

บทที่ 1

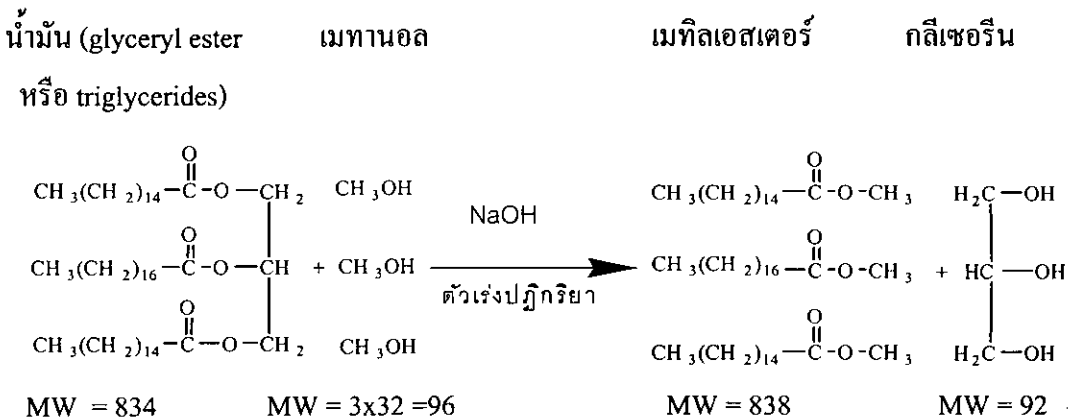
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม โดยผลิตได้จากพืชที่ให้น้ำมัน (ถั่วเหลือง ข้าวโพด ทานตะวัน ปาล์ม เป็นต้น) ไขมันจากสัตว์ น้ำมันที่ใช้ในการปรุงอาหาร และน้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้ว ในทางเคมี เมทิลเอสเทอร์ คือ ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ของ fatty acid ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา transesterification ระหว่างน้ำมันจากพืช น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารกับเมทานอลโดยใช้สารเคมีบางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเทอร์ และกลีเซอริน

กลีเซอรินเป็นชื่อเรียกทางการค้าของ 1,2,3-trihydroxypropane เนื่องจากในโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนทำให้กลีเซอรินเป็นของเหลวหนืด กลีเซอรินบริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และโครงสร้างที่คล้ายน้ำตาลจึงทำให้กลีเซอรินมีรสหวาน โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆด้าน เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อใช้เป็นสารกันบูด หรืออาจใช้แทนน้ำตาลเพื่อเพิ่มความหวาน อุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้ในทางการแพทย์ เป็นต้น (พนม อนุมทรัพย์, 2544)

กลีเซอรินสามารถเตรียมได้จากหลายวิธี คือ สังเคราะห์จากโพรพิลีน การหมักจากน้ำตาล และเป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยเมทานอล ดังสมการ



กลีเซอรินซึ่งเป็นผลพลอยได้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะถูกเรียกว่า วัตถุดิบกลีเซอริน (raw glycerine) ซึ่งจะประกอบไปด้วยกลีเซอริน 58-82% โซเดียมคลอไรด์ 6-8% เมทานอล 1-2% น้ำ 10-12% สารประกอบอินทรีย์ 1-2% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมทิลเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระ (Cvengros และ Povazance, 1996) ซึ่งสิ่งเจือปนนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของน้ำมัน ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาและการล้างในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์นั้น เป็นกลีเซอรินที่ยังไม่บริสุทธิ์ การทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์ต้องนำมาผ่านกระบวนการแยกสารอินทรีย์ (organic substance) และสิ่งเจือปนอื่นๆออก จากนั้นจึงเข้ากระบวนการกลั่นเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ และสุดท้ายคือการปรับปรุงสีของตัวผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะช่วยให้การผลิตเมทิลเอสเทอร์มีความคุ้มทุนเพิ่มขึ้น จากตาราง 1.1 พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2546 มีปริมาณการนำเข้าของกลุ่มผลิตภัณฑ์กลีเซอรินอยู่ในปริมาณที่สูง ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะช่วยลดปริมาณการนำเข้าและเพิ่มมูลค่าการส่งออกของกลุ่มผลิตภัณฑ์กลีเซอรินได้อีกด้วย

ตาราง 1.1 ปริมาณการนำเข้าและส่งออกของกลุ่มผลิตภัณฑ์กลีเซอรินของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2544 – 2546

ปี พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า (บาท)	ปริมาณการส่งออก (บาท)
2544	40,428,321	11,026,477
2545	7,631,799	17,793,083
2546	6,355,767	13,581,939

ที่มา : <http://www.customs.go.th>

1.2 ตรวจเอกสาร

1.2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลในคำจำกัดความของสากล คือ ทรัพยากรหมุนเวียนธรรมชาติ (renewable resource, natural) เช่นน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ไขมัน) ไรโซเคิลจากการปรุงอาหาร ถูกนำมาแปรรูปเชิงเคมี เช่นทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (นิยมใช้เมทิลแอลกอฮอล์หรือเอทิลแอลกอฮอล์) เป็นเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้สะอาด

ไบโอดีเซลในความหมายทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (พนม ถนอมทรัพย์, 2544)

1. น้ำมันพืชหรือสัตว์ ไบโอดีเซลชนิดนี้ได้จากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่ว น้ำมันหมู ซึ่งสามารถใช้ได้เดียวกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆหรือเปลี่ยนแปลงสมบัติใดๆ น้ำมันพืชเหล่านี้มีข้อจำกัดในการใช้บ้าง เพราะสมบัติต่างกับน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก เช่น การเผาไหม้ไม่บริบูรณ์ เครื่องยนต์สะดุด มีตะกรัน ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้การสตาร์ทไม่ค่อยดี แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก และพอใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรืออะไรก็ได้เพื่อให้ได้สมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือ ปาล์มดีเซล (palm-diesel) ซึ่งเป็นการผสมกันของน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลเป็นต้น ที่ต้องผสมน้ำมันปิโตรเลียมเนื่องจากจะช่วยลดปัญหาความหนืด แต่ยังมีปัญหาช่วงอากาศเย็น เกิดการอุดตันของไส้กรอง โดยสรุป ไบโอดีเซลแบบนี้มีสมบัติเหมือนน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินเรียบ ไม่มีปัญหาเครื่องยนต์ สตาร์ทดีได้ง่าย

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์ ไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์ต้องผ่านกระบวนการแปรสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (transesterification) คือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเอสเตอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น ถ้าเป็นเมทิลแอลกอฮอล์ ก็จะเรียกว่า เมทิลเอสเตอร์

ข้อดีของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (Nelson et al., 1996)

- มีความปลอดภัยในการจัดเก็บเพราะไม่มีพิษและสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้
- ผลิตได้จากวัตถุดิบที่ได้จากการเกษตร หรือน้ำมันที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรม
- ช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อม เพราะแก๊สเสียที่ได้จากการเผาไหม้เครื่องยนต์ซึ่งใช้น้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพ จะมีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เหม่า หรือองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนซึ่งถูกเผาไหม้ไม่บริบูรณ์ ในปริมาณที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม

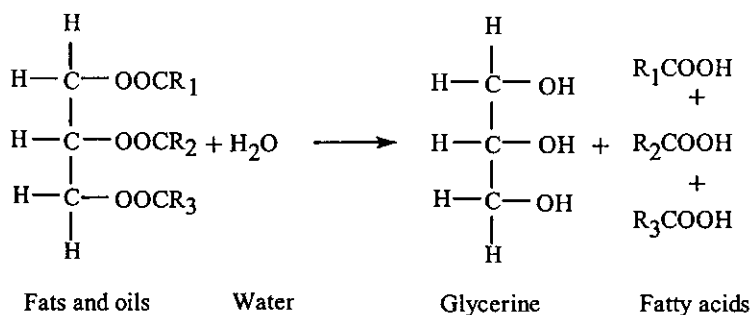
1.2.2 กลีเซอริน

กลีเซอริน หมายถึง สารจำพวก polyhydric alcohol ที่มีสูตร $C_3H_8O_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 -propanetriol หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน (glycerol) ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1779 โดยนักเคมีชาวสวีเดนชื่อ K.W. Scheele ในขณะที่ทำการสกัดน้ำมันมะกอก ที่มีออกไซด์ของตะกั่วผสมอยู่ สารที่ค้นพบนี้มีความหวานตามธรรมชาติ แต่มีสมบัติที่แตกต่างจากน้ำตาล และน้ำผึ้ง ต่อมา

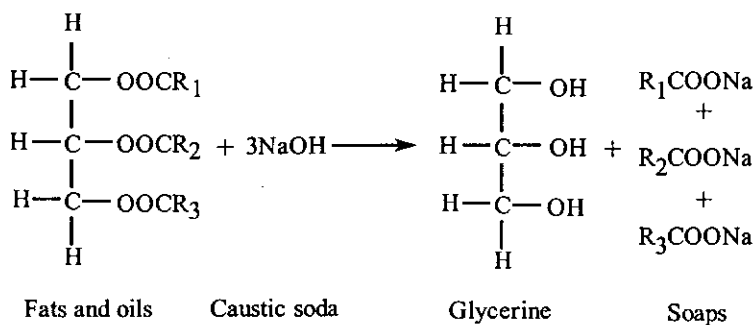
การค้นพบว่าสารดังกล่าว สามารถสกัดได้จากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ในรูปของเอสเทอร์ ที่เรียกกันทั่วไปว่า กลีเซอไรด์ (glyceride)

แหล่งที่มาของกลีเซอริน (Jangermann and Sonntag, 1991)

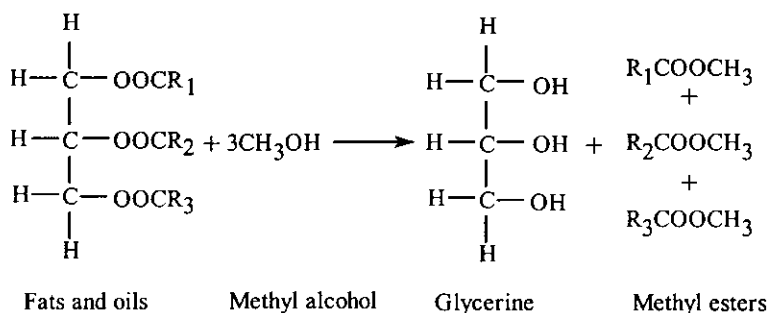
1. กระบวนการไฮโดรไลซิส จากกรดไขมัน



2. กระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน จากการผลิตสบู่



3. กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์



กลีเซอรินบริสุทธิ์เป็นของเหลว มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความข้นหนืด มีจุดหลอมละลาย (melting point) ที่ 17.8 °C ค่าจุดเดือดเท่ากับ 290 °C สามารถติดไฟได้ มีอุณหภูมิและความดันวิกฤตที่ 492.2 °C และ 42.5 ความดันบรรยากาศตามลำดับ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.261 g/cm³ และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 92.09 กลีเซอรินเป็นสารประเภท Trihydric alcohol เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้ละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ และละลายได้บ้างในตัวทำละลายชนิดอื่นยกเว้นพวกไฮโดรคาร์บอน สามารถทำปฏิกิริยาเคมีและให้สารอนุพันธ์ (derivatives) หลากหลายชนิด ดังนั้นกลีเซอรินจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท สำหรับสมบัติของกลีเซอรินที่สำคัญมีดังนี้ (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546)

