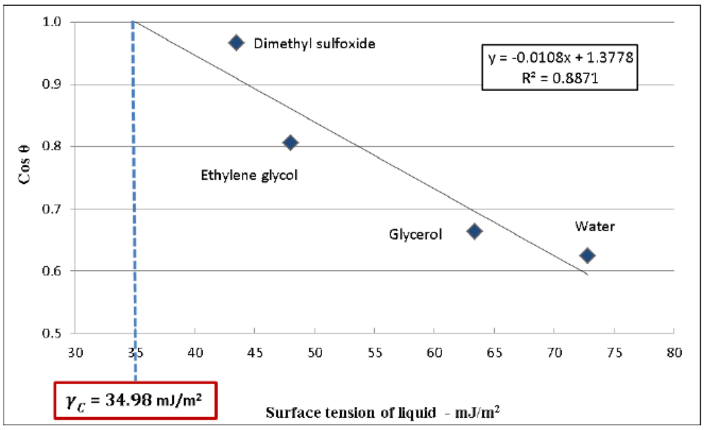
การวัดค่าพลังงานพื้นผิวโดยวิธีการ Zisman method จะทำการวัดมุมสัมผัส (θ_{SL}) ระหว่างของเหลวที่มีค่าแรงตึงผิวแตกต่างกัน (γ_L) ณ อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัด บนพื้นผิวของของแข็ง และนำค่ามุมสัมผัสที่ได้ไปพล็อตกราฟ Zisman plot ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3-10 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง cos θ_{SL} และ γ_L จะสามารถประมาณค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุได้จากค่าแรงตึงผิวที่ทำให้ค่า cos θ_{SL} = 1 โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการศึกษาค่าพลังงานพื้นผิวแสดงดังตารางที่ 3-5

วิธีการวัดค่าพลังงานพื้นผิวโดยใช้วิธีการ Zisman method จะดำเนินการโดยทำการเตรียมสารละลายของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS (Sodium dodecyl sulfate) ที่ความเข้มข้น 1.0 3.0 5.0 7.5 และ 8.0 มิลลิโมลาร์ แล้วจึงทำการหยดของเหลวลงบนวัสดุ เพื่อทำการวัดมุมสัมผัสของหยดของเหลวบนวัสดุแต่ละชนิด และทำการวัดค่าแรงตึงผิวของของเหลว จากนั้นนำค่าทีได้มาพล็อตกราฟ แล้วลากเส้นให้ผ่านจุดที่มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา ซึ่งก็คือจุดที่พื้นผิวของแข็งสามารถเปียกได้มากที่สุด หรือมีค่าแรงตึงผิวของของเหลวมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานพื้นผิวของของแข็ง

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานพื้นผิว

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ปริมาตรของเหลว	10 ไมโครลิตร/หยด
ตัวแปรต้น	**ค่าทีใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดวัสดุพื้นผิว	1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) 2. อลูมิเนียม (Aluminium) 3. พอลิโพรไพลีน (PP) 4. ยาง (Rubber) 5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)
2. ชนิดของเหลว	น้ำประปาที่มีการปรับค่าแรงตึงผิวโดยการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิด Sodium dodecyl sulfate (SDS) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ค่าพลังงานพื้นผิว	Zisman method

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



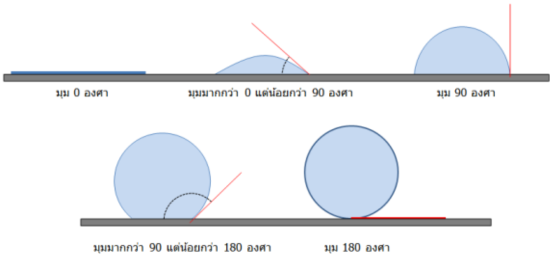
รูปที่ 3-10 ตัวอย่างกราฟ Zisman plot

ส่วนที่ 1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว

ส่วนที่ 1.3.1 วัดมุมสัมผัส (Contact angle)

วัดมุมสัมผัส ด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปความละเอียดสูง โดยทำการวัดมุมระหว่างหยดของเหลว และวัสดุพื้นผิว เพื่อทราบมุมสัมผัสซึ่งเป็นมุมระหว่างพื้นผิวของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง แสดงในรูปที่ 3-11 โดยมุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรง Adhesion และ Cohesion ซึ่งมุมสัมผัสนี้ก็จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง ณ อุณหภูมิที่ทำตรวจวัด โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว

ทำการวัดมุมสัมผัสด้วยการหยดของเหลวลงบนวัสดุต่างๆ และวัดมุมของหยดของเหลวบนพื้นผิววัสดุ พบว่ามุมสัมผัสของของเหลวบนผิวสัมผัสที่มีค่าน้อยจะทำให้หยดของเหลวมีลักษณะแบนราบและเกาะที่ผิวของวัสดุ ซึ่งเป็นสภาวะที่มีการเปียกที่ดี (Good wetting) และในทางกลับกันมุมสัมผัสที่มีค่ามากจะส่งผลต่อพื้นที่ผิวร่วมระหว่างหยดของเหลวและวัสดุพื้นผิวที่น้อยหรือการเปียกที่ไม่ดี (Bad wetting) ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวและของเหลวชนิดต่าง ๆ ซึ่งแสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องในตารางที่ 3-6



รูปที่ 3-11 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ

- มุมสัมผัส 0 องศา คือ การเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นกรณีที่แรง Adhesion มีค่ามากกว่า Cohesion มาก
- มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดี
- มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 180 องศา เรียกว่า ผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม
- มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา เรียกว่า ผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรง Adhesion มีค่าน้อยกว่า Cohesion มาก ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรที่ใช้ในการวัดมุมสัมผัส (Contact angle)

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ปริมาตรของเหลว	10 ไมโครลิตร/หยด
ตัวแปรต้น	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดวัสดุพื้นผิว	1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) 2. อลูมิเนียม (Aluminium) 3. พอลิโพรไพลีน (PP) 4. ยาง (Rubber) 5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)
2. ชนิดของเหลว	1. น้ำประปา 2. น้ำมันปาล์ม 3. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 10W-40 4. น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 20W-50
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	Contact angle

ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิว พบว่าวัสดุพื้นผิวแต่ละชนิดมีจุดเด่น และจุดด้อยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ได้แก่ คงทน แข็งแรง พื้นผิวเรียบ และหาซื้อได้ง่าย
2. อลูมิเนียม (Aluminum) ได้แก่ คงทน พื้นผิวหยาบ และน้ำหนักมาก
3. พอลิโพรไพลีน (PP) ได้แก่ พื้นผิวเรียบ และน้ำหนักเบา
4. ยาง (Rubber) ได้แก่ พื้นผิวเรียบ เป็นแผ่นบาง และหาซื้อได้ง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

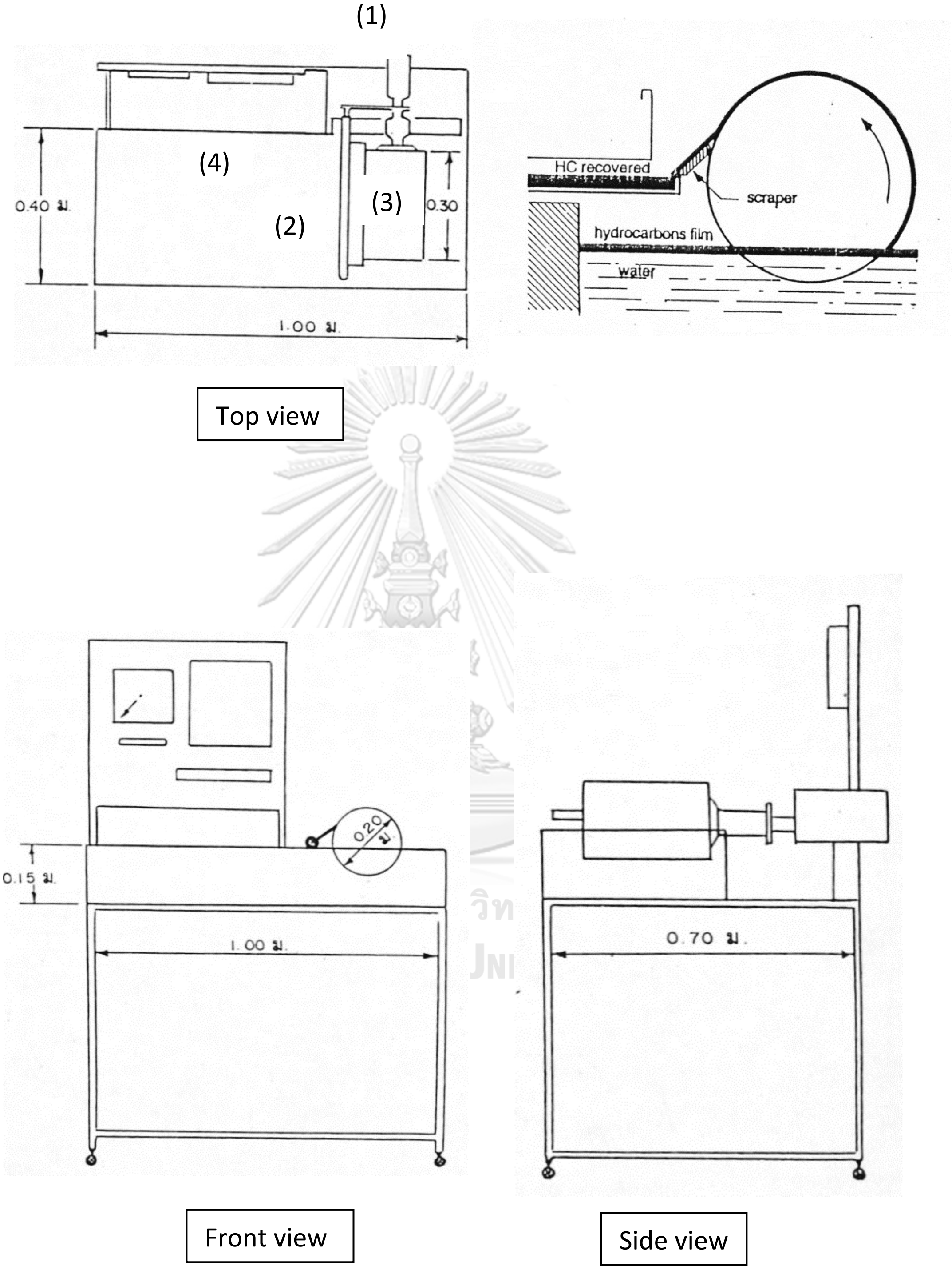
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR) ได้แก่ พื้นผิวหยาบ เป็นรูพรุน และหนา

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิว พบว่าวัสดุต่าง ๆ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่แตกต่างกัน จึงแบ่งการวิเคราะห์ผลด้วยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

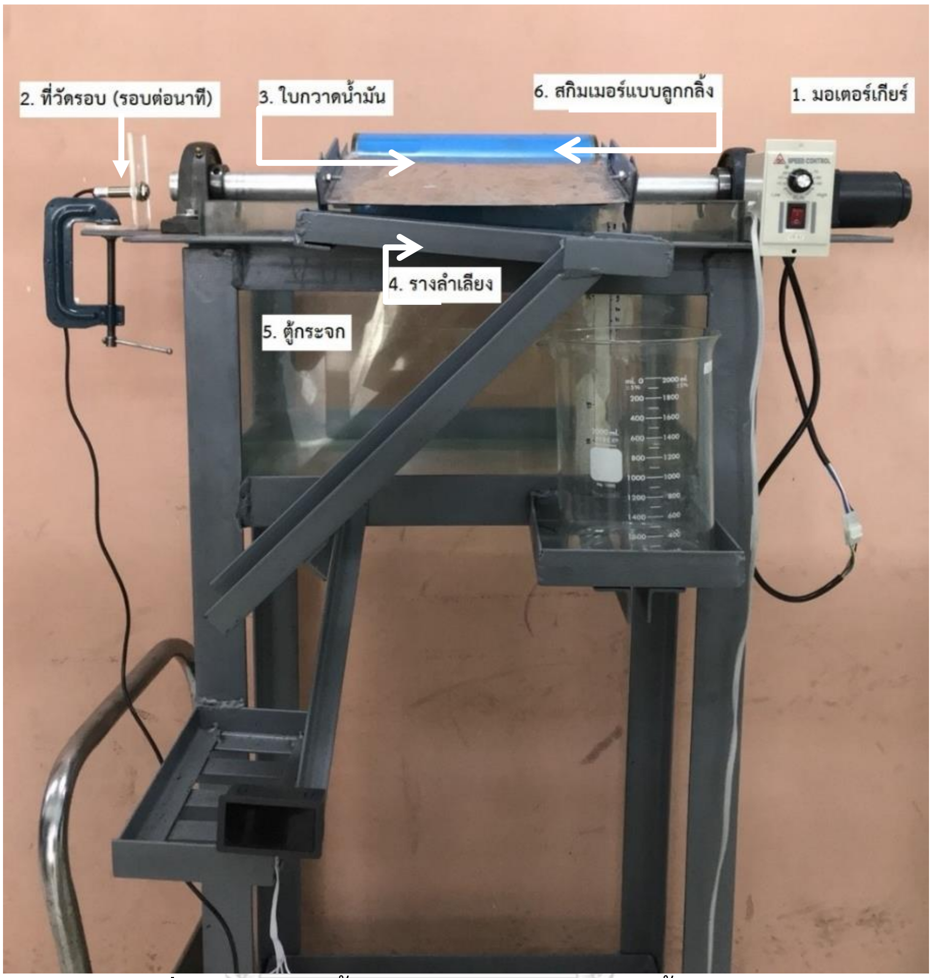
<u>ส่วนที่ 2</u> การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์ในงานวิจัยนี้ จะอาศัยแนวคิดรูปแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์ในลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-12 เพื่อทดสอบผลกระทบของความแตกต่างของพื้นผิววัสดุ และสภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการนำกลับน้ำมันด้วยการแยกเฟสของของเหลว แล้วจึงใช้หลักการในการดูดติดน้ำมันที่พื้นผิววัสดุทำให้สามารถนำกลับน้ำมันได้ ซึ่งสามารถติดตั้งใช้ในครัวเรือนหรือโรงงาน เพื่อเป็นการแยกของเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณไขมัน (FOG) ก่อน โดยเป็นการลดทั้งปริมาณ ความเข้มข้นของน้ำมัน และถือเป็นการนำของเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาของระบบชีวภาพไปจัดการอย่างถูกวิธีอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจัดทำขึ้นได้อย่างง่าย ใช้อุปกรณ์ต่อระบบที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป มีอายุใช้งานสูง ประหยัดพลังงาน สามารถเคลื่อนย้ายระบบได้อย่างสะดวก หากต้องการดำเนินการเก็บน้ำมันที่ไหลรั่วลงสู่ทะเล อาจนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการต่อกับเรือ เพื่อทำการเก็บน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บเชื้อเพลิง เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดีกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นๆ และถือเป็นการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างสิ้นเปลือง

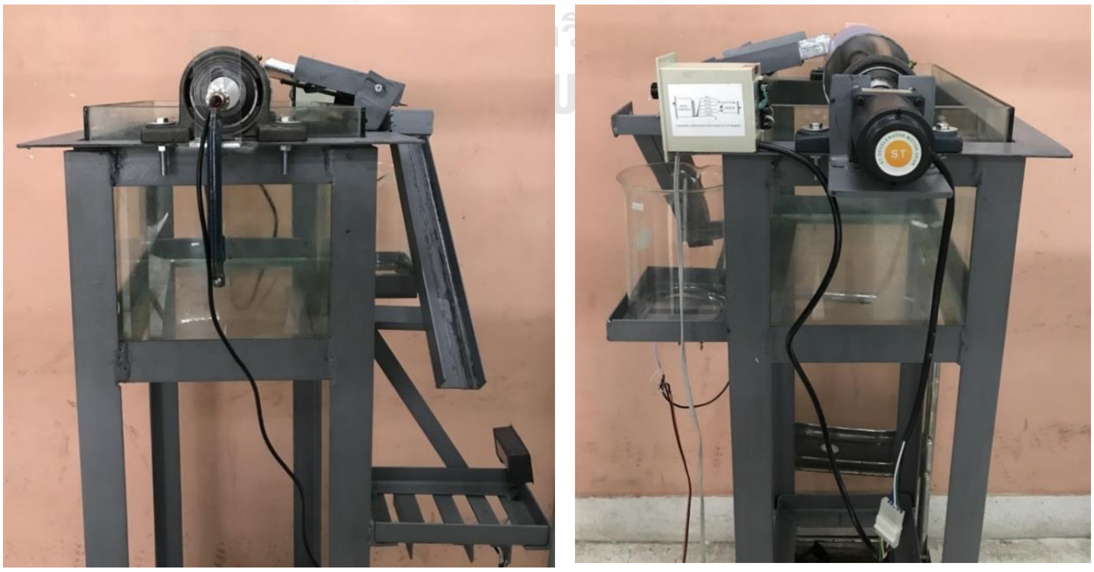
อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยสถาบัน INSA Toulose ประเทศฝรั่งเศส ดังแสดงในรูปที่ 3-12 โดยประกอบด้วย (1) มอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้เพื่อปรับตามสภาวะที่เหมาะสมของแต่วัสดุ โดยมีเซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุน การเดินระบบจะเริ่มจากการบรรจุน้ำและน้ำมันในตู้กระจกให้ได้ระยะความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2) ตามที่กำหนดไว้ และทำการเปิดมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากนั้น (3) อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งจะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกากระทบกับผิวหน้าของของเหลว ซึ่งน้ำมันจะดูดติดพื้นผิววัสดุขึ้นมา จากนั้น (2) ใบแผ่นกวาดน้ำมันจะทำการกวาดเฟสของเหลวที่ติดวัสดุพื้นผิวขึ้นมาเพื่อให้ของเหลวทั้งหมดไหลลงสู่ (4) รางลำเลียงและไหลไปรวมที่ อุปกรณ์เพื่อเก็บรวบรวมของเหลวที่ได้เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3-13 ถึง 3-16



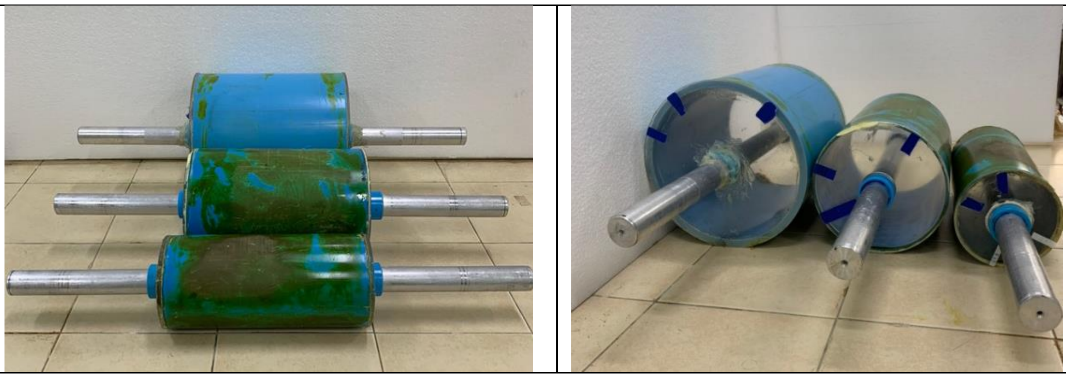
รูปที่ 3-12 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (อำพล รัตนสุวงศ์ชัย, 2530)



รูปที่ 3-13 การติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (ด้านหน้า)

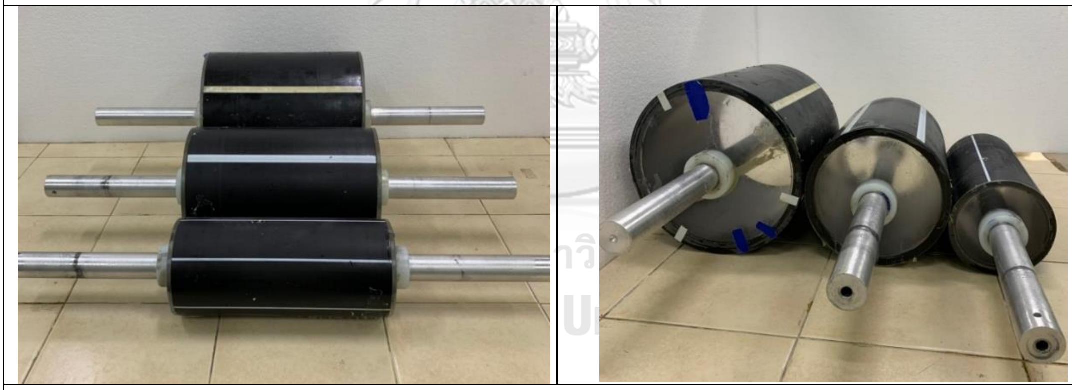


รูปที่ 3-14 การติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (ด้านข้าง)



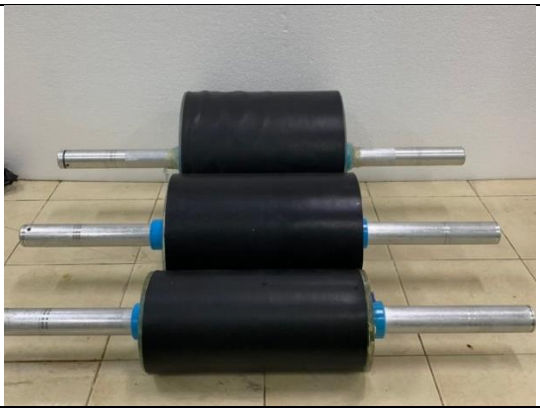
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)

2. อลูมิเนียม (Aluminum)



3. พอลิโพรไพลีน (Polypropylene)

รูปที่ 3-15 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียม และพอลิโพรไพลีน



4. ยาง (Rubber)

5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)

รูปที่ 3-16 อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวยาง และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ส่วนที่ 3</u> การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ในการทดลองส่วนนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีวัสดุพื้นผิวที่แตกต่างกัน 5 ประเภท ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียม พอลิโพรไพลีน ยาง และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก โดยทำการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน ดังรูปที่ 3-17 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำกลับน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

โดยประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งจะพิจารณาจาก

- ปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ โดยทำการจับเวลา 1 นาที แล้ววัดปริมาตรของน้ำมัน

Volume of oil (ml) = Total volume recovery - Volume of recovered water (3-2)

- ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน คือ สัดส่วนปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ต่อปริมาตรน้ำมันทั้งหมด

Recovery efficiency (%) = (Volume of recoverd oil / Total oil volume) x 100 (3-3)

- อัตราการนำกลับน้ำมัน คือ ปริมาตรน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ต่อเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวม

Oil recovery rate (ml/sec) = Volume of recovered oil / Time (3-4)

- สัดส่วนการเจือปนของน้ำ คิดจากปริมาตรรวมของน้ำมันและน้ำที่สามารถเก็บรวบรวมได้

Water fraction (%) = (Volume of water / Volume of recovered liquid) x 100 (3-5)

แสดงผลตัวแปรที่เกี่ยวข้องแสดงในตารางที่ 3-7 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งดังรูปที่ 3-17 และแผนผังการวิเคราะห์และศึกษาสภาวะการนำกลับน้ำมันที่เหมาะสมของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3-18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ความยาวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง	จากการออกแบบในส่วนที่ 2
2. ความหนาของชั้นน้ำมันบนผิวน้ำ	1 เซนติเมตร
ตัวแปรต้น	**ค่าทีใช้ในการทดลอง**
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	4 6 และ 8 นิ้ว
2. ความเร็วรอบในการหมุน	10 25 40 และ 60 รอบต่อนาที
3. ความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ	1:1 2:3 และ 3:2 (รูปที่ 3-17)
4. ชนิดของน้ำมัน	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50
5. ลักษณะพื้นผิว	1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) 2. อลูมิเนียม (Aluminium) 3. พอลิโพรไพลีน (PP) 4. ยาง (Rubber) 5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)
ตัวแปรตาม	**การวิเคราะห์**
1. ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน	1. ปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ 2. ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 3. อัตราการนำกลับน้ำมัน 4. สัดส่วนการเจือปนของน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-17 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วที่ระยะความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ที่ระยะต่าง ๆ

ใส่น้ำ และน้ำมัน โดยกำหนดให้มีชั้นความสูงน้ำมันบนผิวน้ำ 1 เซนติเมตร
โดยคิดเป็นปริมาตรน้ำมัน 1500 มิลลิลิตร ในตู้กระจก

↓

เดินระบบสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวเป็น

1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyinylchloride)
2. อลูมิเนียม (Aluminum)
3. พอลิโพรไพลีน (Polypropylene)
4. ยาง (Rubber)
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)

<u>กำหนด</u>

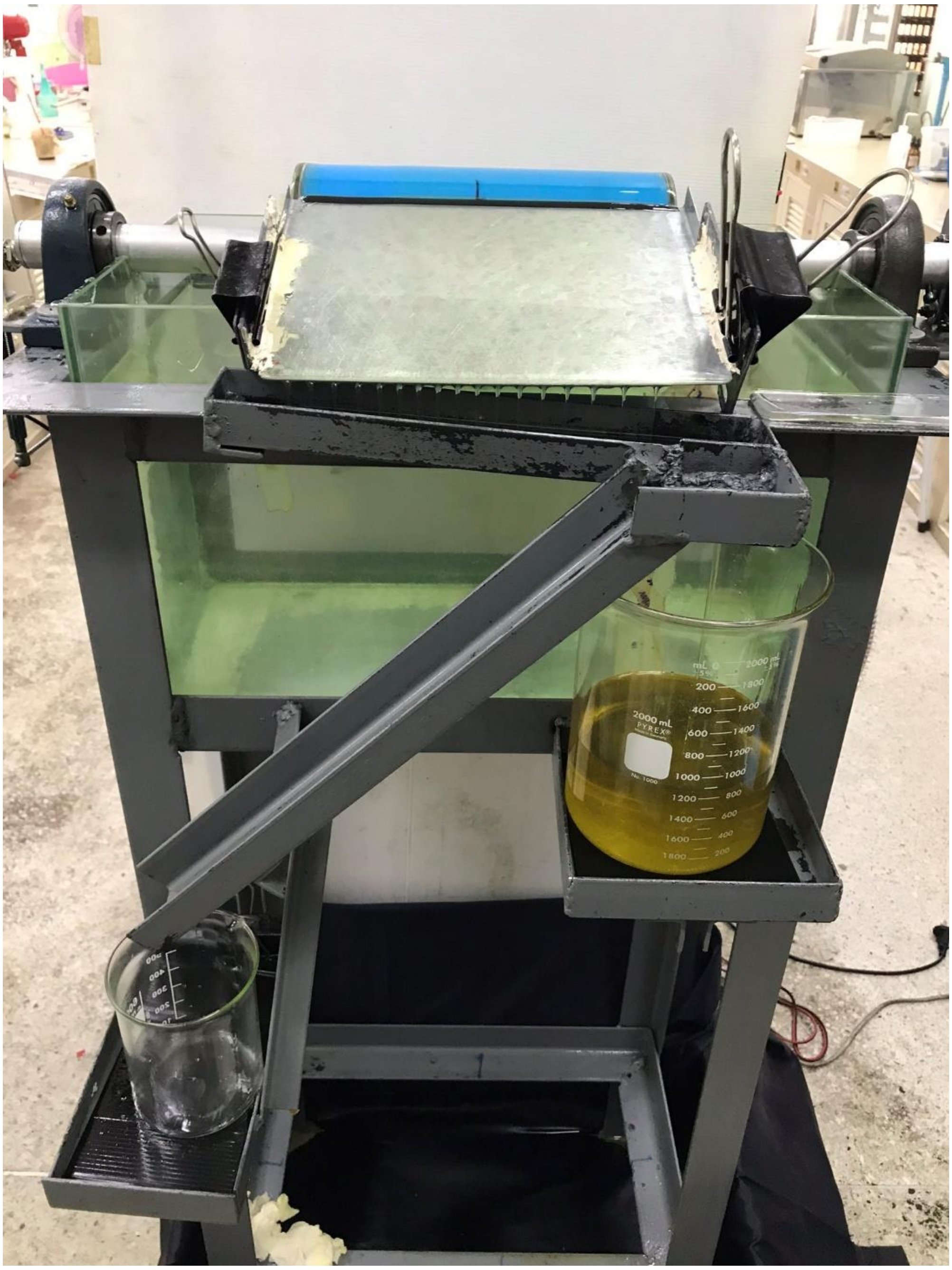
1. ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 6 และ 8 นิ้ว
3. ความหนาของชั้นน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 1:1 และ 2:3
4. ความเร็วรอบของในการหมุน 10 25 40 และ 60 รอบต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

↓

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน
จากปริมาตรน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน
อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ

รูปที่ 3-18 แผนผังการวิเคราะห์และศึกษาสภาวะการนำกลับน้ำมันที่เหมาะสมของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง



รูปที่ 3-19 การทดลองการนำกลับน้ำมันปาล์มด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ส่วนที่ 4 : การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบ และศึกษาสภาวะการทดลองที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพนำกลับน้ำมัน

ส่วนที่ 4.1 การศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งด้วยแนวคิด Design of experiment (DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุม โดยทำการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบต่าง ๆ เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการลดขั้นตอน หรือลดเวลาในการทำการทดลอง ซึ่งมีผลลัพธ์ในทางสถิติที่มีความเชื่อถือได้สูง โดยหลังจากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์แล้ว จะทราบตัวแปรที่ส่งผลต่อระบบ แล้วจึงนำตัวแปรดังกล่าวไปปรับใช้อย่างถูกต้องในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อทำให้กระบวนในระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้จะดำเนินการด้วยโปรแกรม Minitab18 ฟังก์ชั่น DOE ที่ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ผล ดังนี้

1) กำหนดหัวข้อของสิ่งที่เกิดปัญหา (Problem) ซึ่งต้องมีความเข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง ได้แก่ อะไรที่กำลังเป็นเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2) การเลือกปัจจัย (Parameter) และการกำหนดระดับของปัจจัย ได้แก่ มุมสัมผัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของลูกกลิ้ง และความเร็วรอบในการหมุน

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัด และวัดด้วยกระบวนการอื่น ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมัน

4) เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5) ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

6) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) เป็นการตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ความถูกต้องของ Model หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย

7) สรุปผลการทดลอง โดยการใช้ข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน เพื่อผู้ที่สนใจงานวิจัยนี้อาจมีการดำเนินการทดลองต่อยอดจากบรรทัดฐานนี้ได้

<u>ส่วนที่ 4.2</u> การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยการสร้างสมการ Buckingham Pi Theorem

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายประสิทธิภาพการแยกน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งจากผลการทดลองที่ได้ จะใช้หลักการวิเคราะห์กลุ่มตัวแปรไร้หน่วยตามทฤษฎี Buckingham Pi (Buckingham Pi theorem) ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

Buckingham Pi Theorem คือ เป็นทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ตัวแปรไร้หน่วย โดยใช้ตัวแปร π แทนพจน์ตัวแปรไร้มิติที่วิเคราะห์มาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่พิจารณา โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) การเลือกตัวแปร หลักการสำคัญคือ ใส่ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดลงไป เพราะถ้าตัวแปรใดไม่เกี่ยวข้องจะทราบภายหลัง เนื่องจากจะมีกลุ่ม π เกินมา

2) ลำดับขั้นการใชทฤษฎี Buckingham Pi

ตัวแปรในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ อัตราการนำกลับน้ำมัน (Rate of oil recovery)

2. ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) ค่าความหนืด (Viscosity) ค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุ (Surface free energy) ค่าความหยาบของวัสดุ (Surface free energy) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter) ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ (Diameter) และความเร็วรอบในการหมุน (Rotation speed)

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของไหลแบ่งออกเป็น 3 กลุม คือ

1. กลุ่มบอกรูปร่างและขนาด เช่น ความยาว พื้นที่ ปริมาตร

2. กลุ่มบอกการเคลื่อนไหวและแรง เช่น ความเร็ว ความเร่ง โมเมนตัม

3. กลุ่มบอกคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด น้ำหนักจำเพาะ

3) การหากลุ่มตัวแปร

1. แจกแจงตัวแปรทั้งหมด (n) = จำนวนตัวแปรทั้งหมด

2. เลือกกลุ่มมิติปฐมภูมิที่จะใช้ เช่น M L t (Mass Length Time) หรือ F L t (Force Length Time)

3. แจกแจงมิติของตัวแปรต่าง ๆ ใหอยู่ในรูปมิติปฐมภูมิ (r)

4. เลือกจำนวนตัวแปรต้น (m) จากตัวแปรทั้งหมด ให้ได้จำนวนเท่ากับจำนวนมิติปฐมภูมิ (r) ตัวแปรต้นนี้จะต้องมีมิติปฐมภูมิครบทุกตัว

5. กำหนดสมการมิติ โดยรวมตัวแปรต้นที่ได้กับตัวแปรตามให้กลายเปนตัวแปรไร้มิติ ได้ (n-m) สมการ แล้วแก้สมการหา π

<u>ส่วนที่ 5</u> : การทดสอบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันจากผลการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์

จากการทำการศึกษาในส่วนที่ 3 การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของวัสดุพื้นผิว 5 ประเภท ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียม พอลิโพรไพลีน ยาง ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และส่วนที่ 4 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบ และศึกษาสภาวะการทดลองที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพนำกลับน้ำมัน จะได้พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันในด้านทฤษฎี และด้านการทดลอง รวมถึงสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันและสภาวะเดินระบบต่าง ๆ จึงจะนำสมการที่สร้างขึ้นดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกสภาวะการเดินระบบสำหรับการทดสอบอุปกรณ์สกิมแบบลูกกลิ้งในการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งนำน้ำมันที่ใช้ในการทอดอาหารและน้ำมันจากสถานีบริการน้ำมันในขั้นตอนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในน้ำที่ก่อให้เกิดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน โดยทำการทดสอบลักษณะสมบัติของน้ำปนเปื้อนน้ำมันจริงที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์สำหรับเลือกสภาวะการเดินระบบที่น่าจะเหมาะสม และทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ในการใช้งานเพื่อนำกลับน้ำมันในสถานการณ์จริง

การพัฒนาอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในงานวิจัยนี้ เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน หรือการนำกลับสารบางชนิดที่มีการแยกชั้นกับน้ำอย่างชัดเจน เช่น สารไฮโดรคาร์บอนที่มักพบได้ทั่วไปตามอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การเลือกประเภทวัสดุพื้นผิวสกิมเมอร์และการเดินระบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมน่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกและนำกลับสารที่ต้องการได้ โดยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งนี้สามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อรวบรวมน้ำมัน หรือสารชนิดอื่น ๆ ได้ในกระบวนการผลิต การบำบัดน้ำปนเปื้อนน้ำมัน รวมไปถึงการรับมือเหตุการณ์น้ำมันรั่วในแหล่งน้ำได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-8 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะของพื้นผิววัสดุ และศึกษาสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

แผนงานวิจัย	**ระยะเวลา (เดือน)**											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ค้นคว้าเอกสารและสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์	■	■										
2. เตรียมอุปกรณ์ สารเคมี		■	■									
3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย				■								
3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติ 3.1.1 คุณสมบัติของของเหลว 3.1.2 คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ 3.1.3 คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว				■	■							
3.2 การออกแบบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง				■	■	■						
3.3 การศึกษาสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันของวัสดุพื้นผิวชนิดต่าง ๆ						■	■	■	■			
3.4 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์และการศึกษาประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมัน									■	■		
3.5 การประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทดสอบกับน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งาน									■	■	■	
4. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย									■	■	■	
5. จัดทำเล่มและสอบวิทยานิพนธ์											■	■

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุและลักษณะพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน รวมไปถึงการศึกษาผลกระทบของสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง และการสร้างสมการทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยการศึกษานี้ได้ทำการวิจัยสภาวะการเดินระบบที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งจะรายงานผลดังนี้ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเหลวและวัสดุพื้นผิว ผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสภาวะการทดลอง ผลการวิเคราะห์การทดลอง สำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพนำกลับน้ำมัน และการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกสภาวะการเดินระบบสำหรับการทดสอบการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเหลวและวัสดุพื้นผิว

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของของเหลวและวัสดุพื้นผิวที่ทำการศึกษา เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกกลิ้ง

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของของเหลว

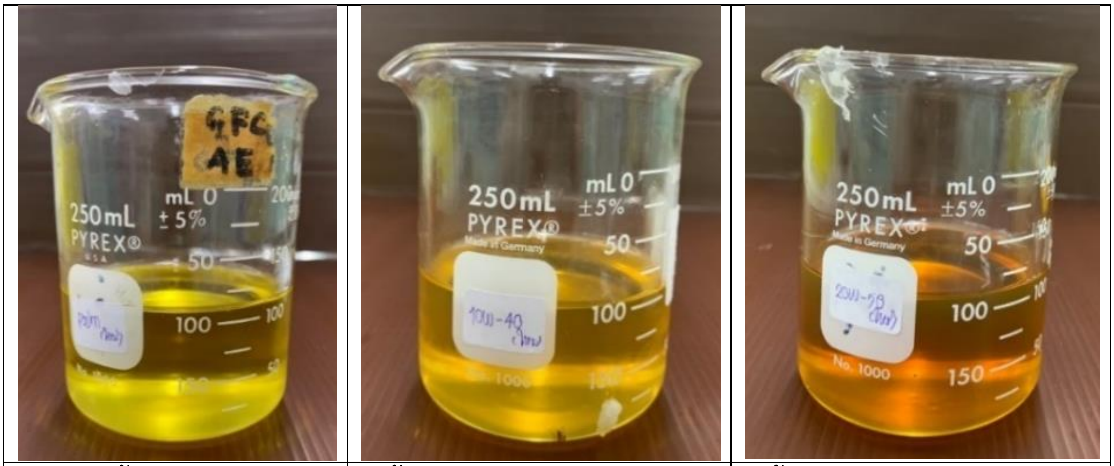
ลักษณะทางกายภาพแบ่งตามชนิดน้ำมัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ดังนี้

1) น้ำมันปาล์ม จากบริษัท มรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด (มหาชน) ใช้สำหรับประกอบอาหาร มีลักษณะทางกายภาพ สีเหลืองอ่อนจนเกือบใส และไม่มีตะกอน แสดงในรูปที่ 4-1

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 จากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เป็นน้ำมันเครื่องดีเซลกึ่งสังเคราะห์ ประสิทธิภาพสูง ใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขนส่งเชิงพาณิชย์ มีลักษณะทางกายภาพ มีสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน และไม่จับตัวเป็นก้อน แสดงในรูปที่ 4-1

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 จากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เป็นน้ำมันดีเซลเกรดรวม สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซิน ลักษณะทางกายภาพ มีสีเหลืองเข้มใส ไม่มีตะกอน ไม่จับตัวกันเป็นก้อน แสดงในรูปที่ 4-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



น้ำมันปาล์ม	น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

รูปที่ 4-1 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.1 ค่าความหนาแน่นของของเหลว (Density) แสดงผลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าความหนาแน่นของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส

ชนิดของเหลว	**ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, kg/m^3)**
1. น้ำประปา	1019
2. น้ำมันปาล์ม	925
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	901
4. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	890

จากตารางที่ 4-1 พบว่าน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำ ดังนั้นน้ำมันทั้ง 3 ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ในการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์ได้ โดยน้ำมันมีความหนาแน่น (เรียงจากน้อยไปมาก) ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันปาล์ม มีความน่าจะเป็นที่น้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีโอกาสนำกลับน้ำมันได้ในปริมาณมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.2 ค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity) แสดงผลดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าความหนืดของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส

ชนิดของเหลว	ค่าความหนืด (เซนติสโตก, CSt)
1. น้ำประปา	76.9
2. น้ำมันปาล์ม	71.4
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	189.0
4. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	368.9

จากตารางที่ 4-2 พบว่าน้ำมันมีค่าความหนืดแตกต่างกันสูง (เรียงจากน้อยไปมาก) ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ซึ่งจากค่าความหนืดที่ต่างกันนั้นอาจมีแนวโน้มว่าน้ำมันชนิดที่มีค่าความหนืดสูง มีอัตราการนำกลับน้ำมันได้สูงกว่าน้ำมันที่มีความหนืดต่ำและอาจเกิดการเจือปนของน้ำได้สูง เนื่องจากแรงต้านในการดูดติดของน้ำมันที่พื้นผิววัสดุระหว่างการนำกลับน้ำมัน

4.1.1.3 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (Surface tension) แสดงผลดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว ที่อุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส

ชนิดของเหลว	ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (มิลลินิวตันต่อเมตร, mN/m)
1. น้ำประปา	73.6
2. น้ำมันปาล์ม	34.1
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	32.5
4. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	33.6

จากตารางที่ 4-3 พบว่าค่าแรงตึงผิวของของเหลวน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 32-34 มิลลินิวตันต่อเมตร โดยน้ำมันปาล์มมีค่าแรงตึงผิวสูงสุด รองลงมาคือน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 นอกจากนี้พบว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำประปามีค่าสูงถึง 73.6 มิลลินิวตันต่อเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิววัสดุ 5 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) อลูมิเนียม (Aluminium) พอลิโพรไพลีน (PP) ยาง (Rubber) และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR) ซึ่งทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้

4.1.2.1 ค่าความหยาบของพื้นผิว (Surface roughness: Ra) แสดงผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าความหยาบของพื้นผิววัสดุ

วัสดุพื้นผิว	**ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ย, Ra (ไมโครเมตร, µm)**
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	0.2800
2. อลูมิเนียม (Aluminum)	0.3989
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	1.9663
4. ยาง (Rubber)	0.2307
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	55.2484

จากผลวิเคราะห์ค่าความหยาบพื้นผิว พบว่าวัสดุที่มีค่าความหยาบพื้นผิวสูงสุด คือ ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก รองลงมาได้แก่ พอลิโพรไพลีน อลูมิเนียม พอลิไวนิลคลอไรด์ ยาง ซึ่งพบว่าพื้นที่ผิววัสดุเพิ่มขึ้นตามค่าความหยาบพื้นผิว แต่อย่างไรก็ตามความหยาบพื้นผิวเป็นเพียงปัจจัยเสริมด้านพื้นผิวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลจากปัจจัยหลักด้วย เช่น ค่าพลังงานพื้นผิว ที่มีผลต่อพื้นผิวสูงกว่าในด้านการดูดติดน้ำมันเป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2.2 ค่าพลังงานพื้นผิว (Surface free energy) แสดงผลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุ

วัสดุพื้นผิว	ค่าพลังงานพื้นผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร, mN/m)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	40
2. อลูมิเนียม (Aluminum)	46
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	42
4. ยาง (Rubber)	23
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	53

โดยทฤษฎีแล้วค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุ (Surface free energy) ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงตึงผิว (Surface tension) ของน้ำมันจะมีการเกาะติดกันของน้ำมันบนวัสดุนั้นได้ดี โดยส่งผลโดยตรงกับการนำกลับน้ำมันที่เพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4-5 พบว่าวัสดุที่มีค่าพลังงานพื้นผิวใกล้เคียงกับค่าแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และพอลิโพรไพลีน (PP) ดังนั้นวัสดุดังกล่าวน่าจะเป็นวัสดุพื้นผิวบนสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุด

4.1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวและของเหลว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3.1 มุมสัมผัส (Contact angle) แสดงผลดังตารางที่ 4-6 ถึง 4-7

ตารางที่ 4-6 มุมสัมผัสระหว่างวัสดุพื้นผิวและน้ำประปา

วัสดุพื้นผิว	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	66°26'
2. อลูมิเนียม (Aluminum)	57°37'
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	76°40'
4. ยาง (Rubber)	73°47'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	82°27'

จากตารางที่ 4-6 พบว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวสัมผัสที่มีค่ามาก หรือมีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีโอกาสในการเจือปนน้ำในอุปกรณ์สกิมเมอร์ต่ำ ดังนั้น วัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำ (เรียงจากมากไปน้อย) ได้แก่ ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก พอลิโพรไพลีน ยาง พอลิไวนิลคลอไรด์ และอลูมิเนียม โดยสามารถคาดการณ์ได้ว่าท่ออลูมิเนียมจะเป็นวัสดุพื้นผิวที่มีโอกาสในการเจือปนของน้ำได้มากที่สุด

ตารางที่ 4-7 มุมสัมผัสระหว่างวัสดุพื้นผิวและน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

วัสดุพื้นผิว	**มุมสัมผัสของน้ำมันปาล์ม**	**มุมสัมผัสของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40**	**มุมสัมผัสของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50**
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	28°44'	17°37'	23°01'
2. อลูมิเนียม (Aluminum)	44°44'	28°37’	39°30’
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	24°08'	27°01'	27°54'
4. ยาง (Rubber)	44°42'	50°24'	51°03'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	68°05'	69°29'	67°42'

จากตารางที่ 4-7 พบว่ามุมสัมผัสของน้ำมันปาล์มบนพื้นผิววัสดุที่มีค่าต่ำสุด คือพอลิโพรไพลีน ดังนั้นมีโอกาสที่วัสดุพอลิโพรไพลีนจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดเมื่อใช้เป็นพื้นผิวบนอุปกรณ์สกิมเมอร์ โดยเมื่อพิจารณาจากมุมสัมผัสของน้ำมันปาล์ม จากการเกาะติดของของเหลวบนวัสดุพื้นผิวที่มีลักษณะใกล้เคียง 0 องศามากที่สุด รองลงมาได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ ยาง อลูมิเนียม และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ตามลำดับ

ส่วนมุมสัมผัสระหว่างน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และวัสดุพื้นผิวที่มีค่ามุมต่ำสุด คือพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากมุมสัมผัสของน้ำมันแล้วสามารถคาดการณ์ได้ว่าวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์จะมีประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมันได้สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ พอลิโพรไพลีน อลูมิเนียม ยาง และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ตามลำดับ เมื่อใช้เป็นวัสดุพื้นผิวบนอุปกรณ์สกิมเมอร์

ส่วนมุมสัมผัสระหว่างน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 และวัสดุพื้นผิวที่มีค่าต่ำสุด คือพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังนั้นวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์มีโอกาสที่จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รองลงมาได้แก่ พอลิโพรไพลีน อลูมิเนียม ยาง และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก เมื่อใช้เป็นวัสดุพื้นผิวบนอุปกรณ์สกิมเมอร์

ดังนั้น สามารถคาดการณ์ผลจากการใช้วัสดุพื้นผิวดังต่อไปนี้ เมื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งได้ ดังนี้

1) วัสดุที่มีโอกาสจะมีปริมาณน้ำเจือปนต่ำเมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง คือ วัสดุที่มีการเกาะติดของมุมสัมผัสระหว่างน้ำและวัสดุพื้นผิวที่มีค่าใกล้เคียง 90 องศา (เรียงจากปริมาณน้ำเจือปนต่ำไปปริมาณน้ำเจือปนสูง) ได้แก่ ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก พอลิโพรไพลีน ยาง พอลิไวนิลคลอไรด์ และอลูมิเนียม

2) ชนิดพื้นผิววัสดุที่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง โดยจะมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการนำกลับน้ำมันสูง คือ วัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลิน และพอลิไวนิลคลอไรด์ มาใช้เป็นพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการนำกลับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด

ทั้งนี้การคาดคะเนทั้งหมดมาจากการวัดค่ามุมสัมผัสเท่านั้น ในการทำการทดลองอาจมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันและการเจือปนของน้ำ

4.2 ผลการศึกษาสภาวะการทดลอง

ทำการศึกษาสภาวะการเดินระบบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยวัสดุพื้นผิวที่แตกต่างกัน 5 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) อลูมิเนียม (Aluminum) พอลิโพรไพลีน (PP) ยาง (Rubber) และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR) โดยควบคุมชนิดน้ำมัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์สกิมเมอร์ ความหนาชั้นน้ำต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2) และความเร็วรอบในการหมุน รวมทั้งสิ้น 540 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 3-7 ทั้งนี้จะประเมินประสิทธิภาพของสภาวะการเดินระบบจาก 4 ประเภท ดังนี้

1. ปริมาตรน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ (Volume of recovery oil) ดังสมการที่ 3-2
2. ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (% Recovery efficiency) ดังสมการที่ 3-3
3. อัตราการนำกลับน้ำมัน (Recovery rate) ดังสมการที่ 3-4
4. สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (% Water fraction) ดังสมการที่ 3-5

โดยผลการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4-4 ถึง 4-12 โดยแบ่งตามชนิดน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ซึ่งแสดงผลด้วยประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. น้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4-8 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์ม (ร้อยละ)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	13.33	13.56	12.44	24.22	24.67	23.11	47.56	48.89	43.11
	RPM 25	54.67	55.78	57.56	80	80.67	74.67	82.22	84	58
	RPM 40	90	91.78	71.56	85.22	83	80.22	92.89	77.33	71.56
	RPM 60	92.89	97.11	63.33	91.56	96	78.89	82.44	87.56	71.11
2. อลูมิเนียม	RPM 10	12.44	12.89	12.67	19.78	20.22	19.78	38.22	38	36
	RPM 25	52.22	51.56	52.44	78.44	79.33	79.33	92.67	90	72.22
	RPM 40	88.89	92.89	67.33	96.78	97.56	81.56	94.89	95.33	69.11
	RPM 60	94.89	95.11	64.67	95.56	95.33	74.67	90.67	92.67	68.22
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	15.11	14.44	14.89	24.22	24	23.56	31.33	32.67	32.22
	RPM 25	51.33	52.22	51.78	86.22	86.67	76.89	97.11	93.78	90.89
	RPM 40	91.56	93.33	58.89	87.11	90.67	79.33	95.33	91.56	86.89
	RPM 60	95.56	97.11	84	89.78	90	75.33	90	86.22	79.78
4. ยาง	RPM 10	12.44	13.11	12.22	22.67	22.89	24	37.56	36.44	36.44
	RPM 25	59.11	58.44	52.89	81.56	82.22	83.33	93.11	96.89	74.44
	RPM 40	77.56	79.33	72.89	95.56	100	92	94	98.44	80.22
	RPM 60	87.11	88.89	56.89	100	98.67	89.11	90.89	94	71.78
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	22.89	26	20.89	38	38.67	37.33	60	60.89	59.33
	RPM 25	73.33	74.67	73.78	82.44	83.56	70.22	91.78	93.56	92.44
	RPM 40	90	90.44	86.67	98.89	100	98	98.44	95.56	96.67
	RPM 60	95.78	96.44	93.33	96.89	96.89	95.56	97.11	97.33	97.33

ตารางที่ 4-9 ปริมาณน้ำมันปาล์มที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	200	203	187	363	370	347	713	733	647
	RPM 25	820	837	863	1200	1210	1120	1233	1260	870
	RPM 40	1350	1377	1073	1278	1245	1203	1393	1160	1073
	RPM 60	1393	1457	950	1373	1440	1183	1237	1313	1067
2. อลูมิเนียม	RPM 10	187	193	190	297	303	297	573	570	540
	RPM 25	783	773	787	1177	1190	1190	1390	1350	1083
	RPM 40	1333	1393	1010	1452	1463	1223	1423	1430	1037
	RPM 60	1423	1427	970	1433	1430	1120	1360	1390	1023
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	227	217	223	363	360	353	470	490	483
	RPM 25	770	783	777	1293	1300	1153	1457	1407	1363
	RPM 40	1373	1400	883	1307	1360	1190	1430	1373	1303
	RPM 60	1433	1457	1260	1347	1350	1130	1350	1293	1197
4. ยาง	RPM 10	187	197	183	340	343	360	563	547	547
	RPM 25	887	877	793	1223	1233	1250	1397	1453	1117
	RPM 40	1163	1190	1093	1433	1500	1380	1410	1477	1203
	RPM 60	1307	1333	1333	1500	1480	1337	1363	1410	1077
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	343	390	313	570	580	560	900	913	890
	RPM 25	1100	1120	1107	1237	1253	1053	1377	1403	1387
	RPM 40	1350	1357	1300	1483	1500	1470	1477	1433	1450
	RPM 60	1437	1447	1400	1453	1453	1433	1457	1460	1460

ตารางที่ 4-10 อัตราการนำกลับน้ำมันปาล์ม (มิลลิลิตรต่อวินาที)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	3.33	3.39	3.11	6.06	6.17	5.78	11.89	12.22	10.78
	RPM 25	13.67	13.94	14.39	20	20.17	18.67	20.56	21	14.5
	RPM 40	22.89	22.94	17.89	21.31	20.75	20.06	23.22	19.33	17.89
	RPM 60	23.22	23.78	22.09	23.89	24	19.72	20.61	21.89	17.78
2. อลูมิเนียม	RPM 10	3.11	3.22	3.17	4.94	5.06	4.94	9.56	9.5	9
	RPM 25	13.06	13.06	12.94	20	19.83	19.83	23.17	23.44	18.06
	RPM 40	22.22	23.33	20.75	24.19	24.39	35.29	23.83	23.83	46.13
	RPM 60	23.72	24.28	17.32	23.89	23.83	42	22.5	23.17	54.87
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	3.78	3.72	3.72	6.06	6	5.89	7.83	8.17	8.06
	RPM 25	12.83	13.06	12.94	21.56	21.67	19.22	24.28	23.44	22.72
	RPM 40	22.89	23.33	19.2	21.78	22.67	28.79	23.83	22.89	37.96
	RPM 60	23.89	24.28	27.79	22.44	22.5	36.45	22.5	21.56	40.8
4. ยาง	RPM 10	3.11	3.28	3.06	5.67	5.72	6	9.39	9.11	9.11
	RPM 25	14.78	14.61	13.22	20.39	20.56	20.83	23.28	24.22	18.61
	RPM 40	19.39	19.83	18.22	23.89	25	23	23.5	24.61	20.06
	RPM 60	21.78	22.22	14.22	25	24.67	22.28	22.72	23.5	22.75
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	5.72	6.5	5.22	9.5	9.67	9.33	15	15.22	14.83
	RPM 25	18.33	18.67	18.44	20.61	20.89	17.56	22.94	23.39	23.11
	RPM 40	22.5	22.61	21.67	24.72	25	24.5	24.61	23.89	24.17
	RPM 60	23.94	24.11	23.33	24.22	24.22	23.89	24.28	24.33	24.33

ตารางที่ 4-11 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันปาล์ม

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 40	0	0	0	3.15	6.85	0	6.45	14.78	0
	RPM 60	0	14.28	0	19.39	22.2	7.8	10.21	22.43	4.45
2. อลูมิเนียม	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	0	6.05	0
	RPM 40	0	0	0	2.79	4.34	0	7.36	15.21	3.46
	RPM 60	8.94	11.57	0	15.16	20.11	1.16	17.05	31.31	8.93
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	2.67	3.42	2.85
	RPM 40	0	0	0	0	0	0	16.7	17.11	7.77
	RPM 60	8.63	10.81	0	7.47	13.64	2.03	16.33	38.39	15.73
4. ยาง	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	2.82	3.38	0
	RPM 40	0	0	0	5.69	5.05	1.66	12.24	12.62	4.74
	RPM 60	6.22	8.05	0	15.68	22.89	7.38	22.48	31.19	13.86
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	4.17	3	2.8
	RPM 40	4.08	4.46	2.97	4.08	4.05	4.54	14.31	18.04	14.73
	RPM 60	20.87	15.38	10.21	20.87	21.16	15.01	34.73	36.97	24.61

2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

ตารางที่ 4-12 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (ร้อยละ)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	53.11	53.56	51.33	65.11	62.89	64.89	71.11	73.33	70
	RPM 25	89.67	89.11	60.89	97.22	99.56	80.44	89.33	100	66.89
	RPM 40	85.78	88.89	58.22	98.22	95.56	66.67	92	99.56	58.89
	RPM 60	73.11	68.89	58.56	97.78	96.44	68.22	92.67	94.44	50.44
2. อลูมิเนียม	RPM 10	42.44	41.78	41.56	26.22	28.67	34.67	28.67	29.78	25.56
	RPM 25	53.33	53.56	55.78	47.33	52.44	47.11	52	52.67	55.78
	RPM 40	58	55.56	57.89	58	57.33	53.78	52.22	44.22	46.22
	RPM 60	66.22	60	59.11	43.78	47.78	44	46	59.11	36.89
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	40	39.78	44	65.78	66.44	60.22	65.11	66	65.33
	RPM 25	44.67	44.22	46.89	91.33	94.89	66.89	98.89	98	78
	RPM 40	59.78	59.33	57.78	87.11	99.33	71.78	95.33	97.11	64.22
	RPM 60	72.44	58.44	66.89	71.56	80.89	51.56	89.78	98.22	67.11
4. ยาง	RPM 10	36.44	38.44	36.44	55.11	56	55.11	32.44	32.44	32.44
	RPM 25	90	88.22	58	90.44	89.56	79.33	57.33	57.33	52.67
	RPM 40	95.11	95.33	72.22	91.56	93.33	73.56	56.44	60.22	53.56
	RPM 60	86.67	95.11	71.33	94.89	97.78	70.67	62	54.67	60.22
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	31.56	27.78	24.22	66	65.56	62.67	58.67	62.22	58.22
	RPM 25	75.33	73.33	78.89	86.44	83.78	83.33	93.78	97.56	92
	RPM 40	84.22	89.78	79.56	88.44	85.78	81.56	93.56	94	94.44
	RPM 60	73.11	68.89	82.89	85.33	83.33	65.11	97.78	93.56	77.11

ตารางที่ 4-13 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	797	803	770	977	943	973	1067	1100	1050
	RPM 25	1345	1337	913	1458	1493	1207	1340	1500	1003
	RPM 40	1287	1333	873	1473	1433	1000	1380	1493	883
	RPM 60	1097	1033	878	1467	1447	1023	1390	1417	757
2. อลูมิเนียม	RPM 10	637	627	623	393	430	520	430	447	383
	RPM 25	800	803	837	710	787	707	780	790	837
	RPM 40	870	833	868	870	860	807	783	663	693
	RPM 60	993	900	887	657	717	660	690	887	553
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	600	597	660	987	997	903	977	650	673
	RPM 25	670	663	703	1370	1423	1003	1483	663	687
	RPM 40	897	890	867	1307	1490	1077	1430	790	793
	RPM 60	1087	877	1003	1073	1213	773	1347	880	873
4. ยาง	RPM 10	547	577	547	827	840	827	487	487	487
	RPM 25	1350	1323	870	1357	1343	1190	860	860	687
	RPM 40	1427	1430	1083	1373	1400	1103	847	903	793
	RPM 60	1300	1427	1070	1423	1467	1060	930	820	873
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	473	417	363	990	983	940	880	933	873
	RPM 25	1130	1100	1183	1297	1257	1250	1407	1463	1380
	RPM 40	1263	1347	1193	1327	1287	1223	1403	1410	1417
	RPM 60	1097	1033	1243	1280	1250	977	1467	1403	1157

ตารางที่ 4-14 อัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (มิลลิตรต่อวินาที)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	13.28	13.39	12.83	16.28	15.72	16.22	17.78	18.33	17.5
	RPM 25	22.42	22.28	15.22	24.31	24.89	20.11	22.33	25	16.72
	RPM 40	21.44	22.22	14.56	24.56	23.89	16.67	23	24.89	14.72
	RPM 60	18.28	17.22	22.52	24.44	24.11	17.06	23.17	23.61	12.61
2. อลูมิเนียม	RPM 10	10.61	10.44	10.39	6.56	7.17	8.67	7.17	7.17	6.39
	RPM 25	13.33	13.39	13.94	11.83	13.11	11.78	13	13.17	13.94
	RPM 40	14.5	13.89	14.47	14.5	14.33	15.92	13.06	11.06	16.12
	RPM 60	16.56	15	19	10.94	11.94	15.47	11.5	14.78	14.31
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	3.78	3.61	3.72	16.44	16.61	15.06	16.28	10.83	11.22
	RPM 25	12.83	13.06	12.94	22.83	23.72	16.72	24.72	11.06	11.44
	RPM 40	22.89	23.33	14.72	21.78	24.83	24.66	23.83	13.17	18.89
	RPM 60	23.89	24.28	21	17.89	20.22	21.89	22.44	14.67	30.82
4. ยาง	RPM 10	9.11	9.61	9.11	13.78	14	13.78	8.11	8.11	8.11
	RPM 25	22.5	22.06	14.5	22.61	22.39	19.83	14.33	14.33	13.17
	RPM 40	23.78	23.83	18.06	22.89	23.33	18.39	14.11	15.06	13.39
	RPM 60	21.67	23.78	17.83	23.72	24.44	17.67	15.5	13.67	19.22
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	7.89	6.94	9.78	18.78	20.72	16.83	23.5	15.56	14.56
	RPM 25	18.83	18.33	21.33	20.89	21.06	19.89	25	24.39	23
	RPM 40	21.06	22.44	19.61	22.72	23.22	21.83	21.5	23.5	23.61
	RPM 60	18.28	17.22	21.56	22.61	23.39	19.5	24	23.39	22.24

ตารางที่ 4-15 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	1.83	3.61	0	5.88	10.92	0	11.01	15.83	3.13
	RPM 40	12.54	13.06	1.86	11.59	19.63	7.7	11.91	24.71	9.58
	RPM 60	25.92	28.72	4.51	10.56	23.43	18.49	6.9	30.89	10.96
2. อลูมิเนียม	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	0	0	0	15.59	13.5	10.03
	RPM 40	10.91	17.55	6.56	20.52	18.83	7.6	37.24	47.4	32.29
	RPM 60	27.85	30.6	9.51	46.33	46.48	38.75	55.92	50.83	49.53
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	7.22	6.98	0	15.68	21.46	11.57
	RPM 40	0	0	0	14.43	20.59	0	22	34.78	19.19
	RPM 60	4.76	10.21	3.53	26.48	35.81	6	17.16	28.68	16.8
4. ยาง	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	22.02	22.5	0	11.66	13.98	9.88
	RPM 40	11.39	12.81	0	19.59	20.16	13.12	41.37	41.69	33.8
	RPM 60	13.71	29.23	5.28	20.92	23.94	17.18	40.13	56.08	30.01
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	5.56	8.84	0	6.29	12.13	6.66	20.04	18.34	8.39
	RPM 40	17.03	16.72	15.26	22.49	27.77	19.17	28.07	35.22	15.52
	RPM 60	41.27	48.35	19.46	34.01	36.67	37.13	30.04	36.83	23.21

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

ตารางที่ 4-16 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (ร้อยละ)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	54.89	52.89	52.67	59.56	60.44	60	78.44	78.44	55.33
	RPM 25	90.67	91.22	59.78	98	96.11	72.44	95.22	94.22	51.11
	RPM 40	83.44	89.11	68.22	97.78	94.44	76.67	85.56	93.33	55.56
	RPM 60	93.11	100	59.33	93.78	94.89	66.67	79.11	93.78	48.89
2. อลูมิเนียม	RPM 10	41.33	44.89	41.56	80.22	80.44	70.67	90.44	92.67	65.78
	RPM 25	94	98.22	58.89	91.11	92.67	56.89	84.44	94.67	60
	RPM 40	90	94.67	60	94.67	98	73.78	86.89	96	57.56
	RPM 60	85.11	98.22	60	93.56	98.89	54.89	74	90.67	56.89
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	43.11	43.33	44.89	76.89	77.78	59.56	65.11	62.44	64.44
	RPM 25	41.56	44.22	45.78	90.22	85.11	59.11	76.44	72.22	78.44
	RPM 40	53.11	52.67	52.89	92.89	87.78	58.44	72.67	74	69.78
	RPM 60	59.11	58.67	58.22	82	83.78	60.22	62.44	74	68.89
4. ยาง	RPM 10	32.22	35.78	31.11	54.89	54.22	70	34.67	34	34
	RPM 25	85.33	85.56	75.56	96.67	94.44	80.89	40.89	41.56	40.44
	RPM 40	92.22	90.22	79.56	91.78	92.67	74.22	50.67	51.78	50.44
	RPM 60	94.44	93.78	75.33	97.56	97.33	74.67	88.44	76.89	52.44
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	44.44	44.67	39.11	75.11	82.89	67.33	94	95.78	90
	RPM 25	92.22	87.33	85.33	83.56	84.22	79.56	100	98	94.22
	RPM 40	98	96.22	78.44	90.89	92.89	87.33	86	98.89	94.89
	RPM 60	96.67	98.67	86.22	90.44	93.56	78	96	98.22	84.44

ตารางที่ 4-17 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่สามารถนำกลับได้ (มิลลิลิตร)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	823	793	790	893	907	900	1177	1177	830
	RPM 25	1360	1368	897	1470	1442	1087	1428	1413	767
	RPM 40	1252	1337	1023	1467	1417	1150	1283	1400	833
	RPM 60	1397	1500	890	1407	1423	1000	1187	1407	733
2. อลูมิเนียม	RPM 10	620	673	623	1203	1207	1060	1357	1390	987
	RPM 25	1410	1473	883	1367	1390	853	1267	1420	900
	RPM 40	1350	1420	900	1420	1470	1107	1303	1440	863
	RPM 60	1277	1473	900	1403	1483	823	1110	1360	853
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	647	650	673	1153	1167	893	977	937	967
	RPM 25	623	663	687	1353	1277	887	1147	1083	1177
	RPM 40	797	790	793	1393	1317	877	1090	1110	1047
	RPM 60	887	880	873	1230	1257	903	937	1110	1033
4. ยาง	RPM 10	483	537	467	823	813	1050	520	510	510
	RPM 25	1280	1283	1133	1450	1417	1213	613	623	607
	RPM 40	1383	1353	1193	1377	1390	1113	760	777	757
	RPM 60	1417	1407	1130	1463	1460	1120	1327	1153	787
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	667	670	587	1127	1243	1010	1410	1437	1350
	RPM 25	1383	1310	1280	1253	1263	1193	1500	1470	1413
	RPM 40	1470	1443	1443	1363	1393	1310	1290	1483	1423
	RPM 60	1450	1480	1293	1357	1403	1170	1440	1473	1267

ตารางที่ 4-18 อัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (มิลลิลิตรต่อวินาที)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบในการหมุน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	13.72	13.22	12.83	14.89	15.11	15	19.61	19.61	13.83
	RPM 25	22.67	22.81	15.22	24.5	24.03	18.11	23.81	23.56	12.78
	RPM 40	20.86	22.28	14.56	24.44	23.61	19.17	21.39	23.33	13.89
	RPM 60	23.28	25	14.64	23.44	23.72	21.58	19.78	23.44	23.66
2. อลูมิเนียม	RPM 10	10.33	11.22	10.39	20.06	20.11	17.67	7.17	7.44	16.44
	RPM 25	23.5	24.56	14.72	22.78	23.17	14.22	13	13.17	15
	RPM 40	22.5	23.67	15	23.67	24.5	20.24	13.06	11.06	18.37
	RPM 60	21.28	24.56	15	23.39	24.72	18.85	11.5	14.78	19.25
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	10.78	10.83	11.22	19.22	19.44	14.89	16.28	15.61	19.25
	RPM 25	10.39	11.06	11.44	22.56	21.28	14.78	19.11	18.06	19.61
	RPM 40	13.28	13.17	13.22	23.22	21.94	19.63	18.17	18.5	30.49
	RPM 60	14.78	14.67	14.56	20.5	20.94	16.42	15.61	18.5	40.26
4. ยาง	RPM 10	8.06	8.94	7.78	13.72	13.56	8.11	8.67	8.5	8.5
	RPM 25	21.33	21.39	18.89	24.17	23.61	13.17	10.22	10.39	10.11
	RPM 40	23.06	22.56	19.89	22.94	23.17	13.39	12.67	12.94	12.61
	RPM 60	23.61	23.44	18.83	24.39	24.33	15.06	22.11	19.22	19.5
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	11.11	11.17	9.78	18.78	20.72	16.83	23.5	23.94	22.5
	RPM 25	23.06	21.83	21.33	20.89	21.06	19.89	25	24.5	23.56
	RPM 40	24.5	24.06	19.61	22.72	23.22	21.83	21.5	24.72	23.72
	RPM 60	24.17	24.67	21.56	22.61	23.39	19.5	24	24.56	27.74

ตารางที่ 4-19 สัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบในการหมุน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	1.21	4.09	0	7.5	9.87	0	2.83	14.5	0
	RPM 40	3.06	13.03	0	6.96	19.06	4.17	10.45	21.55	0
	RPM 60	9.26	24.29	1.85	19.3	31.09	8.58	17.39	23.25	0
2. อลูมิเนียม	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	6.37	5.86	7.58	13.62	15.13	0
	RPM 40	0	10.13	0	16.8	20.98	0	14.57	26.84	0
	RPM 60	12.13	25.95	0	15.14	30.99	0	20.58	34.52	17.17
3. พอลิโพรไพลีน	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	0	0	0	7.6	7.24	5.43	11.35	8.97	7.84
	RPM 40	0	0	0	6.28	11.42	0	25.69	33	12.96
	RPM 60	4.87	5.05	0	18.97	27.66	0	38.37	47.36	12.01
4. ยาง	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	12.1	14.64	0	0	10.32	0	0	0	0
	RPM 40	11.5	16.64	4.81	19	22.34	8.5	35.42	35.09	26.75
	RPM 60	14.82	14.01	9.58	22.3	31.97	23.58	22.14	36.3	4.19
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	RPM 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RPM 25	6.33	10.47	3.76	8.29	9.54	6.76	15.97	18.1	8.17
	RPM 40	11.98	15.43	13.06	17.52	20.69	8.6	28.22	25.58	18.65
	RPM 60	23.68	26.85	11.4	18.63	33.18	15.85	30.2	33.24	21.63

โดยทำการพิจารณาสภาวะการเดินระบบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันจากการเลือกชนิดวัสดุพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงของน้ำมันแต่ละชนิด จากนั้นทำการเลือกสภาวะการเดินระบบที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง และมีสัดส่วนน้ำเจือปนต่ำ ซึ่งทำการแยกการวิเคราะห์ผลจากพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดวัสดุพื้นผิว ชนิดน้ำมัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน เนื่องจากแต่ละชนิดน้ำมันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่พารามิเตอร์และสภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.2.1 ชนิดวัสดุพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ทำการศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์ ได้แก่ พื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ พื้นผิวอลูมิเนียม พื้นผิวพอลิโพรไพลีน พื้นผิวยาง และพื้นผิวยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ทำการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ของน้ำมันบนวัสดุ พบว่าน้ำมันที่มีมุมสัมผัสกับวัสดุขนาดเล็กจนทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการนำกลับน้ำมัน และพบว่าน้ำประปาที่มีมุมสัมผัสกับวัสดุพื้นผิวใกล้เคียง 90 องศา จะมีโอกาสในการที่เกิดการเจือปนของน้ำเข้าสู่อุปกรณ์ในการนำกลับน้ำมันต่ำลง

1) พื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกชนิดน้ำมันที่ทำการทดลอง โดยพบว่า มีประสิทธิภาพสูงที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 40 และ 60 รอบต่อนาทีที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 ซึ่งมีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันปาล์มสูงสุดที่ 97% น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 100% และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 100% เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่าพลังงานพื้นผิว 40 มิลลินิวตันต่อเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่มีค่าอยู่ในช่วง 32-34 มิลลินิวตันต่อเมตร จึงมีประสิทธิภาพสูงในการนำกลับน้ำมันเมื่อใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์

2) พื้นผิวอลูมิเนียม (Aluminium) เป็นพื้นผิวที่มีค่าพลังงานพื้นผิวสูง เท่ากับ 46 มิลลินิวตันต่อเมตร จึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำเจือปนในระบบสูงขึ้นถึงแม้ว่าจะได้อัตราการนำกลับน้ำมันและประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่ใกล้เคียงกับวัสดุอื่นๆ ก็ตาม แต่น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างคงที่ทุกสภาวะการเดินระบบ อาจมีสาเหตุมาจากด้านการเกาะติดน้ำบนพื้นผิววัสดุ ทำให้มีปริมาณการนำกลับน้ำมันต่ำและมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำในการนำกลับน้ำมันสูง นอกจากนี้จากคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น SAE

10W-40 ที่เหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ ซึ่งจะช่วยให้ลูกสูบรวมไปทั้งระบบเครื่องยนต์ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นอลูมิเนียม สามารถทำให้น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 สามารถเคลือบบนวัสดุอลูมิเนียมได้ในลักษณะบาง ๆ จึงทำให้การดูดติดน้ำมันดังกล่าวบนวัสดุพื้นผิวแบบอลูมิเนียมจึงไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินระบบที่ส่งผลต่อการนำกลับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุพื้นผิวที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที จากงานวิจัยของ Broje และ Keller (2007) พบว่าเป็นความเร็วรอบที่ดีที่สุดในการนำกลับน้ำมัน ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 35.6 เซนติเมตรแตกต่างกับผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ที่พบว่าที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาทีจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-20 เซนติเมตร โดยความแตกต่างของผลการทดลองอาจมีผลมาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ และสภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน

3) <u>พื้นผิวพอลิโพรไพลีน (PP)</u> มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างดี เมื่อนำมาเป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์ เนื่องจากมีค่าพลังงานพื้นผิวของวัสดุที่ใกล้เคียงกับน้ำมัน คือ 42 มิลลินิวตันต่อเมตร ถึงแม้ว่าจะมีค่าพลังงานพื้นผิวที่สูงกว่าวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์เล็กน้อย แต่พบว่าอัตราการนำกลับน้ำมันและประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกัน

4) <u>พื้นผิวยาง (Rubber)</u> เป็นวัสดุที่มีค่าพลังงานพื้นผิวต่ำที่สุดของวัสดุพื้นผิวที่ทำการศึกษาคือ 23 มิลลินิวตันต่อเมตร จึงเป็นวัสดุพื้นผิวที่มีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) สูง แต่ไม่เหมาะกับการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์ เนื่องจากมีปริมาณน้ำเจือปนสูงอาจมีสาเหตุมาจากการกวาดน้ำขึ้นมาจากพื้นผิวได้ง่ายกว่าพื้นผิวชนิดอื่น ๆ ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันอยู่ในระดับใกล้เคียงถึงสูงกว่าวัสดุพื้นผิวชนิดอื่น ๆ

5) <u>พื้นผิวยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)</u> เป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นโดยมีส่วนผสมระหว่างยางและพลาสติก มีค่าพลังงานพื้นผิว 52 มิลลินิวตันต่อเมตร ซึ่งพบว่ามีอัตราการนำกลับน้ำมันที่สูงแต่พบปริมาณน้ำเจือปนสูงตามไปด้วย ทั้งนี้อาจมีผลมาจาก พื้นผิวของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีความเป็นรูพรุน ทำให้น้ำมันเกาะติดในตัววัสดุเองและมักจะไม่ฟอร์มตัวเป็นหยดน้ำมันในขณะที่ทำการทดลอง จึงมีความไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์ และจากการทดลองสังเกตเห็นการเปลี่ยนสภาพของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก จากการซึมของของเหลวเข้าสู่วัสดุพื้นผิวขณะการนำกลับน้ำมัน ทำให้พื้นผิววัสดุอ่อนนุ่มลงจนอาจเกิดการฉีกขาดในการทำงานเป็นเวลานานได้

4.2.2 ชนิดน้ำมัน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเหลวพบว่าค่าน้ำมันที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 33-34 มิลลินิวตันต่อเมตร ซึ่งพบว่าวัสดุที่เหมาะสมกับชนิดน้ำมันแต่ละชนิดอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ โดยทำการแบ่งตามชนิดน้ำมัน ดังนี้

1) <u>น้ำมันปาล์ม</u> เป็นน้ำมันที่มีความหนืดน้อยที่สุดในการทำการทดลอง (71.4 เซนติสโตก) ซึ่งพบว่าค่าความหนืดนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างสูง เนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำ (น้อยกว่า 40 รอบต่อนาที) จะพบว่ามีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันต่ำ เพราะน้ำมันจะเกาะติดพื้นผิววัสดุด้วยแรงยึดติด (Adhesion) น้อย ซึ่งทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของน้ำมันลงสู่ผิวน้ำในตู้กระจก ถึงแม้ว่าค่าความหนาแน่นจะมีค่าค่อนข้างสูง (925 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งจะทำให้น้ำมันลอยอยู่ใกล้ผิวน้ำมากก็ตาม และพบว่าน้ำมันปาล์มจะให้ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงด้วยเมื่อใช้วัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลีนเป็นพื้นผิวของสกิมเมอร์

2) <u>น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40</u> เป็นน้ำมันที่มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันปาล์ม (189 เซนติสโตก) โดยส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่สภาวะการเดินระบบเดียวกัน จะพบว่ามีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงที่ความเร็วรอบต่ำ (น้อยกว่า 25 รอบต่อนาที) และพบว่าน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าวัสดุพื้นผิวอลูมิเนียม จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างคงที่ในทุก ๆ สภาวะการเดินระบบ อาจมีผลมาจากความชอบน้ำของวัสดุ จึงทำให้มีสัดส่วนการเจือปนของน้ำสูงและมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันค่อนข้างคงที่

3) <u>น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50</u> เป็นน้ำมันที่มีความหนืดสูงสุดที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยพบว่าน้ำมันมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงที่สุด ในทุกสภาวะการเดินระบบเมื่อเปรียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามพบสัดส่วนการเจือปนของน้ำค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีความหนืดแรงจากการหมุนของมอเตอร์สูง และทำให้น้ำมันถูกกดลงใต้ผิวน้ำเล็กน้อย ทำให้มีปริมาณน้ำซ้อนทับบนน้ำมันและเกิดการเจือปนเข้าสู่ระบบตามมาได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 8 นิ้วและที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 นอกจากนี้พบว่าน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงเมื่อใช้วัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพื้นผิวของสกิมเมอร์

ดังนั้น น้ำมันทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีค่าความหนืดที่แตกต่างกันโดยจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยสภาวะที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามหากทำการวิเคราะห์ด้วยวัสดุพื้นผิวที่นำมาใช้นั้น พบว่าพื้นผิวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง 2 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิโพรไพ

ลีน ในการใช้เป็นพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการนำกลับน้ำมัน เนื่องจากมีช่วงค่าพลังงานพื้นผิว 40-42 มิลลินิวตันต่อเมตร ที่ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าแรงตึงผิวของน้ำมันมากที่สุด

4.2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 3 ขนาด ได้แก่

1) <u>ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว (11.4 เซนติเมตร)</u>

พบว่ามีพื้นที่ผิว 913.6 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นปริมาณพื้นผิวน้อยที่สุด จึงทำให้มีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันต่ำตามไปด้วย โดยหากเพิ่มความเร็วรอบและความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันได้

2) <u>ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 6 นิ้ว (16.5 เซนติเมตร)</u>

พบว่ามีพื้นที่ผิว 1330.4 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว นอกจากนี้พบว่าสัดส่วนน้ำที่เจือปนต่ำกว่า

3) <u>ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 8 นิ้ว (21.6 เซนติเมตร)</u>

พบว่ามีพื้นที่ผิว 1731.1 ตารางเซนติเมตร มีปริมาณพื้นผิวสูงสุดและลักษณะของท่อค่อนข้างมีองศาความโค้งมนต่ำ ทำให้ของเหลวสามารถเกาะติดที่พื้นผิวได้ดีกว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์อื่น ๆ ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุด แต่มีสัดส่วนการเจือปนของน้ำสูงตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีลักษณะความโค้งมนของท่อต่ำลง ซึ่งจะมีองศาใกล้เคียง 0 องศามากขึ้น และมีลักษณะเป็นพื้นราบ ทำให้เพิ่มอัตราการนำกลับน้ำมันได้จากลักษณะพื้นผิวที่ไม่ทำให้เกิดการไหลกลับสู่ผิวของของเหลวในภาชนะได้ง่าย และจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูงขึ้น แต่อาจทำให้ปริมาณน้ำเจือปนสูงขึ้นได้ เนื่องจากลักษณะพื้นผิวดังกล่าวทำให้เกิดการดึงน้ำขึ้นมาจากแรงเหวี่ยงหมุนของสกิมเมอร์ในการนำกลับน้ำมันได้ง่ายกว่าพื้นผิวที่มีลักษณะโค้งมน

4.2.4 ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

ทำการศึกษาผลกระทบของความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง 3 ระยะ ได้แก่ 3:2 1:1 และ 2:3 มีผลการศึกษา ดังนี้

1) ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 เป็นระดับที่มีความลึกของสกิมเมอร์จากระดับผิวของเหลวลงไป 0.6 เซนติเมตร พบว่า เป็นระยะที่มีการสัมผัสกับระดับน้ำมันน้อย ทำให้มีอัตราการนำกลับน้ำมันต่ำ แต่เป็นระยะที่มีสัดส่วนการเจือปนของน้ำน้อยที่สุด

2) ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 เป็นระดับที่มีความลึกของสกิมเมอร์จากระดับผิวของเหลวลงไป 1.0 เซนติเมตร (เท่ากับระดับน้ำมัน) ทำให้มีอัตราการนำกลับน้ำมันที่สูงกว่าที่ระยะ 3:2 แต่ที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้นหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ใหญ่ขึ้นจะพบสัดส่วนการเจือปนของน้ำสูง

3) ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 เป็นระดับที่มีความลึกของสกิมเมอร์จากระดับผิวของเหลวลงไป 1.5 เซนติเมตร (มากกว่าระดับน้ำมัน) พบว่าเป็นระยะที่มีการสัมผัสน้ำและน้ำมันมากที่สุด แต่มีอัตราการนำกลับน้ำมันและประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และพบสัดส่วนการเจือปนของน้ำในปริมาณที่สูงกว่า ในกรณีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์มีขนาดใหญ่ เนื่องจากในการหมุนสกิมเมอร์ทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำประปาและวัสดุพื้นผิวมากกว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอื่น ๆ จึงมีโอกาสกวาดน้ำติดวัสดุพื้นผิวขึ้นมาได้ ซึ่งน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 พบว่าจะมีปริมาณน้ำเจือปนสูงจากการที่น้ำมันถูกกดทับด้วยน้ำจนทำให้น้ำมันจมตัวลงอยู่ใต้ผิวน้ำ

ดังนั้น ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์มีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน คือ ระยะที่น้อยกว่าหรือเท่ากับชั้นความหนาน้ำมันที่สัมผัสกับวัสดุพื้นผิว เนื่องจากหากระยะที่สัมผัสของวัสดุพื้นผิวและน้ำมันลึกมากกว่าชั้นน้ำมันจะทำให้น้ำเจือปนและมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับที่ระยะชั้นความหนาน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.5 ความเร็วรอบในการหมุน

ทำการศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบในการหมุนของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ที่ 10 25 40 และ 60 รอบต่อนาที

1) ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที เป็นระดับความเร็วรอบที่ต่ำเกินไป เนื่องจากน้ำมันเมื่อสัมผัสและเกาะที่บริเวณพื้นผิวของสกิมเมอร์แล้วเกิดการไหลลงสู่ผิวของเหลวอีกครั้ง ทำให้มีอัตราการนำกลับน้ำมันต่ำแต่ไม่พบสัดส่วนการเจือปนของน้ำทุกสภาวะการเดินระบบ

2) ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที

2.1) น้ำมันปาล์ม พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการนำกลับน้ำมันได้ 2-4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว มีประสิทธิภาพน้ำกลับน้ำมันอยู่ในช่วงค่า 50-75% และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 6 และ 8 นิ้ว มีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันสูงถึง 70-97% และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำน้อยกว่า 10%

2.2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการนำกลับน้ำมันได้ 1-2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 44-100% ยกเว้นอลูมิเนียมเมื่อใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์ จะมีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันอยู่ในช่วง 47-56% ซึ่งมีอัตราคงที่เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์

2.3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 พบว่า ที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 มีอัตราการนำกลับน้ำมันต่ำ และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำต่ำ ยกเว้นพอลิโพรไพลีนเมื่อใช้เป็นพื้นผิวของสกิมเมอร์ที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง เมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 6 นิ้ว

3) <u>ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที</u>

3.1) น้ำมันปาล์ม พบว่า มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงถึง 59-100% ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์ม เนื่องจากมีอัตราการนำกลับสูง ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำต่ำ ในทุกสภาวะการเดินระบบของทุกชนิดพื้นผิว

3.2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 พบว่า มีอัตราการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาทีและพบปริมาณน้ำที่สูงขึ้นถึง 2-3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที ซึ่งถือได้ว่าเป็นความเร็วรอบที่สูง ทำให้เกิดการเจือปนของน้ำในระหว่างการนำกลับน้ำมันเพิ่มสูง

4) <u>ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที</u>

4.1) น้ำมันปาล์ม พบว่ามีประสิทธิภาพการนำกลับเพิ่มขึ้นจากความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เพียง 5% แต่พบสัดส่วนการเจือปนของน้ำเพิ่มขึ้นมาเกือบทุกสภาวะการเดินระบบ ในปริมาณที่สูง ถือได้ว่าเป็นความเร็วรอบที่สูงเกินไปในการนำกลับน้ำมันปาล์ม

4.2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 พบว่าที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ยกเว้นวัสดุพื้นผิวแบบยาง และอลูมิเนียมที่มีอัตราการนำกลับน้ำมันต่ำ โดยพบว่ามีอัตราการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที และพบสัดส่วนการเจือปนของน้ำสูง

4.3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 พบว่ามีอัตราการนำกลับน้ำมันและประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที และมีสัดส่วนการเจือปน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของน้ำสูงขึ้น 1-2 เท่าจากความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาที ซึ่งถือได้ว่าเป็นความเร็วรอบที่สูงเกินไป

4.3 สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมกับการนำกลับน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

จากการทำการทดลองพบว่า น้ำมันแต่ละชนิดนั้นจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงด้วยสภาวะการเดินระบบที่ต่างกันจากลักษณะทางกายภาพของของเหลวและลักษณะทางพื้นผิวที่แตกต่างกันของแต่ละวัสดุพื้นผิว โดยสามารถสรุปผลการทำการทดลองที่สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมได้ ดังนี้

1) น้ำมันปาล์ม เหมาะกับการใช้วัสดุพอลิโพรไพลีนเป็นพื้นผิวสกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 91-93% อัตราการนำกลับน้ำมัน 22.89-23.33 มิลลิลิตรต่อวินาที และไม่มีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 เหมาะกับการใช้วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพื้นผิวสกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 8 นิ้ว ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที ที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 89-100% อัตราการนำกลับน้ำมัน 22.33-25.00 มิลลิลิตรต่อวินาที และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 5-16%

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 เหมาะกับการใช้วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพื้นผิวสกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที ที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 จะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 90-91% อัตราการนำกลับน้ำมัน 22.67-22.81 มิลลิลิตรต่อวินาที และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 1-4%

ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่นด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งกับงานวิจัยของ Hammoud และ Khalil (2003) พบว่าเมื่อใช้วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นวัสดุพื้นผิว ด้วยความหนาน้ำมัน 0.9 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันร้อยละ 97 ที่ความเร็วรอบ 60 ต่อนาที ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 20-30 เซนติเมตร ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันร้อยละ 92-94 ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 10-20 เซนติเมตร

Chulalongkorn University

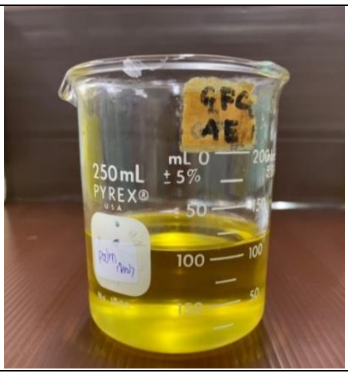
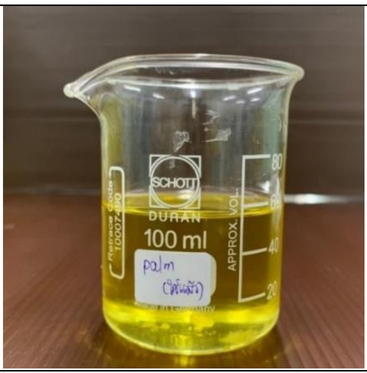
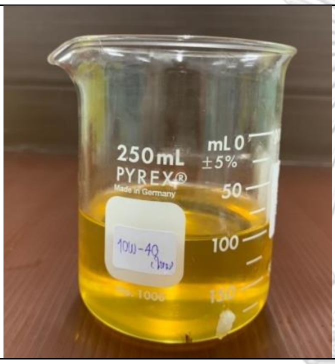
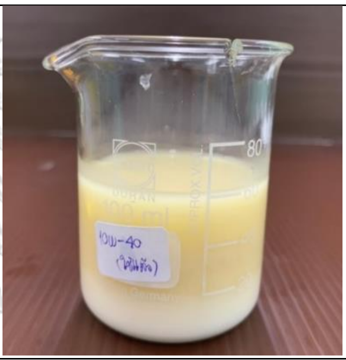
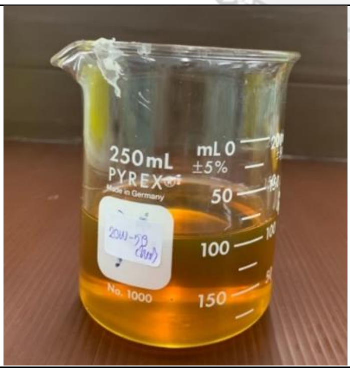
นอกจากนี้พบว่าวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์และวัสดุพอลิโพรไพลีนเมื่อใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์ ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน นอกจากนี้วัสดุพื้นผิวดังกล่าวมีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์และวัสดุพอลิโพรไพลีนมีความเหมาะสมในอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งสำหรับการนำกลับน้ำมันที่สภาวะการเดินระบบต่างกัน โดยในขั้นตอนต่อไป จะทำการวิเคราะห์ถึงสภาวะการเดินระบบของวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิโพรไพลีน เพื่อนำไปคัดเลือกสภาวะการเดินระบบที่เป็นต้นแบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์และการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหลังการทำการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าน้ำมันที่นำมาทำการทดลองนั้นได้ผ่านการนำกลับด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์มีการเปลี่ยนสภาพของน้ำมันจึงทำให้คุณลักษณะต่าง ๆ ของน้ำมันเปลี่ยนไปในลักษณะน้ำเจือปนในน้ำมัน (Water in oil emulsion) จึงทำให้การนำกลับน้ำมันอาจมีค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำการทดลองสูงกว่าความเป็นจริงจากการวัดผลการทดลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ ซึ่งมีผลมาจากข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการทำการทดลอง โดยน้ำมันที่มีการผสมด้วยน้ำเรียงจากเจือปนน้ำมากไปน้อย ดังนี้ น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองนั้นสามารถนำเป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกวัสดุพื้นผิว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานด้านการนำกลับน้ำมันจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมรวมไปถึงการพัฒนาอุปกรณ์นำกลับน้ำมันแบบลูกกลิ้งต่อไปได้

ทั้งนี้หลังทำการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) ค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity) และค่าแรงตึงผิวของของเหลว (Surface tension) เพื่อวิเคราะห์ผลค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นของน้ำมันเพื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแสดงลักษณะน้ำมันก่อนผ่านอุปกรณ์สกิมเมอร์ และน้ำมันหลังจากผ่านอุปกรณ์สกิมเมอร์ดังรูปที่ 4-2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

<table>
<tr><th colspan="2">น้ำมันปาล์ม</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ก่อนทำการทดลอง</td><td>หลังทำการทดลอง</td></tr>
<tr><th colspan="2">น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ก่อนทำการทดลอง</td><td>หลังทำการทดลอง</td></tr>
<tr><th colspan="2">น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ก่อนทำการทดลอง</td><td>หลังทำการทดลอง</td></tr>
</table>

รูปที่ 4-2 น้ำมันก่อนทำการทดลองและหลังทำการทดลอง

4.4.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

1) ค่าความหนาแน่น (Density)

ทำการวัดค่าด้วยอุปกรณ์ Pycnometer ด้วยปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นก่อนและหลังการทำการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงลักษณะที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำการทดลอง ซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง แสดงผลค่าความหนาแน่นดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ค่าความหนาแน่นของของเหลว

ชนิดของเหลว	**ค่าความหนาแน่นก่อนทำการทดลอง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, kg/m^3)**	**ค่าความหนาแน่นหลังทำการทดลอง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, kg/m^3)**
1. น้ำมันปาล์ม	925	929
2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	901	901
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	890	965

พบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันมีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับน้ำมันปาล์ม และน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ก่อนและหลังทำการทดลอง ในทางตรงกันข้ามพบว่าน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสูงจากเดิมมีค่า 0.8896 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.9646 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันได้ถูกเจือปนด้วยน้ำจนทำให้เกิดเป็นน้ำมันที่เจือปนด้วยน้ำแบบ Water-in-oil emulsion,W/O ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวที่จับตัวกันเป็นก้อนจมตัวลงสู่ภาชนะด้านล่าง หากทำการตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 วันน้ำมันจะแยกตัวเป็นสีเหลืองใส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ค่าความหนืด (Viscosity)

ทำการวัดค่าด้วยอุปกรณ์ Viscometer ด้วยปริมาตร 6.7 มิลลิลิตร เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนืดก่อนและหลังทำการทดลอง เนื่องจากค่าความหนืดที่สูงขึ้นนั้นมีผลต่อการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง และเพื่อให้ทราบปัจจัยที่ทำให้ลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไป แสดงผลค่าความหนืดดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ค่าความหนืดของของเหลว

ชนิดของเหลว	**ค่าความหนืด ก่อนทำการทดลอง (เซนติสโตก, CSt)**	**ค่าความหนืด หลังทำการทดลอง (เซนติสโตก, CSt)**
1. น้ำมันปาล์ม	71.4	70.0
2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	189.0	197.0
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	368.9	6539.0

จากตารางที่ 4-21 พบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีค่าความหนืดก่อนและหลังทำการทดลองค่อนข้างคงที่ แสดงว่าน้ำมันที่ใช้ในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงสภาพและคุณสมบัติเล็กน้อย ซึ่งจัดได้ว่าเป็นค่าความหนืดที่มีความเหมาะสมในการทดลอง เมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่ซึ่งมีค่าความหนืดก่อนและหลังทำการทดลองต่างกันค่อนข้างสูง เนื่องจากมีค่าความหนืดก่อนทำการทดลองที่สูง ซึ่งมีโอกาสที่ในขณะทำการทดลองเกิดแรงเฉือนระหว่างน้ำและน้ำมันสูงขึ้นจนทำให้น้ำมันและน้ำถูกผสมรวมกัน เกิดเป็นอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil emulsion, W/O) และทำให้มีค่าความหนืดที่สูงขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, ออนไลน์) จากเดิมซึ่งลักษณะน้ำมันหลังทำการทดลองมีลักษณะเกาะติดกันเป็นก้อนของเหลวจมลงใต้ผิวน้ำในลักษณะสีเหลืองขุ่น แต่เมื่อปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 วันของเหลวจะทำการแยกชั้นเป็นน้ำมันสีเหลืองใสด้านบน

3) ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (Surface tension)

ทำการวัดค่าแรงตึงผิวของของเหลวด้วยเครื่อง Tensiometer รุ่น Easydyne เนื่องจากหากค่าแรงตึงผิวก่อน-หลังทำการทดลองมีค่าแตกต่างกันนั้นอาจส่งผลต่อการดูดติดน้ำมันบนวัสดุพื้นผิวได้ แสดงผลค่าแรงตึงผิวดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 ค่าแรงตึงผิวของของเหลว

ชนิดของเหลว	**ค่าแรงตึงผิวของของเหลวก่อนทำการทดลอง (mN/m)**	**ค่าแรงตึงผิวของของเหลวหลังทำการทดลอง (mN/m)**
1. น้ำมันปาล์ม	34.1	33.5
2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	32.5	32.5
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	33.6	33.4

จากตารางที่ 4-22 พบว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีค่าใกล้เคียงกันก่อนและหลังการทำการทดลอง เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันไม่ส่งผลต่อค่าแรงตึงผิวของน้ำมัน

สรุปผลการวิเคราะห์น้ำมันที่ผ่านอุปกรณ์สกิมเมอร์แล้ว พบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืดของของเหลว และค่าแรงตึงผิวของของเหลว ที่มีค่าใกล้เคียงเดิมทั้งก่อน-หลังทำการทดลองซึ่งไม่มีผลต่อค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง แต่น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบก่อน-หลังทำการทดลองสูง โดยมีผลมาจากการเจือปนน้ำในน้ำมันจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อค่าความผิดพลาดในการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งค่อนข้างสูง

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันแต่ละชนิดว่ามีแนวโน้มในการเพิ่มประสิทธิภาพจากพารามิเตอร์ใดมากหรือน้อย จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ไม่มีสัดส่วนน้ำเจือปน เพื่อสามารถนำน้ำมันที่ได้จากการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งไปใช้ประโยชน์ต่อไป ดังนี้

4.5.1 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำกลับน้ำมันโดยไม่มีน้ำเจือปน

จากปริมาณน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ โดยมีช่วงค่าประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันตั้งแต่ 10-100% ซึ่งน้ำมันที่ไม่มีน้ำเจือปนนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้โดยอาจเป็นการนำน้ำมันมาปรับปรุงคุณภาพแล้วสามารถนำน้ำมันดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยแบ่งตามชนิดน้ำมันเป็น 2 ชนิดได้แก่

1) <u>น้ำมันปาล์ม</u> สามารถนำน้ำมันที่นำกลับได้นั้นมาทำอาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก สบู่ หรือการนำไปทำน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งถือเป็นการนำของเสียที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้งานให้เกิดประโยชน์

2) <u>น้ำมันหล่อลื่น</u> สามารถนำน้ำมันหล่อลื่นไปแยกตามประเภทน้ำมันได้ด้วยหอกลั่นเพื่อให้ได้นำมันตามค่าความถ่วงจำเพาะแล้วจึงนำน้ำมันดังกล่าวไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร และนำกากที่เกิดขึ้นไปทำยางมะตอยเพื่อทำถนนได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดสามารถจัดการและนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน

จะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทั้งชนิดน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารและน้ำมันปิโตรเลียม ล้วนแล้วแต่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการปรับปรุงคุณภาพหรือการเติมสารเคมี เพื่อนำเอาน้ำมันการนำกลับมาใช้ใหม่ และถือเป็นการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดจนสามารถก่อให้เกิดรายได้ได้อีกด้วย ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ ของน้ำมันต้องใช้เกณฑ์มาตรฐานในการปรับปรุงคุณภาพด้วยมาตรฐานต่างๆ เช่น กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

โดยพบสภาวะการเดินระบบที่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว แบ่งตามชนิดน้ำมัน ดังนี้

1) น้ำมันปาล์ม 104 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังภาคผนวกในตาราง ก.5.1

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 67 สภาวะเดินระบบ แสดงดังภาคผนวกในตาราง ก.5.2

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 76 สภาวะเดินระบบ แสดงดังภาคผนวกในตาราง ก.5.3

โดยทำการวิเคราะห์สภาวะการเดินระบบจากสภาวะการเดินระบบเดียวกันในทุกชนิดน้ำมันที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ไม่มีการเจือปนของน้ำ ซึ่งเลือกสภาวะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละชนิดน้ำมัน ดังนี้

4.5.1.1 สภาวะการเดินระบบที่เป็นต้นแบบของชนิดวัสดุพื้นผิว

ทำการศึกษาสภาวะการเดินระบบที่มีสามารถนำกลับน้ำมันโดยไม่มีปริมาณน้ำเจือปนในทุกชนิดน้ำมัน เพื่อนำมาเลือกสภาวะการเดินระบบของแต่วัสดุพื้นผิวของแต่ละชนิดน้ำมันที่มีสภาวะการเดินระบบเดียวกัน เพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมต่อสภาวะตั้งต้น

1) <u>วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)</u>

ที่สภาวะการเดินระบบ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 6 นิ้ว ความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาที ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 72-80% และมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 20.17-24.89 มิลลิลิตรต่อวินาที

2) <u>วัสดุอลูมิเนียม (Auminium)</u>

ที่สภาวะการเดินระบบ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 56-95% และมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 13.89-23.67 มิลลิลิตรต่อวินาที

3) <u>วัสดุพอลิโพรไพลีน (PP)</u>

ที่สภาวะการเดินระบบ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 52.67-93.33% และมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 13.28-23.33 มิลลิลิตรต่อวินาที

4) <u>วัสดุยาง (Rubber)</u>

ที่สภาวะการเดินระบบ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 6 นิ้ว ความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาที ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 79-83% และมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 13.17-20.83 มิลลิลิตรต่อวินาที

5) <u>วัสดุยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)</u>

ที่สภาวะการเดินระบบ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 8 นิ้ว ความเร็วรอบในการหมุน 10 รอบต่อนาที ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 60-96% และมีอัตราการนำกลับน้ำมัน 15.22-23.94 มิลลิลิตรต่อวินาที

พบว่าสภาวะการเดินระบบส่วนมากนั้นจะอยู่ที่ ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที เนื่องจากมีความเร็วในการหมุนของสกิมเมอร์ช้า ทำให้แรงกระทบกันระหว่างน้ำและน้ำมันต่ำ และที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาทีที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของสกิมเมอร์ 4 และ 6 นิ้ว ซึ่งพบว่าสภาวะดังกล่าวมีความเร็วรอบและระยะสัมผัสกับน้ำมีโอกาสสัมผัสได้ต่ำ เนื่องจากอุปกรณ์สกิมเมอร์หมุนในบริเวณที่มีแต่น้ำมันโดยรอบ

4.5.2 ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่สามารถนำน้ำที่เหลือจากการนำกลับน้ำมันเข้าสู่ถังดักไขมัน ซึ่งนำผลการทดลองจากการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์มาวิเคราะห์ด้วยปริมาณไขมันที่เหลือในตู้กระจก โดยปริมาณความเข้มข้นของไขมันตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้มีค่าต่ำกว่า 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2530: ออนไลน์) โดยการวิเคราะห์ของเหลวที่เหลือจากตู้กระจกนั้นเป็นการลดปริมาณไขมันที่เกิดขึ้นและการคัดแยกไขมัน ทำให้ลดภาระการบำบัดน้ำเสียของระบบ รวมไปถึงการลดปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำที่อาจเกิดขึ้นตามมาได้ ซึ่งในแต่ละสภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกันจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ และความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อนั้นจะส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำมันที่ต่างกัน จึงทำให้เกณฑ์การวิเคราะห์ของเหลวคงเหลือจากประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันมีค่าต่างกัน ซึ่งของเหลวที่สามารถผ่านถังดักไขมันได้นั้น ต้องมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันอยู่ในช่วง 96-97%

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

การนำกลับน้ำมันปาล์ม ที่ขนาดสกิมเมอร์ขนาด 4 นิ้ว ระยะความหนาน้ำมันต่อความลึกท่อ 3:2
V_{water} = ปริมาตรน้ำที่ใช้ 32.7 ลิตร
จากมาตรฐานความเข้มข้นไขมันก่อนเข้าถังดักไขมันไม่เกิน 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร
ดังนั้น 32.7 L มีปริมาณไขมัน 49050 มิลลิกรัม = 49.05 กรัม
เปลี่ยนมวล (Mass) เป็นปริมาตร (Volume)

จาก $V = \frac{M\ (Mass)}{\rho\ (Density)} = \frac{49.05\ g.}{0.925}$ = 53.00 มิลลิลิตร

ดังนั้น ปริมาณไขมันเริ่มต้นในการนำกลับน้ำมัน 1500 มิลลิลิตร นำกลับน้ำมันได้ 100%

ปริมาณไขมัน (1500-53.00) นำกลับน้ำมันได้ = $\frac{100*(1500-53.00)}{1500}$ = 96.47%

ซึ่งในสภาวะการเดินระบบอื่น ๆ สามารถใช้รายการคำนวณเดียวกัน แสดงประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำในการผ่านถังดักไขมันได้ ดังตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-23 ร้อยละการนำกลับน้ำมันแต่ละชนิดที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านเข้าถังดักไขมันได้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ (D3/D2)	ปริมาตรน้ำ V_{water} (L)	ร้อยละการนำกลับน้ำมันแต่ละชนิดที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านเข้าถังดักไขมันได้ (%)		
			น้ำมันปาล์ม	น้ำมันหล่อลื่น 10W-40	น้ำมันหล่อลื่น 20W-50
1. 4 นิ้ว	3:2	32.7	96.47	96.37	96.32
	1:1	33.3	96.40	96.31	96.26
	2:3	34.05	96.32	96.22	96.17
2. 6 นิ้ว	3:2	28.8	96.88	96.81	96.76
	1:1	29.4	96.82	96.74	96.70
	2:3	30.15	96.74	96.66	96.61
3. 8 นิ้ว	3:2	24.6	97.34	97.27	97.24
	1:1	25.2	97.27	97.20	97.17
	2:3	25.95	97.20	97.12	97.08

จากตารางที่ 4-23 พบว่าร้อยละประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ผ่านถังดักมันได้นั้นมีค่าสูงที่ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีการสัมผัสของอุปกรณ์สกิมเมอร์และน้ำมันต่ำที่สุดจึงทำให้เกิดการเจือปนของน้ำต่ำ และการใช้น้ำมันปาล์มที่ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ เนื่องจากค่าความหนาแน่นสูงจึงทำให้มีปริมาณร้อยละประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ

1) <u>น้ำมันปาล์ม</u> มี 14 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-24 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันปาล์ม

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ = 1 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	2:3	60	97.11	23.78	14.28
2. อลูมิเนียม = 1 สภาวะการเดินระบบ	1. 6 นิ้ว	2:3	40	97.56	24.39	4.34
3. พอลิโพรไพลีน = 1 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	2:3	60	97.11	24.28	10.81
4. ยาง = 3 สภาวะการเดินระบบ	1. 6 นิ้ว	1:1	60	100	25.00	15.68
	2. 6 นิ้ว	2:3	40	100	25.00	5.05
	3. 6 นิ้ว	2:3	60	98.67	24.67	22.89
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก = 8 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	2:3	60	96.44	24.11	15.38
	2. 6 นิ้ว	3:2	40	98.00	24.50	4.54
	3. 6 นิ้ว	1:1	40	98.89	24.72	4.08

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
	4. 6 นิ้ว	2:3	40	100	25.00	4.05
	5. 6 นิ้ว	1:1	60	96.89	24.22	20.87
	6. 6 นิ้ว	2:3	60	96.89	24.22	21.16
	7. 8 นิ้ว	1:1	40	98.44	24.61	14.31
	8. 8 นิ้ว	2:3	60	97.33	24.33	36.97

จากตารางที่ 4-24 พบว่าร้อยละประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่ผ่านดักไขมันของน้ำมันปาล์มจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง นอกจากนี้พบว่าส่วนใหญ่สภาวะการเดินระบบดังต่อไปนี้มักจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นไขมันก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 ที่ความเร็วรอบ 40 และ 60 รอบต่อนาที

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มี 13 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	1. 6 นิ้ว	1:1	25	97.22	24.31	5.88
= 6 สภาวะการเดินระบบ	2. 6 นิ้ว	2:3	25	99.56	24.89	10.92
	3. 6 นิ้ว	1:1	40	98.22	24.56	11.59
	4. 6 นิ้ว	1:1	60	97.78	24.44	10.56
	5. 8 นิ้ว	2:3	25	100.00	25.00	15.83
	6. 8 นิ้ว	2:3	40	99.56	24.89	24.71
2. อลูมิเนียม = 0 สภาวะการเดินระบบ						
3. พอลิโพรไพลีน	1. 6 นิ้ว	2:3	40	99.33	24.83	20.59
= 4 สภาวะการเดินระบบ	2. 8 นิ้ว	1:1	25	98.89	24.72	15.68
	3. 8 นิ้ว	2:3	25	98.00	11.06	21.46
	4. 8 นิ้ว	2:3	60	98.22	14.67	28.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
4. ยาง = 1 สภาวะการเดินระบบ	1. 6 นิ้ว	2:3	60	97.78	24.44	23.94
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก = 2 สภาวะการเดินระบบ	1. 8 นิ้ว 2. 8 นิ้ว	1:1 2:3	60 25	97.78 97.56	24.00 24.39	30.04 18.34

จากตารางที่ 4-25 พบว่าวัสดุพื้นผิวทุกชนิดสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นไขมันก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพได้ ยกเว้น วัสดุอลูมิเนียม เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความชอบน้ำสูงจึงทำให้มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันต่ำลง นอกจากนี้พบว่าสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 6 และ 8 นิ้ว ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 ที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 40 และ 60 รอบต่อนาที

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มี 14 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-26 สภาวะการเดินระบบที่สามารถนำน้ำที่เหลือผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ = 3 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	2:3	60	100.00	25.00	24.29
	2. 6 นิ้ว	1:1	25	98.00	24.50	7.50
	3. 6 นิ้ว	1:1	40	97.78	24.44	6.96
2. อลูมิเนียม = 4 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	2:3	25	98.22	24.56	0.00
	2. 4 นิ้ว	2:3	60	98.22	24.56	25.95
	3. 6 นิ้ว	2:3	40	98.00	24.50	20.98
	4. 6 นิ้ว	2:3	60	98.89	24.72	30.99
3. พอลิโพรไพลีน = 0 สภาวะการเดินระบบ						
4. ยาง = 3 สภาวะการเดินระบบ	1. 6 นิ้ว	1:1	60	97.56	24.39	22.30
	2. 6 นิ้ว	2:3	60	97.33	24.33	31.97
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	1. 4 นิ้ว	1:1	40	98.00	24.50	11.98
	2. 4 นิ้ว	1:1	60	96.67	24.17	23.68

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (ml/s)	สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)
= 4 สภาวะการเดินระบบ	3. 4 นิ้ว	2:3	40	96.22	24.06	15.43
	4. 4 นิ้ว	2:3	60	98.67	24.67	26.85

จากตารางที่ 4-26 พบว่าสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมสำหรับเกณฑ์ความเข้มข้นไขมันก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ขนาด 4 และ 6 นิ้ว ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 และ 2:3 ที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 40 และ 60 รอบต่อนาที

ดังนั้น จากตารางที่ 4-24 ถึง 4-26 พบว่า น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสภาวะการเดินระบบที่สภาวะต่างกัน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ อัตราการนำกลับน้ำมันรวมไปถึงสัดส่วนการเจือปนของน้ำ จึงไม่สามารถคัดเลือกสภาวะการเดินระบบต้นแบบได้ของความเข้มข้นของน้ำมันน้อยกว่า 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.6 สมการทำนายประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน

จากผลการทดลอง นำผลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม minitab16 ฟังก์ชั่น DOE (Design of experiment) และ Buckingham Pi Theorem ดังนี้

4.6.1 การทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมันด้วยโปรแกรม D.O.E (Design of experiment)

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 18 ฟังก์ชั่น DOE เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยของพารามิเตอร์ที่มีผลมากหรือน้อยต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมัน โดยโปรแกรมจะแสดงผลเป็นค่า P value ซึ่งจะแสดงผลถึงนัยสำคัญของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมัน โดยพบว่าหากตัวแปรใดมีค่า P value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตาม และหากมีค่า P Value เท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตามมากที่สุด และทำการเลือกช่วงค่าที่เหมาะสม เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของแต่ละพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง และอัตราการนำกลับน้ำมัน โดยมีพารามิเตอร์ ได้แก่ 1. มุมสัมผัส คือมุมสัมผัสระหว่างน้ำมันบนวัสดุพื้นผิว 2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และ 4. ความเร็วรอบในการหมุน แสดงผลนัยสำคัญ แบ่งตามชนิดน้ำมัน ดังนี้

1) น้ำมันปาล์ม

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (%Efficiency) แสดงผลดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 ค่า P Value ของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.00
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.00
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.00
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.00

จากตาราง 4-27 พบว่า พารามิเตอร์ทุกชนิด ได้แก่ มุมสัมผัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน ล้วนแต่มีผล

ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์ม ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกตัวแปรมีค่าความสำคัญ (P Value) เท่ากันหมด ดังนั้นสรุปได้ว่า มุมสัมผัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ และความเร็วรอบในการหมุน มีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์มสูง

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่ออัตราการนำกลับน้ำมัน (Recovery rate, ml/s) แสดงผลดังตารางที่ 4-28

ตารางที่ 4-28 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.061
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.000
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.334
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.000

จากตารางที่ 4-28 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีค่า P Value ต่ำกว่า 0.05 มีเพียงตัวแปรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์และความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งมีค่า P Value =0 แสดงว่ามีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันค่อนข้างสูง และในทางตรงกันข้าม ตัวแปรมุมสัมผัสและความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ไม่มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (%Efficiency) แสดงผลดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 ค่า P Value ของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.205
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.376
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.000
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.000

จากตารางที่ 4-29 พบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ได้แก่ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งจะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัว มีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง และพบว่าค่ามุมสัมผัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่ออัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (Recovery rate, ml/s) แสดงผลดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.000
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.685
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.121
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.000

จากตารางที่ 4-30 พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ได้แก่ มุมสัมผัส และความเร็วรอบรอบในการหมุน โดยทั้ง 2 พารามิเตอร์ส่งผลต่อสมการสูง ในทางตรงกันข้ามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ และความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ไม่มีความสำคัญต่ออัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

Chulalongkorn University

3) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (%Efficiency) แสดงผลดังตารางที่ 4-31

ตารางที่ 4-31 ค่า P Value ของประสิทธภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.000
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.207
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.000
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.000

จากตารางที่ 4-31 พบว่าประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีพารามิเตอร์ที่ส่งผล ได้แก่ มุมสัมผัส ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน โดยมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงทั้งหมด แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มีผลต่อสมการประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

- ค่านัยสำคัญของพารามิเตอร์ต่ออัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 (Recovery rate, ml/s) แสดงผลดังตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-32 ค่า P Value ของอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

พารามิเตอร์	P Value
1. มุมสัมผัส (Contact angle)	0.018
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ (Diameter)	0.513
3. ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	0.008
4. ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	0.000

จากตารางที่ 4-32 พบว่าอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 มีพารามิเตอร์ที่ส่งผล ได้แก่ (เรียงจากมากไปน้อย) ความเร็วรอบในการหมุน ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และมุมสัมผัส ในทางตรงกันข้าม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ไม่มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ จึงทำให้ทราบถึงความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันและอัตราการนำกลับน้ำมัน และเมื่อทำการเลือกตัวแปรที่ให้ผลทุกชนิดน้ำมันจะสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน มีผลมาจาก ความเร็วรอบในการหมุนและความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์

2) อัตราการนำกลับน้ำมัน มีผลมาจาก ความเร็วรอบในการหมุน

ทั้งนี้การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นเพียงการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันและอัตราการนำกลับน้ำมัน เบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ด้วยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายด้วยอัตราการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว การวัดผลของประสิทธิภาพจะทำการ

วัดผลด้วยค่าอัตราการนำกลับน้ำมัน เพื่อให้ได้เป็นสมการต้นแบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง เพื่อพัฒนาต่อไป

4.6.2 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งด้วยทฤษฎี Bucking ham pi theorem

จากหัวข้อ 4.6.1 Design of experiment (DOE) ทำให้ทราบถึงความสำคัญของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการนำกลับน้ำมัน ดังนั้นหัวข้อ 4.6.2 นี้จะทำการสร้างสมการเพื่อเป็นตัวแทนในการคำนวณอัตรานำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง (Recovery rate) เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วการวัดผลของประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันนั้นจะวัดด้วยอัตราการนำกลับน้ำมันเป็นหลัก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมัน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ Dia; (m)
- ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของท่อ $\frac{D3}{D2}$; (-)
- ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ ความหนาแน่น ρ; (kg/m^3)
  ความหนืด μ; (N s/m^2)
- วัสดุพื้นผิว ได้แก่ ค่าพลังงานพื้นผิว σ; (mN/m)
  ค่าความหยาบพื้นผิว ε ; (m)
- ความเร็วรอบในการหมุน RPM;

2) สร้างกลุ่มตัวแปรไร้หน่วย

$$\text{We} = \frac{Dia^3\ RPM^2 \rho}{\sigma} = \frac{m^3 \left(\frac{1}{s}\right)^2 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\left(\frac{kg}{s^2}\right)} = \frac{m^3\ kg\ s^2}{s^2\ kg\ m^3}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho\ Dia^2\ RPM}{\mu}$$

ดังนั้น $$\text{Rate} = f\left(\text{We}, \text{Re}, \frac{D3}{D2}, \frac{\varepsilon}{Dia}\right)$$

3) นำตัวแปรที่รวมกลุ่มได้ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์
ได้สมการตามชนิดน้ำมัน ดังนี้

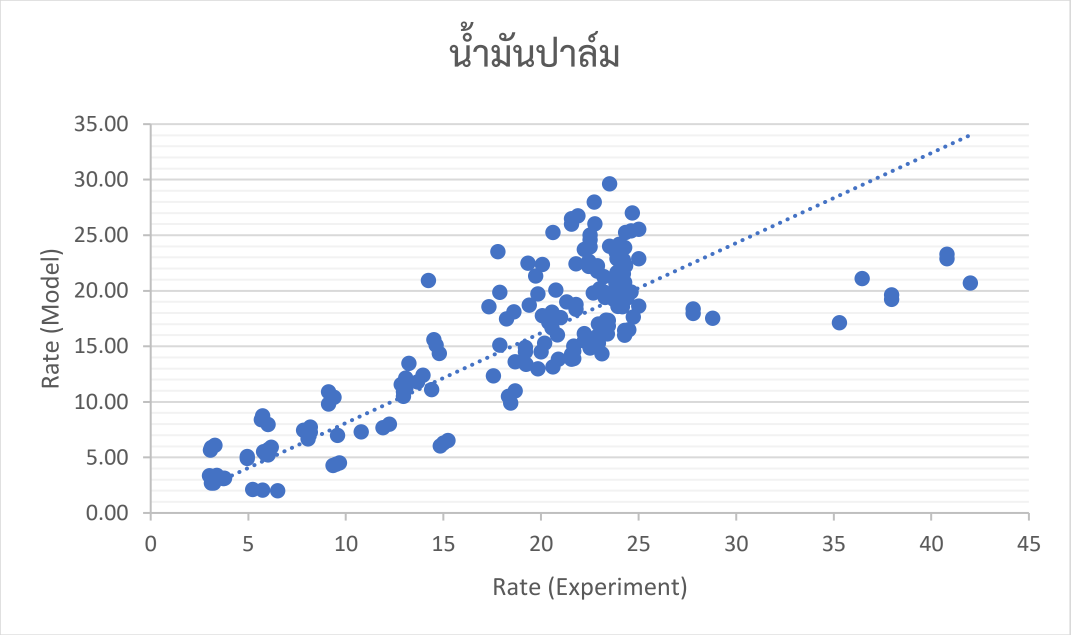
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Rate $_{\text{palm oil}}$ $= 0.01697(\frac{\varepsilon}{Dia})^{-0.12}(\frac{D3}{D2})^{0.127}(\ln We + 1)$

Rate $_{\text{SAE 10W-40}}$ $= 0.0332(\frac{\varepsilon}{Dia})^{0.045}(\frac{D3}{D2})^{-1.89-2.073(\frac{\varepsilon}{Dia})}(\ln We + 1)$

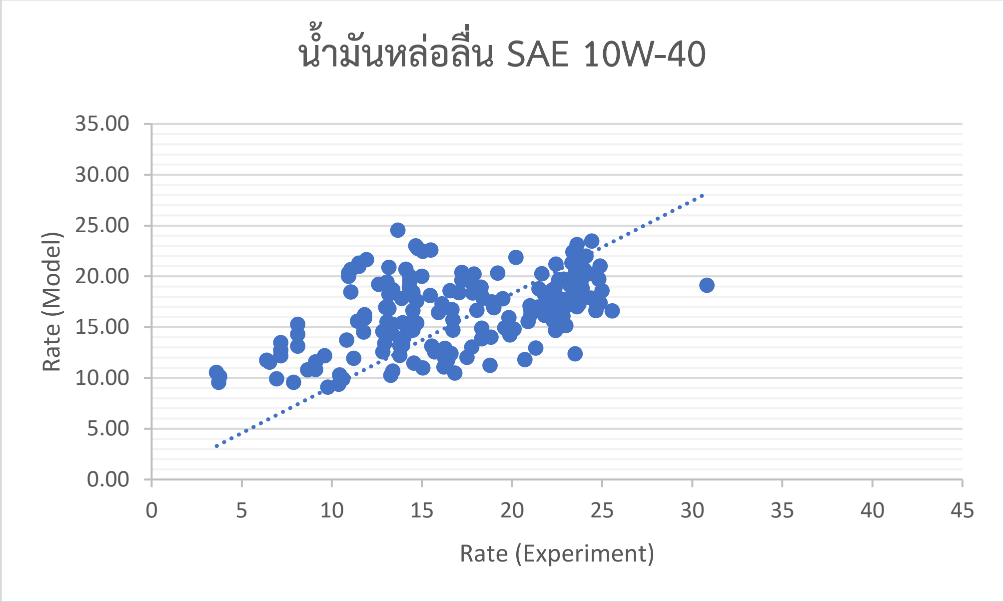
Rate $_{\text{SAE 20W-50}}$ $= 9.67 * 10^{-3}(\frac{\varepsilon}{Dia})^{-0.129}(\frac{D3}{D2})^{-0.257}(\ln We + 1)$

4) นำค่าที่ได้จากการทดลอง (Lab data) และค่าที่ได้จากสมการอัตราการนำกลับน้ำมัน (Lab model) พล็อตกราฟ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 4-12 ถึง 4-14

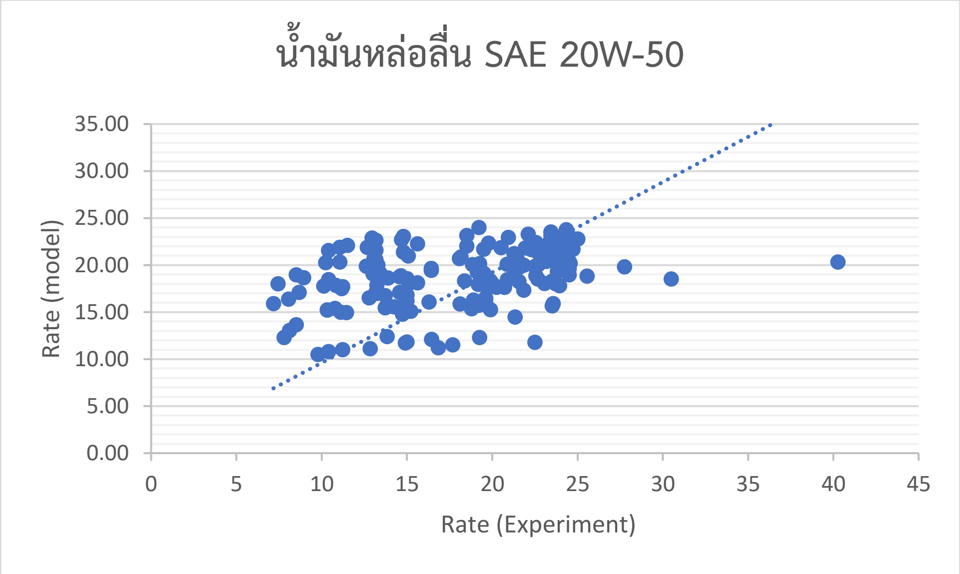


Chulalongkorn University

รูปที่ 4-3 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4-4 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40



รูปที่ 4-5 อัตราการนำกลับน้ำมันด้วยผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

จากรูปที่ 4-3 ถึง 4-5 พบความคลาดคลื่อนของอัตราการนำกลับน้ำมันแต่ละชนิดดังนี้ %AARD palm = 22.16% %AARD SAE10W-40 = 27.84% และ%AARD SAE 20W-50 = 25.06% ซึ่งร้อยละการคลาดเคลื่อนเกิดจากการใช้ตัวแปรที่มีผลจำนวนมากทำให้เกิดการวิเคราะห์ผลจากสมการมีความคลาดเคลื่อน โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการนำกลับน้ำมันได้จาก
1) การเพิ่มค่าความหยาบพื้นผิว เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสของน้ำมัน
2) การใช้ท่อที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น สามารถเพิ่มพื้นที่สัมผัสของน้ำมันและวัสดุพื้นผิวได้
3) ค่าความหนืดของน้ำมัน มีผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมันเล็กน้อย ซึ่งความหนืดที่มีค่าสูงจะมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันดีกว่าค่าความหนืดที่ต่ำ แต่จะมีสัดส่วนน้ำเจือปนสูงตามไปด้วย

ดังนั้น จากหัวข้อที่ 4.6.2 จะได้สมการทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ซึ่งจะนำสมการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ดังหัวข้อที่ 4.7

4.7 การทดสอบอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการแยกน้ำปนเปื้อนน้ำมันจริง

ทำการเลือกน้ำมันที่ใช้งานแล้ว 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันที่ใช้ในครัวเรือน ในการประกอบอาหาร คือ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว จากโรงอาหารคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และน้ำมันที่ใช้ในเครื่องยนต์ คือน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว จากศูนย์เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องรถยนต์ น้ำมันทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และผลการทำการทดลอง ดังนี้

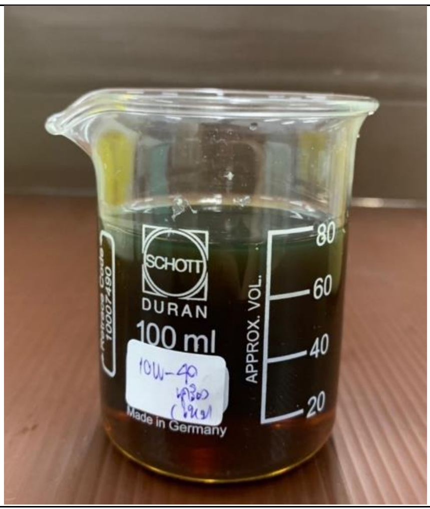
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.7.1.1 ลักษณะของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

1) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีลักษณะทางกายภาพ สีเหลืองเข้มใส และไม่มีตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4-6

2) น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีลักษณะทางกายภาพ มีสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีตะกอน และไม่จับตัวเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 4-6

	
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว	น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

รูปที่ 4-6 น้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.7.1.2 ค่าความหนาแน่นของของเหลว แสดงผลดังตารางที่ 4-33

ตารางที่ 4-33 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ชนิดของเหลว	**ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, kg/m^3)**
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว	891
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	925

จากตารางที่ 4-33 พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งาน (0.9254 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (0.9014 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นผ่านการใช้งานนั้นจะมีส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ในสัดส่วนที่สูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นชนิดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับข้อมูลจากศูนย์เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์ที่ได้รับตัวอย่างมา

4.7.1.3 ค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity) แสดงผลดังตารางที่ 4-34

ตารางที่ 4-34 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ชนิดของเหลว	ค่าความหนืด (เซนติสโตก, CSt)
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว	74.3
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	279.0

จากตารางที่ 4-34 พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มที่ยังไม่เคยผ่านการใช้งาน (71.4 เซนติสโตก) และน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วพบว่ามีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 (189 เซนติสโตก)

4.7.1.4 ค่าแรงตึงผิว (Surface Tension) แสดงผลดังตารางที่ 4-35

ตารางที่ 4-35 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ชนิดของเหลว	ค่าแรงตึงผิวของของเหลว ก่อนทำการวิจัย (มิลลินิวตันต่อเมตร, mN/m)
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้ว	33.0
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	33.3

จากตารางที่ 4-35 พบว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว และน้ำมันหล่อลื่นมีค่าแรงตึงผิวใกล้เคียงกับน้ำมันที่ยังไม่เคยผ่านการใช้งาน ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำมันมีอาจมีคุณสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับน้ำมันก่อนการใช้งาน และน่าจะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7.2 ผลการศึกษาสภาวะการทดลอง

4.7.2.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว

1) ปริมาณน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ (Volume of oil)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	997	1067		1390	1363		1387	1423	
	RPM 40	1393	1483		1387	1460		1450	1493	
	RPM 60	1340	1393	1023	1497	1437	1080	1473	1373	1033
PP	RPM 25	890	907		1327	1360		1343	1473	
	RPM 40	1470	1487		1350	1420		1493	1457	
	RPM 60	1483	1480	1237	1477	1500	1463	1487	1483	1210

2) ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (%Efficiency)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	66.44	71.11		92.67	90.89		92.44	94.89	
	RPM 40	92.89	98.89		92.44	97.33		96.67	99.56	
	RPM 60	89.33	92.89	68.22	99.78	95.78	72.00	98.22	91.56	68.89
PP	RPM 25	59.33	60.44		88.44	90.67		89.56	98.22	
	RPM 40	98.00	99.11		90.00	94.67		99.56	97.11	
	RPM 60	98.89	98.67	54.89	98.44	100.00	64.67	99.11	98.89	53.78

3) อัตราการนำกลับน้ำมัน (Recovery rate)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	16.61	17.78		23.17	22.72		23.11	23.72	
	RPM 40	23.22	24.72		23.11	24.33		24.17	24.89	
	RPM 60	22.33	23.22	23.09	24.94	23.94	39.26	34.88	39.84	31.19
PP	RPM 25	9.83	10.06		14.56	15.06		14.89	16.28	
	RPM 40	21.50	21.61		22.61	23.50		24.11	24.44	
	RPM 60	24.44	24.78	17.18	23.89	24.33	25.88	24.78	24.50	22.84

4) สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	0.00	0.00		10.32	11.08		12.23	12.68	
	RPM 40	6.27	0.00		11.48	12.05		12.47	15.63	
	RPM 60	12.04	12.91	0.00	8.14	29.43	8.98	15.06	33.33	11.61
PP	RPM 25	0.00	0.00		0.00	3.10		7.84	1.56	
	RPM 40	4.40	4.77		7.23	7.96		6.51	6.76	
	RPM 60	7.17	7.66	1.83	10.24	20.60	0.00	16.93	23.19	8.42

4.7.2.2 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

1) ปริมาณน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ (Volume of oil)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	687	610		1063	1110		1300	1337	
	RPM 40	790	857		1293	1240		1347	1423	
	RPM 60	1147	1097	1063	1173	1380	803	-	-	1107
PP	RPM 25	1237	1223		1180	1173		1337	1460	
	RPM 40	1470	1487		1287	1277		1413	1467	
	RPM 60	1420	1383	980	1200	1153	1000	1340	1473	1013

2) ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (%Efficiency)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	45.78	40.67		70.89	74.00		86.67	89.11	
	RPM 40	52.67	57.11		86.22	82.67		89.78	94.89	
	RPM 60	76.44	73.11	70.89	78.22	92.00	53.56	-	-	73.78
PP	RPM 25	82.44	81.56		78.67	78.22		89.11	97.33	
	RPM 40	98.00	99.11		85.78	85.11		94.22	97.78	
	RPM 60	94.67	92.22	43.56	80.00	76.89	44.44	89.33	98.22	44.89

3) อัตราการนำกลับน้ำมัน (Recovery rate)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	11.44	10.17		17.72	18.50		21.67	22.28	
	RPM 40	13.17	14.28		21.56	20.67		22.44	23.72	
	RPM 60	19.11	18.28	17.72	19.56	23.00	25.40	-	-	30.17
PP	RPM 25	13.94	13.44		13.11	13.00		14.89	16.06	
	RPM 40	22.94	23.39		21.00	20.61		23.06	24.67	
	RPM 60	30.20	29.59	17.68	20.33	19.83	19.99	22.72	24.56	19.82

4) สัดส่วนการเจือปนของน้ำ (%Water fraction)

วัสดุพื้นผิว	ความเร็วรอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว			ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว		
		D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2	D3/D2 1:1	D3/D2 2:3	D3/D2 3:2
PVC	RPM 25	0.00	0.00		0.00	0.00		3.71	1.72	
	RPM 40	0.00	0.00		16.16	16.02		13.31	29.53	
	RPM 60	24.56	27.38	9.63	23.78	29.35	0.00	-	-	4.33
PP	RPM 25	1.81	4.61		1.90	3.86		14.55	20.73	
	RPM 40	5.59	10.97		15.17	15.52		17.53	26.57	
	RPM 60	6.88	25.24	1.33	29.55	31.76	0.00	18.45	28.40	10.32

4.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.7.3.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว

วัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ และวัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลีน มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์ในการนำกลับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว เนื่องจากมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการนำกลับของน้ำมันปาล์มที่ไม่เคยผ่านการใช้งาน รวมไปถึงเมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และแรงตึงผิวของของน้ำมันนั้นมีค่าใกล้กับน้ำมันปาล์มที่ยังไม่เคยผ่านการใช้งาน อีกทั้งวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิโพรไพลีน มีค่าพลังงานพื้นผิวที่มีความใกล้เคียงกันจึงอาจมีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันใกล้กัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิโพรไพลีนในการนำกลับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ดังนี้

- วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ เหมาะสมในการใช้เป็นพื้นผิวของสภาวะการเดินระบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ที่ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 มีปริมาณน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ 1483 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 98.89% อัตราการนำกลับน้ำมัน 24.72 มิลลิลิตรต่อวินาที โดยไม่มีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ จากการเปรียบเทียบผลต่างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการอัตราการนำกลับน้ำมันปาล์มมีค่า 16.83 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อน (%AARD) = 31.67%
- วัสดุพอลิโพรไพลีน เหมาะสมในการใช้เป็นพื้นผิวของสภาวะการเดินระบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ที่ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 พบว่า มีปริมาณน้ำมัน 1487 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 99.11% อัตราการนำกลับน้ำมัน 21.61 มิลลิตรต่อวินาที และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 4.77% จากการเปรียบเทียบผลต่างจากสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการอัตราการนำกลับน้ำมันปาล์มมีค่า 16.59 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อน (%AARD) = 23.16%

โดยสามารถสรุปสภาวะการเดินระบบของการนำกลับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ดังตารางที่ 4-36

4.7.3.2 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

วัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ และวัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลิน มีความเหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุพื้นผิวในการนำกลับน้ำมันเครื่องด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ สัดส่วนการเจือปนของน้ำ อัตราการนำกลับน้ำมัน และประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันใน 2 วัสดุพื้นผิว นอกจากนี้น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นอาจมีส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ในปริมาณสัดส่วนที่สูงกว่าชนิดอื่น เพราะจากค่าลักษณะทางกายภาพมีความใกล้เคียงกันกับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และแรงตึงผิว ดังนั้นจึงสามารถสรุปประสิทธิภาพการเดินระบบที่เหมาะสมของวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิโพรไพลีนในการนำกลับน้ำมันน้ำมันเครื่อง ดังนี้

- วัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ เหมาะสมในการใช้เป็นพื้นผิวของสภาวะการเดินระบบของอุปกรณ์สกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 2:3 มีปริมาณน้ำมันที่สามารถนำกลับได้ 1337 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 89.11% อัตราการนำกลับน้ำมัน 22.28 มิลลิลิตรต่อวินาที โดยมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 1.72% จากการเปรียบเทียบผลต่างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการอัตราการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีค่า 18.66 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อน (%AARD) = 16.27%
- วัสดุโพลิโพรไพลีน เหมาะสมในการใช้เป็นพื้นผิวของสภาวะการเดินระบบชองอุปกรณ์สกิมเมอร์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ 4 นิ้ว ที่ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที ที่ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 พบว่า มีปริมาณน้ำมัน 1470 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน 98.00% อัตราการนำกลับน้ำมัน 22.94 มิลลิตรต่อวินาที และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 5.59% จากการเปรียบเทียบผลต่างจากสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีค่า 16.91 มิลลิลิตรต่อวินาทีและมีค่าความคลาดเคลื่อน (%AARD) = 26.30%

ทั้งนี้สามารถสรุปสภาวะการเดินระบบการนำกลับน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ดังตารางที่ 4-37

ตารางที่ 4-36 สรุปสภาวะการเดินระบบของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมันจากการทดลอง (mL/s)	อัตราการนำกลับน้ำมันจากสมการคณิตศาสตร์ (mL/s)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	4 นิ้ว	2:3	40	98.89	24.72	16.89
2. พอลิโพรไพลีน	4 นิ้ว	2:3	40	99.11	21.61	16.65

ตารางที่ 4-37 สรุปสภาวะการเดินระบบของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมันจากการทดลอง (mL/s)	อัตราการนำกลับน้ำมันจากสมการคณิตศาสตร์ (mL/s)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	8 นิ้ว	2:3	25	89.11	22.28	18.66
2. พอลิโพรไพลีน	4 นิ้ว	1:1	40	98.00	22.94	16.91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7.4 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วหลังทำการทดลอง

4.7.4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว หลังทำการทดลอง

1) ลักษณะของน้ำมัน

1.1) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ก่อนทำการทดลอง มีลักษณะทางกายภาพ สีเหลืองเข้มใส และไม่มีตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4-7

1.2) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว หลังทำการทดลอง มีลักษณะทางกายภาพ สีเหลืองอ่อนจนเกือบใส และไม่มีตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4-7

ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-7 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว

2.1) น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ก่อนทำการทดลอง มีลักษณะทางกายภาพ มีสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีตะกอน และไม่จับตัวเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 4-8

2.2) น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว หลังทำการทดลอง มีลักษณะทางกายภาพ สีขาวถึงเหลืองขุ่น ลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อตั้งทิ้งไว้ของเหลวมีการแบ่งเฟสของเหลวเป็นชั้นระหว่างน้ำและน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4-8

ก่อนทำการทดลอง	หลังทำการทดลอง

รูปที่ 4-8 น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.7.4.2 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว หลังทำการทดลอง

ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว แสดงผลดังตารางที่ 4-38

ตารางที่ 4-38 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการทดลอง

ชนิดของเหลว	**ค่าความหนาแน่น (ก่อนทำการทดลอง), kg/m^3**	**ค่าความหนาแน่น (หลังทำการทดลอง), kg/m^3**
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว	0.8908	0.9299
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	0.9245	0.9574

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4-38 พบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการทำการทดลอง มีลักษณะเหมือนกับน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันอาจถูกผสมเป็นลักษณะน้ำในน้ำมัน (Oil in water)

4.7.4.3 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว หลังทำการทดลอง

ความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบจากก่อนและหลังทำการทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 4-39

ตารางที่ 4-39 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการวิจัย

ชนิดของเหลว	ค่าความหนืด ก่อนทำการทดลอง (เซนติสโตก, CSt)	ค่าความหนืด หลังทำการทดลอง (เซนติสโตก, CSt)
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว	74.3	74.1
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	279	3227

จากตารางที่ 4-39 พบว่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้นั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบจากก่อนและหลังทำการวิจัย ดังนั้นน้ำมันปาล์มน่าจะมีลักษณะการเกาะติดของน้ำมันบนวัสดุพื้นผิวสกิมเมอร์คล้ายเดิมตลอดการทดลอง แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าความหนืดก่อนและหลังทำการวิจัย เปลี่ยนแปลงสูง อาจมีผลมาจากก่อนทำการทดลองเนื่องจากน้ำมันมีค่าความหนืดสูงจึงทำให้เกิดแรงเฉือนในระหว่างการทำการทดลองทำให้น้ำมันเกิดการรวมตัวกับน้ำกลายเป็นน้ำในน้ำมัน (Water in oil Emulsion)

4.7.1.3 ค่าแรงตึงผิว (Surface Tension)

ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว แสดงผลดังตารางที่ 4-40

ตารางที่ 4-40 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วก่อนและหลังทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิดของเหลว	ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (ก่อนทำการทดลอง), mN/m	ค่าแรงตึงผิวของของเหลว (หลังทำการทดลอง), mN/m
1. น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้ว	33.0	33.6
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	33.3	32.8

จากตารางที่ 4-40 พบว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว และน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีค่าแรงตึงผิวก่อนและหลังทำการทดลองค่อนข้างคงที่ ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำมันมีค่าคงที่ และไม่ส่งผลต่อปัจจัยการนำกลับน้ำมันที่อาจเปลี่ยนไปทางด้านค่าแรงตึงผิวของของเหลว

สรุปผลการวิเคราะห์น้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มที่ผานการใช้งานแล้ว และน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าน้ำมันปาล์ม มีค่าคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ทำให้ไม่มีผลต่อค่าความผิดพลาดต่อการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง แต่น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป จากค่าความหนาแน่น ค่าความหนืดของของเหลว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสภาพของน้ำหลังจากการนำกลับน้ำมัน โดยมีผลต่อค่าความผิดพลาดต่อผลการนำกลับน้ำมันเล็กน้อย

ดังนั้นจากหัวข้อที่ 4.7 สรุปได้ว่าการใช้สมการอัตราการนำกลับน้ำมันดังกล่าวสามารถใช้ได้กับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งทำการเลือกสมการที่เหมาะสมกับชนิดน้ำมันตามลักษณะทางกายภาพของน้ำมัน โดยพบความคลาดเคลื่อนของน้ำมันปาล์มเฉลี่ย (%AARD palm) มีค่า 22.16% ความคลาดเคลื่อนของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 เฉลี่ย (%AARD SAE 10W-40) มีค่า 27.84% และ ความคลาดเคลื่อนของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 เฉลี่ย (%AARD SAE 20W-50) มีค่า 25.06%

นอกจากนี้ พบว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ได้แก่ ชนิดวัสดุพื้นผิว ชนิดน้ำมัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ และความเร็วรอบในการหมุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุและลักษณะพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และศึกษาผลกระทบของสภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง นอกจากนี้จะทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับทำนายประสิทธิภาพของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการนำกลับน้ำมันภายใต้สภาวะการเดินระบบที่กำหนด โดยจะทำการสรุปผลการทดลองด้วยปริมาณน้ำมันที่นำกลับได้ ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน อัตราการนำกลับน้ำมัน และสัดส่วนการเจือปนของน้ำ ดังนี้

5.1.1 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน

1) ชนิดวัสดุพื้นผิว

พื้นผิวสกิมเมอร์ที่เหมาะสมกับน้ำมันแต่ละชนิดสามารถวิเคราะห์ได้จากการเปรียบเทียบค่าแรงตึงผิวของน้ำมันที่มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุพื้นผิว และทำการเปรียบเทียบมุมสัมผัสระหว่างของเหลว ได้แก่ มุมสัมผัสระหว่างน้ำมันและวัสดุพื้นผิว ให้มีมุมสัมผัสต่ำที่สุด และในทางตรงกันข้ามมุมสัมผัสระหว่างน้ำและวัสดุพื้นผิวที่มีค่าใกล้เคียง 90 องศา แสดงว่าเป็นวัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำสูง (Hydrobhobic) เพื่อลดอัตราการนำกลับน้ำมันที่จะมีปริมาณน้ำเจือปน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้น สรุปผลการวิจัยได้ว่า วัสดุพื้นผิวที่เหมาะสมกับชนิดน้ำมันแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์ด้วยค่าพลังงานพื้นผิวและมุมสัมผัสของน้ำมันและพื้นผิววัสดุ ดังนี้

- น้ำมันปาล์ม เหมาะสมกับการนำกลับน้ำมันด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลีน (PP) เป็นพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง
- น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 เหมาะสมกับการนำกลับน้ำมันด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นพื้นผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง

2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์

พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์ที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันและพื้นผิวมากกว่า จะพบสภาวะการเดินระบบที่ต่ำกว่า หากเปรียบเทียบด้วยประสิทธิภาพการนำกลับ

น้ำมันที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกิมเมอร์จะมีประสิทธิภาพนำกลับน้ำมันสูงขึ้น เมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น ในทุกชนิดน้ำมันที่ทำการทดลอง

3) ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์

ความหนาน้ำมันที่ทำการศึกษานั้นมีผลต่อการนำกลับน้ำมัน คือ หากเพิ่มระยะสัมผัสระหว่างวัสดุพื้นผิวและน้ำมันจะทำให้อัตราการนำกลับน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น แต่หากระยะที่จมของสกิมเมอร์สัมผัสน้ำมากเท่าไร ก็จะมีโอกาสทำให้เกิดการเจือปนของน้ำสูงไปด้วย

ดังนั้น ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ ที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 3:2 เมื่อความเร็วรอบต่ำกว่า 60 รอบต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 และ 6 นิ้ว และที่ระยะความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ 1:1 ที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 40 รอบต่อนาที ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์ 4 6 และ 8 นิ้ว

4) ความเร็วรอบในการหมุน

แบ่งความเร็วรอบในการหมุน 4 แบบ ได้แก่

- ความเร็วรอบในการหมน 10 รอบต่อนาที พบว่าเป็นความเร็วรอบที่ต่ำเกินไป ทำให้น้ำมันที่สามารถนำลกับได้บนใบกวาดน้ำมันนั้น ไหลกลับสู่ตู้กระจกอีกครั้ง แต่เป็นความเร็วรอบที่ไม่พบสัดส่วนการเจือปนของน้ำ
- ความเร็วรอบในการหมุน 25 รอบต่อนาที พบว่าเป็นความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงขึ้น 2-4 เท่าสำหรับน้ำมันปาล์ม และ 1-2 เท่าสำหรับน้ำมันหล่อลื่น เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบในการหมุน 10 รอบต่อนาที ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50
- ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่ให้ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันปาล์มสูงที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน และอัตราการนำกลับน้ำมันสูง นอกจากนี้พบว่าเป็นความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 และน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที แต่มีสัดส่วนเจือปนน้ำสูงขึ้น
- ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่สูงเกินไป เนื่องจากมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบในการหมุน 25 และ 40 รอบต่อนาที แต่พบสัดส่วนการเจือปนของน้ำสูงในเกือบทุกสภาวะการเดินระบบ

5.1.2 สภาวะการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง มีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน โดยทำการเลือกสภาวะการเดินระบบจากประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูง อัตราการนำกลับน้ำมันสูง และสัดส่วนการเจือปนของน้ำต่ำ โดยแบ่งตามชนิดน้ำมัน ดังนี้

- น้ำมันปาล์ม เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ได้แก่ พอลิโพรไพลีน โดยมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 97.11% มีปริมาณน้ำมัน 1456.67 มิลลิลิตร มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.28 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 10.81%
- น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ได้แก่ วัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 97.22% มีปริมาณน้ำมัน 1458.33 มิลลิลิตร มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.31 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 5.88%
- น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของสกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง ได้แก่ วัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยมีประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันสูงสุดที่ 98.00% มีปริมาณน้ำมัน 1456.67 มิลลิลิตร มีอัตราการนำกลับน้ำมัน 24.50 มิลลิลิตรต่อวินาที และมีสัดส่วนการเจือปนของน้ำ 7.50%

5.1.3 สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันของอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง พบว่า

- พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน ได้แก่ ความเร็วรอบในการหมุนและความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์
- พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่ออัตราการนำกลับน้ำมัน ได้แก่ ความเร็วรอบในการหมุน

5.1.4 การประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมในการนำกลับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

จากการนำผลการทดลองด้วยการใช้น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วได้แก่ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหล่อลื่น มาใช้ในสภาวะการเดินระบบ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการทำการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์นั้น ได้แก่

- น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่เดินระบบด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ มีค่าความคลาดเคลื่อน 31.67% และเมื่อเดินระบบด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลีน มีค่าความคลาดเคลื่อน 23.16%
- น้ำมันเครื่อง ที่เดินระบบด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิไวนิลคลอไรด์ มีค่าความคลาดเคลื่อน 16.28% และเมื่อเดินระบบด้วยวัสดุพื้นผิวพอลิโพรไพลีน มีค่าความคลาดเคลื่อน 26.30%

ทั้งนี้พบว่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่สร้างขึ้นจะสามารถปรับลดให้น้อยลงได้จากการเพิ่มจำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้สมการที่สร้างขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ได้ในการทำนายอัตราการนำกลับน้ำมันด้วยอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งภายใต้สภาวะการเดินระบบต่าง ๆ โดยมีความแม่นยำสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

จากการทำการทดลองและประเมินประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมันด้วยปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับน้ำมันชองอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้ง พบว่า

- ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านการต่อยอดในการพัฒนาอุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งที่เป็นวัสดุพื้นผิวชนิดเดียวกัน แต่มีค่าความหยาบที่ต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำกลับน้ำมันได้เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มพื้นที่ผิวของอุปกรณ์สกิมเมอร์ในการนำกลับน้ำมัน
- ทดสอบการเดินระบบที่ภาชนะบรรจุของเหลวขนาดใหญ่ เพื่อลดจุดอับของภาชนะ (Dead zone) ที่เกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากเมื่อเดินระบบที่ความเร็วรอบสูงขึ้นจะเกิดจุดอับในบริเวณมุมของตู้กระจก
- ควรทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous operation) เพื่อให้ทราบถึงอัตราการนำกลับน้ำมันที่อาจไม่คงที่ตลอดการนำกลับน้ำมัน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน
- ควรทดลองใช้น้ำมันที่มีค่าความหนืดสูงขึ้น เพื่อทดสอบถึงผลกระทบของความหนืดต่อประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน
- ควรทดลองใช้อุปกรณ์สกิมเมอร์แบบลูกกลิ้งในการใช้กับพื้นที่จริงโดย ทำการติดตั้งระบบที่หน้างาน เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ถึงการใช้งานในระดับโรงงานหรือบ้านเรือน
- เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ในการทดลองมีการเปลี่ยนสภาพ จึงทำให้น้ำมันผสมกับน้ำในลักษณะน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion) จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการนำกลับน้ำมัน ทั้งนี้ควรใช้ผลการทดลองเพื่อเป็นต้นแบบการเลือกสภาวะการเดินระบบมากกว่าการอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลทางกายภาพ

1. ค่าความหนืดของของเหลว

ตารางที่ ก.1 ค่าความหนืดของของเหลว

ชนิดน้ำมัน		ค่าความหนืด (CSt)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (RPM)	%
1. น้ำมันปาล์ม	ก่อนผ่านสกิมเมอร์	71.4	23.5	30	71.4
	หลังผ่านสกิมเมอร์	70	24.5	30	70
2. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40	ก่อนผ่านสกิมเมอร์	189	24.5	12	75.6
	หลังผ่านสกิมเมอร์	197	24.7	12	78.8
3. น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50	ก่อนผ่านสกิมเมอร์	368.9	25.1	6	73
	หลังผ่านสกิมเมอร์	6539	24.7	0.3	65.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ค่าความหยาบพื้นผิววัสดุ

Alicona Imaging GmbH
Dr.-Auner Strasse 21a
A-8074 Raaba/Graz

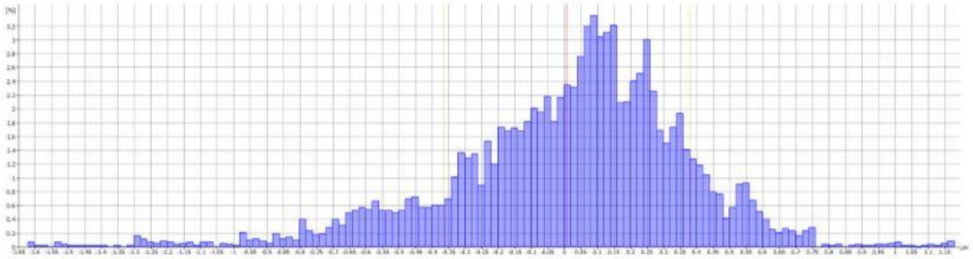
alicona

Measurement Report

ProfileRoughnessMeasurement

Parameters of Roughness Profile

pvc1-re



Histogram Histogram Settings

Number of Classes: 140
Minimum Value: -1.6218µm
Maximum Value: 1.1782µm
Class Width: 0.0200µm

Statistics

Name	Value	[u]
Elements	6554	
Classes	140	
Mean Value	0.0088	µm
Standard Deviation	0.3720	µm

Parameters

Name	Value	[u]	Description
Ra	279.9703	nm	Average roughness of profile
Rq	372.0563	nm	Root-Mean-Square roughness of profile
Rt	2.7957	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile
Rz	1.8889	µm	Mean peak to valley height of roughness profile
Rmax	2.6313	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile within a sampling length
Rp	1.1739	µm	Maximum peak height of roughness profile

Measurement performed by Alicona InfiniteFocus, 2/8/2019 10:14:27 AM 1

รูปที่ ก.2.1 ความหยาบพื้นผิวของพอลิไวนิลคลอไรด์

Alicona Imaging GmbH
Dr.-Auner Strasse 21a
A-8074 Raaba/Graz

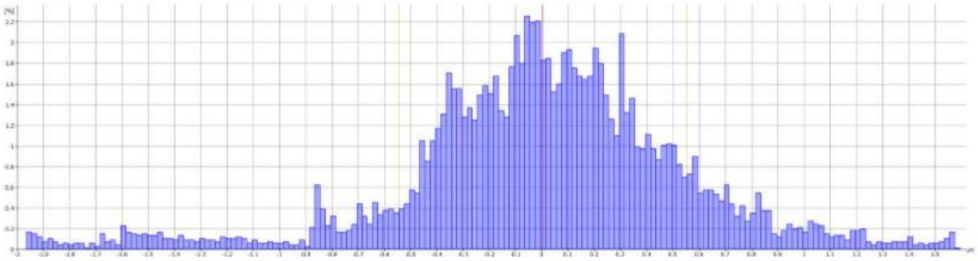
alicona

Measurement Report

ProfileRoughnessMeasurement

Parameters of Roughness Profile

Aluminium-re



Histogram Histogram Settings

Number of Classes: 178
Minimum Value: -1.9656µm
Maximum Value: 1.5944µm
Class Width: 0.0200µm

Statistics

Name	Value	[u]
Elements	6554	
Classes	178	
Mean Value	0.0044	µm
Standard Deviation	0.5486	µm

Parameters

Name	Value	[u]	Description
Ra	398.8715	nm	Average roughness of profile
Rq	548.5896	nm	Root-Mean-Square roughness of profile
Rt	3.5412	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile
Rz	2.5384	µm	Mean peak to valley height of roughness profile
Rmax	3.3707	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile within a sampling length
Rp	1.5755	µm	Maximum peak height of roughness profile

Measurement performed by Alicona InfiniteFocus, 2/8/2019 10:36:49 AM 1

รูปที่ ก.2.2 ความหยาบพื้นผิวของอลูมิเนียม

Alicona Imaging GmbH
Dr.-Auner Strasse 21a
A-8074 Raaba/Graz

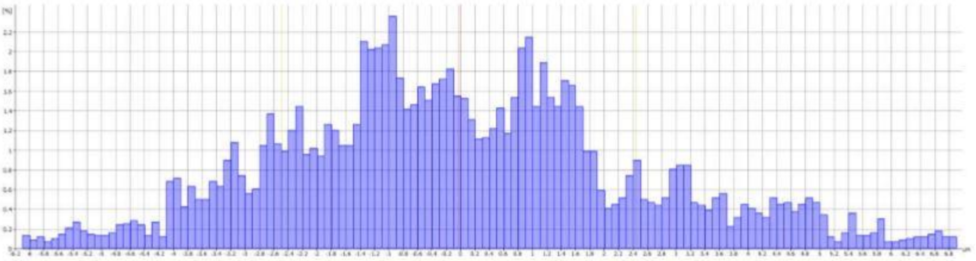
alicona

Measurement Report

ProfileRoughnessMeasurement

Parameters of Roughness Profile

pp4re



Histogram Histogram Settings

Number of Classes: 130
Minimum Value: -6.0968µm
Maximum Value: 6.9032µm
Class Width: 0.1000µm

Statistics

Name	Value	[u]
Elements	6554	
Classes	130	
Mean Value	-0.0198	µm
Standard Deviation	2.4679	µm

Parameters

Name	Value	[u]	Description
Ra	1.9663	µm	Average roughness of profile
Rq	2.4678	µm	Root-Mean-Square roughness of profile
Rt	12.9423	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile
Rz	9.7042	µm	Mean peak to valley height of roughness profile
Rmax	12.7606	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile within a sampling length
Rp	6.8455	µm	Maximum peak height of roughness profile

Measurement performed by Alicona InfiniteFocus, 2/8/2019 1:14:28 PM 1

รูปที่ ก.2.3 ความหยาบพื้นผิวของพอลิโพรไพลีน

Alicona Imaging GmbH
Dr.-Auner Strasse 21a
A-8074 Raaba/Graz

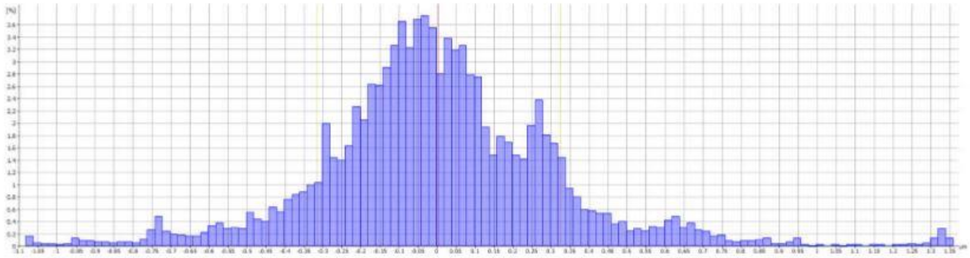
alicona

Measurement Report

ProfileRoughnessMeasurement

Parameters of Roughness Profile

rubber-1re



Histogram Histogram Settings

Number of Classes: 122
Minimum Value: -1.0822µm
Maximum Value: 1.3578µm
Class Width: 0.0200µm

Statistics

Name	Value	[u]
Elements	6554	
Classes	122	
Mean Value	0.0051	µm
Standard Deviation	0.3206	µm

Parameters

Name	Value	[u]	Description
Ra	230.7175	nm	Average roughness of profile
Rq	320.6078	nm	Root-Mean-Square roughness of profile
Rt	2.4274	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile
Rz	1.7003	µm	Mean peak to valley height of roughness profile
Rmax	2.1027	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile within a sampling length
Rp	1.3451	µm	Maximum peak height of roughness profile

Measurement performed by Alicona InfiniteFocus, 2/8/2019 2:23:04 PM　　1

รูปที่ ก.2.4 ความหยาบพื้นผิวของยาง

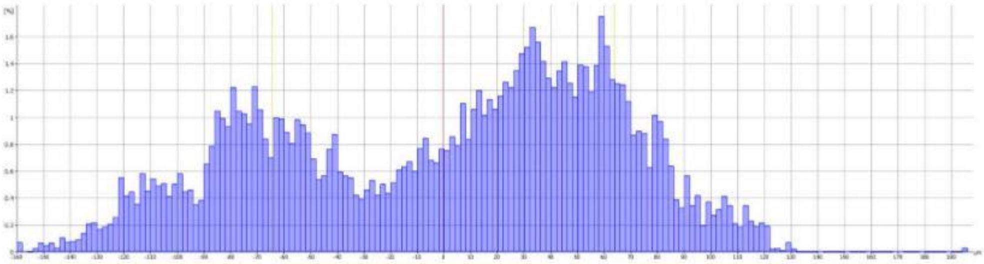
Alicona Imaging GmbH
Dr.-Auner Strasse 21a
A-8074 Raaba/Graz

Measurement Report

ProfileRoughnessMeasurement

Parameters of Roughness Profile

tpnr-4-re



Histogram Histogram Settings

Number of Classes: 178
Minimum Value: -159.9439µm
Maximum Value: 196.0561µm
Class Width: 2.0000µm

Statistics

Name	Value	[u]
Elements	26216	
Classes	178	
Mean Value	-0.2290	µm
Standard Deviation	64.1292	µm

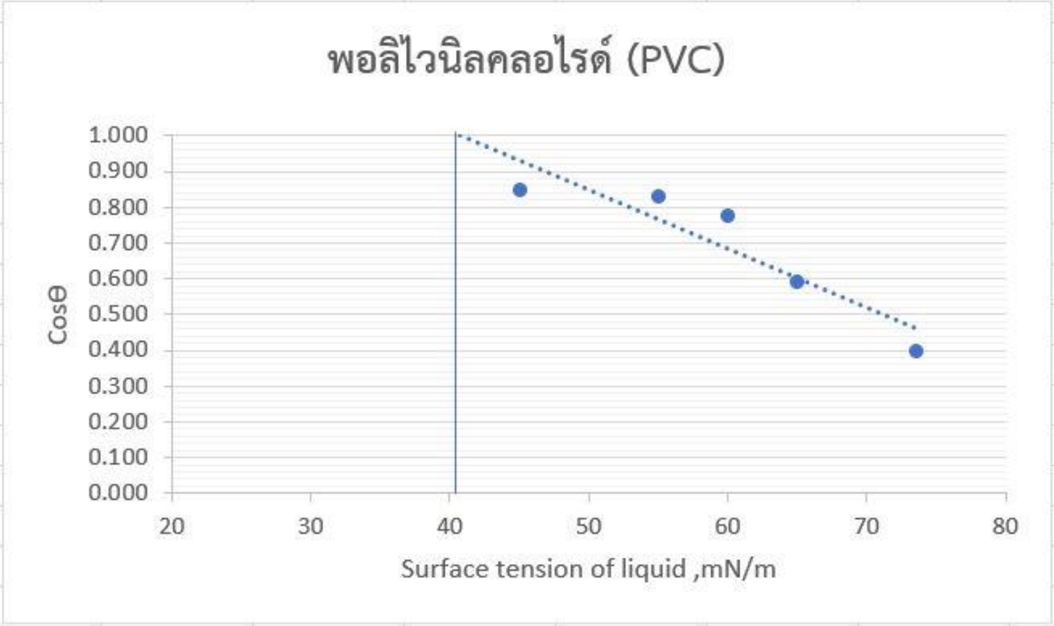
Parameters

Name	Value	[u]	Description
Ra	55.2484	µm	Average roughness of profile
Rq	64.1284	µm	Root-Mean-Square roughness of profile
Rt	354.4496	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile
Rz	277.1908	µm	Mean peak to valley height of roughness profile
Rmax	322.6105	µm	Maximum peak to valley height of roughness profile within a sampling length
Rp	194.5058	µm	Maximum peak height of roughness profile

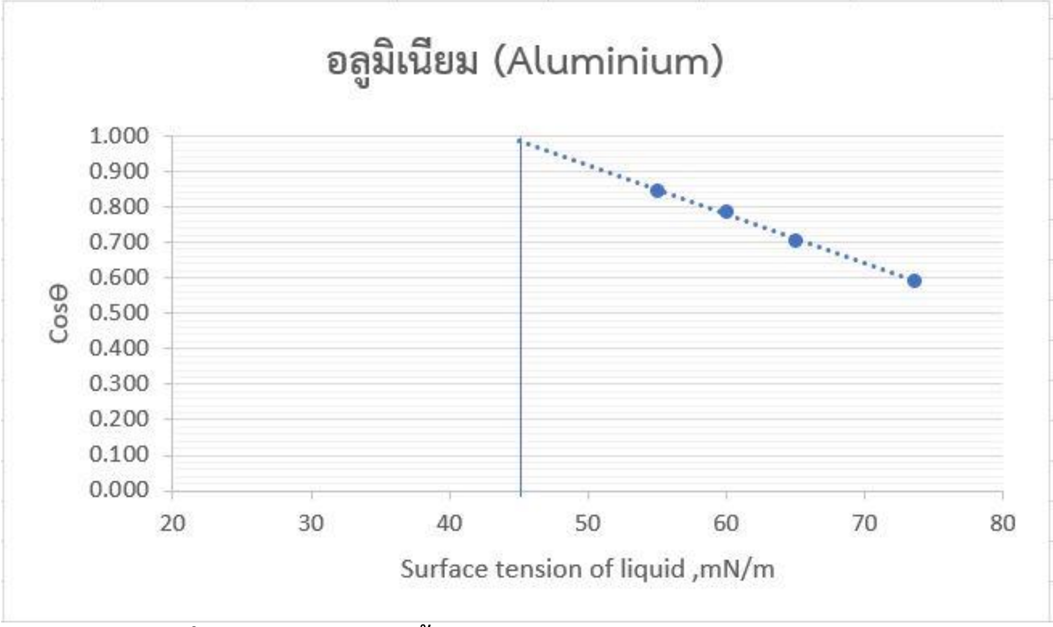
Measurement performed by Alicona InfiniteFocus, 2/8/2019 2:13:13 PM 1

รูปที่ ก.2.5 ความหยาบพื้นผิวของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

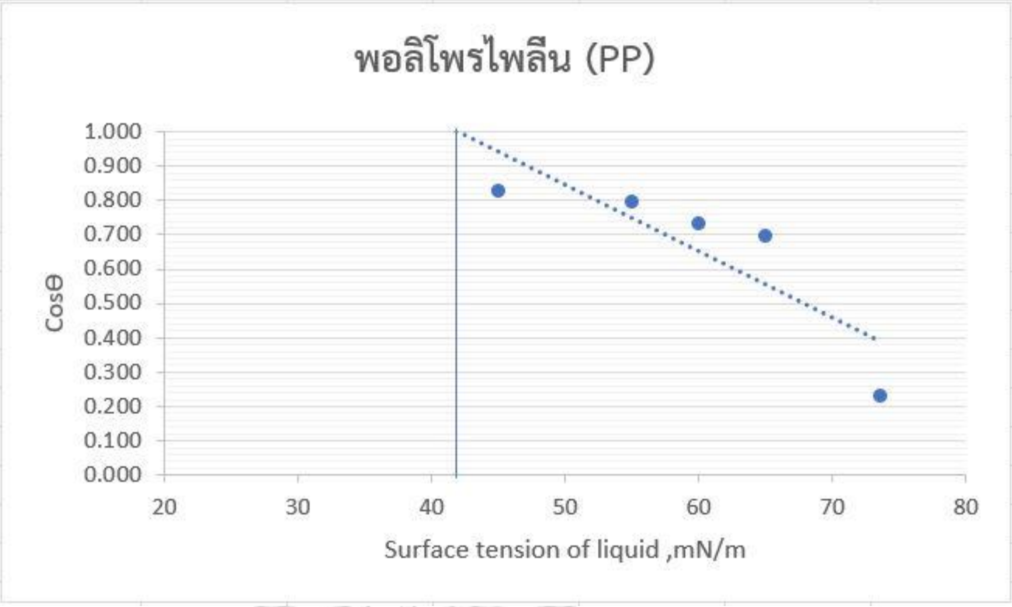
3. ค่าพลังงานพื้นผิว (Surface free energy)



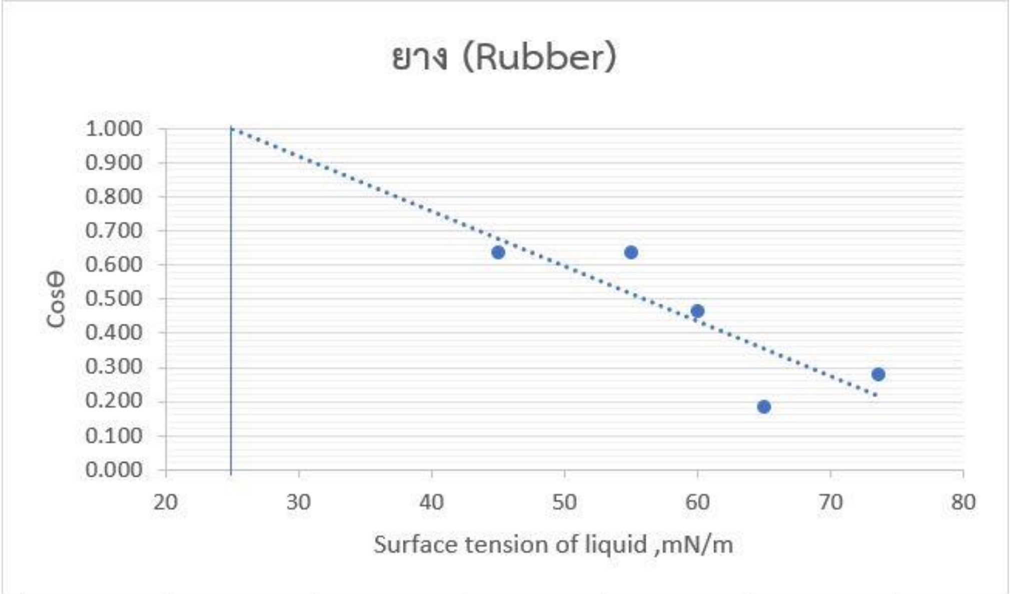
รูปที่ ก.3.1 ค่าพลังงานพื้นผิวของพอลิไวนิลคลอไรด์ 40 มิลลินิวตันต่อเมตร



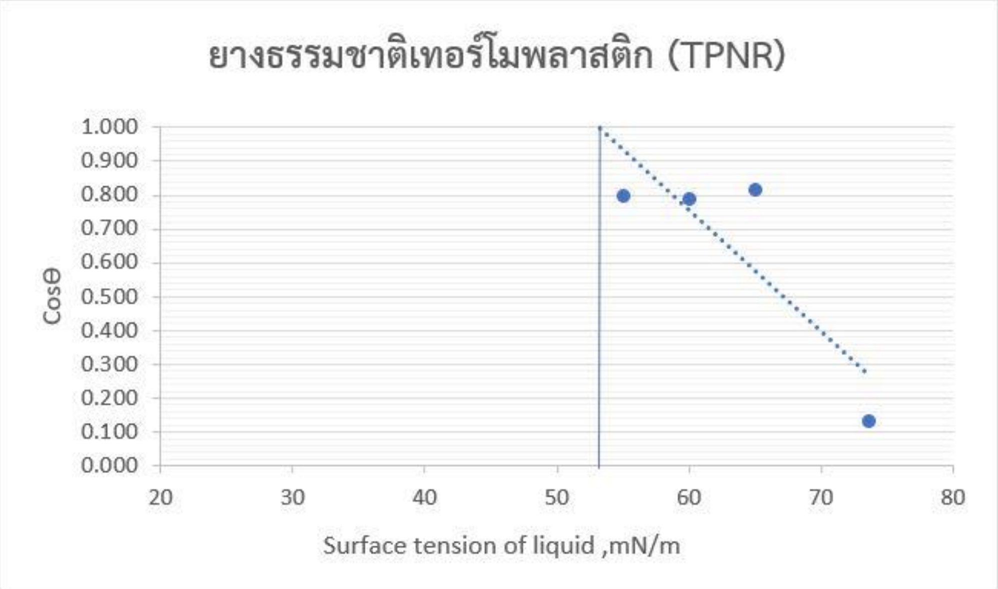
รูปที่ ก.3.2 ค่าพลังงานพื้นผิวของอลูมิเนียม 45 มิลลินิวตันต่อเมตร



รูปที่ ก.3.3 ค่าพลังงานพื้นผิวของพอลิโพรไพลีน 42 มิลลินิวตันต่อเมตร



รูปที่ ก.3.4 ค่าพลังงานพื้นผิวของยาง 23 มิลลินิวตันต่อเมตร



รูปที่ ก.3.5 ค่าพลังงานพื้นผิวของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก 53 มิลลินิวตันต่อเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ค่ามุมสัมผัสของของเหลว

ตารางที่ ก.4.1 ค่ามุมสัมผัสของน้ำบนวัสดุพื้นผิว

วัสดุพื้นผิว	มุมสัมผัส					
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	67°08'	66°11'	65°26'	66°53'	66°36'	66°26'
2. อลูมิเนียม (Aluminium)	58°43'	58°12'	55°57'	57°19'	57°54'	57°37'
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	72°42'	73°43'	79°03'	79°11'	78°42'	76°40'
4. ยาง (Rubber)	73°11'	73°28'	74°27'	73°26'	74°24'	73°47'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	82°55'	83°02'	82°08'	81°44'	82°30'	82°27'

ตารางที่ ก.4.2 ค่ามุมสัมผัสของน้ำมันปาล์มบนวัสดุพื้นผิว

วัสดุพื้นผิว	มุมสัมผัส					
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	31°54'	30°16'	23°48'	27°28'	30°17'	28°44'
2. อลูมิเนียม (Aluminium)	49°53'	50°15'	44°39'	45°11'	33°45'	44°44'
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	24°29'	21°40'	27°15'	26°07'	21°13'	24°08'
4. ยาง (Rubber)	49°23'	38°57'	46°58'	41°02'	47°11'	44°42'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	69°50'	70°14'	63°25'	69°44'	67°16'	68°05'

ตารางที่ ก.4.3 ค่ามุมสัมผัสของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 บนวัสดุพื้นผิว

วัสดุพื้นผิว	มุมสัมผัส					
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	16°13'	19°00'	17°30'	16°48'	18°38'	17°37'
2. อลูมิเนียม (Aluminium)	26°22'	26°59'	29°29'	29°56'	30°19'	28°37'
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	25°43'	27°51'	29°17'	28°48'	23°26'	27°01'
4. ยาง (Rubber)	55°21'	52°02'	49°51'	46°59'	47°48'	50°24'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	69°19'	69°19'	71°14'	69°29'	68°05'	69°29'

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.4.4 ค่ามุมสัมผัสของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50 บนวัสดุพื้นผิว

วัสดุพื้นผิว	มุมสัมผัส					
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	22°49'	22°57'	22°45'	23°08'	23°28'	23°01'
2. อลูมิเนียม (Aluminium)	37°07'	40°41'	40°01'	41°00'	38°43'	39°30'
3. พอลิโพรไพลีน (PP)	28°38'	32°34'	25°13'	25°29'	27°38'	27°54'
4. ยาง (Rubber)	54°01'	49°31'	50°42'	51°09'	49°55'	51°03'
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR)	67°24'	70°37'	69°05'	68°03'	63°21'	67°42'

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลสภาวะการเดินระบบที่สามารถผ่านถังดักไขมันได้

1) น้ำมันปาล์ม มีปริมาณ 110 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ ก.5.1

ตารางที่ ก.5.1 สภาวะการเดินระบบที่สามารถผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันปาล์ม

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	1. 4 นิ้ว	3:2	10	12.44	3.11
25 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	57.56	14.39
		3:2	40	71.56	17.89
		3:2	60	63.33	22.09
		1:1	10	13.33	3.33
		1:1	25	54.67	13.67
		1:1	40	90.00	22.89
		1:1	60	92.89	23.22
		2:3	10	13.56	3.39
		2:3	25	55.78	13.94
		2:3	40	91.78	22.94
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	23.11	5.78

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
	3. 8 นิ้ว	3:2	25	74.67	18.67
		3:2	40	80.22	20.06
		1:1	10	24.22	6.06
		1:1	25	80.00	20.00
		2:3	10	24.67	6.17
		2:3	25	80.67	20.17
		3:2	10	43.11	10.78
		3:2	25	58.00	14.50
		3:2	40	71.56	17.89
		1:1	10	47.56	11.89
		1:1	25	82.22	20.56
		2:3	10	48.89	12.22
		2:3	25	84.00	21.00
2. อลูมิเนียม 22 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	12.67	3.17
		3:2	25	52.44	12.94
		3:2	40	67.33	20.75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		3:2	60	64.67	17.32
		1:1	10	12.44	3.11
		1:1	25	52.22	13.06
		1:1	40	88.89	22.22
		2:3	10	12.89	3.22
		2:3	25	51.56	13.06
		2:3	40	92.89	23.33
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	19.78	4.94
		3:2	25	79.33	19.83
		3:2	40	81.56	35.29
		1:1	10	19.78	4.94
		1:1	25	78.44	20.00
		2:3	10	20.22	5.06
		2:3	25	79.33	19.83
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	36.00	9.00
		3:2	25	72.22	18.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	10	38.22	9.56
		1:1	25	92.67	23.17
		2:3	10	38.00	9.50
3. พอลิโพรไพลีน 22 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	14.89	3.72
		3:2	25	51.78	12.94
		3:2	40	58.89	19.20
		3:2	60	84.00	27.79
		1:1	10	15.11	3.78
		1:1	25	51.33	12.83
		1:1	40	91.56	22.89
		2:3	10	14.44	3.72
		2:3	25	52.22	13.06
		2:3	40	93.33	23.33
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	23.56	5.89
		3:2	25	76.89	19.22
		3:2	40	79.33	28.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	10	24.22	6.06
		1:1	25	86.22	21.56
		1:1	40	87.11	21.78
		2:3	10	24.00	6.00
		2:3	25	86.67	21.67
		2:3	40	90.67	22.67
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	32.22	8.06
		1:1	10	31.33	7.83
		2:3	10	32.67	8.17
4. ยาง	1. 4 นิ้ว	3:2	10	12.22	3.06
20 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	52.89	13.22
		3:2	40	72.89	18.22
		3:2	60	56.89	14.22
		1:1	10	12.44	3.11
		1:1	25	59.11	14.78
		1:1	40	77.56	19.39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		2:3	10	13.11	3.28
		2:3	25	58.44	14.61
		2:3	40	79.33	19.83
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	24.00	6.00
		3:2	25	83.33	20.83
		1:1	10	22.67	5.67
		1:1	25	81.56	20.39
		2:3	10	22.89	5.72
		2:3	25	82.22	20.56
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	36.44	9.11
		3:2	25	74.44	18.61
		1:1	10	37.56	9.39
		2:3	10	36.44	9.11
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก 15 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	20.89	5.22
		3:2	25	73.78	18.44
		1:1	10	22.89	5.72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	25	73.33	18.33
		2:3	10	26.00	6.50
		2:3	25	74.67	18.67
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	37.33	9.33
		3:2	25	70.22	17.56
		1:1	10	38.00	9.50
		1:1	25	82.44	20.61
		2:3	10	38.67	9.67
		2:3	25	83.56	20.89
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	59.33	14.83
		1:1	10	60.00	15.00
		2:3	10	60.89	15.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40 มีปริมาณ 73 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4-23

ตารางที่ ก.5.2 สภาวะการเดินระบบที่สามารถผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 10W-40

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	1. 4 นิ้ว	3:2	10	51.33	12.83
11 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	60.89	15.22
		1:1	10	53.11	13.28
		2:3	10	53.56	13.39
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	64.89	16.22
		3:2	25	80.44	20.11
		1:1	10	65.11	16.28
		2:3	10	62.89	15.72
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	70.00	17.50
		1:1	10	71.11	17.78
		2:3	10	73.33	18.33
2. อลูมิเนียม	1. 4 นิ้ว	3:2	10	41.56	10.39
15 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	55.78	13.94

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	10	42.44	10.61
		1:1	25	53.33	13.33
		2:3	10	41.78	10.44
		2:3	25	53.56	13.39
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	34.67	8.67
		3:2	25	47.11	11.78
		1:1	10	26.22	6.56
		1:1	25	47.33	11.83
		2:3	10	28.67	7.17
		2:3	25	52.44	13.11
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	25.56	6.39
		1:1	10	28.67	7.17
		2:3	10	29.78	7.17
3. พอลิโพรไพลีน	1. 4 นิ้ว	3:2	10	44.00	3.72
17 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	46.89	12.94
		3:2	40	57.78	14.72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	10	40.00	3.78
		1:1	25	44.67	12.83
		1:1	40	59.78	22.89
		2:3	10	39.78	3.61
		2:3	25	44.22	13.06
		2:3	40	59.33	23.33
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	60.22	15.06
		3:2	25	66.89	16.72
		3:2	40	71.78	24.66
		1:1	10	65.78	16.44
		2:3	10	66.44	16.61
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	65.33	11.22
		1:1	10	65.11	16.28
		2:3	10	66.00	10.83
4. ยาง	1. 4 นิ้ว	3:2	10	36.44	9.11
14 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	58.00	14.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		3:2	40	72.22	18.06
		1:1	10	36.44	9.11
		1:1	25	90.00	22.50
		2:3	10	38.44	9.61
		2:3	25	88.22	22.06
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	55.11	13.78
		3:2	25	79.33	19.83
		1:1	10	55.11	13.78
		2:3	10	56.00	14.00
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	32.44	8.11
		1:1	10	32.44	8.11
		2:3	10	32.44	8.11
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก 10 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	24.22	9.78
		3:2	25	78.89	21.33
		1:1	10	31.56	7.89
		2:3	10	27.78	6.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	62.67	16.83
		1:1	10	66.00	18.78
		2:3	10	65.56	20.72
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	58.22	14.56
		1:1	10	58.67	23.50
		2:3	10	62.22	15.56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) น้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-40 มีปริมาณ 76 สภาวะการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ ก.5.3 สภาวะการเดินระบบที่สามารถผ่านถังดักไขมันได้ของน้ำมันหล่อลื่น SAE 20W-50

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
1. พอลิไวนิลคลอไรด์	1. 4 นิ้ว	3:2	10	52.67	12.83
15 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	59.78	15.22
		3:2	40	68.22	14.56
		1:1	10	54.89	13.72
		2:3	10	52.89	13.22
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	60.00	15.00
		3:2	25	72.44	18.11
		1:1	10	59.56	14.89
		2:3	10	60.44	15.11
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	55.33	13.83
		3:2	25	51.11	12.78
		3:2	40	55.56	13.89
		3:2	60	48.89	23.66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		1:1	10	78.44	19.61
		2:3	10	78.44	19.61
2. อลูมิเนียม	1. 4 นิ้ว	3:2	10	41.56	10.39
19 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	58.89	14.72
		3:2	40	60.00	15.00
		3:2	60	60.00	15.00
		1:1	10	41.33	10.33
		1:1	25	94.00	23.50
		1:1	40	90.00	22.50
		2:3	10	44.89	11.22
		2:3	25	98.22	24.56
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	70.67	17.67
		3:2	40	73.78	20.24
		3:2	60	54.89	18.85
		1:1	10	80.22	20.06
		2:3	10	80.44	20.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	65.78	16.44
		3:2	25	60.00	15.00
		3:2	40	57.56	18.37
		1:1	10	90.44	7.17
		2:3	10	92.67	7.44
3. พอลิโพรไพลีน 18 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	44.89	11.22
		3:2	25	45.78	11.44
		3:2	40	52.89	13.22
		3:2	60	58.22	14.56
		1:1	10	43.11	10.78
		1:1	25	41.56	10.39
		1:1	40	53.11	13.28
		2:3	10	43.44	10.83
		2:3	25	44.22	11.06
		2:3	40	52.67	13.17
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	59.56	14.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
		3:2	40	58.44	19.63
		3:2	60	60.22	16.42
		1:1	10	76.89	19.22
		2:3	10	77.78	19.44
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	64.44	19.25
		1:1	10	65.11	16.28
		2:3	10	62.44	15.61
4. ยาง	1. 4 นิ้ว	3:2	10	31.11	7.78
15 สภาวะการเดินระบบ		3:2	25	75.56	18.89
		1:1	10	32.22	8.06
		2:3	10	35.78	8.94
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	70.00	8.11
		3:2	25	80.89	13.17
		1:1	10	54.89	13.72
		1:1	25	96.67	24.17
		2:3	10	54.22	13.56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุพื้นผิว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกิมเมอร์	ความหนาน้ำมันต่อระยะที่จมของสกิมเมอร์ (D3/D2)	ความเร็วรอบในการหมุน (RPM)	ประสิทธิภาพการนำกลับน้ำมัน (Efficiency%)	อัตราการนำกลับน้ำมัน (mL/s)
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	34.00	8.50
		3:2	25	40.44	10.11
		1:1	10	34.67	8.67
		1:1	25	40.89	10.22
		2:3	10	34.00	8.50
		2:3	25	41.56	10.39
5. ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก 9 สภาวะการเดินระบบ	1. 4 นิ้ว	3:2	10	39.11	9.78
		1:1	10	44.44	11.11
		2:3	10	44.67	11.17
	2. 6 นิ้ว	3:2	10	67.33	16.83
		1:1	10	75.11	18.78
		2:3	10	82.89	20.72
	3. 8 นิ้ว	3:2	10	90.00	22.50
		1:1	10	94.00	23.50
		2:3	10	95.78	23.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

.การวัดความหยาบผิว. 2548. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.pballtechno.com/agrticle/29/การวัดความหยาบผิว-surface-roughness-testing [22 กรกฎาคม 2561]

ความตึงผิว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://sites.google.com/site/thermophysic/khxnghil/surface-tension [12 มิถุนายน 2561]

ความตึงผิวและความหนืด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://indyteacher.wordpress.com/หน่วยการเรียนรู้/uni3/ความตึงผิวและความหนืด/ [15 มิถุนายน 2561]

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2530. น้ำเสียชุมชมและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกทม.และปริมณฑล, สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน). น้ำมันพืช. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.vcharkarn.com/varticle/40662 [6 มิถุนายน 2561]

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ความหนาแน่นของของเหลว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2153/liquid-density-ความหนาแน่นของของเหลว [8 มิถุนายน 2561]

พิสุทธิ์ เพียรมนกุล. 2556. การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและอนุภาคขนาดเล็กในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. ปิโตรเลียม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.lesa.biz/earth/lithosphere/fuel/oil [8 มิถุนายน 2561]

ศรีอัมพร หลวงแก้ว. ปิโตรเลียม. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://sites.google.com/site/pitorleympttp/pitorleiym-khux-xari [10 มิถุนายน 2561]

ศรีธน วรศักดิ์โยธิน. 2546. ฟิสิกส์ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สกายบุ๊กส์

อำพล รัตนสุวงศ์ชัย. 2530. การเก็บน้ำมันคืนโดยใช้เครื่องกวาดน้ำมันรูปทรงกระบอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Broje, V., & Keller, A. A. (2006). Improved mechanical oil spill recovery using an optimized geometry for the skimmer surface. *Environmental science & technology, 40*(24), 7914-7918

Broje, V., & Keller, A. A. (2007a). Effect of operational parameters on the recovery rate of an oleophilic drum skimmer. *Journal of hazardous materials, 148*(1-2), 136-143.

Broje, V., & Keller, A. A. (2007b). Interfacial interactions between hydrocarbon liquids and solid surfaces used in mechanical oil spill recovery. *Journal of colloid and interface science, 305*(2), 286-292.

Dawood, M. A., & Algawi, R. J. (2017). *Study of operating conditions for oil skimmer apparatus from water.* Paper presented at the Environmental Impacts of the Oil and Gas Industries: Kurdistan Region of Iraq as a Case Study (EIOGI), 2017 International Conference on.

El-Zahaby, A. M., Kabeel, A., Bakry, A. I., & Khaira, A. M. (2011). Effect of disk offset angle on the hydrodynamic performance of rotating disk skimmers during oil spill recovery. *Environmental Engineering Science, 28*(2), 113-119.

Farooq, U., Taban, I. C., & Daling, P. S. (2018). Study of the oil interaction towards oil spill recovery skimmer material: Effect of the oil weathering and emulsification properties. *Marine Pollution Bulletin, 135*, 119-128. doi :http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.017

Hammoud, A., & Khalil, M. (2003). Performance of a rotating drum skimmer in oil spill recovery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 217*(1), 49-57.

Hoang, A., & Chau, M. (2018). A mini review of using oleophilic skimmers for oil spill recovery. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments, 2*(2), 92-96.

Najar, A., & Turner, J. (2000). Enhanced oil recovery using the rotating-disc skimmer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 214*(4), 271-282.

Nam, C., Li, H., Zhang, G., Lutz, L. R., Nazari, B., Colby, R. H., & Chung, T. M. (2018). Practical Oil Spill Recovery by a Combination of Polyolefin Absorbent and Mechanical Skimmer. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 6*(9), 12036-12045.

Ren, G., Song, Y., Li, X., Zhou, Y., Zhang, Z., & Zhu, X. (2018). A superhydrophobic copper mesh as an advanced platform for oil-water separation. *Applied Surface Science, 428*, 520-525.

Topham, D. (2002). An analysis of the performance of weir type oil skimmers. *Spill Science & Technology Bulletin, 7*(5-6), 289-297.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Widiaksana, N., Yudiana, A., & Nugroho, Y. (2018). *Analysis of effectiveness of oil spill recovery using disc-type oil skimmer at laboratory scale.* Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	รัฐกานต์ จำรูญรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	13 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	3/1 ถนนเวสาลี ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University