



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum Oil)

น้ำมันปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ โดยจะรวมตัวกันทางเคมีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังมีกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนปนอยู่เล็กน้อย

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

พาราฟิน มีสูตรทั่วไป  $C_nH_{2n+2}$  เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว(saturated hydrocarbon) ที่มีเสถียรภาพสูง มีอะตอมของคาร์บอนที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นลูกโซ่พันธะเดี่ยว ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับกรดพุ่มมิงซัลฟูริกสารละลายต่างเข้มข้น กรดไนตริกและกรดโครมิก ยกเว้นพวกที่ประกอบด้วยพาราฟินประเภท เทอร์เชียรีคาร์บอน แต่จะทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆกับคลอรีนภายใต้แสงแดดและจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนและโบรมีน ถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักจะเป็นปฏิกิริยาแบบแทนที่ อะตอมของไฮโดรเจน โอลิฟินมีสูตรทั่วไป คือ  $C_nH_{2n}$  เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว กล่าวคือ อะตอมคาร์บอน 2 อะตอมจับกันด้วยพันธะคู่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นไม่อิ่มตัวในสภาวะปกติสามารถจะรับอะตอมไฮโดรเจนหรือธาตุอื่นได้อีก โอลิฟินสามารถเปลี่ยนเป็นพาราฟินได้โดยทำปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน โดยการให้ไฮโดรเจน 2 อะตอม สร้างพันธะกับคาร์บอน 2 อะตอม ที่จับกันด้วยพันธะคู่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยว โอลิฟินสามารถทำปฏิกิริยาและละลายได้ในกรดกำมะถัน นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดี เช่น คลอรีน โบรมีน และกรดเกลือ

โอเลฟินที่มีจุดเดือดต่ำๆ นั้นส่วนมากจะไม่มีอยู่ในน้ำมันดิบ แต่จะพบมากในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำให้แตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking)

แนฟทีน มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n}$  เหมือนโอเลฟิน แต่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก โดยที่แนฟทีน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีลักษณะเป็นวงแหวนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งมาต่อกันอยู่ ในขณะที่โอเลฟินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่เป็นโซ่เปิด การเรียกชื่อกลุ่มนี้ในอดีตเรียกเป็นเมทิลีนเช่นเตตระเมทิลีน เพนตะเมทิลีน และเฮกซะเมทิลีน แต่ในปัจจุบัน เรียกว่าไซโคลบิลเทน ไซโคลเพนเทน และไซโคลเฮกเซน ตามลำดับ แนฟทีนไม่ละลายในกรดกำมะถัน

แอรอแมติก บางครั้งเรียกเป็นอนุกรมเบนซีน (benzene series) ถ้าเป็นแอลคิลเบนซีน แอรอแมติกเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งแบบรวมตัวหรือแทนที่ ขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยานั้น มีน้ำมันปิโตรเลียมเพียงไม่กี่แหล่งที่มีแอรอแมติกจุดเดือดต่ำซึ่งได้แก่โทลูอีน (toluene) และเบนซีน

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

2.1.2 ลำดับส่วนปิโตรเลียม (petroleum fraction) (3,4) น้ำมันปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของโลก จะมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆแตกต่างกันไปตัวอย่างเช่น Pennsylvania crudes มีพาราฟินิกไฮโดรคาร์บอนมากในขณะที่ California crudes มีแนฟทีนและแอรอแมติกมาก ไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆเหล่านี้ มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดเดือดต่างกันมากซึ่งทำให้องค์ประกอบบางส่วนเดือดที่อุณหภูมิห้อง และบางส่วนไม่สามารถกลั่นได้ถึงแม้ว่าการกลั่นทำภายใต้สุญญากาศ (vacuum distillation) จึงมีการแบ่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมออกตามมวลโมเลกุล ช่วงจุดเดือดหรือความหนืด ดังนี้

แก๊สปิโตรเลียม (petroleum gas) ช่วงจุดเดือดต่ำกว่า  $20^{\circ}\text{C}$  และประกอบด้วย  $\text{C}_1\text{-C}_4$  ใช้เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สหุงต้ม

ปิโตรเลียมเหลว (liquid petroleum) หรือปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ช่วงจุดเดือด  $20\text{-}60^{\circ}\text{C}$  ประกอบด้วย  $\text{C}_5\text{-C}_6$  ใช้เป็นตัวทำละลาย

น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน (gasolene) ช่วงจุดเดือด  $40\text{-}205^{\circ}\text{C}$  จุดไหลเทต่ำ ประกอบด้วย  $\text{C}_5\text{-C}_{10}$  เป็นของเหลวไม่มีไขปน (wax free liquid) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine)

น้ำมันก๊าด (kerosene) เป็นของเหลวใสไม่มีไขปน ช่วงจุดเดือด  $175\text{-}325^{\circ}\text{C}$  ประกอบด้วย  $\text{C}_{12}\text{-C}_{18}$  และไซโคลอัลเคน มีกลิ่นฉุน ใช้จุดให้ความสว่างและใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ไอพ่น (jet engine)

แก๊สออยล์ (gas oil) ช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่างเคโรซีนกับน้ำมันหล่อลื่นคือ  $230\text{-}243^{\circ}\text{C}$  ประกอบด้วยไฮพาราฟินที่มีจุดเดือดต่ำปริมาณเล็กน้อย

น้ำมันดีเซลชนิดเบา (light distillates) หรือน้ำมันเตาใสเบาผลิตจากหน่วยกลั่นสุญญากาศ มีจุดเดือด ความหนืด และจุดไหลเทสูง ประกอบด้วยไฮพาราฟินปริมาณพอควร branched-paraffin ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วน normal paraffin จะเป็นของแข็งที่เรียกว่า ไฮพาราฟิน (paraffin wax) ในทางพาณิชย์เรียกว่า macrocrystalline wax เพราะว่าไฮพาราฟินจะตกผลึกออกจากสารละลายเป็นรูปเข็มขนาดใหญ่ (large needle) หรือเพลท (plate)

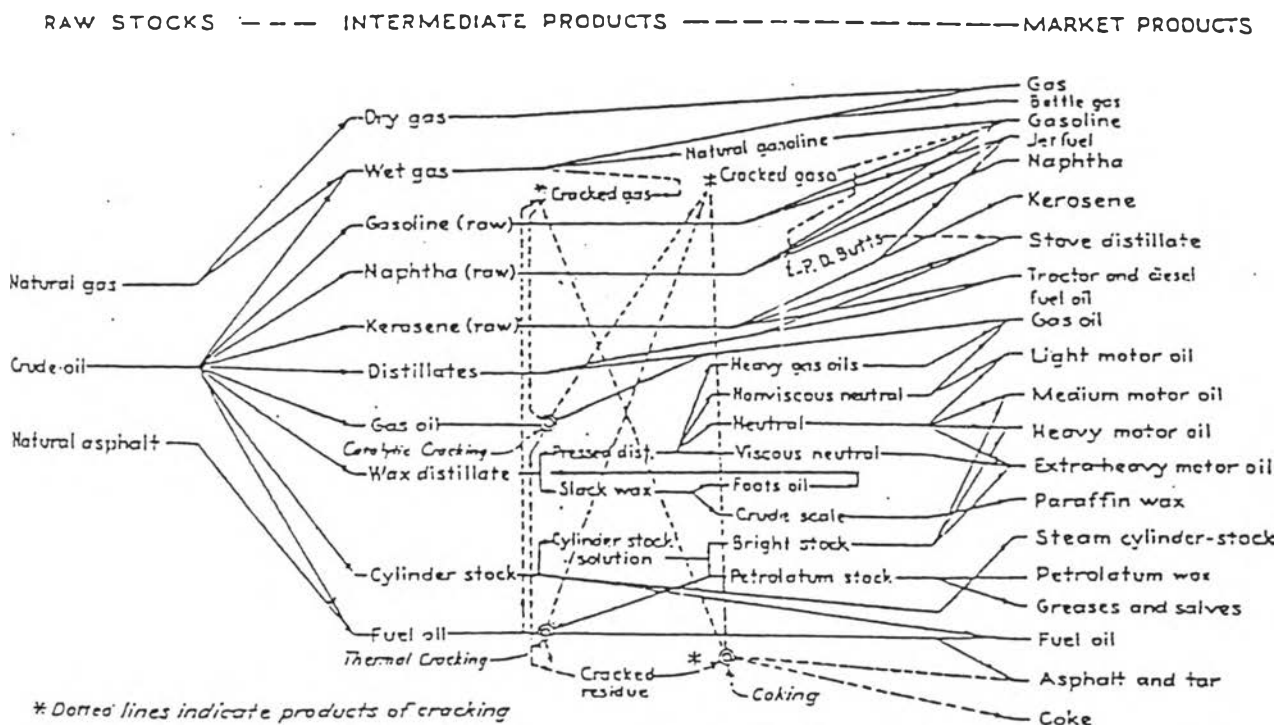
น้ำมันดีเซลชนิดหนัก (heavy distillates) หรือน้ำมันเตาใสหนักผลิตจากหน่วยกลั่นสุญญากาศหรือหน่วยกลั่นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheated steam distillation) ที่ความดันบรรยากาศ โดยปกติประกอบด้วยไขเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นไฮพาราฟินประเภทไขไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline waxes) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นไขที่เป็นกิ่งสาขาหรือวงแหวน และจะตกผลึกแยกตัวออกจากสารละลายในรูปผลึกขนาดเล็ก (smaller crystal) เรซิดิว (residues) มีความหนืดสูง ประกอบด้วยน้ำมันที่หนืด (viscous oil) ไขไมโครคริสตัลไลน์

ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งเป็นโมเลกุลที่สลับซับซ้อน เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และตกผลึกออกมาในรูปผลึกขนาดเล็ก และยางมะตอย หรือแอสฟัลต์ (asphalt) นอกจากนี้ยังแยกได้อีกสองส่วนตามจุดประสงค์ของโรงกลั่น คือ

น้ำมันดีเซล (diesel oil) ช่วงจุดเดือด 250-400 °C ประกอบด้วย  $C_{15}-C_{20}$  และไฮโดรคาร์บอนใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) ช่วงจุดเดือดสูงกว่า 300 °C ประกอบด้วย  $C_{18}-C_{52}$  ใช้เป็นสารหล่อลื่น

นอกจากนี้ปริมาณและชนิดของลำดับส่วนปิโตรเลียมที่แยกได้ ยังขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของน้ำมันดิบ ตลอดจนกระบวนการที่ใช้แยกลำดับส่วนปิโตรเลียม ดังรูปที่ 2.1 และอาจกล่าวได้ว่า ไม่มีโรงกลั่นน้ำมันใดที่มีลักษณะการทำงานของกระบวนการต่างๆ เหมือนกันทุกประการ



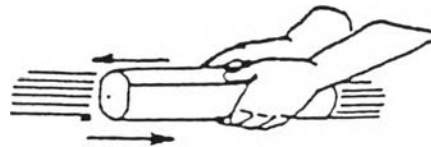
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้น intermediate และผลิตภัณฑ์สุดท้าย(2)

## 2.2 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oils) (5,6)

2.2.1 การหล่อลื่น (Lubrication) เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน (friction) ซึ่งแรงเสียดทานจะเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัสดุชิ้นหนึ่งบนผิวของวัสดุอีกชิ้นหนึ่งแรงเสียดทานนี้จะแบ่งเป็นประเภทได้ 2 ประเภท

2.2.1.1 แรงเสียดทานของของแข็ง (solid friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของของแข็งที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะได้ 2 รูปแบบ คือ

(a) แรงเสียดทานแบบสไลด์ (sliding friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของของแข็งแห่งที่มีการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะแรงเสียดทานแบบสไลด์ (5)

(b) แรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง (rolling friction) จะเป็นแรงเสียดทานที่มักพบในพวงล้อปืน (bearing) ต่างๆซึ่งแรงเสียดทานแบบนี้จะมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานแบบสไลด์ดัง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะแรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง (5)



และสมบัติอื่นๆ อีกมากมาย ดังนั้นในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นนอกจากพิจารณาแต่เพียงลดแรงเสียดทาน และป้องกันการสึกหรอแล้วยังต้องพิจารณาความเหมาะสมของสมบัติอื่นๆ อีก

ดังกล่าวแล้วว่า สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติในตัวของสารหล่อลื่นเองแล้ว ยังต้องมีการปรับคุณภาพด้วยสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน ดังนั้นในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube bases) ซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบด้วยสารเพิ่มคุณภาพ

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน + สารเพิ่มคุณภาพ -----> น้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูง

สารเพิ่มคุณภาพ ที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นนั้น เราสามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานของสารเพิ่มคุณภาพนั้น ดังนี้

1. สารเพิ่มคุณภาพที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของ น้ำมันหล่อลื่น เช่น สารลดจุดไหลเท (pour point dispersants) สารลดการเกิดฟอง (anti-foam) สารเพิ่มดัชนีความหนืด (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) (7)

น้ำมันหล่อลื่นที่มีใช้กันในปัจจุบัน ถ้าจะแยกเป็นประเภทใหญ่ตามการใช้งานก็จะสามารถแยกได้ดังนี้

2.2.3.1 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเรือ (marine lubricants) ซึ่งมีความยุ่งยากและลักษณะที่พิเศษมากมายในการหล่อลื่นในเรือ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นในเรือจึงมีอยู่มากมายเพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์และเครื่องจักรนั้นๆ

2.2.3.2 น้ำมันหล่อลื่นยานยนต์ (automotive lubricant) สิ่งที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับยานยนต์ คือ น้ำมันเครื่อง (engine oils) จะต้องมีความสามารถในการชะล้างและกระจายสิ่งปนเปื้อน เป็นสมบัติพื้นฐาน

2.2.3.3 น้ำมันหล่อลื่นในอุตสาหกรรม (industrial lubricants) น้ำมันหล่อลื่นประเภทนี้มีอยู่หลายชนิดขึ้นกับลักษณะของการทำงานนั้นๆ และสมบัติของแต่ละชนิด ก็แตกต่างกันตามการใช้งาน เช่น ใช้เป็นน้ำมันเครื่อง น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเกียร์ เป็นต้น

## 2.3 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น (8)

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดถูกผลิตขึ้นมา โดยการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base oil) ผสมกันจนมีความข้นใสพอเหมาะและผสมกับสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) ซึ่งทำให้ได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ (Oxidation), ด้านทานการเกิดสนิมและการกัดกร่อน (Antirust & Corrosion), ช่วยชะล้างและกระจายเขม่า (Detergent & Dispersant), ด้านทานการเกิดฟอง (Antifoamant) เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่แตกต่างกัน

เพราะฉะนั้นเมื่อน้ำมันหล่อลื่นเริ่มถูกใช้งานคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ก็จะค่อยๆ สูญเสียจนหมดไปทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพไม่สามารถทำหน้าที่หล่อลื่นต่อไปได้ซึ่งสาเหตุการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นเกิดได้จาก

### 2.3.1 การเสื่อมสลายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานส่วนมากที่ใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น จะเป็นพวกน้ำมันแร่ (Mineral oil) ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

การเสื่อมสลายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะเกิดจาก ปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจนในอากาศ (Oxidation & Nitration) โดยเฉพาะเมื่อใช้งานในที่ที่อุณหภูมิและความดันสูง อีกทั้งถ้ามีเศษและไอออนของโลหะ



พวก สิ่งกะสี, ตะกั่ว, เหล็ก, หรือทองแดง ปะปนอยู่ในน้ำมันเศษโลหะเหล่านี้ก็จะเป็นตัวเร่ง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นและจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจนทำให้เกิดผลเสียดังนี้ คือ

2.3.1.1 เกิดกรดกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ

2.3.1.2 น้ำมันกลายสภาพเป็นยางเหนียว (Varnish, Lacquer, Resin) ทำให้ชิ้นส่วนภายในสกปรก, ระบบหมุนเวียนน้ำมันอุดตัน

2.3.1.3 ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น

2.3.1.4 เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน (Sludge) ปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนนี้ จะเกิดได้ช้าหรือเร็วยิ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวน้ำมันและแบบของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ด้วย

2.3.2 สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไป

การผลิตน้ำมันหล่อลื่นให้มีคุณสมบัติที่ดีเหมาะสมกับสภาพการใช้งานนั้น จำเป็นที่จะต้องผสมสารเพิ่มคุณภาพลงไปเพื่อให้น้ำมันนั้นๆ มีคุณสมบัติเป็นไปตามความต้องการ

สารเพิ่มคุณภาพจะเป็นสารเคมี ซึ่งเมื่อใช้งานสารเหล่านี้ก็จะแปรสภาพหมดไปทำให้ น้ำมันไม่มีคุณสมบัติพอที่จะใช้งานต่อไปได้นอกจากนี้ถ้าหากว่าเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์รวมทั้งสภาพแวดล้อมไม่ดี ก็จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สารเพิ่มคุณภาพเสื่อมสลายได้เร็วยิ่งขึ้น

2.3.3 สิ่งที่เกิดจากภายในเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์

สิ่งที่เกิดจากภายในเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ ที่เป็นสาเหตุทำให้ น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพ คือ

2.3.3.1 น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง, การทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำ มีผลทำให้เกิดกรด, ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นและเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

2.3.3.2 เขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง มีผลทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นและ เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

2.3.3.3 สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเชื้อเพลิง ที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ มีผลทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นและเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

2.3.3.4 น้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด มีผลทำให้ความหนืดลดลง

2.3.3.5 การรั่วของไอน้ำหรือก๊าซที่เผาไหม้ผ่าน แหวนลูกสูบ ลงสู่อ่างน้ำมันเครื่อง (Blow by) มีผลทำให้ น้ำมันเครื่องสกปรก

2.3.3.6 เศษและไอออนของโลหะที่เกิดจากการสึกหรอมีผลทำให้ความหนืดสูงขึ้น และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

#### 2.3.4 สารจากภายนอกเข้าไปปะปน

สารจากภายนอกที่เข้าไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นซึ่งจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพ คือ

2.3.4.1 น้ำที่อาจมาจากระบบหล่อเย็น หรือจากการขาดความระมัดระวังในการเติมน้ำมันหล่อลื่น มีผลเสียเช่นเดียวกับน้ำที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์

2.3.4.2 ฝุ่นผงที่มาจากสภาพแวดล้อมในระหว่างการใช้งาน มีผลทำให้เกิดการสึกหรอ, น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้นและเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

2.3.4.3 เกิดจากการเปลี่ยนหรือเติมพร้อมๆใช้น้ำมันที่ผิด ซึ่งอาจทำให้ น้ำมันข้นหรือใสเกินไป

#### 2.4 การตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว (8)

ในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้วจะมีการวิเคราะห์แตกต่างกันไป ทั้งขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำมันหล่อลื่นอะไร ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว

หัวข้อวิเคราะห์	น้ำมัน เครื่อง	น้ำมัน เกียร์	น้ำมัน หม้อแปลง	CIRCULATING OIL
สี (COLOUR)			*	*
จุดวาบไฟ (FLASH POINT)	*	*		*
ความหนืด (VISCOSITY)	*	*		
ความเป็นกรด,ด่าง (ACID & BASE No.)	*		*	*
น้ำ (WATER CONTENT)	*	*	*	*
สิ่งที่ไม่ละลาย (INSOLUBLE)	*	*		
การเจือจาง (DILUTION)	*			
ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (DIELECTRIC STRENGTH)			*	
ปริมาณโลหะ (METAL CONTENT)	*	*		

#### 2.4.1 สี (Colour)

การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะน้ำมันอุตสาหกรรม เช่น น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer oil), น้ำมันไหลเวียน (Circulating oil) เป็นต้นซึ่งโดยมากน้ำมันประเภทนี้เมื่อใช้งานไปนานๆ สีของน้ำมันมักจะเข้มขึ้น แสดงว่าตัวเนื้อน้ำมันเกิดการเสื่อมสลาย เนื่องจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน หรือ ไนโตรเจน (พบมากกรณีใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง) เกณฑ์การตัดสินจากการดูสีนั้น จะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตน้ำมันซึ่งอาจแตกต่างกันบ้าง

#### 2.4.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

การทดสอบจุดวาบไฟ สามารถบอกถึงสภาพของน้ำมันหล่อลื่นได้ ว่าสมควรที่จะใช้งานได้หรือไม่ดังนี้

2.4.2.1 จุดวาบไฟลดต่ำลง สาเหตุเกิดจากการเจือปนของ น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซรั่วซึมผ่านลงไปสู่น้ำมันหล่อลื่น (Blow by)

2.4.2.2 จุดวาบไฟสูงขึ้นแสดงถึงว่าตัวเนื้อน้ำมันเสื่อมสลาย จากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน, น้ำมันส่วนเบาระเหยหายเนื่องจากเครื่องยนต์ ร้อนจัด

นอกจากนี้จุดวาบไฟอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเติมพร้อมด้วยน้ำมันชนิดอื่น ที่ต่างจากน้ำมันที่ใช้อยู่เดิม การทดสอบจุดวาบไฟสำหรับน้ำมันที่มีจุดวาบไฟสูงกว่า 79 องศาเซลเซียส ใช้วิธี ASTM D 92 ส่วนที่ต่ำกว่าใช้ ASTM D 93

#### 2.4.3 ค่าความหนืด (Viscosity)

การทดสอบค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น โดยทั่วไปจะทดสอบที่อุณหภูมิ 40 และ 100 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้วค่าความหนืดที่ทดสอบได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันก่อนการใช้งาน ซึ่งหากว่าค่าความหนืดของน้ำมันเปลี่ยนไปจากเดิมไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เกินกว่าเกณฑ์กำหนดของผู้ผลิตเครื่องจักร หรือเครื่องยนต์ นั้นหมายถึงว่าน้ำมันเสื่อมสภาพไม่สามารถทำหน้าที่ที่ติดต่อไปได้

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การตัดสินค่าความหนืดโดยทั่วไป

น้ำมันหล่อลื่น	% เกณฑ์การเปลี่ยนแปลง	
	เริ่มระวัง	ควรเปลี่ยนถ่าย
HIGHT SPEED DIESEL ENGINE	15	30
MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE	15	30
GAS ENGINE (SAE GRADE)	15	30
COMPRESSOR (ISO VG GRADE)	10	15
GAS TURBINE	10	15
HYDRAULIC SYSTEMS	10	15
GEARBOXS	10	15

2.4.3.1 สาเหตุที่ความหนืดสูงขึ้น

- (a) เกิดปฏิกิริยา การรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจน
- (b) ส่วนเบาระเหย หายจากการใช้งานในอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ
- (c) น้ำ, เศษและไอออนของโลหะ, ฝุ่นผง
- (d) เปลี่ยนถ่ายหรือเติมพร่องผิด โดยใช้น้ำมันที่ข้นกว่า

2.4.3.2 สาเหตุที่ความหนืดลดลง

- (a) ถูกเจือปนจากน้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าซ (Blow by)
- (b) สารเพิ่มคุณภาพชนิดเพิ่มดัชนีความหนืดสลาย
- (c) เปลี่ยนถ่ายหรือเติมพร่องผิด โดยใช้น้ำมันที่ใสกว่า

#### 2.4.4 ค่าความเป็นกรด (Acid number)

ความเป็นกรดที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุจาก

2.4.4.1 การเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจนของเนื่อน้ำมัน และหากความเป็นกรดที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นมากพอก็จะเริ่มกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ซึ่งเศษโลหะและไอออนของโลหะ ที่เกิดจากการกัดกร่อนนั้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวให้เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งมีผลทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังเกิดขางเหนียวและความหนืดของน้ำมันก็จะสูงมากขึ้น

2.4.4.2 เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถัน ซึ่งจะกลายเป็นกรดกำมะถันเมื่อรวมตัวกับความชื้นหรือน้ำ

การทดสอบค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่ที่บแสงจะใช้วิธี ASTM D 664 ซึ่งเป็นเครื่องวัดทางไฟฟ้า (Potentiometric) ส่วนน้ำมันใสใช้วิธี (ASTM D 974) ซึ่งดูจากการเปลี่ยนสีของ INDICATOR ทั้งสองวิธีมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม KOH/กรัม ของน้ำมันที่นำมาทดสอบ

การตัดสินใจว่าน้ำมันเสื่อมสภาพจากค่าความเป็นกรดนั้นต้องตรวจสอบเป็นระยะๆ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์

### ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินโดยทั่วไป ของค่าความเป็นกรด

น้ำมันหล่อลื่น	เกณฑ์การเปลี่ยนแปลง	
	เริ่มระวัง	ควรเปลี่ยนถ่าย
GAS TURBINE	0.2	0.4
COMPRESSOR (ISO VG GRADE)	0.5	1.0
COMPRESSOR (SAE GRADE)	1.5	3.0
GAS ENGINES (SAE GRADE)	ถ้ามีกรดแก่เกิดขึ้น	
HYDRAULIC SYSTEMS	0.7	1.6
GEARBOXS	0.5	1.0

#### 2.4.5 ค่าความเป็นด่าง (Base number)

ค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นที่มีหน้าที่คอยทำลายกรดนั้น ได้มาจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพชนิด Sulfonate detergent ซึ่งส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรและเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันอยู่ค่อนข้างสูง เช่น น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เป็นต้น

ค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาใช้งาน ทั้งนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับ ค่าความเป็นด่างเริ่มต้นของน้ำมัน และปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้วสามารถบอกถึงอายุการใช้งานของน้ำมันว่าสมควรที่จะใช้ต่อไปหรือไม่ โดยการตัดสินจากค่าความเป็นด่างที่เหลืออยู่ ค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วใช้แล้ว ไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 2.0, เครื่องหมุนปานกลางไม่ควรต่ำกว่า 3.0

การทดสอบค่าความเป็นด่างใช้วิธี ASTM D 4739 ซึ่งมีหน่วยวัดเทียบได้กับมิลลิกรัม KOH/กรัมของน้ำมันที่นำมาทดสอบ

#### 2.4.6 ปริมาณน้ำ (Water content)

โดยปกติอาจมีปนอยู่ในเนื่อน้ำมันหล่อลื่นได้เล็กน้อย และยังมีน้ำมันบางชนิดที่ต้องมีน้ำเป็นส่วนผสมเมื่อเวลาใช้งาน การตรวจสอบปริมาณน้ำนั้นก็เพื่อให้แน่ใจว่ายังไม่เป็นอันตรายต่อเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ อีกทั้งยังไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าหรือน้ำมันในระบบทำความเย็น การทดสอบปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นเป็นประจำระหว่างการใช้งานอาจบอถึงสภาพการใช้งานของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ เช่น น้ำอาจมาจากการควบแน่นนั้นก็หมายถึงว่า เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำเกินไปเป็นเวลานานๆ หรืออาจเกิดจากการรั่วของระบบหล่อเย็น เป็นต้น

ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิด จะยอมให้มีได้มากน้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบของงานที่หล่อลื่นและประเภทของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ การทดสอบปริมาณน้ำใช้วิธี ASTM D 95 ซึ่งมีหน่วยเป็นร้อยละโดยปริมาตร

#### ตารางที่ 2.4 เกณฑ์กำหนดปริมาณน้ำโดยทั่วไป

น้ำมันหล่อลื่น	เกณฑ์การเปลี่ยนแปลง	
	เริ่มระวัง	ควรเปลี่ยนถ่าย
HIGHT SPEED DIESEL ENGINE	0.2	0.5
MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE	0.2	0.5
GAS ENGGINES (SAE GRADE)	0.2	0.5
GAS TURBINE (ISO VG GRADE)	0.1	0.2
COMPRESSOR (SAE GRADE)	0.2	0.5
HYDRAULIC SYSTEMS	0.1	0.5
GEARBOXES	0.5	1.0



## 2.4.7 สิ่งที่ไม่ละลาย (Insoluble)

น้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้ว ย่อมมีสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายปะปนอยู่ เช่น เศษโลหะยางเหนียว ฯลฯ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ไม่ละลายในน้ำมันและเมื่อสะสมมากขึ้นน้ำมันหล่อลื่นก็จะเสื่อมสภาพ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ได้

การทดสอบหาปริมาณสิ่งที่ไม่ละลายนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนตามวิธี ASTM D 893 ปริมาณที่ได้มีหน่วยเป็น ร้อยละโดยน้ำหนัก

2.4.7.1 ใช้ Pentane หรือ n-Heptane เป็นสารทำละลาย น้ำมันตัวอย่าง สิ่งที่เหลือจากการละลาย คือ

- (a) ยางเหนียว
- (b) เศษโลหะ
- (c) ฝุ่นผง
- (d) กากถ่าน, เขม่า

2.4.7.2 ใช้ Benzene หรือ Toluene เป็นสารทำละลาย น้ำมันตัวอย่าง สิ่งที่เหลือจากการละลาย คือ

- (a) ฝุ่นผง
- (b) กากถ่าน, เขม่า
- (c) เศษโลหะ

ถ้าปริมาณที่ได้จากการทดสอบทั้งสองต่างกันมาก แสดงว่าเกิดการเสื่อมสลายของน้ำมันและสารเพิ่มคุณภาพ (ผลต่างก็คือปริมาณยางเหนียวจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน) สาเหตุอาจมาจากเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ใช้งานในสภาพที่อุณหภูมิสูง, ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพต่ำ

ถ้าค่าจากการทดสอบใกล้เคียงกัน ก็หมายถึงว่า เศษโลหะ, กากถ่านหรือ เขม่ามีมาก สาเหตุอาจมาจากระบบกรองอากาศไม่ดีพอ, สิ่งสกปรกจากภายนอกสามารถผ่านเข้าไปได้, การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเขม่ามาก, เกิดการสึกหรอ หรือการกัดกร่อนสูง, กรองน้ำมันเครื่อง หมุดสภาพการใช้งาน, น้ำมันเชื้อเพลิงมีคุณภาพต่ำ

โดยทั่วไปปริมาณของสิ่งที่ไม่ละลายใน Pentane, n-Heptane ของน้ำมันใช้แล้ว เช่น ไฮดรอลอก, เทอร์ไบน์ ไม่ควรเกิน 0.2 % ; น้ำมันคอมเพรสเซอร์อัดอากาศ, น้ำมันถ่ายเทความร้อน, น้ำมันเครื่องยนต์เบนซิน, น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะไม่ควรเกิน 1.0 %, น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วไม่ควรเกิน 2.0 % และถ้าหากสิ่งที่ไม่ละลายใน Toluene หรือ Benzene มีค่าสูงอาจต้องใช้เครื่องตรวจสอบหาปริมาณโลหะ เพื่อที่จะทราบว่าเกิดจากการสึกหรอหรือสิ่งสกปรกจากภายนอก

#### 2.4.8 การเจือจางเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel dilution)

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์สันดาบภายในอาจเกิดจากการเจือจางเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้ความหนืดและจุดวาบไฟของน้ำมันลดลง คุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเสียไปสำหรับสาเหตุการเจือจางของน้ำมันอาจมีดังนี้

- 2.4.8.1 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
- 2.4.8.2 แหวนลูกสูบสึกหรอ
- 2.4.8.3 การปรับแต่งหัวฉีดไม่เหมาะสม
- 2.4.8.4 ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงไม่ถูกต้องหรือคุณภาพต่ำ

การทดสอบปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นเหตุให้น้ำมันหล่อลื่นเจือจาง ใช้วิธี ASTM D 332 วิธีนี้ใช้ทดสอบได้ดีกับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซิน เท่านั้นส่วนน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลนั้นไม่สามารถระบุค่าที่แน่นอนได้ เพราะว่ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีจุดเดือดสุดท้ายใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นจึงอาจใช้การประเมินค่าจากจุดวาบไฟและความหนืดที่ลดลง แต่ถ้าต้องการผลที่แน่นอนควรทดสอบโดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography)

#### 2.4.9 ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric strength)

น้ำมันหม้อแปลงจะทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและระบายความร้อน ดังนั้นความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหม้อแปลง

สาเหตุที่ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของน้ำมันหม้อแปลงลดลงนั้น



เกิดได้จากความชื้นและปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน ซึ่งทำให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าเสื่อมลง ส่วนยางเหนียวที่เกิดขึ้นก็จะจับติดตามขดลวด ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่สะดวก

การตรวจสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าใช้วิธี ASTM D 877, ASTM D 1816 โดยทั่วไปถ้าค่าลดลงเหลือ 23 KV ควรระมัดระวังและถ้าเหลือ 14 KV ให้ถ่ายทิ้ง

#### 2.4.10 ปริมาณโลหะ (Metal content)

การตรวจสอบปริมาณโลหะหรือสารแปลกปลอมในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วนั้นนิยมใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลของการตรวจสอบนี้สามารถบ่งบอกถึงการสึกหรอที่เกิดขึ้นภายในหรือสิ่งสกปรกที่อาจมาจากภายนอก ตัวอย่าง เช่น

เหล็ก	มาจากการสึกหรอของ	กระบอกสูบ, เฟือง, เพลา
อลูมิเนียม	มาจากการสึกหรอของ	ลูกสูบ, แบริ่งข้อเหวี่ยง
โครเมียม	มาจากการสึกหรอของ	ลูกปืน, ก้านวาล์ว
ทองแดง	มาจากการสึกหรอของ	แผ่นคลัทช์ของเกียร์, แบริ่ง
ซิลิกอน	มาจาก	ฝุ่น, ดิน, ทราย จากภายนอก
โซเดียม	มาจาก	น้ำในระบบหล่อเย็นที่ผสมน้ำยาปรับสภาพรั้วผ่านเข้าน้ำมันเครื่อง
สังกะสี	มาจาก	กระบอกสูบ, แผ่นคลัทช์และสารเพิ่มคุณภาพ

ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วนั้นต้องตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถทราบถึงสภาพภายในของเครื่องจักร หรือเครื่องยนต์เพื่อการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

อย่างไรก็ตามการจะระบุว่าน้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพแล้วหรือไม่นั้นจะต้องดูลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติหลายประการของน้ำมันที่นำมาตรวจสอบประกอบกัน เพื่อไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินของผู้ผลิตเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์เป็นสำคัญ

## 2.5 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว (9)

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานไปจนหมดสภาพไม่เหมาะที่จะใช้งานนั้นๆต่อไป โดยปกติผู้ใช้มักจะเททิ้งตามพื้นดินหรือไม่ก็ขายให้กับผู้รับซื้อในราคาถูกๆ การกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดผลเสีย คือการเททิ้งตามพื้นดินจะก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะซึ่งจะแก้ไขกำจัดในภายหลังได้ยากการขายให้ผู้รับซื้อซึ่งมักจะเอาไปทำน้ำมันปลอมซึ่งอาจจะกลับมาสู่เรา ทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ ดังนั้นจึงควรหาประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยมีแนวทางดังนี้

2.5.1 ใช้น้ำมันที่ใช้แล้วจากงานหนึ่งไปหล่อลื่นในงานที่ไม่รุนแรง (งานอุณหภูมิต่ำ ภาระน้ำหนักต่ำ รอบไม่สูง) เช่น น้ำมันหล่อลื่นเทอร์ไบน์หรือไฮดรอลิคหรือน้ำมันเกียร์ เมื่อใช้จนหมดอายุแล้วก็สามารถนำมากรองแล้วใช้หล่อลื่นพวกแบริ่ง กาบและแบริ่งลูกปืนที่ต้องการน้ำมันชั้นใสเบอร์เดียวกันและใช้ระบบหล่อลื่นแบบหยอดทิ้งได้

2.5.2 ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากเครื่องจักรกลต่างๆไปใช้ในงานอื่นที่ไม่เกี่ยวกับงานหล่อลื่น เช่น ใช้ทำไม้แบบสำหรับคอนกรีต ใช้ทำไม้ป้องกันปลวกมอด และแมลง ใช้ใส่ชาตู่กับข้าวเพื่อป้องกันมดชั้นได้

2.5.3 ใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผสมกับเชื้อเพลิง ใช้เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงได้โดย

2.5.3.1 ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาหรือหม้อไอน้ำ ก็สามารถผสมน้ำมันเตาได้ในอัตราส่วนไม่เกิน 25% โดยต้องมีถังตกตะกอนที่มีฝาปิดมิดชิด สามารถถ่ายเอาตะกอนสกปรกออกจากรันถังได้ การตกตะกอนต้องทำอย่างน้อยสัก 2 วัน ถึงตกตะกอนดังกล่าวอาจใช้เป็นถึเก็บสะสมน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ที่ถ่ายมาที่ละไม่มากจนได้ปริมาณมากพอ จึงนำไปผสมลงในน้ำมันเตา ท่อดูดน้ำมันออกจากถังตกตะกอนต้องอยู่เหนือพื้นถึงไม่น้อยกว่า 10 ซม. และควรมีหม้อกรองขนาด 60-80 เมตรก่อนเข้าบ่เพื่อส่งเข้าถึงน้ำมันเตา

2.5.3.2 น้ำมันเครื่องชนิดดีเซล ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลได้ ในอัตราส่วนไม่เกิน 5% โดยต้องกำจัดพวกเขม่าตะกอน และน้ำออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อน โดยอาจใช้ Centrifugal separator การผสมน้ำมันดีเซลบางส่วนลงไปในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจะทำให้การแยกตะกอนและน้ำทำได้รวดเร็วและง่ายขึ้น

## 2.6 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (10)

การที่นานาประเทศต่างแข่งขันกันสำรวจและขุดเจาะน้ำมันดิบขึ้นมาใช้กัน อย่างฟุ่มเฟือยโดยที่ไม่ได้คิดไปถึงอนาคตว่าแหล่งน้ำมันดิบจะหมดไปได้ในวันหนึ่งข้างหน้า ทำให้มีผู้สังเกตเห็นการณ์ไกลคิดวิตกกังวล นอกจากจะคิดหาวิธีนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทนแล้วยังหาวิธีใช้น้ำมันปิโตรเลียมที่ขุดขึ้นมาให้คุ้มค่าที่สุดด้วย

ในสหรัฐอเมริกา แต่ละปีจะมีน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วถูกกำจัดทิ้งเป็นปริมาณถึง 1 ล้านแกลลอน หนึ่งในสามส่วนนี้ถูกเททิ้งลงในทะเลและพื้นดิน และส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้งไป ซึ่งนับว่าเป็นการสูญเสียน้ำมันปิโตรเลียมเป็นจำนวนมาก ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหามลภาวะอีกด้วย เพราะน้ำมันที่รวมตัวกันลอยเป็นแผ่นอยู่บนผิวทะเลจะปิดกั้นแสงแดดและการละลายของออกซิเจนลงในน้ำต้องใช้เวลานานกว่าน้ำมันจะสลายตัว สำหรับส่วนที่ถูกเผาไหม้จะก่อให้เกิดไอพิษจากออกไซด์ของโลหะต่างๆ ฝุ่นกระจายในบรรยากาศ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วน้ำมันหล่อลื่นที่ครบกำหนดการใช้งานเหล่านั้น ยังคงสภาพการเป็นน้ำมันปิโตรเลียมอยู่ สิ่งที่เสียไปคือคุณสมบัติบางอย่างที่เหมาะสมในการหล่อลื่นเท่านั้น เช่น ความหนืด (Viscosity) เปลี่ยนไป สารเพิ่มคุณภาพ (Additive) เสื่อมลงรวมทั้งมีสิ่งไม่พึงประสงค์ ได้แก่ เศษและไอออนของโลหะที่เกิดจากการเสียดสีของเครื่องยนต์ และยางเหนียว (Gum) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้มีผู้พยายามหาวิธีการต่างๆ เพื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีก ซึ่งมีวิธีที่เป็นไปได้หลายทาง เช่น นำน้ำมันที่ใช้แล้วไปผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งไม่พึงประสงค์แล้วนำมาใช้แทนน้ำมันเตาหรือใช้ผสมกับน้ำมันใหม่ในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่าง ๆ หรือในที่สุดอาจนำมากลั่นใหม่ เพื่อผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพ เทียบเท่ากับน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันดิบโดยตรง

การผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว มีขั้นตอนที่สำคัญตามลำดับดังนี้

2.6.1 กรรมวิธีขจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ออก เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดใน การจัดการกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ได้มีผู้คิดค้นปรับปรุงวิธีการตลอดมา เพื่อให้ ได้วิธีที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนในการดำเนินงานต่ำ อาจจะสรุปได้เป็น 3 วิธี คือ

2.6.1.1 การใช้กรดแก่หรือด่างแก่ ตกตะกอนสารที่ไม่พึง ประสงค์ออก

2.6.1.2 การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ละลายแยกน้ำมัน แล้วนำชั้นน้ำมันที่แยกได้ไปกลั่นไล่ตัวทำละลาย

2.6.1.3 การใช้สารละลายที่มีไอออนประจุลบ (แอนไอออน) เป็นตัวสกัดแยก โดยสามารถรวมกับโลหะซึ่งมีไอออนประจุบวก (แคตไอออน) ได้ดี

2.6.2 การกลั่นลำดับส่วนภายใต้สุญญากาศ หลังจากที่ได้กำจัดสิ่งไม่พึง ประสงค์ออกจากน้ำมันตามวิธีใดวิธีหนึ่งดังกล่าวแล้วจะต้องนำน้ำมันไปกลั่นลำดับส่วน ภายใต้สุญญากาศที่ 370-540 องศาเซลเซียส เพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมอื่นๆที่อาจหลง เหลืออยู่ออกไปอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะได้น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil Distil- late) ที่มีช่วงความหนืดต่างๆ กัน

2.6.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วให้เหมาะสมได้แก่ การฟอกสี การกำจัดกลิ่น และเติมสารเพิ่มคุณภาพ สำหรับการฟอกสีและกำจัดกลิ่น อาจทำได้หลายวิธีเช่น ใช้วิธีการฟอกสี (Clay-contacting) หรือใช้วิธี "Mild hydrogenation" แต่มักนิยมใช้วิธีแรกเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำกว่าในการฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยดินฟอกสี (Activated clay) นิยมใช้ดินฟอกสีคือ "Filtrol grade 20" หรือ "Superfiltrol" หรือ "Tonsil" พบว่าสีของน้ำมันที่ฟอก ด้วยดินฟอกสีนี้ความเข้มจะลดลงจาก "ASTM Colour 4-5" เป็น "ASTM Colour 1-1.5" โดยทั่วไปนิยมฟอกสีและกำจัดกลิ่นน้ำมันแต่ละช่วงความหนืดก่อน แล้วจึงนำ มาผสมกันเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Viscosity index) จะได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณ สมบัติที่ดีเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันดิบโดยตรง

ดังนั้น การเลือกวิธีขจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วให้เหมาะสม เช่น วิธี 2.6.1.3 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้เครื่องมือที่ง่ายและใช้สารเคมีในปริมาณน้อยจะสามารถนำน้ำมันที่ได้ไปใช้แทนน้ำมันเตาหรือนำไปผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันที่ใช้แล้วให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงแต่ต้นทุนต่ำสามารถแข่งขันด้านราคากับน้ำมันที่ผลิตจากน้ำมันดิบ(น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน) โดยตรงได้ ซึ่งเป็นการประหยัดน้ำมันดิบไม่ให้ถูกดูดขึ้นมาใช้เร็วเกินกว่าที่ธรรมชาติจะสร้างใหม่ได้ทัน

## 2.7 การสกัดแยกสาร (Solvent Extraction) (11)

การสกัดแยกสารเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญอย่างหนึ่งในทางวิศวกรรมเคมี เป็นกรรมวิธีที่ใช้แยกสารออกจากของผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือของแข็งโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว กระบวนการนี้แยกได้เป็น การสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction) และการสกัดสารออกจากของแข็งด้วยของเหลว (Leaching)

### 2.7.1 การสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction)

เป็นกรรมวิธีใช้แยกของผสมออกจากของผสมเดิมที่มีสถานะเป็นของเหลวโดยใช้ตัวสกัดแยกสารที่ไม่ผสมเป็นสารเนื้อเดียวกับสารละลายเดิมตัวสกัดแยกต้องมีความสามารถที่จะสกัดแยกสารชนิดหนึ่งออกจากของผสมได้ดี แต่สกัดแยกสารอีกชนิดหนึ่งได้ไม่ดีหรือไม่ได้เลย โดยทั่วไปการแยกของผสมที่เป็นของเหลวออกจากกันทำได้ง่ายๆ ด้วยวิธีการกลั่น แต่ในบางครั้งก็มีขอบเขตจำกัดที่ไม่สามารถแยกสารออกจากกันได้หรือไม่เหมาะสม เช่น การกลั่นแยกสารที่มีค่าความดันไอล้างเคียงกัน จะทำยากสารที่เป็นของผสมอาซีโอโทรป (Azeotrope mixture) ไม่สามารถแยกโดยวิธีการกลั่นตามปกติได้ของผสมที่มีความเจือจางมากๆ การกลั่นจะต้องใช้พลังงานมาก สารบางชนิดมีจุดเดือดสูง การกลั่นต้องใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสลายตัวของสารได้ ดังนั้นการกลั่นสารประเภทดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมต้องหาวิธีการอื่นๆ มาแทน วิธีการสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลวก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้ในการสกัดแยกสารได้

เพื่อให้เข้าใจถึงทฤษฎีขั้นพื้นฐานจะสามารถอธิบายโดยสรุป คือ การนำเอาของผสมที่มีสารที่ต้องการจะแยกซึ่งเรียกว่าสารป้อน (Feed) ประกอบด้วยสาร A และ B โดยที่สาร A เป็นสารที่ต้องการแยกออกจากของผสมเดิมใส่ในภาชนะพร้อมกับตัวสกัดแยกสาร (Extractant) คือสาร C สารในภาชนะจะมีการแยกออกเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 2.4 (ซึ่งสารป้อน (FEED) ในที่นี้คือน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ทำงานแล้วมีความหนาแน่นน้อยกว่าตัวสกัดแยกสาร (Extractant) ดังนั้นจะมีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวที่เป็นรอยต่อระหว่างชั้น คือโมเลกุลของ A จะค่อยๆ รวมตัวเข้าไปอยู่ใน C ซึ่งการถ่ายเทของมวลสารนี้จะเป็นไปได้อย่างช้าๆ เพราะการถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเท่านั้น ถ้าต้องการให้มีการถ่ายเทมวลสารเร็วขึ้นทำได้โดยการกวนโดยใช้ใบพัด ซึ่งจะทำให้ของเหลวชนิดหนึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นหยดๆ (น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว) กระจายอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง (สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต) ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสเพิ่มอัตราการถ่ายเทของมวลสาร ของเหลวที่มีลักษณะเป็นหยดๆ นี้ จะเรียกว่า "Dispersed phase" ส่วนของเหลวที่ไม่แตกเป็นหยดเรียกว่า "Continuous phase" ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ปริมาณของสาร A จาก Feed ที่ละลายเข้าไปอยู่ใน C จะขึ้นกับเวลาและลักษณะการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของๆ เหลวในระบบ แต่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณของ A ที่มีอยู่ใน C และที่เหลืออยู่ใน B จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา แล้วภาวะของระบบเช่นนี้เรียกว่า ภาวะสมดุล (Equilibrium) ซึ่งจะเป็นปริมาณสูงสุดของสารที่สกัดแยกได้ในระบบนั้น

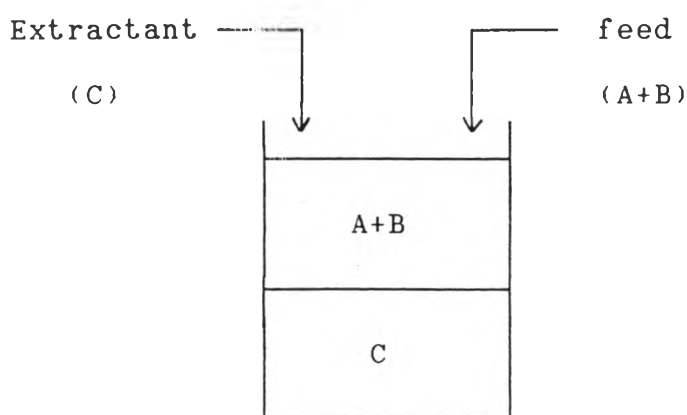
หลังจากกวนแล้วระบบอาจถึงสมดุลหรือไม่ก็ตาม เมื่อเลิกกวนหยดของๆ เหลวที่กระจายอยู่จะเกิดการรวมตัวกันของเหลวจะแยกเป็น 2 ชั้นดังเดิมชั้นล่างตามรูปที่ 2.6 จะมีตัวสกัดแยกสาร C อยู่ร่วมกับสารที่ถูกสกัดแยกออกมาคือ A และอาจจะมี B ที่ละลายได้บ้างเล็กน้อยรวมอยู่ด้วย ของเหลวในส่วนนี้เรียกว่า ภูมิภาคเอกซ์แทรค (Extract) ส่วนของเหลวชั้นบนจะมี B อยู่กับ A ส่วนที่แยกออกไปไม่หมดและอาจจะมี C ส่วนที่ละลายใน B ได้บ้างปนอยู่ด้วยส่วนนี้จะเรียกว่า ภูมิภาคราฟฟินेट (Raffinate)



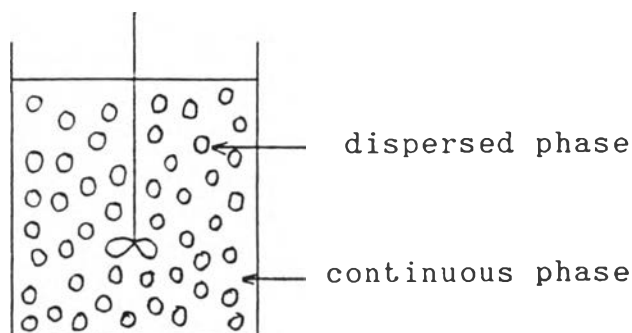


2.7.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (11)  
ในการบอกลักษณะว่าเป็นของเหลวส่วนไหนมีองค์ประกอบอย่างไรมีปริมาณเท่าใดได้กำหนดเป็นสัญลักษณ์ดังนี้

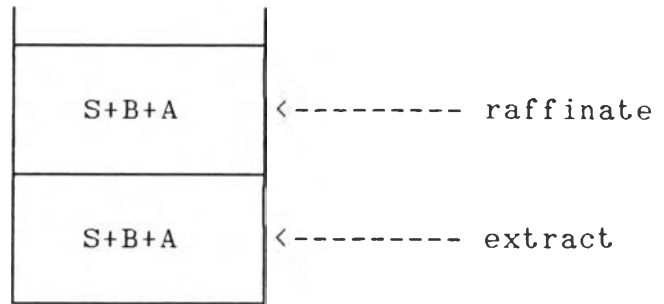
การกำหนดของเหลวจากส่วนต่างๆใช้ F, C, E, R, แทน Feed, Extractant, Extract และ Raffinate ตามลำดับ การกำหนดส่วนประกอบของส่วนผสมในของเหลวต่างๆ จะกำหนดเป็นเศษส่วนมวล (Mass fraction) ใช้สัญลักษณ์คือ X และการกำหนดว่าเป็นสารชนิดใด อยู่ในของเหลวส่วนไหน ใช้ตัวห้อยอีก 2 ตัวโดยตัว



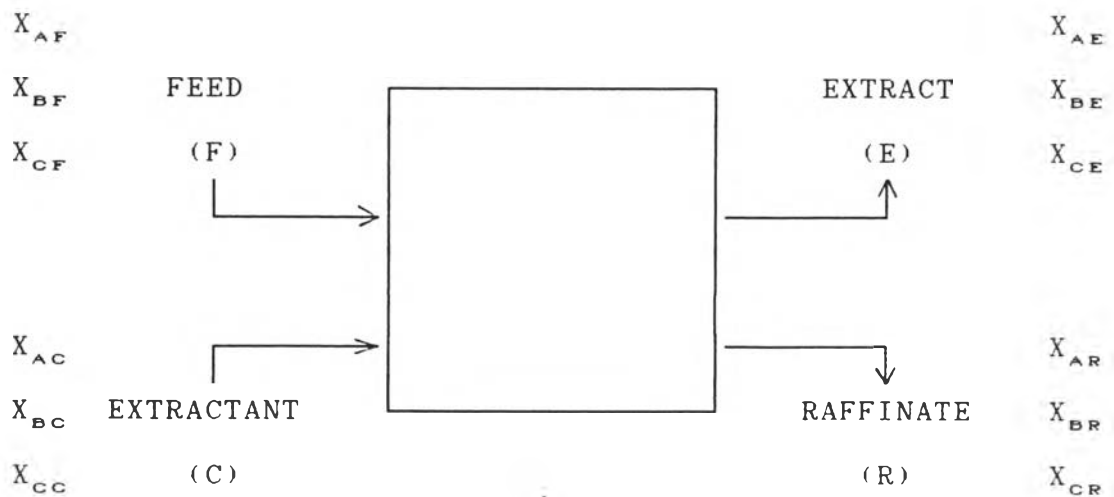
รูปที่ 2.4 การถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาค



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทมวลสารเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ใบพัดกวน



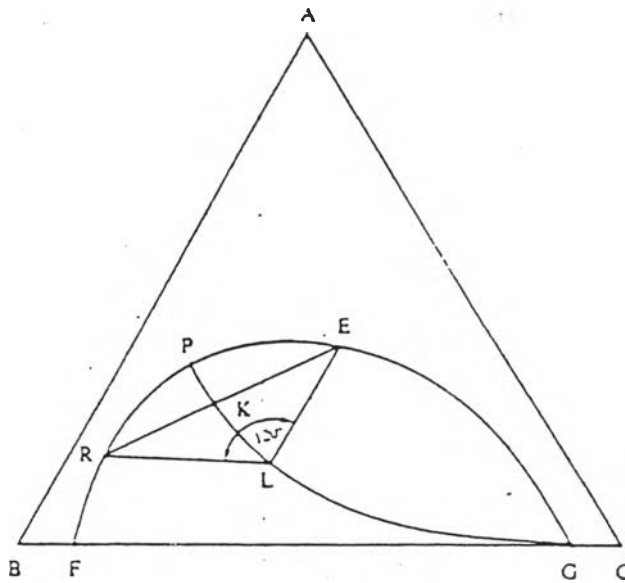
รูปที่ 2.6 เมื่อหยุดการกวนวัฏภาคทั้งสองจะแยกออกจากกัน



รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสกัดสารจากของเหลวด้วยของเหลว

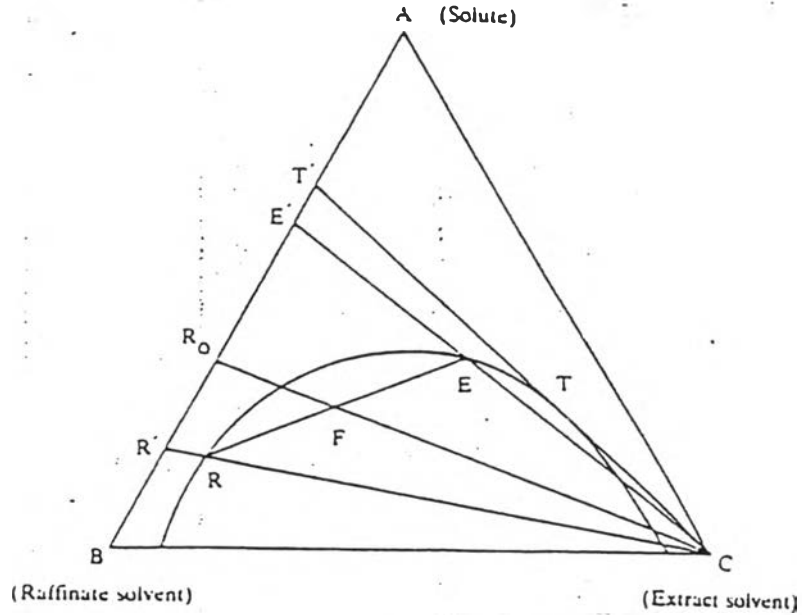
แรกกำหนดว่าเป็นสารใด (A, B และ C) ตัวถัดมากำหนดว่าอยู่ในของเหลวส่วนไหน (F, C, E, R) เช่น  $X_{BE}$  แทนเศษส่วนโมลของ B ในวัฏภาคเอกซ์แทรกต์ (Extract),  $X_{AR}$  แทนเศษส่วนโมลของ A ที่อยู่ในวัฏภาคราฟฟินेट (Raffinate) เป็นต้น

ในกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวนั้น (12) ตัวสกัด แยกสารที่ใช้มาสกัด (Extract solution) ตัวถูกละลายออกจากตัวทำละลายตัว แรก (Raffinate solvent) นั้นควรจะสกัดแยกตัวถูกละลายได้ดีกว่าตัวทำละลาย ตัวแรกพิจารณารูปที่ 2.8 หลังจากการสกัดแล้ว ได้วิถีภาคกราฟฟิเนต R และวิถีภาค เอกซ์แทรคต E R มีส่วนประกอบของ A อยู่ที่  $X_{AR}$  และ E มีส่วนประกอบของ A อยู่ที่  $X_{AE}$  ยิ่ง  $X_{AE}$  สูงกว่า  $X_{AR}$  มากเท่าใดแสดงว่าตัวสกัดแยกสาร C มีความ สามารถในการสกัดแยกสาร A สูงกว่าตัวทำละลาย B เท่านั้น



รูปที่ 2.8 แผนภูมิสมดุลแสดงเส้นคอนจูเกต

ถ้าเติมมีสารละลาย A ใน B ที่จุด  $R_0$  แล้วเติม C ลงไปของ ผสมที่ได้จะอยู่บนเส้นเชื่อมจากมุม C และจุด  $R_0$  ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เช่นได้ของ ผสมรวมอยู่ที่จุด F ซึ่งแยกออกจากวิถีภาคกราฟฟิเนตที่ R และวิถีภาคเอกซ์แทรคตที่ E



รูปที่ 2.9 ค่าการเลือกในการสกัดด้วยของเหลว

ถ้าไม่คำนึงถึงปริมาณของตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์ C ที่มีอยู่ในแต่ละวัฏภาคลากเส้น CR แล้วต่อออกไปตัดกับ AB ที่จุด R' และลากเส้น CE แล้วต่อออกไปตัดกับ AB ที่จุด E' จุด R' จะแทนวัฏภาคของ R ถ้าแยก C ที่มีอยู่ออกไปหมดแล้ว จุด E' แทนวัฏภาคของ E ถ้าแยก C ที่มีอยู่ออกไปหมดแล้ว อัตราส่วน  $BE'/BR'$  จึงแสดงถึงปริมาณของ A ที่มีอยู่ในวัฏภาคเอ็กซ์แทรกต์เทียบกับปริมาณของ A ในวัฏภาคราฟไฟเนต เมื่อไม่คิดถึงปริมาณ C ที่มีอยู่ในวัฏภาคทั้ง 2 (Extractant-Free Basis)

อัตราส่วน  $BE'/BR'$  เรียกว่า ค่าการเลือก (Selectivity) ของตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์ C ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 1 ถ้าตัวสกัดแยกนั้นมีคุณสมบัติในการเลือกสกัดแยกตัวถูกละลายที่ต้องการ การสกัดตัวถูกละลาย A ออกจากสารละลาย AB ด้วยตัวทำละลาย C นั้นกระทำได้ในช่วงส่วนประกอบจากจุด B ถึง T' ในรูปที่ 2.9 เท่านั้นในเมื่อ T' ได้จากการต่อเส้นสัมผัส CT มายังด้าน AB เพราะถ้าส่วนประกอบของของผสมของ A, B และ C อยู่บนอกเส้นค่าการละลาย จะไม่ได้การแยกเป็นสองวัฏภาคอีกต่อไป

### 2.7.3 ประสิทธิภาพการสกัดสาร (12)

ประสิทธิภาพของตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์ C ในการแยกตัวถูกละลาย A ออกจากสารละลายกราฟไฟเนต อาจแสดงได้โดย เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ A เทียบกับ B ในวัฏภาคเอ็กซ์แทรกต์กับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ A เทียบกับ B ในวัฏภาคกราฟไฟเนต อัตราส่วนนี้เรียกว่า ค่าการเลือกสัมพัทธ์ (Relative selectivity) หรือแฟกเตอร์ของการแยก (Separation factor) ใช้สัญลักษณ์  $\beta$

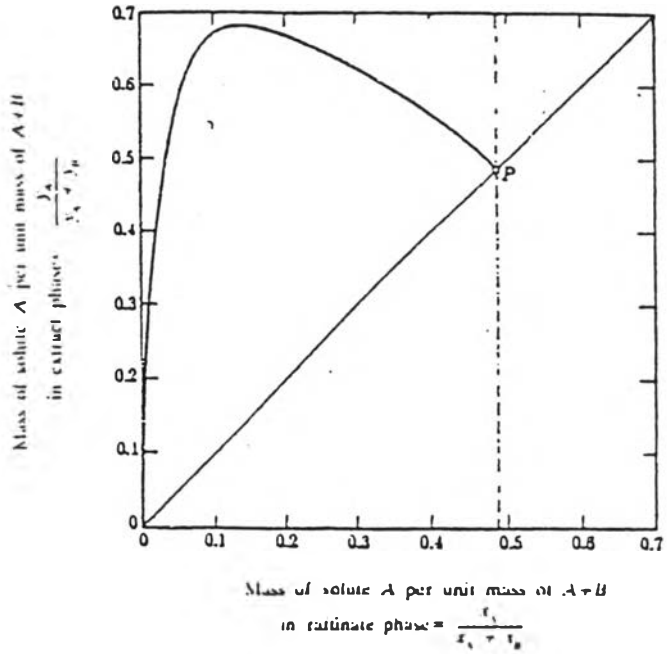
จากรูปที่ 2.9 ที่วัฏภาคคอนจูเกต ER ใด ๆ

$$\beta = \frac{BE' / AE'}{BR' / AR'}$$

ที่จุดเพลต ค่า  $\beta$  จะเท่ากับ 1 จึงไม่มีการแยกเกิดขึ้น และค่าการเลือก (Selectivity) เท่ากับศูนย์ในการสกัดของเหลวให้ได้ผล ค่า  $\beta$  จึงต้องสูงกว่า 1 และการสกัดจะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อค่า  $\beta$  สูง ค่าการเลือกของตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์ใดๆ อาจแสดงได้ในรูปเรียกว่า แผนภูมิค่าการเลือก (Selectivity diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งได้จากการนำค่า  $BE'$  ใดๆ (ปริมาณของ A ในวัฏภาคเอ็กซ์แทรกต์เทียบกับปริมาณ A และ B รวมกัน) เรียกว่า  $y$  มาพล็อตกับค่า  $BR'$  เรียกว่า  $x$  ของวัฏภาคคอนจูเกต (ปริมาณของ A ในวัฏภาคกราฟไฟเนตเทียบกับปริมาณ A และ B รวมกัน)

เส้น  $45^\circ$  เป็นเส้นที่  $BE'(y)$  มีค่าเท่ากับ  $BR'(x)$  ดังนั้น ยิ่งเส้นกราฟเบี่ยงเบนออกจากเส้น  $45^\circ$  ได้มากเท่าไรยิ่งแสดงว่าค่าการเลือกดีขึ้นเท่านั้น และที่จุดเพลตค่าการเลือกเป็นศูนย์ และวัฏภาคเอ็กซ์แทรกต์จะมีตัวถูกละลาย A อยู่ในปริมาณสูงสุด (Maximum enrichment) เมื่อจุดนั้นห่างจากเส้น  $45^\circ$  ในระยะทางตั้งฉากสูงที่สุดนั่นคือ เมื่อ  $BE' = BT'$  นั่นเอง ที่จุดนี้จะให้ค่าการเลือกสัมพัทธ์ ( $\beta$ ) สูง

Mass of solute A  
per Mass of A+B  
in extract phase



Mass of solute A per Mass of A+B  
in raffinate phase

รูปที่ 2.10 แผนภูมิดำการเลือก

แผนภูมิที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการสกัดของเหลวด้วยของเหลวอีกแบบหนึ่งได้แก่ แผนภูมิปองซอง (Ponchon diagram) ซึ่งเหมาะสำหรับการสกัดสวนทางแบบต่อเนื่อง ในแผนภูมินี้ค่าหนึ่งถึงเฉาะน้ำหนักของตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรก (C) หรือน้ำหนักของตัวถูกละลาย A ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวถูกละลาย และตัวทำละลายราฟเฟอเนตรวมกันที่มีอยู่ในแต่ละวัฏภาคเท่านั้นจะได้กราฟ 4 แกน สองส่วนซึ่งมาเชื่อมเป็นกราฟเส้นเดียวกันที่จุด P ดังแสดงในรูปที่ 2.11

วัฏภาคเอ็กซ์แทรก

เมื่อ  $S =$  น้ำหนักของตัวสกัดแยก C ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ A+B

$$S_c = \frac{Y_c}{Y_A + Y_B} \dots\dots(2.1)$$

$Y =$  น้ำหนักของตัวทำละลาย A ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ A+B

$$Y = \frac{Y_A}{Y_A + Y_B} \quad \dots\dots (2.2)$$

วิภาคราฟฟินेट

เมื่อ  $S_R =$  น้ำหนักของตัวสกัดแยก C ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ A+B

$$S_R = \frac{X_C}{X_A + X_B} \quad \dots\dots (2.3)$$

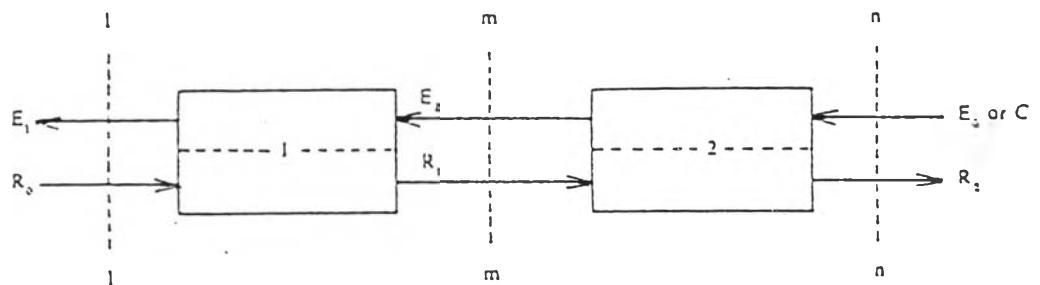
$X =$  น้ำหนักของตัวถูกละลาย A ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ A+B

$$X = \frac{X_A}{X_A + X_B} \quad \dots\dots (2.4)$$

ในอุตสาหกรรมการสกัดของเหลวด้วยของเหลว กระทำได้ 3 แบบ คือ สกัดด้วยตัวสกัดแยกสารบริสุทธิ์ครั้งเดียว สกัดด้วยตัวสกัดแยกสารบริสุทธิ์หลายๆครั้ง หรือสกัดด้วยตัวสกัดแยกสารสวนทางกับสารละลายราฟฟินेटแบบต่อเนื่อง

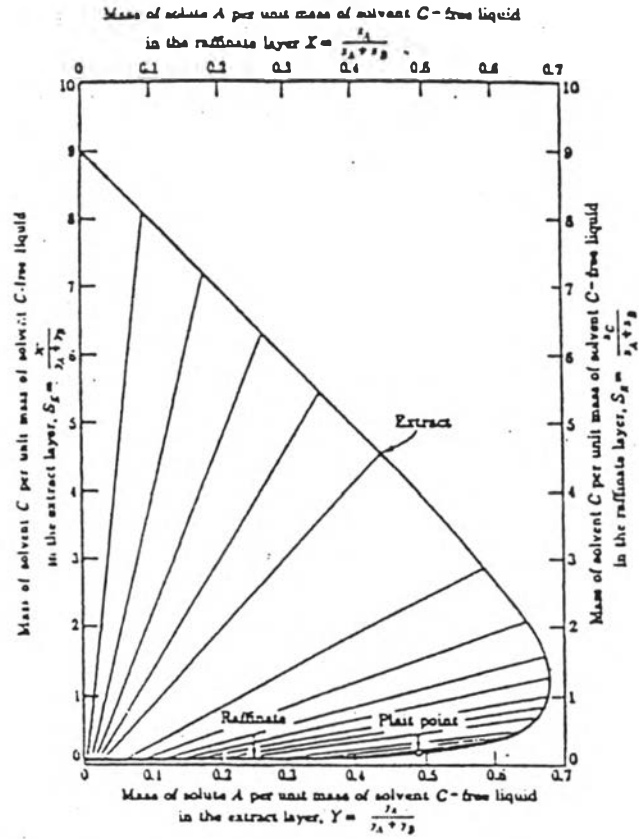
การสกัดของเหลวด้วยของเหลวที่กระทำกันในอุตสาหกรรม มักนิยมใช้วิธีต่อเนื่อง เนื่องจากของเหลว 3 ชนิดจะอยู่ในสมดุลค่าหนึ่ง หลังจากที่มาสัมผัสกันในช่วงเวลาหนึ่งแล้ว ตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์ก็ยังไม่สามารถละลายตัวถูกละลายออกมาจากสารละลายราฟฟินेटได้หมดในขั้นตอนเดียว นอกจากนี้สารละลายเอ็กซ์แทรกต์ที่ไต่ยังคงมีความสามารถในการสกัดแยกตัวถูกละลายในสารละลายราฟฟินेटที่เข้มข้นกว่าเดิมอีกด้วย จึงใช้วิธีป้อนตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์สวนทางกับสารละลายราฟฟินेटในระบบการสกัดที่มีหน่วยสกัดมากกว่าหนึ่งหน่วยขึ้นไป (Stage-wise countercurrent extraction) โดยวิธีนี้ตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรกต์บริสุทธิ์จะสัมผัสกับสารละลายราฟฟินेट ที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายเจือจางมากที่สุดก่อน แล้วสารละลายเอ็กซ์แทรกต์ที่ได้จะไปสัมผัสกับสารละลายราฟฟินेटที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ตามลำดับ

ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด รูปที่ 2.12 แสดงแผนภูมิการไหลของกระแสต่างๆในกระบวนการสกัดสวนทางแบบต่อเนื่องที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย ให้สัญลักษณ์ในรูปที่ 2.12 แทนมวลและส่วนประกอบของแต่ละกระแส เพื่อความสะดวกในการพิจารณาสมดุลของมวลสาร ในหน่วยสกัดที่ 1  $E_1$  และ  $R_1$  เป็นวัฏภาคคอนจูเกตที่ได้จากสมดุลของการผสมสารละลายราฟพิเนต  $R_0$  กับสารละลายเอ็กซ์แทรก,  $E_2$  ที่ได้จากหน่วยสกัดที่ 2 ในหน่วยสกัดที่ 2  $E_2$  และ  $R_2$  เป็นวัฏภาคคอนจูเกตที่ได้จากสมดุลของการผสมสารละลายราฟพิเนต  $R_1$  ที่ได้จากหน่วยสกัดที่ 1 กับตัวสกัดแยกเอ็กซ์แทรก  $E_0$  หรือ  $C$  (ถ้าเป็นตัวสกัดแยกบริสุทธิ์) แทนสมดุลของหน่วยสกัดทั้ง 2 หน่วยลงในกราฟสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การพิจารณาสมดุลของมวลสารของกระบวนการนี้ จะพิจารณาสมดุลของหน่วยสกัดแต่ละหน่วยและกระบวนการสกัดรวม โดยที่กระบวนการสกัดนี้ไม่มีการสูญเสียหรือการสะสมมวลสาร ผลรวมของมวลสารทั้งหมดที่เข้าจึงเท่ากับมวลทั้งหมดที่ออก

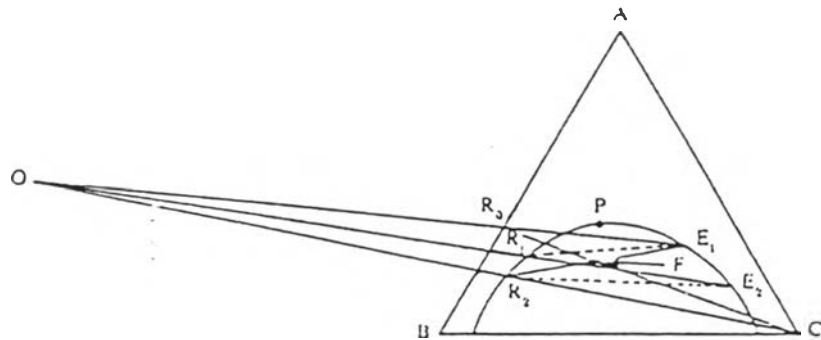


รูปที่ 2.11 แผนภูมิปองช่องสำหรับการสกัดด้วยของเหลว





รูปที่ 2.12 แผนภูมิการไหลของกระแสในกระบวนการสกัดย้อนทางที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย โดย 1-1, m-m และ n-n เป็นบริเวณสมมติของการถ่ายเทมวลสาร



รูปที่ 2.13 การสกัดย้อนทางที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย

สมดุลของมวลสารรอบหน่วยสกัดที่ 1 (Overall material balance over extractor 1)

$$R_0 + E_2 = R_1 + E_1 \quad \dots(2.5)$$

สมดุลของมวลสารรอบหน่วยสกัดที่ 2 (Overall material balance over extractor 2)

$$R_0 + E_2(C) = R_1 + E_1 \quad \dots(2.6)$$

สมดุลของมวลสารรอบขบวนการ (Overall material balance)

$$R_0 + C = R_1 + E_1 \quad \dots(2.7)$$

รวมความสัมพันธ์ของสมการทั้ง 3 เข้าด้วยกันได้ว่า

$$R_0 - E_1 = R_1 - E_2 = R_2 - C \quad \dots(2.8)$$

สมการสุดท้ายได้จากการพิจารณาผลรวมของมวลสาร ที่ผ่านหน่วยสมมติ 1-1, m-m และ n-n จากซ้ายไปขวาตามลำดับและ เนื่องจากไม่มีสูญเสียหรือสะสมสารรวม และ/หรือมวลสารขององค์ประกอบ A, B และ C ใดๆ ในระบบมวลสารที่ถ่ายเทผ่านหน่วยสมมติจากซ้ายไปขวา จึงควรมีปริมาณที่เท่ากันทุกหน่วยสมมติ นั่นคือดังที่สมการ (2.8) แสดงไว้เนื่องจากสมการ (2.8) แสดงผลต่างดังนั้นเมื่ออาศัยกฎคาน้ำจัดที่หน่วยสมมติ 1-1 ผลต่างระหว่าง  $R_0$  และ  $E_1$  ควรจะอยู่บนเส้นตรงที่ต่อออกไปจากเส้นตรง  $E_1R_0$  เช่นเดียวกันมวลสารที่ผ่านหน่วยสมมติ m-m และ n-n ก็ควรจะอยู่บนเส้นตรงที่ออกไปจาก  $E_2R_1$  และ  $CR_2$  ตามลำดับ และเนื่องจากมวลสารที่ผ่านหน่วยสมมติแต่ละหน่วยมีค่าเท่ากันและมีส่วนประกอบเหมือนกัน เส้นตรงที่ต่อออกไปจาก  $E_1R_0$ ,  $E_2R_1$  และ  $CR_2$  จึงควรจะตัดกันที่จุดเดียวกันซึ่งคือจุดที่แทน

มวลสารและองค์ประกอบที่ผ่านหน่วยสมมติทั้ง 3 หน่วยดังที่แสดงในรูปที่ 2.13 เป็นจุด 0 การที่จุด 0 อยู่นอกกราฟเช่นนี้แสดงค่าปริมาณของ C ติดลบซึ่งเป็นเพราะในกระบวนการจริงมวลสาร C ถ่างออกจากขวาไปซ้าย มิใช่ซ้ายไปขวาดังที่สมการแสดง

#### 2.7.4 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ ( Ternary liquid system types) (12)

ระบบของเหลว 3 ชนิดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ A, B และ C แสดงสมดุลของการอยู่ร่วมกันขององค์ประกอบทั้ง 3 แตกต่างกันไป 4 แบบขึ้นอยู่กับ การละลายในกันและกัน ดังนี้

แบบที่ 1 (Type 1)	A และ B ละลายในกันและกันได้หมด A และ C ละลายในกันและกันได้หมด B และ C ละลายในกันและกันได้บ้าง
แบบที่ 2 (Type 2)	A และ B ละลายในกันและกันได้บ้าง B และ C ละลายในกันและกันได้บ้าง A และ C ละลายในกันและกันได้หมด
แบบที่ 3 (Type 3)	A และ B และ A และ C ต่างละลายในกันและกันได้บ้าง
แบบที่ 4 (Type 4)	ทั้ง A, B และ C ต่างละลายในกันและกันได้หมด

รูปที่ 2.14 ก) เป็นแบบที่ 1 ซึ่งเป็นแบบที่พบกันมากที่สุดและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ในกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวได้มากที่สุดเช่น ระบบคลอโรฟอร์ม-น้ำ-กรดอะซิติก ระบบเบนซีน-เอทานอล-น้ำ ระบบทอลูอิน-น้ำ-กรดอะซิติกและระบบไอโซโพรอทีเทอร์-น้ำ-กรดอะซิติก เป็นต้น

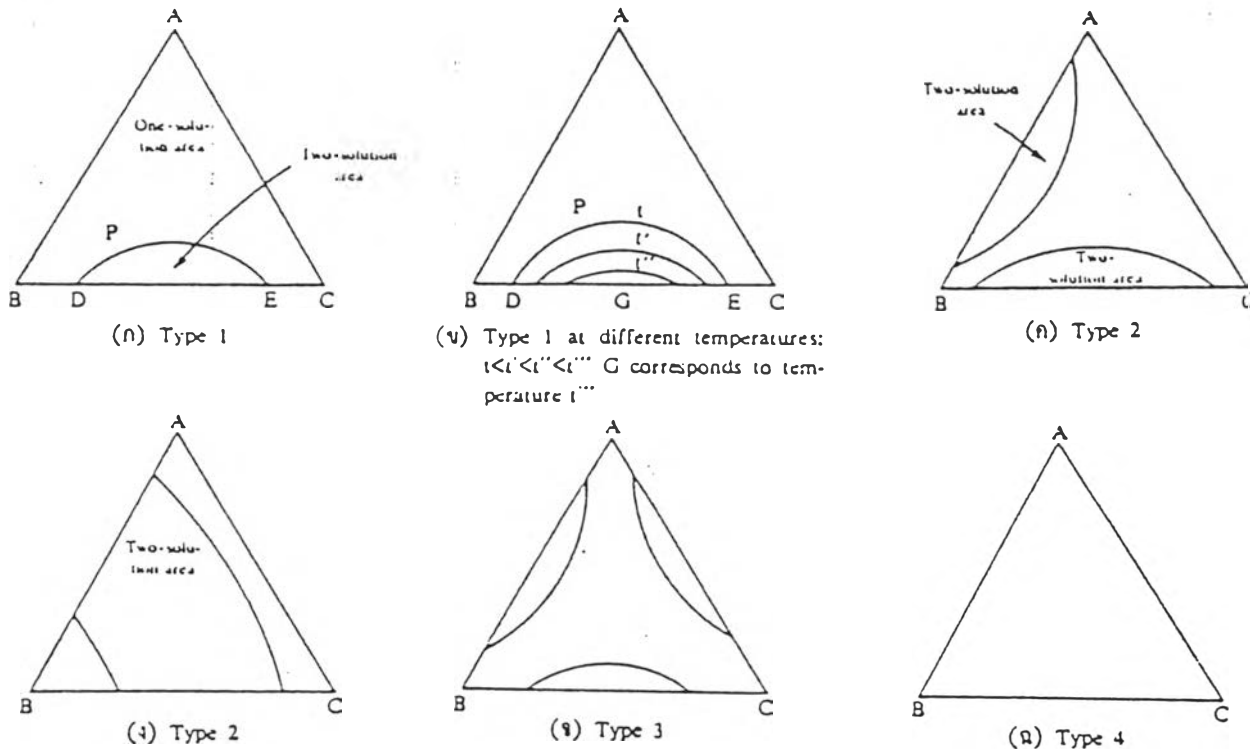
รูปที่ 2.14 ข) แสดงถึงผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายในกันและกันจะเพิ่มขึ้น เส้นค่าการละลายจึงลดลง พื้นที่ใต้เส้นโค้งค่าการละลายซึ่งแสดงถึงระบบสองวัฏภาคจึงลดลงด้วยจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง  $t''$

การละลายของ A, B และ C จะสมบูรณ์หมดที่ส่วนประกอบ G เรียกว่าส่วนประกอบสารละลายวิกฤตและ  $t''$  คือ อุณหภูมิสารละลายวิกฤต

รูปที่ 2.14 ค) และ ง) เป็นแบบที่ 2 เช่นระบบนอร์มัลเฮปเทน-เมทิลไซโคลเฮกเซน-น้ำ ในรูป ค) การละลายของ A ใน B และ B ใน C ค่อนข้างสูง เส้นโค้งค่าการละลายจะรวมเข้าด้วยกันกลายเป็นบริเวณเดียวกัน เช่นในรูปที่ ง) การละลายเช่นในรูปที่ ง) นี้อาจได้จากองค์ประกอบเช่นเดียวกับในรูป ค) แต่เพิ่มอุณหภูมิทำให้การละลายดีขึ้น

รูปที่ 2.14 จ) เป็นแบบที่ 3 ซึ่งไม่ค่อยพบบริเวณที่มีการละลายในกันและกันได้หมด มีภูมิภาคเดียวคือ บริเวณตรงกลาง

รูปที่ 2.14 ฉ) เป็นแบบที่ 4 นั่นคือไม่ปรากฏเส้นค่าการละลายของเหลวทั้ง 3 ชนิด รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันหมดในทุกๆอัตราส่วน ระบบนี้แยกได้โดยการกลั่นเท่านั้น



รูปที่ 2.14 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ

เมื่อ A คือตัวถูกละลาย B คือตัวทำละลายราฟฟินเนต

C คือตัวสกัดแยกแอกซ์แทรก

## 2.8 หอสกัดสารแบบไซน์เบลคอลลัมน์ (Scheibel Column) (13)

การแยกองค์ประกอบ 2 อย่างหรือมากกว่า 2 อย่างที่ละลายปนอยู่ในของเหลวผสม นับได้ว่าเป็นปัญหาขั้นพื้นฐานทางวิศวกรรมเคมี การแยกสารตัวที่ต้องการทำได้ด้วยการนำของเหลวนั้น มาสัมผัสกันกับของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบหนึ่งหรือหลายองค์ประกอบออกโดยการสกัดแยก การสกัดแยกนี้เกิดขึ้นได้เพราะ องค์ประกอบบางตัวมีความสามารถในการถูกสกัดได้มากกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ในสารละลายที่นำมาใช้ สิ่งที่ทำให้เกิดการแยกตัวก็คือ ความแตกต่างในความสามารถและปฏิกิริยาทางเคมีขององค์ประกอบต่างๆ สารละลายที่สกัดออกมาได้จะมีการถ่ายเทมวลสารของโมเลกุล ในลักษณะเดียวกันนี้การสกัดทำได้โดยใช้เครื่องมือแบบ York-Scheibel, โดยที่ภาวะของการเคลื่อนที่ (สารละลายที่กำลังเคลื่อนตัวออก) และภาวะการสกัดแยกตัว (ตัวที่ละลายกำลังแยกตัวออกมา) จะต้องไม่ถูกผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์

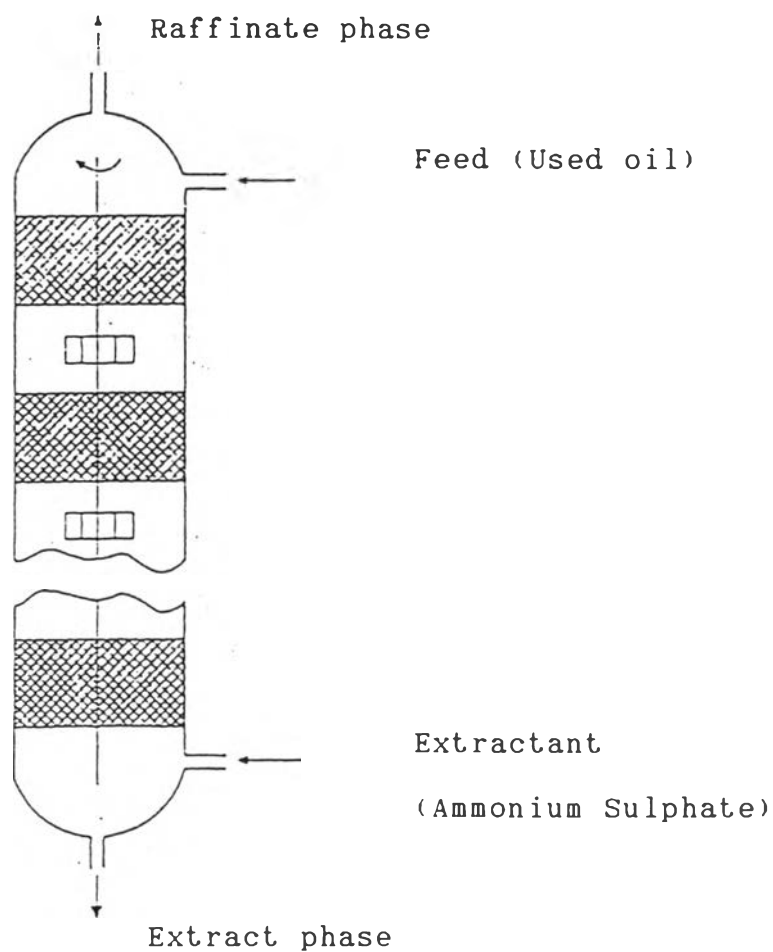
ขั้นตอนกระบวนการสกัดแยกสาร จะมีขั้นตอนที่เกิดขึ้น 4 ขั้นตอนคือ

1. การนำตัวสกัดแยกและสารละลายผสมมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. ทำการแยกวัฏภาคทั้ง 2 ออกจากกัน
3. แยกตัวสกัดแยกออกจากแต่ละวัฏภาค
4. แยกสารละลายที่ได้ออกจากวัฏภาคที่สกัดแล้ว

การสกัดของคอลลัมน์แบบ Scheibel column โดยการทำให้ตัวสกัดแยกและสารละลายผสมเคลื่อนที่ นับได้ว่ามีประโยชน์มากต่อการสกัดสาร เป็นการสกัดแยกสารละลายที่ต้องการในลักษณะที่เกี่ยวข้องกันกับหลายๆ สภาวะ โดยที่แต่ละส่วนของการผสม และการรวมเป็นเนื้อเดียวกันให้พิจารณาได้ว่าเป็นภาวะที่แท้จริงภาวะหนึ่ง

ดังนั้นจำนวนของภาวะต่างๆจะสามารถกำหนดได้ภายในเครื่องมืออุปกรณ์ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานของคอลลัมน์ จะเป็นการผสมกันของตัวสกัดแยกและสารละลายผสม ซึ่งจะมีการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีผลมาจากความเร็วรอบ

ของมอเตอร์ สำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์, ความเข้มข้นของตัวสกัดแยกและ สารละลายผสมที่ป้อนเข้าไปในคอลัมน์, อัตราเร็วในการไหลของสาร จะมีผลต่อ ความเข้มข้นของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์หลังผ่านสกัดอุปกรณ์สกัดแยกสาร



รูปที่ 2.15 หอสกัดสารแบบไซน์เบล (Scheibel column)