



วารสารปริทัศน์

2.1 น้ำมันปิโตรเลียม

น้ำมันปิโตรเลียม เป็นทรัพยากรในรูปเชื้อเพลิงรูปหนึ่ง เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง ความดันสูง ได้เป็นน้ำมันดิบ จากการวิเคราะห์พบว่า ประกอบด้วยองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ คือ ไฮโดรเจนร้อยละ 12-14 คาร์บอนร้อยละ 80-89 นอกนั้นยังมีกำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน ประกอบด้วยอยู่เป็นจำนวนเล็กน้อย โดยธาตุต่าง ๆ เหล่านี้รวมตัวกันทางเคมีเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2.1.1 การกลั่นน้ำมันดิบ (1,2)

การกลั่นน้ำมันดิบ เป็นกระบวนการแยกสารไฮโดรคาร์บอน ตามน้ำหนักโมเลกุล และจุดเดือดของสาร ผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบ แต่อาจแบ่งได้กว้าง ๆ ดังนี้

1. ก๊าซปิโตรเลียม (petroleum gas fraction) มีจุดเดือดต่ำกว่า 20°C ประกอบด้วย C_1 - C_4 ใช้เป็นเชื้อเพลิงและก๊าซหุงต้ม
2. ปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum) มีจุดเดือด 20 - 60°C ประกอบด้วย C_5 - C_8 ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลาย
3. น้ำมันก๊าซโซลีน (gasoline) มีจุดเดือด 40 - 180°C . จุดไหลเทต่ำ ประกอบด้วย C_5 - C_{10} และ cyclo-alkane ลักษณะเป็นของเหลวไม่มีไซปอน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ประเภทสันดาปภายใน (internal combustion engine)
4. น้ำมันก๊าด (kerosene) มีจุดเดือด 175 - 250°C . ประกอบด้วย C_{11} - C_{14} และ cyclo-alkane ลักษณะเป็นของเหลวไม่มีไซปอน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องบินไอพ่น (jet engine) และใช้จุดตะเกียง
5. น้ำมันดีเซลหรือโซล่า (diesel or gas oil) มีจุดเดือด 250 - 350°C . ประกอบด้วย C_{14} - C_{20} และ ไฮโดรคาร์บอน ลักษณะเป็นของเหลวมีไซพาราฟินที่มีจุดเดือดต่ำปนอยู่เล็กน้อย ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนที่ใช้กับรถยนต์และเรือเรียกว่า ดีเซลหมุนเร็ว (high speed diesel) ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า น้ำมันโซล่า ส่วนที่ใช้กับเครื่องยนต์ตามโรงงาน เรียกว่า ดีเซลหมุนช้า (low speed diesel) ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า น้ำมันซีโล้
6. น้ำมันหล่อลื่นชนิดเบา (light lube or wax distillate) มี

จุดเดือด ความหนืด และจุดไหลเทสูง โดยมากมีส่วนประกอบที่เป็นไฮพาราฟิน ได้จากหน่วยกลั่นแบบสูญญากาศ

7. ผลิตภัณฑ์น้ำมันหนัก (heavy distillate) ได้จากหน่วยกลั่นแบบสูญญากาศ โดยปกติจะประกอบด้วยไฮเป็นส่วนใหญ่ เป็นไฮผสมของไฮพาราฟิน และไฮโมโครคริสตัลไลน์

8. ผลิตภัณฑ์ก้นหอย (residue) มีจุดเดือดสูงกว่า 580°C . เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบในหน่วยกลั่นแบบสูญญากาศ ใช้เป็นน้ำมันเตา บางชนิดมีแอสฟัลท์ (asphalt) มากจะทำให้ทำยางมะตอย

2.1.2. โรงกลั่นน้ำมันจากแหล่งฟาง (3)

โรงกลั่นน้ำมันฟาง ทำการกลั่นน้ำมันดิบได้ในอัตราวันละ 1,000 บาเรลต่อวัน และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 1,500 บาเรลต่อวัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ปัจจุบันสรุปได้ดังนี้

น้ำมันสเตอร์ทรัน	ประมาณร้อยละ	6
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	ประมาณร้อยละ	26
น้ำมันไลท์ดีเซลทิลเลท	ประมาณร้อยละ	17
น้ำมันเฮฟวีดีเซลทิลเลท	ประมาณร้อยละ	14
น้ำมันเตาหนัก	ประมาณร้อยละ	37

น้ำมันดิบจากหลุมแม่สุ่นหลวง จะถูกส่งมาโรงกลั่นเข้าแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบในหน่วยแยกซึ่งใช้ tret-o-lite เป็นน้ำยาแยกน้ำ (demulsifier) น้ำมันดิบจะถูกแยกน้ำให้เหลือได้ไม่เกินร้อยละ 0.4 แล้วจึงส่งเข้าอยู่ใน pre-heat exchanger โดยใช้ความร้อนจากหอกลั่นสูญญากาศอุ่นจนถึงอุณหภูมิ 120°C และให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิประมาณ 340°C ใน atmospheric heater (H-1) โดยใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง แล้วส่งไปกลั่นที่หอกลั่นบรรยากาศภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ

- น้ำมันสเตอร์ทรัน
- น้ำมันก๊าด
- น้ำมันดีเซล

น้ำมันที่กลั่นเอาผลิตภัณฑ์เบา 3 ชนิดข้างต้นออกแล้ว จะแยกตัวอยู่ก้นหอยเรียกว่า reduced crude ซึ่งถูกส่งต่อเข้า vacuum heater (H-2) โดยใช้ น้ำมันเตาให้ความร้อนเช่นเดียวกับ (H-1) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงถึง 365°C แล้วจึงส่งเข้าหอกลั่นสูญญากาศภายในหอกลั่นรักษาความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศ 25 นิ้วปรอท ซึ่งกลั่นได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ

น้ำมันไลท์ดีสทิลเลท (light distillate fuel oil)

น้ำมันเฮฟวีดีสทิลเลท (heavy distillate fuel oil)

น้ำมันเตาหนัก (heavy fuel oil)

น้ำมันไลท์ดีสทิลเลท ที่กลั่นได้จะมีไซปนอยู่ประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และน้ำมันเฮฟวีดีสทิลเลทมีไซปนอยู่ประมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ซึ่งไซนี้จะทำให้คุณค่าของ น้ำมันลดลง การนำน้ำมันทั้งสองชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ จำต้องปรับปรุงจุดไหลเทของน้ำมันให้ต่ำลง โดยการนำน้ำมันมาแยกไซออก โดยกระบวนการแยกไซ ซึ่งกระบวนการที่ใช้มีอยู่หลายกระบวนการ แต่ที่นิยมและทำกันในอุตสาหกรรม เป็นกระบวนการแยกไซด้วยตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ แนพทา (naphtha) โพรเพน คาร์บอนเตตระคลอไรด์กับเบนซิน และเมทิลเอทิลคีโตน กับโทลูอิน เป็นต้น ซึ่งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการแยกไซด้วยตัวทำละลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำมัน เช่น ส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันเบาที่แยกไซพาราฟินแล้วอาจใช้ผสม เป็นน้ำมันดีเซล ส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันหนักที่แยกไซออกแล้วอาจใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube base) เช่น น้ำมันที่มีจุดเดือดสูงกว่า 300 °C. ประกอบด้วย C_{18} - C_{22} และ ไฮโดรคาร์บอน ใช้ทำน้ำมันหล่อลื่น และกระบวนการนี้ยังได้ผลพลพลอยได้ คือ ไซที่มีน้ำมันปนอยู่บางส่วนเนื่องจาก ไซนี้ถ้าบริสุทธิ์สามารถนำไปใช้ทำประโยชน์ต่างๆ อีกมากมาย เช่น นำไปใช้ทำกระดาษ เคลือบไซ เทียนไซ เป็นส่วนผสมสำหรับทำไม้ขีด สารขัดเงา และเป็นสารตั้งต้น สำหรับ อุตสาหกรรมเคมีบางชนิด เป็นต้น

ไซที่มีน้ำมันปนอยู่บางส่วนสามารถทำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นได้ โดยการนำ ไซนี้มาทำการขจัดน้ำมันออกจากกระบวนการแยกไซเนื่องจากเป็นกระบวนการต่อเนื่อง กระบวนการขจัดน้ำมันในไซจึงเป็นกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายซึ่งคล้ายกับกระบวนการแยกไซ แต่คำนึง ถึงผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน

ขั้นตอนสุดท้ายในการทำไซให้บริสุทธิ์ คือการปรับปรุงเรื่องสี กลิ่น และ ความบริสุทธิ์ การกำจัดสี กลิ่นและสิ่งปนเปื้อนของพวกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโอสินีนิค และอะโรมาติก โดยการเติมไฮโดรเจนหรือทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน กระบวนการอีกแบบหนึ่งในการกำจัดสีและ กลิ่นของไซ ด้วย activated clay และกรอง ไซที่ผ่านการกำจัดสีและกลิ่นเป็นไซที่บริสุทธิ์

ไซที่พบในน้ำมันดิบ อาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไซพาราฟินพบในผลิตภัณฑ์ พิโตรเลียมที่มีจุดเดือดต่ำ (low-boiling petroleum fractions) และไซไมโครคริสตัล ไลน์พบในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีจุดเดือดสูง (high-boiling petroleum fractions) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีจุดเดือดต่ำและสูงได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในส่วนสุดท้ายที่มีจุดเดือดสูง ใช้ ทำเป็นน้ำมันหล่อลื่น การปรับปรุงน้ำมันหล่อลื่นให้มีจุดไหลเทต่ำ จำต้องมีการแยกไซ ผลพลอย

ได้จากการแยกไซ สามารถผลิตไซพาราฟินจากส่วนของน้ำมันหล่อลื่นที่มีจุดเดือดต่ำหรือปานกลาง และไซไมโครคริสตัลไลน์จากส่วนของน้ำมันหล่อลื่นที่มีจุดเดือดสูงหรือผลิตภัณฑ์กันห่อ

ไซไมโครคริสตัลไลน์ได้จากผลิตภัณฑ์กันห่อ หรือจากส่วนใต้สุดของถังเก็บน้ำมันดิบ หลังจากที่แยกเอาพวกยางมะตอย จากผลิตภัณฑ์กันห่อแล้ว น้ำมันหล่อลื่นหนักจะถูกแยกออกโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย สารที่กรองได้เป็นพวกปิโตรลาตัมซึ่งมีสีดำ ประกอบด้วยน้ำมันและไซไมโครคริสตัลไลน์

2.2 ประเภทของไซ (4, 5, 6)

ไซ(waxes) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องคุณสมบัติทั่วไป คือกันน้ำ ไม่เป็นพิษ เป็นฉนวนไฟฟ้า และละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แบ่งประเภทของไซออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 ไซที่เกิดตามธรรมชาติ (natural waxes)

1. ไซที่ได้จากพืช (vegetable waxes)

พืชในเขตร้อนหลายชนิดสามารถสร้างไซได้เองตามใบ ลำต้น และผล เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำไม่ให้ระเหยออกไปได้โดยง่าย ส่วนใหญ่ไซที่ได้จากพืชประกอบด้วย เอสเทอร์ของแอลกอฮอล์โมเลกุลใหญ่ๆ เช่น ไมริซิลซีโรเตต (myricyl cerotate) ไซที่ได้จากพืชเช่น ไซคาร์นوبا (carnauba) สีเหลือง ไซเคนดิลิลลา (candelilla) สีน้ำตาลอ่อน ไซเบย์เบอร์รี่ (bayberry) สีเขียว และไซซูกาเคน (sugarcane) เป็นต้น

ไซจากพืช ใช้ผสมในเครื่องสำอาง ผลมในขนมหวานบางชนิด และหมากฝรั่ง ทางการแพทย์ใช้ไซคาร์นوبا (carnauba) ผลมน้ำยาทำแผลหรือแต่งริมฝีปาก ใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยและหล่อลื่นต่างๆ

2. ไซที่ได้จากสัตว์ (animal waxes)

