



## 2.1 น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum Oil)

น้ำมันปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ โดยจะรวมตัวกันทางเคมีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นอกจากนั้นยังมีกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนปนอยู่เล็กน้อย

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม (1,2) ส่วนใหญ่ คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีหลายชนิดแตกต่างกันตามโครงสร้าง คือ พาราฟิน (paraffin), โอลิฟิน (olefin), แนฟทีน (naphthene), แอโรแมติก (aromatic), ไดโอลิฟิน (diolefin) และแอเซทิลีน (acetylene)

พาราฟิน มีสูตรทั่วไป  $C_nH_{2n+2}$  เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ที่มีเสถียรภาพสูง มีอะตอมของคาร์บอนที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นลูกโซ่พันธะเดี่ยว ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก สารละลายต่างเข้มข้น กรดไนตริก และกรดโครมิก ยกเว้นพวกที่ประกอบด้วยพาราฟินประเภท เทอร์เชียรีคาร์บอน แต่จะทำปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ กับคลอรีนภายใต้แสงแดด และจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนและโบรมีน ถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักจะเป็นปฏิกิริยาแบบแทนที่ อะตอมของไฮโดรเจน

โอลิฟิน มีสูตรทั่วไป คือ  $C_nH_{2n}$  เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว กล่าวคือ อะตอมคาร์บอน 2 อะตอม จับกันด้วยพันธะคู่ ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นไม่อิ่มตัว ในสภาวะปกติสามารถจะรับอะตอมไฮโดรเจนหรือฮาตออื่นได้อีก โอลิฟินสามารถเปลี่ยนเป็นพาราฟินได้โดยทำปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน โดยการให้ไฮโดรเจน 2 อะตอม สร้างพันธะกับคาร์บอน 2 อะตอม ที่จับกันด้วยพันธะคู่ เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยว โอลิฟินสามารถทำปฏิกิริยา และละลายได้ในกรดกำมะถัน นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดี เช่น คลอรีน โบรมีน และกรดเกลือ โอลิฟินที่มีจุดเดือดต่ำ ๆ นั้น ส่วนมากจะไม่มีอยู่ในน้ำมันดิบ แต่จะพบมากในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำให้แตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking)

แนฟทีน มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n}$  เหมือนโอเลฟิน แต่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก โดยที่แนฟทีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีลักษณะเป็นวงแหวนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งมาต่อกันอยู่ ในขณะที่โอเลฟินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่เป็นโซ่เปิด การเรียกชื่อกลุ่มนี้ในอดีตเรียกเป็น เมทิลีน เช่น เทตระเมทิลีน เพนทาเมทิลีน และเฮกซะเมทิลีน แต่ในปัจจุบันเรียกว่า ไซโคลบิลเทน ไซโคลเพนเทน และ ไซโคลเฮกเซน ตามลำดับ แนฟทีนไม่ละลายในกรดกำมะถัน

แอโรแมติก บางครั้งเรียกเป็นอนุกรมเบนซีน (benzene series) ถ้าเป็นแอลคิลเบนซีน แอโรมาติกเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งแบบรวมตัวหรือแทนที่ ขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยานั้น มีน้ำมันปิโตรเลียมเพียงไม่กี่แหล่งที่มีแอโรแมติกจุดเดือดต่ำ ซึ่งได้แก่ โทลูอีน (toluene) และเบนซีน

ไดโอเลฟิน มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n-2}$  มีลักษณะเหมือนกับโอเลฟิน แต่มีไฮโดรเจนน้อยกว่า 2 อะตอม หรือมีพันธะคู่อยู่ 2 พันธะในแต่ละโมเลกุล ทำให้มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไดโอเลฟินมักจะเกิดการรวมตัวหรือพอลิเมอร์ไรเซชันกับโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว เกิดเป็นของแข็งที่มีลักษณะคล้ายยางเหนียว (gum) และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไดโอเลฟิน และยางเหนียวจะไม่ค่อยพบในน้ำมันดิบ แต่มักจะพบอยู่ใน untreated cracked gasoline สามารถแยกออกได้ด้วยกรดกำมะถัน

2.1.2 ลำดับส่วนปิโตรเลียม (petroleum fraction) (3,4) น้ำมันปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของโลก จะมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น Pennsylvania crudes มีพาราฟินิกไฮโดรคาร์บอนมาก ในขณะที่ California crudes มีแนฟทีนและแอโรมาติกมาก (5) ไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดเดือดต่างกันมาก ซึ่งทำให้องค์ประกอบบางส่วนเดือดที่อุณหภูมิห้อง และบางส่วนไม่สามารถกลั่นได้ถึงแม้ว่าการกลั่นทำภายใต้สุญญากาศ (vacuum distillation) จึงมีการแบ่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมออกตามมวลโมเลกุล ช่วงจุดเดือดหรือความหนืด ดังนี้

แก๊สปิโตรเลียม (petroleum gas) ช่วงจุดเดือดต่ำกว่า  $20^{\circ}\text{C}$  และประกอบด้วย  $C_1 - C_4$  ใช้เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สหุงต้ม

ปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum) หรือปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ช่วงจุดเดือด  $20-60^{\circ}\text{C}$  ประกอบด้วย  $C_5-C_6$  ใช้เป็นตัวทำละลาย  
น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน (gasoline) ช่วงจุดเดือด  $40-205^{\circ}\text{C}$

จุดไหลเทต่ำ ประกอบด้วย  $C_5 - C_{10}$  เป็นของเหลวไม่มีไขมัน (wax free liquid) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine)

น้ำมันก๊าด (kerosene) เป็นของเหลวใสไม่มีไขมัน ช่วงจุดเดือด 175-325 °ซ ประกอบด้วย  $C_{12} - C_{18}$  และไซโคลแอลเคน มีกลิ่นฉุน ใช้จุดให้ความสว่างและเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ไอพ่น (jet engine)

แก๊สออยล์ (gas oil) ช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่างเคโรซีนกับน้ำมันหล่อลื่น คือ 230-243 °ซ ประกอบด้วยไซ พาราฟินที่มีจุดเดือดต่ำปริมาณเล็กน้อย

น้ำมันดีสทิลเลชันเบา (light distillates) หรือน้ำมันเตาใสเบาผลิตจากหน่วยกลั่นสุญญากาศ มีจุดเดือด ความหนืด และจุดไหลเทสูง ประกอบด้วยไซพาราฟินปริมาณพอควร branched-paraffin ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วน normal paraffin จะเป็นของแข็งที่เรียกว่า ไซพาราฟิน (paraffin wax) ในทางพาณิชย์เรียกว่า macrocrystalline wax เพราะว่าไซพาราฟินจะตกผลึกออกจากสารละลายเป็นรูปเข็มขนาดใหญ่ (large needle) หรือเพลท (plate)

น้ำมันดีสทิลเลชันหนัก (heavy distillates) หรือน้ำมันเตาใสหนัก ผลิตจากหน่วยกลั่นสุญญากาศหรือหน่วยกลั่นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheated steam distillation) ที่ความดันบรรยากาศ โดยปกติประกอบด้วยไซเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นไซพาราฟินประเภทกับไซไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline waxes) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นไซที่เป็นกิ่งสาขาหรือวงแหวนและจะตกผลึกแยกตัวออกจากสารละลายในรูปผลึกขนาดเล็ก (smaller crystal)

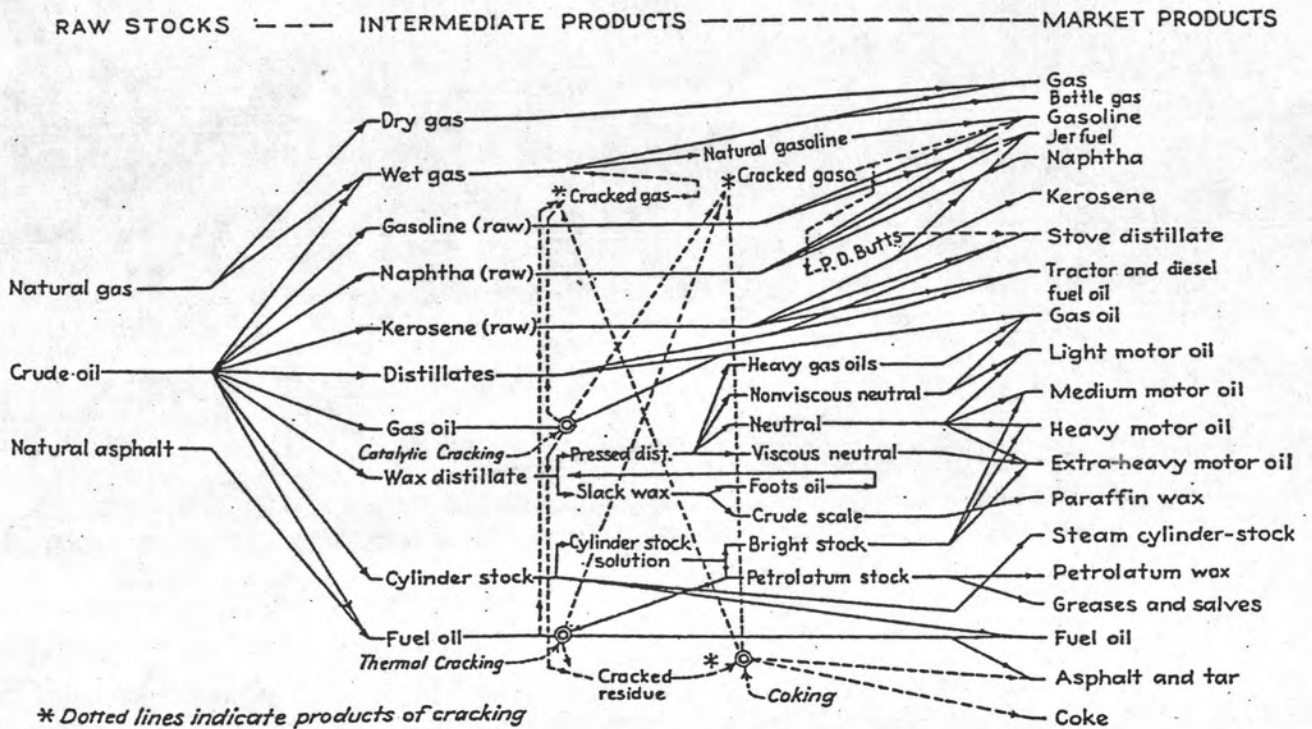
เรซิดิว (residues) มีความหนืดสูง ประกอบด้วยน้ำมันที่หนืด (viscous oil) ไซไมโครคริสตัลไลน์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งเป็นโมเลกุลที่สลับซับซ้อน เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และตกผลึกออกมาในรูปผลึกขนาดเล็ก และยางมะตอย หรือแอสฟัลต์ (asphalt)

นอกจากนี้ยังแยกได้อีกสองส่วนตามจุดประสงค์ของโรงกลั่น คือ

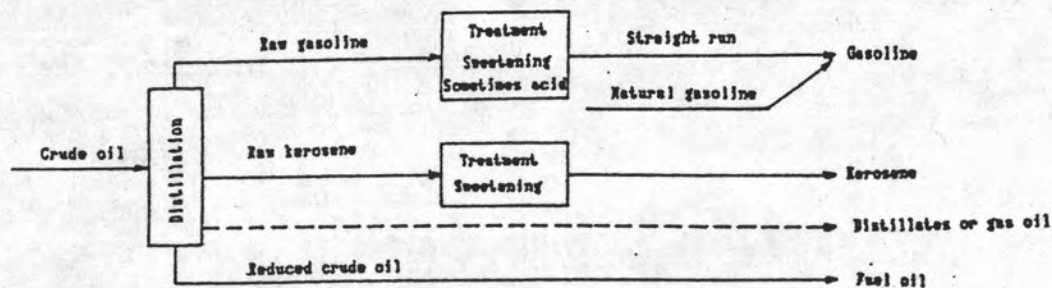
น้ำมันดีเซล (diesel oil) ช่วงจุดเดือด 250-400 °ซ ประกอบด้วย  $C_{15} - C_{20}$  และไซโคลแอลเคน ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) ช่วงจุดเดือดสูงกว่า 300 °ซ ประกอบด้วย  $C_{18} - C_{22}$  ใช้เป็นสารหล่อลื่น

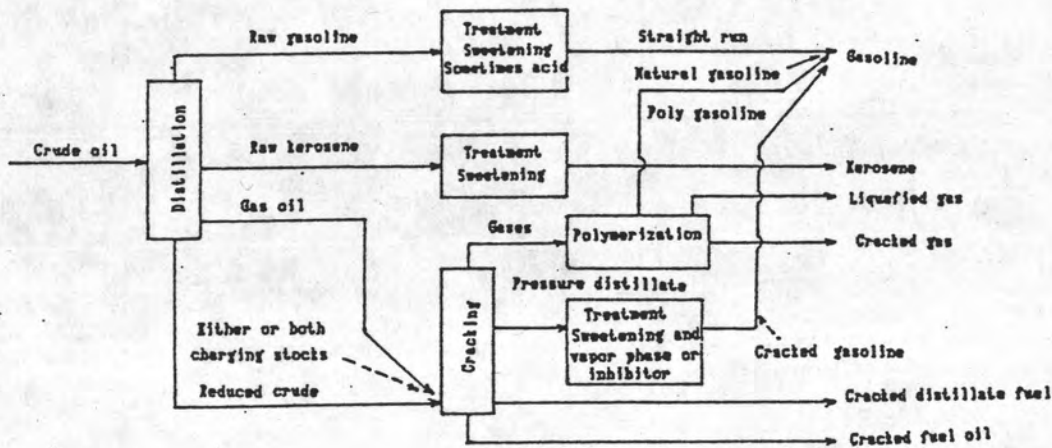
นอกจากนี้ปริมาณและชนิดของลำดับส่วนปิโตรเลียมที่แยกได้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของน้ำมันดิบ ตลอดจนกระบวนการที่ใช้แยกลำดับส่วนปิโตรเลียม ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 และอาจกล่าวได้ว่า ไม่มีโรงกลั่นน้ำมันที่มีลักษณะการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เหมือน



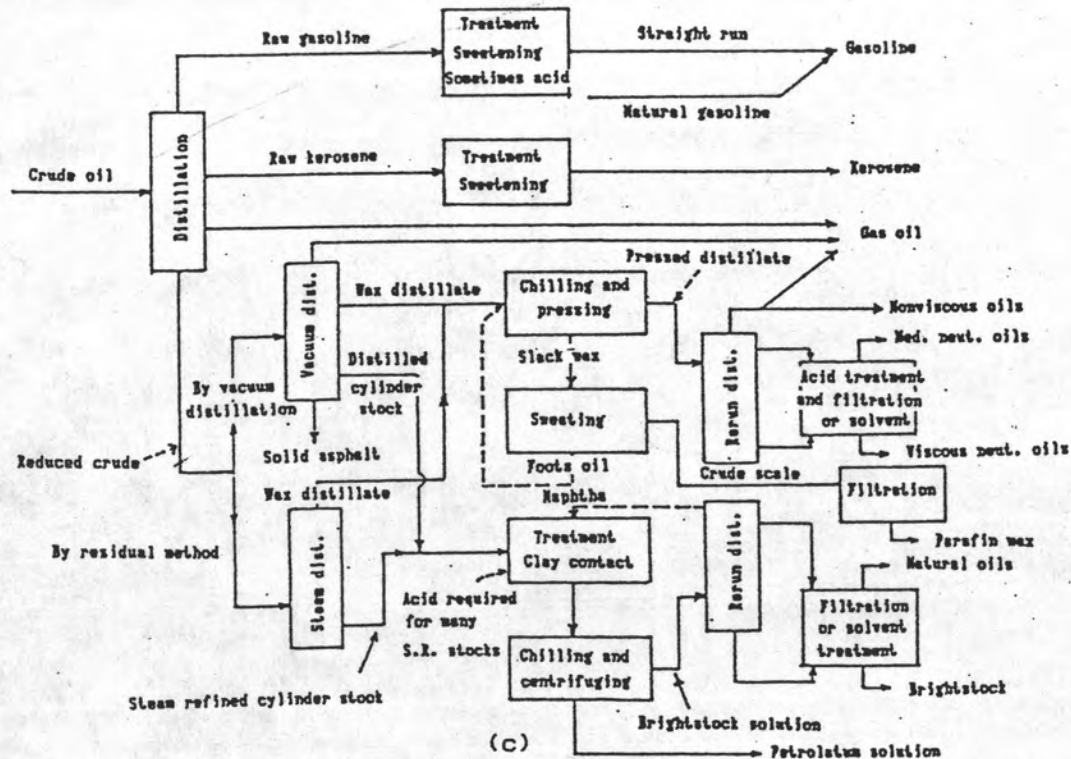
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้น intermediate และ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (2)



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 2.2 แบบต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตน้ำมัน (2)

(a) Topping or skimming processing

(b) Cracking processing

(c) Lubricating oil processing

## กันทุกประการ

2.1.3 โรงกลั่นน้ำมันฝาง (6) ทำการกลั่นน้ำมันดิบได้ในอัตรา 1,000 บาเรลต่อวัน และสามารถเพิ่มได้ถึง 1,500 บาเรลต่อวัน เมื่อเปลี่ยนเตาให้ความร้อนน้ำมันดิบก่อนเข้าหน่วยกลั่นผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ในปัจจุบันสรุปได้ดังนี้

น้ำมันสเตอร์ทรีน	ประมาณ	6%
น้ำมันดีเซลทุมเร็ว	ประมาณ	26%
น้ำมันเตาไฮเบา	ประมาณ	17%
น้ำมันเตาไฮหนัก	ประมาณ	14%
น้ำมันเตาหนัก	ประมาณ	37%

โรงกลั่นน้ำมันฝางเมื่อได้รับการตัดแปลงตามความจำเป็น เพื่อกลั่นน้ำมันดิบจากแหล่งแม่สุนัขหลวง แล้วประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

หน่วยกลั่นที่บรรยากาศ	(topping distillation unit)
หน่วยกลั่นที่สุญญากาศ	(vacuum distillation unit)
หน่วยฟอกน้ำมันแก๊สโซลีน	(gasoline treading unit)
หน่วยงานผสมน้ำมันแก๊สโซลีน	(gasoline blending unit)
หน่วยกำลัง	(power unit)

และหน่วยประกอบต่าง ๆ มีโรงสูบน้ำมันและถังเก็บน้ำมัน (pump house and tank farm), หอทำให้เย็น (cooling tower), หน่วยไฟฟ้า (electric generating unit), หน่วยเครื่องอัดลมและเครื่องวัด (air compressor and instrument air unit) และห้องควบคุม (control room)

น้ำมันดิบจากหลุมแม่สุนัขหลวงจะถูกส่งมาโรงกลั่นโดยแทงค์คาร์ เข้าแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบในหน่วยแยกซึ่งใช้ treat-o-lite เป็น demulsifier น้ำมันดิบจะถูกแยกน้ำให้เหลือได้ไม่เกิน 0.4% แล้วจึงส่งเข้าอุ่นใน pre-heat exchanger โดยใช้น้ำมันร้อนจากหอกลั่นสุญญากาศมาอุ่นจนถึงอุณหภูมิ 120°ซ แล้วจึงส่งต่อไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 340°ซ ใน atmespheric heater (H-1) ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงแล้วถูกส่งไปกลั่นที่หอกลั่นบรรยากาศ ซึ่งมีความดันภายใน 1 บรรยากาศ ในหน่วยกลั่นบรรยากาศจะกลั่นได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ น้ำมันสเตอร์ทรีน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล

น้ำมันดิบที่กลั่นเอาผลิตภัณฑ์เบา 3 ชนิด ช้างต้นออกไปแล้ว จะแยกตัวตกสู่กันหอ

เรียกน้ำมันส่วนนี้ว่า รีดิวิซ์ครูด (reduced crude) จากกันหอกลิ้นบรรรยากาศจะถูกส่งผ่าน vacuum heater (H-2) ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเช่นเดียวกับ H-1 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 365 °C แล้วจึงส่งเข้ากลั่นในหอกลิ้นสุญญากาศ ภายในหอรักษาความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศ 25 นิ้วปรอท รีดิวิซ์ครูดเมื่อผ่านหน่วยกลั่นสุญญากาศจะได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือน้ำมันเตาไฮโซเบา น้ำมันเตาไฮโซหนัก และน้ำมันเตาหนัก

ผลิตภัณฑ์น้ำมันสเตอร์ทรีนจะถูกส่งไปฟอกในหน่วยฟอกแก๊สโซลีน เพื่อขจัดพวกสารประกอบกำมะถัน (mercaptan) โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอฟอก เรียกแก๊สโซลีนที่ฟอกแล้วว่า สวิตแก๊สโซลีน ส่งเก็บในถังในหน่วยผสมแก๊สโซลีน เพื่อรอการผสมแก๊สโซลีนกับสารเพิ่มออกเทน (tetraethyl lead, TEL) ในอัตราส่วน 3 มิลลิลิตร TEL ต่อน้ำมันแก๊สโซลีน 1 แกลลอน นอกจากนี้ยังเติมสารต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น เติมน้ำมัน metal deactivator เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับโลหะ เติมน้ำมันป้องกันการออกซิไดซ์ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับอากาศกลายเป็นยางเหนียว และเติมสีตามค่าออกเทน



## ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำมันดิบแหล่งแม่สุ่นหลวง (6)

สมบัติ	น้ำมันดิบแหล่งแม่สุ่นหลวง
Sp.gr @ 60/60 °F	0.8900
API gravity @ 60 °F	30.8
Flash point, °F	<32
Pour point, °F	95
Saybolt Universal Viscosity @	
100 °F	Waxy
130 °F	-
150 °F	67.0
180 °F	55.8
Product fraction	
Gasoline	7
Kerosene	8
Gas oil	2.5
Reduced crude	72.5
Sulfur %	0.18
Base	paraffin crude

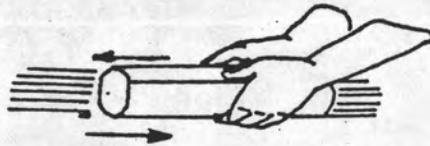
2.2 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oils) (7)

2.2.1 การหล่อลื่น (Lubrication) จะเกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน (friction) ซึ่งแรงเสียดทานจะเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัสดุชิ้นหนึ่งบนผิวของวัสดุอีกชิ้นหนึ่ง แรงเสียดทานนี้จะแบ่งเป็นประเภทได้ 2 ประเภท

1. แรงเสียดทานของของแข็ง (solid friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของของแข็งที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเกิดได้ 2 รูปแบบ คือ



