

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ปิโตรเลียม

ในปัจจุบันเราได้อาศัยพลังงานจากปิโตรเลียมอย่างกว้างขวาง รวมทั้งนำปิโตรเลียมไปใช้ผลิตวัสดุต่างๆ ดังนั้นทั้งน้ำมันและแก๊สได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันอยู่ทุกชั้นตอน

ปิโตรเลียมเกิดจากการทับถมและแปรสภาพของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ช่วงยุคก่อนประวัติศาสตร์ในชั้นหินใต้พื้นผิวโลกเมื่อดายลงจะตกตะกอนจมลงหรือถูกกระแส น้ำพัดมาจมลงบริเวณที่เป็นทะเลหรือทะเลสาบ พร้อมทั้งถูกทับถมด้วยชั้นกรวด หินทราย และโคลนตมที่แม่น้ำลำคลองพัดพามาสลับกันเป็นชั้นๆ เกิดน้ำหนักกดทับกลายเป็นชั้นหินต่างๆ นับเป็นเวลาล้านๆ ปี เช่น ชั้นหินทราย ชั้นหินปูน ชั้นหินดินดาน ความกดดันจากชั้นหินกับความร้อนใต้ผิวโลก และการสลายตัวของอินทรีย์สาร โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศทำให้ซากพืชซากสัตว์สลายตัวกลายเป็นสภาพเป็นหยดน้ำมันและแก๊สธรรมชาติหรือปิโตรเลียม โดยมีธาตุไฮโดรเจนและธาตุคาร์บอนซึ่งได้จากการสลายตัวของอินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบ แต่เนื่องจากชั้นผิวโลกมีการเคลื่อนตัวทำให้พบน้ำมันในสภาพภูมิประเทศต่างๆ กัน

2.1.1 ปิโตรเลียม

1. ก๊าซธรรมชาติ คือ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มี CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 และ C_4H_{10} แต่ส่วนมากจะเป็น CH_4

2. น้ำมันดิบ คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากมายที่ปนกัน สารจำพวกนี้มีจุดเดือดแตกต่างกันน้อย จึงต้องแยกด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วน

สารไฮโดรคาร์บอนที่แบ่งได้จากการกลั่นลำดับส่วน เรียงจากจุดเดือดต่ำไปหาจุดเดือดสูง

ก) ก๊าซปิโตรเลียม (C_1 - C_4)

ข) น้ำมันเบนซิน

ค) น้ำมันก๊าด

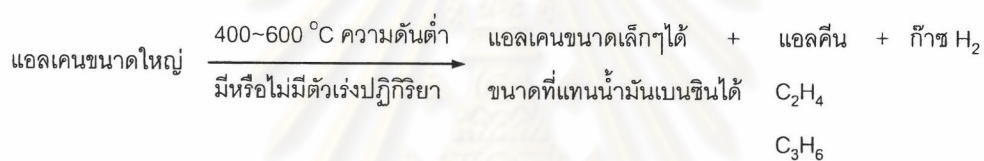
ง) น้ำมันดีเซล

จ) น้ำมันหล่อลื่น

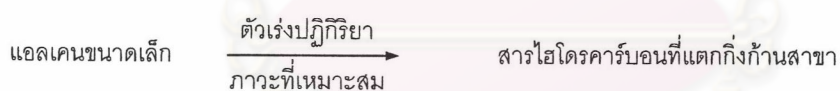
- ฉ) ไช
 ช) น้ำมันเตา
 ซ) บิทูเมน

เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่จำนวน C อะตอมมาก มีประโยชน์น้อย ราคาต่ำ สารเหล่านี้จึงถูกนำมาเปลี่ยนเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลและมวลโมเลกุลที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล และปรับปรุงโครงสร้างของโมเลกุลให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีขึ้นมีดังนี้

1. กระบวนการแตกสลาย (Cracking)



2. การรีฟอร์มมิง (Reforming)



3. การแอลคิลเลชัน (Alkylation)



สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนต้องมีลักษณะดังนี้

- ก) โมเลกุลได้ขนาด ที่มี $\text{C}_5 \sim \text{C}_{10}$
 ข) โมเลกุลที่มี C ต่อกันแตกกิ่งก้านสาขา

2.1.2 การผลิตปิโตรเลียม

ปิโตรเลียมที่ผลิตได้จากหลุมผลิต ก่อนที่จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลวและน้ำมันดิบได้นั้น จะต้องนำมาผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อให้ปิโตรเลียมที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการเสียก่อน โดยทั่วไปกระบวนการผลิตตามแหล่งต่างๆทั้งบนบกและทะเลจะประกอบด้วยระบบต่างๆดังนี้

- ก) ระบบแยกสถานะ (Gas / Liquid Separator)
- ข) ระบบเพิ่มแรงดันก๊าซ (Gas Compression)
- ค) ระบบดูดความชื้นก๊าซ (Gas Dehydration)
- ง) ระบบคงสภาพก๊าซธรรมชาติเหลว (Condensate Stabilizer)
- จ) ระบบคงสภาพและกักเก็บน้ำมันดิบ (Crude / Oil Tank System)
- ฉ) ระบบบำบัดน้ำทิ้ง (Water Treatment & Disposal System)
- ช) ระบบมาตรวัด (Metering)

ปิโตรเลียมจากหลุมผลิตจะถูกส่งไปแยกสถานะที่ระบบแยกสถานะเพื่อจะทำการแยกก๊าซธรรมชาติเหลว น้ำมัน และน้ำออกจากกัน ก๊าซที่ได้จะถูกส่งไปเพิ่มแรงดันและดูดความชื้นที่ระบบเพิ่มแรงดันก๊าซ และระบบดูดความชื้นก๊าซตามลำดับ ก่อนที่จะทำการซื้อขายโดยผ่านระบบมาตรวัดก๊าซ ส่วนก๊าซธรรมชาติเหลว หรือน้ำมันที่ได้จากระบบแยกสถานะจะถูกส่งไปยังระบบคงสภาพ ก่อนที่จะส่งไปเก็บกักเพื่อรอการขนถ่าย น้ำที่ได้จากระบวนการผลิตปิโตรเลียมจะถูกส่งไปบำบัด เพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่ทะเล หรืออัดกลับลงไปในหลุมเพื่อให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.2 ลักษณะและองค์ประกอบ

น้ำมันปิโตรเลียมเป็นสารผสมที่สลับซับซ้อนมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่สุดได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ ตั้งแต่โมเลกุลเล็กที่สุดจนถึงพวกโมเลกุลใหญ่ และยังมีสารอินทรีย์ที่มีกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบอีกหลายชนิด น้ำมันดิบจะมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกัน เนื่องจากสัดส่วนของไฮโดรคาร์บอนในแต่ละพื้นที่

น้ำมันดิบจะมีไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ ในน้ำมันดิบทุกชนิดจะมีไฮโดรคาร์บอนอยู่ 3 ประเภท

- 1) พาราฟิน (Paraffins or Alkanes)
- 2) แนฟทีน (Naphthenes or Cyclo Alkanes)
- 3) อะโรแมติก (Aromatic)

นอกจากนี้สารจำพวกอินทรีย์ที่มีโลหะ (Organometallic) ปนอยู่ด้วย สำหรับสารอินทรีย์ที่มีในน้ำมันดิบ ได้แก่ น้ำ เกลือ คลอไรด์ของแมกนีเซียม โซเดียม และแคลเซียม

2.3 ประเภทของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบอาจแยกประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี หรือตามความหนักเบา (โดยใช้ API Gravity) หรือตามปริมาณของกำมะถันที่มีอยู่ ปกติสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบมักมีพาราฟินและแนฟทีนอยู่มากกว่าตัวอื่นจนอาจแยกประเภทน้ำมันได้ ส่วนอะโรแมติกมักไม่ค่อยมี ดังนั้นจึงแยกออกเป็น 3 พวก ได้แก่

ก) น้ำมันดิบพื้นฐานพาราฟิน (Parafin Base crude Oil) มักมีพาราฟินแขนตรงมากไม่แตกออกเป็นกิ่ง ดังนั้นน้ำมันเบนซินที่ได้จะมีค่าออกเทนต่ำ แต่น้ำมันก๊าดมีคุณภาพสูง ไม่มีเขม่า น้ำมันดีเซลที่ได้มีค่าออกเทนสูงเหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบการทำงานสูง และน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าดัชนีความหนืดสูง ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันดิบที่ขุดพบในแถบตะวันออกกลาง มีลักษณะเหนียวข้นเหมือนยางมะตอย เมื่อนำมากลั่นจะให้ผลผลิตเป็นน้ำมันพวกกากดิบสูงกว่าปกติ แต่ข้อดีคือขนส่งง่ายไม่จับตัวเป็นไข กากที่เหลือจากการกลั่นจะเป็นยางมะตอย

ข) น้ำมันดิบพื้นฐานแนฟทีน (Naphthen Base Crude Oil) น้ำมันเบนซินที่มีแนฟทีนอยู่ จะมีค่าออกเทนสูงกว่าพาราฟิน จะได้น้ำมันก๊าดมีคุณภาพปานกลาง เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่นที่ได้มีความหนืดต่ำถึงปานกลาง เป็นน้ำมันดิบชนิดดี มีค่า API สูง กากที่เหลือจากการกลั่นจะได้ขี้ผึ้ง แต่ข้อเสียคือขนส่งยาก เพราะมักจับตัวเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส

ค) น้ำมันดิบพื้นฐานผสม (Mixed Base Crude Oil) น้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ซึ่งจะมีทั้งพาราฟิน แนฟทีน และอะโรแมติก กระจายปนในส่วนต่างๆ ไม่เท่ากัน เช่น ส่วนเบาที่มีพาราฟินมาก ส่วนหนักมีอะโรแมติกมาก เป็นต้น

2.4 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil)