ไซที่ได้จากสัตว์ที่รู้จักกันดีคือไซผึ้ง (bee waxes) ได้จากรังผึ้ง นอกจากนี้ได้แก่ ไซผึ้งจีน (chinese wax) ได้จากแมลงชนิดหนึ่งในประเทศจีน ไซผึ้งสเปอร์มาซีติ (spermaceti) ได้จากส่วนหัวและไซของปลาวาฬ องค์ประกอบทางเคมีของไซผึ้งเป็นเอสเทอร์ของไมริซิลปาลมิเตต (myricyl palmitate) รวมอยู่กับกรดซีโรติก (cerotic acid)

ไซที่ได้จากสัตว์ ใช้ผสมในหมากฝรั่ง เครื่องสำอางทั้งที่เป็นครีมและโลชั่น สบู่ น้ำมันใส่ผม และในอุตสาหกรรมย้อมหนัง เส้นใย กระดาษ ยา นิยมภาพ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำมันดิบแหล่งแม่สุนหลวง (3)

คุณสมบัติ	น้ำมันดิบแหล่งแม่สุนหลวง
Sp.gr.at 60 °F/60 °F	0.8900
API Gravity at 60 °F	30.8
Flash point (°F)	< 32
Pour point (°F)	95
Saybolt Universal Viscosity at	
100 °F	waxy
130 °F	-
150 °F	67.0
180 °F	55.8
Product Fraction %	
- Gasoline	7
- Kerosene	8
- Gas oil	12.5
- Reduced Crude	72.5
Sulfur %	0.18
Base	paraffin

3. ไช้ที่ได้จากแร่ (mineral waxes)

เป็นไช้ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากซากดึกดำบรรพ์ (fossil) เช่น ไช้มอนทาน (montan) มีสีน้ำตาล ได้จากการสกัดถ่านหินลิกไนต์ (lignites) โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ไช้โอโซซีไรท์ (ozocerite) มีสีขาวหรือสีคล้ำเกือบดำ ได้จากถ่านหินบิทูเมนซ์ โดยการหลอมในน้ำร้อน ไช้จะลอยตัวแยกออกมา ไช้ปิโตรเลียมได้จากกระบวนการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ไช้จากแร่ ใช้ผสมกับสารโพลีเมอร์อื่น เพื่อใช้เป็นสารขัดเงา ใช้เคลือบกระดาษคาร์บอน หนั ง ไม้ เส้นใย เป็นต้น

2.2.2 ไช้สังเคราะห์ (synthetic waxes)

ได้จากโพลีเมอร์และสารอินทรีย์สังเคราะห์บางชนิด เช่น ไช้คลอรีเนเตดเนฟทาลีน (chlorinated naphthalene) ได้จาก ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับเนฟทาลีน (naphthalene) ไช้โพลีเอทิลีนได้จากการเกิดโพลีเมอร์ (polymerization) ของเอทิลีน ให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ประมาณ 2,000 เป็นต้น

2.3 ไช้ปิโตรเลียม (Petroleum waxes) (7,8)

ไช้ปิโตรเลียม เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง หลอมเหลวง่าย ได้จากขบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.3.1 ไช้พาราฟิน (paraffin waxes)

ไช้พาราฟินเป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวส่วนมากเป็นพาราฟินอิ่มตัว หรือ ไช้ตรง มีพาราฟินหรือโซ่กิ่งปนอยู่เล็กน้อย ได้จากขบวนการกลั่นปิโตรเลียม โดยจะปนอยู่กับน้ำมันพาราฟิน (paraffin oil) เพราะมีจุดเดือดใกล้เคียงกัน ส่วนที่กลั่นได้จากน้ำมันดิบที่มีไช้พาราฟินและน้ำมันพาราฟินปนอยู่ เรียกว่า ไช้ดิสทิลเลท (wax distillate) หรือ พาราฟินดิสทิลเลท (paraffin distillate) น้ำมันพาราฟินส่วนมากมีโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง

ไช้พาราฟินเป็นมาโครคริสตัลไลน์มีจำนวนคาร์บอน ตั้งแต่ 20 อะตอม ถึง 36 อะตอม มีสีขาว ลักษณะของผลึกเป็นเกล็ด (plate) ปริมาณน้ำมันที่ปนอยู่ในไช้พาราฟินขึ้นอยู่กับชนิดของไช้พาราฟิน ดังนี้

1. ไช้พาราฟินบริสุทธิ์ (fully-refined paraffin waxes) เป็น

ไขพาราฟินที่มีน้ำมันปนอยู่ น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

2. ไขพาราฟินกึ่งบริสุทธิ์ (semi-refined paraffin waxes) หรือเทียนไข เป็นไขพาราฟินที่มีน้ำมันปนอยู่มากกว่าไขพาราฟินบริสุทธิ์ แต่ไม่เกินร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก

3. ไขสเกล (scale waxes) เป็นไขพาราฟินที่มีน้ำมันปนอยู่มากกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

2.3.2 ไขไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline waxes)

ไขไมโครคริสตัลไลน์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว ส่วนมากเป็นพวกไอโซพาราฟิน (iso-paraffin) และไซโคลพาราฟิน (cyclo-paraffins) มีพากอะโรเมติกปนอยู่เล็กน้อย มีสีขาว เหลือง ทอง หรือน้ำตาล ลักษณะของผลึกเป็นแท่ง (rod) ปริมาณน้ำมันที่ปนอยู่ในไขไมโครคริสตัลไลน์ประมาณร้อยละ 0.5-5 โดยน้ำหนัก จำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 30 อะตอม ถึง 75 อะตอม

2.3.3 บีโตรลาตัม (petrolatum or petroleum jelly)

บีโตรลาตัมเป็นไขไมโครคริสตัลไลน์ มีน้ำมันปนอยู่ในปริมาณร้อยละ 5-40 โดยน้ำหนัก ลักษณะกึ่งของแข็ง (semi-solid) บีโตรลาตัมคล้ายคลึงกับไขไมโครคริสตัลไลน์ ตรงองค์ประกอบ แต่มีนอร์มัลพาราฟินในสัดส่วนที่ต่ำกว่า มีสีตั้งแต่สีดำ เช่นน้ำมันดิบไปจนถึงสีขาว ซึ่งเป็นสีที่ทำให้บริสุทธิ์ (ใช้ทางยา) มีช่วงจุดหลอมเหลว 37-80 °ซ และความหนืด 10-25 cst. ที่ 100 °ซ

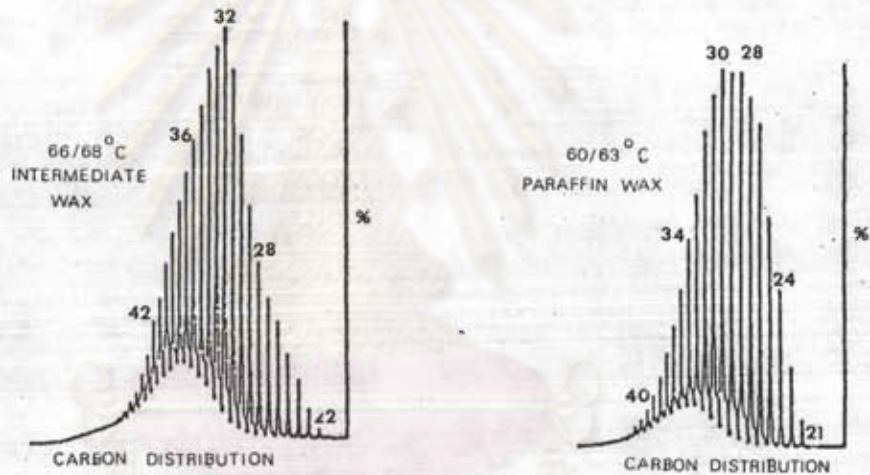
ปริมาณและคุณภาพของไขที่แยกได้จากน้ำมันดิบ ขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำมัน เพราะน้ำมันดิบบางแหล่งอาจมีไขปนอยู่เล็กน้อย บางแหล่งอาจไม่มีไขปนอยู่ น้ำมันดิบที่มีไขปนอยู่ในปริมาณสูง โดยทั่วไปพบอยู่ในบริเวณแอปปาเลเชียล (Appalachian) เพนซิลวาเนีย (Pennsylvania) และบริเวณกลางทวีปในอเมริกา รวมทั้งในเวเนซุเอลา รูมาเนีย รัสเซีย พม่าและหมู่เกาะสุมาตรา ปริมาณไขที่มีอยู่ในน้ำมันดิบแหล่งต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ค.2

2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของไขปิโตรเลียม (9,10,11)

2.4.1 ไขพาราฟิน

จากการศึกษาโดยใช้การหักเหรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่า

โครงสร้างของไขพาราฟินเป็นพหุสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มีสูตรทางเคมี C_nH_{2n+2} เรียกว่า แอลเคน ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ โมเลกุลที่เป็นเส้นตรง โมเลกุลที่เป็นโซ่กิ่ง (iso-paraffin) และโมเลกุลที่เป็นวงแหวน (cyclo-paraffin) แต่ลักษณะโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นแบบเส้นตรงมากกว่า น้ำมันพาราฟินมีโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไขพาราฟินอยู่ในช่วง 350-420 จำนวนคาร์บอน 20-36 อะตอม ลักษณะโครมาโทแกรมของไขพาราฟินจากก๊าซโครมาโทกราฟี แสดงในรูปที่ 2.1 แอลเคนที่เป็นโซ่ตรงมีค่าความร้อนของการเผาไหม้ จุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงกว่าพาราไอโซเมอร์ ที่เป็นโซ่กิ่งหรือวงแหวน การเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวแสดงในตารางที่ 2.2

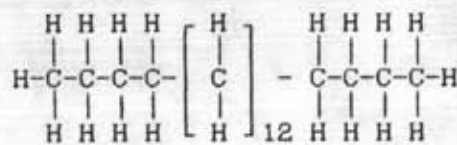


รูปที่ 2.1 แสดงโครมาโทแกรมของไขพาราฟิน (๑)

ลักษณะโครงสร้างของไขพาราฟิน Eicosane ($C_{20}H_{42}$) ทั้ง 3 ประเภท

มีดังนี้

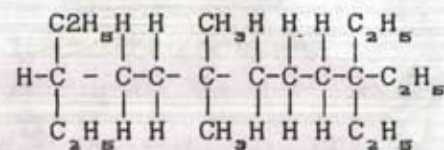
1. n-Eicosane



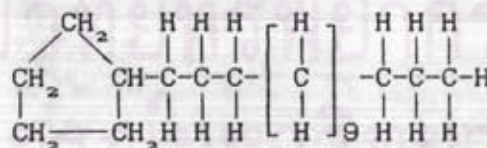
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของสารแอลเคน (11)

สารแอลเคน	จุดหลอมเหลว , °ฟ.
n-C ₂₈ H ₅₈	143
iso-C ₂₈ H ₅₈	112
n-C ₂₉ H ₆₀	147
iso-C ₂₉ H ₆₀	118
n-C ₃₀ H ₆₂	151
iso-C ₃₀ H ₆₂	124

2. iso-Eicosane เขียนได้หลายรูปแบบ เช่น



3. cyclo-Eicosane



โมเลกุลของแอลเคนที่มีวงแหวนเดียว มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n}

2.4.2 ไชไมโครคริสตัลไลน์

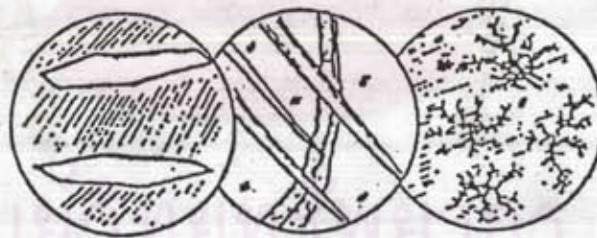
เป็นผลึกละเอียด (microcrystal) ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนชนิด ยี่มตัว ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลโดยมากเป็นพวกโมเลกุลที่เป็นโซ่กิ่ง (iso-paraffin) และพวกแนฟทีน (naphthene or cyclo-paraffin) อาจมีสารพวกอะโรมาติกปนอยู่เล็กน้อย

น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยสูงกว่าไซพาราฟิน กล่าวคืออยู่ในช่วง 600-800 ลักษณะโครงสร้างผลึกเล็กกว่าไซพาราฟิน จำนวนคาร์บอน 30-75 อะตอม

2.4.3 ลักษณะผลึกของไซปิโตรเลียม (crystal form of petroleum wax)
(12, 13, 14)