(a) แรงเสียดทานแบบสไลด์ (sliding friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวของของแข็งแห่งที่มีการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะแรงเสียดทานแบบสไลด์

(b) แรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง (rolling friction) จะเป็นแรงเสียดทานที่มีกพบในพวกลูกปืน (bearing) ต่าง ๆ ซึ่งแรงเสียดทานแบบนี้จะมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานแบบสไลด์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะแรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง

2. แรงเสียดทานของของเหลว (fluid friction หรือ viscosity) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากความหนืดของของเหลวที่ต้านทานการเคลื่อนที่ แรงเสียดทานแบบนี้จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงเสียดทานของของแข็ง

ของแข็งถึงแม้จะมีผิวเรียบแต่เมื่อมีการเคลื่อนที่ก็จะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อขยายผิวที่เรียบ เราจะพบว่ามีส่วนที่ไม่สม่ำเสมอมากมายบนผิวของของแข็ง ซึ่งส่วนที่ไม่สม่ำเสมอจะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน เพื่อลดแรงเสียดทานดังกล่าวนี้ เราสามารถใช้ชั้นของน้ำมันหล่อลื่นกันระหว่างผิวของของแข็งทำให้ผิวของของแข็งแยกออกจากกัน นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นยังช่วยลดปัญหาการสึกหรอที่เกิดเนื่องจากการขัดสีกันของส่วนที่ไม่สม่ำเสมอของผิวของแข็ง ได้อีกด้วย ดังนั้นหน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นก็คือ ช่วย

ป้องกันการสึกหรอและลดแรงเสียดทานของของแข็ง โดยใช้แรงเสียดทานของของเหลวเข้าแทน นอกจากจะทำหน้าที่ป้องกันการสึกหรอและลดแรงเสียดทานแล้ว น้ำมันหล่อลื่น ยังมีสมบัติในด้านอื่น ๆ อีก เช่น ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระบายความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทาน ทำหน้าที่ชะล้างสารปนเปื้อน (removal of contamination) ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (rust and corrosion inhibitors) ทำหน้าที่ส่งกำลัง (power transmissions) ทำหน้าที่เป็นตัวผนึก (seal) ป้องกันการรั่วไหลของกำลังอัดและป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งหน้าที่เหล่านี้ จะมีความสำคัญในกระบวนการหล่อลื่นในงานบางชนิดตามความต้องการ

## 2.2.2 การผสมน้ำมันหล่อลื่น (Lubricants blendings) (8)

น้ำมันหล่อลื่นนอกจากสมบัติในตัวเองมากมาย เช่น ความหนืด (viscosity) การระเหย (volatilities) เสถียรต่อความร้อนและการออกซิไดส์ (thermal and oxidation stability) ความสามารถในการรับน้ำหนัก (load carrying ability) สมบัติการละลาย (solubility) ตลอดจนสมบัติอื่น ๆ เช่น สมบัติทางกลศาสตร์และสมบัติทางเคมี (mechanical and chemical properties) ยังมีสมบัติที่เกิดจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพ (additive) เช่น สมบัติป้องกันสนิมและการกัดกร่อน สมบัติการชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก สมบัติทนต่อแรงกดดันสูง (extreme pressure ability) สมบัติทนต่อการออกซิไดส์และสมบัติอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นนอกจากพิจารณาแต่เพียงลดแรงเสียดทานและป้องกันการสึกหรอแล้วยังต้องพิจารณาความเหมาะสมของสมบัติอื่น ๆ อีก

ดังกล่าวแล้วว่า สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติในตัวของสารหล่อลื่นเองแล้ว ยังต้องมีการปรับคุณภาพด้วยสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน ดังนั้นในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube bases) ซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบด้วยสารเพิ่มคุณภาพ

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน + สารเพิ่มคุณภาพ -----> น้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูง

สารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นนั้น เราสามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานของสารเพิ่มคุณภาพนั้น ดังนี้

1. สารเพิ่มคุณภาพที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น เช่น สารลดจุดไหลเท (pour point dispersants) สารลดการเกิดฟอง (anti-foam) สารเพิ่ม

ดรรชนีความหนืด (viscosity index improvers) เป็นต้น

2. สารเพิ่มคุณภาพที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่น เช่น สารต้านทานออกซิเดชัน (anti-oxidants) สารลดการสึกหรอ (anti-wear agents) สารชะล้างและสารกระจายสิ่งสกปรก (detergents and dispersants) เป็นต้น

### 2.2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น (Type of lubricating oils) (9)

น้ำมันหล่อลื่นที่มีใช้กันในปัจจุบัน ถ้าจะแยกเป็นประเภทใหญ่ตามการใช้งานก็จะสามารถแยกได้ดังนี้

1. น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เรือ (marine lubricants) ซึ่งมีความยุ่งยากและลักษณะที่พิเศษมากมายในการหล่อลื่นในเรือ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นในเรือจึงมีอยู่มากมายเพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์และเครื่องจักรอื่น ๆ

2. น้ำมันหล่อลื่นสำหรับยานยนต์ (automotive lubricants) ที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับยานยนต์ คือ น้ำมันเครื่อง (engine oils) จะต้องมีความสามารถในการชะล้างและกระจายสิ่งเปื้อนปน เป็นสมบัติพื้นฐาน

3. น้ำมันหล่อลื่นในอุตสาหกรรม (industrial lubricants) น้ำมันหล่อลื่นประเภทนี้มีอยู่หลายชนิดขึ้นกับลักษณะของการใช้งานนั้น ๆ และสมบัติของแต่ละชนิดก็แตกต่างกันตามการใช้งาน เช่น ใช้เป็นน้ำมันเครื่อง น้ำมันไฮดรอลิค น้ำมันเกียร์ เป็นต้น

### 2.3 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Lube bases properties) (9)

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพและมีสมบัติตรงตามความต้องการของการใช้งานนั้น จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ไม่ว่าจะเป็น มาตรฐานผลิตภัณฑ์ (product specifications) การเลือกกระบวนการ (process selection) และอื่น ๆ อีก ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีสารเพิ่มคุณภาพมากมายหลายชนิดที่ใช้ปรับปรุงสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นก็ตาม แต่สมบัติที่มีอยู่ในตัวของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะมองข้ามหรือละเลยไม่ได้ เพราะถึงแม้จะมีการใช้สารเพิ่มคุณภาพเหมือนเดิมและในปริมาณเท่าเดิม แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานไปแล้วก็จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นนั้น ๆ มีคุณภาพหรือมีสมบัติไม่ตรงตามมาตรฐานได้ อีกทั้งประสิทธิภาพของสารเพิ่มคุณภาพบางอย่างยังขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอีกด้วย เช่น สมบัติการละลาย เป็นต้น ดังนั้นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานบางประการจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด

เพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพที่แน่นอน

2.3.1 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะ เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักของของเหลวเมื่อเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน แต่เนื่องจากว่า ปริมาตรของของเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจึงจำเป็นต้องมีการบันทึกอุณหภูมิของทั้ง ของเหลวและน้ำที่นำมาเปรียบเทียบกัน ในการบอกค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหล่อลื่น โดยปกติ จะบันทึกค่าความถ่วงจำเพาะ โดยอาศัยค่าของน้ำหนักและปริมาตรของของเหลวทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 60 °F ซึ่งจะระบุหน่วยเป็น "specific gravity @ 60/60 °F"

นอกจากค่านี้แล้วในวงการอุตสาหกรรม น้ำมันยังนิยมใช้ค่าอนุพันธ์ความถ่วง จำเพาะในรูปของ "API gravity"

ซึ่งค่า API gravity นี้ เราสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\text{องศา API} = \frac{141.5}{\text{specific gravity } 60/60 \text{ } ^\circ\text{F}} - 131.5$$

ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหล่อลื่นที่อุปกรณ์ที่นิยมใช้คือ ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometers) ค่าความถ่วงจำเพาะสามารถใช้เป็นตัวบอกความเป็นแนฟทีนิก (naphthenic) และ พาราฟินิก (paraffinic) ของน้ำมันหล่อลื่นได้ โดยที่ถ้าเป็นแนฟทีนิก ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่ามากซึ่งตรงกันข้ามกับการเป็นพาราฟินิกจะมีค่าน้อย

2.3.2 ความหนืด (viscosity) เป็นที่ยอมรับกันว่าความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุด อย่างหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่น ค่าความหนืดของน้ำมันจะเป็นตัวบอกถึงสมบัติการต้านทานการไหลของ น้ำมัน ความหนืดของน้ำมันจะเป็นสมบัติที่ตรงกันข้ามกับค่าการระเหยของน้ำมัน (volatility) ดังนั้นในกระบวนการกลั่นแบบสุญญากาศจึงสามารถแยกลำดับส่วนของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานตาม ความหนืดโดยอาศัยอุณหภูมิของการกลั่น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสามารถกำหนดเป็น ค่าต่าง ๆ มากขึ้น โดยอาศัยการผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีความหนืดแตกต่างกันได้ โดย ปกติค่าความหนืดของน้ำมันมักจะนิยมใช้อยู่ในรูปของความหนืดคิเนมาติก (kinematic viscosity) ที่มีหน่วยวัดหลายรูปแบบ เช่น Centistokes (cSt), Saybolt Universal Viscosity (SUS), Engle และ Redwood ซึ่งหน่วยต่าง ๆ เหล่านี้สามารถเปรียบเทียบกันได้

2.3.3 ดรรชนีความหนืด (viscosity index, V.I.) เป็นค่าที่ตั้งขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงที่กำหนด ค่าดรรชนีความหนืดต่ำแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทางตรงกันข้ามถ้าค่าดรรชนีความหนืดสูงแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นอกจากนี้แล้วค่าดรรชนีความหนืดยังสามารถบอกถึงชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานว่าผลิตมาจากน้ำมันดิบชนิดไหนได้ รวมทั้งยังเป็นตัวบอกถึงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้อีกด้วย

2.3.4 จุดไหลเท (pour point) ไฮโพรีน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบพาราฟินโมเลกุลใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะเกิดการรวมตัวเป็นผลึกทำให้้ำมันเกิดการแข็งตัว ดังนั้นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังสามารถไหลภายใต้สภาวะการทดสอบในห้องปฏิบัติการจึงเป็นจุดไหลเทของน้ำมันนั้น โดยส่วนใหญ่ น้ำมันหล่อลื่นจะมีจุดไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิการใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าน้ำมันหล่อลื่นสามารถไหลไปหล่อลื่นผิวได้ ไฮโพรจะถูกแยกออกจากน้ำมันโดยกระบวนการแยกไฮเพื่อให้น้ำมันมีจุดไหลเทที่ต่ำลง นอกจากนี้แล้วสารเพิ่มคุณภาพบางตัวยังช่วยลดจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นให้ต่ำกว่าจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ เช่น สารลดจุดไหลเท (pour point dispersants) สารเพิ่มคุณภาพนี้ไม่สามารถป้องกันการตกผลึกไฮโพรออกจากน้ำมันแต่ช่วยให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก ไม่ขัดขวางการไหลของน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเท นอกจากกระบวนการแยกไฮออกจากน้ำมันแล้วจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานยังขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่นด้วย

2.3.5 Viscosity-gravity constant (V.G.C.) (10) ลักษณะการเป็นพาราฟินิก หรือแนฟทีนิก (paraffinic or naphthenic) ของน้ำมันหล่อลื่นสามารถหาได้โดยอาศัยลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง "Paraffinic" กับ "Viscosity-gravity constant" ซึ่งสามารถหาได้จากรูปสมการของ Hill และ Coats

$$a = \frac{10G - 1.0752 \log(V - 38)}{10 - \log(V - 38)}$$

เมื่อ

a = viscosity-gravity constant

V = Saybolt viscosity ที่ 100 °F

$G$  = specific gravity ที่  $60/60^{\circ}\text{F}$

หรือ 
$$a = \frac{G - 0.24 - 0.022 \log (V' - 35.5)}{0.755}$$

เมื่อ  $V'$  = Saybolt viscosity ที่  $210^{\circ}\text{F}$

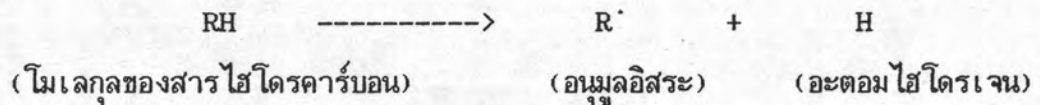


เมื่อ V.G.C. มีค่าสูงหมายความว่า น้ำมันนั้นมีลักษณะเป็นแนฟทินิกสูง แต่ถ้ามี่ค่า V.G.C. น้อยน้ำมันก็จะเป็นลักษณะพาราฟินิกสูง โดยทั่วไปแล้วน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่กลั่นได้จากธรรมชาติจะมีค่า V.G.C. อยู่ในช่วงระหว่าง 0.800 ถึง 1.000 เราจะไม่พบน้ำมันที่มีลักษณะเป็นพาราฟินิกหรือแนฟทินิกแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะอยู่ในลักษณะของทั้งสองชนิดขึ้นกับว่ามีลักษณะไหนมากกว่าเท่านั้น ทั้งนี้เพราะลักษณะแนฟทินิกซึ่งเป็นลักษณะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีอิมิตัว ได้แก่ พวกลีโอเลฟิน และพวกลอโรแมติก ส่วนลักษณะพาราฟินิกเป็นลักษณะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิมิตัว เช่น พวกลพาราฟิน พวกลไอโซพาราฟิน และพวกลไซโคลพาราฟิน โดยที่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะเป็นของผลิตที่ประกอบขึ้นด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งชนิดอิมิตัว และไม่มีอิมิตัวในอัตราส่วนต่าง ๆ

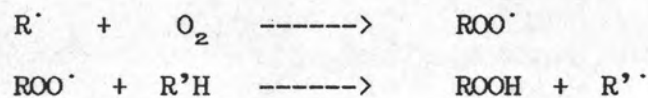
2.3.6 สมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ (oxidation stability) (11) สมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่น คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติในช่วงระหว่างการใช้งานที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงสมบัติระหว่างการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเป็นผลมาจากการเจือปน (contamination) การเจือจาง (dilution) และอื่น ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถึงแม้ว่าลักษณะของการออกซิไดส์ของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นจะยังไม่เป็นที่รู้อย่างแน่ชัดทั้งนี้ เพราะความสลับซับซ้อนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นนั้น แต่ก็เชื่อว่าปฏิกิริยาแรกที่เกิดจะเป็นการเกิดสารประกอบอินทรีย์พวกเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติกัดกร่อนผิวโลหะได้อย่างดี นอกจากนี้แล้วสารเปอร์ออกไซด์นี้ยังทำหน้าที่เป็นยิ่งเร่งทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ต่อไปอีก กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นแรก, การเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) โดยเกิดจากการดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการปฏิกิริยา

เคมีได้ดังนี้



ขั้นต่อไป, อนุมูลอิสระ ( $\text{R}^\cdot$ ) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ (peroxide radical) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ โดยการดึงอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลการประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น

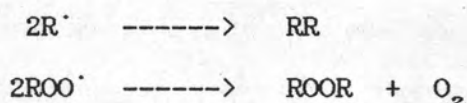


ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่ ( $\text{R}'^\cdot$ ) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาซ้ำปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ข้างต้นต่อไป ซึ่งอัตราของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ขั้นการสลายตัวของโมเลกุลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, ซึ่งเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาแบบสาขา (branching reaction) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ 2 กลุ่ม ดังนี้



จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้นหลายชนิด เช่น พวกแอลกอฮอล์ ( $\text{RCH}_2\text{OH}$ ), สารพวกอัลดีไฮด์ ( $\text{RCHO}$ ), พวกคีโตน ( $\text{RCOR}'$ ), พวกกรด ( $\text{RCOOH}$ ) และน้ำ ถ้าปฏิกิริยาเกิดต่อเนื่องไปสารเหล่านี้จะทำให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ไม่ละลายในน้ำมัน ทำให้เกิดอนุพันธ์แยกออกจากน้ำมันหล่อลื่นทำให้เกิดเป็นสภาวะการเวริน หรือยางเหนียวเคลือบอยู่บนผิวโลหะ ปฏิกิริยาข้างต้นเหล่านี้จะถูกรบกวนถ้ามีพวกโลหะออกไซด์ ความร้อนและแสงสว่าง

ปฏิกิริยาออกซิเจนจะสิ้นสุดได้หลายรูปแบบ



มีวิธีมาตรฐาน (standard method) (12) หลายวิธีที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและน้ำมันหล่อลื่น เช่น น้ำมันเทอร์ไบน์ น้ำมันหม้อแปลงไฟ น้ำมันส่งกำลัง ฯลฯ ซึ่งวิธีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะต้องใช้เวลานาน และให้ความแม่นยำต่ำ วิธีเหล่านี้แสดงในตาราง 2.2

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้หาจะถูกกำหนดไว้ที่  $200^{\circ}\text{C}$  และใช้ปริมาณของตัวอย่างมากจนถึง 4.55 ลิตร นอกจากนั้นแล้ววิธีเหล่านี้ยังต้องใช้วิธีวิเคราะห์อื่น ๆ เข้าช่วย เช่น การหาความหนืด การหาความเป็นกรด (acidity) การหาปริมาณตะกอน (sludge content) ฯลฯ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

วิธี Thermalgravimetry (TG) เป็นเทคนิคใหม่ที่ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของสารประกอบเคมีต่าง ๆ เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำหนักของสาร การนำมาใช้ประโยชน์ของเทคนิคนี้กับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกันเพื่อศึกษาสมบัติเสถียรต่อการเทอร์มอลออกซิเดชัน (thermooxidation) โดยศึกษาในช่วงอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ  $600^{\circ}\text{C}$  ในสภาวะที่มีออกซิเจนไหลผ่าน

การสูญเสียน้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิถึง  $300^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $300^{\circ}\text{C}$  การสูญเสียน้ำหนักจะเกิดอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ในสภาวะที่มีออกซิเจนปฏิกิริยาการสลายตัวของตัวอย่างกับออกซิเจน จะพบที่อุณหภูมิประมาณ  $350^{\circ}\text{C}$  หรือสูงกว่านี้ ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักลดลง ที่อุณหภูมินี้จะเป็นอุณหภูมิของการเกิดออกซิเดชัน (oxidation point) ภายหลังจากจุดนี้การสูญเสียน้ำหนักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดการสลายตัวและออกซิเดชันของตัวอย่างสมบูรณ์น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือจะเกือบคงที่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นภายใต้การไหลของออกซิเจน กราฟเทอร์มอลออกซิเดชันสำหรับน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วยตัวแปรหรือพารามิเตอร์ดังนี้

อุณหภูมิการเกิดออกซิเดชัน (oxidation point) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียน้ำหนักเกิดเนื่องมาจากเกิดสารประกอบออกซิเจนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (high-molecular-weight oxygenated compounds)

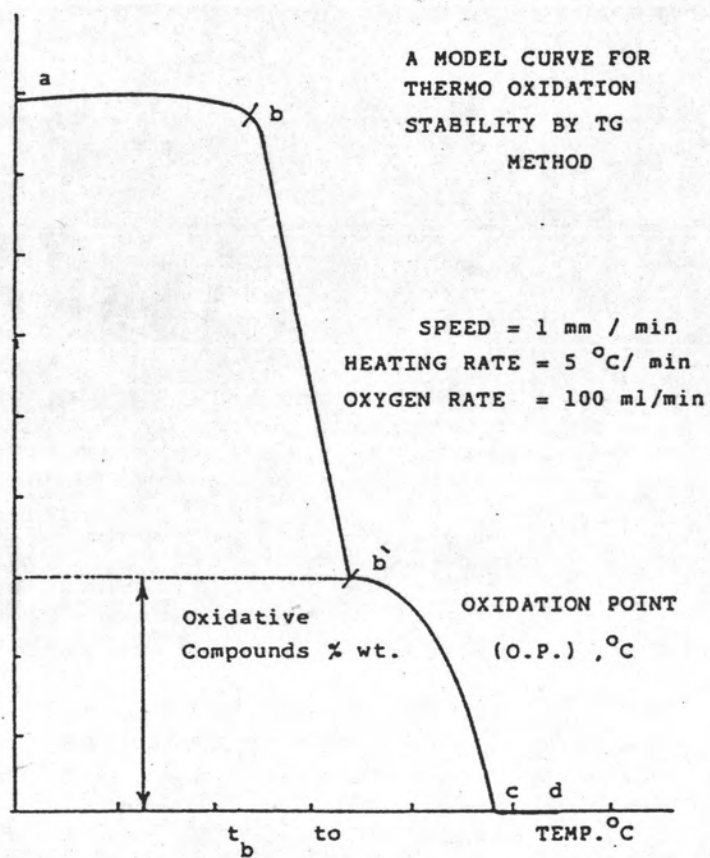
สารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (oxidation compounds) จะหาอยู่ในรูปน้ำหนักของสารประกอบนี้เป็นหน่วยมิลลิกรัม ซึ่งคงเหลือในภาชนะของเครื่องมือที่อุณหภูมิออกซิเดชัน ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้สารประกอบเหล่านี้จะถูกเผาไหม้และเกิดการระเหยอยู่ในรูปคาร์บอน