1. กลีเซอริน ไม่สามารถถูก oxidize จึงมีความคงตัวสูง (high stability)
2. ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สี และกลิ่นรส เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน
3. กลีเซอรินละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม หลายประเภท
4. สามารถเกิดสภาวะ supercool ได้และทนต่อสภาวะการแช่เยือกแข็งและการละลาย
5. มีความข้นหนืด จึงสามารถนำไปใช้เป็นสาร thickening หรือสารเพิ่ม body สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและที่มีลักษณะเป็นเจล
6. มีรสชาติดหวานเล็กน้อย โดยค่าความหวานประมาณร้อยละ 55-75 ของระดับความหวานน้ำตาลซูโครส (ขึ้นกับระดับความเข้มข้นที่ใช้)
7. ไม่มีกลิ่นรุนแรงจึงสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้ดีโดยไม่มีผลต่อกลิ่นรส
8. กลีเซอรินนอกจากเป็นสาร humectant แล้วยังมีสมบัติเป็นตัว plasticizer จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล มีความหยุ่นตัวดี (flexibility) มีลักษณะเป็น creaminess และยังช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์อีกด้วย
9. มีความดันไอต่ำและไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ เป็นสารไม่มีพิษ (nontoxic) ต่อระบบการย่อยอาหาร ผิวหนังและเนื้อเยื่ออื่นๆ
10. ไม่มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม
11. กลีเซอรินได้รับอนุญาตจาก GRAS (generally recognized as safe) จากสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีสมบัติหลากหลาย

1.2.2.1 บทบาทของกลีเซอรินในอุตสาหกรรม

ก. ผลิตภัณฑ์ดูแลรักษาช่องปาก (Oral-care products)

กลีเซอรินถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ยาสีฟันและในน้ำยาบ้วนปาก เพราะมีสมบัติในการเก็บรักษาความชื้นได้ดี มีการระเหยต่ำ ทำให้ยาสีฟันไม่แข็งตัวเมื่อบรรจุอยู่ในหลอด นอกจากนี้ ยังให้รสหวาน ให้ความรู้สึกที่สะอาดของช่องปาก และเป็นตัวกลางสำหรับส่วนผสมชนิดอื่นๆที่เติมลงในผลิตภัณฑ์

ข.ผลิตภัณฑ์อาหาร (Foods products)

มีการนำกลีเซอรินมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท ในรูปวัตถุเจือปนในอาหาร (food additives) ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มโดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น

- ผลิตภัณฑ์เค้ก จะใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายและตัวดูดความชื้น การเติมกลีเซอรินจะช่วยให้เค้กคงความชุ่มชื้นและยังช่วยลดปัญหาการเกิดครา
- ผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งและลูกอม กลีเซอรินจะทำหน้าที่ควบคุมการระเหยและการตกผลึกเป็นเกร็ด (grainings) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม
- ในการผลิตไอศกรีมเจลลี่ ไอซิ่งเค้ก จะเติมกลีเซอรินในสูตรของส่วนผสม เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น
- ผลิตภัณฑ์มะพร้าวคั่วแห้ง นิยมเติมกลีเซอรินเพื่อให้ชั้นมะพร้าวคงความชื้นไว้ได้แม้ว่าจะเก็บเป็นเวลานาน
- ผลิตภัณฑ์อาหารหวานชนิดต่างๆ มีการใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายส่วนผสมอาหารและเป็น carrier ของสารให้กลิ่นรส
- ผลิตภัณฑ์กวนเดี่ยวพร้อมบริโภค ที่สามารถเก็บได้ 2-3 เดือน มีการใช้กลีเซอรินผสมในสารละลายแช่เส้นกวนเดี่ยว ในขั้นตอนการเตรียมเส้นก่อนการบรรจุเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์
- ผลิตภัณฑ์เนยถั่ว จะมีกลีเซอรินเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยทำหน้าที่ป้องกันการแยกชั้นของไขมัน
- ผลิตภัณฑ์ไข่แช่เยือกแข็ง พบว่า การเติมกลีเซอรินร้อยละ 5 จะช่วยให้ไข่แช่เยือกแข็งมีสมบัติดีขึ้น
- ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำหรือปราศจากไขมัน กลีเซอรินที่เติมจะมีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและยังช่วยลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, A_w) ของผลิตภัณฑ์ด้วย

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกลีเซอริน เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และ ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) นิยมนำไปใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความคงตัว (stabilizer)

ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆเช่น มาการีน น้ำสลัด อาหารหวานแช่เยือกแข็ง ซอสปรุงแต่งกลิ่นรส และ ลูกอม ซึ่งอิมัลซิไฟเออร์นี้ จะช่วยให้การกระจายตัวของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังลดการ ตกผลึก จึงช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส ลดการเหนียวติดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต และการแปรรูป ส่วนกลีเซอรินเอสเตอร์ (glycerol ester) นั้นนิยมนำมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ อาหาร ชนิดที่ต้องการให้มีปริมาณ ไขมันต่ำ เช่น ในคุกกี้ไขมันต่ำ เป็นต้น

ค. ผลิตภัณฑ์ยาสูบ (Tobacco products)

กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยาสูบหลากหลายชนิด โดยการพ่นลงบน ใบยาสูบ เพื่อทำหน้าที่เป็นสารเก็บรักษาความชื้นและยังช่วยให้ใบยาสูบมีความนุ่มและดูใหม่ นอกจากนี้ สารที่เป็นอนุพันธ์ของกลีเซอริน ยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของกันกรองยาสูบด้วย และมี ศักยภาพในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ ชนิด smokeless tobacco

ง. ผลิตภัณฑ์น้ำยาทาพื้น (Urethane products) สีทาพื้น กาว และสารหล่อลื่น

ผลิตภัณฑ์ยูรีเทน โฟม ที่มีส่วนผสมของกลีเซอรินจะมีความหยุ่นตัว (flexible) และ ยังเก็บรักษาได้แม้ในสถานะที่มีความชื้นสูงการเติมกลีเซอรินในส่วนผสมของกาวจะช่วยให้กาวไม่ แห้งเร็วเกินไป ช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น ในสีทาพื้น กลีเซอรินจะช่วยให้คุณภาพของสารเคลือบ ผิวที่อยู่ในส่วนผสม ติดกับพื้นผิวที่ต้องการทำได้ดียิ่งขึ้น

จ. ผลิตภัณฑ์ยา (Prescription drugs)

กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ยาอย่างแพร่หลาย โดยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม body รักษาความชื้นทั้งในยาผง และยาที่เป็นน้ำเชื่อม และใช้เป็นตัวทำละลายสารที่เป็นองค์ประกอบ ต่างๆสำหรับยาเม็ดประเภทแคปซูล (capsule) กลีเซอรินที่เคลือบบนเม็ดยาจะทำหน้าที่เป็น plasticizer ส่วนยาแก้ไขและยากลั้วคอ มักจะผสมกลีเซอรินเพื่อเพิ่มความหวานและความเรียบเนียน (smoothness)

ฉ. ผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอาง (Cosmetics)

มีการนำกลีเซอรินมาใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางชนิดต่างๆ เช่น ครีมบำรุง ผิว ครีม โคนหนวด ยาระงับกลิ่นกาย เนื่องจากไม่มีพิษและไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ นอกจากนี้ยังช่วย รักษาความชุ่มชื้น และยังลดการเจริญเติบโตและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อีกด้วย ส่วนกลีเซอรินเอสเตอร์นิยมนำมาเป็น อิมัลซิไฟเออร์ เช่น ในครีม และใช้ทดแทน wax ในผลิต ภัณฑ์ลิปสติก

ช. บรรจุภัณฑ์ (Packaging)

กลีเซอรินสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ของอาหาร เช่น เซลโลเฟน (cellophane) และกล่องสำหรับบรรจุอาหาร เพื่อช่วยให้การยึดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ดีขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์กลีเซอรินในด้านอื่นๆ เช่น การใช้กลีเซอรินในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ หมึกพิมพ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และใช้เป็นส่วนผสมในสารทำความสะอาด กลีเซอรินยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา (sport drink) ได้อีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดการสูญเสียน้ำของร่างกายและช่วยให้สามารถออกกำลังกายได้นานขึ้นประมาณร้อยละ 20 แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอรินยังมีข้อจำกัดสำหรับผู้ที่ที่เป็นโรคเบาหวาน สตรีมีครรภ์ รวมทั้งผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับ ไต หัวใจ และความดันโลหิต

1.2.2.2 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอริน (Jangermann and Sonntag, 1991)

กลีเซอรินที่มาจากกระบวนการแยกของไขมันและน้ำมันจะประกอบไปด้วยสารปนเปื้อนซึ่งอาจจะเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งการทำให้กลีเซอรินที่มาจากกระบวนการผลิตให้มีความบริสุทธิ์จะขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ

- 1) ชนิดของกระบวนการแยกของไขมันและน้ำมันออกจากกลีเซอริน
- 2) ชนิดของไขมันและน้ำมัน
- 3) ชนิดของกระบวนการที่จะนำมาใช้ในการทำให้กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์

กลีเซอรินซึ่งเป็นผลผลิตพลอยจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น จะประกอบไปด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นจะเป็นพวกไขมันและน้ำมัน โดยกระบวนการทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์จะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ

ก. กระบวนการทางเคมี

การบำบัดทางเคมีถูกใช้เพื่อกำจัดเกลือและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้างจากกระบวนการ โดยการบำบัดจะเป็นการแยกสารอินทรีย์ (สบู่ กรดไขมันและเมทิลเอสเตอร์) ที่ไม่ละลายออกจากกลีเซอรินโดยการเติมกรด จากนั้นจึงทำให้เป็นกลางโดยโซดาไฟ นอกจากนั้นยังมีการนำกระบวนการ ion-exchange มาใช้เพื่อกำจัดสบู่และเถ้าที่ตกค้างในกลีเซอริน และมีการนำกระบวนการฟอก (bleaching) โดยถ่านกัมมันต์มาใช้เพื่อปรับปรุงสีของกลีเซอรินและช่วยกำจัดไขมันรวมไปถึงกรดที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ที่ตกค้างในกลีเซอริน

ข. กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการบำบัดทางกายภาพสำหรับกลีเซอรินมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดไขมันและน้ำโดยมีข้อที่ต้องคำนึงถึงคือ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ กลีเซอรินจะหนืด และที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 °C กลีเซอรินจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน

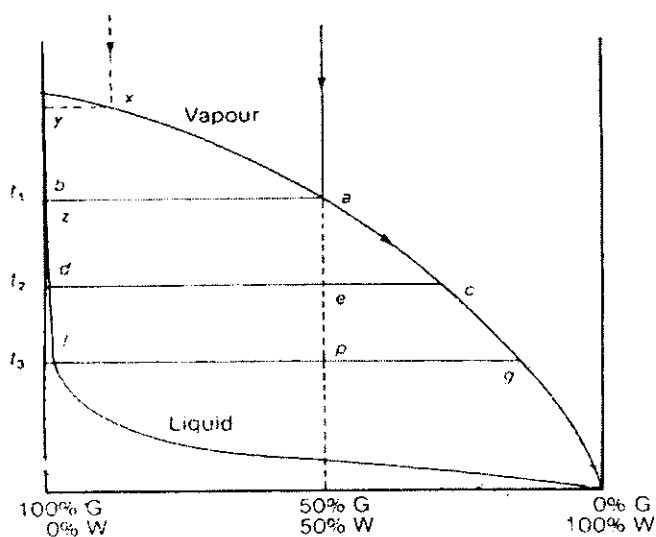
จากตาราง 1.2 พบว่าเมื่อต้องการให้กลีเซอรินกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 °C จะต้องดำเนินการภายใต้ความดันต่ำกว่า 50 mmHg ดังนั้นกระบวนการกลั่นในสภาวะสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากสิ่งปนเปื้อน โดยชนิดของหม้อกลั่นที่นิยมใช้มีทั้ง bubble-cap,

sieve tray และ packed column โดยกระบวนการกลั่นเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการแยก กลีเซอรินจาก น้ำ ไขมันและน้ำมัน เนื่องจากสิ่งปนเปื้อน (เกลือ และ สบู่) เป็นสารที่ระเหยยากกว่า กลีเซอริน ภาพประกอบ 1.1 และ ตาราง 1.3 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันของสมบัติการระเหย ของกลีเซอรินและน้ำอย่างชัดเจน จึงเป็นการง่ายในการแยกกลีเซอรินและน้ำออกจากกันโดย กระบวนการกลั่น

ตาราง 1.2 จุดเดือดของกลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ความดันต่างๆ

mmHg	°C
760	290
500	274
100	222
50	204
20	181
10	166
6	156
4	148

ที่มา : Jangermann and Sonntag, 1991



ภาพประกอบ 1.1 ข้อมูลสมดุลของเหลว-ไอ ของกลีเซอรินและน้ำ ที่ความดัน 1 atm

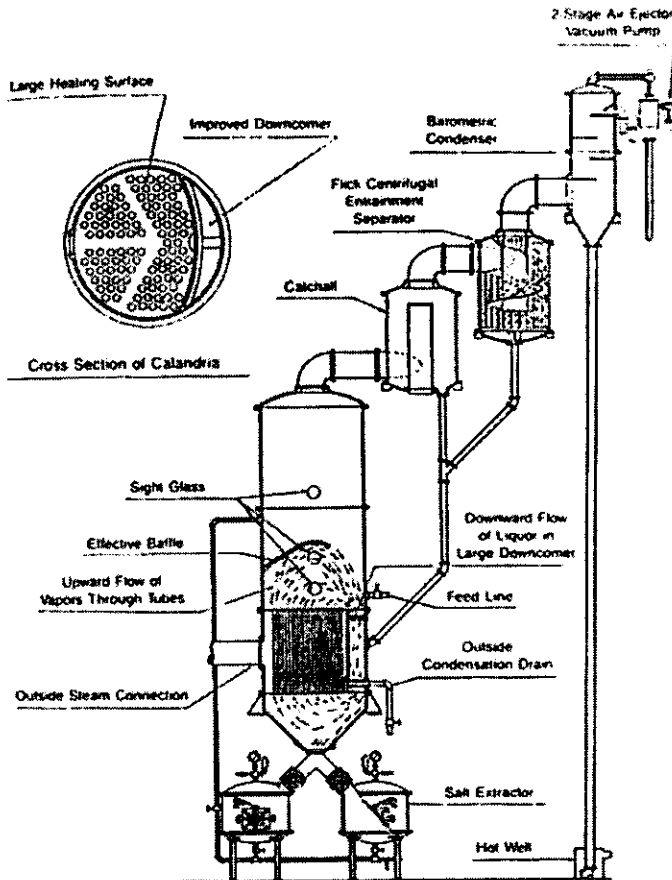
ที่มา : Edgar Woollatt , 1985

ตาราง 1.3 สมบัติการระเหยของสารละลายกลีเซอริน-น้ำ

Parts by Weight of Glycerine in 100 Parts of Aqueous Solution	Boiling Point at 760 mm Hg (°C)	Vapor Pressure of Glycerine Solution at 100 °C (mmHg)
100	290.0	64
99	239.0	87
98	208.0	107
97	188.0	126
96	175.0	144
95	164.0	162
94	156.0	180
93	150.0	198
92	145.0	215
91	141.0	231
90	138.0	247
89	135.0	263
88	132.5	279
87	130.5	295
86	129.0	311
85	127.5	326
84	126.0	340
83	124.5	355
82	123.0	370
81	122.0	384
80	121.0	396
79	120.0	408
78	119.0	419
77	118.2	430
76	117.4	440
75	116.7	450
74	116.0	460
73	115.4	470
72	114.8	480
71	114.2	489
70	113.6	496
65	111.3	553
60	109.0	565
55	107.5	593
50	106.0	618
45	105.0	639
40	104.0	657
35	103.4	675
30	102.8	690
25	102.3	704
20	101.8	717
10	100.9	740
0	100.0	760

ที่มา : <http://www.dow.com/glycerine/resources/physicalprop.htm>

กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นระบบสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องควบคุมสารป้อนให้มีปริมาณน้ำ 10-20% (Edgar Woollatt, 1985) ภาพประกอบ 1.2 แสดงเครื่องระเหยแบบเดี่ยว (Single-effect Evaporator) ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถกำจัดเกลือที่เกิดขึ้นในเครื่องระเหย

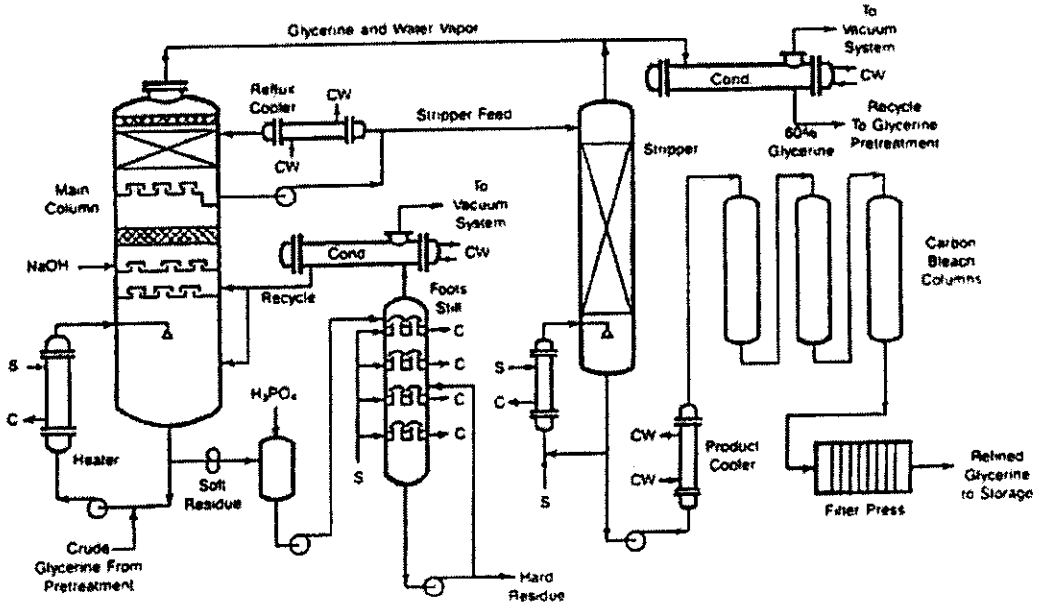


ภาพประกอบ 1.2 Wurster and Sanger single- effect glycerine evaporator

ที่มา : Jangermann, E., 1991.

โดยทั่วไปการกลั่นจะดำเนินการที่ความดัน 10-30 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิหม้อกลั่น 160 - 200 °C โดยสามารถแยกสิ่งปนเปื้อนออกได้เป็นส่วนที่ตกค้างในหม้อกลั่น วัสดุที่นำมาใช้สร้างหม้อกลั่นต้องทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ภาพประกอบ 1.3 แสดงกระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ กระบวนการกลั่นแยกที่ดีจะต้องดำเนินการกระบวนการแบบต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

จ่ายในการดำเนินการ รวมทั้งมีการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า และให้กำลังการผลิตที่สูง แต่มีข้อเสียก็คือใช้เงินลงทุนสูง



ภาพประกอบ 1.3 กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ (S = steam; C = condensate; CW = cooling water) ที่มา: Jangermann, E., 1991.

1.2.3 การกลั่น

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกและทำให้ได้สารที่บริสุทธิ์ การแยกด้วยวิธีการนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ กระบวนการแยกสารผสมของเหลวไปเป็นส่วนประกอบแต่ละส่วนจะเป็นกระบวนการหลักอย่างหนึ่งที่มีใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ องค์ประกอบในเฟสไอที่ได้จะแตกต่างจากเฟสของเหลว ความแตกต่างขององค์ประกอบในเฟสทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นที่สมดุล (equilibrium) ตามหลักเกณฑ์ของกระบวนการกลั่น จากเหตุนี้จึงต้องใช้ความรู้ในเรื่องสมดุลไอ-ของเหลวในการวิเคราะห์ถึงปัญหาของการกลั่น และโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการกลั่นจะมีความสำคัญคือการจัดให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างกระแสไอและของเหลวเพื่อการเข้าใกล้สถานะสมดุลให้มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ จะไม่สามารถทำให้เกิดสถานะที่สมดุลได้อย่างสมบูรณ์

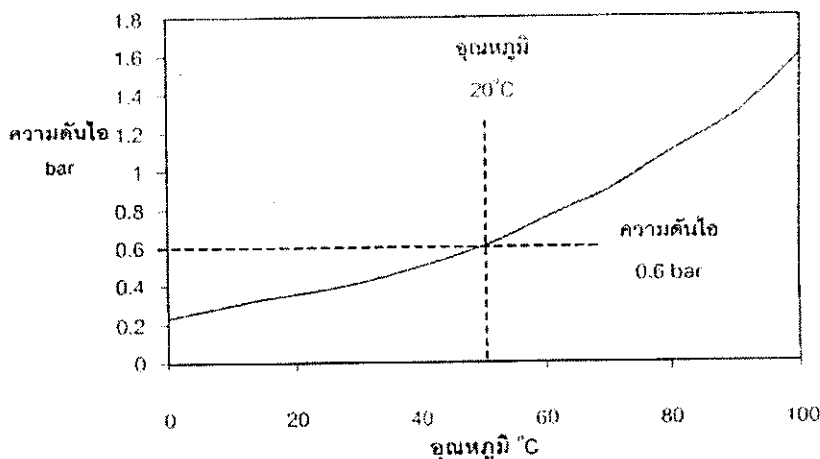
กระบวนการกลั่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีอยู่หลายขนาดด้วยกัน ตั้งแต่กระบวนการกลั่นขนาดเล็กในห้องทดลองหรือในโรงงานจำลอง (pilot plant) ซึ่งมีการป้อนสารในปริมาณน้อย

จนกระทั่งถึงการกลั่นขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่มีกำลังการผลิตสูง กระบวนการกลั่นแยกที่ดีจะต้องดำเนินกระบวนการแบบต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวมทั้งมีการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า และให้กำลังการผลิตที่สูง

1.2.3.1. สมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการกลั่น

เพื่อทำความเข้าใจในเรื่องการกลั่นจำเป็นต้องมีความรู้ที่เกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของสารที่จะนำมากลั่น เช่น ความดันไอ (vapor pressure) สมดุลไอ-ของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ และสภาพระเหย (volatility)

ความดันไอ ในถังปัดต่างๆจะมีไออยู่เหนือของเหลวเสมอ ไอนี้ประกอบไปด้วยโมเลกุลของของเหลวซึ่งหนีหลุดรอดออกมาจากของเหลว โมเลกุลจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและชนกับผนังของถังทำให้มีความดันเกิดขึ้นที่ผนังของถังนี้ ซึ่งที่สถานะสมดุลความดันนี้ก็คือ ความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิขณะนั้นนั่นเอง ค่าความดันไอนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ชนิดของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบในของเหลว จำนวนของโมเลกุลในเฟสไอแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในเฟสของเหลว และอุณหภูมิของเหลว



ภาพประกอบ 1.4 กราฟความดันไอ

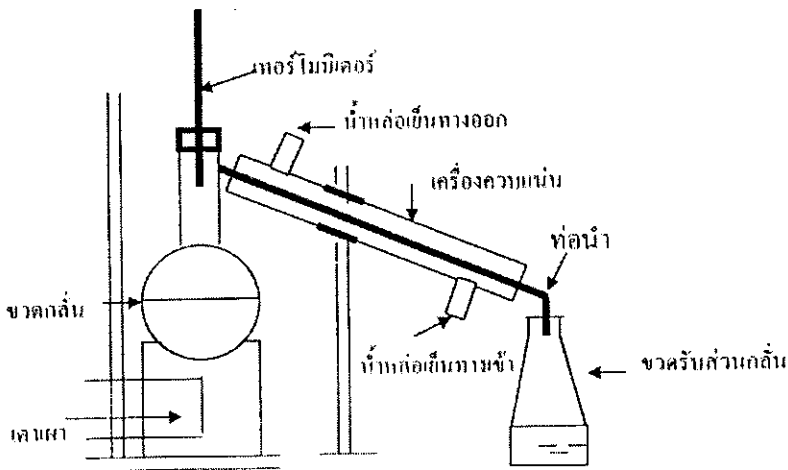
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ ถ้าให้ความร้อนแก่ของเหลวที่อยู่ในถังเก็บ จะทำให้อุณหภูมิจากของเหลวเพิ่มสูงขึ้นและเกิดการระเหยกลายเป็นไอได้มากขึ้น จะส่งผลให้ความดันส่วนของไอที่อยู่เหนือของเหลวมีค่าสูงขึ้นจนระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ และจะมีค่าความดันไอค่าใหม่ของของเหลวที่สูงกว่าค่าเดิมเกิดขึ้น ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าค่าความดันไอนี้จะแปรผันตามค่าอุณหภูมิของของเหลว ดังมีตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอของของเหลวชนิดหนึ่งที่สามารถแสดงได้ดังกราฟในภาพประกอบ 1.4 ซึ่งจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของของเหลวสูงขึ้นความดันไอของของเหลวจะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

สมดุลไอ-ของเหลว

สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวและไอ หมายถึง ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจำนวนโมเลกุลที่เกิดการระเหยจากเฟสของเหลวเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เกิดการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวใหม่โดยอุณหภูมิจุดนี้จะต้องคงที่ เราจะเรียกไอที่อยู่ในสถานะเช่นนี้ว่าไออิ่มตัวและความดันที่วัดได้ในขณะนี้จะเรียกว่าความดันไอ (vapor pressure)

สภาพระเหย (volatility)

จำนวนโมเลกุลที่ระเหยจากพื้นผิวของสารใดๆที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น สำหรับโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนโซ่ยาวจะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าโมเลกุลที่คาร์บอนโซ่สั้น ตัวอย่างเช่น เพนเทน (C_5H_{12}) จะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าอีเทน (C_2H_6) ดังนั้นเพนเทนจึงมีจุดเดือดที่สูงกว่าอีเทน ส่วนของเหลวซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลโซ่ตรง (straight chain) จะมีสภาพระเหยน้อยกว่าของเหลวที่มีส่วนประกอบเป็นโมเลกุลโซ่กิ่ง (side chain) จึงทำให้โมเลกุลโซ่ตรงมีอุณหภูมิจุดเดือดที่สูงกว่าโมเลกุลโซ่กิ่ง และที่สถานะอุณหภูมิเดียวกันโมเลกุลโซ่ตรงจะมีค่าความดันไอที่ต่ำกว่าโมเลกุลโซ่กิ่ง ดังตัวอย่างของค่าความดันไอสารที่มีลักษณะโมเลกุลทั้งสองนี้คือ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เพนเทน (C_5H_{12}) จะมีความดันไอลดกว่าไคเมธิลโพรเพน



ภาพประกอบ 1.5 การกลั่นแบบแองเกลอร์

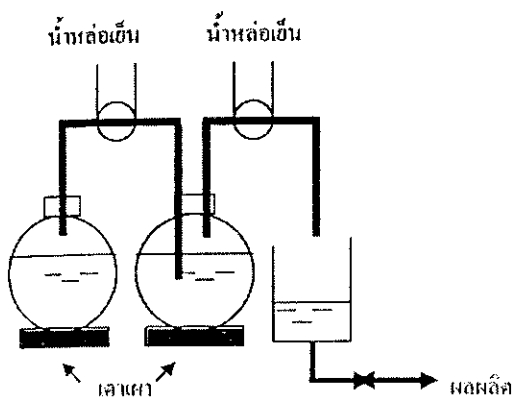
1.2.3.2 การกลั่นสารผสมสองส่วนประกอบ (binary mixtures)

ถ้าของเหลวที่บรรจุในขวดกลั่นตามภาพประกอบ 1.5 ประกอบด้วยสาร 2 ตัวที่มีความสามารถในการระเหยที่แตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวนี้โมเลกุลของส่วนประกอบทั้งสองจะเกิดการระเหยขึ้น ไอที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการระเหยจะมีส่วนประกอบของสารที่ระเหยง่ายกว่าในสัดส่วนที่สูง เมื่อทำการกลั่นไปจนถึงครึ่งทางซึ่งมีปริมาตรของเหลวในขวดกลั่นหายไปครึ่งหนึ่ง จะพบว่าองค์ประกอบของของเหลวในขวดรองรับที่ได้ (receiver) จะมีความแตกต่างจากองค์ประกอบของเหลวในขวดกลั่น นั่นคือสารที่ได้ในขวดรองรับจะมีส่วนประกอบของสารระเหยง่ายอยู่มากกว่าของเหลวในขวดกลั่น

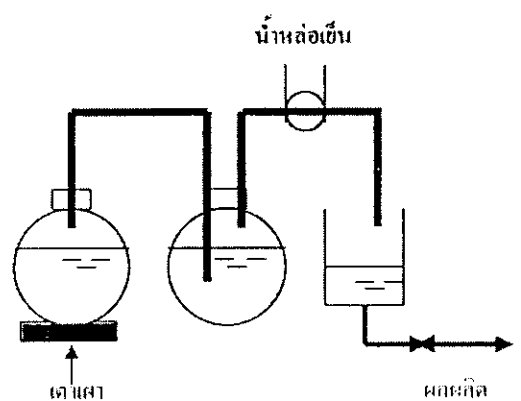
1.2.3.3 พัฒนาการของการกลั่นแยก

เมื่อต้องการทำให้เกิดการแยกที่ดีขึ้นกว่าการกลั่นในภาพประกอบ 1.5 จะสามารถทำได้โดยนำส่วนของผลผลิตที่ได้ในขวดรองรับมาทำการกลั่นซ้ำตามภาพประกอบ 1.6 การกระทำเช่นนี้จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นกว่าการกลั่นในรอบแรก แต่ในกระบวนการกลั่นนี้จะมีข้อเสียที่มีการสูญเสียพลังงานมากขึ้นอันเนื่องมาจากการดึงเอาความร้อนออกที่เครื่องควบแน่นตัวแรกและให้ความร้อนเพิ่มแก่ขวดกลั่นขวดที่สอง จึงน่าจะมึวิธีการที่ดีกว่าเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

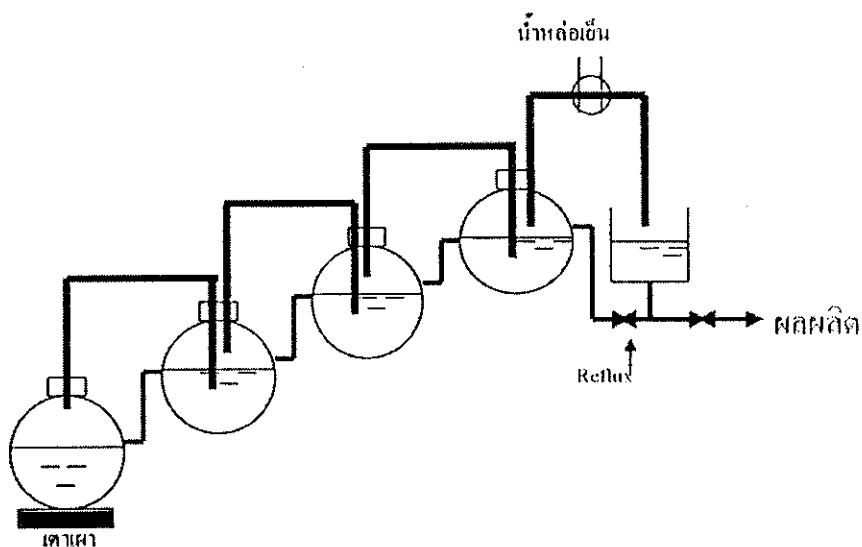
ถ้าถอดเครื่องให้ความร้อนของของกลั่นในรอบที่สองออกพร้อมทั้งถอดเครื่องควบแน่นของขวดกลั่นแรกและทำการหุ้มฉนวนให้แก่ท่อของไอแทน จะทำให้แต่ละขวดกลั่นจะได้รับความร้อนจากไอร้อนที่ออกจากขวดกลั่นก่อนหน้าดังแสดงในภาพประกอบ 1.7 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในด้านการใช้พลังงานของการกลั่นลดลงได้



ภาพประกอบ 1.6 การกลั่นซ้ำ



ภาพประกอบ 1.7 การกลั่นซ้ำแบบประหยัดพลังงาน

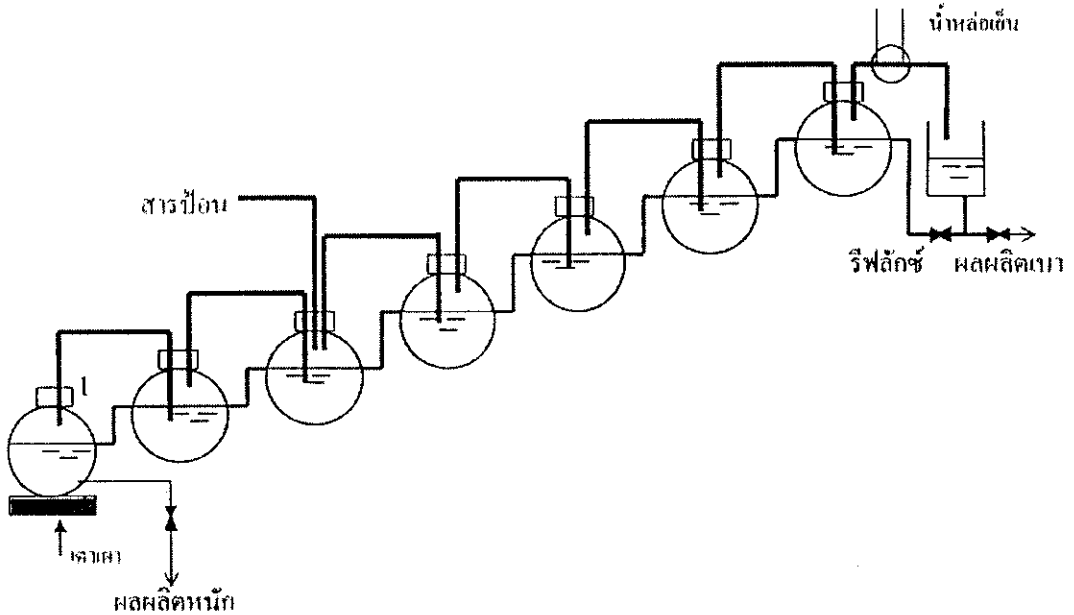


ภาพประกอบ 1.8 การกลั่นแบบมีรีฟลักซ์

จากการปรับปรุงด้วยวิธีที่ได้กล่าวมาดูเหมือนว่าจะน่าจะให้ผลที่ดี แต่ความจริงแล้วการแยกยังคงมีความบริสุทธิ์ไม่เป็นไปตามความต้องการ ในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้จะทำโดยการต่อท่อจากทางออกของผลผลิตกลับมายังขวดกลั่นสุดท้ายเพื่อส่งส่วนกลั่นกลับและต่อท่อเชื่อมระหว่างแต่ละขวดกลั่น ดังนั้นในแต่ละขวดกลั่นจะเกิดการไหลล้นกลับ เราเรียกส่วนของผลผลิตที่ผ่านการควบแน่นแล้วส่งกลับเข้าขวดกลั่นสุดท้ายว่า “รีฟลักซ์” ซึ่งจะสามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้มีรีฟลักซ์เป็นเท่าไร สำหรับส่วนที่เกิดการไหลล้นกลับระหว่างขวดกลั่นเราจะเรียกว่า “รีฟลักซ์ภายใน” การกลั่นที่มีรีฟลักซ์จะแสดงได้ดังภาพประกอบ 1.8 ถ้ากระบวนการกลั่นไม่มีรีฟลักซ์ก็จะมีของเหลวไหลกลับมายังขวดกลั่น ไอก็จะไหลผ่านขวดกลั่นแต่ละขวดไปโดยไม่เกิดการควบแน่นและไม่เกิดการถ่ายโอนมวล ซึ่งการควบแน่นจะทำให้เกิดการดึงเอาส่วนประกอบมวลหนักที่ติดมากับไอลับกลับมายังของเหลวในขวดกลั่น ในขณะเดียวกันส่วนประกอบเบาที่อยู่ในของเหลวจะถูกดึงให้ติดออกไปกับไอ ดังนั้นไอที่ออกจากขวดกลั่นจะมีส่วนประกอบเบามากขึ้นและของเหลวที่ออกจากขวดกลั่นซึ่งเป็นรีฟลักซ์ภายในจะมีส่วนประกอบเบาน้อยลง รีฟลักซ์จึงทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับส่วนประกอบหนักที่อยู่ในส่วนไอและทำให้ความเข้มข้นของส่วนประกอบเบาในไอและส่วนประกอบหนักในของเหลวเพิ่มขึ้น

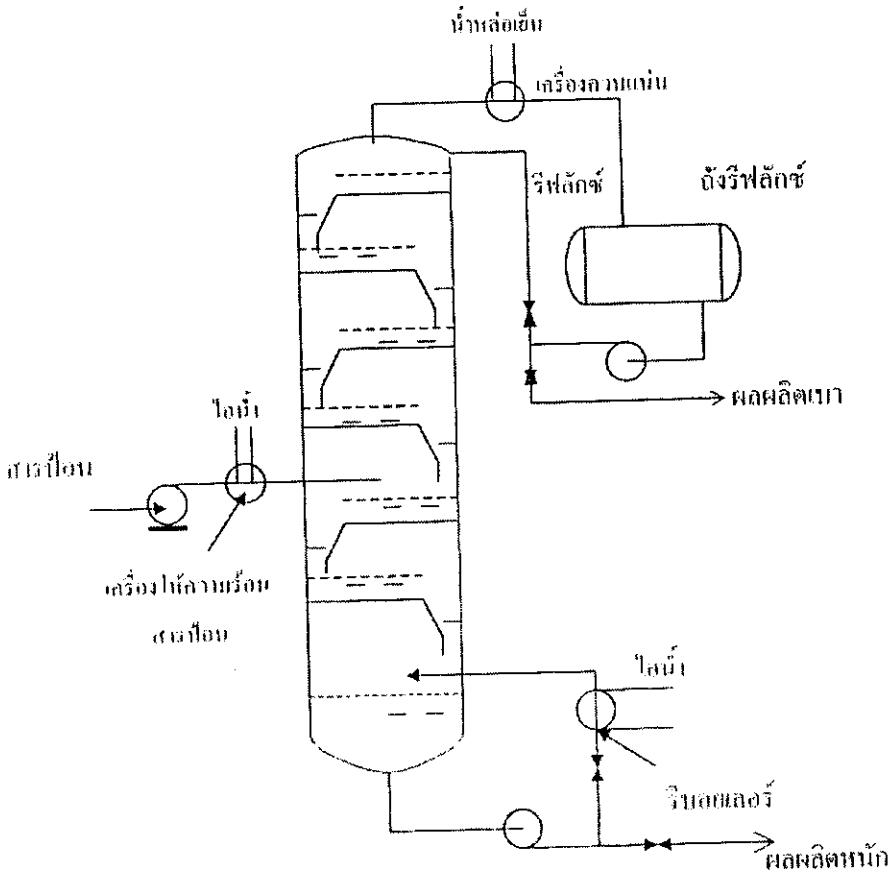
เมื่อการกลั่นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีการป้อนสารที่ต่อเนื่องก็จะได้ผลผลิตออกมาจากสองส่วนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน นั่นคือมีผลผลิตหนักและผลผลิตเบาออกมาจากขวดกลั่นล่างสุดและขวดกลั่นบนสุดตามลำดับ ในการกำหนดตำแหน่งของขวดกลั่นที่จะทำการป้อนสารอย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด สำหรับกรณีที่ต้องการให้ได้การกลั่นแยกที่ผลผลิตมีความบริสุทธิ์มากขึ้นจะสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขวดกลั่นให้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนสเตจ

สมดุลหรือเพิ่มการสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊สให้มากขึ้นนั่นเอง ลักษณะของการกลั่นแบบต่อเนื่องเช่นนี้แสดงได้ตามภาพประกอบ 1.9



ภาพประกอบ 1.9 การกลั่นด้วยขวดกลั่นแบบต่อเนื่องมีจำนวนหลายสเตจ

จากพัฒนาการของการกลั่นจะได้เป็น “การกลั่นลำดับส่วน” ซึ่งเปลี่ยนจากการกลั่นในขวดกลั่นที่มีหลายขวดมาต่อกัน ไปเป็นการกลั่นที่เกิดขึ้นในคอลัมน์เดียวแนวตั้ง โดยการรวมเอาขวดกลั่นย่อยทั้งหมดมาต่อเข้าด้วยกัน ขวดกลั่นสุดท้ายซึ่งให้ผลผลิตเบาออกมาจะอยู่บนสุดของคอลัมน์และขวดกลั่นอื่นๆจะอยู่ล่างถัดลงมา ภายในคอลัมน์จะติดตั้งแผ่นกั้นซึ่งเรียกว่าแผ่นเพลท (plate) หรือเทรย์ (tray) เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลในระหว่างการไหลสวนทางของไอและของเหลวรวมทั้งมีการไหลขึ้นในแต่ละเพลทเกิดเป็นรีฟลักซ์ภายใน ในระหว่างเพลทนี้จะเปรียบเสมือนว่าเป็นขวดกลั่น 1 ขวด ลักษณะของคอลัมน์ในแนวตั้งแสดงได้ตามภาพประกอบ 1.10



ภาพประกอบ 1.10 การกลั่นในคอลัมน์แนวตั้ง

คอลัมน์เป็นเครื่องมือหลักของระบบการกลั่น มีความต้องการให้สารซึ่งบรรจุอยู่ภายในเกิดการสัมผัสกันมากกว่าหนึ่งสแตจ การถ่ายโอนมวลระหว่างฟองของไอและของเหลวบนแต่ละเพลทจะเกิดขึ้นเนื่องจากการสัมผัสกันระหว่างกระแสที่ไม่อยู่ในสมดุลกันทั้งสอง เมื่อไอไหลผ่านของเหลวจะได้ไอและของเหลวที่เข้าสู่สมดุล ดังนั้นในแต่ละเพลทจะมีแนวโน้มของการเกิดสมดุลอันเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

- (1) เกิดการควบแน่นของส่วนประกอบที่มีสภาพระเหยต่ำที่ผสมอยู่ในไอติดไปกับของเหลวทำให้ไอที่ผ่านเพลทขึ้นไปมีส่วนประกอบระเหยง่ายมากขึ้น
- (2) บางส่วนของส่วนประกอบระเหยง่ายที่ติดอยู่ในของเหลวจะระเหยติดไปกับไอเมื่อมีไอไหลผ่านทำให้ความเข้มข้นของส่วนประกอบระเหยง่ายในของเหลวลดลง

จากสาเหตุดังกล่าวจะทำให้ไอซึ่งเป็นผลผลิตยอดหอมีส่วนประกอบที่ระเหยยากอยู่น้อยหรือไม่มีเลย และทำให้ผลผลิตส่วนล่างซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวมีส่วนประกอบระเหยง่ายเหลืออยู่น้อยมาก

คอลัมน์กลั่นแยกจะมีการดำเนินการทั้งแบบเบทซ์และแบบต่อเนื่องขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและขนาดของเครื่องกลั่น คอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่องมักจะมีการป้อนสารในระหว่างกลางของคอลัมน์ โดยจะเรียกส่วนที่อยู่เหนือจุดป้อนขึ้นไปว่าเรกติไฟอิงเซกชัน (rectifying section) และส่วนที่อยู่ใต้จุดป้อนจะเรียกว่าสตรipping เซกชัน (stripping section) โดยปกติแล้วระบบการกลั่นที่สมบูรณ์จะประกอบไปด้วยถังเก็บสารป้อน เครื่องให้ความร้อนแก่สารป้อน คอลัมน์กลั่น เครื่องควบแน่นผลผลิตยอดหอ เครื่องให้ความร้อนแก่ของเหลวก้นหอ การส่งสารย้อนกลับเข้าหอกลั่น ซึ่งเรียกว่ารีฟลักซ์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของผลผลิตทั้งสองเพื่อลดอุณหภูมิให้สามารถเก็บในถังเก็บได้

ข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบคอลัมน์จะได้มาจากการศึกษาถึงความต้องการจำนวนสเตจหรือหน่วยการถ่ายโอนมวล ข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยอัตราการใช้ของไอและของเหลวองค์ประกอบของสาร อุณหภูมิ และความดัน จึงมีข้อมูลของคอลัมน์ที่จำเป็นอยู่ 4 จุดที่จะต้องทำการศึกษาคือ ส่วนบนสุด ส่วนเหนือสเตจป้อน ส่วนต่ำกว่าสเตจป้อน และส่วนล่างสุด ถ้าหากมีรายละเอียดของแต่ละสเตจซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ ก็จะเป็นการง่ายในการออกแบบเป็นอย่างมาก

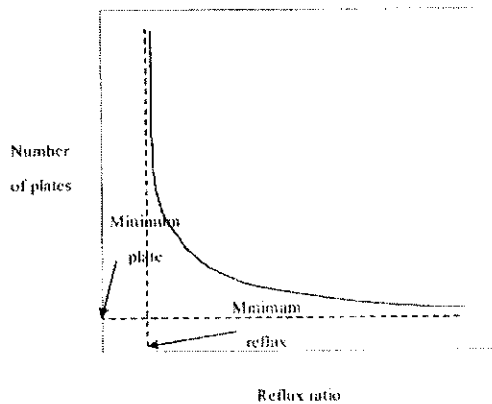
การระบุรายละเอียดของคอลัมน์มีดังนี้คือ การเลือกชนิดของอุปกรณ์เพิ่มการสัมผัส ซึ่งอาจเป็นชนิดเพลทหรือชนิดวัสดุบรรจุ (packing) และการเลือกความสามารถของคอลัมน์ให้รองรับการใช้ของไอ-ของเหลวที่ต้องการ ในขณะที่เดียวกันจะต้องมีการถ่ายโอนมวลสารออกแบบคอลัมน์ที่ให้ประโยชน์สูงสุด และสิ่งที่จะกำหนดความสามารถในการแยกของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์และอัตราส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) ซึ่งจะส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นการกลั่นแยกจะเกิดขึ้นจากข้อจำกัดดังนี้

- 1) ความสามารถของเครื่องควบแน่น จะต้องออกแบบให้เครื่องควบแน่นสามารถรองรับการควบแน่นของผลผลิตเบาที่ออกมาจากยอดหอให้เพียงพอ ไม่เช่นนั้นผลผลิตส่วนบนที่ส่งกลับมาเข้าคอลัมน์ในรูปของรีฟลักซ์ยังคงอยู่ในสถานะไอ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกลั่นแยกลดต่ำลงได้
- 2) ความสามารถของเตาเผาที่หม้อกลั่น ถ้าเตาเผามีความสามารถในการให้ความร้อนไม่เพียงพอกับกำลังการผลิตของการกลั่น จะทำให้ผลผลิตส่วนล่างที่ส่งกลับเข้าคอลัมน์ยังคงอยู่ในสถานะของเหลว ส่งผลให้ไม่เกิดการระเหยของสารและไม่เกิดการกลั่นแยกขึ้น

1.2.3.4. รีฟลักซ์และจำนวนเพลท

รีฟลักซ์เป็นของเหลวที่ได้จากการควบแน่นของไอที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายนอก การควบแน่นนี้อาจจะเป็นการควบแน่นแบบบางส่วนหรือแบบทั้งหมด ดังนั้นรีฟลักซ์จึงอาจจะเป็นของเหลวที่จุดฟองอันเกิดจากการควบแน่นบางส่วนโดยของเหลวส่วนนี้จะสมดุลกับไอที่ไม่ถูกควบแน่น หรือรีฟลักซ์อาจจะเป็นของเหลวที่ผ่านการควบแน่นของไอและดึงความร้อนออกต่อไปจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดฟอง

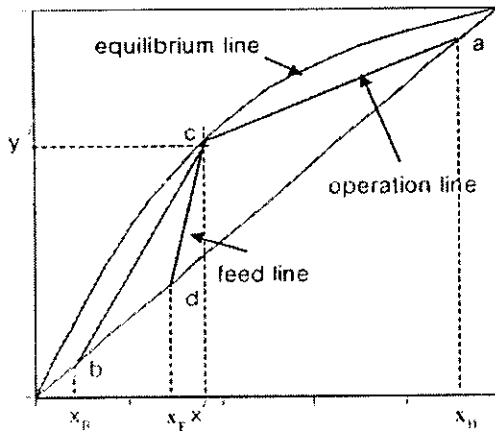
ข้อจำกัดในการออกแบบคอลัมน์คือการดำเนินการที่รีฟลักซ์ต่ำสุด (minimum reflux) และรีฟลักซ์ทั้งหมด (total reflux) ในการออกแบบคอลัมน์จึงต้องกำหนดรีฟลักซ์ก่อนทำการคำนวณเพื่อให้ผลผลิตของคอลัมน์อยู่ภายในช่วงของข้อจำกัดทั้งสองนี้ การพิจารณาเลือกช่วงรีฟลักซ์ที่เหมาะสมจะมีประโยชน์ในทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการเป็นอย่างมาก กราฟในภาพประกอบ 1.11 จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลทที่ใช้ในการกลั่นแยก



ภาพประกอบ 1.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลท

รีฟลักซ์ต่ำสุด เมื่อดำเนินการกลั่นโดยใช้รีฟลักซ์ที่ต่ำลงจนถึงค่าหนึ่งจำนวนเพลทจะเพิ่มขึ้นจนมีจำนวนเป็นอนันต์ ซึ่งค่ารีฟลักซ์ที่จุดดำเนินการนี้จะถูกเรียกว่าเป็นรีฟลักซ์ต่ำสุด การดำเนินการที่รีฟลักซ์ต่ำสุดนี้จะต้องการพลังงานในการกลั่นต่ำที่สุด เมื่อจำนวนเพลทภายในคอลัมน์มีจำนวนเป็นอนันต์ จะมีช่วงของคอลัมน์ช่วงหนึ่งที่อยู่ในสถานะสมดุลซึ่งทำให้ไอและของเหลวที่ไหลผ่านในแต่ละเพลทของคอลัมน์ช่วงนี้จะมีส่วนประกอบที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยเราจะเรียกช่วงของคอลัมน์ที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ว่าเป็นช่วงพินช์ (pinch) ช่วงพินช์อาจจะอยู่ในสตรีปปีงเซกชันของคอลัมน์ก็ได้ แต่สำหรับการกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้าง (sidestream) จุดพินช์นี้จะอยู่ที่ตำแหน่งของเพลทป้อน

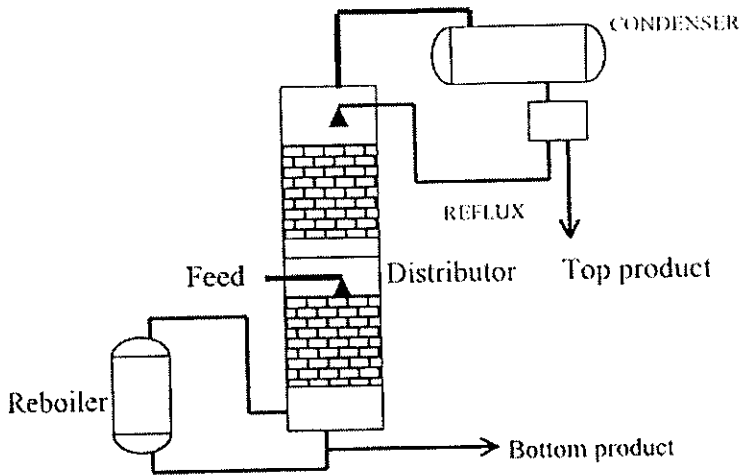
ในการแสดงการดำเนินการกลั่นที่ค่ารีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยกราฟจะสามารถแสดงได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของส่วนประกอบของเหลว (แกน x) และไอ (แกน y) ดังในภาพประกอบ 1.12 จะพบว่าจุดพินช์เป็นจุดตัดของเส้นดำเนินการ (operating line) และเส้นป้อน (feed line) ที่ตัดกันบนเส้นสมดุล (equilibrium line) โดยจุดนี้จะเป็นจุดที่สารในสถานะไอและของเหลวอยู่ในสมดุลกัน



ภาพประกอบ 1.12 กราฟสมดุลไอ-ของเหลวแสดงอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด

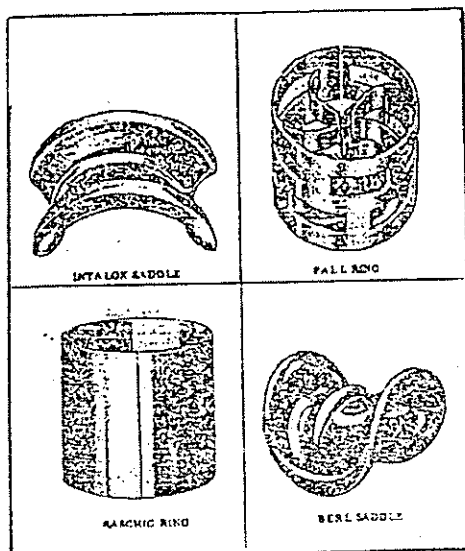
1.2.4. การออกแบบคอลัมน์วัสดุบรรจุ

คอลัมน์การกลั่นแบบเพลทซึ่งมีแผ่นเพลทเป็นตัวช่วยในการถ่ายโอนมวลสาร เพลทที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่นเพลทเจาะรู (perforated plate) และเพลทชนิดหมวก (bubble cap plate) เพลทเหล่านี้จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างไอที่ไหลขึ้นและรีฟลักซ์ที่ไหลลงได้เป็นอย่างมาก พื้นที่ผิวสัมผัสนี้จะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการแพร่ที่เกิดขึ้น โดยเพลทจะทำให้ไอเปลี่ยนสภาพเป็นฟองไหลผ่านของเหลวขึ้นสู่ด้านบน นอกจากคอลัมน์ชนิดที่มีเพลทแล้วยังมีคอลัมน์อีกชนิดหนึ่งที่ให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากเช่นกัน คือคอลัมน์วัสดุบรรจุ (packed column) ดังมีตัวอย่างของการจัดโครงสร้างของระบบการกลั่นในภาพประกอบ 1.13



ภาพประกอบ 1.13 คอลัมน์วัสดุบรรจุสำหรับการกลั่น

ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเต็มไปด้วยอุปกรณ์เพื่อเพิ่มการสัมผัสของมวลสารที่เรียกว่าวัสดุบรรจุ (packing) ซึ่งอุปกรณ์นี้จะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการออกแบบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มการถ่ายโอนของมวลและพลังงานรวมทั้งยังทำให้มีกระแสของไอไหลขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีกระแสรีฟลักซ์ที่ไหลลงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดเป็นระบบกระแสไหลสวนทางกัน คอลัมน์ชนิดวัสดุบรรจุนี้จะต่างจากคอลัมน์แบบเพลทที่กระบวนการถ่ายโอน นั่นคือการถ่ายโอนของคอลัมน์แบบเพลทจะเกิดขึ้นเฉพาะบนแต่ละเพลทเท่านั้น ส่วนคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเกิดการถ่ายโอนทั่วทั้งคอลัมน์



ภาพประกอบ 1.14 ลักษณะของวัสดุบรรจุ

ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะติดตั้งตะแกรงหรือแผ่นเจาะรูเพื่อใช้เป็นตัวยึดที่ด้านบนและด้านล่างของคอลัมน์เพื่อไม่ให้วัสดุบรรจุหลุดติดไปกับกระแสของไหล ผิวของวัสดุบรรจุจะเปียกอย่างสม่ำเสมอจากการไหลผ่านของรีฟลักซ์และของเหลวป้อน วัสดุที่ใช้ทำวัสดุบรรจุจะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนอันเนื่องจากการไหลผ่านของสารได้เป็นอย่างดี วัสดุบรรจุที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปในทางการค้า ได้แก่

ชนิด	วัสดุที่ใช้
วงแหวนริชชิง	โลหะและเซรามิก
วงแหวนพอลล์	โลหะและพลาสติก
อานม้าอินทาลอกซ์	เซรามิกและพลาสติก
อานม้าเบอล์	เซรามิก

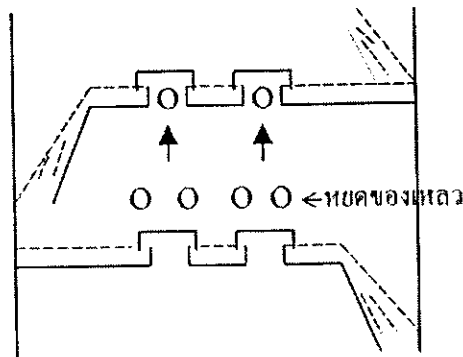
อุปกรณ์เหล่านี้จะบังคับให้ของเหลวไหลลงอย่างช้าๆผ่านคอลัมน์ และไอจะไหลผ่านสิ่งกีดขวางขึ้นไปรอบๆ ซึ่งจะเกิดการสัมผัสระหว่างไอและของเหลวได้ดีกว่าคอลัมน์ชนิดอื่น ตัวอย่างวัสดุบรรจุแสดงตามภาพประกอบ 1.14

จากการวัดและประเมินการทำงานของวัสดุบรรจุ 5 ชนิด โดย Wang, et al., 1994 ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงแหวนโลหะ MT วงแหวนพอลล์ อานม้าอินทาลอกซ์ และวงแหวนมินิที่ค็อกกัน 2 ชนิด ซึ่งการทดสอบเกิดขึ้นในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.6 เมตร พบว่าวงแหวนโลหะ MT และอานม้าอินทาลอกซ์ จะให้การไหล (flux) และความดันลดที่ดีกว่าวัสดุบรรจุอีก 3 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อของเหลวและไอไหลสวนทางผ่านช่องเปิดระหว่างวัสดุบรรจุแต่ละชั้นด้วยอัตราการไหลต่ำ มวลสารจะได้รับผลกระทบสัมพัทธ์ระหว่างไอและของเหลวน้อย การถ่ายโอนมวลจะดำเนินไปในลักษณะที่คล้ายกับคอลัมน์แบบผนังเปียก เมื่อมีอัตราการไหลที่สูงขึ้นจะต้องพิจารณาถึงการกระทำต่อกันระหว่างเฟสอันเนื่องมาจากความปั่นป่วนและการค้างของของเหลวซึ่งจะช่วยส่งเสริมการถ่ายโอนมวล เราเรียกช่วงดำเนินการของอัตราการไหลว่า โหลด (load) ถ้ามีอัตราการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นมากก็อาจจะทำให้เกิดการท่วม (flooding) ขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความสูงของคอลัมน์การกลั่น โดยทั่วไปก็อาจจะกล่าวได้ว่าความสูงของคอลัมน์จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุบรรจุ โหลด และการถ่ายโอนมวลของระบบ

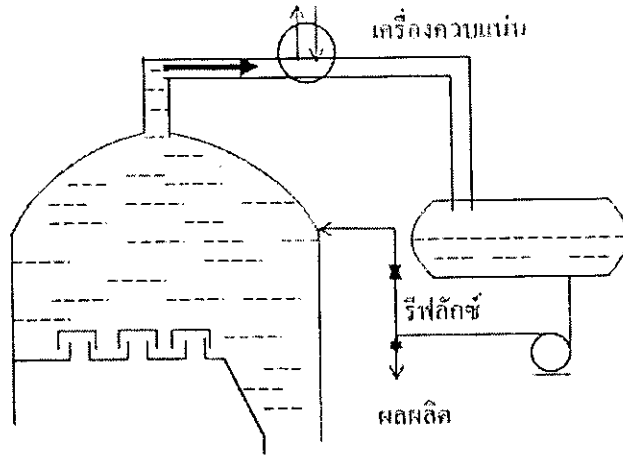
1.2.5. ปรากฏการณ์ที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการแยกลดลง มีดังนี้

1) เอนเทรนเมนต์ (entrainment) จะเกิดขึ้นเมื่อมีไอระเหยในอัตราที่มากเกินไปอันเนื่องมาจากมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงมาก จะทำให้ไอเหล่านี้ดึงเอาหยดของเหลวจากส่วนล่างติดขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของส่วนประกอบหนักในผลผลิตเบาและมีประสิทธิภาพในการแยกที่ต่ำลง ปรากฏการณ์เช่นนี้แสดงได้ดังภาพประกอบ 1.15



ภาพประกอบ 1.15 การเกิดเอนเทรนเมนต์

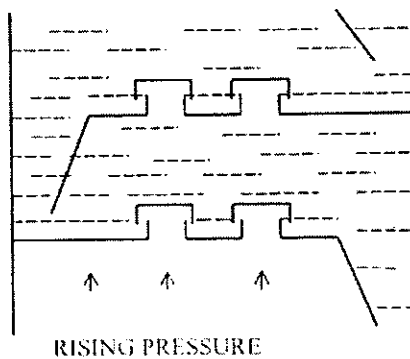
2) การท่วม (flooding) เกิดขึ้นเมื่อของเหลวไม่สามารถไหลลงสู่ส่วนล่างได้ มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากการมีรีฟลักซ์ที่สูงจนเกินไปทำให้มีไหลคของเหลวมาก และอาจเกิดขึ้นจากของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำอันเนื่องจากมีไอผสมอยู่ในของเหลวมาก โดยฟองของไอที่ไหลขึ้นจะทำให้มีไหลคของเหลวเพิ่มขึ้น ของเหลวจะเกิดการสะสมและท่วมอยู่บนเพลทดังแสดงในภาพประกอบ 1.16 เมื่อเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ความดันลคที่วัดคร่อมคอลัมน์จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในที่สุดของเหลวจะท่วมเพลทและค้างอยู่บนเพลท การท่วมจะขยายไปยังเพลทที่อยู่ใกล้เคียงและจะเรียกว่า cumulative flooding



ภาพประกอบ 1.16 การเกิดการท่วมภายในคอลัมน์

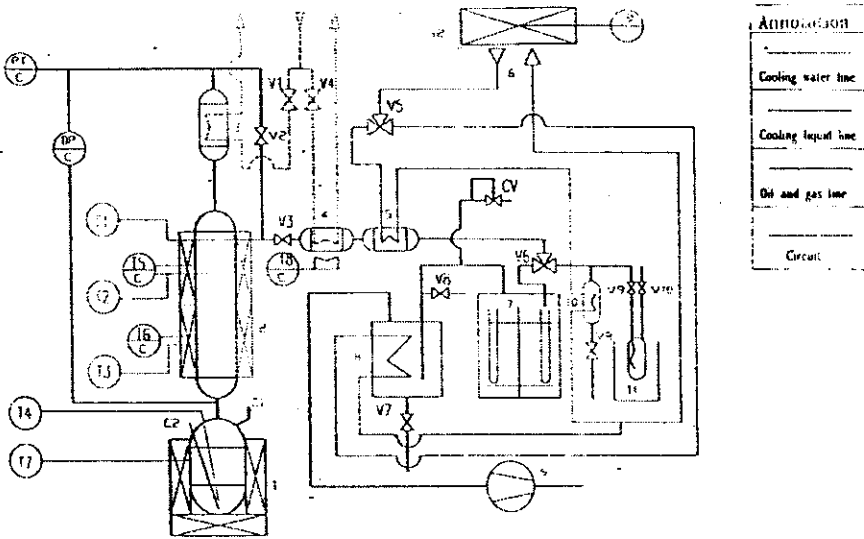
เราสามารถจะหลีกเลี่ยงการท่วมโดยการลดไหลของคอลัมน์ลง ซึ่งการลดไหลจะทำให้ได้โดยการลดอัตราการป้อน ลดรีฟลักซ์ หรือลดสัดส่วนการต้มใหม่ตามแต่โอกาส ในบางครั้งจำเป็นต้องปรับค่าอุณหภูมิการป้อนและอุณหภูมิการต้ม ส่วนสาเหตุอื่น ๆ ที่จะทำให้เกิดการท่วม ได้แก่ อัตราการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของอุณหภูมิส่วนบนและส่วนล่าง เป็นต้น

3) พุกกิง (puking) เป็นการท่วมของของเหลวที่เพลทบนสุดของคอลัมน์ อันเนื่องมาจากมีอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่สูงจนเกินไปทำให้ของเหลวไม่สามารถไหลลงสู่ด้านล่างได้ทันสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 1.17



ภาพประกอบ 1.17 การเกิดพุกกิงในคอลัมน์

1.2.4 เครื่องกลั่นแยกแบบจุดเดือดแท้จริง (True Boiling Point Unit) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพประกอบ 1.18 เครื่องกลั่นแยกแบบจุดเดือดแท้จริง (True Boiling Point Unit)

1.2.4.1 แนะนำเครื่อง

เครื่อง TBP ได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2892 (American Society for Testing and Materials-2892) ซึ่งประกอบด้วยหม้อกลั่น (distillation pot) มีปริมาตร 15 ลิตร ที่ปริมาตรสารป้อนอยู่ระหว่าง 5-10 ลิตร มีอัตราส่วนรีฟลักซ์คงที่เป็น 5:1 และมีจำนวนเพลททางทฤษฎีเท่ากับ 15 เพลท

เครื่องกลั่นนี้ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าน้ำมันดิบเป็นหลัก โดยสามารถทำการกลั่นได้ที่ 3 สภาวะ คือที่ความดันบรรยากาศ ความดัน 100 มิลลิเมตรปรอท และที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอทสัมบูรณ์ ส่วนของผลผลิตที่กลั่นได้จะเก็บไว้ในหลอดแก้ว จำนวน 10 หลอดตามจุดตัด (cut point) ซึ่งจะสามารถนำผลผลิตแต่ละส่วนเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอื่นๆ ต่อไป

ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการกลั่น อันได้แก่ความดัน อุณหภูมิ อัตราการกลั่นหรือความดันต่าง (differential pressure) และการเก็บผลผลิตในระหว่างการกลั่น ซึ่งการควบคุมจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ (automatic control)

1.2.4.2 ส่วนประกอบและสภาวะการกลั่น

ก. ปริมาตรหม้อกลั่น	:	15 ลิตร
ข. ปริมาตรสารป้อน	:	5 – 10 ลิตร
ค. จำนวนเพลททางทฤษฎี	:	15 เพลท
ง. อุณหภูมิการกลั่น	:	ไม่เกิน 350 °C (AET)
จ. น้ำหนักที่สูญเสียน้ำ (weight loss)	:	ต่ำกว่า 4%
ฉ. ความดันของการกลั่น	:	3 สภาวะ
		<ul style="list-style-type: none"> . ความดันบรรยากาศ (AT) . ความดัน 100 มิลลิเมตรปรอท (V90) . ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท (V10)
ช. จำนวนหลอดแก้วเก็บส่วนที่กลั่นได้	:	10 หลอด
ซ. ปริมาตรหลอดแก้วเก็บส่วนที่กลั่นได้	:	950 มิลลิลิตร

1.2.4.3 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่น

ก. หน่วยทดสอบ

(1) หม้อกลั่น ดังภาพประกอบ 1.18

หม้อกลั่นมีปริมาตร 15 ลิตร บรรจุวัตถุดิบการกลั่นด้วยปริมาตร 5 – 10 ลิตร มีเตาเผา (furnance) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น 2 ตัว จะอยู่ที่ส่วนล่างและด้านข้างของหม้อกลั่น โดยทั้ง 2 ตัวนี้จะต่อวงจรไฟฟ้ากันแบบขนาน และควบคุมการให้ความร้อนโดยความดันต่างระหว่างหม้อกลั่นและส่วนบนของคอลัมน์ (distillation column) ที่หม้อกลั่นมีตัววัดอุณหภูมิ (Thermometer) ติดตั้งอยู่ 2 ตัว ตัวหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิที่ภายในส่วนล่างของหม้อกลั่น และอีกตัวหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิของเตา ที่ส่วนบนของหม้อกลั่นมีช่องทางเปิดอยู่ 3 ช่อง คือ ช่องที่หนึ่งใช้สำหรับติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ช่องที่สองใช้สำหรับถ่าย (drain) น้ำมันหนักที่เหลือค้างในหม้อกลั่นหลังจากทำการกลั่นเสร็จสิ้น ช่องสุดท้ายใช้สำหรับป้อนวัตถุดิบการกลั่นและยังใช้สำหรับวัดความดันต่างของการกลั่น หม้อกลั่นนี้จะเชื่อมต่อกับตัวคอลัมน์โดยน้ำแปลน

(2) คอลัมน์การกลั่น

คอลัมน์มีความสูง 1 เมตร มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเป็น 50 มิลลิเมตร บรรจุด้วยวัสดุแพค (packing) แบบเซมิริง (semi-ring) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นสแตนเลสสตีล (stainless steel) ขรุขระขึ้นเล็กน้อยเป็นตัวอักษรจีใหญ่ รอบๆ คอลัมน์มีแจ็คเก็ต (jacket) ทรงกระบอกทำจากสแตนเลสสตีล เพื่อให้อากาศไหลผ่านในกรณีที่ต้องการทำให้คอลัมน์เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว หลังจากทำการกลั่น รอบๆ แจ็คเก็ตนี้มีอุปกรณ์ให้ความร้อน 2 ตัวเพื่อเป็นฉนวนทางความร้อน

(thermal insulation) ให้แก่คอลัมน์ โดยมีตัววัดอุณหภูมิติดตั้งอยู่ทั้งหมด 5 ตัว โดยใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่ใจกลางของคอลัมน์ 2 ตัว และใช้วัดอุณหภูมิเพื่อการควบคุมอุณหภูมิของผนังคอลัมน์ 2 ตัว ส่วนอีก 1 ตัวใช้สำหรับวัดอุณหภูมิบริเวณทางออกของผลผลิตการกลั่น

(3) เครื่องควบแน่น (Top condenser)

เครื่องควบแน่นติดตั้งอยู่เหนือส่วนบนของคอลัมน์ ที่ผนังส่วนล่างภายในเครื่องควบแน่นจะมีร่อง (slot) ทั้งหมด 5 ร่อง โดยที่ 4 ใน 5 ร่องนี้จะเป็ทางให้น้ำมันที่ผ่านการควบแน่นไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์ ส่วนอีก 1 ร่องจะเป็นทางให้น้ำมันควบแน่นไหลออกจากคอลัมน์ และมีส่วนของน้ำมันควบแน่นบางส่วนจะไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์ที่ใจกลางของเครื่องควบแน่น ทำให้ได้อัตราส่วนรีฟลักซ์ (reflux ratio) 5 : 1 นั่นเอง การควบแน่นเกิดขึ้นโดยใช้น้ำหล่อเย็นไหลผ่านแจ็กเก็ตซึ่งล้อมรอบเครื่องควบแน่นนี้

(4) ท่อนำ (Conduct tube)

ส่วนของน้ำมันที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์การกลั่นจะผ่านเข้าสู่ท่อนำ เพื่อที่จะส่งต่อไปยังหน่วยเก็บผลผลิต โดยที่ท่อนำจะติดตั้งเครื่องควบแน่น 2 ตัว เพื่อทำการควบแน่นน้ำมันที่ยังคงมีสถานะเป็นไอ เครื่องควบแน่นตัวแรกจะมีทั้งน้ำหล่อเย็นและตัวให้ความร้อน ส่วนเครื่องควบแน่นอีกตัวจะให้ความเย็นโดยใช้สารตัวกลางทำความเย็น (cold medium) ซึ่งได้จากถังทำความเย็น (cool bath)

(5) หน่วยเก็บผลผลิตเบ้า (Glass collector and gas collector)

ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ น้ำมันที่กลั่นได้ $\leq 65^{\circ}\text{C}$ จะถูกนำไปเก็บในหน่วยเก็บแก้ว (glass collector) โดยจะมีสารตัวกลางทำความเย็นจากถังทำความเย็นหล่ออยู่โดยรอบ เพื่อทำการลดอุณหภูมิและป้องกันการสูญเสียสู่บรรยากาศ ส่วนของก๊าซเบ้าที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะถูกเก็บในหน่วยเก็บโลหะ (metal gas collector) และหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งแห้ง

(6) หน่วยเก็บผลผลิตแบบอัตโนมัติ (Automatic collector)

สำหรับผลผลิตจากการกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 65°C จะทำการเก็บในหน่วยเก็บที่มีหลอดแก้วอยู่ 10 หลอดเรียงอยู่บนฐานรองรับวงกลม หลอดเหล่านี้สามารถหมุนได้เมื่อต้องการเปลี่ยนหลอดเก็บที่อุณหภูมิจุดตัด ทำการควบคุมได้ทั้งแบบควบคุมด้วยมือ (manual control) และแบบอัตโนมัติ

(7) ระบบสุญญากาศ (Vacuum system)

ระบบการทำสุญญากาศประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ และอ่างควบแน่นของปั๊มสุญญากาศ (pump well condensing) ซึ่งอ่างควบแน่นนี้มีหน้าที่ควบแน่นไอน้ำมันเพื่อป้องกันมิให้

ไอน้ำมันนี้หลุดลอดเข้าสู่ตัวปั๊มได้ ค่าความดันสุญญากาศจะทำการวัดโดยทรานส์ดีวเซอร์ (Transducer) ที่มีช่วงการวัดความดันเป็น 0 – 100 มิลลิเมตรปรอท และเกจวัดความดันในช่วง 0 – 760 มิลลิเมตรปรอท

(8) อ่างลดอุณหภูมิ (Cool bath)

ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ อ่างลดอุณหภูมินี้จะใช้สำหรับควบแน่นไอน้ำมันไม่ให้หลุดลอดไปสู่บรรยากาศ แต่ในการกลั่นที่ความดันสุญญากาศจะใช้เป็นอ่างควบแน่นของปั๊มสุญญากาศ

ข. ระบบควบคุม

อุณหภูมิ ความดันสุญญากาศ และความดันต่าง (หรืออัตราการกลั่น) ของการกลั่นจะถูกควบคุมหรือวัดค่าโดยเครื่องควบคุมเวสต์ (west controllers) ซึ่งเครื่องควบคุมเวสต์ทุกตัวสามารถกำหนดการควบคุมให้เป็นได้ทั้งแบบอัตโนมัติและควบคุมด้วยมือ

(1) การควบคุมอัตราการกลั่น

อัตราการกลั่นทำการควบคุมโดยใช้เครื่องควบคุมความดันต่าง (DP) ที่จุดเริ่มต้นของการกลั่น กำหนดให้การควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือและตั้งค่าสัญญาณขาออกไว้ที่ 80 % เมื่ออุณหภูมิของการกลั่นสูงถึง 65 °C จะเปลี่ยนการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ และกำหนดค่าความดันต่างควบคุมไว้ที่ 200 มิลลิเมตรน้ำ แต่หากเกิดสภาวะการกลั่นที่ไม่เหมาะสมก็สามารถตั้งให้เป็นการควบคุมด้วยมือผ่านทางคอมพิวเตอร์หรือเครื่องควบคุมก็ได้

(2) การควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์

คอลัมน์การกลั่นมีฉนวนทางความร้อนติดตั้งอยู่ 2 ตัว มีหน้าที่คอยควบคุมอุณหภูมิภายนอกของคอลัมน์ ซึ่งควบคุมการให้ความร้อนโดยเครื่องควบคุมเวสต์ ค่าอุณหภูมิเหล่านี้จะถูกควบคุมตามอุณหภูมิที่ส่วนกลางของคอลัมน์ ที่จุดเริ่มต้นของการกลั่น

(3) การควบคุมความดันสุญญากาศ

ทำการวัดความดันสุญญากาศโดยทรานส์ดีวเซอร์ความดันสุญญากาศสัมบูรณ์ (absolute pressure transducer) เครื่องควบคุมเวสต์จะส่งสัญญาณไปควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สทำได้โดยวาล์วควบคุม ให้อัตราการไหลอยู่ในช่วง 0 – 2,600 ลิตรต่อชั่วโมง ในการกลั่นแบบสุญญากาศจะใช้ปั๊มสุญญากาศเดินเครื่องตลอดเวลา เมื่อต้องการความดันของการกลั่นเป็น 100 มิลลิเมตรปรอท ความดันทางเข้าของเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลควรเป็น 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และในขณะที่ทำการกลั่นที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท ที่ทางเข้าของเครื่องควบคุมควรเปิดสู่บรรยากาศ

ค. ขั้นตอนการดำเนินการกลั่น

การกลั่นแยกแบบจุดเดือดจริงมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เติมน้ำมันลงในหม้อกลั่น และขันเลื่อนยกเตาเผาหรือตัวให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นขึ้น แล้วทำการล็อกเพื่อป้องกันการเลื่อนลงในระหว่างทำการกลั่น

(2) เลือกอุณหภูมิจุดตัด ซึ่งต้องมีช่วงห่างของอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 10°C

(3) เมื่อทำการกลั่นที่ความดันบรรยากาศเสร็จให้ขันเลื่อนเตาเผาลง ปล่อยให้อุณหภูมิของหม้อกลั่นและคอลัมน์ลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิของคอลัมน์ (T1) ต่ำกว่า 100°C และอุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ต่ำกว่า 150°C ทำการชั่งน้ำหนักแต่ละส่วนของผลผลิตที่กลั่นได้

(4) ในขั้นตอนการกลั่นสุญญากาศที่ความดัน 100 มิลลิเมตรปรอท โดยปกติแล้วเลือกอุณหภูมิจุดตัดเป็น 220, 230, 240, 260, 280, 300°C (AET)

(5) ทำการกลั่นแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท โดยปกติแล้วเลือกจุดตัดเป็น 320, 350, 360°C (AET)

(6) เมื่อสิ้นสุดการกลั่นที่ความดันนี้ให้ขันเลื่อนเตาเผา และปล่อยให้อุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ลดลงต่ำกว่า 150°C และอุณหภูมิของคอลัมน์ (T1) ต่ำกว่า 100°C หยุดเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ และทำการชั่งน้ำหนักแต่ละส่วนของผลผลิตที่กลั่นได้

(7) ถายน้ำมันหนักที่คงค้างในหม้อกลั่นออกทางท่อถายน้ำมันที่ต่อออกจากหม้อกลั่น โดยการต่อท่อความดันของอากาศหรือไนโตรเจนเข้าที่ช่องป้อนสาร เพื่อดันให้น้ำมันไหลออกมา นำน้ำมันหนักที่ได้นี้ไปชั่งน้ำหนัก

สิ่งควรระวัง ก่อนทำการถายน้ำมันออกจะต้องปิดวาล์ว V2 และ V3 เนื่องจากความดันจากอากาศหรือไนโตรเจนอาจทำให้ทรานส์คิวเซอร์สุญญากาศซึ่งมีราคาแพงเสียหายได้

(8) ทำความสะอาดระบบการกลั่น โดยการเติมน้ำมันซึ่งเบากว่าน้ำมันที่ใช้กลั่นด้วย ปริมาตรประมาณ 2 ลิตรลงในหม้อกลั่น ให้ความร้อนด้วยการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ จนกระทั่งน้ำมันประมาณ 1 ลิตรถูกกลั่นออกมา

(9) ถายน้ำมันที่คงค้างอยู่ในหม้อกลั่นออก โดยทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ (7) แล้วปิดเครื่อง

(10) คำนวณค่า% เชนมวลของแต่ละส่วนกลั่น ส่วนที่คงค้างในหม้อกลั่น ส่วนสูญเสีย และทำรายงานผลการกลั่นโดยเขียนกราฟการกลั่นจุดเดือดจริง (True Boiling Point Distillation Curve)

ง. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการกลั่น

เมื่อเลือกการกลั่นที่ความดันใดๆ คอมพิวเตอร์จะดำเนินการตามโปรแกรมการกลั่นที่กำหนดไว้ โดยที่ตัวจ่ายพลังงานความร้อน อัตราการกลั่น การควบคุมอุณหภูมิ ป้อนสุญญากาศ อ่างลดอุณหภูมิ และการเก็บส่วนกลั่น จะถูกควบคุมจากคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ และสามารถควบคุมด้วยมือได้เช่นกัน สำหรับการปฏิบัติการในบางครั้งคอมพิวเตอร์จะแสดงข้อปฏิบัติให้แก่ผู้ดำเนินการเพื่อให้การกลั่นเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ziels, N.W. Lever Brother Company (1956) ศึกษากระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ พบว่าการใช้สารส้มและอลูมิเนียมคลอไรด์ จะช่วยในการตกตะกอนสิ่งเจือปนในกลีเซอรินดิบ นอกจากนั้นการใช้โซดาไฟเพื่อเพิ่มค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 8.5-9 จะช่วยลดปัญหาการมีกรดไขมันในกลีเซอรินที่จะทำการกลั่น

D'Souza, G.B. Canada Packers Ltd. (1979) ได้ใช้การกลั่นด้วยไอน้ำเป็นวิธีแยกสารที่จุดเดือดสูงและไวต่อความร้อน เช่น กลีเซอรินที่ประกอบไปด้วยสารที่ละลายน้ำได้และสิ่งเจือปนอื่นๆ องค์ประกอบของกลีเซอรินดิบมีกลีเซอริน 88%, น้ำ 9-10% และสิ่งเจือปน 2-3% ขึ้นกับความบริสุทธิ์และสีของกลีเซอรินที่ต้องการ กลีเซอรินดิบอาจจะต้องทำการกลั่น 1-3 ครั้ง เพราะกลีเซอรินมีจุดเดือด 293°C ที่ 760 mmHg และจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ที่อุณหภูมิ 202°C จำเป็นที่จะต้องใช้การกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้ภาวะสุญญากาศสูง ไอน้ำที่ฉีดเข้าไปในหอกกลั่นต้องเพียงพอที่จะทำให้ความดันส่วนของกลีเซอรินและไอน้ำรวมกันเท่ากับ prevailing pressure ของหอกกลั่นซึ่งเป็นจุดที่เกิดการกลั่น การควบคุมส่วนที่กลั่นได้จะใช้ไอน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งส่วนที่ควบคุมจากอุณหภูมิสูงสุดจะเป็นกลีเซอรินที่บริสุทธิ์สูงสุด การกลั่นแบบต่อเนื่องจะต้องมีพลังงานที่เพียงพอและจะดำเนินการที่ 10 mmHg สัมบูรณ์ $160-165^{\circ}\text{C}$ ใช้ไอน้ำ 2-2.25 lb total steam/lb glycerol การกลั่นแบบแบตช์ต้องรอให้เกลือและสารที่ไม่ระเหยสะสมที่ก้นหอยในปริมาณหนึ่งแล้วจึงล้างหอกกลั่นและเอาเศษตกค้างนี้ออก

Peridis et al. (1993) ได้ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสมดุลไอ-ของเหลว (vapor-liquid equilibrium, VLE) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ภายในคอลัมน์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนสเตจและคาร์ฟลักซ์ในการออกแบบคอลัมน์การกลั่น พบว่าเมื่อค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ลดลงจะทำให้จำนวนสเตจและอัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น โดยจะส่งผลที่เด่นชัดขึ้นเมื่อการแยกเกิดได้ยากหรือมีค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ต่ำลง เช่น เมื่อค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ลดลงร้อยละ 2 จากค่า 1.1 จะทำให้จำนวนสเตจเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 80 หรืออัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 120 และเมื่อค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์มีค่าลดลงร้อยละ 2 จากค่า 1.5 จะส่งผลทำให้จำนวนสเตจหรือจำนวนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และ 25 ตามลำดับ

Cvengros และ Povazance (1996) ศึกษาการแยกกลีเซอรินออกจาก สารอินทรีย์โดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกลงในกลีเซอรินดิบ จนของผสมมีค่า pH เท่ากับ 6 จะเกิดเป็นชั้นสารอินทรีย์กับชั้นของกลีเซอริน เมื่อผ่านการกลั่นในระบบสุญญากาศ กลีเซอรินที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ถึง 99.5%

Yong และคณะ (2001) ได้ศึกษาการกลั่นของ glycerol residue สรุปว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมก่อนเข้ากระบวนการกลั่นควรมีค่าน้อยกว่า 5 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด foaming เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูง โซเดียมไฮดรอกไซด์อิสระจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็นสบู่ได้ง่าย นอกจากนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันของกลีเซอริน ไปเป็น โพลีกลีเซอริน

1.4 วัตถุประสงค์

ศึกษากระบวนการผลิตกลีเซอรินซึ่งได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันพืชให้มีความบริสุทธิ์ และจัดสร้างชุดกลั่นสุญญากาศในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อทำให้กลีเซอรินที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชิงการค้าประเภทต่างๆ