จากการศึกษาทางไมโครสโคป (microscope) พบว่าผลึกของไซปิโตรเลียมมี 3 รูปแบบ ดังนี้ แบบเกล็ด(plates) แบบเข็ม(needles) และ malcrystalline ลักษณะผลึกไซทั้ง 3 แบบ แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของผลึก มีดังนี้

1. ความหนืดของตัวกลาง (viscosity of medium) มีผลต่อลักษณะการเกิดผลึกไซ ผลึกรูปเกล็ด (plates) จะเกิดขึ้นในตัวกลางที่มีความหนืดต่ำ ผลึกรูปเข็ม(needles) เกิดในตัวกลางที่มีความหนืดสูง

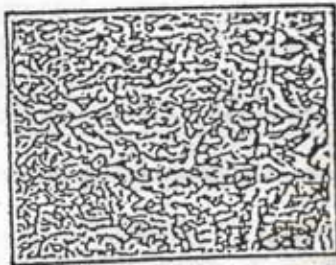


Plate

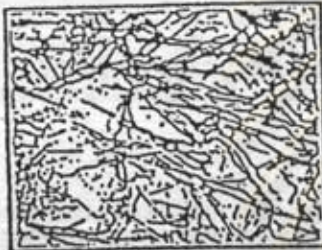
Needle

Malcrystalline

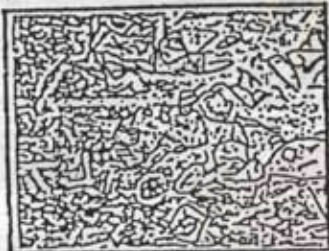
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะผลึกไซทั้ง 3 แบบ แบบเกล็ด แบบเข็ม และ malcrystalline (14)



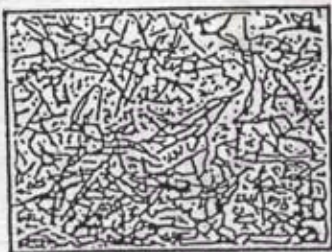
ลักษณะผลิกรูปเกล็ดที่ได้จากการตกผลึก
โดยการให้ความเย็นอย่างช้าๆ



ลักษณะผลิกรูปเกล็ดที่ได้จากช่วงแรกของการตกผลึก



ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลิกรูปเกล็ดไปเป็นรูปเข็ม
ในช่วงเวลา 1 นาทีหลังจากการเริ่มตกผลึก



ลักษณะผลิกรูปเข็มที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของผลิกรูปเกล็ด
ในช่วงปลายของการตกผลึก

รูปที่ 2.3 ลักษณะผลิกไซที่ได้จากการตกผลึก (12)

2. ความเข้มข้น การตกผลึกไซที่ความเข้มข้นสูงจะได้ผลึกรูปเข็ม (needles) ส่วนการตกผลึกไซที่ความเข้มข้นต่ำ จะได้ผลึกรูปเกล็ด ดังนั้นเพื่อให้ได้ลักษณะผลึกรูปเกล็ด จึงจำเป็นต้องทำให้สารละลายเจือจาง

3. อัตราการลดอุณหภูมิ (rate of cooling) ลักษณะผลึกของไซในช่วงแรกของการตกผลึกจะมีรูปแบบเกล็ด (plate) เพราะเป็นช่วงที่มีการลดอุณหภูมิต่ำอย่างช้า ๆ เมื่อมีการลดอุณหภูมิต่ำอย่างรวดเร็ว (0.1°C . ต่อนาที) ลักษณะผลึกของไซจะเป็นรูปเข็ม โดยที่ผลึกไซแบบเกล็ดจะเกิดการม้วนตัวที่ขอบของผลึก และเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบเข็มเกือบทั้งหมด ลักษณะการเกิดผลึกแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

ตัวทำละลายที่ใช้ในการตกผลึกไซมีหลายชนิด เช่น เอทิลีนไดคลอไรด์ ไนโตรเบนซีน กรดอะซิติก น้ำมันก๊าด และไซลีน เป็นต้น

2.5 คุณสมบัติของไซปิโตรเลียม (15, 16, 17)

คุณสมบัติของไซปิโตรเลียม แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.5.1 คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties)

คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ปริมาณน้ำมัน ปริมาณตัวทำละลายที่สกัด การกระจายจุดเดือด น้ำหนักโมเลกุล การดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต ปริมาณเปอร์ออกไซด์ คุณสมบัติทางเคมีของไซปิโตรเลียมแสดงในตารางที่ 2.3

1. ปริมาณน้ำมัน ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในไซ เป็นตัวบอกความแตกต่างของไซ พาราฟินไซโมโคคริสตัลไลน์และปิโตรลาตัม ไซโมโคคริสตัลไลน์เป็นไซที่ชอบน้ำมันมากกว่าไซ พาราฟินเนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างที่เล็กกว่า ทำให้กักเก็บน้ำมันได้ดีกว่า ปริมาณน้ำมันในไซ มีผลต่อคุณสมบัติทางหน้าที่ของไซ

2. การกระจายของจุดเดือด (boiling point distribution) การกระจายของจุดเดือด มีผลต่อการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอน ทำให้มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางหน้าที่ของไซ

3. น้ำหนักโมเลกุลของไซปิโตรเลียม ขึ้นกับแหล่งกำเนิดของไซ และกระบวนการตกผลึกไซ โดยทั่วไปการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของไซ ทำให้ความหนืดและจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้น

4. การดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต(Ultraviolet absorptivity)

เป็นการทดสอบสารอะโรมาติก ที่ปนอยู่ในไซปิโตรเลียม แต่ไม่สามารถบอกปริมาณได้

5. ปริมาณเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวบ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของไซ ตัวออกซิไดซ์ เช่น อัลดีไฮด์ หรือกรดไขมัน สารที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ได้แก่ 2,6 ไดเทอร์เชียรี บิวทิลพาราครีซอล (2,6 di-tertiarybutyl-p-cresol) และบิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole)

6. สมบัติที่ใช้ทางอาหาร กฎหมายได้กำหนดไซที่ใช้ทางอาหารว่าเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของแข็งมีโครงสร้างเป็นพาราฟินที่ได้จากปิโตรเลียม เป็นไซที่บริสุทธิ์ นอกจากนี้กฎหมายได้กำหนดควบคุมปริมาณของสารโพลีนาเคลียอะโรเมติก เพราะเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen)

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties)

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญได้แก่ จุดหลอมเหลว ความหนืด ความแข็ง คุณสมบัติทางกายภาพของไซปิโตรเลียมแสดงในตารางที่ 2.4

1. จุดหลอมเหลว ไซพาราฟิน ปกติมีช่วงของจุดหลอมเหลวที่แคบกว่า ไซไมโครคริสตัลไลน์ และปิโตรลาตัม จุดหลอมเหลวของไซมีประโยชน์โดยตรงและทางอ้อมต่อลักษณะการนำไปใช้งาน

2. ความหนืดของไซ การไหลของไซที่หลอมเป็นสิ่งสำคัญต่อการใช้งานทางการเคลือบ เช่น กระจก การเคลือบ และการผลิตเทป ไซพาราฟินมีช่วงความหนืดที่แคบกว่า ไซไมโครคริสตัลไลน์

3. ความแข็ง วัสดุในรูปความต้านทานการขีดถู หรือการเปลี่ยนรูป ไซที่มีโครงสร้างเป็นแบบไซตรงจะมีความแข็งสูงกว่าแบบไซกึ่ง ความแข็งของไซมีความสัมพันธ์กับค่าแนวโน้มการติดกัน (blocking tendency) และค่าความมันเงา (gloss) ของไซด้วย

4. ความทนแรงดึง (tensile strength) มีส่วนสัมพันธ์กับความทนการเชื่อม (sealing strength) และความยืดหยุ่นของไซในการเคลือบกระจก

5. สี ไซพาราฟินปกติมีสีขาวโปร่ง ไซไมโครคริสตัลไลน์ และปิโตรลาตัม มีสีตั้งแต่สีขาวถึงสีดำ ไซที่ไม่มีสีเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในการใช้งานทางด้านยาและอุตสาหกรรมทางอาหาร

6. กลิ่น ไซที่บริสุทธิ์ปกติไม่มีกลิ่น ไซที่มีกลิ่น เกิดจากการที่มีน้ำมันหรือตัวทำละลายปนอยู่ ทำให้ลักษณะการนำไปใช้งานน้อยลง

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของไฮปิโตรเลียม (17)

Properties	Paraffin (n-paraffin)	Microcrystalline (Iso-paraffin, naphthene, n-paraffin)
Molecular weight	360-420	575-700
Oil content (ASTM-D721), %	0-1	0-15
Urea reactible, %	75-100	10-90
Iodine no., Hanus	approx ,zero	0-10
Neutralization no., Mg KOH/g, max.	0.2	0.2
Sponification no., Mg KOH/g, max	2.0	2.0
Light-stability	fairly good	depend on color
Thermal stability	poor	depend on color
Reactivity with sulfuric acid	poor	high



ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของไซบีโตรเลียม (17)

Properties	Paraffin	Microcrystalline
Melting point (ASTM-D127)	120-145 °F.	130-200
Penetration, Needle 77°F (ASTM-D1312)	10-20	5-50
Viscosity, 210°F SSU	35-50	50-100
Flash point, ASTM D-92	350-450	450-600
Specific gravity, 200°F	about 0.75	about 0.80
Carbon residue, Conradson %	about D	D-1
Concentration form 10°F above to 50°F below mp, %	13.5-14.5	9-14
Adhesion (or Laminating strength)	0	low to high
Flexibility at low temp.	0	low to high
Properties when mixed with Petroleum oil		
Ductility	low	low to high
Staining or Bleeding	high	low

2.5.3 คุณสมบัติที่นำไปใช้งาน (functional properties)

คุณสมบัติที่นำไปใช้งาน ที่สำคัญของไซบีโตรีเลียม ได้แก่

1. ปริมาณไซที่เคลือบ (wax content of substrates) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของการนำไปใช้งานด้านการเคลือบ เช่นกระดาษเคลือบไซ และกระดาษเคลือบไซ
2. blocking properties เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการใช้งานทางการเคลือบบนกระดาษ และกระดาษ สมบัติการติดกันนี้บอกในรูปของอุณหภูมิ
3. ความมันเงา (gloss) ของไซที่เคลือบ เป็นตัวกำหนดคุณภาพของไซที่ใช้งานด้านการเคลือบ
4. ความต้านทานต่อการลื่น (slip)
5. ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion)
6. การกันความชื้น (moisture barrier) ความสามารถของไซในการป้องกันความชื้น เป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรมการบรรจุอาหาร

2.6 ประโยชน์ของไซในทางอุตสาหกรรม (18)

ในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตเทียนไขและการทำกระดาษ ปริมาณการสั่งเข้า ไซพาราฟินนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 ถึง 2528 แลคงอยู่ในภาคผนวก ค. 1

การใช้ประโยชน์ของไซพาราฟิน ในอุตสาหกรรมมีดังต่อไปนี้

1. อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการบรรจุหีบห่อ
ใช้เคลือบกระดาษสำหรับกันน้ำและกันความชื้น กระดาษกันฝุ่น ในการเกษตรใช้กระดาษเคลือบไซป้องกันแมลง เจาไซผลไม้ ห่อเมล็ดพันธุ์พืช
ใช้ผสมกับไซไมโครคริสตัลไลน์ โคโพลิเมอร์ของเอทิลีนไวนิลเอซิเตต และโพลีโอลิฟินเพื่อใช้เคลือบกระดาษลูกฟูกกันน้ำ ทำถ้วย งานกระดาษ กล่องบรรจุเนื้อแช่แข็ง เป็นต้น
2. อุตสาหกรรมทำเทียนไข
ไซพาราฟินเป็นส่วนประกอบหลัก แต่ต้องผสมกับไซชนิดอื่นและกรดสเตียริก เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการที่จะให้ความสว่าง
3. อุตสาหกรรมยาง
ใช้เป็นส่วผสมในยางสำหรับผลิต เพื่อช่วยเป็นสารหล่อลื่นภายใน ช่วยให้ผลมยางง่าย และช่วยต่อต้านการเสื่อมเพราะอายุการใช้งาน
4. อุตสาหกรรมเคมี

chlorinated paraffin ใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) สำหรับงาน ความดันสูงมาก ๆ ใช้ผสมทำ cutting oil สำหรับงานโลหะใช้เป็นพลาสติกไซเซอ์ในไวนิล คลอไรด์เรซิน ใช้ผสมทำเรซินสังเคราะห์ และ gum ใช้ทำสารกันไฟและสารผสมในน้ำมันหล่อลื่น

