การศึกษาการนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่

นางสาวณิชาบูล บุญวรโชติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY OF RECYCLING OF USED METALWORKING FLUIDS

Miss Nichabool Boonvorachote

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering
Department of Mining and Petroleum Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่
โดย	นางสาวณิชาบูล บุญวรโชติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณิชาบูล บุญวรโชติ : การศึกษาการนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ (THE STUDY OF RECYCLING OF USED METALWORKING FLUIDS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ , อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 149 หน้า.

น้ำมันหล่อเย็นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการตัดกลึงโลหะ ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราการผลิต ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องจักร และรักษาชิ้นงานตัดกลึงให้มีคุณภาพ โดยในกระบวนการทำงานจะมีสิ่งปนเปื้อนหลักๆ 3 ประเภทคือ น้ำมันสกปรก อนุภาคของแข็ง และจุลินทรีย์ ซึ่งจะสะสมและเพิ่มปริมาณในน้ำมันหล่อเย็นมากขึ้นตลอดเวลา สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะลดประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น ทำให้น้ำมันหล่อเย็นขุ่น มีกลิ่นเหม็น และเกิดความไม่เสถียร จนกระทั่งต้องกำจัดทิ้งในที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งจะยืดอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น และลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันใหม่ โดยดำเนินการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในของการปรับปรุงคุณภาพ ศึกษาวิเคราะห์ขนาดและชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น โดยการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาค (Particle size analysis) และวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) ศึกษาวิธีการการเร่งการรวมตัว (Coalescing) ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) การหมุนเหวี่ยง และการกรอง เพื่อใช้เป็นวิธีแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้ว โดยผลจากการศึกษาวิธีการดังกล่าว พบว่า กระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลสขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน เป็นกระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่ที่ดีที่สุดโดยสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกได้ 74% ลดปริมาณของแข็งแขวนลอย 82% ลดปริมาณแบคทีเรียได้ 3 logs น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการนี้คงเหลือน้ำมันสกปรก 0.7% ของแข็งแขวนลอย 447 PPM by volume และแบคทีเรีย 10^3 CFU/ml ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการตัดเฉือนโลหะได้

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4670637021 : MAJOR MINING ENGINEER
KEY WORD: METALWORKING FLUIDS / COOLANTS / RECYCLING / CENTRIFUGE / FILTER

NICHABOOL BOONVORACHOTE : THE STUDY OF RECYCLING OF USED METALWORKING FLUIDS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.DR.QUANCHAI LEEPOWPANTH, THESIS CO-ADVISOR : ASST.PROF.DR.CHAVALIT RATANATUMSKUL, 149 pp.

Metalworking fluids (MWFs) play a significant role in cutting operations and impact shop productivity, tool life and quality of work. Main contaminants which are tramp oil, particulates and micro-organism will be collected in the used MWFs over time and will degrade the quality of MWFs. Used MWFs usually produce turbidity, bad smell and unstable fluids until eventually requiring disposal.

In this research, improvement of the quality of the used MWFs has been emphasized. The study aims to prolong fluid life and thus reducing costs of new fluids replacement. The qualities of fresh and used MWFs were studied to examine the possibility for improvement. Particle size analysis, X-ray Diffraction (XRD) were used to characterized particle size and type of compounds found in the suspended solids. Coalescing, Hydrocyclone Separation, Centrifuging and Micro-Filtration were among major processes for the removal of contaminants from used MWFs. According to the results, using centrifuging followed by 5-micron cellulose filter and 0.3 micron ceramic filter was proven to be effective. The process can reduce about 74 percents of tramp oil, 82 percents of suspended solid and 3 logs of bacteria. The treated MWFs remains 0.7% of tramp oil, 447 PPM by volume and 10^3 CFU/ml which can be re-used in the cutting operations.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Mining and Petroleum Engineering Student's signature.....
Field of study ..Georesources Engineering.....Advisor's signature.....
Academic year .....2006 .....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีของรองศาสตราจารย์ ดร. ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย กรรมการ อาจารย์อุทิศ ทองกลึง และอาจารย์พงศธร รุ่งเจริญ ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่านที่อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณ โรงงานฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานฮอนด้า แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด โรงงานเอเชียพริซิชั่น จำกัด และโรงงานเซ็นทรัลไลน์ พาวเวอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าศึกษาข้อมูลและเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานในโรงงาน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ชาย และญาติ ซึ่งสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้ ซึ่งมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ญ
สารบัญรูป		ฏ
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	ปริทรรศน์วรรณกรรม	4
	2.1 กระบวนการตัดเฉือนโลหะ	4
	2.2 น้ำมันหล่อเย็น	6
	2.3 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น	7
	2.3.1 น้ำมันแร่	7
	2.3.2 สารเติมแต่ง	8
	2.4 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น	11
	2.4.1 น้ำมันล้วน	11
	2.4.2 โซลูเบิลออยล์	11
	2.4.3 น้ำมันสังเคราะห์	11
	2.4.5 น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	11
	2.5 วิธีการใช้งาน	13
	2.5.1 การเตรียมน้ำมันหล่อเย็น	13
	2.5.2 ลักษณะการทำงาน	14
	2.6 สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น	17
	2.6.1 น้ำมันสกปรก	17
	2.6.2 ของแข็งปนเปื้อน	18
	2.6.3 จุลินทรีย์	19
	2.7 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่	22
	2.7.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
	2.7.2 อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น……..	29
	2.7.3 กระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่.....	37
3	การศึกษาข้อมูลการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม.....	41
	3.1 แผนการศึกษา.....	41
	3.2 ขั้นตอนการศึกษาโดยละเอียด.....	41
	3.3 การรวบรวมจำนวนโรงงาน.....	41
	3.4 การสุ่มสำรวจทางแบบสอบถาม.....	42
	3.5 วิจารณ์การใช้งานน้ำมันหล่อเย็นในประเทศ.....	51
	3.5.1 โรงงาน A.....	52
	3.5.2 โรงงาน B……..	53
4	วิธีดำเนินการวิจัย……..	55
	4.1 แผนผังการศึกษาวิจัย……	55
	4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย……..	55
	4.3 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลองโดยละเอียด……..	56
	4.3.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว……	58
	4.3.2 ขั้นตอนการศึกษาขนาด และชนิดของสารประกอบของของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค……..	67
	4.3.3 ขั้นตอนการทดสอบวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น.	68
	4.3.4 ขั้นตอนการทดสอบกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็น.....	71
	4.3.5 วิเคราะห์ ประเมินผล และเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมของกระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่.....	72
5	ผลวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและผลการทดลอง.....	73
	5.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อเย็นใหม่……..	73
	5.2 วิเคราะห์ขนาด และชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอย.....	78
	5.3 การศึกษาวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น.....	80
	5.3.1 การแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้การเร่งการรวมตัว และการกรองด้วยไส้กรอง……..	80
	5.3.2 การแยกน้ำมันสกปรก และของแข็งแขวนลอย โดยใช้ไฮโดรไซโคลน.....	87
	5.3.3 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง	89

บทที่ หน้า

5.3.4 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน..... 92

5.3.5 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยวิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน..... 95

5.4 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่.. 98

5.4.1 กระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยง ตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน 98

5.4.2 กระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน..... 103

5.5 วิเคราะห์ ประเมินผล และเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่..... 107

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 108

รายการอ้างอิง..... 112

ภาคผนวก..... 115

ภาคผนวก ก.เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 116

ภาคผนวก ข.ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น..... 126

ภาคผนวก ค.แบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้น้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม 145

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 149

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ผลการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ในน้ำมันหล่อเย็น.....	19
2.2	ช่วงของค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานตัดเฉือนทั่วไป.....	23
2.3	เกณฑ์กำหนดเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น……..	25
2.4	เกณฑ์กำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น.....	27
2.5	เกณฑ์กำหนดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น.....	27
2.6	ขนาดของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ.....	28
2.7	อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น.....	30
3.1	โรงงานในกลุ่มประเภท 077.....	42
3.2	โรงงานในกลุ่มประเภท 064.....	42
3.3	ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น.....	45
5.1	เกณฑ์กำหนดสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ดีและน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้……..	75
5.2	ผลวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และผ่านการใช้งานแล้…….....	76
5.3	ผลการศึกษาความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกด้วยตัวกลางชนิดต่างๆ ….	83
5.4	ผลการวิเคราะห์ค่า %น้ำมันสกปรกก่อนและหลังการทดลองวิธีเร่งการรวมตัว...	86
5.5	ผลวิเคราะห์ %น้ำมันสกปรกที่ผ่านการแยกน้ำมันสกปรกโดยวิธีการกรอง.....	87
5.6	ผลวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลน.....	88
5.7	ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง.....	90
5.8	ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน.....	93
5.9	ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 0.3 ไมครอน……..	96
5.10	สรุปผลการแยกสิ่งเจือปนออกจากในน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการต่างๆ.....	99
5.11	ผลวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน.	101
5.12	ผลวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ.....	105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	ลักษณะการตัดเฉือนโลหะ	5
2.2	ลักษณะมุมมีดที่เกิดจากการสึกหรอ	5
2.3	การเกิดพลังงานความร้อนและการกระจายพลังงานในกระบวนการตัดเฉือน	6
2.4	อุณหภูมิกระตุ้นทำงานของสารประกอบชนิดต่างๆ ในสารรับแรงกดสูง	9
2.5	รีแฟรคโตมิเตอร์	13
2.6	วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นแบบอาบ	14
2.7	เครื่องจักรในระบบถังแยก	16
2.8	ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นแบบถังรวม	16
2.9	แสดงอุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น	31
2.10	หลักการทำงานของตัวกลางโคเอเลสเซอร์	32
2.11	ตัวกลางเร่งการรวมตัว	33
2.12	กระบวนการลอยอนุภาค	34
2.13	ระบบการกรองแบบต่อเนื่อง	36
2.14	แสดงการกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรอง	36
2.15	แสดงการกรองแบบติดค้างในตัวกรอง	37
2.16	กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่	39
2.17	กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่	40
3.1	ปริมาณการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นของโรงงานอุตสาหกรรม	43
3.2	ระบบกำจัดน้ำมันสกปรกออกจากถังพัก	53
3.3	ตะแกรงแยกเศษโลหะภายในถังพัก	54
3.4	เครื่องดูดน้ำมันหล่อเย็นทิ้ง	54
4.1	วิธีเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว	59
4.2	ชุดทดสอบดิฟสไลด์	64
5.1	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้ว	77
5.2	ผลวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น	79
5.3	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น	79
5.4	หลักการของถังประดิษฐ์โคเอเลสเซอร์	80
5.5	ถังโคเอเลสเซอร์ชนิดทำจากท่อพีวีซี	81
5.6	ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร	82
5.7	ตัวกลางทดสอบวิธีการเร่งการรวมตัว	84
5.8	ถังโคเอเลสเซอร์ทรงสี่เหลี่ยม	85

ภาพประกอบ		หน้า
5.9	ระบบการกรองแบบเครื่องกรองท่อเดียว..……..……....	86
5.10	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง…..	90
5.11	ระบบการกรองด้วยเครื่องกรองหัวเดียว.....	92
5.12	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน	94
5.13	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ 0.3 ไมครอน.....	97
5.14	กระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน	100
5.15	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน.....	102
5.16	แผนผังกระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ.....	104
5.17	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ.....	106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันหล่อเย็น (Metalworking fluids, MWFs) เป็นของเหลวที่ใช้สำหรับลดอุณหภูมิและหล่อลื่นมีดกลึง ชิ้นงาน หรืออุปกรณ์โลหะออกจากบริเวณตัดกลึง เพื่อให้โลหะมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หรือเพิ่มอัตราการผลิตให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นน้ำมันหล่อเย็นจึงมักใช้กับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตสูง เช่น โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ รถจักรยานยนต์ โรงงานตัดกลึงโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นยังช่วยให้ผิวโลหะมีความราบเรียบ คุณภาพของชิ้นงานดี ป้องกันการสึกหรอของมีดกลึง เครื่องจักร ป้องกันการขยายตัวของโลหะ และชิ้นงานมีขนาดถูกตรงตามแบบ กล่าวโดยสรุปว่า น้ำมันหล่อเย็นมีหน้าที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. ลดอุณหภูมิ
2. หล่อลื่นผิวโลหะ
3. กำจัดเศษโลหะออกจากบริเวณตัดกลึง

อันที่จริงแล้ว น้ำมันหล่อเย็นมีอายุการใช้งานยาวนานเป็นปีหรือมากกว่านั้น แต่เนื่องจากน้ำมันหล่อเย็นเป็นของเหลวที่ต้องเจือจางกับน้ำ (Water-miscible fluids) ซึ่งน้ำก็เป็นปัจจัยให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ผนวกกับน้ำมันหล่อเย็นได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการทำงาน เช่น เศษโลหะ น้ำมัน ฝุ่น ดิน น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น ซึ่งจัดแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ น้ำมันสกปรก ของแข็งเจือปน และจุลินทรีย์ ถ้าสิ่งเจือปนเหล่านี้มีปริมาณมากเกินไป จะทำให้น้ำมันหล่อเย็นขุ่น ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เกิดคราบบนผิวชิ้นงาน ส่งกลิ่นเหม็น เป็นสาเหตุให้เกิดโรคผิวหนัง และโรคระบบทางเดินหายใจ ในที่สุดน้ำมันหล่อเย็นจะสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชัน ทำให้น้ำมันหล่อเย็นนั้นไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ จึงต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันใหม่ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองด้านต้นทุนการผลิตและเวลาเป็นอย่างมาก ได้แก่ ค่าน้ำมันใหม่ ค่าการผลิต ค่าแรงงาน และค่าการกำจัด เป็นต้น

ดังนั้น กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ หรือกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น (Metalworking fluid recycling) น่าจะเป็นกระบวนการที่สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ โดยวิธีการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอน , ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone), การลอยอนุภาค (Flotation), การเร่งการรวมตัว (Coalescing), การหมุนเหวี่ยง, การกรอง, การฆ่าเชื้อ (Pasteurized), การอาบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV radiation) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนได้แตกต่างกัน ดังนั้นการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งานนั้น จึงควร

พิจารณาถึงปัจจัยหลายประการ เช่น ปัญหาที่เกิดขึ้น หรือสิ่งที่ต้องการกำจัด รูปแบบที่สามารถใช้งานได้จริง ความสะดวกรวดเร็ว และประสิทธิภาพการกำจัด ซึ่งคาดว่าผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้จริงกับโรงงานอุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการที่เกี่ยวข้องน้ำมันหล่อเย็น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2. เพื่อศึกษาวิธีการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น
3. เพื่อศึกษาและเสนอแนะแนวทางของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นและนำกลับมาใช้ใหม่ให้มีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลการใช้งานและเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว และน้ำมันใหม่จากโรงงานอุตสาหกรรม
2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
3. ศึกษาวิเคราะห์ขนาดและชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) และเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer, XRD)
4. ศึกษาทดลองวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น ด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว, ไฮโดรไซโคลน, การหมุนเหวี่ยง, และการกรอง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด
5. ศึกษาทดลองกระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน
6. ศึกษาทดลองกระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน
7. เสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2. เข้าใจถึงขนาดและชนิดของของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น
3. เข้าใจถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น
4. เข้าใจถึงวิธีการคัดแยกอนุภาคสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น
5. เพื่อให้ทราบขั้นตอนและวิธีที่เหมาะสมซึ่งเป็นแนวทางที่จะสามารถพัฒนากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรม

2.1 กระบวนการตัดเฉือนโลหะ (Machining)

พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีได้อธิบายความหมายของคำว่า การตัดปาด การตัดแต่ง หรือการตัดเฉือนโลหะ (Machining) ไว้คือ กระบวนการตัดแต่งชิ้นงานให้มีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นหลังจากการขึ้นรูปขั้นแรก (เช่น การหล่อ) อันได้แก่ การกลึง การไส การเจาะ การคว้าน และการกัด โดยเครื่องจักรที่ใช้ในงานตัดเฉือนโลหะมี 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. เครื่องจักรธรรมดา (Conventional Machines) เครื่องจักรประเภทนี้มีใช้ในโรงกลึงขนาดเล็ก มีลักษณะการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง ควบคุมโดยมนุษย์ มักใช้กับน้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน หรือไม่ใช้สารหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิ
2. เครื่องจักรอัตโนมัติ (Computer Numerically Controlled Machines, CNC) เครื่องจักรประเภทนี้มีใช้ในโรงกลึงขนาดใหญ่ทั่วไป มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ให้กำลังการผลิตและความเร็วรอบสูงกว่าแบบแรก และจะมีความร้อนเกิดขึ้นสูง

มีดกลึง (Cutting tool) เป็นวัสดุสำหรับใช้ในการกัดแต่งวัสดุอื่น ทำจากวัสดุจำพวกเหล็กกล้าคาร์ไบด์ (Carbide steel), เหล็กกล้าไฮสปีด (High speed steel), สเตลไลท์ (Stellite), โลหะชุบแข็ง เพชร และเซรามิค ซึ่งวัสดุเหล่านี้ล้วนมีองค์ประกอบของเหล็ก, คาร์บอน, ฟอสฟอรัส, แมงกานีส, ซัลเฟอร์, และซิลิกอน ในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบสารเซรามิคออกไซต์ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) หรือโลหะไนไตรด์หรือคาร์ไบด์ เช่น ไททาเนียมไนไตรด์ และไททาเนียมคาร์ไบด์

วัสดุชิ้นงาน (Work piece) ในกระบวนการตัดเฉือนโลหะมีมากกว่า 300 ชนิด ดังนั้นความสามารถในการตัดเฉือนโลหะจึงเทียบหาได้จากค่าดัชนีความยากง่ายในการตัดเฉือน (Workability Index “I”) ดังสูตร

$$I = 100 \times \frac{\text{ความเร็วตัดที่เหมาะสมในการตัดเฉือนชิ้นงานในระหว่างทดลอง}}{\text{ความเร็วตัดที่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ}}$$

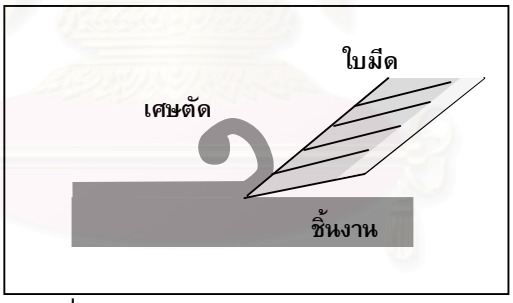
ซึ่งจะสามารถแบ่งความสามารถในการตัดเฉือนวัสดุชิ้นงานออกเป็น 3 ระดับคือ

1) ค่าดัชนีมีค่ามากกว่า 70% ขึ้นไปให้ถือว่าตัดเฉือนได้ง่าย เช่น ทองแดง อะลูมิเนียมอัลลอยด์ บรอนซ์ตะกั่ว และแมกนีเซียม เป็นต้น

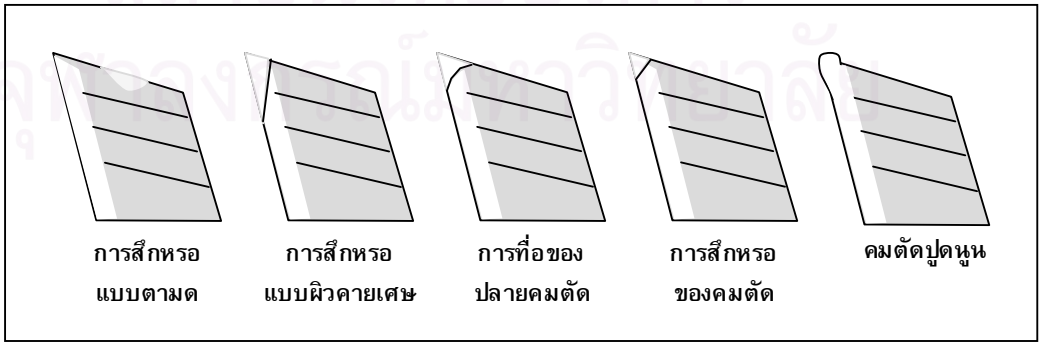
2) ค่าดัชนีมีค่าตั้งแต่ 50% ถึง 70% ให้ถือว่าตัดเฉือนได้ปานกลาง เช่น เหล็กหล่อเทา ทองแดงอัลลอยด์ เหล็กหล่อ เป็นต้น

3) ค่าดัชนีต่ำกว่า 50% ให้ถือว่าตัดเฉือนได้ยาก เช่น ไททาเนียม เหล็กกล้าคาร์บอนสูง สแตนเลส เหล็กกล้า นิกเกิลอัลลอยด์ เป็นต้น

กระบวนการตัดเฉือนโลหะจะทำให้เกิดเศษกลึงขนาดใหญ่ (Chip) จากการผลักไสใบมีดกับชิ้นงาน (ดังรูปที่ 2.1) มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับรูปทรงและมุมของคมตัด นอกจากนี้การตัดเฉือนยังทำให้มีความร้อนและแรงเสียดทานเกิดขึ้นในบริเวณผิวสัมผัสและใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้มีดกลึงสึกหรอ ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป อายุการใช้งานของเครื่องจักรสั้นลง จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้น ลักษณะของการสึกหรอของใบมีดแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (ดังรูปที่ 2.2) คือ การเกิดตามด, การสึกหรอของผิวคายเศษ, การที่อของปลายใบมีด และการสึกหรอของผิวคมตัด นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นยังช่วยป้องกันการยึดติดของเนื้อวัสดุบนคมมีดกลึง ทำให้เกิดลักษณะคมตัดปูดนูน (Built-up edge, BUE)



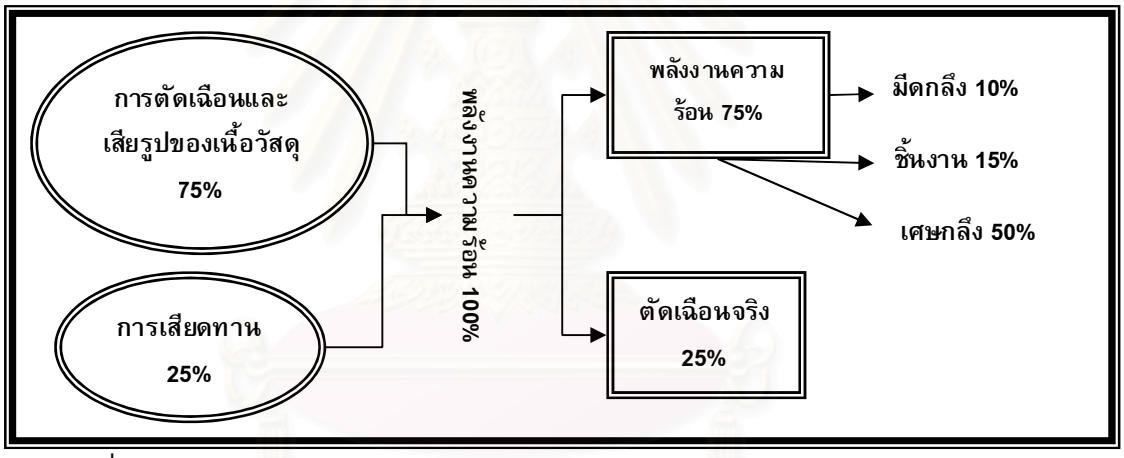
รูปที่ 2.1 ลักษณะการตัดเฉือนโลหะ



รูปที่ 2.2 ลักษณะมุมมีดที่เกิดจากการสึกหรอ

2.2 น้ำมันหล่อเย็น (Metalworking fluids)

น้ำมันหล่อเย็นเป็นสารหล่อเย็นที่ช่วยระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้น พบว่า 2 ใน 3 ส่วน มาจากการตัดเฉือนและเสียรูปของเนื้อวัสดุ ส่วนอีก 1 ใน 3 ส่วนมาจากแรงเสียดทาน โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และส่งถ่ายไปยังเศษกลึงประมาณ 50%, มีดกลึงและเครื่องมือตัด 10% และชิ้นงาน 15% ส่วนที่เหลืออีก 25% จะใช้เป็นพลังงานในการตัดเฉือน (ดังรูปที่ 2.3) น้ำมันหล่อเย็นที่ดีควรมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเศษตัดกับมีดกลึงในเวลาสั้นๆ ได้ และอุณหภูมิขณะทำงานที่เหมาะสมประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าช่วงนี้ (ประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส) จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2549) นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นที่ดีควรมีสมบัติดูดซับและถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ป้องกันการเกิดสนิม ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ไม่ติดไฟ ไม่เกิดควันมากเกินไป ความหนืดต่ำ และปราศจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งจะทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดคราบ และผิวขรุขระได้



รูปที่ 2.3 การเกิดพลังงานความร้อนและการกระจายพลังงานในกระบวนการตัดเฉือน

ข้อดีของการใช้น้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิความร้อน และลดเวลาการทำงานแล้ว ยังเพิ่มกำลังการผลิต เพิ่มความเร็วรอบและอัตราการป้อนชิ้นงาน เช่น ตั้งความเร็วรอบในการทำงาน 50 รอบต่อนาที (rpm) ถ้าใช้น้ำมันหล่อเย็นในกระบวนการจะทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 70-90 rpm (ศุภชัย และฉวีวรรณ รมยานนท์, 2527) ลดต้นทุนค่าแรงและค่าพลังงาน ป้องกันการเกิด BUE ช่วยให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปแบบตามต้องการ และยืดอายุการใช้งานของมีดกลึงและเครื่องจักรด้วย

2.3 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น

Mang และ Dresel (2001) อธิบายว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันหล่อเย็น ได้แก่ น้ำมันแร่ (Mineral oil), สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier), สารป้องกันการเกิดสนิม (Rust inhibitor), สารเพิ่มความเสถียร (Stabilizers and Coupling agents), สารรับแรงกดสูง (Extreme pressure agent), สารป้องกันการเชื่อมตัวของโลหะ (Anti-weld agent), สารเพิ่มความหล่อลื่น (Lubricants), สารป้องกันการเกิดฟอง (Antifoam agent), สารฆ่าเชื้อโรค (Biocide) และ สารลดความกระด้าง (Complexing agent)

Anderson, Kim, Mueller, และ Lofton (2003) จัดแบ่งองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำมันพื้นฐาน (Based oil) และสารเติมแต่ง (Additive) โดยน้ำมันพื้นฐานส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำมันแร่ หรืออาจมาจากจากสัตว์ พืช ทะเล หรือสารเคมีสังเคราะห์ ส่วนสารเติมแต่งหลักๆ ได้แก่ สารอิมัลซิไฟเออร์และสารลดความตึงผิว (Emulsifier and Surfactant), สารรับแรงกดสูงและป้องกันการเชื่อมตัวของโลหะ (Extreme pressure agents and anti-weld agent), สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors), สารลดความต้านทานและเพิ่มความผิวเปียก (Friction reduction and Wettability agent), สารฆ่าเชื้อโรค (Biocides) และสารรักษาความเป็นด่าง (Alkalinity reserves)

2.3.1 น้ำมันแร่

น้ำมันแร่ได้จากกระบวนการกลั่นหรือการทำให้บริสุทธิ์ของน้ำมันดิบ หรือน้ำมันที่ใช้งานแล้ว โดยน้ำมันดิบจะผ่านเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่ความดันบรรยากาศเพื่อแยกเอาน้ำมันเชื้อเพลิงออกก่อน จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นภายใต้สภาพสุญญากาศได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่างๆ กัน 5 ชนิด โดยน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อเย็นจะมีความหนืดอยู่ในช่วง 21-65 cP, อุณหภูมิจุดเดือดประมาณ 270-485 $^{\circ}$C, จำนวนคาร์บอนอะตอมในหนึ่งโมเลกุล 15-34 ตัว และมีมวลโมเลกุลประมาณ 212-478

น้ำมันแร่ประกอบด้วยโครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกันมากมาย เช่น พาราฟินิก (Paraffinic), แนฟทานิก (Naphthenic), อะโรมาติก (Aromatic), ไซโคลแอลเคน (Cycloalkane) และแอลเคน (Alkane) เป็นต้น โดยน้ำมันแร่จากน้ำมันดิบมีคุณสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มา แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ น้ำมันแร่พาราฟินิก (Paraffinic mineral oil) และน้ำมันแร่แนฟทานิก (Naphthenic mineral oil) น้ำมันแร่แนฟทานิกมีคุณสมบัติในการละลายสารเติมแต่ง และเข้ากันกับน้ำได้ดีกว่าน้ำมันแร่พาราฟินิก แต่น้ำมันแร่แนฟทานิกมีปริมาณสารกลุ่มอะโรมาติก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงกว่า จึงทำให้มีการใช้งานน้ำมันแร่แนฟทานิกน้อยลง โดยตั้งแต่ปี ค.ศ.1950 เป็นต้นมา มีการพัฒนาให้มีวิธีการกำจัดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำมันแร่คือ กระบวนการไฮโดรจีเนชั่น (Hydrogenation) ซึ่งเป็นการเติมก๊าซไฮโดรเจนในสภาวะอุณหภูมิสูงและมีตัวเร่ง เพื่อกำจัดสารกลุ่มซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และเปลี่ยนวงแหวนอะโรมาติกให้เป็นไซโคลแอลเคน

2.3.2 สารเติมแต่ง

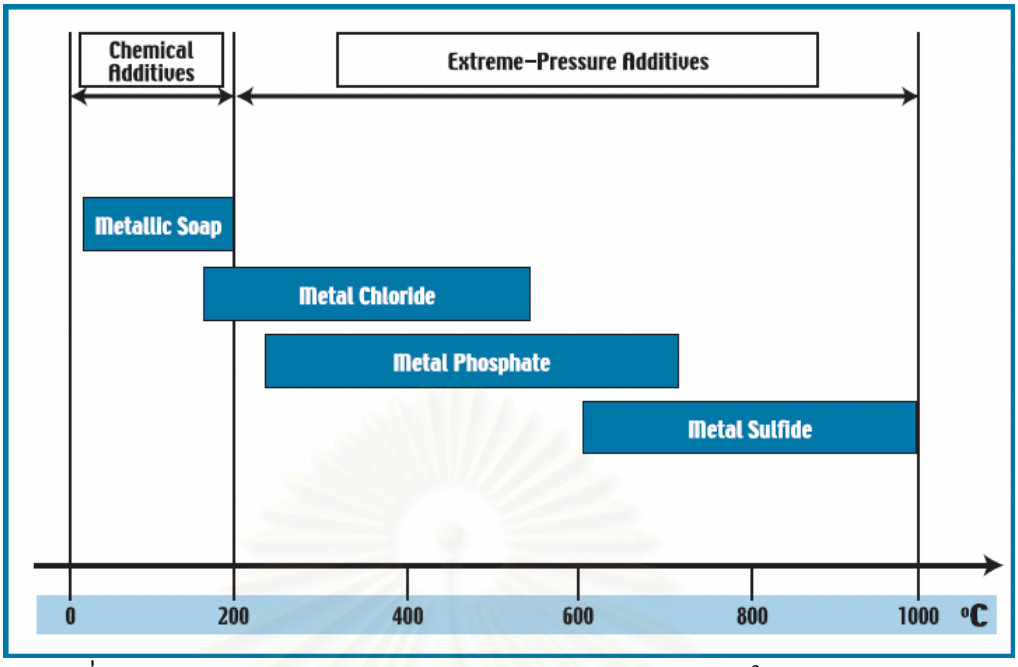
สารเติมแต่งในน้ำมันหล่อเย็นส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันหล่อเย็นตั้งแต่น้อยกว่า 0.1% จนถึง 30% (Anderson et al, 2003) เช่น

2.3.2.1 สารอิมัลซิไฟเออร์ และลดความตึงผิว (Emulsifier and Surfactant) ทำหน้าที่กระจายอนุภาคน้ำมันในน้ำ และลดแรงตึงที่ผิวหน้าของของเหลว สารอิมัลซิไฟเออร์มีโครงสร้างแบบ 2 ขั้ว คือ ประกอบด้วยด้านที่มีคุณสมบัติชอบน้ำมัน (Hydrophobic end) และด้านที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic end) ในการทำงานสารอิมัลซิไฟเออร์จะรวมตัวกับอนุภาคของน้ำมันและน้ำเป็นกลุ่มก้อนทรงกลม (Micelle) โดยหันปลายที่ชอบน้ำมันล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน และหันปลายที่ชอบน้ำเข้าหาอนุภาคน้ำ

สารอิมัลซิไฟเออร์แบ่งย่อยเป็น 2 ประเภท คือ 1) ไอออนิกอิมัลซิไฟเออร์ (Ionic emulsifier) ซึ่งจะแตกตัวในน้ำกลายเป็นประจุล้อมรอบอนุภาค ถ้าเป็นประจุบวก จะเรียกสารนี้ว่า แคตไอออนิกอิมัลซิไฟเออร์ (Cationic emulsifier) แต่ถ้าเป็นประจุลบ จะเรียกว่า แอนไอออนิกอิมัลซิไฟเออร์ (Anionic emulsifier) และ 2) นอนไอออนิกอิมัลซิไฟเออร์ (Non-ionic emulsifier) ซึ่งได้แก่ สารประกอบจำพวกอิทอกซิเลต (Ethoxylate) รวมตัวกับสารเอทิลีนออกไซต์ (Ethylene oxide) กลายเป็นสารอัลคิลฟีโนน (Alkyl phenol) ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแหล่งน้ำ จึงไม่มีการใช้งานสารอิมัลซิไฟเออร์กลุ่มนี้มากนัก ส่วนใหญ่จะใช้สารกลุ่มแอนไอออนิกอิมัลซิไฟเออร์ (Anionic emulsifier) อาทิเช่น โซเดียมโซฟ (Sodium soap), เอไมด์โซฟ (Amine soap), กรดแนฟเทนิก (Naphthenic acid), ปิโตรเลียมซัลโฟเนต (Petroleum sulfonate), เกลือซัลเฟต (Sulfate salt) และเกลือเอมีนของเอสเทอร์ฟอสฟอริก (Amine salt of phosphoric ester)

2.3.2.2 สารรับแรงกดสูง (Extreme pressure agents) ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ คลอรีน ฟอสฟอรัส และตะกั่ว เป็นต้น มีหน้าที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกด้วยน้ำมัน หรือเพิ่มการหล่อลื่นให้แก่ผิวโลหะเครื่องจักร ชิ้นงาน และมีดกลึง เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของโลหะ และป้องกันการเชื่อมตัวของโลหะอันเนื่องมาจากการใช้งานที่สภาวะความร้อนและความดันสูงมาก หรืองานหนักจนถึงหนักปานกลาง โดยสารประกอบในสารรับแรงกดสูงจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ดังรูปที่ 2.4) ก่อให้เกิดเป็นชั้นหล่อลื่นป้องกันผิวโลหะผุกร่อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 อุณหภูมิกระตุ้นทำงานของสารประกอบชนิดต่างๆ ในสารรับแรงกดสูง
(ที่มา : Iowa Waste Reduction Center, 2003)

2.3.2.3 สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors) ได้แก่ เกลือของกรดไขมัน, โซเดียมโมลิบเดต, สารกลุ่มซัลโฟเนต, เอมีน, เอไมด์, บอเรต, ซิลิเกต, ฟอสเฟต, และไนเตรด เป็นต้น สารป้องกันการกัดกร่อนจะสร้างชั้นฟิล์มบางๆ บนผิวโลหะ ซึ่งประกอบด้วยสารมีขั้วของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ออกไซด์ มีหน้าที่ป้องกันการผุกร่อนของผิวโลหะจากปฏิกิริยาเคมีของกรดและสารเปอร์ออกไซด์

2.3.2.4 สารลดแรงเสียดทานและเพิ่มคุณสมบัติเปียกผิว (Friction reduction and Wettability agents) ได้แก่ น้ำมันจากพืชและสัตว์, กรดไขมัน, และแอลกอฮอล์ โครงสร้างโมเลกุลของสารนี้ ประกอบด้วยสารกลุ่มมีขั้วเล็กน้อย ทำหน้าที่จับยึดผิวโลหะ และกลุ่มไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งจะละลายอนุภาคน้ำมันสร้างเป็นชั้นบางปกป้องผิวโลหะ

2.3.2.5 สารฆ่าเชื้อโรค (Biocides) ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มอินทรีย์แฮโล (Halo-organics) ทำหน้าที่ ควบคุมและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่ถูกควบคุมเหล่านี้จะสร้างความต้านทาน และยากต่อการควบคุมในระยะยาว ดังนั้นการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อโรค จึงควรสลับสับเปลี่ยนชนิดเพื่อป้องกันการดื้อยาของจุลินทรีย์ และเลือกใช้ชนิดที่สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำมันหล่อเย็นได้ทั้งหมด

2.3.2.6 สารรักษาความเป็นด่าง (Alkaline reserve) ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทาโนลาไมด์ ทำหน้าที่ควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 8.5 ถึง 9.0 (Anderson et al, 2003) การรักษาค่าความเป็นด่างนี้ก็เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ซึ่งชอบสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง ป้องกันการเกิดสนิม รักษาความเสถียรของอิมัลชัน และป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

2.3.2.7 สารเพิ่มความเสถียร (Coupling agent หรือ Stabilizers หรือ Solubilizers) ได้แก่ สารจำพวกแอลกอฮอล์ และไกลคอล (Glycol) สารกลุ่มนี้จะทำหน้าที่สร้างความเสถียรแบบถาวรให้แก่อิมัลชัน โดยการเพิ่มความสามารถในการละลายในน้ำมันเพื่อป้องกันการแยกตัวของสาร เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ

2.3.2.8 สารป้องกันการเกิดฟอง (Defoamer) ได้แก่ สารประกอบจำพวกซิลิกอน (Si) น้ำมันหล่อเย็นที่มีสารลดความตึงผิวในปริมาณสูง จะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาเรื่องฟอง ดังนั้นในน้ำมันหล่อเย็นจึงต้องมีสารทำหน้าที่ป้องกันการเกิดฟอง

2.3.2.9 ลดความกระด้าง (Complexing agent) ได้แก่ ผลิตผลจากเอทิลีนไดแอมมีนเททระอะซิติก (Ethylene Diamine Tetraacetic, EDTA) ทำหน้าที่ ลดความแรงของสารประกอบที่ทำให้เกิดความกระด้าง เช่น เกลือแคลเซียม และแมกนีเซียม ไอออนของโลหะ เป็นต้น นอกจากจะทำหน้าที่ลดความแรงของไอออน และลดความความกระด้างของของเหลวแล้ว ยังช่วยรักษาความเสถียรให้แก่อิมัลชัน และยืดอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นด้วย

2.3.2.10 สารเติมแต่งอื่นๆ เช่น สารเพิ่มดัชนีความหนืด (Viscosity index improvers), สารเพิ่มน้ำมัน (Oiliness agents), สารเพิ่มความนุ่ม (Plasticizers), สารที่รวมตัวกับโลหะ (Chelating agents), สารต้านทานการเกิดละออง (Anti-mist agents) เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.4.1 น้ำมันล้วน (Straight oil)

น้ำมันล้วนมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 100% หรือเกือบ100% ส่วนใหญ่เลือกใช้น้ำมันแร่เนื่องจากมีราคาถูก การใช้งานน้ำมันล้วนไม่ต้องเจือจางด้วยน้ำ บางชนิดอาจมีส่วนประกอบของสารเติมแต่ง เช่น สารป้องกันการสึกหรอ, สารรับแรงกดสูง เป็นต้น ข้อดีของน้ำมันล้วนคือ มีคุณสมบัติการหล่อลื่นสูง เหมาะสำหรับงานที่ตัดเฉือนยากและความเร็วรอบต่ำหรืองานที่ต้องการความละเอียดของผิวงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนาน เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของน้ำ ส่วนข้อเสียของน้ำมันล้วนคือ ให้คุณสมบัติการลดอุณหภูมิไม่ดี มีกลิ่นฉุน มีควันและละอองมาก สิ่งเหล่านี้จะทำให้สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ดี

2.4.2 โซลูเบิลออยล์ (Soluble oil)

โซลูเบิลออยล์เป็นน้ำมันที่สามารถละลายน้ำได้ ประกอบด้วยน้ำมันแร่ 60-90%, สารอิมัลซิไฟเออร์ และสารเติมแต่งอื่นๆ ก่อนการใช้งานจะต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 5-40 โดยมีสารอิมัลซิไฟเออร์จะเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ประสานให้น้ำมันเข้ากันกับน้ำได้ดี กลายเป็นอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion) โซลูเบิลออยล์มีข้อดีคือ เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่มีคุณสมบัติหล่อเย็นและหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม เหมาะกับงานเบาและหนักปานกลาง ส่วนข้อเสียคือ มีน้ำเป็นตัวทำละลายประกอบกับมีน้ำมันแร่เป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนมาก จึงเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี อายุการใช้งานสั้น นอกจากนี้น้ำยังเป็นปัจจัยให้เกิดสนิมบนผิวงานอีกด้วย

2.4.3 น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetics)

น้ำมันสังเคราะห์ประกอบด้วยสารเคมีสังเคราะห์ 100% ไม่มีองค์ประกอบของน้ำมันแร่ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 10-40 ข้อดีของน้ำมันสังเคราะห์คือ มีคุณสมบัติการลดอุณหภูมิที่ดี นอกจากนี้ยังป้องกันการกัดกร่อน และดูแลรักษาสภาพได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีคุณสมบัติการหล่อลื่นต่ำ จึงอาจส่งผลให้อุปกรณ์อื่นๆ ในระบบมีอายุการใช้งานสั้น สารเติมแต่งในน้ำมันสังเคราะห์แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ เกลืออนินทรีย์เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สารช่วยชะล้างเพื่อทำให้ผิวชิ้นงานเปียก และอินทรีย์สารช่วยให้ละลายน้ำ

2.4.4 น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetics)

น้ำมันกึ่งสังเคราะห์เป็นลักษณะผสมระหว่างโซลูเบิลออยล์กับน้ำมันสังเคราะห์ คือน้ำมันเข้มข้นประกอบด้วยน้ำมันแร่เพียง 2-30%, สารอิมัลซิไฟเออร์, สารเคมีสังเคราะห์ และน้ำ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางน้ำมันเข้มข้นกับน้ำในอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 10-40 น้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีสีโปร่งแสงจนถึงสีทึบแสง อนุภาคของน้ำมันจะไวต่อความร้อนมาก

โดยโมเลกุลของน้ำมันจะล้อมรอบผิวโลหะร้อน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเย็นลง โมเลกุลของน้ำมันจะสามารถกระจายเป็นปกติได้อีกครั้ง น้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีข้อดีคือ สามารถใช้กับงานได้ทุกประเภท เหมาะกับงานความเร็วรอบและอัตราการป้อนสูง มีคุณสมบัติการหล่อลื่นและหล่อเย็นที่ดี ความหนืดต่ำ และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าโซลูเบิลออยล์ เกิดควันและละอองน้อยกว่าน้ำมันล้วน ดังนั้นน้ำมันหล่อเย็นชนิดนี้ จึงมีปริมาณการใช้มากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 วิธีการใช้งาน

ในการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น นอกจากน้ำมันหล่อเย็นต้องมีความเสถียรของอิมัลชันซึ่งเป็นปัจจัยบ่งชี้ความสามารถในการใช้งานได้ของน้ำมันหล่อเย็นแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงอยู่เสมอคือการใช้งานในสภาวะที่เหมาะสมคือ การควบคุมความเข้มข้นของน้ำมันให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นมีค่าเหมาะสมไปด้วย นอกจากนี้ไม่ควรละเลยกับปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งาน และคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น

2.5.1 การเตรียมน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นชนิดต้องเจือจางกับน้ำ (Water-miscible fluids) ได้แก่ โซลูเบิลออยล์ น้ำมันสังเคราะห์ และน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับรูปแบบการทำงาน และชนิดของโลหะ

การเจือจางน้ำมันหล่อเย็นครั้งแรก หรือการเจือจางเพื่อปรับค่าความเข้มข้นควรกระทำในถัง หรือเครื่องผสมอัตโนมัติ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ภายนอกถังพัก ไม่ควรผสมลงในถังพักโดยตรง เนื่องจากจะควบคุมความเข้มข้นได้ยาก เกิดการกัดกร่อนผิวโลหะของถัง และทำให้น้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นบางส่วนละลายไม่หมด ซึ่งอาจหลงเหลือและติดตามทางเดินของเครื่องจักร

การคำนวณความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็นมีลักษณะดังนี้เช่น ถ้าต้องการความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 5% หรืออัตราส่วน 1 : 20 จะต้องเตรียมน้ำมันเข้มข้น 5 ลิตร ต่อน้ำ 95 ลิตร เป็นต้น คนสารละลายด้วยไม้พายเป็นระยะเวลาประมาณ 15-20 นาที ก็สามารถนำน้ำมันหล่อเย็นไปใช้งานได้เลย แต่ข้อสำคัญในการเตรียมคือ เมื่อผสมน้ำมันหล่อเย็นใหม่ลงในถังพักซึ่งมีน้ำมันหล่อเย็นเดิมอยู่ในถัง ควรตรวจวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นหลังผสมอีกครั้ง โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมคือเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา (Hand-held Refractometer) (ดังรูปที่ 2.5)

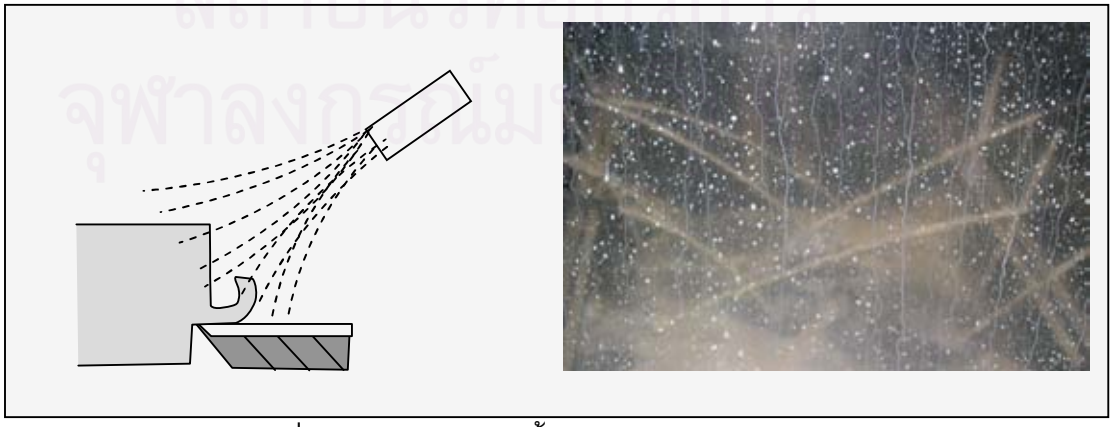
รูปที่ 2.5 รีแฟรคโตมิเตอร์

Iowa Waste Reduction Center (2003) ให้คำแนะนำว่า ในการเตรียมน้ำมันหล่อเย็นใหม่ครั้งแรก น้ำที่ใช้ผสมควรเป็นน้ำอ่อนซึ่งมีความกระด้างประมาณ 80-125 ส่วนในล้านส่วน (PPM), มีปริมาณเกลือคลอไรด์ และซัลเฟต ต่ำกว่า 80 PPM, และปริมาณเกลือฟอสเฟต ต่ำกว่า 30 PPM ซึ่งถ้าความกระด้างต่ำกว่าช่วงนี้จะทำให้เกิดฟอง แต่ถ้าความกระด้างสูงกว่านี้ แร่ธาตุในน้ำกระด้างจะทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่ง และรวมตัวกับสารอิมัลซิไฟเออร์กลายเป็นตะกอนที่ก้นถัง หรือติดตามทางเดินท่อ และผิวเครื่องจักร และเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่เสถียรของอิมัลชัน หรือน้ำมันแยกตัวออกจากน้ำ ถ้าในน้ำมีสารประกอบกลุ่มซัลเฟต, ฟอสเฟตมากเกินไป จะทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็น นอกจากนี้กลุ่มซัลเฟต, ฟอสเฟต และคลอไรด์ ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการผุกร่อนของโลหะด้วย ส่วนภายหลังจากการใช้งานแล้ว จะเกิดกระบวนการระเหยของน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำมันมีมากขึ้น ควรเติมน้ำเพื่อเจือจางความเข้มข้นและปรับความเข้มข้นด้วยน้ำกลั่นเพื่อลดการสะสมของสารประกอบในน้ำมันหล่อเย็น นอกจากนี้ในการปรับค่าความเข้มข้นไม่ควรเติมน้ำเพียงอย่างเดียว ควรเติมน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นลงไปด้วยเพื่อให้แน่ใจว่าของเหลวมีองค์ประกอบของสารป้องกันการกัดกร่อน และสารอิมัลซิไฟเออร์อยู่ด้วย

2.5.2 ลักษณะการทำงาน

2.5.2.1 วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นมี 3 รูปแบบด้วยกันคือ

- แบบจุ่มชิ้นงานลงในถัง (Manual)
- แบบอาบ (Flood application) เป็นการฉีดพ่นน้ำมันหล่อเย็นผ่านท่อ (nozzle) เข้าใส่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงาน (ดังรูปที่ 2.6)
- แบบละอองฝอย (Mist application) เป็นลักษณะที่น้ำมันหล่อเย็นจะเกิดกระบวนการทำละออง (Atomization) และฉีดพ่นเข้าใส่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดกลึงและชิ้นงาน วิธีการนี้จำเป็นต้องมีการระบายอากาศเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์เครื่องจักร และมีตัวแปรที่สำคัญคือ ความดันและทิศทางของการฉีดพ่นละออง



รูปที่ 2.6 วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นแบบอาบ (Flooding)

ในอุตสาหกรรมการตัดเฉือนโลหะนั้น ต้นทุนและคุณภาพของชิ้นงานมาจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ 1) ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น และ 2) การออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็น โดยวิธีการเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับงานและสภาพการทำงานนั้นอาจต้องสุ่มเลือกจนกระทั่งได้ลักษณะที่พึงพอใจมากที่สุด

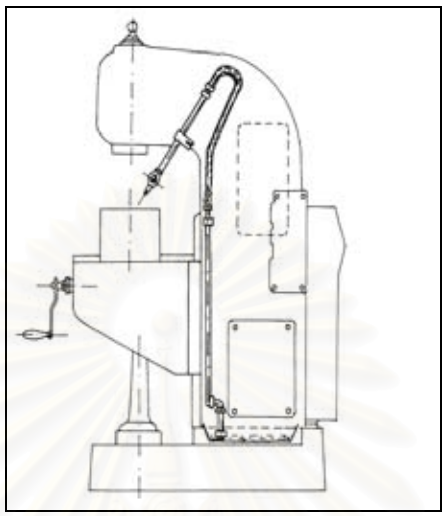
ศุภชัย และฉวีวรรณ รมยานนท์ (2527) อธิบายว่า การเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นขึ้นกับชนิดของวัสดุงานที่ขึ้นรูป ตลอดจนกรรมวิธีการตัดเฉือน ควรเลือกน้ำมันหล่อเย็นที่ไม่ข้นเหนียวเกินไป ไม่ใสเกินไป มีการลื่นตัว อาจต้องอาศัยการสังเกตจากประสบการณ์ แต่ส่วนใหญ่ควรยึดวัสดุงานเป็นหลัก

Iowa Waste Reduction Center (2003) อธิบายว่า วิธีการเลือกน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งานควรคำนึงถึงต้นทุน และอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น ความสามารถเข้ากันได้กับเนื้อวัสดุงาน และเครื่องจักร รูปแบบการทำงาน วิธีการดูแลรักษาและควบคุมคุณภาพ อุณหภูมิการทำงาน ความเข้มข้นและค่าพีเอช วิธีการเก็บรักษา และความสามารถในการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นและฝังกลบ

2.5.2.2 ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็น แบ่งออกเป็น 2 ระบบ

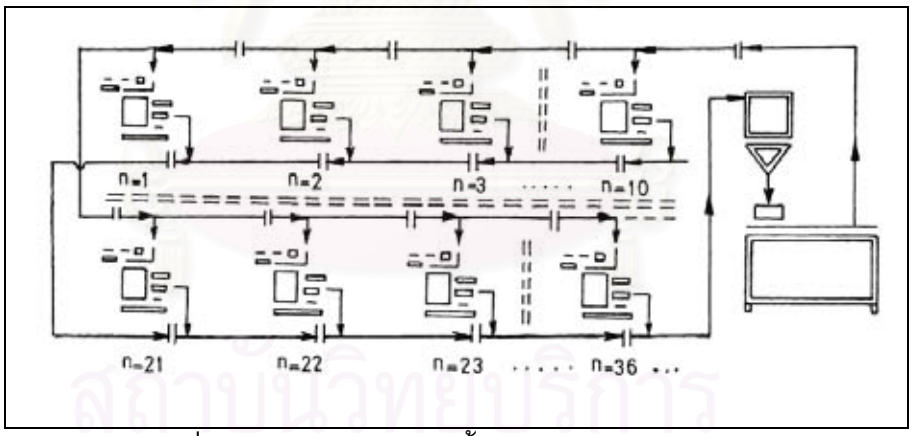
- ระบบถังแยก (Decentralized System) เป็นระบบที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นแยกกัน เครื่องจักรจึงประกอบด้วยถังพัก, เครื่องสูบน้ำมันหล่อเย็น, ท่อส่งออก, ระบบรองรับน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว และหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ (ดังรูปที่ 2.7) ระบบนี้สามารถติดตั้งอุปกรณ์รีไซเคิลหรือเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นได้ยาก ส่วนใหญ่ภายในตัวถังพักจะออกแบบให้มีตะแกรงสำหรับตกตะกอนเศษโลหะขนาดใหญ่เท่านั้น นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นในถังพักมักจะมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างพอเพียง ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีกระบวนการผลิตหลายอย่างจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นระบบที่ค่อนข้างสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาในการดูแลรักษาสภาพ และเกิดปัญหาความไม่เท่าเทียมกันของคุณภาพชิ้นงาน

- ระบบถังรวม (Centralized System) เป็นระบบการหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นเพื่อใช้ร่วมกันหลายๆ เครื่องจักร โดยใช้กำลังขับเพียงจุดเดียว และมีถังพักรวมเพียงที่เดียว โดยจะต่อท่อใช้งานหลายๆ จุดตามต้องการ ระบบนี้ประกอบด้วยถังพักขนาดใหญ่, เครื่องสูบน้ำ และ ระบบท่อส่งน้ำจากศูนย์กลาง (ดังรูปที่ 2.8) ส่วนใหญ่บริเวณศูนย์กลางจะมีกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ก่อนวนกลับไปใช้งานอีกครั้ง นอกจากนี้การไหลวนในระบบยังช่วยระบายความร้อนได้ดี ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิต่ำลง ระบบถังรวมเหมาะกับโรงงานที่มีความต้องการใช้น้ำมันหล่อเย็นในแต่ละงานใกล้เคียงกัน หรือสามารถปรับใช้ร่วมกันได้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดต้นทุนด้านการดูแลรักษาสภาพ และส่งผลให้ชิ้นงานมีระดับคุณภาพเท่าเทียมกัน



รูปที่ 2.7 เครื่องจักรในระบบถังแยก

(ที่มา : Rakic, 2002)



รูปที่ 2.8 ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นแบบถังรวม

(ที่มา : Rakic, 2002)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น

King Country (2000) อธิบายว่า องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการใช้งาน มีดังต่อไปนี้

- สารองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น รวมถึงสารเติมแต่งลดปริมาณลงเนื่องจากการสูญเสียจากการติดค้างไปกับชิ้นงาน หรือเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือกระเซ็นฟุ้งกระจายในอากาศ ดังนั้นจึงควรปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อทดแทนอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่สูญเสียไป
- การเจือปนของอนุภาคน้ำมันอื่นๆ ลงในถังพักน้ำมันหล่อเย็น เช่น น้ำมันไฮดรอลิก, น้ำมันลม (Air oil), น้ำมันสไลด์ (Way oil), น้ำมันเกียร์ (Gear oil) ในที่นี้จะรวมเรียกว่า น้ำมันสกปรก (Tramp oil) ซึ่งอาจติดตามท่อ หรือผิวเครื่องจักร และก่อให้เกิดความสกปรก
- จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ฟังไจ และแบคทีเรีย จะกัดกินสารอาหารในน้ำมันหล่อเย็น เจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังผลิตกรดเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม และเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นในน้ำมันหล่อเย็นด้วย
- ความร้อน แรงดันจากเครื่องจักร และการออกซิเดชัน ทำให้องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ตกตะกอนเป็นสารเหนียว
- การเจือปนของเศษโลหะ เศษตัดเฉือน รวมถึงโลหะกัดกร่อนที่อยู่ในรูปของสารละลาย
- การสะสมของแร่ธาตุจากสารประกอบในน้ำที่ใช้เจือจาง
- การฉีดพ่นและการไหลเวียนของน้ำมันหล่อเย็นในเครื่องจักร จะทำให้ของเหลวมีปริมาณออกซิเจนสูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดฟอง
- การปนเปื้อนของเศษขยะ ฝุ่น ดิน ลงในถัง

กล่าวสรุปได้ว่า น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะสูญเสียองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นกับน้ำ เนื่องจากสภาพการทำงาน และกระบวนการระเหยของน้ำ ตามลำดับ และปรากฏว่ามีสิ่งปนเปื้อนกับน้ำมันหล่อเย็นคือ น้ำมันสกปรก จุลินทรีย์ แร่ธาตุ เศษโลหะ เศษกลึง เป็นต้น ดังนั้นจึงจัดแบ่งสิ่งปนเปื้อนออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

- น้ำมันสกปรก
- ของแข็งปนเปื้อน
- จุลินทรีย์

2.6.1 น้ำมันสกปรก (Tramp oil)

น้ำมันสกปรก คือ น้ำมันอื่นๆ ที่ไม่ใช่องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น รั่วไหลหรือปนเปื้อนลงในถังพัก ถ้าในของเหลวมีปริมาณน้ำมันสกปรกมากเกินไป จะส่งผลให้

ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็นลดลง เช่น คุณสมบัติการหล่อเย็น ก่อให้เกิดละอองและควัน ปลดปล่อยสารประกอบซัลเฟอร์และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งน้ำมันหล่อเย็นเกิดความไม่เสถียรและสูญเสียสภาพการใช้งานในที่สุด น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นมี 2 ลักษณะคือ น้ำมันอิสระ (Free oil) และน้ำมันสกปรกกระจาย (Disperse tramp oil) น้ำมันอิสระมีขนาดอนุภาคโตกว่า 20 ไมครอน ส่วนน้ำมันกระจายมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5-20 ไมครอน (Arizona Department of Environmental Quality, 1996) ซึ่งน้ำมันสกปรกทั้งสองแบบต้องใช้เวลาการแยกสมบูรณ์ประมาณ 24 ชั่วโมง ชั้นน้ำมันอิสระที่ลอยปิดผิวหน้าถังเป็นระยะเวลานานจะทำให้แบคทีเรียแอนแอโรบิก (Anaerobic bacteria) หรือแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่าส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง นอกจากนี้ชั้นน้ำมันสกปรกที่ลอยปิดผิวหน้าของเหลวจะมีค่าพีเอชต่ำ เมื่อเทียบกับชั้นน้ำมันหล่อเย็นด้านล่าง ดังนั้นบริเวณนี้จึงเป็นแหล่งเพาะเชื้อแบคทีเรีย สะสมสารพิษ และสะสมอนุภาคโลหะ ดังนั้นการกำจัดน้ำมันสกปรกจึงควรกระทำอย่างสม่ำเสมอ

วิธีกำจัดน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็น สามารถกระทำได้ด้วยอุปกรณ์รีไซเคิลต่างๆ เช่น เครื่องกำจัดคราบน้ำมัน (Oil skimmer), ถังเร่งการรวมตัวของอนุภาค (Coalescer), ถังลอยอนุภาค (Flotation tank), เครื่องกรอง, เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นต้น

2.6.2 ของแข็งปนเปื้อน (Particulates)

โดยส่วนใหญ่ปริมาณของแข็งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นได้มาจากเศษกลึง, ฝุ่น, ผง และแร่ธาตุหรือไอออนที่ละลายในน้ำมันหล่อเย็น เศษกลึงที่มีขนาดใหญ่มักจะถูกดักกรองภายในระบบกรองของถังพัก หรือตกจมที่ก้นถัง ส่วนเศษกลึงที่มีขนาดเล็ก ฝุ่น ผง มักจะแขวนลอยอยู่ในของเหลว ถ้าเศษกลึงขนาดใหญ่สะสมตัวที่ก้นถังมีปริมาณมาก จะลดพื้นที่ความจุของของเหลว และเป็นแหล่งเพาะเชื้อของจุลินทรีย์ กลุ่มของโคโลนีเหล่านี้จะอุดตันไม่ให้น้ำมันหล่อเย็นสามารถเข้าถึงบริเวณแหล่งสะสมนี้ได้ โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำจัดเศษกลึงขนาดใหญ่คือ เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) หรือตะแกรงลวด หรือผ้ากรอง เป็นต้น ส่วนอนุภาคละเอียดที่แขวนลอยในน้ำมันตัดกลึงโลหะ จะทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำให้ผิวชิ้นงานมีความขรุขระ โดยอุปกรณ์ที่สามารถกำจัดอนุภาคแขวนลอยได้คือ เครื่องกรอง เป็นต้น

แร่ธาตุในน้ำจะอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนในของเหลว ซึ่งจะมีปริมาณสูงขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อของเหลวมีการใช้งานยาวนานขึ้น ส่งผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าของของเหลวเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยทั่วไปแร่ธาตุเหล่านี้จะไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีทางกายภาพ ดังการศึกษาวิจัยต่อไปนี้

Greeley และ Rajagopalan (2003) ได้ศึกษาวิเคราะห์แร่ธาตุชนิดต่างๆ ในน้ำมันหล่อเย็นก่อนและหลังกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นโดยเครื่องกวาดคราบน้ำมัน และ

เครื่องกรอง (ดังตารางที่ 2.1) ซึ่งพบว่า น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีธาตุจำพวกโซเดียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม , คลอรีน, เหล็ก, ทองแดง, และ ซัลเฟต เพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณแร่ธาตุจำพวกแคลเซียม และแมกนีเซียม ที่มีค่าสูงกว่าปริมาณค่าวิกฤติจะทำให้น้ำมันหล่อเย็นไม่เสถียรภาพ นอกจากนี้จากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก จะเห็นได้ว่ากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นดังกล่าวไม่สามารถกำจัดอนุภาคเหล็กได้ทั้งหมด

Mahdi และ Skold (1991) ได้ศึกษาวิเคราะห์ธาตุเหล็กเพื่อใช้เป็นตัวแปรกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งพบว่า น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีปริมาณเหล็กทั้งหมด 157 PPM ส่วนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นด้วยระบบอัลตราฟิลเตรชัน จะมีปริมาณเหล็กทั้งหมด 169 PPM ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเหล็กทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าธาตุเหล็กในน้ำมันหล่อเย็นจะอยู่ในรูปสารละลาย และไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นวิธีการนี้

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ในน้ำมันหล่อเย็น

Test fluids	Fe	B	P	Na	Ca	Mg	Al	Si	Cu	K	Cl^-	SO_4^{2-}
Fresh	<0.1	830	150	180	<1	<0.1	0.02	43	<0.1	11	4.4	28
Central system before recycling	71	1000	170	330	200	61	3.2	47	17	47	140	320
Central system after recycling	35	930	180	270	140	36	1.4	45	13	30	76	180
Fluid from cast iron sump	96	720	150	620	100	29	2.3	27	1.9	20	150	87

ที่มา : Greeley and Rajagopalan, 2003

2.6.3 จุลินทรีย์

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น ดังนั้นน้ำมันล้วนซึ่งไม่ต้องเจือจางด้วยน้ำ จึงมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าน้ำมันหล่อเย็นชนิดที่ต้องผสมน้ำ โดยแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็นคือ ดิน อากาศ และผิวหนังคน จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันหล่อเย็นคือ แบคทีเรีย และฟังไจ (ราและยีสต์)

ในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมและสารอาหารมีปริมาณมากเพียงพอ แบคทีเรียและฟังไจจะเพิ่มจำนวนได้เป็นสองเท่าในเวลาประมาณ 20-30 นาที และกัดกินสารองค์ประกอบในน้ำมันแร่ , สารอิมัลซิไฟเออร์, สารป้องกันการสึกหรอ, น้ำมันสกปรก และน้ำ หรือกัดกินสารอาหารประเภทไนเตรด, ฟอสเฟต, กรดไขมัน, เอมีน, เอไมด์, ธาตุหายาก (Trace Element) เป็นต้น ถ้าแบคทีเรียมีปริมาณมาก จะผลิตกรดและกลิ่นมากขึ้นด้วยและส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็นดังนี้

- น้ำมันหล่อเย็นมีความเสถียรลดลง

- ทำให้เกิดเมือก ซึ่งจะกลายเป็นน้ำมันสกปรกปนเปื้อนในถังพัก หรืออุดตันตามรอยต่อของเครื่องจักร
- ผิวชิ้นงานและโลหะเครื่องจักรมีคราบสีดำ เนื่องมาจากผลของการเกิดสารประกอบโลหะซัลไฟต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์
- มีความเสี่ยงต่อสารพิษ และสุขอนามัยของผู้ใช้งาน

โดยทั่วไปแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นคือ แบคทีเรียชนิดแอโรบิก (Aerobic bacteria) หรือแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ส่วนแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิก จะเจริญเติบโตขึ้นขณะที่น้ำมันหล่อเย็นไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากชั้นน้ำมันสกปรกจะลอยขึ้นมาปิดทับบริเวณผิวหน้าของถัง ทำให้ของเหลวภายในถังไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียชนิดแอโรบิกจะตาย ส่วนแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิก *Desulfovibrio desulfuricans* จะเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และกัดกินสารอาหารประเภทซัลเฟอร์ เช่น สารประกอบซัลเฟต และซัลโฟเนต (Sulfonate) และผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์ หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งมีกลิ่นเหม็นรุนแรงมาก ทั้งนี้แบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกที่เกิดขึ้นจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปแม้จะอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนก็ตาม

วิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็นกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเติมสารฆ่าเชื้อโรค (Biocide), การแผ่รังสีอัลตราไวโอเลต (UV radiation), การเติมโอโซน (Ozonization) และการให้ความร้อน เป็นต้น

2.6.3.1 การเติมสารฆ่าเชื้อโรค (Biocide) เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ผลรวดเร็ว ยาวนาน ใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบ คือ ทนต่ออุณหภูมิ และค่าพีเอชช่วงกว้างได้ เป็นต้น แต่เนื่องจากสารฆ่าเชื้อโรคมีราคาแพงเมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อเย็น และส่งผลกระทบเสียหายต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้สารฆ่าเชื้อโรคจึงไม่ใช่แนวทางที่เหมาะสมนัก

สารฆ่าเชื้อโรคบางชนิดเมื่อถูกออกซิไดส์จะปลดปล่อยสารกลุ่มฟอร์มาล์ดีไฮด์ (Formaldehydes) หรือกลุ่มไนไตร์ท (Nitrite) ซึ่งจะรวมตัวกับสารเอทาโนลาไมด์ (Ethanolamine) กลายเป็นสารไนโตรซาไมด์ (Nitrosamine) ซึ่งเป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในการใช้สารฆ่าเชื้อโรคให้เกิดประสิทธิภาพดี จึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณและจำนวนครั้งที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด เพื่อป้องกันอันตรายต่อผิวหนังสัมผัสและการสูดดมของผู้ใช้งาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเติมสารฆ่าเชื้อโรคที่ระดับความเข้มข้นสูงแต่น้อยครั้ง (300 PPM ต่อสัปดาห์) จะสามารถลดปริมาณแบคทีเรียให้ต่ำกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) ได้ ส่วนการเติมสารฆ่าเชื้อโรคที่ระดับความเข้มข้นต่ำแต่บ่อยครั้ง (60 PPM ต่อวัน) จะคงมีปริมาณแบคทีเรียในถังสูงถึง 10^8 CFU/ml (Iowa Waste Reduction Center, 2003)

วิธีการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อโรคที่ดีนั้น ควรศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารฆ่าเชื้อโรคและความเหมาะสมในการเลือกใช้ให้ละเอียดถี่ถ้วน เช่น ชนิดและชื่อของจุลินทรีย์ที่

ต้องการกำจัด ความเข้มข้น รูปแบบการใช้ ความสามารถในใช้งานได้กับน้ำมันหล่อเย็นนั้น นอกจากนี้ควรศึกษาทดลองการใช้ระดับความเข้มข้นกับปริมาณจุลินทรีย์และจดบันทึกปริมาณคงเหลือของแบคทีเรียไว้ เพื่อวางแผนการใช้งาน และข้อสำคัญของการใช้สารฆ่าเชื้อโรคคือ ควรสลับสับเปลี่ยนชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้ เพื่อป้องกันจุลินทรีย์ดื้อยา และสารฆ่าเชื้อโรคต้องกำจัดจุลินทรีย์ได้ครอบคลุมทุกชนิด เนื่องจากการกำจัดจุลินทรีย์เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งนั้นจะส่งผลให้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.6.3.2 การให้ความร้อน เป็นวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนชนิดจุลินทรีย์ออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (60-90°C) ในระยะเวลาอันสั้น และลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว คล้ายกับวิธีการทำพาสเจอไรซ์ (Pasteurization) ในน้ำนม วิธีการให้ความร้อนมีข้อดีคือ น้ำมันหล่อเย็นสะอาด ปราศจากจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำมันสกปรก ลดกลิ่นเหม็นไข่เน่า และลดการดูแลรักษาสภาพเครื่องมือ แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพง และลงทุนสูงมาก

2.6.3.3 การแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV radiation) รังสีอุลตร้าไวโอเลตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงขาวกับรังสีเอกซเรย์ แบ่งแยกย่อยเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ UVa, UVb และ UVc โดยรังสี UVc ความยาวคลื่นระหว่าง 200-280 นาโนเมตร จะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค โดยจะแทรกซึมเข้าไปทำลายเยื้อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ ข้อสำคัญของการแผ่รังสีคือ ขนาดปริมาณรังสีที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการใช้งานจึงต้องควบคุมขนาดให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันอันตรายให้กับผู้ใช้ สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเปล่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานคือ 40 °C และหลอดรังสีต้องห่อหุ้มด้วยแก้วควอรตซ์ (Quartz glass sleeve) เพื่อป้องกันการสัมผัสกับน้ำโดยตรง ส่วนการใช้งานในน้ำมันหล่อเย็นไม่ต้องหุ้มด้วยวัสดุดังกล่าว นอกจากนี้ ความขุ่น และสารอินทรีย์ ก็มีผลลดประสิทธิภาพการทำงานของหลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลต จึงควรมีกระบวนการคัดแยกสิ่งเหล่านี้ก่อน เช่น การกรอง เป็นต้น

Johnson DL และ Philips ML. (2002) ทำการศึกษาทดลองการฆ่าเชื้อโรคในน้ำมันหล่อเย็นชนิดอิมัลชัน โดยใช้หลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลตแบบเปลือย จากผลการทดลองพบว่าการแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลตสามารถลดปริมาณเชื้อโรคในน้ำได้ 2 logs (>99%) ในเวลา 30 วินาที และสามารถลดปริมาณเชื้อโรคในน้ำมันหล่อเย็นได้ 2 logs ในเวลาประมาณ 60 นาที

2.7 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานจะมีสิ่งปนเปื้อนเกิดขึ้นอันจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพการใช้งาน และทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ในการใช้งานนอกจากจะมีการควบคุมและดูแลรักษาสภาพ โดยการปรับค่าพีเอช และค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมแล้ว ควรจัดให้มีกระบวนการวิเคราะห์และกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น เพื่อให้น้ำมันหล่อเย็นมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี และสภาพแวดล้อมในการทำงานสะอาด

กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่หรือกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ควรกระทำทุก 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานนั้นๆ ด้วย โดยเป้าหมายของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อเย็นที่สะอาด มีสมบัติเหมือนน้ำมันหล่อเย็นใหม่ ยืดอายุการใช้งานได้ (มากกว่า 1-2 ปี) กำจัดปัญหาของเสียฝังกลบ ลดต้นทุนการผลิต และป้องกันการเกิดโรค ทั้งนี้กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่อาจเกิดขึ้นจากอุปกรณ์รีไซเคิลตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปมารวมกัน ซึ่งอาจเป็นรูปแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable equipment) หรือแบบเคลื่อนที่ไม่ได้ (Non-portable equipment) โดยหัวใจสำคัญของอุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นคือ มีวิธีการใช้งานและการบำรุงรักษาอย่างง่าย

Iowa Waste Reduction Center (2003) อธิบายว่า กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่ก็ได้ แต่ต้องไม่อยู่ในช่วงเวลาที่ของเหลวหมดสภาพการใช้งาน ซึ่งจะปรากฏลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

- พีเอชต่ำกว่า 8.0
- ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นต่ำกว่า 2%
- ของเหลวมีสีเทาเข้มจนถึงสีดำ
- ของเหลวมีกลิ่นเหม็นรุนแรง

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น เช่น พีเอช ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นและปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เป็นต้น สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้ว และเพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานอยู่ ดังนั้นแต่ละโรงงานจึงควรมีวิธีวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ให้เหมาะสมและแปลความหมายจากค่าต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าดูแลรักษาสภาพ ให้ชิ้นงานมีคุณรูปที่ดี และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ

2.7.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น สามารถรวบรวมวิธีการต่างๆ ที่สำคัญ 10 ประการดังนี้คือ

2.7.1.1 ค่าพีเอช (pH) หรือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สภาพของน้ำมันหล่อเย็นที่ดีที่สุด ดังนั้นการวัดวิเคราะห์ค่าพีเอชจึงควรกระทำ

เป็นประจำทุกวันเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น โดยถ้าค่าพีเอชที่วัดได้ในแต่ละวันมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าน้ำมันหล่อเย็นนั้นอยู่ในสภาพดี แต่ถ้าค่าพีเอชมีค่าเปลี่ยนแปลงจากสภาพน้ำมันใหม่มาก ควรหาสาเหตุและปรับแก้ไขทันที เช่น ถ้าค่าพีเอชมีค่าต่ำเกินไปอาจเนื่องมาจากของเหลวอยู่ในสภาพเจือจางเกินไป หรือมีปริมาณจุลินทรีย์มากเกินไป สภาพเช่นนี้จะทำให้โลหะกลุ่มเหล็กเกิดการผุกร่อนละลายในของเหลว และเกิดสนิมบนผิวโลหะได้ง่าย แต่ถ้าค่าพีเอชมีค่าสูงเกินไปอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไปหรือมีการปนเปื้อนของสารที่เพิ่มความเป็นด่าง เช่น สารทำความสะอาด เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ระคายเคืองต่อผิวสัมผัส และโลหะนอกกลุ่มเหล็กผุกร่อนละลายในของเหลวได้ง่าย

ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่าย อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชของงานตัดเฉือนโลหะโดยทั่วไป ไม่ควรอยู่นอกช่วงที่กำหนดไว้ (ดังตารางที่ 2.2)

วิธีการวัดค่าพีเอชในน้ำมันหล่อเย็นสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส (Litmus paper) หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) โดยการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจะเป็นวิธีการที่ง่าย ราคาถูก แต่มีความแม่นยำน้อย เมื่อเทียบกับวิธีการวัดด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช

ตารางที่ 2.2 ช่วงของค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานตัดเฉือนทั่วไป

ผู้กำหนด	ช่วงของค่าพีเอช
Institute of Advanced Manufacturing Sciences	8.0-9.0
Monroe Fluid Technology; ISO 9001 Certified	8.0-9.5
Cincinnati Milacron Products Division (1996)	8.8-9.2
Pollution Prevention in Machining and Metal Fabrication (2001)	8.9-9.2
Greg Foltz and Milacron Inc (2002)	8.5-9.2
Iowa Waste Reduction Center (2003)	8.6-9.0
Anderson et al. (2003)	8.5-9.0

2.7.1.2 ค่าการนำ (Conductivity) หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ของน้ำมันหล่อเย็น สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) มีหน่วยเป็น มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (milli Siemens/cm , mS/cm) ค่าการนำไฟฟ้าจะแปรผันตามปริมาณไอออนในน้ำมันหล่อเย็น โดยทั่วไปน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้เจือจางจะสะสมเพิ่มปริมาณในน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้คุณสมบัติการหล่อเย็นต่ำลง นำไปสู่ปัญหาการ

ตกตะกอน และเกิดความไม่เสถียรของอิมัลชันในที่สุด โดยน้ำมันหล่อเย็นที่มีสภาพไม่เสถียร จะมีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงกว่า 4-5 mS/cm (Greg and Milacron Inc., 2002)

2.7.1.3 ค่าความเข้มข้น (Concentration) หมายถึง ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดจำเป็นต้องควบคุมให้เหมาะสมกับการทำงานและชนิดของวัสดุชิ้นงาน เพื่อรักษาคุณภาพของชิ้นงาน ยืดอายุการใช้งานของมีดกลึง และควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปความร้อนจากการตัดเฉือนจะเป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการระเหยของน้ำประมาณ 3-10% ต่อวัน และอนุภาคของน้ำมันอาจเกิดการกระเซ็น ฟุ้งกระจาย หรือติดค้างไปกับชิ้นงาน ทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลงประมาณ 5-20% ต่อวัน (Iowa Waste Reduction Center, 2003) จึงควรมีการตรวจเช็คและปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นทุกวัน การใช้งานที่ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนน้ำมันหล่อเย็นใหม่และค่าการกำจัด และยังทำให้คุณสมบัติหล่อเย็นลดลง เกิดปัญหาเรื่องฟอง เกิดตะกอนและคราบบนผิวงาน ของเหลวความเป็นพิษสูงขึ้น ระคายเคืองต่อผิวหนัง และสิ่งแวดล้อมในการทำงานเลวลง แต่ถ้าค่าความเข้มข้นของน้ำมันต่ำเกินไป จะทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นต่ำ อายุการใช้งานของน้ำมันและมีดกลึงสั้นลง จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี และก่อให้เกิดสนิมบนผิวโลหะเครื่องจักรและมีดกลึง

วิธีการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น กระทำได้ 4 วิธีดังนี้

- วัดด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก พกพาได้สะดวก เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม รีแฟรคโตมิเตอร์ใช้หลักการของค่าดัชนีหักเหของแสง โดยค่าดัชนีหักเหของแสง หมายถึง การวัดปริมาณแสงที่โค้งเบนจากแนวตกกระทบ ค่านี้จึงสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นและองค์ประกอบทางเคมีของของเหลว และนำไปสู่ความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีสิ่งปนเปื้อนเกิดขึ้น ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ความแม่นยำในการอ่านค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการวัดด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ถือว่าเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นในงานวิจัย (Mahdi และ Skold, 1991)
- วิธีการเติมกรดตามด้วยเหวี่ยงแยก (Acid split/Centrifuge) วิธีการนี้ใช้ทดสอบเฉพาะน้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์ และโซลูเบิลออยล์ โดยมีวิธีการคือ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงในของเหลวเพื่อทำลายสภาพอิมัลชัน จากนั้นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของน้ำมันจะแยกตัวและลอยอยู่บนชั้นน้ำ (ORC, 1999)
- วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเฉพาะในน้ำมันหล่อเย็น วิธีนี้จะศึกษาปริมาณขององค์ประกอบบางตัวในน้ำมันหล่อเย็น เพื่อเป็นตัวแทนความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น แต่วิธีการนี้มักเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากองค์ประกอบนั้นอาจถูกทำลายไปภายหลังจากการทำงาน เช่น การวิเคราะห์ธาตุโบรอน เพื่อหาค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งสามารถหา

ได้จากวิธีคาลอริเมตริก (Calorimetric) หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS) หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกอิมิชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Emission spectroscopy, AAS) ความคลาดเคลื่อนจะเกิดจากแบคทีเรียกัดกินสารประกอบโบรอนแอสิดเอไมด์ (boron acid amide) ทำให้ปริมาณโบรอนไม่สมดุลกับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น

O การไตเตรต (Chemical titration) เป็นวิธีการไตเตรตองค์ประกอบในน้ำมันหล่อเย็นเทียบกับองค์ประกอบที่ทราบความเข้มข้นแล้ว โดยน้ำมันหล่อเย็นที่จะไตเตรตต้องเจือจางด้วยน้ำเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสี หรืออาจไตเตรตโดยวิธีโพเทนซิโอเมตริก (Potentiometric method) เช่นเดียวกับวิธีวัดความกระด้างทั้งหมด

2.7.1.4 ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity) เป็นการวัดความเข้มข้นของสารที่มีสภาพเป็นด่างหรือมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 ทั้งหมด โดยการไตเตรตของเหลวที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งของเหลวมีค่าพีเอชประมาณ 4 (Cincinnati Milacron Products Division, 1996) ค่าความเป็นด่างที่ดีที่สุดสำหรับน้ำมันหล่อเย็นใดๆ คือค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำมันหล่อเย็นใหม่เมื่อของเหลวมีค่าพีเอช และค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสม การวิเคราะห์ค่านี้ควรกระทำเป็นประจำต่อเนื่องกันจะสามารถบ่งชี้ปริมาณการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อน และความไม่เสถียรของอิมัลชันได้ สำหรับการวัดค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นสังเคราะห์ จะสามารถใช้เป็นวิธีการหาความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นได้เลย โดยทั่วไปองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นที่มีสภาพความเป็นด่าง ได้แก่ เอมีน, สารฆ่าเชื้อโรค, โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารป้องกันการสึกหรอ เป็นต้น ถ้าค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากของเหลวได้รับสิ่งปนเปื้อน เช่น น้ำมันสกปรก น้ำกระด้าง สารทำความสะอาด เป็นต้น หรือมีค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป แต่ถ้าค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำมันหล่อเย็นต่ำลง จะแสดงว่าของเหลวอยู่ในสภาพเจือจางเกินไป

2.7.1.5 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก (%Tramp oil) เป็นการวิเคราะห์ค่าปริมาตรน้ำมันชนิดอื่นๆ หรือน้ำมันสกปรกเทียบกับปริมาตรของเหลวทั้งหมด โดยกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นในตารางที่ 2.3 ถ้าน้ำมันหล่อเย็นมีปริมาณน้ำมันสกปรกในปริมาณมาก จะส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอน คุณสมบัติการหล่อเย็นลดลง เกิดละอองและควัน เป็นอาหารแก่จุลินทรีย์ และส่งผลให้ประสิทธิภาพการตัดเฉือนโลหะลดลง ดังนั้นในการใช้งานจึงควรกำจัดน้ำมันสกปรกให้มีปริมาณต่ำที่สุด

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์กำหนดเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	น้ำมันหล่อเย็นใช้งานได้
<2% (Mac, 2002 และ Health and Safety Executive : HSE, 2006)	<10% (Iowa Waste Reduction Center, 1996)

การวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกสามารถกระทำด้วยวิธีการทางอ้อมคือ การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดลบออกด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำมันหล่อเย็นในของเหลว (Cincinnati Milacron Product Division, 1996) ดังสูตร

%น้ำมันสกปรก = %น้ำมันทั้งหมด – (ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น x อัตราส่วนน้ำมันในน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้น)

ส่วนวิธีการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดมี 2 วิธีคือ 1) วิธีเติมกรดตามด้วยหมุนเหวี่ยง (Acid split/Centrifuge) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.8.1.3 ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาน้อย 2) วิธีสกัดด้วยกรวยแยก (Partition Gravimetric Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลานาน แต่มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับงานทดลองในห้องปฏิบัติการ และผู้ทดสอบควรมีทักษะและความระมัดระวังเป็นอย่างดี โดยมีหลักการคือ ปรับค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นให้เป็นกรดน้อยกว่า 2 สกัดน้ำมันและไขมันด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม ในกรวยแยก จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักหาปริมาณน้ำมันและไขมัน

2.7.1.6 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid; TSS) เป็นที่ทราบกันแล้วว่า ของแข็งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นบางส่วนอยู่ในรูปของสารละลาย ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีการทางกายภาพ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาสิ่งปนเปื้อนชนิดของแข็งแขวนลอยโดยเฉพาะ

ถ้าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นมีมากเกินไป จะส่งผลให้เกิดคราบที่ผิวชิ้นงาน และลดการกระจายความร้อนของน้ำมันหล่อเย็น จึงควรกำจัดออกไปให้มีปริมาณน้อยที่สุดเช่นเดียวกับน้ำมันสกปรก และจุลินทรีย์ โดยมีผู้กำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นหลังผ่านการตกตะกอนหรือการหมุนเหวี่ยงไว้ดังตารางที่ 2.4

ORC (1996) อธิบายว่า ของแข็งแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ด้วยวิธีการกรอง หรือการตกตะกอน ส่วนวิธีการวัดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยสามารถกระทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ

1) การกรอง โดยการกรองน้ำมันหล่อเย็นผ่านกระดาษกรอง ซึ่งโดยทั่วไปใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูกรอง 8 ไมครอน แต่จากการค้นพบเมื่อเร็วๆ นี้พบว่าอนุภาคที่เล็กกว่า 8 ไมครอน เป็นปัญหาให้แก่ผิวงานตัดเฉือนเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ORC ยังเสนอแนะวิธีการคำนวณแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของน้ำมันหล่อเย็นด้วยการกรองกับกระดาษกรองหลายๆ ขนาด เช่น 1, 8, 20 และ 40 ไมครอน ตามลำดับ

2) การหมุนเหวี่ยง โดยการหมุนเหวี่ยงของแข็งด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งวิธีการนี้สามารถตกตะกอนของแข็งแขวนลอยละเอียดได้ถึงอนุภาคประมาณ 1 ไมครอน มีหน่วยเป็นพีพีเอ็มโดยปริมาตร (PPM by volume)

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์กำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้
After centrifuge 1,500 rpm <300 PPM (Mac, 2002)	<1,000 PPM (Foltz, 2002)
<100 PPM (HSE, 2006)	<1,000 PPM (Cincinnati Milacron Production Division, 1996)

2.7.1.7 ค่าปริมาณแบคทีเรีย (Bacteria count) เป็นที่ทราบกันแล้วว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันลดลง และความไม่เสถียรของอิมัลชัน นำมาสู่การสูญเสียสภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น ในการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์จึงใช้แบคทีเรียเป็นตัวแทนการศึกษา โดยเกณฑ์กำหนดปริมาณแบคทีเรียดังนี้

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์กำหนดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้
$<10^3$ CFU/ml (ORC, 1996, HSE, 2006)	$<10^5$ CFU/ml (ORC, 1996, King Country, 2000, Foltz, 2002)
	10^4-10^6 CFU/ml (HSE, 2006)

วิธีการวัดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็นมี 3 วิธีด้วยกัน คือ

- จานเลี้ยงเชื้อ (Dilution Plate Count) เป็นวิธีการเพาะเชื้อแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อ เช่น วุ้นเลือด (Blood agar) หรือวุ้นสกัดจากมอลล์ (Malt extract agar) เป็นต้น ซึ่งต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคเป็นอย่างดี จากนั้นเก็บจานที่เพาะเชื้อแล้วในอุณหภูมิประมาณ 30 $^{\circ}$C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ มีลักษณะเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า โคโลนี (Colony) วิธีการอ่านค่าปริมาณแบคทีเรียโดยการนับจำนวนโคโลนีคูณด้วยค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เจือจาง มีหน่วยเป็น CFU/ml
- ดิฟสไลด์ (Dip slides) เป็นวิธีการเพาะเชื้อแบคทีเรียลงบนแท่งพลาสติกซึ่งเคลือบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้ออาจมีด้านเดียวหรือสองด้านก็ได้ (ใช้เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและฟังไจ) วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ทดสอบปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น เพราะเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกไม่ต้องเจือจางน้ำ มีวิธีใช้คือ จุ่มแท่ง Dip slides ลงน้ำมันหล่อเย็น ฟิล์มของน้ำมันหล่อเย็นจะเคลือบบนผิวอาหาร เก็บแท่ง Dip slides ไว้ในที่ปลอดเชื้อ

เช่น บรรจุลงในหลอดที่มีฝาปิดสนิท ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 27-30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแบคทีเรียจะเจริญเติบโตกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การอ่านค่าจำนวนโคโลนี โดยเทียบกับรูปภาพตัวอย่าง มีหน่วยเป็น CFU/ml

O วัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) เป็นการวิเคราะห์จากปริมาณออกซิเจนที่คงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น อันเนื่องมาจากแบคทีเรียใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยมีวิธีการวัดคือ อ่านค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำมันหล่อเย็นในช่วงเวลาต่างกัน 2 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณการเปลี่ยนแปลง และเทียบเป็นปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น ถ้าปริมาณออกซิเจนในการอ่านค่าครั้งที่สองมีค่าต่ำกว่า 6 PPM นั่นหมายความว่า ปริมาณแบคทีเรียมีมากเกินไป ควรได้รับการทำความสะอาดและกำจัดจุลินทรีย์อย่างเร่งด่วน (ORC, 1996)

2.7.1.8 ค่าปริมาณเหล็กทั้งหมด

Mahdi and Skold (1991) อธิบายว่า สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วคือ น้ำมันสกปรก, เศษตัด และจุลินทรีย์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมด จะสามารถใช้เป็นตัวแทนของสิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะในน้ำมันหล่อเย็นได้

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมด สามารถกระทำได้ด้วยเครื่อง Inductive Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS) หรือ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

2.7.1.9 ขนาดเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็น (Average particle size and Particle size distribution)

Mang และ Dresel (2001) อธิบายว่า ขนาดและความสม่ำเสมอของอนุภาคทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้สำหรับบ่งบอกความสามารถในการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น (ดังตารางที่ 2.6) โดยงานตัดเฉือนละเอียดจะต้องการอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กเพื่อให้มีคุณสมบัติการหล่อลื่น และให้น้ำแทรกตัวเพื่อหล่อเย็นได้เพียงพอ ส่วนงานตัดเฉือนหยาบก็จะมีช่องว่างโต อนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่สามารถแทรกตัวได้ นอกจากนี้ความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็นจะมีส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานตัดกลึง

ตารางที่ 2.6 ขนาดของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ

ชนิดของงาน	ขนาดอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสม
ผิวงานละเอียด	0.1-0.01 ไมครอน
ผิวงานหยาบ	0.1-10 ไมครอน

2.7.1.10 ความเสถียรของอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำมีสภาพเป็นของเหลวอิมัลชัน ความเสถียรจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงสภาพที่สามารถใช้งานได้ น้ำมันหล่อเย็นที่มีความเสถียรของอิมัลชันแสดงถึงการมีคุณสมบัติการหล่อลื่นและป้องกันสนิม (Deluhery and Rajagopalan, 2005) ความไม่เสถียรในน้ำมันหล่อเย็นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจาก

ปริมาณเกลือไอออนในน้ำมันหล่อเย็นมากจนเกินไป เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม เป็นต้น หรือเกิดจากจุลินทรีย์กัดกินสารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานอนุภาคน้ำมันให้เข้ากันกับน้ำได้ดี ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันมากขึ้นและเกิดการแยกตัวของชั้นน้ำมันออกจากชั้นน้ำ

วิธีการทดสอบความเสถียรกระทำได้ด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ของเหลวที่มีสภาพไม่เสถียร จะแสดงการแยกตัวของชั้นน้ำ ชั้นน้ำมันและชั้นครีมออกจากกัน (ORC, 1999)

2.7.2 อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น (Recycling Equipment)

วิธีการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นมีหลายวิธีการด้วยกัน ในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นในงานอุตสาหกรรมมักใช้วิธีการทางกายภาพ (ดังภาพที่ 2.7) เนื่องจากต้องการเครื่องมือที่ใช้งานและดูแลรักษาง่าย การเลือกใช้วิธีการหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมในโรงงาน ควรต้องพิจารณาถึงรูปแบบการทำงาน ลักษณะของปัญหา ปริมาณสิ่งปนเปื้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ ความต้องการประสิทธิภาพการกำจัด ความสามารถในการใช้งานกับน้ำมันหล่อเย็น ความง่ายและเหมาะสม และความคุ้มค่าต่อการลดทุน

2.7.2.1 ถังตกตะกอน เป็นอุปกรณ์กำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยหลักการอย่างง่ายคือ การคัดแยกสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นโดยการปล่อยอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลก อนุภาคจะลอยหรือจมเป็นไปตามกฎของสโตก ภายในถังตกตะกอนจะประกอบด้วยตะแกรง (Baffle) ซึ่งทำหน้าที่รองรับการตกจมของอนุภาคหนักลงสู่ก้นถัง และกำจัดเศษตะกอนเหล่านั้นโดยใช้สายพานลำเลียง (Chip conveyer) ด้านบนจะมีเครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer) ใช้สำหรับกวาดคราบน้ำมันสกปรกที่ลอยบนผิวหน้าของของเหลว

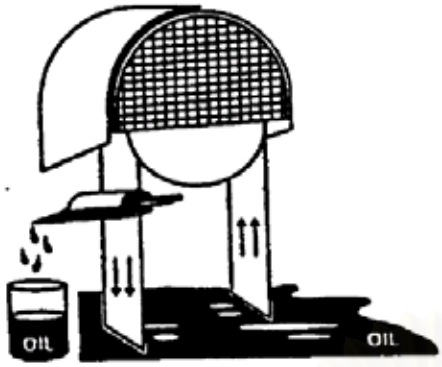
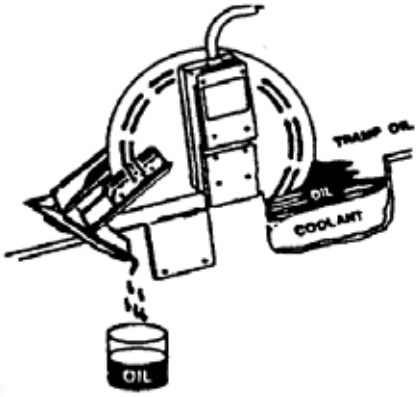
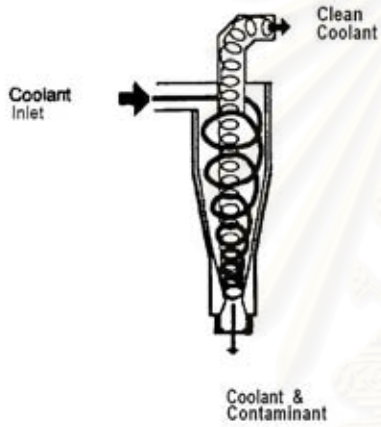
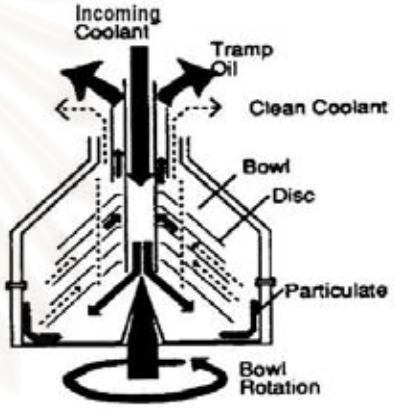
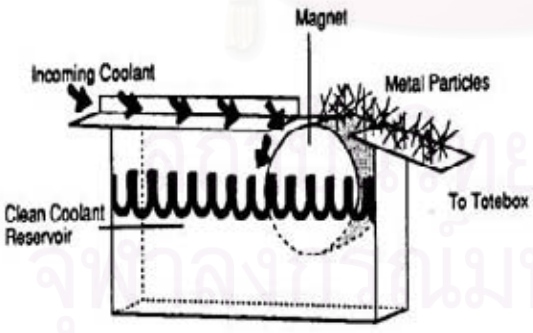
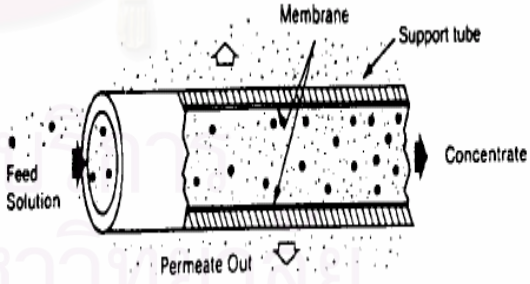
2.7.2.2 เครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer) เป็นอุปกรณ์กำจัดคราบน้ำมันสกปรกชนิดน้ำมันอิสระ ซึ่งมีขนาดอนุภาคโตและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเหลวอย่างรวดเร็ว โดยการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน เช่น พลาสติก ทำหน้าที่ดูดซับน้ำมันที่ผิวหน้าของเหลว และปาดออกด้วยมีดปาด (Blade) ลงในถังรองรับ เครื่องกวาดคราบน้ำมันอาจใช้งานร่วมกับถังตกตะกอน หรือถังโคเอเลสเซอร์ (Coalescer) มีหลายแบบด้วยกัน เช่น เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดสายพาน (Belt skimmer) มีลักษณะเป็นสายพานดูดติดคราบน้ำมันสกปรกที่ผิวหน้าของเหลว (ดังรูปที่ 2.9a), เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดจาน (Disc skimmer) มีลักษณะเป็นจานแบนหมุนได้ วางต่ำกว่าระดับผิวน้ำ มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคน้ำมันกระจายและอนุภาคน้ำมันอิสระได้ (ดังรูปที่ 2.9b) และเครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดแท่ง (Tube skimmer) นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กอาจใช้อุปกรณ์กวาดคราบน้ำมันชนิดหมอน (Pillow) หรือเส้นใย (Fibrous) เป็นตัวดูดซับน้ำมันบนผิวหน้า เครื่องกวาดคราบน้ำมันมีอัตราการทำงานคงที่ โดยทั่วไปประมาณไม่กี่แกลลอนต่อชั่วโมง แต่อาจเพิ่มอัตราการกำจัดน้ำมัน

สกปรกได้ โดยการเลือกใช้วัสดุดูดติดที่เป็นชั้นฟิล์มบาง ทำจากเส้นใยที่มีอานุภาพดูดติดน้ำมันสูง และมีพื้นที่กักเก็บมาก

ตารางที่ 2.7 อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น

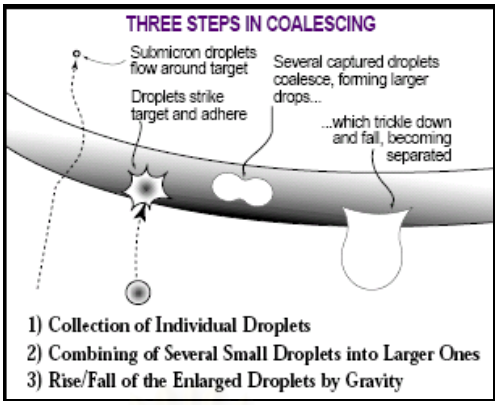
อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น	ความสามารถในการคัดแยกได้		
	น้ำมันสกปรก	ของแข็งแขวนลอย	จุลินทรีย์
ถังตกตะกอน	✔	✔	
เครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer)	✔		
ถังเร่งการรวมตัว (Coalescer)	✔		
ถังลอยอนุภาค (Flotation Tank)	✔	✔	
เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator)		✔	
ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)		✔	
เครื่องหมุนเหวี่ยง	✔	✔	✔
เครื่องกรอง	✔	✔	✔
เครื่องกรองเมมเบรน (Membrane filter)	✔	✔	✔
หลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV lamp)		✔	

2.7.2.3 ถังเร่งการรวมตัว (Coalescer) เป็นอุปกรณ์สำหรับเร่งการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันสกปรกกระจาย และของแข็งแขวนลอยบางชนิดให้แยกตัวออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยตัวกลาง (Coalescing media) ที่มีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน (Oleophilic) เช่น พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน โพลียูรีเทน เป็นต้น เป็นตัวกลางสกัดกั้นอนุภาคน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น หลักการทำงานของถังโคเอเลสเซอร์คือ ให้น้ำมันหล่อเย็นไหลเข้าสู่ถังโคเอเลสเซอร์ด้วยอัตราการไหลต่ำและคงที่ เพื่อให้อนุภาคของน้ำมันสกปรกมีสภาพนิ่ง อนุภาคน้ำมันสกปรกที่ไหลผ่านตัวกลางจะเกาะติดที่ผิวตัวกลาง และสะสมจนมีปริมาณมากพอ จึงก่อตัวเป็นชั้นและหลุดลอยขึ้นสู่ผิวหน้าอย่างรวดเร็วเป็นไปตามกฎของสโตก (ดังรูปที่ 2.10) ส่วนอนุภาคของแข็งหรือสารอินทรีย์ ซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าของเหลว จะตกจมลงสู่ก้นถัง หรือติดค้างตามช่องพรุนซึ่งอาจเป็นบริเวณสะสมเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ได้ ปัจจัยสำคัญที่สุดของกระบวนการเร่งการรวมตัวคือ การเลือกตัวกลาง ซึ่งควรเลือกตัวกลางที่มีความพรุนสูง หรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่ใกล้เคียงกับอนุภาคของสิ่งที่ต้องการแยก จะทำให้เกิดกระบวนการสกัดกั้นที่มีประสิทธิภาพสูง