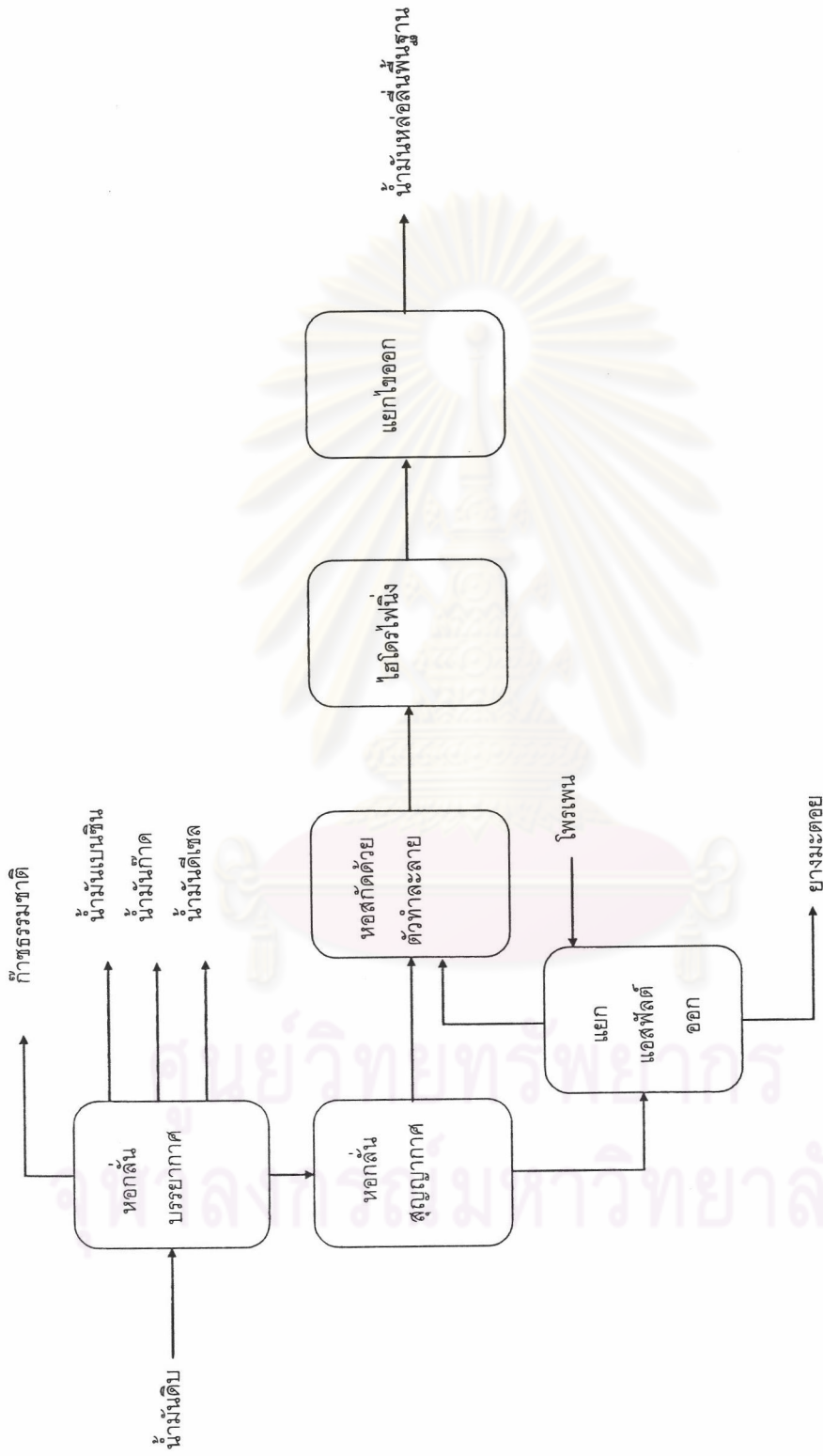
เป็นน้ำมันปิโตรเลียมที่ได้จากกระบวนการกลั่นสุญญากาศและกระบวนการสกัด โดยวัตถุดิบหลักจะเป็นน้ำมันดิบประเภทพาราฟินิก (Paraffinic Base Oil) หรือแนฟทาณิก (Naphthenic Base Oil) ที่จะทำให้สัดส่วนของการกลั่นที่มีปริมาณของน้ำมันเครื่องมาก

สามารถนำมากลั่นแยกในหอกลั่นสุญญากาศออกเป็นส่วนๆ ตามความหนืดน้ำมันส่วนต่างๆ ที่กลั่นแยกได้ กระบวนการที่ใช้คือ การสกัดสารอะโรมาติกออกด้วยตัวทำละลายโดยระบบ Solvent Extraction และมักใช้ Furfural เป็นตัวทำละลาย ทำให้น้ำมันเครื่องมีอะโรมาติกน้อยลง จะสามารถรักษาระดับความหนืดไว้ได้มากขึ้น และยังทำให้มีสีสดใส และมีความทนทานต่อการเติมออกซิเจนดีขึ้น ถัดจากนั้นต้องนำเอาไขขี้ผึ้งออก เพื่อลดจุดไหลเทโดยใช้กระบวนการ Dewaxing จนได้จุดไหลเทตามต้องการ และขั้นตอนสุดท้ายคือ การเติมไฮโดรเจนเพื่อกำจัดกรด สารประกอบออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถันให้น้ำมันบริสุทธิ์ มีอายุการใช้งานยาวนาน กระบวนการนี้ถ้าใช้กับน้ำมันประเภท Paraffinic Oil จะเรียกว่า Hydrofinishing แต่ถ้าใช้กับน้ำมันประเภท Naphthenic Oil จะเรียกว่า Hydrotreating

สำหรับน้ำมันเครื่องประเภทที่ข้นมากๆ ได้มาจากกากของหอกลั่นสุญญากาศและมักใช้น้ำมันประเภท Paraffinic Oil มาผลิต โดยแยกยางมะตอยออกโดยกระบวนการ Propane Deasphalting ซึ่งน้ำมันที่ปราศจากสารยางมะตอยนี้จะถูกส่งไปปรับปรุงคุณภาพ

คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันหล่อลื่น (Composition and Properties of Petroleum, H.Beckhamn, 1981)

จุดวาบไฟ	222	°C
จุดไหลเท	-4	°C
ความหนาแน่น @ 15 °C	0.97	kg/L
ความหนืด @ 50 °C	350	cSt
จุดกลั่นตัว	224-560	°C
ปริมาณซัลเฟอร์	3.27	wt%
ปริมาณคาร์บอน	8.9	wt%



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรดต่างๆ (ปิโตรเลียมเทคโนโลยี, ปราโมทย์และนุรักษ์)

คุณสมบัติ	หน่วย	ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน			
		60SN	150SN	500SN	150BS
1. ความหนืดที่ 40 °C	cSt	8.5~11.5	N/A	N/A	N/A
2. ความหนืดที่ 100 °C	cst	N/A	5.0~5.25	11.0~11.25	31.0~34.0
3. ดัชนีความหนืด	-	> 97	> 103	> 95	> 95
4. จุดไหลเท	°C	< -9	< -9	< -9	< -9
5. จุดวาบไฟ	°C	> 160	> 204	> 237	> 294
6. ปริมาณซัลเฟอร์	%	> 0.5	> 0.6	< 2.5	< 4.5
7. สี	-	< 0.5	< 0.5	< 2.5	< 4.5

กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil Process)

ก) หอกลิ้นสุญญากาศ (Vacuum Distillation Unit, VDU) เป็นกระบวนการกลั่นแยกที่ความดันสุญญากาศ Long Residue ถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 365-370 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 10 มม.ปรอท

ข) หอสกัดแอสฟัลท์โดยใช้โพรเพน (Propane Deasphalting Unit, PDU) เป็นการกลั่นที่อุณหภูมิสูงๆ ของ Long Residue จะเกิด resin และ asphalt ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน แต่ในตอนนี้จะใช้โพรเพนมาสกัด เนื่องจากละลายได้ดีในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ค) หอสกัดสารประกอบอะโรมาติกโดยใช้เมทิลไพโรโรดัลน (Methylpyrorydone Refining Unit, MPU) จะเกิดสารประกอบอะโรมาติกในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ง่าย ค่าความเสถียรของน้ำมันต่ำ และค่าความหนืดต่ำ โดยสารประกอบอะโรมาติกจะถูกสกัดออกโดย Methyprorydone ในหน่วยนี้

ง) หอกำจัดซัลเฟอร์ด้วยไฮโดรเจน (Hydro Finishing Unit, HFU) เป็นหน่วยกำจัดซัลเฟอร์ที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา โดยซัลเฟอร์ที่แยกออกมาจะอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย

๑) หอสกัดไขด้วยตัวทำละลาย (Solvent Dewax Unit, SDU) เป็นหน่วยที่สกัดไขออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้สารละลาย 50%Toluene + 50%Methylketone (MEK) โดยที่ Toluene จะละลายในน้ำมัน และ MEK มีหน้าที่ละลายในไขมัน ซึ่งมีโพรเพนเป็นตัวให้ความเย็น จากนั้นไขจะถูกแยกออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยขั้นตอนการกรอง

2.5 น้ำมันหล่อลื่น (lubricant oil)

เป็นส่วนหนึ่งของสารหล่อลื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทำหน้าที่แยกผิวโลหะหรือชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ออกจากกันเพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสี ลดความฝืดระหว่างผิวทำให้เคลื่อนที่ง่ายและลดการสึกหรอ โดยบริเวณช่องว่างของผิวโลหะถูกแทนที่ด้วยแผ่นฟิล์มบางๆของสารหล่อลื่น และยังเป็นตัวกลางในการนำความร้อนออกจากจุดร้อนจัด ป้องกันการกัดกร่อนของชิ้นส่วนและชะล้างคราบสกปรกที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกล โดยสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถยนต์ และน้ำมันหล่อลื่นในอุตสาหกรรม ซึ่งในที่นี้กล่าวเพียงน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถยนต์เท่านั้น ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil) กับสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) เพื่อให้เกิดเป็นน้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูง คุณสมบัติขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานมีทั้ง standard-grade และ multi-grade

เมื่อก่อนน้ำมันหล่อลื่นอาจเป็นน้ำมันพืช หรือสัตว์ (Vegetable or Animal Base Oil) แต่ปัจจุบันจะเป็นน้ำมันจากปิโตรเลียม (Mineral Base Oil) เนื่องจากมีคุณภาพดีและราคาถูก และมีส่วนน้อยที่มาจากน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Base Oil) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ประเภท ปิโตรเคมี ที่มีคุณสมบัติพิเศษแต่ราคาแพง

การผลิตเนื่อน้ำมันหล่อลื่น เริ่มต้นต้องเลือกน้ำมันดิบที่เหมาะสมก่อน ซึ่งจะต้องเป็นน้ำมันดิบประเภทพาราฟินิก (Paraffinic Base Oil) หรือ เนฟทานิก (Naphthenic Base Oil) ซึ่งจะได้ส่วนกลั่นที่จะเป็นน้ำมันเครื่องในปริมาณที่พอสมควร และมีคุณภาพดี วัตถุประสงค์สำหรับผลิตน้ำมันเครื่อง คือ กากน้ำมันจากกันหอกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งจะนำมากลั่นแยกในหอกลั่นสุญญากาศออกเป็น ส่วนๆ ตามความหนืดน้ำมันส่วนต่างๆ หลังจากกลั่นแยกได้จะต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพต่อไป กระบวนการที่ใช้ คือ การสกัดสารอะโรแมติกออกด้วยตัวทำละลายโดยระบบ Solvent Extract และมักจะใช้ Furfural เป็นตัวทำละลาย ได้น้ำมันเครื่องที่มีอะโรแมติกน้อยลง จะสามารถรักษา ระดับความหนืดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป หรือเรียกว่า ดัชนีความหนืด (Viscosity

Index) นอกจากนั้นยังทำให้สีสดใส และมีความทนทานต่อการเติมออกซิเจนดีขึ้น ถัดจากกระบวนการนี้ต้องนำมาแยกไขขี้ผึ้งออก เพื่อลดจุดไหลเทโดยใช้กระบวนการดีแว็กซ์ (Dewaxing) จนได้จุดไหลเทต่ำตามความต้องการ และขั้นตอนสุดท้าย คือ การเติมไฮโดรเจนเพื่อกำจัดกรดสารประกอบออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์ มีสีสวยและคงตัว มีอายุการใช้งานยาวนาน กระบวนการนี้ถ้าใช้น้ำมันประเภทพาราฟินิก (Paraffinic Oil) จะเรียกว่า กระบวนการ Hydrofinishing แต่ถ้าใช้น้ำมันประเภทเนฟทาณิก (Naphthenic Oil) จะเรียกว่ากระบวนการ Hydrotreating