5. อุตสาหกรรมไฟฟ้า

ใช้เคลือบฉนวนนำและสายไฟ เป็นฉนวนไฟฟ้า

6. อุตสาหกรรมทอผ้า

ใช้ทำสารหล่อลื่นสำหรับเส้นใย

7. การใช้งานด้านอื่น ๆ

ใช้ในอุตสาหกรรมไม้ขีด การทำสีเทียน อุตสาหกรรมเครื่องหนัง การขัดเงา ในรถยนต์ ทำแบบ ทำเครื่องสำอาง เป็นต้น

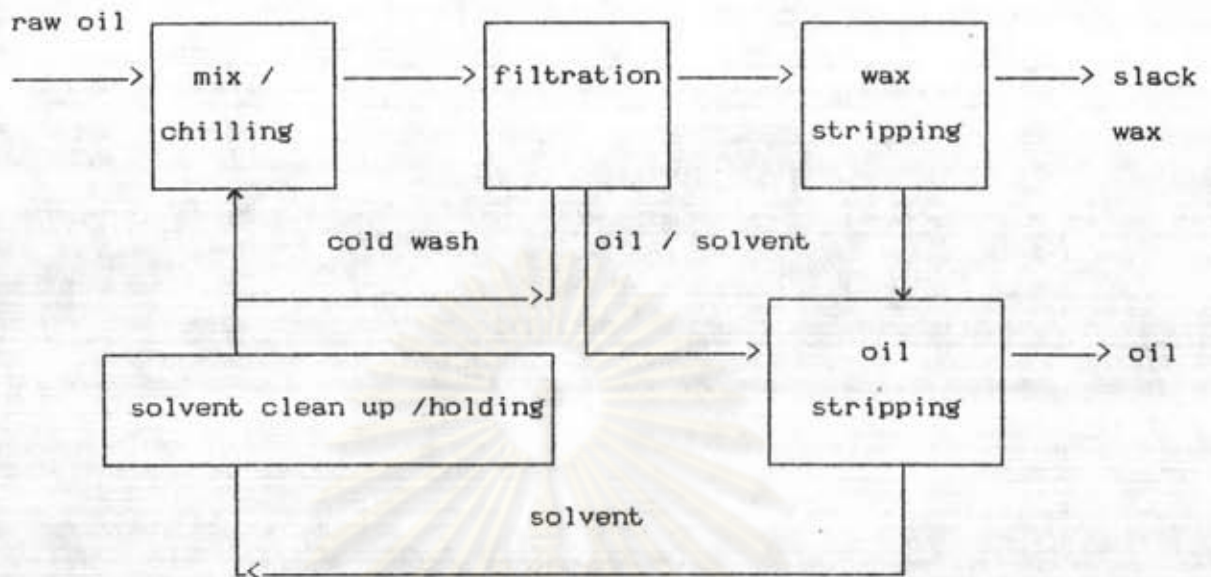
2.7 กระบวนการแยกไขและกระบวนการขจัดน้ำมันในไข ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2.7.1 กระบวนการแยกไข (19, 20)

เนื่องจากกระบวนการแยกน้ำมันจากไข เป็นกระบวนการต่อเนื่องจาก กระบวนการแยกไขออกจากน้ำมัน เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่มีไขปนอยู่สูง ให้น้ำมันเป็น น้ำมันที่มีคุณภาพดีขึ้น เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งกระบวนการที่นิยมและใช้ในอุตสาหกรรม คือ กระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย (solvent dewaxing processes) ซึ่งสรุปขั้นตอน ของกระบวนการแบ่งออกได้เป็น

1. ทำน้ำมันให้เจือจาง โดยผสมตัวทำละลาย ในอัตราส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลายที่ เหมาะสม
2. นำของผสมหรือน้ำมันที่ผสมตัวทำละลายแล้ว มาทำการตกผลึกไขที่อุณหภูมิที่เหมาะสม
3. การแยกไขออกจากน้ำมันและตัวทำละลาย ซึ่งกระบวนการที่ใช้ได้แก่ การกรอง (filtration) และ การเหวี่ยงสไลด์ (centrifugation)
4. แยกตัวทำละลายออกจากส่วนน้ำมัน และส่วนของไข เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ และนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์

ขั้นตอนของกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลายสามารถสรุปเป็นแผนผัง ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย

ประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของผลึกไข ถ้าผลึกมีขนาดใหญ่ จะกรองได้ง่ายกว่าผลึกขนาดเล็ก และผลึกที่มีรูปร่างแบบเกล็ดจะกรองได้ง่ายกว่าแบบเข็ม เนื่องจากผลึกขนาดเล็กจะอมน้ำมันไว้ ซึ่งขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับ

- ชนิดของน้ำมันและไขที่ปนอยู่ในน้ำมัน ถ้าเป็นไขที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นเบา จะได้ผลึกไขขนาดใหญ่และอมน้ำมันไว้น้อย เรียกว่า macro-crystalline wax ส่วนไขที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นชนิดหนักมีรูปร่างผลึกเล็ก เกิดการจับตัวรวมเป็นก้อนและอมน้ำมันไว้มาก เรียกว่า micro-crystalline wax

- อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก
 - อัตราการลดอุณหภูมิ (cooling rate) ถ้าอัตราการลดอุณหภูมิเร็วเกินไปจะเกิด shock chilling คือ ผลึกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมีขนาดเล็ก และจับตัวเป็นก้อน

- ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้และอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมัน
 ตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการนี้เป็นตัวทำให้ไขตกผลึก และเจือจางน้ำมัน ซึ่งควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. ทำให้สารประกอบ paraffinic hydrocarbon ตกผลึก
2. ละลายน้ำมันที่มีโมเลกุลสูงได้ดี

3. ทำให้อุณหภูมิของการกรองและจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกไขออกแล้ว มีค่าแตกต่างกันน้อยที่สุด

ซึ่งตัวทำละลายที่พบมีคุณสมบัติไม่ครบทั้ง 3 ประการ และตัวทำละลายที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม

- ตัวทำละลายเดี่ยว ที่นิยมใช้คือ โพรเพน ซอดีคือ โพรเพน เป็นทั้งตัวทำละลายและตัวทำความเย็น (self refrigeration) แต่ข้อเสียคือ อุณหภูมิในการกรองและจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกไขแล้ว มีค่าแตกต่างกันมาก

- ตัวทำละลายผสม ประกอบด้วยตัวทำละลายที่ทำให้ไขตกผลึกและตัวทำละลายที่ละลายน้ำมันแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ ตัวทำละลายผสมของพวก chlorinated hydrocarbon และของพวก คีโตน

ตัวทำละลายผสมของพวก chlorinated hydrocarbon คือ

1. เอทิลีน ไคคลอไรด์ หรือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ผสมกับเบนซีน ใช้ในกระบวนการ barisol โดยแยกไขออกโดยการเหวี่ยงสลัด เนื่องจากผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของไขและตัวทำละลาย

2. ไคคลอโรอีเทน ผสมกับ เมทิลีนคลอไรด์ ใช้ในกระบวนการ Di-Me โดยไคคลอโรอีเทนทำหน้าที่ตกผลึกไข ขณะที่เมทิลีนคลอไรด์เป็นตัวทำละลายน้ำมัน

ตัวทำละลายผสมของพวก คีโตน ใช้ในกระบวนการ Dichill Dewaxing ซึ่งไขที่ตกผลึกแล้วจะถูกแยกโดยการกรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศแบบหมุน ketone เป็นตัวทำละลายที่ละลายไขได้น้อยจึงช่วยให้ไขตกผลึกได้ดี จึงนิยมผสมสารบางชนิดลงไปเพื่อช่วยละลายน้ำมัน เช่น

1. อะซิโตน-เบนซีน เป็นตัวทำละลายในระยะเริ่มแรก

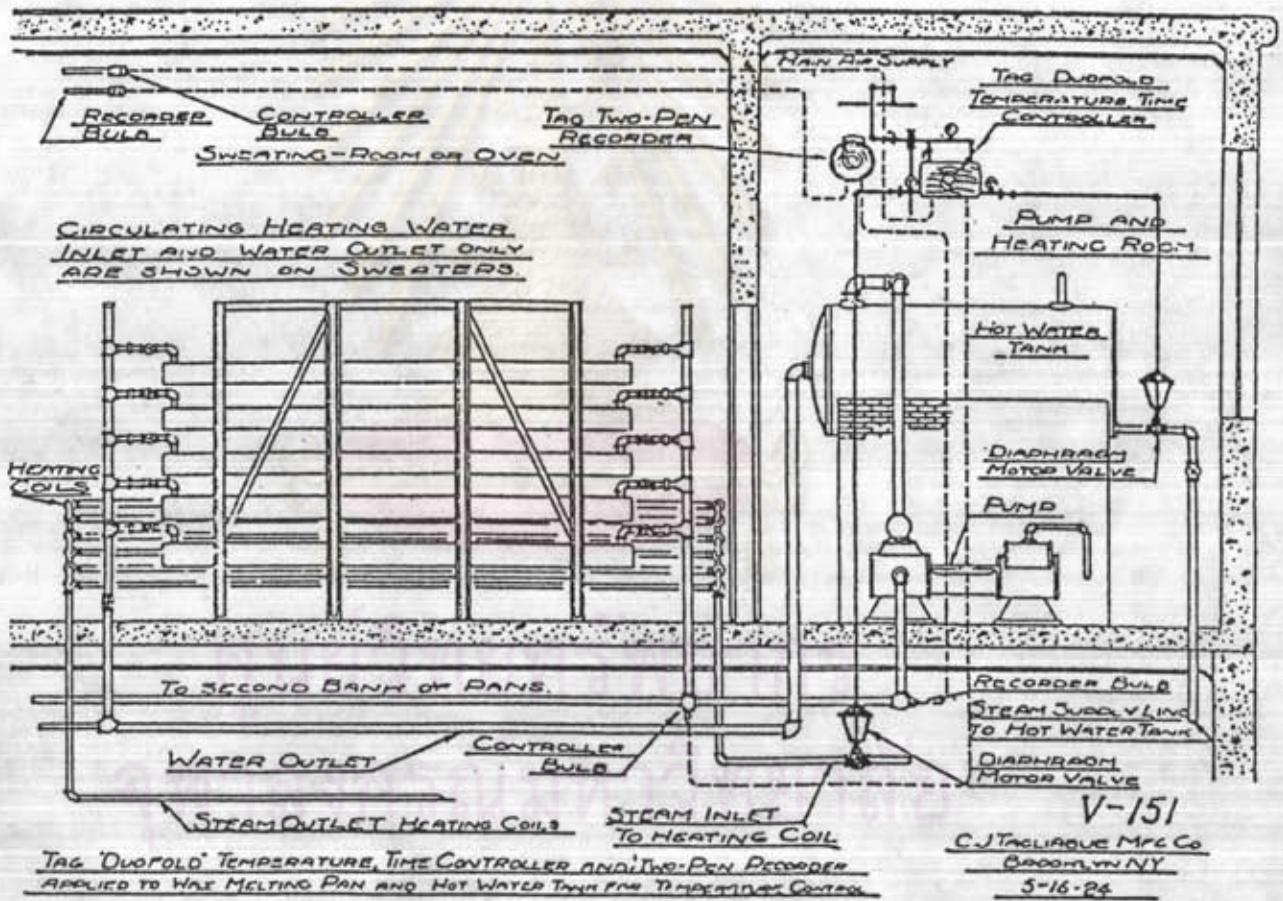
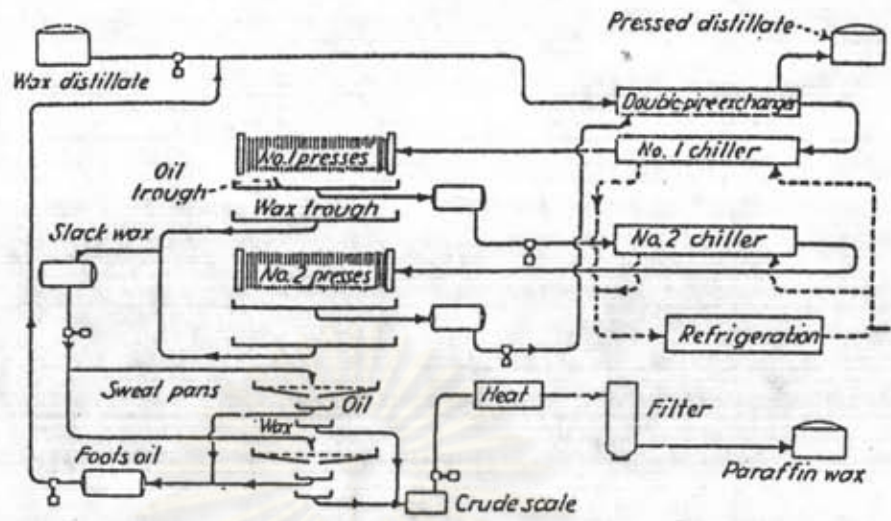
2. เมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ผสมกับโทลูอินหรือเบนซีน เป็นตัวทำละลายที่แพร่หลายที่สุดในกระบวนการ Dichill Dewaxing โดยเมทิลเอทิลคีโตนทำหน้าที่ตกผลึกไข ส่วนโทลูอินทำหน้าที่ละลายน้ำมันและช่วยไม่ให้เกิดการแยกชั้นที่อุณหภูมิต่ำ

3. เมทิลเอทิลคีโตนผสมกับเมทิลเทอร์เทียรีบิวทิลอีเทอร์ (methyl tertiary butyl ether, MTBE)

4. เมทิลเอทิลคีโตนผสมกับเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (MIBK) หรือเมทิลนอร์มัลโพรพิลคีโตน

2.7.2 กระบวนการขจัดน้ำมันในไข

กระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีอยู่หลายกระบวนการ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2



รูปที่ 2.5 ฟังกระบวนการขจัดน้ำมันโดยไม่ใช้ตัวทำละลาย (21)



กระบวนการใหญ่ๆ

2.7.2.1. กระบวนการขจัดน้ำมันโดยไม่ใช้ตัวทำละลาย หรือ sweating process (21) เป็นกระบวนการแบบเก่า ไชที่นำมาขจัดน้ำมัน (slack wax) ได้มาจากกระบวนการแยกไชโดยการกรองแบบความดัน (filter presses) ซึ่งจะมีน้ำมันปนอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนักถูกส่งเข้าไปในภาชนะ (pan) ที่มีตะแกรงรูพรุนขนาด 50 mesh และภายในภาชนะจะมีท่อซดเป็นวงวางเรียงกัน เพื่อใช้เป็นตัวหล่อเย็นและตัวทำความร้อน และมีภาควางซ้อนกันตามแนวตั้งประมาณ 10-17 ภาชนะ ไชที่หลอมเมื่อเข้ามาในภาชนะจะถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 80 °ฟ ไชจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง จากนั้นจะให้ความร้อนโดยผ่านน้ำร้อนไปตามท่อที่ซดอยู่ ความร้อนจะทำให้ไชที่มีจุดหลอมเหลวดำและน้ำมัน หลอมเหลวและไหลซึมออกมาตามช่องว่างของผลิกไช ซึ่งลักษณะการเกิดแบบนี้เรียกว่า Sweats ซึ่งน้ำมันกับไชที่ไหลออกมารวมกัน เรียกว่า Foots oil อุณหภูมิของน้ำร้อนมีอัตราการเพิ่ม 2-3 °ฟต่อชม. ที่อุณหภูมิ 100-140 °ฟ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิในลักษณะนี้ทำให้ได้ไชที่มีช่วงจุดหลอมเหลวแคบตามลำดับ ซึ่งสุดท้ายจะได้ไชที่มีความบริสุทธิ์ที่มีน้ำมันปนประมาณ 0.5-1 %

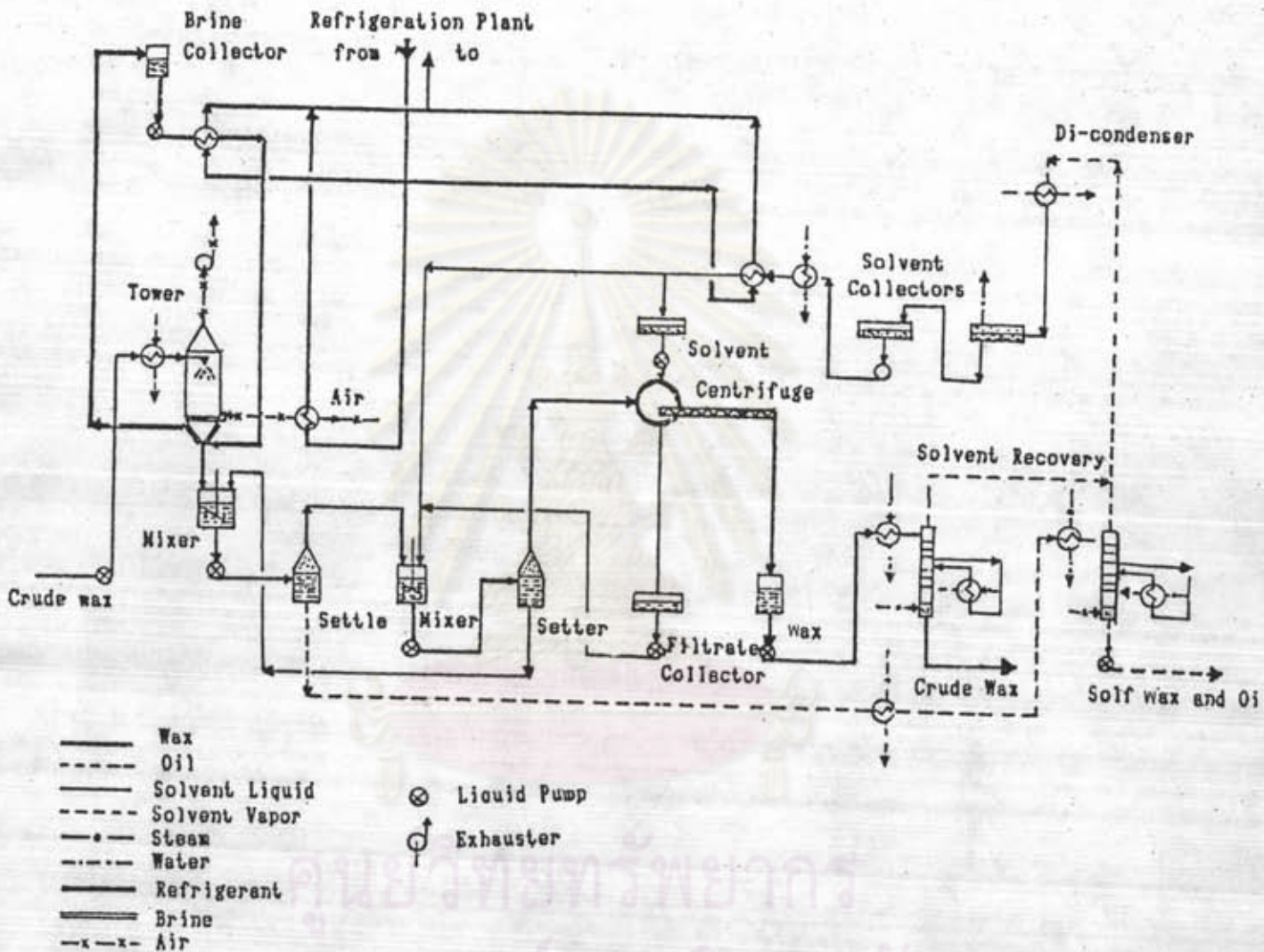
2.7.2.2. กระบวนการขจัดน้ำมันในไชด้วยตัวทำละลาย

กระบวนการขจัดน้ำมัน ด้วยตัวทำละลาย เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากกระบวนการแยกไช ซึ่งกระบวนการแบ่งออกได้เป็น

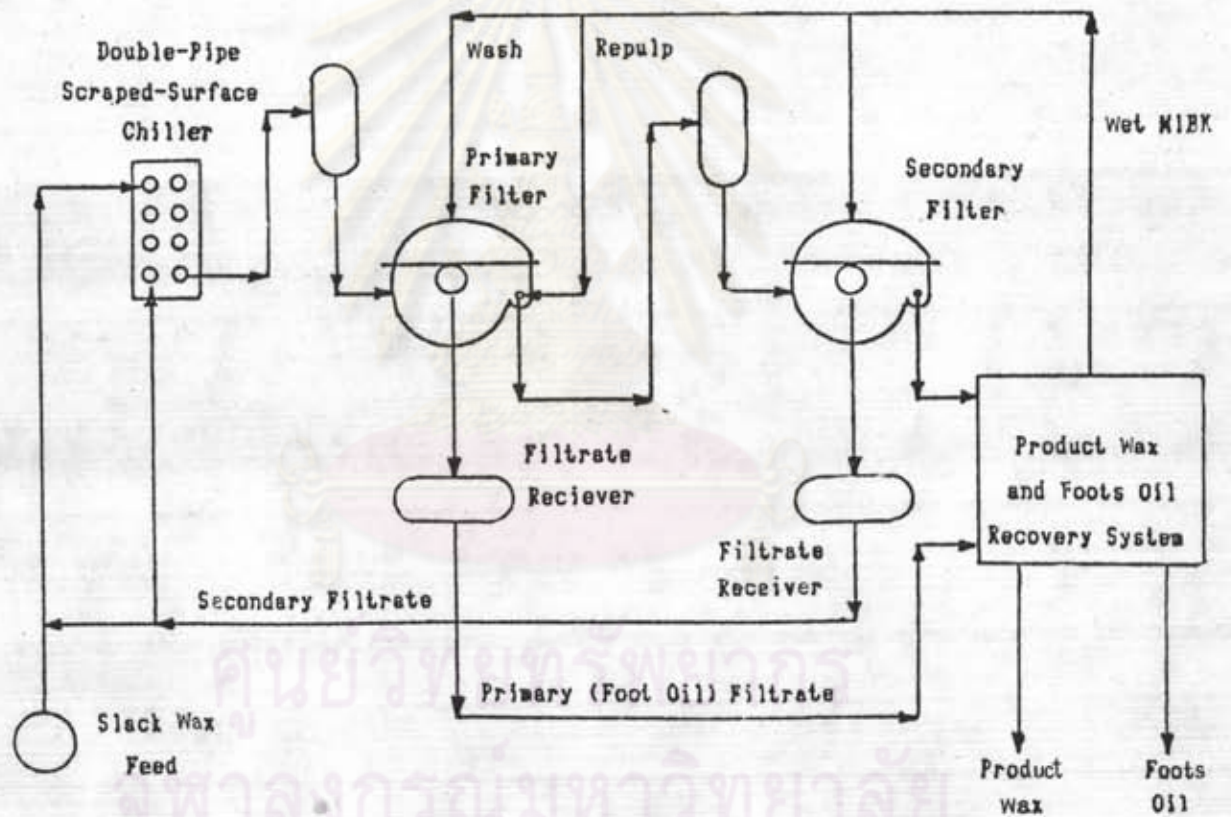
1. Spray deoiling (22) เป็นกระบวนการที่ทำให้ไชมีน้ำมันปนอยู่ต่ำ คือ มีน้ำมันปนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และไชที่ใช้ต้องมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 110 °ฟ กระบวนการเกิดขึ้นโดย slack wax ถูกหลอมแล้วพ่นเป็นละอองเล็กๆ (atomizes) โดย spray-nozzles ในส่วนบนของหอ (tower) ภายใต้อากาศที่ความดัน ซึ่งไชจะตกลงเป็นละอองเล็กๆ ส่วนทางกับอากาศที่ไหลขึ้นทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และจะทำให้ที่น้ำมันที่ปนมาเกาะเป็นฟิล์มบางๆที่ผิว เมื่อไชตกลงสู่ตัวทำละลายซึ่งได้แก่ ไดคลอโรอีเทน ในถังผสม (mixer) ทำให้น้ำมันละลายในตัวทำละลาย ซึ่งอุณหภูมิของตัวทำละลายอยู่ในช่วง 40-60 °ฟ น้ำมันและไชที่มีจุดหลอมเหลวดำสามารถละลายได้ที่อุณหภูมินี้ ของผสมจะถูกกวนอย่างช้าๆและจะแยกเป็นสองชั้นในถังพัก (settling tank) ซึ่งชุดของถังผสมและถังพัก อาจมี 2 ชุดหรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ส่วนล่างในถังพักเป็นส่วนของตัวทำละลาย ไชและน้ำมันผสมกัน ถูกนำมากลั่นแยกตัวทำละลาย และส่วนบนในถังพักถูกนำไปแยกในเครื่องเหวี่ยงสไลด์ (centrifuge) แล้วกลั่นแยกตัวทำละลายออกจะได้ไชที่มีจุดหลอมเหลวสูง และ foots oil

2. กระบวนการขจัดน้ำมันโดยการกรอง (filtration) (23)

เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากกระบวนการแยกไชด้วยตัวทำละลายโดยกระบวนการนี้จะค้ำนึ่งถึงไช



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันการ spray deoling process (22)



รูปที่ 2.7 ฟังกระบวนการขจัดน้ำมันโดยการกรอง (23)

เป็นหลัก ต่างจากกระบวนการแยกไซที่ค้ำึงถึงน้ำมันเป็นหลักซึ่งกระบวนการและกรรมวิธีคล้ายคลึงกันตั้งขึ้นตอนต่อไปนี้

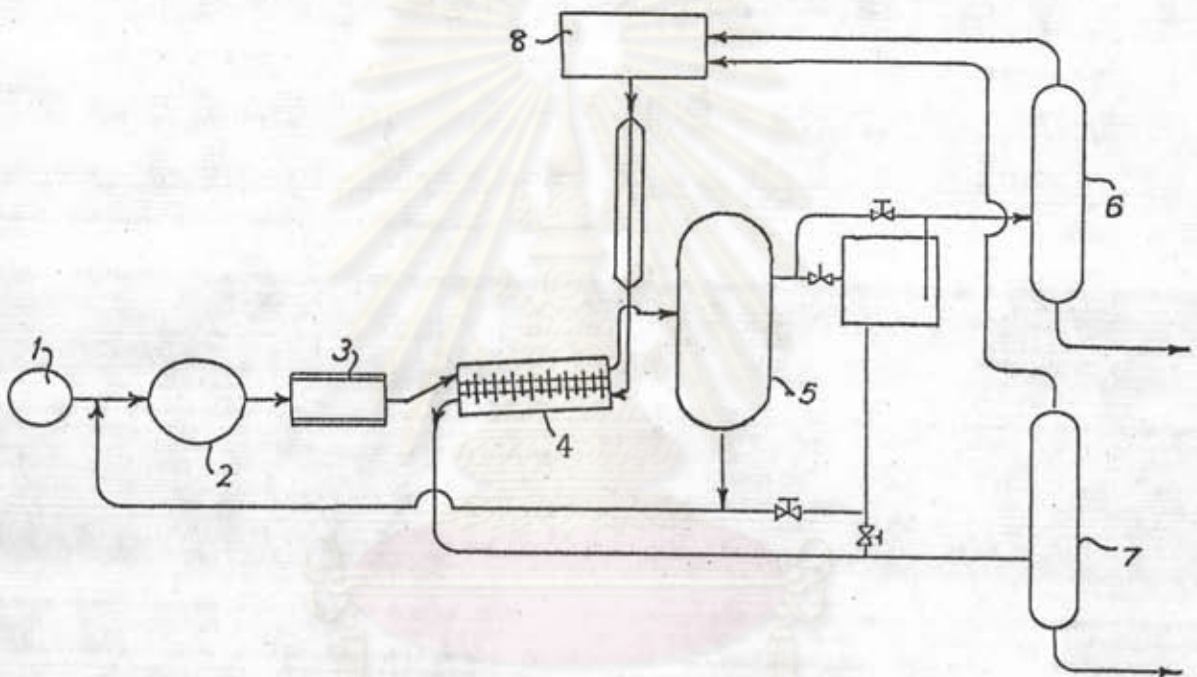
- ทำให้ไซที่มีน้ำมันปนอยู่ผสมรวมกับตัวทำละลายโดยอาศัยความร้อน จากนั้นทำให้ของผสมเย็นลง ไซตกผลึกและน้ำมันละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิต้องการ

- กรองแยกผลึกออกจากของผสม เครื่องกรองที่นิยมใช้คือ เครื่องกรองสูญญากาศแบบหมุน และการกรองมีการล้างผลึกไซ เพื่อให้ไซบริสุทธิ์ขึ้น

- แยกตัวทำละลายออกจากไซและ filtrate เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ตัวทำละลายที่นิยมใช้เช่นเดียวกับกระบวนการแยกไซคือ ตัวทำละลายผสมของพาคีโตน กระบวนการนี้ต่างจากกระบวนการแยกไซตรงที่กระบวนการนี้ใช้ไซที่มีปริมาณมากขณะที่น้ำมันมีปริมาณน้อยและการกรองผลึกไซจะกรองโดยใช้เครื่องกรอง 2 ชุด ชุดหนึ่งทำการกรองแยกที่อุณหภูมิสูงคือประมาณ 30-43 °ซ จะได้ไซที่มีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนอีกชุดหนึ่งจะทำการกรองที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -3-10 °ซ ได้ไซที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ

3. กระบวนการสกัด (contacting process) (24) เป็นกระบวนการขจัดน้ำมันโดย slack wax จะถูกผสมกับตัวทำละลายในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ไซเกิดการกระจาย (dispersion) ในตัวทำละลายภายในถังกวน และของผสมจะถูกส่งเข้าไปใน contactor ซึ่งวางอยู่ในแนวนอน มีใบกวน (rotating paddles) เป็นตัวทำให้ไซเกิดการกระจายตัว และน้ำมันเกิดการถ่ายเทไปอยู่ในตัวทำละลายที่ไหลสวนทางกับไซ จากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นทำให้ไซกับตัวทำละลายเกิดการแยกชั้น ตัวทำละลายไดคลอโรอีเทน ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าไซ จะทำให้ไซแยกตัวอยู่ชั้นบน ตัวทำละลายซึ่งละลายน้ำมันและไซโมเลกุลเล็ก ๆ รวมอยู่ชั้นล่าง ความเร็วในการหมุนของใบกวนอยู่ในช่วง 0.5-30 รอบต่อนาที และอุณหภูมิภายใน contactor อยู่ในช่วง 0-40 °ซ ซึ่งเป็นตัวกำหนดการละลายไซที่มีโมเลกุลต่ำ ๆ ในตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ใน contactor อยู่ในช่วง 0.5-2 ชั่วโมง ไซที่สกัดน้ำมันแล้วจะไหลออกจาก contactor ทางด้านบนเข้าสู่ถังพัก (settle tank) เพื่อแยกตัวทำละลายที่ติดมากับไซอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำไซที่ได้ไปกลั่นแยกตัวทำละลาย ส่วนตัวทำละลายที่สกัดไซแล้วจะไหลออกมาทางด้านล่าง สามารถนำไปกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการนี้ได้ไซที่มีน้ำมันผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก การทดลองโดยเปลี่ยนตัวทำละลายพบว่าตัวทำละลายที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับไซคือประมาณ 0.8 เช่น เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน เมทิลเอทิลคีโตน หรือตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน เช่น เฮกเซน (hexane) เฮปเทน (heptane) มีความหนาแน่นประมาณ 0.672 และ 0.688 ตามลำดับ ก็สามารถใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการนี้ได้



สัญลักษณ์ในกระบวนการ contacting process

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. slack wax tank | 2. mixer |
| 3. cooler | 4. contactor |
| 5. settle tank | 6. stripping tank |
| 7. distillation column | 8. solvent tank |

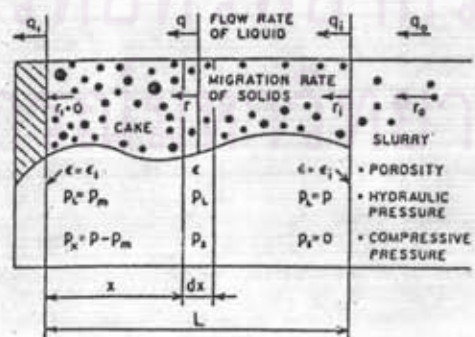
รูปที่ 2.8 กระบวนการ contacting process (24)

2.8 ทฤษฎีการกรอง (25,26)

การแยกของแข็งออกจากของเหลว มีกระบวนการที่ใช้ยู่หลายกระบวนการ กระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งคือ การกรอง การกรองเป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว โดยมีตัวกลางที่มีความพรุนทำหน้าที่กักเก็บอนุภาคของแข็งไว้และปล่อยให้ของเหลวไหลผ่าน โดยสภาวะการกรองขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ชนิดของเครื่องมือ และปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่

1. คุณสมบัติของของไหล ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น
 2. คุณสมบัติโดยธรรมชาติของอนุภาคของแข็ง ได้แก่ ขนาดอนุภาค รูปร่าง และคุณสมบัติการกอดยึด
 3. ความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งในสารแขวนลอย
 4. ปริมาณสารที่ใช้กรอง
 5. ความจำเป็นในการล้างอนุภาคของแข็งที่กรองได้
- นอกจากปัจจัยต่างๆข้างต้นที่มีผลต่อสภาวะการกรองแล้ว ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการกรอง ได้แก่

1. ความดันตกของการป้อนสาร
2. พื้นที่ผิวในการกรอง
3. ความหนืดของสารละลายที่กรองได้
4. ความต้านทานการกรองของเค้ก
5. ความต้านทานของตัวกลางที่ใช้กรองและของเค้กที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.9 กลไกการกรองสาร (26)

การกรองเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของแข็งเกิดการสะสมที่ผิวตัวกลางที่มีความพรุน โดยของเหลวจะไหลผ่านตัวกลางไป การสะสมของอนุภาคของแข็งจะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น ทำให้อัตราการกรองต่ำลงเรื่อย ๆ ขณะเกิดการกรองที่ความดันคงที่ กลไกการกรองแสดงดังรูปที่ 2.9

สมการดิฟเฟอเรนเชียลพื้นฐานสำหรับการกรองแสดงดังนี้

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{dv}{de} = \frac{P - P_1}{\mu \alpha_{av} \omega} \\ &= \frac{P}{(\omega \alpha_{av} + R_m) \mu} \end{aligned} \quad \dots 2.1$$

เมื่อ $P_1 = \mu q_1 R_m$

เมื่อพิจารณากลไกของการกรองภายใน สามารถแสดงสมการดิฟเฟอเรนเชียลพื้นฐานสำหรับการกรองได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{dP}{d\omega_s} &= \frac{1}{\rho_s (1 - \epsilon_x)} \frac{dP}{dx} \\ &= - \mu \alpha_x q_x \end{aligned} \quad \dots 2.2$$

สมการ 2.2 มีสมมติฐานที่ว่าของเหลวจะไหลผ่านชั้นของอนุภาคของแข็งที่อยู่กับที่ ความเร็วของอนุภาคของแข็งมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นกรณีที่ slurry มีความเข้มข้นต่ำๆ แต่ที่ความเข้มข้นสูงความเร็วของอนุภาคของแข็งกลับมีความสำคัญ ดังนั้น q_x ในสมการ 2.2 เท่ากับ u_x ในสมการ 2.3

$$\begin{aligned} u_x &= \frac{q_x}{\epsilon_x} - \frac{r_x}{1 - \epsilon_x} \\ \epsilon_x u_x &= q_x - \epsilon_x r_x \\ &= q_x - e_x r_x \end{aligned} \quad \dots 2.3$$

$$\begin{aligned}
 dP_s &= \frac{1}{\rho_s(1-\epsilon_x)} \cdot \frac{dP}{dx} \\
 &= -\mu \alpha_x (q_x - e_x r_x) \quad \dots 2.4
 \end{aligned}$$

จากสมการ 2.1 และ 2.4 จะได้

$$\begin{aligned}
 \alpha_{av} &= \frac{P-P_1}{\mu q_1 \omega} \\
 &= \left(\frac{q_x - e_x r_x}{q_1} \right) d\left(\frac{w_x}{\omega}\right) \left[\frac{P-P_1}{\int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{dx}} \right] \\
 &= J_{av} \alpha_x
 \end{aligned}$$

2.8.1 การกรองพลวัตหรือการกรองที่ชลอการสะสมของเค้ก (delayed filtration or dynamic filtration) (27,28)

จากทฤษฎีการกรองพบว่า อัตราการกรองจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงขับ (driving force) หรือความดัน และเป็นสัดส่วนผกผันกับความต้านทานการกรองซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานการกรองเนื่องจากเค้กและตัวกลางที่ความดันในการกรองคงที่ เมื่อเกิดการกรอง การสะสมของอนุภาคของแข็งที่ผิวตัวกลางเพิ่มขึ้น เค้กหนาขึ้น ทำให้อัตราการกรองลดลง เมื่อกรองไปช่วงเวลาหนึ่งต้องหยุดและนำเค้กที่สะสมอยู่ออก แล้วจึงทำการกรองต่อ การกรองที่ชลอหรือจำกัดการสะสมของอนุภาคของแข็งให้มีการสะสมน้อยที่สุด คือ เค้กเกิดขึ้นเป็นชั้นบาง ๆ ทำให้การกรองสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่ต้องหยุด มีวิธีการหลายวิธีที่ชลอหรือจำกัดการสะสมของเค้ก เช่น ในการกรองแบบ cross flow ของเหลวจะเคลื่อนที่ในทิศทางขนานกับผิวการกรอง การกรองเกิดในทิศทางตั้งฉากกับการไหล ดังรูปที่ 2.10 ของแข็งที่สะสมที่ผิวการกรองจะหลุดออกจากการกรองโดยแรงเฉือน (shear force) เนื่องจากการไหลของของเหลว ในหลายปีที่ผ่านมามีการกรองแบบ cross flow ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเครื่องแยกแบบหมุน การชลอการสะสมของเค้กหรือการกรองพลวัตแบ่งออกตามลักษณะของเครื่องมือดังนี้

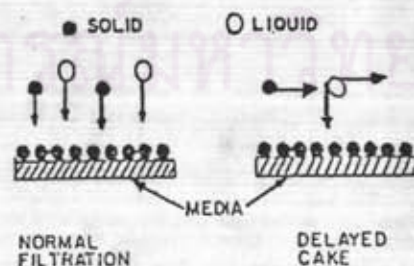
1. Hydraulic tractive method ตัวอย่างของวิธีการนี้ได้แก่ เครื่องกรอง Shriver-type filter ซึ่งเป็นเครื่องกรองที่ปรับปรุงมาจากเครื่องกรองแบบแรงอัด (filter press) โดยเปลี่ยน frames ในเครื่องกรองแบบแรงอัดให้เป็นเพลตเฉพาะ

ดังรูปที่ 2.11 ของผสมจะถูกส่งเข้าไปในเครื่องกรองที่เพลดเฉพาะ ขณะที่การไหลมีทิศทางตั้งฉากกับการกรอง (cross flow) ส่วนของเหลวจะไหลผ่านผ้ากรอง ขณะเดียวกันของผสมจะเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ

2. Vibrating method เครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.12 - เพลดจะเกิดการสั่นในแนวขนานกับผ้ากรองโดยกลไกการสั่นทางกล ระยะห่างระหว่างเพลดที่สั่นกับผ้ากรองมีค่าประมาณ 1.3 มม. รูปแบบเพลดที่ใช้มี 3 แบบได้แก่ flat plate , plate with groove และ plate with protrusion ความเร็วของมอเตอร์จะทำให้ความถี่และช่วงกว้างของการสั่นเปลี่ยนแปลง ศึกษาโดยใช้ของผสมของ Korean kaolin และ water work sludge โดยใช้สภาวะการกรองคงที่ ช่วงกว้างการสั่น 1-5 มิลลิเมตร และความถี่ของการสั่น 6.3-43.4 วินาที⁻¹ โดยการวัดค่าปริมาณสารละลายที่กรองได้และเวลา (θ) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง $d\theta/dv$ กับ v ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตามสมการ

$$\begin{aligned} q &= dv/d\theta = P/\mu\alpha_{sv} w \\ &= P/\mu\alpha_{sv} sv/(1-ms) \quad \dots 2.5 \end{aligned}$$

เมื่อ $w = sv/(1-ms)$



รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของของเหลวและของแข็งในการกรองแบบธรรมดาและแบบพลวัต (27)

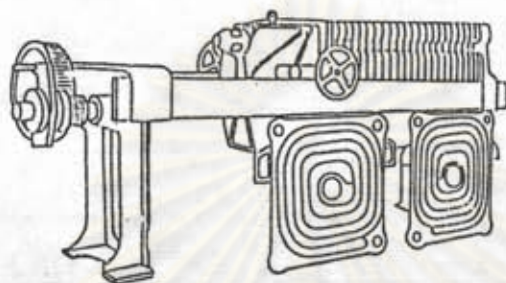
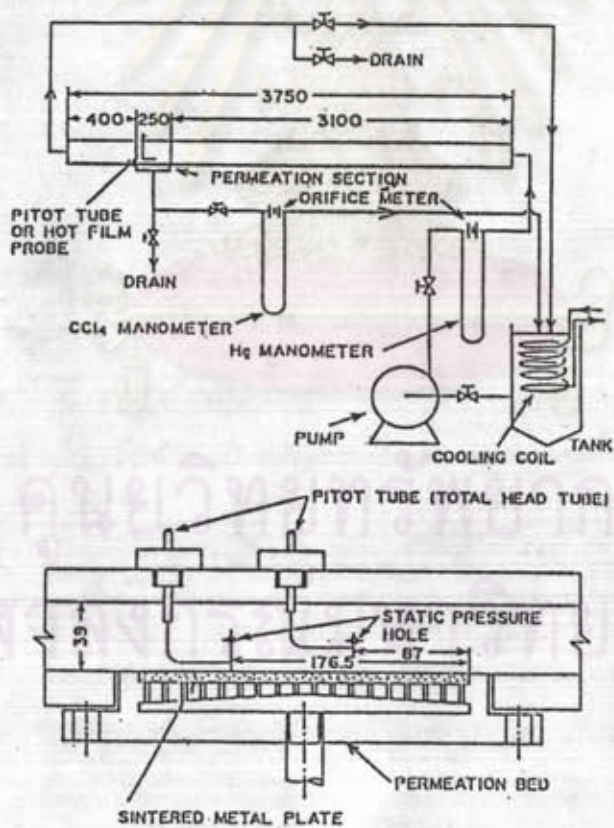
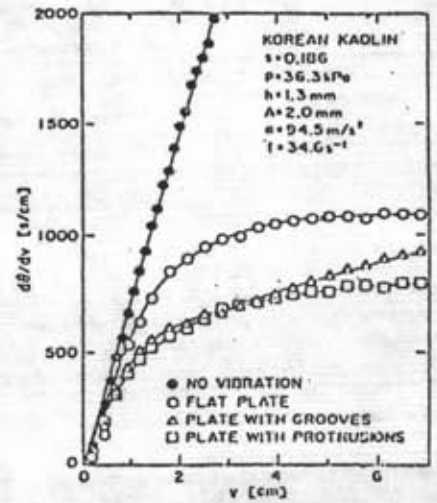
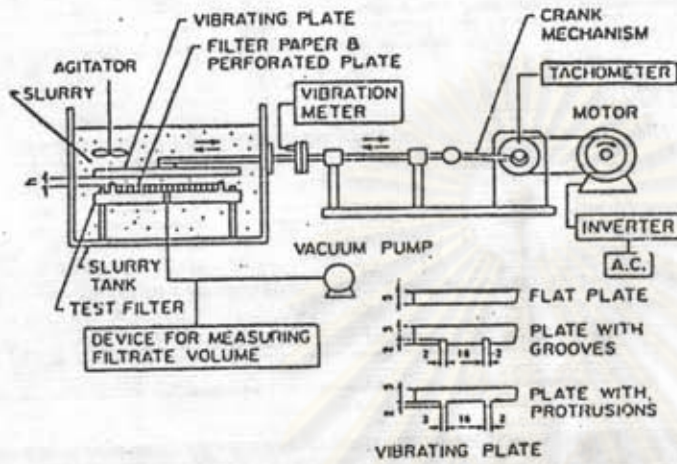


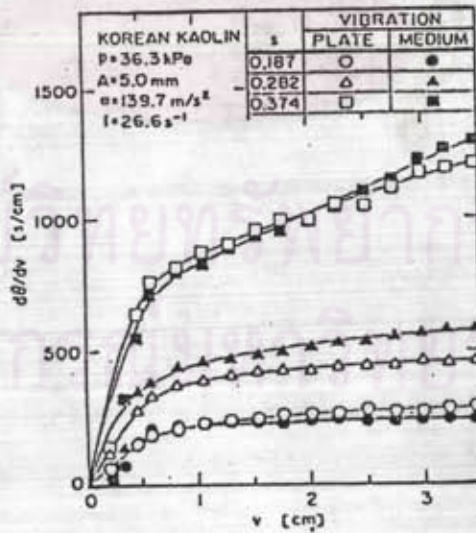
Fig.1 Shriver-type filter thickener



รูปที่ 2.11 เครื่องกรอง Shriver-type (28)

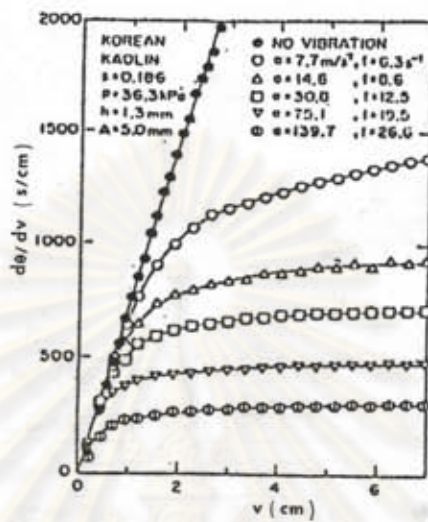


รูปที่ ก

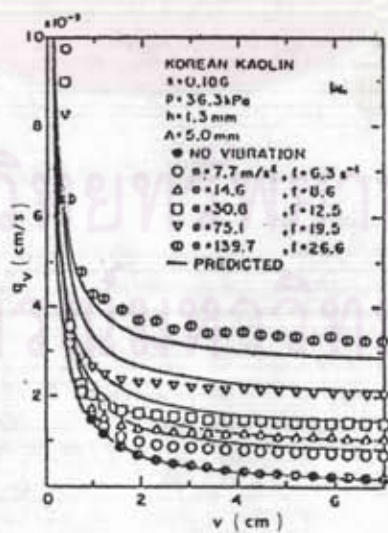


รูปที่ ข

รูปที่ 2.12 เครื่องกรองและผลการทดลองการกรองแบบการสั่น (28)



รูปที่ ค



รูปที่ ง

รูปที่ 2.12 เครื่องกรองและผลการทดลองการกรองแบบการล้น (28)

รูปที่ 2.12 ก แสดงการเปรียบเทียบการกรองแบบมีเพลตสั่น (vibrating plate) ชนิดต่าง ๆ กับแบบไม่มีเพลตสั่น จากผลการทดลองพบว่า การกรองแบบไม่มีเพลตสั่นหรือการกรองแบบธรรมดา ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $d\theta/dv$ กับ v เป็นเส้นตรง ส่วนการกรองแบบมีเพลตสั่น จะมีเส้นโค้งที่มีความชันมากในช่วงแรกและในช่วงหลังเส้นโค้งจะมีความชันน้อยลง

รูปที่ 2.12 ข เป็นการเปรียบเทียบผลของการใช้เพลตสั่นกับตัวกลางสั่น (vibrating medium) จากผลการทดลองพบว่า การใช้เพลตชนิดเดียวกันจะให้ผลใกล้เคียงกัน ซึ่งแบบตัวกลางสั่นใช้ในการออกแบบเครื่องกรองแบบ filter-leaf

รูปที่ 2.12 ค จากผลการทดลอง แสดงผลของความเร่งที่มีต่ออัตราการกรองสำหรับ plate with protrusions ขณะที่ความเร่งเพิ่มขึ้น ค่าของ $d\theta/dv$ จะลดลงเมื่อปริมาณ v เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า $d\theta/dv$ คือส่วนกลับอัตราการกรอง ดังนั้นขณะที่ความเร่งเพิ่มขึ้น อัตราการกรองเพิ่มขึ้น

รูปที่ 2.12 ง แสดงผลอัตราการกรองจากการทดลองเทียบกับสมการกรองสำหรับการสั่น ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} q_v &= (dv/d\theta)_v \\ &= P / (\mu \alpha_{av} \cdot v \cdot w_{o.v}) \end{aligned} \quad \dots 2.6$$

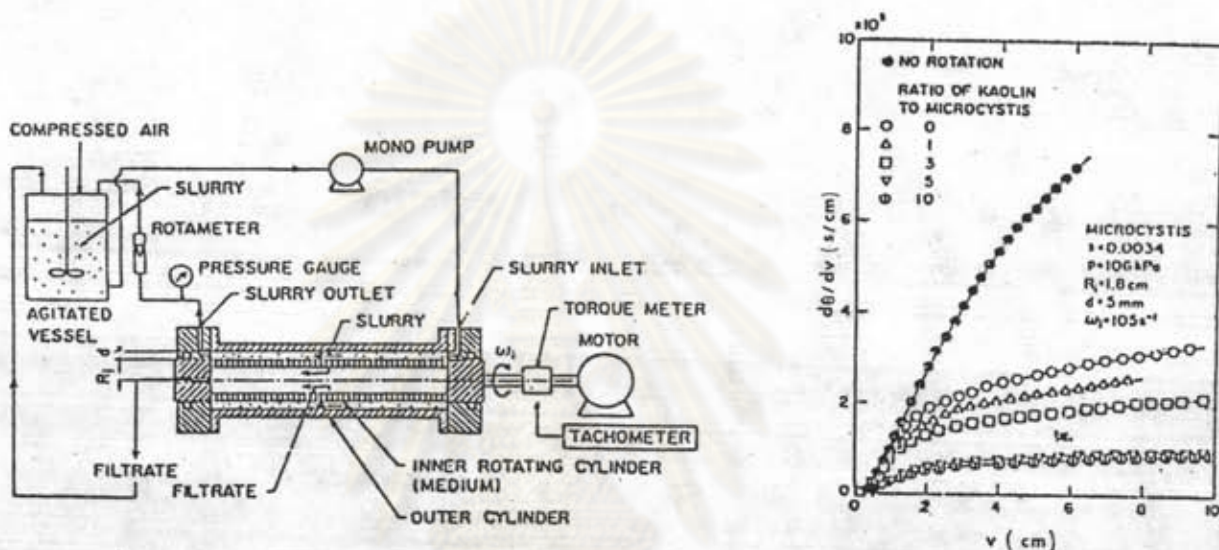
สมการการกรองสำหรับการสั่น คือ

$$q_v = \frac{(1-ms)}{\mu \alpha_{av} \rho S} \cdot \frac{1+2\pi \lambda a f v}{v} \quad \dots 2.10$$

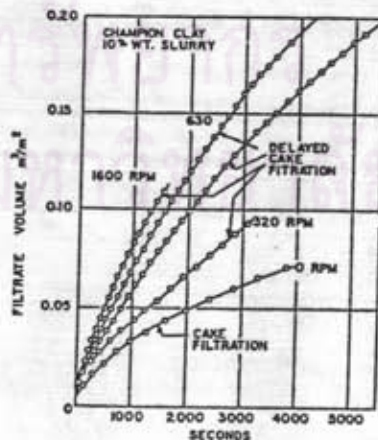
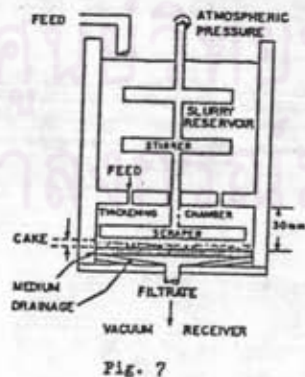
3. Rotating cylinder ตัวกรองประกอบด้วย ท่อทรงกระบอก 2 อันซ้อนกัน วางตามแนวขวาง มีระยะห่างระหว่างท่อ 5 มิลลิเมตร ท่อทรงกระบอกชั้นในซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการหมุนมีรัศมีภายนอก 1.8 เซนติเมตร สเลอรี่จะถูกบีบจากถังกวนเข้าเครื่องกรอง ดังรูปที่ 2.13 การทดลองใช้ microcystis ซึ่งมีความต้านทานการกรองสูง ผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการทดลองจะให้อัตราการกรองเพิ่มขึ้นอย่างมากและอัตราการกรองจะมากยิ่งขึ้นเมื่อเติม Korean kaolin ซึ่งเป็นสารช่วยกรอง (filter aids) ใน microcystis

4. Rotating filter press Tiller และ Cheng (27) ศึกษาการชลอการสะสมของเค้กโดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 3.6 โดยศึกษาอัตราการกรองที่ความเร็วใบกวน 320-

1600 รอบต่อนาที ใช้ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของ Champion clay ซึ่งสมการการกรองได้ปรับปรุงจากสมการที่ 2.1 โดยใช้สมมติฐานที่ว่า อัตราการกรองจะต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของ slurry เพิ่มขึ้น ดังนั้นสมการการกรองที่ 2.1 จึงเพิ่มเทอมความต้านทานเนื่อง



รูปที่ 2.13 เครื่องกรองแบบ Rotating cylinder (28)



รูปที่ 2.14 เครื่องกรอง Rotating filter press และผลการทดลอง (27)



จากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเป็นดังนี้

$$q = \frac{dv}{d\theta}$$

$$= \frac{P}{\mu(\alpha_{av}\omega + R_m + R_s)} \quad \dots 2.11$$

โดย $R_m = K_m(1-\eta)/(\eta-\eta_s)$... 2.12

$$q = \frac{dv}{d\theta}$$

$$= \frac{P}{\mu(\alpha_{av}\omega + R_m + K_s(1-\eta)/(\eta-\eta_s))} \quad \dots 2.13$$

เมื่อ $w = \rho_m(1-\epsilon_{av})L$

$$= cv \quad \dots 2.14$$

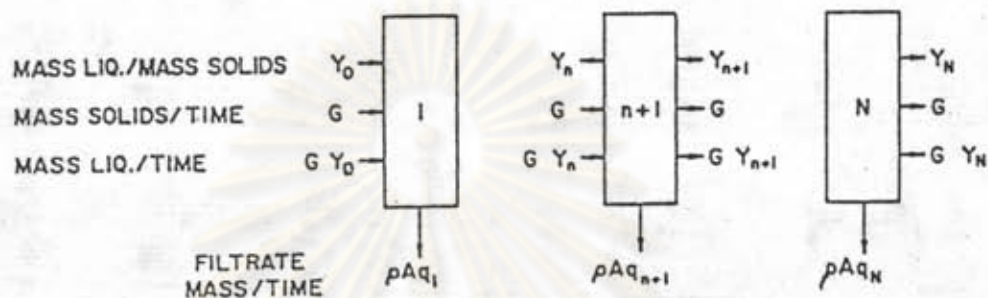
และ $c = \rho_m(1-s/s_s)$... 2.15

เพราะฉะนั้นที่ความเร็วใบกวนต่ำ ๆ ค่า $R_m = c$
 อินทิเกรตสมการ 2.13, 2.14, 2.15

$$pt = \mu\alpha_{av}cv^2 + \mu R_m v \quad \dots 2.16$$

2.8.2 สมดุลมวลสารการกรอง (material balance) (29)

จากสมมติฐานที่ว่า ถ้าอัตราการกรองมีค่าคงที่ในแต่ละขั้นตอน (stage) และเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นเพียงอย่างเดียวโดยตัวแปรอื่นๆคงที่ เช่น ความดันตก ความหนืด ความหนาของเค้ก และความต้านทานของตัวกลาง สามารถทำสมดุลมวลสารที่ขึ้นต่างๆของเครื่องกรองที่เป็นเพลตคงที่และมีใบกวนเป็นตัวขลอการสะสมเค้กได้ดังนี้



รูปที่ 2.15 สมดุลมวลสารของการกรอง (29)

สมดุลมวลสารที่ชั้นที่ $n+1$

$$G y_n = G y_{n+1} + A q_{n+1} \rho \quad \dots 2.17$$

$$y_n = y_{n+1} + \rho q_{n+1} / (G/A)$$

สมดุลมวลสารรวมทั้งหมดจากชั้นที่ 1 ถึง N

$$y_0 = y_N + \rho Q / (G/A) \quad \dots 2.18$$

$$y_0 - y_N = \rho Q / (G/A)$$

2.9 งานวิจัยในอดีต

- Baghenov และ Donchenks (30) ได้ศึกษาการขจัดน้ำมันจาก slack wax ที่มีน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยใช้กระบวนการ spray deoiling อุณหภูมิของการแยกผลึกไซที่ 40°F ใช้อะซิโตนและโทลูอินเป็นตัวทำละลายพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนไซต่อตัวทำละลาย 1:5 และ 1:9 จะได้ปริมาณน้ำมันในไซลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 2 และ 0.5 โดยน้ำหนัก

- Helion, Hugue และ Rouit (31) ได้ศึกษาการขจัดน้ำมันจาก slack wax ที่มีน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 17 โดยน้ำหนักในกระบวนการสกัดแบบ counter current contactor โดยใช้อัตราส่วนไซต่อตัวทำละลายไดคลอโรอีเทน 1:4 โดยปริมาตร และล้างด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนไซต่อตัวทำละลาย 1:4 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการแยกผลึกไซ 40°F พบว่าปริมาณน้ำมันลดลงเหลือร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก จะได้ปริมาณไซร้อยละ 67 โดยน้ำหนัก

- Cumar, Balakrishnan และ Gulati (32) ได้ศึกษาการขจัดน้ำมันจาก slack wax ที่มีน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ในกระบวนการ sweating มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไซ 1°C ที่อุณหภูมิ $40-65^{\circ}\text{C}$ พบว่าได้ไซที่มีน้ำมันปนอยู่ต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และกระบวนการนี้เหมาะสำหรับโรงงานต้นแบบ

- Sokola, Leonidov, Perenerzev และ Martirosov (33) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบตัวทำละลายที่ใช้ในการขจัดน้ำมันจาก slack wax ซึ่งมีน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ระหว่าง MEK-Toluene กับ MEK-MIBK อัตราส่วน MEK ต่อ Toluene และ MEK ต่อ MIBK เท่ากับ 1:1 เท่ากัน พบว่าตัวทำละลายผสมของ MEK-MIBK จะให้อัตราการกรองที่ดีกว่า ปริมาณน้ำมันในไซลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 12 โดยน้ำหนักและได้ปริมาณไซร้อยละ 70.5 โดยน้ำหนัก ขณะที่ MEK-Toluene ได้ปริมาณไซร้อยละ 61.5 โดยน้ำหนัก

- อภิชัย ศิริทัศนกุล (34) ได้ศึกษาการตกผลึกไซพาราฟินในน้ำมันดิสทิลเลทจากโรงกลั่นฝางในเครื่องตกผลึกแบบจานเหล็กหมุนแบบต่อเนื่อง โดยใช้อัตราส่วนตัวทำละลายผสมของ MEK กับ โทลูอิน (1:1) ต่อน้ำมันเท่ากับ 5:1 ความเร็วรอบของจานเหล็ก 0.5 รอบต่อนาที อุณหภูมิสารละลายน้ำมัน 30°C พบว่าสามารถลดจุดไหลของน้ำมันจาก 35.0°C เป็น 31.6°C เมื่อสารละลายน้ำมันไหลผ่านเครื่องตกผลึกครั้งเดียวและเมื่อผ่าน 10 ครั้งจะลดลงเป็น 25.5°C

- สรวงสุตา ลิปิมงคล (35) ได้ทำการศึกษาการสกัดแยกสารไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ภายในถังผสม โดยใช้เวลาของการกวนสารผสม 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง ความดัน 80 บาร์ พบว่า ปริมาณไซลดลงจากร้อยละ 20.6 เป็น 8.7 และในการสกัดสาร 5 ครั้งปริมาณไซลดลงจากร้อยละ 20.6 เป็น 3.1