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดสายพาน
(Belt skimmer)</td><td>(b) เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดจาน
(Disc skimmer)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(c) ไฮโดรไซโคลน
(Hydrocyclone)</td><td>(d) เครื่องหมุนเหวี่ยง
(Centrifuge)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(e) เครื่องแยกสารแม่เหล็ก .
(Magnetic separator)</td><td>(f) อัลตราฟิลเตรชัน
(Ultrafiltration)</td></tr>
</table>

รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น (Recycling Equipment)

(ที่มา : Institute of Advanced Manufacturing Sciences)



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของตัวกลางโคเอเลสเซอร์
(www.acsseparation.com)

ประพนธ์ แซ่ตัน (2527) อธิบายว่า ของเหลวอิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้น หรือประสิทธิภาพของถังโคเอเลสเซอร์ลดต่ำลง เนื่องมาจากปัจจัย 3 ประการด้วยกันคือ

1) การกวนหรือผสมของเหลว
2) ของเหลวมีสารลดความตึงผิว (Surfactant)
3) อนุภาคของแข็งที่เกาะบริเวณผิวน้ำมันสกปรกมีประจุ จึงผลักกันทำให้ของเหลวมีการกระจายตัวของอนุภาคมากขึ้น

Chieu, Schechter, Humenick และ Gloyna (1975) ทำการศึกษาทดลองการแยกน้ำมันสกปรกหลอมรวมเป็นอิมัลชันในของเสียอุตสาหกรรม โดยใช้ถังโคเอเลสเซอร์ (Coalescer) ขนาด 6x6x6 นิ้ว ภายในบรรจุโพลีเอสเทอร์, โพลีโพรพิลีน, แผ่นเส้นใยแก้ว (Glass mats), ทรายและใยแก้ว (Sand and Glass wool) ซึ่งล้วนมีคุณสมบัติเปียกด้วยน้ำมันทั้งสิ้น ความหนาตัวกลางประมาณ 0.35 นิ้ว ผลปรากฏว่า ถังโคเอเลสเซอร์สามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกที่หลอมเป็นอิมัลชันได้มากกว่า 90% ณ ระดับความเข้มข้นของน้ำมันในช่วง 100-300 PPM by volume อัตราการไหล 10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ความลึกของตัวกลางจากผิวน้ำ 2.5 เซนติเมตร

Boam (2003) อธิบายว่า อนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตรจะสามารถแยกออกจากของเหลวได้ง่าย โดยใช้ถังตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง แต่ในการแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอนนั้น ต้องใช้เวลาในการแยกนาน โดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน จะเป็นอนุภาคกระจายที่มีความเสถียร ถังโคเอเลสเซอร์มี 4 แบบด้วยกัน คือ

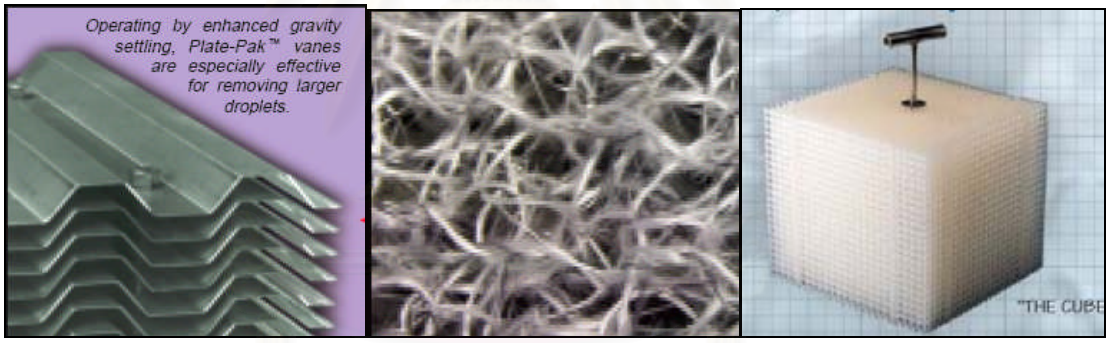
1) โคเอเลสเซอร์แบบแผ่น (Plate coalescer) มีลักษณะเป็นหน่วยลูกบาศก์ ภายในบรรจุแผ่นพลาสติกเอียง ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นตัวกลาง (ดังรูปที่ 2.11a) รูปแบบนี้เหมาะกับใช้แยกอนุภาคที่มีขนาดอนุภาคโตกว่า 100 ไมครอน มีข้อดีคือ ราคาถูก ดูแลรักษา

ง่าย และมีความเสถียร แต่มีข้อเสียคือ ในสภาวะที่ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของ 2 เฟสน้อย (< 50 kg/m^3) จะทำงานได้ไม่ดี

2) โคเอเลสเซอร์แบบไฟเบอร์ (Fiber/Mesh coalescer) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะย่อย คือ แบบลวดถัก (Mats woven fiber/mesh) (ดังรูปที่ 2.11b) และแบบคาร์ทริด (Cartridge) มีข้อดีคือ ติดตั้งง่าย ราคาถูก สามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 25 ไมครอนได้

3) โคเอเลสเซอร์แบบอัด (Packed coalescer) มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมความพรุนสูง (ดังรูปที่ 2.11c) มีโครงสร้างเป็นพลาสติกของแข็ง สามารถใช้กับของเหลวที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่มากเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้รูพรุนของตัวกลางอุดตัน มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 25 ไมครอน

4) โคเอเลสเซอร์แบบเมมเบรน (Membrane coalescer) ทำจากวัสดุรูพรุนแข็ง ปลายปิด หลักการทำงานคือ ของเหลวจะไหลขนานกับความยาวเมมเบรน และกระจายออกในแนวรัศมี ผ่านผนังของเมมเบรน โคเอเลสเซอร์แบบเมมเบรนสามารถคัดแยกอนุภาคน้ำมันสกปรกที่มีขนาดแน่นอน ขึ้นกับขนาดของรูพรุน โดยมีความสามารถในคัดแยกอนุภาคขนาดเล็กถึง 0.1 ไมครอนได้ มีข้อดีคือ ทนทาน สามารถใช้งานยาวนาน แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพง และมักเกิดการอุดตัน



(a) (b) (c)

รูปที่ 2.11 ตัวกลางเร่งการรวมตัว (Coalescing media)

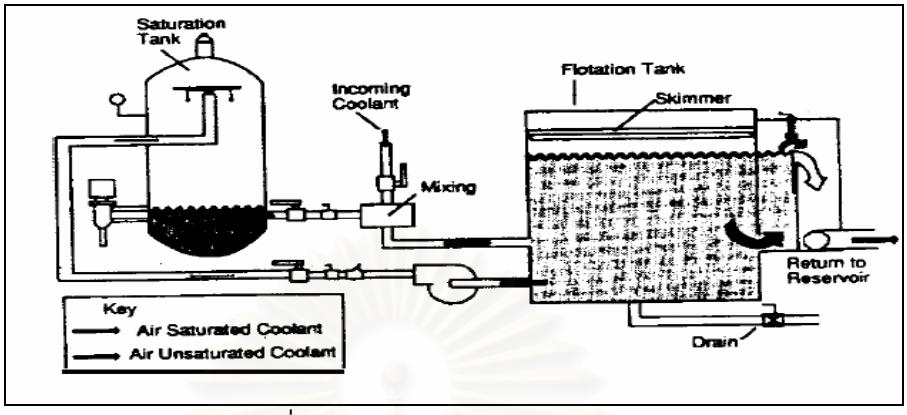
(a) Plate coalescing media (www.acsseparation.com)

(b) Mesh coalescing media (www.acsseparation.com)

(c) Packed coalescing media (www.hohcorp.com)

2.7.2.4 ถังลอยอนุภาค (Flotation tank) เป็นถังสำหรับลอยอนุภาคสิ่งปนเปื้อนขึ้นสู่ผิวหน้า โดยทั่วไปใช้สำหรับกำจัดอนุภาคน้ำมันหรือไขมันรวมทั้งอนุภาคของแข็งขนาดเล็กบางชนิด การใช้งานถังลอยมักใช้ต่อเนื่องจากอุปกรณ์แยกสิ่งปนเปื้อนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ถังตกตะกอน เป็นต้น หลักการทำงานของถังลอยอนุภาค (ดังรูปที่ 2.12) คือ การเติมอากาศจากถังเติมอากาศด้วยแรงดันสูงเข้าผสมกับน้ำมันหล่อเย็น จากนั้นลดความดันลง อากาศจะถูกปลดปล่อยออกมาจากของเหลวในรูปฟองอากาศเข้าสู่ถังลอยและจับกับอนุภาค

สิ่งสกปรกในถังลอย และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของของเหลว ซึ่งด้านบนจะติดตั้งเครื่องกวาดคราบน้ำมันทำหน้าที่กำจัดอนุภาคสิ่งสกปรกที่ลอยขึ้นสู่ผิวหน้า



รูปที่ 2.12 กระบวนการลอยอนุภาค

(ที่มา : Institute of Advanced Manufacturing Sciences)

2.7.2.5 ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน เช่น การกำจัดเศษโลหะออกจากน้ำมันหล่อเย็น เป็นต้น มีหลักการคือ การป้อนน้ำมันหล่อเย็นด้วยความเร็วรอบสูง อนุภาคในของเหลวจะสร้างแรงหนีศูนย์กลาง และหมุนวนรอบผนังไซโคลน อนุภาคที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งมีแรงหนีศูนย์กลางมากจะถูกบังคับให้ไหลลงทางด้านล่างหรือช่องทางออกขนาดหยาบ (Underflow nozzle) ส่วนอนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำหรือเท่ากับของเหลว จะถูกผลักให้ไหลออกทางด้านบน หรือช่องทางออกขนาดละเอียด (Overflow nozzle) (ดังรูปที่ 2.9c) ความสามารถในการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากของเหลวขึ้นกับความแตกต่างของความหนาแน่นของสสารทั้งสองเฟส ถ้าความหนาแน่นต่างกันมาก จะแยกอนุภาคจากกันได้ดี แต่ถ้าความหนาแน่นแตกต่างกันน้อยจะแยกอนุภาคได้ไม่ดี ดังนั้นไฮโดรไซโคลนจึงไม่เหมาะสำหรับคัดแยกน้ำมันสกปรก ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อเย็น นอกจากนี้แรงเหวี่ยงของเครื่องอาจทำให้น้ำมันสกปรกหลอมรวมเข้ากับเนื้ออิมัลชันอีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องไฮโดรไซโคลนสามารถกำจัดอนุภาคของแข็งที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 15-25 ไมครอน ทั้งนี้ขึ้นกับสัณฐานของอนุภาค (Mang และ Dresel, 2001) โดยที่อนุภาคโตกว่านี้จะอุดตันช่อง Underflow Nozzle ในการใช้งานจึงต้องทำความสะอาด และตรวจเช็คช่อง Underflow nozzle เป็นประจำ ซึ่งถ้าผุกร่อนจะทำให้ช่องเปิดกว้างขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกจะลดลง

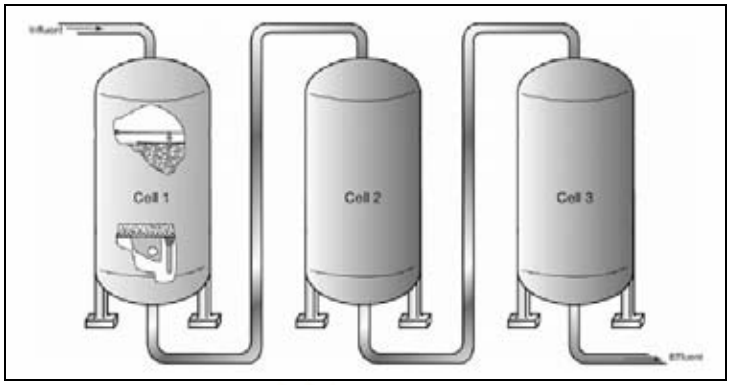
2.7.2.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงเหวี่ยงสูงเพื่อแยกอนุภาคออกจากกัน อนุภาคแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนภายในเครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งจะทำให้อนุภาคต่างๆที่มีความหนาแน่นต่างกันเคลื่อนที่ออกจากกัน แรงหมุนเหวี่ยงจะเป็นผลให้ของแข็งเคลื่อนที่ผ่านของเหลวออกมาเป็นแนวเป็นเส้นตรงออกจากศูนย์กลางการหมุน จึงทำให้สามารถแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันได้ สำหรับความเร็ว

รอบในการหมุนที่ใช้กัน โดยทั่วไปมี 2 แบบคือ รอบต่อนาที (RPM ย่อมาจาก Revolution Per Minutes) และ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (RCF ย่อมาจาก Relative Centrifugal Force)

รูปที่ 2.9d แสดงลักษณะของเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงที่ใช้สำหรับกำจัดน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยจะมีจานเร่งการรวมตัว (Coalescing disc) ซึ่งมีรูเปิดสำหรับแยกอนุภาคน้ำมันสกปรกออกจากชั้นน้ำมันหล่อเย็น ส่วนอนุภาคของแข็งแขวนลอยจะแยกออกทางส่วนล่าง ถ้าในน้ำมันหล่อเย็นมีของแข็งปนเปื้อนในปริมาณสูงมาก จะทำให้รูเปิดเกิดการอุดตันได้ง่าย การใช้งานเครื่องนี้จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดจานเร่งการรวมตัวบ่อยครั้ง หรืออาจติดตั้งระบบการกรองตะกอนหยาบเบื้องต้น เพื่อป้องกันการลดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงน้ำมันสกปรกนี้

2.7.2.7 เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) เป็นเครื่องคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่มีคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็กออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยส่วนมากคือ เศษกลึง หรือเศษกลึงละเอียด โดยการปล่อยให้น้ำมันหล่อเย็นไหลผ่านสนามแม่เหล็กอย่างช้าๆ ซึ่งสนามแม่เหล็กจะถูกสร้างจากแท่งแม่เหล็กทรงกระบอกหมุน (ดังรูปที่ 2.9e) วัสดุที่มีสารแม่เหล็กจะถูกดูดติดที่ผิวรองรับก่อนจะกวาดลงสู่ภาชนะ ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่ไม่มีคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็กก็จะไหลผ่าน และถูกกำจัดด้วยวิธีอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้อนุภาคเหล็กที่ได้สามารถเข้าสู่กระบวนการเก็บกลับคืน (Recovery) เพื่อเพิ่มคุณค่าได้อีกทางหนึ่ง

2.7.2.8 เครื่องกรอง เป็นเครื่องมือกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนของแข็งออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้ชั้นกรองหรือตัวกรอง (Media) ทำหน้าที่เก็บกักอนุภาคปนเปื้อนที่มีขนาดอนุภาคโตกว่าหรือเท่ากับขนาดรูกรอง และยอมให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าผ่านรูกรอง ตัวกรองมีหลายชนิด เช่น ตาข่าย ลวด กระดาษ ผ้า ไฟเบอร์ เป็นต้น มีทั้งชนิดติดตั้งถาวร หรือชนิดที่ต้องกำจัดทิ้ง (Disposable) การกรองเป็นวิธีการกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนด้วยขนาดที่แน่นอน ขึ้นกับขนาดของรูกรอง ซึ่งจะบ่งบอกเป็น 2 ลักษณะ คือ สเกลสมบูรณ์ (Absolute scale) หรือสเกลสัมพัทธ์ (Relative scale) สเกลสมบูรณ์ หมายถึง ขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตัวกรองสามารถเก็บกักได้ ส่วนสเกลสัมพัทธ์ หมายถึง ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของของเหลวที่ผ่านรูกรองได้ โดยทั่วไปการกรองหรือเครื่องกรองจะเป็นการกรองหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน (Multimedia filtration system) (ดังรูปที่ 2.13) ซึ่งการกรองขั้นแรกจะเป็นการกรองแบบหยาบก่อน ส่วนการกรองขั้นต่อมาจะเป็นการกรองแบบเพิ่มความละเอียดมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการลดการอุดตัน และกำจัดอนุภาคที่เล็กมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

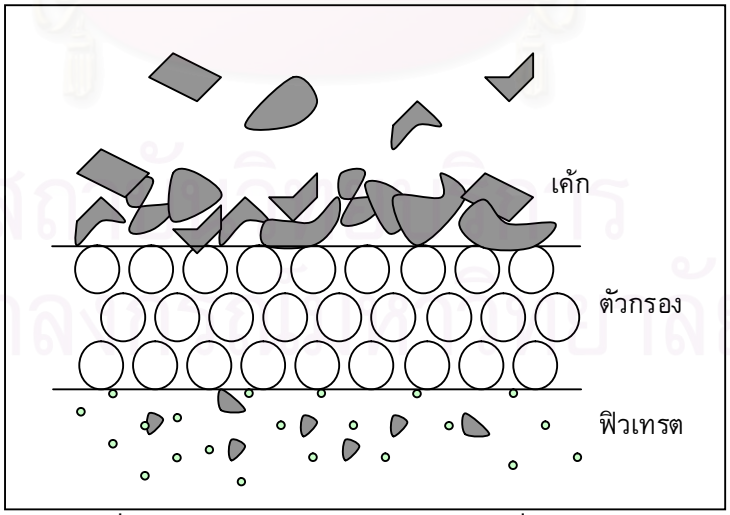


รูปที่ 2.13 ระบบการกรองแบบต่อเนื่อง

ที่มา : Pollution Prevention Practices and Wastewater Treatment Technologies

ประเภทของการกรองสามารถจัดแบ่งได้หลายแบบ เช่น การแบ่งประเภทของการกรองตามลักษณะการทำงาน จัดแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การกรองแบบต่อเนื่อง (Continuous Filtration) และการกรองแบบกะ (Batch Filtration) หรือ แบ่งตามกลไกการกรองได้เป็น 2 ลักษณะเช่นกัน คือ การกรองแบบติดที่ผิวตัวกรอง (Cake or Surface or Screen filtration) และการกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรอง (Deep bed filtration)

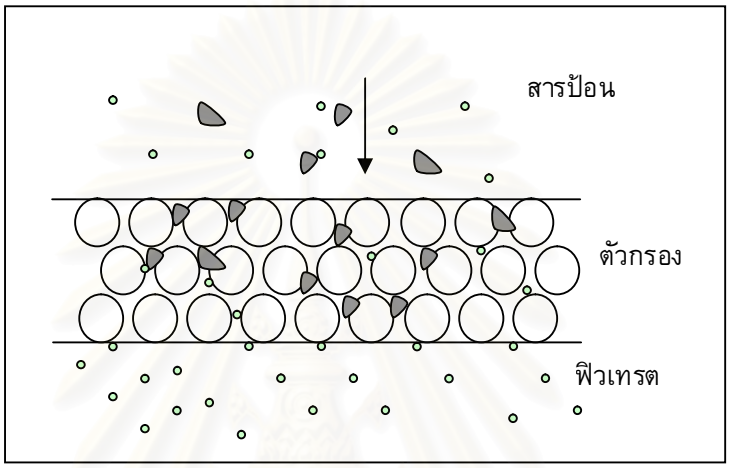
การกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรองเป็นการกรองที่สมบูรณ์ เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีขนาดอนุภาคโตกว่าหรือเท่ากับขนาดรูกรองจะติดค้างที่ผิวหน้าของตัวกรองเกิดเป็นเค้ก ตัวกรองจึงทำหน้าที่เสมือนตะแกรง (Sieve) ซึ่งยอมให้อนุภาคขนาดเล็กกว่ารูกรองผ่านไปได้ แต่เมื่อเค้กที่ผิวหน้ากรองมากขึ้น ขนาดของสารที่ผ่านรูกรองได้จะมีขนาดเล็กลง และประสิทธิภาพการกรองจะลดลงด้วย



รูปที่ 2.14 แสดงการกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรอง

การกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรองใช้กับการแยกอนุภาคที่มีปริมาณมาก โดยตัวกรองอาจทำจากวัสดุที่เป็นเส้นใย หรือแกรนูล (Granule) โดยเส้นใยอาจจับกันในลักษณะคด

เคี้ยวไม่เป็นระเบียบ กลไกการกรองจะเป็นการกักหรือดูดซึมโดยอนุภาคจะไหลผ่านตัวกรองดังแสดงในรูปที่ 2.15 การกรองประเภทนี้จะไม่สามารถระบุขนาดที่สามารถเก็บกักได้ชัดเจน แต่จะประมาณค่าโดยขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำตัวกรอง และวิธีการเตรียม และการกรองประเภทนี้จะไม่เกิดเค้กที่ผิวหน้า โดยอนุภาคจะไหลผ่านตัวกรองและจะถูกดักจับโดยแรงโน้มถ่วง หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ตัวกรอง ดังนั้นจะต้องให้เวลาที่จะให้อนุภาคสัมผัสกับตัวกรองเพื่อให้อนุภาคถูกตัวกรองจับไว้



รูปที่ 2.15 แสดงการกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรอง

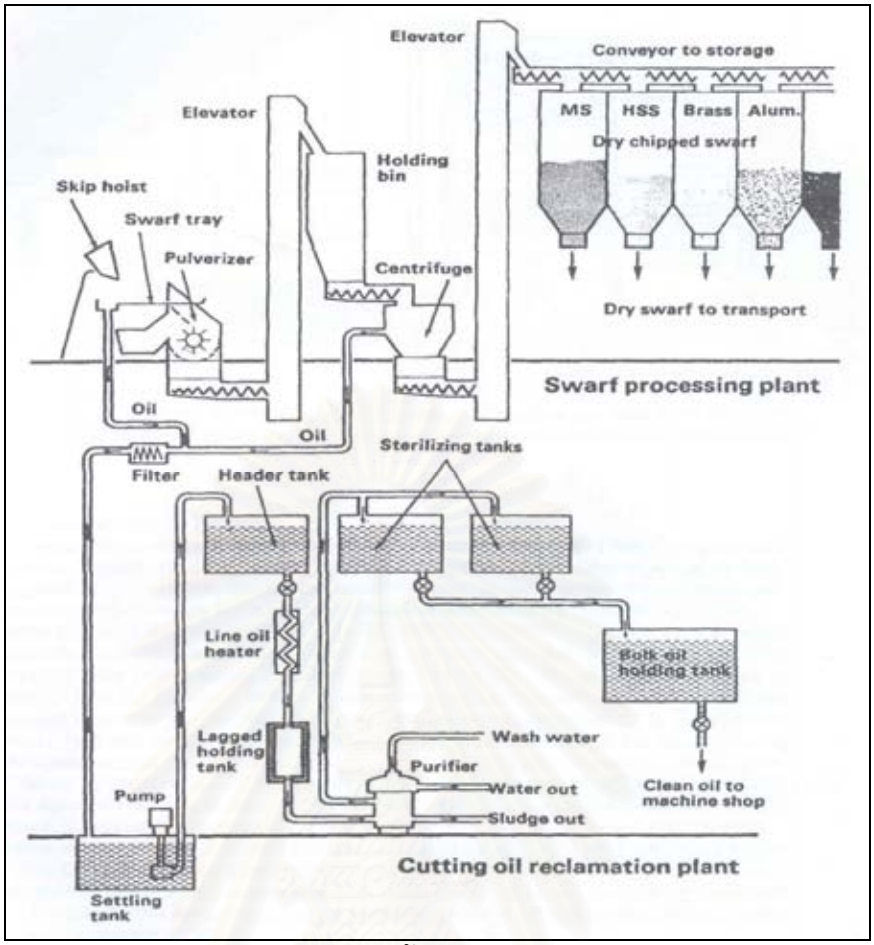
ข้อดีของการกรองคือ ตัวกรองมีมากมายหลายชนิด โดยมีความแตกต่างในด้านรูปร่าง และองค์ประกอบ วิธีการกรองเป็นวิธีการที่ประหยัด ใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับสารที่สามารถถูกทำลายด้วยความร้อน และคุณสมบัติของสารที่ผ่านการกรองจะไม่เปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของของเหลวนั้น

2.7.3 กระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่

Mahdi and Skold (1991) ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่โดยการกรองอนุภาคขนาดใหญ่ด้วยเครื่องกรองด้วยตัวกรองกระดาษ (Paper band filter) จากนั้นของเหลวที่ผ่านการกรองจะนำไปทดสอบการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนชนิดฟลูออโรโพลีเมอร์ (Fluoropolymer) และโพลีโพรพิลีน ตามลำดับ อุณหภูมิการทำงาน 25°C ความดัน 2.3 bar พบว่า การกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชันให้ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นไม่แตกต่างกัน และสามารถลดปริมาณแบคทีเรีย และฟังไจ ให้ต่ำกว่า 10^3 CFU/ml สามารถลดปริมาณน้ำมันแร่จากเดิม 44 PPM คงเหลือ 1.4 PPM เมื่อเทียบกับน้ำมันใหม่ ซึ่งมีปริมาณน้ำมันแร่ 1.6 PPM

Baradie (1996) ออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ และการเก็บเศษโลหะกลับคืนไปใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจ (ดังรูปที่ 2.16) โดยมีขั้นตอนดำเนินการคือ น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้แล้วจะเข้าสู่ถาดรองรับ (Swarf tray) เศษโลหะจะแยกเข้าสู่เครื่องบดขยี้ (Pulverizer) จากนั้นจะถูกยกขึ้นสู่ถังเพื่อหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งจะแยกอนุภาคน้ำมันออกจากเศษโลหะ เศษโลหะจะถูกยกขึ้นสู่ถังเก็บ ซึ่งจะแบ่งแยกเป็นโลหะชนิดต่างๆ น้ำมันที่แยกได้จากเครื่องหมุนเหวี่ยงและถาดรองรับน้ำมันจะเข้าสู่เครื่องกรอง เพื่อทำการกรองอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อไป สารที่ผ่านการกรองจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังตกตะกอน และจะถูกปั้มขึ้นสู่ถัง Header tank จากนั้นของเหลวจะเข้าสู่เครื่องทำให้ร้อน และเย็นตัวลง ก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องแยกสารบริสุทธิ์ และถังฆ่าเชื้อโรค (Sterilizing tank) ก่อนนำกลับไปใช้ใหม่

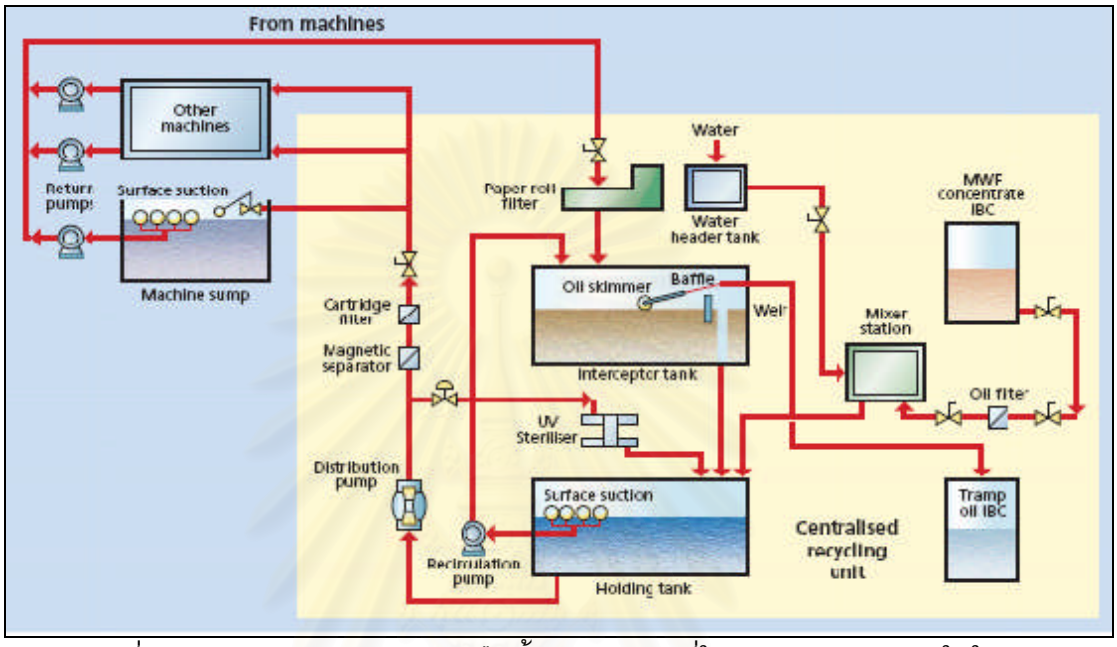
Iowa Waste Reduction Center (2003) ยกตัวอย่างกรณีศึกษาการติดตั้งกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ของโรงงานแห่งหนึ่ง ซึ่งประกอบการตัดเฉือนโลหะหลายชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กกล้าสแตนเลสสตีล และเหล็กหล่อ เครื่องจักรมีทั้งแบบเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) และเครื่องจักรควบคุมโดยมนุษย์ (Conventional machine) ระบบการหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานแบบถังแยก กระบวนการรีไซเคิลมีขั้นตอนดังนี้คือ ดูดน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจากถังพักด้วยเครื่องดูดของเหลว ซึ่งมีลักษณะเป็นถังเคลื่อนที่ลำเลียงเข้าสู่ถังรองรับซึ่งติดตั้งปั้มเพื่อดูดกำจัดน้ำมันสกปรกอิสระที่ลอยบนผิวหน้าออก จากนั้นของเหลวจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องกรอง ซึ่งวัสดุกรองทำจากผ้า ขนาดรูกรอง 100 ไมครอน ของเหลวจะถูกส่งต่อเข้าสู่ถังต่อไป ซึ่งภายในติดตั้งตัวกลางเร่งการรวมตัว (Coalescing media) ทำหน้าที่แยกน้ำมันสกปรกกระจายออกจากน้ำมันหล่อเย็น และถังเติมอากาศ (Aerator) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแอนแอโรบิก ต่อจากกระบวนการนี้ ของเหลวจะเข้าสู่ถังเติมสารฆ่าเชื้อโรค และปรับค่าความเข้มข้นก่อนจะวนกลับไปใช้ใหม่ ประโยชน์ที่ได้รับจากกระบวนการนี้คือ ระบบจะไม่มีของเสียเกิดขึ้น สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นจาก 250-300 แกลลอนต่อปี ลดลงเหลือ 100 แกลลอนต่อปี สามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน ไม่พบผู้ที่เป็นโรคทางผิวหนัง คุณภาพของชิ้นงานดีสม่ำเสมอ และเครื่องจักร อุปกรณ์เครื่องจักรแข็งแรงทนทานมากขึ้น นอกจากนี้น้ำมันสกปรกและเศษโลหะสามารถส่งขายได้



รูปที่ 2.16 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่
(ที่มา: Baradie, 1996)

Kirkstall Speciality Axle Division, 1999 ทำการศึกษาทดลองติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นแบบอัตโนมัติ (Automatic recycling system for metalworking fluids) เพื่อศึกษาประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม (ดังรูปที่ 2.17) โดยกระบวนการเริ่มจากน้ำมันหล่อเย็นจากเครื่องจักรจะเข้าสู่เครื่องกรองด้วยตัวกรองกระดาษ (Flat-bed paper) เป็นอันดับแรก เพื่อกำจัดอนุภาคสิ่งสกปรก และเศษโลหะ จากนั้นน้ำมันหล่อเย็นจะเข้าสู่ถัง Interceptor Tank เพื่อให้อนุภาคสิ่งสกปรกขนาดเล็ก และน้ำมันสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเหลว โดยด้านบนจะติดตั้งเครื่องกวาดน้ำมันสกปรก เพื่อแยกและกำจัดน้ำมันสกปรกลงสู่ถังรวม Intermediate bulk container (IBC) โดยน้ำมันสกปรกในถัง IBC จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป ของเหลวผ่านการแยกน้ำมันสกปรกจากถัง Interceptor tank จะถูกส่งต่อเข้าสู่ถัง Holding tank ซึ่งเป็นถังที่ทำหน้าที่ปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นอัตโนมัติ จากนั้นของเหลวบางส่วนจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) และกรองด้วยไส้กรอง ก่อนจะนำไปใช้งานใหม่อีกครั้ง ส่วนของเหลวอีกส่วนหนึ่งจะถูกฆ่าเชื้อโรคด้วยระบบฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Steriller) จากนั้นจะวนกลับเข้าสู่ถัง Holding tank อีกครั้ง นอกจากนี้น้ำมันสกปรกที่เกิดขึ้นที่ถัง Holding tank จะถูกเก็บกลับคืนด้วยอุปกรณ์กวาดคราบ

น้ำมันที่ลอยที่ผิวหน้าและถูกส่งกลับไปยังถัง Interceptor tank จากผลการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นแบบอัตโนมัติ พบว่าระบบนี้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นได้ 75% ไม่มีของเสียที่ต้องการฝังกลบ ลดการเสียเวลาการผลิตและค่าแรงคนงาน ลดต้นทุนค่าการผลิต และสามารถคืนทุนได้ภายใน 21 เดือน



รูปที่ 2.17 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

(ที่มา : Kirkstall Speciality Axle Division, 1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การศึกษาข้อมูลการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

3.1 แผนการศึกษา

การศึกษาข้อมูลการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศเป็นขั้นตอนแรกของขอบเขตการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากต้องการศึกษาข้อมูลการใช้งานและศึกษาสภาพปัญหาของการใช้น้ำมันหล่อเย็นในภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งคัดเลือกโรงงานตัวอย่างเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมาศึกษาทดลองในลำดับต่อไป

3.2 ขั้นตอนการศึกษาโดยละเอียด

การศึกษาข้อมูลการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศมีกระบวนการเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การรวบรวมจำนวนโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น โดยศึกษารวบรวมข้อมูลจากเวปไซต์ www.diw.or.th ซึ่งเป็นเวปไซต์ของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม โดยประเภทของโรงงานที่ใช้งานน้ำมันหล่อเย็นได้แก่ โรงงานประเภท 077 และโรงงานประเภท 064

3.2.2 การสุ่มสำรวจข้อมูล ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลการใช้งานทางโทรศัพท์และสุ่มสำรวจแบบสอบถามทางไปรษณีย์ เป็นจำนวน 150 โรง ซึ่งมีการตอบกลับแบบสอบถามเป็นจำนวน 23 โรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ลักษณะการใช้งาน ปัญหาและกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นในโรงงาน

3.2.3 คัดเลือกโรงงานจากผลการตอบกลับทางแบบสอบถาม ซึ่งเป็นโรงงานที่มีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นเป็นจำนวนมาก มีปริมาณการใช้งานคงที่ และประสบปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น

3.2.4 วิจารณ์การใช้งานและสภาพปัญหาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันหล่อเย็นในประเทศ

3.3 การรวบรวมจำนวนโรงงาน

ในการศึกษารวบรวมจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศที่มีการใช้น้ำมันหล่อเย็นโดยศึกษารวบรวมจากข้อมูลพื้นฐานของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ผลปรากฏว่า

3.3.1 ประเภท 077 คือ โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับรถยนต์หรือรถพ่วง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ซึ่งประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตอะไหล่หรือชิ้นส่วน ประกอบตัวรถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น โดยจัดแบ่งตามจำนวนคนงาน (ดังตารางที่ 3.1) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของขนาดของโรงงานดังนี้

ตารางที่ 3.1 โรงงานในกลุ่มประเภท 077

จำนวนคนงาน (คน)	จำนวนโรงงาน (โรง)	โรงที่ใช้น้ำมันหล่อเย็น (โรง)
ต่ำกว่า 100	1,804	
100 ถึงไม่เกิน 200	118	250
200 ถึงไม่เกิน 300	40	
300 ถึงไม่เกิน 400	29	
400 ถึงไม่เกิน 500	16	
มากกว่า 500	47	
รวม (โรง)	2,054	

3.3.2 ประเภท 064 คือ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โลหะ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ซึ่งประกอบกิจการเกี่ยวกับ การตัด พับ ไส กลึง คว้านโลหะ ตัดพับชิ้นส่วนโลหะ เป็นต้น โดยจัดแบ่งตามจำนวนคนงาน (ดังตารางที่ 3.2) ดังนี้

ตารางที่ 3.2 โรงงานในกลุ่มประเภท 064

จำนวนคนงาน (คน)	จำนวนโรงงาน (โรง)	โรงที่ใช้น้ำมันหล่อเย็น (โรง)
ต่ำกว่า 80	7,766	
80 ถึงไม่เกิน 100	78	337
100 ถึงไม่เกิน 200	165	
มากกว่า 200	94	
รวม	8,103	

จากการจัดแบ่งจำนวนโรงงาน และการสุ่มสอบถามข้อมูลทางโทรศัพท์ พบว่าโรงงานประเภท 077 หรือโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับรถยนต์หรือรถพ่วง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ซึ่งมีจำนวนคนงานมากกว่า 100 คนขึ้นไป และโรงงานประเภท 064 หรือโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โลหะ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ที่มีจำนวนคนงานมากกว่า 80 คนขึ้นไป จะพบว่าโรงงานทั้งสองกลุ่มนี้มีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก รวมทั้งสิ้น 587 โรง ส่วนโรงงานที่มีจำนวนคนงานต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าวจะมีการใช้งานในปริมาณเล็กน้อย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนจึงทำการสุ่มส่งแบบสอบให้แก่โรงงานที่มีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นดังกล่าวนี้ต่อไป

3.4 การสุ่มสำรวจทางแบบสอบถาม

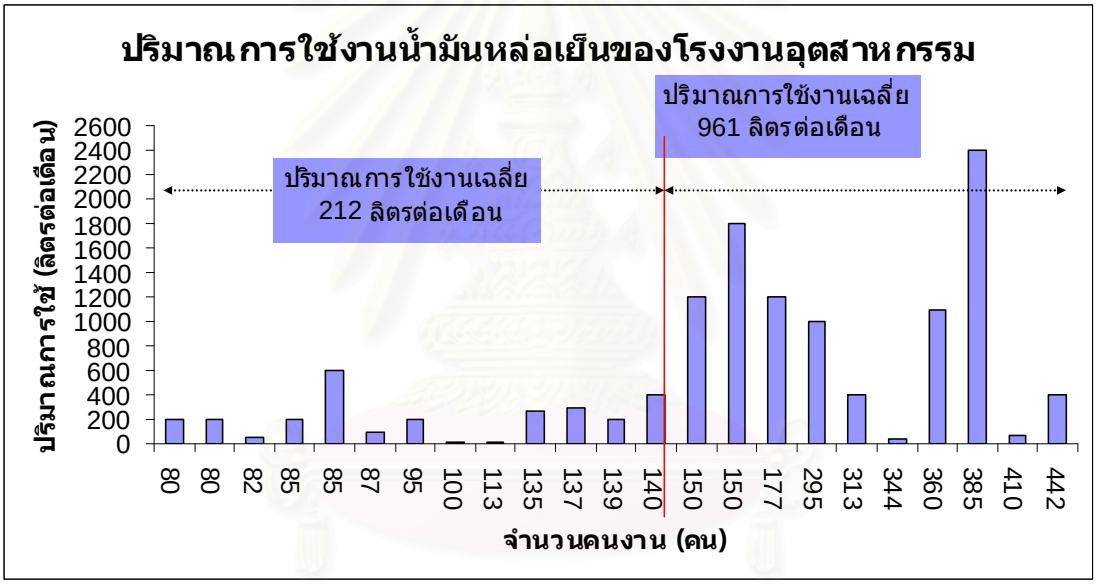
แบบสอบถามที่จัดทำขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ลักษณะการใช้งาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นในโรงงาน

อุตสาหกรรม (แสดงในภาคผนวก ค) โดยสุ่มสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น เป็นจำนวน 150 โรง และผลตอบกลับแบบสอบถามมีจำนวน 23 โรง โดยผลสรุปสำคัญจากแบบสอบถามมีดังต่อไปนี้

1. โรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้น้ำมันหล่อเย็นในกระบวนการตัดเฉือนโลหะเป็นชนิดกึ่งสังเคราะห์มากที่สุด หรือประมาณ 60% จากการใช้งานทั้งหมด

2. ปริมาณการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ (Water-miscible fluids) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ (ดังรูปที่ 3.1) คือ

- โรงงานที่มีจำนวนคนงานต่ำกว่า 140 คน มีปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นเฉลี่ยประมาณ 212 ลิตรต่อเดือนต่อโรง
- โรงงานที่มีจำนวนคนงานตั้งแต่ 140 คนขึ้นมีปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นเฉลี่ยประมาณ 961 ลิตรต่อเดือนต่อโรง



รูปที่ 3.1 ปริมาณการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นของโรงงานอุตสาหกรรม

3. อายุการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นเฉลี่ยประมาณ 27 สัปดาห์ หรือ 4 เดือน 1 สัปดาห์

4. เนื่องจากน้ำมันหล่อเย็นที่จำหน่ายในท้องตลาดมีหลากหลายเกรด ราคาของน้ำมันหล่อเย็นส่วนใหญ่จะแปรตามชนิดของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อเย็น ดังนั้นจากการสำรวจแบบสอบถามจึงสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของราคาน้ำมันหล่อเย็นแต่ละชนิดได้ดังต่อไปนี้

ก) น้ำมันล้วน ราคา 46.00 บาทต่อลิตร

ข) โซลูเบิลออยล์ ราคา 51.30 บาทต่อลิตร

ค) น้ำมันสังเคราะห์ ราคา 112.75 บาทต่อลิตร

ง) น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ ราคา 123.20 บาทต่อลิตร

5. ผลการประเมินจากแบบสอบถามที่จัดทำขึ้น พบว่า โรงงานที่มีจำนวนคนงานมากกว่า 100 คนแต่น้อยกว่า 140 คน มีทั้งสิ้น 224 โรง คิดเป็นปริมาณการใช้เฉลี่ยประมาณ 224 x 212 = 47,488 ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าน้ำมันใหม่ 47,488 x 123.2 = 5,850521.60 บาทต่อเดือน ส่วนโรงงานที่มีจำนวนคนงานมากกว่า 140 คน มีทั้งสิ้น 352 โรง คิดเป็นปริมาณการใช้เฉลี่ยประมาณ 352 x 961 = 338,272 ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าน้ำมันใหม่ 338,272 x 123.2 = 41,675,110 บาทต่อเดือน

6. น้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์วิธีการควบคุมคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น เกือบทุกโรงมีการวัดค่าพีเอช และค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น เนื่องจากเป็นสมบัติที่ต้องควบคุมให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้บางโรงมีการลดหรือกำจัดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น ดังนี้

- การกำจัดน้ำมันสกปรก โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการตักคราบน้ำมันบนผิวหน้าออก นอกจากนี้อาจใช้เครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer) หรือแผ่นดูดซับน้ำมันที่บริเวณผิวหน้า
- การกำจัดตะกอนของแข็ง โดยส่วนใหญ่จะใช้ถังตะกอน (Settling) หรือเครื่องกรองด้วยผ้ากรอง
- การกำจัดเศษโลหะ มีการใช้เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) หรือเครื่องกรองด้วยผ้ากรอง

แต่อย่างไรก็ตาม โรงงานบางโรงไม่มีวิธีการควบคุมคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น

7. โรงงานอุตสาหกรรม 9 ใน 23 โรง มีวิธีการกำจัดน้ำมันหล่อเย็นที่หมดอายุแล้วโดยการบรรจุลงในถังน้ำมันและส่งให้แก่โรงงานรับกำจัดของเสีย ซึ่งต้องจ่ายค่ากำจัดเป็นจำนวนเงินประมาณ 2,500-3,500 บาทต่อตัน

8. ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นคือ ปัญหาค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะต้นทุนราคาน้ำมันใหม่สูง ปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำมันหล่อเย็น วิธีการควบคุมคุณภาพที่ถูกต้อง และการทำความสะอาดเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น

โรงงานประกอบกิจการ	จำนวนคนงาน (คน)	ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุมคุณภาพ	วิธีการรีไซเคิลในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้น้ำมันหล่อเย็น
ผลิตอะไหล่รถยนต์	1,535	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	1,000-1,200	126,000	2-3	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดน้ำมันสกปรก	-เครื่องแยกสารแม่เหล็ก -ตักทิ้ง	ระบายลงบ่อบำบัดโรงงาน	คุณภาพของชิ้นงาน
ผลิตแหนบรถยนต์	410	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	72	14,800	1	ไม่มี	ไม่มี	ทิ้งลงดิน/น้ำ	ไม่มี
ประกอบรถบรรทุก	442	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	400	74,000	2	-ปรับค่าพีเอช -วัดความกระด้าง -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดน้ำมันสกปรก -กำจัดตะกอนของแข็ง -กำจัดเศษโลหะ	-แผ่นดูดซับน้ำมัน -ตักทิ้ง	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ไม่มี
ตัดกลึงโลหะ	344	โซลูเบิลออยล์	40	N/A	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	N/A	N/A

N/A = Not available

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น (ต่อ)

โรงงานประกอบกิจการ	กำลังเครื่องจักร (HP)	ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุมคุณภาพ	วิธีการรีไซเคิลในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้น้ำมันหล่อเย็น
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	150	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	800	76,000	2-3	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดน้ำมันสกปรก -กำจัดตะกอนของแข็ง -กำจัดเศษโลหะ -กำจัดแบคทีเรีย	-ตักทิ้ง -เติมสารฆ่าเชื้อโรค	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ค่าใช้จ่าย
		น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	200	25,000	2-3				
		น้ำมันสังเคราะห์	200	18,000	4				
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	80	น้ำมันสังเคราะห์	200	27,106	6	-ปรับค่าพีเอช -วัดความกระด้าง -กำจัดปริมาณน้ำมันสกปรก -กำจัดตะกอนของแข็ง	ตักทิ้ง	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ค่าใช้จ่าย

N/A = Not available

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น (ต่อ)

โรงงานประกอบกิจการ	กำลังเครื่องจักร (HP)	ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุมคุณภาพ	วิธีการรีไซเคิลในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้น้ำมันหล่อเย็น
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	385	โซลูเบิลออยล์	2,400	120,000	12	-ปรับค่าพีเอช -วัดค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดตะกอนของแข็ง -กำจัดเศษโลหะ	เครื่องกรองชนิดผ้า	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	คุณภาพน้ำมันไม่ดี
ตัดกลึงโลหะ/ผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	177	โซลูเบิลออยล์	800	38,000	6	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดปริมาณน้ำมันสกปรก	-ตักทิ้ง -ถังตกตะกอน	N/A	N/A
		น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	400	30,000	6				
หล่อโลหะ	137	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	300	37,500	2	N/A	N/A	ระบายลงบ่อบำบัดน้ำเสีย	ไม่มี
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	313	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	400	54,400	1/4	ไม่มี	ไม่มี	ระบายลงบ่อบำบัดน้ำเสีย	-อายุการใช้งานสั้น -การดูแลทำความสะอาด -การควบคุมคุณภาพ

N/A = Not available

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น (ต่อ)

โรงงานประกอบกิจการ	กำลังเครื่องจักร (HP)	ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุมคุณภาพ	วิธีการรีไซเคิลในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้น้ำมันหล่อเย็น
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เครื่องจักร	139	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	100	13,500	3	ปรับค่าความเข้มข้น MWF	-ตักทิ้ง -กรองด้วยผ้ากรอง	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ค่าใช้จ่าย
		น้ำมันล้วน	100	4,600	> 24				
ผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า	295	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	1,000	120,000	2	-ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดน้ำมันสกปรก	-ถังเติมโอโซน -ตักทิ้ง	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ไม่มี
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	85	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	200	16,000	1	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดน้ำมันสกปรก	ตักทิ้ง	N/A	N/A
ปั้มโลหะ	85	น้ำมันล้วน	N/A	N/A	> 36	-กำจัดน้ำมันสกปรก -กำจัดตะกอนของแข็ง -กำจัดเศษโลหะ	-ตักทิ้ง -ถังตกตะกอน	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	-การดูแลทำความสะอาด -ฟุ้งกระจาย -ค่าใช้จ่าย
		โซลูเบิลออยล์	200	12,800	2-3				
		น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	400	60,000	> 24				

N/A = Not available

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น (ต่อ)

โรงงานประกอบกิจการ	กำลังเครื่องจักร (HP)	ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุมคุณภาพ	วิธีการรีไซเคิลในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้น้ำมันหล่อเย็น
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เครื่องจักร	140	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	400	27,200	N/A	-กำจัดน้ำมันสกปรก -กำจัดตะกอนของแข็ง -กำจัดเศษโลหะ	ตักทิ้ง	ไม่มี/เติมน้ำมันใหม่เพื่อเพิ่มปริมาณ	-ดูแลทำความสะอาดยาก -วิธีควบคุมคุณภาพ -ลดค่าใช้จ่าย
ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	95	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	200	12,100	1	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ตัดกลึงโลหะ	150	น้ำมันล้วน	800	N/A	N/A	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความเข้มข้น MWF -กำจัดตะกอน -กำจัดเศษโลหะ	เครื่องกรองด้วยผ้า	ส่งโรงงานกำจัดของเสีย	ค่าใช้จ่าย
		น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	1,000	120,000	3				
ตัดกลึงเหล็ก	135	โซลูเบิลออยล์	72	3,327	1	ไม่มี	ไม่มี	ทิ้งลงดิน/น้ำ	-การดูแลทำความสะอาด -การควบคุมคุณภาพ -ค่าใช้จ่าย
		น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	200	N/A	2				

N/A = Not available

ตารางที่ 3.3 ผลการสำรวจทางแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น (ต่อ)

โรงงาน ประกอบกิจการ	กำลังเครื่องจักร (HP)	ชนิดของน้ำมัน หล่อเย็น	ปริมาณการใช้ (ลิตรต่อเดือน)	คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)	อายุใช้งาน (เดือน)	วิธีการควบคุม คุณภาพ	วิธีการรีไซเคิล ในโรงงาน	การทิ้ง/กำจัด	ปัญหาการใช้ น้ำมันหล่อเย็น
ตัดกลึงโลหะ	100	น้ำมันกึ่ง สังเคราะห์	20	2000	1/4	-กำจัดน้ำมัน สกปรก -กำจัดตะกอน ของแข็ง	-ถังตกตะกอน -ตักทิ้ง	ระบายลงบ่อ บำบัดน้ำเสีย	ไม่มี
ผลิตชิ้นส่วน รถยนต์	80	น้ำมันกึ่ง สังเคราะห์	200	30,000	3	-ปรับค่าพีเอช -ปรับค่าความ เข้มข้น MWF	ไม่มี	ส่งโรงงาน กำจัดของเสีย	ไม่มี
ตัดกลึง/ เจียระไน	82	โซลูเบิลออยล์	50	2,000	1/2	ไม่มี	ไม่มี	บำบัดก่อน เทลงดิน	ไม่มี
ผลิตชิ้นส่วน รถยนต์	87	น้ำมันกึ่ง สังเคราะห์	100	16,000	4	-กำจัดน้ำมัน สกปรก -กำจัดตะกอน -กำจัดตะกอน ของแข็ง -กำจัดเศษ โลหะ	ตักทิ้ง	ทิ้งลงดิน/น้ำ	ไม่มี
ทำแม่พิมพ์ ปั้มโลหะ	113	โซลูเบิลออยล์	15	900	1	N/A	N/A	N/A	ไม่มี

N/A = Not available

3.5 วิจารณ์การใช้งานน้ำมันหล่อเย็นในประเทศ

สำหรับน้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วนและโซลูเบิลออยล์ ปัจจุบันมีความนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมน้อยลง เนื่องจากน้ำมันล้วนมักมีปัญหาเรื่องการฟุ้งกระจาย ส่วนน้ำมันโซลูเบิลออยล์มักเกิดปัญหาเรื่องของการบูดเน่าเร็ว ดังนั้นการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ และน้ำมันสังเคราะห์จึงมีมากขึ้น แต่เนื่องจากน้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีการใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ สามารถประยุกต์ใช้กับงานได้ทุกประเภท จึงมีความนิยมจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ยังคงประสบปัญหาการบูดเน่า เนื่องจากมีน้ำและน้ำมันแร่เป็นองค์ประกอบ แม้เพียงปริมาณเล็กน้อยก็ตาม ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อจุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา รวมถึงการเสื่อมสภาพการใช้งาน ซึ่งการพิจารณาความเสื่อมสภาพการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมคือ กลิ่นเหม็นบูด ของเหลวขุ่น และมีสภาพไม่เสถียรของอิมัลชัน

อย่างไรก็ดีโรงงานส่วนใหญ่ได้ตระหนักถึงวิธีการดูแลรักษาสภาพน้ำมันหล่อเย็นให้สะอาด หรือการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องจักรและน้ำมันหล่อเย็นเอง รวมถึงรักษาคุณภาพชิ้นงานให้ได้มาตรฐาน แต่ยังเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนเบื้องต้นเท่านั้น เช่น

- การกำจัดอนุภาคน้ำมันสกปรกขนาดใหญ่ หรือน้ำมันอิสระ โดยวิธีการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก และใช้อุปกรณ์อย่างง่าย เช่น กระบวยตักคราบน้ำมันบริเวณผิวหน้าทิ้งไป
- การกำจัดอนุภาคตะกอนของแข็ง หรือเศษโลหะ โดยใช้วิธีการกรอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องกรอง ภายในบรรจุผ้ากรอง หรือเป็นตะแกรง หรือเป็นเครื่องแยกสารแม่เหล็ก ซึ่งล้วนแต่มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ทั้งสิ้น

ในการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นยังคงมีปัญหาเรื่องของอายุการใช้งานสั้นเกินไปเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เนื่องจากกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานในประเทศยังไม่เพียงพอสำหรับคัดแยกหรือกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนได้ทั้งหมด รวมถึงจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดการเสื่อมสภาพและเลิกใช้งาน ซึ่งการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันใหม่บ่อยครั้งจะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายด้านการผลิตและเวลาเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดปัญหาของเสียอุตสาหกรรมที่ต้องการการบำบัดมีปริมาณสูง และกากของเสียมากจึงต้องการพื้นที่ฝังกลบมากตามไปด้วย

ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้มีการศึกษากระบวนการรีไซเคิล หรือเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูง สามารถลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนได้ทั้งหมด เพื่อเป็นการแก้ปัญหาต่างๆ ให้หมดไป

จากผลการสำรวจข้อมูลดังกล่าว ได้คัดเลือกโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ปริมาณมากพอสมควร ใช้งานสม่ำเสมอ มีค่าใช้จ่ายสูง และไม่มีกระบวนการเก็บ

กลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นมาศึกษาทดลอง จำนวน 4 โรง ได้แก่

ก) โรงงานเอเซียพริซิชั่น จำกัด

ข) โรงงานฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด

ค) โรงงานฮอนด้า แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด

ง) โรงงานเซ็นทรัลไลน์ พาวเวอร์ อุตสาหกรรม จำกัด

และคัดเลือกโรงงาน 4 โรงข้างต้น ศึกษาข้อมูลการใช้งานและสภาพปัญหาจากการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น จำนวน 2 โรง ได้แก่

3.5.1 โรงงาน A

โรงงาน A ประกอบกิจการตัดเฉือนโลหะชนิดเหล็ก และอะลูมิเนียม เครื่องจักรแบ่งเป็นเครื่องกลึงชนิดอัตโนมัติ (CNC) จำนวน 70 เครื่อง มีพนักงานควบคุมเครื่องจักรเครื่องละ 1 คน และเครื่องเจาะ 10 เครื่อง เครื่องกลึงใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์ ส่วนเครื่องเจาะใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นทั้งโรงงานเป็นแบบถังแยก (Individual machine)

โรงงานมีการใช้น้ำมันหล่อเย็น 2 ชนิดคือ

- น้ำมันล้วน ปริมาณการใช้ 1,000-1,200 ลิตรต่อเดือน ราคาเฉลี่ยลิตรละ 45 บาท คิดเป็นค่าน้ำมันใหม่ 45,000-54,000 บาทต่อเดือน อายุการใช้งานยาวนานเป็นปีๆ ส่วนใหญ่มีการเติมน้ำมันใหม่สม่ำเสมอ
- น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ ปริมาณการใช้ 1,000 ลิตรต่อเดือน ราคาเฉลี่ยลิตรละ 82.5 บาท คิดเป็นค่าน้ำมันใหม่ 82,500 บาทต่อเดือน อายุการใช้งานประมาณ 6 เดือน

โรงงานมีระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ก่อนการใช้งานกะเช้าของทุกวันจะต้องปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งานคือ 5% โดยใช้อุปกรณ์รีแฟรคโตมิเตอร์ ในการเตรียมน้ำมันหล่อเย็นใหม่จะเตรียมในถังผสมน้ำมันอัตโนมัติ โดยการเจือจางด้วยน้ำกลั่น ส่วนวิธีการดูแลรักษาสภาพน้ำมันหล่อเย็นกระทำโดยวิธีการกรองตะกอนและเศษโลหะขนาดใหญ่ด้วยเครื่องกรองชนิดผ้า และตักคราบน้ำมันสกปรกอนุภาคโตซึ่งลอยในถังกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer) โดยมีอัตราการทำงาน 2 ชั่วโมงต่อเครื่องจักร 1 เครื่อง

การพิจารณาความสามารถในการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นคือ กลิ่นเหม็นบูดหรือขึ้นกับวิจารณญาณของผู้ใช้งานเอง เมื่อน้ำมันหล่อเย็นหมดสภาพการใช้งานแล้ว จะถูกดูดออกจากถังพักด้วยเครื่องกรอง และบรรจุลงในถังน้ำมันก่อนนำส่งให้แก่โรงงานรับกำจัดของเสีย โดยทั่วไปจะใช้เวลาในการล้างและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันใหม่ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อเครื่องจักร 1 เครื่อง นอกจากนี้ปริมาณของเสียที่ส่งกำจัดให้แก่โรงงานประมาณ 1 ตันต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 2,500 บาทต่อเดือน

ปัญหาที่พบจากการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น คือ ปัญหาเรื่องค่าใช้จ่าย ปัญหาเรื่องฟอง หรือคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น และอายุการใช้งานสั้นเกินไป โรงงานแห่งนี้มีความสนใจและต้องการในการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเล็งเห็นว่าวิธีการนี้น่าจะสามารถลดปัญหาค่าใช้จ่าย ยืดอายุการใช้งานและการทำความสะอาดเครื่องจักรง่ายขึ้น

3.5.2 โรงงาน B

โรงงาน B ประกอบกิจการผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่รถยนต์ เช่น กระบอกสูบและเสื้อสูบรถยนต์ เครื่องจักรแบ่งเป็นเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC) ประมาณ 30 ตัว และเครื่องจักรโมดูล ประมาณ 20 ตัว คนงานควบคุมการผลิตจำนวน 360 คน ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นทั้งโรงงานเป็นแบบถังแยก (Individual machine)

โรงงานมีการใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์ทั้งหมด โดยความเข้มข้นของน้ำมันจะแปรตามงานแต่ละประเภท ในแต่ละเดือนโรงงานใช้น้ำมันหล่อเย็นประมาณ 1,000 ลิตร คิดเป็นค่าน้ำมันใหม่ประมาณ 120,000 บาท อายุการใช้งานประมาณ 2-3 เดือน

โรงงานมีระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงเช่นกัน โดยมีหน่วยควบคุมและดูแลสภาพน้ำมันหล่อเย็นโดยเฉพาะ ซึ่งจะตรวจเช็คค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งานทุกวัน นอกจากนี้ยังมีการจัดตารางทำความสะอาดและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันใหม่ล่วงหน้าเป็นปี อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นคือ รีแฟรคโตมิเตอร์ นอกจากนี้โรงงานมีเครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic Separator) จำนวน 1 เครื่อง สำหรับคัดแยกเศษโลหะเหล็กออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่คิดค้างกับเศษกลึง การดูแลรักษาสภาพน้ำมันหล่อเย็นกระทำอย่างง่ายคือ ถังพักจะอยู่ภายนอกเครื่องจักร แบ่งเป็น 2 ถัง โดยที่ถังที่สองจะเป็นส่วนที่ปล่อยให้น้ำมันสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวหน้าและกำจัดทิ้งโดยการตักออก (ดังรูปที่ 3.2) ส่วนเศษโลหะขนาดใหญ่จะถูกคัดแยกออกโดยใช้ตะแกรงที่ติดตั้งภายในถังพัก (ดังรูปที่ 3.3) นอกจากนี้ถังพักเป็นแบบฝาเปิด ทำให้สิ่งปนเปื้อนเจือปนลงในถังได้ง่าย ประกอบกับน้ำที่ใช้ผสมเป็นน้ำประปา ทำให้น้ำมันหล่อเย็นของโรงงานแห่งนี้จึงมีอายุการใช้งานสั้นมาก ส่วนการเตรียมน้ำมันหล่อเย็น คนงานจะกระทำในถังภายนอกถังพัก

รูปที่ 3.2 ระบบกำจัดน้ำมันสกปรกออกจากถังพัก

รูปที่ 3.3 ตะแกรงแยกเศษโลหะภายในถังพัก

น้ำมันหล่อเย็นที่หมดอายุการใช้งานแล้วจะถูกกำจัดทิ้งโดยการดูดออกจากถังพักโดยใช้เครื่องดูดน้ำมัน (ดังรูปที่ 3.4) และระบายลงในบ่อบำบัดของโรงงานก่อนปล่อยออกสู่บ่อน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรม

รูปที่ 3.4 เครื่องดูดน้ำมันหล่อเย็นทิ้ง

ปัญหาที่พบจากการใช้น้ำมันหล่อเย็นคือ ปัญหาเรื่องของอายุการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นสั้นเกินไป ปริมาณสิ่งปนเปื้อนโดยเฉพาะการรั่วไหลของน้ำมันไฮดรอลิกลงในถังพักมากเกินไป และน้ำมันหล่อเย็นมีกลิ่นฉุนรุนแรง หากมีกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ภายในโรงงาน คาดว่าจะสามารถยืดอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นได้ และแก้ปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อนมากเกินไป รวมถึงสภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการศึกษาวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ งานทดลองทั้งหมดกระทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

4.2.1 เครื่องวัดค่าพีเอช ยี่ห้อ ORION model 410A

4.2.2 เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า ยี่ห้อ HATCH รุ่น Sension 5

4.2.3 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น N-1 Brix 0-32%

4.2.4 ชุดทดสอบดิฟไลด์ (Dip slides) ยี่ห้อ EASICULT

4.2.5 กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ยี่ห้อ WHATMAN ขนาดรูกรอง 1.2 ไมครอน

4.2.7 ไฮโดรไซโคลน ยี่ห้อ KREBS รุ่น CYCLONE UI 1763

4.2.8 เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ IEC CENTRA-HN

4.2.9 เครื่องกรองน้ำแบบท่อเดียว

4.2.10 ปั๊มน้ำแบบจุ่ม ยี่ห้อ SONIC รุ่น AP1000 อัตราการไหลสูงสุด 6 ลิตรต่อนาที

4.2.11 ปั๊มน้ำไดอะแฟรม ยี่ห้อ AQ&Q 24ADC อัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที

4.2.12 เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) ยี่ห้อ BECKMAN COULTER รุ่น LS 13320

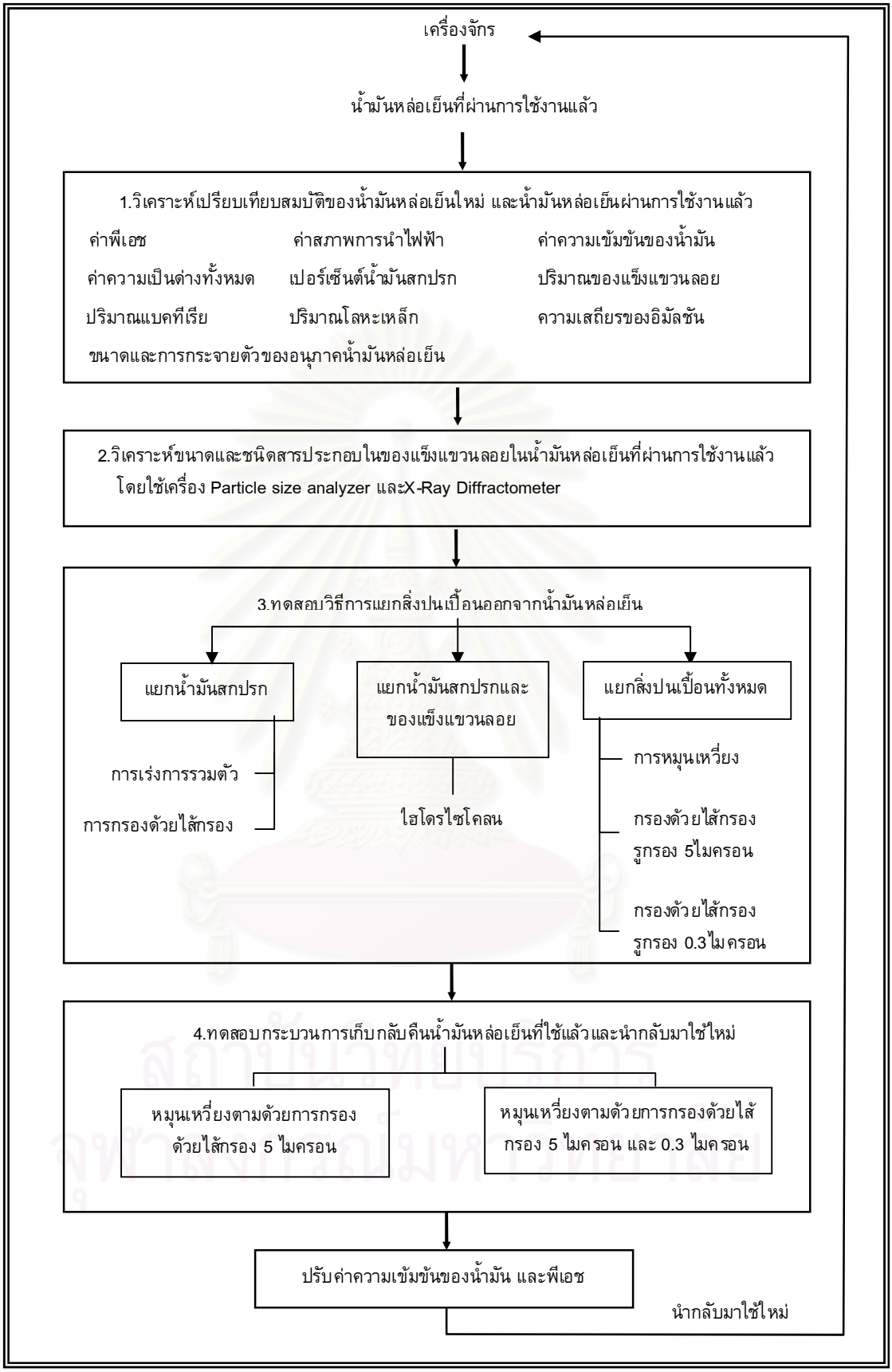
4.2.13 เครื่อง Induced Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)

4.2.14 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)

4.3 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลองโดยละเอียด

การทดลองประกอบไปด้วยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น โดยการทบทวนข้อมูล องค์ความรู้พื้นฐาน สอบถามข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันหล่อเย็นจากโรงงานอุตสาหกรรมทางโทรศัพท์และแบบสอบถาม เข้าศึกษาข้อมูลการใช้งานและเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นจากโรงงานอุตสาหกรรม นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อเย็นใหม่ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ค่าปริมาณแบคทีเรีย ค่าปริมาณเหล็ก ค่าขนาดอนุภาคของแข็งเฉลี่ย และความเสถียรของอิมัลชัน ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้จะสามารถบ่งบอกถึงสาเหตุ และสภาพของน้ำมันหล่อเย็นในขณะนั้น และองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น และศึกษาลักษณะของของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ และเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค และศึกษาวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยแบ่งเป็นการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว และการกรอง การแยกน้ำมันสกปรกและของแข็งแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลน และการแยกสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และการกรองโดยใช้ไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน และศึกษากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้กระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน ตามลำดับ และศึกษาทบทวนข้อมูลจากรายงานการวิจัยทั้งหมด และเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาภูมิหลังและศึกษาสถานภาพโดยทั่วไป ที่จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยมุ่งเน้นที่จะเสนอแนะแนวทางของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


เครื่องจักร
น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
1.วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่ และน้ำมันหล่อเย็นผ่านการใช้งานแล้ว
ค่าพีเอช
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า
ค่าความเข้มข้นของน้ำมัน
ค่าความเป็นด่างทั้งหมด
เปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก
ปริมาณของแข็งแขวนลอย
ปริมาณแบคทีเรีย
ปริมาณโลหะเหล็ก
ความเสถียรของอิมัลชัน
ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น
2.วิเคราะห์ขนาดและชนิดสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
โดยใช้เครื่อง Particle size analyzer และX-Ray Diffractometer
3.ทดสอบวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น
แยกน้ำมันสกปรก
แยกน้ำมันสกปรกและ
ของแข็งแขวนลอย
แยกสิ่งปนเปื้อนทั้งหมด
การเร่งการรวมตัว
การกรองด้วยไส้กรอง
ไฮโดรไซโคลน
การหมุนเหวี่ยง
กรองด้วยไส้กรอง
รูกรอง 5ไมครอน
กรองด้วยไส้กรอง
รูกรอง 0.3ไมครอน
4.ทดสอบกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่
หมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง
ด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน
หมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้
กรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน
ปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมัน และพีเอช
นำกลับมาใช้ใหม่

4.3.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1.1 เตรียมน้ำมันหล่อเย็นใหม่โดยการผสมน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นกับน้ำกลั่น โดยใช้ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นเดียวกับค่าที่เหมาะสมกับการใช้งานของโรงงานที่เก็บตัวอย่างนั้นๆ โดยถ้าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 5% หมายความว่า เจือจางน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้น 1 ส่วน ต่อน้ำ 20 ส่วน เป็นต้น

4.3.1.2 เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงานอุตสาหกรรม 4 แห่ง จำนวน 6 ตัวอย่าง ดังนี้

- ตัวอย่างที่ 1 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะเหล็ก อายุการใช้งาน 2 เดือน และ 5 เดือน
- ตัวอย่างที่ 2 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม และเหล็ก ความละเอียดผิวงานสูง อายุการใช้งาน 1 เดือน
- ตัวอย่างที่ 3 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม อายุการใช้งาน 1 เดือน
- ตัวอย่างที่ 4 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวงานสูง ไม่สามารถระบุอายุการใช้งาน
- ตัวอย่างที่ 5 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวงานสูง ไม่สามารถระบุอายุการใช้งาน
- ตัวอย่างที่ 6 น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะเหล็ก ไม่สามารถระบุอายุการใช้งาน (ใช้ในการทดลองที่ 4.3.3.1 และ 4.3.3.2)

เก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นจากถังพักของเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) โดยก่อนเก็บตัวอย่างจะกวนถังพักประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้อนุภาคน้ำมันหล่อเย็นกระจายตัวได้ดี ตักน้ำมันหล่อเย็นด้วยกระบวย และเทบรรจุลงในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็น จะเก็บไว้ในตู้แช่ ที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และก่อนนำมาศึกษาทดลองทุกครั้งจะต้องกวนของเหลวด้วยแท่งแก้วคนประมาณ 20 นาที เพื่อให้อนุภาคน้ำมันหล่อเย็นกระจายตัวได้ดี และปรับอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิห้อง เพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.3.1.3 นำตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นใหม่และน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. ค่าพีเอช

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องพีเอชมิเตอร์

1.2 บีกเกอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร

1.3 กระบอกตวง

2. วิธีการทดลอง

2.1 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งแก้วอิเล็กโทรด และใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง

2.2 ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือนั้นๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำมันหล่อเย็นที่จะวัด

2.3 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งแก้วอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง

2.4 วัดค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็น และบันทึกผลการทดลอง

ข. ค่าสภาพนำไฟฟ้า

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

1.2 บีกเกอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร

1.3 แท่งแก้วคน

1.4 สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ ค่าสภาพนำไฟฟ้า 1.0 mS/cm

2. วิธีการทดลอง

2.1 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งหัววัด (probe)

2.2 ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือนั้นๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่าของน้ำมันหล่อเย็นที่จะวัด

2.3 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งหัววัดอีกครั้ง

2.4 วัดค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำมันหล่อเย็น พร้อมทั้งคนน้ำมันหล่อเย็นด้วยแท่งแก้วคน เพื่อให้ไอออนในน้ำมันหล่อเย็นสัมผัสกับหัววัด อ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง

ค. ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น

1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

1.2 บีกเกอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร

1.3 กระดาษทิชชู

2 วิธีการทดลอง

2.1 เช็ดทำความสะอาดผิวหน้าปริซึมให้สะอาด

2.2 หยดน้ำเปล่า (ใช้เทียบค่ามาตรฐาน) บนพื้นผิวปริซึมด้วยหลอดหยด และปิดกระจก

2.3 อ่านค่าความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำ (ควรมีค่าเท่ากับ 0%)

2.4 เช็ดผิวหน้าปริซึมให้แห้งสะอาด

2.5 ทำซ้ำข้อที่ 2.2-2.4 แต่เปลี่ยนของเหลวเป็นน้ำมันหล่อเย็น

2.6 อ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง

ง. ค่าความเป็นด่างทั้งหมด วิธีการโพเทนทิโอเมตริก (Potentiometric)

1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดค่าพีเอช

1.2 เครื่องกวนแม่เหล็ก

1.3 บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.4 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

1.5 ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร

2 สารเคมี

2.1 น้ำกลั่น

2.2 อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกับเมทธิลเรด

2.3 กรดซัลฟุริคเข้มข้น

2.4 โซเดียมคาร์บอเนต

3 เตรียมการทดลอง

3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริค 1.0 นอร์มัล (1.0 N)

3.1.1 เตรียมกรดซัลฟุริคให้มีความเข้มข้นมากกว่า 1.0 N โดยใช้กรดซัลฟุริคเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ละลายลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.1.2 ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตที่อบแล้วประมาณ 1.0 - 1.1 กรัม จดบันทึกน้ำหนัก และละลายลงในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3.1.3 ไตเตรตด้วยกรดซัลฟุริคที่เตรียมไว้ โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมทธิลเรด ซึ่งจะเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีชมพูอมส้ม จดปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรตจนถึงจุดยุติ

3.1.4 ทำข้อ 3.1.2-3.1.3 ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรกรดที่ใช้

3.1.5 คำนวณปริมาตรกรดที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมคาร์บอเนต ดังนี้

โซเดียมคาร์บอเนต 1.06 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซัลฟุริค 1.0 N ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โซเดียมคาร์บอเนต A กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซัลฟุริค 1.0 N ปริมาตร 20 x A /1.06 มิลลิลิตร.

3.1.6 คำนวณปริมาตรของน้ำที่จะเติมเพื่อให้สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริคมีความเข้มข้น 1.0 N พอดี ดังนี้

ปริมาตรน้ำที่ต้องเติม = (ปริมาตรกรดที่จะนำมาเจือจาง/ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต) x A

โดยที่ A = ปริมาตรกรดจากการคำนวณ – ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต

3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริค 0.1 N

3.2.1 เจือจางกรดซัลฟุริค 1.0 N จำนวน 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ปิเปตน้ำมันหล่อเย็นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.3.2 วางบีกเกอร์บนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโตรดลงในบีกเกอร์

3.3.3 วัดพีเอชของน้ำมันหล่อเย็น แล้วเติมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริคจากบิวเรตลงไปอย่างรวดเร็ว จนใกล้จุดยุติให้เติมทีละน้อย ๆ รอจนแน่ใจว่าพีเอชถึงจุดสมดุลก่อนจึงค่อยเติมต่อไป จนถึงจุดยุติ

3.3.4 ไตเตรตจนกระทั่งน้ำมันหล่อเย็นมีค่าพีเอชประมาณ 4

3.3.5 จดปริมาตรกรดที่ใช้ (มิลลิลิตร) และคำนวณค่าความเป็นด่างทั้งหมด โดยมีหน่วยเป็น PPM by volume จากสูตร

สภาพด่างทั้งหมด = (ปริมาตรของกรดที่ใช้ x นอร์มัลของกรด x 50,000) / ปริมาตรของน้ำมันหล่อเย็น

จ. ปริมาณน้ำมันสกปรก โดยวิธีการเติมกรดตามด้วยเหวี่ยงแยก (Acid split/Centrifuge)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์
   - 1.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง
   - 1.2 กระบอกเหวี่ยง
   - 1.3 กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร
2. สารเคมี
   - 2.1 กรดซัลฟุริคเข้มข้น
3. วิธีการทดลอง
   - 3.1 ปิเปตน้ำมันหล่อเย็นลงในกระบอกเหวี่ยง 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 กระบอก
   - 3.2 หยดกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 หยด ลงในกระบอกเหวี่ยง
   - 3.3 บรรจุลงในเครื่องหมุนเหวี่ยง
   - 3.4 ตั้งความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที
   - 3.5 ค่อยๆ รินของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วลงในกระบอกตวงโดยระวังไม่ให้ชั้นน้ำมันสกปรกแตกตัว
   - 3.6 ทำซ้ำข้อ 3.1-3.5 จำนวน 3 ครั้ง
   - 3.7 วางทิ้งไว้ครู่หนึ่ง ของเหลวจะแยกชั้นน้ำมันบนชั้นน้ำ
   - 3.8 หาอัตราส่วนของปริมาตรน้ำมันต่อปริมาตรของเหลวทั้งหมดคูณด้วย 100 ได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมด (%Total oil)
   - 3.9 คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกได้จาก

%น้ำมันสกปรก = %น้ำมันทั้งหมด – (ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น x อัตราส่วนน้ำมันในน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้น)

ฉ. ปริมาณของแข็งแขวนลอย โดยวิธีการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง (Centrifuge/Filtration)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์
   - 1.1 กระดาษกรองใยแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

1.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง

1.3 กระบอกเหวี่ยง

1.4 กรวยกรองบุคเนอร์

1.5 เครื่องดูดอากาศ

1.6 ตู้อบความร้อน

1.7 เดสิกเคเตอร์

1.8 ชุดกรองสุญญากาศ

1.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

2. วิธีการทดลอง

2.1 อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 103-105 °C ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักเป็น A มิลลิกรัม

2.2 ปิเปตน้ำมันหล่อเย็นประมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในกระบอกเหวี่ยง 4 กระบอก

2.3 นำกระบอกเหวี่ยงบรรจุลงในเครื่องหมุนเหวี่ยง ตั้งความเร็วรอบ 3,000 rpm เวลา 15 นาที

2.4 เทของเหลวส่วนบนทิ้งไป ให้เหลือเฉพาะตะกอน

2.5 กลั้วตะกอนด้วยน้ำและกรองตะกอนส่วนที่เหลือด้วยกระดาษใยแก้วที่อบแล้วด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

2.6 นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้วอบเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ103-105 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2.7 ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็น B มิลลิกรัม

2.8 คำนวณและจดบันทึกค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย มีหน่วยเป็น PPM by volume ได้จาก

ของแข็งแขวนลอย = (B-A) x 100 / ปริมาตรของน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิลิตร)

ช. ปริมาณแบคทีเรีย โดยใช้ชุดทดสอบ Dip slide

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 ชุดทดสอบ Dip slides

1.2 บีกเกอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร

2. วิธีการทดลอง

2.1 เทน้ำมันหล่อเย็น 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์

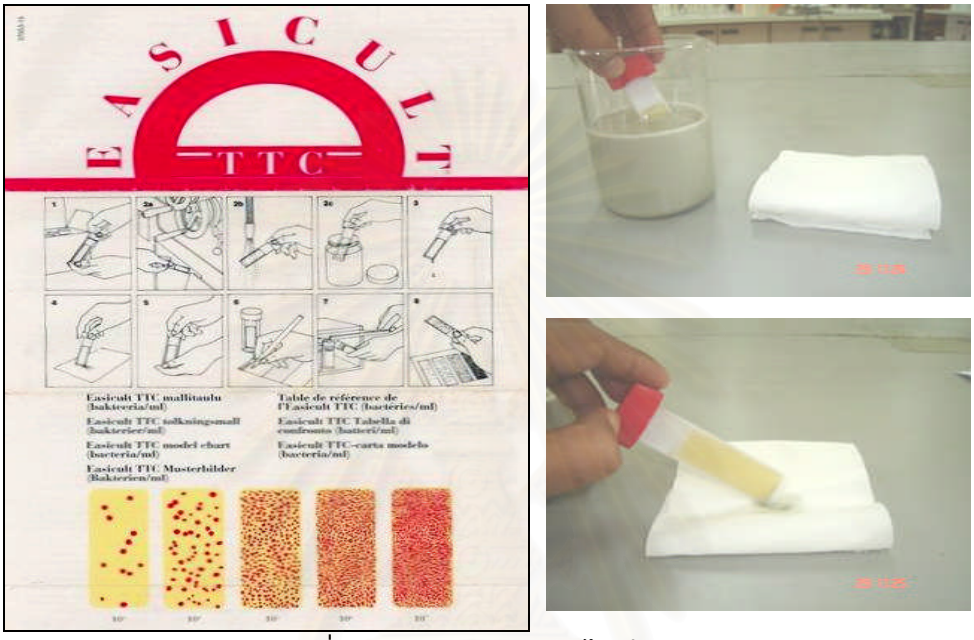
2.2 จุ่มชุดทดสอบให้ผิวอาหารทั้งสองหน้าสัมผัสกับน้ำมันหล่อเย็น

2.3 ยกชุดทดสอบขึ้นจากบีกเกอร์และซับมุมด้วยกระดาษทิชชูที่สะอาด

2.4 บรรจุชุดทดสอบลงในภาชนะปิดสนิท ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง

2.5 อ่านค่าปริมาณแบคทีเรียจากคู่มือการใช้งาน มีหน่วยเป็น CFU/ml

2.6 จดบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 ชุดทดสอบดิฟสไลด์ (Dip slides)

ซ. ปริมาณเหล็กทั้งหมด โดยใช้เครื่อง ICPS (Method 3050b)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่อง Inductive Coupled Plasma Spectroscopy

1.2 เตาไฟ (Hot plate)

1.3 บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

1.4 กระจกนาฬิกา

1.5 ตู้อบความร้อน

1.6 กรวยกรอง

1.7 กระดาษกรอง เบอร์ 41

1.8 ขวดคอยาว ขนาด 100 และ 200 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

2.1 กรดไฮโดรคลอริก

2.2 กรดไนตริก

2.3 กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.4 น้ำกลั่น

2.5 สารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 10 PPM และ 100 PPM

3. กระบวนการ

3.1 ชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อเย็นประมาณ 1-5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จดบันทึกเป็นค่า A มิลลิกรัม

3.2 เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน

3.3 เติมกรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก ปิดด้วยกระจกนาฬิกา อย่างละ 15 มิลลิลิตร

3.4 ต้มบนเตาไฟประมาณ 15 นาที

3.5 ยกออกจากเตาและเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ

3.6 ต้มสารละลายต่อไปอีกประมาณ 20 นาที หรือจนกระทั่งได้สารละลายใส

3.7 ยกลงจากเตาไฟ วางทิ้งไว้ให้เย็น กรองสารละลายใสที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ลงในขวดคอยาวปริมาตร 200 มิลลิลิตร

3.8 นำส่วนที่ผ่านการกรองใสเติมน้ำ ปรับปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตร

3.9 บรรจุของเหลวที่ได้จากข้อ 3.8 ลงในขวดพลาสติก ปิดฝาให้สนิท

3.10 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICPS

3.11 บันทึกผลวิเคราะห์มีค่าเป็น B PPM

3.12 คำนวณปริมาณเหล็กทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็น ดังนี้

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีเหล็กทั้งหมด B มิลลิกรัม ถ้าสารละลาย 200 มิลลิลิตร มีเหล็กทั้งหมด B/5 มิลลิกรัม

จากน้ำมันหล่อเย็น A มิลลิกรัม มีเหล็กทั้งหมด B/5 มิลลิกรัม ถ้าน้ำมันหล่อเย็น 10^6 มิลลิกรัม มีเหล็กทั้งหมด $B \times 10^6/5 \times A$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ PPM by weight

ฌ. ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค โดยเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค

1.2 บีกเกอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร

1.3 หลอดหยด

1.4 แท่งแก้วคน

2. วิธีการทดลอง

2.1 คนสารละลายให้เข้ากันดี

2.2 ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค

2.4 วิเคราะห์และบันทึกผลการทดลอง

ญ. ความเสถียรของอิมัลชัน โดยวิธีหมุนเหวี่ยง (ORC, 1999)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง

1.2 กระบอกเหวี่ยง

2. วิธีการทดลอง

2.1 เทน้ำมันหล่อเย็นลงในกระบอกหมุนเหวี่ยงประมาณ 10 มิลลิลิตร

2.2 หมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

2.3 สังเกตสภาพของอิมัลชัน ถ้าของเหลวไม่เสถียร จะเกิดการแยกออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นน้ำมันบนชั้นครีมตามด้วยชั้นน้ำ ตามลำดับ

2.4 จดบันทึกผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ขั้นตอนการศึกษาขนาดและชนิดของสารประกอบของของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)

4.3.2.1 ศึกษาขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่อง Particle size analyzer

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างของแข็งแขวนลอยสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค โดยนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) หมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที เทของเหลวส่วนบนทิ้ง

2) เขี่ยตะกอนก้นหลอดวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยเครื่อง Particle size analyzer

4.3.2.2 ศึกษาชนิดของสารประกอบของของแข็งแขวนลอยโดยเครื่อง XRD

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างของแข็งแขวนลอยสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ โดยการนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) หมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที เทของเหลวส่วนบนทิ้ง ฉีดน้ำกลั่นกลั้วตะกอนก้นหลอด จากนั้นเทของเหลวก้นหลอดลงในบีกเกอร์ ทำซ้ำจนตะกอนหมดไป ให้ความร้อนจนกระทั่งตะกอนกลายเป็นของแข็ง ขูดตะกอนลงบนกระจกนาฬิกา ประมาณ 5-10 กรัม

2) บดตะกอนด้วยเครื่องบด ประมาณ 3-5 นาที หรือจนได้ตัวอย่างที่มีความละเอียดประมาณ 200 เมช ก่อนชักตัวอย่างด้วยวิธีการแบ่งสี่ส่วน (Coning and quartering) แล้วนำไปใส่ถ้วยอะลูมิเนียมเพื่ออัด แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดขนาด 20-30 ตัน เวลา 10-20 วินาที จะได้ตัวอย่างที่เป็นเม็ดหรือเป็นแผ่น เพื่อวางในที่ใส่ตัวอย่าง (Sample Holder) แล้วนำไปทำการวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์แล้วบันทึกผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ขั้นตอนการทดสอบวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น

4.3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว (Coalescences)

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งเป็นน้ำมันชนิดกึ่งสังเคราะห์จากโรงงานตัดกลึงโลหะเหล็ก รูปแบบงานกลึงหยาบ (ตัวอย่างที่ 6) ประมาณ 10 ลิตร

2) ประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากท่อพีวีซี เพื่อทดสอบความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้ตัวกลาง (Coalescing media) ชนิดผ้าสักหลาด และเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนหุ้มด้วยผ้าบางเพื่อกันลอย

3) ประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ ชนิดทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร เพื่อทดสอบความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้ตัวกลางชนิดผ้าสักหลาด แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทหยาบ แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทละเอียด เส้นใยแก้วฉนวนกันความร้อน แผ่นขัดพื้นขนแกะ ฟองน้ำตู้ปลา และเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน และพิจารณาตัวกลางที่มีความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกได้ดี เพื่อนำมาใช้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

4) ประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ ชนิดทำจากถังทรงสี่เหลี่ยม เพื่อทดสอบการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้ผ้าสักหลาด โดยเปลี่ยนอัตราการไหลจาก 0.09, 0.15 และ 0.35 ลิตรต่อนาที และวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกที่ลดลงจากเดิมในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

4.3.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีการกรอง

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งเป็นน้ำมันชนิดกึ่งสังเคราะห์จากโรงงานตัดกลึงโลหะเหล็ก รูปแบบงานกลึงหยาบ (ตัวอย่างที่ 6) ประมาณ 5 ลิตร

2) กรองน้ำมันหล่อเย็นด้วยเครื่องกรองท่อเดียว ไส้กรองโพลีโพรพิลีน, โพลีเอทิลีน, สารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีน ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน ปั๊มน้ำที่ใช้คือ ปั๊มน้ำแบบจุ่ม อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

3) นำของเหลวที่ผ่านการกรองวิเคราะห์ค่า %น้ำมันสกปรกที่ลดลงจากเดิม โดยวิธีเติมกรดตามด้วยการหมุนเหวี่ยง (Acid Split/Centrifuge) เช่นเดียวกับข้อ 4.3.1.3 จ

4.3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสกปรกและของแข็งแขวนลอยโดยใช้ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) ประมาณ 30 ลิตร

2) ทำความสะอาดไฮโดรไซโคลน โดยการหมุนเวียนระบบด้วยน้ำเปล่าประมาณ 30 นาที รินน้ำเปล่าออกจากระบบทั้งหมด

3) เทน้ำมันหล่อเย็นลงในถังพักไฮโดรไซโคลน

4) เปิดสวิตซ์เดินเครื่องและปรับแรงดันเป็น 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

5) วัดอัตราการไหลบริเวณช่องทางออกหยาบและช่องทางออกละเอียด โดยวิธีการจับเวลาของเหลวเติมเต็มภาชนะตวงปริมาตร 2 ลิตร ทำ 3 ซ้ำหาค่าเฉลี่ย

6) เก็บตัวอย่างของเหลวที่ผ่านช่อง Underflow nozzle และช่อง Overflow nozzle นำมาวิเคราะห์ค่าพีเอช ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ปริมาณน้ำมันสกปรก และปริมาณของแข็งแขวนลอย ตามวิธีการข้อ 4.3.1.3

7) ทำซ้ำข้อ 4-6 แต่เปลี่ยนความดันเป็น 20 และ 30 psi ตามลำดับ

8) บันทึกผลการทดลอง

4.3.3.4 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของแข็งทั้งหมดโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) ประมาณ 5 ลิตร

2) เทน้ำมันหล่อเย็นลงในกระบอกเหวี่ยง ตั้งความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

3) ค่อยๆ รินของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วลงในกรวยแยก

4) วางทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที แยกของเหลวส่วนล่างเก็บมาวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1.3

4.3.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของแข็งทั้งหมดโดยใช้เครื่องกรองท่อเดียว ไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 4) ประมาณ 10 ลิตร

2) ติดตั้งระบบกรอง ด้วยไส้กรองเซลลูโลส และปั้มน้ำไดอะแฟรม

3) ทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

4) กรองน้ำมันหล่อเย็น โดยทิ้งของเหลวในช่วง 1.5 ลิตรแรกทิ้งก่อน จากนั้นเก็บของเหลวที่ผ่านการกรองนำไปวิเคราะหสมบัติน้ำมันหล่อเย็นดังเช่นหัวข้อ 4.3.1.3

5) ล้างทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

4.3.3.6 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของแข็งทั้งหมดโดยใช้เครื่องกรองท่อเดียว ไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 4) ประมาณ 10 ลิตร

2) ติดตั้งระบบกรอง ด้วยไส้กรองเซรามิกส์ และปั้มน้ำไดอะแฟรม

3) ทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

4) กรองน้ำมันหล่อเย็น โดยทิ้งของเหลวในช่วง 1.5 ลิตรแรกทิ้งก่อน จากนั้นเก็บของเหลวที่ผ่านการกรองนำไปวิเคราะหสมบัติน้ำมันหล่อเย็นดังเช่นหัวข้อ 4.3.1.3

5) ล้างทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ขั้นตอนการทดสอบกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

4.3.4.1 ทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) ประมาณ 15 ลิตร

2) ติดตั้งเครื่องกรอง ด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และปั้มน้ำไดอะแฟรม ล้างระบบด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 30 นาที

3) เทน้ำมันหล่อเย็นลงในกระบอกเหวี่ยง หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

4) เทของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วลงในกรวยแยก

5) แยกของเหลวส่วนล่างเก็บไว้

6) ทำซ้ำข้อ 3-5 จนกระทั่งได้น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงประมาณ 10 ลิตร

7) กรองของเหลวที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยง

8) ทิ้งของเหลวที่ผ่านการกรอง 1.5 ลิตรแรกก่อน จากนั้นเก็บของเหลวที่ผ่านการกรอง นำมาวิเคราะห์สมบัติน้ำมันหล่อเย็นดังเช่นหัวข้อ 4.3.1.3

9) ล้างทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

4.3.4.2 ทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรอง ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1) เตรียมน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่ 5) ประมาณ 20 ลิตร

2) ติดตั้งเครื่องกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และปั้มน้ำไดอะแฟรม และล้างระบบด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 30 นาที

3) เทน้ำมันหล่อเย็นลงในกระบอกเหวี่ยง หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

4) เทของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วลงในกรวยแยก

5) แยกของเหลวส่วนล่างเก็บไว้

6) ทำซ้ำข้อ 3-5 จนกระทั่งได้น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงประมาณ 15 ลิตร

7) กรองของเหลวที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยง

8) ทิ้งของเหลวที่ผ่านการกรอง 1.5 ลิตรแรกก่อน จากนั้นเก็บของเหลวที่ผ่านการกรอง จนได้ปริมาตร ประมาณ 10 ลิตร

9) ล้างทำความสะอาดระบบกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ โดยการกรองน้ำเปล่าทิ้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

10) กรองของเหลวที่ได้ในข้อ 8

11) เก็บของเหลวที่ผ่านการกรอง นำมาวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1.3

4.3.5 วิเคราะห์ ประเมินผลและเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

วิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการค้นคว้าทดลองข้างต้นทั้งหมด รวมถึงสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นก่อนและหลังกระบวนการต่างๆ ปัญหาและข้อจำกัดของการทดลอง เพื่อที่จะเสนอแนวทางที่เหมาะสมในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อเย็นใหม่

การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำมันหล่อเย็นใหม่ โดยการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็นดังนี้ พีเอช (pH), สภาพนำไฟฟ้า (Electricity conductivity), ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (Concentration), เปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก (%Tramp oil), ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total suspended solid ; TSS), ปริมาณแบคทีเรีย (Bacteria count), ความกระด้างทั้งหมด (Total alkalinity), ปริมาณเหล็กทั้งหมด, ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็น และความเสถียรของอิมัลชัน เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการวิเคราะห์สมบัติเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วกับน้ำมันหล่อเย็นใหม่ (ดังตารางที่ 5.1) และบ่งชี้สภาพของน้ำมันหล่อเย็นเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ (ดังตารางที่ 5.2) ผลปรากฏว่า

1. น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นลดลง โดยมีสาเหตุมาจากอนุภาคน้ำมันติดค้างไปกับชิ้นงาน หรือกระเซ็นเป็นละออง

2. ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก ปริมาณของแข็งแขวนลอย และปริมาณแบคทีเรียมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดของน้ำมันหล่อเย็นที่ดี โดยน้ำมันสกปรกมีสาเหตุมาจากการไหลรั่วของน้ำมันอื่นๆ ลงในถังพักหรือติดค้างตามทางเดินของเครื่องจักร, ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของเศษกลึง ฝุ่น ดิน เป็นต้น ซึ่งสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยเครื่อง ICPS พบว่า น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีปริมาณเหล็กมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำของเหลวไปกรอง พบว่า ปริมาณเหล็กลดลงบางส่วนเท่านั้น แสดงว่า เหล็กในน้ำมันหล่อเย็นมีทั้งในรูปสารละลาย และอนุภาคของแข็ง, ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มสูงขึ้นมีแหล่งกำเนิดมาจากจุลินทรีย์ในดิน อากาศ หรือผิวหนังคน ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติอื่นๆ ด้วย

3. แบคทีเรียเป็นสาเหตุให้น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าพีเอชลดลง เนื่องจากแบคทีเรียกัดกินสารอาหารในน้ำมันหล่อเย็น ผลิตกรดและกลิ่นจากกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้แบคทีเรียยังสร้างเมือกเพิ่มปริมาณน้ำมันสกปรก ทำให้ของเหลวขุ่น เมื่อใช้

งานจะเกิดคราบสีดำที่ผิวชิ้นงาน และเกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ผู้ใช้งานจึงมักประสบปัญหาการเป็นโรคผิวหนังและโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ

4. ของแข็งปนเปื้อนโดยเฉพาะเศษกลึง จะทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น และผิวชิ้นงานขรุขระ

5. น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นสูงขึ้น (ดังรูปที่ 5.1) เนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อนและการลดลงของปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์จากการกัดกินของแบคทีเรีย ทำให้อนุภาคน้ำมันเกิดการเกาะรวมตัวกัน สมบัตินี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันลดลง และชิ้นงานมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ

6. น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องมาจากการสะสมของสารประกอบในน้ำที่ใช้เจือจาง

7. ค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นมีค่าลดลง สามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันหล่อเย็นมีสภาพความเข้มข้นต่ำหรือเจือจางเกินไป

8. อย่างไรก็ตาม น้ำมันหล่อเย็นยังคงมีเสถียรภาพของอิมัลชัน ซึ่งเป็นสมบัติที่บ่งบอกว่าน้ำมันหล่อเย็นสามารถใช้งานได้

จะเห็นได้ว่าสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วทุกประการอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้ใช้งานได้ แต่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ดี นอกจากนี้ปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่สะสมมากขึ้นจะลดประสิทธิภาพการทำงาน และทำให้น้ำมันหล่อเย็นสูญเสียเสถียรภาพในที่สุด ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยการกำจัดสิ่งปนเปื้อนและปรับสภาพน้ำมันหล่อเย็นให้มีสมบัติเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องจักร รักษาคุณภาพของชิ้นงาน และปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้ดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์กำหนดสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ดี และน้ำมันหล่อเย็นที่สามารถใช้งานได้

สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	น้ำมันหล่อเย็นที่ดี		น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้	
	เกณฑ์กำหนด	แหล่งอ้างอิง	เกณฑ์กำหนด	แหล่งอ้างอิง
พีเอช	ตามคำแนะนำของผู้ผลิตและลักษณะการใช้งาน	Iowa Waste Reduction Center, 2003	8.0-9.5	Monroe Fluid Technology; ISO 9001 Certified
สภาพนำไฟฟ้า (μS/cm)			< 4,000 -5,000	Cincinnati Milacron Products Division (1996)
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%v/v)			3 -12	Iowa Waste Reduction Center (2003)
ความเป็นด่างทั้งหมด (PPM by volume)				
เปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก (%v/v)	< 2	Mac (2002) และ HSE (2006)	< 10	Iowa Waste Reduction Center (1990)
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	< 300	Mac (2002)		
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	$< 10^3$	ORC (1996), HSE (2006)	10^4-10^6	ORC (1996), King Country (2000)
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.1-10*	Mang และ Dresel (2001)		
ความเสถียรภาพของอิมัลชัน	เสถียร	ORC (1996)	เสถียร	Deluhery and Rajagopalan (2005)

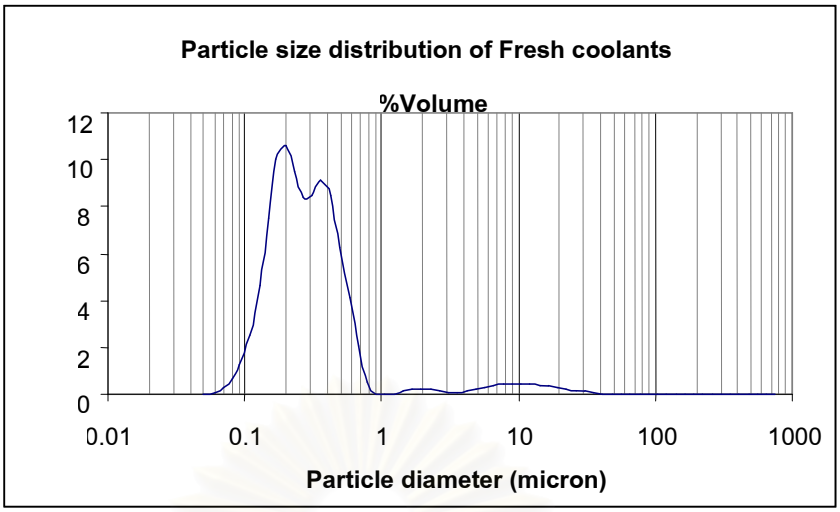
* ขนาดอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็นสำหรับงานกลึง