สำหรับน้ำมันเครื่องประเภทที่ข้นมากๆ จะได้มาจากกากของหอกลิ้นสูญญากาศ และมักจะต้องใช้น้ำมันประเภทพาราฟินิก (Paraffinic) มาผลิตน้ำมันกากนี้จะต้องมาแยกสารประกอบยางมะตอยออกโดยใช้กระบวนการกำจัดแอสฟัลท์ (Propane Deasphalting) ซึ่งสารประกอบยางมะตอยจะไม่ละลายแยกตัวออก น้ำมันที่ปราศจากยางมะตอยนี้จะถูกส่งไปปรับปรุงคุณภาพเพิ่มเติมในแบบเดียวกับน้ำมันเครื่องส่วนที่เบากว่าต่อไป

2.5.1 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และการผลิตจะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติตามต้องการมีดังนี้

ก) ความหนืด (Viscosity) ถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส และมีผลต่อการเกิดความร้อนในระหว่างชั้นที่มีการหล่อลื่น ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมันซึ่งเป็นคุณสมบัติของของไหล วัดในรูปความต้านทานการไหล

ข) สารเพิ่มคุณภาพน้ำมันหล่อลื่น

นำน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปผลิตโดยการผสมเนื้องาน้ำมัน หรือ Base Oil กับสารเพิ่มคุณภาพเข้าด้วยกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพตามต้องการ ได้แก่

1) สารเพิ่มคุณภาพความหนืด (Viscosity Index Improver) สามารถรักษาค่าความหนืดให้เหมาะสมพอดีในสภาพอุณหภูมิการทำงานที่ต่างกัน เช่น Multi-Grade Oil น้ำมันจำเป็นต้องมีดัชนีความหนืดสูง ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติมสารเพิ่มดัชนีความหนืดลงไป ได้แก่สารพอลิเมอร์ (Polymer) โดยที่สารนี้จะเข้าไปรวมตัวบริเวณส่วนปลาย (Open Chain)

ของโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน และเกาะตัวให้เป็นโมเลกุลที่ยาวมาก ทรายไคที่น้ำมันเครื่องมี อุณหภูมิลดลงโมเลกุลที่เป็นสายยาวนี้จะหดรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งทำให้น้ำมันเครื่องมีค่าความหนืดต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโมเลกุลที่เป็นสายยาวนี้จะคลายตัวออกไปปนกับโมเลกุลของน้ำมันเครื่อง ทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมียิ่งสูงขึ้นอีกโมเลกุลก็ยิ่งคลายตัวออก ความหนืดจึงเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำมันเครื่องชนิดเกรดเดียว ปริมาณที่ใช้เพิ่มขึ้นอยู่กับค่า VI ที่ต้องการ ตัวอย่างโพลีเมอร์ที่ใช้ เช่น โพลีไอโซบิวทีลีน, เมทาครีเลต เป็นต้น

2) สารเพิ่มคุณสมบัติในการชะล้าง (Detergent) มีสารมากมายหลายชนิด เช่น ซัลโฟเนต, ฟีนิต, ฟอสเฟต และอื่นๆ ที่จะช่วยขจัดคราบเขม่า, ถัง และยางเหนียวที่เกาะอยู่ในส่วนต่างๆ ของห้องเผาไหม้ ออก ทำให้เครื่องสะอาด สารเหล่านี้จะช่วยกระจายสิ่งสกปรกออกไปทั่วเนื้อน้ำมันและถ่ายทิ้งไปเมื่อเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง

3) สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidants) ปฏิกิริยานี้ จะทำให้น้ำมันเครื่องเสื่อมคุณภาพเกิดเป็นยางเหนียว เกิดสารกรด และทำให้น้ำมันหนืดขึ้น จึงต้องเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้ ได้แก่ สารประเภทเอมีน และฟีนอล

4) สารลดอุณหภูมิจุดไหลเท สารนี้ใช้ในการปรับจุดไหลเทของน้ำมันซึ่งเป็นพวก โพลี เมอร์ชนิดพิเศษ

5) สารรับแรงกดดันสูง (Extreme Pressure Agent) ในการหล่อลื่นบางอย่างภายใต้ภาวะรุนแรง เช่น ความเร็วสูง แรงกดดันสูง ฟิล์มน้ำมันจะไม่สามารถเกาะอยู่กับผิวโลหะได้ จำเป็นต้องเติมสาร EP Agent ลงไปจึงจะช่วยเคลือบผิวทำให้การหล่อลื่นเพียงพอ เช่น เกียร์ และเฟือง เป็นต้น สารที่ใช้ ได้แก่ ตะกั่ว แนนท์

6) สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors) มักเป็นสารจำพวกต่าง ซึ่งจะคอยป้องกันการกัดกร่อนของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล

นอกจากนี้ยังมีสารประเภท Anti Wear, Anti Foam, Anti Rust, Friction Modifier ซึ่งใช้ในการผสมด้วย

2.5.2 การแบ่งประเภทของน้ำมันหล่อลื่น

ก) ตามลักษณะการใช้งาน

1) น้ำมันหล่อลื่นสำหรับใช้ในรถยนต์ (Engine Oil) ประเภทมีการเผาไหม้ภายใน เช่น น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล การทำงานของเครื่องยนต์เหล่านี้มีการเปลี่ยนอุณหภูมิค่อนข้างกว้าง นอกจากต้องมีค่าความหนืดที่เหมาะสมแล้ว

ความหนืดจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงค่ามากเกินไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือเรียกว่ามีค่าดัชนีความหนืดสูง (Viscosity Index) นอกจากนั้นจะต้องมีคุณสมบัติอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อทำหน้าที่ให้ครบถ้วน

2) น้ำมันหล่อลื่นสำหรับอุตสาหกรรม (Industrial Oil) ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นแบริ่ง น้ำมันเครื่องอัดอากาศหรืออัดก๊าซ น้ำมันเกียร์และเฟือง น้ำมัน น้ำมันเทอร์ไบน์ น้ำมันหล่อลื่นลูกสูบ ซึ่งในกลุ่มนี้จะรวมถึงน้ำมันที่มีใช้ทำหน้าที่หล่อลื่นเป็นหลักด้วย เช่น น้ำมันที่ใช้ในงานโลหะ น้ำมันที่ใช้ในการทอผ้า และน้ำมันทรานเฟอร์เมอร์ เป็นต้น ซึ่งน้ำมันจำพวกนี้ไม่จำเป็นต้องมีค่าดัชนีความหนืดสูงมากนัก แต่ต้องมีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ เฉพาะตัวของมัน

3) ตามดัชนีค่าความหนืด (Viscosity Index หรือ VI) ค่าดัชนีความหนืดเป็นตัวบอกรถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป โดยใช้น้ำมันมาตรฐานซึ่งค่าความหนืดจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แต่น้อย จัดให้มีค่า VI เป็น 100 ได้แก่ น้ำมันพวก Paraffinic ส่วนน้ำมันที่มีคุณสมบัติตรงข้าม คือ พวกที่มีอะโรแมติกอยู่มาก และความหนืดเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิได้มาก จัดให้มีค่า VI เป็น 0 มีการกำหนดน้ำมันมาตรฐาน และคำนวณเปรียบเทียบ (ที่มา : ปีโตรเลียมเทคโนโลยี, ปราโมทย์และนุรักษ์ 2543)

$$VI = [(L - U_{100}) / (L - H)] \times 100$$

เมื่อ	U_{100}	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันที่ต้องการหาค่า VI
	L	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่า VI = 0 ซึ่งจะมีค่าความหนืดที่ 210 °F เท่ากับน้ำมันที่ต้องการหาค่า VI (ที่ 210 °F)
	H	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่า VI = 100 ซึ่งจะมีค่าความหนืดที่ 210 °F เท่ากับน้ำมันที่ต้องการหาค่า VI (ที่ 210 °F)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมัน (ปิโตรเลียมเทคโนโลยี)

ค่าความหนืดที่ 210 °F (SUS)	H	L
60	425	780
65	514	976
70	604	1,182
75	697	1,399
80	791	1,627
85	888	1,865
90	986	2,115
95	1,087	2,375
100	1,189	2,646
105	1,294	2,928
110	1,401	3,220
115	1,510	3,523
120	1,620	3,838
125	1,733	4,163
130	1,848	4,498
135	1,965	4,845
140	2,084	5,202
145	2,205	5,570
150	2,328	5,949
160	2,580	6,740
170	2,840	7,573
180	3,109	8,450
190	3,385	9,370
200	3,670	10,333
225	4,418	12,930
250	5,217	15,796
300	6,967	22,340

ข) การแบ่งน้ำมันตามดัชนีความหนืดนี้จะแบ่งน้ำมันออกเป็น 4 เกรด คือ

- 1) ประเภทดัชนีความหนืดสูง (High Viscosity Index หรือ HVI Oils) ได้แก่ น้ำมันที่มี VI สูงกว่า 95
- 2) ประเภทดัชนีความหนืดปานกลางชนิดพาราฟิน (Medium Viscosity Index Paraffin หรือ MVIP Oils) จะมี VI ประมาณ 70
- 3) ประเภทดัชนีความหนืดปานกลางชนิดแนฟเทนิก (Medium Viscosity Index Naphthenic หรือ MVIN Oils) จะมี VI ประมาณ 40
- 4) ประเภทดัชนีความหนืดต่ำ (Low Viscosity Index หรือ LVI Oils) ได้แก่ น้ำมันที่มีค่า VI ต่ำกว่า 30

ค) ตามค่าความหนืด สมาคมวิศวกรยานยนต์หรือ SAE (Society of Automotive Engineers) ได้ตั้งมาตรฐานของน้ำมันตามค่าความหนืด ซึ่งได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย

1) ตามระดับสมรรถนะของน้ำมันเครื่อง (Performance Level) โดยอาศัยวิธีการทดสอบสมัยใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ทำให้สามารถหาระดับสมรรถนะของน้ำมันเครื่องในการใช้งานกับเครื่องยนต์แบบต่างๆ สถาบันที่สำคัญๆจึงได้กำหนดมาตรฐานแบบใหม่สำหรับน้ำมันเครื่องขึ้น ได้แก่ API, SAE, ASTM, US Military Classification (สถาบันทางทหารของอเมริกา) แต่ที่ใช้กันแพร่หลายคือ ระดับสมรรถนะของ API ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบโดยนำเครื่องยนต์มาทดสอบในภาวะที่กำหนด เรียกว่า Engine Test เพื่อหาคุณสมบัติดังต่อไปนี้

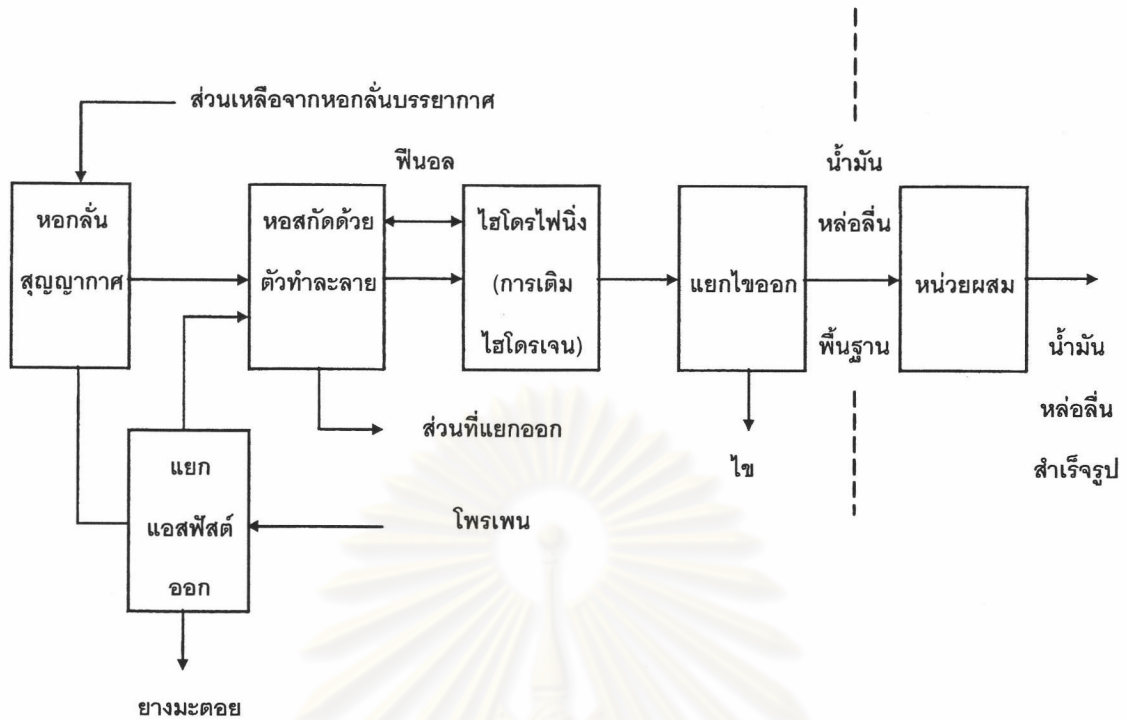
- การกัดกร่อนที่แบร็ง
- การเกิดตะกอน
- การเกิดสนิม
- การเกิดคราบเขม่าที่ลูกสูบ
- ความสึกหรอของเครื่องยนต์
- การเกิดคราบสกปรก
- การสลายตัวเนื่องจากออกซิเจน

2) ตามค่า API ได้แบ่งระดับสมรรถนะออกเป็น 2 ประเภท คือ

- น้ำมันเครื่องยนต์เบนซิน แบ่งตามสภาพการทำงาน และรุ่นของเครื่องยนต์ ใช้สัญลักษณ์ S (Station / service) ซึ่งมี 7 ระดับ คือ SC, SD, SE, SG, SF, SH และ SJ โดย SJ จัดเป็นมาตรฐานสูงสุดของน้ำมันเครื่องในปัจจุบัน
- น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล แบ่งตามสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ทางการพาณิชย์, อุตสาหกรรม, เกษตรกรรม ใช้สัญลักษณ์ C (Commercial service) ซึ่งมี 5 ระดับคือ CC, CD, CE, CF-4 และ CG-4 โดย CG-4 เป็นน้ำมันเครื่องเกรดรวมที่มีมาตรฐานสูงสุดในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.3 แสดง SAE Viscosity Number (ประกาศกระทรวงพาณิชย์)

SAE Viscosity Number	Viscosity Units	Viscosity Range			
		at 0 °F		at 210 °F	
		min	max	min	max
5W	centipoises	-	less than 1,200	-	-
	centistokes	-	less than 1,300	-	-
	SSU	-	less than 6,000	-	-
10W	centipoises	1,200	less than 2,400	-	-
	centistokes	1,300	less than 2,600	-	-
	SSU	6,000	less than 12,000	-	-
20W	centipoises	2,400	less than 9,600	-	-
	centistokes	2,600	less than 10,500	-	-
	SSU	12,000	less than 48,000	-	-
20	centistokes	-	-	5.7	9.6
	SSU	-	-	45	58
30	centistokes	-	-	9.6	12.9
	SSU	-	-	58	70
40	centistokes	-	-	12.9	16.8
	SSU	-	-	70	85
50	centistokes	-	-	16.8	22.7
	SSU	-	-	85	110



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

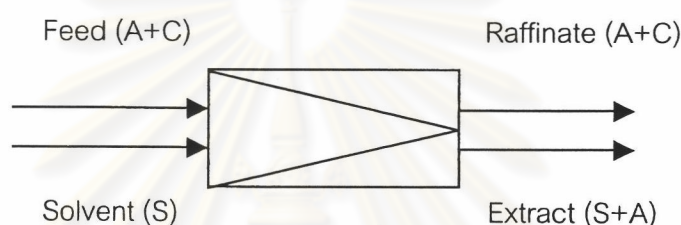
2.6 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการแยกสารของระบบปฏิบัติการในสาขาวิศวกรรมเคมี และเป็นกระบวนการที่มีทฤษฎีพื้นฐานรองรับ และพบมากในอุตสาหกรรมหลัก 3 ประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมสกัดโลหะจากแร่ และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ แต่อาจพบในอุตสาหกรรมยางหรืออุตสาหกรรมเคมี

การสกัดด้วยตัวทำละลายหรือการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid Extraction) เป็นการแยกสารในรูปของสารละลายโดยอาศัยหลักการ ความสามารถในการละลาย (Solubility) ที่ต่างกันของตัวถูกละลายต่างชนิดกัน ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย จะนำสายป้อน (Feed) ที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่ง มาผสมกับตัวทำละลาย (Solvent) อีกชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการละลายกับตัวถูกละลาย โดยที่ตัวละลายทั้งสองไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน หรือละลายได้น้อยมาก ทำให้เกิดการแยกชั้น และตัวถูกละลายส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายเทมวลข้ามวัฏภาคไปยังวัฏภาคของตัวทำละลาย โดยที่ตัวทำละลายที่อิ่มตัว

ไปด้วยตัวถูกละลายเรียกว่าเอกแทกท์ (Extract) ส่วนสารป้อนที่เหลือจากการสกัดเรียกว่า ราฟฟิเนท (Raffinate)

การสกัดเป็นกระบวนการแยกสารทางวิศวกรรมเคมีโดยใช้หลักการถ่ายเทมวลสารจากสารตัวหนึ่งไปยังสารอีกตัวหนึ่ง โดยสารละลายที่นำมาใช้สกัด (Solvent) ต้องสามารถละลายได้ดีในสารละลายที่ต้องการแยก (Solute) และจะต้องไม่ละลายในสารละลายตัวพา (Carrier) กระบวนการแยกสารนี้เรียกว่า การสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid Extraction)



รูปที่ 2.3 แสดงการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลวแบบไหลตามกัน

ในกรรมวิธีสกัดของเหลวด้วยของเหลวจำเป็นต้องป้อนของเหลวเข้าสู่เครื่องมือและตัวทำละลายต้องไม่ละลายเข้าด้วยกัน หรือละลายได้น้อยมาก วิธีการที่สำคัญในกระบวนการสกัดสารมีดังนี้

- ก) นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่เลือกให้เหมาะสม
- ข) ภายหลังจากสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควรเฟสทั้งสองจะเริ่มแยกออกจากกัน
 - Extract (Solvent + Solute)
 - Raffinate (Carrier + little of Solute)
- ค) ทำการแยกหรือนำเอาตัวทำละลายที่อยู่ในแต่ละเฟสกลับมาใช้ใหม่

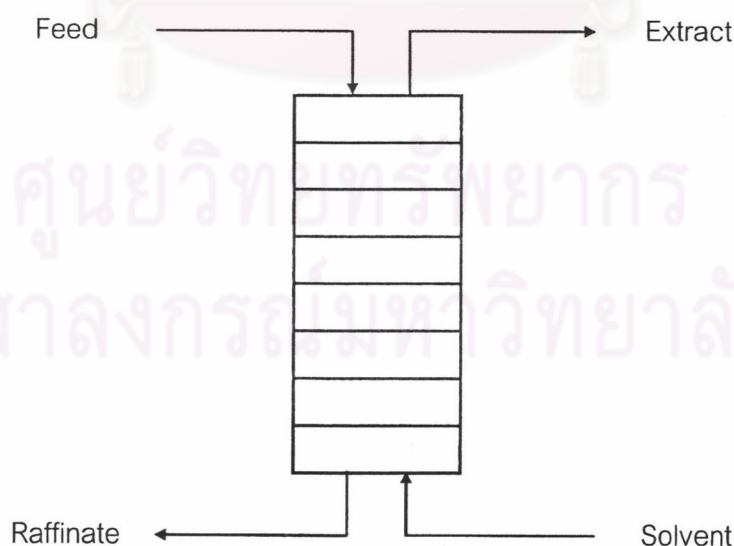
ในสองขั้นตอนแรกอาจรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นหอ Column หรือเป็นชั้นๆ ซึ่งหลายชั้นต่อแบบอนุกรม และในแต่ละชั้นจะมีการกวนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดีขึ้น

2.6.1 กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction Process)

การถ่ายมวลของตัวถูกทำละลายจากวัฏภาคหนึ่งไปสู่อีกวัฏภาคหนึ่งในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย สามารถจำแนกได้ 2 แบบคือ

ก) การสกัดที่ไม่มีปฏิกิริยาเคมี (Extraction without chemical reaction) เป็นการสกัดโดยอาศัยคุณสมบัติการละลายทางกายภาพ (Physical solubility) ที่ต่างกันของตัวถูกละลายในตัวละลายต่างชนิดกัน

ข) การสกัดที่มีปฏิกิริยาเคมี (Extraction with chemical reaction) เกิดขึ้นโดยการเติมสารที่เรียกว่า สารสกัด (Extractants) ในตัวทำละลาย เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลและเพิ่มค่าการเลือกสกัด (Selectivity) เฉพาะสารที่ต้องการสกัดเท่านั้น สารสกัดจะทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่ต้องการสกัดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและถูกสกัด โดยวัฏภาคตัวถูกละลาย ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาเคมีแบบผันกลับได้ (Irreversible) ยกตัวอย่างเช่น การกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ในโรงกลั่นน้ำมันด้วยการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปฏิกิริยาเคมีแบบผันกลับได้ (Reversible) ยกตัวอย่างเช่น การสกัดทองแดงจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของทองแดงไปยังวัฏภาคของน้ำมันก๊าดซึ่งประกอบด้วยสารสกัดชนิดหนึ่ง คือ LIX 64N



รูปที่ 2.4 แสดงการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลวแบบไหลสวนทางกัน

2.6.2 ขั้นตอนในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย มีดังนี้

- ก) นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่เลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการ
- ข) ภายหลังจากการสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควร วัฏภาคทั้งสองจะแยกออกจากกัน
- ค) แยกหรือนำเอาตัวทำละลายที่อยู่ในแต่ละวัฏภาคกลับมาใช้ใหม่

วิธีการข้อ ก) และข้อ ข) อาจจะรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นหอ หรือเป็นขั้นตอน หลายๆ ขั้นตอนต่อกันแบบอนุกรม และในแต่ละขั้นตอนจะมีการกวนเพื่อให้วัฏภาคทั้งสองสัมผัสกันได้ดี (ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, 2542)

ดังนั้นเพื่อเกิดการง่ายในการแบ่งแยกชนิดของการสกัดและเครื่องจักรที่ใช้ในการสกัดเราจึงสามารถแบ่งออกตามลักษณะการสกัด คือ

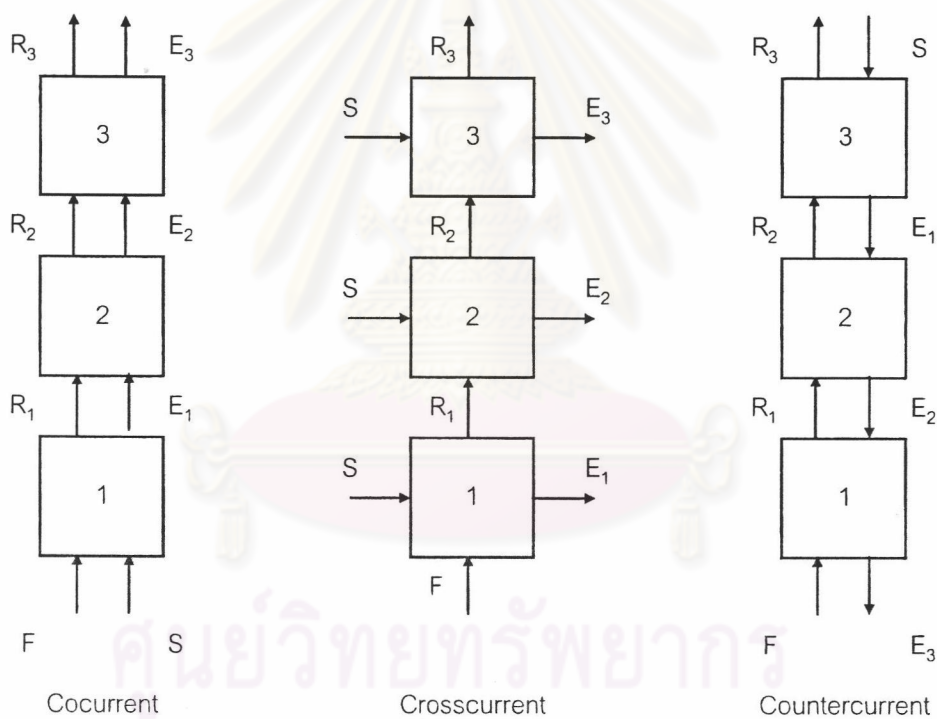
ก) การสกัดแบบกะ (Batch Extraction Process) การสกัดชนิดนี้สามารถจะกระทำได้ทั้งแบบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม การสกัดทำได้ง่ายโดยการเติมสารป้อนและสารสกัดลงไปในถังสกัด แล้วปล่อยให้เกิดการสกัดเอาสารที่ต้องการออก จากนั้นจึงแยกเอาสารทั้งสองชนิดออกจากถังสกัด ซึ่งในที่นี้สารสกัดทั้งสองไม่ควรละลายเข้ากัน และถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดก็อาจติดตั้งอุปกรณ์กวนผสมเพิ่มได้ตามความต้องการ

ข) การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Extraction Process) การสกัดชนิดนี้จะเป็นการสกัดที่กระทำต่อเนื่องตลอดเวลา โดยที่อาศัยการไหลของสายป้อนและสายสารสกัดในเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นชนิดของการไหล คือ

1) ขั้นตอนแบบไหลในทิศทางเดียวกัน (Cocurrent) เป็นลักษณะการไหลที่ตัวทำละลายไหลที่ตัวทำละลายไหลในทิศทางเดียวกันกับสารป้อนในแต่ละขั้นตอนของการสกัด เพื่อเป็นการเพิ่มเวลาในการสกัด (Residence time) แต่ไม่ได้เป็นการเพิ่มปริมาณการสกัดเกินไปกว่าการสกัดขั้นตอนเดียว

2) ขั้นตอนการไหลแบบตั้งฉากกัน (Crosscurrent) เป็นลักษณะการไหลที่ตัวทำละลายจะถูกเติมเพื่อให้สกัดในแต่ละขั้นตอนแล้วไหลแยกออกมา ทำให้สามารถสกัดแยกออกได้ปริมาณมากกว่า การสกัดแบบขั้นตอนเดียว แต่เป็นการสิ้นเปลืองสารสกัดมาก

3) ขั้นตอนการไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent) เป็นลักษณะการไหลที่ตัวทำละลายสวนทางกันกับสารป้อนในแต่ละขั้นตอนของการสกัด วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถใช้กับตัวถูกละลายที่มีอัตราส่วนของการกระจายใกล้เคียงกันมากๆ ได้ ซึ่งทำให้สามารถแยกตัวถูกละลายที่ต้องการสกัดให้มีความบริสุทธิ์สูงได้ และทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย



(F - Feed , R - Raffinate , E - Extract , s - Solvent)

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการไหลแบบต่างๆ ในการสกัดด้วยตัวทำละลาย

2.7 เครื่องมือในการสกัดด้วยตัวทำละลาย

โดยทั่วไปแล้วการเลือกใช้เครื่องมือในการสกัดที่เหมาะสมนั้นจะสามารถพิจารณาได้จาก ประสิทธิภาพและทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถแสดงหลักการเลือกเครื่องมือในการสกัดด้วยตัวทำละลายอย่างง่ายได้ดังรูปที่แสดง โดยในการเลือกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของสารที่นำมาใช้ในระบบทั้งทางด้านกายภาพและเคมี รวมถึงด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบทั้งหมดด้วย เช่น ราคา เครื่อง ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและการซ่อมบำรุง การสิ้นเปลืองพลังงาน ขนาดของพื้นที่และความสูงของห้องที่ต้องใช้ในการติดตั้ง เป็นต้น โดยสามารถสรุปความต้องการพื้นฐานในการใช้เครื่องมือในอุตสาหกรรมนี้

- ก) ประสิทธิภาพในการสกัด
- ข) ผลผลิตที่ได้ในปริมาณที่สูง
- ค) ปริมาตรในการสกัดต่ำ
- ง) เวลาในการสกัดสั้นที่สุด

ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับใช้ในอุตสาหกรรมจริงจะแสดงตามตารางที่ 2.3 ซึ่งจะระบุถึงกลุ่มอุตสาหกรรมที่เป็นที่ยอมรับใช้เครื่องมือสกัดประเภทนั้นๆ ซึ่งการเลือกใช้จะต้องอยู่ภายใต้บรรทัดฐานของรายละเอียดของชนิดเฉพาะของเครื่องสกัดนั้นๆ

2.7.1 ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องสกัด (Requirement of Design)

รายละเอียดการใช้งานเครื่องสกัดที่กล่าวไว้ในตาราง การเลือกเครื่องสกัดที่ถูกต้องจะต้องขึ้นกับการพิจารณารายละเอียดของความต้องการและการออกแบบของแต่ละชนิดซึ่งมีแนวทางการเลือกดังนี้

2.7.1.1 ในกรณีที่เครื่องสกัดในห้องปฏิบัติการที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 เซนติเมตรจะต้องกำหนดอัตราการไหลต่ำสุดของสายป้อนที่เข้าออกจากเครื่อง < 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยรวมกับสายสกัดอีกที และเมื่อในกรณีที่ใช้ในเครื่องสกัดขนาดใหญ่ในการทำงานจริงต้องกำหนดให้อัตราการไหลของสายป้อนไม่เกิน 250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.7.1.2 จำนวนชั้นของเครื่องสกัดทางทฤษฎี (Number of Theoretical Stage) โดยบางเครื่องสกัดที่ถูกระบุความสูงไว้ถ้าต้องการที่จะเพิ่มขีดความสามารถต้องเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลาง แทน อย่างไรก็ตามถ้าจากการคำนวณความสูงและจำนวนชั้นมีมากกว่า 15 ถึง 20 ชั้น จำเป็นต้องมีเครื่องช่วยผสมติดอยู่เพื่อช่วยให้เกิดการสกัดกันง่ายขึ้นและสามารถลดจำนวนชั้นได้

2.7.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของระบบ

1) โดยทั่วไปแล้วสำหรับหอแบบแพ็ค ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด (d_{32}) ที่ค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจาย (Disperse Phase Hold up) คือ (Gratler and Pratt, 1953)

$$d_{32} = 0.92(\gamma / \Delta\rho g)^{1/2} \quad (2.1)$$

ค่าของ $(\gamma / \Delta\rho g)^{1/2}$ ที่ปรากฏจะถูกใช้กับเครื่องสกัดทุกชนิด โดยที่จะมีค่าอยู่ประมาณในเครื่องสกัดแบบไม่มีเครื่องช่วยผสมเข้ามาช่วยซึ่งจะส่งผลให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดมีขนาดใหญ่ สำหรับเครื่องสกัดที่ใช้เครื่องช่วยผสมจะทำให้มีค่ามากและทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดมีขนาดเล็ก

2) ความแตกต่างของความหนาแน่นของสารทั้งสอง โดยที่การแยกเฟสของสารทั้งสองจะช้ามาก ถ้ามีความแตกต่างของความหนาแน่นของสารทั้งสองอยู่ในช่วงอยู่ในช่วง $0.05 > \Delta\rho > 0.03$ หรือถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.03 แนะนำให้ใช้เครื่องสกัดแบบหมุน

3) ความหนืด ค่าความหนืดที่สูงของเฟสใดเฟสหนึ่งนั้นไม่ควรจะมีค่าเกิน เพื่อจะไม่ส่งผลถึงประสิทธิภาพของเครื่องสกัด

2.7.1.4 ปฏิริยาที่เกิดต่างเฟส (Heterogeneous Reaction) ที่เกิดอย่างช้าๆ ที่ผิวรอยต่อของของเหลวทั้งสองจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลลดลง ซึ่งแนวทางแก้ไขคือเพิ่มความสูงของหอสกัดขึ้น หรือลดประสิทธิภาพของชั้นสกัด โดยสามารถลดลงได้โดยการเพิ่มแรงกวนของระบบหรือลดการไหลออกของของเหลวลง

2.7.1.5 ปฏิกริยาที่เกิดในเฟสเดียวกัน (Homogeneous Reaction) ที่เกิดอย่างช้าๆ จะส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารผ่านฟิล์มของเหลวของแต่ละชั้นสกัดใช้เวลานานขึ้นซึ่งเวลาที่ใช้จะแสดงในรูปเวลาฮาล์ฟไทม์ของปฏิกริยา (Half-time of Reaction, $t_{1/2}$) ซึ่งลำดับของปฏิกริยาที่ได้จะมีค่าลำดับสูงกว่าหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการ (Pratt and Hanson, 1983)

$$t_{1/2} = 0.639 / (K_n C_r^{n-1}) \quad (2.2)$$

2.7.1.6 สัดส่วนของเฟสที่ต่างกันให้มากที่สุด ซึ่งสัดส่วนของเฟสกระจายต่อเฟสต่อเนื่องจะมีผลกระทบต่อการลดค่าไฮดร้อฟของเฟสกระจาย ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด

2.7.1.7 เวลาที่ใช้ในการสกัดที่สั้นที่สุด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด

2.7.1.8 ความสามารถในการรองรับตะกอนของแข็ง เนื่องจากเกิดการอุดตันด้วยของแข็งภายในท่อหรือหอสกัด ถ้าเครื่องสกัดไม่สามารถรองรับตะกอนได้ให้ทำการแยกตะกอนออกก่อนเข้าเครื่องสกัด

2.7.1.9 ความเป็นอิมัลชัน (Emulsion) ในกรณีใช้เครื่องสกัดแบบไม่มีใบกวนเข้ามาช่วย จะทำให้เกิดความเป็นอิมัลชันของของเหลวทั้งสองมีค่าน้อย แต่ถ้าเครื่องสกัดมีการกวนจะทำให้เฟสกระจายมีขนาดเล็กมาก ทำให้เกิดอิมัลชันได้ง่าย และแยกเฟสทั้งสองออกยาก

2.7.1.10 ข้อจำกัดของพื้นที่ว่าง เนื่องจากขนาดของเครื่องสกัดแต่ละประเภท มีความสูงและความกว้างที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงควรเลือกให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน

2.7.1.11 วัสดุที่ใช้ในการผลิต ต้องเหมาะสมกับของเหลวทั้งสองที่นำมาสกัด เช่น กรณีต้องการบรรจุกรดต้องใช้วัสดุจำพวกสแตนเลส หรือ ไททาเนียม และต้องรวมไปถึงท่อและอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย ควรมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของของเหลวนั้น

ตารางที่ 2.4 ชนิดและการใช้งานของเครื่องสกัดแบบต่าง ๆ (Pratt, 1983)

กลุ่มและชนิดของเครื่องมือที่ใช้สกัด	ประเภทอุตสาหกรรม
<p>1. เครื่องมือสกัดชนิดอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity Separated Extractor)</p> <p>1.1) ชนิดที่สัมผัสอย่างต่อเนื่อง</p> <p>1.1.1) หอสกัดแบบไม่มีแรงกลช่วย</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบพ่นฝอย (Spray Column) - แบบแพ็ค (Packed Column) - แบบแผ่นบัฟเฟิล (Baffle-plate Column) <p>1.1.2) หอสกัดแบบมีแรงกลช่วย</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบพัลส์แพ็ค (Pulse Packed Column) - แบบเรนนิ่งบัคเกต (Raining Bucket Column) <p>1.2) ชนิดที่สัมผัสแบบกะแบบไม่มีชั้นภายใน</p> <p>1.2.1) หอสกัดแบบการหมุนกวน</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบจานหมุน (Rotary Disc Column) - แบบใบพัดหลายใบ (Multi-impeller Column) <p>1.2.2) หอสกัดแบบชักขึ้นลง</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบพัลส์เพอร์ฟอเรตเตดเพลท (Pulsed Perforated Column) - แบบออสซิลเลตติ้งเพลท (Oscillating Plate Column) <p>1.3) ชนิดที่สัมผัสแบบกะแบบมีชั้นภายใน</p> <p>1.3.1) หอสกัดแบบของเหลวรวมกันเพียงบางส่วน</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบไซเบล (Scheibel Column) - แบบจานหมุนที่ไม่สมมาตร (Unsymmetric Rotary Column) <p>1.3.1) หอสกัดแบบของเหลวรวมกันทั้งหมด</p> <ul style="list-style-type: none"> - แบบพัลส์เพอร์ฟอเรตเตดเพลทที่สายของเหลวแยกขึ้นหรือลง (Pulsed Perforated Column with downcomer or riser) - แบบฟิล์มหมุนหมุน (Rotary Film Extractor) - เครื่องผสมและแยกแบบตั้ง - เครื่องผสมและแยกแบบนอน 	<p>CR</p> <p>C, P</p> <p>C, P, N</p> <p>C, P</p> <p>C</p> <p>C, P</p> <p>C, P, M</p> <p>C, P, Ph, M, N</p> <p>C, P, Ph</p> <p>C, Ph</p> <p>C, Ph</p> <p>C, P</p> <p>M</p> <p>C, P, M</p> <p>C, P, M, N</p>

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) กล่าวถึงชนิดและการทำงานของเครื่องสกัดแบบต่างๆ (Pratt, 1983)

กลุ่มและชนิดของเครื่องมือที่ใช้สกัด	ประเภทอุตสาหกรรม
2. เครื่องมือสกัดชนิดอาศัยแรงเหวี่ยงแยกสาร (Centrifugally-separated Extractor)	
2.1) ชนิดที่สัมผัสอย่างต่อเนื่อง	
2.1.1) หอสกัดแบบไม่มีแรงกลช่วย	
- แบบเพอร์ฟอเรตเต็ดเพลท (โพเบียลเน็ก) (Perforated Plate Podbialniak)	CR
- แบบฟิล์มไหล (ดี ลาวาล) (Film-flow de laval)	C, P
2.2) แบบผสม-แยก	C, P, N
2.2.1) แบบลูเวต้า	
2.2.2) แบบโรบาเทล	C, P

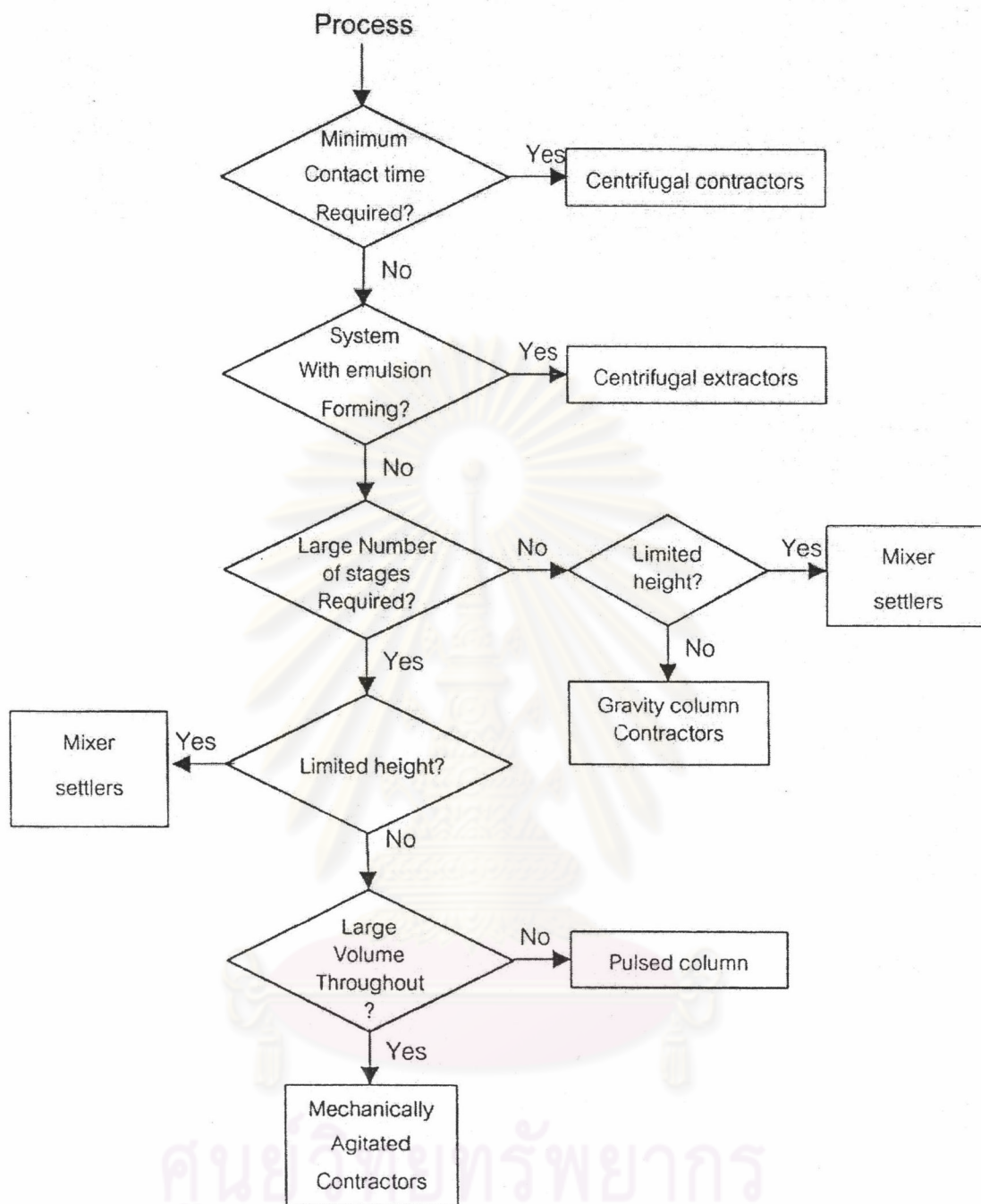
หมายเหตุ

C	- อุตสาหกรรมเคมี	Ph	- อุตสาหกรรมยาและเวชภัณฑ์
CR	- เฉพาะที่ต้องการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว	M	- อุตสาหกรรมโลหะ
P	- อุตสาหกรรมปิโตรเคมี	N	- นิวเคลียร์

2.7.1.12 ง่ายต่อการทำความสะอาด เช่น สารป้อนมีอนุภาคปนอยู่ ฉะนั้นควรทำความสะอาดเครื่องสกัดก่อนเปลี่ยนชนิดของสารป้อน

2.7.1.13 การซ่อมบำรุง มักจะพิจารณาในเครื่องสกัดที่มีใบกวนผสม ได้แก่ แกนหมุน ตลับลูกปืน ใบกวน ประเก็นยาง จะต้องไม่ถูกผลกระทบจากการกัดกร่อน หรือควรมีอุปกรณ์ป้องกัน

2.7.1.14 คุณสมบัติของสารสกัด โดยทั่วไปการสกัดจะมีสารสกัดเป็นสารละลาย อินทรีย์อย่างน้อยหนึ่งสาร ซึ่งสามารถระเหยได้อาจเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งทำให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการเลือกเครื่องมือในการสกัดด้วยตัวทำละลาย

(Hines and Maddox, 1985)

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องสกัดชนิดต่างๆ ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Seader and Henley, 1998)

เครื่องมือในการสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย
มิคเซอร์เซตเลอร์	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดการผสมได้ดี - ใช้งานได้ดีกับอัตราความไหลในช่วงกว้าง - มีประสิทธิภาพสูง - ขยายขนาด (scale up) ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ได้เฉพาะงานที่มีปริมาณมาก - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง - ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก - ค่าก่อสร้างสูง - ต้องเดินเครื่องสูบลดเวลา
ประเภทใช้แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้กับระบบที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นต่ำได้ - ใช้กับงานที่มีปริมาณน้อย - ใช้เวลาในการสกัดสั้น - ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องมีราคาแพง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง - ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง - มีข้อจำกัดในระบบที่ทำงานหลายขั้นตอน
หอสกัดที่ไม่ใช้พลังงานกลมาเพิ่มอัตราการสกัด	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องมีราคาถูก - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ - สร้างง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดในระบบที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นต่ำ - ไม่สามารถใช้อัตราการไหลสูงได้ - มีประสิทธิภาพต่ำ
หอสกัดที่ใช้พลังงานกลมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด	<ul style="list-style-type: none"> - มีการกระจายของหยดดี - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ - ขยายขนาดได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดในระบบที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นต่ำ - ไม่สามารถใช้ได้กับระบบที่เกิดอิมัลชันง่าย - ไม่สามารถใช้อัตราการไหลสูงได้

2.7.2 เครื่องสกัดแบบจานหมุน (Rotating Disc Contractor , RDC) (สมิทร ฉัตรภูมิ , 2542)

เครื่องสกัดแบบจานหมุนจัดเป็นประเภทเครื่องสกัดที่มีการกวนผสม (Agitated Extractors) ซึ่งแบ่งออกเป็นห้องๆ โดยมีวงแหวนในแนวนอนที่ขนานกัน ทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางการไหลในแนวรัศมี (annular baffle) และภายในห้องเล็กๆ เรียกว่า คอมพาร์ตเมนต์ (compartment) จะมีการผสมเกิดขึ้นโดยการหมุนที่เรียงตัวกันเป็นชั้นๆ ในแนวขนานซึ่งแต่ละจานหมุนจะยึดกับแกนกลางต่อกับแกนของมอเตอร์ แผ่นจานหมุน (rotor disk) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางเรียบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าวงแหวน เครื่องสกัดแบบจานหมุนสามารถเพิ่มอัตราการสกัดได้มากขึ้น เนื่องจากการหมุนของจานเป็นการเพิ่มการปั่นป่วนระหว่างสารป้อนกับตัวทำละลาย ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารดีขึ้น สามารถทำให้ของเหลวชนิดหนึ่งกระจายเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่า วัฏภาคการกระจาย (dispersed phase) เคลื่อนที่ในอีกของเหลวหนึ่งที่ไม่กระจายตัว เรียกว่า วัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ได้อย่างสะดวก แต่ถ้าไม่มีการหมุนของแผ่นจานหยดของเหลวจะถูกกักค้างในห้องเล็กๆได้ การหมุนจะทำให้หยดของเหลวถูกฉีกเป็นหยดเล็ก (rupture) ส่งผลให้มีพื้นที่ของการถ่ายเทมวลสารระหว่างวัฏภาคสูงขึ้น

2.7.3 เครื่องสกัดแบบจานมีรูหมุน (Perforated Rotating Disc Column , PRDC) (Coimbra Mojota and Meirelles, 1998 : 277~280)

เป็นหอสกัดแบบจานหมุนมีรูเป็นอุปกรณ์ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถสร้างได้โดยง่ายและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อย ซึ่งถูกพัฒนามาจากอุปกรณ์การสกัดแบบแผ่นจานหมุนที่ถูกสร้างโดย Raman ในปี ค.ศ. 1951 อุปกรณ์นี้ถูกนำมาใช้ศึกษาในระบบที่มีแรงตึงผิวปานกลาง การกวนจะทำให้เกิดการกระจายตัวมากขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของหยดยากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ผิวหยดลดลงและเวลาในการจับตัวมากขึ้น ดังนั้นหอสกัดแบบจานหมุนมีรูจึงถูกนำมาใช้กับระบบที่มีความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายกลุ่มที่นำหอสกัดแบบจานหมุนมีรูมาใช้ศึกษาวิจัย เช่น Tambourgi และ Pereira ใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของหอในปี ค.ศ. 1993 Porto และคณะใช้เพื่อศึกษาการสกัดในระบบสารละลายน้ำสองวัฏภาค (Aqueous two phase system) ในปี ค.ศ. 1997 (Porto et al., 1997) Coimbra, Majola และ Meirelles ใช้เพื่อศึกษาไฮลด์อ็อพของวัฏภาคกระจายในระบบสารละลายน้ำสองวัฏภาค ในปี 1998 (Coimbra, Mojala and Meirelle, 1998 : 277-280) นอกจากนี้ Pina และ Meirelle ยังนำหอสกัดแบบจานหมุนมีรูมาใช้เพื่อศึกษาการลดกรดในน้ำมันข้าวโพด ในปี ค.ศ. 2000 (Pina and Meirelle, 2000)

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีแนวโน้มในกระบวนการสกัดแบบมีการกวนเชิงกลมากขึ้น ทั้งระบบที่มีค่าแรงตึงผิวสูงหรือต่ำ ซึ่งประสิทธิภาพการสกัดนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของสาร ทิศทางการถ่ายเทมวลสาร ความเร็วรอบการกวน และลักษณะรูปร่างภายในหอสกัด

ก) คอลัมน์แบบมีแผ่นจานหมุนรอบแกน (Rotating Disc Column, RDC)

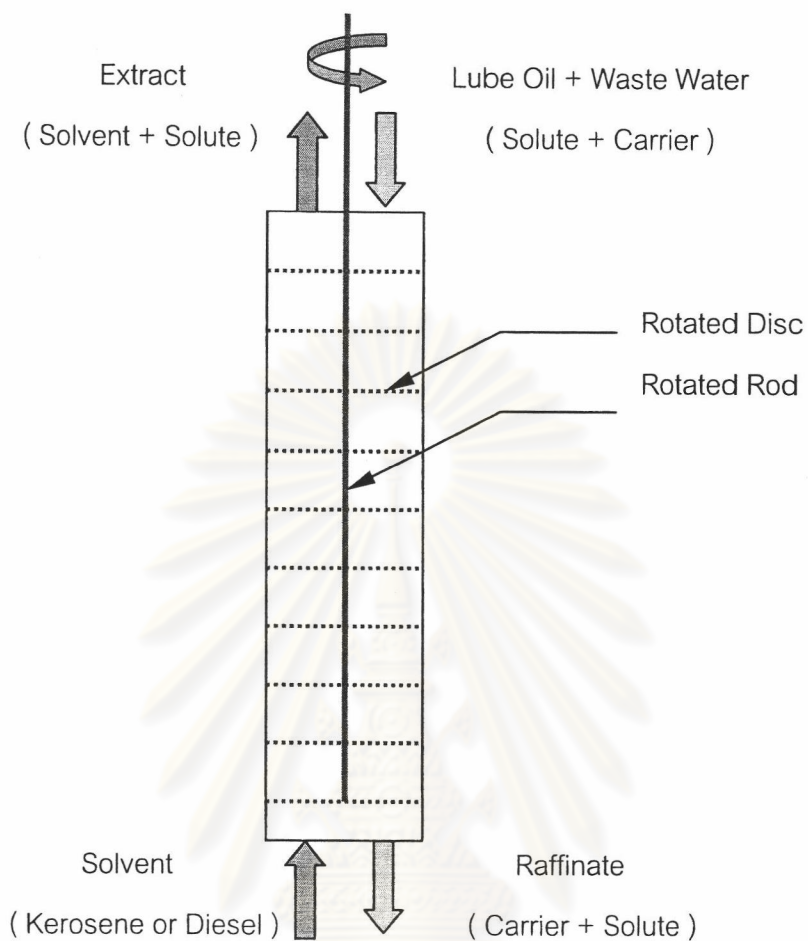
เป็นอุปกรณ์ในการแยกสารตั้งแต่ 2 องค์ประกอบขึ้นไป ที่ละลายอยู่ในรูปของเหลวผสม การแยกทำโดยการนำของเหลวชนิดหนึ่งสัมผัส (Interface) กับของเหลวผสมซึ่งมีของเหลวที่ต้องการแยกผสมอยู่ การสกัดเกิดขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันโดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวลสารของโมเลกุล (Mass Transfer)

การทำงานของคอลัมน์ที่มีแผ่นจานหมุนรอบแกน (RDC) เพื่อให้การผสมกันของตัวทำละลาย (Solvent) และสารละลายผสม (Solute+Carrier) ผสมให้เข้ากันโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนของแผ่นจาน (Disc) ที่บรรจุเป็นชั้นๆ อยู่ในคอลัมน์จำนวนหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์กันระหว่าง อัตราการไหลเข้าของสายป้อนทั้งสองกับความเร็วยรอบของมอเตอร์ และความเข้มข้นของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์หลังจากการสกัด

หลักการทำงานของคอลัมน์ คือ การนำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลาย โดยภายในหอจะมีแผ่นกวนบรรจุอยู่เป็นชั้นๆ ในแต่ละชั้นจะมีการกวนโดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันดีขึ้น ภายหลังสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควร เฟสทั้งสองจะเริ่มแยกออกจากกัน หลังจากแยกเฟสกันแล้วของเหลวที่มีน้ำหนักเบาจะถูกแยกออกทางด้านบน และของเหลวที่มีน้ำหนักมากกว่าจะถูกแยกออกทางด้านล่างของคอลัมน์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.7)

2.7.4 เครื่องสกัดประเภทมิกเซอร์เซตเลอร์ (Mixer Settlers)

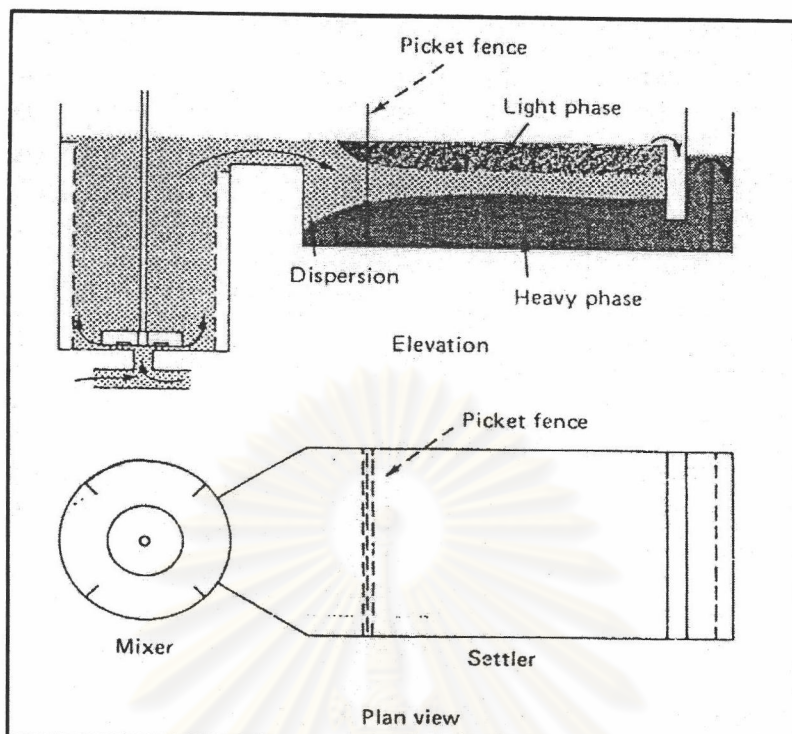
การทำงานของเครื่องสกัดประเภทมิกเซอร์เซตเลอร์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการผสม (Mixer) ซึ่งใช้พลังงานกลเพื่อให้วัฏภาคหนึ่งกระจายเข้าไปอีกวัฏภาคหนึ่ง โดยทั้งสองวัฏภาคจะไม่ละลายซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของตัวทำละลายระหว่างวัฏภาคทั้งสองขึ้น และส่วนที่สองเป็นส่วนของการแยกพัก (Settlers) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ทั้งสองวัฏภาคแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบคือ สมบัติของวัฏภาค รูปร่างของช่องผสมและช่องการแยกพัก พลังงานที่ให้แก่ตัวกวน ลักษณะของช่องผสมและช่องแยก (ดังแสดงในรูปที่ 2.8)



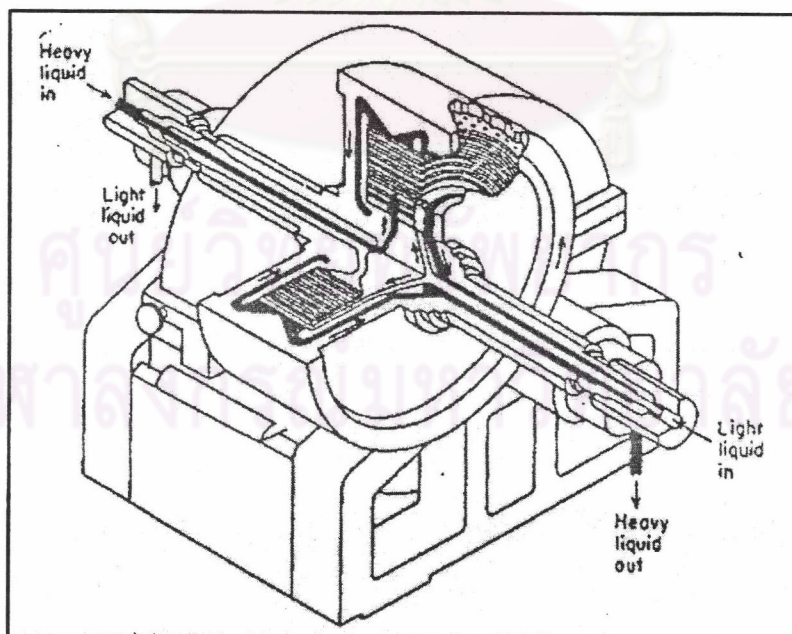
รูปที่ 2.7 แสดงคอลัมน์แบบมีแผ่นจานหมุนรอบแกน (Rotating Disc Column, RDC)

2.7.4 เครื่องสกัดที่ใช้แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (Centrifugal Extractor)

เครื่องสกัดชนิดใช้แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางมีหลักการทำงานโดยวัฏภาคหนึ่งกระจายและไหลสวนทางกับอีกวัฏภาคหนึ่ง โดยอาศัยแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างวัฏภาคทั้งสอง มีปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบคือ สมบัติของวัฏภาค รูปทรงเรขาคณิตของเครื่อง ลักษณะภายในของเครื่อง และความแรงของการหมุน



รูปที่ 2.8 แสดงเครื่องสกัดประเภทมิกเซอร์เซตเลอร์ (Alegat, 1998)



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องสกัดประเภทใช้แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (Treybal, 1981)

2.8 เปอร์เซ็นต์ของการสกัดสารจากของเหลวด้วยของเหลว (Percentage Extraction of Liquid-Liquid Extraction Process)

ในปี 1998 นั้น J.D.Seader และ Ernest J.Henley ได้กล่าวว่า ในระบบของสมดุลของของเหลวที่มีการสกัดกันนั้น ตัวแปรที่สำคัญที่ใช้หาปริมาณของสารที่ถูกละลาย (solute) ในของเหลวทั้งสอง คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, K) ตามสมการ

$$K = \frac{X^S}{X^F} \quad (2.3)$$

โดยที่ X^S - มวลของสารถูกละลาย ต่อ มวลของสารละลาย, kg/kg
 X^F - มวลของสารถูกละลาย ต่อ มวลของสารป้อน, kg/kg

ซึ่งจะสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่คำนวณได้นี้ไปหาค่า แฟคเตอร์การสกัด (Extraction Factor, E) ตามสมการ

$$E = K \frac{S}{F} \quad (2.4)$$

โดยที่ S - มวลของสารสกัดที่ป้อนเข้าระบบ, kg
 F - มวลของสารป้อนที่ป้อนเข้าระบบ, kg

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งสองนี้จะถูกนำไปเป็นส่วนประกอบในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดด้วยว่าเป็นกระบวนการสกัดแบบไหน ทั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็นจำนวนชั้นการสกัดได้ดังนี้

ก) การสกัดแบบชั้นเดียว (Single Stage Extraction)

ในกระบวนการสกัดแบบชั้นเดียวนี้อจะเป็นการสกัดแบบไหลผ่านครั้งเดียวภายในเครื่องสกัดแบบที่มีชั้นเดียว หรือ อาจเรียกว่าเป็นแบบกะ จะมีการไหลตามรูปที่ 2.5(a) สามารถเขียนสมการสมดุลมวลสารได้ดังนี้

$$FX_0^F + SX_0^F = FX_1^F + SX_1^F \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 และกำหนดให้สารที่ถูกละลายคือ Z จะทำให้หาค่า Z ที่ไม่สามารถสกัดได้ คือ

$$\frac{X_Z^{(R)}}{X_Z^{(F)}} = \frac{1}{1 + E_Z} \quad (2.6)$$

โดยที่ R - สายกราฟฟีนิต
F - สายป้อน

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ที่สกัดได้} = 1 - \frac{X^R}{X^F} \times 100 \quad (2.7)$$

$$= 1 - \frac{1}{1 + E_Z} \times 100 \quad (2.8)$$

ข) การสกัดแบบหลายชั้น (Multi Stage Extraction)

ในที่นี้เราจะกล่าวเพียงการสกัดหลายชั้นในแบบการไหลสวนทางกัน (Counter Current Extraction) โดยของเหลวไหลสวนทางกันและเกิดการสกัดในระหว่างชั้นนั้นๆ ทำให้ได้สมการสมดุลมวลสาร คือ

สำหรับชั้นแรก

$$FX_0^F + SX_0^F = FX_1^F + SX_1^F \quad (2.9)$$

สำหรับชั้นที่ 2

$$FX_1^F + SX_0^F = FX_2^F + SX_2^F \quad (2.10)$$

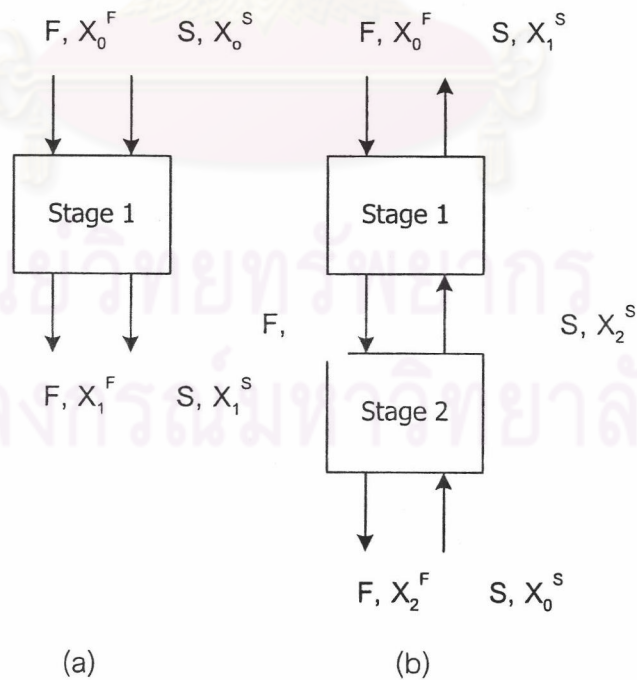
โดยที่ F และ S เป็นอัตราการไหลเชิงมวลของสายป้อนและสายสกัด สมมติว่าระบบที่ได้เข้าสู่สมดุล และสารที่ถูกละลาย คือ Z ที่สกัดได้ในชั้นการสกัดที่ 2 จะได้อาของ Z ที่ไม่สามารถสกัดได้ คือ

$$\frac{X_Z^{(R)}}{X_Z^{(F)}} = \frac{1}{1+E+E^2} \quad (2.11)$$

ที่ชั้นที่ N

$$\frac{X_Z^{(R)}}{X_Z^{(F)}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^N E^n} \quad (2.12)$$

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ที่สกัดได้} = 1 - \frac{X_Z^{(R)}}{X_Z^{(F)}} \times 100 = 1 - \frac{1}{\sum_{n=0}^N E^n} \times 100 \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.9 การสกัดของเหลวด้วยของเหลวในเครื่องสกัดชั้นเดียว (a) และสองชั้น (b)

2.9 สารสกัด (Extractant)

2.9.1 การเลือกสารสกัดที่เหมาะสม (Cusack, Fremeaux and Glatz, 1991 : 66~67)

สำหรับการเลือกสารสกัดที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นเรื่องยากในการพิจารณา โดยสารสกัดที่เหมาะสมควรมีคุณสมบัติดังนี้

2.9.1.1 มีค่าการสกัดสูง เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการเลือกสารสกัดที่ใช้สกัดด้วยตัวทำละลาย

2.9.1.2 ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีความสำคัญเกี่ยวกับการเลือกสารสกัด เพราะว่าในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย การแยกตัวถูกละลายออกจากตัวทำละลายมีความจำเป็น และตัวทำละลายควรกลับมาใช้ใหม่ เพื่อประโยชน์ทางหลักเศรษฐศาสตร์

2.9.1.3 มีความสามารถในการละลายซึ่งกันและกัน

2.9.2 มีความหนาแน่นที่แตกต่างกับสายป้อนพอสมควร เนื่องจากกระบวนการสกัดโดยทั่วไปจะผสมของเหลวทั้งสองวัฏภาคเข้าด้วยกัน แล้วปล่อยให้แยกชั้น ซึ่งการแยกชั้นเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นอย่างน้อย 2% และความแตกต่างที่เหมาะสมคือ มากกว่า 5% จะทำให้เวลาในการแยกชั้นมีค่าน้อยที่สุด

2.9.3 มีแรงตึงผิวพอสมควร เนื่องจากแรงตึงผิวมีผลกระทบต่อการผสม ในระบบที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะใช้พลังงานในการกระจายหยดของสารต่ำ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 dyne/cm จะทำให้เกิดอิมัลชันได้ง่ายจึงไม่สามารถแยกชั้นได้ ในทางกลับกันในระบบที่มีแรงตึงผิวสูงมาก คือมากกว่า 50 dyne/cm ทำให้ใช้พลังงานมากในการกระจายหยดของสาร และหยดเล็กๆก็มีโอกาสที่รวมตัวเป็นหยดใหญ่ได้อีก

2.9.4 มีความหนืดต่ำ ในกระบวนการสกัด โดยทั่วไปควรใช้สารที่มีความหนืดน้อยกว่า 10 CP เพื่อง่ายต่อการถ่ายเทมวล ในการเลือกสารควรเลือกสารที่มีความหนืดต่ำ

2.9.5 มีการกัดกร่อนต่ำ สิ่งที่ต้องทำคือ เลือกสารสกัดที่กัดกร่อนน้อยกว่าสารป้อน

2.9.6 มีการติดไฟต่ำและมีความเป็นพิษต่ำ ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงสารที่ติดไฟได้ การเลือกเครื่องมือและสภาวะการทำงานควรพิจารณาเป็นพิเศษเพื่อลดปริมาณของสาร และถ้าสารมีความเป็นพิษสูง จำเป็นต้องคำนึงถึงกระบวนการแยกเอาสารสกัดออกจากระบบ

2.9.7 มีราคาถูกลงและหาง่าย ในทางอุตสาหกรรมสารสกัดต้องมีราคาถูกลง และหาได้ง่าย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย