

การจำลองการสกัดน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันและเมล็ดสบู่ดำเพื่อผลิตไบโอดีเซล

Simulation of Oil Extraction from Sunflower and Jatropha Curcas Seeds for Biodiesel Production

คำนำ

เนื่องด้วยความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง ในขณะที่แหล่งเชื้อเพลิงกลับไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นมา ชดเชย ไบโอดีเซลคือแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล สามารถผลิตขึ้นได้จากกระบวนการเคมี ระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับสารหมู่แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลลัพธ์สุดท้ายได้เป็นสารเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด เช่น น้ำมันจากเมล็ดเรปซิด (Rape seed) เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดปาล์ม หรือเมล็ดคาโนลา (Canola) เป็นต้น สารตั้งต้นแต่ละชนิดจะทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันตามปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวของสารตั้งต้นนั้นๆ

ในการผลิตไบโอดีเซล นั้น มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกเบสแก่ หรืออาจเป็นเอนไซม์ซึ่งเป็นงานวิจัยที่กำลังศึกษากันอย่างกว้างขวางอยู่ และแอลกอฮอล์เช่นเมทานอลเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล จากนั้นจะเข้าเครื่องแยกเพื่อแยกผลผลิตจากปฏิกิริยาโดยไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ ขึ้นตอนต่อมาแยกเอาเมทานอลออก จากนั้นเข้าสู่ปฏิกิริยาทำให้เป็นกลางซึ่งจะได้ไบโอดีเซลที่นำไปใช้งานจริง ส่วนผลผลิตอีกอย่างคือกลีเซอรอลจะมีการนำกรดเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อแยกกรดไขมันอิสระออก และแยกเอาเมทานอลออกจากกลีเซอรอลดิบ สำหรับเมทานอลที่แยกออกมาได้จะทำการเก็บในถังและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Boehman, 2005)

น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันจากเมล็ดเรปซิด เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดปาล์ม หรือเมล็ดคาโนลา เป็นต้น สารตั้งต้นแต่ละชนิดจะทำให้ได้คุณภาพของไบโอดีเซลที่แตกต่างกันตามปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่สารตั้งต้น น้ำมันทุก

ชนิดมีปัญหาความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 20 เท่าจึงไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง เพราะ ก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ และน้ำมันพืชมีราคาแพง

น้ำมันดอกทานตะวันโดยธรรมชาติจะมีความใสและมีองค์ประกอบของวิตามินอีมากกว่า น้ำมันพืชชนิดอื่น องค์ประกอบหลักคือกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งจำพวกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเดี่ยว และสายโซ่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวนั้นจะมีน้อย กรดไขมันหลักได้แก่ กรดปาล์ม เมตริก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดลิโอเลอิก โดยน้ำมันดอกทานตะวันในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ น้ำมันนุชนหรือที่ใช้กันทั่วไป ชนิดกรดโอเลอิกสูง และสุดท้ายคือชนิดกรดไลโอเลอิกสูง

การสกัดน้ำมันดอกทานตะวันจากเมล็ดสามารถทำได้หลายแบบ เช่น การสกัดแบบแยกของแข็ง-ของเหลว การสกัดแบบแยกของเหลว-ของแข็ง การสกัดแบบใช้สารเหนือจุดวิกฤติ หรือวิธีซอกเล็ต (Soxhlet)

นอกจากนี้ยังมีการนำเมล็ดสบู่ดำมาผลิตไบโอดีเซล ซึ่งถือเป็นพืชชนิดใหม่ที่ได้นำมาสกัดเอาน้ำมันมาผลิต เนื่องจากปลูกได้ง่าย และขึ้นได้ในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งองค์ประกอบหลักมีสภาพเหมือนน้ำมันดอกทานตะวัน คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่จะมีปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่าน้ำมันทานตะวัน นอกจากนี้ยังใช้บำรุงรากผม ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก มากกว่าปุ๋ยหมักและมูลสัตว์หลายชนิด (Gubitz et al, 1998)

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมักเลือกใช้เฮกเซนเป็นตัวสกัดไขมันออกจาก เมล็ด น้ำมันพืชไขไก่ และน้ำมัน สำหรับการสกัดแบบแยกของแข็ง-ของเหลว และการสกัดแบบแยกของเหลว-ของเหลว จะเป็นกระบวนการแยกสารซึ่งอาศัยประโยชน์จากสภาพการละลายได้ของตัวถูกละลายในสารทำละลาย กระบวนการแยกจะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบหลักในสารตั้งต้นมีสภาพการละลายที่แตกต่างกันในชั้นของตัวทำละลายที่ใช้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ตัวทำละลายประเภทอื่นได้ด้วย เช่น เอทานอล โพรพานอล เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ ปริมาณน้ำมันพืชที่ได้จากการสกัดยังมีค่าที่ต่ำอยู่ การเพิ่มปริมาณของน้ำมันสกัดจากเมล็ดพืช อาจทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงสถานะการดำเนินการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลของสารป้อนเข้า งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัด โดยใช้การจำลองการสกัดในโปรแกรมสำเร็จรูป ASPEN เป็นเครื่องมือเพื่อคำนวณหาสถานะที่ดีที่สุดในการสกัดและให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดได้

วัตถุประสงค์

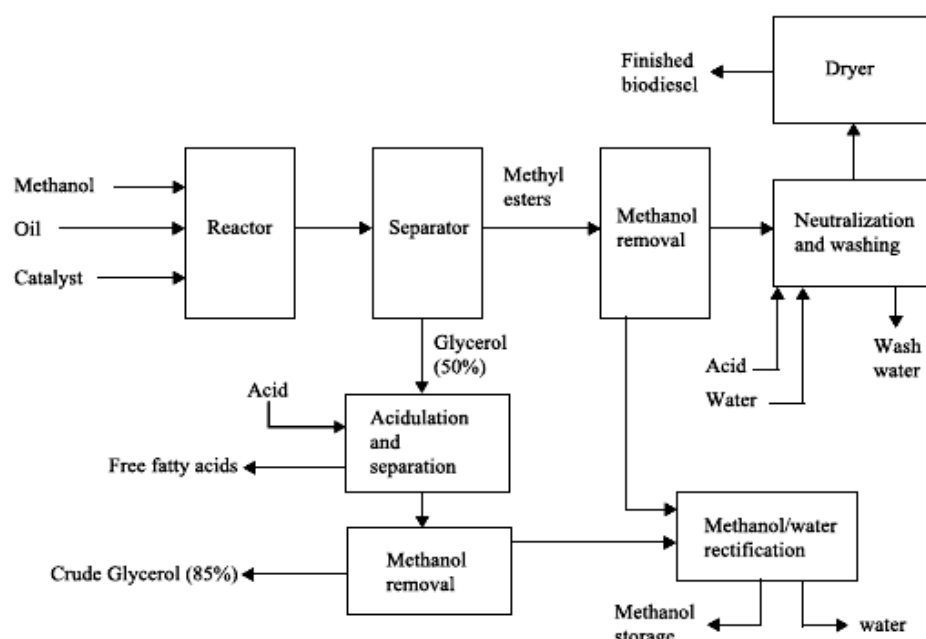
1. เพื่อหาผลได้จากการสกัดและประสิทธิภาพการสกัดเมล็ดน้ำมันทานตะวันและสบู่ดำ โดยการจำลองเครื่องสกัดด้วยโปรแกรม ASPEN SIMULATION
2. ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่มีต่อการสกัด
3. ศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางการสกัด

ขอบเขตการศึกษา

1. เลือกโปรแกรมสำเร็จรูป ASPEN ในการวิจัย
2. น้ำมันที่ใช้ในการวิจัยมุ่งเน้นที่น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
3. หาค่าเหมาะสมของคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการสกัดเปรียบเทียบกับทุนในการดำเนินการ โดยสถานะที่เหมาะสมได้มาจากทั้งด้านเทคนิคและเส้นทางเศรษฐกิจ

การตรวจเอกสาร

การผลิตไบโอดีเซลทำได้หลายแบบ แต่วิธีการที่นิยมกันมากคือ การใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังภาพที่ 1 ซึ่งมีวัตถุดิบ 3 ชนิดเข้าสู่ระบบ ได้แก่ เมทานอล น้ำมันพืช และตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเมื่อทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้จะเข้าสู่เครื่องแยก เพื่อทำการแยกกลีเซอรอลออกจากเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ขั้นตอนต่อไปแยกเอาเมทานอลออก ทำการปรับสภาพด้วยกรดและน้ำ เข้าสู่เครื่องอบแห้ง (Dryer) เพื่อให้ไบโอดีเซลออกมา ส่วนกลีเซอรอลจะนำไปเติมกรดเพื่อนำกรดไขมันอิสระออก จากนั้นแยกเมทานอลออก กลีเซอรอลที่ได้จะใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น เครื่องสำอาง เป็นต้น เมทานอลที่สามารถแยกออกมาได้ทั้งสองสายจะนำมาปรับสภาพ จากนั้นจะส่งไปยังถังพักและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ที่มา: Boehmen (2005)

น้ำมันพืชที่นำมาผลิตไบโอดีเซลได้มาจาก พืชที่ให้เชื้อเพลิง (Energy Plant) เช่น เมล็ดเรปซิด เมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ได้มีการปรับปรุงให้เป็นแหล่งของเชื้อเพลิงที่มีความสมบูรณ์ มีวิธีการ 2 แบบในการปรับปรุงน้ำมันพืชคือ ปรับปรุงเครื่องยนต์ให้เข้ากับเชื้อเพลิง และปรับปรุงเชื้อเพลิงให้เข้ากับเครื่องยนต์

วิธีการแรกสามารถทำได้โดยการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีความพิเศษมากขึ้นเช่น เครื่องยนต์ที่ได้พัฒนามาเป็นพิเศษชื่อเครื่องยนต์ Elsbett รูปแบบนี้เข้าใจได้ง่ายๆ ว่าใช้น้ำมันพืชที่ใช้นั้นจะใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำได้ยาก ดังนั้นราคาของเครื่องยนต์ดังกล่าวจึงค่อนข้างสูง เนื่องจากผลิตมาเป็นจำนวนน้อย ดังนั้นสำหรับประเทศที่กำลังมีการพัฒนา รูปแบบที่สองจึงสามารถนำมาใช้ได้มากกว่า ผลผลิตของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืช และผลผลิตดีเซลได้ถูกทดสอบและมีการทดลองในประเทศทางยุโรป เช่น ออสเตรีย ฝรั่งเศส และอิตาลี ซึ่งประเทศเหล่านี้ได้สร้างเทคโนโลยีแบบง่ายๆ เพื่อให้ใช้ได้ในประเทศที่กำลังพัฒนาได้ (Foidl et al, 1996)

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเมล็ดน้ำมันพืช

1. เมล็ดน้ำมันดอกทานตะวัน

ทานตะวันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* ซึ่งอยู่ในวงศ์ compositae มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ เมื่อโตเต็มวัยแล้วจะเป็นดอกไม้สีเหลือง ดอกใหญ่กว่าดอกกรักรเ นิยมปลูกเป็นแปลง เป็นพืชที่โตเร็ว เมื่อออกดอกแล้วจะหันไปทางทิศตะวันออก ส่วนที่อยู่ในกลางดอกจะเป็นเมล็ดซึ่งนำมาสกัดเป็นน้ำมันได้ (Gunstone, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ดอกทานตะวัน

ที่มา: พันธุ์ไม้ประดับ (2549)

ทานตะวันลักษณะของลำต้นจะตรง สูงประมาณ 3-4 ฟุต แต่ถ้าปลูกในดินที่มีอากาศเย็นอาจสูงได้ถึง 6 ฟุต ใบจะออกสลับกัน ลักษณะของใบกลมรีกว้างประมาณ 4-8 นิ้ว ยาว 1 ฟุต ขอบใบเป็นรอยจักฟันเลื่อย ปลายใบแหลม ดอกมีขนาดใหญ่ ดอกบานเต็มที่โตประมาณ 5-10 นิ้ว มีสี

เหลืองสด ตรงกลางดอกมีเกสรเป็นวงเกือบเท่าตัวดอก กลีบดอกบานแผ่เป็นวงกลมทำให้เกสรดอกเด่นชัดขึ้น (พันธุ์ไม้ประดับ, 2549)

เมล็ดดอกทานตะวันเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ โดยให้ค่าความหนืดที่ไม่สูงมากเกินไปต่อการเครื่องยนต์ และสามารถปลูกขึ้นได้ง่าย คุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันแสดงในตารางที่ 1 (Guinda, 2003)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเมล็ดดอกทานตะวัน

chemical composition (seed) %	
Moisture	5.0-7.0
Fat	22-40
Protein	22-33
chemical and physical characteristics (oil)	
Iodine Value	120-142
Acid Value	3
Saponification Value	188-194
Specific gravity (25/25°C)	0.915-0.920
Refractive index (25°C)	1.471-1.475
Colour (Livibond)	20Y:2R
Fatty acid compositions (%methyl ester)	
Palmitic acid	6.09
Stearic acid	3.13
Total saturated fatty acid	9.22
Oleic acid	90.57
Liolic acid	60.21
Total unsaturated fatty acid	90.78

ที่มา: Guinda (2003)

2. เมล็ดน้ำมันสบู่ดำ

สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง น้ำมันที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำ ใช้เป็นสมุนไพรรักษาโรค เนื่องจากมีสารพิษไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic) มีกลิ่นเหม็นเขียว สบู่ดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha Curcas* Linn อยู่ในวงศ์ไม้ยูโฟรไบอะเซีย (Euphorbiaceae) เช่นเดียวกับสบู่แดง ปัตตาเวีย ฝิ่นต้นหรือมะละกอฝรั่ง หนุมานนั่งแท่น โป๊ยเซียน มันสำปะหลัง มะยม มะขามป้อม ผักหวานบ้าน ฯลฯ ซึ่งมีความหลากหลายกันค่อนข้างมากในลักษณะต้น ใบ ช่อดอก ผล และเมล็ด สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกาใต้ ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยาเพื่อรับซื้อเมล็ดไปคัดบีบเอาน้ำมันสำหรับทำสบู่ (พัฒนา, 2531)

สบู่ดำ เป็นชื่อเรียกในภาคกลาง ภาคเหนือเรียกว่า มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า มะเยา หรือ สีหลอด ภาคใต้เรียก มะหงเทศ เมล็ดสบู่ดำมีสารพิษเรียกว่า CURCIN หากบริโภคแล้ว (พัฒนา, 2531)



ภาพที่ 3 ลักษณะผลเมล็ดสบู่ดำ

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2549)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง สูงประมาณ 2-7 เมตร ลำต้นมีลักษณะเกลี้ยงเกลา ใบเรียบมี 4 แฉก คล้ายใบละหุ่ง แต่มีหยักตื้นกว่าใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีขนาดเท่าฝ่ามือ ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด มีสารไฮโดรไซยานิกสังเกตได้เมื่อหักลำต้น ส่วนยอดหรือส่วนก้านใบจะมียางสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมันไหลออกมา มีกลิ่นเหม็นเขียว ต้นสบู่ดำออกดอกเป็นช่อกระจุกที่ข้อส่วนปลายของยอด ขนาดดอกเล็กสีเหลืองมีกลิ่นหอมอ่อนๆ รูปผลมีลักษณะทรงกลมขนาดปานกลาง เปลือกหนาปานกลาง มีปลูกลูกทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ ผลหนึ่ง

ส่วนมากมี 3 พู เมล็ดสีดำขนาดเล็กกว่าเมล็ดละหุ่ง น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 69.8 กรัม เมื่อแกะเปลือกนอกสีดำออกจะเห็นเนื้อในสีขาว (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

สำหรับการนำสบู่ดำมาผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้ (Pramanik, 2003) โดยการนำมาสกัดก่อนจากนั้นเข้าสู่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน คุณสมบัติของเมล็ดสบู่ดำแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเมล็ดสบู่ดำ

chemical composition (seed) %	
Moisture	4.7
Ash	4.7
Fibres	4.3
Protein	22.2-24.5
Oil	52.9
chemical and physical characteristics (oil)	
Iodine number	95.2
Saponification number (mg/g)	192.4
Viscosity at 30 ^o C (cSt)	38.8
Free fatty acids (%weight)	0.29-0.40
Unsaponifiable (%weight)	1.08
Fatty acid compositions (%methyl ester)	
Palmitic acid	15.1
Stearic acid	7.1
Total saturated fatty acid	22.2
Oleic acid	44.7
Liolic acid	31.4
Total unsaturated fatty acid	76.1

ที่มา: Foidl et al. (1996)

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับตัวทำละลายในการสกัด

สำหรับการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม สำหรับการละลายของสารต่างๆ ซึ่งทำให้แยกออกมาเป็นสองชั้น ซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน ในอัตราส่วนที่ไม่เท่ากัน คือ สารที่มีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันย่อมละลายได้ดีในตัวทำละลายที่หมู่เหมือนกัน สำหรับการสกัดสารอินทรีย์นั้น ย่อมมีคุณสมบัติที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำ และน้ำจะละลายเกลือของกรดอินทรีย์และกรดของด่างอินทรีย์ได้ นอกจากนี้ตัวทำละลายจะต้องเป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำเพื่อที่จะง่ายต่อการกำจัดออกไป

เนื่องจากกรดอินทรีย์ย่อมละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ และจะสามารถสกัดไปอยู่ในชั้นน้ำได้ ถ้ามันถูกทำให้เป็นเกลือโดยเบส (NaOH , NaHCO_3 หรือ NaCO_3) และถ้าทำให้เกลือเหล่านี้นั้นกลับมาเป็นกรดอินทรีย์อย่างเดิมโดยทำให้เป็นกลางด้วยกรด (HCl , H_2SO_4 เป็นต้น) กรดอินทรีย์ก็จะถูกสกัดกลับด้วยกรดอินทรีย์ได้ สำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นเบสเช่น สารประกอบเอมีน (RNH_2) ย่อมละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เช่นเดียวกัน ถ้าสกัดด้วยกรด HCl จะเกิดเป็นเกลือกับสารอินทรีย์เป็นด่างและอยู่ในชั้นน้ำได้ และถ้านำเกลือนั้นมาทำให้เป็นกลางด้วยเบส (NaOH หรือ NaCO_3 เป็นต้น) เกลือจากเบสอินทรีย์จะอยู่ในรูปของเบสอินทรีย์อิสระ และสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ได้อย่างเดิม (สุภาภรณ์และคณะ, 2540)

ในรูปแบบทั่วไปของกระบวนการสกัดโดยตัวทำละลายสามารถเขียนออกมาเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้ (Wan and Wakelyn, 1997)

1. อนุภาคของวัสดุ Oleaginous จะอยู่ในส่วนของตัวทำละลาย
2. ตัวทำละลายจะเข้าไปภายในส่วนโครงสร้างของอนุภาค
3. ตัวทำละลายจะเข้าอยู่ใกล้กับตัวถูกละลายและน้ำมัน เรียกสารตัวนี้ว่า มิเซลล์
4. มิเซลล์หรือสารที่มีน้ำมันมากจะหลุดออกจากอนุภาคและแยกออกเป็นตัวทำละลายได้
5. กระบวนการจะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งน้ำมันและตัวถูกละลายจะเข้าสู่สมดุลทั้งในอนุภาคและมิเซลล์รอบๆ อนุภาค

จากการนำอนุภาคออกจากมิเซลล์รอบๆ และทำการระเหยตัวทำละลายออกจากอนุภาค ปริมาณของน้ำมันที่เหลืออกมาจะนำมาคำนวณ ค่าที่ยอมรับได้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การหาปริมาณตัวทำละลายต่ำสุดที่สามารถใช้ทำการสกัดได้ ทำได้โดยต้องทราบค่าน้ำหนักโดยมวลของอนุภาค ปริมาณเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรน้ำมันเริ่มต้นในอนุภาค ผลเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของตัวทำละลายในอนุภาค และปริมาณน้ำมันที่เหลืออกมา ที่มีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรที่ถูก Desire ยกตัวอย่างการคำนวณ เช่น สำหรับอนุภาคถั่วเหลืองขนาด 1 กรัม มีน้ำมันอยู่ 18 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีตัวทำละลาย retained อยู่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตัวทำละลายบริสุทธิ์น้อยที่สุดที่ 8 กรัมต้องการใช้เพื่อลดค่าน้ำมันที่เหลืให้ได้ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีเซลล์ที่ังอยู่หลังจากนำเอาอนุภาคถั่วเหลืองสกัดแล้วออกมีค่าน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต้องมีการใช้ thermal energy สำหรับแยกเอาตัวทำละลาย 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรออกจากอนุภาคที่ทำการสกัด และ 97 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรออกจากน้ำมันที่ทำการสกัดแล้ว (Wan and Wakelyn, 1997)

การเลือกตัวทำละลายนอกจากขึ้นกับชนิดของไขมันที่ต้องการสกัดแล้ว ยังขึ้นกับความสะดวกในการใช้งานและความปลอดภัยในการทำงานอีกด้วย ในอดีต ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมักเป็นเอทานอล ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ สารที่มีหมู่ซัลเฟอร์ประกอบอยู่ รวมถึงน้ำบริสุทธิ์ ปัจจุบันได้นำเฮกเซนมาใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันพืชอย่างกว้างขวางเนื่องจากให้ผลค่อนข้างดี และสามารถหาได้ง่าย คุณสมบัติของเฮกเซนแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเฮกเซนมีจุดเดือดอยู่ที่ 66-69 องศาเซลเซียส (Mamidipally and Liu Sean, 2004)

นอกจากนั้นยังมีการใช้ตัวทำละลายเอทานอล และเมทานอลในการสกัด ซึ่งแสดงคุณสมบัติของตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเฮกเซน

Property at 298 K	
Molecular weight (kg/kg mol)	86.17
Specific gravity	0.65
Viscosity (Pa.s)	0.00032
Boiling point (K)	341.886
Latent heat of vaporization (kJ/kg)	334.302
Specific heat (kJ/kg.K)	2.230
Solubility in water (kg/m ³)	0.05

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเฮกเซน (ต่อ)

Property at 298 K	
Dielectric constant	1.89
Flash point (K)	250.150
Surface tension (N/m)	0.018
Renewable	NO
Toxic	YES

ที่มา: Mamidipally and Liu Sean (2004)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของเอทานอล

Properties ที่ 298 K	
Molecular weight (kg/kg mol)	46.0414
Appearance	clear, colorless
Specific gravity at 20°C	0.790
Viscosity (cP)	1.200
Boiling point (K)	352.15
Solubility in water (kg/m ³)	miscible
Flash point (K)	286
Freezing/Melting Point (K)	159.05
Vapor Pressure (mm.Hg)	59.3
Renewable	NO
Toxic	NO

ที่มา: MSDS (2005)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของเมทานอล

Properties ที่ 298 K	
Molecular weight (kg/kg mol)	32.04
Appearance	clear, colorless
Specific gravity at 20°C	0.791
Viscosity (cP)	0.55
Boiling point (K)	337.84
Solubility in water (kg/m ³)	miscible
Flash point (K)	284.15
Freezing/Melting Point (K)	175.15
Vapor Pressure (mm.Hg)	97.7
Renewable	NO
Toxic	NO

ที่มา: MSDS (2005)

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัด

หลายปีมาแล้ว มนุษย์ได้ค้นพบว่าไขมันและน้ำมันสามารถสกัดได้มาจากถั่วและเมล็ดพืช โดยการให้ความร้อน ตัวทำละลาย หรือใช้ความดัน แต่การให้ความร้อนไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันพืชเนื่องจากมันจะไปลดคุณภาพของน้ำมันที่มีตามธรรมชาติ

ต่อมามีการใช้ความดันมาสกัดแยกไขมันออกจากอนุภาคของแข็งโดยการบีบน้ำมันออกจากเนื้อที่ถูกบดของเมล็ดน้ำมันพืช สามารถทำได้โดยง่าย คือการใช้ถุงผ้าซึ่งบรรจุเมล็ดพืชและแขวนถุงไว้ จนน้ำมันไหลออกมาจากการบีบ น้ำมันที่ออกมาชิ้นเรียกว่า Free run oil น้ำมันที่เหลือจะแยกออกได้โดยการอัดทับถุง วิธีง่าย ๆ ในการให้ความดันคือใช้มือและเท้า หรือการใช้หินทุบน้ำมันออก (Street, 1994)

1. ทฤษฎีการสกัดในงานวิศวกรรมเคมี

การสกัดของเหลวเป็นทางเลือกในการแยกของเหลว 2 ชนิดออกจากกัน จะใช้ในกรณีที่การกลั่นทำงานไม่ได้ผลหรือทำได้ยาก เช่น ของผสมมีจุดเดือดใกล้เคียงกันมาก หรือไม่สามารถทนความร้อนได้แม้กลั่นภายใต้ระบบสุญญากาศ เช่น การสกัดแยกผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันแต่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันมาก น้ำมันหล่อลื่น ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำและมีขั้ว อย่างฟีนอล (Phenol) เฟอฟูรัล (Furfural) หรือ เมทิลพีโรลิโดน (Methyl Pyrolidone) เพื่อทำการสกัดแยกสารอะโรมาติก (Aromatics) เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารอะโรมาติกมีความหนืดต่ำ คุณสมบัติข้อนี้ทำให้ลดทอนคุณค่าของน้ำมันเชื้อเพลิงลง แต่ไม่สามารถกลั่นแยกได้เพราะมีจุดเดือดอยู่ในช่วงเดียวกัน (Perry and Green, 1997)

เมื่อเปรียบเทียบการกลั่นและการสกัด โดยมากมักเลือกใช้การกลั่นเพราะการสกัดเป็นปฏิบัติการที่ย่างยากซับซ้อนกว่า และมักมีต้นทุนที่สูงกว่าการกลั่นทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามการสกัดมีความยืดหยุ่นมากกว่าในเรื่องการเลือกสภาวะการทำงาน ทั้งชนิดของตัวทำละลายและอุณหภูมิที่ใช้

วิธีการแยกไขมัน และน้ำมันจากแหล่งวัตถุดิบต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Hamm and Hamilton, 2000)

1. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดไม่ว่าจะใช้วัตถุดิบชนิดใดก็ตาม จัดได้ว่ามีข้อได้เปรียบมากที่สุด เช่น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอัดซึ่งทำให้เหลือน้ำมันตกค้างภายในกากที่ 2-3 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างต่ำ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายจะเหลือน้ำมันตกค้างอยู่ในกากไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ วิธีการทำโดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมากับตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปทำการแยกตัวทำละลายออกมา น้ำมันที่ได้จะเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ (crude oil) ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดไขมัน และน้ำมัน ได้แก่ (Hamm and Hamilton, 2000)

- 1.1 ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณของตัวทำละลายในการสกัดมาก จะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มากและมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่การใช้ตัวทำละลายมากก็ต้องใช้เวลา

นานในการแยกนำเอาตัวทำละลายออก ทำให้เกิดความสูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปสูงขึ้นด้วย ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม ตามแต่ชนิดของเมล็ดพืชที่นำมาสกัด

1.2 ชนิดของตัวทำละลาย มีตัวทำละลายหลายชนิดที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน ซึ่งตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษกับร่างกาย โรงงานผลิตน้ำมันพืชโดยทั่วไปเลือกใช้เฮกเซน ที่มีช่วงจุดเดือด 67-70 องศาเซลเซียสเป็นตัวทำละลาย

1.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ถ้าใช้อุณหภูมิที่พอเหมาะจะทำให้การสกัดได้ผลที่ดี หากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปน้ำมันที่ได้สภาพจะไม่ดีพอ

1.4 ความหนาแน่นของเมล็ดพืชอัด เมล็ดพืชก่อนนำมาสกัดจะถูกบดให้แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอัดให้เป็นแผ่นแล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลเข้าไปสัมผัส ถ้าเมล็ดพืชถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ตัวทำละลายซึมผ่านไปได้ยาก ฉะนั้นเมล็ดพืชที่นำมาสกัดนั้น ไม่ควรบดจนละเอียดเพื่อให้ได้การสกัดที่ดี

1.5 ความชื้นของเมล็ดพืช เมล็ดพืชที่นำมาสกัดน้ำมัน ไม่ควรมีความชื้นสูงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้ยาก

1.6 เวลาที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำมันที่ได้เมื่อเทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบต้องใช้เวลานานพอสมควร เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดเอาน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

ข้อดีของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำมันที่ได้เมื่อเทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบมีอัตราส่วนร้อยละสูงกว่าแบบอื่นๆ ทำให้ได้กากเมล็ดหลังจากการสกัดไม่มีไขมัน จึงได้กากโปรตีนที่ไม่เสียสภาพเนื่องจากไม่ใช้ความร้อนร่วมในกระบวนการสกัด นอกจากนี้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพสูง เนื่องจากไม่มีการใช้ความร้อนในกระบวนการสกัด รวมทั้งยังช่วยรักษาส่วนของวิตามินที่ละลายในไขมันที่อยู่ในวัตถุดิบ เช่น วิตามินเอ วิตามินอี เนื่องจากใช้ความร้อนไม่สูงในการสกัดด้วย

ข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ เครื่องที่ใช้ในการสกัดมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ตัวทำละลายที่ใช้ติดไฟง่าย สำหรับวัตถุดิบบางชนิด เช่น เมล็ดฝ้าย มีสารพิษต่อสัตว์ที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง (Non-ruminant) เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสกัดนี้ไม่เพียงพอในการทำลายพืษดังกล่าว

2. การบีบหรือใช้แรงอัด (Hydraulic Pressing) การสกัดโดยการบีบอัดเป็นวิธีที่นิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องบีบมีหลายชนิดและกระบวนการมีทั้งกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Pressing) และกระบวนการแบบต่อเนื่อง (Continuous Pressing) ซึ่งอาจเป็นการใช้แรงอัดแบบเย็น (Cold Pressing) หรือการใช้แรงอัดแบบร้อน (Hot Pressing) ก็ได้

การใช้แรงอัดแบบเย็น นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และมะพร้าว เป็นต้น แรงกดที่ให้แก่น้ำมันของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตกบีบน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้มาเอาไปใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันงาและน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดโดยวิธีนี้จะมิกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นถั่ว (Nutty Flavor) ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรงแต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตามการใช้แรงอัดแบบเย็นมีประสิทธิภาพต่ำ เพราะกากยังมีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

การใช้แรงอัดแบบร้อน มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงอัดแบบเย็น กากที่เหลือจากการใช้แรงอัดแบบเย็นจะนำมาทำต่อโดยใช้แรงอัดแบบร้อน ซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Batch Press) หรือเครื่องอัดแบบสกรูว์ (Continuous Screw Press) หรือเอ็กซ์เพอร์เลอร์ (Expeller) การสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีเหล่านี้ใช้ความดันประมาณ 1-15 ตันต่อตารางนิ้ว และจะมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียง 2-4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

3. การใช้ความร้อน เรียกว่าการเจียวหรือเรนเดอร์ (Rendering) นิยมใช้กับเนื้อเยื่อไขมันจากสัตว์ที่มีลักษณะอ่อน และมีไขมันสูง โดยที่หลักการคือ การให้ความร้อนจนผนังเซลล์แตก และไขมันเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวไหลออกมาได้ง่าย เช่น น้ำมันหมู และไขวัว นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตไขมันจากปลา และสัตว์น้ำ ในอุตสาหกรรมทำได้ 2 วิธีคือ

การเจียวแบบแห้ง (Dry Rendering) ทำการเจียวภายในภาชนะเปิดโดยไม่ให้น้ำเชื่อมเยือก น้ำ อุณหภูมิที่ใช้อ้อยู่ระหว่าง 220-230 องศาฟาเรนไฮต์ หลังการเจียวเสร็จจะแยกออกจากกากโดยแยกด้วยเครื่องเหวี่ยง แล้วนำกากไปบีบน้ำมันที่ยังหลงเหลืออีก เพื่อนำไปรวมกับน้ำมันที่แยกได้

ส่วนแรก ส่วนที่เหลือจากการอัดจะนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ต่อไป ไขมันที่สกัดได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดี เพราะไขมันบางส่วนได้รับความร้อนสูงจากการสัมผัสผิวภาชนะโดยตรง จึงทำให้มีสีคล้ำเนื่องเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การเจียวแบบเปียก (Wet Rendering) ทำได้โดยการพ่นไอน้ำลงบนเนื้อเยื่อไขมันในภาชนะปิดที่ความดันต่ำประมาณ 46-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลา 6-9 ชั่วโมง โดยควรทำในระบบสุญญากาศเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และช่วยลดเวลาในการสกัดลง ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายและยอมให้ไขมันออกมาได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่น รส และคุณภาพการเก็บดี แม้ประสิทธิภาพการสกัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวิธีเจียวแห้ง

การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid-liquid Extraction) โดยทั่วไปกระบวนการสกัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (สุภาภรณ์, 2543)

การละลายตัวถูกละลายที่อยู่ภายในตัวของแข็งด้วยตัวทำละลาย ขึ้นตอนนี้โดยทั่วไปแล้วจะช้า ต้องใช้เวลานานและใช้จำนวนตัวทำละลายที่เพียงพอ สำหรับการเร่งให้ขั้นตอนนี้ให้เร็วขึ้นสามารถทำได้โดยทำให้ของแข็งที่นำมาสกัดมีขนาดเล็กลง ส่วนการกวนให้ของแข็งเคลื่อนตัวในตัวทำละลายมีผลน้อยมากต่อการถ่ายเทมวลสาร แต่จะช่วยให้อนุภาคของแข็งอยู่ในสภาวะแขวนลอยในตัวทำละลายซึ่งจะช่วยการถ่ายเทความร้อนได้ดี ถ้าตัวถูกละลายเป็นของเหลวที่ละลายได้ในตัวทำละลาย โดยที่การละลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากถ้าตัวถูกละลายเกาะอยู่รอบๆ อนุภาคของแข็งในทางตรงกันข้ามถ้าตัวถูกละลายเกาะอยู่รอบๆ อนุภาคของแข็งซึ่งล้อมรอบด้วยผนังที่หุ้มตัวทำละลายได้น้อย การละลายจะช้ามาก กรณีหลังพบมากกว่ากรณีแรก เช่น น้ำมันพืชที่อยู่ในเมล็ดพืชต่างๆ การแพร่ของตัวทำละลายผ่านผนังเมมเบรนจะเป็นตัวควบคุมอัตราเร็วของการละลาย การกวนสำหรับกรณีหลังนี้มีผลต่อการละลายน้อย แต่ในกรณีที่ตัวถูกละลายอยู่รอบๆ อนุภาคของแข็ง การกวนจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งขึ้นกับปัจจัยการแพร่ดังนี้

การแพร่ของตัวถูกละลายจากภายในอนุภาคของแข็งสู่อุณหภูมิภายนอก ขึ้นตอนนี้ถูกควบคุมด้วยการแพร่และอัตราเร็วในการสกัดรวมขึ้นทั้งอัตราเร็วของการแพร่ต่างๆ ในอนุภาคของของแข็ง

การแพร่ของตัวถูกละลายที่อยู่รอบๆ อนุภาคของแข็งไปสู่ตัวทำละลาย ขั้นตอนนี้มีลักษณะคล้ายๆ ของผสมระหว่างตัวถูกละลายชนิดหนึ่งในของเหลวที่ย่อมมีการแพร่จากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะไม่ใช่ตัวควบคุมกระบวนการ

การสกัดด้วยเครื่องสกัดชอกเลต การสกัดวิธีนี้เป็น การสกัดแบบต่อเนื่อง โดยใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำ การสกัดทำได้โดยใช้ความร้อน ทำให้ตัวทำละลายในขวดก้นกลมระเหยขึ้นไป แล้วกลั่นตัวเองมาใน Thimble ซึ่งบรรจุตัวอย่างที่ต้องการสกัดไว้ เมื่อตัวทำละลายใน Extracting Chamber สูงถึงระดับจะเกิดกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงไปในขวดก้นกลมด้วยวิธีการกาลักน้ำ ขวดก้นกลมนี้จะได้รับความร้อนจากเตาให้ความร้อน (Heating Mantle) ทำให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไป ทั้งสารสกัดไว้ในขวดก้นกลมโดยตัวทำละลายเมื่อกระทบกับเครื่องควบแน่น (Condenser) จะกลั่นตัวกลับลงมาสกัดสารใหม่หมุนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์ และทำให้สารสกัดที่ได้เข้มข้นขึ้น โดย Distillation in Vacuo ซึ่งเป็นวิธีการระเหยแห้งโดยการกลั่นตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ และลดความดันลงให้เกือบเป็นสุญญากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ซึ่งเครื่องมือนี้เรียกว่า Rotary Evaporator ประกอบด้วยสามส่วนคือ Distillation Flask, Condenser และ Receiving Flask โดย distillation Flask จะหมุนอยู่ตลอดเวลาที่ทำงานและแช่อยู่ในอ่างน้ำเพื่อให้การกระจายความร้อนทั่วขวดก้นกลม

การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid Extraction) กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว เป็นกระบวนการแยกสารซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสองชนิด ในกระบวนการจะมีสารที่ต้องการแยกอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่ง เป็นสารตั้งต้น (Feed) และใช้ตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวสกัด (Extractant or Solvent) แยกออกโดยที่ตัวทำละลายสองชนิดจะไม่ละลายซึ่งกันและกัน หรือละลายได้น้อยมาก ทำให้ภายหลังการสกัดจะเกิดของเหลวสองเฟสแยกชั้นกันและตัวถูกละลายส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายเทมวลข้ามเฟสไปยังตัวทำละลายใหม่เรียกเฟสใหม่นี้ว่า เอกแทรกซ์ (Extract) ส่วนสารตั้งต้นที่เหลือจากการสกัดเรียกว่า ราฟฟินาต (Raffinate)

สำหรับเครื่องสกัดในงานอุตสาหกรรม ซึ่งมักใช้ในอุตสาหกรรมประเภทน้ำตาล น้ำมัน และกาแฟ จะจัดการโดยใช้หลักการการไหลในรูปแบบไหลสวนทาง (Counter Current Flow) ระหว่างสารวัตถุดิบและสารมิเซลล์ (Micelle) ในด้านทางออกของสารตัววัตถุดิบจะมีความเข้มข้นของน้ำมันต่ำ และส่วนของมิเซลล์จะมีความเข้มข้นของน้ำมันสูง

ไขมันดิบและน้ำมันดิบจะได้โดยตรงจากการสกัดเมล็ดน้ำมันพืช ทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยสารเคมีหลากหลายซึ่งมีผลต่อ สีและคุณสมบัติต่างๆ สารเคมีเหล่านี้สามารถเอาออกได้จากกระบวนการขั้นตอนทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีอยู่ 7 ขั้นตอน ได้แก่ Degumming, Refining, Bleaching, Deodorization, Fractionation, Hydrogenation และ Interesterification (Boehman, 2005)

2. หลักการออกแบบเครื่องสกัด

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นการสกัดพื้นฐานของการสกัดน้ำมันพืชจากวัตถุดิบชนิด Oleaginous ซึ่งเริ่มต้นใช้มาตั้งแต่ยุค 1930 การสกัดประเภทนี้ใช้กันแพร่หลาย ซึ่งเข้ามาแทนที่การใช้แรงอัดของสกรูว์ หรือการบีบอัดโดยใช้แรงอัดไฮโดรลิกซึ่งใช้กันมาก่อนหน้านี้ (Hamm and Hamilton, 2000)

สิ่งสำคัญที่มีผลต่อการสกัด (Wan and Wakelyn, 1997) อันได้แก่

2.1 เวลาที่ใช้ (Contact Time)

คือเวลาที่ใช้ในเครื่องสกัดที่อนุภาคของวัตถุได้มีการสัมผัสกับมิเซลล์หรือตัวทำละลาย เวลาที่ดีที่สุดคือเวลาระหว่างอนุภาคและมิเซลล์ในแต่ละชั้นเข้าสู่สมดุลกัน เวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องสกัด และอัตราการป้อนของวัตถุดิบ

2.2 อุณหภูมิการสกัด (Extractor Temperature)

อัตราที่ตัวทำละลายและมิเซลล์ซึมเข้าสู่อนุภาคและจากนั้นเข้าสู่สมดุลกับมิเซลล์ที่อยู่รอบๆ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยจะสกัดที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือดของตัวทำละลาย เนื่องจากการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทำการระเหยและกระบวนการที่ใช้ความดันสูงภายในเครื่องสกัดทำให้ต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือดของตัวทำละลาย อุณหภูมิการสกัดในโรงงานจะใช้ที่ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียสสำหรับตัวทำละลายเฮกเซน

2.3 การเตรียมวัตถุดิบ

ต้องคำนึงถึงเรื่องความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีดัดที่กล่าวมาในข้างต้น และอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญสำหรับขั้นตอนนี้คือการสร้างรูปทรงอนุภาคที่จะอยู่ในชั้นวัสดุโดยยอมให้ตัวทำละลายไหลผ่านตลอดที่อัตราที่คงที่

2.4 การออกแบบเครื่องสกัด

เครื่องมือทุกอย่างในกระบวนการเมล็ดน้ำมัน การออกแบบเครื่องสกัดจากเครื่องมือหลากหลายที่พร้อมจะใช้งานนั้นก็แตกต่างกันไป ทุกเครื่องมือออกแบบเป็นกระบวนการสกัดแบบไหลสวนทางหลายชั้นเพื่อให้ได้ค่าน้ำมันที่ผลึ้อออกมา ที่ยอมรับได้ แต่มีความแตกต่างกันเรื่องของสภาพทั่วไปของน้ำมันแต่ละชนิด ในที่สุดได้มีการจัดการแบ่งเครื่องสกัด โดยดูที่ความต่อเนื่อง (Reliability) และเรื่องการใช้พลังงานในโรงงาน (Plant Energy Consumption) โดย French Oil Mill Machinery Company ในปี 1994

ความต่อเนื่องจะรวมไปถึงการดำเนินการของเครื่องที่สามารถใช้ได้ยาวนานและมีการบำรุงรักษาต่ำ และยังมีสิ่งที่สำคัญในการออกแบบ โดยต้องครอบคลุมถึงกระบวนการต่างๆที่ต้องนำใช้เครื่องสกัด ส่วนมากวัฏจักรเครื่อง (Life cycle) จะอยู่ที่ 20 ปี

ตัวของเครื่องสกัดเองจะมีพลังงานสะสมอยู่ต่ำ อย่างไรก็ตามพลังงานที่ต้องใช้ทั้งด้านบนและด้านล่างของหอสกัดเป็นพลังงานมากที่สุด ทำให้การออกแบบต้องคำนึงถึงพลังงานที่สะสมที่ส่วนนี้ ในส่วนของการสะสมพลังงานที่ส่วนบนนั้นมีค่าน้อย การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงทิกเกอร์ฟลาส (Thicker Flakes) และการดำเนินการต้องไม่มีเมล็ดคักจับต้องใช้วัตถุที่มีองค์ประกอบของน้ำมันสูงและในเครื่องต้องมีเค้ก (Cake) เกิดขึ้นเพื่อดำเนินการได้ดี ในส่วนของพลังงานด้านล่างต้องคำนึงถึงเมล็ดคักจับ ด้วย และนอกจากนี้เครื่องสกัดต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะให้ตัวทำละลายให้ผสมกับตัวทำละลายได้เวลาที่ใช้ได้

3. ประเภทของเครื่องสกัด

ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ของเหลวทั้งสองเฟสต้องสัมผัสกันให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลจากเฟสของสารป้อนไปยังเฟสของตัวสกัดก่อนทำการแยก แต่เนื่องจากของเหลวมีความหนาแน่นและความหนืดในระดับเดียวกัน ดังนั้นการผสมกันและแยกจากกันจึงเกิดได้น้อยถ้าอาศัยการไหลด้วยแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว ซึ่งแตกต่างจากกรณีของเหลวเฟสหนึ่งเป็นก๊าซและอีกเฟสหนึ่งเป็นของเหลว ดังนั้นในเครื่องสกัดบางประเภทจึงติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการผสมและการแยก

เครื่องสกัดอาจทำงานแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง สารป้อนจะทำการผสมกับตัวทำละลายในถังกวนหลังจากนั้นปล่อยให้แยกชั้นและถูกแยกออกจากกัน สารที่สกัดได้แยกออกเป็นชั้นของตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่สกัดได้ ส่วนของกากเหลือค้าง คือชั้นของสารที่ป้อนเข้าที่ผ่านการสกัดแล้ว (Hamm and Hamilton, 2000) อาจทำการสกัดหลายๆ ครั้ง แต่ถ้ามีปริมาณสารมากควรเลือกปฏิบัติการไหลแบบต่อเนื่องจะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า สามารถสรุปเป็นตารางของเครื่องสกัดหลายแบบดังตารางที่ 6

3.1 เครื่องผสม-เครื่องพัก (Mixer-Settlers)

สำหรับการสกัดแบบกะ เครื่องผสมและเครื่องพักอาจเป็นตัวเดียวกัน คือ เป็นถังที่มีใบกวน เมื่อการผสมเสร็จสิ้นจะปิดเครื่องกวนปล่อยให้ของเหลวเกิดการแยกชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง และถ่ายชั้นสารที่สกัดได้กับของเหลือออกจากถัง เวลาที่ใช้ในการผสมและพักตัวหาได้จากการทดลองส่วนใหญ่ใช้เวลาผสม 5 นาที และพักตัวให้แยกชั้นอีก 10 นาที (McCabe et al., 2001)

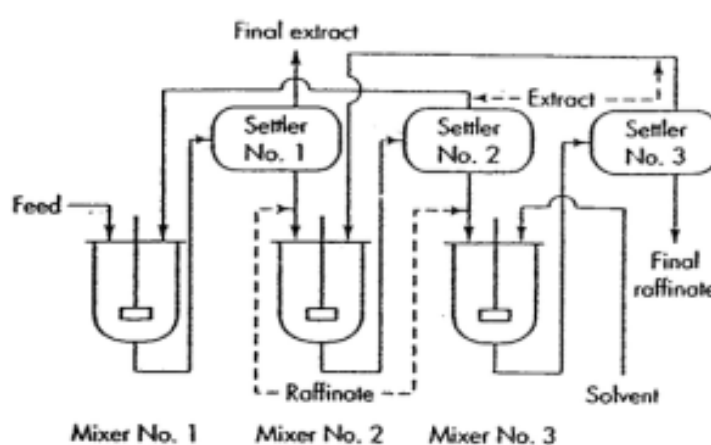
สำหรับการไหลแบบต่อเนื่อง เครื่องผสมและเครื่องพักเป็นคนละส่วนกัน เครื่องผสมจะเป็นถังกวนขนาดเล็กซึ่งมีท่อเข้าและออก มีแผ่นกั้น (Baffle) ที่ด้านข้างเพื่อให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น หรืออาจเป็นเครื่องผสมแบบอื่นๆ ส่วนเครื่องพักจะเป็นถังเปล่าที่ปล่อยให้ของเหลวแยกชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Decanter) แต่ถ้าของเหลวที่ผ่านการผสมแล้วเกิดเป็นสารแขวนลอย (Emulsion) หรือมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากทำให้แยกตัวออกจากกันได้ยาก อาจให้ไหลผ่านชั้นตะแกรงหรือใยแก้วเพื่อให้สารแขวนลอยดังกล่าวรวมตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ซึ่งจะทำให้แยกง่ายขึ้น หรืออาจใช้เครื่องเหวี่ยงแยกช่วย

ตารางที่ 6 แสดงลักษณะเฉพาะของเครื่องสกัดแบบต่างๆ

type	Liquid capacity of combined streams (ft ³ /ft ² .h)	HTU (ft)	Plate or stage efficiency %	Spacing between plates or stages (in)
Mixer-settler			75-100	
Spray column	50-250	10-20		
Packed column	20-150	5-20		
Perforated-plate column	10-200	1-20	6-24	30-70
Baffle column	60-105	4-6	5-10	4-6
Agitated tower	50-100	1-2	80-100	12-24

ที่มา: McCabe et al. (2001)

ในกรณีที่ต้องการให้ให้เกิดการสัมผัสกันหลายๆ ชั้น อาจใช้รูปแบบการทำงานเป็นขั้นบันได และป้อนของเหลวไหลสวนทางดังแสดงในภาพที่ 4 สายของเหลวจากการสกัดในขั้นที่ 1 จะเป็นสารป้อนในขั้นที่ 2 หลักการทำงานเหมือนการชะละลายแบบชั้นไหลสวนทางต่อเนื่อง

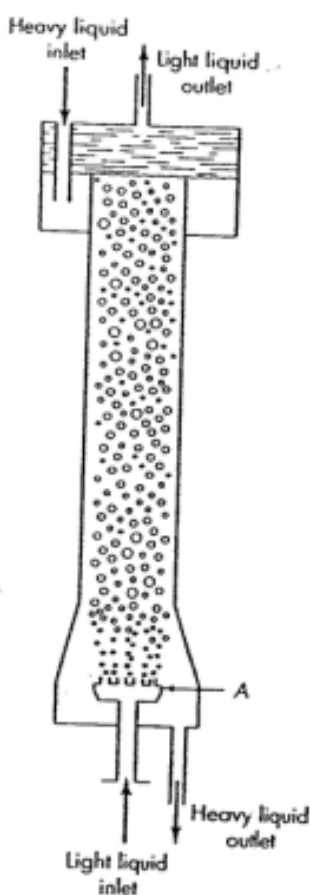


ภาพที่ 4 การสกัดแบบผสมและแยก

ที่มา: McCabe et al. (2001)

3.2 หอสกัดแบบสเปรย์และแบบแพค (Spray and Packed Extraction Tower)

หอสกัดแบบนี้ให้การสัมผัสแบบค่อยๆ เพิ่มทีละน้อย (Differential) ไม่ใช่แบบขั้น การผสมของของเหลวและการแยกชั้นเกิดขึ้นพร้อมกันอย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 5 จึงเป็นหอสกัดแบบสเปรย์โดยของเหลวที่เบาจะถูกป้อนเข้าด้านล่างผ่านหัวฉีดให้เป็นหยดเล็กๆ ลอยขึ้นด้วยแรงลอยตัวผ่านของเหลวที่หนักกว่าซึ่งถูกป้อนเข้าด้านบน หยดของเหลวจะรวมตัวเป็นชั้นที่ด้านบนหลังจากเคลื่อนผ่านชั้นของเหลวที่หนักกว่า



ภาพที่ 5 หอสกัดแบบสเปรย์

ที่มา: McCabe et al. (2001)

ระหว่างที่ของเหลวทั้งสองสัมผัสกัน จะเกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสอย่างต่อเนื่อง อัตราการโอนมวลจะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการกลั่นและการดูดซับ บริเวณที่เกิดการสัมผัสได้ดีที่

สุดมักเป็นบริเวณที่เกิดหยดของเหลว (ใกล้กับหัวฉีด) ในกรณีทั่วไปการเพิ่มความสูงของหอสกัดไม่ เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มจำนวนชั้น วิธีที่ให้ผลดีกว่าคือ การให้หยดของเหลวกระจายตัวช้า ซึ่ง สามารถทำได้โดยการบรรจุหอสกัดด้วยแพกกิง (Packing) แบบวงแหวนหรืออานม้า แพกกิงจะทำให้ หยดของเหลวรวมตัวกันกลายเป็นหยดใหม่ เป็นการเพิ่มจำนวนชั้นของการสกัดภายใต้ความสูง เท่าเดิม การใช้แพกกิงเป็นการช่วยแก้ปัญหาเรื่องการกัดกร่อนหรือ ความดันลดได้ดี แต่มีข้อเสีย เรื่องข้อจำกัดในการเกิดตะกอน และเกิดปรากฏการณ์ไหลเป็นช่อง

ความเร็วการท่วมหอสกัดแบบแพค (Flooding Velocities) ถ้าอัตราการไหลของ กระแสใดกระแสนี้ระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง ถูกควบคุมให้คงที่ แล้วค่อยๆเพิ่ม อัตราการไหลอีกกระแสนึง จนถึงจุดจุดหนึ่งที่เฟสกระจายตัวเกิดการรวมตัวและถูกยัดในหอสกัด มากขึ้น ในที่สุดทั้ง 2 เฟสไหลออกจากหอด้วยกัน แทนที่เกิดการแยกชั้น จะเรียกสิ่งที่เกิดว่า Flooding หรือการไหลท่วมหอ ดังนั้นต้องทำการสกัดที่อัตราการไหลต่ำกว่าค่า Flooding ซึ่ง สามารถประมาณ Flooding Velocity ได้จากสมการที่ 1

$$\bar{V}(1+R^{0.5})^2 \left(\frac{a_v}{g} \right)^{0.5} = \alpha c_1 \varepsilon^{1.54} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_d} \right)^{0.41} \left(\frac{1}{a_v} \left(\frac{\Delta \rho^2 g}{\mu_c^2} \right)^{1/3} \right)^{0.3} \left(\frac{\mu_c}{(\Delta \rho \sigma / a_v)^{0.5}} \right)^{0.15} \quad (1)$$

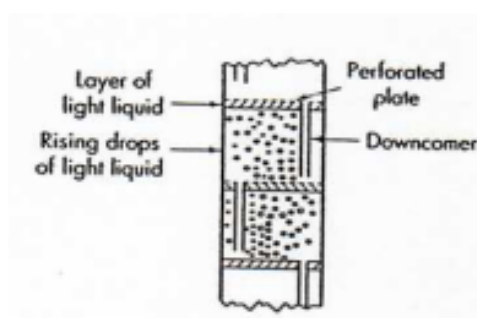
โดยที่ $R = \frac{\bar{V}_{s,d}}{\bar{V}_{s,c}}$

$\bar{V}_{s,d}, \bar{V}_{s,c}$	= ความเร็วตามผิวของเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายตัวที่เกิดการท่วมหอ (เมตรต่อวินาที)
μ_c	= ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง (ปาสคาร์วินาที)
σ	= แรงตึงผิวระหว่าง 2 เฟส (นิวตันต่อเมตร)
ρ_d	= ความหนาแน่นของเฟสกระจาย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
$\Delta \rho$	= ผลต่างความหนาแน่นระหว่าง 2 เฟส (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
a_v	= พื้นที่ผิวจำเพาะของ packing (ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)
ε	= สัดส่วนช่องว่างหรือความพรุนของส่วนที่บรรจุ packing
g	= แรงโน้มถ่วง (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

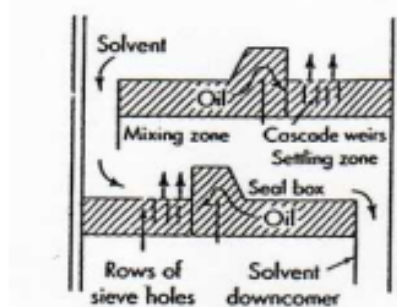
α	= 1 สำหรับการเปียกของเฟสต่อเนื่อง
	= 1.2 สำหรับการเปียกของเฟสกระจาย
C_1	= 0.2 สำหรับแพกกิงแบบ วงแหวนหรือแบบอานม้า สำหรับ แบบอื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.204-0.42

3.3 หอสกัดแบบเพลทเจาะรู (Perforated-plate Tower)

หอสกัดชนิดนี้ประกอบด้วยเพลทที่เจาะรูขนาด 1.5 ถึง 4.5 มิลลิเมตร ติดตั้งในคอลัมน์ ห่างกัน 150 ถึง 600 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กระจายหยดของเหลวซึ่งส่วนมากเป็นเฟสที่เบากว่าดังแสดงในภาพที่ 6 ก. ของเหลวเบาจะรวมตัวเป็นชั้นบางๆ ที่ใต้เพลท แล้วพุ่งผ่านชั้นหนาของของเหลวหนักที่อยู่ด้านบนเพลท ส่วนภาพที่ 6 ข. เป็นเพลทที่ดัดแปลงโดยเจาะรูที่ด้านใดด้านหนึ่งของเพลท แล้ววางสลับเพื่อบังคับให้ของเหลวเบาไหลสลับซ้ายขวา ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด



ก.



ข.

ภาพที่ 6 หอสกัดแบบเพลทเจาะรู ก. เพลทแนวนอน ข. ถาดสับหว่าง
ที่มา: McCabe et al. (2001)

3.4 หอสกัดแบบแผ่นกั้น (Baffle Tower)

เป็นหอสกัดที่มีแผ่นกั้นแนวนอนติดตั้งไว้ภายใน ของเหลวหนักไหลลงจากด้านบนของแต่ละแผ่นกั้น ส่วนของเหลวเบาไหลจากด้านล่างขึ้นบนและกลายเป็นหยดน้ำเล็กๆ จากขอบของแผ่น แผ่นกั้นซึ่งมีรูปร่างเป็นจานและโค้งหรือเป็นวงกลมที่ตัดบางส่วนออก วางห่างกับประมาณ 100 ถึง 150 มิลลิเมตร

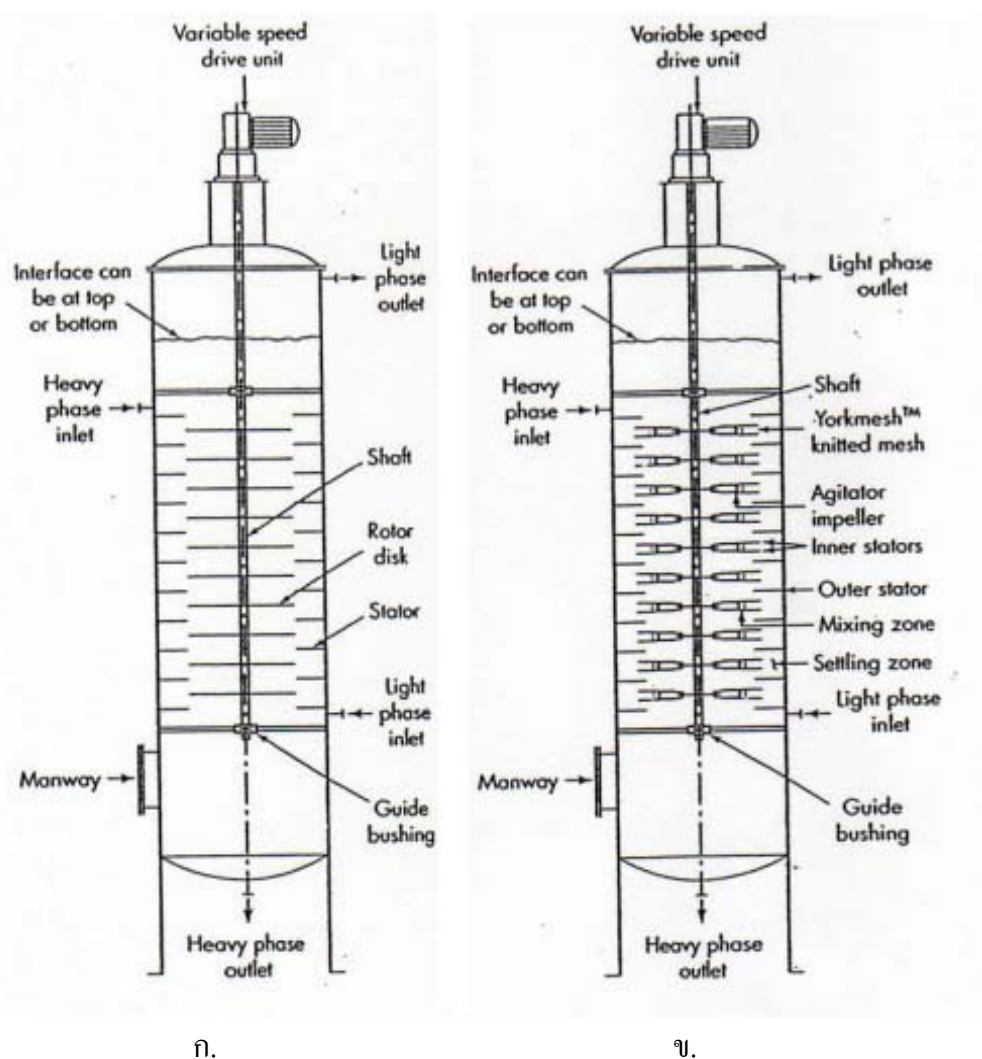
หอสกัดแบบแผ่นกั้นเหมาะกับของเหลวที่สกปรก มีของแข็งแขวนลอยและของเหลวที่มีแนวโน้มจะเกิดสภาพแขวนลอยได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือเกิดการผสมที่ไม่ดี โดยแต่ละแผ่นกั้นทำงานได้เทียบเท่า 0.05 ถึง 0.1 ของชั้นเชิงทฤษฎี

3.5 หอสกัดแบบใบกวน (Agitated Tower Extractors)

เป็นหอสกัดที่มีใบกวนอยู่ภายในเครื่องดังภาพที่ 7 ก เป็นใบกวนแบบจานหมุน (Rotating-disk Contactor) ช่วยทำให้ของเหลวกระจายตัวดีขึ้น ขณะที่ด้านข้างของหอติดตั้งแผ่นวงแหวนเพื่อช่วยให้เกิดการแยกชั้นของของเหลว ในภาพที่ 7 ข เป็นหอสกัด York-Scheibel บริเวณรอบใบพัดจะบรรจุตะแกรงลวด เพื่อช่วยให้เกิดการรวมตัวของหยดของเหลว และการแยกเฟส การสกัดจะเกิดในบริเวณที่มีการผสม ขณะที่บางส่วนเกิดในบริเวณรอบนอก ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องอาจเกิน 100% หอสกัดชนิดนี้มีข้อเสียที่ความยากในการบำรุงรักษาส่วนที่เคลื่อนที่ หรือที่บริเวณแกนใบกวน และไม่เหมาะกับของเหลวที่มีการกัดกร่อน

3.6 คอลัมน์แบบพัลส์ (Pulse Column)

เครื่องสกัดชนิดนี้จะใช้ปั๊มแบบลูกสูบหรือเคลื่อนที่แบบไปกลับ ในการทำให้หยดของเหลวในคอลัมน์เคลื่อนที่ผสมกับของเหลวอีกเฟสหนึ่งแทนที่ใช้เครื่องกวน ปั๊มจะสร้างแรงกระแทก (pulse) ภายในคอลัมน์ ซึ่งอาจเป็นแบบแพค หรือแบบเพลทเจาะรู แรงกระแทกจะช่วยกระจายของเหลวและลดการเกิดการไหลติดตามช่อง ทำให้เกิดการสัมผัสกันของสองเฟสเพิ่มขึ้น สำหรับ column แบบเพลทเจาะรู รูที่เจาะจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-3 มิลลิเมตร ซึ่งค่อนข้างเล็ก ทำให้ของเหลวทั้งสองเฟสไหลผ่านรูได้ยาก จึงต้องใช้แรงกระแทกในการขับเคลื่อนให้หยดของเหลวแตกเป็นหยดเล็กๆ ก่อนที่จะไหลผ่านเพลทไปได้ ถ้าอัตราการป้อนของทั้งสองเฟสใกล้เคียงกัน และไม่เกิดการเปลี่ยนปริมาตรระหว่างการสกัดจะได้ประสิทธิภาพประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์



ก.

ข.

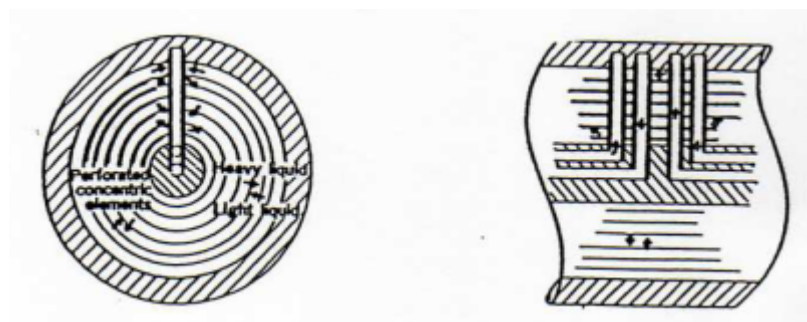
ภาพที่ 7 หอสกัดแบบใบกวน ก. แบบจานหมุน ข. แบบ York-Scheibel

ที่มา: McCabe et al. (2001)

3.7 การสกัดแบบเหวี่ยงแยก (Centrifugal Extractors)

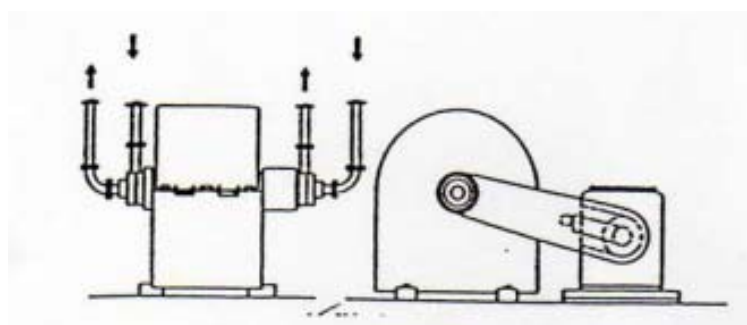
การกระจายตัวและการแยกเฟสถูกเร่งให้เร็วขึ้นด้วยแรงเหวี่ยง เครื่องสกัด Pobdielniak ดังภาพที่ 8 ซึ่งแสดงมุมมองเครื่องสกัดจากมุมต่างๆ มีแผ่นโลหะลักษณะเหมือนริบบิ้นเจาะรูแล้วบิดเป็นเกลียวอยู่ภายในท่อโลหะกลวงแนวนอนซึ่งเป็นທີ່ที่ของเหลวไหลเข้าและออก ของเหลวเบาถูกปั๊มเข้าด้านนอกเกลียวด้วยความดัน 3-12 บรรยากาศ เพื่อเอาชนะแรงเหวี่ยง ส่วนของเหลวหนักถูกปั๊มเข้าแกนกลาง ทั้งสองเฟสไหลสวนทางกัน ของเหลวหนักเคลื่อนที่ออกไปตามผิวด้านใน เกิดแรงเฉือนอย่างมากที่ผิวสัมผัสของสองเฟส ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น

ยังเกิดการพ่นของเหลวเป็นหยดเล็กผ่านรูที่เจาะบนรีบบิ้นด้วย หอสกัดแบบนี้มีความสามารถในการสกัดสูงมาก อาจเทียบเท่า 20 ชั้นทางทฤษฎี (Theoretical Stage) แต่มีราคาแพงและมีข้อจำกัดในการใช้หลายอย่าง เหมาะกับการสกัดสารที่ไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น วิตามิน และยาปฏิชีวนะ เนื่องจากใช้เวลาสั้นมากประมาณ 4 วินาที



ก.

ข.



ค.

ภาพที่ 8 เครื่องสกัด Poldielniak

ก. มุมมองด้านบนภายในของเครื่อง

ข. มุมมองด้านข้างภายในของเครื่อง

ค. มุมมองด้านข้างจากภายนอก

ที่มา: Shurler and Kangi (2002)

4. หลักการสกัด

4.1 การสกัดสารละลายเจือจาง

สำหรับการสกัดสารละลายเจือจางแบบกะหรือต่อเนื่องแบบขั้นบันได ซึ่งอาจไม่เกิดการเปลี่ยนอัตราการไหล และให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว K_D คงที่ นิยามแฟกเตอร์การสกัด E ตามสมการข้างล่าง (UNIFEM, 1987)

$$E = \frac{K_D V}{L} \quad (2)$$

สำหรับการสกัดแบบขั้นเดียว (Single-stage) ด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์ สัดส่วนของตัวถูกละลายที่เหลือ เท่ากับ $1/(1+E)$ ขณะที่สัดส่วนตัวถูกละลายที่สกัดได้ คือ $E/(1+E)$

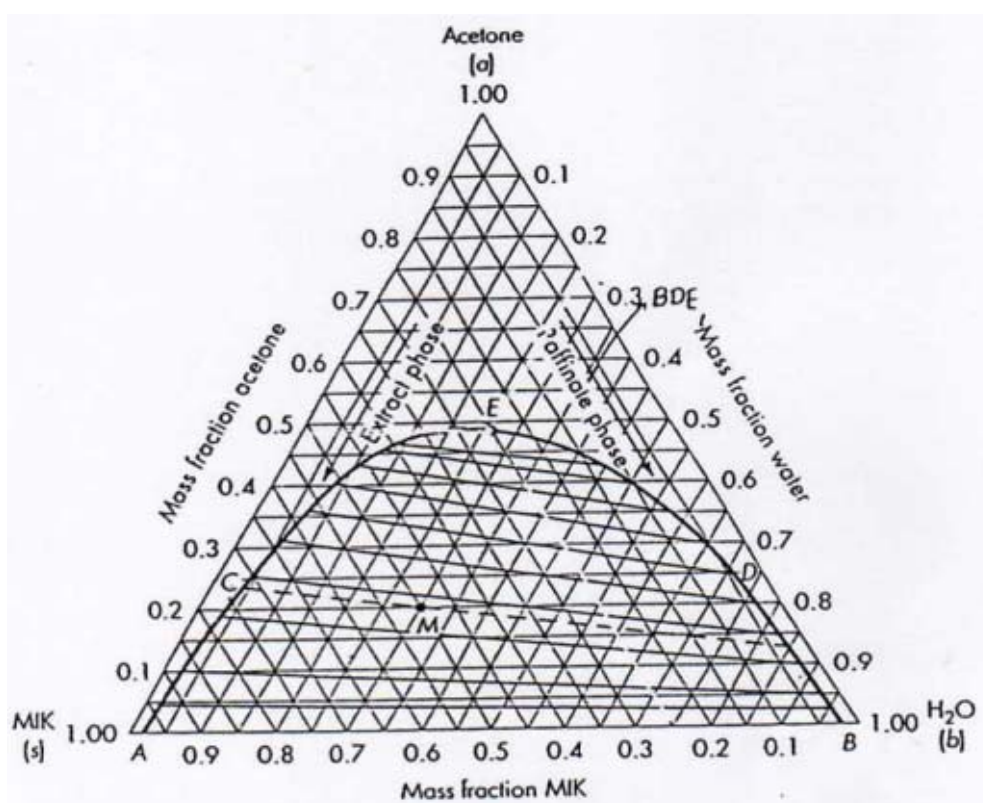
4.2 การสกัดสารละลายเข้มข้น (สมดุลเฟส) (McCabe et al., 2001)

ในการสกัดสารละลายเข้มข้น ความสัมพันธ์ของสมดุลจะซับซ้อนกว่าการแยกแบบอื่นๆ เพราะอย่างน้อยมี 3 สาร (Component) ปรากฏอยู่พร้อมกัน และบางสารยังอยู่ในสองเฟสอีกด้วย ข้อมูลที่สภาวะสมดุลมักแสดงในแผนภาพสามเหลี่ยม ระบบอะซีโตน-น้ำ-เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (MIK) เป็นตัวอย่างของประเภทที่ 1 ซึ่งแสดงความสามารถละลายได้บางส่วน (Partial Miscibility) ของตัวทำละลาย (MIK) และสารละลายเจือจาง (Diluents) คือ น้ำ แต่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างตัวทำละลายและสารที่ถูกสกัด (อะซีโตน) ส่วนภาพที่ 9 เป็นระบบอะนิลีน (Aniline)-นอร์มัลเฮปเทน-เมทิลไซโคลเฮกเซน (MCH) ซึ่งเรียกได้ว่าประเภทที่ 2 โดยตัวทำละลาย (อะนิลีน) ละลายได้เพียงบางส่วนกับทั้ง 2 สารที่เหลือ

จากภาพที่ 9 เมื่อเติม MIK ลงในสารละลายอะซีโตน-น้ำ จะได้ของผสมที่มีองค์ประกอบอยู่บนเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ และจุดของสารละลายอะซีโตน-น้ำเริ่มต้น เมื่อเติมตัวทำละลายมากพอจนองค์ประกอบโดยรวมอยู่ในเส้นโค้งที่มีรูปร่างเหมือนโดม ของผสมจะแยกเป็น 2 เฟส จากองค์ประกอบของแต่ละเฟสหากจุดปลาย 2 ข้างของเส้นตรงที่ลากผ่านจุดแสดงองค์ประกอบโดยรวมเรียกเส้นนี้ว่า เส้นโยง หรือ tie line ในรูปจุดบนเส้นโค้ง ACE แสดงองค์ประกอบเฟสที่สกัดได้ (MIK+ อะซีโตน) ส่วนจุดบนเส้นโค้ง BDE แสดง

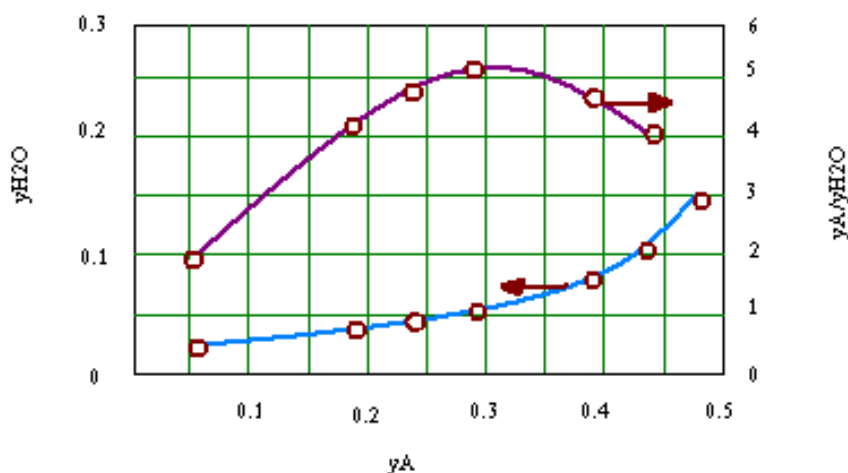
องค์ประกอบของเฟสที่เป็นของเหลือจากการสกัด (Raffinate , น้ำ+อะซิโตนที่เหลือ) เมื่อปริมาณอะซิโตนในของผสมเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบของ 2 เฟสจะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นจนเท่ากันที่จุด E ซึ่งเรียกว่า plait point

เส้นโยงในภาพที่ 9 เอียงขึ้นด้านซ้าย แสดงว่าในเฟสที่สกัดได้มีอะซิโตนมากกว่าในเฟสของเหลือจากการสกัด เป็นนัยว่าสามารถสกัดอะซิโตนได้เกือบหมดโดยใช้ตัวทำละลายไม่มาก แต่ถ้าเส้นโยงขนานกับฐานหรือเอียงขึ้นด้านขวา แสดงว่าการสกัดทำได้ยากขึ้นต้องใช้ตัวทำละลายมากขึ้น ในการทำงานให้ได้ผลดีควรใช้สารละลายอะซิโตน-น้ำ ที่มีความเข้มข้นของอะซิโตนสูง ถึงแม้ว่าน้ำจะละลายใน MIK ได้เพียง 2 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อความเข้มข้นของอะซิโตนในเฟสที่สกัดได้เพิ่มขึ้นก็จะมีน้ำปนมากเพิ่มขึ้นเช่นกัน ข้อมูลจากภาพที่ 8 ถูกนำมาสร้างเป็นกราฟดังภาพที่ 10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น (y_{H_2O}) กับปริมาณอะซิโตน (y_A) อัตราส่วน y_A / y_{H_2O} มีค่าสูงสุดที่ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ โดยนำหนักของอะซิโตนในเฟสที่สกัดได้



ภาพที่ 9 แผนภาพเฟสของระบบอะซิโตน-น้ำ-MIK ที่ 25 องศาเซลเซียส

ที่มา: McCabe et al. (2001)



ภาพที่ 10 องค์ประกอบของเฟสที่สกัดได้ในระบบอะซีโตน-น้ำ-MIK

ที่มา: McCabe et al. (2001)

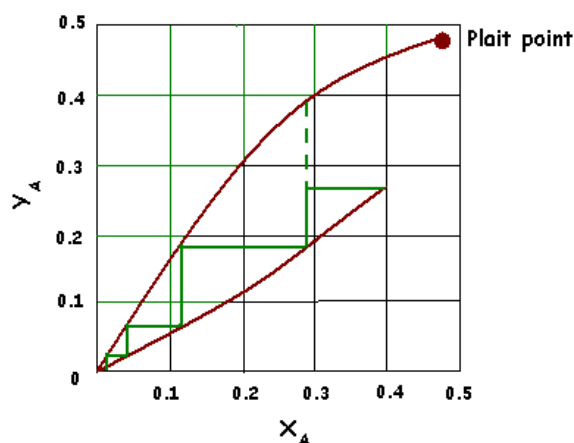
4.3 การใช้วิธี McCabe-Thiele

วิธี McCabe-Thiele เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้หาข้อมูลที่ต้องการสำหรับกระบวนการแยกแบบไหลสวนทางต่อเนื่อง นอกเหนือจากวิธีที่ใช้แผนภาพสามเหลี่ยม และเทคนิคทางกราฟ วิธี McCabe-Thiele เป็นวิธีที่ง่ายและให้คำตอบที่มีความถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ โดยมุ่งความสนใจไปที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสที่สกัดได้ และเฟสของเหลือจากการสกัด แผนภาพที่ทำหรือแสดงในภาพที่ 11 ขึ้นไม่แสดงค่าความเข้มข้นของตัวเจือจางและตัวทำละลายใน 2 เฟส

ข้อมูลที่สภาวะสมดุลแสดงในแผนภาพสามเหลี่ยม โดยสัดส่วนของตัวถูกละลายเฟสที่สกัดได้ (V) เขียนในแกนตั้ง และสัดส่วนของตัวถูกละลายในเฟสที่เหลือเขียนในแกนนอน สำหรับระบบประเภทที่ 1 เส้นสมดุล (Equilibrium Line) จะสุดที่ Plait Point ถ้าเฟสทั้งสองออกจากกันใดๆ ภายใต้สภาวะสมดุล ข้อมูลความเข้มข้นเพียงค่าเดียวก็เพียงพอที่จะบอกองค์ประกอบของทั้ง 2 เฟส

จุดปลายของเส้น (x , y_a) และ (x_b , y_b) ได้จากการทำดุลมวลโดยรวมด้วยข้อมูลสมดุลของ 3 สาร เนื่องจากปริมาณตัวถูกละลายในเฟสที่สกัดได้ (V) จะเพิ่มขึ้นและในเฟสของเหลือ (L) จะลดลงเมื่อการสกัดผ่านคอลัมน์ ดังนั้นเส้นปฏิบัติการจะเป็นเส้นโค้ง เมื่อทำดุลมวลในบางส่วนของขั้นบันไดการสกัด (Cascade Stage) จะได้จุดเพิ่มเติมในการลากเส้นปฏิบัติการ จากนั้นสามารถ

หาจำนวนขั้นในเชิงทฤษฎีของการสกัดได้ด้วยการลากขั้นบันไดระหว่างเส้นทั้งสอง ตัวอย่างการสร้างภาพดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ตัวอย่างแผนภาพ McCabe-Thiele สำหรับการสกัด

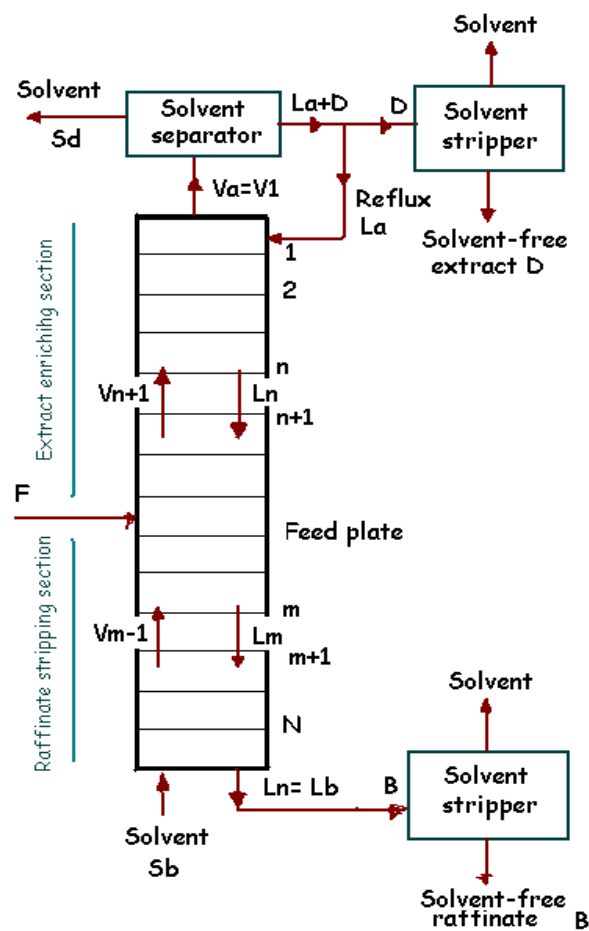
ที่มา: McCabe et al. (2001)

ถ้าระบุจำนวนขั้นเชิงทฤษฎี สามารถหาปริมาณตัวถูกละลายที่สกัดได้และองค์ประกอบสุดท้ายด้วยวิธีลองผิด ลองถูก โดยเริ่มจากการสมมุติค่าสัดส่วนของตัวที่ถูกสกัดและองค์ประกอบสุดท้าย จากนั้นลากเส้นปฏิบัติการ หาจำนวนขั้นเชิงทฤษฎี ตรวจสอบคำตอบ ถ้าได้ตัวเลขสูงกว่าจำนวนขั้นที่ระบุ ให้สมมุติค่าใหม่ให้น้อยลง ทำซ้ำจนได้ค่าเท่ากัน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

4.4 การสกัดแบบไหลสวนทางของระบบประเภทที่ 2 ด้วยรีฟลักซ์

เช่นเดียวกับการกลั่น การสกัดสามารถใช้รีฟลักซ์ (Reflux) ในการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกสารให้มากขึ้น โดยเฉพาะการสกัดสารประเภทที่ 2

ภาพที่ 12 แสดงการสกัดแบบไหลสวนทางพร้อมการรีฟลักซ์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความคล้ายคลึงกันระหว่างวิธีนี้กับการกลั่นลำดับส่วน จึงสมมุติให้คอลัมน์สกัดเป็นแบบเพลท อย่างไรก็ตามคอลัมน์รูปแบบอื่นก็สามารถใช้รีฟลักซ์ได้เช่นกัน



ภาพที่ 12 การสกัดแบบไหลสวนทางพร้อมการรีฟลักซ์

ที่มา: สุภาภรณ์ (2540)

สามารถเปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรระหว่างการกลั่นและการสกัดได้ในตารางที่ 7 โดยการกลั่นจะเป็นระบบที่ใช้รีฟลักซ์ทั้ง 2 แบบ

อัตราส่วนรีฟลักซ์จะมีขีดจำกัดอยู่ 2 กรณี คือเมื่ออัตราส่วนรีฟลักซ์ R_D มีค่ามากๆ จำนวนขั้นการสกัดจะมีค่าต่ำมาก และ R_D มีค่าต่ำสุดเมื่อจำนวนขั้นมีค่าไม่สิ้นสุด (Infinity)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการสกัดกับการกลั่นที่ใช้รีฟลักซ์ทั้ง 2 แบบ

<i>Distillation</i>	<i>Extraction</i>
Vapor flow in cascade V	Extract flow in cascade V
Liquid flow in cascade L	Raffinate flow in cascade L
Overhead product D	Extract product D
Bottom product B	Raffinate product B
Condenser	Solvent separator
Bottom-product cooler	Raffinate solvent stripper
Overhead-product cooler	Extract solvent stripper
Heat to reboiler q_r	Solvent to cascade S_B
Heat removal in condenser q_i	Solvent removal in separator S_D
Reflux ratio $R_D = L_a/D$	Reflux ratio $R_D = L_a/D$
Rectifying section	Extract-enriching section
Stripping section	Raffinate-stripping section

ที่มา: McCabe et al. (2001)

5. การสกัดผลิตภัณฑ์ในส่วนของการกระบวนการทางชีวเคมี

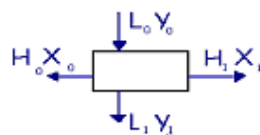
การสกัดโดยใช้ของเหลว-ของเหลว (Liquid-liquid Extraction) (Shuler and Kargi, 2002) เป็นการสกัดโดยใช้ของเหลวซึ่งเป็นการสกัดโดยทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักพื้นฐานเช่น พวเคทานอลและอะซีโตน-บิวทานอล จากงานการผลิตพื้นฐาน นอกจากนั้นยังรวมไปถึงการสกัดเอนไซม์ต่างๆ การสกัดประเภทนี้ควรที่จะไม่เกิดพิษ ราคาที่ใช้ไม่สูง และควรมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวสูงสำหรับตัวผลิตภัณฑ์

การสกัดจากสารประกอบหนึ่งจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของการละลายได้ของสารประกอบในสถานะนั้นกับอีกสถานะหนึ่ง เมื่อสารประกอบถูกทำให้เกิดขึ้นระหว่างของเหลว 2 ชนิดที่ทำการผสมกันไม่ได้ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นระหว่างทั้ง 2 สถานะสามารถเขียนได้เป็นดังสมการ หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

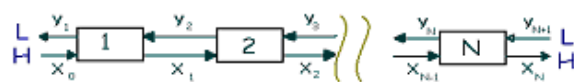
$$K_D = \frac{Y_L}{X_H} \quad (3)$$

เมื่อให้ Y_L และ X_H เป็นความเข้มข้นในส่วนของการละลายในเฟสเบาและเฟสหนัก หรือ light phase, heavy phase แต่โดยมากแต่ไม่ใช่ทุกกรณี เฟสเบามักการละลายอินทรีย์ และเฟสหนักมักเป็นน้ำหมักในรูปของเหลว

กำหนดให้ค่า K_D คงที่ และตัวทำละลายไม่เกิดการผสมเข้ากับสารอื่น หรือการไหลของมวลในเฟสเบาและหนักไม่รวมกัน ทำให้ค่า $L_0 = L_1 = L$ และ $H_0 = H_1 = H$ สามารถเขียนสมดุลมวลดังภาพที่ 13 ในการสกัดตัวถูกละลายเป็น



ก.



ข.

ภาพที่ 13 แสดงภาพของสมดุลมวล

ก. ช่วงเดียว

ข. หลายช่วงและไหลแบบสวนทาง

ที่มา: Shuler and Kargi (2002)

$$H(X_0 - X_1) = LY_1 \quad (4)$$

$$X_1 = X_0 - \frac{L}{H} Y_1 \quad (5)$$

เมื่อแทนค่าให้เขียนในรูปของ K_D จะเขียนได้เป็น

$$X_1 = X_0 - \frac{LK_D}{H} X_1 \quad (6)$$

$$\frac{X_1}{X_0} = \frac{1}{1 + (LK_D/H)} = \frac{1}{1 + E} \quad (7)$$

กำหนดให้ $E=LK_D/H$ เป็นแฟกเตอร์การสกัด

สำหรับการดำเนินการแบบไหลสวนทางดังรูปที่ ข. สามารถเขียนสมดุลในสารการสกัดของตัวถูกละลายได้เป็น

$$R = \frac{E(E^n - 1)}{E - 1} \quad (8)$$

เมื่อ R เป็นอัตราส่วนของการ Rejection หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตัวถูกละลายที่ออกจากเฟสเข้ากับเฟสหนัก และค่า n เป็นจำนวนของช่วงสมดุล (Equilibrium Stages) และสามารถเขียนสมการหาเปอร์เซ็นต์การสกัดได้เป็น

$$\%extraction = 1 - \frac{1}{R + 1} \quad (9)$$

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์

วิธีการคำนวณผลกำไรสุทธิที่สามารถหาได้จากการลงทุน สามารถหาได้หลายวิธี โดยวิธีหลักที่ใช้ในการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 วิธีได้แก่ อัตราเงินทุนหมุนเวียนกลับ (Rate of Return on Investment) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และผลกำไรสุทธิต่ำ (Net Return) (Peters et al. et al, 2003)

อัตราเงินทุนหมุนเวียนกลับ เป็นวิธีการคำนวณผลกำไรมาจากอัตราส่วนระหว่างผลกำไรต่อทุน หาได้จาก

$$IRR = \frac{N_P}{F} = \frac{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{j=1}^N (N_{P,j})}{\sum_{j=-b}^N (F_j)} \quad (10)$$

สมการแรกเป็นการคิดยอดรวมทั้งหมดของโครงการ โดยคิดอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ต่อปี โดยค่า N_p เป็นผลกำไรต่อปี และ F เป็นเงินทุนหมุนเวียนทั้งหมด สมการที่สองเป็นการคิดแยกย่อยในแต่ละปีที่ทำการลงทุน โดยให้ค่า $N_{p,j}$ เป็นปีที่ทำการคำนวณ และ $-b$ เป็นปีที่เงินลงทุนปีที่แรกที่ให้ผลกำไรสุทธิหักค่าใช้จ่ายเป็นศูนย์นับจากเวลาที่เริ่มทำโครงการ

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาที่ค่าผลตอบแทนมีค่าเท่ากับเงินลงทุน หรือให้ผลคืนทุนเมื่อปีที่เท่าไร การคำนวณจะใช้ค่าเงินลงทุนเริ่มต้นและกำไรเข้าในแต่ละปีซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$PBP = \frac{V + A_s}{A_j} \quad (11)$$

หน่วยเป็นปี โดยค่า V เป็นเงินทุนที่ใช้ในการผลิต A_s เป็นเงินทุนสำหรับค่าใช้จ่ายอื่นๆ และ A_j เป็นผลกำไรที่เข้ามาในแต่ละปี ค่า PBP ยังสามารถบอกว่าการลงทุนในแต่ละปีจะให้ค่าที่แตกต่างกัน (Ladisch, 2001)

ผลกำไรสุดท้าย เป็นค่าผลกำไรสุทธิที่ได้รับมาในปีสุดท้ายของการทำโครงการ หาได้จากส่วนย่อยต่างๆ ของ ผลกำไรสุทธิ (Peters et al., 2003)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสกัดน้ำมันพืชจากเมล็ดจำพวกเมล็ดดอกทานตะวันหรือเมล็ด เรปซิดโดยใช้วิธีเหนือจุดวิกฤติ จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันพืชจากเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดเรปซิด เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้วิธีแตกต่างกัน 5 วิธีในการวิเคราะห์ ได้แก่ DGF (German Fat Science Society) ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ วิธีต่อมาคือ SFE ASE flexIIKA200 และ Soxtherm ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมล็ดดอกทานตะวันให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และนอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันที่ได้ จะมีค่าอยู่ที่ 2.5 –3.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล วิธี flexIKA จะให้ปริมาณกรดไขมันที่มากที่สุด อาจเนื่องมาจากวิธีการอื่นมีการวนกลับมาใช้ของสารเคมีที่แ่ ทำให้มีการเจือปนของสารไดกรีเซอไรด์สูง นั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้กรดไขมันมีค่าต่ำ (Bruhl and Matthaues, 1999)

มีการศึกษาผลกระทบของความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลของตัวทำละลายต่อคุณภาพการสกัดโดยใช้รูปแบบการสกัดเป็นการสกัดแยกแบบของเหลว-ของเหลว ใช้ตัวทำละลายในการสกัดคือเฮกเซน ใช้เวลาในการสกัด 16 ชั่วโมง ผลของการสกัดเมื่อนำน้ำมันพืชไปเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดระหว่าง วิธีเหนือจุดวิกฤติ (Supercritical Fluid Extraction, SFE) ใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมงพบว่าสามารถสกัดได้ผลได้สำหรับวิธีนี้ 29 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายสกัดได้ 30.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดไขมันที่ทำการสกัดได้พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองวิธีการสกัด ดังแสดงในตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าปริมาณที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดที่เลือกใช้ (Gomez and Osaa, 2002)

ตารางที่ 8 ปริมาณกรดไขมันที่ได้เปรียบเทียบวิธีการสกัดโดยวิธีเหนือจุดวิกฤติ และใช้เฮกเซนในการสกัด

ปริมาณกรดไขมัน (%)	วิธีการสกัด	
	เหนือจุดวิกฤติ	เฮกเซน
Palmitic	13.32	13.28
Palmitoleic	0.19	0.18
Stearic	4.58	5.06
Oleic	19.78	20.77
Linoleic	39.57	39.02
γ -Linolenic	22.29	21.04
α -Linolenic	0.27	0.65

ที่มา: Gomez and Osaa (2002)

Gomez and Osaa (2002) ได้ศึกษาผลกระทบของความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลของตัวทำละลายต่อคุณภาพการสกัดโดยใช้รูปแบบการสกัดเป็นการสกัดแยกแบบของเหลว-ของเหลว ใช้ตัวทำละลายในการสกัดคือเฮกเซน ใช้เวลาในการสกัด 16 ชั่วโมง ผลของการสกัดน้ำมันเมล็ดพืช ได้แก่ เมล็ดบอร์เรด เมล็ดองุ่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดเรปซิด (Rapseed) และเมล็ดข้าวสาลี นำเมล็ดเหล่านี้เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดระหว่าง วิธีเหนือจุดวิกฤติ โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์และสกัดโดยใช้เฮกเซน พบว่าเมล็ดเรปซิดจะทำการสกัดน้ำมันได้มากที่สุดคือ 39.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรโดยวิธีสกัดเหนือจุดวิกฤติ และ 40.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรโดยใช้

เฮกเซนสก็ด เมล็ดคอรู่นจะทำการสกัดน้ำมันได้น้อยสุด คือ 6.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในวิธีแรก และ 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในวิธีที่สอง สำหรับเมล็ดทานตะวัน ได้เป็น 36 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและ 38.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันเป็นลำดับที่สอง เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าปริมาณที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดที่เลือกใช้ เนื่องจากผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก (Gomez and Osaa, 2002)

มีการสร้างแบบจำลองดังในภาพที่ 14 เป็นแบบจำลองการสกัดน้ำมันทานตะวัน โดยใช้เครื่องสกัด 3 เครื่อง โดยต่อกันในลักษณะขนาน จากนั้นน้ำมันที่ทำการสกัดได้จะถูกเข้าเครื่องควบแน่นเพื่อทำการแยกน้ำมันและตัวทำละลายออกจากกัน ซึ่งใช้เครื่องควบแน่น 3 เครื่องเช่นเดียวกัน ใช้สมการ BWR หรือ Benedixt Webb & Rubin เป็นสมการแสดงคุณสมบัติทางด้านอุณหพลศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่น แสดงสมการที่ 12 และ 13

$$P = R\rho T + \left(B_o T - A_o - \frac{C_o}{T^2} \right) + (bRT - a)\rho^3 + a\alpha\rho^6 + \left(\frac{c\rho^3}{T^2} \right) (1 + \gamma\rho^2) \exp(-\gamma\rho^2) \quad (12)$$

$$h = h_o^* + \int_{T_o}^T \frac{C_p^*}{T} dT - \Delta h^* \quad (13)$$

จากสมการค่า P คือ ความดัน (ปาสการ)

h คือเอนโทรปี (จูลต่อกิโลโมล)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (กิโลโมลต่อลูกบาศก์เมตร)

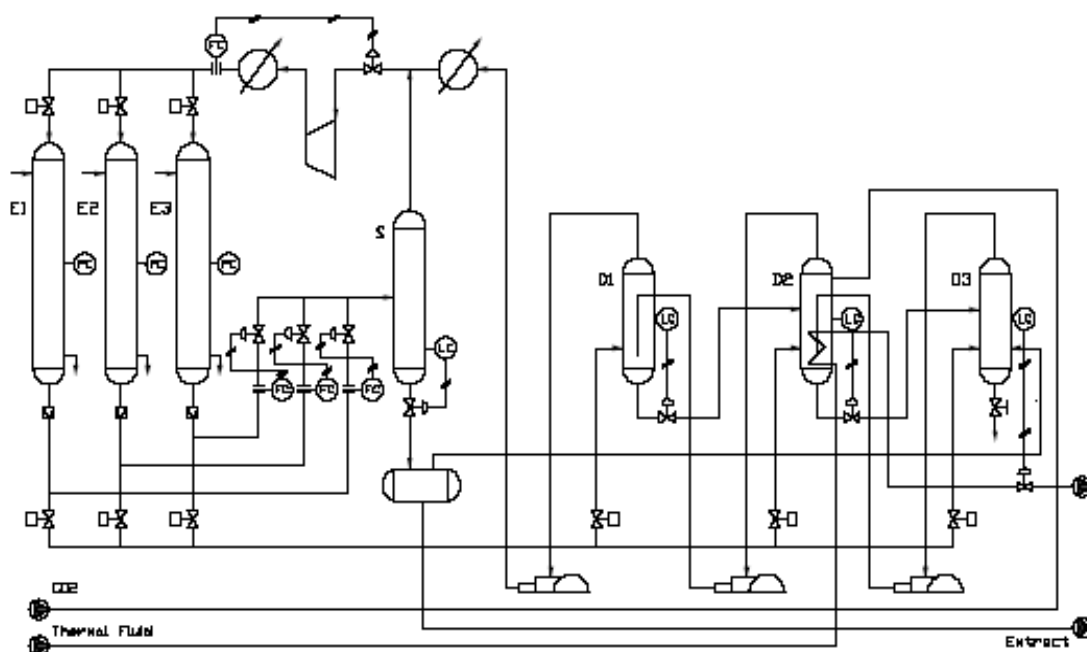
T คืออุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ (จูลเคลวินต่อกิโลกรัม)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (ปาสการลูกบาศก์เมตรต่อกิโลโมลเคลวิน)

แบบจำลองคณิตศาสตร์หาความสมดุลของมวลโดยพิจารณาที่ชั้นของตัวทำละลายในที่นี้เลือกใช้แบบจำลองของ Perrut กำหนดสภาวะการสกัดคือ 40 องศาเซลเซียส และ 280 บาร์ ค่าตัวแปรอื่นที่มีความสำคัญได้แก่ สัมประสิทธิ์การแยกตัว (K-value) คือ 0.036 อัตราส่วนก๊าซ (y) คือ 0.011 ส่วนอัตราส่วนของเหลวเป็น 0.33 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เป็น 0.492 กก./กก. กำหนดให้เกิดในสภาวะคงตัว สำหรับตัวทำละลายใช้เครื่องแยกในเอาออก อัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ออกจากเครื่องแยกสามารถนำมาคำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ ผลที่ได้แสดงถึงเวลาที่

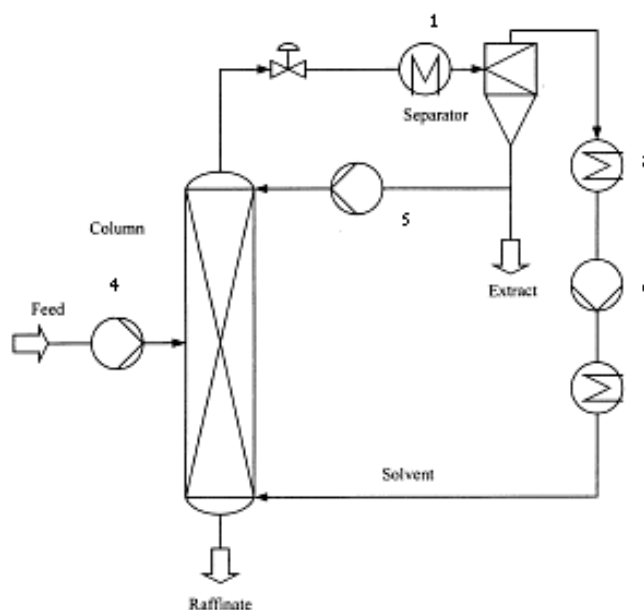
ดีที่สุดที่น้ำมันทั้งหมดสามารถละลายออกมาได้ในสถานะสมดุลคือที่ 20 นาทีหรือ 1200 วินาที (Bravis et al., 2002)



ภาพที่ 14 แบบจำลองการสกัด

ที่มา: Bravis et al. (2002)

การจำลองการสกัดกรดไขมันจากน้ำมันปลาโดยแบ่งการสกัดเป็นหมู่เลขคาร์บอนต่ำ (C_{14} - C_{18}) และเลขคาร์บอนสูง (C_{20} - C_{22}) แผนผังแบบจำลองการสกัดแสดงในรูปภาพที่ 15 ใช้อุณหภูมิในการสกัดเป็น 60 องศาเซลเซียส ความดัน 14.5 เมกะปาสกาล ได้ความเข้มข้นของหมู่เลขคาร์บอนสูงถึง 96 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนหมู่เลขคาร์บอนต่ำสกัดได้ 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีการศึกษาเฉพาะผลของอุณหภูมิโดยกำหนดความหนาแน่นเป็น 583 กก/ลบ.ม สภาพการละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มของสภาพการละลายเป็นเหตุให้การดำเนินการส่วนหอสกัดเกิดการวกกลับมาใช้เสมือนกับการลดอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อการป้อน ผลกระทบส่วนนี้จะทำให้เกิดการดำเนินการด้านเศรษฐศาสตร์ขึ้นมา การหาค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งตัว (K) หาได้จากสมการที่ 14 และค่าแฟกเตอร์การแยกตัว (α) จากสมการที่ 15



ภาพที่ 15 แผงผังการสกัดน้ำมันปลา

ที่มา: Riha and Brunner (2000)

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{y_1 x_2}{y_2 x_1} = \frac{K_1}{K_2} \quad (15)$$

สำหรับกรณีการวิจัยได้ศึกษา 2 รูปแบบ รูปแบบแรกกำหนดให้ค่า α เป็น 1.33 สำหรับรูปแบบที่ 2 สามารถหาค่า α ได้จากสมการเส้นตรงที่ 16 มีการใช้โปรแกรมแบบจำลอง ASPEN ซึ่งตัวโปรแกรมต้องการค่า K และจำนวนเพลททางทฤษฎี (NTU) จากวิธี McCabe-Thiele คำนวณได้ 38 ความสูงแต่ละเพลท (HETP) 0.3 เมตร

$$\alpha = 2.6221 - 0.0802p - 0.2636x \quad (16)$$

ผลการทดลองโดยดูผลการสกัดที่ได้จากการใช้ α ตามสมการที่ 16 และลองเปลี่ยนแปลงจำนวน NTU จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ NTU เป็น 45 จะได้ค่าการสกัดที่ดีที่สุดคือ ปริมาณของ C_{14} คือ 12.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร C_{16} 50.7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ C_{18} 32.6 เปอร์เซ็นต์โดย

ปริมาตร ในส่วนของสายสกัด และในส่วนของกราฟฟิเนตได้ C_{20} และ C_{22} เป็น 54.6 และ 42.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ ให้ผลเทียบเท่ากับการสกัดโดยใช้ค่า NTU 38 และค่า α เป็น 1.33 (Riha and Brunner, 2000)

สำหรับแบบจำลองอื่นด้านอุณหพลศาสตร์ได้นำมาใช้ในการสกัดเมล็ดปาล์มโดยใช้ NRTL (Non Random Two Liquid) และ UNIQUAC (universal quasichemical model) สำหรับการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว ใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอลกับน้ำ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและเมล็ดปาล์มเป็น 1:1 ทำการแยกกรดไขมันตั้งแต่เลขคาร์บอน 12-20 ผลของการทดลองจะสามารถหาค่า K สำหรับกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ช่วง $0.79 = kC_{20:0} < kC_{18:0} < kC_{16:0} < kC_{12:0} = 1.16$ วิเคราะห์ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของสายโซ่คาร์บอนจะลดค่า K สำหรับผลกระทบของพันธะคู่ที่มี ถ้ามีค่า K มากขึ้นแสดงได้จาก กรดสเตียริก ($kC_{18:0} = 0.91$), กรดโอเลอิก ($kC_{18:1} = 1.19$), และกรดไลโนโอเลอิก ($kC_{18:2} = 1.35$) สำหรับกรดกรดปาล์มเมติกได้ค่าเป็น 1.05 (Goncalves and Meirelles, 2004)

แบบจำลองที่มีเครื่องสกัด Rotocell กำหนดให้รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทาง หรือ CCC โดยมีพื้นฐานอยู่ที่ต้องเกิดความสัมพันธ์ระหว่างชั้นของ bulk และชั้นรูพรุน ความเข้มข้นเริ่มเกิดเป็นรูปแบบเมื่อเกิดส่วนการไหลซึมผ่านรูพรุนเข้าไป ภายในเครื่องต้องมีการป้องกันการแพร่กระจายของน้ำมัน อาจเกิดสถานะไม่สมดุลขึ้นระหว่างชั้น ส่วนประกอบของเครื่องได้แก่ 1. ทางเข้าของสารสกัดในส่วนการซั้ง 2. ทางเข้าของของสารนำพา 3. ทางเข้าของวัตถุดิบ 4. ท่อทางเข้าตัวทำละลาย 5. ทางออกของสารสกัดที่เข้มข้น 6. สารนำพาออก 7. สารนำพาที่มีการซึมผ่าน 8. สารนำพาที่มีการผสมกับสารตั้งต้นกับสารสกัดเข้มข้น 9. สารสกัดที่เหลือ 10. บั้ม 11. ทางออกของส่วนเชื้อ 12. ส่วนระบายน้ำ 13. การไหลของสารสกัดในสารนำพา 14. การไหลของสารสกัดหลังจากมีการระบายน้ำ รวมไปถึงส่วน A B C และ D ซึ่งเป็นการแพร่ของสารสกัด (Thomas et al, 2005)

มีวิธีการสกัดมากมายสำหรับสกัดน้ำมันออกมาจากเมล็ดสบู่ดำ พบว่าเมื่อทำการสกัดโดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย จะสกัดน้ำมันออกมาได้เพียง 38 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณน้ำมันทั้งหมด เมื่อมีการนำของเหลวที่มีเอนไซม์เป็นตัวสนับสนุน จะทำให้ไม่เกิดสารพิษออกมาจากสกัด ซึ่งสามารถนำของเหลวชนิดนี้มาช่วยในการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น เฮกเซน (98 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จะได้ผลได้มากขึ้นถึง 86 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเลือกใช้เอนไซม์เป็นประเภทอัลคาลีนโปรตีเอส (Alkaline Protease) จากผลการสกัดโดยทั่วไปที่อยู่ 73 เปอร์เซ็นต์ (Gubitz et al, 1998)

เมื่อนำเอทานอลร้อยละ 95 (โดยปริมาตร) มาใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย และวัตถุดิบอื่น โดยใช้อุณหภูมิปานกลาง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลลดลง จะทำให้มีเซลล์ที่ได้มีทั้ง Glycerides, Phosphatides, carbohydrate และ non-oil ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการ อย่างไรก็ตามการใช้เอทานอลอาจช่วยลดค่าใช้จ่ายบางส่วนได้ เพราะสามารถแยกเอทานอลบางส่วนออกจากน้ำมันได้โดยการทำให้เย็นลง ในโรงงานสกัดเมล็ดถั่วเหลืองบางแห่งใช้เอทานอล และไตรคอลโลเอสเทอร์รีนผสมกันเพื่อลดกลิ่นของถั่วเหลืองในน้ำมันให้จางลง และป้องกันอุบัติเหตุจากไฟ เพราะไตรคอลโลเอสเทอร์รีนติดไฟยาก แต่มีข้อเสียเมื่อทำปฏิกิริยากับไซค์เทอร์รีนในถั่วเหลือง จะทำให้เกิดสารเอสโคคอลโดไวนิลไซค์เทอร์รีน ซึ่งเมื่อนำกากไปเลี้ยงสัตว์ สามารถทำให้เกิดโรคได้ (สุภาภรณ์, 2540)

เมื่อศึกษาผลกระทบต่อการสกัดน้ำมันจากผลแอปพิคอตโดยใช้วิธีการสกัดเหนือจุดวิกฤติ และใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวแปรที่ทำการศึกษามีขนาดอนุภาค อัตราไหลของตัวทำละลาย ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของตัวทำละลาย โดยสร้างแบบจำลองของการถ่ายเทมวล โดยกำหนดให้ผลแอปพิคอตมีทั้งในรูปแบบที่ปอกเปลือกแล้ว และยังมีเปลือกอยู่ การสกัดน้ำมันจะเป็นไปได้ดีเมื่อขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.425 มิลลิเมตร และเวลาในการสกัดเร็ว เนื่องจากสิ่งที่ควบคุมการสกัดคือการแพร่ หากใช้เวลานานจะมีส่วนที่ไม่ต้องการปนมากับน้ำมัน อัตราการไหลของตัวทำละลายที่ดีที่สุดอยู่ที่ 3 กรัมต่อนาที ความดัน 450 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของตัวทำละลายเป็น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และการสกัดเมื่อมีการกระเทาะเปลือกออกจะทำให้การสกัดเป็นไปได้ดีกว่า และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในส่วนวิกฤตของเหลวหรือ k_{La} จะมีค่าดีที่สุดที่ได้ที่สภาวะดังกล่าวคือ 3.72 ต่อนาที และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในส่วนวิกฤตของแข็งหรือ k_{sa} ที่ 0.0004 ต่อนาที และสามารถสกัดได้ 42.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักผลทั้งหมด [Ozkal, Yener and Bayindirli, 2005]