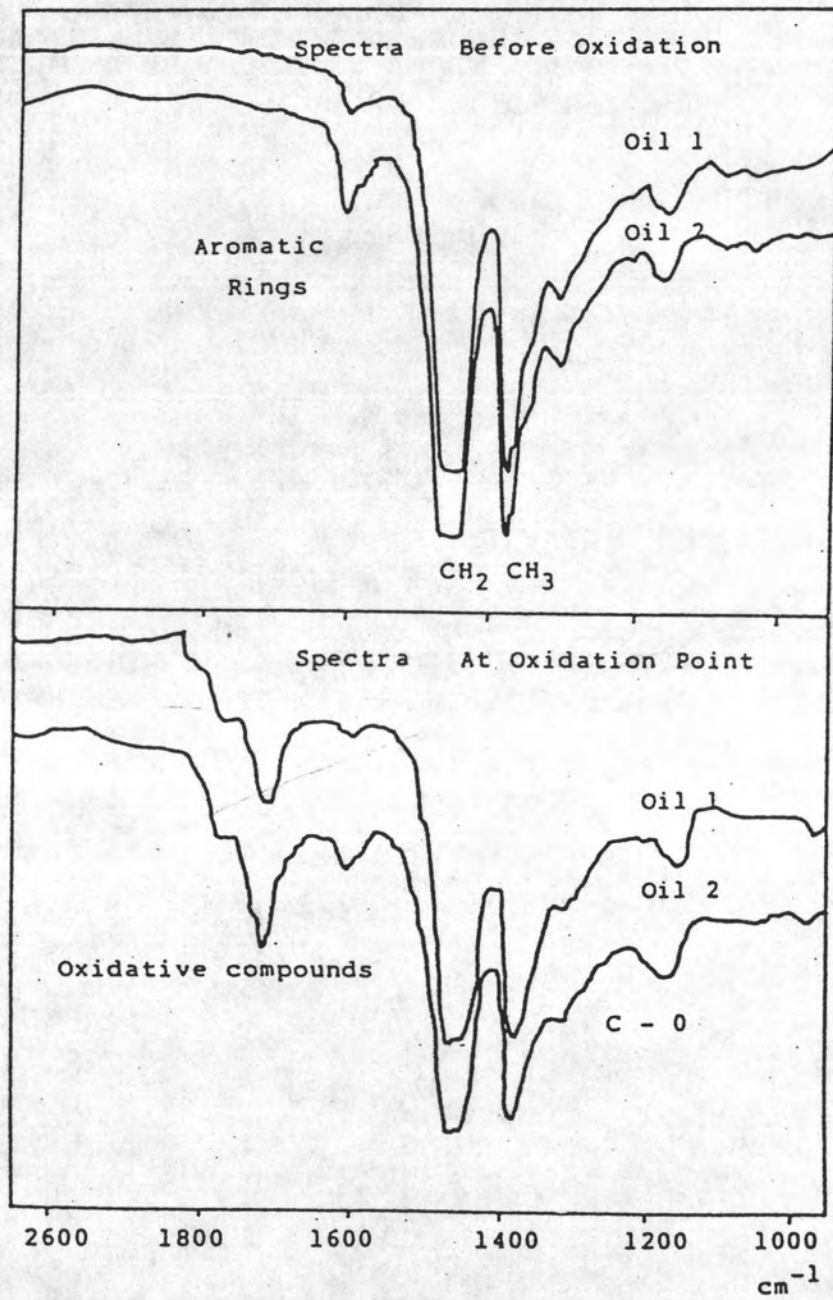


ตารางที่ 2.2 วิธีมาตรฐานที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดซ์ของ  
น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และน้ำมันหล่อลื่น (12)

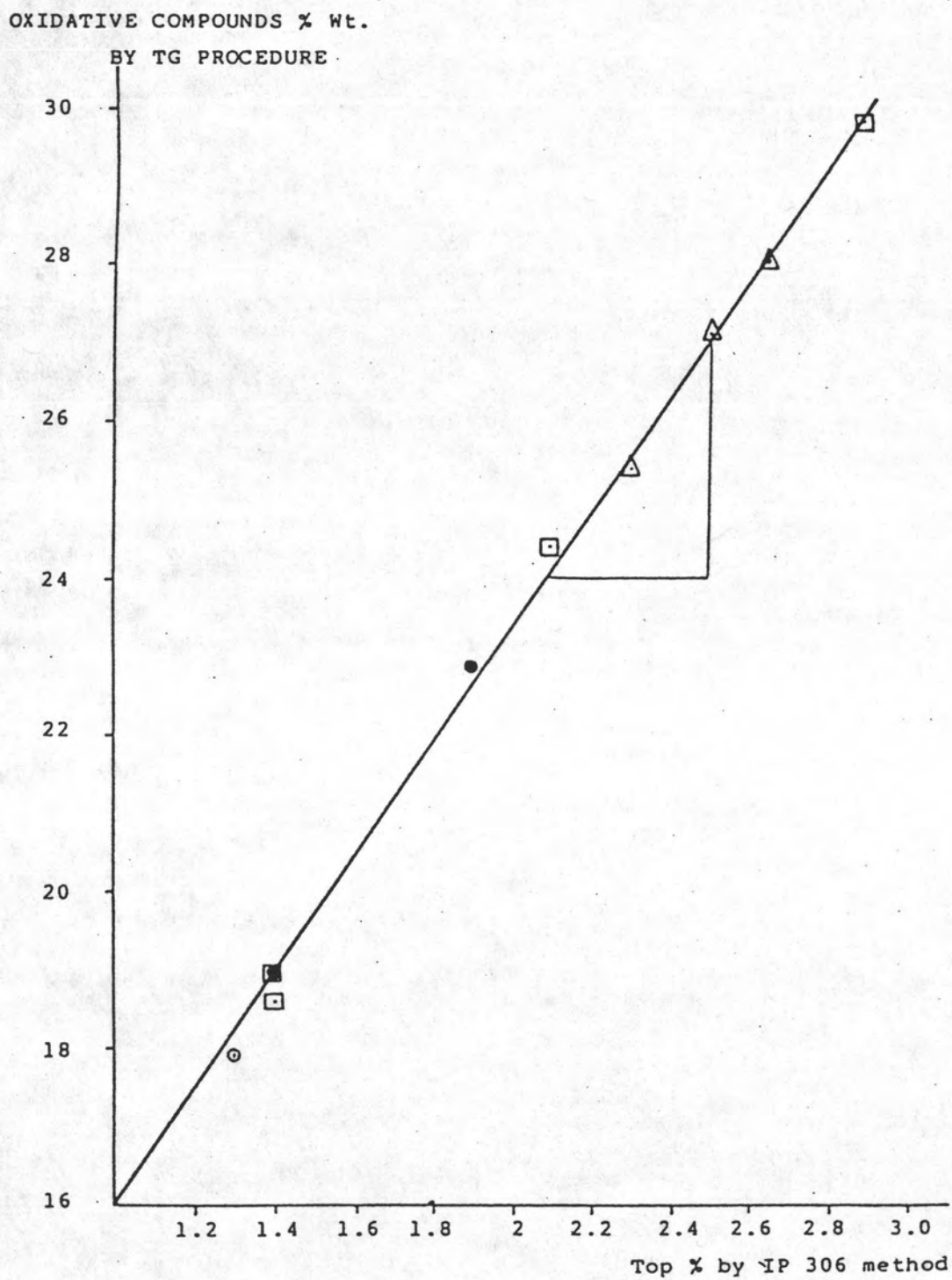
TABLE —STANDARD OXIDATION TEST							
TEST METHOD	SAMPLE	CATALYST	OXIDIZING AGENT	TEMP. °C	TEST PARAMETERS	TEST DURATION TIME	SAMPLE SIZE
IP 48/67	Base oils	No catalyst	Air at flow rate 15 L/l.	200	Kinematic viscosity at 100°F ramsbottom carbon residue.	Two periods each of 6 them h	40 ml
- IP 56/64	Transformer oils	Copper sheet	Air at flow rate 2 L/h	150	- Acidity - Sludge value	45 h	100 g
- IP 114/67T	Turbine oils	Copper sheet	Air at flow rate 2 L/h	110	increase in acidity	90 h	100 g
- IP 157/64	Steam turbine oils	Copper and iron coils	Oxygen at flow rate 3L/h	59	Increase in acidity	1000 h or until TAN varying from 0.25 to 2.0 mg. KOH sample	300 ml
IP 229/68T	Steam turbine oils	Copper coil	Oxygen pressure at 90 psi	150	Induction periods	Until pressure is 25 lb Less than established between pressure	50 g
- IP 269/67T	Automatic transmission fluids	Steel plate	Air flow rate 100 ml/min	149 or 163	Rating of formed sludge	312 h	4.55 L
- IP 280/73	Turbine oils	Copper naphthenate & iron naphthenate solutions	Oxygen at flow rate 1L/h	120	- Volatile acids - Soluble acids - Sludge	164 h	30 g
- IP 306/79	Straight mineral oils	No catalyst or copper wire	Oxygen at flow rate- 1L/h	120	- Volatile acidity - Soluble acidity - Total sludge - Total oxidation products (TOP)	48 h	25 g
- IP 307/80	Insulating oil	Copper wire	Oxygen at flow rate 1L/h	100	- Sludge content soluble acidity	164 h	25 g
- IP 335/80	Inhibited mineral	Copper wire	Oxygen 1L/h	120	Induction	236 h	25 g



รูปที่ 2.5 กราฟเทอร์มอลอออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธี TG (12)



รูปที่ 2.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนและหลังเกิดออกซิไดส์ (12)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธี TG กับวิธี IP 306/79 (12)

### ไดออกไซด์ในที่สุด

อุณหภูมิออกซิเดชันจะใช้เป็นค่าที่วัดเสถียรภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานต่อการเกิดเทอร์มอลออกซิเดชัน ในขณะที่ร้อยละโดยน้ำหนักของสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์จะใช้เป็นเครื่องวัดเสถียรภาพของน้ำมันต่อการเกิดออกซิเดชัน น้ำมันที่มีเสถียรภาพต่อการออกซิเดชันสูงจะมีค่านี้น้อยกว่าน้ำมันที่มีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันต่ำ เพื่อเป็นการยืนยันการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิออกซิเดชันจริงสามารถใช้อินฟราเรดสเปกตรัมในการศึกษาการประกอบที่เกิดขึ้นซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนและหลังเกิดออกซิไดส์

จะพบว่าวิธีนี้ได้ค่าที่มีความถูกต้องสูง และสามารถนำมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานอื่น ๆ ได้ เช่น เปรียบเทียบกับวิธี IP 306/79 ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างวิธี TG กับวิธี IP306/79 โดยที่ความสัมพันธ์จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์เส้นตรงที่สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Y = 7.8 X + 8$$

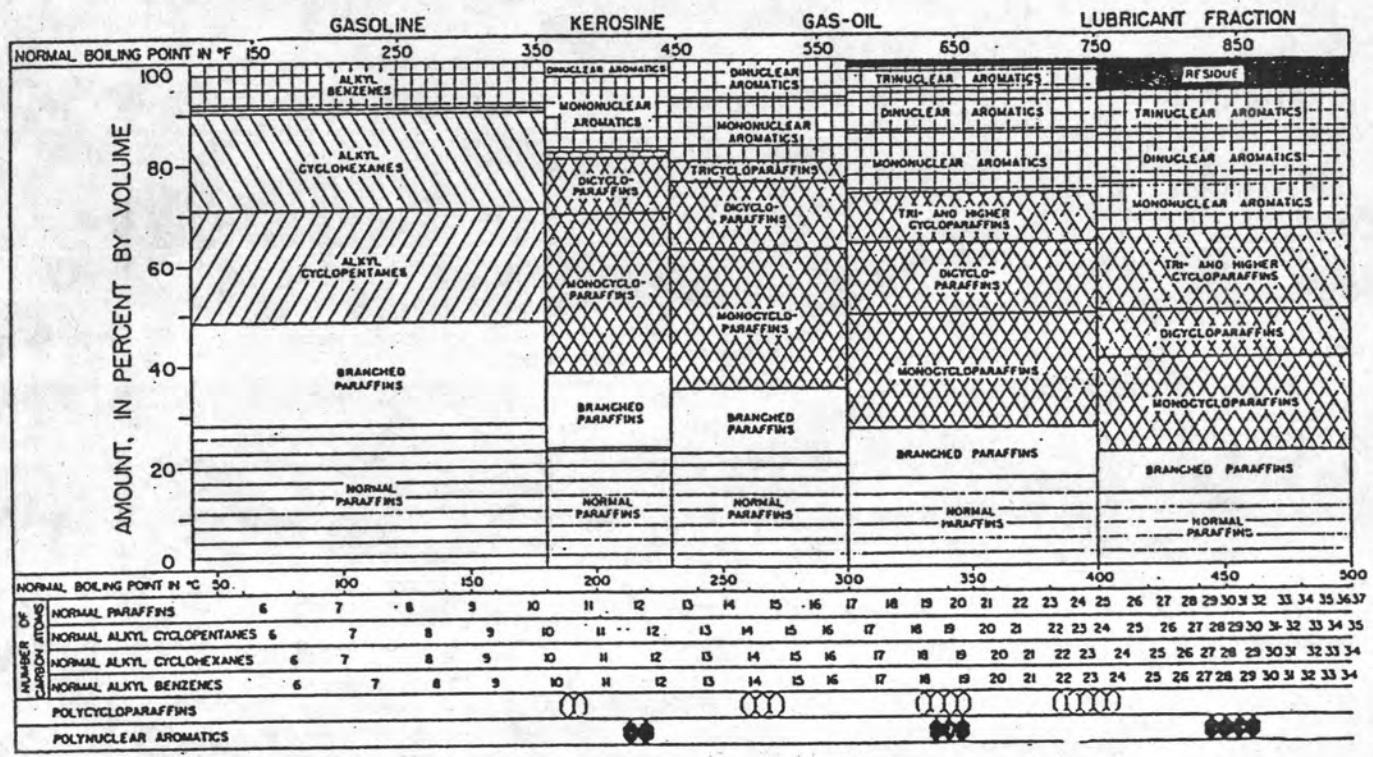
เมื่อ

$$Y = \text{สารประกอบออกซิไดส์จากวิธี TG}$$

$$X = \text{ปริมาณของสารประกอบออกซิเดชันจากวิธี IP306/79}$$

### 2.4 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Lube bases composition) (13, 14, 15)

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับน้ำมันปิโตรเลียมทั่ว ๆ ไป แต่โครงสร้างของสารในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานส่วนมากจะเป็นลักษณะแบบสารเชิงซ้อนมากมายตามขนาดโมเลกุลของสารที่พบในลำดับส่วนของปิโตรเลียมที่ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจึงเป็นการยากที่จะบอกลักษณะโครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้อย่างสมบูรณ์ ในปี ค.ศ. 1938 Rossin ได้ตีพิมพ์ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ในแต่ละลำดับส่วนปิโตรเลียมของ Ponca city petroleum ซึ่งได้แก่ แก๊สโซลีน, เคโรซีน, แก๊สออยล์ และน้ำมันหล่อลื่น โดยแสดงอยู่ในรูปร้อยละของอนุกรมสารพวก n-paraffins, alkyl cyclopentanes, alkylcyclo-hexanes, alkylbenzenes, condense polycycloparaffins และ condensed polynuclear aromatic ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ในแต่ละลำดับส่วนปิโตรเลียมของ ponca city petroleum (13)

สารพวก branched และ normal paraffins จะพบน้อยลงเมื่อช่วงจุดเดือดของลำดับส่วนมากขึ้นแต่ยังสามารถพบ isoparaffins เล็กน้อยในช่วงของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนปริมาณของสาร cycloparaffins จะพบมากขึ้นเมื่อขนาดของโมเลกุลใหญ่ขึ้น ในขณะที่พวกสารประกอบแอมโรแมติกจะพบมากขึ้นและมีโครงสร้างแบบเชิงซ้อนมากขึ้นในลำดับส่วนที่มีช่วงจุดเดือดสูงขึ้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถพบสารพวก pentacycloparaffins และ tetranuclear aromatics ในจำนวนเล็กน้อยในช่วงของน้ำมันหล่อลื่น (13)

ถึงแม้ว่าจะสามารถผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพให้เหมาะสมลงในปริมาณที่พอเหมาะก็ตาม แต่การใช้งานบางชนิดองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นเป็นอย่างมาก เช่น น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องทำความเย็น (refrigerator oils) จะต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดที่ปราศจากไฮโดรเจน โดยที่ไม่สามารถใส่สารเพิ่มคุณภาพในการปรับน้ำมันหล่อลื่นที่มีไฮโดรเจนให้สามารถใช้งานได้ อีกทั้งในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นให้ได้ตามมาตรฐานนั้นองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็มีอิทธิพล เช่นเดียวกับสารเพิ่มคุณภาพ แต่การจะบอกองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เหมาะสมนั้นเป็นการยาก ทั้งนี้เพราะคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน อีกทั้งคุณภาพที่ดีของน้ำมันหล่อลื่นยังต้องประกอบด้วยหลาย ๆ ลักษณะ แต่ถึงอย่างไรโดยทั่วไปแล้วน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ดีนั้นจะต้องมีสมบัติดังนี้

- มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย หรือมีค่าดรรชนีความหนืดสูง

- มีจุดไหลเทต่ำ

- มีความเสถียรต่ออนุมูลอิสระและการเกิดออกซิเดชันได้ดี

สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นจะให้สมบัติข้างต้นที่แตกต่างกัน โดยที่สมบัติดังกล่าวของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (14)

ในการบอกลักษณะองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยทั่ว ๆ ไป จะแสดงอยู่ในรูปของร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างวงแหวนแอมโรแมติก ( $\%C_A$ ) ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างวงแหวนแนฟทีน ( $\%C_N$ ) และร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างโซ่พาราฟิน ( $\%C_P$ ) ซึ่งการกระจายของอะตอมคาร์บอนแบบนี้จะใช้อธิบายลักษณะองค์ประกอบของลำดับสารปิโตรเลียมที่มีจุดเดือดสูงเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งยังใช้ในการปรับแก้สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การกลั่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น และใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากน้ำมันดิบแหล่งต่าง ๆ (15)

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (14)

Structure	Viscosity Index	Pour point	Interest
Normal paraffins	Very high	High	Low
Isoparaffins with one long chain	High	Medium	Medium
Isoparaffins with one isomerized chain	High	Low	High
Isoparaffins with many chains	Medium	Low	Medium
Monocyclies with long chain	High	Low	High
Polycondensed	Low	Low	Low



#### 2.4.1 อิทธิพลขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีต่อสมบัติการออกซิไดส์ (16)

ตามที่กล่าวมาแล้วว่าสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคือ ค่าดรรชนี-ความหนืด จุดไหลเท และลักษณะเสถียรภาพต่อออกซิเดชันและการออกซิไดส์นั้น สมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็คือ ความเสถียรต่อการออกซิไดส์ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นในการใช้งาน เช่นการเกิดตะกอน (sludge) ตะกอน (deposits) การเกิดกรด (acid formation) การกัดกร่อน (corrosion) และการที่น้ำมันหนืดมากขึ้น ซึ่งล้วนเกิดจากการออกซิไดส์ของน้ำมันทั้งสิ้น นอกจากนี้การเกิดออกซิไดส์ของน้ำมันยังจะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการใช้งานด้วย ดังนั้นในการกำหนดมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะมีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันไว้ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง ดังตารางที่ 2.4

ในการศึกษาอิทธิพลของลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีต่อสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นนั้น ค่าดรรชนีความหนืด (V.I.) ถูกลำมาใช้เป็นปัจจัยง่าย ๆ ในการคาดการณ์เกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เช่นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ตามมาตรฐาน ASTM D 943 กับดรรชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบเดียวกันแต่แตกต่างกันเฉพาะในส่วนการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายเท่านั้น พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แต่พบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ ถ้าเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มาจากแหล่งน้ำมันดิบต่างแหล่งกันหรือต่างกระบวนการผลิต แสดงได้โดยรูปที่ 2.10

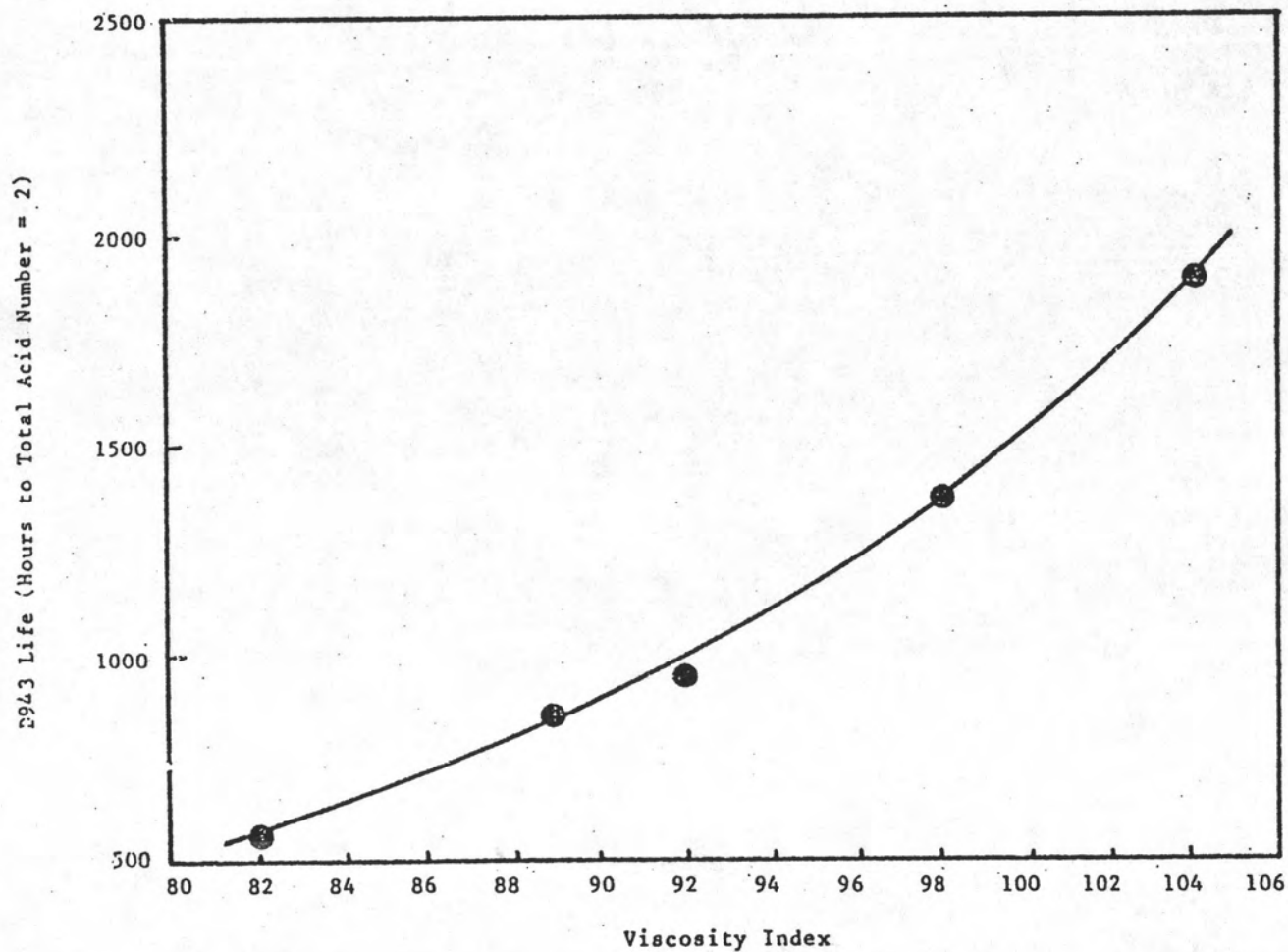
แต่พบว่าตัวแปรทางด้านองค์ประกอบของน้ำมัน ( $\%C_A$ ,  $\%C_N$ , และ  $\%C_P$ ) สามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์สมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน รวมทั้งที่มีอิทธิพลต่อความเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ทั้งนี้เพราะสามารถหาความสัมพันธ์ได้เป็นอย่างดีระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับการทดสอบสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ดังแสดงดังรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12

จากทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหรือสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นที่ยอมรับตามที่กล่าวมาแล้วนั้น องค์ประกอบหลักของน้ำมันสามารถใช้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ได้ เช่น สารไฮโดรคาร์บอนอินตัว (แสดงในรูป  $\%C_P + \%C_N$ ) ในน้ำมันจะแสดงสมบัติการเสถียรต่อการออกซิไดส์ตรงกันข้ามกับสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ( $\%C_A$ )

#### 2.4.2 การหาองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธี $^{13}C$ -NMR (15, 17, 18)

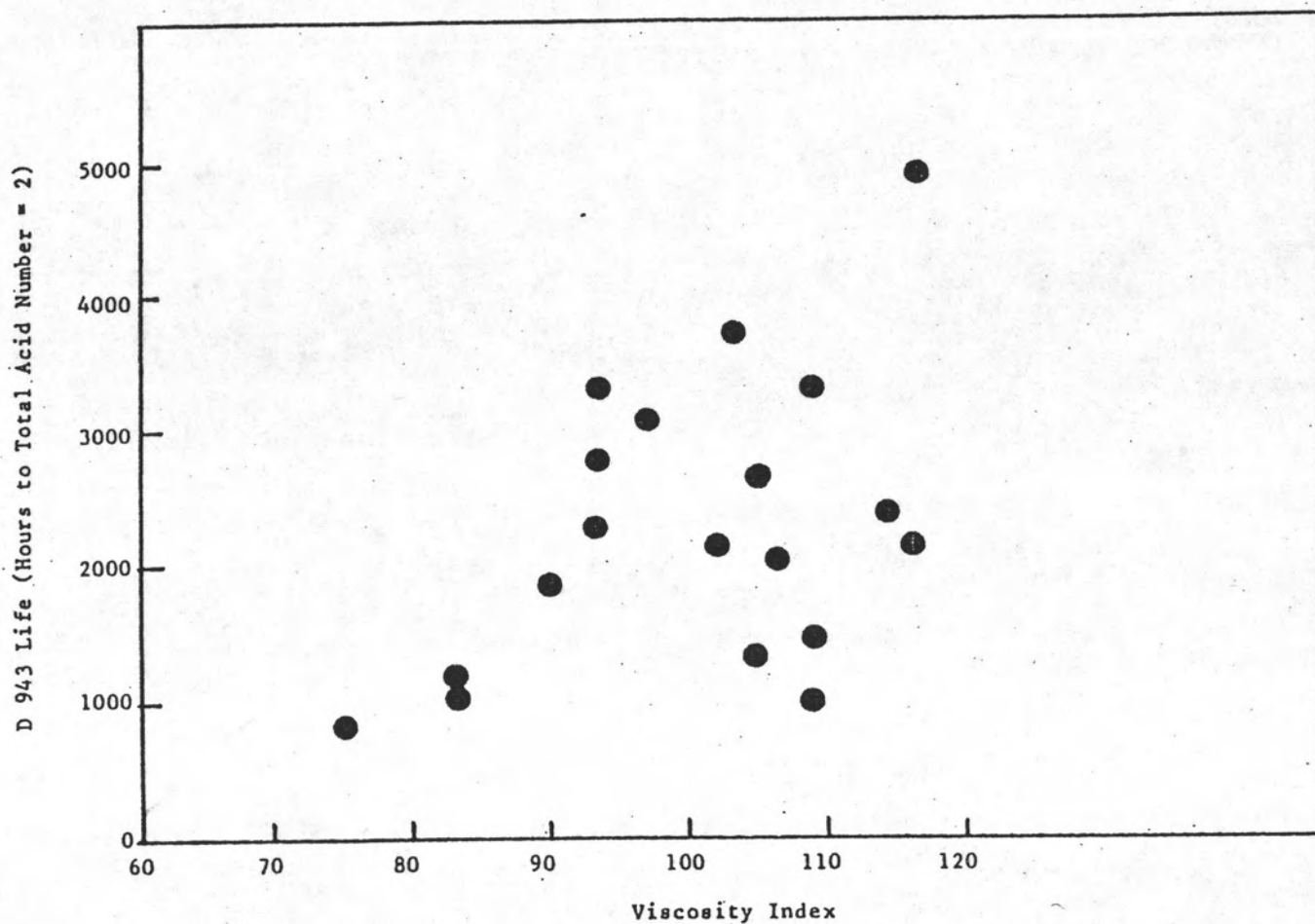
ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมัน (7)

Type of oils	Oxidation test method	Requirements
Engine oil	Static Oxygen	Not less than 8 hours for 60 mm pressure drop
Noninhibited hydraulic oil	Static Oxygen	Not less than 15 hours for 60 mm pressure drop
Inhibited hydraulic oil	ASTM D - 943	Not to exceed 1.0 neutralization number after 1000 hours
Turbine oil	ASTM D - 943	Not to exceed 1.0 neutralization number after 1000 hours
Circulating Turbine oil	ASTM D - 943	Not to exceed 2.0 neutralization number after 1000 hours
Antiwear hydraulic oil	ASTM D - 943	Not to exceed 1.0 neutralization number after 1000 hours

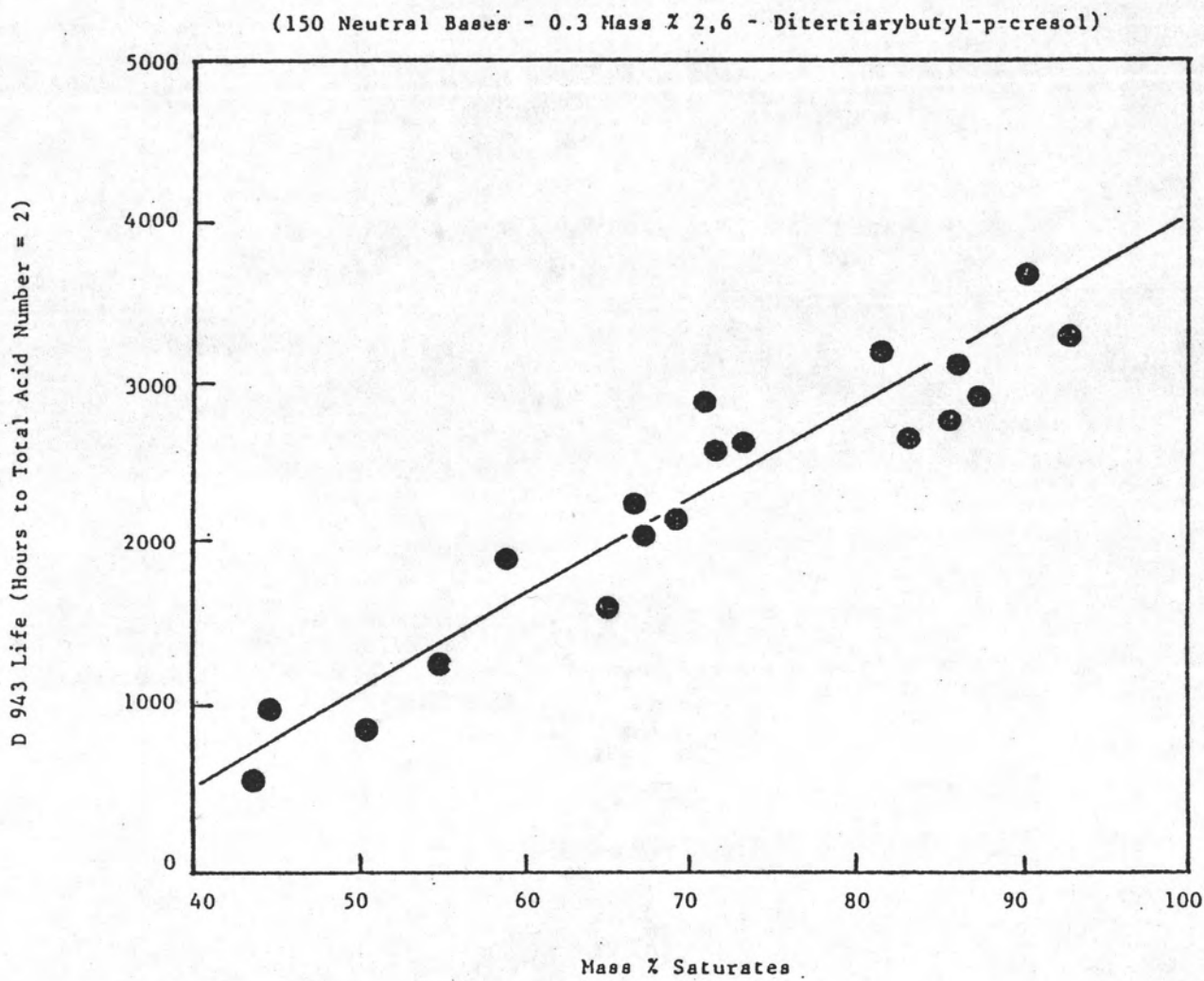


รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ตามมาตรฐาน ASTM D 943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบ เดียวกัน (16)

(Circulating Oil Formulation Containing 0.3 Mass % 2,6-Ditertiarybutyl-p-cresol)



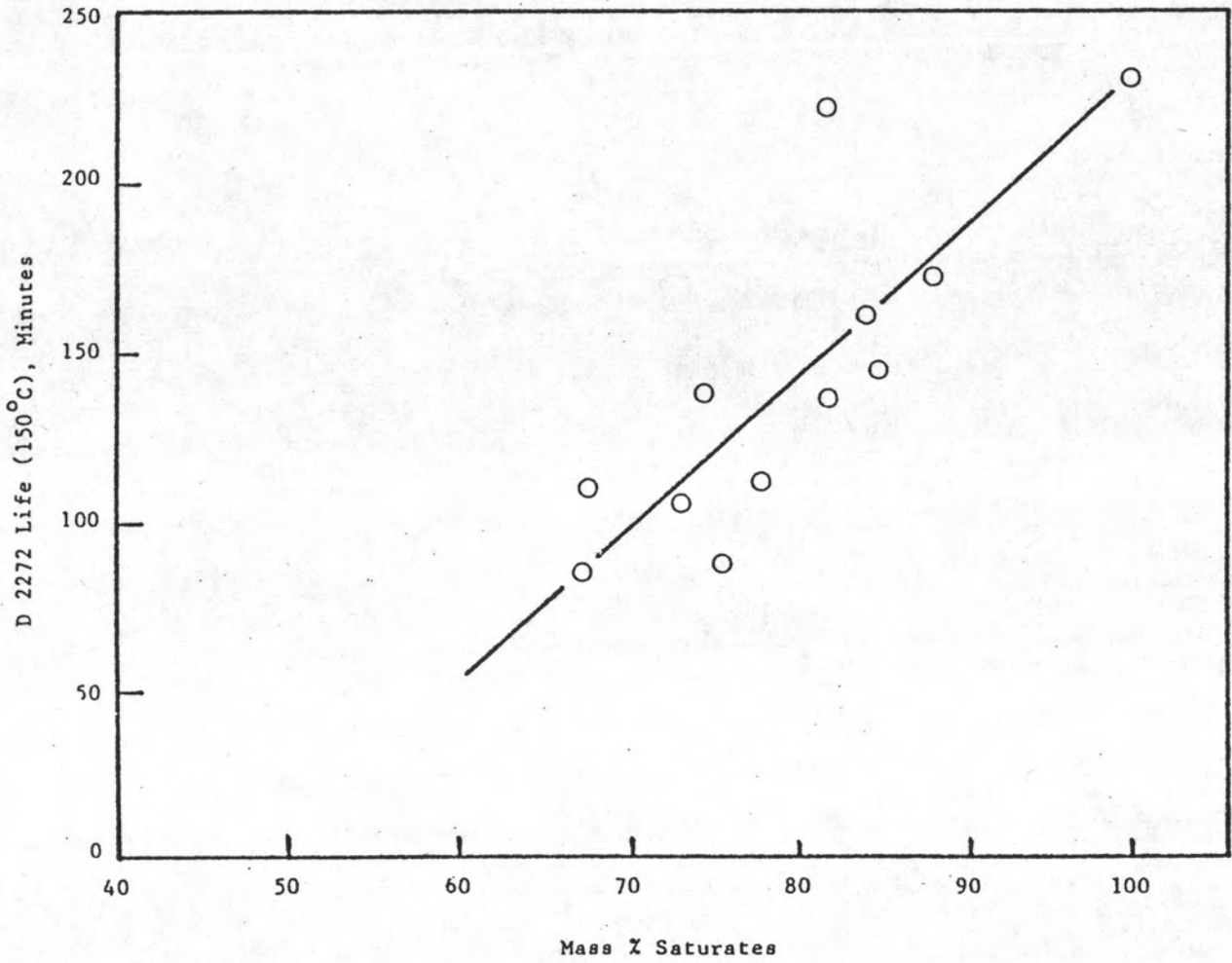
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ตามมาตรฐาน ASTM D 943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบ ต่างแหล่งกันหรือต่างกระบวนการผลิต (16)



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ตามมาตรฐาน ASTM D 943 (16)



(150 Neutral Bases - 0.2 Mass % 2,6 - Ditertiarybutyl-p-cresol)

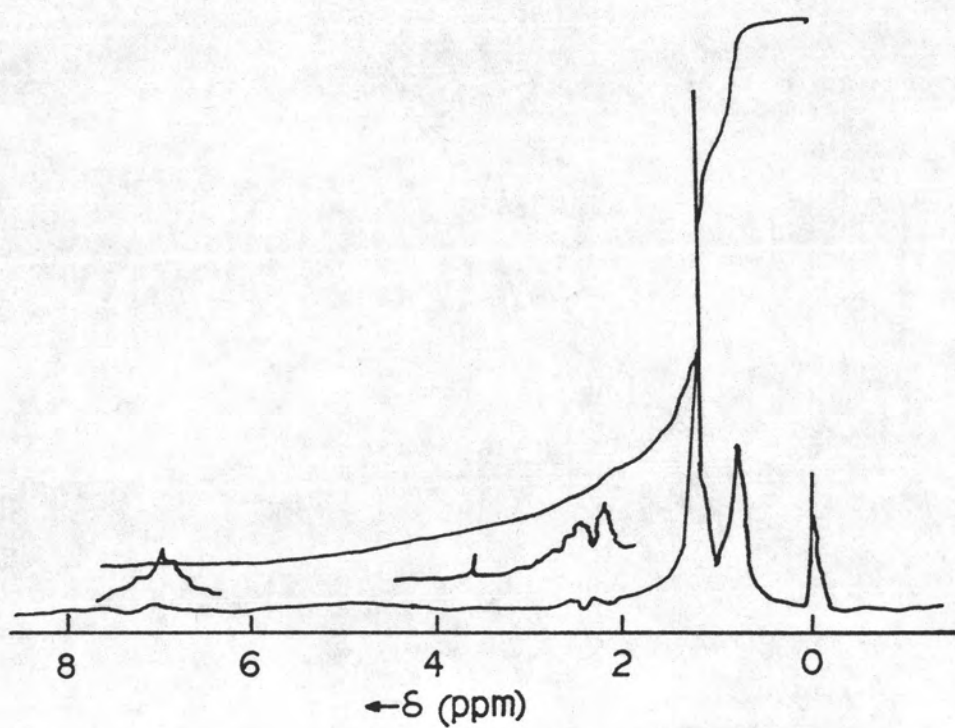


รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ตามมาตรฐาน ASTM D 2272 (16)

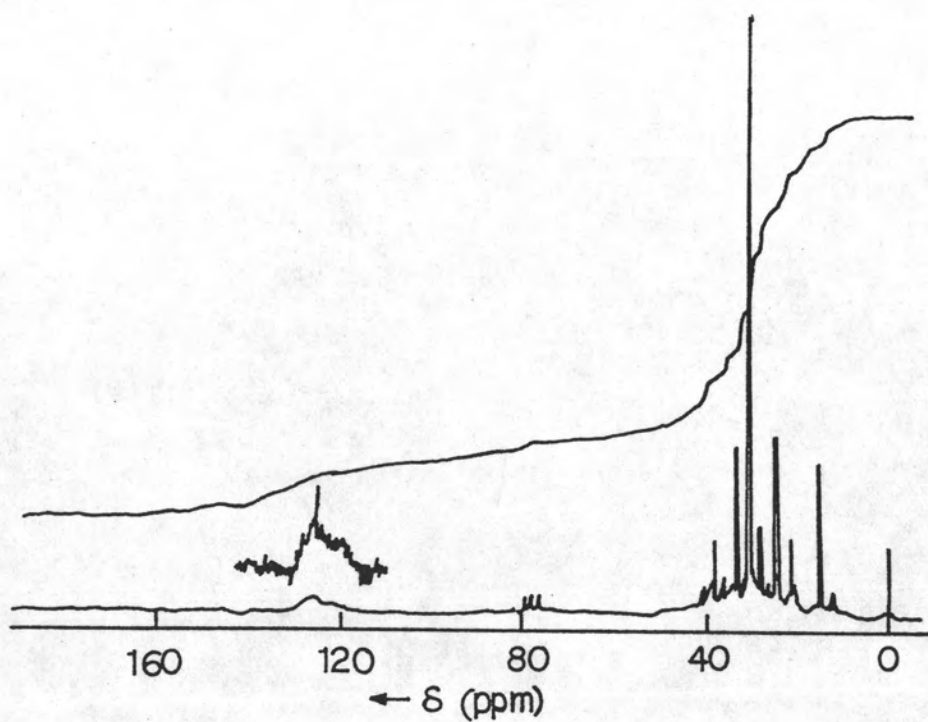
จากลักษณะทางธรรมชาติที่สลับซับซ้อนของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมในช่วง  $C_{18}$  ถึง  $C_{40}$ ) ซึ่งเกิดวิธีขึ้นมากมายที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยตัวแปรองค์ประกอบเฉลี่ยของน้ำมันโดยอาศัยสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์หรือที่เรียกว่าวิธี n-d-m ตามมาตรฐาน ASTM D - 3238 - 25 นั้น เป็นการคำนวณหาลักษณะกระจายของคาร์บอนและลักษณะของวงแหวนไฮโดรคาร์บอนที่มีโดยอาศัยข้อมูลจากค่าดัชนีหักเห (refractive index) ความหนาแน่น (density) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (average molecular weight) หรือใช้วิธีทางโครมาโทกราฟี (chromatographic method) โดยที่แยกส่วนของสารประกอบออกมาออกจากสารพวกแอโรแมติกตามด้วยการวิเคราะห์ทางแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry) ของแต่ละส่วน เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้จะต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ใช้ตัวอย่างมาก ยุ่งยากในการตีความและได้ค่าความแม่นยำต่ำ ซึ่งทำให้ค่าวิเคราะห์ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน มีรายงานบางเล่มแสดงให้เห็นว่าถึงแม้มีความแตกต่างในองค์ประกอบของน้ำมันเพียงเล็กน้อยแต่ก็จะมีอิทธิพลต่อลักษณะทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของน้ำมันหล่อลื่น

ปัจจุบันนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์และมีความสำคัญในการอธิบายโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อน รวมทั้งการใช้ประโยชน์ในด้านการหาปริมาณ ลักษณะเด่นที่สุดของ NMR คือสามารถใช้บอกความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลของสารที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันโดยอาศัยการดูดกลืนสเปกตรัมได้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ NMR ของโปรตอน ( $^1\text{H-NMR}$ ) ถูกนำมาใช้หาตัวแปรขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนแต่มีปัญหาเกี่ยวกับการที่คาร์บอนอะตอมที่ไม่มีอะตอมไฮโดรเจนล้อมรอบ ดังนั้น NMR ของคาร์บอน ( $^{13}\text{C-NMR}$ ) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน รูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างของลักษณะของสเปกตรัมของ  $^1\text{H-NMR}$  และ  $^{13}\text{C-NMR}$  ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานตามลำดับ

วิธี  $^{13}\text{C-NMR}$  จะได้ผลขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอยู่ในรูปร้อยละของคาร์บอนในโครงสร้างแบบ พาราฟินิก แนฟทีนิก และแอโรแมติก ( $\%C_P$ ,  $\%C_N$  และ  $\%C_A$ ) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ เช่น วิธีตาม ASTM 3238-85 โดยที่วิธี ASTM 3238-85 เป็นวิธีวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลทางอ้อม ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น มีข้อจำกัดมากมาย จากข้อจำกัดของ ASTM 3238-85 จึงทำให้เกิดการหา  $\%C_P$ ,  $\%C_N$  และ  $\%C_A$  โดยตรงจากโมเลกุลของสารแทนการหาจากคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ ซึ่งก็คือการหาโดย  $^{13}\text{C-NMR}$  ค่า  $\%C_P$ ,  $\%C_N$  และ  $\%C_A$  ที่ได้จากวิธีนี้จะให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้  $^{13}\text{C-NMR}$  ในการหา  $\%C_P$ ,  $\%C_N$  และ  $\%C_A$  ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน



รูปที่ 2.13 สเปกตรัม  $^1\text{H-NMR}$  ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (17)



รูปที่ 2.14 สเปกตรัม  $^{13}\text{C-NMR}$  ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (17)



ตารางที่ 2.5 ผลการเปรียบเทียบค่า %C<sub>A</sub> , %C<sub>P</sub> และ %C<sub>N</sub> ที่ได้จากวิธี <sup>13</sup>C-NMR และวิธี n-d-m (15)

Sample	Aromatic Carbon (%)		Naphthenic Carbon (%)		Paraffinic Carbon (%)	
	n-d-m	<sup>13</sup> C	n-d-m	<sup>13</sup> C	n-d-m	<sup>13</sup> C
A	19.2	18.6	36.5	34.4	44.3	47.0
B	36.2	35.2	26.0	25.9	37.5	38.9
C	30.5	30.5	28.0	27.1	41.5	42.3
D	35.4	35.8	23.6	25.1	40.1	39.1

ของงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Shooley และ Budde (1978) (18) (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมจากภาคผนวก) โดยที่ร้อยละของคาร์บอนชนิดต่าง ๆ หากจากสเปกตรัมของ  $^{13}\text{C}$ -NMR ดังนี้ คาร์บอนในโครงสร้างแอโรมาติก ( $\%C_A$ ) ใช้การอินทิเกรตความเข้มของสเปกตรัมในช่วง 110-160 พีพีเอ็ม เทียบกับอินทิเกรตความเข้มของสเปกตรัมทั้งหมดยกเว้นสเปกตรัมของตัวทำละลาย ส่วน  $\%C_D$  เป็นการรวมอินทิเกรตความเข้มของสเปกตรัมในช่วง 0-25 พีพีเอ็ม รวมกับอินทิเกรตความเข้มของสเปกตรัมที่มีการกระจายที่เด่นชัดในช่วง 25-60 พีพีเอ็ม เทียบกับอินทิเกรตความเข้มของสเปกตรัมทั้งหมดยกเว้นสเปกตรัมของตัวทำละลาย และ  $\%C_N$  เป็นส่วนที่เหลือหลังจากหัก  $\%C_A$  กับ  $\%C_D$  แล้ว ตารางที่ 2.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า  $\%C_A$ ,  $\%C_D$  และ  $\%C_N$  ที่ได้จากวิธี  $^{13}\text{C}$ -NMR และวิธี n-d-m ค่าผิดพลาดเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองวิธี สำหรับ  $\%C_A$  เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของ  $\%C_D$  เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าผิดพลาดของ  $\%C_N$  ไม่นำมาพิจารณา (15)

## 2.5 การผลิตและการทำน้ำมันพื้นฐานให้บริสุทธิ์ (Production and Refining of Lube Bases) (19, 20)

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสามารถผลิตจากน้ำมันดิบที่พบตามแหล่งต่าง ๆ ของโลก น้ำมันดิบเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติและลักษณะที่เห็น ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบเชิงซ้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีได้หลายรูปแบบแตกต่างกัน ดังเช่น โมเลกุลของสารประกอบพาราฟินที่มีคาร์บอน 25 อะตอม และไฮโดรเจน 52 อะตอม สามารถมีการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลได้แตกต่างกันถึง 37,000,000 แบบ ซึ่งถ้าพิจารณาไปถึงโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนพวกแนฟทีน และแอโรแมติก ที่มีคาร์บอน 52 อะตอมเหมือนกันก็จะพบการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลมากยิ่งขึ้นอีก ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอในการนำไปใช้งานนั้น ผู้ผลิตจะต้องพิจารณา 4 ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันดิบแหล่งต่าง ๆ

1. การคัดเลือกน้ำมันดิบโดยพิจารณาถึงชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
2. ความคมลำดับส่วนของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นให้มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน
3. ใช้กระบวนการแยกส่วนที่ไม่ต้องการหรือเปลี่ยนแปลงให้เป็นส่วนที่ต้อง

การมากยิ่งขึ้น

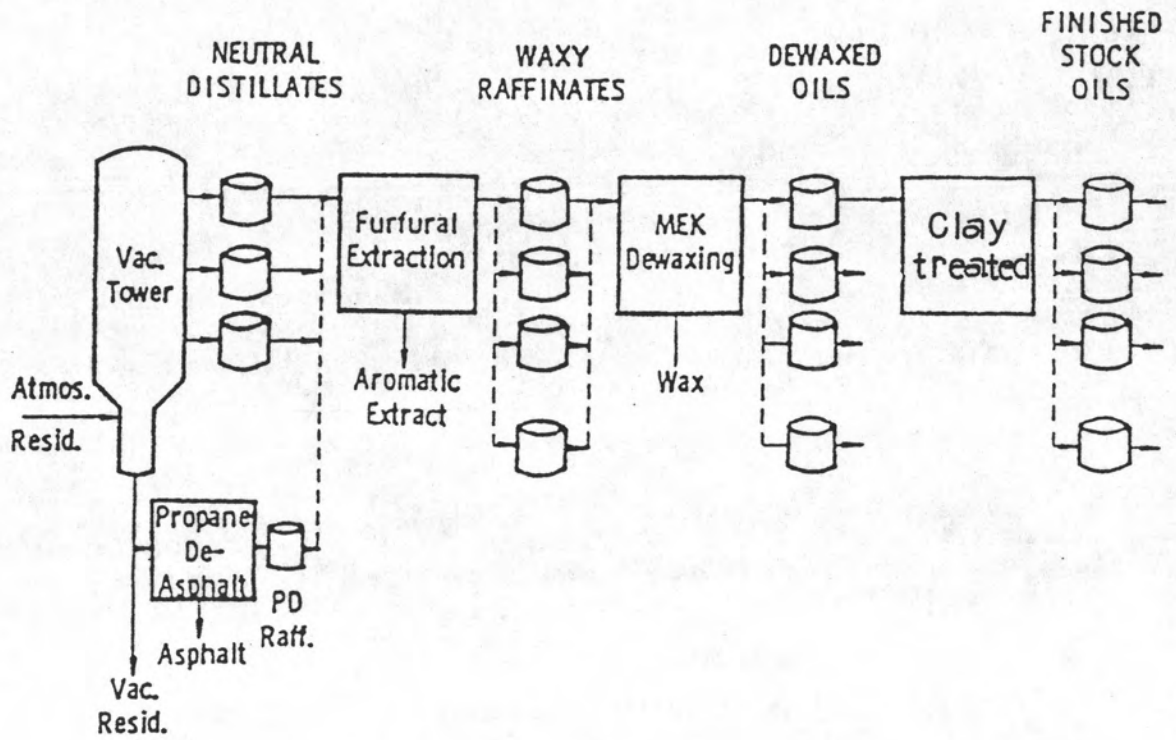
4. ใช้ลำดับส่วนต่าง ๆ ที่กลั่นได้นำมาผสมกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ หรือปรับปรุงด้วยการเติมสารเพิ่มคุณภาพ

กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน ให้ได้ตามมาตรฐานการใช้งานโดยอาศัยการแยกส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออกจากส่วนประกอบที่ต้องการ กระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตและการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้บริสุทธิ์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.15 ก่อนที่จะกล่าวถึงในรายละเอียดของกระบวนการ โดยเฉพาะกระบวนการสกัดน้ำมันด้วย furfural และกระบวนการสกัดแยกไขด้วย MEK นั้นจะขออธิบายกระบวนการต่าง ๆ พอสังเขปและความเกี่ยวข้องกัน และเพื่อความสะดวกในการอธิบายจะใช้รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะขององค์ประกอบของน้ำมันดิบ

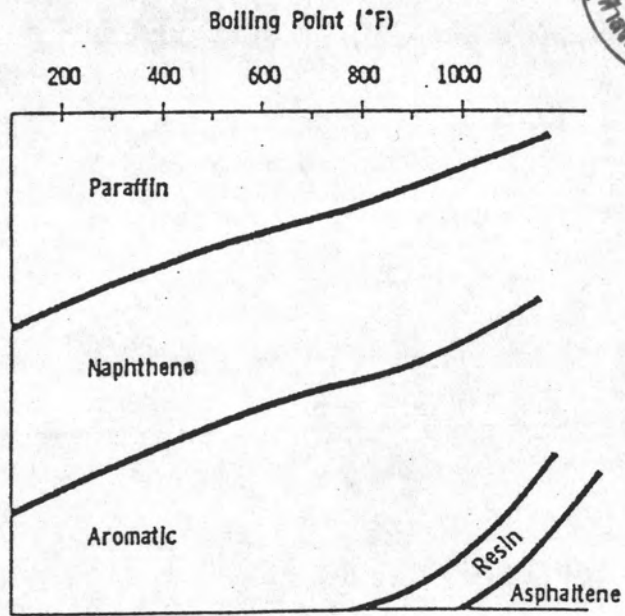
2.5.1 กระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ (vacuum distillation) เป็นกระบวนการแรกสุดในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน กระบวนการกลั่นแบบนี้จะคล้ายกับการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบในหอกลั่นบรรยากาศเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ แต่ต่างกันที่การกลั่นจะทำภายใต้สุญญากาศเพื่อทำให้สามารถกลั่นลำดับส่วนน้ำมันหล่อลื่นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 371 °C เพื่อป้องกันการสลายตัว การกลั่นภายใต้สุญญากาศจะใช้แยกผลิตภัณฑ์น้ำมันออกเป็นช่วงตามช่วงอุณหภูมิของจุดเดือด ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.17

2.5.2 กระบวนการขจัดแอสฟัลต์ด้วยโพรเพน (propane deasphating) จะใช้กับช่วงผลิตภัณฑ์กันหอกลั่นแบบสุญญากาศ ซึ่งจะพบสารประกอบพวกแอสฟัลต์และเรซินอยู่ กระบวนการแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.18 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการนี้ เรียกว่า น้ำมันที่ปราศจากแอสฟัลต์ (deasphating oils) ซึ่งจะใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานความหนืดสูง โดยผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ เช่นเดียวกับน้ำมันหล่อลื่นช่วงอื่น ๆ

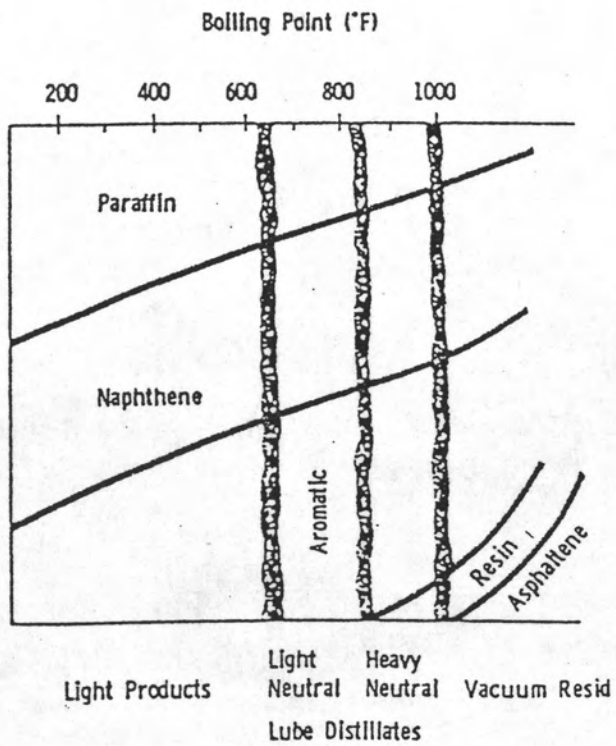
2.5.3 กระบวนการสกัดด้วย furfural (furfural extraction) เป็นกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยที่จะใช้ทำละลาย furfural แยกส่วนประกอบของน้ำมันเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบที่ต้องการ หรือ ราฟฟินेट (raffinate) กับส่วนประกอบที่ไม่ต้องการหรือ เอ็กซ์แทรก (extract) ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบเอโรมาติก แสดงได้ด้วยรูปที่ 2.19



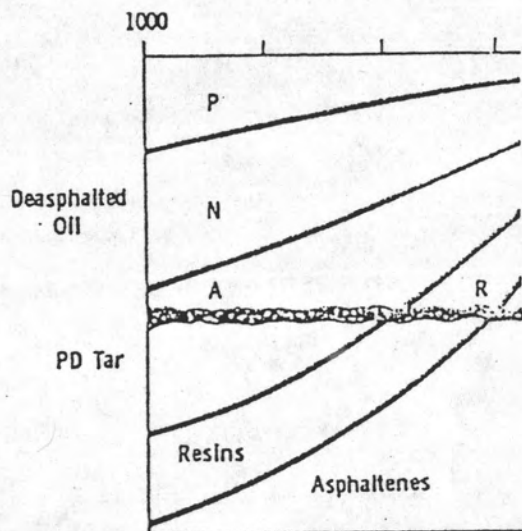
รูปที่ 2.15 กระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตและการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน  
ในบริสุทธิ (20)



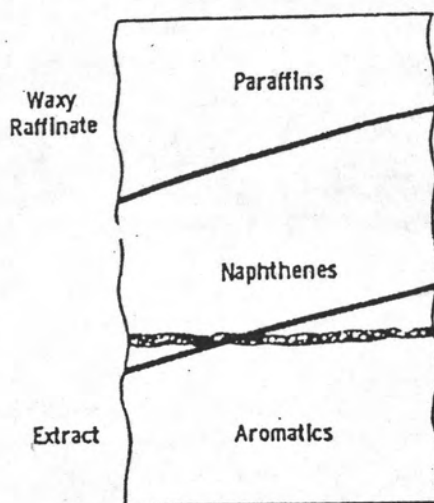
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะขององค์ประกอบของน้ำมันดิบ ((20))



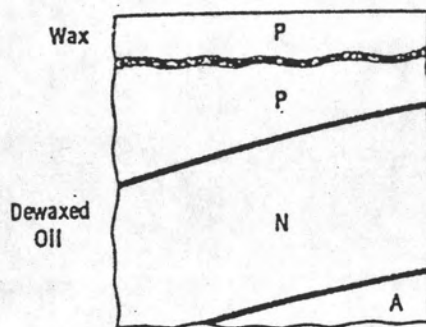
รูปที่ 2.17 กระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ (20)



รูปที่ 2.18 กระบวนการขจัดแอสฟัลต์ด้วยโพรเพน (20)



รูปที่ 2.19 กระบวนการสกัดด้วย furfural (20)



รูปที่ 2.20 กระบวนการแยกไขด้วย MEK (20)

2.5.4 กระบวนการแยกไขด้วย MEK (MEK dewaxing) เป็นกระบวนการแยกไขจากน้ำมันราฟไฟเนตของกระบวนการสกัดด้วย furfural ด้วยตัวทำละลายพวกคีโตน เพื่อให้จุดไหลเทของน้ำมันลดต่ำลง ผลพลอยได้จะเป็นไขที่สามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ ต่อไป กระบวนการแสดงด้วยรูปที่ 2.20

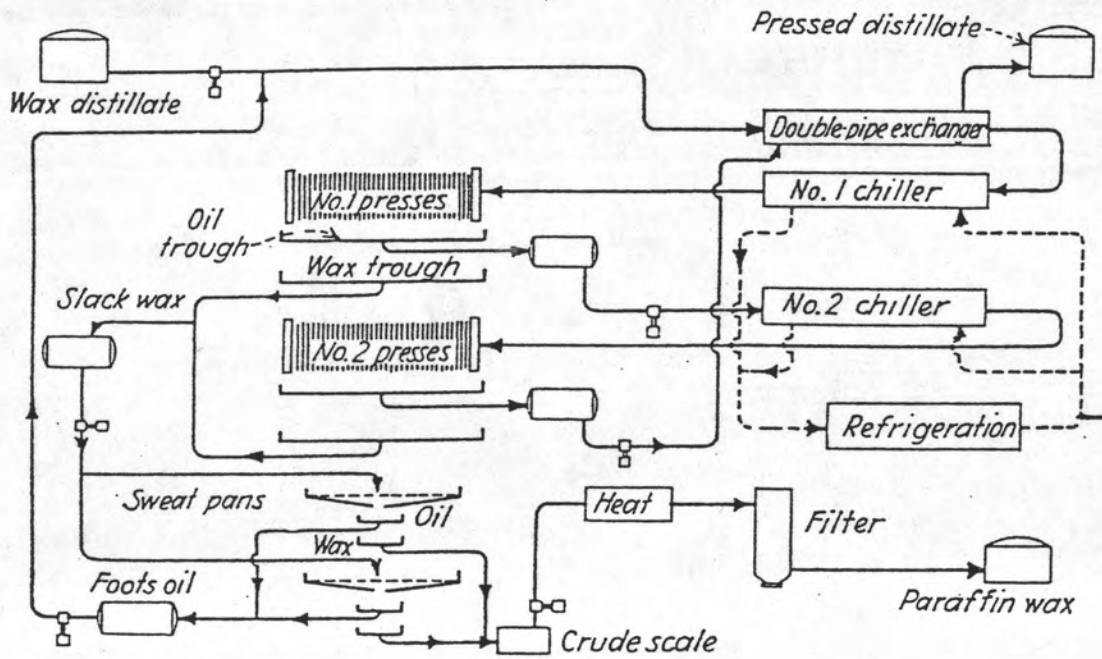
2.5.5 กระบวนการพอกด้วยดิน (clay treated) เป็นการปรับปรุงคุณภาพเรื่องสีของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน

## 2.6 กระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย (Solvent dewaxing process)

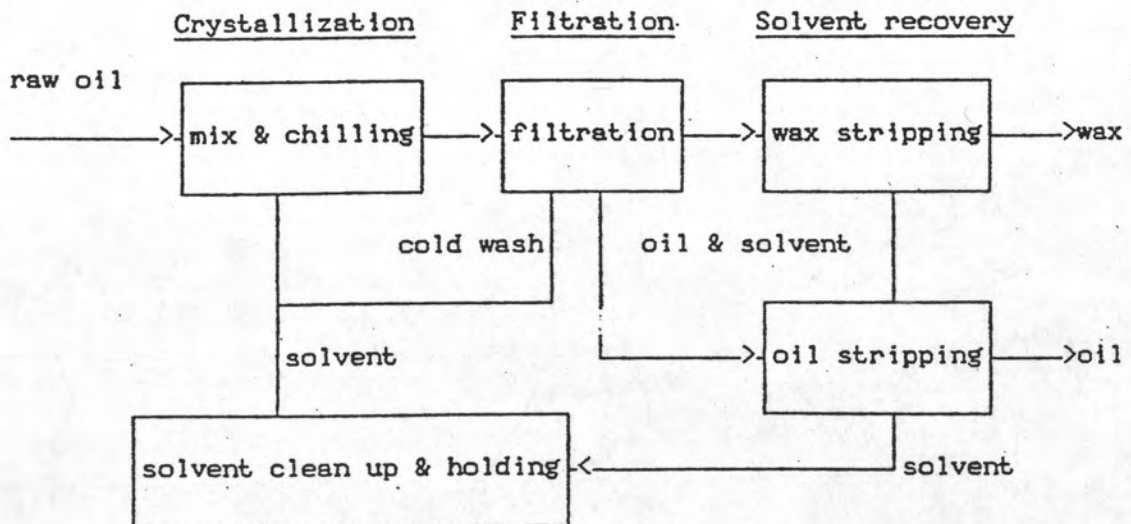
เมื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่กลั่นได้สามารถทำหน้าที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำนั้นน้ำมันจะต้องไม่แข็งตัว การแยกไขเป็นกระบวนการกำจัดสารประกอบพาราฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยจะเป็นไฮพาราฟินซึ่งประกอบด้วยนอร์มอลพาราฟินเป็นส่วนใหญ่ หรือไฮโมโครคริสตัลไลน์ที่ประกอบด้วยนอร์มอลพาราฟิน และไฮพาราฟิน ออกจากน้ำมันที่กลั่นได้ ทั้งนี้เพราะไขที่มีในน้ำมันจากการกลั่นน้ำมันดิบจะมีผลต่อการขนถ่ายน้ำมันและการนำน้ำมันไปใช้งาน เพราะไขจะตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำทำให้น้ำมันเกิดการแข็งตัว โดยเฉพาะไขที่ปนอยู่ในน้ำมันดิสทิลเลททั้งชนิดเบาและหนัก (ซึ่งมีปริมาณไขที่ปนอยู่สูงถึง 40-50 %) การแยกไขไม่สามารถทำได้โดยการกลั่น เนื่องจากจุดเดือดของไขและน้ำมันอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งเมื่อแยกไขออกจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีจุดไหลเทต่ำลง

การแยกไขออกจากน้ำมันมีกระบวนการที่ใช้ต่าง ๆ กัน ที่เก่าแก่ที่สุดก็คือ กระบวนการ pressing และ sweating (2, 21) ซึ่งเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิของน้ำมันลงโดยตรงจนถึงอุณหภูมิจุดไหลเทที่ต้องการแล้วกรองแยกไขออกในขณะที่เป็นด้วยการกรองผ่านเครื่องกรองแบบอัดจะได้ไขที่มีน้ำมันปนอยู่ประมาณ 7-40 % ออกมาเรียกว่า slack wax ซึ่งเมื่อนำไปหลอมและทำให้เย็นตัวลงใหม่จะได้ไขที่มีปริมาณน้ำมันปนอยู่น้อยลง เรียกกระบวนการข้างหลังนี้ว่า กระบวนการ sweating กระบวนการแยกไขแบบนี้เหมาะสำหรับแยกไฮพาราฟินที่พบในน้ำมันดิสทิลเลทชนิดเบา แต่ข้อเสียของกระบวนการ คือ

- เหมาะสำหรับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ ๆ หรือเป็นพวกน้ำมันเบา (light oils) ซึ่งมีไฮพาราฟินปนอยู่เท่านั้น
- การแยกไขในน้ำมันที่มีความหนืดสูงการกรองจะทำได้ลำบาก



รูปที่ 2.21 กระบวนการ pressing และ sweating (6)



รูปที่ 2.22 กระบวนการแยกไขโดยใช้ตัวทำละลาย (22)



- ไม่สามารถใช้กับน้ำที่มีผลึกของไขแบบไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline waxes) ที่พบมากในพวกน้ำมันหนัก (heavy oils) หรือน้ำมันก้นหอ (reduced crude)
  - เป็นกระบวนการไม่ต่อเนื่องทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากในการทำให้ไขหลอมเหลว สลับกับการทำให้แข็งตัว
  - ใช้จำนวนผู้ควบคุมกระบวนการมาก
- กระบวนการแยกไขที่นิยมใช้มากในปัจจุบันเป็นกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย (22, 23, 24) ซึ่งจะใช้ตัวทำละลายเข้ามาช่วยในการแยกไขและช่วยลดความหนืดของน้ำมันลง สามารถใช้กับน้ำมันหนักที่มีความหนืดและปริมาณไขปนอยู่สูงได้ ทำให้น้ำมันที่ผ่านการแยกไขแล้วมี จุดไหลเทต่ำลง และมีคุณภาพดีขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคุณภาพดีได้ ขั้นตอนของกระบวนการนี้ แบ่งออกได้เป็น
- ทำให้น้ำมันที่มีไขปนอยู่ เจือจาง โดยเติมตัวทำละลายลงไปแล้วทำให้ของผลิตเย็นลง ไขจะตกผลึกออกมา (crystallization)
  - กรองแยกผลึกของไขออกจากของผสม (filtration) จะได้ก้อนไข (wax cake) และของเหลวที่ผ่านการกรอง (filtrate)
  - แยกตัวทำละลายออกจากก้อนไข และ filtrate เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ (solvent recovery)
- กระบวนการนี้สามารถเขียนเป็นแผนภูมิแบบง่าย ๆ ได้ดังรูปที่ 2.22
- ตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นตัวทำให้ไขตกผลึก และทำให้น้ำมันเจือจาง หรือลดความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิตกผลึก ทำให้กรองได้ง่าย ดังนั้นตัวทำละลายที่จะใช้ควรมีสมบัติดังนี้
- ละลายน้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิของการแยกไข
  - ความสามารถละลายไขต่ำ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้อุณหภูมิในการแยกไข ได้สูงเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีจุดไหลเทตามต้องการ ทำให้ประหยัดพลังงานในการทำความเย็น
  - ใช้แยกไขได้ทั้งประเภทไขพาราฟินและไขไมโครคริสตัลไลน์
  - มีจุดเดือดต่ำง่ายต่อการกลั่นแยกจากน้ำมัน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
  - มีสมบัติในการเลือกละลาย (selectivity) เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการต่ำ
- ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันต่ำ และการกรองเป็นไปอย่างง่ายขั้น
- มีราคาถูก ไม่กัดกร่อน คงทนต่ออุณหภูมิ และไม่ใช่อันตราย
- ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในกระบวนการแยกไข สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

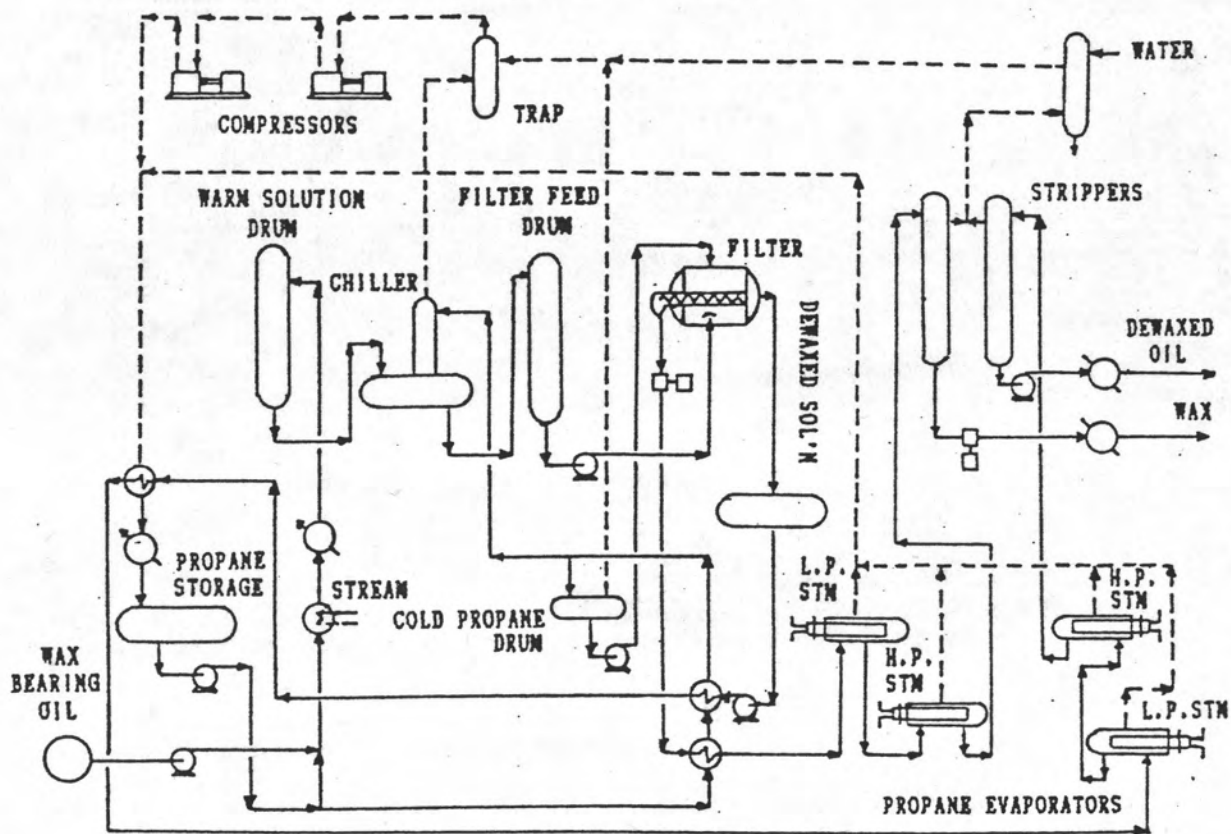
(1) ตัวทำละลายเดี่ยว (single solvent) ตัวทำละลายที่ใช้กันมากคือ โพรเพน (propane) ดังกระบวนการแยกไขด้วยโพรเพน (propane dewaxing process) ในรูปที่ 2.23 โดยน้ำมันที่มีไขปนอยู่จะถูกผสมกับโพรเพนเหลว และละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นก็จะลดอุณหภูมิและความดันลงด้วยการปล่อยให้โพรเพนบางส่วนระเหยกกลายเป็นไอจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ไขจะตกผลึกออกมาและกรองแยกผลึกของไข ออก ข้อดีของวิธีนี้คือราคาโพรเพนค่อนข้างถูก และเป็นตัวทำละลายและตัวทำความเย็นทำให้ประหยัดพลังงานและอุปกรณ์เกี่ยวกับระบบทำความเย็น นอกจากนี้โพรเพนยังช่วยลดความหนืดของน้ำมันได้ดี ทำให้อัตราการกรองสูงและใช้ได้น้ำมันแทบทุกประเภท แต่ก็มีข้อเสียคือ อุณหภูมิในการกรองและจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกไขแล้ว (dewaxed oils) มีค่าแตกต่างกันมาก และกระบวนการทำภายใต้ความดัน ตลอดจนการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิของของผสม โดยการระเหยกกลายเป็นไอของโพรเพนทำได้ยาก

(2) ตัวทำละลายผสม (mixed solvent) ประกอบด้วยตัวทำละลายที่ทำให้ ไขตกผลึก (anti-solvent) และตัวทำละลายที่ละลายน้ำมัน (pro-solvent) ซึ่งการใช้ ตัวทำละลายผสมจะมีข้อดีกว่าการใช้ตัวทำละลายเดี่ยว โดยที่สามารถผลิตน้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำกว่า เมื่อใช้อุณหภูมิกการแยกไข เท่ากันและใช้ปริมาณของตัวทำละลายน้อยกว่า อีกทั้งสามารถปรับอัตรา- ส่วนของตัวทำละลายที่ทำให้ ไขตกผลึกกับตัวทำละลายที่ละลายน้ำมันในตัวทำละลายผสมให้เหมาะสม กับน้ำมันแต่ละชนิดทำให้สามารถใช้ตัวทำละลายผสมในการตกผลึกแยกไขนี้ เป็นได้กว้างขึ้น สามารถ แบ่งประเภทตัวทำละลายผสมออกเป็นตัวทำละลายผสมของพวก chlorinated hydrocarbon และตัวทำละลายผสมพวกคีโตน

ตัวทำละลายผสมของพวก chlorinated hydrocarbons ที่นิยมใช้ คือ

- เอธิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) ผสมกับเบนซีน (benzene) ใช้ใน Barisol process โดย ตัวทำละลายผสมนี้มีความถ่วงจำเพาะสูง เมื่อผสมกับน้ำมันที่มีไขปนอยู่แล้วทำให้เป็น ไขจะตกผลึก ออกมาเพราะความถ่วงจำเพาะของ ไขกับของผสมของตัวทำละลายและน้ำมันมีค่าต่างกันมาก ทำให้ สามารถแยกออกจากกันโดยการเหวี่ยงสลัด (centrifugation)

- ไดคลอโรอีเทน (dichloroethane) ผสมกับเมทิลีนคลอไรด์ (methylene chloride) ใช้ใน Di-Me process ไดคลอโรอีเทนจะเป็นตัวทำให้ ไขตกผลึก ส่วนเมทิลีน- คลอไรด์เป็นตัวทำละลายน้ำมัน ดังนั้นเมื่อผสมน้ำมันที่มีไขปนอยู่กับตัวทำละลายผสมนี้แล้วทำให้ ไขจะตกผลึกออกมาและสามารถแยกออกได้โดยการกรอง



รูปที่ 2.23 กระบวนการแยกไขด้วยโพรเพน (propane dewaxing) (25)

ตัวทำละลายผสมของพวกคีโตนใช้ใน Ketone dewaxing process ซึ่งกระบวนการนี้เมื่อผสมตัวทำละลายกับน้ำมันที่มีไขปนอยู่แล้วทำให้เย็น ไขจะตกผลึกและผลึกของไขที่ได้มักจะมีขนาดใหญ่ทำให้กรองได้ง่าย ดังนั้นมักจะกรองโดยใช้ระบบสุญญากาศ (vacuum filtration) คีโตนเป็นตัวทำละลายที่ละลายไขและน้ำมันได้น้อย แต่ให้ไขตกผลึกได้ดี ดังนั้นจึงต้องเติมสารบางตัวลงไปเพื่อละลายน้ำมัน คีโตนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะละลายไขได้น้อยกว่าพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่จะให้อัตราการกรองสูงกว่า ตัวทำละลายผสมของพวกคีโตนที่นิยมใช้คือ

- เมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ผสมกับโทลูอีน (toluene) หรือเบนซีน (benzene) ซึ่งเป็นตัวทำละลายผสมที่นิยมใช้แพร่หลายที่สุดในกระบวนการแยกไขแบบ Dilchill โดยที่โทลูอีนหรือเบนซีนจะเป็นตัวทำละลายที่ละลายน้ำมัน โทลูอีนนิยมใช้มากกว่าเบนซีนเพราะราคาถูกกว่าและความเป็นพิษน้อยกว่า

- ตัวทำละลายผสมของพวกคีโตน เช่น MEK ผสมกับ methyl isobutyl ketone (MIBK) หรือ methyl n-propyl ketone (MPK)

สมบัติต่าง ๆ ของตัวทำละลายแต่ละชนิด จะเป็นปัจจัยที่บอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้งานของตัวทำละลายนั้น ๆ เช่น (26)

- สภาพมีขั้ว (polarity) ถ้าตัวทำละลายมีสภาพขั้วสูงจะเป็นตัวกลางในการตกผลึกไขได้ดี

- ความสามารถในการละลายไข (wax solubility) จะทำให้ทราบถึงอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกและกรองผลึก

- ความหนืด ทำให้ทราบว่าถึงปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้เพื่อทำให้การกรองผลึกของไขได้เร็วที่สุด

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties) ทำให้ทราบปริมาณความร้อนในการทำให้ของผสมเย็นลง รวมทั้งปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแยกตัวทำละลายออกจากไขและน้ำมัน

ในตารางที่ 2.6 MEK และ acetone จัดเป็นตัวทำละลายที่ทำให้ไขตกผลึก ส่วนตัวทำละลายอื่น ๆ จัดเป็นตัวทำละลายที่ละลายน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง acetone กับ MEK จะพบว่า acetone ช่วยให้ไขตกผลึกได้มากกว่า MEK แต่มีจุดเดือดต่ำหรือความดันไอสูง ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับความดันไอและการสูญเสียของตัวทำละลายมากในการใช้ในกระบวนการ ดังนั้นจึงนิยมใช้ MEK มากกว่า ส่วนเมื่อเปรียบเทียบโทลูอีนกับตัวทำละลายน้ำมันตัวอื่น ๆ พบว่าโทลูอีนมีสมบัติการละลายน้ำมันได้มากที่สุด มีจุดเดือดสูง หรือความดันไอต่ำ อีกทั้งมีราคาที่ถูกกว่า



ตารางที่ 2.6 สมบัติต่าง ๆ ของตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการแยกไซ (26)

SOLVENT PROPERTIES									
Solvent	(a)		(b)	(c)			(d)		
	Polarity			Wax solubility	Viscosity			Thermal	
	Dipole moment	Dielectric constant	at 20 °C	Dynamic cp at 0 °C	Kinematic cst at 0 °C	Density 20 °C	Average specific heat Cal/g.°C	Latent heat of vaporization Cal/g	Boiling point °C
		20 °C	g of 126 °F m.p. wax/100 ml solvent						
MEK	3.18	18.5	0.25	0.40	0.50	0.80	0.55	106.0	79.6
Acetone	2.89	20.7	0.05	0.32	0.40	0.79	0.52	124.6	56.1
MIBK	2.70	13.1	0.90	0.60	0.75	0.80	0.46	86.5	115.9
Toluene	0.36	2.4	13.00	0.61	0.70	0.87	0.41	98.5	110.6
Methylene chloride	1.50	9.08	1.60	0.66	0.50	1.32	0.28	78.7	39.8
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	1.23	4.5	7.00	0.31	0.42	0.74	0.51	77.0	55.0

ตัวทำละลายอื่น ๆ ถึงแม้ว่าค่าการละลายไขจะสูงแต่ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ จะละลายไขได้น้อย ดังนั้นจึงนิยมใช้โทลูอีนกับ MEK เป็นตัวทำละลายผสม

ในการเลือกอัตราส่วนในของ MEK กับโทลูอีนในตัวทำละลายผสมที่ใช้แยกไขจากน้ำมันนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับของอัตราส่วนดังกล่าวต่อการใช้งาน ดังนี้ (27)

1. การผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมัน (oil miscibility) ตัวทำละลายที่ใช้แยกไขจะต้องสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันที่อุณหภูมิแยกไขและอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการแยกไข

2. สมบัติการละลายไข (wax solubility) ตัวทำละลายจะต้องละลายไขได้น้อย เพื่อสามารถได้น้ำมันที่มีจุดไหลเทตามต้องการโดยทำการตกผลึกไขที่อุณหภูมิต่ำมาก

3. อัตราการกรอง (filter rate) การแยกไขออกจากของผสมของน้ำมันกับตัวทำละลายโดยการกรองนั้นอัตราการกรองที่สูงเป็นสิ่งจำเป็นในการกรอง

ในตารางที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนของ MEK กับโทลูอีนที่มีผลต่อการใช้งานในการแยกไขออกจากน้ำมัน จะพบว่าสมบัติในด้านการละลายไขและอัตราการกรองจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ MEK ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำสุดในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ MEK เพิ่มขึ้น ในกระบวนการแยกไขน้ำมันด้วยตัวทำละลายไม่สามารถจะทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดนี้ ดังนั้นอุณหภูมิต่ำสุดในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันนี้จะเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาอัตราส่วนของ MEK กับโทลูอีนที่ใช้ในกระบวนการ

นอกจากปัจจัยในเรื่องของตัวทำละลายแล้ว (28) ประสิทธิภาพของกระบวนการยังขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของผลึกไข (wax crystal) ตลอดจนปริมาณของไขที่ตกผลึกออกมา เพราะปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการกรอง คือ ผลึกขนาดใหญ่และผลึกที่มีรูปร่างแบบเบลท จะกรองได้ง่ายและให้อัตราการกรองมากกว่าผลึกขนาดเล็กและผลึกรูปเข็ม เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะผลึกรูปเข็มและผลึกขนาดเล็กจะดูดซับน้ำมันไว้ในก้อนเล็กมากกว่า และยอมให้น้ำมันผ่านได้ยาก ส่วนปริมาณไขที่ตกผลึกแยกได้หรือปริมาณไขที่เหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านการกรองแยกไขแล้ว จะบอกให้ทราบถึงความสามารถของการแยกไขออกจากน้ำมัน

ขนาดและรูปร่างผลึกไขรวมทั้งปริมาณไขที่ตกผลึกขึ้นอยู่กับ

- ชนิดของน้ำมันหรือไขที่ปนอยู่ในน้ำมัน ถ้าเป็นไขพาราฟินจากน้ำมันเบา (light lube oil) จะได้ผลึกของไขที่มีขนาดใหญ่และดูดซับน้ำมันหรือของเหลวไว้น้อย ไขชนิดนี้เรียกว่า macrocrystalline wax ถ้าเป็นไขจากน้ำมันหนัก (heavy lube oil) จะได้ผลึกไขที่มีขนาดเล็กเกิดการจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายและจะดูดซับน้ำมันหรือของเหลวไว้มาก ไขชนิดนี้

ตารางที่ 2.7 อัตราส่วนของ MEK กับโทลูอีน ที่มีผลต่อการใช้งานในการแยกไขออกจากน้ำมัน (27)

Solvent	Temperature for Equal Wax Solubility	Relative Filter Rate	Dewaxing oil to 25 °F Pour pt.	
			Dewaxing Temp. °F	Miscibility Temp. °F
MPK	0	100	25	18
MEK/toluene ratios				
70/30	-4	100	21	68
65/35	-7	92	11	44
60/40	-10	82	0	21
55/45	-12.5	73	-11	5
50/50	-15	63	-21	-5

เรียกว่า microcrystalline wax

- อัตราการลดอุณหภูมิ (cooling rate) ของของผสม ถ้าอัตราการลดอุณหภูมิเร็วเกินไปจะเกิด shock chilling คือ ผลึกไขจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว มีขนาดเล็กและจับตัวเป็นก้อนใหญ่ ดูดซับของเหลวไว้มาก
- ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ และอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมัน ถ้าใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่พอเหมาะ จะทำให้ไซตกผลึกได้ดี และมีอัตราการกรองสูง
- อุณหภูมิที่ตกผลึกไข (crystallization temperature) ถ้าอุณหภูมิต่ำลง ไขจะตกผลึกมากขึ้น

#### 2.6.1 การปรับปรุงกระบวนการแยกไขจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย (23, 29)

สิ่งสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพกระบวนการแยกไข คือ เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่แยกไขแล้วและอัตราการกรอง โดยที่เปอร์เซ็นต์น้ำมันนี้จะใช้วัดความสามารถในการแยกน้ำมันกับผลึกไข ในขณะที่อัตราการกรองจะใช้วัดความเร็วของการทำงานของกระบวนการ ซึ่งทั้งสองสิ่งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด และลักษณะของผลึกไข ลักษณะของผลึกควรมีขนาดใหญ่มีผลึกขนาดเล็กปนอยู่น้อยหรือไม่มี และมีการรวมตัวกันแน่นทำให้มีน้ำมันตกค้างอยู่น้อย ใน Ketone dewaxing process ทั่ว ๆ ไปดังรูปที่ 2.24 การตกผลึกไขจะเกิดบริเวณผิวของ scraped surface exchanger อย่างช้า ๆ พร้อมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น และจะตกผลึกทั้งหมดบริเวณผิวของ scraped surface chillers ปัญหาของกระบวนการแยกไขลักษณะนี้ คือ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อเกิดผลึกของไขการที่ผิวของ exchanger กับ chiller ทำให้ต้องหยุดกระบวนการเป็นช่วง ๆ เช่น ทุก ๆ 24-48 ชั่วโมง ควบคู่กับการลดลงของการถ่ายเทความร้อน ทำให้การควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิทำได้ยาก และทำให้ผลึกไขที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีผลต่ออัตราการกรองลดลง และผลึกไขมีน้ำมันปนอยู่สูง

สำหรับ Dilchill dewaxing process ดังรูปที่ 2.25 นั้นเป็นการปรับปรุงกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลายคีโตน โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนโดยตรง (direct heat exchanger) ด้วยตัวทำละลายที่เย็นในสภาพที่มีแรงเฉือนสูง (sheared) ผลึกไขที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ มีการรวมตัวกันแน่น ทำให้การกรองทำได้ง่ายและได้เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันสูงขึ้น อีกทั้งการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิของของผสมทำได้ง่าย สามารถใช้อัตราการลดอุณหภูมิสูง ๆ ได้ ก้อนไขที่กรองได้ดูดซับของเหลวไว้น้อย และอุณหภูมิในการกรองกับจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกไขแล้วมีค่าต่างกันน้อย กระบวนการแยกไขแบบนี้จะสามารถลดปัญหาของการใช้ scraped



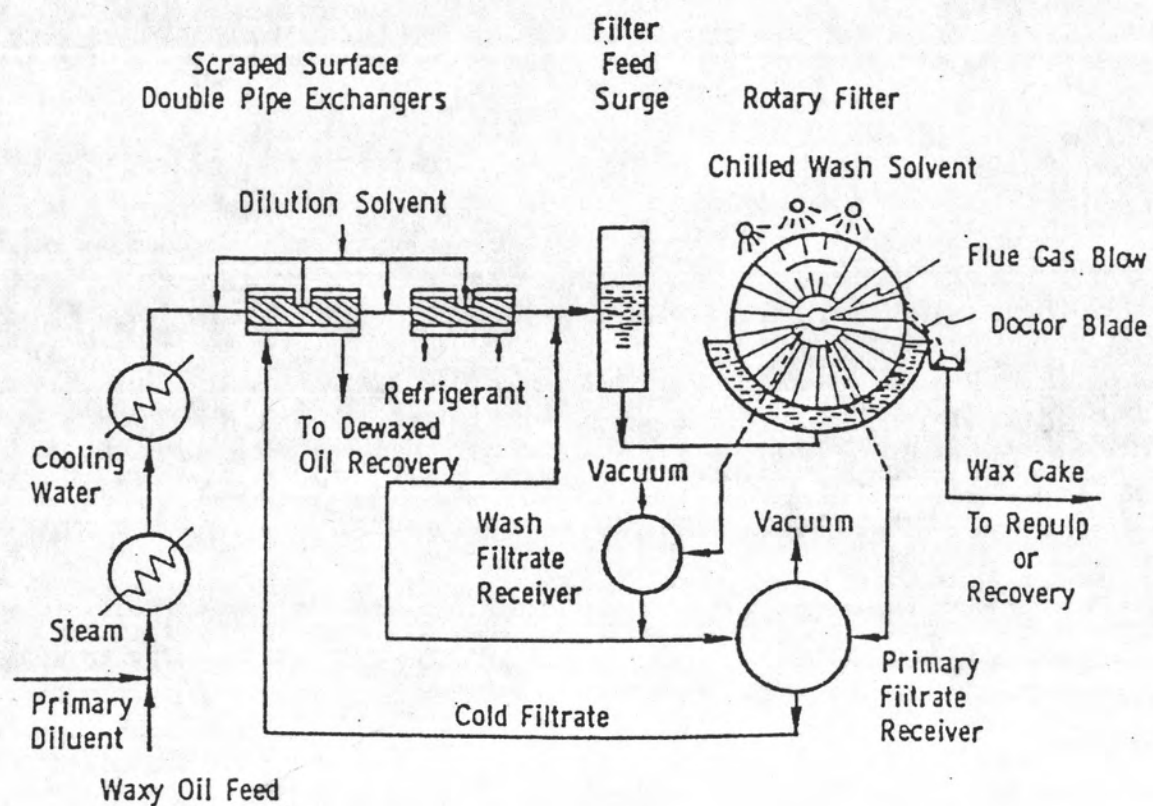


Figure 2.24 Ketone dewaxing process (23)

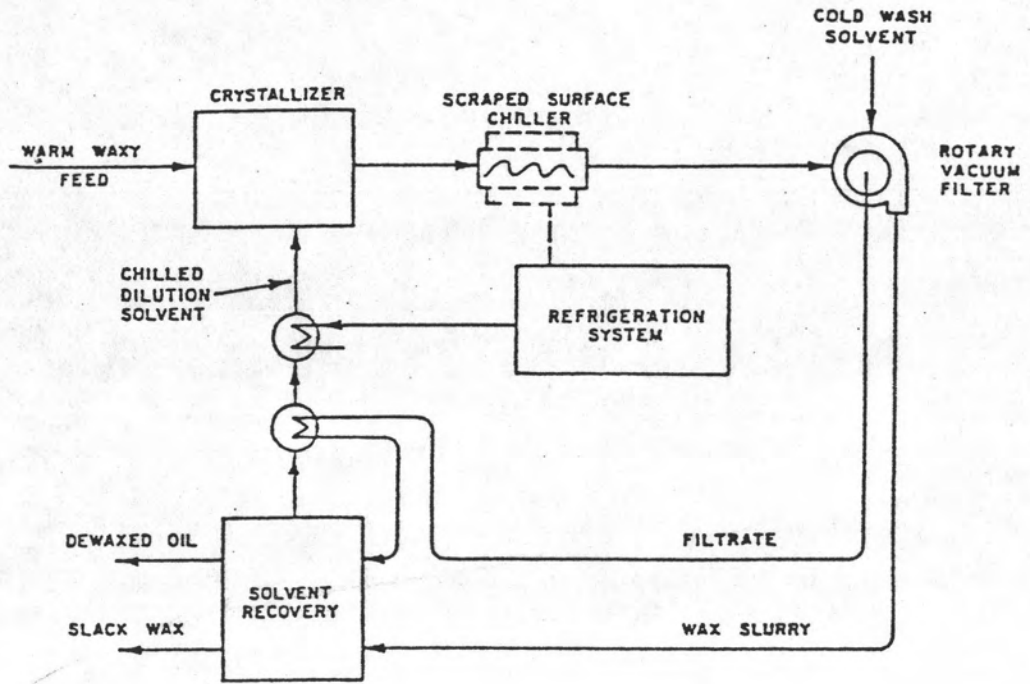


Figure 2.25 Dilchill dewaxing process (23)

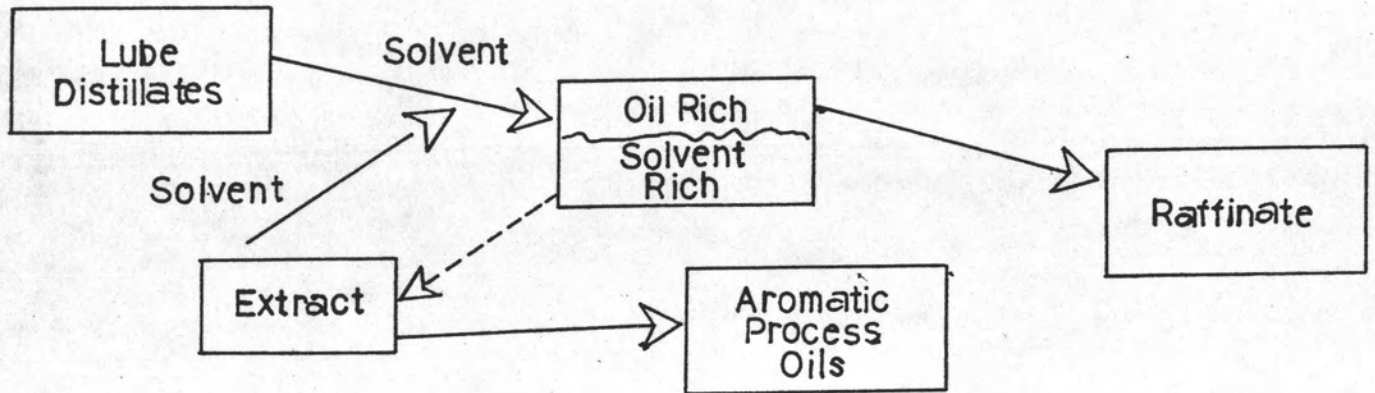
surface exchanger โดยที่ขนาดของ scraped surface chillers ที่ใช้เพื่อให้ผลึกไซ เกิดสมบูรณ์ขึ้นขึ้นอยู่กับจุดไหลเทของน้ำมันที่ต้องการ และอัตราส่วนของตัวทำละลายกับน้ำมันรวมทั้ง อุณหภูมิของตัวทำละลายที่ใช้ ซึ่งการใช้ scraped surface chillers ขนาดเล็กจะไม่มีผลต่อ การทำลายลักษณะความสม่ำเสมอของผลึกไซที่เกิดขึ้นในส่วนของเครื่องตกผลึก (crystallizer)

## 2.7 กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction process) (30)

จากอดีตการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะอาศัยการเลือกน้ำมันดิบที่เหมาะสมมากที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณสารที่ต้องการของน้ำมันหล่อลื่นที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันดิบ แต่จาก ความต้องการของน้ำมันหล่อลื่นคุณภาพดีมีมากขึ้น เพื่อตอบสนองการใช้งานของเครื่องยนต์ที่ทำงานหนัก ขึ้นในปัจจุบัน ทำให้การพิจารณาน้ำมันดิบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตน้ำมันจึงให้ความสนใจในการแยกสารที่ต้องการกับสารที่ไม่ต้องการในช่วงน้ำมัน- หล่อลื่นที่กลั่นได้ โดยที่สารที่ต้องการในที่นี่จะหมายถึงสารประกอบพาราฟินิก ซึ่งมีสมบัติการ หล่อลื่นที่ดี มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามอุณหภูมิน้อย หรือมีค่าครีพความหนืดสูง เสถียรต่อ ออกซิไดส์สูง มีสีสวย และอื่น ๆ สารประกอบพาราฟินิกจะประกอบด้วยสารประกอบไฮโดร- คาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นพาราฟินและแนฟทีน ส่วนสารที่ไม่ต้องการนั้นส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบแอโรแมติก ซึ่งมีสมบัติตรงกันข้ามกับพาราฟินิก

กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายนับเป็นกระบวนการที่สำคัญ และเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่าง กว้างขวางของผู้ผลิตน้ำมันในการใช้ปรับปรุงคุณภาพ และปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผลิตจาก น้ำมันดิบแหล่งต่าง ๆ การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นการกำจัดสารที่ไม่ต้องการโดยเฉพาะพาราฟิน และแอโรแมติกด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีครีพความหนืดสูงขึ้น สีสด ใสขึ้น มีคุณภาพทนต่อการออกซิไดส์ได้ดี และทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังช่วยลดลักษณะแนวโน้มการเกิดเขม่าในเนื่อน้ำมันรวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อลื่นของน้ำมันด้วย

ตัวทำละลายส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการสกัดแยกสารปิโตรเลียม (petroleum extraction process) มักจะเป็นตัวทำละลายที่หนักกว่าน้ำมัน และละลายสารที่ไม่ต้องการได้ ดี แต่ไม่ละลายหรือละลายน้ำมันได้น้อย ตัวทำละลายจะไปละลายสารที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมัน แล้วเกิดการแยกชั้นของของเหลวเป็นชั้นน้ำมัน (raffinate phase) และชั้นตัวทำละลายที่มี สารไม่ต้องการอยู่ (extract phase) ดังนั้นเมื่อแยกของเหลวในชั้นตัวทำละลายออกแล้วกลั่น แยกเอาตัวทำละลายที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำมันเล็กน้อยออกก็จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคุณภาพดี



รูปที่ 2.26 แผนภูมิอย่างง่าย ๆ ของกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย (20)

กระบวนการดังกล่าว สามารถแสดงในรูปของแผนภูมิอย่างง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.26

ในกระบวนการสกัดแยกสารด้วยตัวทำละลายที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน สิ่งที่ต้องการแยกสกัดหรือสิ่งเจือปนมีมากหรือน้อย และชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ การเลือกใช้ตัวทำละลายนั้นเมื่อพิจารณาในการเลือกดังนี้

- high selectivity มีค่าการเลือกละลายตัวถูกละลายชนิดที่ต้องการแยกออกสูง เช่น ละลายสิ่งเจือปนได้ดีแต่ไม่ละลายน้ำมัน
- good solvent power สามารถละลายตัวถูกละลายในปริมาณสูง ทำให้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันต่ำ
- high extraction temperature สามารถใช้อุณหภูมิสูงในการแยกสกัดได้ เพราะจะทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทมวลที่ดี
- easy recovery ตัวทำละลายสามารถแยกออกจากตัวถูกละลายได้ง่าย เช่น แยกออกโดยการกลั่นธรรมดา
- low vapor pressure ตัวทำละลายที่ใช้ควรมีความดันไอต่ำ เพื่อจะได้ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ทนความดันสูงนัก
- high density มีความหนาแน่นสูงเพื่อจะได้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมัน และตัวทำละลายได้เร็ว และดี
- no emulsification ไม่เกิดอิมัลชัน ทำให้เกิดการแยกชั้นของตัวทำละลายและน้ำมันได้ดี
- stability มีเสถียรภาพสูง ไม่เกิดการสลายตัวทางความร้อนและเคมี
- adaptable สามารถใช้ได้กับน้ำมันที่ต้องการแยกสกัดได้หลายชนิด
- available at resonable cost ราคาของตัวทำละลายไม่ควรสูงเกินไป
- non-corrosive มีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยหรือ ไม่กัดกร่อนเลย ทำให้เลือกโลหะในการสร้างเครื่องมือได้ง่ายและราคาถูก
- non-toxic ไม่มีความเป็นพิษหรือไม่ทำให้เกิดมลพิษ

2.7.1 ตัวทำละลายที่ใช้สกัดน้ำมันหล่อลื่น (Solvents for extraction of lubricating oils) (31)

- ซิลเพอร์ไดออกไซด์เหลว ปัจจุบันไม่นิยมใช้เนื่องจากความเป็นพิษ ทำให้เกิดปัญหาทางด้านความปลอดภัย และมีขีดจำกัดในการใช้ คือเหมาะสำหรับน้ำมันที่มีไซเพน

(waxy oil) ที่มีจุดไหลเทต่ำ ๆ เท่านั้น

- การแยกสกัดด้วยฟีนอล (phenol) ซึ่ง phenol เป็นตัวทำละลายที่ละลายพวกแอฟีน และแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนได้ดีมาก ทำให้ใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันที่ต่ำ แต่จากการที่ phenol สามารถละลายพวกไฮโดรคาร์บอนบางตัวได้นี้ ทำให้บางส่วนของน้ำมันถูกละลายด้วย ดังนั้นจึงต้องฉีดน้ำลงไปเพื่อควบคุมการละลายของไฮโดรคาร์บอนละลายอยู่ ทำให้ไฮโดรคาร์บอนบางตัวแยกตัวออกมาจากชั้นของส่วนสกัด (extract) ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอนละลายอยู่ เกิดเป็นชั้น phenol-raftinate ซึ่งถูกแยกออกและส่งกลับไปเข้าหน่วยแยกสกัดใหม่ นอกจากนี้ phenol ยังถูกกัดกร่อนรุนแรงและความเป็นพิษสูงทำให้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ต้องทนฤทธิ์กัดกร่อนได้ดี มีราคาแพง ดังนั้นปัจจุบันจึงไม่ค่อยนิยมใช้

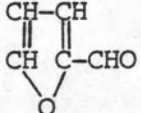
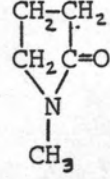
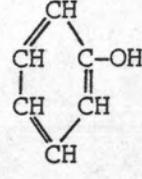
- การแยกสกัดด้วย MP ซึ่ง N-methyl-2-pyrrolidone (MP) เป็นตัวทำละลายที่มีค่าการเลือกสูง ใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันต่ำ ความเป็นพิษและการกัดกร่อนต่ำเหมาะสำหรับใช้กับน้ำมันพวกพาราฟิน หรือแอฟีน น้ำมันที่ได้หลังจากการสกัดแล้วจะมีคุณภาพสูง ข้อเสียคือ MP มีราคาแพง หาได้ยาก และยังไม่ค่อยแพร่หลาย ปัจจุบันนี้ได้มีการปรับปรุงกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายอื่น ๆ เช่น phenol ให้เป็นกระบวนการที่ใช้ MP แทน เพื่อให้ผลที่ดีกว่า และเป็นที่ยอมรับหลาย

- การแยกสกัดด้วย furfural ซึ่ง furfural เป็นตัวทำละลายที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ความสามารถในการละลายพวกไฮโดรคาร์บอนค่อนข้างสูง แต่ต่ำกว่า phenol และ MP ดังนั้นอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันจึงสูงกว่ากรณีที่ใช้ phenol และ MP furfural เป็นสารที่่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ดังนั้นในกระบวนการจึงมักจะมีอุปกรณ์กำจัดอากาศ (deaerator) เพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศเข้าไปออกซิไดส์ furfural สลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสูญเสียตัวทำละลายในกระบวนการมากกว่าใช้ตัวทำละลายอื่น

ตารางที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้าง และสมบัติบางประการของตัวทำละลาย furfural MP และ phenol ข้อมูลจากตารางจะแสดงความเหมาะสมทางด้านราคาและการใช้งานของตัวทำละลายแต่ละชนิด โดยที่ตัวทำละลาย furfural จะมีความเหมาะสมในเรื่องจุดเดือดและค่าการเลือกละลายที่ดีกว่า ส่วนตารางที่ 2.9 จะแสดงถึงความเหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการสกัดแยกสาร จากตารางจะพบว่าตัวทำละลาย furfural จะใช้ได้กับน้ำมันต่าง ๆ ได้กว้างกว่า เกิดอิมัลชันน้อยทำให้แยกออกจากกันเป็นได้ง่าย และให้ผลผลิตน้ำมันที่สกัดแล้วมากกว่า

ถึงแม้ว่าตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีข้อดีในการใช้งานก็ตาม แต่พบว่าตัวทำละลาย furfural จะถูกเลือกใช้ในส่วนต่าง ๆ ของโลก ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นพิษน้อย มีราคาถูก

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบโครงสร้าง และสมบัติบางประการของตัวทำละลาย  
furfural , MP และ Phenol (31)

Characteristic	Furfural	MP	Phenol
Molecular Structure			
Relative cost, 1980	1.0	2.1	0.77
Density, 25/4 C	1.15	1.03	1.07
Boiling point, F	323	395	359
Melting point, F	-34	-12	106
$\Delta H$ Vap at 760 mm Hg			
Btu/lb	194	212	206
Btu/gal	1625	1537	1547
Viscosity, cp at 140 F	0.95	1.02	2.56
Specific heat, Btu/lb at 250 F	0.42	0.42	0.56
Selectivity	Excellent	Very good	Good
Solvent power	Good	Excellent	Very Good
Stability	Good	Excellent	Very Good
Biodegradability	Good	Good	Good
Toxicity	Moderate	Low	High

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบสมบัติของ furfural , MP และ Phenol  
ในกระบวนการสกัดแยกสาร (31)

Characteristic	Furfural	MP	Phenol
Adaptability	Excellent	Very good	Good
Emulsibility	Low	Moderate	High
Solvent-to-oil ratio	Moderate	Very low	Low
Extraction temperature	Moderate	Low	Intermediate
Refined oil yield	Excellent	Very good	Good
Product color	Very good	Excellent	Good
Corrosiveness	Intermediate	Low	Moderate
Energy cost	Moderate	Low	Intermediate
Investment cost	Intermediate	Low	Moderate
Maintenance cost	Low	Low	Moderate
Operating cost	Intermediate	Low	Moderate



มีความเหมาะสมในการใช้งาน มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง สามารถใช้กับน้ำมันต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทพาราฟินิกหรือแนฟทิก รวมทั้งมีค่าการเลือกละลายสูง

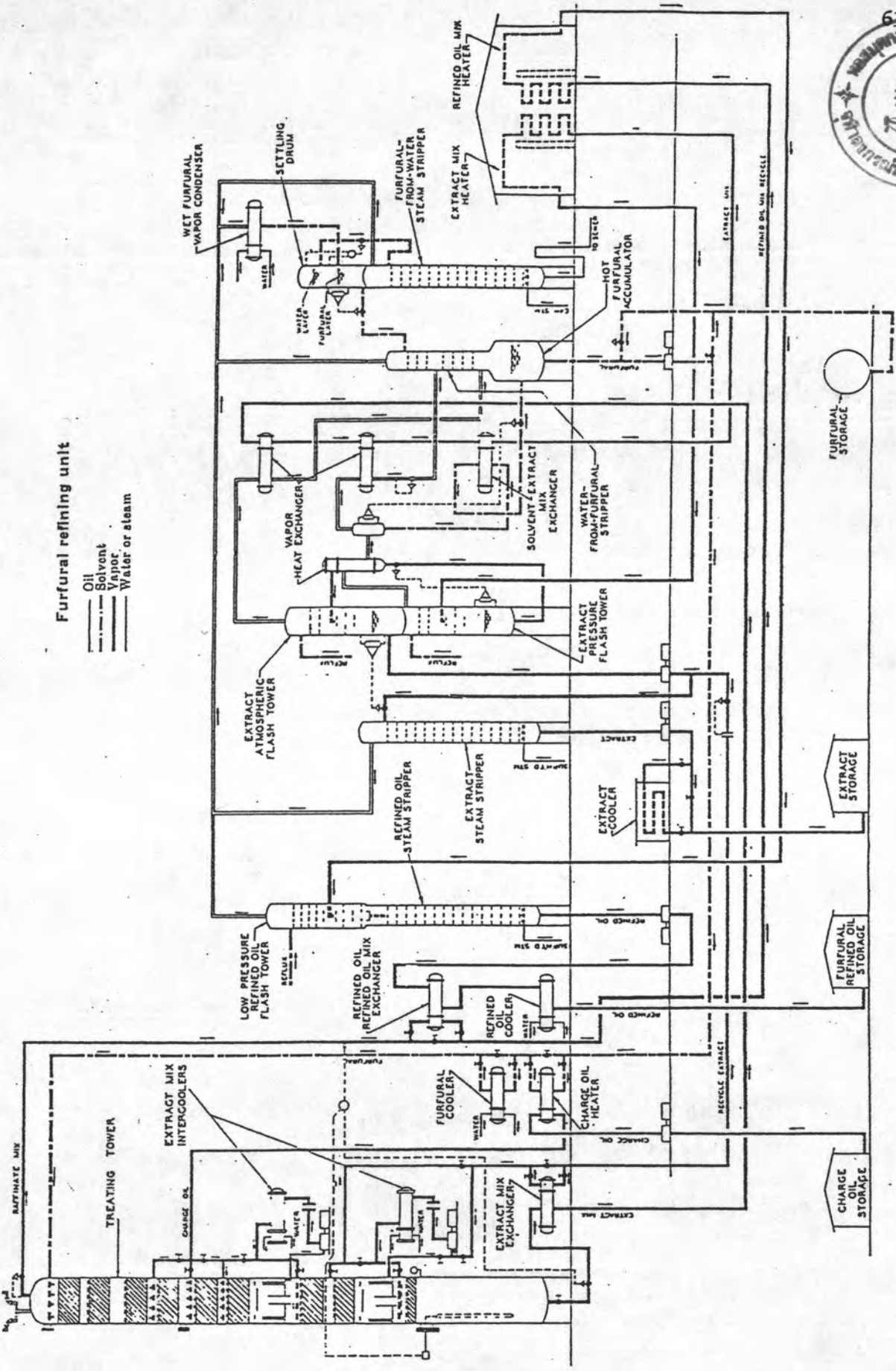
กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย furfural ดังรูปที่ 2.25 น้ำมันจะถูกนำเข้าสู่หอสกัด counter-current แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความหนืดของน้ำมัน ถ้าน้ำมันมีความหนืดสูงอุณหภูมิที่ใช้ก็จะสูงเช่นกัน หอสกัดโดยทั่วไปจะเป็นแบบหอยจากกระบอกสูงที่ใส่แพคกิ้ง (packing) ช้างใน หรือเป็นแบบ rotating disc contractor (RDC) โดยที่อุณหภูมิภายในหอสกัดจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากส่วนบนของหอถึงก้นหอมีอุณหภูมิต่างกันอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 °ซ (หรือ 60 ถึง 90 °ฟ) อุณหภูมิที่ส่วนบนของหอจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำมันกับตัวทำละลายผสมเป็นเนื้อเดียว (miscible temperature) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 105 ถึง 150 °ซ (หรือ 220 ถึง 300 °ฟ) ในการสกัดจะใช้น้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง (continous phase) ส่วน furfural จะเป็นเฟสที่จะถูกกระจายในน้ำมัน (dispersed phase) เคลื่อนที่ผ่านน้ำมันจากส่วนบนของหอสกัดไปสู่ก้นหอโดยอาศัยความแตกต่างความถ่วงจำเพาะ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันจะอยู่ในช่วงระหว่าง 2 ต่อ 1 สำหรับน้ำมันเบา ถึง 4.5 ต่อ 1 สำหรับน้ำมันหนัก

furfural จะถูกแยกออกจากชั้นน้ำมัน และชั้นตัวทำละลายโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam stripping) โดยอาศัยหลักที่ว่า furfural จะเกิดเป็นสารผสมจุดเดือดคงที่ (azeotrope) กับน้ำเมื่อมี furfural อยู่ 34% โดยน้ำหนักในสารผสม สารผสมจุดเดือดคงที่ดังกล่าวเมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้องจะแยกเป็นของเหลวสองชั้น ชั้นแรกเป็นชั้นที่มี furfural อยู่มากถึง 96% ซึ่งจะถูกนำกลับไปยังหอสกัดในรูปรีฟลักซ์ (reflux) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ส่วนชั้นที่เหลือ ซึ่งมี furfural อยู่เพียง 8% และส่วนใหญ่เป็นน้ำนั้นจะถูกนำไปกลั่นด้วยไอน้ำ และแยกอีกครั้งในหอแยก ก็จะได้ furfural บริสุทธิ์ที่นำกลับไปเก็บไว้ในถังเก็บตัวทำละลายเพื่อใช้งานต่อไป

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย furfural ได้แก่

- อัตราส่วนระหว่าง furfural กับน้ำ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการควบคุมคุณภาพและปริมาณของน้ำมันที่เหลือจากการสกัด
- อุณหภูมิการสกัด จะใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ให้น้ำมันที่มีคุณภาพตามต้องการและให้ผลผลิตมากที่สุด
- กระบวนการที่ใช้

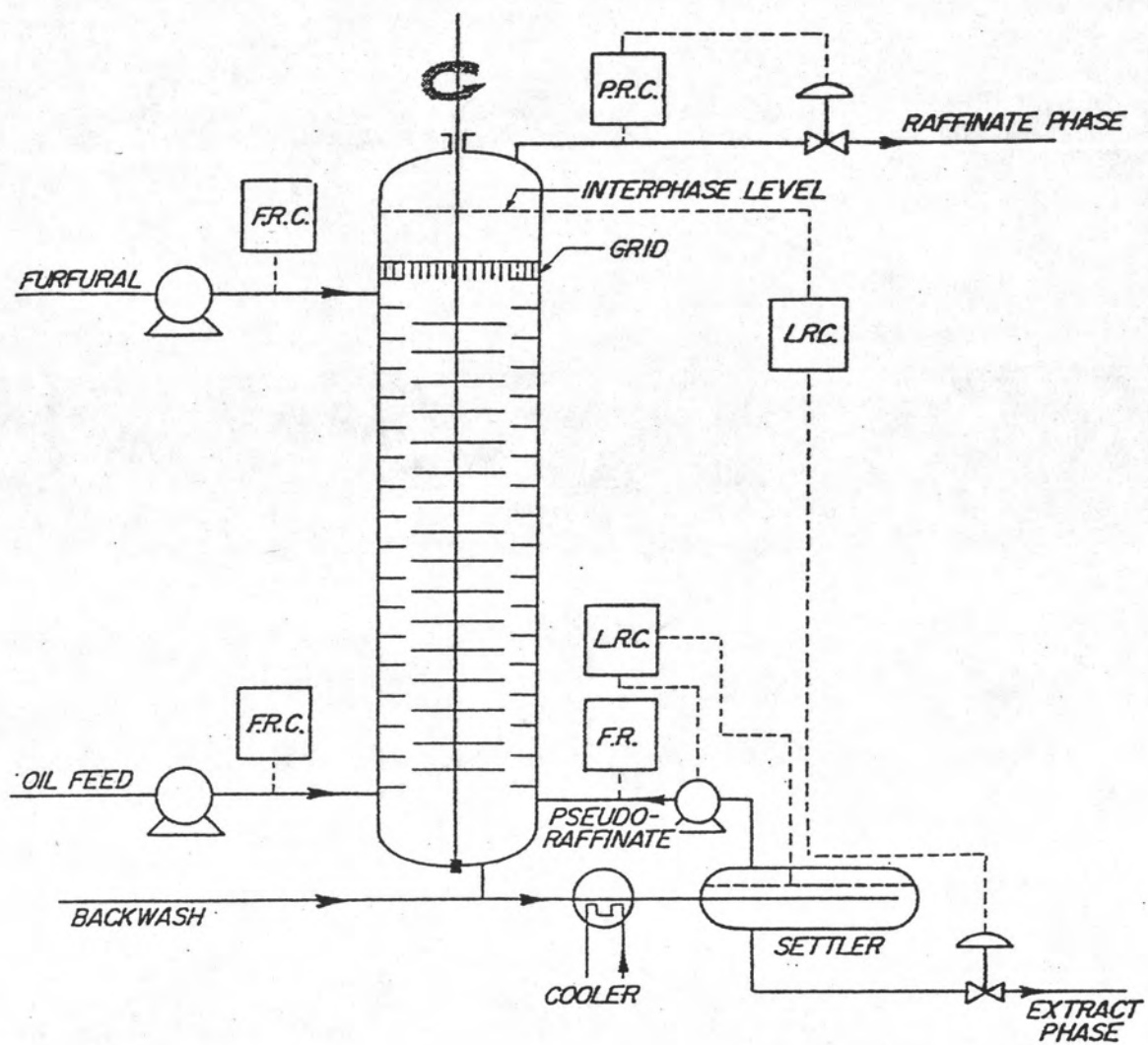
ตัวแปรเกี่ยวกับปริมาณ furfural ที่ใช้กับอุณหภูมิการสกัด จะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ



Furfural refining unit

- Oil
- Solvent
- Vapor
- Water or steam

รูปที่ 2.27 กระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย furfural (30)



รูปที่ 2.28 ลักษณะภายในของหอสกัดแบบ RDC (33)

สามารถผลิตน้ำมันคุณภาพเดียวกัน โดยการ ใช้ปริมาณตัวทำละลายสูงและอุณหภูมิต่ำหรือ ใช้ปริมาณตัวทำละลายต่ำ และอุณหภูมิสูงก็ได้

### 2.7.2 หอสกัดแบบ Rotating disc contactor (RDC) (33)

ในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายนั้น ตัวทำละลายและน้ำมันจะถูกป้อนเข้าสู่หอสกัดบริเวณส่วนบนและกันหอตตามลำดับ ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดมีการเคลื่อนที่สวนทางกัน และเกิดสัมผัสกันในขณะเคลื่อนที่ ของเหลวทั้งสองจะละลายเข้าด้วยกันเป็นบางส่วน สิ่งที่สำคัญในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมีดังนี้

- ก. น้ำมันจะต้องเกิดการสัมผัสกับตัวทำละลาย ได้สมบูรณ์
- ข. น้ำมันและตัวทำละลายจะต้องสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควร ก่อนที่เฟสทั้งสองจะแยกออกจากกัน

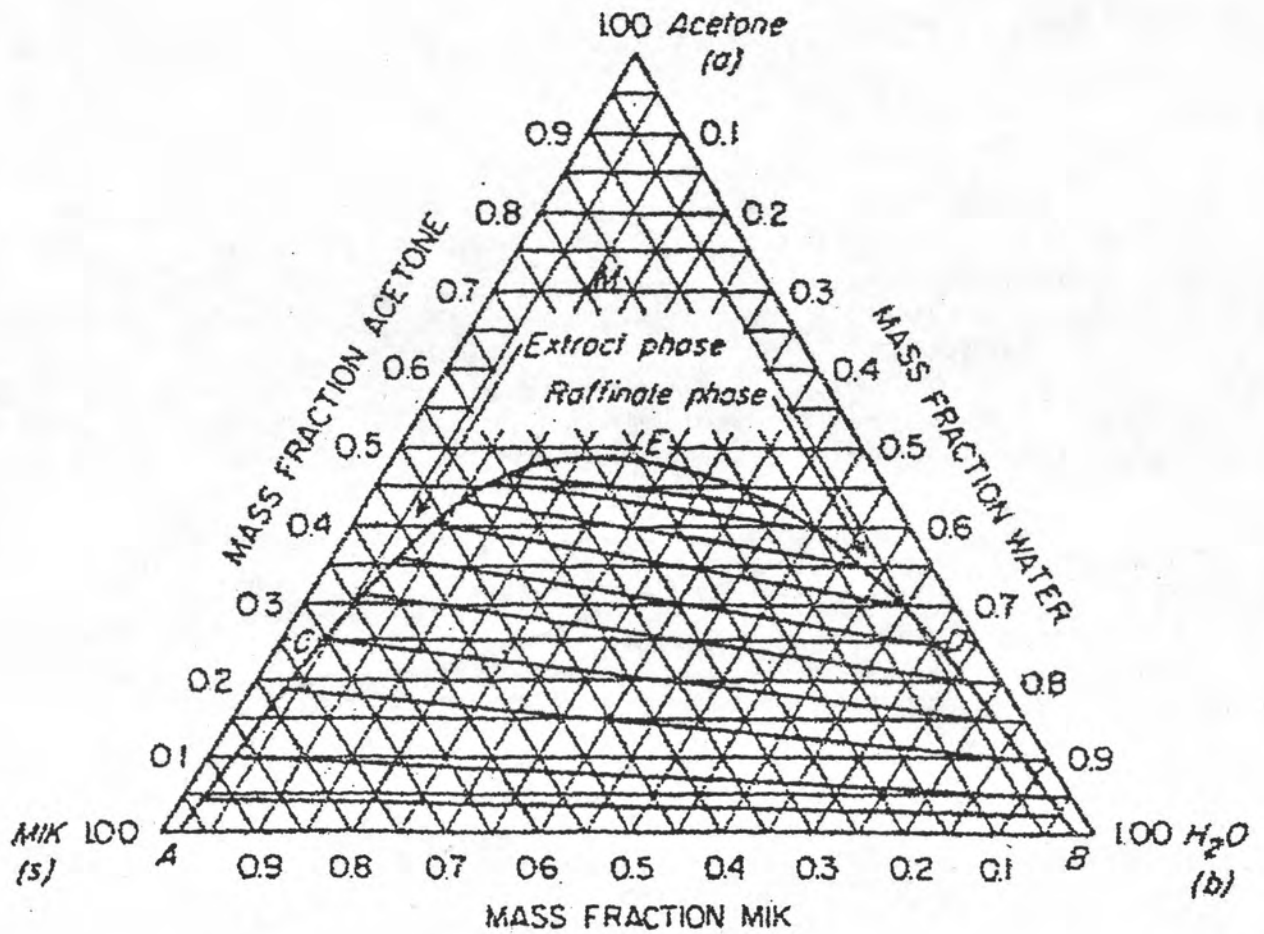
ลักษณะในข้อ ก. และข้อ ข. อาจจะรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นหอ หรือเป็นขั้นตอน (stage) หลาย ๆ ขั้นตอนต่อกันอย่างอนุกรม และในแต่ละขั้นตอนจะมีการกวนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดี ซึ่งจะเป็นลักษณะของหอสกัดแบบ RDC นั้นเอง รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะภายในของหอสกัดแบบ RDC ซึ่งประกอบด้วยหอแนวตั้ง ที่ผนังของหอจะติดตั้งแผ่นวงแหวนรอบเป็นชั้น ๆ และระหว่างชั้นดังกล่าวจะมีใบกวนซึ่งติดอยู่กับแกนกลางที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้ตัวทำละลายและน้ำมันเกิดการสัมผัสกันกันที่เป็นขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง โดยที่ตัวทำละลายจะเกิดแตกกระจายเป็นหยดกระจายอยู่ในน้ำมัน

ข้อดีของหอสกัดแบบ RDC ก็คือ มีลักษณะกะทัดรัด ค่าก่อสร้างต่ำ ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และมีความยืดหยุ่นในเรื่องขนาดการทำงานและการควบคุม ความสามารถในการสกัดน้ำมันที่มีความหนืดต่าง ๆ ให้สัมผัสตัวทำละลาย ได้สมบูรณ์นั้นสามารถทำได้โดยการปรับความเร็วมอเตอร์

### 2.7.3 สมดุลระหว่างน้ำมันและตัวทำละลาย (oil-solvent equilibrium)

(34, 35)

แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุล (triangular equilibrium diagram) จะใช้ในการพิจารณาสมดุลระหว่างของเหลวกับของเหลวเมื่อมีการผสมกันบางส่วน (partial miscible) ของสารที่เป็นตัวทำละลาย (solvent) กับสารที่ทำให้เจือจาง (diluent) ตัวอย่างของกระบวนการสกัดสารด้วยตัวทำละลาย เช่น แสดงในรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นแผนภาพสามเหลี่ยมที่แสดงสมดุลของระบบอะซีโตน เมทิล ไอโซบิวทิลคีโตน (MIK) และน้ำ โดยที่สาร MIK



รูปที่ 2.29 แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลของระบบอะซีโตน  
MIK และ น้ำ (34)



ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสกัดอะซิโตนออกจากน้ำ โดยที่น้ำเป็นสารทำให้เจือจาง

MIK สามารถละลายในน้ำจนความเข้มข้นประมาณ 2% ของน้ำ และน้ำสามารถละลายได้ใน MIK ประมาณ 2% ของ MIK ซึ่งแทนด้วยจุด A และ B สารผสมระหว่าง MIK กับน้ำที่อยู่ระหว่างจุด A และ B จะเกิดเป็นช่องเหลว 2 ชนิดแยกชั้นกัน ถ้าเติมอะซิโตนลงในช่องเหลวทั้งสองชั้น อะซิโตนจะซึมเข้าไปในช่องเหลวทั้งสอง ความเข้มข้นของช่องเหลวทั้งสองอ่านได้บนเส้นโค้งของการละลายทั้งสอง เส้นหนึ่ง (BDE) สำหรับช่องเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ หรือเรียกว่า เฟสราฟฟินेट (raffinate phase) เส้นโค้งอีกเส้นหนึ่ง (ACE) สำหรับช่องเหลวที่มี MIK เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่หรือเรียกว่า เฟสเอ็กซ์แทรก (extract phase) ขณะที่ปริมาณของอะซิโตนในสารผสมเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของอะซิโตนในชั้นของเหลวทั้งสองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เส้นโค้งค่าการละลายของช่องเหลวทั้งสองวิ่งเข้าหากันจนกระทั่งเข้าใกล้จุด E ที่จุด E นี้ของเหลวทั้งสองจะมีองค์ประกอบเดียวกัน เรียกจุดนี้ว่า จุดเพลต (plate point) พื้นที่ที่อยู่ใต้เส้นโค้ง ABEDC จะแทนทุก ๆ จุดของสารผสมที่สามารถเกิดเป็นช่องเหลวสองชั้นที่สมดุลซึ่งกันและกัน จุดทั้งสอง (จุด C และ D) ที่ใช้แทนเฟสทั้งสองที่อยู่ในสภาวะสมดุลกันใช้เป็นข้อมูลสมดุลที่สภาวะหนึ่งโดยลากเส้นผูก (tie line) ส่วนจุดอื่น ๆ ที่อยู่นอกเส้นโค้ง ADECD จะเป็นสารผสมเฟสเดียว

สำหรับการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายนั้น ตัวทำละลายจะแยกน้ำมันออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารที่ต้องการ ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลาย เรียกชั้นของเหลวนี้ว่า เฟสราฟฟินेट และส่วนที่เป็นสารที่ไม่ต้องการซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลาย เรียกชั้นของเหลวนี้ว่า เฟสเอ็กซ์แทรก สารทั้งสองของน้ำมันนั้นจะไม่สามารถแยกออกจากกันให้บริสุทธิ์ แต่จะมีลักษณะผสมกันอยู่ในแต่ละเฟส และมีความซับซ้อนในโครงสร้างยากต่อการวิเคราะห์หา ดังนั้นความเข้มข้นของแต่ละเฟสจึงจะขึ้นอยู่กับรูปของปริมาณของตัวทำละลาย และสมบัติทางกายภาพของน้ำมันในแต่ละเฟสแทนความเข้มข้นของสาร สมบัติทางกายภาพที่นำมาใช้ในสมดุลส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของค่าดัชนีความหนืด (V.I.) โดยที่น้ำมันในเฟสราฟฟินेटจะมีค่า V.I. สูง ส่วนน้ำมันในเฟสเอ็กซ์แทรกจะมีค่า V.I. ต่ำ แต่ค่า V.I. ได้มาจากการคำนวณจากความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิสองจุดทำให้มีการผิดพลาดจากการหามา ดังนั้นสมบัติทางกายภาพของน้ำมันอีกอย่างที่ยอมรับกันมากจะอยู่ในรูปของค่า viscosity gravity constant (V.G.C) น้ำมันในเฟสราฟฟินेटจะมีค่า V.G.C. ต่ำกว่าน้ำมันในเฟสเอ็กซ์แทรก

แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลนี้จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับสมดุลของการสกัดน้ำมันที่อุณหภูมิหนึ่งด้วยเส้นโค้งสมดุล (equilibrium curve) เส้นหนึ่ง ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์ในการพิจารณาประสิทธิภาพของการสกัดที่สภาวะนั้น ๆ และยังสามารถใช้ในการคำนวณหาจำนวนขั้นตอนที่เหมาะสม

ของหอสกัดที่จะต้องใช้ในการสกัดน้ำมันเพื่อให้ได้น้ำมันในเฟสราฟิเนตที่มีสมบัติตามที่ต้องการ กราฟรูปที่ 2.30 แสดงการสกัดแบบ 3 ขั้นตอนของหอสกัดแบบต่อเนื่องส่วนทางกันภายใต้สภาวะ

- (a) อุณหภูมิการสกัดคงที่
- (b) อุณหภูมิการสกัดเปลี่ยนแปลง

เมื่อ จุด D และ J แทนสมบัติทางกายของน้ำมันเริ่มต้นและน้ำมันเฟสราฟิเนต ตามลำดับ จุด C เป็นปริมาณของตัวทำละลาย องค์ประกอบของเฟสราฟิเนตกับเฟสเอ็กซ์แทรก แทนด้วย จุด K และ E ตามลำดับ จุดตัดระหว่างเส้น CD กับ EK เป็นองค์ประกอบของของผสมที่ถูกป้อนเข้าไปในหอสกัดและเปอร์เซ็นต์ของตัวทำละลายที่ใช้แทนด้วย  $DL/CL \times (35)$

โดยที่ข้อมูลจะได้มาจากขั้นตอนดังนี้

- เตรียมอนุกรมตัวอย่างการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ซึ่งแต่ละตัวอย่างนี้จะนำไปสกัดในรูปแบบการสกัดแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว (single-stage batch extraction) ต่อไปดังนี้
  - นำแต่ละตัวอย่างมาทำให้เกิดสมดุลที่อุณหภูมิที่กำหนด โดยกวนให้น้ำมันกับตัวทำละลายผสมกันที่อุณหภูมิผสมกันเป็นเนื้อเดียว จากนั้นลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิสมดุลนั้น ๆ แล้วทิ้งให้เกิดการแยกชั้นของของเหลวอย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีการกวน แยกแต่ละเฟสมาซึ่งน้ำหนัก
  - แยกตัวทำละลายออกจากแต่ละเฟสโดยการกลั่นภายใต้ความดันต่ำ (high vacuum) ซึ่งน้ำหนักของน้ำมันที่อยู่ในแต่ละเฟส และคำนวณกลับไปอยู่ในรูป % โดยปริมาตรที่  $15^{\circ} \text{C}$  ด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันนั้น ๆ
  - วัดค่า V.G.C. ของน้ำมันก่อนการสกัดและน้ำมันหลังการสกัดในแต่ละเฟส

ข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างเส้นโค้งสมดุลจะต้องประกอบด้วย

1. ปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้
2. ปริมาณของแต่ละเฟสในสมดุล
3. ปริมาณของตัวทำละลายแต่ละเฟสในสมดุล
4. สมบัติทางกายภาพของน้ำมันก่อนสกัดและน้ำมันแต่ละเฟสในสมดุล

ข้อดีในการใช้แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลในการศึกษาการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

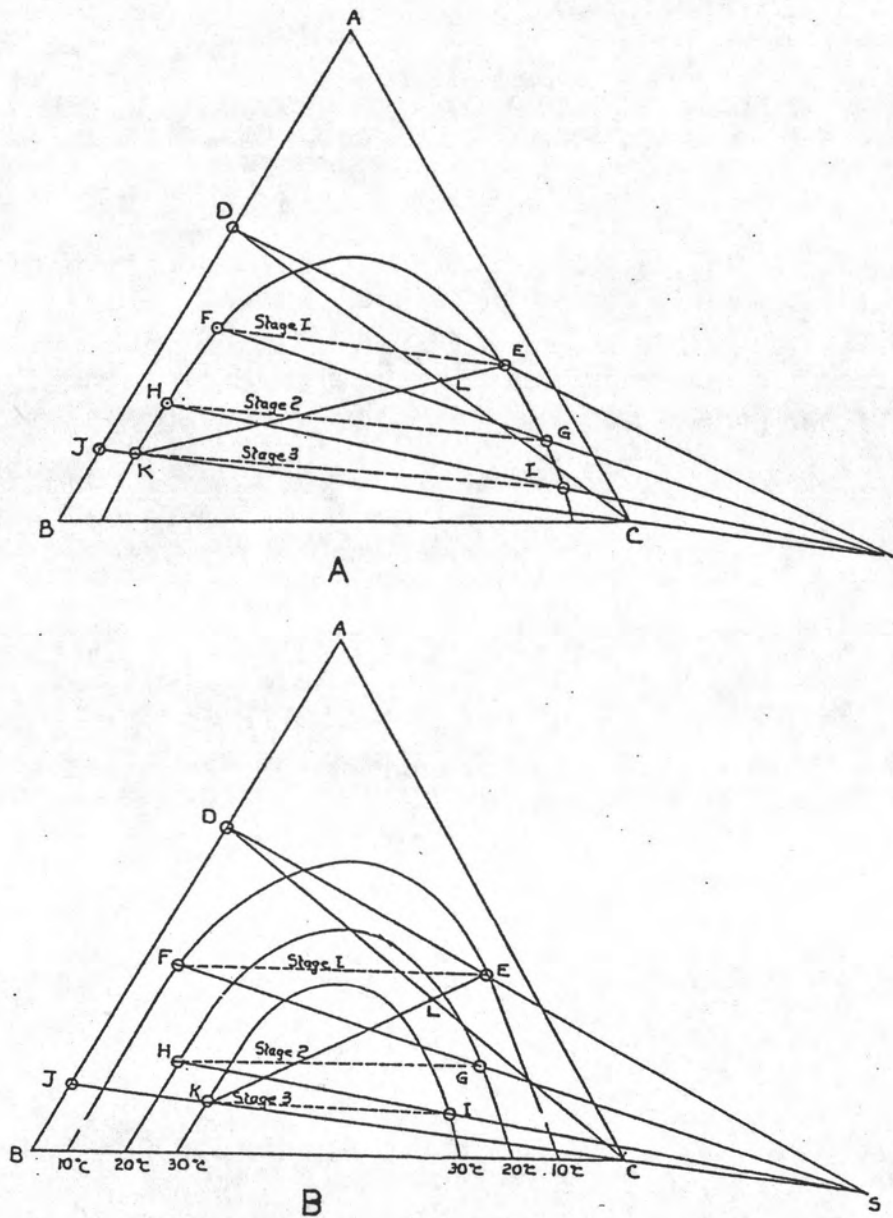
ดังนี้

1. ข้อมูลสมดุลสามารถทำได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ
2. การสร้างแผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลไม่จำเป็นจะต้องวิเคราะห์

องค์ประกอบแต่ละสาร แต่ใช้สมบัติทางกายภาพแทน

3. สามารถหาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันในเฟสทั้งสองที่สภาวะปริมาตรตัวทำละลายและอุณหภูมิหนึ่ง ได้โดยตรงจากแผนภาพ
4. สามารถหา % ของน้ำมันในแต่ละเฟสที่สภาวะสมดุล
5. องค์ประกอบของแต่ละเฟสที่ได้จากแผนภาพ จะใช้ในการออกแบบก่อสร้างและคำนวณค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เกี่ยวกับพลังงานความร้อนที่จะใช้ในการกลั่นแยกตัวทำละลายจากแต่ละเฟส
6. ใช้หาจำนวนขั้นตอน (stage) ของการสกัดจากแผนภาพ เพื่อนำไปออกแบบหอสกัดหรือเปรียบเทียบจำนวนขั้นตอนของสมดุลจากการทดลองกับขั้นตอนของสมดุลในหอสกัด เพื่อวัดประสิทธิภาพของหอสกัด





รูปที่ 2.30 แสดงการสกัดแบบ 3 ขั้นตอนของหอสกัดแบบต่อเนื่องส่วนทางกัน ภายใต้สภาวะ (35)

- (a) อุณหภูมิการสกัดคงที่
- (b) อุณหภูมิการสกัดเปลี่ยนแปลง