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นใหม่และผ่านการใช้งานแล้ว

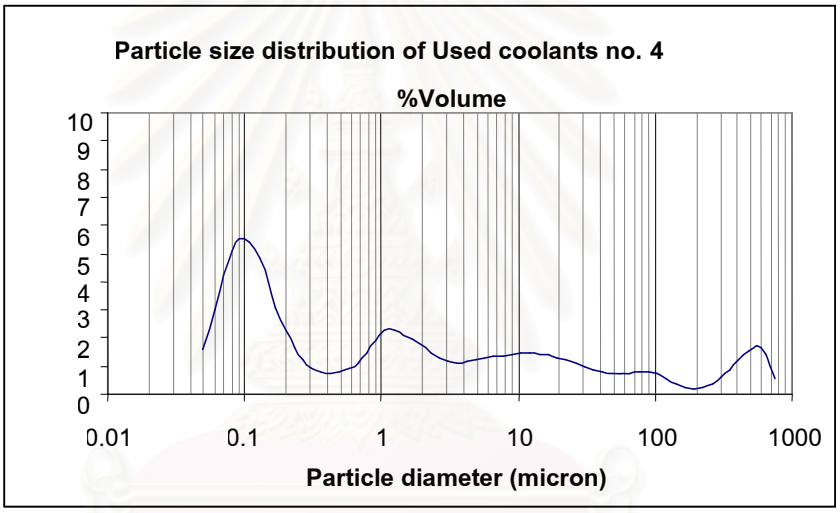
สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	ตัวอย่างที่ 1			ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3		ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	Fresh	อายุการใช้งาน		Fresh	อายุการใช้งาน	Fresh	อายุการใช้งาน	Fresh	อายุการใช้งาน	Fresh	อายุการใช้งาน
		2 เดือน	5 เดือน		1 เดือน		1 เดือน		ไม่ระบุ		ไม่ระบุ
พีเอช	8.9	8.8	9.0	9.6	8.8	9.6	9.2	9.8	8.21	9.78	9.19
สภาพนำไฟฟ้า (μs/cm)	867	1,132	1,816	856	2,420	953	2,850	824	4,000	911	1,650
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น(% v/v)	5	2.3	3.7	11	4	5	†	9	7	6	4
ความเป็นด่างทั้งหมด(PPM by volume)										2,400	1,780
เปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก (% v/v)	0	1.22	2.32	0	6.33	0	4.71	0	4.1	0	2.7
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)								91	48,250	135	2,527
ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^4	10^4	0	10^5	0	10^5	0	10^6	0	10^6
ปริมาณเหล็ก (PPM by weight)								13.5	36.05		
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)								0.93	40.57	0.93	5.96
ความเสถียรภาพของอิมัลชัน								เสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร

† น้ำมันหล่อเย็นมีสิ่งปนเปื้อนมากเกินไป ไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ได้

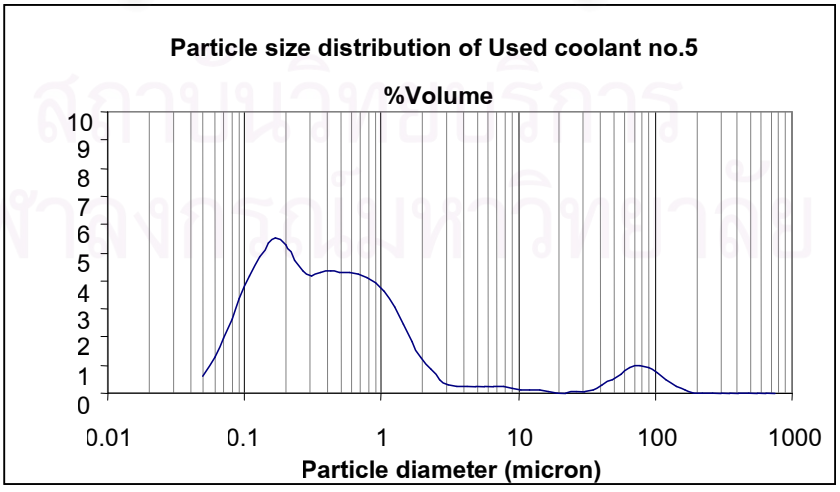
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) น้ำมันหล่อเย็นใหม่



(b) น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่4)



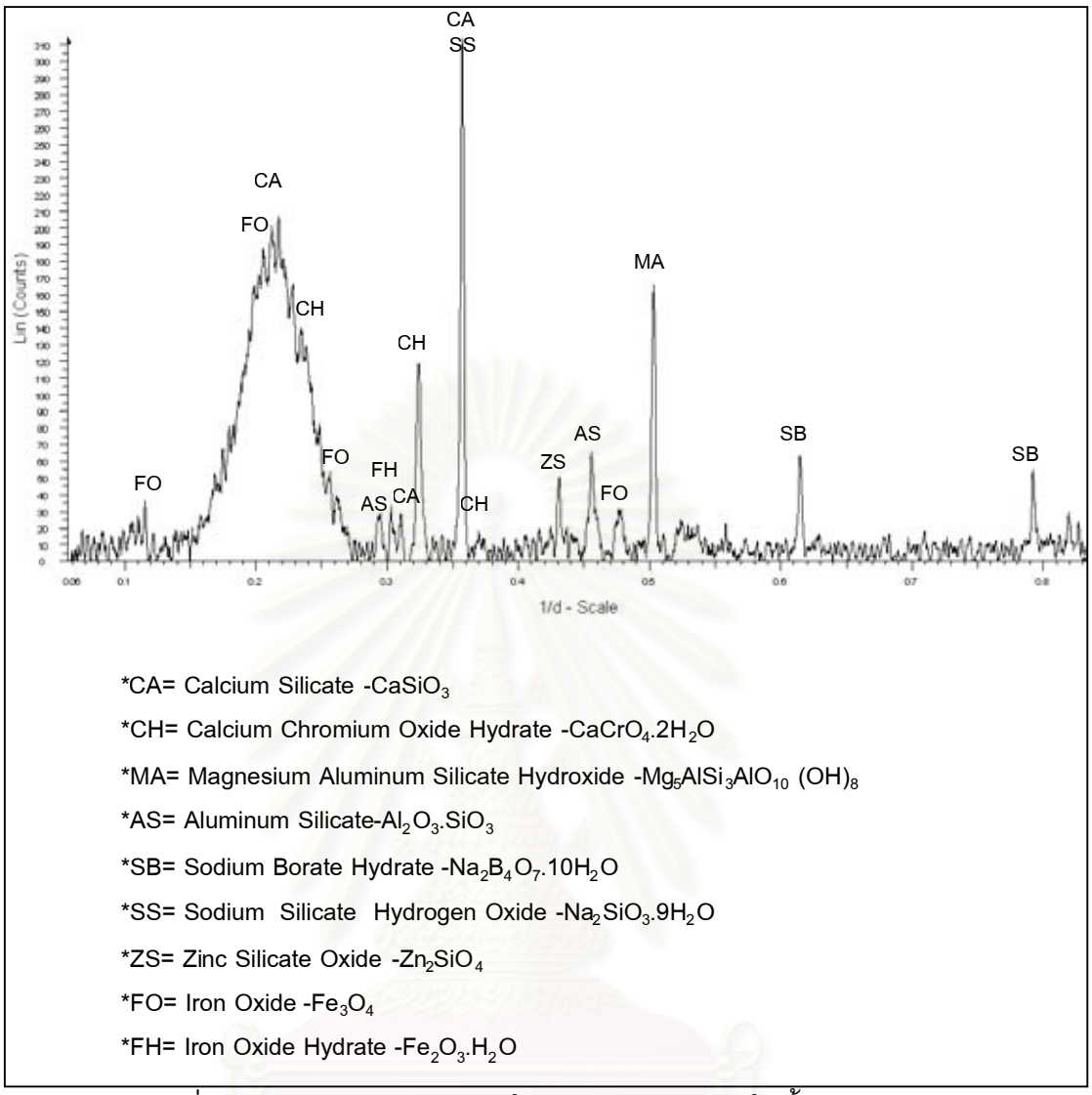
(c) น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ตัวอย่างที่5)

รูปที่ 5.1 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้ว

5.2 วิเคราะห์ขนาด และชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer ; XRD)

ในการศึกษาขนาดและชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 5) มาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำตะกอนก้นหลอดมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค และนำตะกอนก้นหลอดส่วนที่เหลือมาเผาให้เป็นของแข็ง บดอัดและนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้จะทำให้เราทราบข้อมูลต่อเนื่องจากการศึกษาสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพื่อให้ทราบว่าของแข็งแขวนลอยมีขนาดอนุภาคประมาณเท่าไร เป็นสารประกอบชนิดใด มีธาตุใดเป็นองค์ประกอบ เกิดขึ้นได้อย่างไร จำเป็นต้องกำจัดทิ้งหรือไม่

จากการทดลองศึกษาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค พบว่า ของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0-8 ไมครอน คิดเป็น 67.64% ส่วนอนุภาคที่โตกว่า 8 ไมครอน คิดเป็น 32.36% (ดังรูปที่ 5.3) ซึ่ง ORC (1996) อธิบายว่า ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 8 ไมครอน จะเป็นปัญหาให้ผิวชิ้นงานเกิดความไม่ราบเรียบสูงกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ และจากการศึกษาวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบของของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ พบว่า ของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นเป็นสารประกอบจำพวก แคลเซียมซิลิเกต ($CaSiO_3$), แคลเซียมโครเมียมออกไซด์ไฮเดรต ($CaCrO_4.2H_2O$), บอแรกซ์ ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), โซเดียมซิลิเกตไฮโดรเจนออกไซด์ ($Na_2SiO_3.9H_2O$), แมกนีเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ ($Mg_5AlSiAlO_{10}(OH)_8$), อะลูมิเนียมซิลิเกต ($Al_2O_3.SiO_3$), เหล็กออกไซด์ไฮเดรต ($Fe_2O_3.H_2O$), เหล็กออกไซด์ (Fe_3O_4) และซิงก์ซิลิเกต ออกไซด์ (Zn_2SiO_4) (ดังรูปที่ 5.2) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวล้วนเป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของไอออนโลหะหนัก หรือไอออนเกลือในน้ำกับธาตุองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น และน้ำ โดยไอออนของโลหะหนักเกิดมาจากการละลายผิวโลหะผุกร่อนของเครื่องจักร ชิ้นงานหรือมีดกลึง ได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม สังกะสี ส่วนไอออนเกลือได้มาจากสารประกอบในน้ำกระด้าง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ส่วนสารกลุ่มซิลิเกต หรือออกไซด์ไฮเดรตได้จากองค์ประกอบในสารเติมแต่ง เช่น กลุ่มซัลโฟเนต หรือซัลเฟตที่พบในสารอิมัลซิไฟเออร์ สารป้องกันการกัดกร่อน สารป้องกันการเกิดฟอง เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้สารประกอบที่พบในของแข็งแขวนลอยเป็นสารประกอบที่ได้จากแร่ธาตุในน้ำและไอออนโลหะปะปนอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นและน้ำนั่นเอง



*CA= Calcium Silicate -$CaSiO_3$

*CH= Calcium Chromium Oxide Hydrate -$CaCrO_4.2H_2O$

*MA= Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide -$Mg_5AlSi_3AlO_{10}$ $(OH)_8$

*AS= Aluminum Silicate-$Al_2O_3.SiO_3$

*SB= Sodium Borate Hydrate -$Na_2B_4O_7.10H_2O$

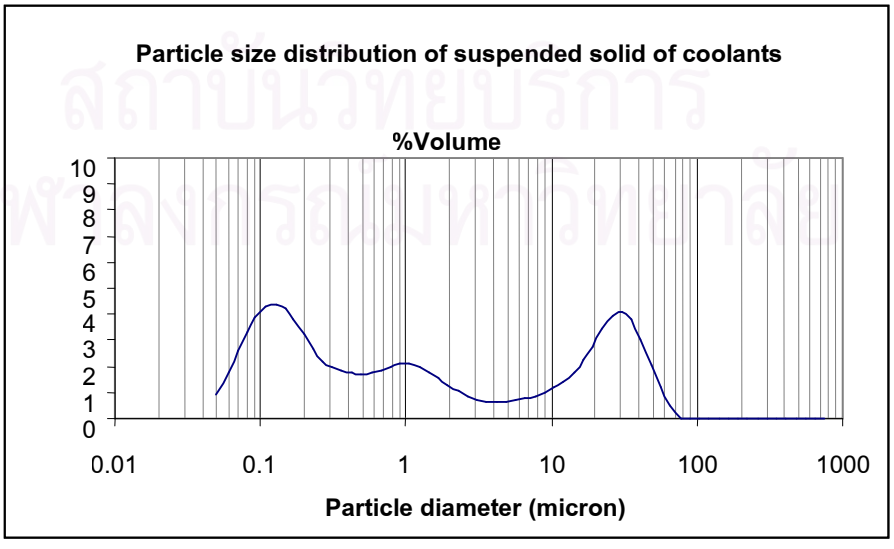
*SS= Sodium Silicate Hydrogen Oxide -$Na_2SiO_3.9H_2O$

*ZS= Zinc Silicate Oxide -Zn_2SiO_4

*FO= Iron Oxide -Fe_3O_4

*FH= Iron Oxide Hydrate -$Fe_2O_3.H_2O$

รูปที่ 5.2 ชนิดของสารประกอบในของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น



รูปที่ 5.3 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

5.3 การศึกษาวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น

การศึกษาวิธีการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งประกอบด้วย 5 การทดลองด้วยกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการแยกด้วยวิธีต่างๆ จะนำไปพิจารณาเพื่อจัดรูปแบบให้เป็นกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดและสมบูรณ์ต่อไป

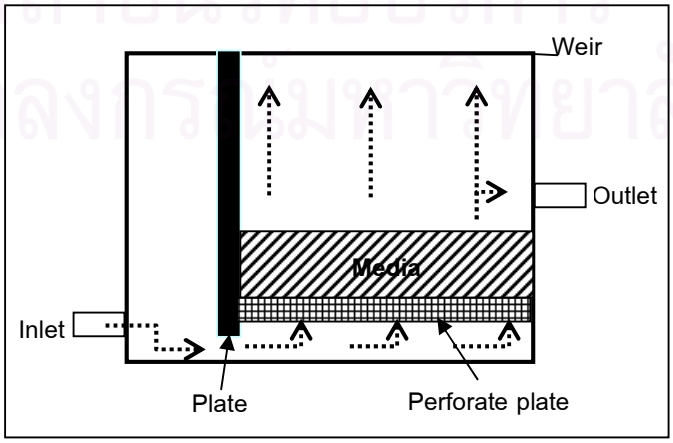
5.3.1 การแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้วิธีการเร่งการรวมตัว (Coalescing) และการกรองด้วยไส้กรอง

การศึกษาวิธีการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว และการกรอง จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคน้ำมันสกปรก รูปแบบการทำงาน และความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

5.3.1.1. การแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีเร่งการรวมตัว (Coalescing)

ในการศึกษาการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว ใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะเหล็ก ประเภทงานกลึงหยาบ (ตัวอย่างที่ 6) ซึ่งมีสีเขียวอมฟ้า ส่วนน้ำมันสกปรกที่แยกตัวขึ้นสู่ผิวหน้าจะมีสีขาว จึงทำให้สามารถมองเห็นการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้อย่างชัดเจน

วิธีการศึกษาทดลองเริ่มจากการประดิษฐ์ถังเร่งการรวมตัว (Coalescer) ซึ่งออกแบบให้น้ำมันหล่อเย็นไหลเข้าสู่ถังด้วยอัตราการไหลอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ และไหลผ่านตัวกลาง (Coalescing media) ประเภทพลาสติกซึ่งมีสมบัติดูดติดน้ำมัน (ดังรูปที่ 5.4) เพื่อให้เกิดกระบวนการเกาะติดผิวตัวกลาง และรวมตัวเป็นอนุภาคใหญ่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างรวดเร็ว ตัวกลางที่ใช้ศึกษาทดลองคือ เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน ผ้าสักหลาด แผ่นขัดสก็อตไบร์ทหยาบและละเอียด เส้ยใยแก้วฉนวนกันความร้อน ฟองน้ำตู้ปลา และแผ่นขัดพื้นขนแกะ (ดัดแปลงจาก Chieu et.al, 1975) โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ควบคู่กับการศึกษาวิธีการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีเร่งการรวมตัว เป็นลำดับดังนี้

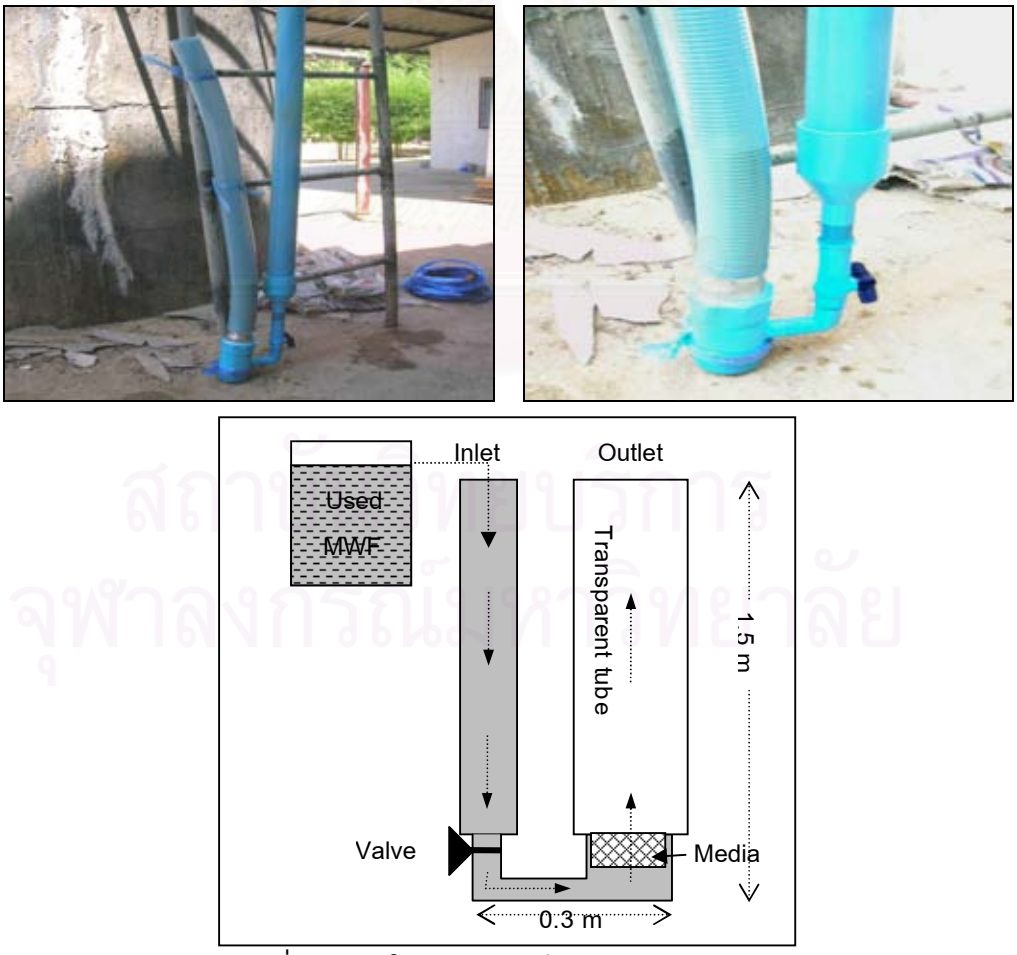


รูปที่ 5.4 หลักการของถังประดิษฐ์โคเอเลสเซอร์

ก) การประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์จากท่อพีวีซี

ถังโคเอเลสเซอร์ชนิดแรกมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลมคู่ เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกประมาณ 2 นิ้ว (ดัดแปลงจาก ประพนธ์ แซ่ตัน,2527 อ้างถึงใน Douglas และ Elliott, 1960) ความสูง 1.5 เมตร ทำจากพลาสติกพีวีซี (ดังรูปที่ 5.5) ด้านหนึ่งเป็นด้านทางน้ำเข้า (Inlet) ซึ่งมีวาล์วทำหน้าที่เปิด-ปิดน้ำและปรับอัตราการไหลของน้ำ อีกด้านหนึ่งเป็นด้านทางน้ำออก (Outlet) โดยบริเวณด้านล่างจะบรรจุตัวกลาง (Colaescing media) ไว้ ส่วนด้านบนจะเป็นบริเวณสำหรับสังเกตการแยกตัวของอนุภาคสกปรก โดยต่อมาได้เปลี่ยนท่อด้านนี้เป็นพลาสติกใส เพื่อให้สามารถมองเห็นการแยกตัวของน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

วิธีการทำงานของถังโคเอเลสเซอร์ชนิดทำจากท่อพีวีซีคือ เทน้ำมันหล่อเย็นอย่างช้าๆ ลงในท่อทางน้ำเข้า (Inlet) แล้วค่อยๆ เปิดวาล์วเพื่อให้น้ำมันหล่อเย็นไหลผ่านตัวกลาง รินน้ำเข้าทางเข้าอีกเพื่อเพิ่มระดับความสูงขึ้นเรื่อยๆ สังเกตการแยกตัวของน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็น และบันทึกผลการทดลอง โดยตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ผ้าสักหลาด และเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 5.7) ความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร (ดัดแปลงจาก Chieu, Schechter, Malina และ Gloyna, 1977)



รูปที่ 5.5 ถังโคเอเลสเซอร์ชนิดทำจากท่อพีวีซี

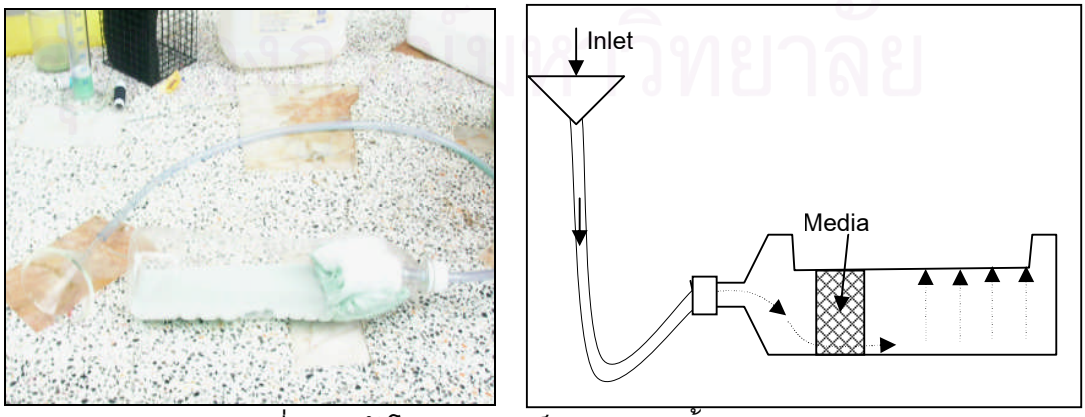
จากการศึกษาความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีเร่งการรวมตัว โดยใช้ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากท่อพีวีซี พบว่า ตัวกลางชนิดผ้าสักหลาด จะสามารถสังเกตเห็นการแยกของน้ำมันสกปรกบริเวณผิวหน้าของน้ำมันหล่อเย็น ส่วนตัวกลางชนิดเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน จะไม่สามารถสังเกตเห็นการแยกของชั้นน้ำมันสกปรกได้เลย

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าถังโคเอเลสเซอร์ชนิดทำจากท่อพีวีซี จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นในปริมาตรมากเพื่อให้ของเหลวไหลอย่างต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นกระบวนการ และการเทน้ำจากปากกระบอกทำให้ของเหลวเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบ ถังโคเอเลสเซอร์ชนิดทำจากท่อพีวีซีนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการทดสอบเบื้องต้นของการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัว

ข) การประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร

การประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร มีวิธีการคือ ผ่ากลางขวดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อใช้เป็นช่องทางบรรจุตัวกลางที่บริเวณคอขวด (ดังรูปที่ 5.6) ต่อปากขวดกับสายยาง ซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งของสายยางจะต่อกับกรวยซึ่งถูกยึดติดที่ตำแหน่งคงที่ ณ ความสูงต่างๆ เพื่อใช้เป็นวิธีปรับอัตราการไหลของของเหลว ซึ่งค่าระดับความสูงของกรวยที่ยึดสูงจากพื้นมากขึ้น อัตราการไหลจะสูงขึ้น แต่ถ้าระดับความสูงของกรวยต่ำลง อัตราการไหลจะลดลง ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ผ้าสักหลาด แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทหยาบ แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทละเอียด ใยแก้วฉนวนกันความร้อน ฟองน้ำตู้ปลา เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน หุ้มด้วยผ้าบางและแผ่นขัดพื้นขนแกะ (ดังรูปที่ 5.7)

จากการศึกษาความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีเร่งการรวมตัว โดยใช้ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร พบว่า การใช้ตัวกลางชนิดแผ่นขัดพื้นขนแกะ และเส้นใยแก้วฉนวนกันความร้อน จะสามารถสังเกตเห็นการแยกของน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ แต่ใช้เวลานานกว่าตัวกลางชนิดแผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทละเอียด และผ้าสักหลาด ส่วนการใช้ตัวกลางชนิดแผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทหยาบ เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน และฟองน้ำตู้ปลา จะไม่สามารถสังเกตเห็นการแยกของน้ำมันสกปรกได้เลย



รูปที่ 5.6 ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร

ดังนั้นจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ตัวกลางที่มีความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ สามารถใช้งานได้หลายครั้ง และคงรูปได้ดีคือ ผ้าสักหลาด และแผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทละเอียด จึงกล่าวได้ว่า สมบัติของตัวกลางเร่งการรวมตัวที่ดี ควรเป็นพลาสติกที่มีความพรุนสูง ขนาดอนุภาคเล็กละเอียด และคงรูปได้ดีเมื่อสัมผัสกับของเหลวนั้นๆ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าตัวกลางทั้งสองมีประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสกปรกใกล้เคียงกัน

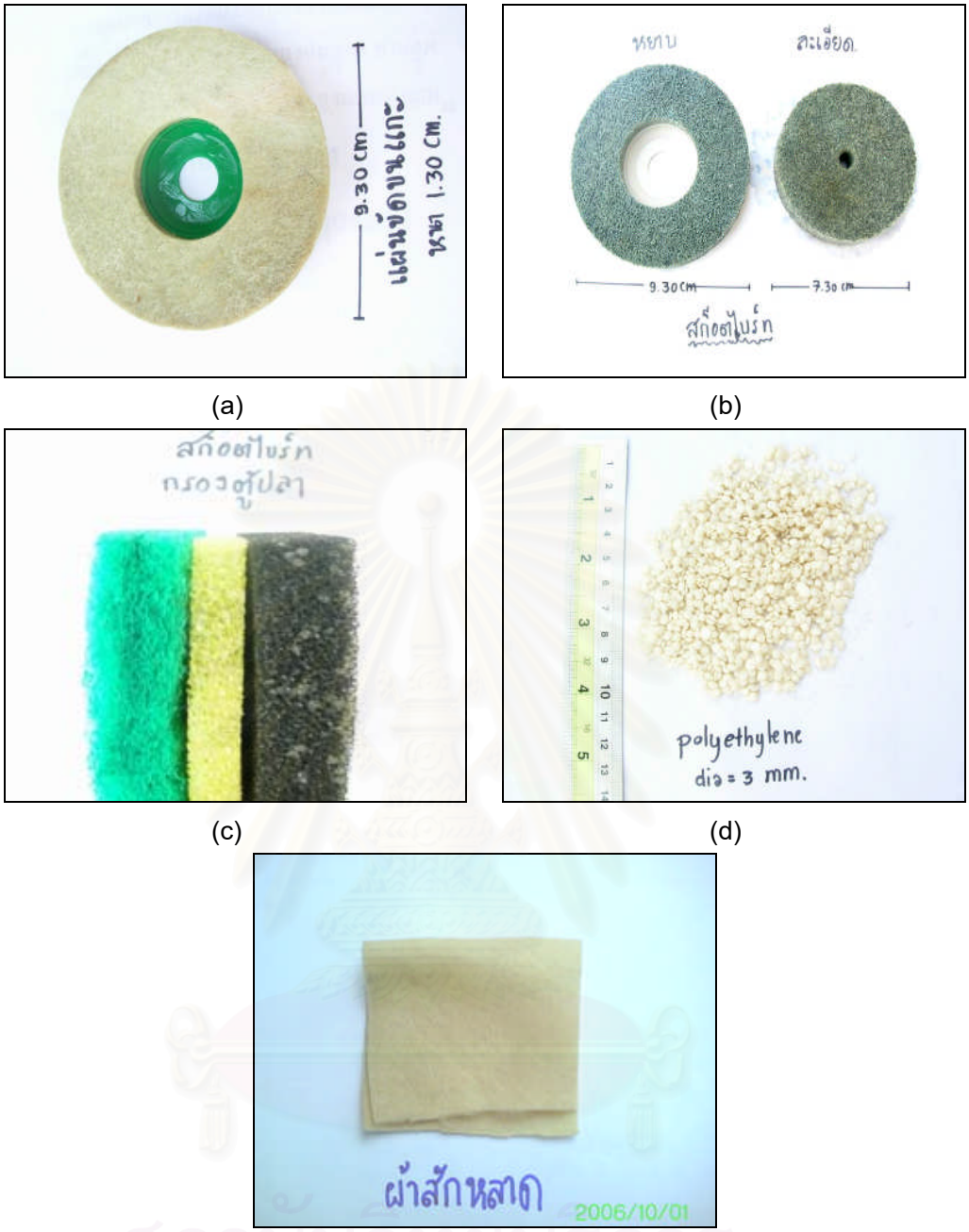
ตารางที่ 5.3 ผลการศึกษาความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกด้วยตัวกลางชนิดต่าง ๆ

ตัวกลาง	ความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรก		
	การสังเกต	ความเร็วในการแยก	ความคงรูป
แผ่นขัดพื้นขนแกะ	✔	ช้า	ไม่ดี
แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทหยาบ	✘	-	-
แผ่นขัดพื้นสก็อตไบร์ทละเอียด	✔	เร็ว	ดีมาก
ฟองน้ำตู้ปลา	✘	-	-
เส้นใยฉนวนกันความร้อน	✔	ช้า	ไม่ดี
ผ้าสักหลาด	✔	เร็ว	ดีมาก
เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน	✘	-	-

ค) การประดิษฐ์ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยม

จากผลการทดลองการแยกน้ำมันสกปรกด้วยถังโคเอเลสเซอร์ทำจากขวดน้ำ 1.5 ลิตร ทำให้ทราบว่า ผ้าสักหลาดมีความสามารถในการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้รวดเร็ว ไม่เสียรูปเมื่อสัมผัสกับน้ำมันหล่อเย็น และสามารถนำมาดัดแปลงเปลี่ยนรูปทรงได้ง่าย จึงใช้ผ้าสักหลาดมาใช้เป็นตัวกลางในการศึกษาทดลองขั้นตอนนี้

ถังโคเอเลสเซอร์ทำจากถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยม ความจุประมาณ 2 ลิตร ภายในถังจะกั้นด้วยแผ่นพลาสติก 2 แผ่น (ดังรูปที่ 5.8) โดยแผ่นพลาสติกแผ่นแรกจะทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำมันหล่อเย็นให้เคลื่อนที่ผ่านผ้าสักหลาดที่ซ้อนทับกันหนาประมาณ 2-3 นิ้ว น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการแยกแล้วจะลอยสูงขึ้นและไหลข้ามแผ่นพลาสติกอีกแผ่นหนึ่ง ก่อนที่จะถูกปล่อยออกทางช่องทางออก (Outlet) ส่วนน้ำมันสกปรกที่ลอยสู่ผิวหน้าจะไหลออกทางเวียร์ (Weir) เก็บน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำมันสกปรกแล้ว นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเติมกรดตามด้วยเหวี่ยงแยก (Acid Split/Centrifuge) วัดอัตราการไหลและจดบันทึกผลการทดลอง



(a) (b)

(c) (d)

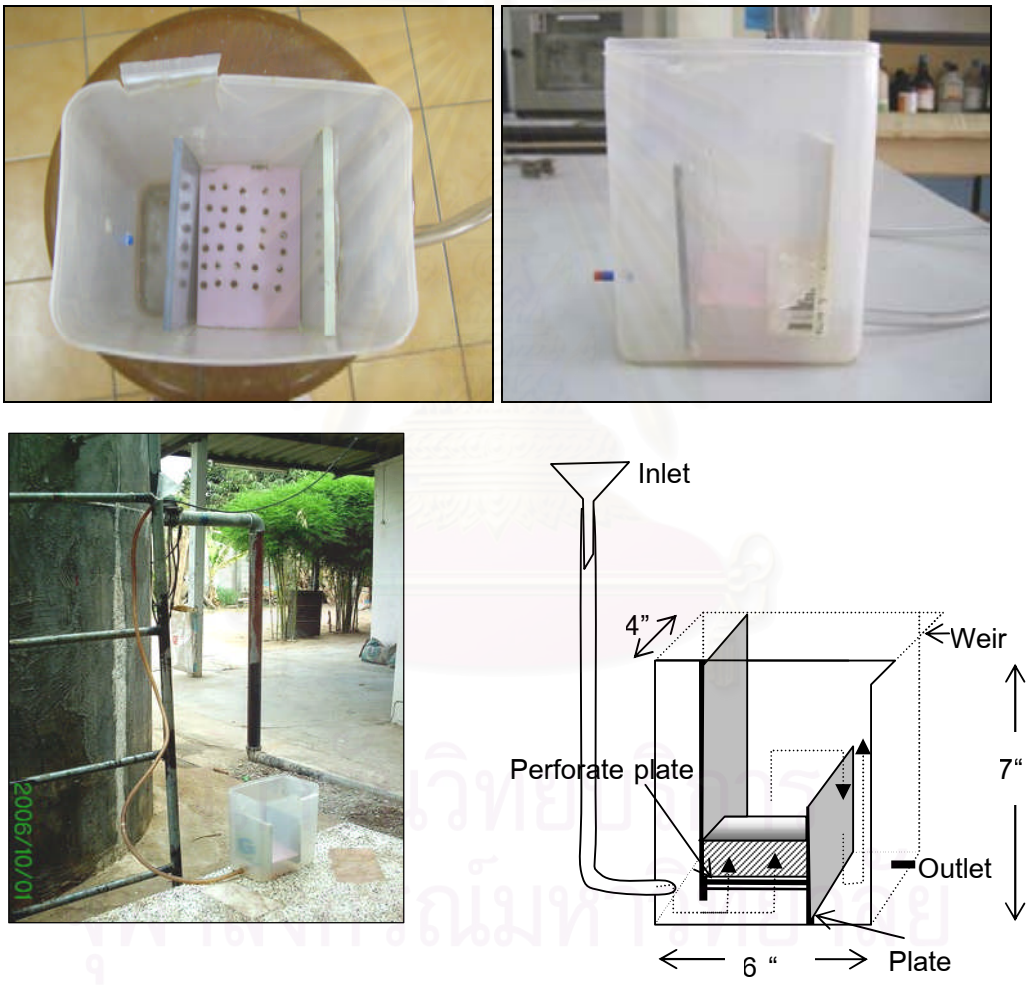
(e)

รูปที่ 5.7 ตัวกลางทดสอบวิธีการเร่งการรวมตัว

จากการศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัวโดยใช้ตัวกลางชนิดผ้าสักหลาด พบว่า ประสิทธิภาพการลดน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นมีค่าต่ำ หรือประมาณ 10% จากเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกทั้งหมด (ดังตารางที่ 5.4) โดยจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในช่วงแรกของการทดสอบ ผ้าสักหลาดมีความสามารถแยกน้ำมันสกปรกค่อนข้างดี แต่เมื่อทดลองผ่านไประยะหนึ่ง ความสามารถในการแยกน้ำมัน

สกปรกต่ำลง เนื่องจากเส้นใยของผ้าสักหลาดมีความอิ่มตัวด้วยของเหลว ทำให้พื้นที่ผิวให้อนุภาคน้ำมันยึดเกาะลดลง ประสิทธิภาพการเร่งการรวมตัวจึงลดลง

สำหรับเปอร์เซ็นต์การแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัวมีค่าต่ำมาก เนื่องจากตัวกลางที่ใช้มีพื้นที่ผิวสัมผัสไม่เพียงพอ ปริมาณน้ำมันสกปรกที่สามารถคัดแยกได้ส่วนใหญ่จึงเป็นอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่ ประกอบกับองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นประกอบด้วยสารอิมัลซิไฟเออร์และสารลดแรงตึงผิว ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของถังโคเอเลสเซอร์ต่ำมาก นอกจากนี้วิธีการเร่งการรวมตัวต้องใช้เวลาในการแยกนานมาก ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวิธีการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 5.8 ถังโคเอเลสเซอร์ทรงสี่เหลี่ยม

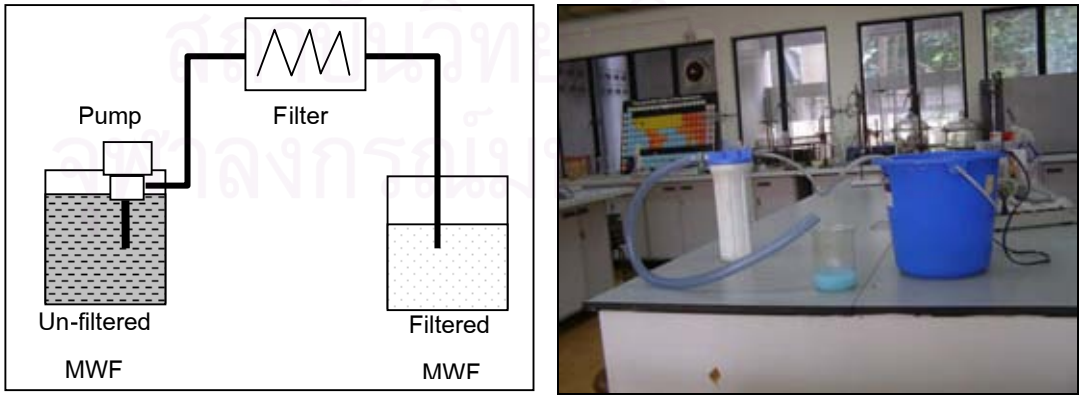
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ค่า %น้ำมันสกปรกก่อนและหลังการทดลองวิธีเร่งการรวมตัว

ปริมาณน้ำมันสกปรก	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)		
	0.093	0.15	0.35
ก่อนทดลอง (%v/v)	3.15	3.15	3.15
หลังทดลอง (%v/v)	2.82	2.85	2.86
ลดลงจากเดิม (%v/v)	10.47	9.52	9.21

5.3.1.2 การแยกน้ำมันสกปรกด้วยวิธีการกรองผ่านไส้กรอง

การศึกษาวิธีการกำจัดอนุภาคน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยการกรองผ่านไส้กรอง โดยใช้น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ตัวอย่างที่ 6 ทำการกรองด้วยเครื่องกรองท่อเดียว ซึ่งต่อเข้ากับปั้มน้ำแบบจุ่ม และภาชนะรองรับ (ดังรูปที่ 5.9) ส่วนไส้กรองที่ใช้ในการทดลองนี้ เลือกใช้ไส้กรองเส้นใยโพลีเมอร์ชนิดโพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน และสารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีน ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน ซึ่งล้วนเป็นวัสดุพลาสติกซึ่งมีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน และมีขนาดละเอียดเพียงพอสำหรับคัดแยกอนุภาคน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นได้

วิธีการทดลองคือ ติดตั้งระบบกรองและปั้มน้ำแบบจุ่ม ล้างทำความสะอาดระบบกรองโดยการกรองด้วยน้ำเปล่าก่อนเป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งน้ำที่ผ่านการกรองมีความใส เพื่อรักษาประสิทธิภาพของไส้กรองให้เหมือนของใหม่ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) จากนั้นเริ่มกระบวนการกรอง โดยปั้มจุ่มจะสูบน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วเข้าสู่เครื่องกรอง นำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกในของเหลวด้วยวิธีการเติมกรดตามด้วยเหวี่ยงหมุน (Acid split/Centrifuge) วัดอัตราการไหลและจดบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 5.9 ระบบการกรองแบบเครื่องกรองท่อเดียว

จากการศึกษาการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้ไส้กรองชนิดโพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน และสารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีน ผลปรากฏว่า ไส้กรองโพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน และสารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีนสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกจากเดิมได้ประมาณ 75.2%, 34.7% และ 64.6% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5.5) ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ลดลงของน้ำมันสกปรกที่แยกด้วยวิธีเร่งการรวมตัวค่อนข้างมาก และยังใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า หรืออัตราการไหลสูงกว่า แต่จากการทดลองพบว่า ไส้กรองมีประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคน้ำมันได้น้อย และมักเกิดปัญหาการอุดตัน ดังนั้นวิธีการกรองจึงไม่เหมาะสำหรับเป็นวิธีการกำจัดอนุภาคน้ำมันสกปรก หรือวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนเบื้องต้นในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 5.5 ผลวิเคราะห์ %น้ำมันสกปรกที่ผ่านการแยกน้ำมันสกปรกโดยวิธีการกรอง

ปริมาณน้ำมันสกปรก	ไส้กรองโพลีโพรพิลีน	ไส้กรองโพลีเอทิลีน	ไส้กรองสารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีน
ก่อนกรอง (% v/v)	4.15	4.26	3.25
หลังกรอง (% v/v)	1.03	2.78	1.15
ลดลงจากเดิม(% v/v)	75.2	34.7	64.6

อัตราการกรอง 3 ลิตรต่อนาที

5.3.2 การแยกน้ำมันสกปรก และของแข็งแขวนลอย โดยใช้ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

ในการศึกษาการแยกน้ำมันสกปรก และของแข็งแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลน ใช้น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 5) ส่วนไฮโดรไซโคลนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่อง Overflow nozzle เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่อง Underflow nozzle เท่ากับ 7 มิลลิเมตร

ก่อนการทดลองได้ทำความสะอาดโดยการหมุนเวียนระบบไฮโดรไซโคลนด้วยน้ำเปล่าประมาณ 30 นาทีหรือ จนกระทั่งน้ำที่ไหลผ่านไฮโดรไซโคลนมีความใส จากนั้นถ่ายน้ำเปล่าทิ้งไป และบรรจุน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วลงในถังพักของไฮโดรไซโคลนปริมาตรประมาณ 30 ลิตร เมื่อเปิดสวิตซ์ ปั๊มน้ำจะสูบน้ำมันหล่อเย็นเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน ทำการปรับแรงดันตามกำหนด จากนั้นวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ผ่านช่อง Underflow nozzle และช่อง Overflow nozzle เก็บของเหลวที่ผ่านไฮโดรไซโคลนจาก Underflow nozzle และ Overflow nozzle นำมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ปริมาณของแข็งแขวนลอย และเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้เราทราบ

ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองการแยกน้ำมันสกปรกและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้ไฮโดรไซโคลน (ดังตารางที่ 5.6) พบว่า ค่าพีเอช และค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นมีค่าไม่แตกต่างจากเดิม รวมถึงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก และปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นมีค่าไม่ต่ำลง แสดงว่าไฮโดรไซโคลนไม่สามารถคัดแยกสิ่งปนเปื้อนชนิดน้ำมันสกปรกและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ สาเหตุเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันสกปรกกับน้ำมันหล่อเย็นมีค่าน้อย และอนุภาคของแข็งแขวนลอยมีขนาดเล็กละเอียดมาก จึงทำให้ไฮโดรไซโคลนไม่มีประสิทธิภาพในการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น ดังนั้นวิธีไฮโดรไซโคลนจึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลน

สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง					
		10 psi		20 psi		30 psi	
		ส่วนหยาบ	ส่วนละเอียด	ส่วนหยาบ	ส่วนละเอียด	ส่วนหยาบ	ส่วนละเอียด
		อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)					
		2.71	11.98	4.42	15.03	5.04	21.42
พีเอช	9.28	9.24	9.20	9.17	9.18	9.17	9.17
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%v/v)	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
น้ำมันสกปรก (%v/v)	4.48	4.48	4.33	4.48	4.62	4.83	3.89
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	4,065	5,005	4,637	4,374	5,804	5,038	8,103

5.3.3 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง

ในการศึกษาการแยกสิ่งปนเปื้อนทั้งสามชนิดคือ น้ำมันสกปรก ของแข็งแขวนลอย และจุลินทรีย์ออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 5) โดยมีวิธีการคือ นำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที (ORC, 1999) เมื่อผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วน้ำมันหล่อเย็นจะแยกออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นน้ำมันสกปรก ชั้นน้ำมันหล่อเย็น และตะกอนก้นหลอด ค่อยๆ รินชั้นของเหลวน้ำมันหล่อเย็นลงในกรวยแยกอย่างช้าๆ โดยไม่ให้ชั้นน้ำมันสกปรกแตกตัว ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ของเหลวจะแยกเป็นชั้นน้ำมันสกปรกบนชั้นน้ำมันหล่อเย็น แยกเอาชั้นน้ำมันหล่อเย็นไปวิเคราะห์หาค่าสมบัติของน้ำมันหล่อเย็น (ดังตารางที่ 5.7) ซึ่งจะทำให้เราทราบประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

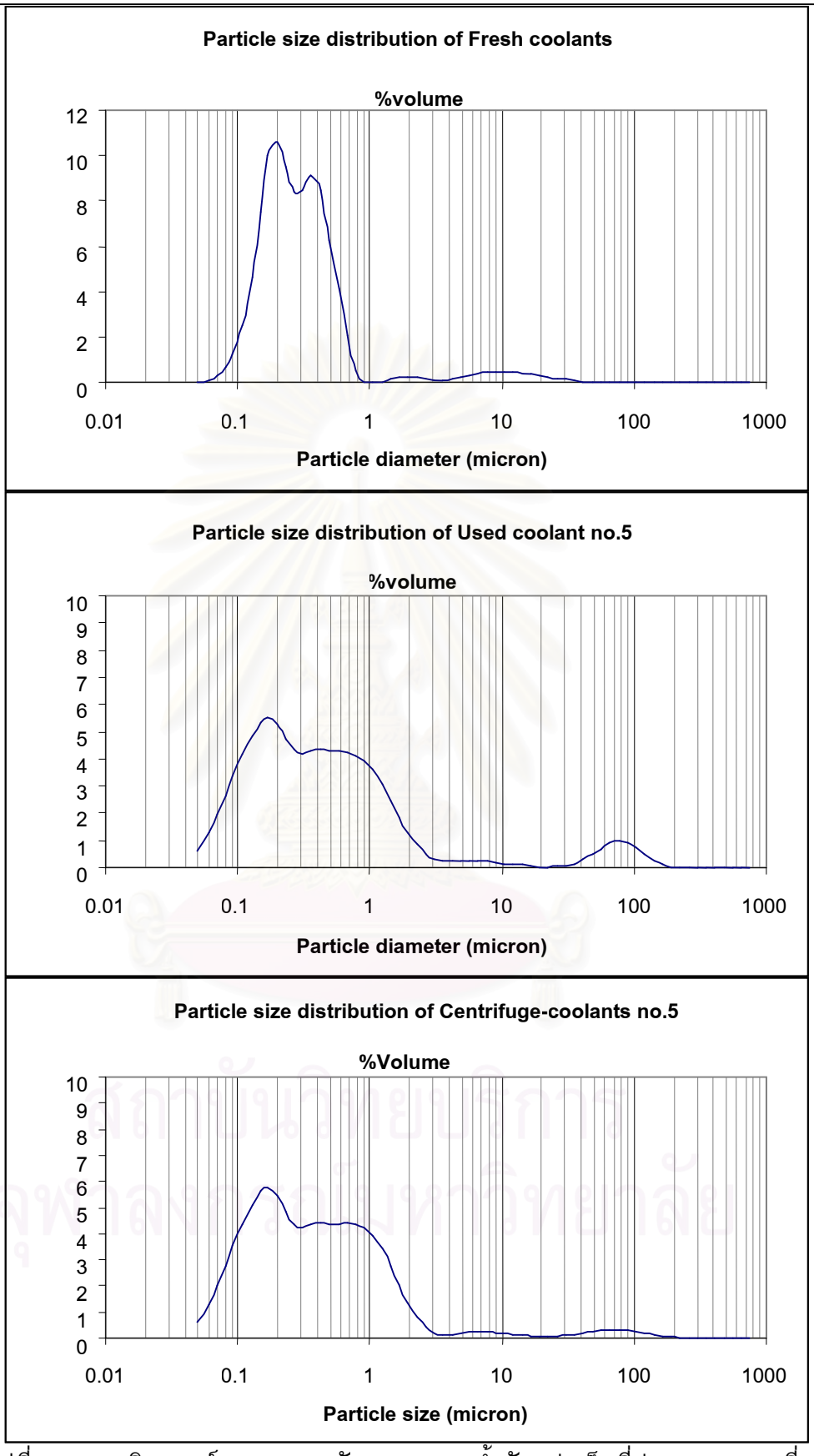
จากการศึกษาการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง พบว่า การกำจัดสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดด้วยวิธีหมุนเหวี่ยง สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอย และน้ำมันสกปรกจากเดิมได้ 53.5% และ 55.5% ตามลำดับ แต่ไม่สามารถลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็นได้ ส่วนสมบัติของค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่างทั้งหมด มีค่าไม่ต่างจากเดิม ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นมีค่าลดลง (ดังรูปที่ 5.10) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการหมุนเหวี่ยงสามารถคัดแยกอนุภาคใหญ่ประมาณ 30 ไมครอนขึ้นไปได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดอนุภาคของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นวิธีการหมุนเหวี่ยงเหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่เบื้องต้นของโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกน้ำมันสกปรกและอนุภาคขนาดใหญ่ออกก่อนการคัดแยกอนุภาคละเอียด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง

สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	สภาพของน้ำมันหล่อเย็น			%ลดลงจากเดิม
	ใหม่	ใช้แล้ว	ผ่านการหมุนเหวี่ยง	
พีเอช	9.78	9.19	9.10	-
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%v/v)	6	4	4	-
สภาพนำไฟฟ้า (μS/cm)	911	1,650	1,645	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (PPM by volume)	2,400	1,780	1,740	-
ปริมาณน้ำมันสกปรก (%v/v)	0	2.7	1.2	55.5%
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	135	2,527	1,176	53.4%
แบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^6	10^6	0%
ความเสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร	-
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.93	5.95	2.86	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



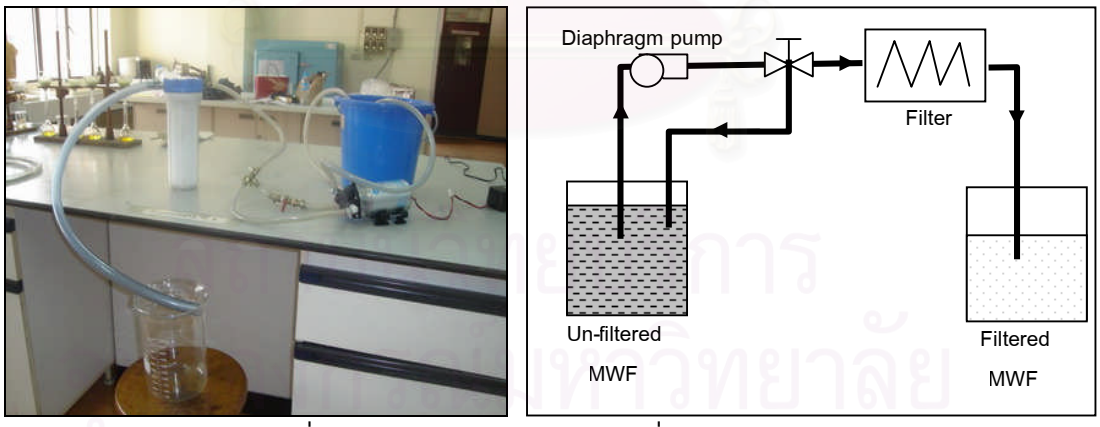
รูปที่ 5.10 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง

5.3.4 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าวิธีการหมุนเหวี่ยงสามารถลดปริมาณอนุภาคสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นที่มีขนาดใหญ่ได้ดี ในการทดลองลำดับต่อไปนี้ จึงมุ่งทดสอบวิธีการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กรวมทั้งจุลินทรีย์ด้วย

การศึกษาการแยกสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดคือ น้ำมันสกปรก ของแข็งแขวนลอย และแบคทีเรียออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน โดยน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลองนี้คือ น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 4) ส่วนไส้กรองที่ใช้คือ ไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งจะสามารถลดปัญหาการอุดตันจากอนุภาคน้ำมันบนผิวไส้กรองได้ นอกจากนี้ยังมีสารเคลือบแข็ง ทนทาน และราคาถูก ปั๊มน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ปั๊มน้ำไดอะแฟรม ยี่ห้อ AQ&Q 24ADC อัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที

กระบวนการทดลองเริ่มจากการติดตั้งระบบการกรอง (ดังรูปที่ 5-11) จากนั้นล้างทำความสะอาดโดยการกรองด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 30 นาที วัดอัตราการไหลและกรองน้ำมันหล่อเย็นที่เตรียมไว้ นำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรองมาทดสอบสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะทำให้เราทราบประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 5.11 ระบบการกรองด้วยเครื่องกรองหัวเดียว

จากการศึกษาการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น โดยวิธีการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน พบว่า วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลสขนาดรูกรอง 5 ไมครอน สามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกได้ 53% ลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 81.9% ลดปริมาณแบคทีเรียได้ 1 logs (ดังตารางที่ 5.8) แต่ไม่สามารถปรับปรุงค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้าให้ดีกว่าขึ้นได้ แต่จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ย

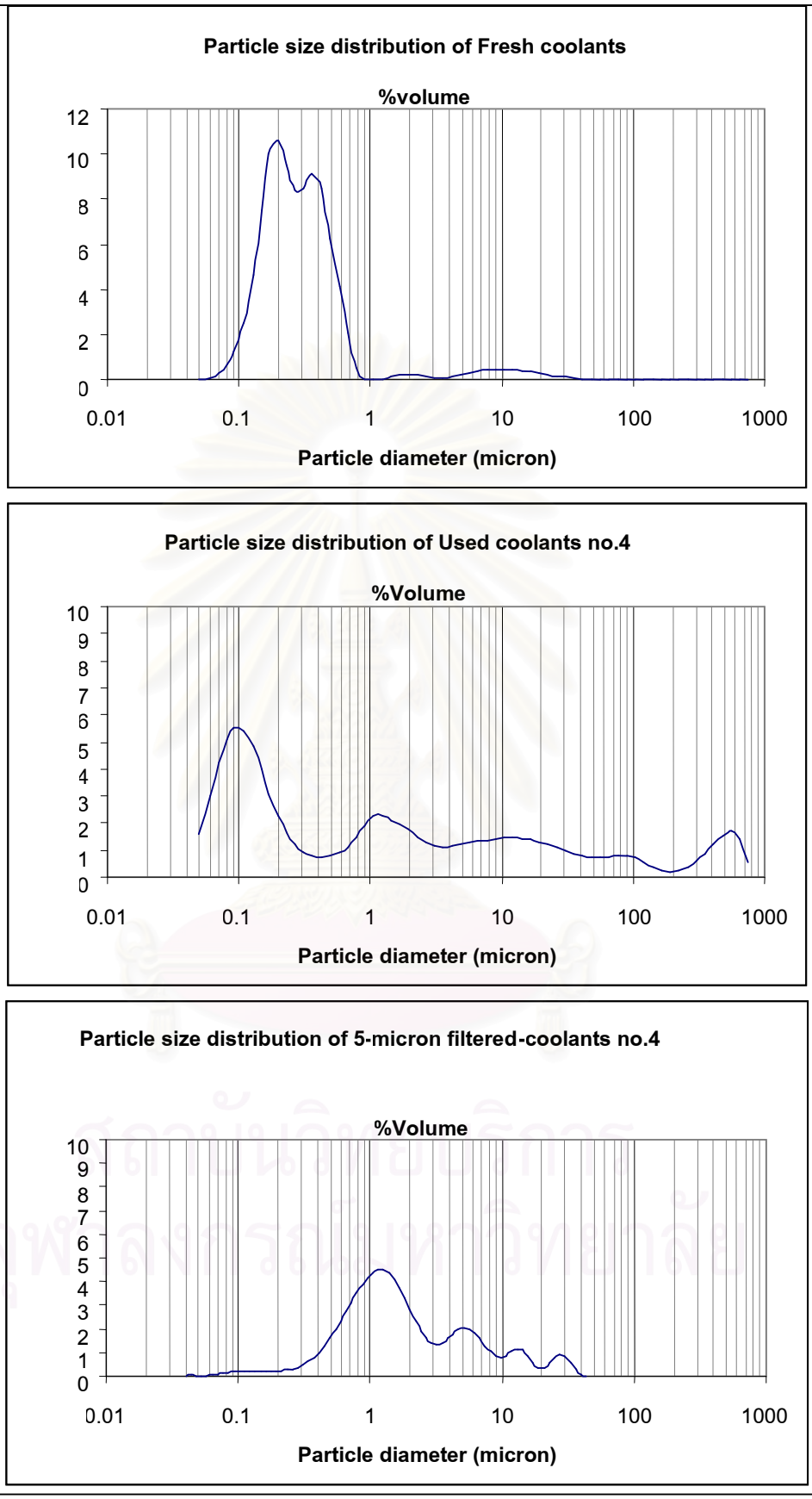
ของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการกรองนี้มีค่าลดลงอย่างมากคือ จากเดิม 41 ไมครอน ลดเหลือ 4 ไมครอน (ดังรูปที่ 5.12) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้สามารถคัดแยกอนุภาคสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี แต่สำหรับการกำจัดปริมาณแบคทีเรียพบว่า ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงควรมีการศึกษาทดลองวิธีการอื่นๆ โดยเน้นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนขนาดละเอียดรวมถึงแบคทีเรียในลำดับถัดไป แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการกรองด้วยไส้กรองขนาดรูกรอง 5 ไมครอน เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่เบื้องต้นเช่นเดียวกับวิธีการหมุนเหวี่ยง

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

สมบัติของ น้ำมันหล่อเย็น	สภาพของน้ำมันหล่อเย็น			%ลดลง จากเดิม
	ใหม่	ใช้แล้ว	ผ่านการกรอง	
พีเอช	9.80	8.21	8.22	
ความเข้มข้นของ น้ำมันหล่อเย็น (%v/v)	9	6	6	
สภาพนำไฟฟ้า (μS/cm)	824	4,000	3,853	
ปริมาณน้ำมันสกปรก (%v/v)	0	4.1	1.89	53.0
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	91	48,250	8,710	81.9%
แบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^6	10^{5*}	2 logs
ปริมาณเหล็ก (PPM by weight)	13.50	36.05	28.99	
ความเสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร	
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.93	40.57	4.15	

อัตราการกรอง 0.4 - 0.9 ลิตรต่อนาที

* ติดเชื้อปานกลาง แปลความหมายตามคู่มือการใช้ Dip slide ยี่ห้อ EASICULT



รูปที่ 5.12 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน

5.3.5 การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยวิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน

การศึกษาการแยกสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดคือ น้ำมันสกปรก ของแข็งแขวนลอย และแบคทีเรียออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน โดยน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลองนี้คือ น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 4) ส่วนไส้กรองที่ใช้ในการกรองเลือกใช้ไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน เนื่องจากไส้กรองเซรามิกส์มีคุณสมบัติทนต่อสภาวะการทำงานได้หลากหลาย เช่น อุณหภูมิสูง ตัวกลางสารเคมี ความเป็นกรดเป็นด่าง การถูกทำลายด้วยจุลินทรีย์ และมีอายุการใช้งานนาน ส่วนปั๊มน้ำที่ใช้คือ ปั๊มน้ำไดอะแฟรมยี่ห้อ AQ&Q 24ADC อัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที

กระบวนการทดลองเริ่มจากการติดตั้งระบบกรองเช่นเดียวกับการกรองก่อนหน้านี้แต่เปลี่ยนไส้กรองเป็นไส้กรองเซรามิกส์ จากนั้นล้างทำความสะอาดโดยการกรองระบบด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลาประมาณ 30 นาที วัดอัตราการไหล และเก็บน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรองมาทดสอบวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะทำให้เราทราบประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

จากการศึกษาทดลองการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน พบว่า วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน สามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกได้ 78% ลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 99.4% หรือมีสิ่งปนเปื้อนคงเหลือ 0.9% และ 740 PPM by volume ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5.9) นอกจากนี้วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ 0.3 ไมครอน สามารถลดปริมาณแบคทีเรียได้ 2 logs หรือคงเหลือ 10^4 CFU/ml ซึ่งเป็นระดับติดเชื้อปานกลาง ลดค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็นจากเดิม 41 ไมครอน คงเหลือ 0.67 ไมครอน ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอนนี้ สามารถกำจัดอนุภาคที่โตกว่าอนุภาคของน้ำมันหล่อเย็น หรือโตกว่า 1 ไมครอนได้ดีและมีประสิทธิภาพมาก (ดังรูปที่ 5.13) ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นละเอียดเป็นอย่างยิ่ง

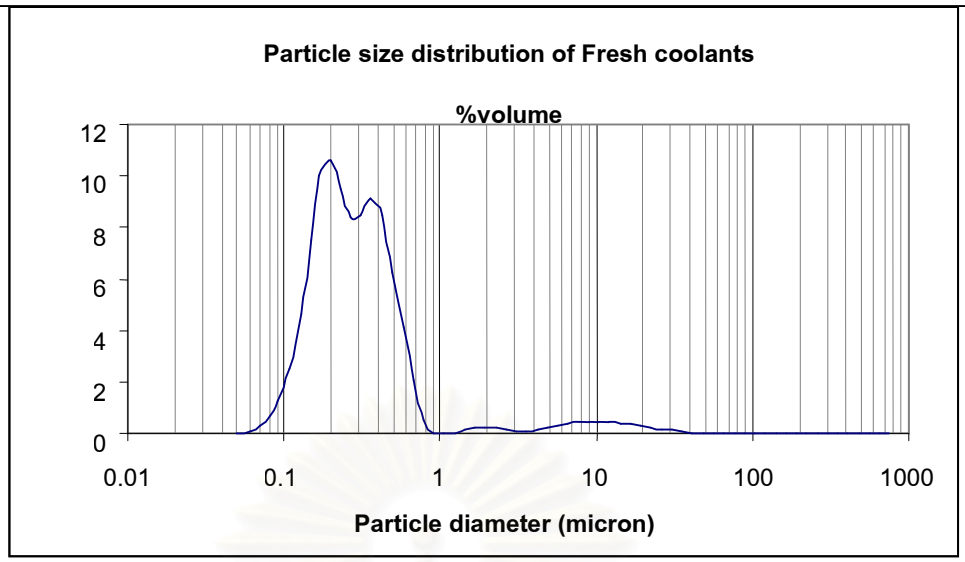
ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 0.3 ไมครอน

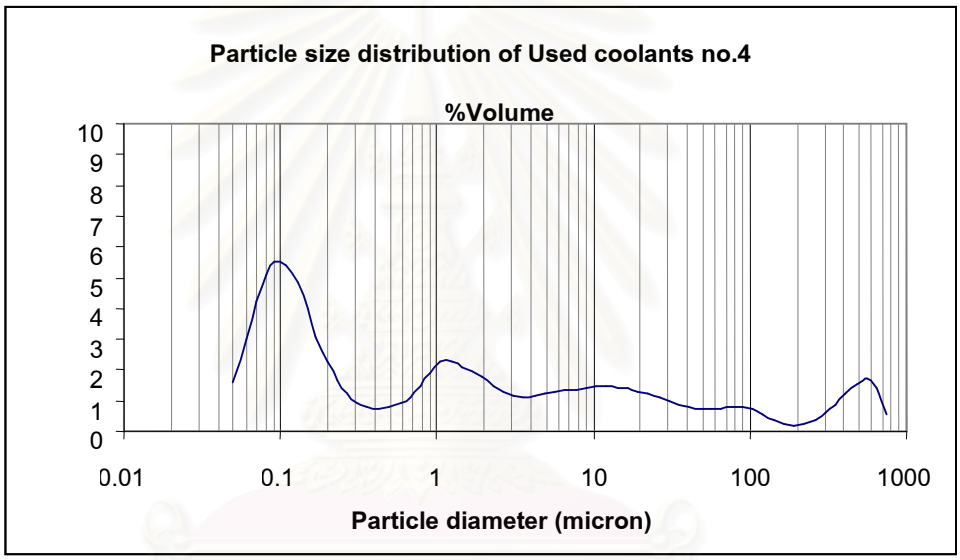
สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	สภาพของน้ำมันหล่อเย็น			% ลดลงจากเดิม
	ใหม่	ใช้แล้ว	ผ่านการกรอง	
พีเอช	9.8	8.21	8.10	-
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%v/v)	9	6	6	-
สภาพนำไฟฟ้า (μs/cm)	824	4,000	3,408	-
ปริมาณน้ำมันสกปรก (%v/v)	0	4.1	0.9	78%
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	91	48,250	740	99.4%
แบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^6	$10^{4\dagger}$	2 logs
ปริมาณเหล็ก (PPM by weight)	13.50	36.05	27.36	-
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.93	40.57	0.665	
ความเสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร	-

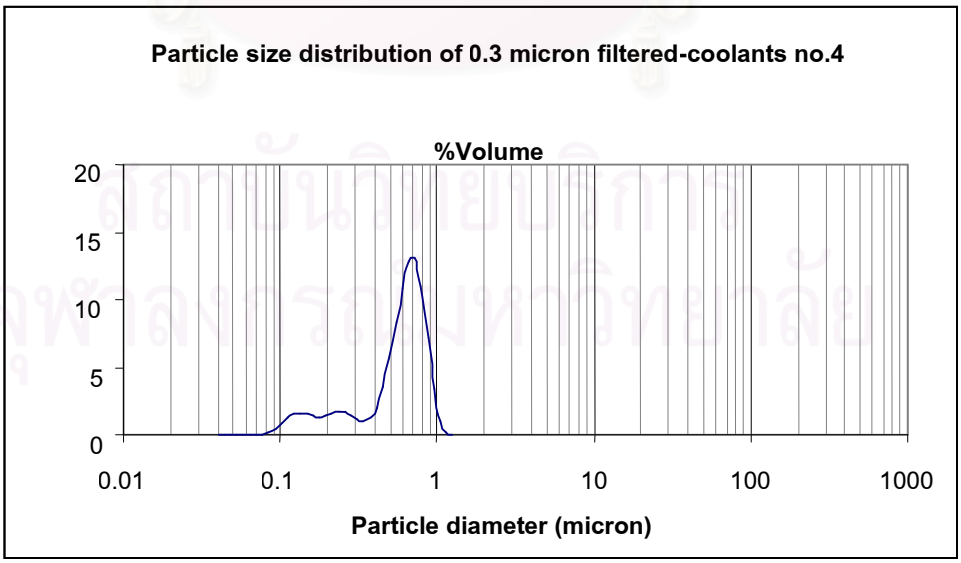
อัตราการกรอง 0.4.1.0 ลิตรต่อนาที

† ติดเชื้อปานกลาง แปลความหมายตามคู่มือการใช้ Dip slide ยี่ห้อ EASICULT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







รูปที่ 5.13 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ 0.3 ไมครอน

5.4 การศึกษากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

จากการศึกษาทดลองวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.10 สำหรับข้อมูลและผลทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงสภาพและสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วให้มีสภาพใกล้เคียงกับ *"น้ำมันหล่อเย็นใหม่"* ซึ่งพบว่า วิธีการหมุนเหวี่ยง การกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และ การกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีกระบวนการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการดังต่อไปนี้

5.4.1 กระบวนการรีไซเคิลโดยการหมุนเหวี่ยง ตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

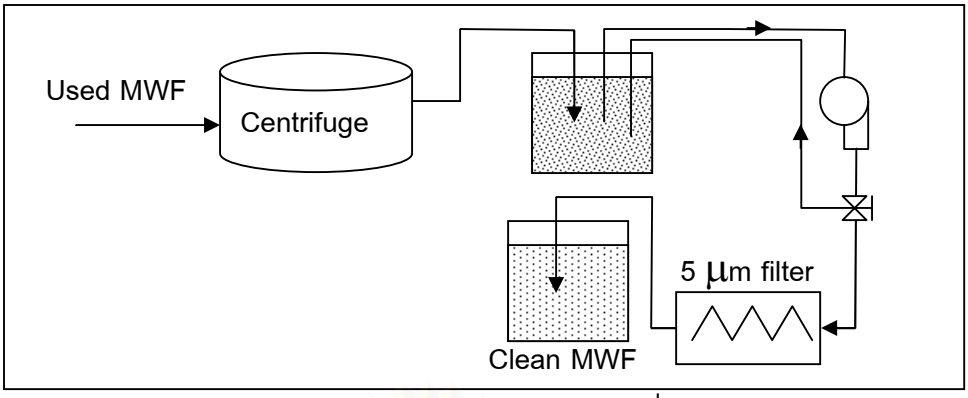
ในการศึกษากระบวนการรีไซเคิลโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน ใช้น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 5)

กระบวนการทดลองเริ่มจากการหมุนเหวี่ยงน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที เทของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงแล้วลงในกรวยแยก เพื่อแยกเก็บชั้นน้ำมันหล่อเย็นลงในภาชนะรองรับให้ได้ปริมาตรประมาณ 10 ลิตร จากนั้นกรองน้ำมันหล่อเย็นที่ได้ด้วยเครื่องกรองท่อเดียว ไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน เก็บน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการทั้งสองนี้แล้ววิเคราะห์หาค่าสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้เราทราบประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการประกอบการพิจารณาเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 สรุปผลการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากในน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการต่าง ๆ

วิธีการ	ความสามารถในการแยกได้ (%)			ความเหมาะสม/เหตุผล
	น้ำมันสกปรก	ของแข็งแขวนลอย	แบคทีเรีย	
การเร่งการรวมตัว	9.73	-	-	ไม่เหมาะสม เนื่องจากช้า ประสิทธิภาพต่ำ
การกรองน้ำมันสกปรก ด้วยไส้กรองโพลีโพรพิลีน 5 ไมครอน	75.2	-	-	ไม่เหมาะสม เนื่องจากกักเก็บอนุภาคน้ำมันสกปรกได้น้อย และมักเกิดปัญหาอุดตันได้ง่าย
การกรองน้ำมันสกปรกด้วยไส้กรองสารสังเคราะห์เคลือบบนโพลีโพรพิลีน	64.6	-	-	
การกรองน้ำมันสกปรกด้วยไส้กรองโพลีเอทิลีน	34.7	-	-	
ไฮโดรไซโคลน	0	0	-	ไม่เหมาะสม คัดแยกไม่ได้
การหมุนเหวี่ยง	56	53	0	เหมาะกับการคัดแยกขั้นต้น
การกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส 5 ไมครอน	53	82	คงเหลือ 10^5 CFU/ml	เหมาะกับการคัดแยกขั้นต้น
การกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ 0.3 ไมครอน	78	99	คงเหลือ 10^4 CFU/ml	เหมาะกับการคัดแยกขั้นละเอียด รวมทั้งแบคทีเรีย



รูปที่ 5.14 แผนผังกระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน

จากการศึกษาวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการเก็บกลับคืนโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน พบว่า กระบวนการนี้สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นได้ 68.1 % หรือมีของแข็งแขวนลอยคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น 804 PPM by volume (ซึ่งมีค่าสูงเมื่อเทียบกับของแข็งแขวนลอยในน้ำมันใหม่ 135 PPM by volume) ลดปริมาณน้ำมันสกปรกจากเดิมได้ 67% คงเหลือปริมาณน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น 0.9 % ลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็นได้ 2 logs หรือคงเหลือ 10^4 CFU/ml ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ติดเชื้อปานกลาง ลดขนาดอนุภาคเฉลี่ยในน้ำมันหล่อเย็นให้คงเหลือ 3.72 ไมครอน (ดังรูปที่ 5.15) ส่วนค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้า ความเป็นด่างทั้งหมด มีค่าไม่แตกต่างจากเดิม จะเห็นได้ว่ากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน ไม่เพียงพอสำหรับลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นให้หมดไป หรือใกล้เคียงกับสภาพน้ำมันหล่อเย็นใหม่ได้ จึงควรมีการศึกษากระบวนการนี้ต่อเนื่องด้วยการกรอง ด้วยไส้กรอง 0.3 ไมครอน เพื่อกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กละเอียดรวมทั้งแบคทีเรียต่อไป

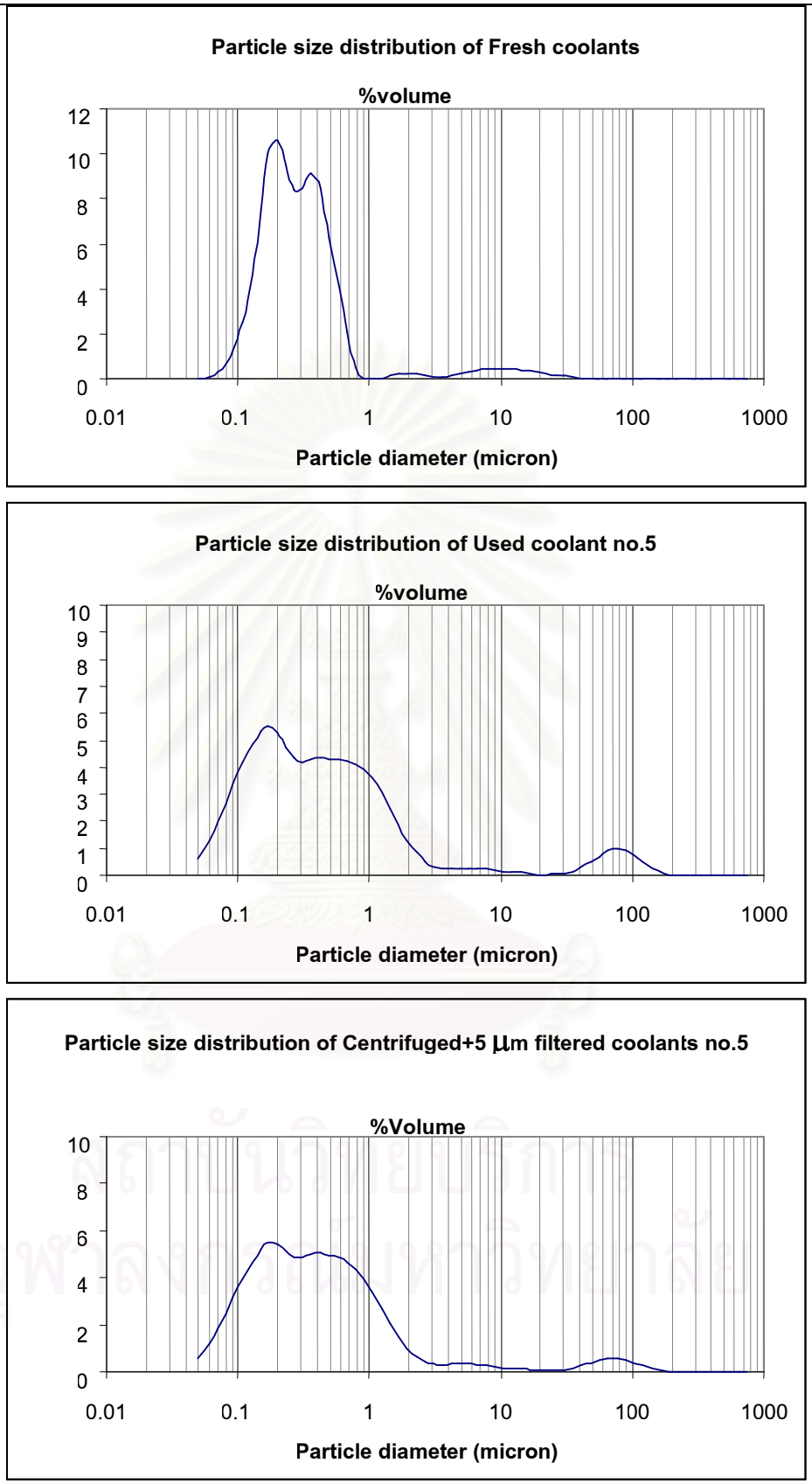
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ผลวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	สภาพของน้ำมันหล่อเย็น			
	ใหม่	ใช้แล้ว	ผ่านกระบวนการรีไซเคิล	ลดลงจากเดิม (%)
พีเอช	9.78	9.19	8.8	-
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%)	6	4	4	-
สภาพนำไฟฟ้า (μs/cm)	911	1,650	1,642	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (PPM by volume)	2,400	1,780	1,767	-
ปริมาณน้ำมันสกปรก (%v/v)	0	2.7	0.9	67
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	135	2,527	804	68.1
แบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^6	$10^{4‡}$	2 logs
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.93	5.96	3.72	
ความเสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร	

อัตราการกรอง 0.4 -.0.9 ลิตรต่อนาที

‡ ติดเชื้อปานกลาง แปลความหมายตามคู่มือการใช้ Dip slide ยี่ห้อ EASICULT



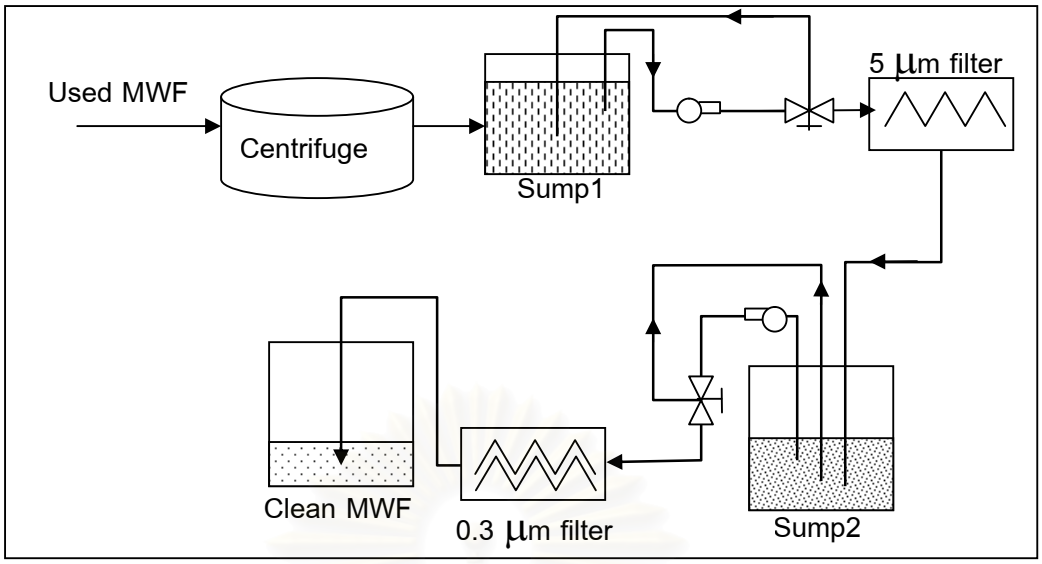
รูปที่ 5.15 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยกรอง ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน

5.4.2 กระบวนการรีไซเคิลโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน

ในการศึกษากระบวนการรีไซเคิลโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน ใช้น้ำมันหล่อเย็นกึ่งสังเคราะห์ จากโรงงานตัดกลึงโลหะอะลูมิเนียม ความละเอียดผิวชิ้นงานสูง (ตัวอย่างที่ 5)

โดยกระบวนการทดลองเบื้องต้นเหมือนกับกระบวนการรีไซเคิลโดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน จากนั้นนำน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองท่อเดียวซึ่งบรรจุไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน เก็บน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลนี้ ทดสอบสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะทำให้เราทราบประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น และจะใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาเลือกกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

จากการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน ตามลำดับ พบว่า กระบวนการนี้สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 82 % หรือมีปริมาณของแข็งแขวนลอยคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น 447 PPM by volume (สูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นใหม่ไม่มากนัก) ลดปริมาณน้ำมันสกปรกจากเดิมได้ 74 % หรือมีน้ำมันสกปรกคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น 0.7 % ลดปริมาณแบคทีเรียได้ 3 logs หรือคงเหลือ 10^3 CFU/ml ซึ่งปริมาณแบคทีเรียระดับนี้จะไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น (ORC, 1999) ลดค่าเฉลี่ยของขนาดของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นคงเหลือ 1.55 ไมครอน (ดังรูปที่ 5.17) ส่วนค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่างทั้งหมด มีค่าไม่แตกต่างจากเดิม จะเห็นได้ว่ากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นโดยการหมุนเหวี่ยง ตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน สามารถลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นให้คงเหลือต่ำ หรือใกล้เคียงกับสภาพน้ำมันใหม่ และลดปริมาณแบคทีเรียจนถึงระดับที่น่าพอใจ จึงถือได้ว่ากระบวนการนี้บรรลุวัตถุประสงค์ของกระบวนการปรับปรุงสภาพน้ำมันหล่อเย็น



รูปที่ 5.16 แผนผังกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ

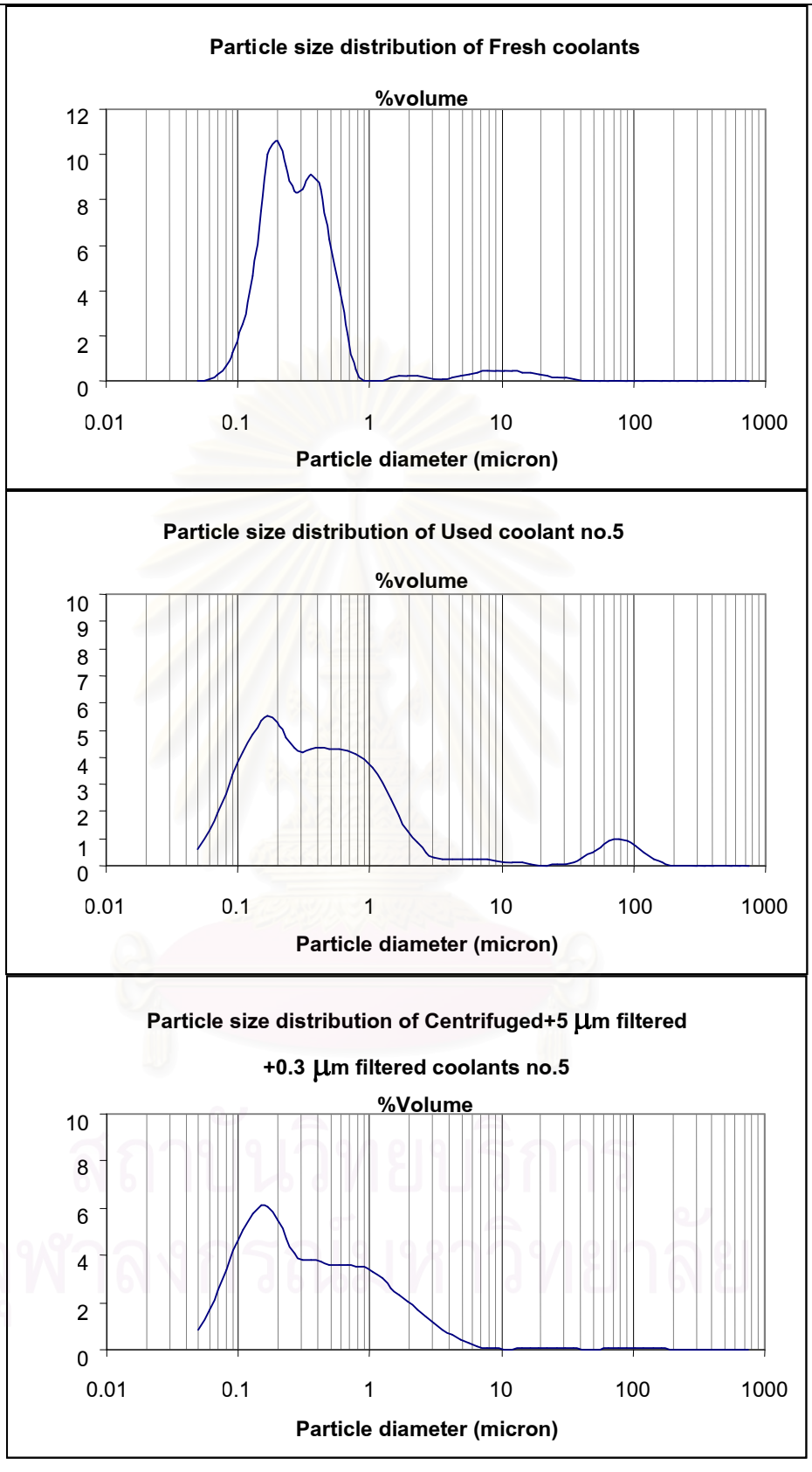
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน

สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น	สภาพของน้ำมันหล่อเย็น			%ลดลงจากเดิม
	ใหม่	ใช้แล้ว	ผ่านกระบวนการรีไซเคิล	
พีเอช	9.78	9.19	8.97	-
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (%v/v)	6	4	4	-
สภาพนำไฟฟ้า (μs/cm)	911	1,650	1,508	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (PPM by volume)	2,400	1,780	1,573.3	-
ปริมาณน้ำมันสกปรก (%v/v)	0	2.7	0.7	74%
ของแข็งแขวนลอย (PPM by volume)	135	2,527	447	82%
แบคทีเรีย (CFU/ml)	0	10^6	$10^{3§}$	3 logs
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	0.93	5.95	1.43	-
ความเสถียร	เสถียร	เสถียร	เสถียร	-

อัตราการกรอง 0.4-0.9 ลิตรต่อนาที

§ ติดเชื้อต่ำ แปลความหมายตามคู่มือการใช้ Dip slide ยี่ห้อ EASICULT



รูปที่ 5.17 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของเหลวที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ

5.5 วิเคราะห์ ประเมินผล และเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินผลที่ได้จากการค้นคว้าทดลองข้างต้นทั้งหมด เพื่อที่จะเสนอแนวทางวิธีการที่เหมาะสมในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าน้ำมันหล่อเย็นมีสิ่งปนเปื้อนหลัก 3 ชนิดคือ น้ำมันสกปรก ของแข็งแขวนลอย และจุลินทรีย์ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ที่ระบุให้เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ดี เหล็กซึ่งเป็นสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นไม่สามารถกรองได้ทั้งหมด จึงคาดคะเนว่ามีอยู่ในรูปของทั้งของแข็งและสารละลาย น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าพีเอชลดลง เนื่องจากแบคทีเรียผลิตกรดเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลง เนื่องจากอนุภาคน้ำมันจะติดค้างกับชิ้นงานหรือกระเซ็นหรือเป็นละออง ค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอออนละลายในน้ำมันหล่อเย็นมีปริมาณมากขึ้น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโตขึ้นเนื่องจากน้ำมันหล่อเย็นปนเปื้อนจากอนุภาคสิ่งปนเปื้อน แต่น้ำมันหล่อเย็นยังคงมีความเสถียรของอิมัลชัน จึงสามารถใช้งานต่อไปได้ ของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น มีขนาดอนุภาคเล็กถึง 1 ไมครอน เป็นสารประกอบของไอออนเกลือจากองค์ประกอบของน้ำ และไอออนโลหะจากการผุกร่อน รวมตัวกับองค์ประกอบในน้ำมันหล่อเย็น จึงจำเป็นต้องการรับการกำจัดทิ้งไป วิธีการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่คือ การหมุนเหวี่ยง และการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน ส่วนวิธีการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนขนาดละเอียดรวมทั้งจุลินทรีย์ออกจากน้ำมันหล่อเย็นคือ การกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็น โดยการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน ตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นให้เหลือในปริมาณต่ำมาก ใกล้เคียงกับสภาพน้ำมันหล่อเย็นใหม่ รวมถึงปริมาณแบคทีเรียที่คงเหลืออยู่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น แต่ไม่สามารถปรับปรุงค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่างทั้งหมดได้ ดังนั้นกระบวนการนี้ถือเป็นกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ที่ดีที่สุด และสามารถนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมได้ แต่ก่อนนำกลับไปใช้ใหม่ควรปรับความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นโดยการเติมน้ำกับน้ำมันเข้มข้นเพิ่มความเข้มข้นให้ได้ระดับตามต้องการ เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร ใบมีด และน้ำมันหล่อเย็น รักษาสภาพแวดล้อมในการทำงาน สุขภาพอนามัยของผู้ใช้ และน้ำมันหล่อเย็นมีประสิทธิภาพการทำงานเต็มที่

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

6.1.1 สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วคือ

- ค่าพีเอชลดลง แต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 8.0-9.5
- ค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้น แต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ ต่ำกว่า 4,000-5,000 μS/cm
- ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลง แต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ มากกว่า 2%
- ปริมาณสิ่งปนเปื้อนเพิ่มขึ้น และสูงกว่าปริมาณน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นที่ดี หรือสูงกว่า 2%
- ปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นที่ดี หรือสูงกว่า 300 PPM
- ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น สูงกว่า 10^3 CFU/ml ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น
- ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคสูงขึ้น สูงกว่าขนาดอนุภาคที่เหมาะสำหรับงานตัดกลึงหยาบ หรืออยู่ในช่วง 0.1-0.01 ไมครอน
- น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วยังคงมีสภาพเสถียรของอิมัลชัน สามารถใช้งานได้

6.1.2 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) ซึ่งเป็นสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น มีองค์ประกอบของสารประกอบพวกไอออนโลหะ และไอออนเกลือซึ่งเป็นแร่ธาตุในน้ำ ทำปฏิกิริยากับสารประกอกลุ่มซิลิเกต และออกไซต์ในน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันหล่อเย็น มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0-80 ไมครอน ประกอบด้วย

แคลเซียมซิลิเกต ($CaSiO_3$)
แคลเซียมโครเมียมออกไซต์ไฮเดรต ($CaCrO_4.2H_2O$)
แมกนีเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรอกไซต์ ($Mg_5AlSi_3AlO_{10}(OH)_8$)
อะลูมิเนียมซิลิเกต ($Al_2O_3.SiO_3$)
โซเดียมบอเรตไฮเดรต ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)
โซเดียมซิลิเกตไฮโดรเจนออกไซต์ ($Na_2SiO_3.9H_2O$)
ซิงก์ซิลิเกตออกไซต์ (Zn_2SiO_4)

เหล็กออกไซต์ (Fe_3O_4)

เหล็กออกไซต์ไฮเดรต ($Fe_2O_3.H_2O$)

6.1.3 วิธีการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการเร่งการรวมตัวโดยใช้ตัวกลางชนิดผ้าสักหลาด มีความไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ประมาณ 9.73 % และใช้อัตราการไหลต่ำ อยู่ในช่วง 0.09-0.35 ลิตรต่อนาที

6.1.4 วิธีการแยกน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการกรองด้วยไส้กรองที่มีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน มีความไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้สูงสุดประมาณ 75.2% แต่ไส้กรองไม่ทนทานต่อสารเคมี และใช้งานได้ไม่นานจะเกิดปัญหาการอุดตัน

6.1.5 วิธีการไฮโดรไซโคลนไม่เหมาะสำหรับการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น เนื่องจากวิธีการนี้ไม่สามารถคัดแยกอนุภาคที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันเล็กน้อยได้ดี

6.1.6 วิธีการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที มีความเหมาะสมสำหรับคัดแยกสิ่งปนเปื้อนขั้นต้นของงานในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีการติดตั้งตะแกรงดักเศษโลหะขนาดใหญ่ออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันในจานเร่งการรวมตัว (Coalescing disc) ซึ่งวิธีการหมุนเหวี่ยงสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกและตะกอนของแข็งออกจากน้ำมันหล่อเย็นประมาณ 50% จากปริมาณเดิม

6.1.7 วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน มีความเหมาะสมสำหรับคัดแยกสิ่งปนเปื้อนขั้นต้นของงานในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกลงได้ประมาณ 53% สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ประมาณ 82% และลดปริมาณแบคทีเรียให้คงเหลือ 10^5 CFU/ml และไส้กรองเซลลูโลสมีความทนทานต่อการใช้งานกับสารเคมี และราคาถูก

6.1.8 วิธีการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน มีความเหมาะสมสำหรับคัดแยกสิ่งปนเปื้อนขั้นละเอียดของงานในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำมันสกปรกลงได้ประมาณ 78% สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ประมาณ 99% และลดปริมาณแบคทีเรียให้คงเหลือ 10^4 CFU/ml และไส้กรองเซรามิกส์มีความทนทานต่อการใช้งานกับสารเคมี ทำความสะอาดได้ง่าย ราคาไม่แพง

6.1.9 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นโดยหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน มีความไม่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนที่คงเหลืออยู่ในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการแล้วนั้นยังคงมีปริมาณของแข็งแขวนลอย 805 PPM เทียบกับปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นใหม่ 135 PPM น้ำมันสกปรกคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น 0.9% และ

ปริมาณแบคทีเรียคงเหลือน้ำมันหล่อเย็น 10^4 CFU/ml ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น

6.1.10 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นโดยหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส ขนาดรูกรอง 5 ไมครอน และตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ ขนาดรูกรอง 0.3 ไมครอน เป็นกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุด เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นให้คงเหลือน้อยที่สุดและใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อเย็นใหม่คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยคงเหลือ 447 PPM น้ำมันสกปรกคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น 0.7 % และปริมาณแบคทีเรียคงเหลือน้ำมันหล่อเย็น 10^3 CFU/ml ซึ่งไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น

6.2 ข้อสังเกตและเสนอแนะในการดำเนินการศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นรวมถึงการสำรวจทางแบบสอบถามทำให้ทราบว่าน้ำมันหล่อเย็นมีความสำคัญในกระบวนการตัดเฉือนโลหะ และพบว่าโรงงานในประเทศมีการใช้น้ำมันหล่อเย็นเป็นปริมาณค่อนข้างสูงมาก จึงส่งผลให้ปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อเย็นจึงสูงตามไปด้วย ดังนั้นหากมีกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่จะทำให้ลดการสูญเสียน้ำมันหล่อเย็นได้ถึงประมาณเท่าตัว ซึ่งจะเป็นผลดีทั้งแก่ภาคอุตสาหกรรมและด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

อย่างไรก็ตาม ในการสำรวจข้อมูลการใช้น้ำมันหล่อเย็นโดยการสุ่มสำรวจทางแบบสอบถาม จะได้รับความร่วมมือจากโรงงานอุตสาหกรรมน้อยมาก ผลการประเมินข้อมูลจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาได้เท่านั้น

นอกจากนี้ในการศึกษาทดลองอาจมีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ทำให้ต้องมีการวางแผนการทดลองและเก็บตัวอย่างอย่างระมัดระวังดังนี้

น้ำมันหล่อเย็นเป็นของเหลวที่บูดเน่าหรือเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยจึงต้องเก็บตัวอย่างหลายครั้ง วิธีการแก้ไขปัญหานี้คือ แต่ละขั้นตอนจึงออกแบบกระบวนการทดลอง และใช้ตัวอย่างชุดเดียวกัน เพื่อทำการทดลองให้เสร็จสมบูรณ์เป็นขั้นๆ ไป

6.2.1 ก่อนและหลังกระบวนการทดสอบการกรองในแต่ละครั้งจำเป็นต้องทำความสะอาดไส้กรองและระบบ เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนและให้ไส้กรองมีประสิทธิภาพเช่นเดิมใกล้เคียงกับของใหม่

6.2.2 ในการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เลือกทดสอบด้วยชุดทดสอบดิฟสไลด์ (Dip slide) ซึ่งใช้งานง่ายและมีจำหน่ายทั่วไป แต่วิธีการนี้ต้องใช้เวลานานเพื่อรอผลการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง จึงอาจเปลี่ยนวิธีทดสอบเป็นการวัดค่าออกซิเจนละลาย (Dissolve oxygen) ซึ่งใช้เวลาวิเคราะห์ประมาณ 2 ชั่วโมงเท่านั้น

6.2.3 ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับกระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้ควรเป็นเครื่องที่มีความจุสูง มีช่องทางออกสำหรับน้ำมันสกปรก ตะกอนของแข็งและน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการเหวี่ยงแล้วอัตโนมัติ นอกจากนี้โรงงานควรมีวิธีการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงาน เช่น ถ้าปริมาณน้ำมันสกปรกคงเหลือในน้ำมันหล่อเย็นที่เหวี่ยงแล้วสูงเกินไป อาจเพิ่มความเร็วรอบให้มากขึ้น แต่ต้องระวังการแยกตัวของอิมัลชันเนื่องจากแรงเหวี่ยงสูงเกินไปด้วย

6.2.4 กระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับไปใช้ใหม่นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับโรงงานขนาดเล็กได้ด้วย โดยอาจเลี่ยงการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงเนื่องจากราคาแพง เป็นการใช้วิธีการตกตะกอนอนุภาคของแข็งและลอยอนุภาคน้ำมันสกปรกและตักทิ้ง ก่อนการกรองที่สามารถประยุกต์ใช้ชุดกรองที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดได้

6.2.5 การศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่ ตามกระบวนการที่เสนอแนะดังกล่าวนี้ ควรพัฒนาเป็นชุดต้นแบบและทดลองสาธิตใช้งานจริงในโรงงานที่มีปริมาณน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วที่เหมาะสมเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับปรับปรุงการออกแบบและประมาณการใช้จ่ายในการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชิเกะฟูมิ ฟูจิตะ. คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี. แปลโดย วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคนอื่นๆ. โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท) .พิมพ์ครั้งที่ 3., 2540.

ประพนธ์ แซ่ตัน. การศึกษาทางด้านทฤษฎีและการประยุกต์ของโคเอเลสเซอร์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมสุขาภิบาล วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคในการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2535.

รัตนา จิระรัตนานนท์. กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยเส็ง, 2543.

สุรพล ราษฎร์นุ้ย. วิศวกรรมการหล่อลื่นเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2549.

หลักการของตัวกลางโคเอเลสเซอร์. แหล่งที่มา : http://www.acsseparation.com(13/9/2006)

อารี ธนบุญสมบัติ, ภัทรวรรณ คหะวงศ์ และศุภมาส ด่านวิทยากุล. เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค, ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.mtec.or.th/th/labs/powder/book/format.doc (28/2/2550)

ภาษาอังกฤษ

Anderson, J.E.& Kim, B.R.& Mueller, S.A.& Lofton T.V. Composition and analysis of mineral oils and other organic compounds in metalworking and hydraulic fluids. Critical review in environment Science and Technology. 33 (2003): 73-109.

Arizona Department of Environmental Quality. Badct Guidance Document for Pretreatment with oil/water separators. July 1, 1996 (Draft)

Chieu & Schechter & Humenick & Gloyna. Coalescence of emulsified wastes by fibrous bed/Technical Report, CRWR-126; EHE-75-05 (1975) : 195.

Chieu & Schechter & Malina & Gloyna. Separation of free oil following coalescence. Technical report, CRWR-143, EHE 77-01 (1977) : 59.

Cincinnati Milacron Products Division. Concentration Measurement. Cincinnati Milacron Products Division. . [Online]. Available: http://cimcool.com/newconc.pdf .(13/9/2006)

Cincinnati Milacron Products Division. Definitions of analysis terms for water soluble metalworking fluids. Cincinnati Milacron Products Division. [Online]. Available: http://cimcool.ca/assets/english_pdfs/metalworking_fluid_terms.pdf. (13/9/2006)

El Baradie.M.A. Cutting fluids:Part 1. Characterisation. Journal of Materials Processing Technology. 56 (1996): 786-797.

El Baradie.M.A. Cutting fluids:Part 2. Recycling and clean machining. Journal of Materials Processing Technology. 56 (1996): 786-797.

Foltz.G. Fluids Fundamentals. Cutting Technology. (November/December 2002): 26-29.

Greeley M. & Rajagopalan N. Impact of environment contaminants on machining properties of metalworking fluids. Tribology International. 37 (2004): 327-332.

HSE(Health and Safety Executive). Managing Sumps and bacterial contamination. Health and Safety Executive. 4 (2006)

IAMS. (Institute of Advanced Manufacturing Sciences, Inc.) Shop Guide to Reduce the Waste of Metalworking Fluids. Cincinnati, Ohio: Institute of Advanced Manufacturing Sciences (IAMS) and Waste Reduction and Technology Transfer Foundation, not dated.

Iowa waste reduction center. Cutting fluid management for small machining operation. Iowa waste reduction center, University of Northern Iowa., 1990.

Iowa waste reduction center. Cutting fluid management for small machining operation. Iowa waste reduction center, University of Northern Iowa. 3rd edition,: 2003. [Online]. Available : http://p2pays.org/ref/02/01438.(1/9/2005)

Johnson DL and Philips ML. UV disinfection of soluble oil metalworking fluids. AIHA J(Fairfax, Va) (Mar-Apr 2002) : 178-183.

King Country. Machine Shop Best Management Practices and Pollution Prevention., 2000. [Online]. Available: http://govlink.org/hazwaste.html.(7/9/2006)

Mac.G.J. Responsible Metal cutting Fluid Management. AAMA Metalworking Fluids Symposium. (March 1996) : 267-269.

Mahdi, S.M. & Skold, R.O. Experimental study of membrane filtration for the recycling of synthetic water-based metalworking fluids. Tribology International. 24 (1991): 389-395.

Mesh coalescing media. แหล่งที่มา : http://www.acsseparation.com(13/9/2006)

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Metalworking Fluids. Cincinnati, Ohio: Department of Health and Human, 1998.

ORC (Organization Resources Counselors, Inc.). Testing/ A Guide to Their Management And Control. Organization Resources Counselors, Inc. 1997. [Online]. Available: http://aware-services.com/orc.html.(15/10/2006)

Packed coalescing media. แหล่งที่มา : http://www.hohcorp.com(13/9/2006)

Plate coalescing media. แหล่งที่มา : http://www.acsseparation.com(13/9/2006)

Rakic, R. & Rakic, Z. Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting processes. Journal of Materials Processing Technology 124 (2002) : 25–31.

Theo Mang and Wilfried Dresel, Lubricants and Lubrications. New York : Chi Chester. Wiley-vch, 2001.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องวัดค่าพีเอช

เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า

เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

ชุดทดสอบดิฟสไลด์ (Dip slides)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

เครื่องกรองน้ำแบบท่อเดียว (Single filter)

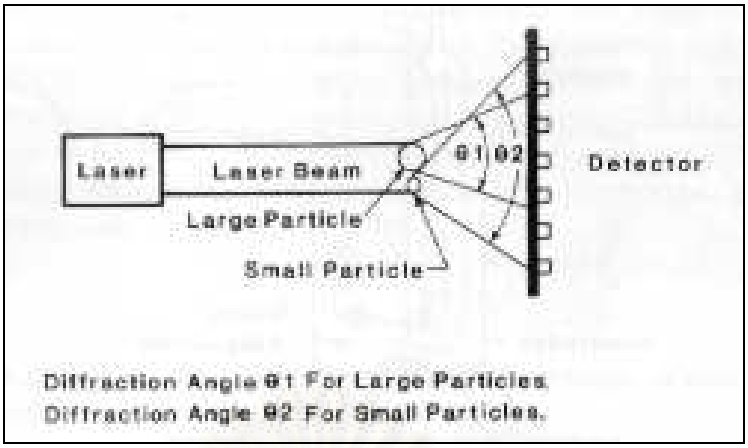
ปั้มน้ำแบบจุ่ม

ปั้มน้ำไดอะแฟรม

เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer)

การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยเทคนิคทางแสง (Optical techniques) เป็นเทคนิคที่สามารถวัดขนาดของอนุภาคได้อย่างรวดเร็ว ใช้ตัวอย่างทดสอบในปริมาณน้อย และผลการวิเคราะห์มีความเชื่อถือได้สูง เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิคนี้หลายครั้ง ผลการทดสอบในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน (Reproducibility) ความสามารถของเทคนิคนี้คือสามารถวัดขนาดของอนุภาคในช่วง 0.1-1000 ไมครอนได้

หลักการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค โดยใช้คุณสมบัติการการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction) ซึ่งแหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ เลเซอร์ชนิดแก๊สฮีเลียม-นีออน (He-Ne gas laser) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.63 ไมครอน เมื่อมีลำแสงส่องกระทบอนุภาคจะเกิดการเลี้ยวเบน ซึ่งจะเป็นไปตามสมมติฐานของฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer approximation) ที่ว่าความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด แต่ขนาดของมุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค การใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัวตรวจจับทางแสง ร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ เทคนิคนี้ไม่จำเป็นต้องทราบความหนาแน่นของวัสดุทดสอบ แต่สิ่งที่ต้องระลึกอยู่เสมอ คือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กเกินช่วงความสามารถของเครื่องตรวจจับจะไม่ได้รับการบันทึก



ที่มา : ดร. อารี ธนบุญสมบัติ, ภัทราวรรณ คหะวงศ์ และศุภมาส ด่านวิทยากุล, 2545

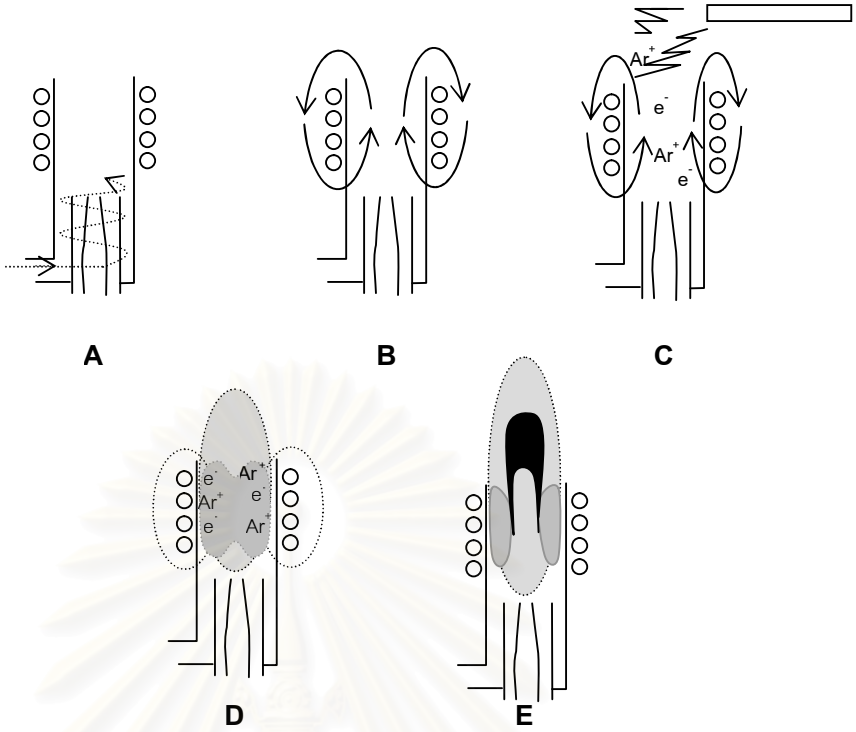
แต่เนื่องจากสมมติฐานของฟรอนโฮเฟอร์มีข้อจำกัดตรงที่อนุภาคต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้วัด อนุภาคจะต้องทึบแสง และอนุภาคทุกขนาดต้องกระเจิงแสงออกไปอย่างมีประสิทธิภาพเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสง ปัจจุบันจึงได้มีการนำทฤษฎีของมี (Mie Theory) มาใช้ ซึ่งจะสามารถวัดขนาดของอนุภาคในช่วง 0.1-2000 ไมครอน ได้อย่างถูกต้อง โดยมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's electromagnetic field equation) ดังนี้

1. ขนาดอนุภาคมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม การสมมุติลักษณะของอนุภาคเป็นรูปทรงกลมเพื่อคำนวณขนาดอนุภาคจากการปริมาตรของทรงกลมนั่นเอง
2. การเจือจางสารละลาย การเจือจางให้ระดับความเข้มข้นต่ำมากนั้น จะช่วยให้เกิดการกระเจิงของลำแสงเพียงลำแสงเดียว (Single scattering) และส่งเข้าสู่ตัวจับลำแสง หรือไม่ให้อนุภาคอื่นๆ มาแทรกหรือกั้นลำแสง ซึ่งจะทำให้เกิดการกระเจิงหลายลำแสง (Multiple scattering)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Induced Couple Plasma Mass Spectrometer (ICPS)

Fassel และคณะได้ทำการศึกษาการใช้ ICP ในทางเคมีวิเคราะห์เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 แต่ไม่ได้รับความนิยม จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1975 ได้มีการผลิตเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก Fassel ได้อธิบายหลักการของ ICP ไว้คือ การปล่อยให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคบ (iorch) ซึ่งประกอบด้วยหลอดที่ทำด้วยควอร์ตซ์ (quartz tube) ซ้อนกัน 3 ชั้น ที่ปลายคบด้านบนจะมีท่อกลวงทำด้วยทองแดงล้อมรอบอยู่ เรียกว่า “load coil” coil นี้จะต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (radio frequency, RF generator) เมื่อให้ RF power ปล่อยเข้าไปใน load coil จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับเคลื่อนที่ไปมาในหลอดทองแดง หรือเกิดการสั่น (oscillate) ด้วยอัตราเร็วเท่ากับความถี่ของเครื่องส่ง ในเครื่อง ICP ส่วนมากจะใช้ความถี่ที่ 27 หรือ 40 เมกกะเฮิร์ต (MHz) จากการผ่าน RF เข้าไปในหลอดทองแดง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (H) ขึ้นที่บริเวณปลายคบ แล้วทำให้เกิดการชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า (eddy current) ไหลผ่านตัวนำ แล้วทำให้ตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปในแนวตั้งฉากเพื่อให้เกิดการหมุนไปรอบหลอดควอร์ตซ์นั้นไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องทำให้เป็นตัวนำด้วยการทำให้เกิดการสปาร์ค หรือปล่อยประจุไฟฟ้าเทสลา (tesla discharge) ให้ผ่านแก๊สอาร์กอนเสียก่อน เพื่อทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออไนส์ได้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่ช่วยเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วขึ้น ประกอบกับมีหลอดทองแดงทำหน้าที่เป็นขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น เรียกว่าเกิด “Inductive Coupling” อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอนต่อไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นไปอีกเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา จึงเรียกว่า Induced Coupled Plasma (ICP) การปล่อยประจุไฟฟ้าจากพลาสมานี้จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1,000-10,000 เคลวิน และมีความเสถียรดีเมื่อใช้กำลังไฟฟ้า 1-2 kW



A แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปจะหมุนไปรอบในคบ (Torch)

B เมื่อใช้ RF ผ่านเข้าไปใน load coil

C เป็นการทำให้เกิดสปารค์ (จาก tesla) เพื่อให้เกิดอิเล็กตรอนจากก๊าซอาร์กอน

D อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามแม่เหล็กทำให้เกิดพลาสมา

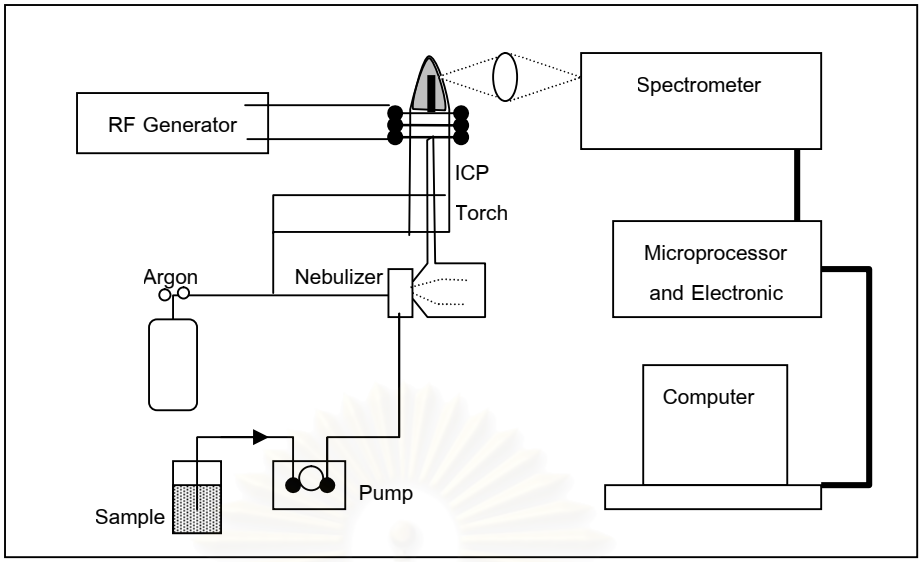
E สารละลายที่เป็นฝอยถูกแก๊สอาร์กอนพาเข้าไปในพลาสมาตรงกลางทำให้เกิดเป็นช่องขึ้น

องค์ประกอบของเครื่อง ICPS

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์ มีดังนี้

1. Nebulizer, Spray Chamber และแก๊สอาร์กอน
2. ICP torch
3. Radiofrequency Generator
4. Spectrometer
5. Microprocessor และ Computer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารละลายที่จะทำการวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละออง (aerosol) โดยกระบวนการ Nebulization แล้วสารละลายตัวอย่างที่เป็นละอองนี้จะถูกพาเข้าพลาสมาของ ICP torch ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแห้งกลายเป็นไอ กลายเป็นอะตอมแล้วเกิดการกระตุ้นหรือไอออไนส์ อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้น (excited) จะเปล่งแสงซึ่งมีลักษณะเฉพาะออกมา แสงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเข้าไปในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่ต้องการวัดที่ความยาวคลื่นต้องการ แล้วให้แสงดังกล่าวตกลงบนดีเทคเตอร์ เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอนตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องวัดเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-Ray Diffraction)

เอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-RAY Diffraction) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในรูปของสารประกอบ มีหลักการคือ ในอะตอมของธาตุใดๆ จะประกอบนิวเคลียสและอิเล็กตรอน ถ้ายิงอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) เข้าชนอะตอมและสะท้อนกลับออกมาเรียกว่า Backscattering electron อิเล็กตรอนที่ถูกชนจะได้รับการถ่ายเทพลังงานจาก Backscattering electron ทำให้มีพลังงานสูงกว่าแรงดึงดูดจากนิวเคลียสจึงเคลื่อนที่หลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนตัวนี้เรียกว่า Secondary electron ซึ่งถ้า Secondary Electron เป็นอิเล็กตรอนวงโคจรชั้นในแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกที่มีพลังงานจลน์สูงกว่าจะกระโดดข้ามมาแทนที่ ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมา ซึ่งจะถูกตรวจจับโดยเครื่องตรวจจับสัญญาณ และเนื่องจากว่าค่าพลังงานในแต่ละชั้นวงโคจรของแต่ละธาตุเป็นค่าเฉพาะตัวขึ้นกับขนาดและรัศมีของวงโคจร จึงทำให้ทราบได้ว่าอะตอมนั้นเป็นธาตุใด และในขณะเดียวกัน Primary electron บางส่วนที่ไม่ชนกับอิเล็กตรอน จะเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียส ซึ่งจะถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสเบี่ยงเบนแนวการเคลื่อนที่ให้วิ่งย้อนวนกลับขึ้นมา อิเล็กตรอนส่วนนี้เรียกว่า Auger electron

จากสูตร $$n\lambda = 2d\sin d\theta$$

เมื่อ θ คือ มุมที่กวาดต้อนขณะวัดด้วยเครื่อง XRD

d คือ ระยะระหว่างอะตอมในผลึกของสารประกอบ อันเกิดจากการเชื่อมพันธะระหว่างอะตอมของสารประกอบ ค่า d จึงเป็นค่าเฉพาะของแต่ละธาตุ หากทราบค่านี้ จะทราบโครงสร้างของธาตุทำให้ทราบว่า ธาตุที่วิเคราะห์เป็นธาตุใด และจาก $d = \frac{\lambda}{2\sin d\theta}$ ก็จะสามารถบอกชนิดโครงสร้างของสารประกอบได้

ในการทำ XRD เมื่อรังสีกระทบตัวอย่าง รังสีจะเกิดการกระจายจึงต้องใช้ Collimator และ Crystal มาจับรวมกัน เครื่องตรวจจับจึงสามารถตรวจจับและแปลข้อมูลออกเป็นกราฟได้

ภาคผนวก ข

ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นใหม่

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Blank
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\S\ZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing medium : Water
Tested by Kaew Kajornchaiyakul

Run Number: 7
Record Number: 15

Measured: 8 Jun 2006 9:09PM
Analysed: 8 Jun 2006 9:09PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: Active --

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]
Killed Result Channels: < 0.05 um; > 258.95 um.

Sampler: MS1

Obscuration: 17.8 %
Residual: 1.989 %

Result Statistics

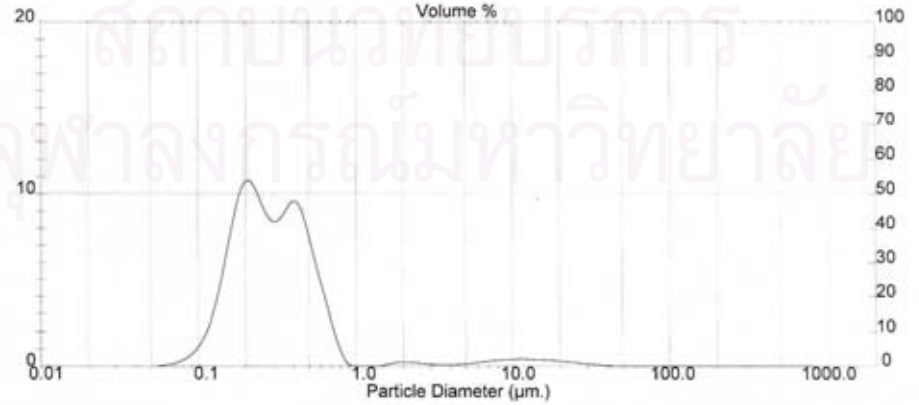
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 0.93 um

Concentration = 0.0048 %Vol
D (v, 0.1) = 0.15 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.29 um
Span = 1.604E+00

Specific S.A. = 23.0191 sq. m / g
D (v, 0.9) = 0.61 um
Uniformity = 2.542E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	0.32	7.72	96.70
0.06	0.08	0.07	0.10	7.72	0.37	9.00	97.08
0.07	0.22	0.08	0.32	9.00	0.40	10.48	97.48
0.08	0.51	0.09	0.83	10.48	0.42	12.21	97.90
0.09	1.09	0.11	1.92	12.21	0.41	14.22	98.31
0.11	2.23	0.13	4.15	14.22	0.39	16.57	98.70
0.13	4.30	0.15	8.45	16.57	0.35	19.31	99.05
0.15	7.26	0.17	15.71	19.31	0.30	22.49	99.35
0.17	9.97	0.20	25.68	22.49	0.24	26.20	99.59
0.20	10.70	0.23	36.39	26.20	0.18	30.53	99.77
0.23	9.55	0.27	45.93	30.53	0.12	35.56	99.89
0.27	8.44	0.31	54.37	35.56	0.07	41.43	99.95
0.31	8.63	0.36	63.01	41.43	0.03	48.27	99.99
0.36	9.51	0.42	72.51	48.27	0.01	56.23	100.00
0.42	8.86	0.49	81.38	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	6.55	0.58	87.93	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	4.29	0.67	92.22	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	2.08	0.78	94.29	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.44	0.91	94.74	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.00	1.06	94.74	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.00	1.24	94.74	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.00	1.44	94.74	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.10	1.68	94.84	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.22	1.95	95.06	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.24	2.28	95.30	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.20	2.65	95.51	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.14	3.09	95.65	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.10	3.60	95.75	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.09	4.19	95.84	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.12	4.88	95.96	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.18	5.69	96.14	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.25	6.63	96.39	754.23	0.00	878.67	100.00



ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นใหม่

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Blank
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing medium : Water
Tested by Kaew Kajornchaiyakul

Run Number: 2
Record Number: 10

Measured: 8 Jun 2006 9:06PM
Analysed: 8 Jun 2006 9:06PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 19.0 %
Residual: 1.998 %

Result Statistics

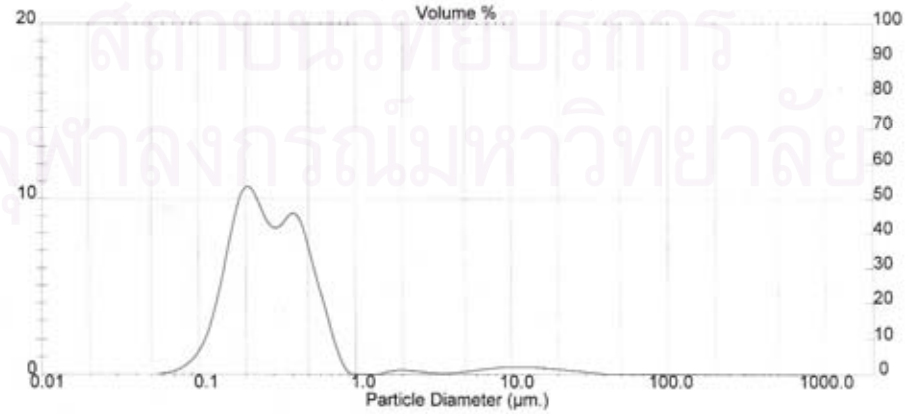
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 0.93 um

Concentration = 0.0049 %Vol
D (v, 0.1) = 0.15 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.28 um
Span = 1.670E+00

Specific S.A. = 23.4654 sq. m / g
D (v, 0.9) = 0.62 um
Uniformity = 2.600E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	0.35	7.72	96.61
0.06	0.11	0.07	0.13	7.72	0.41	9.00	97.02
0.07	0.28	0.08	0.42	9.00	0.44	10.48	97.45
0.08	0.63	0.09	1.04	10.48	0.45	12.21	97.90
0.09	1.28	0.11	2.33	12.21	0.43	14.22	98.34
0.11	2.52	0.13	4.85	14.22	0.40	16.57	98.74
0.13	4.62	0.15	9.47	16.57	0.36	19.31	99.10
0.15	7.49	0.17	16.96	19.31	0.30	22.49	99.40
0.17	10.00	0.20	26.96	22.49	0.24	26.20	99.64
0.20	10.62	0.23	37.59	26.20	0.18	30.53	99.82
0.23	9.49	0.27	47.08	30.53	0.12	35.56	99.94
0.27	8.39	0.31	55.47	35.56	0.06	41.43	100.00
0.31	8.47	0.36	63.94	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	9.13	0.42	73.08	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	8.43	0.49	81.51	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	6.26	0.58	87.77	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	4.13	0.67	91.90	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	2.06	0.78	93.96	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.50	0.91	94.46	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.00	1.06	94.46	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.00	1.24	94.46	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.00	1.44	94.46	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.13	1.68	94.59	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.24	1.95	94.84	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.25	2.28	95.09	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.21	2.65	95.30	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.14	3.09	95.44	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.10	3.60	95.54	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.10	4.19	95.64	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.13	4.88	95.77	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.20	5.69	95.97	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.28	6.63	96.25	754.23	0.00	878.67	100.00



ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Used
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 18
Record Number: 1381

Measured: 17 Oct 2006 15:45PM
Analysed: 17 Oct 2006 15:46PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 21.8 %
Residual: 1.102 %

Result Statistics

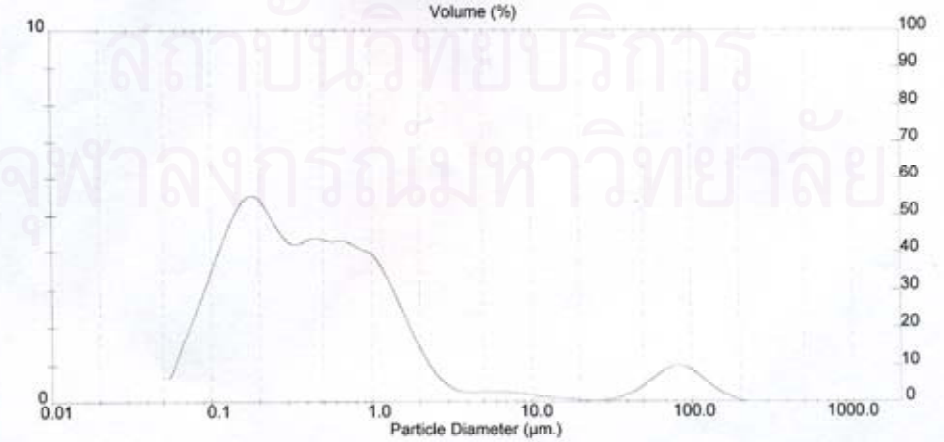
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 5.96 um

Concentration = 0.0064 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.39 um
Span = 5.542E+00

Specific S.A. = 23.4504 sq. m / g
D (v, 0.9) = 2.25 um
Uniformity = 1.491E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.63	0.06	0.63	6.63	0.25	7.72	93.02
0.06	1.28	0.07	1.91	7.72	0.22	9.00	93.24
0.07	1.95	0.08	3.86	9.00	0.18	10.48	93.42
0.08	2.66	0.09	6.52	10.48	0.15	12.21	93.57
0.09	3.40	0.11	9.92	12.21	0.12	14.22	93.69
0.11	4.15	0.13	14.07	14.22	0.10	16.57	93.78
0.13	4.85	0.15	18.92	16.57	0.08	19.31	93.86
0.15	5.36	0.17	24.28	19.31	0.03	22.49	93.89
0.17	5.51	0.20	29.79	22.49	0.03	26.20	93.91
0.20	5.25	0.23	35.03	26.20	0.04	30.53	93.95
0.23	4.75	0.27	39.78	30.53	0.07	35.56	94.03
0.27	4.33	0.31	44.11	35.56	0.15	41.43	94.18
0.31	4.20	0.36	48.31	41.43	0.28	48.27	94.46
0.36	4.30	0.42	52.60	48.27	0.47	56.23	94.93
0.42	4.35	0.49	56.95	56.23	0.69	65.51	95.62
0.49	4.28	0.58	61.24	65.51	0.89	76.32	96.51
0.58	4.28	0.67	65.52	76.32	0.98	88.91	97.49
0.67	4.24	0.78	69.76	88.91	0.92	103.58	98.41
0.78	4.09	0.91	73.85	103.58	0.71	120.67	99.13
0.91	3.95	1.06	77.80	120.67	0.47	140.58	99.59
1.06	3.61	1.24	81.41	140.58	0.26	163.77	99.85
1.24	3.08	1.44	84.50	163.77	0.12	190.80	99.97
1.44	2.45	1.68	86.95	190.80	0.03	222.28	100.00
1.68	1.84	1.95	88.79	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.29	2.28	90.07	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.83	2.65	90.91	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.51	3.09	91.42	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.33	3.60	91.75	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.25	4.19	92.00	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.24	4.88	92.25	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.26	5.69	92.51	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.26	6.63	92.77	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Used
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 22
Record Number: 1385

Measured: 17 Oct 2006 15:46PM
Analysed: 17 Oct 2006 15:46PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 21.9 %
Residual: 1.071 %

Result Statistics

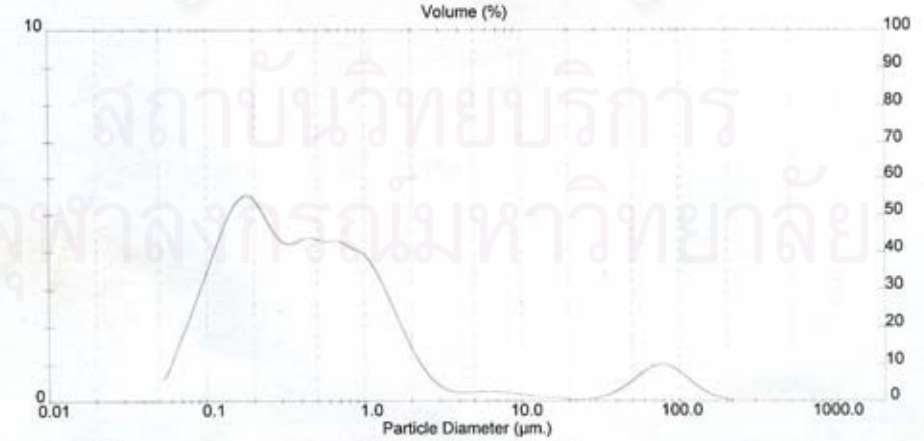
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 5.95 um

Concentration = 0.0064 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.39 um
Span = 5.780E+00

Specific S.A. = 23.3422 sq. m / g
D (v, 0.9) = 2.36 um
Uniformity = 1.480E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.62	0.06	0.62	6.63	0.25	7.72	92.66
0.06	1.27	0.07	1.89	7.72	0.22	9.00	92.88
0.07	1.93	0.08	3.82	9.00	0.18	10.48	93.07
0.08	2.63	0.09	6.46	10.48	0.15	12.21	93.22
0.09	3.37	0.11	9.83	12.21	0.12	14.22	93.33
0.11	4.13	0.13	13.96	14.22	0.09	16.57	93.43
0.13	4.83	0.15	18.79	16.57	0.08	19.31	93.51
0.15	5.34	0.17	24.14	19.31	0.03	22.49	93.54
0.17	5.50	0.20	29.63	22.49	0.04	26.20	93.58
0.20	5.24	0.23	34.87	26.20	0.06	30.53	93.64
0.23	4.74	0.27	39.61	30.53	0.12	35.56	93.76
0.27	4.32	0.31	43.93	35.56	0.23	41.43	93.99
0.31	4.20	0.36	48.13	41.43	0.39	48.27	94.37
0.36	4.30	0.42	52.43	48.27	0.60	56.23	94.97
0.42	4.35	0.49	56.78	56.23	0.81	65.51	95.79
0.49	4.28	0.58	61.06	65.51	0.97	76.32	96.75
0.58	4.28	0.67	65.34	76.32	0.99	88.91	97.74
0.67	4.24	0.78	69.58	88.91	0.86	103.58	98.61
0.78	4.08	0.91	73.67	103.58	0.64	120.67	99.24
0.91	3.94	1.06	77.61	120.67	0.40	140.58	99.64
1.06	3.60	1.24	81.20	140.58	0.22	163.77	99.86
1.24	3.06	1.44	84.27	163.77	0.11	190.80	99.97
1.44	2.43	1.68	86.70	190.80	0.03	222.28	100.00
1.68	1.81	1.95	88.51	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.26	2.28	89.78	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.81	2.65	90.59	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.50	3.09	91.09	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.32	3.60	91.40	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.24	4.19	91.65	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.24	4.88	91.89	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.26	5.69	92.14	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.27	6.63	92.41	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารซอยจุฬา 2 จุฬาซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Used
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 19
Record Number: 1362

Measured: 17 Oct 2006 15:46PM
Analysed: 17 Oct 2006 15:46PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3568, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 21.9 %
Residual: 1.103 %

Result Statistics

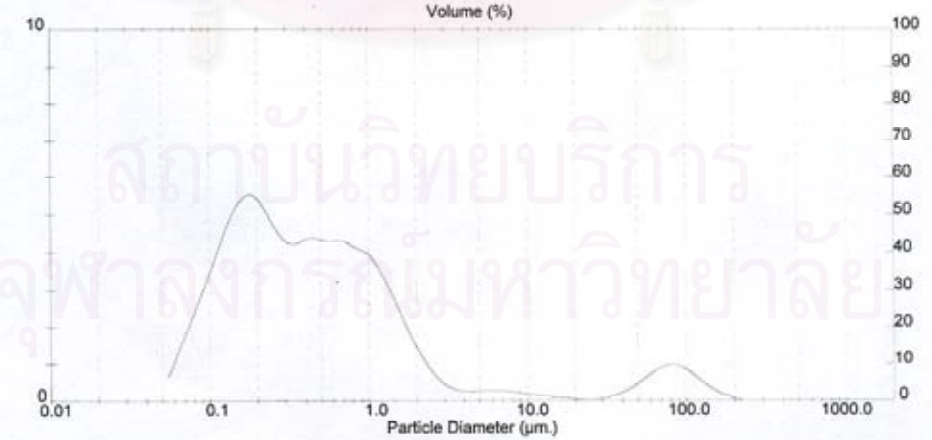
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 5.99 um

Concentration = 0.0064 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.39 um
Span = 5.599E+00

Specific S.A. = 23.4214 sq. m / g
D (v, 0.9) = 2.28 um
Uniformity = 1.497E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.63	0.06	0.63	6.83	0.25	7.72	92.93
0.06	1.27	0.07	1.90	7.72	0.22	9.00	93.15
0.07	1.94	0.08	3.84	9.00	0.18	10.48	93.33
0.08	2.65	0.09	6.49	10.48	0.15	12.21	93.48
0.09	3.39	0.11	9.88	12.21	0.12	14.22	93.59
0.11	4.15	0.13	14.03	14.22	0.09	16.57	93.69
0.13	4.85	0.15	18.88	16.57	0.08	19.31	93.76
0.15	5.36	0.17	24.24	19.31	0.03	22.49	93.79
0.17	5.51	0.20	29.76	22.49	0.03	26.20	93.82
0.20	5.25	0.23	35.01	26.20	0.06	30.53	93.87
0.23	4.75	0.27	39.76	30.53	0.09	35.56	93.96
0.27	4.33	0.31	44.08	35.56	0.18	41.43	94.14
0.31	4.20	0.36	48.28	41.43	0.32	48.27	94.46
0.36	4.30	0.42	52.58	48.27	0.51	56.23	94.97
0.42	4.35	0.49	56.93	56.23	0.72	65.51	95.68
0.49	4.28	0.58	61.22	65.51	0.89	76.32	96.58
0.58	4.28	0.67	65.50	76.32	0.96	88.91	97.54
0.67	4.24	0.78	69.74	88.91	0.88	103.58	98.42
0.78	4.09	0.91	73.83	103.58	0.69	120.67	99.10
0.91	3.95	1.06	77.78	120.67	0.46	140.58	99.56
1.06	3.60	1.24	81.38	140.58	0.26	163.77	99.83
1.24	3.07	1.44	84.45	163.77	0.14	190.80	99.96
1.44	2.44	1.68	86.90	190.80	0.04	222.28	100.00
1.68	1.83	1.95	88.72	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.28	2.28	90.00	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.83	2.65	90.83	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.51	3.09	91.33	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.33	3.60	91.66	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.25	4.19	91.91	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.24	4.88	92.15	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.26	5.69	92.41	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.27	6.63	92.68	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: *centif*
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 26
Record Number: 714

Measured: 9 Oct 2006 14:57PM
Analysed: 9 Oct 2006 14:57PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3586, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 21.2 %
Residual: 0.613 %

Result Statistics

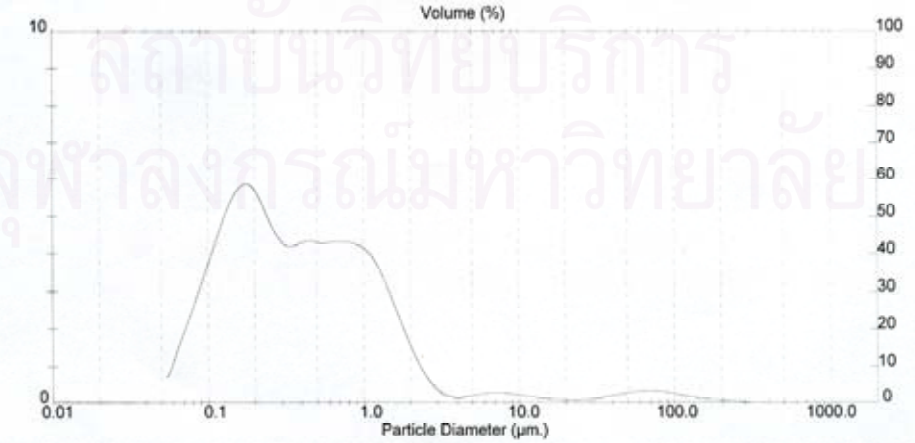
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 2.86 um

Concentration = 0.0059 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.24 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.35 um
Span = 4.266E+00

Specific S.A. = 24.7332 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.61 um
Uniformity = 7.569E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.68	0.06	0.68	6.63	0.26	7.72	98.35
0.06	1.37	0.07	2.05	7.72	0.24	9.00	98.59
0.07	2.10	0.08	4.15	9.00	0.21	10.48	98.80
0.08	2.86	0.09	7.00	10.48	0.17	12.21	98.96
0.09	3.66	0.11	10.66	12.21	0.13	14.22	97.09
0.11	4.48	0.13	15.14	14.22	0.10	16.57	97.19
0.13	5.22	0.15	20.36	16.57	0.08	19.31	97.28
0.15	5.74	0.17	26.09	19.31	0.06	22.49	97.34
0.17	5.84	0.20	31.93	22.49	0.07	26.20	97.40
0.20	5.47	0.23	37.40	26.20	0.08	30.53	97.49
0.23	4.85	0.27	42.26	30.53	0.11	35.56	97.60
0.27	4.35	0.31	46.60	35.56	0.16	41.43	97.76
0.31	4.18	0.36	50.78	41.43	0.21	48.27	97.97
0.36	4.27	0.42	55.05	48.27	0.27	56.23	98.24
0.42	4.32	0.49	59.38	56.23	0.30	65.51	98.54
0.49	4.26	0.58	63.64	65.51	0.31	76.32	98.86
0.58	4.29	0.67	67.93	76.32	0.29	88.91	99.15
0.67	4.31	0.78	72.24	88.91	0.25	103.58	99.40
0.78	4.27	0.91	76.51	103.58	0.19	120.67	99.58
0.91	4.16	1.06	80.66	120.67	0.14	140.58	99.72
1.06	3.88	1.24	84.54	140.58	0.10	163.77	99.82
1.24	3.37	1.44	87.91	163.77	0.08	190.80	99.90
1.44	2.70	1.68	90.61	190.80	0.05	222.28	99.95
1.68	2.00	1.95	92.60	222.28	0.03	258.95	99.99
1.95	1.34	2.28	93.95	258.95	0.01	301.68	100.00
2.28	0.80	2.65	94.75	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.42	3.09	95.17	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.20	3.60	95.37	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.13	4.19	95.50	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.15	4.88	95.64	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.20	5.69	95.84	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.24	6.63	96.09	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: centif
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 23
Record Number: 711

Measured: 9 Oct 2006 14:57PM
Analysed: 9 Oct 2006 14:57PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 20.8 %
Residual: 0.612 %

Result Statistics

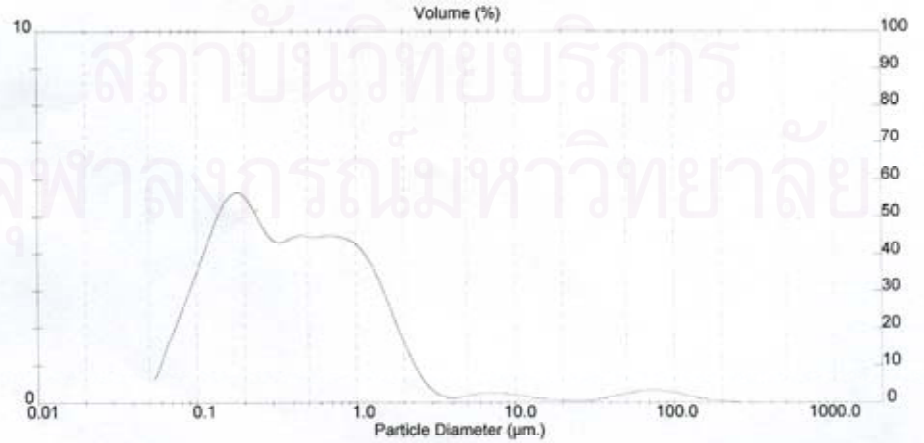
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 2.89 um

Concentration = 0.0058 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.25 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.37 um
Span = 4.086E+00

Specific S.A. = 23.9502 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.64 um
Uniformity = 7.217E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.63	0.06	0.63	6.63	0.27	7.72	96.31
0.06	1.29	0.07	1.92	7.72	0.25	9.00	96.56
0.07	1.96	0.08	3.88	9.00	0.21	10.48	96.78
0.08	2.68	0.09	6.56	10.48	0.17	12.21	96.95
0.09	3.44	0.11	10.00	12.21	0.13	14.22	97.08
0.11	4.22	0.13	14.22	14.22	0.10	16.57	97.18
0.13	4.95	0.15	19.17	16.57	0.08	19.31	97.26
0.15	5.48	0.17	24.64	19.31	0.07	22.49	97.33
0.17	5.64	0.20	30.28	22.49	0.06	26.20	97.39
0.20	5.37	0.23	35.65	26.20	0.07	30.53	97.45
0.23	4.85	0.27	40.50	30.53	0.09	35.56	97.55
0.27	4.41	0.31	44.92	35.56	0.14	41.43	97.69
0.31	4.29	0.36	49.21	41.43	0.19	48.27	97.88
0.36	4.41	0.42	53.62	48.27	0.25	56.23	98.13
0.42	4.48	0.49	58.10	56.23	0.31	65.51	98.44
0.49	4.44	0.58	62.54	65.51	0.33	76.32	98.77
0.58	4.47	0.67	67.01	76.32	0.33	88.91	99.10
0.67	4.47	0.78	71.48	88.91	0.28	103.58	99.38
0.78	4.42	0.91	75.90	103.58	0.22	120.67	99.61
0.91	4.28	1.06	80.18	120.67	0.16	140.58	99.76
1.06	3.98	1.24	84.16	140.58	0.10	163.77	99.86
1.24	3.46	1.44	87.61	163.77	0.07	190.80	99.93
1.44	2.78	1.68	90.39	190.80	0.04	222.28	99.98
1.68	2.06	1.95	92.45	222.28	0.02	258.95	100.00
1.95	1.39	2.28	93.83	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.83	2.65	94.66	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.43	3.09	95.09	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.21	3.60	95.30	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.13	4.19	95.44	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.15	4.88	95.59	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.21	5.69	95.80	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.25	6.63	96.05	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคาร สถานที่ 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: centif
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 21
Record Number: 709

Measured: 9 Oct 2006 14:57PM
Analysed: 9 Oct 2006 14:57PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 20.9 %
Residual: 0.654 %

Result Statistics

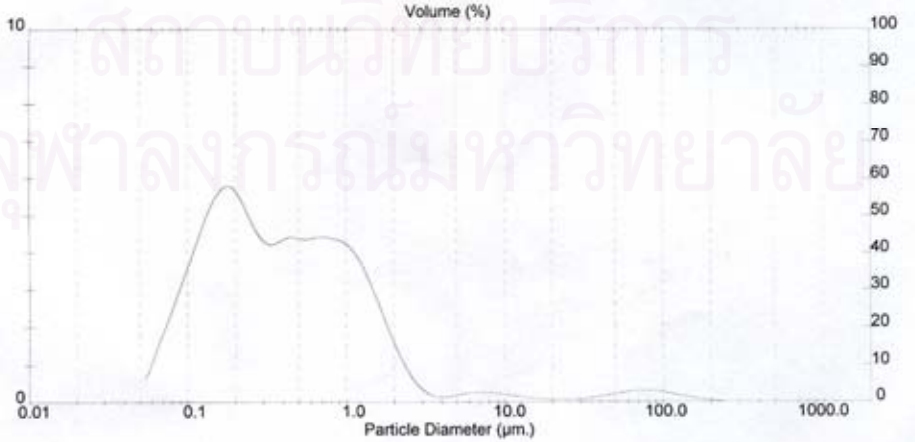
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 2.81 um

Concentration = 0.0058 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.25 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.37 um
Span = 4.156E+00

Specific S.A. = 24.2752 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.62 um
Uniformity = 7.207E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.64	0.06	0.64	6.63	0.26	7.72	96.39
0.06	1.31	0.07	1.95	7.72	0.25	9.00	96.64
0.07	2.00	0.08	3.96	9.00	0.21	10.48	96.85
0.08	2.74	0.09	6.70	10.48	0.17	12.21	97.02
0.09	3.53	0.11	10.22	12.21	0.13	14.22	97.15
0.11	4.34	0.13	14.56	14.22	0.10	16.57	97.26
0.13	5.09	0.15	19.66	16.57	0.09	19.31	97.34
0.15	5.63	0.17	25.29	19.31	0.06	22.49	97.41
0.17	5.77	0.20	31.06	22.49	0.07	26.20	97.47
0.20	5.44	0.23	36.49	26.20	0.08	30.53	97.55
0.23	4.85	0.27	41.34	30.53	0.10	35.56	97.65
0.27	4.36	0.31	45.70	35.56	0.13	41.43	97.78
0.31	4.21	0.36	49.91	41.43	0.18	48.27	97.96
0.36	4.33	0.42	54.24	48.27	0.23	56.23	98.20
0.42	4.40	0.49	58.64	56.23	0.28	65.51	98.48
0.49	4.35	0.58	62.99	65.51	0.31	76.32	98.78
0.58	4.38	0.67	67.37	76.32	0.31	88.91	99.09
0.67	4.40	0.78	71.77	88.91	0.28	103.58	99.37
0.78	4.36	0.91	76.13	103.58	0.23	120.67	99.60
0.91	4.24	1.06	80.37	120.67	0.17	140.58	99.76
1.06	3.95	1.24	84.32	140.58	0.11	163.77	99.88
1.24	3.44	1.44	87.76	163.77	0.07	190.80	99.95
1.44	2.75	1.68	90.51	190.80	0.04	222.28	99.99
1.68	2.04	1.95	92.55	222.28	0.01	258.95	100.00
1.95	1.38	2.28	93.93	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.82	2.65	94.75	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.43	3.09	95.18	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.21	3.60	95.39	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.13	4.19	95.53	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.15	4.88	95.68	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.20	5.69	95.88	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.25	6.63	96.13	754.23	0.00	878.67	100.00



ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น
ที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส 5 ไมครอน

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer

15 Oct 2008 20:4

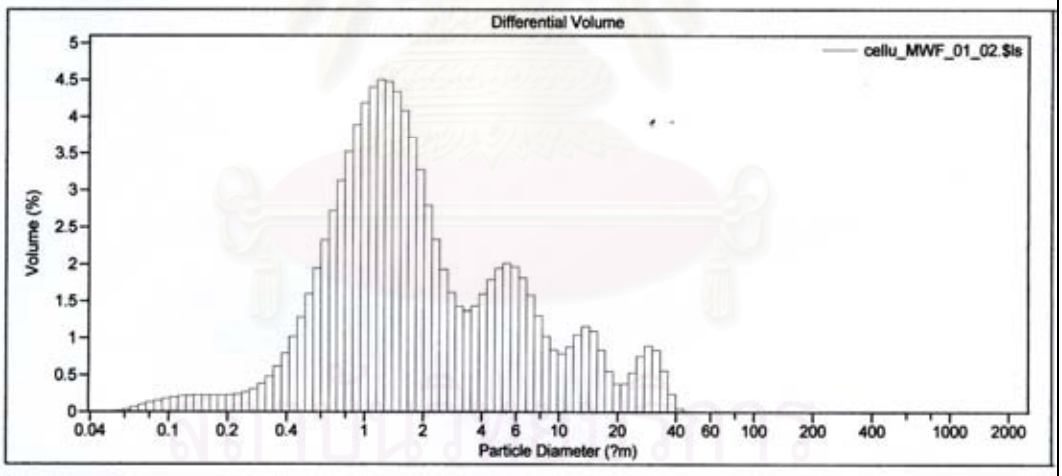
File name:	G:\pam\particle size\particle\cellu_MWF_01_02.$ls cellu_MWF_01_02.$ls		
File ID:	cellu_MWF		
Sample ID:	001		
Operator:	Nichabool		
Run number:	2		
Optical model:	Fraunhofer.rf780d PIDS included		
Residual:	1.25%		
LS 13 320	Aqueous Liquid Module		
Start time:	15:12 5 Jul 2006	Run length:	63 seconds
Pump speed:	59		
Obscuration:	2%	PIDS Obscur:	53%
Dilutions:	10		
Software:	5.01	Firmware:	2.02

Volume Statistics (Arithmetic) cellu_MWF_01_02.$ls

Calculations from 0.040 ?m to 2000 ?m

Volume:	100%		
Mean:	4.127 ?m	S.D.:	6.455 ?m
Median:	1.556 ?m	Variance:	41.66 ?m^2
Mean/Median ratio:	2.652	C.V.:	156%
Mode:	1.204 ?m		

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
0.558 ?m	0.908 ?m	1.556 ?m	4.327 ?m	11.08 ?m



cellu_MWF_01_02.$ls

Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %
0.040	0.0042	0.375	0.80	3.519	1.44	33.01	0.56	309.6	0
0.044	0.0055	0.412	1.02	3.863	1.60	36.24	0.25	339.9	0
0.048	0.0086	0.452	1.29	4.241	1.79	39.78	0.051	373.1	0
0.053	0.017	0.496	1.60	4.656	1.95	43.67	0.0044	409.6	0
0.058	0.035	0.545	1.95	5.111	2.02	47.94	0	449.7	0
0.064	0.066	0.598	2.33	5.610	1.97	52.63	0	493.6	0
0.070	0.10	0.657	2.73	6.159	1.82	57.77	0	541.9	0
0.077	0.13	0.721	3.13	6.761	1.59	63.42	0	594.9	0
0.084	0.16	0.791	3.53	7.422	1.30	69.62	0	653.0	0
0.093	0.18	0.869	3.89	8.148	1.03	76.43	0	716.9	0
0.102	0.20	0.954	4.19	8.944	0.84	83.90	0	787.0	0
0.112	0.22	1.047	4.40	9.819	0.80	92.10	0	863.9	0
0.123	0.22	1.149	4.50	10.78	0.88	101.1	0	948.3	0
0.134	0.23	1.261	4.48	11.83	1.05	111.0	0	1041	0
0.148	0.23	1.385	4.34	12.99	1.16	121.8	0	1143	0
0.162	0.23	1.520	4.08	14.26	1.10	133.8	0	1255	0
0.178	0.23	1.669	3.72	15.65	0.84	146.8	0	1377	0
0.195	0.23	1.832	3.28	17.18	0.56	161.2	0	1512	0
0.214	0.24	2.011	2.80	18.86	0.38	176.9	0	1660	0
0.235	0.27	2.208	2.34	20.71	0.38	194.2	0	1822	0
0.258	0.31	2.423	1.93	22.73	0.53	213.2	0	2000	
0.284	0.38	2.660	1.62	24.95	0.76	234.1	0		
0.311	0.48	2.920	1.43	27.39	0.90	256.9	0		
0.342	0.62	3.206	1.37	30.07	0.84	282.1	0		

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น
ที่ผ่านการกรองด้วยไส้กรองเซรามิกส์ 0.3 ไมครอน

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer

15 Oct 2006 20:5

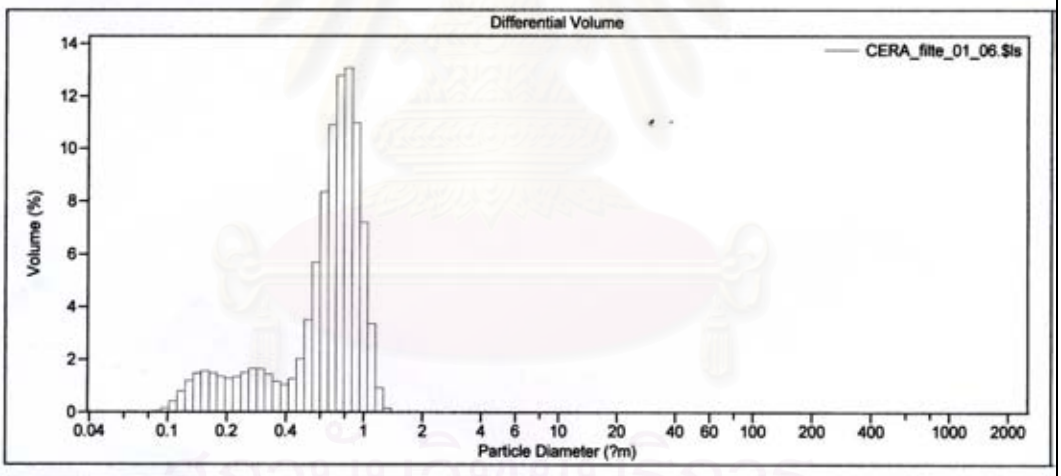
File name:	G:\pam\particle size\CERA_filte_01_06.$ls
	CERA_filte_01_06.$ls
File ID:	CERA_filter
Sample ID:	MWF
Operator:	Nichabool
Run number:	6
Optical model:	Fraunhofer.rf780d PIDS included
Residual:	3.05%
LS 13 320	Aqueous Liquid Module
Start time:	13:37 20 Jul 2006 Run length: 63 seconds
Pump speed:	59
Obscuration:	1% PIDS Obscur: 49%
Fluid:	water
Software:	5.01 Firmware: 2.02

Volume Statistics (Arithmetic) CERA_filte_01_06.$ls

Calculations from 0.040 ?m to 2000 ?m

Volume:	100%		
Mean:	0.665 ?m	S.D.:	0.266 ?m
Median:	0.712 ?m	Variance:	0.071 ?m^2
Mean/Median ratio:	0.934	C.V.:	40.0%
Mode:	0.829 ?m		

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
0.217 ?m	0.524 ?m	0.712 ?m	0.855 ?m	0.975 ?m



CERA_filte_01_06.$ls

Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %	Channel Diameter (Lower) ?m	Diff. Volume %
0.040	0	0.375	1.05	3.519	0	33.01	0	309.6	0
0.044	0	0.412	1.28	3.863	0	36.24	0	339.9	0
0.048	0	0.452	2.03	4.241	0	39.78	0	373.1	0
0.053	0	0.496	3.51	4.656	0	43.67	0	409.6	0
0.058	0	0.545	5.69	5.111	0	47.94	0	449.7	0
0.064	0	0.598	8.35	5.610	0	52.63	0	493.6	0
0.070	0.00022	0.657	10.9	6.159	0	57.77	0	541.9	0
0.077	0.0049	0.721	12.8	6.761	0	63.42	0	594.9	0
0.084	0.036	0.791	13.1	7.422	0	69.62	0	653.0	0
0.093	0.15	0.869	11.0	8.148	0	76.43	0	716.9	0
0.102	0.42	0.954	7.21	8.944	0	83.90	0	787.0	0
0.112	0.80	1.047	3.36	9.819	0	92.10	0	863.9	0
0.123	1.21	1.149	0.94	10.78	0	101.1	0	948.3	0
0.134	1.49	1.261	0.16	11.83	0	111.0	0	1041	0
0.148	1.57	1.385	0.0088	12.99	0	121.8	0	1143	0
0.162	1.50	1.520	0	14.26	0	133.8	0	1255	0
0.178	1.37	1.669	0	15.65	0	146.8	0	1377	0
0.195	1.29	1.832	0	17.18	0	161.2	0	1512	0
0.214	1.35	2.011	0	18.86	0	176.9	0	1660	0
0.235	1.51	2.208	0	20.71	0	194.2	0	1822	0
0.258	1.66	2.423	0	22.73	0	213.2	0	2000	
0.284	1.65	2.660	0	24.95	0	234.1	0		
0.311	1.44	2.920	0	27.39	0	256.9	0		
0.342	1.17	3.206	0	30.07	0	282.1	0		

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น
ที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส 5 ไมครอน

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 5 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 30
Record Number: 1476

Measured: 18 Oct 2006 9:36PM
Analysed: 18 Oct 2006 9:36PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 17.3 %
Residual: 0.732 %

Result Statistics

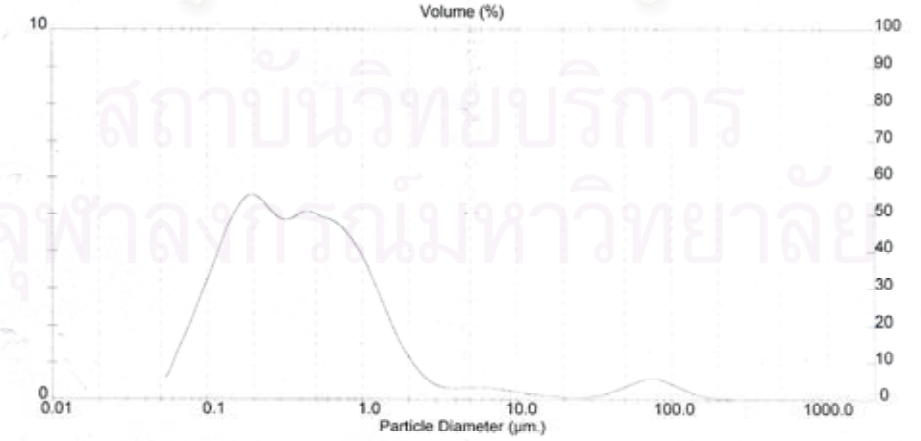
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 3.68 um

Concentration = 0.0047 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.26 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.38 um
Span = 4.271E+00

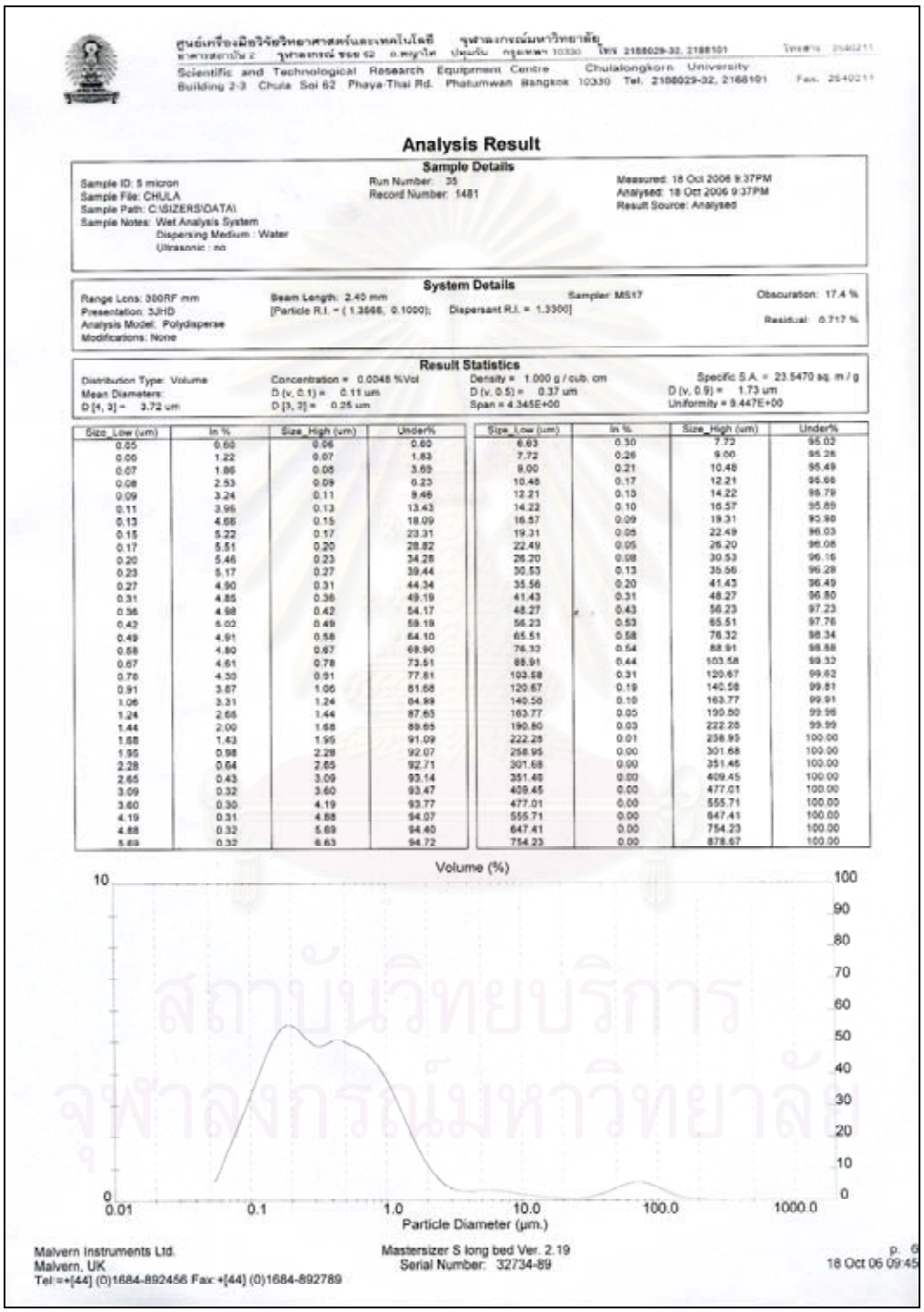
Specific S.A. = 23.3927 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.72 um
Uniformity = 9.254E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.59	0.06	0.59	6.63	0.30	7.72	95.20
0.06	1.20	0.07	1.79	7.72	0.26	9.00	95.46
0.07	1.83	0.08	3.61	9.00	0.21	10.48	95.67
0.08	2.49	0.09	6.10	10.48	0.17	12.21	95.84
0.09	3.19	0.11	9.29	12.21	0.13	14.22	95.97
0.11	3.92	0.13	13.21	14.22	0.11	16.57	96.08
0.13	4.63	0.15	17.84	16.57	0.09	19.31	96.17
0.15	5.20	0.17	23.04	19.31	0.05	22.49	96.22
0.17	5.50	0.20	28.54	22.49	0.05	26.20	96.27
0.20	5.45	0.23	33.99	26.20	0.06	30.53	96.33
0.23	5.16	0.27	39.15	30.53	0.10	35.56	96.43
0.27	4.89	0.31	44.04	35.56	0.16	41.43	96.60
0.31	4.86	0.36	48.89	41.43	0.26	48.27	96.86
0.36	5.00	0.42	53.89	48.27	0.38	56.23	97.23
0.42	5.05	0.49	58.94	56.23	0.49	65.51	97.72
0.49	4.94	0.58	63.89	65.51	0.55	76.32	98.27
0.58	4.84	0.67	68.73	76.32	0.54	88.91	98.81
0.67	4.65	0.78	73.39	88.91	0.46	103.58	99.27
0.78	4.34	0.91	77.73	103.58	0.33	120.67	99.60
0.91	3.91	1.06	81.64	120.67	0.20	140.58	99.80
1.06	3.35	1.24	84.99	140.58	0.11	163.77	99.91
1.24	2.69	1.44	87.69	163.77	0.06	190.80	99.97
1.44	2.03	1.68	89.72	190.80	0.03	222.28	99.99
1.68	1.46	1.95	91.18	222.28	0.01	258.95	100.00
1.95	1.00	2.28	92.18	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.66	2.65	92.84	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.44	3.09	93.28	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.33	3.60	93.61	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.31	4.19	93.92	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.32	4.88	94.24	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.33	5.69	94.57	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.33	6.63	94.90	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของน้ำมันหล่อเย็น
ที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส 5 ไมครอน



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 5 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 35
Record Number: 1481

Measured: 18 Oct 2006 9:37PM
Analysed: 18 Oct 2006 9:37PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3686, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 17.4 %
Residual: 0.717 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 3.72 um

Concentration = 0.0048 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.25 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.37 um
Span = 4.345E+00

Specific S.A. = 23.5470 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.73 um
Uniformity = 9.447E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.60	0.06	0.60	6.63	0.30	7.72	95.02
0.06	1.22	0.07	1.83	7.72	0.26	9.00	94.76
0.07	1.86	0.08	3.69	9.00	0.21	10.48	95.49
0.08	2.53	0.09	6.23	10.48	0.17	12.21	95.66
0.09	3.24	0.11	9.46	12.21	0.13	14.22	95.79
0.11	3.96	0.13	13.43	14.22	0.10	16.57	95.89
0.13	4.68	0.15	18.09	16.57	0.09	19.31	95.98
0.15	5.22	0.17	23.31	19.31	0.05	22.49	96.03
0.17	5.51	0.20	28.82	22.49	0.05	26.20	96.08
0.20	5.46	0.23	34.28	26.20	0.08	30.53	96.16
0.23	5.17	0.27	39.44	30.53	0.13	35.56	96.28
0.27	4.90	0.31	44.34	35.56	0.20	41.43	96.49
0.31	4.85	0.36	49.19	41.43	0.31	48.27	96.80
0.36	4.98	0.42	54.17	48.27	0.43	56.23	97.23
0.42	5.02	0.49	59.19	56.23	0.53	65.51	97.76
0.49	4.91	0.58	64.10	65.51	0.58	76.32	98.34
0.58	4.80	0.67	68.90	76.32	0.54	88.91	98.88
0.67	4.61	0.78	73.51	88.91	0.44	103.58	99.32
0.78	4.30	0.91	77.81	103.58	0.31	120.67	99.62
0.91	3.87	1.06	81.68	120.67	0.19	140.58	99.81
1.06	3.31	1.24	84.99	140.58	0.10	163.77	99.91
1.24	2.68	1.44	87.65	163.77	0.05	190.80	99.96
1.44	2.09	1.68	89.65	190.80	0.03	222.25	99.99
1.68	1.43	1.95	91.09	222.25	0.01	258.95	100.00
1.95	0.98	2.28	92.07	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.64	2.65	92.71	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.43	3.09	93.14	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.32	3.60	93.47	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.30	4.19	93.77	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.31	4.88	94.07	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.32	5.69	94.40	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.32	6.63	94.72	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: ++[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89

p. 6
18 Oct 06 09:45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็น
ที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรองเซลลูโลส 5 ไมครอน

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 5 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 32
Record Number: 1478

Measured: 18 Oct 2006 9:37PM
Analysed: 18 Oct 2006 9:37PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3586, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 17.4 %
Residual: 0.730 %

Result Statistics

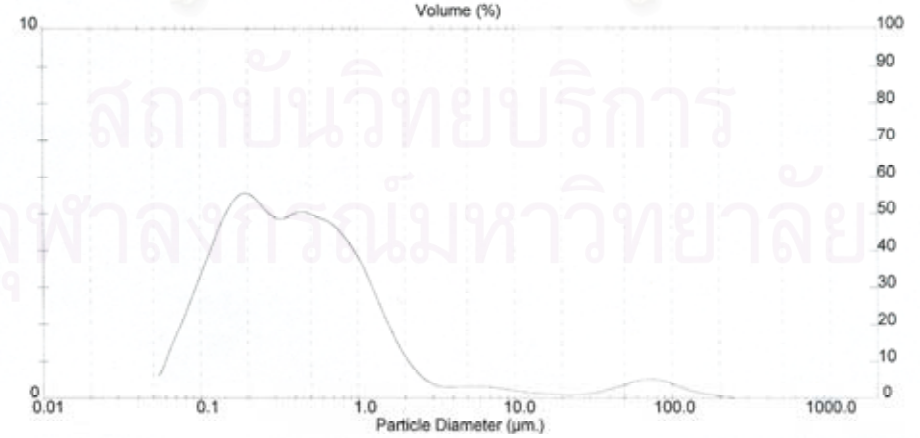
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 3.72 um

Concentration = 0.0048 %Vol
D (v, 0.1) = 0.11 um
D [3, 2] = 0.25 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.37 um
Span = 4.318E+00

Specific S.A. = 23.5585 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.72 um
Uniformity = 9.472E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.60	0.06	0.60	6.83	0.30	7.72	95.11
0.06	1.22	0.07	1.82	7.72	0.26	9.00	95.36
0.07	1.86	0.08	3.68	9.00	0.21	10.48	95.57
0.08	2.53	0.09	6.21	10.48	0.16	12.21	95.74
0.09	3.24	0.11	9.45	12.21	0.13	14.22	95.87
0.11	3.97	0.13	13.42	14.22	0.10	16.57	95.97
0.13	4.67	0.15	18.09	16.57	0.09	19.31	96.06
0.15	5.24	0.17	23.33	19.31	0.06	22.49	96.12
0.17	5.53	0.20	28.86	22.49	0.07	26.20	96.19
0.20	5.47	0.23	34.33	26.20	0.09	30.53	96.28
0.23	5.17	0.27	39.49	30.53	0.14	35.56	96.42
0.27	4.89	0.31	44.38	35.56	0.21	41.43	96.63
0.31	4.84	0.36	49.22	41.43	0.30	48.27	96.92
0.36	4.97	0.42	54.20	48.27	0.39	56.23	97.32
0.42	5.02	0.49	59.22	56.23	0.47	65.51	97.79
0.49	4.91	0.58	64.13	65.51	0.51	76.32	98.30
0.58	4.80	0.67	68.93	76.32	0.50	88.91	98.80
0.67	4.61	0.78	73.54	88.91	0.42	103.58	99.22
0.78	4.30	0.91	77.85	103.58	0.32	120.67	99.54
0.91	3.88	1.06	81.72	120.67	0.21	140.58	99.75
1.06	3.32	1.24	85.04	140.58	0.12	163.77	99.88
1.24	2.67	1.44	87.71	163.77	0.07	190.80	99.95
1.44	2.01	1.68	89.72	190.80	0.04	222.28	99.99
1.68	1.44	1.95	91.16	222.28	0.01	258.95	100.00
1.95	0.99	2.28	92.14	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.65	2.65	92.79	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.44	3.09	93.23	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.33	3.60	93.56	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.30	4.19	93.86	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.31	4.88	94.17	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.32	5.69	94.49	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.32	6.63	94.81	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารเสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 0.3 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 4
Record Number: 1413

Measured: 17 Oct 2006 16:04PM
Analysed: 17 Oct 2006 16:04PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 24.3 %
Residual: 0.277 %

Result Statistics

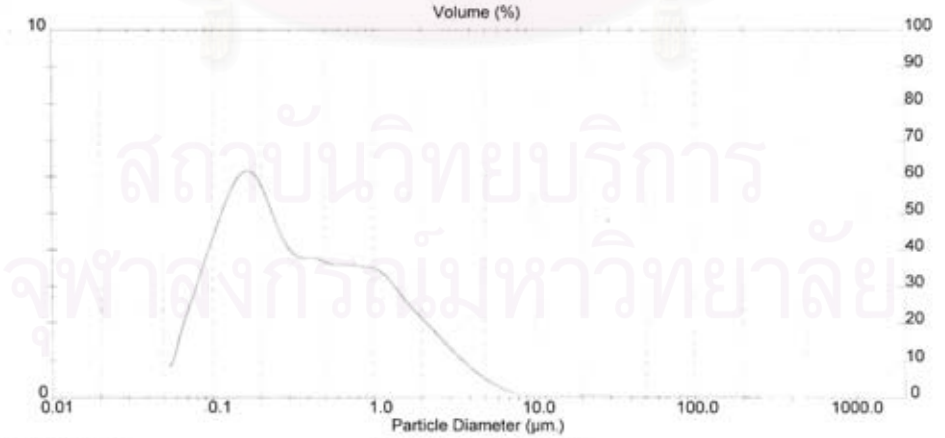
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 1.41 um

Concentration = 0.0068 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.23 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.31 um
Span = 5.802E+00

Specific S.A. = 26.4200 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.92 um
Uniformity = 3.958E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.82	0.06	0.82	6.63	0.17	7.72	98.93
0.06	1.66	0.07	2.48	7.72	0.09	9.00	99.01
0.07	2.51	0.08	4.99	9.00	0.04	10.48	99.06
0.08	3.37	0.09	8.36	10.48	0.03	12.21	99.09
0.09	4.24	0.11	12.60	12.21	0.03	14.22	99.12
0.11	5.07	0.13	17.67	14.22	0.05	16.57	99.17
0.13	5.75	0.15	23.43	16.57	0.06	19.31	99.22
0.15	6.12	0.17	29.55	19.31	0.06	22.49	99.29
0.17	6.03	0.20	35.57	22.49	0.06	26.20	99.35
0.20	5.47	0.23	41.04	26.20	0.06	30.53	99.41
0.23	4.70	0.27	45.74	30.53	0.05	35.56	99.45
0.27	4.08	0.31	49.82	35.56	0.04	41.43	99.49
0.31	3.80	0.36	53.63	41.43	0.03	48.27	99.52
0.36	3.77	0.42	57.39	48.27	0.03	56.23	99.55
0.42	3.72	0.49	61.12	56.23	0.03	65.51	99.58
0.49	3.61	0.58	64.72	65.51	0.04	76.32	99.62
0.58	3.58	0.67	68.31	76.32	0.05	88.91	99.66
0.67	3.57	0.78	71.88	88.91	0.06	103.58	99.72
0.78	3.53	0.91	75.41	103.58	0.06	120.67	99.78
0.91	3.50	1.06	78.91	120.67	0.06	140.55	99.85
1.06	3.34	1.24	82.25	140.55	0.06	163.77	99.90
1.24	3.02	1.44	85.27	163.77	0.04	190.80	99.95
1.44	2.64	1.68	87.91	190.80	0.03	222.28	99.98
1.68	2.31	1.95	90.22	222.28	0.02	258.95	100.00
1.95	2.01	2.28	92.24	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.71	2.65	93.94	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.42	3.09	95.36	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.14	3.60	96.51	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.88	4.19	97.39	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.64	4.88	98.03	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.44	5.69	98.48	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.29	6.63	98.76	754.23	0.00	878.67	100.00



ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Patumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 0.3 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZER\S\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 9
Record Number: 1417

Measured: 17 Oct 2006 16:05PM
Analysed: 17 Oct 2006 16:05PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 24.1 %
Residual: 0.314 %

Result Statistics

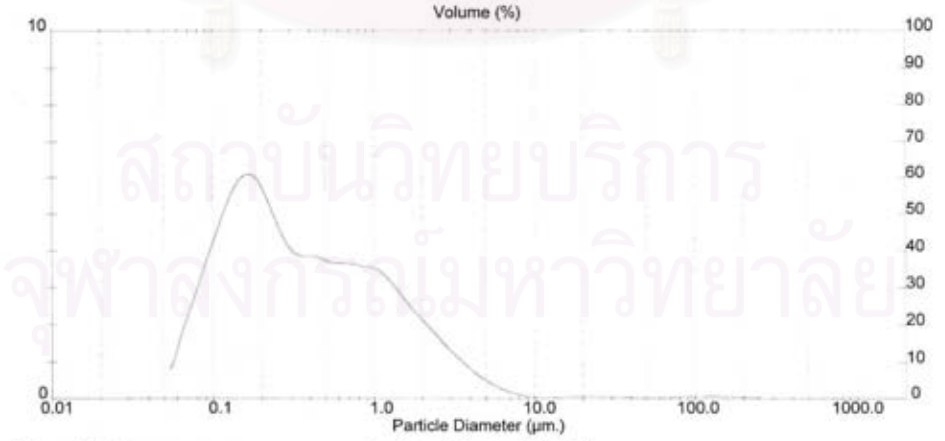
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 1.43 um

Concentration = 0.0068 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.23 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.32 um
Span = 5.658E+00

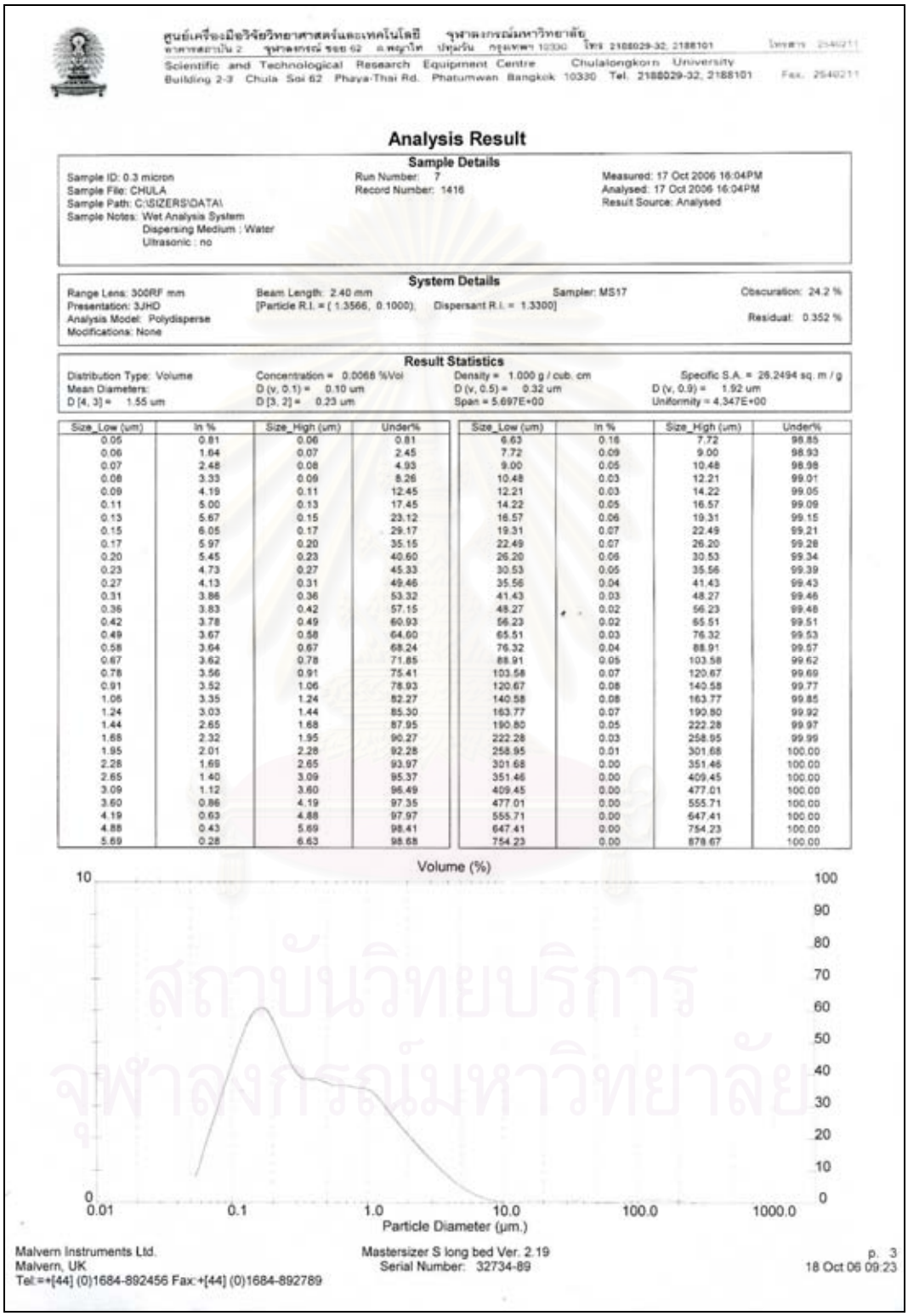
Specific S.A. = 26.2277 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.91 um
Uniformity = 3.961E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.81	0.06	0.81	6.63	0.16	7.72	98.90
0.06	1.63	0.07	2.44	7.72	0.09	9.00	98.99
0.07	2.47	0.08	4.91	9.00	0.05	10.48	99.04
0.08	3.32	0.09	8.23	10.48	0.03	12.21	99.07
0.09	4.18	0.11	12.41	12.21	0.04	14.22	99.10
0.11	4.99	0.13	17.40	14.22	0.05	16.57	99.15
0.13	5.67	0.15	23.07	16.57	0.06	19.31	99.21
0.15	6.05	0.17	29.12	19.31	0.06	22.49	99.27
0.17	5.98	0.20	35.10	22.49	0.06	26.20	99.34
0.20	5.46	0.23	40.56	26.20	0.06	30.53	99.39
0.23	4.73	0.27	45.30	30.53	0.05	35.56	99.44
0.27	4.14	0.31	49.43	35.56	0.04	41.43	99.48
0.31	3.87	0.36	53.30	41.43	0.03	48.27	99.51
0.36	3.84	0.42	57.14	48.27	0.02	56.23	99.53
0.42	3.80	0.49	60.94	56.23	0.03	65.51	99.56
0.49	3.68	0.58	64.62	65.51	0.03	76.32	99.59
0.58	3.65	0.67	68.27	76.32	0.05	88.91	99.64
0.67	3.63	0.78	71.90	88.91	0.06	103.58	99.70
0.78	3.57	0.91	75.46	103.58	0.07	120.67	99.77
0.91	3.53	1.06	78.99	120.67	0.07	140.58	99.84
1.06	3.35	1.24	82.34	140.58	0.06	163.77	99.90
1.24	3.03	1.44	85.38	163.77	0.05	190.80	99.95
1.44	2.65	1.68	88.03	190.80	0.03	222.28	99.98
1.68	2.32	1.95	90.35	222.28	0.02	258.95	100.00
1.95	2.01	2.28	92.36	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.69	2.65	94.05	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.39	3.09	95.44	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.11	3.60	96.56	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.85	4.19	97.41	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.62	4.88	98.03	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.43	5.69	98.46	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.28	6.63	98.74	754.23	0.00	878.67	100.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการหมุนเหวี่ยงตามด้วยการกรองด้วยไส้กรอง 5 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: 0.3 micron
Sample File: CHULA
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 7
Record Number: 1416

Measured: 17 Oct 2006 16:04PM
Analysed: 17 Oct 2006 16:04PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000), Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS17

Obscuration: 24.2 %
Residual: 0.352 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 1.55 um

Concentration = 0.0068 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.23 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.32 um
Span = 5.697E+00

Specific S.A. = 26.2494 sq. m / g
D (v, 0.9) = 1.92 um
Uniformity = 4.347E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.81	0.06	0.81	6.63	0.16	7.72	98.85
0.06	1.64	0.07	2.45	7.72	0.09	9.00	98.93
0.07	2.48	0.08	4.93	9.00	0.05	10.48	98.98
0.08	3.33	0.09	8.26	10.48	0.03	12.21	99.01
0.09	4.19	0.11	12.45	12.21	0.03	14.22	99.05
0.11	5.00	0.13	17.45	14.22	0.05	16.57	99.09
0.13	5.67	0.15	23.12	16.57	0.06	19.31	99.15
0.15	6.05	0.17	29.17	19.31	0.07	22.49	99.21
0.17	5.97	0.20	35.15	22.49	0.07	26.20	99.28
0.20	5.45	0.23	40.60	26.20	0.06	30.53	99.34
0.23	4.73	0.27	45.33	30.53	0.05	35.56	99.39
0.27	4.13	0.31	49.46	35.56	0.04	41.43	99.43
0.31	3.86	0.36	53.32	41.43	0.03	48.27	99.46
0.36	3.83	0.42	57.15	48.27	0.02	56.23	99.48
0.42	3.78	0.49	60.93	56.23	0.02	65.51	99.51
0.49	3.67	0.58	64.60	65.51	0.03	76.32	99.53
0.58	3.64	0.67	68.24	76.32	0.04	88.91	99.57
0.67	3.62	0.78	71.85	88.91	0.05	103.58	99.62
0.78	3.56	0.91	75.41	103.58	0.07	120.67	99.69
0.91	3.52	1.06	78.93	120.67	0.08	140.58	99.77
1.06	3.35	1.24	82.27	140.58	0.08	163.77	99.85
1.24	3.03	1.44	85.30	163.77	0.07	190.80	99.92
1.44	2.65	1.68	87.95	190.80	0.05	222.28	99.97
1.68	2.32	1.95	90.27	222.28	0.03	258.95	99.99
1.95	2.01	2.28	92.28	258.95	0.01	301.68	100.00
2.28	1.69	2.65	93.97	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.40	3.09	95.37	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.12	3.60	96.49	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.86	4.19	97.35	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.63	4.88	97.97	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.43	5.69	98.41	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.28	6.63	98.68	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89

p. 3
18 Oct 06 09:23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Particle(Centrifuge)
Sample File: CHULA3
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 98
Record Number: 474

Measured: 12 Jan 2007 16:37PM
Analysed: 12 Jan 2007 16:37PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.9 %
Residual: 1.150 %

Result Statistics

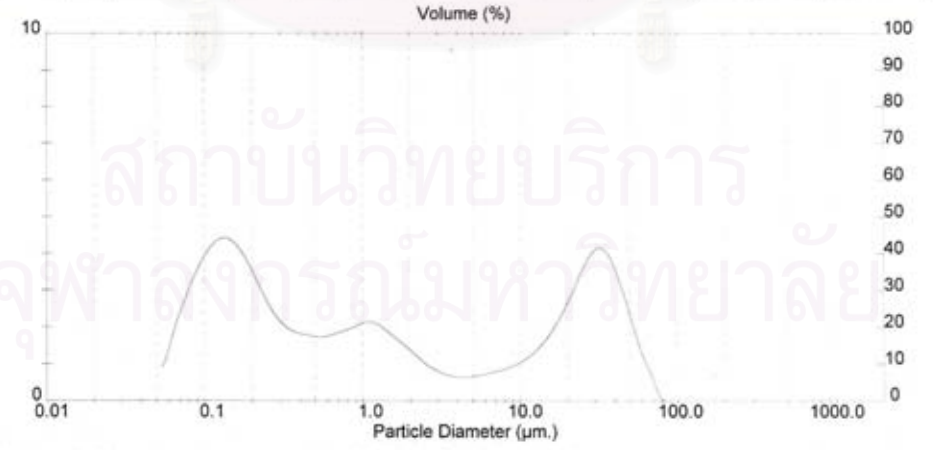
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 10.52 um

Concentration = 0.0083 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.29 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.91 um
Span = 3.993E+01

Specific S.A. = 20.6768 sq. m / g
D (v, 0.9) = 36.29 um
Uniformity = 1.133E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.90	0.06	0.90	6.63	0.79	7.72	66.78
0.06	1.76	0.07	2.66	7.72	0.88	9.00	67.66
0.07	2.58	0.08	5.24	9.00	0.99	10.48	68.65
0.08	3.30	0.09	8.54	10.48	1.17	12.21	69.82
0.09	3.88	0.11	12.42	12.21	1.42	14.22	71.23
0.11	4.27	0.13	16.69	14.22	1.76	16.57	72.99
0.13	4.40	0.15	21.08	16.57	2.21	19.31	75.21
0.15	4.24	0.17	25.32	19.31	2.77	22.49	77.98
0.17	3.83	0.20	29.15	22.49	3.42	26.20	81.40
0.20	3.25	0.23	32.40	26.20	3.95	30.53	85.35
0.23	2.67	0.27	35.07	30.53	4.12	35.56	89.47
0.27	2.22	0.31	37.29	35.56	3.77	41.43	93.24
0.31	1.94	0.36	39.23	41.43	3.00	48.27	96.24
0.36	1.81	0.42	41.05	48.27	2.06	56.23	98.30
0.42	1.75	0.49	42.80	56.23	1.18	65.51	99.48
0.49	1.71	0.58	44.51	65.51	0.52	76.32	100.00
0.58	1.75	0.67	46.26	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.85	0.78	48.11	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.95	0.91	50.06	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.07	1.06	52.13	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.11	1.24	54.25	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.98	1.44	56.22	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.75	1.68	57.97	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.52	1.95	59.49	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.28	2.28	60.77	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.02	2.65	61.79	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.83	3.09	62.63	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.71	3.60	63.33	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.64	4.19	63.97	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.63	4.88	64.60	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.67	5.69	65.27	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.72	6.63	65.99	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Patumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Particle(Centrifuge)
Sample File: CHULA3
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 99
Record Number: 475

Measured: 12 Jan 2007 16:37PM
Analysed: 12 Jan 2007 16:37PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3586, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.9 %
Residual: 1.138 %

Result Statistics

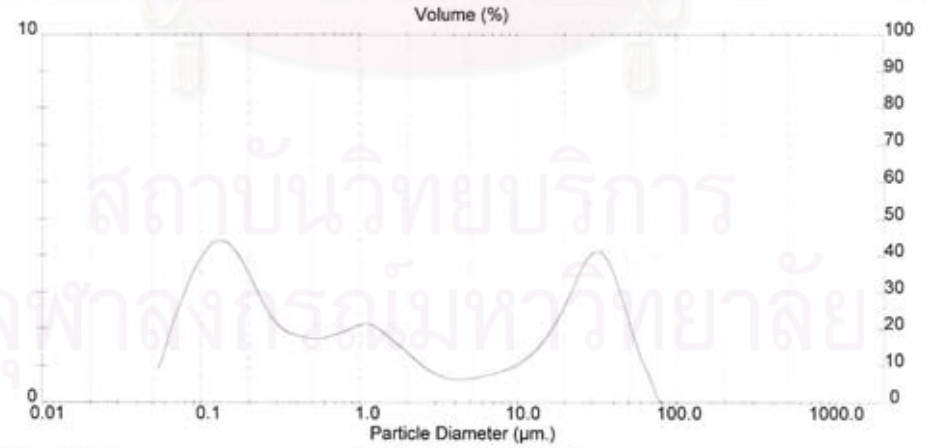
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 10.49 um

Concentration = 0.0083 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.29 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.90 um
Span = 3.988E+01

Specific S.A. = 20.6893 sq. m / g
D (v, 0.9) = 36.16 um
Uniformity = 1.132E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.90	0.06	0.90	6.63	0.79	7.72	66.79
0.06	1.77	0.07	2.67	7.72	0.88	9.00	67.67
0.07	2.58	0.08	5.25	9.00	1.00	10.48	68.67
0.08	3.30	0.09	8.55	10.48	1.18	12.21	69.85
0.09	3.88	0.11	12.44	12.21	1.43	14.22	71.27
0.11	4.27	0.13	16.70	14.22	1.78	16.57	73.05
0.13	4.39	0.15	21.10	16.57	2.23	19.31	75.28
0.15	4.23	0.17	25.33	19.31	2.79	22.49	78.07
0.17	3.82	0.20	29.15	22.49	3.44	26.20	81.50
0.20	3.25	0.23	32.40	26.20	3.96	30.53	85.46
0.23	2.67	0.27	35.08	30.53	4.11	35.56	89.57
0.27	2.22	0.31	37.30	35.56	3.75	41.43	93.32
0.31	1.95	0.36	39.24	41.43	2.98	48.27	96.29
0.36	1.82	0.42	41.06	48.27	2.04	56.23	98.33
0.42	1.75	0.49	42.81	56.23	1.16	65.51	99.49
0.49	1.72	0.58	44.53	65.51	0.51	76.32	100.00
0.58	1.76	0.67	46.29	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.85	0.78	48.13	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.95	0.91	50.09	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.08	1.06	52.16	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.11	1.24	54.28	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.98	1.44	56.25	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.74	1.68	58.00	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.52	1.95	59.52	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.27	2.28	60.79	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.02	2.65	61.81	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.83	3.09	62.65	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.70	3.60	63.35	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.64	4.19	63.99	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.63	4.88	64.62	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.66	5.69	65.28	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.72	6.63	66.00	754.23	0.00	878.67	100.00



ผลตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Analysis Result

Sample Details

Sample ID: Particle(Centrifuge)
Sample File: CHULA3
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : Water
Ultrasonic : no

Run Number: 97
Record Number: 473

Measured: 12 Jan 2007 16:37PM
Analysed: 12 Jan 2007 16:37PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3JHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.3566, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.8 %
Residual: 1.145 %

Result Statistics

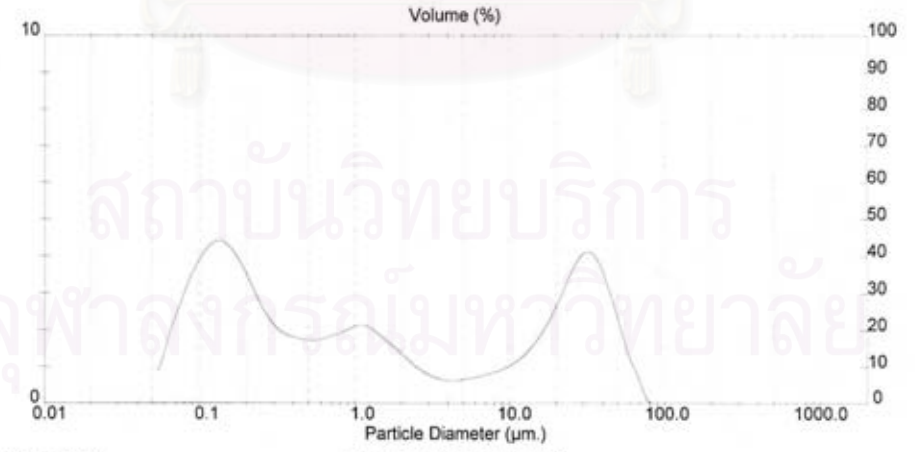
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 10.53 um

Concentration = 0.0083 %Vol
D (v, 0.1) = 0.10 um
D [3, 2] = 0.29 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.91 um
Span = 3.990E+01

Specific S.A. = 20.6782 sq. m / g
D (v, 0.9) = 36.32 um
Uniformity = 1.132E+01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.90	0.06	0.90	6.63	0.79	7.72	66.77
0.06	1.77	0.07	2.67	7.72	0.88	9.00	67.65
0.07	2.58	0.08	5.25	9.00	1.00	10.48	68.65
0.08	3.30	0.09	8.55	10.48	1.17	12.21	69.82
0.09	3.88	0.11	12.43	12.21	1.42	14.22	71.24
0.11	4.27	0.13	16.70	14.22	1.77	16.57	73.00
0.13	4.39	0.15	21.09	16.57	2.22	19.31	75.22
0.15	4.23	0.17	25.32	19.31	2.77	22.49	77.99
0.17	3.82	0.20	29.14	22.49	3.42	26.20	81.41
0.20	3.25	0.23	32.39	26.20	3.94	30.53	85.35
0.23	2.67	0.27	35.06	30.53	4.10	35.56	89.45
0.27	2.21	0.31	37.27	35.56	3.77	41.43	93.22
0.31	1.94	0.36	39.21	41.43	3.00	48.27	96.22
0.36	1.81	0.42	41.03	48.27	2.07	56.23	98.29
0.42	1.75	0.49	42.77	56.23	1.19	65.51	99.48
0.49	1.71	0.58	44.49	65.51	0.52	76.32	100.00
0.58	1.75	0.67	46.24	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.85	0.78	48.08	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.95	0.91	50.04	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.08	1.06	52.11	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.12	1.24	54.23	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.98	1.44	56.21	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.75	1.68	57.96	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.53	1.95	59.49	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.28	2.28	60.77	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.03	2.65	61.79	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.84	3.09	62.63	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.71	3.60	63.33	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.64	4.19	63.97	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.63	4.88	64.60	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.66	5.69	65.27	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.72	6.63	65.99	754.23	0.00	878.67	100.00



ภาคผนวก ค

แบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้น้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม

แบบสอบถาม

การสำรวจข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์

เรื่อง การศึกษาการนำน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อผู้ตอบแบบสอบถาม.....ตำแหน่ง.....

ชื่อโรงงาน.....

ที่อยู่.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E:mail:.....

Website.....

1. โรงงานประกอบกิจการ.....
2. โปรดระบุชื่อผลิตภัณฑ์และกำลังการผลิต

   2.1 .....กำลังการผลิต.....

   2.2 .....กำลังการผลิต.....

   2.3 .....กำลังการผลิต.....

   2.4 .....กำลังการผลิต.....

3. โปรดระบุประเภทของงานตัดเฉือนโลหะ

เนื้อวัสดุชิ้นงาน	งานกลึง	งานเจาะ&งานกัด	งานตัดเกลียว	งานเจียระไน	อื่นๆ
เหล็กคาร์บอนต่ำ					
เหล็กผสม					
เหล็กหล่อ					
ทองเหลืองรีด					
อะลูมิเนียม					
แมกนีเซียม					
สังกะสี					
โลหะอื่นๆ					

4. โปรดระบุจำนวนคนงาน หญิง .....คน ชาย.....คน รวม.....คน

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้น้ำมันหล่อเย็น

5. โปรดระบุข้อมูลการใช้น้ำมันหล่อเย็นในโรงงานของท่าน

   โรงงานของท่านใช้น้ำมันหล่อเย็น.....แบบ

5.1 น้ำมันหล่อเย็นชนิด.....ยี่ห้อ.....

ปริมาณการใช้.....ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย.....บาทต่อเดือน

ใช้ในงานประเภท.....โลหะชนิด.....

อายุการใช้งาน/ระยะเวลาเปลี่ยนถ่าย.....เดือน

5.2 น้ำมันหล่อเย็นชนิด.....ยี่ห้อ.....

ปริมาณการใช้.....ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย.....บาทต่อเดือน

ใช้ในงานประเภท.....โลหะชนิด.....

อายุการใช้งาน/ระยะเวลาเปลี่ยนถ่าย.....เดือน

5.3 น้ำมันหล่อเย็นชนิด.....ยี่ห้อ.....

ปริมาณการใช้.....ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย.....บาทต่อเดือน

ใช้ในงานประเภท.....โลหะชนิด.....

อายุการใช้งาน/ระยะเวลาเปลี่ยนถ่าย.....เดือน

5.4 น้ำมันหล่อเย็นชนิด.....ยี่ห้อ.....

ปริมาณการใช้.....ลิตรต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย.....บาทต่อเดือน

ใช้ในงานประเภท.....โลหะชนิด.....

อายุการใช้งาน/ระยะเวลาเปลี่ยนถ่าย.....เดือน

6. ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นเป็นแบบ

☐ ถังแยก ☐ ถังรวม

7. โรงงานมีวิธีการควบคุมคุณภาพน้ำมันหล่อเย็นหรือไม่

☐ มี ☐ ไม่มี

8. วิธีการควบคุมคุณภาพน้ำมันหล่อเย็น

☐ วัดค่าพีเอช ด้วยวิธี.....

☐ วัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ด้วยวิธี.....

☐ วัดสภาพนำไฟฟ้า ด้วยวิธี.....

☐ วัดความกระด้าง ด้วยวิธี.....

☐ วัดปริมาณน้ำมันสกปรก ด้วยวิธี.....

☐ วัดปริมาณตะกอนของแข็ง ด้วยวิธี.....

☐ วัดปริมาณจุลินทรีย์ ด้วยวิธี.....

☐ อื่น ๆ ด้วยวิธี.....

9. โรงงานมีการวางแผนการควบคุมคุณภาพน้ำมันหล่อเย็นอย่างไร

☐ จัดเป็นตารางทุก.....วัน ☐ สังเกตลักษณะภายนอก

10. โรงงานมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อเย็น/รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น

☐ กำจัดน้ำมันสกปรก โดยวิธี.....

☐ กำจัดตะกอนของแข็ง โดยวิธี.....

☐ กำจัดเศษโลหะ โดยวิธี.....

☐ กำจัดจุลินทรีย์ โดยวิธี.....

☐ อื่น ๆ.....

11. โรงงานของท่านใช้เวลาล้างทำความสะอาดถังพักน้ำมันหล่อเย็นและเปลี่ยนน้ำมันใหม่ รวมเป็นเวลา.....ชั่วโมง
12. โปรดระบุการกำจัดน้ำมันหล่อเย็นที่หมดอายุการใช้งานแล้ว

- ☐ ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ/ดิน
- ☐ ทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำเสีย
- ☐ บรรจุใส่ถังน้ำมันและส่งโรงงานกำจัดของเสีย
- ☐ อื่นๆ.....

13. บริษัทกำจัดของเสีย

- 13.1 ชื่อบริษัท.....
- 13.2 อัตราค่าบริการกำจัด.....
- 13.3 วิธีการเก็บรวบรวมและส่งกำจัด.....
- 13.4 วิธีการกำจัด (ถ้าทราบ) .....

14. โปรดระบุค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันหล่อเย็น

- 14.1 ค่าน้ำมันใหม่.....บาทต่อเดือน
- 14.2 ค่าอุปกรณ์เครื่องจักร.....บาทต่อเดือน
- 14.3 ค่าซ่อมบำรุงและทำความสะอาด.....บาทต่อเดือน
- 14.4 ค่าการกำจัดทิ้ง.....บาทต่อเดือน
- 14.5 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.....บาทต่อเดือน

15. โรงงานของท่านประสบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันหล่อเย็นดังข้อต่อไปนี้หรือไม่ อย่างไร

- ☐ อายุการใช้งานสั้นเกินไป
- ☐ การดูแลทำความสะอาดยาก
- ☐ วิธีการควบคุมคุณภาพไม่ดีหรือไม่เพียงพอ
- ☐ ค่าใช้จ่ายสูงเกินไป
- ☐ การบริการหลังการขายไม่ดี

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

16. ปัญหาในการเพิ่มระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อเย็นหรือรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นที่ควรพิจารณา

.....

.....

.....

17. ท่านคิดว่าการปรับปรุงคุณภาพหรือการรีไซเคิล จะช่วยลดค่าใช้จ่าย เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และลดปัญหาการจัดการได้หรือไม่ อย่างไร

- ☐ ลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน
  - ☐ ลดต้นทุนการซื้อน้ำมันใหม่
  - ☐ ลดค่าบริการการกำจัดน้ำมันที่หมดอายุการใช้งานแล้ว
  - ☐ ลดค่าดูแลรักษาทำความสะอาด
  - ☐ ลดค่าใช้จ่ายค่าอุปกรณ์เครื่องจักร เช่น มีดกลึง
  - ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

ถ้าท่านสามารถประมาณค่าใช้จ่ายที่จะลดลงได้ กรุณาประมาณการด้วย.....บาทต่อเดือน

☐ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ระบุ……

……..…..

……

☐ ลดปัญหาในการจัดการ ระบุ……

……

……

ขอแสดงความนับถือ

ณิชาบูล บุญวรโชติ
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทร 02-2186919 แฟกซ์ 02-2186920*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ท่านสามารถตอบกลับทางไปรษณีย์หรือโทรสาร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณิชาบูล บุญวรโชติ เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 11 มกราคม พ.ศ.2524 จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป (กายภาพ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) เข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณีและปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 ประสบการณ์ด้านการทำงาน ได้แก่ เป็นผู้นักธรณีสำรวจแหล่งน้ำบาดาล โครงการภัยแล้ง ปี 2548 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล เขตภาคตะวันออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย