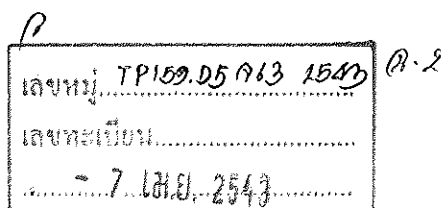
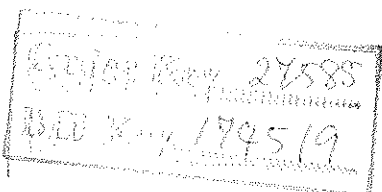


การผลิตตัวทำละลายจากเนฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง
Solvent Production from Naphtha by True Boiling Point Distillation

จันทิมา ชั่งสิริพร
Juntima Chungsiriporn

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Engineering Thesis in Chemical Engineering
Prince of Songkla University

2543



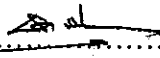
ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตตัวทำละลายจากแนฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง


ผู้เขียน นางจันทิมา ชั่งสิริพร

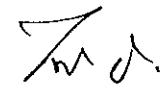
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

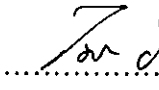
คณะกรรมการที่ปรึกษา

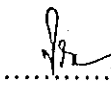
คณะกรรมการสอบ

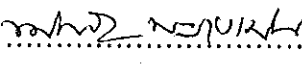
.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

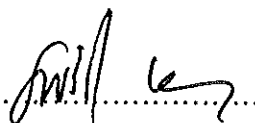
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบุลย์ อินนาจิตร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบุลย์ อินนาจิตร)

.....กรรมการ
(ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

.....กรรมการ
(ดร.ชานิชฐา หาญสูงเนิน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ บำรุงรักษ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตตัวทำละลายจากเนฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

ผู้เขียน นางจันทิมา ชั่งศิริพร

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

การศึกษการผลิตตัวทำละลายจากเนฟทาด้วยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point distillation, TBP) ตามมาตรฐานการทดสอบการกลั่นน้ำมันดิบ ASTM 2892 โดยใช้วัตถุดิบเนฟทาจากโรงกลั่นฝาง 2 ชนิด คือ เนฟทา1 และเนฟทา2 ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86 เป็น 44-175.5°C และ 47-162°C ตามลำดับ

จากการนำเอาสมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศมาทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเนฟทาจากโรงกลั่นฝาง พบว่ามีตัวทำละลาย 2 ชนิดที่เหมาะสมในการผลิต คือ ตัวทำละลายยาง (rubber solvent) และตัวทำละลายสารเคลือบและสี (vanish maker and painter, VM&P) โดยมีค่ากำหนดของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตาม ASTM D86 เป็น 66 - 120 °C และ 119 - 143 °C ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าร้อยละผลได้ (% yield) ของตัวทำละลายทั้งสองชนิดจากการกลั่นเนฟทานี้เป็น 60 - 80

ในการศึกษาตัวแปรของการกลั่นบางชนิด เช่น อัตราการให้ความร้อนในการกลั่น อัตราการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่น และความดันลดในการดำเนินการของคอลัมน์กลั่น โดยการเปรียบเทียบผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดตัด (cut point) ของการกลั่นแบบ TBP และอุณหภูมิการกลั่นตาม ASTM D86 รวมทั้งเปรียบเทียบถึงความคมชัด (sharpness) ของการแยกในทอมของค่าระดับขั้นของการแยก (degree of separation) พบว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนสูงจะมีความคมชัดในการแยกน้อยกว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนต่ำและใช้เวลาในการกลั่นที่น้อยกว่า นอกจากนี้ อัตราการกลั่นที่สูงจะทำให้ความดันลดเกิดขึ้นในคอลัมน์สูงขึ้นตามไปด้วย

จากการออกแบบคอลัมน์การกลั่นสำหรับการกลั่นแบบต่อเนื่องเพื่อผลิตตัวทำละลายในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้วิธีลัด (shortcut method) พบว่าคอลัมน์ประกอบไปด้วยจำนวนเพลททางทฤษฎี 42 เพลท (theoretical plate) และมีตำแหน่งของเพลทป้อนอยู่เพลทที่ 22

Thesis Title Solvent Production from Naphtha by True-Boiling-Point Distillation

Author Ms. Juntima Chungsiriporn

Major Program Chemical Engineering

Academic Year 1999

Abstract

A study of solvent production from naphtha was carried out according to ASTM D2892 (True Boiling Point Distillation, TBP). Two Naphtha samples (Naphtha1 and Naphtha2) were received from Fang Refinery and used as feeds for these investigations without any further purification. The boiling range of naphtha1 and naphtha2 as determined according to ASTM D86 were 44 to 175.5°C and 47 to 162°C, respectively.

The experiments indicated that rubber solvent and vanish maker & painter solvent (VM&P) can be produced from these Naphtha feeds. The yields of both solvents were 60% and 80% from Naphtha1 and Naphtha2, respectively.

In this study, the influence of distillation parameters including feed type, heating rate, distillation rate, distillation time and the pressure drop on the product properties were also investigated. The difference between cut point temperature obtained from TBP and ASTM D86 was observed for the comparison of separation sharpness. The higher heating rate, the lower separation sharpness, shorter distillation time and higher column pressure drop were obtained.

Finally, the short cut method was used to design the industrial distillation column for these solvent productions. The results suggested that the number of theoretical plates and the feed plate location for these feeds is 42 and 22, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิจัย และการตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ตลอดจนชี้แนวทางในการ แก้ไขปัญหาที่พบในการทำวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพบุลย์ อินนาจิตร กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการวิจัย และการตรวจแก้วิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณโรงกลั่นฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบสำหรับการวิจัย บริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่ ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากการกลั่น ขอขอบพระคุณ วิศวกรจากสถาบัน RIPP ประเทศจีน คุณจาง ชิง หิว และคุณจาง ทาว ที่ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการใช้เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทาง การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือใน ด้านต่างๆ ทำให้การวิจัยดำเนินไปด้วยดี และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่จัดสรรเงินทุน เพื่อสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวทุกท่านด้วยความเคารพรักอย่างที่สุด ที่ให้ การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ ทุกคนสำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนทุกๆ ท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

จันทิมา ชังสิริพร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(10)
รายการภาพประกอบ.....	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์.....	(15)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง.....	1
1.2 ตรวจสอบเอกสาร.....	2
1.2.1 การกลั่น.....	2
ก. คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการกลั่น.....	3
ข. การกลั่นสารผสมสองส่วนประกอบ	5
ค. พัฒนาการของการกลั่นแยก.....	5
ง. การระเหยส่วนและการควบแน่นส่วน.....	10
จ. การถ่ายโอนมวลสาร.....	12
ฉ. รีฟลักซ์และจำนวนเพลท.....	14
1.2.2 การออกแบบคอลัมน์วัสุบรรจุ.....	20
1.2.3 ปรัชญาการทำให้ประสิทธิภาพของการแยกลดลง.....	23
1.2.4 การกลั่นแบบเบทซ์.....	25
1.2.5 การกลั่นของผสมหลายส่วนประกอบ.....	30
1.2.6 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง	32
1.2.7 การกลั่นแบบแองเกลอร์.....	35
1.2.8 สเกลการแยก.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
1.3 วัตถุประสงค์.....	45
2. การออกแบบคอลัมน์การกลั่นด้วยวิธีลัด.....	46
2.1 ข้อมูลที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง.....	47
2.2 การหาส่วนประกอบบีกี้.....	48
2.3 หาอุณหภูมิของผลผลิตของเหลว.....	48
2.4 หาอุณหภูมิของผลผลิตไอ	49
2.5 คำนวณหาจำนวนสเทจสมมูลด้วยวิธีลัด.....	49
2.6 การหาจำนวนสเทจสมมูล.....	53
2.7 การประมาณตำแหน่งของสเทจป้อน.....	54
3. วิธีการวิจัย.....	55
3.1 วัสดุ.....	55
3.2 อุปกรณ์.....	56
3.3 วิธีดำเนินการ.....	57
4. ผลการทดลองและบทวิจารณ์	60
4.1 การผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง.....	60
4.1.1 ผลผลิตจากการกลั่นแนฟทา.....	60
4.1.2 ชนิดของแนฟทา.....	61
4.1.3 อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น.....	64
4.1.4 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น.....	66
4.1.5 อัตราการกลั่นที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ.....	67
4.1.6 ความดันลด (pressure drop) ในระหว่างการกลั่น.....	68
4.1.7 คุณสมบัติของผลผลิตการกลั่น.....	69
4.2 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง และ ASTM D86.....	71
4.2.1 การเปรียบเทียบการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และ ASTM	71
4.2.2 การกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นตาม ASTM D86.....	73

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3 คุณสมบัติของเนฟทา.....	73
4.3.1 น้ำหนักโมเลกุลของเนฟทา.....	73
4.3.2 ส่วนประกอบของเนฟทา.....	75
4.3.3 ความหนาแน่นของเนฟทา.....	75
4.4 การออกแบบคอลัมน์กลั่นโดยวิธีลัด.....	76
4.4.1 แฟรกชันเชิง โมลของส่วนประกอบปีย์ของส่วนกลั่น.....	76
4.4.2 ค่าคงที่สมดุลและอุณหภูมิ.....	77
4.4.3 อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดและจำนวนเพลทต่ำสุด.....	78
4.4.4 ตำแหน่งเพลทป้อนและเพลทผลผลิตกระแสข้าง.....	78
บทที่ 5 สรุป.....	80
ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	85
ภาคผนวก.....	88
ก. การกลั่นแบบจุดเดือดจริง.....	88
ก.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง.....	88
ก.2 วิธีการกลั่นแยกโดยเครื่องกลั่นจุดเดือดจริง.....	93
ข. เครื่องทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม.....	95
ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม.....	95
ข.2 วิธีทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม.....	97
ค. ค่ากำหนด วิธีทดสอบ และสถานที่วิเคราะห์คุณสมบัติตามของตัวทำละลาย..	101
ง. วิธีการหาค่าคงที่สมดุลไอ-ของเหลว.....	102
จ. การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีสารประกอบเทียบ.....	104
ฉ. การหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นเนฟทา.....	106
ช. ข้อมูลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของเนฟทา.....	107

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ซ. ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของส่วนกลั่นแนฟทา.....	112
ฉ. แพรกชั้นเชิงโมลและการประมาณค่า K ของแนฟทาและผลผลิต.....	113
ญ. ข้อมูลการออกแบบคอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่อง.....	115
ฎ. ข้อมูลการหาน้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา.....	117
ฏ. ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบแนฟทา2 โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	122

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 คำกำหนดของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์.....	59
4.1 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา 1.....	63
4.2 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา2.....	64
4.3 เวลาที่ใช้ในการกลั่นแนฟทา2 ด้วยเครื่องกลั่น TBP	66
4.4 คุณสมบัติของตัวทำละลายต่าง.....	70
4.5 คุณสมบัติของตัวทำละลายสารเคลือบและสี.....	70
4.6 ผลของการออกแบบคอลัมน์กลั่นแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม.....	79
ข.1 คุณสมบัติของกลุ่มสารตัวอย่าง.....	97
ข.2 ข้อมูลการควบคุมการทดสอบ.....	98
ค.1 คำกำหนด วิธีทดสอบ และสถานที่วิเคราะห์คุณสมบัติตามของตัวทำละลาย.....	101
ง.1 เลขชี้กำลังสำหรับไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์และจุดเดือดจริง.....	102
ช.1 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 50.....	107
ช.2 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 65.....	108
ช.3 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 80.....	109
ช.4 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา2 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 50.....	110
ช.5 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา2 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 65.....	111
ซ.1 ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลายจากการกลั่นแนฟทา1.....	112
ซ.2 ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลาย VM&P จากการกลั่นแนฟทา1.....	112
ซ.3 ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลายจากการกลั่นแนฟทา2.....	112
ซ.4 ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลาย VM&P จากการกลั่นแนฟทา2.....	112
ณ.1 แสดงโมลแฟร็กชันของแนฟทา2และผลผลิตของการกลั่นที่อุณหภูมิจุดตัด.....	113
ณ.2 แสดงการประมาณค่า K และการหาอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิต.....	114
ญ.1 แสดงการหาค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยวิธีของอันเดอร์วูด.....	115
ญ.2 แสดงการหาค่าจำนวนเพลทต่ำสุดโดยวิธีของเฟนสกี.....	116

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ฎ.1 การหาน้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา2 ด้วยวิธีส่วนประกอบเทียบ.....	117
ฎ.2 น้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา2 จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟี.....	118
ฎ.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของแนฟทาโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	119

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 กราฟความดันไอ.....	3
1.2 การกลั่นแบบแองเกลอร์.....	5
1.3 การกลั่นซ้ำ	6
1.4 การกลั่นซ้ำแบบประหยัดพลังงาน.....	6
1.5 การกลั่นแบบมีรีฟลักซ์.....	6
1.6 การกลั่นด้วยขวดกลั่นแบบต่อเนื่องมีจำนวนหลายสเตจ.....	7
1.7 การกลั่นในคอลัมน์แนวตั้ง.....	8
1.8 ผลของการระเหยและการควบแน่นส่วนที่จุดเดือด.....	10
1.9 การสัมผัสอันเกิดจากการไหลแบบสวนทางในช่วงความสูง dZ ของคอลัมน์.....	12
1.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลทหรือสเตจ.....	14
1.11 กราฟสมดุล ไอ-ของเหลวแสดงอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด.....	15
1.12 โครงสร้างของคอลัมน์การกลั่นแบบซับซ้อนที่จำนวนสเตจต่ำสุด.....	19
1.13 คอลัมน์วัสดุบรรจุสำหรับการกลั่น.....	20
1.14 แสดงลักษณะของวัสดุบรรจุ.....	21
1.15 การเกิดเอนเทรนเมนต์.....	23
1.16 การเกิดการท่วมภายในคอลัมน์.....	24
1.17 การเกิดฟูกกิงในคอลัมน์.....	24
1.18 การกลั่นแบบแบบทซ์.....	26
1.19 กราฟแสดงการกลั่นแบบแบบทซ์.....	27
1.20 กราฟจุดเดือดจริงสำหรับสารผสม 2 ส่วนประกอบ.....	33
1.21 กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบ 7 ตัว.....	34
1.22 กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบซับซ้อน.....	34
1.23 เปรียบเทียบการกลั่นสาร 3 ส่วนประกอบระหว่าง TBP และ ASTM D86.....	36
1.24 เปรียบเทียบผลการกลั่นสารผสมซับซ้อนระหว่าง TBP และ ASTM D86.....	36
1.25 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบ.....	37
1.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟการกลั่น TBP และ ASTM D86.....	37

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
1.27 กราฟแสดงผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและการหาจุดเดือดจริงเฉลี่ย.....	38
1.28 แผนภาพแสดงช่วงอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิตกับค่าช่องว่าง.....	40
1.29 กราฟการกลั่น ASTM D86 กับค่าช่องว่าง.....	40
1.30 แผนภาพแสดงช่วงอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิตกับค่าชั้นเหลื่อม.....	41
1.31 กราฟการกลั่น ASTM D86 กับค่าชั้นเหลื่อม.....	41
1.32 ตัวอย่างการเกิดค่าช่องว่างของจุดตัดการกลั่น.....	43
2.1 การกลั่นแนฟทาแบบเบทซ์.....	46
2.2 การกลั่นแนฟทาด้วยวิธีการกลั่นแบบต่อเนื่องที่มีผลผลิตกระแสข้าง.....	47
2.3 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนรีฟลักซ์ แสดงทางทฤษฎี อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด และจำนวนสเตจต่ำสุดตามความสัมพันธ์ของกิลลิแลนด์.....	53
4.1 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2.....	61
4.2 กราฟการกลั่นจุดเดือดจริงของแนฟทา1และแนฟทา2 หลังจากการปรับช่วงอุณหภูมิจุดเดือด.....	62
4.3 เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของผลผลิต.....	65
4.4 แสดงอัตราการกลั่นของแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65.....	67
4.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65.....	68
4.6 ความดันลดของการกลั่นแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65.....	68
4.7 เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของแนฟทา.....	71
4.8 ผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา2 ที่อุณหภูมิการกลั่น.....	74
4.9 แสดงความหนาแน่นที่อุณหภูมิการกลั่นของแนฟทา2.....	76
4.10 การแบ่งคอลัมน์กลั่นและผลผลิตการกลั่น.....	77
ก.1 เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง	88
ข.1 ขวดกลั่น.....	95
ข.2 ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์ในขวดกลั่น.....	99
ง.1 กราฟค่าคงที่สมดุลไอ-ของเหลว.....	103
จ.1 กราฟคุณสมบัติของแฟรกชันปิโตรเลียม.....	105

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ฉ.1 กราฟการหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา.....	106

ตัวย่อและสัญลักษณ์

B	=	อัตราการผลิตของผลผลิตก้นหอ
D	=	อัตราการกลั่นของผลผลิตยอดหอ
d_c	=	เส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์ (in.)
F	=	อัตราการป้อนสารเข้าหม้อกลั่น
fr	=	โมลแฟร็กชันส่วนประกอบในสารป้อน
G'	=	ความเร็วเชิงมวลของไอ (lb/hr-ft ²)
g	=	ค่าระดับขั้นของการแยกแบบค่าช่องว่าง
g_m	=	ค่าระดับขั้นของการแยกแบบค่าช่องว่างสูงสุด
H_v	=	ความสูงของหน่วยการถ่ายโอนในเฟสไอ
H_{ov}	=	ความสูงของหน่วยการถ่ายโอนทั้งหมด
HETP	=	ความสูงสมมูลกับเพลททางทฤษฎี
HK	=	ส่วนประกอบคีย์หนัก
K	=	ค่าคงที่สมดุล
k_v	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (mass transfer coefficient) ของไอ
L	=	มวลของของเหลว
LK	=	ส่วนประกอบคีย์เบา
m	=	จำนวนของสแดงทางทฤษฎีที่อยู่เหนือสแดงป้อน
MeABP	=	ค่ากลางจุดเดือดเฉลี่ย (mean average boiling point)
MW	=	น้ำหนักโมเลกุล
N	=	จำนวนสแดงทางทฤษฎี
N_m	=	จำนวนสแดงต่ำสุดทางทฤษฎี
P	=	อัตราการกลั่นของผลผลิตกระแสดข้าง
p	=	จำนวนสแดงทางทฤษฎีที่อยู่ต่ำกว่าสแดงป้อน
q	=	จำนวนโมลของของเหลวอิ่มตัวที่อยู่ในสแดงป้อน
r	=	ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของสารป้อนสำหรับการกลั่นแบบ ASTM D86
R	=	อัตราส่วนรีฟลักซ์
R_m	=	อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด

S	=	จำนวนโมลของของเหลวในคอลัมน์
T	=	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
TBP	=	การกลั่นแบบจุดเดือดจริง
x_i	=	โมลแฟรกชันของส่วนประกอบ i ในของเหลว
y_i	=	โมลแฟรกชันของส่วนประกอบ i ในไอ
y_i^*	=	โมลแฟรกชันของส่วนประกอบ i ในระหว่งหน้าไอ-ของเหลว
V	=	มวลของไอ
VABP	=	จุดเดือดเฉลี่ยเชิงปริมาตร (volumetric average boiling point)
Z	=	ความสูงของคอลัมน์วัสดุบรรจุ
μ_L	=	ความหนืดของของเหลว (centipoises)
ρ_L	=	ความหนาแน่นของของเหลว (gm/cc)
α_a	=	สภาพระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) เทียบกับส่วนประกอบคีย์หนัก
$^{\circ}\text{API}$	=	ความถ่วงจำเพาะองศา API วัดความหนาแน่นของของเหลวไฮโดรคาร์บอน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

โรงกลั่นฝางจังหวัดเชียงใหม่ เป็นโรงกลั่นที่ทำการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ได้แก่ แนฟทา (naphtha), น้ำมันก๊าด (kerosene), น้ำมันดีเซล (diesel oil) และผลิตภัณฑ์จากส่วนกลั่นหนักอื่นๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้บางชนิดสามารถส่งขายยังท้องตลาดและนำไปใช้ในระบบสาธารณูปการได้โดยตรง เช่น น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีราคาที่สูงและทำผลกำไรให้กับโรงกลั่นได้เป็นอย่างมาก แต่ผลิตภัณฑ์บางชนิดจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถนำไปขายหรือใช้งานในระบบสาธารณูปการได้โดยตรง เช่น แนฟทา จะต้องนำผลิตภัณฑ์นี้ไปผ่านขั้นตอนกระบวนการอีกหนึ่งหรือสองขั้นจึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการขายผลิตภัณฑ์ในรูปแนฟทาจึงได้ราคาที่สูงกว่าและมีผลกำไรน้อย

ในปัจจุบันแนฟทาสามารถนำไปใช้ในการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ตัวทำละลายสำหรับบำรุงรักษาเครื่องยนต์จรวด ตัวทำละลายยาง ตัวทำละลายสารเคลือบและสี ผลิตเป็นเอทิลีน (ethylene) โดยการป้อนแนฟทาควบคู่กับมีเทน (methane) บนตัวเร่งปฏิกิริยา และผลิตเป็นแก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนสูงโดยการนำแนฟทาไปผ่านกระบวนการไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) บนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (zeolite) เป็นต้น จากกระบวนการและผลผลิตที่ได้จากแนฟทาเหล่านี้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของแนฟทาให้สูงขึ้น

เพื่อวัตถุประสงค์ของการเพิ่มมูลค่าของแนฟทา โรงกลั่นน้ำมันฝางจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาองค์ความรู้ด้านกระบวนการและการออกแบบ โดยการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตและศึกษาถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตได้ให้มีผลได้จากการผลิตสูงสุด รวมทั้งจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศ จากการพิจารณาคุณสมบัติเบื้องต้นของแนฟทาจากโรงกลั่นฝาง เช่น ช่วงอุณหภูมิการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 พบว่าค่ากำหนดของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายยางและตัวทำละลายสารเคลือบและสีอยู่ในช่วงเดียวกับอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทา และช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ทั้งสองไม่แคบกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทามาก จึงน่าจะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูงหรือมีผลผลิตพลอยได้จากการกลั่นน้อย รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีช่วง

อุณหภูมิจุดเดือดที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งจะเป็นการง่ายในการดำเนินการกลั่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองออกมา โดยผลิตภัณฑ์ตัวทำละลายทั้งสองชนิดนี้มีการใช้กันในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศ เช่น อุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ กาว ทินเนอร์ในสี สารเคลือบ และใช้เป็นสารทำความสะอาดในอุตสาหกรรมทอผ้า เป็นต้น

ในขณะที่เดียวกันที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีความต้องการที่จะพัฒนาองค์ความรู้ด้านปิโตรเลียมและกระบวนการปิโตรเคมีเพื่อรองรับการพัฒนาประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาอุตสาหกรรมในด้านนี้สำหรับภาคใต้ ดังนั้นการวิจัยในหัวข้อนี้จึงมีประโยชน์ต่อการเพิ่มองค์ความรู้ทางด้านกระบวนการปิโตรเลียมการผลิตตัวทำละลาย ตลอดจนเพิ่มทักษะการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ และอาจเป็นโครงการนำร่องในการผลิตตัวทำละลายของโรงกลั่นน้ำมันฝางต่อไป

1.2 ทรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในหัวข้อการผลิตตัวทำละลายจากแนฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะประกอบไปด้วยเรื่องของการกลั่น การออกแบบคอลัมน์วัสดุบรรจุ ปრაกฏการณ์ที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการแยกลดลง การกลั่นแบบเบทซ์ การกลั่นของผสมหลายส่วนประกอบ การกลั่นแบบจุดเดือดจริง การกลั่นแบบแองเกลอร์ และสเกลการแยก ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของทฤษฎีในเรื่องต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.2.1 การกลั่น

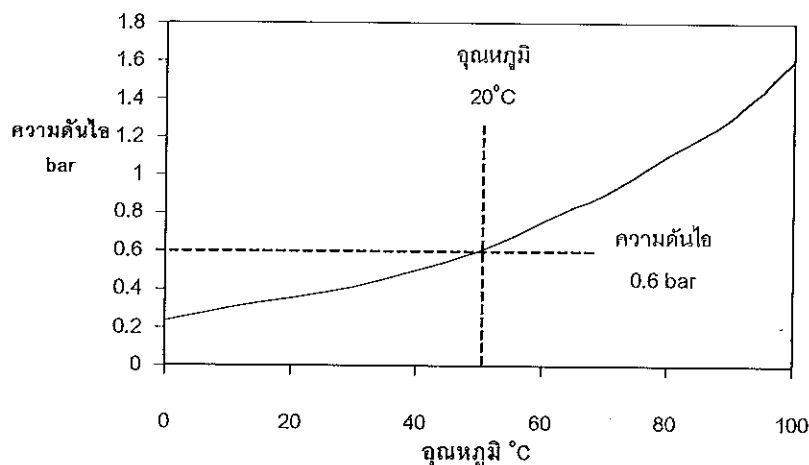
การกลั่นเป็นกระบวนการแยกและทำให้ได้สารที่บริสุทธิ์ การแยกด้วยวิธีการนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ กระบวนการแยกสารผสมของเหลวไปเป็นส่วนประกอบแต่ละส่วนจะเป็นกระบวนการหลักอย่างหนึ่งที่มีใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ องค์ประกอบในเฟสไอที่ได้จะแตกต่างจากเฟสของเหลว ความแตกต่างขององค์ประกอบในเฟสทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นที่สมดุล (equilibrium) ตามหลักเกณฑ์ของกระบวนการกลั่น จากเหตุนี้จึงต้องใช้ความรู้ในเรื่องสมดุลไอ-ของเหลวในการวิเคราะห์ถึงปัญหาของการกลั่น และโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการกลั่นจะมีความต้องการที่สำคัญคือการจัดให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างกระแสไอและของเหลวเพื่อการเข้าใกล้สภาวะสมดุลให้มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ จะไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะที่สมดุลได้อย่างสมบูรณ์

กระบวนการกลั่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีอยู่หลายขนาดด้วยกัน ตั้งแต่กระบวนการกลั่นขนาดเล็กในห้องทดลองหรือในโรงงานจำลอง (pilot plant) ซึ่งมีการป้อนสารในปริมาณน้อย จนกระทั่งถึงการกลั่นขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่มีกำลังการผลิตสูง กระบวนการกลั่นแยกที่ดีจะต้องดำเนินกระบวนการแบบต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวมทั้งมีการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า และให้กำลังการผลิตที่สูง

ก. คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการกลั่น

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

ความดันไอ ในถังปิดต่าง ๆ จะมีไออยู่เหนือของเหลวเสมอ ไอนี้ประกอบไปด้วยโมเลกุลของของเหลวซึ่งหนีหลุดรอดออกมาจากของเหลว โมเลกุลจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและชนกับผนังของถังทำให้มีความดันเกิดขึ้นที่ผนังของถังนี้ ซึ่งที่สถานะสมดุลความดันนี้ก็คือความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิขณะนั้นนั่นเอง ค่าความดันไอนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ชนิดของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบในของเหลว จำนวนของโมเลกุลในเฟสไอ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในเฟสของเหลว และอุณหภูมิของเหลว



ภาพประกอบ 1.1 กราฟความดันไอ

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ ถ้าให้ความร้อนแก่ของเหลวที่อยู่ในถังเก็บ จะทำให้อุณหภูมิของของเหลวเพิ่มสูงขึ้นและเกิดการระเหยกลายเป็นไอได้มากขึ้น จะ

ส่งผลให้ความดันส่วนของไอที่อยู่เหนือของเหลวมีค่าสูงขึ้นจนระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ และจะมีค่าความดันไอค่าใหม่ของของเหลวที่สูงกว่าค่าเดิมเกิดขึ้น ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าค่าความดันไอนี้จะแปรผันตามค่าอุณหภูมิของของเหลว ดังมีตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอของของเหลวชนิดหนึ่งที่สามารถแสดงได้ดังกราฟในภาพประกอบ 1.1 ซึ่งจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของของเหลวสูงขึ้นความดันไอของของเหลวจะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

สมดุลไอ-ของเหลว

สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวและไอ หมายถึง ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจำนวนโมเลกุลที่เกิดการระเหยจากเฟสของเหลวเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เกิดการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวใหม่โดยอุณหภูมิจุดนี้จะต้องคงที่ เราจะเรียกไอที่อยู่ในสถานะเช่นนี้ว่าไออิ่มตัวและความดันที่วัดได้ในขณะนี้จะเรียกว่าความดันไอ (vapor pressure)

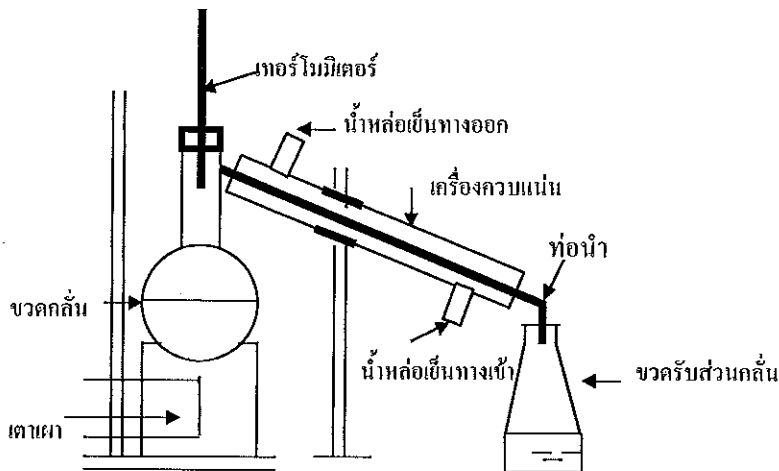
สภาพระเหย (volatility)

จำนวนโมเลกุลที่ระเหยจากพื้นผิวของสารใดๆที่มีอุณหภูมิกำลังจะขึ้นอยู่กัขนาดและโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น สำหรับโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนโซ่ยาวจะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าโมเลกุลที่มีคาร์บอนโซ่สั้น ตัวอย่างเช่น เพนเทน (C_5H_{12}) จะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าฮีเทน (C_2H_6) ดังนั้นเพนเทนจึงมีจุดเดือดที่สูงกว่าฮีเทน ส่วนของเหลวซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลโซ่ตรง (straight chain) จะมีสภาพระเหยน้อยกว่าของเหลวที่มีส่วนประกอบเป็นโมเลกุลโซ่กิ่ง (side chain) จึงทำให้โมเลกุลโซ่ตรงมีอุณหภูมิจุดเดือดที่สูงกว่าโมเลกุลโซ่กิ่ง และที่สถานะอุณหภูมิเดียวกันโมเลกุลโซ่ตรงจะมีค่าความดันไอที่ต่ำกว่าโมเลกุลโซ่กิ่ง ดังมีตัวอย่างของค่าความดันไอสารที่มีลักษณะโมเลกุลทั้งสองนี้คือ ที่อุณหภูมิค่าหนึ่งเพนเทน (C_5H_{12}) จะมีความดันไอที่ต่ำกว่าไดเมทิลโพรเพน (C_5H_{12})

Peridis, et al., 1993 ได้ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสมดุลไอ-ของเหลว (vapor-liquid equilibrium, VLE) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ภายในคอลัมน์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนสเตจและค่ารีฟลักซ์ในการออกแบบคอลัมน์การกลั่น พบว่าเมื่อค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ลดลงจะทำให้จำนวนสเตจและอัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น โดยจะส่งผลที่เด่นชัดขึ้นเมื่อการแยกเกิดได้ยากหรือมีค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ต่ำลง เช่น เมื่อค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ลดลงร้อยละ 2 จากค่า 1.1 จะทำให้จำนวนสเตจเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 80 หรืออัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 120 และเมื่อค่าสภาพระเหย

สัมพัทธ์มีค่าลดลงร้อยละ 2 จากค่า 1.5 จะส่งผลทำให้จำนวนสเตจหรือจำนวนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น ร้อยละ 20 และ 25 ตามลำดับ

ข. การกลั่นสารผสมสองส่วนประกอบ (binary mixtures)



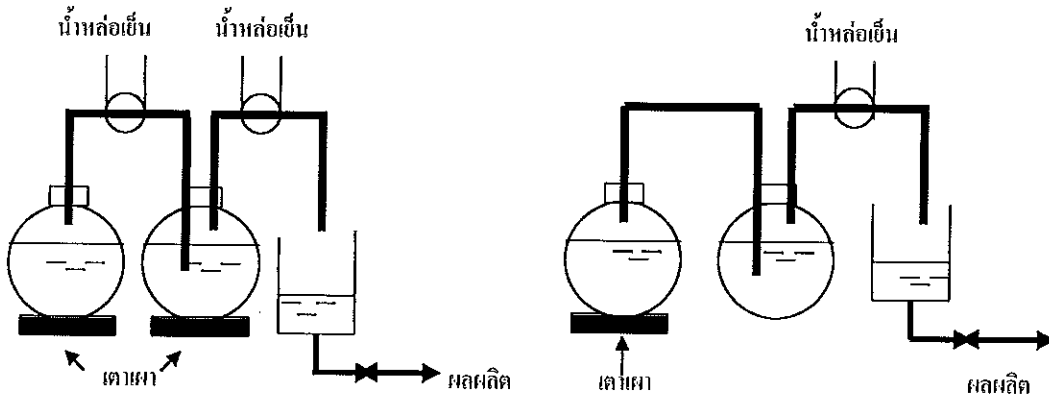
ภาพประกอบ 1.2 การกลั่นแบบแองเกลอร์

ถ้าของเหลวที่บรรจุในขวดกลั่นตามภาพประกอบ 1.2 ประกอบด้วยสาร 2 ตัวที่มีความสามารถในการระเหยที่แตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวนี้ โมเลกุลของส่วนประกอบทั้งสองจะเกิดการระเหยขึ้น ไอที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการระเหยจะมีส่วนประกอบของสารที่ระเหยง่ายกว่าในสัดส่วนที่สูง เมื่อทำการกลั่นไปจนถึงครึ่งทางซึ่งมีปริมาณของเหลวในขวดกลั่นหายไปครึ่งหนึ่ง จะพบว่าองค์ประกอบของของเหลวในขวดรองรับที่ได้ (receiver) จะมีความแตกต่างจากองค์ประกอบของเหลวในขวดกลั่น นั่นคือสารที่ได้ในขวดรองรับจะมีส่วนประกอบของสารระเหยง่ายอยู่มากกว่าของเหลวในขวดกลั่น

ค. พัฒนาการของการกลั่นแยก

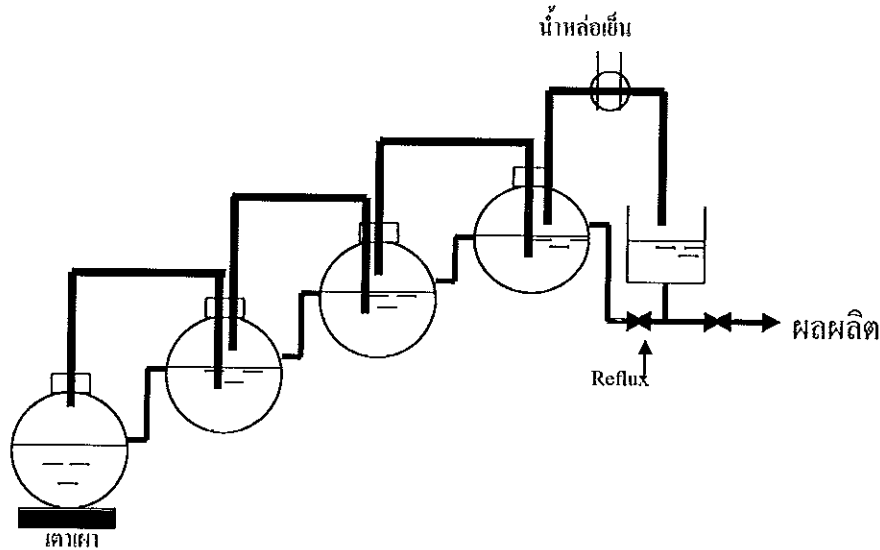
เมื่อต้องการทำให้เกิดการแยกที่ดีขึ้นกว่าการกลั่นในภาพประกอบ 1.2 จะสามารถทำได้โดยนำส่วนของผลผลิตที่ได้ในขวดรองรับมาทำการกลั่นซ้ำตามภาพประกอบ 1.3 การกระทำเช่นนี้จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นกว่าการกลั่นในรอบแรก แต่ในกระบวนการกลั่นนี้จะมีข้อเสียที่มีการสูญเสียพลังงานมากขึ้นอันเนื่องมาจากการดึงเอาความร้อนออกที่เครื่องควบแน่นตัวแรกและให้ความร้อนเพิ่มแก่ขวดกลั่นขวดที่สอง จึงน่าจะมีวิธีการที่ดีกว่าเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

ถ้าถอดเครื่องให้ความร้อนของขวดกลั่นในรอบที่สองออกพร้อมทั้งถอดเครื่องควบแน่นของขวดกลั่นแรกและทำการหุ้มฉนวนให้แก่ท่อของไอแทน จะทำให้แต่ละขวดกลั่นจะได้รับความร้อนจากไอร้อนที่ออกจากขวดกลั่นก่อนหน้าดังแสดงในภาพประกอบ 1.4 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในด้านการใช้พลังงานของการกลั่นลดลงได้



ภาพประกอบ 1.3 การกลั่นซ้ำ

ภาพประกอบ 1.4 การกลั่นซ้ำแบบประหยัดพลังงาน

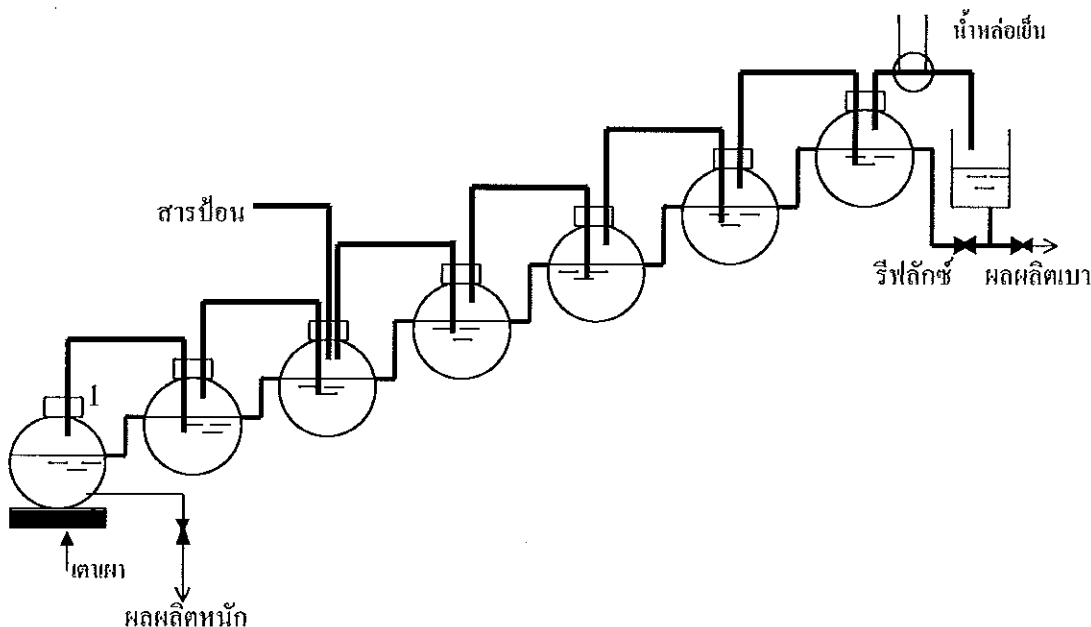


ภาพประกอบ 1.5 การกลั่นแบบมีรีฟลักซ์

จากการปรับปรุงด้วยวิธีที่ได้กล่าวมาดูเหมือนว่าจะให้ผลที่ดี แต่ความจริงแล้วการแยกยังคงมีบริสุทธิ์ไม่เป็นไปตามความต้องการ ในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้จะทำได้โดยการต่อท่อจากทางออกของผลผลิตกลับมายังขวดกลั่นสุดท้ายเพื่อส่งส่วนกลั่นกลับและต่อท่อเชื่อมระหว่างแต่ละขวดกลั่น ดังนั้นในแต่ละขวดกลั่นจะเกิดการไหลกลับ เราเรียกส่วนของผลผลิตที่ผ่านการควบแน่นแล้วส่งกลับเข้าขวดกลั่นสุดท้ายว่า “รีฟลักซ์” ซึ่งจะสามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้มีรีฟลักซ์เป็นเท่าไร สำหรับส่วนที่เกิดการไหลกลับระหว่างขวดกลั่นเรา

จะเรียกว่า “รีฟลักซ์ภายใน” การกลั่นที่มีรีฟลักซ์จะแสดงได้ดังภาพประกอบ 1.5 ถ้ากระบวนการกลั่นไม่มีรีฟลักซ์ก็จะไม่มีของเหลวไหลกลับมายังขวดกลั่น ไอก็จะไหลผ่านขวดกลั่นแต่ละขวดไปโดยไม่เกิดการควบแน่นและไม่เกิดการถ่ายเทมวล ซึ่งการควบแน่นจะทำให้เกิดการดึงเอาส่วนประกอบหนักที่ติดมากับไอลับกลับมายังของเหลวในขวดกลั่น ในขณะที่เดียวกันส่วนประกอบเบาที่อยู่ในของเหลวจะถูกดึงให้ติดออกไปกับไอ ดังนั้นไอที่ออกจากขวดกลั่นจะมีส่วนประกอบเบามากขึ้นและของเหลวที่ออกจากขวดกลั่นซึ่งเป็นรีฟลักซ์ภายในจะมีส่วนประกอบเบาน้อยลง รีฟลักซ์จึงทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับส่วนประกอบหนักที่อยู่ในส่วนไอและทำให้ความเข้มข้นของส่วนประกอบเบาในไอและส่วนประกอบหนักในของเหลวเพิ่มขึ้น

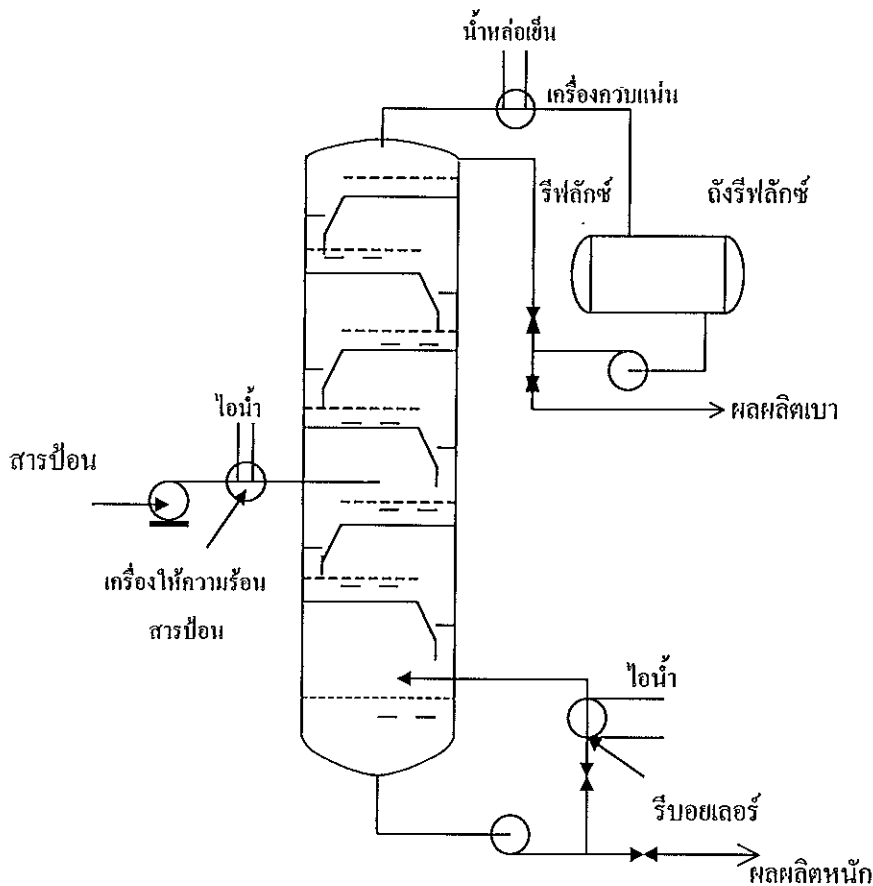
เมื่อการกลั่นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีการป้อนสารที่ต่อเนื่องก็จะได้ผลผลิตออกมาจากสองส่วนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน นั่นคือมีผลผลิตหนักและผลผลิตเบาออกมาจากขวดกลั่นล่างสุดและขวดกลั่นบนสุดตามลำดับ ในการกำหนดตำแหน่งของขวดกลั่นที่จะทำการป้อนสารอย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด สำหรับกรณีที่ต้องการให้ได้การกลั่นแยกที่ผลผลิตมีความบริสุทธิ์มากขึ้นจะสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขวดกลั่นให้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนสเตจสมดุลหรือเพิ่มการสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊สให้มากขึ้นนั่นเอง ลักษณะของการกลั่นแบบต่อเนื่องเช่นนี้แสดงได้ตามภาพประกอบ 1.6



ภาพประกอบ 1.6 การกลั่นด้วยขวดกลั่นแบบต่อเนื่องมีจำนวนหลายสเตจ

จากพัฒนาการของการกลั่นจะได้เป็น “การกลั่นลำดับส่วน” ซึ่งเปลี่ยนจากการกลั่นในขวดกลั่นที่มีหลายขวดมาต่อกัน ไปเป็นการกลั่นที่เกิดขึ้นในคอลัมน์เดียวแนวตั้ง โดยการ

รวมเอาขดลวดสั้นย่อยทั้งหมดมาต่อเข้าด้วยกัน ขดลวดสั้นสุดท้ายซึ่งให้ผลผลิตเบาออกมาจะอยู่บนสุดของคอลัมน์และขดลวดสั้นอื่นๆจะอยู่ล่างถัดลงมา ภายในคอลัมน์จะติดตั้งแผ่นกั้นซึ่งเรียกว่าแผ่นเพลท (plate) หรือเทรย์ (tray) เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลในระหว่างการไหลสวนทางของไอและของเหลวรวมทั้งมีการไหลสั้นในแต่ละเพลทเกิดเป็นรีฟลักซ์ภายใน ในระหว่างเพลทนี้จะเปรียบเสมือนว่าเป็นขดลวดสั้น 1 ขด ลักษณะของคอลัมน์ในแนวตั้งแสดงได้ตามภาพประกอบ 1.7



ภาพประกอบ 1.7 การกลั่นในคอลัมน์แนวตั้ง

คอลัมน์เป็นเครื่องมือหลักของระบบการกลั่น มีความต้องการให้สารซึ่งบรรจุอยู่ภายในเกิดการสัมผัสกันมากกว่าหนึ่งสแตจ การถ่ายโอนมวลระหว่างฟองของไอและของเหลวบนแต่ละเพลทจะเกิดขึ้นเนื่องจากการสัมผัสกันระหว่างกระแสที่ไม่อยู่ในสมดุลกันทั้งสอง เมื่อไอไหลผ่านของเหลวจะได้ไอและของเหลวที่เข้าสู่สมดุล ดังนั้นในแต่ละเพลทจะมีแนวโน้มของการเกิดสมดุลอันเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

(1) เกิดการควบแน่นของส่วนประกอบที่มีสภาพระเหยต่ำที่ผสมอยู่ใน อดิดกับกับของเหลว ทำให้ไอที่ผ่านเพลทขึ้นไปมีส่วนประกอบระเหยง่ายมากขึ้น

(2) บางส่วนของส่วนประกอบระเหยง่ายที่ติดอยู่ในของเหลวจะระเหยติดไปกับไอน้ำเมื่อมีไอน้ำไหลผ่าน ทำให้ความเข้มข้นของส่วนประกอบระเหยง่ายในของเหลวลดลง

จากสาเหตุดังกล่าวจะทำให้ไอซึ่งเป็นผลผลิตยอดหอมีส่วนประกอบที่ระเหยยากอยู่น้อยหรือไม่มีเลย และทำให้ผลผลิตส่วนล่างซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวมีส่วนประกอบระเหยง่ายเหลืออยู่น้อยมาก

คอลัมน์กลั่นแยกจะมีการดำเนินการทั้งแบบแบบทซ์และแบบต่อเนื่องขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและขนาดของเครื่องกลั่น คอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่องมักจะมีการป้อนสารในระหว่างกลางของคอลัมน์ โดยจะเรียกส่วนที่อยู่เหนือจุดป้อนขึ้นไปว่าเรกติไฟอิงเซกชัน (rectifying section) และส่วนที่อยู่ใต้จุดป้อนจะเรียกว่าสตรipping section โดยปกติแล้วระบบการกลั่นที่สมบูรณ์จะประกอบไปด้วยถังเก็บสารป้อน เครื่องให้ความร้อนแก่สารป้อน คอลัมน์กลั่น เครื่องควบแน่นผลผลิตยอดหอ เครื่องให้ความร้อนแก่ของเหลวกลั่นหอ การส่งสารย้อนกลับเข้าหอกลั่นซึ่งเรียกว่ารีฟลักซ์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของผลผลิตทั้งสองเพื่อลดอุณหภูมิให้สามารถเก็บในถังเก็บได้

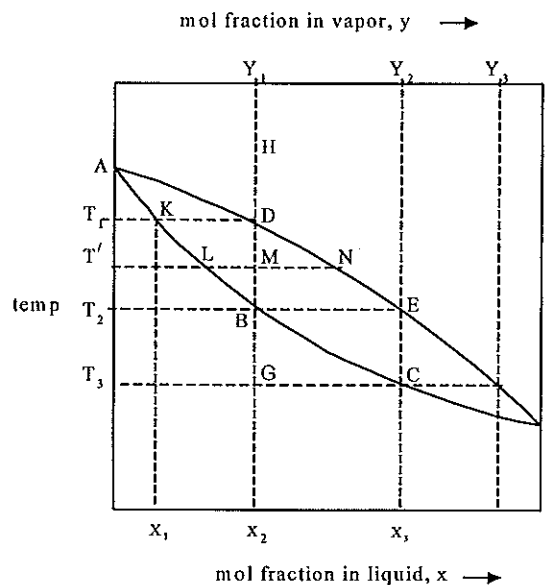
ข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบคอลัมน์จะได้มาจากการศึกษาถึงความต้องการจำนวนสเตจหรือหน่วยการถ่ายโอน ข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยอัตราการไหลของไอและของเหลว องค์ประกอบของสาร อุณหภูมิ และความดัน จึงมีข้อมูลของคอลัมน์ที่จำเป็นอยู่ 4 จุดที่จะต้องทำการศึกษาคือ ส่วนบนสุด ส่วนเหนือสเตจป้อน ส่วนต่ำกว่าสเตจป้อน และส่วนล่างสุด ถ้าหากมีรายละเอียดของแต่ละสเตจซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ ก็จะเป็นการง่ายในการออกแบบเป็นอย่างมาก

การระบุรายละเอียดของคอลัมน์มีดังนี้คือ การเลือกชนิดของอุปกรณ์เพิ่มการสัมผัส ซึ่งอาจเป็นชนิดเพลทหรือชนิดวัสดุบรรจุ (packing) และการเลือกความสามารถของคอลัมน์ให้รองรับการไหลของไอ-ของเหลวที่ต้องการ ในขณะเดียวกันจะต้องมีการถ่ายโอนมวลสารที่จำเป็น ซึ่งจะต้องพิจารณารวมไปถึงโครงสร้างและขนาดของเครื่องมือเพื่อให้ได้มาซึ่งการออกแบบคอลัมน์ที่ให้ประโยชน์สูงสุด และสิ่งที่จะต้องกำหนดความสามารถในการแยกของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์และอัตราส่วนการคัมซ้ำ (reboiler) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นการกลั่นแยกจะเกิดขึ้นจากข้อจำกัดดังนี้

1) ความสามารถของเครื่องควบแน่น จะต้องออกแบบให้เครื่องควบแน่นสามารถรองรับการควบแน่นของผลผลิตเบ้าที่ออกมาจากยอดหอให้เพียงพอ ไม่เช่นนั้นผลผลิตส่วนบนที่ส่งกลับมาเข้าคอลัมน์ในรูปของรีฟลักซ์ยังคงอยู่ในสถานะไอ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกลั่นแยกลดต่ำลงได้

2) ความสามารถของเตาเผาที่หม้อกลั่น ถ้าเตาเผามีความสามารถในการให้ความร้อนไม่เพียงพอแก่กำลังการผลิตของการกลั่น จะทำให้ผลผลิตส่วนล่างที่ส่งกลับเข้าคอลัมน์ยังคงอยู่ในสถานะของเหลว ส่งผลให้ไม่เกิดการระเหยของสารและไม่เกิดการกลั่นแยกขึ้น

ง. การระเหยส่วนและการควบแน่นส่วน (partial vaporization and partial condensation) สมมุติว่าให้ความร้อนแก่สารผสมของเบนซีนและโทลูอินในหม้อกลั่นที่ความดันบรรยากาศโดยไม่มีสารใดไหลหลุดออกไปจากระบบ ให้โมลแฟรกชันของส่วนประกอบระเหยง่าย (เบนซีน) ในของเหลวเป็นแกน x และอุณหภูมิจุดเดือดของสารผสมเป็นแกน y



ภาพประกอบ 1.8 ผลของการระเหยและการควบแน่นส่วนที่จุดเดือด

จากภาพประกอบ 1.8 แสดงถึงเส้นกราฟการเดือดตามเส้น ABCJ และเส้นกราฟการควบแน่นตามเส้น ADEJ โดยเส้นกราฟ ABCJ จะแสดงถึงจุดแรกที่ยังเกิดเดือดกลายเป็นไอซึ่งจะเรียกว่าเป็นเส้นกราฟจุดฟอง (bubble point) ส่วนเส้น ADEJ จะเป็นเส้น

กราฟที่แสดงถึงจุดแรกๆ ไอซึ่งมีองค์ประกอบ y เริ่มที่จะควบแน่นโดยจะเรียกว่าเป็นเส้นกราฟจุดน้ำค้าง (dew point)

เมื่อทำการระเหยส่วนโดยให้ความร้อนแก่สารผสมที่จุด G ซึ่งมีองค์ประกอบเป็น x_2 ด้วยกระบวนการความดันคงที่ ที่จุดนี้จะมีอุณหภูมิเป็น T_3 ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารในระหว่างการให้ความร้อนดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นดังต่อไปนี้

1) เมื่อสารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น T_2 (จุด B) ของเหลวจะเริ่มเดือด ในขณะที่เริ่มเดือดนี้จะได้องค์ประกอบของไอออกมาเป็น y_2 (จุด E)

2) เมื่อให้ความร้อนมากขึ้นจุดเดือดของสารผสมจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น T' (จุด M) ส่วนที่เป็นของเหลวจะมีองค์ประกอบเปลี่ยนไปอันเนื่องจากการสูญเสียส่วนประกอบที่ระเหยง่ายไปอยู่ในสถานะไอ ที่จุดนี้ของเหลวจะมีองค์ประกอบเดียวกับของเหลวที่จุด L และไอจะมีองค์ประกอบเดียวกับไอที่จุด N เนื่องจากไม่มีการสูญเสียมวลสารออกจากระบบดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างของเหลวกับไอตลอดเวลา ซึ่งสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงจะแสดงได้ดังนี้

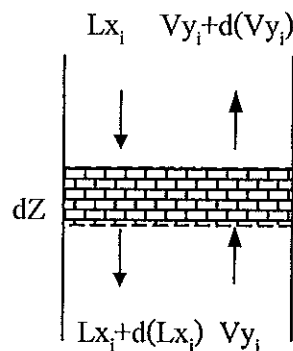
$$\frac{\text{Liquid}}{\text{Vapour}} = \frac{\overline{MN}}{\overline{ML}}$$

3) เมื่อมีการให้ความร้อนต่อไปอีกจนมีอุณหภูมิเป็น T_1 ของเหลวทั้งหมดจะระเหยกลายเป็นไอที่จุด D โดยสารจะมีองค์ประกอบที่เหมือนกันทั้งระบบคือ y_1

จะเห็นได้ว่าในการระเหยส่วนนั้นไอที่ระเหยออกมาในตอนเริ่มต้นจะมีส่วนประกอบของสารที่ระเหยง่ายมากกว่าในของเหลวที่เหลืออยู่ ถ้าดึงเอาไอที่เกิดขึ้นที่จุด E ออกมาและทำการควบแน่นก็จะได้ของเหลวที่มีองค์ประกอบเป็น x_3 (จุด C) ของเหลวที่ได้ในส่วนนี้จะมีองค์ประกอบของสารที่ระเหยง่ายมากกว่าส่วนอื่นๆ ซึ่งจะทำการระเหยและควบแน่นในลำดับถัดมา ถ้าเราทำการควบแน่นส่วนโดยเริ่มจากไอร้อนขนาดยิ่งตามจุด H แล้วทำให้เย็นตัวลงไปเป็นจุด D หยดแรกๆของของเหลวที่ได้จะมีองค์ประกอบเดียวกับของเหลวที่จุด K เมื่อทำให้สารผสมเย็นตัวลงอีกจนมีอุณหภูมิเป็น T' จะได้ของเหลวที่มีองค์ประกอบเดียวกับจุด L และไอจะมีองค์ประกอบเดียวกับจุด N ดังนั้นที่อุณหภูมิเดียวกันการควบแน่นส่วนและการระเหยส่วนจะมีส่วนประกอบของไอที่เหมือนกัน การกลั่นโดยหอกลั่นในทางอุตสาหกรรมจะประกอบด้วยอนุกรมของทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้นไปพร้อมๆกัน นั่นคือจะมีทั้งการระเหยส่วนและการควบแน่นส่วนเกิดขึ้น

จ. การถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer)

คอลัมน์การกลั่นเป็นเครื่องมือซึ่งมีหน้าที่ทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างของเหลวและไอด้วยการไหลแบบสวนทาง ดังมีตัวอย่างคอลัมน์ที่รู้จักกันดีได้แก่คอลัมน์วัสดุบรรจุ (packed column) ซึ่งเมื่อพิจารณาภาพตัดของคอลัมน์วัสดุบรรจุที่ระยะความสูงต่าง ๆ ในภาพประกอบ 1.9 จะได้สมการดุลมวลสารสำหรับองค์ประกอบ i ดังนี้



ภาพประกอบ 1.9 การสัมผัสอันเกิดจากการไหลแบบสวนทางในช่วงความสูง dZ ของคอลัมน์

$$Ldx_i + x_i dL = Vdy_i + y_i dV \quad (1.1)$$

เมื่อ L เป็นปริมาณของเหลว และ V เป็นปริมาณของไอ

x_i, y_i เป็นโมลแฟรกชันของส่วนประกอบ i ในของเหลวและไอ ตามลำดับ

การแพร่อันเกิดจากการไหลแบบสวนทาง (counter diffusion) โดยที่ไอและของเหลว จะเกิดการแพร่ด้วยโมลที่เท่ากัน (equimolar) นั่นคือ $dV = dL$ การถ่ายโอนสุทธิของส่วนประกอบ i จากส่วนไอไปยังระหว่างหน้า (interface) ไอ-ของเหลว จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Vdy_i &= (k_v a)(y_i - y_i^*)dZ \\ \frac{dy_i}{y_i - y_i^*} &= \frac{k_v a dZ}{V} = \frac{1}{H_v} dZ \end{aligned}$$

y_i^* เป็นโมลแฟรกชันของส่วนประกอบ i ในระหว่างหน้าไอ-ของเหลว สำหรับการถ่ายโอนแบบทั้งหมดจากไอไปยังของเหลวจะเขียนได้เป็น

$$\frac{dy_i}{y_i - y_{L,i}^*} = \frac{k_{ov} a dZ}{V} = \frac{1}{H_{ov}} dZ$$

เมื่อ H_{ov} เป็นความสูงของหน่วยการถ่ายโอนในเฟสไอ

และ H_{ov} เป็นความสูงของหน่วยการถ่ายโอนแบบทั้งหมด
จากการอินทิเกรตสมการจะได้

$$\int_0^1 \frac{k_v a dZ}{V} = \int_0^1 \frac{1}{H_v} dZ = \int_0^1 \frac{dy_i}{y_i - y_i^*} = N_v \quad (1.2)$$

$$\int_0^1 \frac{k_{ov} a dZ}{V} = \int_0^1 \frac{1}{H_{ov}} dZ = \int_0^1 \frac{dy_i}{y_i - y_{L,i}^*} = N_{ov} \quad (1.3)$$

เมื่อ N_v และ N_{ov} เป็นจำนวนหน่วยการถ่ายโอนในเฟสไอและจำนวนหน่วยการถ่ายโอนแบบทั้งหมดตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อต้องการค่าความสูงของคอลัมน์วัสดุบรรจุ ก็จะหาได้จาก

$$Z = N_v H_v = N_{ov} H_{ov} \quad (1.4)$$

เมื่อ

$$H_v = V/k_v a \quad \text{และ} \quad H_{ov} = V/k_{ov} a$$

จากหลักการของสเตจสำหรับคอลัมน์วัสดุบรรจุ อาจนำมาประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

$$Z = (N)(\text{HETP}) \quad (1.5)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนสเตจทางทฤษฎี

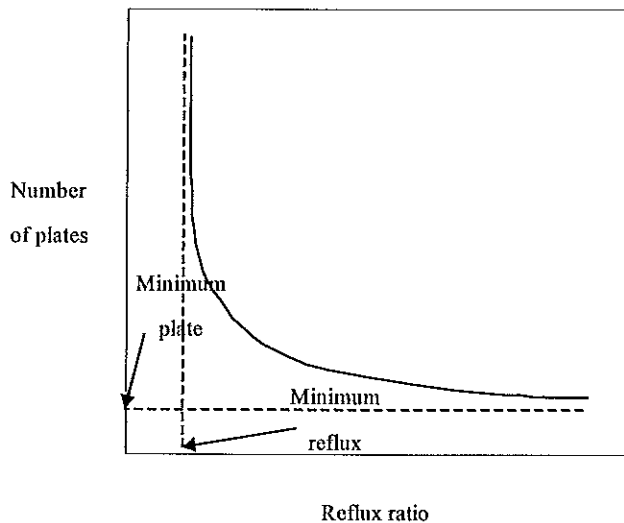
HETP (height equivalent theoretical plate) เป็นความสูงสมมูลกับเพลททางทฤษฎี โดยเทอมเอมพิริคัลนี้ได้รับการพัฒนามานานหลายปี ในการหาค่านี้จะอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์และการสังเกตการดำเนินการของคอลัมน์วัสดุบรรจุ

Saito, et al., 1998 ได้ทำการทดลองศึกษาการถ่ายโอนมวลในหอกลั่นแบบไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous distillation) โดยทำการศึกษากับคอลัมน์แบบผนังเปียก (wet wall column) ภายใต้สภาวะรีฟลักซ์ทั้งหมดด้วยความยาวของคอลัมน์ที่แตกต่างกันสำหรับระบบของเอทานอล-เบนซีน-น้ำ จากการศึกษาการแพร่ที่เกิดขึ้นบนเส้นทางการกลั่น (distillation path) ในกรณีที่มีเส้นทางการกลั่นน้อยจะได้ผลที่ตรงกับทฤษฎีของการถ่ายโอนมวลสารในท้อ แต่เมื่อเส้นทางการกลั่นยาวจะให้ผลที่เบี่ยงเบนจากทฤษฎี จากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (simulation) โดยใช้ทฤษฎีการแพร่ในท้อ ทำให้สามารถทำนายความเข้มข้นและอัตราการไหลของรีฟลักซ์ที่ส่วนบนของคอลัมน์ ซึ่งผลที่ได้จะตรงกับกรณีเส้นทางการกลั่นที่ยาว และยังแสดงให้เห็นว่าเส้นทางการกลั่นที่ยาวจะเป็นแรงขับ (driving force) ของความเข้มข้น นั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตลอดความยาวของคอลัมน์ นอกจากนั้นความยาวของเส้นทางการกลั่นยังมีผลมาจากความเข้มข้นของผลผลิตส่วนล่างและค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds number) ของเฟสไอ

ฉ. รีฟลักซ์และจำนวนเพลท

รีฟลักซ์เป็นของเหลวที่ได้จากการควบแน่นของไอที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายนอก การควบแน่นนี้อาจจะเป็นการควบแน่นแบบบางส่วนหรือแบบทั้งหมด ดังนั้นรีฟลักซ์จึงอาจจะเป็นของเหลวที่จุดฟองอันเกิดจากการควบแน่นบางส่วนโดยของเหลวส่วนนี้จะสมดุลกับไอที่ไม่ถูกควบแน่น หรือรีฟลักซ์อาจจะเป็นของเหลวที่ผ่านการควบแน่นของไอและดึงความร้อนออกต่อไปจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดฟอง

ข้อจำกัดในการออกแบบคอลัมน์คือการดำเนินการที่รีฟลักซ์ต่ำสุด (minimum reflux) และรีฟลักซ์ทั้งหมด (total reflux) ในการออกแบบคอลัมน์จึงต้องกำหนดรีฟลักซ์ก่อนทำการคำนวณเพื่อให้ผลผลิตของคอลัมน์อยู่ภายในช่วงของข้อจำกัดทั้งสองนี้ การพิจารณาเลือกช่วงรีฟลักซ์ที่เหมาะสมจะมีประโยชน์ในทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการเป็นอย่างมาก กราฟในภาพประกอบ 1.10 จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลทที่ใช้ในการกลั่นแยก



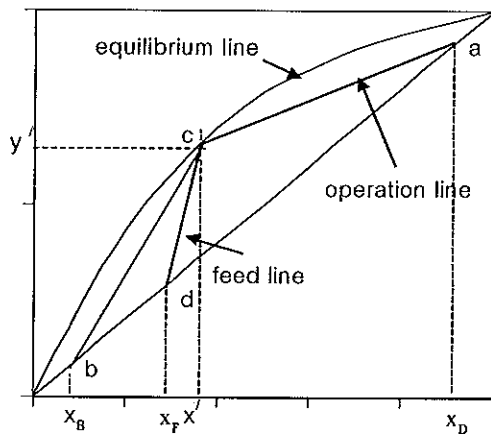
ภาพประกอบ 1.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลท

ฉ.1 รีฟลักซ์ต่ำสุด เมื่อดำเนินการกลั่นโดยใช้รีฟลักซ์ที่ต่ำลงจนถึงค่าหนึ่ง จำนวนเพลทจะเพิ่มขึ้นจนมีจำนวนเป็นอนันต์ ซึ่งค่ารีฟลักซ์ที่จุดดำเนินการนี้จะถูกเรียกว่าเป็นรีฟลักซ์ต่ำสุด การดำเนินการที่รีฟลักซ์ต่ำสุดนี้ต้องการพลังงานในการกลั่นต่ำที่สุด

เมื่อจำนวนเพลทภายในคอลัมน์มีจำนวนเป็นอนันต์ จะมีช่วงของคอลัมน์ช่วงหนึ่งที่อยู่ในสถานะสมดุลซึ่งทำให้ไอและของเหลวที่ไหลผ่านในแต่ละเพลทของคอลัมน์ช่วงนี้จะมีส่วนประกอบที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยเราจะเรียกช่วงของคอลัมน์ที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ว่า

เป็นช่วงพินช์ (pinch) ช่วงพินช์อาจจะอยู่ในสตรีปปีงเชกชันหรือเรกติไฟอิงเชกชันของคอลัมน์ก็ได้ แต่สำหรับการกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้าง (sidestream) จุดพินช์นี้จะอยู่ที่ตำแหน่งของเฟลทป้อน

ในการแสดงการดำเนินการกลั่นที่ค่ารีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยกราฟจะสามารถแสดงได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของส่วนประกอบของเหลว (แกน x) และไอ (แกน y) ดังในภาพประกอบ 1.11 จะพบว่าจุดพินช์เป็นจุดตัดของเส้นดำเนินการ (operating line) และเส้นป้อน (feed line) ที่ตัดกันบนเส้นสมดุล (equilibrium line) โดยจุดนี้จะเป็นจุดที่สารในสถานะไอและของเหลวอยู่ในสมดุลกัน



ภาพประกอบ 1.11 กราฟสมดุลไอ-ของเหลวแสดงอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด

จากภาพประกอบ 1.11 จะแสดงถึงค่ารีฟลักซ์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นดำเนินการ (เส้น ac) และเส้นป้อน (เส้น dc) ตัดกันบนเส้นโค้งสมดุล (equilibrium line) พอดี ซึ่งสมมุติฐานสำหรับการคำนวณหาค่ารีฟลักซ์ต่ำสุดจะเป็นความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและอุณหภูมิในบริเวณที่มีองค์ประกอบคงที่ที่จุดพินช์นั่นเอง

ค่าความชันของเส้นดำเนินการในเรกติไฟอิงเชกชัน L/V จะเท่ากับ $R_D/(R_D+1)$ และในกรณีรีฟลักซ์ต่ำสุดเป็น R_{Dm} สามารถเขียนได้คือ

$$\frac{R_{Dm}}{R_{Dm} + 1} = \frac{x_D - y'}{x_D - x'}$$

$$R_{Dm} = \frac{x_D - y'}{y' - x'}$$

วิธีการของอันเดอร์วูด (Underwood's Method) สำหรับการหาค่ารีฟลักซ์ต่ำสุด ได้สมมติให้การไหลล้นเชิงโมแลล (molal overflow) และสภาพระเหยสัมพัทธ์ (α) มีค่าคงที่ตลอดทั้งความยาวคอลัมน์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของคอลัมน์ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) หาค่า θ จากสมการที่ 1.6 โดยค่านี้จะมีค่าอยู่ระหว่างค่า α ของส่วนประกอบที่เบาที่สุดและส่วนประกอบที่หนักที่สุดของการแยก ซึ่งค่า θ จะหาได้โดยวิธีการลองผิดลองถูก (trial and error)

$$\sum_1^n \frac{x_F}{(\alpha - \theta)/\alpha} = 1 - q = \frac{(\alpha_a x_a)_F}{\alpha_a - \theta} + \frac{(\alpha_b x_b)_F}{\alpha_b - \theta} + \dots + \frac{(\alpha_n x_n)_F}{\alpha_n - \theta} \quad (1.6)$$

เมื่อ x_{aF} = โมลแฟรกชันของสาร a ในสารป้อน

α_a = สภาพระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ของสาร a เทียบกับส่วนประกอบที่หนักที่สุด

q = จำนวนโมลของของเหลวอิ่มตัวที่อยู่ในสารป้อน 1 โมล

จากปริมาณสารป้อนที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์การกลั่นจะทำให้อัตราการไหลของของเหลวในสตริปปีงเชกชันและอัตราการไหลของไอในเรกติไฟอิงเชกชันมีเพิ่มมากขึ้น อัตราการไหลของไอและของเหลวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสถานะของกระแสที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์กลั่น ซึ่งสถานะของสารป้อนจะมีได้ทั้งหมด 5 สถานะ โดยในแต่ละสถานะจะมีค่า q ที่แตกต่างกันดังนี้

1. สถานะของเหลวเย็น (cold liquid) มี $q > 1$
2. สถานะของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) มี $q = 1$
3. สถานะไอผสมอิ่มตัว (two-phase feed) มี $0 < q < 1$
4. สถานะไออิ่มตัว (saturated vapor) มี $q = 0$
5. สถานะไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor) มี $q < 0$

สำหรับสารป้อนที่อยู่ในสถานะไอผสมอิ่มตัวจะเกิดปรากฏการณ์ทำนองเดียวกับการดำเนินการแบบแฟลช (flash operation) ซึ่งจะมีค่า q เท่ากับ $1-f$ เมื่อ f เป็นแฟรกชันของไอ

2) สำหรับกรณีที่สารป้อนมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว จะใช้ส่วนประกอบของผลผลิตส่วนบนในการคำนวณหาค่า $(L/D)_{\min}$ โดยการแทนค่า θ ที่ได้ลงในสมการที่ 1.7 ดังนี้

$$\left(\frac{L_o}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_1^n \frac{x_D}{(\alpha - \theta)/\alpha} = \frac{(\alpha_a x_a)_D}{\alpha_a - \theta} + \frac{(\alpha_b x_b)_D}{\alpha_b - \theta} + \dots + \frac{(\alpha_n x_n)_D}{\alpha_n - \theta} \quad (1.7)$$

เมื่อ x_D เป็น โมลแฟร็กชันของส่วนประกอบในผลผลิตส่วนบน

เมื่อการกลั่นแยกมีผลผลิตกระแสข้างออกมาจากเรกติไฟอิงเซกชัน จะเขียนสมการดุลมวลสารรอบส่วนบนของคอลัมน์กลั่นได้ดังนี้

$$v_{RP} = I_{RP} + P + D \quad (1.8)$$

เมื่อ v_{RP} และ I_{RP} เป็นมวลของไอและของเหลวที่เรกติไฟอิงเซกชัน

อัตราการกลั่นของผลผลิตจากส่วนเรกติไฟอิงของคอลัมน์ซึ่งมีผลผลิตกระแสข้างอยู่ด้วยจะเป็น $\bar{D} = D + P$ เมื่อ D เป็นอัตราการกลั่นของผลผลิตบน และ P เป็นของผลผลิตกระแสข้าง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาสมการของอันเดอร์วูดซึ่งปกติจะใช้กับคอลัมน์ที่มีผลผลิตเพียง 2 ชนิดมาใช้ในการหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดของการกลั่นแยกแบบซับซ้อนและมีผลผลิตกระแสข้างได้ โดยกำหนดให้ใช้ค่า \bar{D} แทนค่า D ในสมการของอันเดอร์วูด และทำการคำนวณหาค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยขั้นตอนที่เหมือนกับกรณีที่ใช้สมการนี้ในคอลัมน์ที่ไม่มีผลผลิตกระแสข้าง

Koehler, et al., 1991 ได้คำนวณหารีฟลักซ์ต่ำสุดสำหรับสารผสมที่ไม่เป็นอุดมคติ โดยใช้รูปแบบของการกลั่นที่ย้อนกลับได้ วิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณสั้นโดยไม่จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์หรือการทำซ้ำ (iteration) วิธีการนี้จะเหมาะสมกับการกลั่นขนาดใหญ่ที่อยู่ในขั้นตอนการออกแบบกระบวนการในขั้นต้น โดยจะอยู่ในเทอมของความต้องการพลังงาน ซึ่งมีความคิดพื้นฐานในการอธิบายคอลัมน์การกลั่นภายใต้สภาวะรีฟลักซ์ต่ำสุด รวมทั้งได้อธิบายและแสดงถึงการทำการหาจุดพินช์

ฉ.2 หาจำนวนเพลทต่ำสุด (minimum trays)

ข้อจำกัดของความสามารถในการกลั่นแยกของคอลัมน์จะอยู่ที่จำนวนสเตจและอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่กำหนด โดยในแต่ละคอลัมน์การกลั่นจะต้องมีจำนวนสเตจทางทฤษฎีต่ำสุดอยู่ค่าหนึ่งที่จะทำให้การกลั่นแยกเกิดขึ้นได้ตามความต้องการ ซึ่งคอลัมน์กลั่นจะมีจำนวนสเตจต่ำสุดได้จะต้องเป็นคอลัมน์ที่มีรีฟลักซ์แบบทั้งหมด (total reflux) นั่นคือจะไม่มีผลผลิตที่ผ่านการควบแน่นของไอส่งออกมาจากส่วนบนสุดของคอลัมน์เลย เราจะเรียกการดำเนินการกลั่นแบบนี้ว่าการกลั่นแบบจำนวนสเตจต่ำสุด

เฟนสกี (Fenske) เป็นคนแรกที่เสนอสมการสำหรับหาจำนวนสเตจต่ำสุดที่ใช้กับการกลั่นส่วนผสมที่มีส่วนประกอบหลายตัว โดยสมมุติว่าค่าเฉลี่ยของสภาพระเหยสัมพัทธ์ใช้ได้กับทุกสเตจในคอลัมน์และคอลัมน์มีการดำเนินการแบบจำนวนสเตจต่ำสุด ซึ่งจะมีสมการอย่างง่ายดังนี้

$$\left(\frac{x_D}{x'_D} \right) = \alpha_{\text{avg}}^{N_m} \frac{x_B}{x'_B}$$

เมื่อ N_m เป็นจำนวนสเตจทางทฤษฎีต่ำสุดที่ต้องการ

x_D และ x_B เป็นโมลแฟร็กชันของส่วนประกอบคีย์เบาในผลผลิตบนและผลผลิตล่าง

x'_D และ x'_B เป็น โมลแฟร็กชันส่วนประกอบคีย์หนักในผลผลิตบนและผลผลิตล่าง

ค่าที่ดีที่สุดสำหรับ α_{avg} จะพิจารณาได้จากการแยกที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ ดังนั้นจะเป็นการช่วยกำจัดปัญหาบางอย่างในการเลือกใช้ค่านี้โดยกำหนดข้อจำกัดดังต่อไปนี้

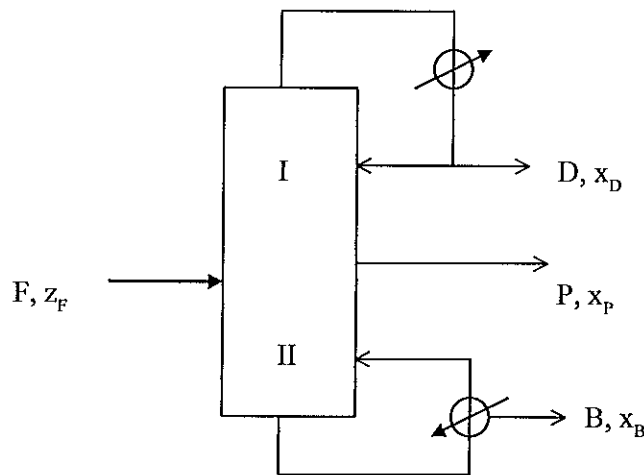
- เนื่องจากคอลัมน์จะดำเนินการแบบการต้มซ้ำบางส่วน (partial reboiler) การแยกระหว่างไอและของเหลวที่เกิดขึ้นในส่วนต่ำสุดของคอลัมน์จะมีอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิของการต้มซ้ำ ซึ่งที่จุดนี้จะเป็นจุดฟองของผลผลิตส่วนล่างนั่นเอง

- ในกรณีของการควบแน่นแบบทั้งหมด (total condenser) การแยกและการสัมผัสกันครั้งสุดท้ายระหว่างไอและของเหลวจะเกิดขึ้นที่สเตจบนสุด และกรณีของการควบแน่นบางส่วน (partial condenser) การสัมผัสกันระหว่างไอ-ของเหลวครั้งสุดท้ายจะเกิดขึ้นในเครื่องควบแน่น ดังนั้นการดำเนินการทั้งสองแบบนี้จะมีอุณหภูมิเป็นจุดน้ำค้างของผลผลิตส่วนบน

ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิเฉลี่ยของคอลัมน์เป็นค่าเฉลี่ยของจุดน้ำค้างของผลผลิตส่วนบนและจุดฟองของผลผลิตส่วนล่าง เราก็จะสามารถหาค่าระเหยสัมพัทธ์เฉลี่ยของคอลัมน์ได้จากค่าระเหยสัมพัทธ์ของส่วนประกอบคีย์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของหอกถัน

การหาจำนวนสเตจต่ำสุดที่ต้องการในคอลัมน์แบบซับซ้อนและมีผลผลิตกระแสข้างเพิ่มเข้ามา จะได้ค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์สำหรับแต่ละส่วนของคอลัมน์ที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากส่วนประกอบคีย์ของแต่ละส่วนในคอลัมน์จะต่างกัน ดังนั้นเมื่อส่วนประกอบคีย์เปลี่ยนไปสภาพระเหยสัมพัทธ์ก็ต้องเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบคีย์หนักของส่วนนั้น สำหรับคอลัมน์การกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้างหลายกระแส คอลัมน์ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมีจำนวนส่วนแบ่งเท่ากับจำนวนผลผลิตกระแสข้างบวก 1 โดยผลผลิตกระแสข้างอาจจะอยู่ในเรกติไฟอิงเชกชันหรือสตริปปีงเชกชันของคอลัมน์ก็ได้

ตัวอย่างของการแยกแบบซับซ้อน (complex fractionators) สำหรับการคำนวณหาจำนวนสเตจต่ำสุดโดยใช้สมการของจอยเนอร์ (Joyner) ซึ่งแสดงถึงการแยกที่มีผลผลิต 3 ตัว ในคอลัมน์แยกตามภาพประกอบ 1.12 โดยจะทำการแบ่งคอลัมน์ออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างผลผลิตบนกับผลผลิตกระแสข้างซึ่งกำหนดให้เป็นส่วน I และระหว่างผลผลิตกระแสข้างกับผลผลิตล่างกำหนดให้เป็นส่วน II ซึ่งจะได้สมการของคอลัมน์แต่ละส่วนดังนี้



ภาพประกอบ 1.12 โครงสร้างของคอลัมน์การกลั่นแบบซับซ้อนที่จำนวนสเตจต่ำสุด

$$\text{ส่วนที่ 1} \quad \alpha_{\text{avg}}^{N_{mI}} = \frac{X_D X'_P}{X'_D X_P} \quad (1.10)$$

$$\text{ส่วนที่ 2} \quad \alpha_{\text{avg}}^{N_{mII}} = \frac{X_P X'_B}{X'_P X_B} \quad (1.11)$$

เพราะฉะนั้นจำนวนสเตจต่ำสุดทั้งหมดที่ต้องการสำหรับการแยกนี้คือ

$$N_m = N_{mI} + N_{mII} \quad (1.12)$$

ฉ.3 อัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เหมาะสม (optimum reflux ratio)

เมื่ออัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นจากค่าต่ำสุดจะทำให้จำนวนเพลทที่จำเป็นต้องใช้ลดจำนวนลง การที่อัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ปริมาณโมลกระแสไอ (V) และกระแสของเหลว (L) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของเพลทใหญ่ขึ้น เมื่อรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการสร้างเพลทขนาดใหญ่จะเพิ่มขึ้นจนไม่คุ้มกับจำนวนเพลทที่ลดลง ในขณะที่ค่าใช้จ่ายที่ใช้กับเครื่องรีบอยเลอร์และเครื่องควบแน่นก็จะเพิ่มขึ้นตามค่ารีฟลักซ์ไปด้วย ดังนั้นจะมีค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ค่าหนึ่งที่จะทำให้มีการลงทุนต่ำสุด ค่านี้เรียกว่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เหมาะสม ซึ่งโดยปกติค่านี้จะสูงกว่าค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดอยู่ 1.2 ถึง 2 เท่า

จ.4 การประมาณตำแหน่งของสแตจป้อน (Feed Plate)

เคิร์กไบรด์ (Kirkbride) ได้เสนอสมการสำหรับประมาณอัตราส่วนของจำนวนเพลทที่อยู่เหนือและล่างสแตจป้อน สมการนี้จะนำไปสู่การประมาณตำแหน่งของสแตจป้อนได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

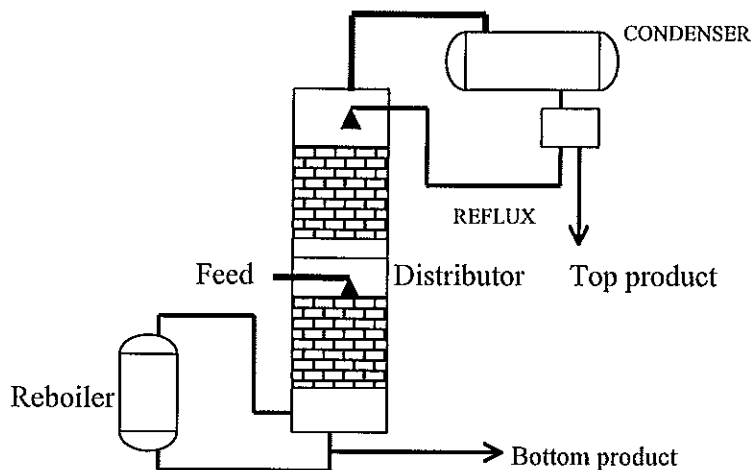
$$\log \frac{m}{p} = 0.206 \log \left\{ \frac{B}{D} \left(\frac{X_{HK}}{X_{LK}} \right)_F \left(\frac{X_{LK}}{X_{HK}} \right)_D^2 \right\} \quad (1.13)$$

เมื่อ m = จำนวนของสแตจทางทฤษฎีที่อยู่เหนือสแตจป้อน

p = จำนวนสแตจทางทฤษฎีที่อยู่ต่ำกว่าสแตจป้อน

1.2.2 การออกแบบคอลัมน์วัสดุบรรจุ

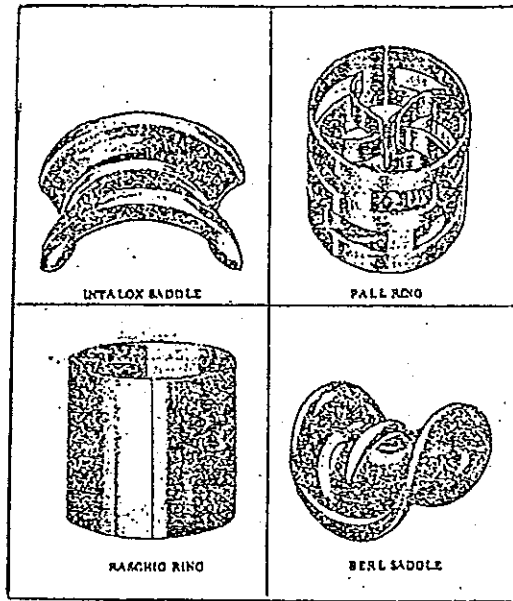
คอลัมน์การกลั่นแบบเพลทซึ่งมีแผ่นเพลทเป็นตัวช่วยในการถ่ายโอนมวลสาร เพลทที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่นเพลทเจาะรู (perforated plate) และเพลทชนิดหมวก (bubble cap plate) เพลทเหล่านี้จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างไอที่ไหลขึ้นและรีฟลักซ์ที่ไหลลงได้เป็นอย่างมาก พื้นที่ผิวสัมผัสนี้จะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการแพร่ที่เกิดขึ้น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



ภาพประกอบ 1.13 คอลัมน์วัสดุบรรจุสำหรับการกลั่น

ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเต็มไปด้วยอุปกรณ์เพื่อเพิ่มการสัมผัสของมวลสารที่เรียกว่าวัสดุบรรจุ (packing) ซึ่งอุปกรณ์นี้จะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะ

ของการออกแบบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มการถ่ายโอนของมวลและพลังงาน รวมทั้งยังทำให้มีกระแสของไอไหลขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีกระแสรีฟลักซ์ที่ไหลลงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดเป็นระบบกระแสไหลสวนทางกัน คอลัมน์ชนิดวัสดุบรรจุนี้จะต่างจากคอลัมน์แบบเพลทที่กระบวนการถ่ายโอน นั่นคือการถ่ายโอนของคอลัมน์แบบเพลทจะเกิดขึ้นเฉพาะบนแต่ละเพลทเท่านั้นส่วนคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเกิดการถ่ายโอนทั่วทั้งคอลัมน์



ภาพประกอบ 1.14 แสดงลักษณะของวัสดุบรรจุ

ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะติดตั้งตะแกรงหรือแผ่นเจาะรูเพื่อใช้เป็นตัวยึดที่ด้านบนและด้านล่างของคอลัมน์เพื่อไม่ให้วัสดุบรรจุหลุดติดไปกับกระแสของไหล ผิวของวัสดุบรรจุจะเปียกอย่างสม่ำเสมอจากการไหลผ่านของรีฟลักซ์และของเหลวป้อน วัสดุที่ใช้ทำวัสดุบรรจุจะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนอันเนื่องจากการไหลผ่านของสารได้เป็นอย่างดี วัสดุบรรจุที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปในทางการค้าได้แก่

ชนิด	วัสดุที่ใช้
วงแหวนริชชิง	โลหะและเซรามิก
วงแหวนพอลล์	โลหะและพลาสติก
อานม้าอินทาลอกซ์	เซรามิกและพลาสติก
อานม้าเบอร์ล	เซรามิก

อุปกรณ์เหล่านี้จะบังคับให้ของเหลวไหลลงอย่างช้าๆ ผ่านคอลัมน์ และไอจะไหลผ่านสิ่งกีดขวางขึ้นไปรอบ ๆ ซึ่งจะเกิดการสัมผัสระหว่างไอและของเหลวได้ดีกว่าคอลัมน์ชนิดอื่น ตัวอย่างวัสดุบรรจุแสดงตามภาพประกอบ 1.14

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

เมื่อของเหลวและไอไหลสวนทางผ่านช่องเปิดระหว่างวัสดุบรรจุแต่ละชั้นด้วยอัตราการไหลต่ำ มวลสารจะได้รับผลกระทบสัมพัทธ์ระหว่างไอและของเหลวน้อย การถ่ายโอนมวลจะดำเนินไปในลักษณะที่คล้ายๆ กับคอลัมน์แบบผนังเปียก เมื่อมีอัตราการไหลที่สูงขึ้นจะต้องพิจารณาถึงการกระทำต่อกันระหว่างเฟสอันเนื่องมาจากความปั่นป่วนและการค้างของของเหลวซึ่งจะช่วยส่งเสริมการถ่ายโอนมวล เราเรียกช่วงดำเนินการของอัตราการไหลว่าโหลด (load) ถ้ามีอัตราการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นมากก็อาจจะทำให้เกิดการท่วม (flooding) ขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความสูงของคอลัมน์การกลั่นโดยทั่วไปก็อาจจะกล่าวได้ว่าความสูงของคอลัมน์จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุบรรจุ โหลด และการถ่ายโอนมวลของระบบ

การคำนวณเกี่ยวกับคอลัมน์วัสดุบรรจุ

สำหรับคอลัมน์แบบเพลทไอที่ออกจากเพลทจะมีส่วนประกอบระเหยง่ายอยู่มากกว่าไอที่เข้าเพลท ซึ่งในแต่ละหนึ่งเพลทนี้จะเรียกว่าเป็นหนึ่งสเตจสมดุล ได้สมมุติให้ความสะดวกในหนึ่งสเตจนี้เป็นเหมือนกับไอที่เข้าและออกจากวัสดุบรรจุในช่วงความสูงค่าหนึ่งในคอลัมน์ ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงความสูงสมดุลกับ 1 เพลทในทางทฤษฎี (height equivalent theoretical plate, HETP) เนื่องจากทุกส่วนในคอลัมน์วัสดุบรรจุมีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน ดังนั้นค่าความสูงที่ต้องการของคอลัมน์วัสดุบรรจุเพื่อให้เกิดการแยกจึงเป็น HETP คูณด้วยจำนวนเพลททางทฤษฎีที่ต้องการ

ถึงแม้ว่าวิธีการหาค่าความสูงของคอลัมน์แบบวัสดุบรรจุที่กล่าวมานี้จะได้มีการพัฒนามาจากทฤษฎีเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่ง่ายและมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบ เมอคซ์ (Murcb) ได้แสดงความสัมพันธ์สำหรับหา HETP และจากผลการวิเคราะห์ของหลายท่าน ซึ่งได้พิจารณาถึงคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-30 นิ้ว ความสูงของคอลัมน์

3-10 ฟุต โดยมีวัสดุบรรจุเป็นแบบวงแหวน อานม้า และอื่นๆ ที่สภาวะรีฟลักซ์แบบทั้งหมด (total reflux) และส่วนผสมที่พิจารณาเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ไม่มากกว่า 3 มีอัตราการไหลของไอเป็น 130-1840 lbs/hr-ft² (25-80% ของการท่วม) จะมีสมการในการคำนวณหา HETP ดังนี้

$$\text{HETP} = C_1 \cdot G'^{C_2} \cdot d_c^{C_3} \cdot Z^{1/3} \cdot \frac{\alpha \cdot \mu_L}{\rho_L} \quad (1.14)$$

เมื่อค่าของ C_1 , C_2 และ C_3 จะแปรตามชนิดของวัสดุบรรจุ

G' = ความเร็วเชิงมวลของไอ, lb/hr-ft²

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์, in

Z = ความสูงของการวัสดุบรรจุในคอลัมน์, ft

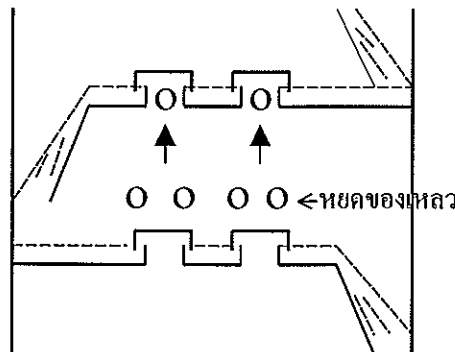
α = ค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์

μ_L = ความหนืดของของเหลว, centipoises

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว, gm/cc

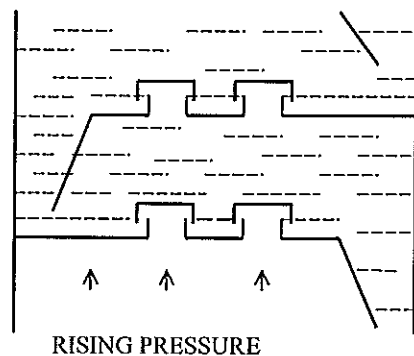
1.2.3 ปรากฏการณ์ที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการแยกลดลง มีดังนี้

1. เอนทรainment (entrainment) จะเกิดขึ้นเมื่อมีไอระเหยในอัตราที่มากเกินไปอันเนื่องมาจากมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงมาก จะทำให้ไอเหล่านี้ดึงเอาหยดของเหลวจากส่วนล่างติดขึ้นสู่ส่วนบน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของส่วนประกอบหนักในผลผลิตเบาและมีประสิทธิภาพในการแยกที่ต่ำลง ปรากฏการณ์เช่นนี้แสดงได้ดังภาพประกอบ 1.15



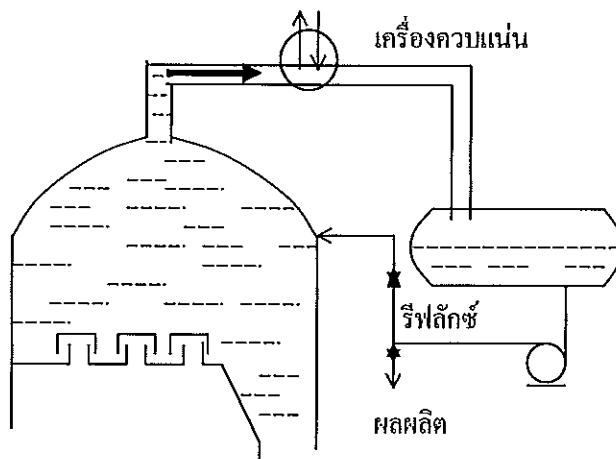
ภาพประกอบ 1.15 การเกิดเอนทรainment

2. การท่วม (flooding) เกิดขึ้นเมื่อของเหลวไม่สามารถไหลลงสู่ส่วนล่างได้ มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากการมีรีฟลักซ์ที่สูงจนเกินไปทำให้มีไหลคของเหลวมาก และอาจจะเกิดขึ้นจากของเหลวมีความหนาแน่นต่ำอันเนื่องจากมีไอผสมอยู่ในของเหลวมาก โดยฟองของไอที่ไหลขึ้นจะทำให้มีไหลคของเหลวเพิ่มขึ้น ของเหลวจะเกิดการสะสมและท่วมอยู่บนเพลทดังแสดงในภาพประกอบ 1.16 เมื่อเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ความดันลดที่วัดคร่อมคอลัมน์จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในที่สุดของเหลวจะท่วมเพลทและค้างอยู่บนเพลท การท่วมจะขยายไปยังเพลทที่อยู่ใกล้เคียงและจะเรียกว่า cumulative flooding



ภาพประกอบ 1.16 การเกิดการท่วมภายในคอลัมน์

เราสามารถจะหลีกเลี่ยงการท่วมโดยการลดไหลคของคอลัมน์ลง ซึ่งการลดไหลคจะทำได้โดยการลดอัตราการป้อน ลดรีฟลักซ์ หรือลดสัดส่วนการต้มใหม่ตามแต่โอกาส ในบางครั้งจำเป็นต้องปรับค่าอุณหภูมิการป้อนและอุณหภูมิการต้ม ส่วนสาเหตุอื่นๆที่จะทำให้เกิดการท่วม ได้แก่ อัตราการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของอุณหภูมิส่วนบนและส่วนล่าง เป็นต้น



ภาพประกอบ 1.17 การเกิดฟูกกิงในคอลัมน์

3. พุกกิง (puking) เป็นการท่วมของของเหลวที่เพททบนสุดของคอลัมน์ อันเนื่องมาจากมีอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่สูงจนเกินไปทำให้ของเหลวไม่สามารถไหลลงสู่ด้านล่างได้ทัน สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 1.17

1.2.4 การกลั่นแบบเบทซ์ (batch distillation)

โดยปกติแล้วการดำเนินการกลั่นแบบต่อเนื่อง (continuous distillation) จะใช้เมื่อสารที่ต้องการกลั่นมีปริมาณมากๆ และมีอัตราการป้อนที่สม่ำเสมอ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการกลั่นแบบต่อเนื่องจะต่ำกว่าการกลั่นแบบเบทซ์ ส่วนวิธีการกลั่นแบบเบทซ์จะมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องทดลองและในหน่วยการผลิตขนาดเล็ก

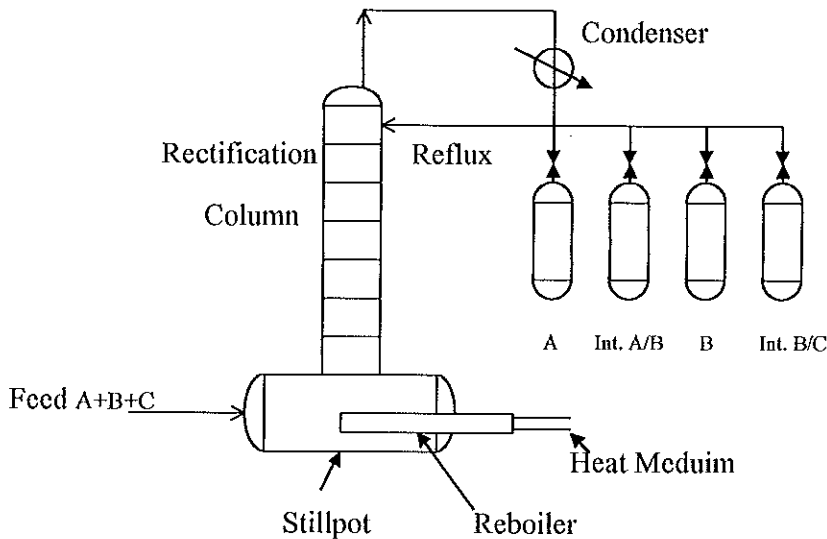
การกลั่นลำดับส่วนด้วยวิธีการกลั่นแบบเบทซ์ ทำได้โดยป้อนสารที่ต้องการแยกด้วยปริมาณที่แน่นอนเข้าหม้อกลั่นเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มต้น แล้วให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นจนเกิดเป็นไอไหลขึ้นไปยังส่วนบนของคอลัมน์และออกเป็นผลผลิตตามช่วงอุณหภูมิจุดเดือด การดำเนินการเช่นนี้จะเกิดขึ้นไปจนกระทั่งได้ผลผลิตจากการกลั่นตามที่ต้องการ เมื่อเสร็จจากการกลั่นจะต้องนำเอาผลผลิตส่วนที่เหลือค้างในหม้อกลั่นออก แล้วทำการป้อนสารเข้าไปในหม้อกลั่นและเริ่มทำการกลั่นใหม่ การกลั่นในลักษณะนี้องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอและสารที่เหลืออยู่ในหม้อกลั่นจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

การกลั่นแบบเบทซ์แสดงได้ดังภาพประกอบ 1.18 องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอจะขึ้นอยู่กับลักษณะและโครงสร้างของคอลัมน์ จำนวนเพลท และอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่ใช้ ในการดำเนินการกลั่นจะให้ผลผลิตยอดหอที่มีสารระเหยง่ายอยู่มาก และของเหลวซึ่งเหลือค้างอยู่ส่วนล่าง (residue) ของคอลัมน์จะมีองค์ประกอบของสารระเหยง่ายอยู่น้อย

เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการดำเนินการกลั่นแบบเบทซ์และแบบต่อเนื่องจะคล้ายกัน แต่สมมุติฐานในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแตกต่างกัน โดยที่การกลั่นแบบต่อเนื่องจะให้ส่วนประกอบและอัตราการไหลไม่ขึ้นอยู่กับเวลาของการกลั่นหรือเรียกว่าการกลั่นสถานะคงตัว

ถ้าสารป้อนของการกลั่นแบบเบทซ์เป็นสารผสมที่มีแฟรกชันเชิง โมลของสารระเหยง่ายอยู่ค่าหนึ่งมาทำการกลั่นตามอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่กำหนด ในช่วงแรกผลผลิตยอดหอจะเป็นสารระเหยง่ายที่มีองค์ประกอบคงที่ หลังจากทำการกลั่นไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง องค์ประกอบของผลผลิตเริ่มที่จะเปลี่ยนไปเนื่องจากองค์ประกอบของสารป้อนในหม้อกลั่นเปลี่ยนไป ถ้าเราเพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์เป็นค่าใหม่ก็จะมีความเป็นไปได้ที่จะได้องค์ประกอบ

ของผลผลิตยอดหอออกมาคงที่เหมือนกับในตอนแรกถึงแม้ว่าสารที่เหลืออยู่ในส่วนล่างของคอลัมน์จะมีองค์ประกอบที่เปลี่ยนไป ดังนั้นการกลั่นแบบเบทซ์ที่ทำให้สมบัติของผลผลิตยอดหอคงที่ทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์อย่างสม่ำเสมอ



ภาพประกอบ 1.18 การกลั่นแบบเบทซ์

การกลั่นแบบรีฟลักซ์คงที่จะยอมให้องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอเปลี่ยนไปตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการผลผลิตยอดหอซึ่งมีสารระเหยง่ายมากกว่ามีองค์ประกอบเป็น 0.9 จะทำได้โดยการจัดให้องค์ประกอบของผลผลิตในตอนเริ่มต้นเป็น 0.95 และยอมให้การกลั่นดำเนินไปจนมีองค์ประกอบเปลี่ยนไปเป็น 0.85 จะทำให้ได้ผลผลิตทั้งหมดมีองค์ประกอบตามที่ต้องการและให้ความบริสุทธิ์ที่ถูกต้องตามที่ได้เลือกไว้

ข้อดีอย่างหนึ่งของการกลั่นแบบเบทซ์ คือจะได้ผลผลิตออกมามากกว่าหนึ่งชนิด เช่น ทำการกลั่นส่วนผสมของแอลกอฮอล์และน้ำ ในตอนเริ่มต้นจะได้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและสารที่เหลือในคอลัมน์จะมีแอลกอฮอล์อยู่น้อยลง ส่วนผลผลิตที่สองจะมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ลดลง ในที่สุดปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลือในคอลัมน์จะลดลงจนได้ค่าที่น้อยที่สุด วิธีการดำเนินการเช่นนี้จะมีประโยชน์สำหรับการกลั่นสารผสมอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบหลายตัวโดยในแต่ละส่วนประกอบจะมีปริมาณน้อย

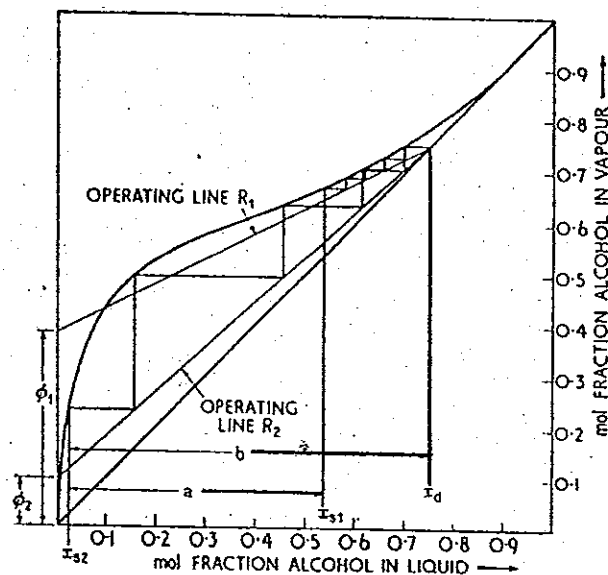
Diwekar, et al., 1991 ได้ทำการออกแบบคอลัมน์การกลั่นแบบเบทซ์สำหรับการแยกสารหลายส่วนประกอบ การออกแบบการกลั่นแบบเบทซ์นี้เป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากองค์ประกอบของสารเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การออกแบบที่มีใช้กันอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ PROCESS และ BATCHFRAC ซึ่งจะเป็นวิธีที่ยากเกินไป เพราะจะต้องใช้เวลาในการคำนวณและต้องการหน่วยความจำมาก

มีวิธีการออกแบบคอลัมน์การกลั่นวิธีการหนึ่งที่ย่ายและใช้เวลาไม่มากนักคือ วิธีลัด (short cut method) วิธีการนี้จะใช้ได้กับการดำเนินการทั้งแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงรีฟลักซ์ และรีฟลักซ์คงที่ จากการเปรียบเทียบผลการออกแบบระหว่างวิธีลัดและวิธีการอื่นๆ พบว่ามีผลที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีลัดจึงน่าจะสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในขั้นต้นของการออกแบบ

การดำเนินการที่องค์ประกอบของผลผลิตคงที่

สมมุติให้คอลัมน์มีจำนวนเพลททางอุดมคติ 4 เพลท ใช้คอลัมน์นี้เพื่อแยกส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำ ในตอนเริ่มต้นมีจำนวนโมลของของเหลวอยู่ในคอลัมน์ S_1 โมล มีแฟรกชันเชิงโมลขององค์ประกอบระเหยง่าย (แอลกอฮอล์) เป็น x_{s1} โดยผลผลิตยอดหอยจะมีแฟรกชันเชิงโมลเป็น x_d และให้อัตราส่วนรีฟลักซ์เป็น R_1 สมมุติให้การกลั่นดำเนินไปจนเหลือจำนวนโมลของของเหลวในคอลัมน์เป็น S_2 โมล และแฟรกชันเชิงโมลเป็น x_{s2} ใช้คอลัมน์ที่มีจำนวนเพลทเท่ากันนี้แต่เพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์เป็น R_2 ถ้าจำนวนผลผลิตที่ได้จากค่ารีฟลักซ์ใหม่เป็น D_2 โมล จะสามารถเขียนสมการดุลมวลสารได้เป็น



ภาพประกอบ 1.19 กราฟแสดงการกลั่นแบบเบทซ์

$$\begin{aligned}
S_1 \cdot x_{s1} - S_2 \cdot x_{s2} &= D_b \cdot x_d \quad \text{และ} \quad S_1 - S_2 = D_b \\
S_1 \cdot x_{s1} - (S_1 - D_b) \cdot x_{s2} &= D_b \cdot x_d \\
S_1 \cdot x_{s1} - S_1 \cdot x_{s2} &= D_b \cdot x_d - D_b \cdot x_{s2} \\
D_b &= S_1 \left[\frac{x_{s1} - x_{s2}}{x_d - x_{s2}} \right] = \frac{a}{b} \quad (1.15)
\end{aligned}$$

เมื่อ a และ b แสดงค่าตามภาพประกอบ 1.19 ถ้า ϕ เป็นจุดตัดบนแกน y สำหรับเส้นดำเนินการต่าง ๆ จะได้ว่า

$$\frac{x_d}{R+1} = \phi \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{x_d}{\phi} - 1 \quad (1.16)$$

สมการนี้จะแสดงถึงอัตราส่วนรีฟลักซ์สุดท้ายที่จะให้ผลผลิตที่มีค่าความเข้มข้นสุดท้ายตามที่ต้องการ สิ่งสำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการดำเนินการกลั่นด้วยรีฟลักซ์คงที่และองค์ประกอบของผลผลิตคงที่ คือความแตกต่างในการใช้ปริมาณพลังงานเพื่อให้ได้ปริมาณของผลผลิต D_b ออกมาตามต้องการ ถ้าเราสมมติให้มีการปรับเปลี่ยนรีฟลักซ์ R อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ผลผลิตยอดหอที่มีคุณสมบัติคงที่ จะได้ว่าที่เวลาต่างๆค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์จะเป็น $R = dL_b / dD_b$ สำหรับกรณีที่มีการกลั่นเป็นแบบรีฟลักซ์ทั้งหมดจะเขียนสมการได้ดังนี้

$$\int_0^{L_b} dL_b = \int_{R=R_1}^{R=R_2} R \cdot dD_b$$

เมื่อ L_b เป็นจำนวนของของเหลวที่ส่งกลับเข้าที่ยอดหอ

เพื่อให้ได้รีฟลักซ์ dL_b จึงต้องทำการดึงความร้อน $\lambda \cdot dL_b$ ในเครื่องควบแน่นออก เมื่อ λ เป็นความร้อนของการระเหยต่อโมล ดังนั้นถ้าความร้อนที่ให้ในหม้อกลั่นเป็น Q_R จะทำให้รีฟลักซ์ทั้งหมดในระหว่างการกลั่นเป็นดังนี้

$$Q_R = \lambda \int_0^{L_b} dL_b = \lambda \int_{R_1}^{R_2} R \cdot dD_b \quad (1.17)$$

จะสามารถหาค่าความร้อนในสมการนี้ได้จากการอินทิเกรตเชิงกราฟ โดยเริ่มจากหาความสัมพันธ์ระหว่าง R และ D_b สำหรับแต่ละค่าของ R ที่ต้องการ และสามารถหา x_s ได้โดยการวาดเส้นดำเนินการลงในกราฟ หลังจากนั้นสามารถหาจำนวนสเตจออกมาได้ เมื่อต้องการหาปริมาณผลผลิต D_b ก็จะหาได้จากสมการ 1.15 ทำการพล็อตค่าระหว่าง R และ D_b แล้วทำการหาผลของการอินทิเกรตเชิงกราฟ ก็จะให้ค่าของ $\int R \cdot dD_b$ ออกมา

Barolo, et al., 1998 ได้เสนอรูปแบบของการควบคุมการกลั่นแบบแบทช์สำหรับสารผสมแบบสองส่วนประกอบและหลายส่วนประกอบที่มีองค์ประกอบของส่วนกลั่นคงที่ โดย

การใช้รูปแบบการควบคุมแบบ Nonlinear Internal Model Control การประมาณองค์ประกอบของส่วนกลั่นจะทำได้จากการวัดอุณหภูมิของแต่ละเฟลท รวมทั้งจะต้องประมาณเสถียรภาพของระบบที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ โมเดลที่ใช้ในการควบคุมจากหลายแหล่งจะไม่ตรงกันขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทดลองที่นำมาเสนอ พบว่าเครื่องควบคุมที่นำมาเสนอในที่นี้ให้ผลที่แน่ใจได้ว่าการเปลี่ยนจากเฟสเริ่มต้นจนเป็นเฟสของผลผลิตเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสม่ำเสมอและมีความแน่นอนในการควบคุมองค์ประกอบจนกว่าจะเสร็จสิ้นการดำเนินการ การปรับค่าควบคุมทำได้โดยง่ายและสามารถติดตั้งเครื่องควบคุมนี้กับกระบวนการกลั่นได้โดยตรง

การดำเนินการด้วยอัตราส่วนรีฟลักซ์คงที่

ในการดำเนินการที่อัตราส่วนรีฟลักซ์คงที่เป็น R เมื่อการดำเนินการผ่านไปจะได้รับความเข้มข้นของสารระเหยง่ายที่ออกมาที่ผลผลิตยอดหอลดลงเรื่อยๆ สำหรับที่ช่วงเวลา dt จะมีองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอเปลี่ยนจาก x_d ไปเป็น $x_d - dx_d$ ถ้าในช่วงเวลานี้ได้ปริมาณผลผลิตเป็น dD_b จะได้สมการดุลมวลสารของส่วนประกอบที่ระเหยง่ายดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ส่วนประกอบระเหยง่ายที่ออกมาที่ผลผลิต} &= dD_b [x_d - dx_d] \\ &= x_d \cdot dD_b \end{aligned}$$

$$\text{และ} \quad x_d \cdot dD_b = -d(S \cdot x_s)$$

$$\text{แต่ } dD_b = -dS, \therefore -x_d \cdot dS = -S \cdot dx_s - x_s \cdot dS$$

$$\therefore S \cdot dx_s = dS(x_d - x_s)$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad \int_{s_1}^{s_2} \frac{dS}{S} &= \int_{x_{s1}}^{x_{s2}} \frac{dx_s}{x_d - x_s} \\ \ln \frac{S_1}{S_2} &= \int_{x_{s1}}^{x_{s2}} \frac{dx_s}{x_d - x_s} \end{aligned} \quad (1.18)$$

เราสามารถหาผลการอินทิเกรตด้านขวามือของสมการได้โดยการพล็อตกราฟระหว่าง $1/(x_d - x_s)$ และ x_s ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของ x_s ในผลผลิตจะหาได้จากอัตราส่วนของปริมาณสาร i ในตอนเริ่มต้นต่อปริมาณสาร i ตอนสุดท้ายของการกลั่นในคอลัมน์ ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตจากการกลั่นทั้งหมดเป็น D_b ส่วนความร้อนที่ให้เพื่อทำให้เกิดรีฟลักซ์จะหาได้จาก $Q_R = \lambda \cdot R \cdot D_b$ ค่าความร้อนนี้จะเป็นค่าความร้อนที่ต้องการต่อโมลของผลผลิต จากผลที่ได้นี้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับวิธีดำเนินการแบบองค์ประกอบของผลผลิตคงที่ได้

1.2.5 การกลั่นสารผสมหลายส่วนประกอบ

การกลั่นแยกสารผสมที่มีส่วนประกอบอยู่สองชนิดภายใต้สภาวะความดันคงที่ ถ้าทราบความเข้มข้นของแต่ละส่วนประกอบในเฟสของเหลวและทำให้ส่วนประกอบของเหลวและไอคงที่อยู่บนพื้นฐานของกราฟสมดุลเดี่ยว ก็จะสามารถพัฒนาวิธีการแมคแคบ-ทิล (McCabe-Thiele) ในการหาจำนวนเพลททางทฤษฎีได้อย่างรวดเร็วและสามารถทำให้เกิดการแยกได้ตามความต้องการ สำหรับระบบที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว สภาวะสมดุลที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นจะต้องกำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะความดันคงที่และเป็นระบบในทางอุณหพลศาสตร์ โดยทราบค่าแฟร็กชันเชิงโมลของส่วนประกอบทั้งสามในเฟสของเหลว จึงจะสามารถหาองค์ประกอบของสมดุลไอได้ ซึ่งค่าแฟร็กชันเชิงโมลของไอ y_A ในระบบการกลั่นแยกแบบส่วนประกอบ 3 ตัวนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับเฉพาะแต่ x_A ในของเหลวเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของส่วนประกอบอีกสองตัวด้วย

สมการความสัมพันธ์แบบง่ายสำหรับสารผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบหลายชนิดในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม คือ $y_A = Kx_A$ เมื่อค่า K เป็นค่าคงตัวสมดุล (equilibrium constant) ที่วัดสำหรับไฮโดรคาร์บอนในช่วงกว้าง ที่ความดันต่าง ๆ

Neri, et al., 1998 ทำการศึกษาถึงการออกแบบการกลั่นสำหรับระบบที่มีส่วนประกอบหลายชนิดโดยการใช้ทฤษฎีสมดุล เครื่องมือสำหรับการออกแบบจะอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์และอาศัยสมมติฐานอ้างอิงดังนี้ 1) ให้คอลัมน์มีสเตจอยู่จำนวนมากแทนการใช้วิธีการสเตจ-บาย-สเตจ (stage by stage) เพื่อหาจำนวนสเตจสมดุล 2) มีการไหลล้นเชิงโมล (molar overflow) คงตัว 3) สภาพระเหยสัมพันธ์คงที่ และ 4) สถานะสมดุลตลอดคอลัมน์ การแก้ปัญหาของสมการจะอยู่ในกรอบของทฤษฎีสมดุลซึ่งได้รับการพัฒนามาจากกระบวนการโครมาโตกราฟี จากเงื่อนไขทั้งหมดนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลที่แน่นอนของคอลัมน์ที่อยู่ในสถานะคงตัว (steady state) ได้ว่ามีความบริสุทธิ์ของผลผลิตสูง ผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงบริเวณการแยกที่แตกต่างกันในคอลัมน์ โดยจะแสดงให้อยู่ในรูปของแฟร็กชันอัตราการไหลสำหรับเรกติไฟอิงเซกชันและสตรippingเซกชัน รวมทั้งแสดงถึงสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับแต่ละบริเวณการแยกที่แตกต่างกัน

องค์ประกอบของสารป้อนและผลผลิต

ในระบบที่มีส่วนประกอบสองตัว ถ้าทราบองค์ประกอบ 1 ตัวในสารป้อน (x_p) และในผลผลิตยอดหอ (x_d) ก็จะสามารถหาองค์ประกอบของผลผลิตล่าง (x_b) ที่ต้องการได้ และ

จากการทำคุณมูลสารก็จะทำให้หาจำนวนของผลผลิตยอดหอ D และผลผลิตส่วนล่าง B ได้ ซึ่งในการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวจะไม่สามารถนำมาใช้กับสารผสมที่มีส่วนประกอบสามตัวหรือมากกว่าได้

ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนรีฟลักซ์มีค่าคงที่เป็น R จำนวนเพลทที่ตำแหน่งเหนือและล่างของเพลทป้อนถูกเลือกเพื่อให้เกิดการใช้งานของเพลทได้อย่างดีที่สุด จะพบว่ามีเพียงตัวแปร 2 ตัวที่ยังคงเหลืออยู่ ถ้าองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอและส่วนล่างตัวใดตัวหนึ่งถูกกำหนดให้คงที่ จะทำให้ลดระดับขั้นของการลองผิดลองถูกในการคำนวณหาจำนวนเพลทเพื่อให้ได้การกลั่นแยกตามที่ต้องการ พบว่าถ้ากำหนดค่าองค์ประกอบของผลผลิตส่วนล่างและนำมาหาองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอแล้วได้ผลไม่ตรงกับความต้องการที่อัตราส่วนรีฟลักซ์ที่ได้เลือกไว้ จะต้องทำการปรับองค์ประกอบของส่วนล่างเสียใหม่ ค่าที่ถูกต้องในการคำนวณด้วยวิธีนี้ไม่ใช่สิ่งสำคัญ เนื่องจากข้อมูลสมดุลและประสิทธิภาพของเพลทมีความถูกต้องจำกัด ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะง่ายขึ้นได้ถ้ามีความคมชัดในการแยกระหว่างส่วนประกอบสูง โดยส่วนประกอบที่ระเหยง่ายทั้งหมดจะปรากฏในส่วนบน และส่วนประกอบที่ระเหยได้น้อยทั้งหมดจะปรากฏในผลผลิตก้นหอ

ส่วนประกอบคีย์หนักและเบา

โดยทั่วไปเราต้องการให้การแยกสารผสมที่มีส่วนประกอบหลายชนิดเกิดขึ้นในระหว่างส่วนประกอบสำคัญสองตัว โดยส่วนประกอบแต่ละตัวนี้จะเรียกว่าเป็นส่วนประกอบคีย์ (key components) เพื่อให้ง่ายในแยกสารผสมซับซ้อนเราจึงให้ความสนใจต่อการแยกของส่วนประกอบคีย์นี้ ดังจะมีตัวอย่างของการแยกสารผสมมีส่วนประกอบอยู่ 4 ตัว คือ A-B-C-D โดยสาร A เป็นสารที่ระเหยง่ายที่สุด และ D เป็นสารที่ระเหยได้ยากที่สุด ทำการแยกสารเหล่านี้ออกจากกันเป็นสองส่วน ดังแสดงได้ตามตารางดังต่อไปนี้

สารป้อน	ผลผลิตยอดหอ	ผลผลิตก้นหอ
A	A	
B	B	B
C	C	C
D		D

จะได้ว่า B เป็นส่วนประกอบที่เบาที่สุดที่ปรากฏในผลผลิตกันหอนจะเรียกว่าเป็นส่วนประกอบคีย์เบา และ C เป็นส่วนประกอบที่หนักที่สุดที่ปรากฏในผลผลิตยอดหอน ซึ่งจะเรียกได้ว่าเป็นส่วนประกอบคีย์หนัก จุดประสงค์หลักของการแยกนี้คือต้องการให้ B ปนเปื้อนในผลผลิตกันหอนน้อยที่สุด และต้องการให้ C ปนเปื้อนในผลผลิตยอดหอนน้อยที่สุดเช่นกัน

แสดงสมดุล

องค์ประกอบของไอที่สมดุลกับของเหลวในแต่ละเพลทจะสามารถคำนวณได้จากความรู้ในเรื่องของความดันไอหรือสภาพระเหยสัมพันธ์ของส่วนประกอบแต่ละตัว ซึ่งจะสามารถหาองค์ประกอบของของเหลวบนเพลทได้จากการใช้สมการเดียวกับการดำเนินการสำหรับสารผสมที่มีส่วนประกอบสองตัว แต่ในกรณีนี้จะแยกสมการสำหรับแต่ละส่วนประกอบออกจากกัน

สมมติว่าสารผสมของส่วนประกอบ A B C D... มีแฟรกชันเชิงโมลในของเหลวเป็น

$x_A, x_B, x_C, x_D, \dots$ และในไอเป็น $y_A, y_B, y_C, y_D, \dots$

ดังนั้น

$$y_A + y_B + y_C + y_D + \dots = 1$$

และ

$$\frac{y_A}{y_B} + \frac{y_C}{y_B} + \frac{y_D}{y_B} + \dots = \frac{1}{y_B}$$

$$\alpha_{AB} \frac{x_A}{x_B} + \alpha_{CB} \frac{x_C}{x_B} + \alpha_{DB} \frac{x_D}{x_B} + \dots = \frac{1}{y_B}$$

\therefore

$$\sum \alpha_{AB} \cdot x_A = \frac{x_B}{y_B}, \quad y_B = \frac{x_B}{\sum \alpha_{AB} \cdot x_A}$$

และในลักษณะเดียวกัน

$$y_A = \frac{x_A \cdot \alpha_{AB}}{\sum \alpha_{AB} \cdot x_A}; \quad y_C = \frac{x_C \cdot \alpha_{CB}}{\sum \alpha_{AB} \cdot x_A} \quad (1.19)$$

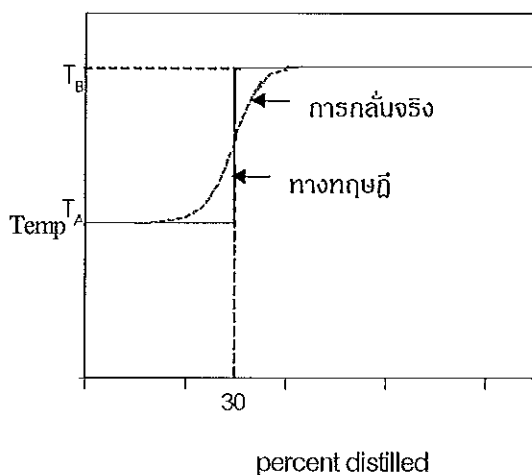
จึงเป็นการสะดวกที่จะหาองค์ประกอบของไอจากของเหลว โดยการใช้ค่าสภาพระเหยสัมพันธ์ของส่วนประกอบเข้ามาเกี่ยวข้อง

1.2.6 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling distillation, TBP)

การกลั่นแบบซับซ้อน (complex distillation) เป็นการกลั่นแยกสารที่มีส่วนประกอบหลายชนิดให้ได้ผลผลิตที่มีสมบัติตามความต้องการ ในการแยกนี้จะไม่สามารถทำให้เกิดเป็นสารบริสุทธิ์แต่ละตัวได้แต่จะมีการปนเปื้อนของส่วนหนักและเบาอยู่บ้าง ดังมีตัวอย่างของการกลั่นแยกแบบซับซ้อน ได้แก่ การกลั่นแยกน้ำมันปิโตรเลียมอันเป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และมีส่วนประกอบทางเคมีกว่าร้อยชนิด

การกลั่นที่จัดว่ามีระบบการกลั่นแบบซับซ้อน คือ การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (TBP) การกลั่นแบบนี้จะเป็นการกลั่นลำดับส่วนที่มีความสามารถในการแยกสูง โดยส่วนประกอบแต่ละตัวที่อยู่ในสารผสมจะค่อยๆ แยกตัวออกมาตามจุดเดือดของมัน ซึ่งปริมาณสารที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ จะเป็นผลรวมของปริมาณส่วนประกอบที่มีอุณหภูมิจุดเดือดอยู่ในช่วงอุณหภูมินั้น

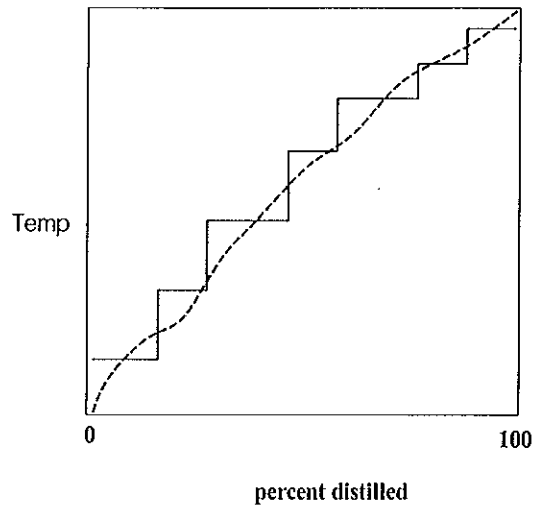
การแสดงคุณสมบัติการระเหยของสารผสมปิโตรเลียมจะทำได้โดยการเขียนกราฟการกลั่นในรูปร้อยละผลได้ของการกลั่น (% yield) กับอุณหภูมิการกลั่น จากภาพประกอบ 1.20 จะเป็นการแสดงถึงกราฟการกลั่นจุดเดือดจริงของสารผสมที่ประกอบด้วยสาร A 30% และสาร B 70 % โดยสาร A มีอุณหภูมิจุดเดือดเป็น t_A และสาร B มีอุณหภูมิจุดเดือดเป็น t_B ที่ความดันบรรยากาศ จากกราฟที่ได้จะประกอบไปด้วยเส้นกราฟของการกลั่นในทางทฤษฎีและการกลั่นจริง สำหรับในทางทฤษฎีจะให้เส้นกราฟการกลั่นที่เป็นแบบขั้นบันได เส้นกราฟเช่นนี้จะแสดงถึงลักษณะของการกลั่นแยกที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และได้ผลผลิตที่มีความบริสุทธิ์ ส่วนผลที่ได้จากการทดลองกลั่นจริงจะได้เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเรียบ ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะของการกลั่นแยกที่เกิดขึ้นแบบไม่สมบูรณ์



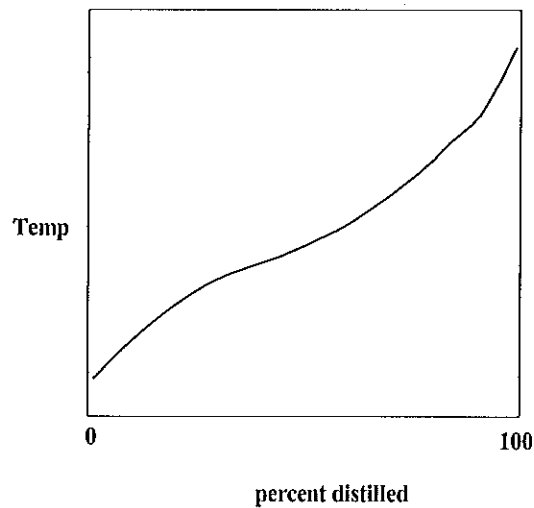
ภาพประกอบ 1.20 กราฟจุดเดือดจริงสำหรับสารผสม 2 ส่วนประกอบ

ในภาพประกอบ 1.21 จะแสดงถึงเส้นกราฟของการกลั่นแยกสารผสมที่มีองค์ประกอบ 7 ตัว พบว่าเส้นกราฟจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟในภาพประกอบ 1.20 นั่นคือมีเส้นกราฟเป็นขั้นบันไดซึ่งจะแสดงถึงการกลั่นแยกส่วนประกอบออกจากกันอย่างสมบูรณ์ใน

ทางทฤษฎี ส่วนเส้นโค้งเรียบจะแสดงถึงการแยกที่เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง สำหรับเส้นกราฟจุดเดือดจริงของสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนจะแสดงได้ตามภาพประกอบ 1.22 โดยส่วนประกอบของสารแต่ละตัวที่นำมากลั่นแยกในกรณีนี้จะมีร้อยละโดยปริมาตรอยู่น้อย



ภาพประกอบ 1.21 กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบ 7 ตัว



ภาพประกอบ 1.22 กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบซับซ้อน

กราฟจุดเดือดจริงจะอธิบายถึงอุณหภูมิจุดเดือด ร้อยละผลได้ (% yield) โดยปริมาตร และลักษณะเฉพาะของส่วนกลั่น เส้นกราฟจุดเดือดจริงจะแสดงถึงอุณหภูมิจุดเดือดของแต่ละส่วนประกอบที่ความดันรวม (total pressure) ดังนั้นแต่ละจุดบนเส้นกราฟนี้จะสามารถนำไปหาความดันไอตามอุณหภูมิจุดเดือดได้ สารที่มีคุณสมบัติตรงกับจุดในเส้นกราฟจุดเดือดจริงนี้

เราเรียกว่าส่วนประกอบเทียม (pseudocomponent) ด้วยเหตุนี้เราอาจจะสามารถหาชนิดของสารประกอบแทนแต่ละจุดบนเส้นกราฟการกลั่นได้

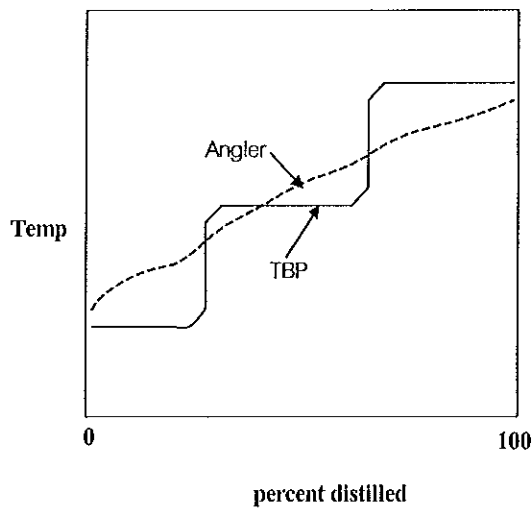
ในการหาอุณหภูมิจุดตัดและประสิทธิภาพของการกลั่น (cut point and efficiency, CPE) เพื่อประเมินความสามารถการแยกที่เกิดขึ้นจากการกลั่นนั้น Bellet, 1997 ได้ออกแบบซอฟต์แวร์ (software) ที่เรียกว่า CPE ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณตามมาตรฐาน ASTM D2892 หรือการกลั่นแบบจุดเดือดจริง โดยจะสามารถใช้หาการปนเปื้อนของส่วนกลั่นที่มีจุดเดือดติดกัน แล้วนำไปสู่การหาประสิทธิภาพของการแยกได้

การกลั่นแบบจุดเดือดจริงยังใช้ประโยชน์สำหรับการคำนวณหาสมมูลไอ-ของเหลวของสารผสม ซึ่ง Haynes, et al., 1991 ได้ใช้ความสัมพันธ์ของสมบัติวิกฤต (critical properties) อะเซ็นตริกแฟกเตอร์ (acentric factor) และน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) กับจุดเดือดของสาร Quiroga, et al., 1996 และทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการหาลักษณะเฉพาะของสารผสมซับซ้อนที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ พาราฟิน แนฟทีน และ อะโรแมติก ผลปรากฏว่าวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดและสามารถหาลักษณะเฉพาะของสารผสมได้โดยตรง คือการใช้กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

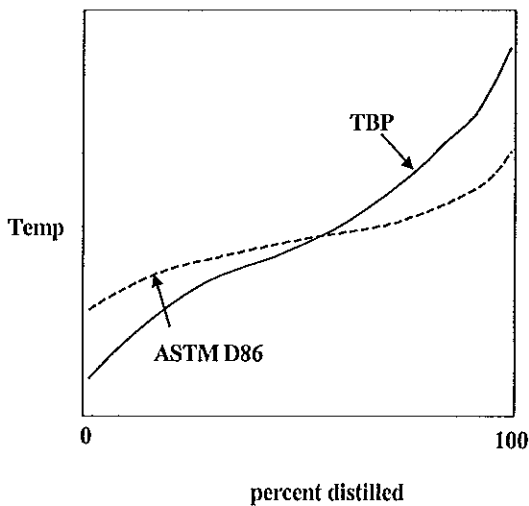
1.2.7 การกลั่นแบบแองเกลอร์ (Engler Distillation)

สมบัติการระเหยของสารผสมปิโตรเลียมและเคมีอินทรีย์ที่ซับซ้อนบางชนิดสามารถหาได้โดยใช้การกลั่นอย่างง่ายซึ่งเป็นการกลั่นแบบเบตซ์ การกลั่นแบบนี้จะไม่มีการถ่ายโอนมวลสารและความร้อนอันเกิดจากการสัมผัสกันระหว่างไอและของเหลว เนื่องจากไม่มีเพลทหรือสเทจที่ทำให้เกิดสมดุลและไม่มีการปลั๊กซึ่งเป็นตัวช่วยให้เกิดการแยกซ้ำ การกลั่นจะเกิดขึ้นในขวดกลั่นที่มีการให้ความร้อนจนเกิดเป็นไอ ส่วนของไอนี้จะผ่านการควบแน่นเป็นผลผลิตโดยไม่มีการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและไอซึ่งจะมีไม่เกิดการถ่ายโอนมวลขึ้นนั่นเอง ดังนั้นการกลั่นแบบนี้จะไม่ทำให้ไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวในน้ำมันเกิดการกลั่นแยกออกตามจุดเดือดของมันแต่จะเดือดแยกออกมาเป็นสารผสม การกลั่นที่ได้รับการออกแบบในลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่าเป็นการกลั่นแบบแองเกลอร์

ส่วนใหญ่แล้วคุณสมบัติด้านการระเหยของผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียมมักจะกำหนดตามมาตรฐานการกลั่น ASTM D-86 ซึ่งมีหลักการเดียวกับการกลั่นแบบแองเกลอร์ การกลั่น ASTM D86 จะทำโดยการป้อนสารตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดกลั่นแล้วให้ความร้อน และควบคุมการกลั่นภายใต้สภาวะที่ได้กำหนดไว้

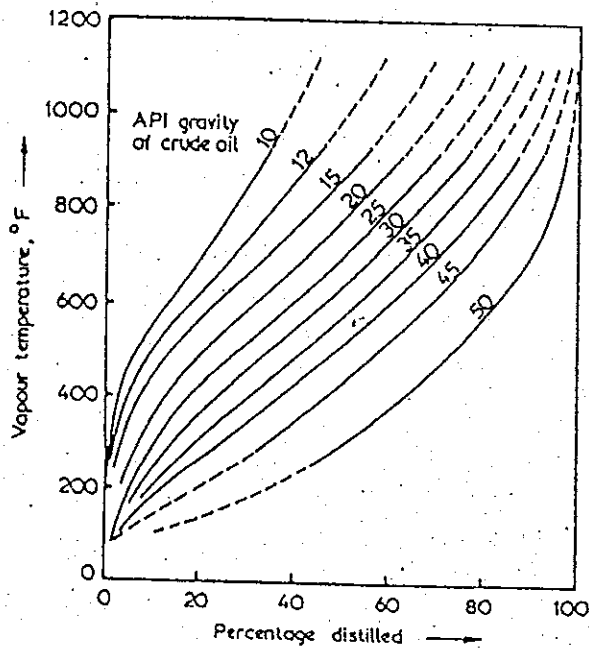


ภาพประกอบ 1.23 เปรียบเทียบการกลั่นสาร 3 ส่วนประกอบระหว่าง TBP และ ASTM D86



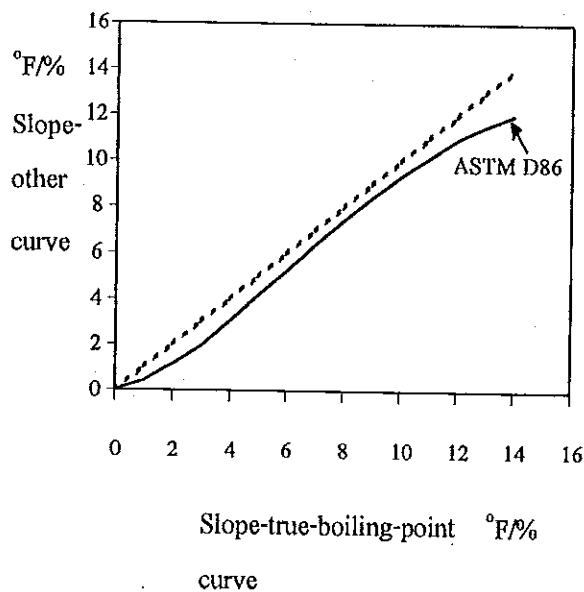
ภาพประกอบ 1.24 เปรียบเทียบผลการกลั่นสารผสมซับซ้อนระหว่าง TBP และ ASTM D86

จากภาพประกอบ 1.23 ได้แสดงถึงการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่ได้จากการกลั่นแบบ แองเกิลอร์ของการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบ 3 ตัวกับเส้นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ได้จากการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบเหมือนกัน พบว่าเส้นกราฟของการกลั่นจุดเดือดจริงจะแสดงอุณหภูมิจุดเดือดของสารแต่ละชนิดอย่างชัดเจน ในขณะที่การกลั่นแบบแองเกิลอร์จะ ได้เป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารออกมา สำหรับในการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบซับซ้อน สามารถแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟซึ่งได้จากวิธีการกลั่นทั้งสองแบบตามภาพประกอบ 1.24 จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ได้จากการกลั่นแบบแองเกิลอร์จะแคบกว่าผลของ การกลั่นแบบจุดเดือดจริง



ภาพประกอบ 1.25 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบ

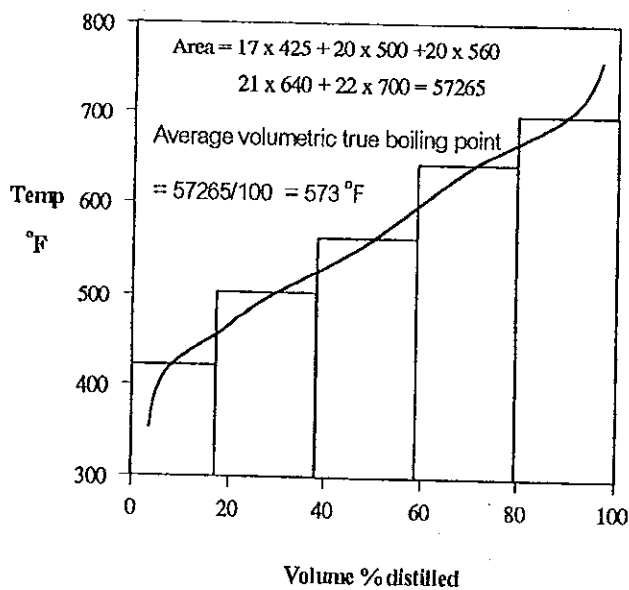
ความสัมพันธ์ของกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบที่มีค่า API gravity ต่าง ๆ แสดงได้ตามภาพประกอบ 1.25 จะได้ว่าเมื่อค่าร้อยละผลได้ของผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันดิบแต่ละชนิดมีค่าเดียวกัน น้ำมันดิบที่มีค่า API gravity ต่ำ (มีความหนาแน่นสูง) จะมีค่าอุณหภูมิจุดเดือดการกลั่นที่สูงกว่าน้ำมันดิบที่มีค่า API gravity สูง และจากภาพประกอบ 1.26 จะแสดง



ภาพประกอบ 1.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟการกลั่น TBP และ ASTM D86

ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชันในหน่วยของสภาพารนไฮด์ต่อร้อยละผลได้ของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและแบบ ASTM D86 ซึ่งพบว่าการกลั่นแบบ ASTM D86 จะได้เส้นกราฟที่มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

จากผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะสามารถคำนวณหาอุณหภูมิจุดเดือดจริงเฉลี่ยโดยปริมาตร (average volumetric true boiling point) ได้ตามคำอธิบายการคำนวณในกราฟของภาพประกอบ 1.27 ซึ่งทำได้โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟแล้วนำมาหาค่ากลางเฉลี่ย



ภาพประกอบ 1.27 กราฟแสดงผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและการหาจุดเดือดจริงเฉลี่ย

การพิจารณาถึงสมบัติของสารที่มีส่วนประกอบจำนวนมาก ในทางปฏิบัติจะใช้กราฟการกลั่นจุดเดือดจริงในการแสดงค่า ซึ่งกราฟการกลั่นนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเดือดและร้อยละผลได้ของการกลั่น ตัวอย่างการใช้กราฟนี้ได้แก่ กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบจะแสดงถึงร้อยละของส่วนประกอบในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ซึ่งจะทำให้เราทราบได้ว่าเมื่อทำการกลั่นแยกน้ำมันดิบจะได้ผลผลิตออกมาในปริมาณมากน้อยเพียงไร และมีคุณสมบัติเป็นเช่นไร

1.2.8 สกอลการแยก

การหาความสามารถในการกลั่นแยกโดยวิธีการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของผลผลิตที่ได้จากการกลั่นแยกมักจะไม่เหมาะสมเนื่องจากมีความยุ่งยาก จึงได้นิยามความสามารถใน

การกลั่นแยกให้เป็นค่าระดับขั้นของการแยก (degree of separation) หรือความคมชัดในการแยก (sharpness of separation) แทน

การประมาณความสามารถในการแยกของเครื่องกลั่นแยกที่มีอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลทต่างๆ จะประมาณได้ในเทอมของค่าช่องว่าง (gap) หรือค่าซ้อนเหลื่อม (overlap) ของอุณหภูมิจุดเดือด โดยจะเรียกเทอมทั้งสองนี้ว่าเป็นระดับขั้นของการแยกหรือความคมชัดในการแยก ค่าเหล่านี้เป็นผลมาจากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงตามมาตรฐาน ASTM D2892 และการกลั่นแบบแองเกลอร์ตามมาตรฐาน ASTM D86

เมื่อทำการกลั่นแยกสารป้อนด้วยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงให้ได้ผลผลิตออกมา 2 ชนิด จะเรียกผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดสูงกว่าว่าเป็นผลผลิตหนัก และเรียกผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่ำกว่าว่าเป็นผลผลิตเบา แล้วนำเอาผลผลิตที่ได้ทั้งสองมาทำการกลั่นโดยเครื่องกลั่น ASTM D86 ซึ่งจะได้ผลของการกลั่นออกมาเป็นอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point, IBP) จุดเดือดสุดท้าย (end point, EP) และค่าอุณหภูมิจุดเดือดที่ร้อยละผลได้ต่างๆ นำเอาผลที่ได้นี้มาคำนวณหาดีกรีของการแยกซึ่งจะนิยามได้ดังนี้

@ ค่าช่องว่าง = IBP ของผลผลิตหนัก - EP ของผลผลิตเบา

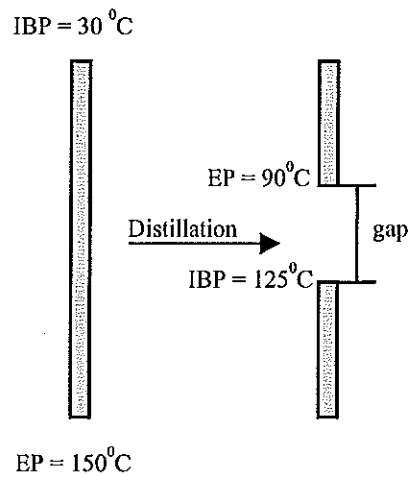
@ ค่าซ้อนเหลื่อม = EP ของผลผลิตเบา - IBP ของผลผลิตหนัก

ในกรณีที่ผลของการคำนวณเป็นค่าช่องว่างที่มีเครื่องหมายเป็นลบ จะต้องแสดงค่าดีกรีของการแยกให้เป็นค่าซ้อนเหลื่อมแทน ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าดีกรีการแยกทั้งสองนี้มีเครื่องหมายที่ตรงข้ามกัน โรงกลั่นน้ำมันหลายแห่งที่ใช้วิธีการนี้ในการกำหนดคุณสมบัติสำหรับการออกแบบคอลัมน์ในทางการค้าเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและค่าใช้จ่ายไม่สูง

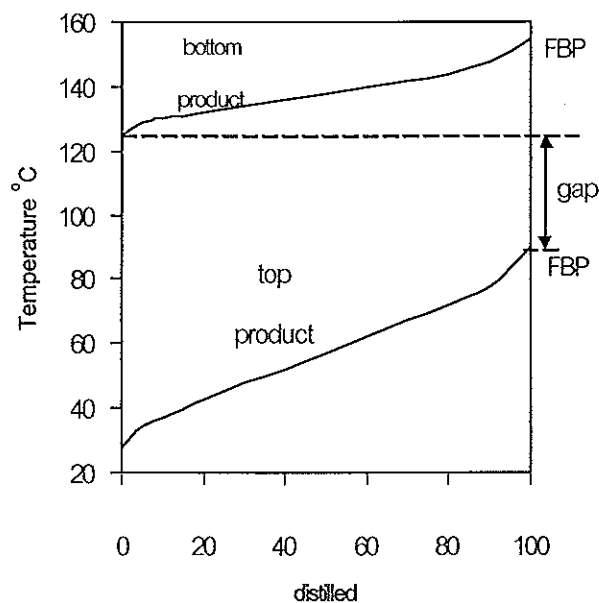
ตัวอย่างดังต่อไปนี้จะอธิบายถึงนิยามค่าดีกรีของการแยก

สมมุติว่าสารป้อนประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 30 ถึง 150 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารป้อนไปกลั่นแยกในคอลัมน์การกลั่น โดยให้ส่วนประกอบที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ออกมาที่ส่วนบนของคอลัมน์เรียกว่าเป็นผลผลิตเบา และให้ส่วนประกอบที่มีจุดเดือดสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ถูกแยกออกมาที่ส่วนล่างของคอลัมน์เรียกว่าเป็นผลผลิตหนัก จะได้ว่า EP แบบจุดเดือดจริงของผลผลิตส่วนบนเป็น 100 องศาเซลเซียส และ IBP แบบจุดเดือดจริงของผลผลิตส่วนล่างจะเป็น 100 องศาเซลเซียสด้วย

จากการสังเกตส่วนผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีอุณหภูมิจุดเดือดใกล้เคียงกับ 100 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีเฮปเทน (Heptane) ซึ่งมีอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 98 องศาเซลเซียส และ ไอโซออกเทน (iso-Octane) มีอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 118 องศาเซลเซียส ดังนั้นเฮปเทนน่าจะเป็นส่วนประกอบที่หนักที่สุดในผลผลิตเบา และจะหมายความว่าอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาจะต้องไม่สูงกว่า 98 องศาเซลเซียส และเนื่องจากอิทธิพลของส่วนประกอบที่เบากว่าเฮปเทนในผลผลิตเบา จึงทำให้อุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายที่ได้จากการกลั่น ASTM D86 ต่ำกว่า 98 องศาเซลเซียส เช่นอาจจะเป็น 90 องศาเซลเซียส



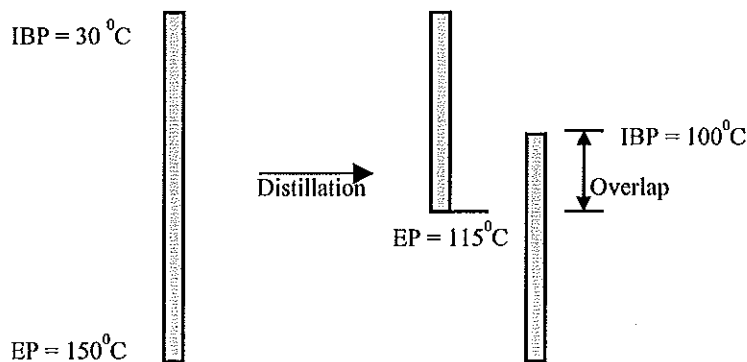
ภาพประกอบ 1.28 แผนภาพแสดงช่วงอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิตกับค่าช่องว่าง



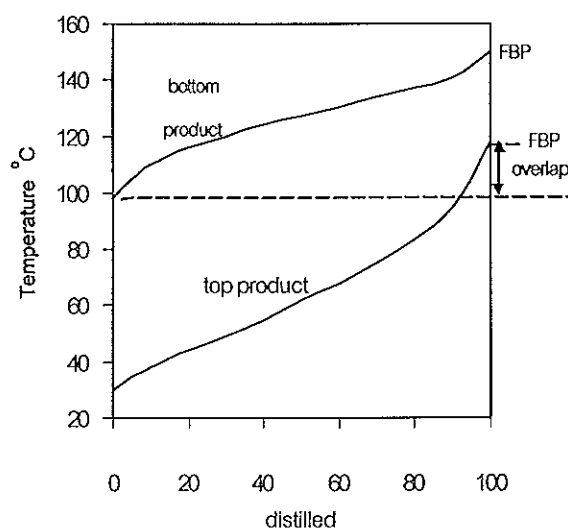
ภาพประกอบ 1.29 กราฟการกลั่น ASTM D86 กับค่าช่องว่าง

ไอโซออกเทนซึ่งมีจุดเดือดที่ 118 องศาเซลเซียส จะเป็นส่วนประกอบที่เบาที่สุดในผลผลิตหนัก ดังนั้นอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนักจะต้องไม่ต่ำกว่า 118 องศาเซลเซียส และเนื่องจากอิทธิพลของส่วนประกอบที่หนักกว่าไอโซออกเทนที่อยู่ในส่วนกลั่นแรกของผลผลิตหนัก จะทำให้อุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่น ASTM D86 ที่ได้มีค่าสูงกว่า 118 องศาเซลเซียส เช่นอาจจะมีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นเป็น 125 องศาเซลเซียส

จากที่ได้กล่าวมาแสดงว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาและอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนักจะไม่เท่ากัน ค่าที่ไม่เท่ากันนี้คือค่าช่องว่าง (gap = 125 - 90 = 35 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในภาพประกอบ 1.28 และ 1.29 “ค่าช่องว่าง” จึงเป็นค่าระดับขั้นของการแยกที่ใช้นิยามสำหรับกรณีที่มีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนักสูงกว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบา ค่าช่องว่างยิ่งกว้างแสดงว่ามีความคมชัดในการแยกสูง



ภาพประกอบ 1.30 แผนภาพแสดงช่วงอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิตกับค่าซ้อนเหลื่อม



ภาพประกอบ 1.31 กราฟการกลั่น ASTM D86 กับค่าซ้อนเหลื่อม

ในการกลั่นแยกที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นไปไม่ได้ที่ผลของการแยกจะมีความบริสุทธิ์เป็นร้อยละ 100 ดังนั้นจะพบไอโซออกเทนบางส่วนติดอยู่ในผลผลิตเบาและมีเฮปเทนบางส่วนติดอยู่ในผลผลิตหนัก จากเหตุนี้จึงทำให้อุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาที่มีค่าสูงขึ้นและอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนักมีค่าที่ต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าช่องว่างที่ได้มีค่าที่แคบลงนั่นเอง

ถ้าการกลั่นให้ผลของการแยกที่ไม่ดีหรือไม่คมชัดอาจทำให้อุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาที่มีค่าสูงกว่าจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนัก ในกรณีนี้จะได้ค่าช่องว่างที่เป็นลบ จึงนิยามค่าระดับชั้นของการแยกใหม่ว่าเป็นค่าซ้อนเหลื่อม (overlap) การกลั่นที่มีระดับชั้นของการแยกแบบค่าซ้อนเหลื่อมได้แก่ การกลั่น ASTM D86 ที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาเป็น 115 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนักเป็น 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นผลของการคำนวณค่าระดับชั้นของการแยกจะเป็นค่าซ้อนเหลื่อม 15 องศาเซลเซียส ($115-100 = 15$ องศาเซลเซียส) ซึ่งจะแสดงได้ในภาพประกอบ 1.30 และสามารถเขียนในรูปกราฟการกลั่นแบบ ASTM D86 ดังในภาพประกอบ 1.31

หากต้องการเพิ่มความสามารถในการแยกของการกลั่นซึ่งจะทำให้ค่าช่องว่างมีค่าที่กว้างขึ้น จะทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์และเพิ่มอัตราส่วนการต้มซ้ำของการกลั่นจริง ซึ่งการกระทำเช่นนี้จะหมายถึงเป็นการเพิ่มการใช้พลังงานของการกลั่นให้มากขึ้น ดังนั้นในการกลั่นแยกจึงต้องควบคุมให้มีค่าช่องว่างที่เหมาะสมโดยมีค่าไม่สูงจนเกินความจำเป็น

นอกจากค่าช่องว่างและค่าซ้อนเหลื่อมของการแยกจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนรีฟลักซ์และอัตราส่วนการต้มซ้ำแล้ว ค่าดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับสมบัติของสารป้อนด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการกลั่นลำดับส่วนโดยใช้สารป้อน 2 ชนิดที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างกันด้วยเครื่องกลั่นที่มีค่าการออกแบบเดียวกันทุกประการ จะพบว่าสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดกว้างกว่าจะให้ผลผลิตที่มีค่าช่องว่างมากกว่าสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดแคบ เนื่องจากเมื่อนำผลผลิตจากการกลั่นลำดับส่วนของสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดกว้างไปทำการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM D86 ค่าอุณหภูมิจุดเดือดของส่วนกลั่นจะได้รับอิทธิพลจากสารผสมมากกว่าการกลั่นผลผลิตที่ได้จากสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดแคบ ดังนั้นในการเปรียบเทียบระดับชั้นของการแยกสำหรับสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างกันจึงใช้ค่าช่องว่างและค่าซ้อนเหลื่อมไม่ได้ จึงได้มีการคิดวิธีแสดงค่าระดับชั้นของการแยกให้อยู่ในรูปแบบอื่นซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

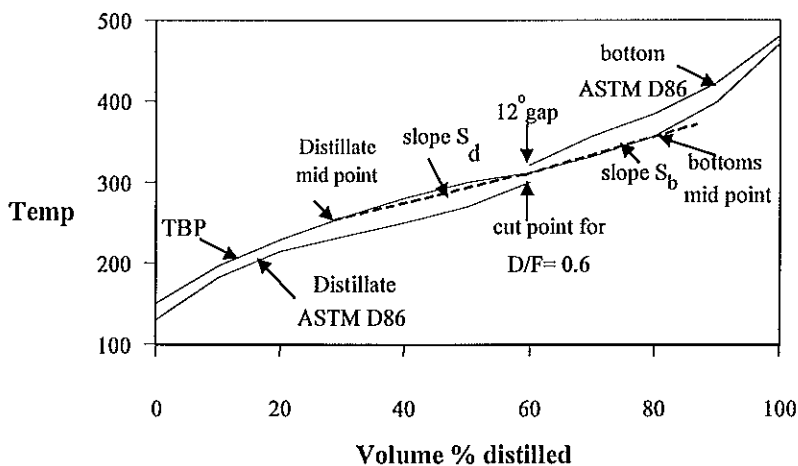
ก. หาค่าช่องว่างสูงสุด, g_m

ค่าช่องว่างสูงสุดในการกลั่นแยกแบบซับซ้อน จะนิยามได้จากตัวอย่างของการกลั่นแยกที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อใช้สารป้อนที่มีส่วนประกอบ 2 ตัว โดยส่วนประกอบทั้งสองนี้มีอุณหภูมิจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำผลผลิตจากการแยกทั้งสองไปทำการกลั่นแบบ ASTM D86 จะพบว่าค่าช่องว่างนี้จะมีค่าสูงสุด โดยค่าช่องว่างสูงสุดนี้อาจจะหาได้จากการใช้กราฟ 2 ชนิดด้วยกันคือ

- ความสัมพันธ์ระหว่างการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและการกลั่น ASTM D86 ในภาพประกอบ 1.32 จากกราฟนี้จะได้ค่า S_d ซึ่งเป็นความชันของเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดกลางส่วนเบา (distillate mid point) กับจุดตัด D/F และ S_b เป็นความชันของเส้นที่ลากเชื่อมระหว่างจุดกลางส่วนหนัก (bottom mid point) กับจุดตัด D/F

- จากค่า S_d และ S_b ที่ได้จะนำไปกำหนดจุดในกราฟของภาพประกอบ จ.1 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้รับการพัฒนาโดย Edmister จากการลงจุดจะได้ค่า g_m ออกมา

วิธีการหาค่าช่องว่างสูงสุดโดยวิธีนี้อาจจะไม่ถูกต้องนักแต่นับว่าเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว



ภาพประกอบ 1.32 ตัวอย่างการเกิดค่าช่องว่างของจุดตัดการกลั่น

ข. ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดทั้งหมด, r

ในการการกลั่นแยกที่ไม่เกิดการแยกขึ้นเลยจะได้ค่าช่องว่างออกมาเป็นลบหรือที่เรียกว่าเป็นค่าซ้อนเหลื่อม ค่านี้นี้จะมีค่าเท่ากับช่วงอุณหภูมิจุดเดือดทั้งหมดของสารป้อนซึ่งจะนิยามค่านี้ได้เป็น r

ค.ค่า approach factor, A

ค่าระดับขั้นของการกลั่นแยกที่แสดงได้โดยค่าช่องว่างจริง g จะไม่สามารถเปรียบเทียบค่านี้เมื่อใช้สารป้อนต่างชนิดกันได้ จะต้องทำการปรับค่าโดยแสดงเป็นค่าระดับขั้นของการแยกให้อยู่ในเทอมของ “approach factor” หรือ A ซึ่งจะมีสมการเป็น

$$A = (r+g)/(r+g_m)$$

ค่า A นี้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

โดยค่า $A=0$ หมายถึงไม่มีการแยกเกิดขึ้นจากการกลั่น โดยค่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อค่า g มีค่าเท่ากับ $-r$

และ $A=1$ หมายถึงเกิดการแยกโดยสมบูรณ์ นั่นคือ $g = g_m$

1.3 วัตถุประสงค์

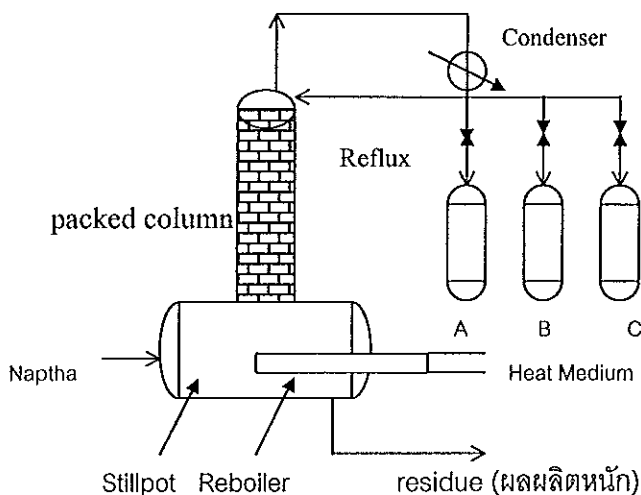
1. ผลิตตัวทำละลายจากการกลั่นแนฟทาด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง และตรวจสอบคุณสมบัติของตัวทำละลายที่ผลิตได้
2. ศึกษาอิทธิพลของแฟกเตอร์บางชนิดที่มีต่อการกลั่น ได้แก่ อัตราการให้ความร้อนแก่หอกลั่น และค่าความดันลดในหอกลั่น
3. ออกแบบคอลัมน์การกลั่นเพื่อผลิตตัวทำละลายแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรมด้วยวิธีกลัด

บทที่ 2

การออกแบบคอลัมน์การกลั่นด้วยวิธีลัด (short cut method)

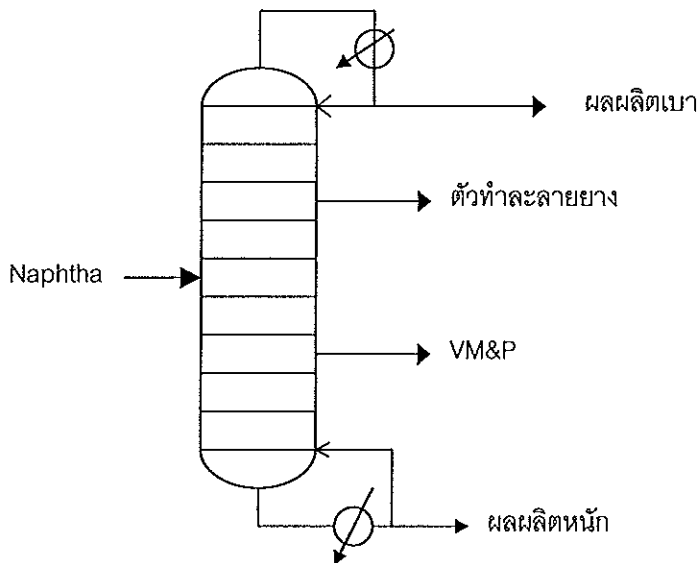
การกลั่นในระดับอุตสาหกรรมมักจะมีการดำเนินการกระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำรวมทั้งเป็นการประหยัดพลังงานและให้กำลังการผลิตที่สูง ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบคอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่องเพื่อทำการแปลงข้อมูลที่ได้มาจากผลการทดลองของการกลั่นแบบเบทซ์ในระดับห้องปฏิบัติการให้เป็นค่าการออกแบบสำหรับการกลั่นแบบต่อเนื่อง

โครงสร้างของการกลั่นแบบเบทซ์ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2.1 การกลั่นแบบนี้จะได้ผลผลิตจากการกลั่นที่ไหลออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์เพียงจุดเดียว จึงทำให้องค์ประกอบของผลผลิตที่ได้เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจุดเดือดที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการกลั่นแบบเบทซ์มาทำการออกแบบและแปลงข้อมูลก็จะได้การกลั่นแบบต่อเนื่องซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 การกลั่นแบบนี้จะมีการดึงเอาผลผลิตออกที่ส่วนบน ส่วนล่าง และด้านข้าง (ผลผลิตกระแสข้าง) ของคอลัมน์ การดึงผลผลิตเช่นนี้จะทำให้คอลัมน์สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีองค์ประกอบและอุณหภูมิของผลผลิตคงที่ตลอดเวลา



- เมื่อ A เป็นผลผลิตเบา
B เป็นตัวทำละลายยาง
และ C เป็นตัวทำละลายสารเคลือบและสี (VM&P)

ภาพประกอบ 2.1 การกลั่นแนฟทาแบบเบทซ์



ภาพประกอบ 2.2 การกลั่นแนฟทาด้วยวิธีการกลั่นแบบต่อเนื่องที่มีผลผลิตกระแสข้าง

ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบคอลัมน์การกลั่น ได้แก่ จำนวนเพลท อัตราส่วนรีฟลักซ์ ตำแหน่งของเพลทป้อนสาร และตำแหน่งของเพลทของผลผลิตกระแสข้าง สำหรับการทำให้วิจัยนี้จะใช้วิธีตัดในการออกแบบคอลัมน์การกลั่น เนื่องจากวิธีการนี้จะใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก มีความถูกต้องระดับหนึ่ง และข้อมูลที่ได้จากการออกแบบนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบในระดับที่ยากและมีความละเอียดขึ้นต่อไป

การออกแบบวิธีตัดมีขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

ข้อมูลที่ได้จากการกลั่นแยกแนฟทาด้วยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะแสดงในรูปของส่วนประกอบเทียม (pseudo component) ซึ่งจะให้ส่วนประกอบเทียมแต่ละตัวนี้เป็นส่วนกลั่นที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดย่อย 5-10 องศาเซลเซียส โดยข้อมูลดิบของแต่ละส่วนกลั่นจะอยู่ในรูปของน้ำหนักและอุณหภูมิจุดเดือด

ทำการแปลงข้อมูลดิบที่ได้จากการกลั่นให้อยู่ในรูปของแฟรกชันเชิงโมล โดยการหารค่าน้ำหนักของส่วนประกอบเทียมด้วยค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยในแต่ละช่วงอุณหภูมิจุดเดือด และทำการจัดข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปของแฟรกชัน ซึ่งค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ใช้ในที่นี้จะ เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบแนฟทา อันเป็นผลมาจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography)

นำเอาส่วนกลั่นหรือส่วนประกอบเทียมทั้งหมดของแนฟตามาจัดกลุ่มและแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามช่วงอุณหภูมิจุดเดือดซึ่งเป็นค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยในแต่ละส่วนนี้จะ เป็นผลผลิตที่ได้จากการกลั่นอันประกอบไปด้วยส่วนของผลผลิตเบา (light product) ตัวทำ ละลายยาง (1st sidestream) ตัวทำละลาย VM&P (2nd sidestream) และผลผลิตหนัก (heavy product)

เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากกระบวนการกลั่นจริงๆ จะมีความบริสุทธิ์ไม่เป็นร้อยละ 100 ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดแฟรกชันของส่วนปนเปื้อนในแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่นตัวทำละลายยาง ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดจริงเป็น 56-116 องศาเซลเซียส จะมีส่วนปนเปื้อนเป็นส่วนประกอบ เทียมที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่ำและสูงกว่าตัวทำละลายยางอย่างละ 1 ตัว นั่นคือมีส่วน ประกอบเทียมที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือด 50-56 และ 116-120 องศาเซลเซียสปนเปื้อนอยู่ตาม ลำดับ โดยจะกำหนดให้การปนเปื้อนนี้มีอยู่ประมาณร้อยละ 30-40 ของส่วนประกอบเทียมทั้ง สอง

2.2 การหาส่วนประกอบคีย์ (key component)

ในการกลั่นแยกที่ให้ผลผลิตที่มีความบริสุทธิ์ (ไม่มีการปนเปื้อนระหว่างผลผลิตที่มี ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดติดกัน) จะมีส่วนประกอบคีย์เป็นตัวแบ่งแยกระหว่างผลผลิตที่มีอุณหภูมิ จุดเดือดติดกันทั้งสอง ดังนั้นจึงมีส่วนประกอบคีย์อยู่ 2 ตัว คือส่วนประกอบคีย์เบา (light key) และส่วนประกอบคีย์หนัก (heavy key) ในส่วนประกอบทั้งสองนี้จะกำหนดให้ส่วนประกอบ ที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำกว่าเป็นส่วนประกอบคีย์เบาและส่วนประกอบที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูง กว่าถัดไปจะเป็นส่วนประกอบคีย์หนัก

2.3 การหาอุณหภูมิของผลผลิตที่มีสถานะเป็นของเหลว

ผลผลิตที่ออกจากคอลัมน์ในสถานะของเหลว ได้แก่ ตัวทำละลายยาง ตัวทำละลาย VM&P และผลผลิตหนัก ผลผลิตเหล่านี้จะมีอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิฟอง (bubble point) ของ สารที่ความดันบรรยากาศ โดยอุณหภูมิฟองหมายถึงอุณหภูมิที่ของเหลวหยดแรกระเหย กลายเป็นไอที่ความดันค่าหนึ่ง จำนวนของไอที่เกิดขึ้นจะน้อยมากจนไม่มีผลต่อองค์ประกอบ ของเหลว จึงมีนิยามพื้นฐานสำหรับค่าคงที่สมดุลของสารที่มีอุณหภูมิฟองคือ $y_i = K_i x_i$ โดย ที่สภาวะคงตัวผลบวกของสัดส่วนโมลจะต้องเท่ากับ 1 นั่นคือ

$$\sum y_i = 1.0 = \sum K_i x_i$$

สมการนี้จะ เป็นเกณฑ์สำหรับการหาอุณหภูมิจุดฟองของของเหลว ซึ่งมีวิธีการหาโดยการสมมุติค่าอุณหภูมิของของเหลวแล้วหาค่าคงที่สมดุลของสารที่อุณหภูมินั้น หลังจากนั้นทำการแทนค่าและคำนวณตามสมการของจุดฟอง ในกรณีที่ผลการคำนวณไม่เป็นไปตามสมการ จะต้องทำการสมมุติค่าอุณหภูมิใหม่จนกระทั่งได้ผลบวกของสัดส่วนโมล y_i เป็น 1 เมื่อผลการคำนวณเป็นไปตามเงื่อนไขนี้แล้วจะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิและค่าคงที่สมดุลที่จุดนี้เป็นสภาวะของผลผลิตของเหลวที่ได้จากคอลัมน์

2.4 การหาอุณหภูมิของผลผลิตที่มีสถานะเป็นไอ

ผลผลิตที่ออกจากคอลัมน์ในสถานะไอจะมีค่าอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point) ของไอนั้น ซึ่งผลผลิตเป็นผลผลิตเพียงตัวเดียวที่ออกมาจากคอลัมน์การกลั่นในสถานะไอ โดยค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะนิยามได้ว่าเป็นจุดที่ไอเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวหยดแรก ซึ่งจะมีเกณฑ์ของการเกิดจุดน้ำค้างดังสมการต่อไปนี้

$$\sum x_i = 1.0 = \sum \frac{y_i}{K_i}$$

วิธีการหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะทำได้โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการหาค่าอุณหภูมิจุดฟอง นั่นคือสมมุติค่าอุณหภูมิแล้วหาค่าคงที่สมดุล K_i จากนั้นทำการคำนวณด้วยสมการของจุดน้ำค้างจนได้ผลบวกแฟรคชันเชิงโมลของ x_i มีค่าเป็น 1 อุณหภูมิและค่าคงที่สมดุลที่จุดนี้จะเป็นสภาวะของผลผลิตไอที่ไหลออกมาจากคอลัมน์

วิธีการหาค่าคงที่สมดุล K หาได้จากภาคผนวก ง. ซึ่งจะประกอบไปด้วยตาราง ง.1 และภาพประกอบ ง.1

2.5 การคำนวณหาจำนวนสเตจสมดุลด้วยวิธีลัด

จำนวนสเตจสมดุลของคอลัมน์การกลั่นจะขึ้นอยู่กับจำนวนสเตจต่ำสุดและอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด ซึ่งมีขั้นตอนอย่างง่ายในการคำนวณหาจำนวนสเตจสมดุล คือ

1. คำนวณหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด
 2. หาจำนวนสเตจต่ำสุด
 3. ใช้ผลที่ได้จากการคำนวณทั้งสองเพื่อหาจำนวนสเตจทางทฤษฎีตามค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เลือกไว้ซึ่งจะเป็น 1.2 – 2 เท่าของอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด
- รายละเอียดและวิธีการหาจำนวนสเตจสมดุลจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

ก. การหารีฟลักซ์ต่ำสุด

เมื่อต้องการควบคุมการกลั่นให้มีค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดจะต้องทำการออกแบบคอลัมน์การกลั่นให้มีจำนวนเพลทเป็นอนันต์จึงจะได้ผลผลิตที่เกิดจากการกลั่นแยกออกมาตามความต้องการ ในการหาค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดนี้จะใช้วิธีของอันเดอร์วูด (Underwood's Method) ซึ่งจะทำให้ได้โดยการสมมุติให้การไหลล้นเชิงโมแลล (molal overflow) และสภาพระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility, α) มีค่าคงที่ตลอดคอลัมน์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของคอลัมน์การกลั่น ซึ่งขั้นตอนของการคำนวณหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดมีดังต่อไปนี้

ก.1 หาค่า θ โดยค่านี้จะมีค่าอยู่ระหว่างค่า α ของส่วนประกอบคีย์ทั้งสอง ค่า θ จะหาได้จากวิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sum_1^n \frac{x_F}{(\alpha - \theta)/\alpha} = 1 - q = \frac{(\alpha_a x_a)_F}{\alpha_a - \theta} + \frac{(\alpha_b x_b)_F}{\alpha_b - \theta} + \dots + \frac{(\alpha_n x_n)_F}{\alpha_n - \theta}$$

เมื่อ x_{aF} = สัดส่วนโมลของส่วนประกอบ a ในสารป้อน

α_a = ค่าสภาพระเหยสัมพัทธ์ของส่วนประกอบ a เทียบกับส่วนประกอบคีย์หนัก

q = จำนวนโมลของของเหลวอิ่มตัวที่อยู่ในสารป้อน 1 โมล

ก.2 แทนค่า θ ที่ได้ลงในสมการดังต่อไปนี้เพื่อคำนวณค่า $(L/D)_{\min}$ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_1^n \frac{x_D}{(\alpha - \theta)/\alpha} = \frac{(\alpha_a x_a)_D}{\alpha_a - \theta} + \frac{(\alpha_b x_b)_D}{\alpha_b - \theta} + \dots + \frac{(\alpha_n x_n)_D}{\alpha_n - \theta}$$

การหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดของการแยกสำหรับการกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้างในเรกติไฟอิงเชกชันหรือสทริปปิงเชกชัน จะทำได้โดยการตั้งสมมติฐานของการเกิดบริเวณพินช์ให้อยู่ที่ตำแหน่งสเตรจป้อนเสมอ และสามารถเขียนสมการดุลมวลสารของแต่ละส่วนประกอบรอบส่วนบนของคอลัมน์การกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้างในเรกติไฟอิงเชกชันได้ดังนี้

$$v_{RP} = I_{RP} + P + D$$

เมื่อ v_{RP} และ I_{RP} เป็นมวลของไอและของเหลวที่เรกติไฟอิงเชกชัน

P และ D เป็นผลผลิตกระแสข้างและผลผลิตบนตามลำดับ

อัตราการกลั่นของผลผลิตจากส่วนเรกติไฟอิงของคอลัมน์ซึ่งมีผลผลิตกระแสข้างอยู่ด้วยจะเป็น $\bar{D} = D + P$ เมื่อ D เป็นผลผลิตบน และ P เป็นผลผลิตกระแสข้าง ดังนั้นจึง

สามารถนำเอาสมการของแอนเดอร์วูดซึ่งปกติจะใช้กับคอลัมน์ที่มีผลผลิตเพียง 2 ชนิดมาใช้ในการหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดของการกลั่นแยกแบบซับซ้อนและมีผลผลิตกระแสข้างได้ โดยกำหนดให้ใช้ค่า \bar{D} แทนค่า D ในสมการของแอนเดอร์วูด และทำการคำนวณหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยขั้นตอนที่เหมือนกับการใช้สมการนี้ในคอลัมน์ที่ไม่มีผลผลิตกระแสข้าง

ข. หาจำนวนสเตจต่ำสุด

ข้อจำกัดของความสามารถในการกลั่นแยกของคอลัมน์จะอยู่ที่จำนวนสเตจและอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่กำหนด โดยในแต่ละคอลัมน์การกลั่นจะต้องมีจำนวนสเตจทางทฤษฎีต่ำสุดอยู่ค่าหนึ่งที่จะทำให้การกลั่นแยกเกิดขึ้นได้ตามความต้องการ ซึ่งคอลัมน์กลั่นจะมีจำนวนสเตจต่ำสุดได้จะต้องเป็นคอลัมน์ที่มีรีฟลักซ์แบบทั้งหมด (total reflux) นั่นคือจะไม่มีผลผลิตที่ผ่านการควบแน่นของไอส่งออกมาจากส่วนบนสุดของคอลัมน์เลย เราจะเรียกการดำเนินการกลั่นแบบนี้ว่าการกลั่นแบบจำนวนสเตจต่ำสุด

เฟนสกี (Fenske) เป็นคนแรกที่ได้เสนอสมการสำหรับหาจำนวนสเตจต่ำสุดที่ใช้กับส่วนผสมที่มีส่วนประกอบหลายตัว โดยสมมุติว่าค่าเฉลี่ยของสภาพระเหยสัมพันธ์ใช้ได้สำหรับทุกสเตจในคอลัมน์และคอลัมน์มีการดำเนินการแบบจำนวนสเตจต่ำสุด ซึ่งจะมีสมการอย่างง่ายดังนี้

$$\left(\frac{X_D}{X'_D} \right) = \alpha_{\text{avg}}^{N_m} \frac{X_B}{X'_B}$$

เมื่อ N_m เป็นจำนวนสเตจทางทฤษฎีต่ำสุดที่ต้องการ

ค่าที่ดีที่สุดสำหรับ α_{avg} จะพิจารณาได้จากการแยกที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ ดังนั้นจะเป็นการช่วยกำจัดปัญหาบางอย่างในการเลือกใช้ค่านี้โดยกำหนดข้อจำกัดดังต่อไปนี้

- เนื่องจากคอลัมน์จะดำเนินการแบบการต้มซ้ำบางส่วน (partial reboiler) การแยกระหว่างไอและของเหลวที่เกิดขึ้นในส่วนล่างสุดของคอลัมน์จะมีอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิของการต้มซ้ำ ซึ่งที่จุดนี้จะเป็นจุดฟองของผลผลิตส่วนล่างนั่นเอง

- ในกรณีของการควบแน่นแบบทั้งหมด (total condenser) การแยกและการสัมผัสกันครั้งสุดท้ายระหว่างไอและของเหลวจะเกิดขึ้นที่สเตจบนสุด และกรณีของการควบแน่นบางส่วน (partial condenser) การสัมผัสกันระหว่างไอ-ของเหลวครั้งสุดท้ายจะเกิดขึ้นในเครื่อง

ควบคุมแน่นอน ดังนั้นการดำเนินการทั้งสองแบบนี้จะเป็นการดำเนินการที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างของผลผลิตส่วนบน

ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิเฉลี่ยของคอลัมน์เป็นค่าเฉลี่ยของจุดน้ำค้างของผลผลิตส่วนบนและจุดฟองของผลผลิตส่วนล่าง เราก็จะสามารถหาสภาพระเหยสัมพันธ์เฉลี่ยของคอลัมน์ได้จากสภาพระเหยสัมพันธ์ของส่วนประกอบที่อุณหภูมิเฉลี่ยของหอกถัน

การหาจำนวนสเตจต่ำสุดที่ต้องการในคอลัมน์แบบซับซ้อนและมีผลผลิตกระแสข้างจะได้ค่าสภาพระเหยสัมพันธ์สำหรับแต่ละส่วนของคอลัมน์ที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากส่วนประกอบของแต่ละส่วนในคอลัมน์จะต่างกัน ดังนั้นเมื่อส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงไปค่าการระเหยสัมพันธ์ก็ต้องเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบที่หนักของส่วนนั้น สำหรับคอลัมน์การกลั่นที่มีผลผลิตกระแสข้างหลายกระแส คอลัมน์ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆซึ่งมีจำนวนส่วนแบ่งเท่ากับจำนวนผลผลิตกระแสข้างบวก 1 โดยผลผลิตกระแสข้างอาจจะอยู่ในเรกติไฟอิงเซกชันหรือสตริปปีงเซกชันของคอลัมน์ก็ได้

ตัวอย่างของการแยกแบบซับซ้อน (complex fractionators) สำหรับการคำนวณหาจำนวนสเตจต่ำสุดโดยใช้สมการของจอยเนอร์ (Joyner) ซึ่งแสดงถึงการแยกที่มีผลผลิต 3 ตัวในคอลัมน์แยกตามภาพประกอบ 1.12 โดยจะทำการแบ่งคอลัมน์ออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างผลผลิตบนกับผลผลิตกระแสข้างซึ่งกำหนดให้เป็นส่วน I และระหว่างผลผลิตกระแสข้างกับผลผลิตล่างกำหนดให้เป็นส่วน II ซึ่งจะได้สมการของแต่ละส่วนของคอลัมน์ดังนี้

$$\text{ส่วนที่ 1} \quad \alpha_{\text{avg}}^{N_{mI}} = \frac{X_D X'_p}{X'_D X_p}$$

$$\text{ส่วนที่ 2} \quad \alpha_{\text{avg}}^{N_{mII}} = \frac{X_p X'_B}{X'_p X_B}$$

จำนวนสเตจต่ำสุดทั้งหมดที่ต้องการสำหรับการแยกนี้คือ

$$N_m = N_{mI} + N_{mII}$$

ค. อัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เหมาะสม (optimum reflux ratio)

เมื่ออัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นจากค่ารีฟลักซ์ต่ำสุดจะทำให้จำนวนเพลทที่จำเป็นต้องใช้ลดจำนวนลงจากค่าอนันต์ การที่อัตราส่วนรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้จำนวนโมลของกระแสไอ (V) และกระแสของเหลว (L) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เพลทที่ใช้มีพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่ขึ้น เมื่อรีฟลักซ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการสร้างเพลทขนาดใหญ่จะเพิ่มขึ้นจน

ไม่คุ้มกับจำนวนเพลทที่ลดลง ในขณะที่เดียวกันค่าใช้จ่ายที่ใช้กับเครื่องรีบอยเลอร์และเครื่องควบแน่นก็จะเพิ่มขึ้นตามค่ารีฟลักซ์ไปด้วย ดังนั้นจะมีค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ค่าหนึ่งที่จะทำให้มีการลงทุนต่ำสุด ค่านี้เรียกว่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เหมาะสม โดยปกติค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เหมาะสมจะมากกว่าค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดอยู่ 1.2 ถึง 2 เท่า

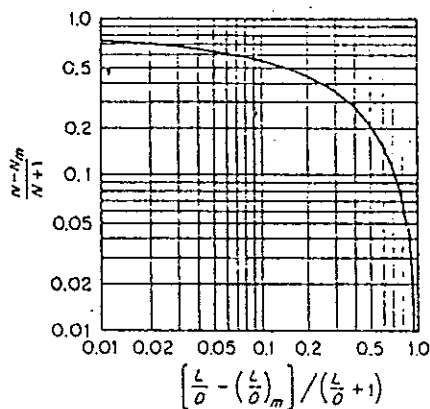
2.6 การหาจำนวนสแตจสมดุล (equilibrium stage)

จำนวนสแตจทางทฤษฎีหรือจำนวนสแตจสมดุลที่ต้องมีเพื่อให้เกิดการแยกที่ต้องการตามค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่กำหนด จะหาได้โดยสมการที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับระบบไฮโดรคาร์บอน คือสมการความสัมพันธ์ของกิลลิแลนด์ (Gilliland) ดังแสดงในรูปกราฟของภาพประกอบ 2.3 ซึ่งจะเป็ความสัมพันธ์ของสองเทอมดังนี้

$$\frac{N - N_m}{N + 1} \quad \text{---- a}$$

$$\frac{L/D - (L/D)_{\min}}{L/D + 1} \quad \text{---- b}$$

เมื่อ N เป็นจำนวนสแตจสมดุลที่อัตราส่วนรีฟลักซ์เป็น L/D



ภาพประกอบ 2.3 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนรีฟลักซ์ สแตจทางทฤษฎี อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด และจำนวนสแตจต่ำสุดตามความสัมพันธ์ของกิลลิแลนด์

วิธีการที่ใช้ในการหาจำนวนสแตจสมดุลที่อัตราส่วนรีฟลักซ์ที่ต้องการ เมื่อทราบค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดจากการคำนวณโดยวิธีลัดและค่าจำนวนสแตจต่ำสุดที่รีฟลักซ์ทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

1. ทำการคำนวณ โดยการแทนค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ลงในความสัมพันธ์ตามสมการ b แล้วนำผลที่ได้ไปลงจุดในแกน x ของกราฟในภาพประกอบ 2.3 หลังจากนั้นใช้เส้นกราฟความสัมพันธ์เพื่ออ่านค่าในแกน y

2. นำค่าที่อ่านได้จากแกน y ของกราฟมาเท่ากับสมการความสัมพันธ์ a และแทนค่าจำนวนสเตจต่ำสุดที่ทราบลงในสมการ แล้วทำการคำนวณโดยแก้สมการเพื่อหาจำนวนสเตจสมมูลที่ต้องการ

2.7 การประมาณตำแหน่งของสเตจป้อน (feed Plate)

เคิร์กไบรด์ (Kirkbride) ได้เสนอสมการสำหรับประมาณอัตราส่วนของจำนวนเพลตที่อยู่เหนือและล่างสเตจป้อน สมการนี้จะนำไปสู่การประมาณตำแหน่งของสเตจป้อนได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\log \frac{m}{p} = 0.206 \log \left\{ \frac{B}{D} \left(\frac{X_{HK}}{X_{LK}} \right)_F \left(\frac{X_{LK}}{X_{HK}} \right)_D^2 \right\}$$

เมื่อ m = จำนวนของสเตจทางทฤษฎีที่อยู่เหนือสเตจป้อน

p = จำนวนสเตจทางทฤษฎีที่อยู่ต่ำกว่าสเตจป้อน

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยเรื่องการผลผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงมีอยู่ด้วยกัน 3 ตัว คือ วัสดุคิบแนฟทา น้ำหล่อเย็น และตัวกลางทำความเย็น ซึ่งจะมีรายละเอียดของแหล่งที่มาและการใช้งานดังนี้

3.1.1 แนฟทา

โดยทั่วไปแนฟทาจะผลิตได้โดยกระบวนการที่แตกต่างกัน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการกลั่น โดยตรงจากน้ำมันดิบ (straight – run fraction) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) หรือไฮโดรแครกกิง (hydrocracking) ในปัจจุบันได้มีผู้ทำการทดลองผลิตแนฟทาจากแก๊สออยล์น้ำมันดิบสังเคราะห์ (synthetic crude gas oil) โดยการไฮโดรแครกกิงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล-ทังสเทนซึ่งยึดเกาะอยู่บน โครงสร้างของซิลิกา-อลูมินา

แนฟทาจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามช่วงจุดเดือด คือ แนฟทาเบา (light Naphtha) และแนฟทาหนัก (heavy Naphtha) แนฟทาเบาจะมีช่วงจุดเดือดตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้นของน้ำมันดิบจนถึงอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ส่วนแนฟทาหนักจะมีองค์ประกอบที่มีจุดเดือดในช่วง 130-220 องศาเซลเซียส

สำหรับแนฟทาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากโรงกลั่นฝาง อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ แนฟทา1 และแนฟทา2 แนฟทาทั้ง 2 ชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตามการกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ต่างกันคือ 30-171 และ 30-153 องศาเซลเซียส ตามลำดับ วัตถุดิบแนฟทานี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการกลั่นแยกน้ำมันดิบ (crude oil) ที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้นของน้ำมันดิบซึ่งไม่รวมแก๊ส (petroleum gas) จนถึงอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของน้ำมันก๊าด โดยช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทาจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความต้องการและคุณสมบัติของน้ำมันก๊าดเนื่องจากน้ำมันก๊าดมีราคาที่สูงกว่าแนฟทา ดังนั้นถ้าต้องการผลผลิตน้ำมันก๊าดมากก็จะลดอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของแนฟทาให้ต่ำลง และในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการผลผลิตน้ำมันก๊าดในปริมาณน้อยลงก็

จะเพิ่มอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของเนฟทาให้สูงขึ้น ซึ่งในการปรับช่วงอุณหภูมิจุดเดือดดังกล่าวจะต้องอยู่ในกรอบของค่ากำหนดของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมันก๊าด

3.1.2 น้ำหล่อเย็น (cooling water) ใช้สำหรับที่อุณหภูมิห้องเป็นน้ำหล่อเย็นสำหรับการควบแน่นของไอให้กลายเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่นสองตัวของเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง คือ

- เครื่องควบแน่นส่วนบนของคอลัมน์ เพื่อให้ไอที่เกิดขึ้นจากภายในคอลัมน์เกิดการควบแน่นเป็นของเหลวและไหลย้อนกลับเข้าสู่คอลัมน์ เพื่อส่งกลับเป็นรีฟลักซ์ 5 ส่วนและส่งไปเป็นผลผลิต 1 ส่วน

- เครื่องควบแน่นตัวแรกที่ท่อนำไอ เนื่องจากผลผลิตที่ออกมาจากท่อนำไอยังคงมีไอยูอยู่บางส่วน ดังนั้นจึงต้องทำการควบแน่นไอลงให้กลายเป็นของเหลวทั้งหมด

3.1.3 ตัวกลางทำความเย็น (cooling media) เป็นสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิเยือกแข็งต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส ตัวกลางทำความเย็นนี้จะถูกลดอุณหภูมิลงโดยใช้เครื่องทำความเย็น (refrigerator) จนมีอุณหภูมิเป็น -10 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลผลิตที่ผ่านเข้าเครื่องควบแน่นตัวที่สองในท่อนำไอ โดยผลผลิตที่ผ่านเข้าเครื่องควบแน่นนี้ยังคงมีบางส่วนที่ยังอยู่ในสถานะไอซึ่งไม่สามารถทำการควบแน่นโดยน้ำหล่อเย็นในเครื่องควบแน่นตัวแรกได้

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องควบแน่นตัวที่สองคือช่วยลดอุณหภูมิของเหลวที่ผ่านการควบแน่นให้ต่ำลงจนสามารถเก็บรักษาในภาชนะเปิดที่อุณหภูมิห้องได้โดยการระเหยเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด นอกจากนั้นตัวกลางทำความเย็นยังใช้สำหรับหล่อเย็นหน่วยเก็บผลผลิตเบาที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่ำและไม่สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้

3.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง มีดังนี้

3.2.1 เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point distillation)

เครื่องกลั่นนี้ได้รับการออกแบบตามมาตรฐานการทดสอบการกลั่นน้ำมันดิบ ASTM D2892 (standard test method for distillation of crude petroleum, D2892) โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมอันประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เพื่อเป็นอุปกรณ์ควบคุม

การกลั่นและการบันทึกข้อมูลของการกลั่น ซึ่งจะมีรายละเอียดของเครื่องกลั่นและอุปกรณ์ควบคุมการกลั่นแสดงได้ในภาคผนวก ก.1

3.2.2 เครื่องกลั่น ASTM D86

เครื่องกลั่นชนิดนี้เป็นเครื่องกลั่นแบบแองเกิลอร์ซึ่งได้รับการออกแบบตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86 (standard test method for distillation of petroleum products, D86) ซึ่งได้แสดงส่วนประกอบของเครื่องกลั่นและวิธีการกลั่นไว้ในภาคผนวก ข.1

3.2.3 พิกโนมิเตอร์ (pycnometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความหนาแน่นของส่วนกลั่น ซึ่งจะทำการวัดค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C

3.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของสารป้อนและส่วนกลั่น โดยเครื่องชั่งมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ของหน่วยกรัม

3.2.5 ถังบรรจุอากาศ ใช้สำหรับการถ่ายน้ำมันที่เหลือค้างภายในหม้อกลั่นออกหลังจากทำการกลั่นเสร็จ ซึ่งการถ่ายน้ำมันจะทำได้โดยการปิดวาล์วที่ช่องทางเปิดของหม้อกลั่นทั้งหมด ยกเว้นช่องทางให้น้ำมันไหลออกและช่องป้อนสาร ที่ช่องทางถ่ายสารนี้จะมีท่อซึ่งเชื่อมต่อจากจุดถ่ายสารลงไปจนถึงก้นของหม้อกลั่น จึงทำให้แน่ใจว่าสามารถถ่ายสารที่เหลือในหม้อกลั่นออกได้หมด เมื่อทำการอัดความดันของอากาศเข้าสู่หม้อกลั่นที่ช่องป้อนสาร ความดันอัดจะไปดันให้ของเหลวที่ค้างในหม้อกลั่น ไหลเข้าสู่ท่อถ่ายสารจนของเหลวในหม้อกลั่นหมด

3.2.6 ขวดเก็บส่วนกลั่นพร้อมฝาครอบ ใช้ในการเก็บผลผลิตที่ได้จากการกลั่นในแต่ละช่วงอุณหภูมิจุดเดือด แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นเพื่อป้องกันการสูญเสียอันเนื่องจากการระเหยของส่วนกลั่นสู่บรรยากาศ

3.2.7 เครื่องอัดอากาศ (air compressor) เพื่อช่วยให้คอลัมน์กลั่นมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากทำการกลั่นและพร้อมที่จะทำการกลั่นในแบบถัดต่อไป โดยการอัดอากาศให้ไหลผ่านตัวคอลัมน์ทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากคอลัมน์กลั่นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

3.2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการขันนอตเพื่อเปิด-ปิดช่องทางเปิดของเครื่องกลั่น และขันเพื่อยกหลอดเก็บผลผลิตขึ้นและลง

3.3 วิธีดำเนินการ

การทดลองกลั่นแยกแอฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะเฉพาะของแอฟทาและทำการผลิตตัวทำละลาย รวมไปถึงเพื่อทำการออกแบบกระบวนการผลิตตัวทำละลายในระดับอุตสาหกรรม จะมีขั้นตอนหลักในการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.1 ทำการกลั่นแยกเนฟทาด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงตามมาตรฐาน ASTM 2892 ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการกลั่นดังแสดงในภาคผนวก ก.2 โดยเริ่มจากการกำหนดช่วงอุณหภูมิ จุดตัด (cut point) ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการกลั่น การกำหนดค่าอุณหภูมิ นี้จะมีผลต่อช่วงอุณหภูมิการกลั่น (distillation range) ของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลที่ได้จากการกลั่น แบบจุดเดือดจริงในขั้นตอนนี้จะมี 2 ส่วนคือ ช่วงอุณหภูมิการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และน้ำหนักของส่วนกลั่นในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ นำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปทำการเขียนกราฟ การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point distillation curve)

ในระหว่างการกลั่นจะทำการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการกลั่นแยกกัน ได้แก่ อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซึ่งจะส่งผลถึงอัตราการกลั่นและประสิทธิภาพในการแยก ความดันลดที่เกิดขึ้น และศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดคือเนฟทา1 และเนฟทา2 รวมทั้งจะต้องทำการปรับช่วงอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงเพื่อให้ผลผลิตที่ได้ มีคุณสมบัติตรงตามค่าที่กำหนดที่ต้องการ

3.3.2 นำผลผลิตที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงไปตรวจสอบหาอุณหภูมิการกลั่นตาม มาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอน ในการกลั่นดังแสดงในภาคผนวก ข.2 ข้อมูลที่ได้จากการกลั่นในขั้นตอนนี้จะเป็นช่วง อุณหภูมิการกลั่นอันประกอบไปด้วยอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point) อุณหภูมิ จุดเดือดสุดท้าย (final boiling point) และอุณหภูมิจุดเดือดที่ร้อยละ โดยปริมาตรของส่วนกลั่น จากข้อมูลที่ได้ในการกลั่นนี้จะนำไปใช้ในการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับค่า กำหนดของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ผลของช่วงอุณหภูมิการกลั่นไม่ตรงกับค่ากำหนดของผลิต ภัณฑ์ จะต้องทำการกลั่นแบบจุดเดือดจริงซ้ำใหม่ในขั้นตอนที่ 1 และทำการปรับค่าอุณหภูมิ จุดตัดการกลั่นให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามผลการทดลองที่ได้

3.3.3 นำเอาผลผลิตที่ได้จากการกลั่นมาทำการทดสอบคุณสมบัติตามค่ากำหนดของผลิต ภัณฑ์ ซึ่งมีหัวข้อของคุณสมบัติ ค่ากำหนด และเครื่องมือการทดสอบแสดงไว้ตามตาราง 3.1 รวมทั้งมีรายละเอียดเพิ่มเติมในการทดสอบดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ทำได้โดยใช้พิคโนมิเตอร์ ซึ่งการตรวจ สอบจะทำที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
- คุณสมบัติอื่นๆที่กำหนดในตาราง 3.1 จะไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตนเอง ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงต้องขอความอนุเคราะห์ไปยังศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และหน่วยงานภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตตัวทำละลาย เพื่อทำการตรวจสอบหาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลในภาคผนวก ก จะแสดงถึงหน่วยงานที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์

ตาราง 3.1 ค่ากำหนดของคุณสมบัติผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	คุณสมบัติ	หน่วย	ค่ากำหนด	วิธีการทดสอบ
ตัวทำละลายยาง	Distillation range	°C	66-120	ASTM D86
	Density	kg/l	0.685-0.765	ASTM D4052
	Colour, Saybolt	-	+25 Min	ASTM D156
	Benzene content %wt	0.2 Max	G.C.	
	Sulphur	%wt	0.05 Max	SMS 1897
	Aromatic content	%wt	8 Max	G.C.
	Nonvolatile Matter	g/100ml	0.05	ASTM D1353
	Aniline point	Deg. C	52.4	ASTM D611
	Doctor test	-	Negative	ASTM D235
	Naphthanics content	%wt	53.2	G.C.
	Flash point	Deg. C	<0	IP17C
ตัวทำละลาย VM&P (varnish maker & painter)	Distillation range	°C	119-143	ASTM D86
	Density	kg/l	0.7526	-
	Autoignition temp	Deg. C	232	-
	Flash point	Deg. C	-6.6	-
	Pour point	Deg. C	-56	-

3.3.4 ทำการออกแบบคอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม โดยการแปลงข้อมูลจากผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่มีการดำเนินการเป็นแบบเบทซ์ไปเป็นการกลั่นแบบต่อเนื่องในสเกลที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งสิ่งที่ได้จากการออกแบบจะประกอบไปด้วยจำนวนสเตจทางทฤษฎี อัตราส่วนรีฟลักซ์ ตำแหน่งของเฟลทป้อน และตำแหน่งเฟลทผลผลิต กระแสข้างออก ในการออกแบบนี้จะใช้วิธีลัดซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนมากนัก ข้อมูลที่ได้จากวิธีนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบในระดับยากและละเอียดมากขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิจารณ์

จากการทดลองจะสามารถแบ่งการนำเสนอผลการทดลองและบทวิจารณ์ได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. การผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง
2. การกลั่นแบบจุดเดือดจริง และ ASTM D86
3. คุณสมบัติของเนฟทา
4. การออกแบบคอลัมน์การกลั่น

ซึ่งจะมีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 การผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

จากการทดลองทำการกลั่นเพื่อผลิตตัวทำละลายจะมีผลการทดลองออกมาในแง่ของผลผลิตที่สามารถผลิตได้ ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น การเลือกสถานะที่เหมาะสมในการกลั่น ความดันลที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่น และคุณสมบัติของผลผลิตที่ผลิตได้ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังต่อไปนี้

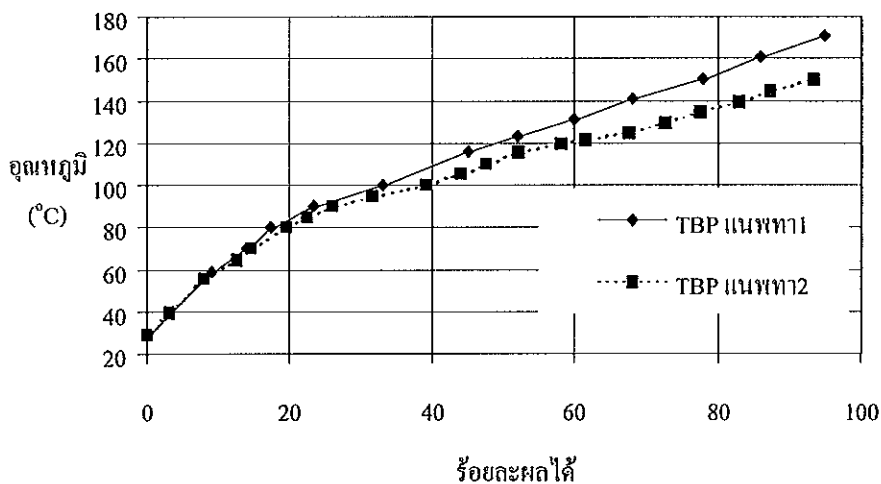
4.1.1 ผลผลิตจากการกลั่นเนฟทา

จากการทดลองกลั่นแบบจุดเดือดจริงโดยใช้เนฟทาเป็นวัตถุดิบ จะได้ผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ต่อเนื่องกันทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ผลผลิตเบา (light product) ตัวทำละลายยาง (rubber solvent) ตัวทำละลายสารเคลือบและสี (varnish maker & painter, VM&P) และผลผลิตหนัก (heavy product) จากผลผลิตทั้งหมดที่ได้นี้จะมีผลผลิตที่สามารถนำไปขายและใช้งานได้โดยตรงในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศเพียงสองชนิด คือ ตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเป็นผลผลิตหลัก ส่วนผลผลิตเบาและผลผลิตหนักจะถูกเรียกว่าเป็นผลผลิตพลอยได้ (by product) ซึ่งผลผลิตนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเนฟทามีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตหลัก ดังนั้นถ้าเนฟทามีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าผลผลิตหลักมากก็จะได้ร้อยละผลได้ของผลผลิตพลอยได้ในปริมาณมากด้วย

ผลผลิตพลอยได้ทั้งสองชนิดนี้จะสามารถนำไปผ่านขั้นตอนการผลิตในขั้นต่อไปเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ตัวทำละลายอีเทอร์ (ether) สารผสม (blending) ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นต้น

4.1.2 ชนิดของแนฟทา

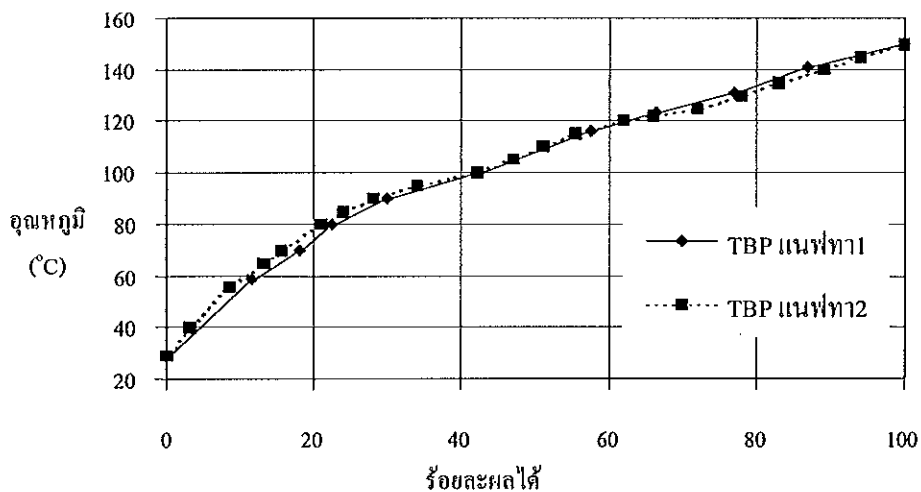
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวทำละลายมีอยู่ 2 ชนิดคือ แนฟทา1 และแนฟทา2 แนฟทาทั้งสองชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือด TBP ที่แตกต่างกัน นั่นคือ แนฟทา1 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 30 – 171 องศาเซลเซียส และแนฟทา2 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 30 – 153 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองการกลั่นแนฟทาทั้งสองชนิดจะสามารถเขียนเป็นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงด้วยความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลได้ (% yield) และอุณหภูมิจุดเดือดดังแสดงในภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2

เส้นกราฟการกลั่นทั้ง 2 เส้นที่แสดงในภาพประกอบ 4.1 จะเป็นผลของการทดลองกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ได้จากการใช้แนฟทา1 และแนฟทา2 เป็นวัตถุดิบ ซึ่งพบว่าเส้นกราฟทั้งสองนี้ไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน แสดงว่าแนฟทาทั้งสองมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ทำให้แนฟทาทั้งสองนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันน่าจะเนื่องมาจากแนฟทาทั้งสองได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบคนละงวดกัน ซึ่งการกลั่นน้ำมันดิบในแต่ละงวดจะมีการกำหนดช่วงอุณหภูมิจุดตัดของผลผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับราคาและความต้องการของผลผลิตที่ได้จากการกลั่นในขณะนั้น

ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์ว่าแนฟทา1และแนฟทา2ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติเหมือนกันหรือไม่ โดยการเขียนกราฟการกลั่นที่มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกราฟในภาพประกอบ 4.1 ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเดียวกัน (30–153 องศาเซลเซียส) เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดนี้แนฟทาจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันหรือไม่ ซึ่งจะได้กราฟดังในภาพประกอบ 4.2 จากกราฟที่ได้นี้พบว่าเส้นกราฟการกลั่นของแนฟทา1 และแนฟทา2 เกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเดียวกันแนฟทาทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน ดังนั้นแนฟทาทั้ง 2 ชนิดน่าจะได้มาจากการกลั่นโดยใช้น้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน



ภาพประกอบ 4.2 กราฟการกลั่นจุดเดือดจริงของแนฟทา1และแนฟทา2 หลังจากการปรับช่วงอุณหภูมิจุดเดือด

ส่วนสาเหตุที่ทำให้แนฟทาทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แตกต่างกันเนื่องจากผลผลิตแนฟทาทั้งสองได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบต่างงวดกัน ซึ่งการกลั่นน้ำมันดิบในแต่ละงวดจะมีค่ากำหนดของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการผลิตภัณฑ์ของตลาดในแง่ของคุณสมบัติ ปริมาณ และราคา ดังมีตัวอย่างของการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้แนฟทาในการทดลองนี้ ซึ่งพบว่าแนฟทา1 มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายเป็น 171 องศาเซลเซียส จะเกิดจากความต้องการผลิตน้ำมันก๊าด (มีช่วงจุดเดือดต่อเนื่องกับแนฟทาและมีราคาที่สูงกว่าแนฟทา) ที่มีอุณหภูมิจุดเดือดจริงเริ่มต้นเป็น 171 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันก๊าดที่ได้จากการกลั่นงวดนี้จะมีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นสูงกว่าน้ำมันก๊าดที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน

ดิบเพื่อให้ได้แนฟทา2 ดังนั้นเมื่อกลั่นน้ำมันดิบสองงวดด้วยปริมาณสารป้อนเท่ากัน จะได้ปริมาณน้ำมันก๊าดจากการกลั่นในงวดของแนฟทา1 น้อยกว่าการกลั่นในงวดของแนฟทา2

ตาราง 4.1 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา 1

ผลผลิต		หน่วย	ผลผลิต เบา (A)	ตัวทำละลาย ยาง (B)	VM&P (C)	ผลผลิต หนัก(D)	ผลผลิตหลัก (B+C)	ผลผลิตพลอย ได้ (A+D)
ค่ากำหนด ASTM D86		Deg C	-	66-120	119-143	-		
ความร้อน 50%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-64	64-116	116-140	140-171		
	ช่วงกลั่น ASTM D-86	Deg C	-	78.5-116	121-138	-		
	ร้อยละผลได้	%wt	11.2	32.4	24.8	31.6	57.2	42.8
ความร้อน 65%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-65	65-116	116-140	140-171		
	ช่วงกลั่น ASTM D-86	Deg C	-	74-118	121.5-143	-		
	ร้อยละผลได้	%wt	11.8	32.0	27.3	29.0	59.3	40.7
ความร้อน 80%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-60	63-116	116-140	140-171		
	ช่วงกลั่น ASTM D-86	Deg C	-	71.5-126	121-148	-		
	ร้อยละผลได้	%wt	9.3	40.2	23.4	27.1	63.6	36.4

ในการศึกษาร้อยละผลได้ของผลผลิตจากการกลั่นแนฟทา1และแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆจะแสดงผลการทดลองได้ดังตาราง 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จากตารางพบว่าเมื่อทำการกลั่นโดยใช้วัตถุดิบแนฟทา1 จะให้ผลได้ของผลผลิตหลักโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 ส่วนในการการกลั่นโดยใช้วัตถุดิบแนฟทา2 จะให้ผลได้ของผลผลิตหลักโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 80 ความแตกต่างของร้อยละผลได้ที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากแนฟทาทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แตกต่างกัน นั่นคือแนฟทา1 มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายที่สูงกว่าแนฟทา2 จึงทำให้แนฟทา1มีร้อยละผลได้ของผลผลิตหนักในปริมาณมาก และผลผลิตหนักที่ได้จะมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าผลผลิตหนักที่ได้จากการกลั่นแนฟทา2 จากเหตุนี้จึงทำให้ได้สัดส่วนของผลผลิตหลักที่ต่างกัน

ตาราง 4.2 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา2

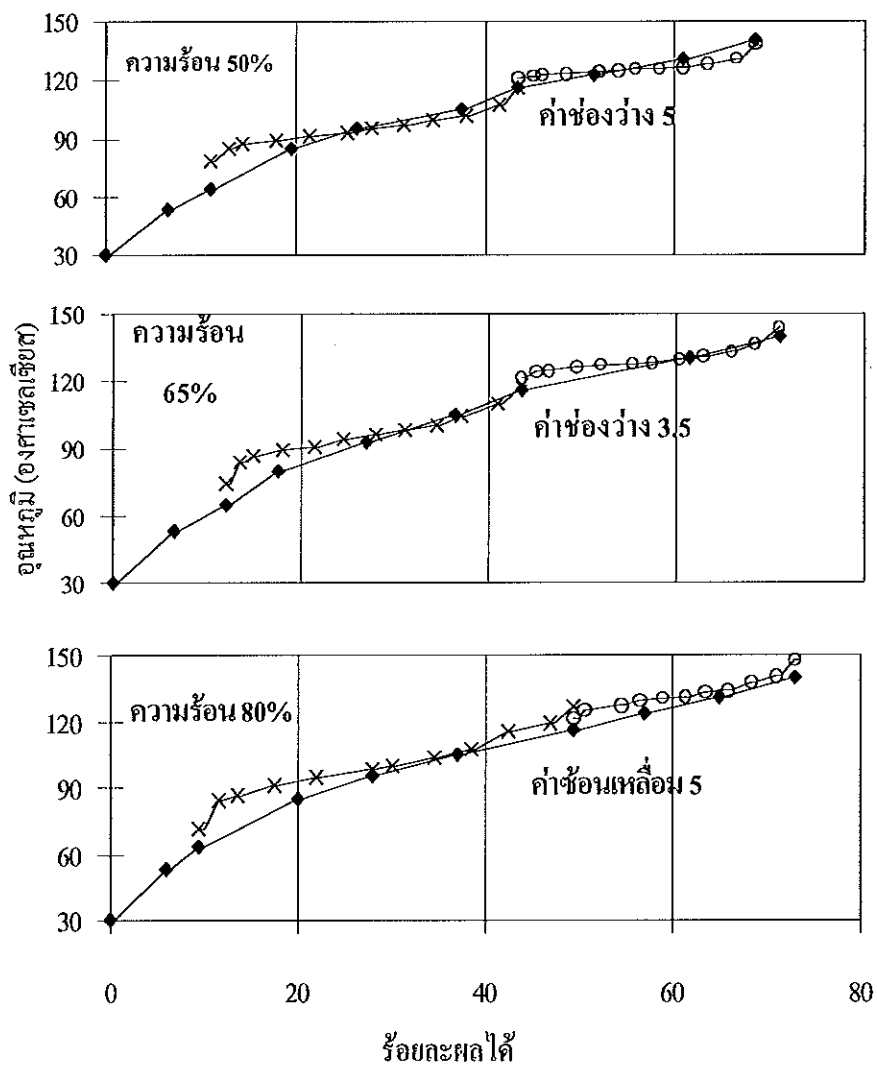
ผลผลิต		หน่วย	ผลผลิต เมทา (A)	ตัวทำละลาย ยาง (B)	VM&P (C)	ผลผลิต หนัก (D)	ผลผลิต หลัก(B+C)	ผลพลอย ได้ (A+D)
ค่ากำหนด ASTM D86		Deg C	-	66-120	119-143	-		
ความร้อน 50%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-56	56-116	116-147	147-153		
	ช่วงกลั่น ASTM D-86	Deg C	-	66-114	123-143	-		
	ร้อยละผลได้	%wt	7.7	43.3	37.4	11.6	80.7	19.3
ความร้อน 65%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-60	60-116	116-144	144-153		
	ช่วงกลั่น ASTM D-86	Deg C	-	66-120	122-143	-		
	ร้อยละผลได้	%wt	8.2	45.3	33.1	13.4	78.4	21.6

4.1.3 อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น

จากการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นแบบจุดเดือดจริงโดยทำการศึกษาดังอัตราการให้ความร้อนที่ให้แก่มือกกลั่นที่ระดับการควบคุม 3 ระดับ ได้แก่ที่ระดับร้อยละ 50 65 และ 80 ซึ่งในแต่ละระดับของการให้ความร้อนนี้จะกำหนดโดยการควบคุมสัดส่วนการเปิด/ปิดเครื่องให้ความร้อนหรือเตาเผาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ตัวอย่างเช่นในช่วงเวลา 100 วินาที จะควบคุมให้มีการเดินเครื่องให้ความร้อน 50 65 และ 80 วินาที และหยุดการให้ความร้อน 50 35 และ 20 วินาทีตามลำดับ

การเปรียบเทียบผลของการกลั่นแยกที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ จะทำได้โดยนำเอาผลผลิตจากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงมาทดลองกลั่นด้วยเครื่องกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (ASTM D86) และบันทึกค่าอุณหภูมิจุดเดือดที่ร้อยละผลได้ต่างๆ ซึ่งจะได้อัตราการทดลองดังในตาราง ซ.1-4 และภาพประกอบ 4.3 นำผลที่ได้จากการกลั่น ASTM D86 เหล่านี้มาพิจารณาค่าระดับขั้นของการแยก (degree of separation) ที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าระดับขั้นของการแยกมีอยู่ 2 รูปแบบ คือค่าช่องว่าง (gap) และค่าซ้อนเหลื่อม (overlap) โดยค่าทั้งสองนี้จะเกิดจากผลต่างของอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตที่หนักกว่าและอุณหภูมิ

จุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตที่เบากว่า กรณีที่ค่าผลต่างนี้มีค่าเป็นบวกจะเรียกค่าระดับชั้นของการแยกนั้นว่าเป็นค่าช่องว่าง แต่ถ้าค่าผลต่างมีค่าเป็นลบจะเรียกว่าเป็นค่าซ้อนเหลื่อม ซึ่งผลของการกลั่นที่มีระดับชั้นของการแยกเป็นค่าช่องว่างจะแสดงถึงการกลั่นแยกที่มีความคมชัด (sharpness) หรือมีการปนเปื้อนระหว่างผลผลิตน้อย ส่วนในกรณีที่มีการระดับชั้นการแยกเป็นแบบค่าซ้อนเหลื่อมจะแสดงถึงการแยกที่ไม่มีความคมชัด



◆ TBP แนพทา 1 × D86 ตัวทำละลายยาง ○ D86 VM&P

ภาพประกอบ 4.3 เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของผลผลิต

ในการทดลองนี้จะพิจารณาค่าระดับชั้นของการแยกที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายยางและ VM&P ซึ่งเป็นผลผลิตที่มีอุณหภูมิจุดเดือดติดกัน พบว่าผลผลิตที่

มีอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะมีค่าระดับขั้นการแยกเป็นค่าช่องว่าง 5 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่มีการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีค่าระดับขั้นการแยกค่าช่องว่างที่ต่ำลงเป็น 3.5 องศาเซลเซียส และเมื่อมีการให้ความร้อนร้อยละ 80 จะให้ค่าดีกรีการแยกเป็นค่าซ้อนเหลื่อม 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าระดับขั้นจะบ่งบอกถึงความคมชัดของการกลั่นแยก ยิ่งค่าช่องว่างมีค่ามากจะแสดงถึงการกลั่นแยกที่มีความคมชัดสูง ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยอัตราร้อยละ 50 จึงมีความคมชัดในการแยกสูงสุด ส่วนในกรณีที่ค่าระดับขั้นเป็นแบบซ้อนเหลื่อมจะแสดงถึงการแยกที่ไม่มีความคมชัดหรือมีสภาวะการกลั่นที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นที่อัตราการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 80 จึงเป็นสภาวะการกลั่นที่ไม่เหมาะสมต่อการกลั่นแยก

4.1.4 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น

ในการกลั่นแยกบางครั้งอาจไม่จำเป็นจะต้องมีค่าความคมชัดของการแยกที่ดีมากนัก การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกจะต้องพิจารณาถึงค่าตัวแปรดำเนินการอื่นๆร่วมด้วย เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแยกและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เหมาะสม รวมทั้งได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการ ในที่นี้เราจะศึกษาถึงตัวแปรดำเนินการอื่นเพิ่มเติม ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการกลั่น

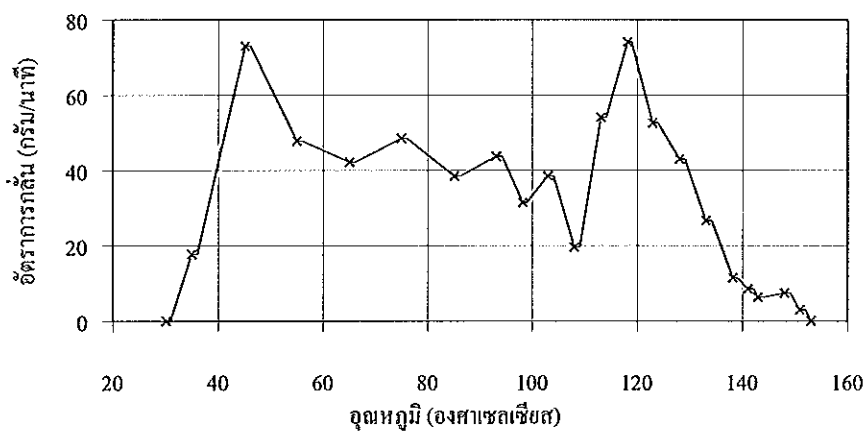
ตาราง 4.3 เวลาที่ใช้ในการกลั่นแนฟทา2 ด้วยเครื่องกลั่น TBP

อัตราการให้ความร้อน	เวลาการกลั่น (นาที)
ความร้อนร้อยละ 50	311
ความร้อนร้อยละ 65	134

เวลาที่ใช้สำหรับการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 และ 65 แสดงได้ดังในตาราง 4.3 พบว่าเมื่อทำการกลั่นในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายด้วยปริมาณสารป้อนที่เท่ากันและมีอัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน จะทำให้เวลาที่ใช้ในการกลั่นไม่เท่ากัน นั่นคือ การกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะใช้เวลาในการกลั่นมากกว่าการให้ความร้อนร้อยละ 65 ถึง 2.4 เท่า จึงอาจกล่าวได้ว่าการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีอัตราการกลั่นมากกว่าเป็น 2.4 เท่าของอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำเกินไปจะทำให้การกลั่นมีกำลังการผลิตต่ำ ซึ่งจากการทดลองนี้ควรจะเลือกอัตราการให้ความร้อนที่ร้อยละ 65 เป็นสภาวะการกลั่นที่เหมาะสม

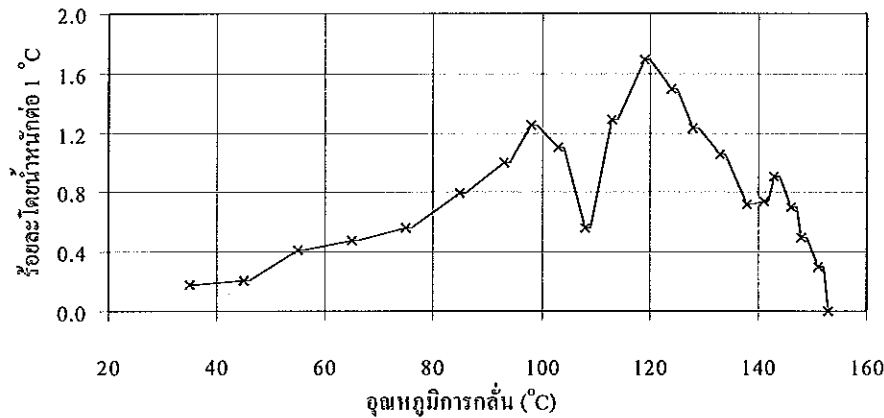
4.1.5 อัตราการกลั่นที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ

จากการศึกษาถึงอัตราการกลั่นของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 โดยใช้แนฟทา2 เป็นวัตถุดิบ พบว่าอัตราการกลั่นของส่วนกลั่นที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆมีค่าที่ไม่คงที่ ดังแสดงข้อมูลในตาราง ข.5 และกราฟในภาพประกอบ 4.4 จากข้อมูลและกราฟนี้จะพบว่าส่วนกลั่นที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่ำจะมีอัตราการกลั่นสูง โดยอัตราการกลั่นมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิจุดเดือดของการกลั่นสูงขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสารที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำจะมีความร้อนของการระเหย (latent heat) ต่ำกว่าสารที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูง ดังนั้นถ้าให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นด้วยอัตราคงที่ตลอดการกลั่น สารผสมที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำจะต้องการความร้อนในการเปลี่ยนสถานะต่ำจึงเกิดการเดือดและการระเหยขึ้นอย่างรวดเร็วและมีอัตราการกลั่นที่สูงกว่าการกลั่นสารผสมที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูง ในขณะที่เดียวกันสารผสมที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงจะต้องการความร้อนสำหรับการเดือดและการระเหยสูงจึงทำให้มีอัตราการกลั่นที่ต่ำลง



ภาพประกอบ 4.4 แสดงอัตราการกลั่นของแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65

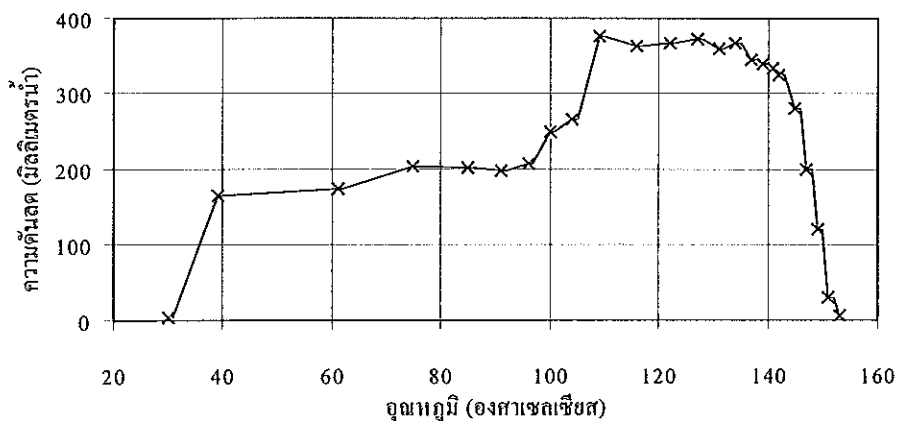
จากกราฟในภาพประกอบ 4.4 จะเห็นได้ว่าในช่วงอุณหภูมิการกลั่น 110 ถึง 130 องศาเซลเซียส ส่วนกลั่นจะมีอัตราการกลั่นที่สูงขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดดังกล่าวมีร้อยละของสารผสมในปริมาณมากดังจะเห็นได้ถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของสารต่ออุณหภูมิจุดเดือด 1 องศาเซลเซียสในภาพประกอบ 4.5



ภาพประกอบ 4.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65

4.1.6 ความดันลด (pressure drop) ในระหว่างการกลั่น

ความดันลดที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นเกิดจากระบบการไหลส่วนทางของไอและของเหลวผ่านเส้นทางที่มีความเสียดทาน ซึ่งในระหว่างการไหลจะเกิดการสัมผัสของของไหลกับวัสดุบรรจุที่มีผิวขรุขระและมีรูปร่างที่ซับซ้อนอันเกิดจากการออกแบบเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัส รวมทั้งการต้านการไหลส่วนทางระหว่างกระแสไอและกระแสของเหลวรีฟลักซ์เอง จึงทำให้เกิดความแตกต่างของความดันที่วัดระหว่างหม้อกลั่นและยอดคอลัมน์ขึ้น เราจะเรียกความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ว่าความดันลด แฟกเตอร์ที่มีผลต่อค่าความดันลดจะประกอบไปด้วยอัตราการไหลของแก๊สซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็ว (velocity) ของแก๊ส และอัตราการไหลของของเหลว ซึ่งผลของการเกิดความดันลดที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆของการกลั่นแสดงได้ในรูปของกราฟในภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.6 ความดันลดของการกลั่นแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65

จากกราฟพบว่าเมื่ออุณหภูมิการกลั่นสูงขึ้นความดันลดยจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อสารผสมที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงจะมีส่วนประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีความหนาแน่นที่สูงกว่าสารผสมที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียดทานระหว่างกระแสที่ไหลผ่านคอลัมน์วัสดุบรรจุได้มากขึ้นและทำให้เกิดความดันลดยได้สูงขึ้น

สำหรับในช่วงอุณหภูมิจุดเดือด 110-130 องศาเซลเซียส ค่าความดันลดยจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากโดยเพิ่มขึ้นจาก 250 จนเป็น 370 มิลลิเมตรน้ำ ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากการกลั่นในช่วงนี้มีอัตราการไหลและความเร็วของการไหลสวนทางระหว่างไอและของเหลวเพิ่มสูงขึ้น โดยจะดูได้จากกราฟอัตราการกลั่นของผลผลิตในภาพประกอบ 4.5 เมื่อความเร็วของไอและของเหลวเพิ่มขึ้นการชนกันของอนุภาคที่ไหลผ่านคอลัมน์จะเกิดได้มากขึ้น และในขณะเดียวกันเมื่ออัตราการไหลของของเหลวสูงขึ้นฟิล์มที่เกาะอยู่บริเวณผิวของวัสดุบรรจุก็จะหนาขึ้น ทำให้เกิดการต้านการไหลของไอได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ความดันลดยมีค่าที่สูงขึ้นตามไปด้วย

เมื่อทำการกลั่นไปจนสารผสมภายในหม้อกลั่นเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยจนเกือบจะหมด อัตราการกลั่นจะลดลงและความดันลดยมีแนวโน้มที่จะลดลงเช่นกัน สำหรับการกลั่นแนฟทา 2 สารผสมในหม้อกลั่นจะเริ่มน้อยลงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 145 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป และเมื่อสารผสมภายในหม้อกลั่นหมดความดันลดยจะมีค่าเป็นศูนย์

4.1.7 คุณสมบัติของผลผลิตการกลั่น

จากตาราง 4.4 และ 4.5 ประกอบด้วยคุณสมบัติและค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ซึ่งได้มาจากค่ากำหนดของผู้ซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ตารางทั้งสองนี้ยังแสดงถึงผลการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเอกชนและศูนย์เครื่องมือการวิเคราะห์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี แต่จะมีคุณสมบัติบางหัวข้อที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดและไม่มีการวัดค่าในประเทศไทย

จากตารางผลการวิเคราะห์ผลผลิตจากการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 พบว่าทุกคุณสมบัติที่วัดค่าได้จะอยู่ในช่วงของค่ากำหนด จึงอาจสรุปได้ว่าเราสามารถทำการกลั่นแยกแนฟทาจากโรงกลั่นน้ำมันผางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P ที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการของอุตสาหกรรมที่จะนำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้

ตาราง 4.4 คุณสมบัติของตัวทำละลายยาง

คุณสมบัติ	หน่วย	ข้อกำหนด		ผลการวิเคราะห์	
		เครื่องมือวัด	ค่ากำหนด	เครื่องมือวัด	ผล
Appearance	-	visual	Clear & Bright	Visual	Clear & Bright
Colour , Saybolt	-	ASTM D156	+25 Min	-	-
Density @ 15 °C	Kg/l	ASTM D4052	0.685-0.756	Pycnometer	0.717
Recovered @ 100 °C	% V	ASTM D1078	66 % Min	ASTM D86	72%
Benzene content	% Wt	G.C.	0.2 Max	ASTM D4815	0.1
Sulphur	% Wt	SMS 1897	0.05 Max	XRF	0.004
Aromatic content	% Wt	G.C.	9 Max	ASTM D5443, PNA	2.53
Non Volatile Matter	g/100ml	ASTM D 1353	1.006	-	-
Doctor test	-	ASTM D 235	Negative	ASTM D 235	Negative
Aniline point	Deg C	ASTM D 611	53.4	ASTM D 611	54.4
Copper strip	-	ASTM D 130	1a	ASTM D 130	1a
Naphthanics content	% wt	G.C.	54.2	-	-
Flash point , Abel	Deg C	IP 17C	<1	-	-

ตาราง 4.5 คุณสมบัติของตัวทำละลาย VM&P

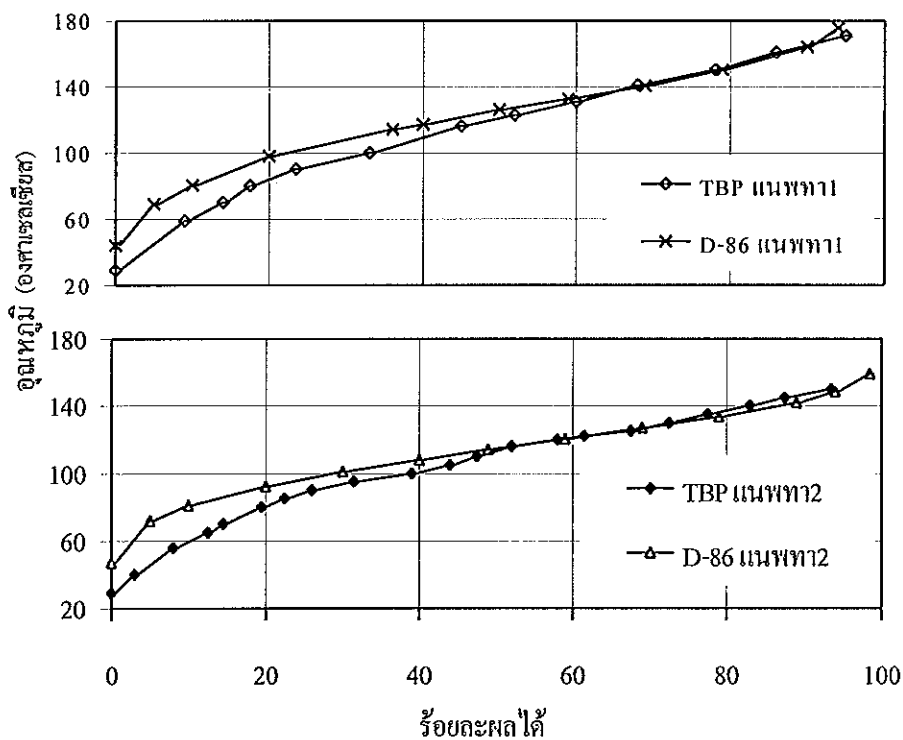
คุณสมบัติ	หน่วย	ค่ากำหนด	ผลการวิเคราะห์	
			เครื่องมือวัด	ผล
Density @ 15 deg C	Kg/l	0.7526	Pycnometer	0.7448
Pour point below	Deg C	-56	D97	<-60
Flash point	Deg C	-6.6	-	-
Autoignition temp	Deg C	232 C	-	-

สำหรับผลผลิตที่ได้จากการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนอื่นๆ เช่น ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 หรือ 80 จะมีข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติ (ยกเว้นช่วงอุณหภูมิจุดเดือด) ที่ใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่แสดงได้แสดงในตาราง 4.4 และ 4.5 เนื่องจากการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ต่างกันจะมีผลทำให้ปริมาณของส่วนผสมหนักและเบาเกิดการปนเปื้อนที่ต่างกัน ซึ่งการปนเปื้อนนี้จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.2 การกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86

4.2.1 การเปรียบเทียบผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86

เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในเรื่องของการมีรีฟลักซ์และวัสดุบรรจุหรือเพลทภายในคอลัมน์ ซึ่งส่วนประกอบทั้งสองนี้มีความสำคัญต่อการกลั่นแยกเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและไอ ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลและความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงมีทั้งรีฟลักซ์และวัสดุบรรจุ จึงทำให้สามารถกลั่นและแยกตัวออกมาตามอุณหภูมิจุดเดือดของมัน ดังนั้นการกลั่นแบบนี้จึงมีความสามารถในการแยกสูงกว่าการกลั่นแบบ ASTM D86 ซึ่งไม่มีทั้งรีฟลักซ์และเพลท



ภาพประกอบ 4.7 เปรียบเทียบผลการกลั่นจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของแนพทา

การเปรียบเทียบผลการกลั่นจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของแนพทาทั้งสองชนิด จะพิจารณาได้จากร้อยละผลได้สะสมในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ดังแสดงกราฟในภาพประกอบ 4.7 และภาพประกอบ 4.3 รวมทั้งยังแสดงข้อมูลของการกลั่นในตาราง ซ.1 ถึง ซ.4

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตที่ได้จากการกลั่นจุดเดือดจริง (กลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสม) และการกลั่นแบบ ASTM D86 ตามภาพประกอบ 4.3 พบว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบ ASTM D86 จะสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นจุดเดือดจริง และอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นแบบ ASTM D86 จะต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ความแตกต่างดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการกลั่นแบบ ASTM D86 จะมีส่วนกลั่นที่ประกอบด้วยกลุ่มของสารผสมทั้งส่วนหนักและส่วนเบา อุณหภูมิจุดเดือดที่อ่านได้จึงเป็นอุณหภูมิจุดเดือดของสารผสม ดังนั้นอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่น ASTM D86 จึงได้รับอิทธิพลจากสารผสมส่วนที่หนักกว่าสารที่มีอุณหภูมิเป็นจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นจุดเดือดจริง จึงทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าสูงกว่าผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่น ASTM D86 จะได้รับอิทธิพลจากสารผสมส่วนที่เบากว่าสารที่มีอุณหภูมิเป็นจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นจุดเดือดจริง จึงทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

ถ้าการกลั่นจุดเดือดจริงมีความคมชัดในการแยกต่ำ ผลผลิตที่ได้จะมีการปนเปื้อนของส่วนเบาและส่วนหนักกว่าสารที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดมากขึ้น นั่นคือส่วนปนเปื้อนที่เบากว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดจะทำให้จุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่น ASTM D86 มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้าย เนื่องจากมีสารผสมส่วนที่หนักกว่าสารที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นจุดเดือดจริงคิดมามาก จึงทำให้อุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่น ASTM D86 มีค่าสูงขึ้น

จึงอาจกล่าวได้ว่าถ้าผลของการกลั่นแบบ ASTM D86 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แคบกว่าการกลั่นจุดเดือดจริงมากจะแสดงว่าการกลั่นจุดเดือดจริงนั้นมีประสิทธิภาพและความคมชัดในการแยกสูง

จากการทำวิจัยนี้จะมีตัวอย่างความแตกต่างของอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นในการผลิตตัวทำละลายอย่างด้วยการกลั่นจุดเดือดจริงที่อัตราการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 50 และ 65 ดังแสดงในตาราง ข.1 พบว่าที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะให้อุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นตามการกลั่น ASTM D86 ที่สูงกว่าการกลั่นจุดเดือดจริง 15 องศาเซลเซียส ในขณะที่การกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบ ASTM D86 ที่สูงกว่าเพียง 9 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสรุปได้ว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ร้อยละ 50 จะให้ความคมชัดในการแยกได้ดีกว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65

4.2.2 การกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นตาม ASTM D86

เนื่องจากค่ากำหนดช่วงอุณหภูมิการกลั่นของผลิตภัณฑ์เป็นช่วงการกลั่นตาม ASTM D86 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำผลผลิตที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดมาทำการกลั่น ASTM D86 ทุกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าผลผลิตที่ได้ตรงกับค่ากำหนดหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในช่วงของค่ากำหนด หรือมีช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่าค่ากำหนดมากจะต้องปรับช่วงอุณหภูมิการกลั่นจุดเดือดจริงแล้วทำการทดสอบผลผลิตโดยการกลั่น ASTM D86 ใหม่ สำหรับกรณีที่วัตถุประสงค์ของการกลั่นจุดเดือดจริงมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ความร้อนในการกลั่น จะต้องทำการตรวจสอบช่วงอุณหภูมิการกลั่นของผลผลิตด้วยการกลั่น ASTM D86 ใหม่ทุกครั้ง

ในกรณีที่ผลการกลั่น ASTM D86 มีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นต่ำกว่าค่ากำหนด จะต้องปรับอุณหภูมิจุดตัดเริ่มต้นของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงให้สูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่น ASTM D86 สูงกว่าค่ากำหนด จะต้องปรับให้อุณหภูมิจุดตัดสุดท้ายของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงให้ต่ำลง ส่วนในกรณีที่ช่วงอุณหภูมิจุดตัดจากการกลั่น ASTM D86 อยู่ในช่วงของค่ากำหนดแต่มีช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่าค่ากำหนดมาก จะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีร้อยละผลได้ต่ำหรือเกิดการสูญเสียไปกับผลผลิตพลอยได้ในปริมาณมาก จึงต้องทำการปรับช่วงอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นจุดเดือดจริงให้กว้างขึ้น

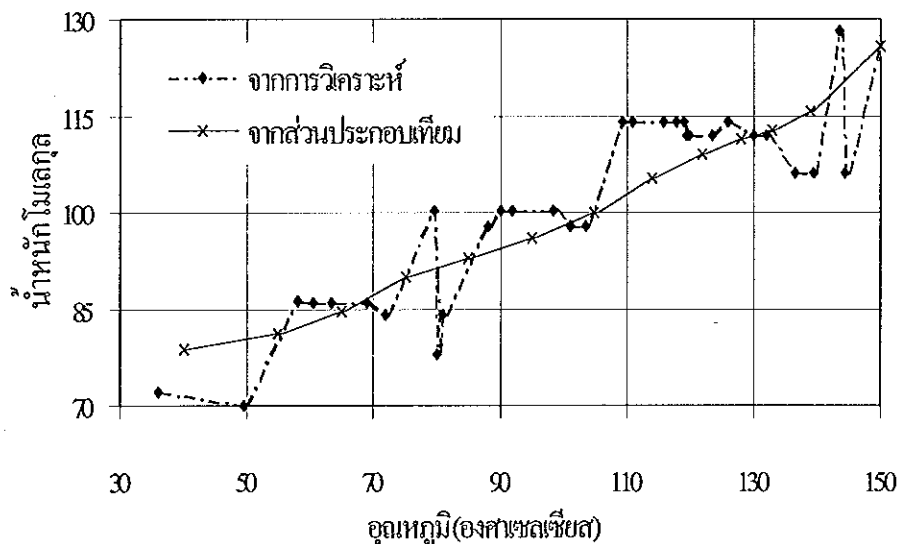
สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ความร้อน เช่นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการใช้ความร้อนที่สูงขึ้นจะต้องทำการปรับอุณหภูมิจุดตัดให้แคบลง เนื่องจากการกลั่นด้วยอัตราการใช้ความร้อนที่สูงขึ้นจะให้ความคมชัดในการแยกที่ลดลง ถ้ายังคงกำหนดอุณหภูมิจุดตัดเท่าเดิมจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีช่วงการกลั่นที่กว้างกว่าค่ากำหนด ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ

4.3 คุณสมบัติของแนฟทา

4.3.1 น้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา

การหาน้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบแนฟทาสามารถทำได้ 2 วิธี คือวิธีการใช้ส่วนประกอบเทียบซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการกลั่นจุดเดือดจริง และวิธีการใช้ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของแนฟทาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีโดยตรง วิธีการแรกเป็นการนำเอาส่วนกลั่นของแนฟทาที่ได้จากการกลั่นจุดเดือดจริงตามช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ มาทำการกลั่นแบบ ASTM D86 โดยให้ผลผลิตหนึ่งช่วงอุณหภูมิจุดเดือดจริง (ประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส) เป็นเสมือนส่วนประกอบเทียบ 1 ชนิด และผลที่ได้จากการกลั่น ASTM D86

ของส่วนประกอบเทียมแต่ละชนิดจะเป็นอุณหภูมิอิ่มตัวที่ร้อยละโดยปริมาตรต่างๆ นำค่าที่ได้
นี้มาคำนวณหาค่ากลางจุดเดือดเฉลี่ยตามสมการในภาคผนวก จ. รวมทั้งนำผลของการหาค่า
ความหนาแน่นซึ่งคำนวณให้อยู่ในรูปขององศาความถ่วง API ไปลงจุดในกราฟความสัมพันธ์
ของแฟรคชันปิโตรเลียมในภาพประกอบ 4.1 จะได้น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละส่วนประกอบ
เทียมออกมาดังในตาราง ฎ.1 และกราฟในภาพประกอบ 4.8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำหนัก
โมเลกุลของส่วนกลั่นจะมากขึ้นด้วย และพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา2 อยู่ในช่วง 78.8
ถึง 125.8 ซึ่งจากช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่ได้นี้จะประมาณได้ว่าแนฟทา2 มีจำนวนคาร์บอนเป็น
ส่วนประกอบในโมเลกุลอยู่ในช่วง C5 ถึง C9



ภาพประกอบ 4.8 ผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของแนฟทา2 ที่อุณหภูมิการกลั่น

สำหรับวิธีที่สองซึ่งเป็นการหาน้ำหนักโมเลกุลจากการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของ
แนฟทาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ซึ่งมีผลการวิเคราะห์อยู่ในรูปของสูตรโมเลกุลของ
ส่วนประกอบของแนฟทา ซึ่งในแต่ละสูตรโมเลกุลที่ได้นี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉพาะของแต่ละ
ตัวดังแสดงในตาราง ฎ.2 และกราฟในภาพประกอบ 4.8 จากตารางพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของ
แนฟทา2 จะมีค่าอยู่ในช่วง 44 – 170 และจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลส่วนประกอบแนฟทา2
จะอยู่ในช่วง C3 ถึง C12

จากการเปรียบเทียบผลของน้ำหนักโมเลกุลที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆของส่วนประกอบ
แนฟทา2 ที่ได้จากทั้งสองวิธีดังแสดงเป็นกราฟในภาพประกอบ 4.8 พบว่าค่าน้ำหนักโมเลกุล

ที่ได้จากทั้งสองวิธีมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน นั่นคือเมื่ออุณหภูมิจุดเดือดสูงขึ้นน้ำหนักโมเลกุลมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น ในกรณีของวิธีส่วนประกอบเทียบเส้นกราฟที่ได้ก่อนข้างราบเรียบ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ในขณะที่การหาน้ำหนักโมเลกุลจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของส่วนประกอบแนฟทา2 จะเป็นค่าน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละโมเลกุลส่วนประกอบ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิจุดเดือดสูงขึ้นค่าน้ำหนักโมเลกุลอาจเพิ่มขึ้น คงที่หรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล

อุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทา2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จะอยู่ในช่วง -42 ถึง 216.5 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมิ -42 ถึง 30 และ 153 ถึง 216.5 องศาเซลเซียสจะไม่ปรากฏในระหว่างการกลั่นจุดเดือดจริง เนื่องจากในการกลั่นจะกระทำที่ความดันบรรยากาศซึ่งไม่สามารถทำการกลั่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องได้ ทำให้ไม่มีข้อมูลในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนกลั่น -42 ถึง 30 องศาเซลเซียสนี้จะรวมอยู่ในส่วนกลั่นแรก สำหรับในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 153 องศาเซลเซียสจะเป็นส่วนที่ติดค้างอยู่ภายในหม้อกลั่นซึ่งไม่สามารถกลั่นตัวออกมาได้ ดังนั้นส่วนกลั่นนี้จึงรวมอยู่ในผลผลิตสุดท้ายของการกลั่น

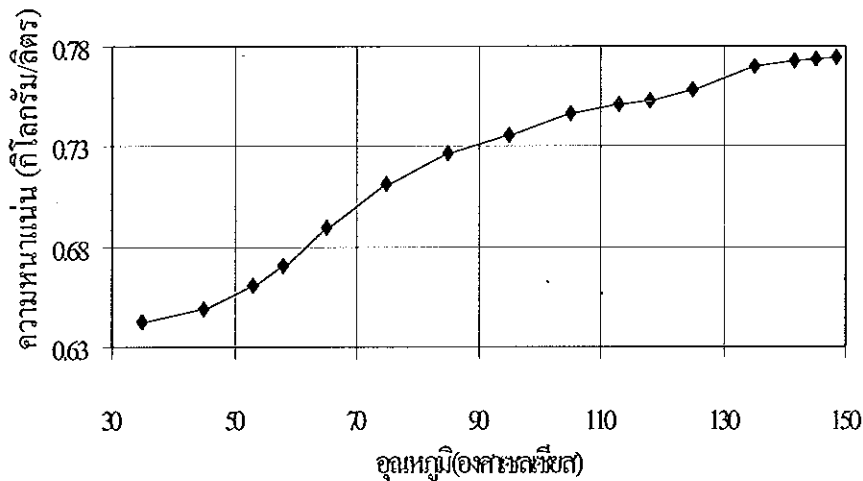
4.3.2 ส่วนประกอบของแนฟทา

จากผลการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของแนฟทา2 โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่าแนฟทา2 มีส่วนประกอบของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกันทั้งหมด 62 ชนิด ดังแสดงในตาราง ฎ.1 และในตาราง ฎ.2 (ไม่แสดงส่วนประกอบที่มีร้อยละโดยน้ำหนักน้อย) ซึ่งพบว่าแนฟทา2 ประกอบไปด้วยโครงสร้างของโมเลกุลอะโรแมติก นอร์มัลพาราฟินส์ ไอโซพาราฟินส์ และแนฟทานิก เป็นต้น

4.3.3 ความหนาแน่นของแนฟทา

ความหนาแน่นของส่วนประกอบแนฟทาที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่างกันจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยจะแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของส่วนประกอบแนฟทาที่อุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ได้ดังกราฟในภาพประกอบ 4.9 และตาราง ข.1 – ข.3 พบว่าเมื่อส่วนประกอบแนฟทามีอุณหภูมิจุดเดือดที่สูงขึ้นความหนาแน่นของแนฟทาก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากส่วนประกอบที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจึงทำให้ส่วนประกอบมีความหนาแน่นสูงกว่า และยังพบอีกว่าเส้นกราฟที่ได้ไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากความหนาแน่นของสารยังขึ้นอยู่กับ

กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งส่วนประกอบแนฟทาจะมีรูปร่าง และโครงสร้างของโมเลกุลในหลายรูปแบบทำให้ความหนาแน่นไม่เป็นฟังก์ชันโดยตรงกับ อุณหภูมิ



ภาพประกอบ 4.9 แสดงความหนาแน่นที่อุณหภูมิการกลั่นของแนฟทา

4.4 การออกแบบคอลัมน์กลั่นโดยวิธีตัด

ในการออกแบบคอลัมน์การกลั่นโดยวิธีตัดจะค้นหาจำนวนเพลททางทฤษฎี อัตราส่วนรีฟลักซ์ ตำแหน่งเพลทป้อน และตำแหน่งเพลทผลผลิตกระแสข้างของการกลั่นแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้ได้โดยการหาค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดและจำนวนเพลทต่ำสุด แล้วนำค่าทั้งสองนี้มาทำการคำนวณตามสูตรของการใช้กราฟความสัมพันธ์ของทิลเลนดัตซ์แสดงในภาพประกอบ 2.3 การออกแบบด้วยวิธีตัดค่อนข้างง่ายและมีความถูกต้องระดับหนึ่ง สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบที่มีรายละเอียดมากขึ้น เช่น การออกแบบการกลั่นแบบเพลทต่อเพลท (tray by tray distillation) และการใช้โปรแกรม simulation เป็นต้น

ผลของการออกแบบด้วยวิธีตัดในขั้นตอนต่างๆ จะมีดังต่อไปนี้

4.4.1 แพรกชันเชิงโมลและส่วนประกอบคีย์ของส่วนกลั่น

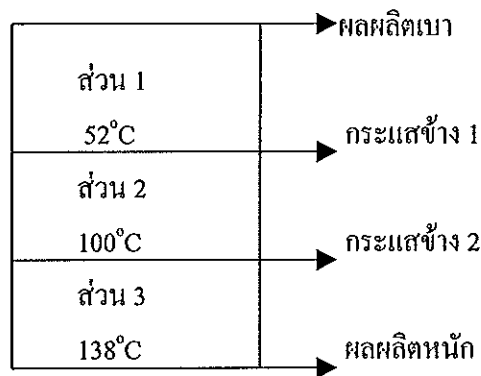
จากการกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นจุดเดือดจริงออกเป็นช่วงย่อยๆ ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิจุดตัดประมาณ 5 หรือ 10 องศาเซลเซียส เราจะเรียกส่วนกลั่นย่อยนี้ว่าส่วนประกอบเทียม (pseudocomponent) ผลที่ได้จากการกลั่นนี้จะอยู่ในรูปของน้ำหนักของส่วนประกอบ

เทียบในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ เมื่อนำน้ำหนักที่ได้นี้มาคิดเทียบกับน้ำหนักรวมทั้งหมดจะได้ข้อมูลในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักของแอฟทา1และแอฟทา2ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ ดังแสดงในตาราง ช.1-ช.5 ส่วนในการหาแฟรกชันเชิงโมลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบคอลัมน์การกลั่นจะต้องทราบน้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบเทียบเหล่านี้

จากการส่งตัวอย่างแอฟทา2 ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จะได้สูตรโมเลกุลขององค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนและอุณหภูมิจุดเดือดของแต่ละองค์ประกอบดังแสดงในตาราง ก.2 นำข้อมูลที่ได้นี้ไปหาน้ำหนักโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยในแต่ละช่วงการกลั่น แล้วนำไปหารน้ำหนักของแต่ละส่วนกลั่น ทำการแปลงข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปของแฟรกชันเชิงโมลดังตาราง ฉ.1 เมื่อแบ่งกลุ่มของส่วนกลั่นย่อยที่มีแฟรกชันเชิงโมลต่างๆ ออกเป็น 4 กลุ่มตามค่ากำหนดช่วงอุณหภูมิการกลั่นของผลผลิต จะได้เป็นผลผลิตเบา ตัวทำละลายยาง ตัวทำละลาย VM&P และผลผลิตหนัก นอกจากนั้นตาราง ฉ.1 นี้ยังแสดงถึงส่วนประกอบคีย์ของผลผลิตแต่ละตัวที่ได้เลือกไว้สำหรับการออกแบบหอกลั่นด้วยวิธีลัด

4.4.2 ค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant, K value) และอุณหภูมิ

ผลของค่าคงที่สมดุลและอุณหภูมิของผลผลิตแต่ละชนิดจะได้มาจากการคำนวณแบบลองผิดลองถูกของสมการความสัมพันธ์ที่สถานะของผลผลิต



ภาพประกอบ 4.10 การแบ่งคอลัมน์กลั่นและผลผลิตการกลั่น

เนื่องจากผลผลิตจากการกลั่นมี 4 ชนิด จึงแบ่งคอลัมน์ออกเป็น 3 ส่วนดังภาพประกอบ 4.10 และทำการประมาณค่าอุณหภูมิของคอลัมน์ในแต่ละส่วนโดยใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผลผลิต พบว่าส่วนที่ 1 อยู่ระหว่างผลผลิตเบาและตัวทำละลายยางซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 52°C ส่วนที่ 2 อยู่ระหว่างตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P มีอุณหภูมิเฉลี่ย 100 °C และส่วนที่ 3 อยู่ระหว่างผลผลิตตัวทำละลาย VM&P และผลผลิตหนัก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 138 °C

สำหรับอุณหภูมิของทั้งคอลัมน์จะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของผลผลิตเบาและผลผลิตหนัก พบว่ามีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากผลของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในส่วนต่างๆของคอลัมน์จะสามารถนำมาประมาณค่า K โดยเฉลี่ยได้ดังแสดงในตาราง ๓.2

4.4.3 อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดและจำนวนเพลทต่ำสุด

อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดหาได้โดยใช้วิธีการของอันเดอร์วูด ซึ่งพบว่าผลของการคำนวณจะได้อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดมีค่าเป็น 0.934 ดังมีข้อมูลและขั้นตอนการคำนวณตามตาราง ๓.1 การคำนวณเหล่านี้จะอยู่บนสมมุติฐานว่าตำแหน่งเพลทป้อนอยู่ระหว่างผลผลิตกระแสข้างทั้งสอง โดยจะกำหนดให้ค่ารีฟลักซ์ที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นจริงเป็น 1.7 เท่าของค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด ดังนั้นค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์สำหรับการกลั่นที่เหมาะสมในระดับอุตสาหกรรมจึงเป็น 1.6

การคำนวณหาจำนวนเพลทต่ำสุดโดยใช้วิธีการของเฟนสกีตามขั้นตอนการคำนวณซึ่งแสดงในตาราง ๓.2 ในการคำนวณนี้จะหาจำนวนเพลทต่ำสุดทั้ง 3 ช่วงของคอลัมน์ แล้วนำมารวมกันเพื่อหาจำนวนเพลทต่ำสุดของทั้งคอลัมน์ พบว่าจำนวนเพลทต่ำสุดของทั้งคอลัมน์เป็น 24.3 เพลท จากค่าจำนวนเพลทต่ำสุด อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด และกราฟความสัมพันธ์ของกิลแลนด์ในภาพประกอบ 2.3 จะได้จำนวนเพลททางทฤษฎีทั้งหมด 42 เพลท

4.4.4 ตำแหน่งเพลทป้อนและเพลทผลผลิตกระแสข้าง

การประมาณตำแหน่งของเพลทป้อนโดยใช้สมการของเคิร์กไบรด์ พบว่าตำแหน่งเพลทที่ทำการป้อนสารจะอยู่ในระหว่างเพลทที่ 21 และ 22 หรือจะมีจำนวนเพลทเหนือตำแหน่งป้อน 21 เพลทและจำนวนเพลทใต้เพลทป้อน 21 เพลท โดยเพลทป้อนที่ได้นี้จะอยู่ระหว่างผลผลิตกระแสข้างทั้งสองซึ่งจะตรงกับสมมุติฐานที่ได้วางไว้ในตอนต้นของการคำนวณ และสามารถกำหนดตำแหน่งของการดึงเอาผลผลิตกระแสข้างออกมาจากคอลัมน์ได้ดังแสดงในตาราง 4.6 ในการหาตำแหน่งของเพลทที่ดึงเอาผลผลิตออกนี้จะทำได้โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของจำนวนเพลททางทฤษฎีกับจำนวนเพลทต่ำสุดของแต่ละช่วงคอลัมน์ที่คำนวณได้

ตาราง 4.6 ผลของการออกแบบคอกค้ำน้กค้ำแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม

หัวข้อ	ค่าออกแบบ
จำนวนเพลาทั้งหมด	42
อัตราส่วนรีฟลักซ์	1.6
ตำแหน่งเพลาป้อน	22
ตำแหน่งเพลาผลผลิตกระแสดำ 1	11
ตำแหน่งเพลาผลผลิตกระแสดำ 2	26

บทที่ 5

สรุป

การผลิตตัวทำละลายจากแนฟทาของโรงกลั่นฝาง อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ โดยการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ความดันบรรยากาศ จะได้ผลผลิตออกมา 2 ประเภทด้วยกัน นั่นคือผลผลิตหลักและผลผลิตพลอยได้ ผลผลิตหลักจะเป็นผลผลิตที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวทำละลายได้โดยตรงในระดับอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วยตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดติดกัน ส่วนผลผลิตพลอยได้จะเกิดขึ้นเนื่องจากช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของวัตถุดิบกว้างกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตหลัก ผลผลิตพลอยได้จึงประกอบไปด้วยผลผลิตหนักและผลผลิตเบาที่มีช่วงอุณหภูมิที่สูงและต่ำกว่าผลผลิตหลัก ผลผลิตพลอยได้นี้สามารถนำไปผ่านขั้นตอนกระบวนการต่อไปเพื่อทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ตัวทำละลายอีเทอร์ สารผสมสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นต้น

คุณสมบัติของผลผลิตตัวทำละลายที่ได้จากการทดลองนี้มีบางหัวข้อที่ไม่ได้รับการวิเคราะห์ผล เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์ภายในประเทศและเป็นคุณสมบัติที่ไม่สำคัญมากนัก ซึ่งจากคุณสมบัติที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้จะสามารถสรุปได้ว่าตัวทำละลายที่ผลิตได้จากการกลั่นมีคุณสมบัติที่ตรงกับความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมและสามารถนำตัวทำละลายนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ได้

แนฟทาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตตัวทำละลายในการทดลองนี้มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ แนฟทาและแนฟทา2 แนฟทาทั้งสองชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แตกต่างกันและมีเส้นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน ดังนั้นแนฟทาทั้งสองจึงน่าจะเป็นแนฟทาต่างชนิดกัน เมื่อทำการปรับค่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทาทั้งสองให้มีช่วงที่ตรงกันและปรับข้อมูลร้อยละผลได้ตามช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ปรับนี้ แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์เช่นเดิมจะได้เส้นกราฟการกลั่นที่เกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเดียวกันแนฟทาทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน แนฟทาทั้งสองจึงน่าจะมาจากการกลั่นน้ำมันดิบที่มีแหล่งขุดเจาะเดียวกันแต่เป็นการกลั่นคนละงวด ซึ่งในแต่ละงวดของการกลั่นน้ำมันดิบจะกำหนดช่วงอุณหภูมิจุดตัดของผลผลิตที่แตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับราคาของผลผลิตแต่ละตัว

ผลกำไรของการผลิตตัวทำละลายจากแอฟทาจะขึ้นอยู่กับร้อยละผลได้ของผลผลิตหลักที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวแปรหลักของร้อยละผลได้นี้คือช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของวัตถุดิบ นั่นคือถ้าวัตถุดิบมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตหลักมาก จะส่งผลให้มีร้อยละผลได้ของผลผลิตหลักต่ำและมีผลผลิตพลอยได้เกิดขึ้นมาก ซึ่งจะทำให้ได้ผลกำไรจากการผลิตต่ำลง สำหรับในการทำวิจัยนี้จะพบว่าการผลิตตัวทำละลายจากวัตถุดิบแอฟทา จะให้ผลกำไรต่ำกว่าการผลิตจากแอฟทา2 เนื่องจากแอฟทา มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายที่กว้างกว่าแอฟทา2 จึงทำให้แอฟทา มีร้อยละผลได้ของผลผลิตหนักสูงมาก ซึ่งผลผลิตหนักจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนกระบวนการอีกจึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จึงทำให้มีราคาขายที่ต่ำ

อัตราการให้ความร้อนในการกลั่นที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลของค่าระดับขั้นของการแยกและเวลาที่ใช้ในการกลั่น สำหรับการกลั่นแยกที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องมีค่าระดับขั้นของการแยกเป็นค่าช่องว่างที่มีค่ามากและใช้เวลาในการกลั่นน้อย (มีกำลังการผลิตสูง) พบว่าเมื่อต้องการค่าระดับขั้นของการแยกเป็นค่าช่องว่างที่มีค่าสูงจะต้องมีการให้ความร้อนต่อการกลั่นด้วยอัตราที่ต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้เวลาในการกลั่นที่นานขึ้น ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริงในการทดลองนี้ คือร้อยละ 65 ของความสามารถสูงสุดของเตาเผา โดยจะให้ค่าระดับขั้นของการแยกเป็นค่าช่องว่างที่มีค่าไม่สูงมากนักแต่มีกำลังในการผลิตที่เหมาะสม

ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของการกลั่นแบบ ASTM D86 จะมีช่วงที่แคบกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง เนื่องจากความแตกต่างของความสามารถในการกลั่นแยกของเครื่องกลั่นทั้งสอง นั่นคือเครื่องกลั่นแบบ ASTM D86 ไม่มีทั้งรีฟลักซ์และเพลท ดังนั้นส่วนกลั่นที่ได้จากการกลั่นแบบนี้จึงเป็นส่วนผสมของทั้งส่วนประกอบหนักและเบา ทำให้ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดได้รับอิทธิพลจากส่วนประกอบทั้งสอง แต่การกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะมีทั้งรีฟลักซ์และเพลทเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวลและความร้อน ดังนั้นส่วนกลั่นที่ได้จะถูกกลั่นแยกออกมาตามจุดเดือดของมัน การที่ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของการกลั่นแบบ ASTM D86 แคบกว่าการกลั่นแบบจุดเดือดจริงมาก จะแสดงว่ามีความปนเปื้อนของสารที่อยู่นอกช่วงการกลั่นน้อยซึ่งจะเป็นการกลั่นที่มีความสามารถในการแยกสูงนั่นเอง

การหาน้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบแอฟทาสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแอฟทาโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี แล้วนำผลที่ได้มาหา

สมบัติของแต่ละโมเลกุลส่วนประกอบ โดยวิธีนี้เป็นการหาสมบัติของส่วนประกอบแนฟทาโดยตรง ส่วนอีกวิธีจะเป็นการหาสมบัติของแนฟทาจากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ซึ่งผลที่ได้จากวิธีการทั้งสองจะมีแนวโน้มเดียวกัน ความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลที่ได้จากวิธีทั้งสองจะเป็นคุณสมบัติในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นและสุดท้ายของแนฟทา ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของเครื่องกลั่น

อัตราการกลั่นของส่วนกลั่นแนฟทาและความดันลดยที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะมีค่าไม่คงที่ โดยอัตราการกลั่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดเดือด น้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบแนฟทาและปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนประกอบของแนฟทาที่จุดเดือดนั้น นั่นคือเมื่ออุณหภูมิจุดเดือดสูงขึ้นอัตราการกลั่นจะลดต่ำลงและความดันลดยจะเกิดขึ้น และเมื่อปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของสารประกอบเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการกลั่นและความดันลดยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การออกแบบคอลัมน์การกลั่นด้วยวิธีลัดโดยใช้ข้อมูลจากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงซึ่งเป็นการกลั่นแบบเบทซ์ให้เป็นการกลั่นแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม จะได้ว่าคอลัมน์จะต้องมีจำนวนเพลททางทฤษฎีทั้งหมด 42 เพลท โดยมีตำแหน่งเพลทป้อนอยู่เพลทที่ 22 ตำแหน่งของกระแสมลผลิตข้าง 1 อยู่เพลทที่ 11 และกระแสมลผลิตด้านข้าง 2 อยู่ที่เพลท 26 ซึ่งจะต้องมีอัตราส่วนรีฟลักซ์เป็น 1.6 จึงจะทำให้เกิดการกลั่นแยกเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตามความต้องการ

ข้อเสนอแนะ

ปัญหาและข้อเสนอแนะที่เกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติการวิจัยที่อาจทำให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาด และเกิดความไม่สะดวกในการทำการวิจัยมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ที่ผ่านขั้นตอนการผลิตก่อนหน้ามาหนึ่งขั้นจะมีคุณสมบัติของผลผลิตในแต่ละงวดที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งในที่นี้วัตถุประสงค์แนฟทาที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบจากแหล่งเดียวกันแต่ทำการกลั่นคนละงวดกันจะมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อนำวัตถุประสงค์ที่ได้จากการผลิตคนละงวดกันนี้มาทำการทดลอง จะทำให้ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากวัตถุประสงค์ทั้งสองไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งอาจจะต้องทำการทดลองใหม่ในบางหัวข้อที่ทำการศึกษา ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงควรจัดเตรียมวัตถุประสงค์ในปริมาณที่เพียงพอต่อการทำการวิจัยจนเสร็จสิ้น และมีการวางแผนการวิจัยอย่างเหมาะสม

แนฟทาเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตั้งแต่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องจนถึงประมาณ 170°C ดังนั้นในการเก็บรักษาแนฟทาจะต้องเก็บในที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องหรือในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำระเหยหนีออกไปได้ ซึ่งจะส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนและอาจจะทำให้เกิดการระเบิดเมื่อมีประกายไฟเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว

2. การสูญเสียของส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนของแนฟทาจากกระบวนการกลั่นและจากหน่วยเก็บผลผลิตของเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 4 ของปริมาณสารป้อนทั้งหมด ดังนั้นข้อมูลร้อยละผลได้ของการกลั่นจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเล็กน้อย

3. ก่อนเริ่มทำการกลั่นทุกครั้งจะต้องตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกลั่น เช่น

- เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ซึ่งใช้อ่านอุณหภูมิที่จุดต่างๆของเครื่องกลั่น เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้จะเป็นแบบที่สามารถเคลื่อนย้ายและถอดออกมาภายนอกได้ ดังนั้นในบางครั้งหัวเทอร์โมคัปเปิลอาจมีการเลื่อนหลุดออกมาทำให้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง
- นอตที่ใช้เป็นจุดเปิดของคอลัมน์กลั่น เช่น จุดป้อนสารเข้า จุดถ่ายสารออก จะต้องได้รับการขันปิดให้แน่นเพียงพอเพื่อป้องกันการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการรั่วซึมของส่วนประกอบแนฟทาในระหว่างการกลั่น

4. ควรมีการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการกลั่น เช่น อุณหภูมิและความดันที่จุดต่างๆของเครื่องกลั่น เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการกลั่น และสามารถหาวิธีการแก้ปัญหาได้ตรงกับปัญหาที่เกิดขึ้น

5. ในบางครั้งการเปลี่ยนหลอดเก็บผลผลิตในหน่วยเก็บผลผลิตแบบอัด โนมัตติจะเกิดขึ้นครั้งละสองถึงสามหลอด จึงอาจทำให้หลอดเก็บผลผลิตไม่เพียงพอสำหรับการเก็บผลผลิตที่อุณหภูมิจุดตัดที่ได้กำหนดไว้ จึงมีวิธีแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อหลอดเก็บไม่เพียงพอโดยการหมุนวาล์วสามทางเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของผลผลิตไปเก็บยังขวดเก็บผลผลิตเบาแทน

6.เมื่อทำการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงหลายๆครั้ง ควรจะเปิดคอลัมน์กลั่น เพื่อตรวจสอบการติดตั้งของถ้วยรับผลผลิตส่วนกลั่นภายในคอลัมน์ว่ายังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมหรือไม่ เนื่องจากอุปกรณ์นี้มีการติดตั้งด้วยการสอดเข้ากับท่อनाไอโดยไม่มีตัวยึดใดๆ จึงมีโอกาสหลุดออกจากท่อनाไอได้ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราส่วนรีฟลักซ์เปลี่ยนแปลงไป และควรทำการตรวจสอบวัสดุบรรจุภายในคอลัมน์ว่ามีตะกอนเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นมาก จะทำให้ประสิทธิภาพของการกลั่นลดลง จึงต้องมีการทำความสะอาดเพื่อเอาตะกอนออก

เมื่อทำการกลั่นไปหลายๆครั้งอาจจะมีตะกอนเกิดขึ้นที่เครื่องควบแน่นทั้งสามตัวได้ ดังนั้นจึงต้องมีการทำความสะอาดเพื่อให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น

7.เนื่องจากเครื่องควบคุมเวสต์ที่ใช้ในการควบคุมการกลั่นไม่มีชุดอุปกรณ์ป้องกันการกระชากของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อเกิดการกระชากของกระแสไฟฟ้าขึ้นจะส่งผลทำให้เครื่องควบคุมเกิดความเสียหายจนใช้งานไม่ได้ จึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องป้องกันการกระชากของกระแสไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

บรรณานุกรม

ปราโมทย์ ชัยเวช. 2533. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Altgelt, Klaus H. and Boduszynski, Mieczyslaw M. 1994. Composition and Analysis of Heavy Petroleum Fractions. New York ; Marcel Dekker, Inc.

Barolo, Massimiliano. and Berto, Fabrizio. 1998. "Composition control in batch distillation", Industrial & Engineering Chemistry Research. 37, 4689-4698.

Bellet, Alain. 1997. "Cut point and efficiency distillation software", Vision Tecnologica. 5, 5.

Brushwood, John and McElwee, Timothy. 1997. "Design considerations of naphtha fuel systems in combustion turbines", American Society of Mechanical Engineers.

Cuadros, F. and Okrasinski, W. 1996. "Vapour pressure curves obtained from different equation of state", Chemical Engineering Science. 57, 4189-4195.

Cusher, Nelson A. et al., 1990. "Isomerization fo future gasoking repuerements" , UOP Confrennce.

Diwekar, Urmila M. and Madhavan, K. P. 1991. "Multicomponent batch distillation column design", Industrial & Engineering Chemistry Research. 30, 713-721.

Foust, Alan S. et al., 1960. Principles of Unit Operation. 2d ed. New York ; John Wiley & Sons, Inc.

Gary, James H. and Handwerk, Glenn E. 1975. Petroleum Refining Technology and Economics. New York ; Marcel Dekker, Inc.

Gunn, D.J. and Al-Saffar, H.B.S. 1993. "Liquid distribution in packed columns", Chemical Engineering Science. 48, 3845-3854.

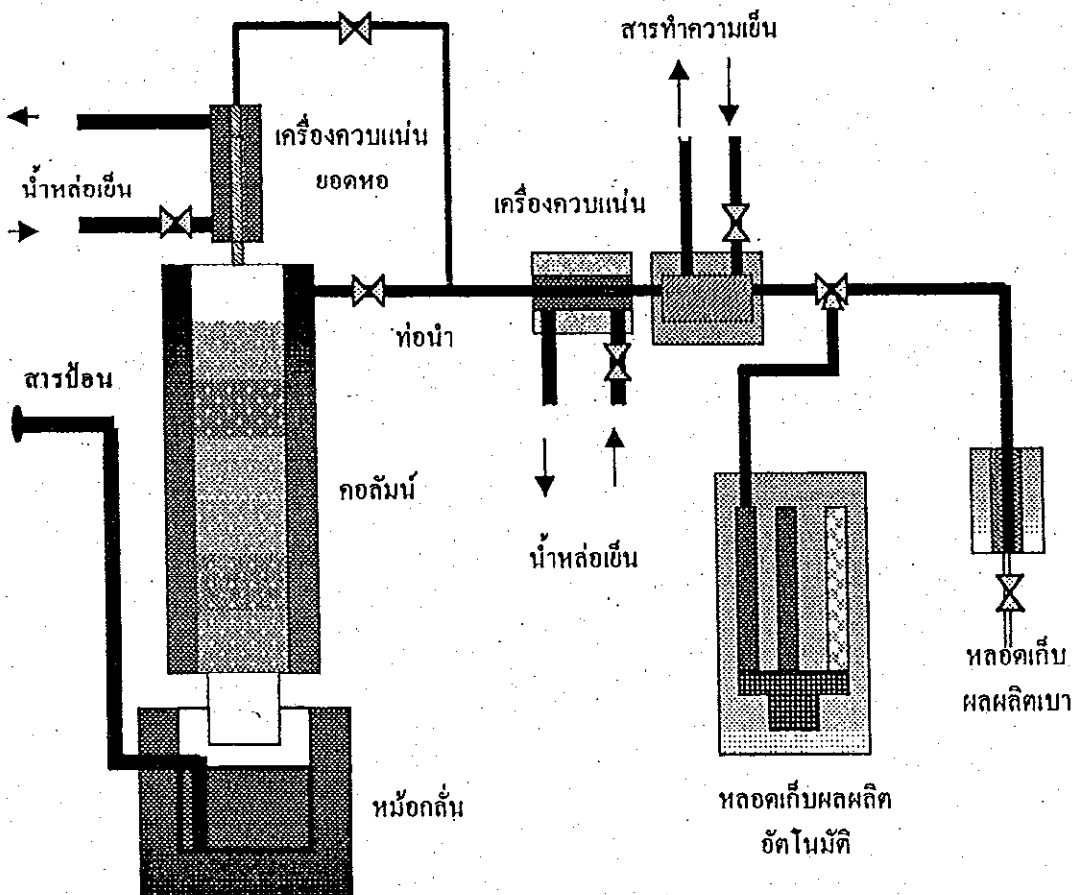
- Haynes, Henry W. and Matthews, Michael A. 1991. "Continuous-mixture vapor-liquid computations based on true boiling distillations", Industrial & Engineering Chemistry Research. 30, 1911-1915.
- Hines, Anthony L. and Maddox, Robert N. 1985. Mass Transfer Fundamentals and Applications. New Jersey ; Prentice-Hall, Inc.
- Koehler, J. ; Aguirre, P. and Blass, E. 1991. "Minimum reflux calculation for nonideal mixtures using the reversible distillation model", Chemical Engineering Science. 46, 3007-3021.
- Ley, Bede B. 1996. "Solvent Substitution in jet engine maintenance", Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition 1996.
- Mahay, A. et al., 1992. "Two-stage hydroprocessing of synthetic crude gas oil", Fuel Processing Technology. 30, 33-45.
- Maples, Robert E. 1997. "Linear regression determines crude properties at boiling points" Oil and Gas Journal. 95, 72-74
- McCabe, Warren L. ; Smith, Julian C. and Harriott, Peter. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. 5th ed. New York ; McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS
- Neri, Bernardo. et al., 1998. "Multicomponent distillation design through equilibrium theory", Industrial & Engineering Chemistry Research. 37, 2250-2270.
- Peridis, S. ; Magoulas, K. and Tassios, D. 1993. "Sensitivity of distillation column design to uncertainties in vapor-liquid equilibrium information", Separation Science and Technology. 28, 1753-1767.

- Quiroga, Monica E. and Campanella, Enrique A. 1996. "Comparison of methods for characterization of complex mixture", Chemical Engineering & Technology. 19, 103-112.
- Reid, Robert C. ; Prausnitz, John M. and Poling, Bruce E. 1987 The Properties of Gases & Liquids. 4th ed. New York ; McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS
- Sadeghbeigi, Rese. 1995. Fluid Catalytic Cracking Handbook. Texas ; Gulf Publishing Company.
- Saito, Noritsuna ; Kosuge, Hitoshi and Asano, Koichi. 1998. "Mass transfer in heterogeneous distillation", Journal of Chemical Engineering of Japan. 31, 758-764.
- Sequeira, Avilino. 1994. Lubricant Base Oil and wax Processing.
New York : Marcel Dekker, Inc.
- Stichlmair, Johann. ; Offers, Hugo. and Potthoff, Richard W. 1993. "Minimum reflux and minimum reboil in ternary distillation", Industrial & Engineering Chemical Research. 32, 2438-2445.
- Taniewski, Marian and Czechowicz, Dymitr. 1998. "On additive of the yields of ethylene formed from Naphtha", Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 73, 304-310
- True, W. R. 1998. "Orinoco projects choose dilution to move production", Oil and gas Journal. 96, 64-66.
- Wang, Ang. et al. 1996. "Performance measurement and evaluation for five packing", Journal of Xi'an Jiaotong University. 28, 39-43.
- Winkle, Matthew Van. 1967. Distillation. New York : McGraw-Hill Book Company.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การกลั่นแบบจุดเดือดจริง

ก.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง



ภาพประกอบ ก.1 เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง

เครื่องกลั่น TBP ได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2892 (standard test method for distillation of petroleum D 2892) ดังแสดงในภาพประกอบ ก.1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) หม้อกลั่น (still pot) มีปริมาตร 15 ลิตร ที่ส่วนบนของหม้อกลั่นมีช่องทางเปิดอยู่ 3 ช่อง คือ ช่องที่หนึ่งใช้สำหรับติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ช่องที่สองใช้สำหรับถ่าย (drain) น้ำมันหนักที่เหลือค้างในหม้อกลั่นออกหลังจากทำการกลั่นเสร็จสิ้น ช่องสุดท้าย

ใช้สำหรับป้องกันวัตถุดิบของการกลั่นและยังใช้สำหรับเชื่อมต่อท่อเพื่อวัดความดันลดที่เกิดขึ้น
ในระหว่างการกลั่น หม้อกลั่นสามารถรับสารป้อนได้ 5 - 10 ลิตร

2) เตาเผา (furnace) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น โดยเตาเผาจะคลุมอยู่ภายนอก
หม้อกลั่นในลักษณะที่เป็นแจ็กเก็ต (jacket) แจ็กเก็ตนี้ประกอบด้วยขดลวดความร้อน 2 ชุด
ชุดหนึ่งจะอยู่ที่ใต้หม้อกลั่นและอีกชุดจะอยู่รอบด้านข้างของหม้อกลั่น โดยขดลวดทั้ง 2 ชุดนี้
จะเชื่อมต่อกันด้วยวงจรไฟฟ้าแบบขนาน การให้ความร้อนของเตาเผาจะสามารถทำการควบคุม
ได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (automatic control) และควบคุมด้วยมือ (manual control) ในกรณีที่มีการ
การควบคุมแบบอัตโนมัติจะใช้ความดันลดที่วัดระหว่างหม้อกลั่นและส่วนบนของคอลัมน์
เป็นค่าควบคุม นั่นคือเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้นจะต้องทำให้ลดลงโดยการลดอัตราการให้ความ
ร้อนลง ในการควบคุมอัตราการให้ความร้อนของหม้อกลั่นจะอยู่ในรูปของร้อยละของการให้ความ
ร้อน ซึ่งหมายถึงร้อยละของการเปิดปิดการให้ความร้อนของเตาเผา เช่นเมื่อควบคุมการให้
ความร้อนเป็นร้อยละ 100 หมายถึงเครื่องให้ความร้อนจะเดินเครื่องตลอดเวลา ส่วนเมื่อควบคุม
การให้ความร้อนเป็นร้อยละ 75 หมายถึงในช่วงเวลาหนึ่งเช่น 1 นาที เตาเผาจะเดินเครื่อง
45 วินาที และจะหยุดการเดินเครื่อง 15 วินาที

สำหรับการควบคุมการให้ความร้อนด้วยมือ เป็นการปรับปริมาณร้อยละการให้ความ
ร้อนโดยผู้ที่ทำการควบคุม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราการกลั่นหรือความดันลดของผู้
ควบคุม หรืออาจจะทำการควบคุมให้ร้อยละการให้ความร้อนคงที่ตลอดกระบวนการกลั่นก็
ได้

หม้อกลั่นมีตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) ติดตั้งอยู่ 2 ชุด ชุด
หนึ่งใช้วัดอุณหภูมิภายในส่วนล่างของหม้อกลั่น และอีกชุดหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิของเตาเผา
โดยจะเรียกค่าของอุณหภูมิทั้งสองที่วัดได้ว่า T4 และ T7

3) มีจำนวนเพลททางทฤษฎี 15 เพลท

4) เครื่องกลั่น TBP สามารถทำการกลั่นที่อุณหภูมิสมมูลกับความดันบรรยากาศ
(atmospheric equivalent temperature, AET) ได้ไม่เกิน 350 องศาเซลเซียส

5) คอลัมน์การกลั่น (distillation column) มีความสูง 1 เมตร มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง
กลางภายในเป็น 50 มิลลิเมตร บรรจุด้วยวัสดุบรรจุ (packing) แบบเซมิริง (semi-ring) ซึ่งมี
ลักษณะเป็นแผ่นสแตนเลสตีล (stainless steel) มีผิวที่ขรุขระและมีขนาดเล็ก มีวนเป็นตัว
อักษรจีใหญ่ โดยคอลัมน์การกลั่นนี้จะเชื่อมต่อกับหม้อกลั่นด้วยน้ำแปลน ภายในคอลัมน์มี

ชุดวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลอยู่ 3 ชุดสำหรับวัดอุณหภูมิที่ใจกลางของคอลัมน์ 3 ส่วน คือ ส่วนบนของคอลัมน์บริเวณที่ไอไหลออกไปยังท่อนำไอ ส่วนกลาง และส่วนล่างของคอลัมน์ ซึ่งจะเรียกค่าของอุณหภูมิเหล่านี้ว่า T1 T2 และ T3 ตามลำดับ

6) แจ็คเก็ตรอบคอลัมน์ เป็นทรงกระบอกทำจากสแตนเลสตีลคลุมอยู่โดยรอบคอลัมน์เพื่อให้อากาศไหลผ่านในกรณีที่ต้องการทำให้คอลัมน์เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วหลังจากทำการกลั่นเสร็จ รอบๆ แจ็คเก็ตนี้มีอุปกรณ์ให้ความร้อนติดตั้งอยู่ 2 ชุดเพื่อเป็นฉนวนทางความร้อน (thermal insulation) ให้แก่คอลัมน์ และมีชุดวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลติดตั้งอยู่ 2 ชุดสำหรับวัดอุณหภูมิของผนังคอลัมน์ โดยจะเรียกค่าของอุณหภูมิที่วัดได้นี้ว่า T5 และ T6 ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้นี้จะนำไปควบคุมอัตราการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนต่อไป

7) เครื่องควบแน่นยอดคอลัมน์ (top condenser) ทำหน้าที่รับไอจากคอลัมน์และเกิดการควบแน่นกลายเป็นรีฟลักซ์ไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์และส่งออกไปยังท่อนำไอ ซึ่งการแบ่งการไหลจะทำได้โดยติดตั้งท่อที่ส่วนล่างของเครื่องควบแน่นโดยปลายท่อมีลักษณะเป็นแฉก (slot) ทั้งหมด 5 แฉก ของเหลวที่เกิดจากการควบแน่นจะไหลย้อนกลับลงมาตามผิวภายในเครื่องควบแน่น เมื่อของเหลวไหลลงสู่ปลายท่อจะทำให้ของเหลวถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยของเหลว 1 ส่วนจะส่งไปยังท่อนำไอ และอีก 4 ส่วนจะไหลกลับมายังคอลัมน์ นอกจากนี้ของเหลวทั้ง 5 ส่วนนี้แล้วยังมีของเหลวอีก 1 ส่วนที่ไหลลงมาจากส่วนกลางของเครื่องควบแน่น จากลักษณะการแบ่งของเหลวที่กล่าวถึงนี้จะทำให้ได้อัตราส่วนรีฟลักซ์ (reflux ratio) เป็น 5 : 1 นั่นเอง

8) ท่อนำ (conduct tube) ส่วนของไอและของเหลวที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ การกลั่นจะผ่านเข้าสู่ท่อนำเพื่อที่จะส่งต่อไปยังหน่วยเก็บผลผลิต โดยท่อนำนี้จะติดตั้งชุดเครื่องควบแน่น 2 ชุดเพื่อทำการควบแน่นน้ำมันที่ยังคงมีสถานะเป็นไอและลดอุณหภูมิของเหลวลง เครื่องควบแน่นชุดแรกจะใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวดึงความร้อน ส่วนเครื่องควบแน่นชุดที่สองจะใช้สารตัวกลางทำความเย็นซึ่งได้มาจากเครื่องทำความเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับกรณีทำการกลั่นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของแว็กซ์ (wax) ผสมอยู่ในปริมาณมาก อาจจะมีแว็กซ์บางส่วนเกาะติดค้างอยู่ภายในท่อนำ ไออันเนื่องจากได้รับความเย็นจากเครื่องควบแน่นจนอาจจะทำให้ท่อนำตันได้ จึงมีการติดตั้งชุดให้ความร้อนควบคู่กับเครื่องควบแน่นชุดที่สองเพื่อให้ความร้อนแก่แว็กซ์จนทำให้แว็กซ์หลอมละลายและไหลออกมา

9) หน่วยเก็บผลผลิตแบบอัตโนมัติ (automatic collector) เป็นตัวรองรับผลผลิตจากการกลั่นซึ่งมีช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส ภายในหน่วยเก็บจะมีหลอดแก้ว 10 หลอดเรียงอยู่บนฐานรองรับวงกลม โดยจะมีการหมุนเปลี่ยนหลอดเก็บผลผลิตตามอุณหภูมิจุดตัดที่ได้กำหนดไว้ การควบคุมการหมุนเปลี่ยนหลอดสามารถทำได้ทั้งแบบควบคุมด้วยมือและแบบอัตโนมัติ

10) หน่วยเก็บผลผลิตเบ้า (glass collector) ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ น้ำมันที่กลั่นได้ ณ อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปเก็บในหน่วยเก็บผลผลิตเบ้า โดยจะมีสารตัวกลางทำความเย็นจากเครื่องทำความเย็นหล่อเย็นอยู่โดยรอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียสู่บรรยากาศ

11) แหล่งจ่ายพลังงาน

ไฟกระแสสลับ 3 เฟส 3 x 220 โวลต์ ความถี่ 50 หรือ 60 Hz

กำลัง 6 กิโลวัตต์ (หนึ่งเฟสใน 3 เฟสนี้ต้องการกำลัง 3.5 กิโลวัตต์)

12) เครื่องอัดอากาศความดัน 0.3 เมกะปาสคาล สำหรับลดอุณหภูมิของคอลัมน์

13) ท่อน้ำ

14) เครื่องทำความเย็น (refrigerator) โดยให้ความเย็นแก่ตัวกลางทำความเย็น ได้ถึงอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส

15) ระบบควบคุม (control system) อุณหภูมิของการกลั่นจะถูกควบคุมหรือวัดค่าโดยเครื่องควบคุมเวสต์ (west controllers) ซึ่งเครื่องควบคุมเวสต์สามารถกำหนดการควบคุมให้ เป็นได้ทั้งแบบอัตโนมัติและควบคุมด้วยมือ ในขณะที่เครื่องจ่ายกำลังในการให้ความร้อนจะควบคุมโดยเครื่องควบคุม PLC (simatic S7-200 programmable logical controller) ซึ่งจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมทั้งสอง

16) เครื่องควบคุมเวสต์ (อ้างอิงจากเอกสารแนะนำเครื่องรุ่นเวสต์ 8000 และ 8100 1/8 - DIN) เป็นเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการควบคุมมาก จะทำการปรับค่า PID ได้ด้วยตัวเอง (self tuning) สามารถกำหนดการควบคุมได้ทั้งเป็นแบบอัตโนมัติ แบบควบคุมด้วยมือ และเป็นแบบแร่มพ์ (ramp mode) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยใช้ RS 485 โดยเครื่องควบคุมทุกตัวจะมีที่อยู่ (address) เฉพาะตัวสำหรับประโยชน์ในการเชื่อมต่อสื่อสาร การป้อนสัญญาณขาเข้า (input) สามารถทำได้ทั้งที่เครื่องควบคุมโดยการเปลี่ยนจัมเปอร์ (jumper) หรือการเปลี่ยนซอฟต์แวร์ (software) แต่สัญญาณขาออก (output) จะเป็นเฉพาะที่เลือกไว้

17) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ จะกำหนดค่าสัญญาณป้อนเข้าสำหรับการวัดอุณหภูมิกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (K type thermocouple) สัญญาณขาออกจะเป็นชนิด SSR โดยมีรอบการควบคุม (control circle) เป็น 2 วินาที และค่าสูงสุดของสัญญาณขาออกสำหรับควบคุมการให้ความร้อนของเตาเผาที่กำหนดที่ร้อยละ 80 เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับเตาเผา

การควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ ทำได้โดยการติดตั้งฉนวนทางความร้อน 2 ตัวเข้ากับคอลัมน์การกลั่น ซึ่งมีหน้าที่คอยควบคุมอุณหภูมิภายนอกของคอลัมน์โดยการควบคุมการให้ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมเวสต์ ค่าอุณหภูมิเหล่านี้จะถูกควบคุมตามอุณหภูมิที่ส่วนกลางของคอลัมน์ แต่เนื่องจากมีความล่าช้าในลูป (loop) ของการควบคุมอันเกิดจากแจ๊คเก็ตรอบคอลัมน์จึงทำให้การควบคุมทำได้ยาก ดังนั้นที่จุดเริ่มต้นของการกลั่นจะทำการอุ่นเครื่องก่อน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ T6 เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และกำหนดให้อุณหภูมิ T5 เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ T1 สูงขึ้นจึงกำหนดเครื่องควบคุมเวสต์ทั้ง 2 ชุดให้เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID คอมพิวเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าควบคุมสัญญาณขาออกนี้บ่อยนัก โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อความต่างสัมบูรณ์ของค่าจากการคำนวณต่างจากค่าสัญญาณขาออกมากกว่าร้อยละ 3

18) หน่วยคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการกลั่นทั้งหมด ซึ่งการเชื่อมต่อสื่อสาร โดย C104-A board มีอยู่ 4 พอร์ต (port) คือ com 3 – com 6 ในส่วนของพอร์ต com 3 จะใช้ในการติดต่อกับเครื่องควบคุมเวสต์ พอร์ต com 4 ใช้ในการติดต่อกับ PLC มีโปรแกรมสำหรับการทำงานอยู่ 2 โปรแกรมคือ tbp.exe สำหรับการกลั่น และ report.exe สำหรับการพิมพ์รายงานที่ได้บันทึกลงในแผ่นดิสก์ในตอนต้น ทั้ง 2 โปรแกรมนี้จะถูกกำหนดให้ทำงานอยู่คนละพื้นที่กัน คือถ้าโปรแกรมหนึ่งทำงานที่ drive C อีกโปรแกรมจะทำงานที่ drive D โดยทำการจัดเก็บข้อมูลลงในไดเรกทอรีย่อย (sub directory) C:\tbp และ D:\tbp ตามลำดับ

โปรแกรมทั้ง 2 นี้จะถูกรวบรวมโดยโปรแกรมวิซวลเบสิก (visual basic) เวอร์ชัน 5.0 ซึ่งจะไม่สามารถทำงานบนวินโดว 95 (window 95) ได้ และในส่วนของ C104-A board จะต้องมีการติดตั้งโปรแกรมด้วย ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้

ตัวแปรกระบวนการทั้งหมดในคอมพิวเตอร์จะเหมือนกับในเครื่องควบคุมเวสต์ โดยจะแสดงเป็นแผนภาพกระบวนการที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

ก.2 วิธีการกลั่นแยกโดยเครื่องกลั่นจุดเดือดจริง

1. เตรียมเครื่องกลั่นก่อนการกลั่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1) ป้อนสารที่ผ่านการชั่งน้ำหนักลงในเครื่องกลั่นทางช่องเปิดด้านข้างของหม้อกลั่น ขันนอตปิดช่องเปิดทุกช่องของหม้อกลั่นให้แน่นเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊สสู่ภายนอก

1.2) ขันเลื่อนยกเตาเผาขึ้นให้เข้าระดับกับหม้อกลั่นและล็อกให้แน่นพอสมควร เพื่อป้องกันการเลื่อนไถลลงในระหว่างทำการกลั่น

1.3) ขันยกหน่วยเก็บผลผลิตแบบอัตโนมัติขึ้นเพื่อรองรับส่วนกลั่นที่ออกมาจากท่อ นำ และปรับหมุนวาล์ว (V5) เพื่อส่งผลผลิตในช่วงแรก (IBP-65°C) ของการกลั่น ไปเก็บไว้ยังหน่วยเก็บผลผลิตเบา

1.4) เดินเครื่องอ่างลดอุณหภูมิก่อนทำการกลั่นครึ่งชั่วโมง เพื่อให้ตัวกลางทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 0°C จึงจะเริ่มทำการกลั่นได้ เพื่อให้การควบคุมส่วนกลั่นเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์

1.5) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเข้าสู่โปรแกรม tbp.exe สำหรับการกลั่น แล้วเลือกความดันของการกลั่นไปที่กล่องการกลั่น AT เพื่อทำการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นกำหนดอุณหภูมิจุดตัดลงในกล่องการกลั่นที่ได้เลือกไว้ โดยค่าอุณหภูมินี้จะเป็นตัวกำหนดการหมุนเปลี่ยนหลอดของหน่วยเก็บผลผลิตโดยอัตโนมัติ (automatic)

1.6) เปิดน้ำหล่อเย็นให้ไหลเข้าเครื่องควบคุมที่ส่วนบนของคอลัมน์และท่อ นำส่วนกลั่น

2. ขั้นตอนการกลั่น

2.1) กดปุ่ม "start" ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

2.2) เตาเผาจะเริ่มทำงาน โดยให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น ในการควบคุมการทำงานของเตาเผาทำได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยมือ (Manual control) สำหรับการควบคุมด้วยมือนั้นจะทำได้โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนในรูปร้อยละของการให้ความร้อนทั้งหมดของเตาเผา ส่วนการควบคุมแบบอัตโนมัติจะสามารถควบคุมความดันลดที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นให้มีค่าคงที่ โดยการปรับเพิ่มหรือลดอัตราการให้ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมแบบอัตโนมัติ

2.3) เมื่อให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นไประยะหนึ่งแนฟทาจะเริ่มเดือดและระเหย ซึ่งจะทำให้ความดันลด (pressure drop) ภายในคอลัมน์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิของยอดคอลัมน์หรือ T1 จะเริ่มเพิ่มขึ้น โดยจะเริ่มมีหยดของเหลวควบแน่นออกมาที่ปลายของท่อ นำ อุณหภูมิที่ส่วนบนของคอลัมน์จะเป็นอุณหภูมิอิ่มตัว (saturated temperature) หรือเรียกว่า อุณหภูมิการกลั่น โดยค่าอุณหภูมินี้จะเป็นค่าเดียวกับอุณหภูมิจุดตัดที่ได้กำหนดไว้ในกล่อง การกลั่น AT ดังนั้นอุณหภูมิการกลั่นจึงเป็นค่าควบคุมในการหมุนเปลี่ยนหลอดของหน่วยเก็บ ผลผลิตแบบอัตโนมัติ

2.4) ในช่วงแรกของการกลั่นจะได้ส่วนกลั่นเบาหรือส่วนกลั่นที่มีจุดเดือดต่ำ ซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องเก็บส่วนกลั่นนี้ไว้ในหน่วยเก็บผลผลิตเบาที่มีการ หล่อเย็นด้วยตัวกลางทำความเย็นโดยรอบ เมื่อ T1 สูงขึ้นจนมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส จะมีเสียงคนตรีเตือนให้หมุนวาล์ว V5 เพื่อเปลี่ยนเส้นทางสารส่งผลผลิตไปยัง หน่วยเก็บผลผลิตแบบอัตโนมัติแทน

2.5) ในระหว่างดำเนินการกลั่นอุณหภูมิ T1 จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิจุด เดือดของส่วนกลั่นและความดันลดจะค่อยๆ สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ทำการหาอัตราการกลั่นโดย การจับเวลาและวัดปริมาณของส่วนกลั่นในหลอดเก็บ

2.6) เมื่อทำการกลั่นไปจนน้ำมันในหม้อกลั่นเริ่มหมด จะสังเกตเห็นว่าความดัน ลดค่อยๆ ลดต่ำลง และจะลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อน้ำมันในหม้อกลั่นหมด ที่สภาวะนี้ให้หยุด เดินเครื่องกลั่นโดยกดปุ่ม “end” ซึ่งจะส่งผลให้เตาเผาหยุดการทำงาน

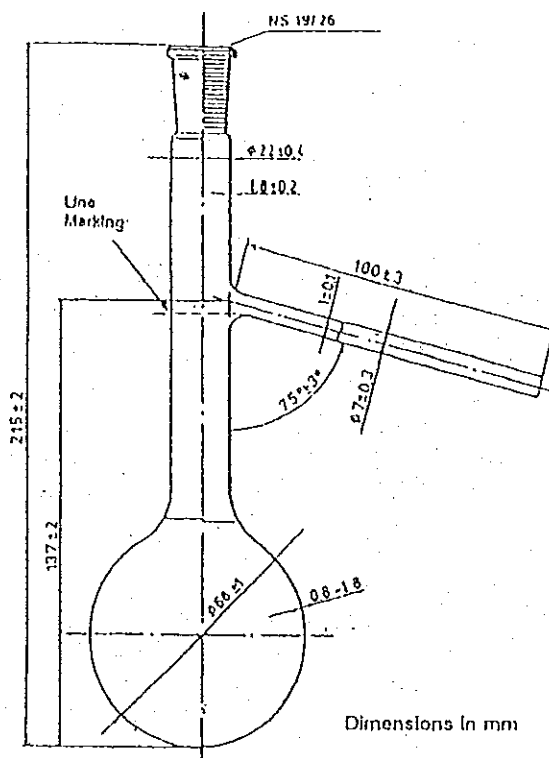
2.7) เก็บผลผลิตการกลั่นโดยขันเลื่อนหน่วยเก็บผลผลิตลง ทำการชั่งและบันทึก น้ำหนักของส่วนกลั่นในแต่ละหลอด แล้วนำไปเขียนกราฟการกลั่นด้วยความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของส่วนกลั่นเทียบกับสารป้อน

ภาคผนวก ข. เครื่องทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86

ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เครื่องกลั่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นเครื่องกลั่นแยกแบบง่ายโดยมีลักษณะของส่วนประกอบดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 ซึ่งจะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1) ขวดกลั่น เป็นขวดใส่สารที่ต้องการกลั่น โดยให้ความร้อนจากส่วนก้นของขวด เมื่อทำการกลั่นจะมีไอเกิดขึ้น ไอเหล่านี้จะไหลออกจากขวดกลั่นทางท่อนำไอ ตามภาพประกอบ ข.1



ภาพประกอบ ข.1 ขวดกลั่น

2) ท่อควบแน่น (condenser) ไอที่ไหลออกจากขวดกลั่นผ่านท่อนำไอและจะส่งต่อไปยังท่อควบแน่น ภายในท่อควบแน่นนี้จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นและเกิดการเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลว

3) อ่างทำความเย็น (cooling bath) ระดับของเหลวในอ่างทำความเย็นจะต้องอยู่เหนือจุดสูงสุดของท่อควบแน่น ของเหลวในอ่างทำความเย็นนี้จะใช้สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาจเป็นน้ำเย็น น้ำแข็ง น้ำเกลือ หรือเอทิลีนไกลคอล ภายในอ่างจะมีท่อควบแน่นวางพาด

ผ่านซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นระหว่างสารทำความเย็นและไอที่ไหลผ่านท่อควบแน่น

4) เครื่องทำความร้อน (heater) เป็นตัวให้ความร้อนแก่ขวดกลั่นที่บรรจุด้วยสารที่ต้องการจะกลั่น โดยจะสามารถปรับอัตราการให้ความร้อนแก่ขวดกลั่นได้ตามอัตราการกลั่นที่ต้องการ

5) ตัวยึดขวดกลั่น (flask support) เป็นแผ่นยึดขวดกลั่นเพื่อรองรับส่วนก้นของขวดกลั่นให้วางบนเครื่องทำความร้อน ขนาดของแผ่นยึดนี้จะเปลี่ยนได้ตามช่วงอุณหภูมิการกลั่น

6) กระจกบอกตวง (graduated cylinder) กระจกบอกตวงจะต้องใช้บอกระดับที่ 5 มิลลิลิตร และเพิ่มทีละ 1 มิลลิลิตรสำหรับช่วงวัด 90 ถึง 100 มิลลิลิตร ใช้สำหรับวัดปริมาตรของสารตัวอย่างให้ได้ 100 มิลลิลิตร

7) เทอร์โมมิเตอร์ชนิด 7C ติดตั้งเข้ากับขวดกลั่นเพื่ออ่านอุณหภูมิการกลั่น

8) นาฬิกาจับเวลา ใช้สำหรับตรวจวัดอัตราการกลั่น โดยการจับเวลาเมื่อปริมาตรของส่วนกลั่นในกระจกบอกตวงเพิ่มขึ้น 1 หรือ 2 มิลลิลิตร แล้วทำการคำนวณหาอัตราการกลั่น

9) ตัวรองรับมุมเอียง (receiver deflector) ใช้สำหรับรองรับหยดของส่วนกลั่นที่ผ่านการควบแน่น โดยส่วนกลั่นจะไหลลงตามมุมเอียงของตัวรองรับไปยังผิวภายในกระจกบอกตวง

10) เชมกระเบื้อง หรือ boiling ship ใช้เป็นตัวช่วยให้มีการกระจายความร้อนที่ก้นขวดกลั่นอย่างสม่ำเสมอและป้องกันไม่ให้เกิดเดือดขึ้นอย่างรุนแรง

11) เทปกาว ใช้สำหรับปิดปากกระจกบอกตวงในระหว่างการกลั่น เพื่อป้องกันการสูญเสียส่วนกลั่นจากการระเหย

ข.2 วิธีทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. กำหนดกลุ่ม (group) ของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบตามคุณสมบัติเฉพาะซึ่งแสดงในตารางที่ ข.1 โดยขั้นตอนของการทดสอบจะขึ้นอยู่กับกลุ่มที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของกลุ่มสารตัวอย่าง

	กลุ่ม0	กลุ่ม1	กลุ่ม2	กลุ่ม3	กลุ่ม4
ชนิดของสาร	แก๊สธรรมชาติ				
ความดันไอ, kPa ที่ 37.8 °C		≥ 65.5	< 65.5	< 65.5	< 65.5
จุดเดือดเริ่มต้น, °C				≤ 100	> 100
จุดเดือดสุดท้าย, °C		< 250	< 250	> 250	> 250

แนฟทาซึ่งเป็นวัตถุดิบในการกลั่นจะกำหนดให้เป็นกลุ่มที่ 1

2. ทำการเก็บสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ เตรียมอุปกรณ์การทดสอบ และควบคุมสถานะในระหว่างขั้นตอนการทดสอบตามค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ ข.2

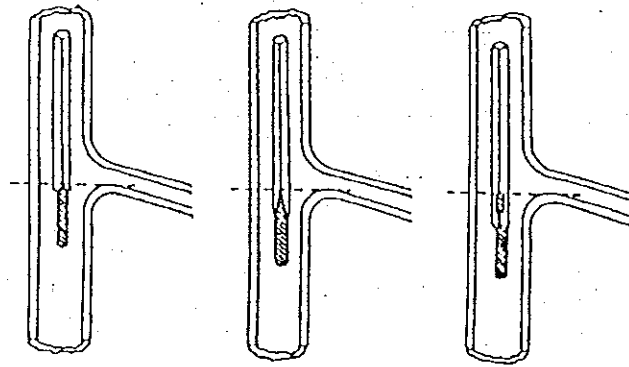
3. เติมสารทำความเย็นในอ่างทำความเย็นโดยให้ระดับของเหลวในอ่างทำความเย็นอยู่เหนือจุดสูงสุดของท่อควบแน่น บางครั้งอาจจำเป็นต้องทำให้มีการไหลหมุนเวียน หรือมีการกวนสารทำความเย็นเพื่อทำให้อุณหภูมิในอ่างนี้คงตัว

4. ควบคุมให้กระบอกดวงมีอุณหภูมิคงที่ 13-18 องศาเซลเซียส โดยการจุ่มกระบอกดวงลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และให้ระดับของเหลวในอ่างอยู่สูงกว่าหรือเท่ากับระดับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. ตวงสารตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกดวง ทำการเทสารตัวอย่างใส่ขวดกลั่นจนหมด ในระหว่างการเทสารจะต้องระวังไม่ให้ของเหลวไหลผ่านไปยังท่อนำไอ (vapor tube) ออกมาภายนอกโดยการวางขวดกลั่นในแนวเอียงและปลายท่อนำไอขึ้นด้านบน เติมน้ำแข็งกระเบื้อง ลงในขวดกลั่นเพื่อช่วยให้มีการกระจายความร้อนที่ก้นขวดกลั่นอย่างสม่ำเสมอและไม่ให้การเดือดเกิดขึ้นอย่างรุนแรง

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการควบคุมการทดสอบ

<p>การเก็บสารตัวอย่าง</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิของขวดตัวอย่าง - อุณหภูมิของการเก็บสารตัวอย่าง 	<p>0-10 องศาเซลเซียส</p> <p>0-10 องศาเซลเซียส</p>
<p>การเตรียมอุปกรณ์</p> <ul style="list-style-type: none"> - ขนาดขวดกลั่น - ASTM เทอร์โมมิเตอร์ - แผ่นยึดขวดกลั่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องยึด - อุณหภูมิขณะเริ่มทดสอบ ขวดกลั่นและเทอร์โมมิเตอร์ กระบอกตวง 	<p>125 มิลลิลิตร</p> <p>7C</p> <p>B</p> <p>38 มิลลิเมตร</p> <p>13-18 องศาเซลเซียส</p> <p>13-18 องศาเซลเซียส</p>
<p>สภาวะในระหว่างขั้นตอนการทดสอบ</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิของอ่างทำความเย็น - อุณหภูมิของอ่างรอบกระบอกตวง - ช่วงเวลาการให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดเริ่มต้น - เวลาตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้นจนได้ส่วนกลั่นร้อยละ 5 - อัตราการควบแน่นตั้งแต่มีส่วนกลั่นร้อยละ 5 จนมีน้ำมันเหลือค้างในขวดกลั่น 5 มิลลิลิตร - ช่วงเวลาจากที่มีน้ำมันเหลือค้างในขวดกลั่น 5 มิลลิลิตรจนถึงจุดสุดท้าย 	<p>0-1 องศาเซลเซียส</p> <p>13-18 องศาเซลเซียส</p> <p>5-10 นาที</p> <p>60-75 วินาที</p> <p>4-5 มิลลิลิตร/นาที</p> <p>3-5 นาที</p>



ภาพประกอบ ข.2 ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์ในขวดกลั่น

6. ยึดเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับปากของขวดกลั่นด้วยจุกยางให้แน่น โดยให้ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ที่กึ่งกลางของคอขวด และให้จุดสูงสุดของกระเปาะอยู่ที่ระดับขอบล่างของจุดต่อระหว่างท่อนำไอและขวดกลั่น ดังแสดงได้ตามภาพประกอบ ข.2

7. ยึดท่อนำไอของขวดกลั่นกับท่อควมแน่นโดยใช้จุกยาง ปรับให้ขวดกลั่นอยู่ในแนวตั้งและให้ท่อนำไอน้ำเข้าไปในท่อควมแน่นเป็นระยะ 25 ถึง 50 มิลลิเมตร (1 ถึง 2 นิ้ว) ยกและปรับแผ่นยึดขวดกลั่นเพื่อรองรับส่วนล่างของขวดกลั่น

8. วางกระบอกดวงที่ใช้ดวงสารป้อนในตอนต้นลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยไม่ต้องทำให้กระบอกดวงแห้ง แล้วนำกระบอกดวงนี้ไปวางสวมเข้าที่ปลายล่างของท่อควมแน่น ให้ปลายล่างของท่อควมแน่นอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระบอกดวง และให้ระยะช่วงปลายท่อขึ้นลงไปนในกระบอกดวงประมาณ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) โดยที่ปลายท่อต้องอยู่ไม่ต่ำกว่าระดับปริมาตร 100 มิลลิลิตร วางตัวรองรับส่วนกลั่นมุมเอียง (receiver deflector) เข้าที่ขอบของกระบอกดวง ปิดปากกระบอกดวงให้สนิทด้วยกระดาษขับหรือวัสดุที่มีลักษณะเช่นเดียวกัน

9. ให้ความร้อนแก่ขวดกลั่น โดยควบคุมช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นของการให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดเริ่มต้นเป็น 5-10 นาที สังเกตและบันทึกผลอุณหภูมิจุดเริ่มต้น (initial boiling point)

10. เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจากอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นจนได้ส่วนกลั่นออกมาร้อยละ 5 เท่ากับ 60 – 75 วินาที

11. ให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง โดยควบคุมให้อัตราการควมแน่นจากปริมาตรส่วนกลั่น 5 % จนถึงมีปริมาตรของส่วนที่เหลือค้างอยู่ในขวดกลั่นเท่ากับ 5 มิลลิลิตร เป็น 4 ถึง 5 มิลลิลิตรต่อนาที

12. ในระหว่างการกลั่นที่อุณหภูมิจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย ทำการสังเกตและบันทึกข้อมูลที่เป็นสำหรัการคำนวณและการรายงานผลการทดสอบตามหัวข้อที่ต้องการ ข้อมูลจากการสังเกตได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ตามร้อยละของส่วนกลั่นที่กำหนดไว้ หรือค่าร้อยละของส่วนกลั่นที่อ่านได้ตามค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ หรือบันทึกค่าทั้งสองแบบ ในการบันทึกปริมาณในกระบอกตวงจะต้องบันทึกอย่างละเอียดจนถึง 0.5 หรือ 0.1 มิลลิลิตร และค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จะต้องละเอียดถึง 0.5 หรือ 0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้วัด

13. เมื่อมีของเหลวเหลือค้างอยู่ในขวดกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตร ปรับการให้ความร้อนจนของเหลวในขวดกลั่นหมดหรือถึงจุดสุดท้ายของการกลั่น โดยใช้เวลา 3 ถึง 5 นาที

14. สังเกตและบันทึกอุณหภูมิจุดสุดท้าย (end point) หรือจุดแห้ง (dry point) หรือทั้งสองค่าตามความต้องการ และหยุดการให้ความร้อน

15. หลังจากหยุดการให้ความร้อนและรอนขวดกลั่นเย็นจึงเทปริมาณที่เหลือในขวดกลั่นลงในกระบอกตวงขนาด 5 มิลลิลิตรจนสังเกตเห็นว่าปริมาณของเหลวในกระบอกตวงไม่เพิ่มขึ้นอีก อ่านปริมาตรและบันทึก

16. บวกปริมาตรของส่วนกลั่นและส่วนเหลือค้าง จะได้เป็นร้อยละการได้กลับคืนทั้งหมด นำค่านี้มาหักลบกับ 100 จะได้เป็นร้อยละการสูญเสีย

ภาคผนวก ก. หน่วยงานที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติตามของผลิตภัณฑ์ตัวทำละลาย
ตาราง ก.1 . หน่วยงานที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติตามของผลิตภัณฑ์ตัวทำละลาย

ผลิตภัณฑ์	คุณสมบัติ	หน่วยงานวิเคราะห์
ตัวทำละลายยาง	Distillation range	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Density	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Recovered @ 100 °C	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Colour, Saybolt	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
	Benzene content	บริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด
	Sulphur	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มอ.หาดใหญ่
	Aromatic content	บริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด
	Nonvolatile Matter	-
	Aniline point	บริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด
	Doctor test	บริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด
	Copper strip	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Naphthanics content	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
Flash point	-	
ตัวทำละลาย VM&P	Distillation range	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Density	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ.หาดใหญ่
	Autoignition temp	-
	Flash point	-
	Pour point	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

บันทึก : หน่วยงานวิเคราะห์ที่เว้นว่างไว้ หมายถึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์คุณสมบัติในหัวข้อนั้นได้
เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดหรือมีเครื่องมือวัดแต่ไม่สามารถทำการวัดในช่วงสมบัติของผลผลิตได้

ภาคผนวก ง. วิธีการหาค่าคงที่สมดุลไอ-ของเหลว

การหาค่าคงที่สมดุล (K) ของส่วนประกอบที่ยอมรับในผลผลิตการกลั่น มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่าคงที่สมดุล K_2 ของอีเทน (Ethane, C_2H_6) และ K_7 ของเฮปเทน (n-Heptane, C_7H_{16}) ตามค่าอุณหภูมิของผลผลิต โดยใช้กราฟในภาพประกอบ ง.1

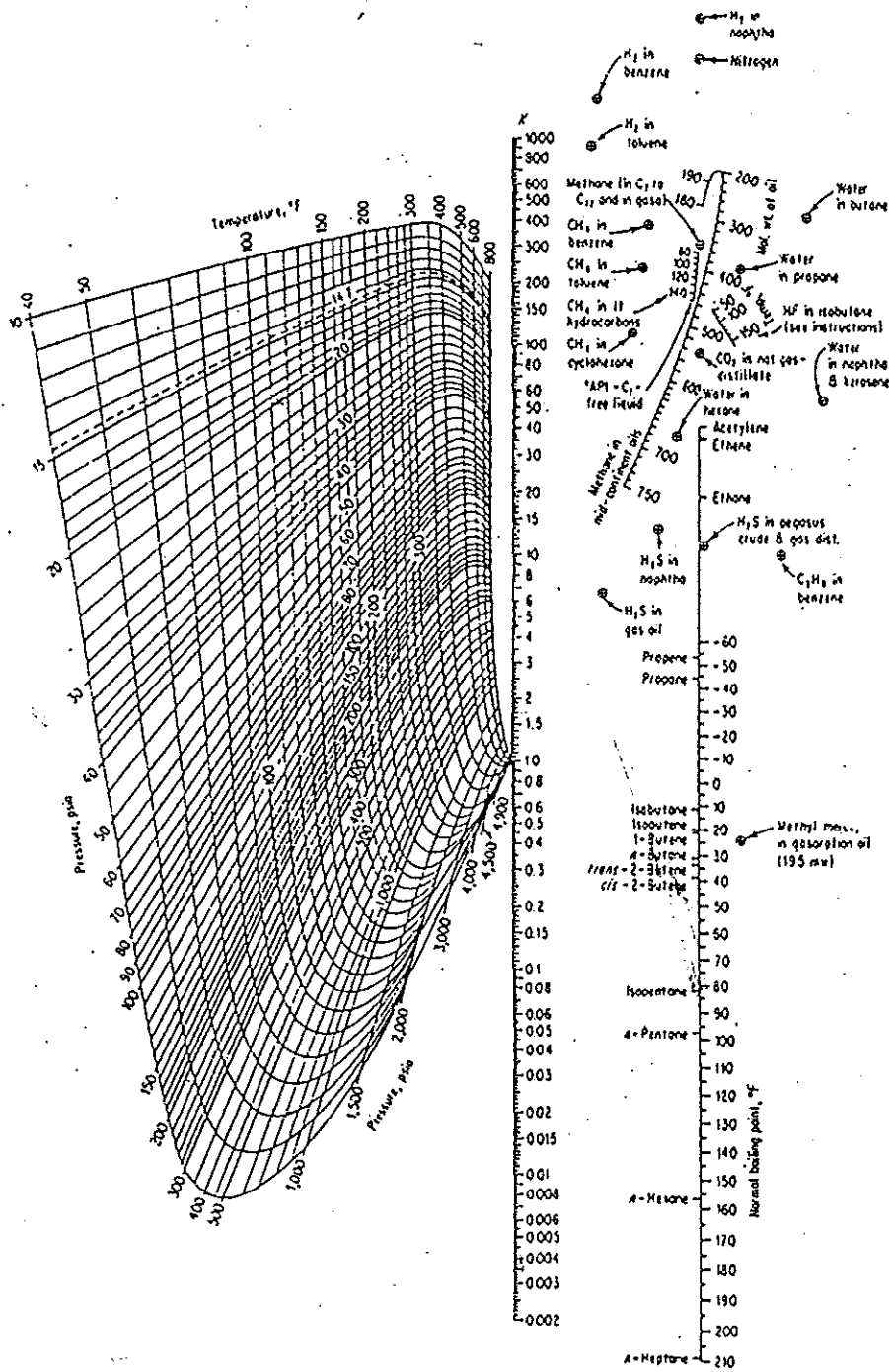
2. หาค่าเลขชี้กำลัง (b) ของส่วนกลั่นตามอุณหภูมิการกลั่นจุดเดือดจริงจากตาราง ง.1

3. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 และ 2 ไปคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของแต่ละส่วนกลั่น (K_H) จากสมการดังนี้

$$K_H = \frac{K_7}{(K_2 / K_7)^b}$$

ตาราง ง.1 เลขชี้กำลังสำหรับไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์และจุดเดือดจริง

Volatility exponent <i>b</i>										
Temp. Interval, °F	Pure hydrocarbons, NBP, °F			50°F cuts, TBP mid-boiling-point temperatures, °F						
	200	300	400	100	200	300	400	500	600	700
00	—	0.360	0.834	—	-0.081	0.326	0.792	1.348	2.016	2.801
05	—	0.381	0.861	—	-0.061	0.348	0.817	1.379	2.053	2.843
10	0.003	0.403	0.888	—	-0.041	0.370	0.842	1.410	2.090	2.886
15	0.021	0.425	0.916	—	-0.021	0.392	0.868	1.441	2.126	2.928
20	0.040	0.447	0.944	—	-0.002	0.414	0.894	1.472	2.164	2.972
25	0.060	0.469	—	-0.376	0.018	0.436	0.921	1.504	2.202	3.014
30	0.079	0.491	—	-0.356	0.038	0.458	0.948	1.536	2.240	3.058
35	0.098	0.514	—	-0.336	0.058	0.481	0.974	1.569	2.278	3.102
40	0.117	0.537	—	-0.316	0.078	0.504	1.002	1.602	2.316	3.146
45	0.137	0.560	—	-0.296	0.098	0.526	1.029	1.634	2.355	3.190
50	0.156	0.584	—	-0.276	0.118	0.550	1.057	1.668	2.394	3.234
55	0.176	0.607	—	-0.257	0.138	0.572	1.085	1.701	2.434	3.280
60	0.196	0.631	—	-0.237	0.159	0.596	1.113	1.735	2.474	3.324
65	0.216	0.656	—	-0.218	0.180	0.620	1.142	1.769	2.514	3.370
70	0.236	0.680	—	-0.198	0.200	0.644	1.170	1.804	2.554	3.415
75	0.256	0.705	—	-0.178	0.221	0.668	1.199	1.838	2.594	3.461
80	0.277	0.730	—	-0.158	0.242	0.692	1.228	1.874	2.635	3.507
85	0.297	0.756	—	-0.139	0.262	0.716	1.258	1.908	2.676	3.553
90	0.318	0.781	—	-0.120	0.284	0.742	1.288	1.944	2.718	3.600
95	0.339	0.808	—	-0.100	0.305	0.766	1.318	1.980	2.759	3.646



ภาพประกอบ ง.1 กราฟค่าคงที่สมดุลไอ-ของเหลว

ภาคผนวก จ. การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีสารประกอบเทียบ

ทำการกลั่นแบบจุดเดือดจริงโดยกำหนดช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตามช่วงอุณหภูมิของสารประกอบเทียบที่ต้องการ นำเอาส่วนกลั่นหรือสารประกอบเทียบที่ได้นี้ไปทำการกลั่นแบบ ASTM D86 และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิอิ่มตัวของการกลั่นที่ร้อยละผลได้เชิงปริมาตรเป็น 10 30 50 70 และ 90 และหาความหนาแน่นของสารประกอบเทียบแต่ละตัวโดยการวัดด้วยพิคาโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

จากข้อมูลของการกลั่นแบบ ASTM D86 ของแต่ละส่วนกลั่นนำมาคำนวณหาอุณหภูมิจุดเดือดเฉลี่ยโดยปริมาตร (volumetric average boiling point, VABP) และค่ากลางจุดเดือดเฉลี่ย (Mean average boiling point, MeABP) รวมทั้งคำนวณค่าความถ่วง API จากค่าความหนาแน่นของแต่ละส่วนกลั่น ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

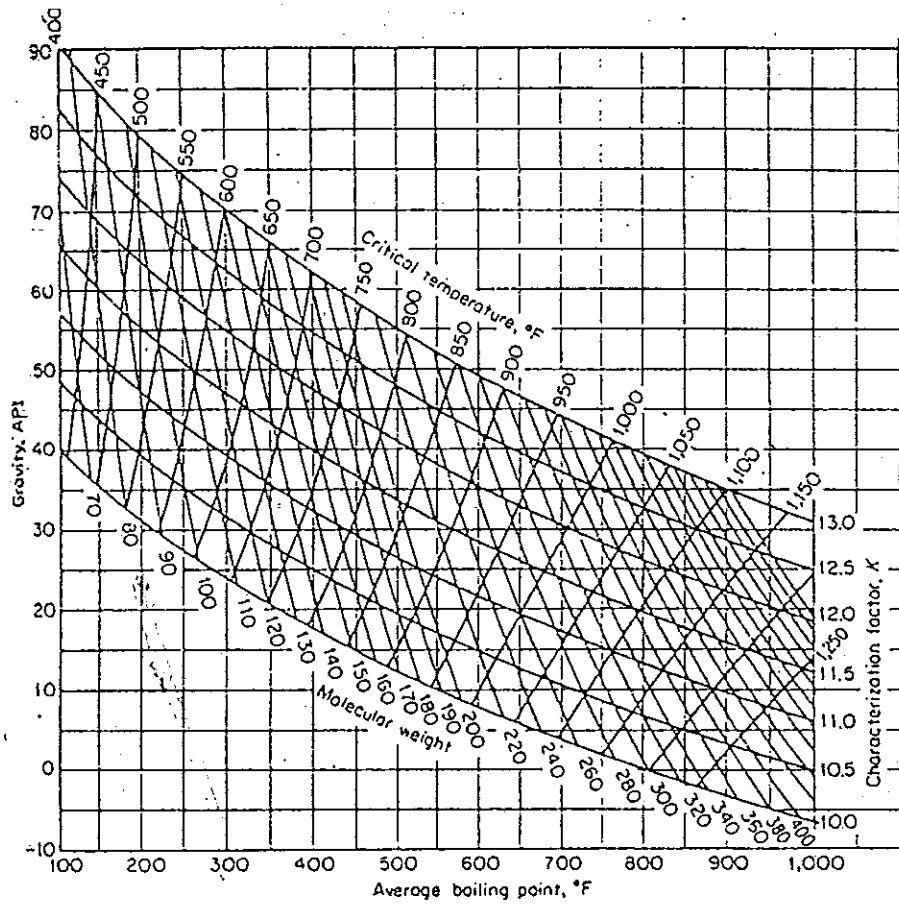
$$VABP = [T_{10} + T_{30} + T_{50} + T_{70} + T_{90}] / 5$$

$$MeABP = VABP + 2 - \left(\frac{(T_{90} - T_{10})}{(170 + 0.075 \times VABP)} + 1.5 \right)^3$$

$$^{\circ}API_{gravity} = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

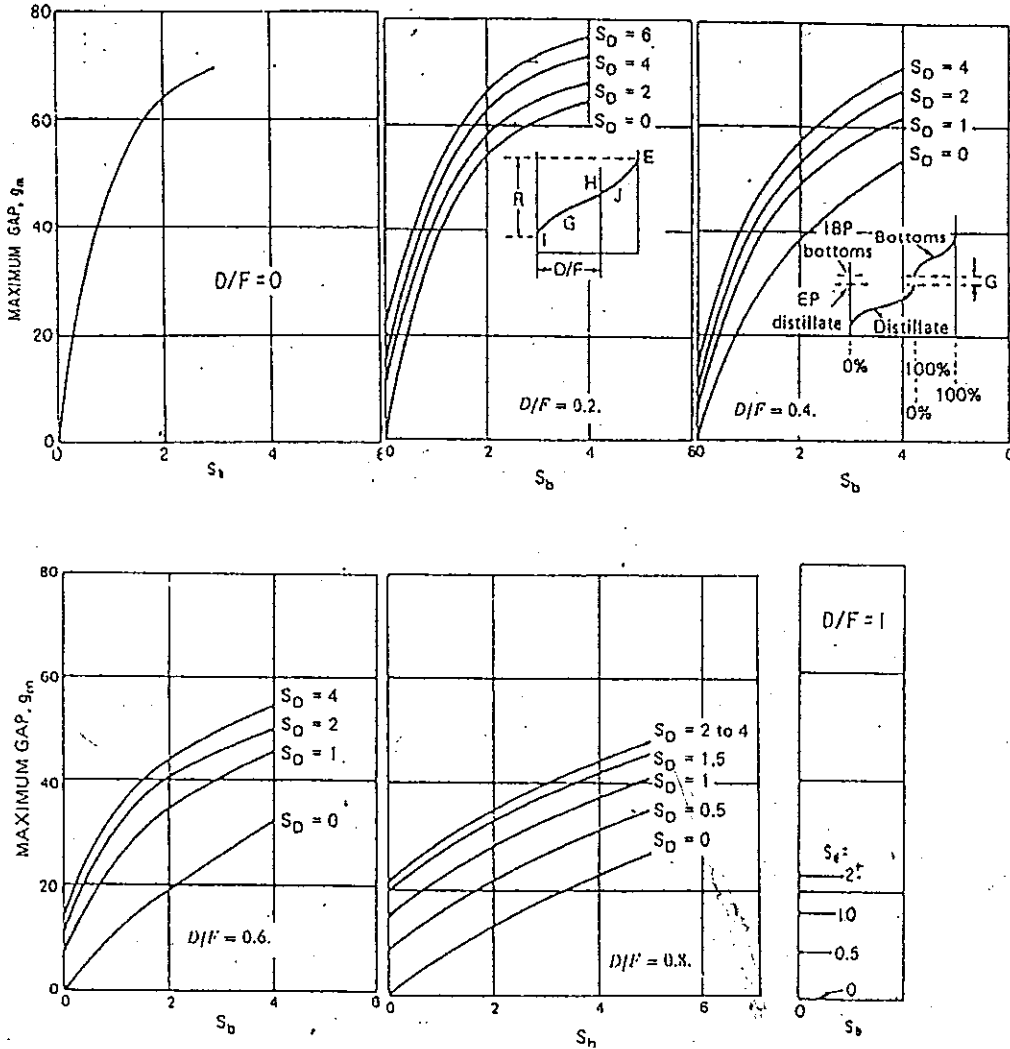
โดยที่ T_{10} , T_{30} , T_{50} , ... เป็นอุณหภูมิ ($^{\circ}F$) ของการกลั่น ASTM D86 ที่ร้อยละผลได้เชิงปริมาตรเท่ากับ 10

นำ MeABP และ $^{\circ}API$ ที่ได้จากการคำนวณไปลงจุดในกราฟคุณสมบัติของแอฟกซ์ันปิโตรเลียมตามภาพประกอบ จ.1 เพื่อหาค่าน้ำหนักโมเลกุล



ภาพประกอบ จ.1 กราฟคุณสมบัติของแฟรกชันปิโตรเลียม

ภาคผนวก ฉ การหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา



ภาพประกอบ ฉ.1 กราฟการหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแอฟทา

ตาราง ข.1 ข้อมูลการกลั่นของแอฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 50%

ลำดับ	อุณหภูมิจุดตัด °C	ช่วงอุณหภูมิ °C	น้ำหนัก g	ร้อยละโดย น้ำหนัก	ร้อยละโดย น้ำหนักต่อ 1°C	ความหนาแน่น kg/l
1	30-53	24	191	6.4	0.3	0.647
2	53-64	11	147	4.9	0.4	0.671
3	64-85	21	251	8.3	0.4	0.698
4	85-95	10	208	6.9	0.7	0.719
5	95-105	10	327	10.9	1.1	0.727
6	105-116	11	188	6.3	0.6	0.739
7	116-123	7	236	7.8	1.1	0.734
8	123-131	8	293	9.7	1.2	0.742
9	131-140	9	218	7.2	0.8	0.757
10	140-171	31	951	31.6	1.0	-
รวม		142	3010	100.0		

ตาราง ข.2 ข้อมูลการกลั่นของเนฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 65%

ลำดับ	อุณหภูมิจุดตัด °C	ช่วงอุณหภูมิ °C	น้ำหนัก g	ร้อยละโดย น้ำหนัก	ร้อยละโดย น้ำหนักต่อ 1°C	ความหนาแน่น kg/l
1	30-53	24	216	6.4	0.3	0.653
2	53-65	12	182	5.4	0.4	0.680
3	65-80	15	194	5.7	0.4	0.697
4	80-93	13	314	9.3	0.7	0.717
5	93-105	12	334	9.9	0.8	0.732
6	105-116	11	240	7.1	0.6	0.740
7	116-130	14	603	17.8	1.3	0.743
8	130-140	10	322	9.5	1.0	0.753
9	140-171	31	981	29.0	0.9	-
รวม		142	3386	100.0		

ตาราง ข.3 ข้อมูลการกลั่นของเนฟทา1 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 80%

ลำดับ	อุณหภูมิจุดตัด °C	ช่วงอุณหภูมิ °C	น้ำหนัก g	ร้อยละโดย น้ำหนัก	ร้อยละโดย น้ำหนักต่อ 1 °C	ความหนาแน่น kg/l
1	29-53	24	189	5.8	0.2	0.650
2	53-63	10	114	3.5	0.4	0.673
3	63-85	22	340	10.4	0.5	0.696
4	85-95	10	260	8.0	0.8	0.717
5	95-105	10	295	9.1	0.9	0.729
6	105-116	11	413	12.7	1.2	0.739
7	116-123	7	234	7.2	1.0	0.743
8	123-131	8	270	8.3	1.0	0.749
9	131-140	9	258	7.9	0.9	0.753
10	140-171	31	881	27.1	0.9	-
รวม		142	3253	100.0		

ตาราง ข.4 ข้อมูลการกลั่นของเนฟทา2 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 50%

ลำดับ	อุณหภูมิจุดตัด °C	ช่วงอุณหภูมิ °C	น้ำหนัก กรัม	ร้อยละโดย น้ำหนัก	ร้อยละโดย น้ำหนักต่อ 1 °C	เวลา นาที
1	29-40	11	80	2.76	0.25	6
2	40-56	16	144	4.94	0.31	5
3	56-65	9	127	4.38	0.49	4
4	65-70	5	68	2.33	0.47	3
5	70-80	10	143	4.92	0.49	6
6	80-85	5	79	2.72	0.54	3
7	85-90	5	100	3.44	0.69	5
8	90-95	5	164	5.63	1.13	9
9	95-100	5	217	7.44	1.49	15
10	100-105	5	139	4.76	0.95	12
11	105-110	5	105	3.61	0.72	10
12	110-116	6	118	4.05	0.67	23
13	116-120	4	171	5.89	1.47	27
14	120-125	5	274	9.41	1.88	46
15	125-130	5	149	5.12	1.02	28
16	130-135	5	139	4.79	0.96	23
17	135-140	5	159	5.47	1.09	23
18	140-145	5	133	4.56	0.91	21
19	145-153	8	400	13.76	1.72	42
รวม		124	2908	100.0		311

ตาราง ข.5 ข้อมูลการกลั่นของแนฟทา2 แบบจุดเดือดจริง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 65%

ลำดับ	อุณหภูมิ จุดตัด °C	ช่วงอุณหภูมิ °C	น้ำหนัก กรัม	ร้อยละโดย น้ำหนัก	ร้อยละโดย น้ำหนักต่อ 1 °C	เวลา นาที	อัตราการกลั่น กรัม/นาที
1	29-40	11	71	2.0	0.18	4	17.67
2	40-50	10	73	2.1	0.21	1	72.96
3	50-60	10	144	4.1	0.41	3	47.89
4	60-70	10	169	4.8	0.48	4	42.15
5	70-80	10	195	5.6	0.56	4	48.63
6	80-90	10	269	7.7	0.77	7	38.36
7	90-95	5	175	5.0	1.00	4	43.63
8	95-100	5	220	6.3	1.25	7	31.38
9	100-105	5	192	5.5	1.10	5	38.43
10	105-110	5	97	2.8	0.56	5	19.48
11	110-116	6	271	7.7	1.29	5	54.25
12	116-121	5	297	8.5	1.69	4	74.14
13	121-126	5	263	7.5	1.50	5	52.60
14	126-130	4	172	4.9	1.23	4	42.94
15	130-135	5	186	5.3	1.06	7	26.58
16	135-140	5	127	3.6	0.72	11	11.51
17	140-144	4	115	3.3	0.82	14	19.23
18	144-153	9	471	13.4		40	
รวม		124	3504	100.0		134	

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM D86 ของส่วนกลั่นแนฟทา

ตาราง ข.1 อุณหภูมิการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลายยางจากการกลั่นแนฟทา1

ร้อยละ	ช่วงกลั่น	ร้อยละโดยปริมาตรสะสม, %vol											
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	EP
ความร้อน	TBP (°C)												
ร้อยละ 50	64-116	78.5	85	87	89	91	93	95	97	99.5	102	107	116
ร้อยละ 65	65-115	74	84	85.5	89	91	94	96	98.5	101	104	110	118
ร้อยละ 80	63-116	71.5	84	86.5	90.5	94.5	97	100	104	107	115	119	126

ตาราง ข.2 อุณหภูมิการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลาย VM&P จากการกลั่นแนฟทา1

ร้อยละ	ช่วงกลั่น	ร้อยละโดยปริมาตรสะสม, %vol											
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	EP
ความร้อน	TBP (°C)												
ร้อยละ 50	116-141	121	122	123	124	124	125	126	126	127	129	131	138
ร้อยละ 65	115-140	122	124	125	126	127	127	128	130	131	133	137	144
ร้อยละ 80	116-140	121	125	126	127	129	130	131	133	134	138	141	148

ตาราง ข.3 อุณหภูมิการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลายยางจากการกลั่นแนฟทา2

ร้อยละ	ช่วงกลั่น	ร้อยละโดยปริมาตรสะสม, %vol											
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	EP
ความร้อน	TBP (°C)												
ร้อยละ 50	55-116	66	78.5	81	84	86.5	88.5	91	94	96.5	99.5	104	114
ร้อยละ 65	60-115	70.5	82	84	86.5	88.5	91	93	96	98.5	102	107	120

ตาราง ข.4 อุณหภูมิการกลั่นแบบ ASTM D86 ของตัวทำละลาย VM&P จากการกลั่นแนฟทา2

ร้อยละ	ช่วงกลั่น	ร้อยละโดยปริมาตรสะสม, %vol											
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	EP
ความร้อน	TBP (°C)												
ร้อยละ 50	116-147	123	125	125	126	127	128	128	129	131	132	135	143
ร้อยละ 65	115-145	122	124	125	126	127	128	129	130	131	133	136	143

บันทึก สามารถนำข้อมูลร้อยละโดยปริมาตรของการกลั่น ASTM D86 ไปใช้ในรูปของร้อยละ
โดยน้ำหนักสำหรับการเขียนกราฟการกลั่นได้ เนื่องจากข้อมูลทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ภาคผนวก ฉ. แฟรกชันเชิง โมลและการประมาณค่า K ของแนฟทา2และผลผลิต

ตาราง ฉ.1 แสดงแฟรกชันเชิง โมลของการกลั่นแนฟทา2 ที่อัตราการให้ความร้อน 50%

ลำดับ	อุณหภูมิ จุดตัด °C	โมลแฟรกชัน สารป้อน		ผลผลิตเบา		ตัวทำละลายยาง		ตัวทำละลาย VM&P		ผลผลิตหนัก	
		fr*	x _F **	fr.	x _D	fr.	x _{1st}	fr.	x _{2nd}	fr.	x _B
1	40	0.048	0.048	0.048	0.413						
2	50	0.044	0.044	0.044	0.379						
3 ^{LK}	56	0.028	0.028	0.018	0.157	0.010	0.021				
4 ^{HK}	60	0.017	0.017	0.006	0.051	0.011	0.024				
5	70	0.053	0.053			0.053	0.115				
6	80	0.068	0.068			0.068	0.147				
7	90	0.065	0.065			0.065	0.141				
8	100	0.127	0.127			0.127	0.275				
9	110	0.087	0.087			0.087	0.188				
10 ^{LK}	116	0.035	0.035			0.023	0.049	0.012	0.037		
11 ^{HK}	120	0.052	0.052			0.018	0.039	0.034	0.102		
12	130	0.136	0.136					0.136	0.410		
13	140	0.094	0.094					0.094	0.283		
14	143	0.026	0.026					0.026	0.078		
15 ^{LK}	147	0.030	0.030					0.020	0.059	0.011	0.117
16 ^{HK}	150	0.030	0.030					0.011	0.032	0.019	0.217
17	153	0.060	0.060							0.060	0.667
total		1.000	1.000	0.116	1.000	0.462	1.000	0.332	1.000	0.090	1.000

บันทึก : * โมลแฟรกชันเทียบกับสารป้อน (fr)

** โมลแฟรกชันของสาร (x)

LK องค์ประกอบคีย์เบา

HK องค์ประกอบคีย์หนัก

ตาราง ฅ.2 แสดงการประมาณค่า K และการหาอุณหภูมิของสารป้อนและผลผลิต

ลำดับ	อุณหภูมิจุดตัด, °C	ผลผลิตบน			ตัวทำละลายขาง			ตัวทำละลาย VM&P			ผลผลิตหนัก			K เฉลี่ย*			
		T _D = 28° C			T _{1st} = 75° C			T _{2nd} = 125° C			T _B = 150° C			T	T _I	T _{II}	T _{III}
		K	y	y/K	K	x _{1st}	x _{1st} K	K	x _{2nd}	x _{2nd} K	K	x _B	x _B K	90° C	52° C	100°	138° C
1	40	1.39	0.413	0.298									6.27	2.96			
2	50	0.92	0.379	0.411									4.63	2.08			
3	56	0.73	0.157	0.216	2.91	0.021	0.062						3.87	1.69	5.67		
4	60	0.58	0.051	0.088	2.46	0.024	0.059						3.30	1.40	4.91		
5	70				1.93	0.115	0.221						2.62	1.07	3.98		
6	80				1.39	0.147	0.205						1.91	0.74	3.01		
7	90				1.00	0.141	0.140						1.39	0.51	2.27		
8	100				0.72	0.275	0.198						1.02	0.36	1.71		
9	110				0.52	0.188	0.097						0.74	0.25	1.29		
10	116				0.40	0.049	0.020	1.53	0.037	0.056			0.58	0.18	1.03	1.95	
11	120				0.33	0.039	0.013	1.34	0.102	0.136			0.49	0.15	0.89	1.71	
12	130							1.10	0.410	0.450			0.39		0.72	1.42	
13	140							0.83	0.283	0.235			0.28		0.54	1.09	
14	143							0.69	0.078	0.054			0.22		0.44	0.91	
15	147							0.62	0.059	0.037	1.14	0.117	0.133	0.20		0.40	0.83
16	150							0.54	0.032	0.017	1.00	0.217	0.217	0.17		0.34	0.72
17	153										0.96	0.667	0.640	0.16			0.69
รวม			1.00	1.013		1.00	1.014		1.00	0.984		1.00	0.990				

บันทึก :

* เป็นค่า K ที่อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละส่วนของคอลัมน์ โดยที่ $T = (T_D + T_B)/2$

$$T_I = (T_D + T_{1st})/2, T_{II} = (T_{1st} + T_{2nd})/2 \text{ และ } T_{III} = (T_{2nd} + T_B)/2$$

ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลการออกแบบคอลัมน์การกลั่นแบบต่อเนื่อง

ตาราง ฉ.1 แสดงการหาตัวอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุดด้วยวิธีของอันเดอร์วูด

ลำดับ	อุณหภูมิ จุดจุด °C	โมลเฟรชชั้น สารป้อน, x_F	K_i 90°C	$\alpha_i = \frac{K_i}{K^*}$	$\frac{x_F}{(\alpha_i - \theta^{**})/\alpha_i}$	เรกติไฟอิงเซกชัน		$\alpha_{iD} = \frac{K_i}{K_D^{***}}$	$\frac{x'_D}{(\alpha_{iD} - \theta)/\alpha_{iD}}$
						fr.	x'_D		
1	40	0.048	6.27	1.90	0.110	0.048	0.081	12.72	0.089
2	50	0.044	4.63	1.40	0.187	0.044	0.075	9.39	0.084
3	56	0.028	3.87	1.17	0.324	0.028	0.047	7.86	0.055
4	60	0.017	3.30	1.00	-0.233	0.017	0.029	6.69	0.034
5	70	0.053	2.62	0.79	-0.150	0.053	0.090	5.31	0.113
6	80	0.068	1.91	0.58	-0.080	0.068	0.115	3.88	0.159
7	90	0.065	1.39	2.83	0.105	0.065	0.110	2.83	0.177
8	100	0.127	1.02	2.07	0.264	0.127	0.215	2.07	0.447
9	110	0.087	0.74	1.51	0.302	0.087	0.147	1.51	0.511
10	116	0.035	0.58	1.17	0.405	0.035	0.059	1.17	0.687
11	120	0.052	0.49	1.00	-0.713	0.018	0.031	1.00	-0.423
12	130	0.136	0.39	0.79	-0.385				
13	140	0.094	0.28	1.66	0.265				
14	143	0.026	0.22	1.33	0.134				
15	147	0.030	0.20	1.18	0.318				
16	150	0.030	0.17	1.00	-0.412				
17	153	0.060	0.16	0.94	-0.438				
รวม		1.000			0.002	0.590	1.000		1.934

บันทึก :

* K' เป็นค่า K ของส่วนประกอบคีย์หนักในแต่ละส่วนของคอลัมน์

** θ เป็นค่าคงที่จากการลองผิดลองถูกแทนค่าคงที่ลงในสมการ $\sum \frac{x_F}{(\alpha_i - \theta)/\alpha_i} = 0$

*** K_D' เป็นค่า K ของส่วนประกอบคีย์หนักสำหรับการแยกระหว่างเรกติไฟอิงและสตริบปีง

จากสมการ $\sum \frac{x'_D}{(\alpha_{iD} - \theta)/\alpha_{iD}} - 1 = R_m$ เมื่อ R_m คืออัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด, $R_m = 0.934$

ตาราง ญ.2 แสดงการหาค่าจำนวนเพลทต่ำสุด โดยวิธีของเฟนสกี, 1932

ลำดับ	อุณหภูมิ จุดตัด °C	โมลเฟรกชันของผลผลิต				K ของคอลัมน์แต่ละส่วน			$\alpha = \frac{K_{LK}}{K_{HK}} \left(\frac{x_{LK}}{x_{HK}} \right)_D \left(\frac{x_{HK}}{x_{LK}} \right)_B$	N_m^*	
		x_D	x_{1st}	x_{2nd}	x_B	K_I	K_{II}	K_{III}			
1	40	0.413				2.961					
2	50	0.379				2.080					
3	56	0.157	0.021			1.690	5.666		$\alpha_I = 1.206$	3.06	6.6
4	60	0.051	0.024			1.402	4.906				1.13
5	70		0.115			1.070	3.985				
6	80		0.147			0.744	3.011				
7	90		0.141			0.515	2.267				
8	100		0.275			0.358	1.713				
9	110		0.188			0.247	1.290				
10	116		0.049	0.037		0.185	1.031	1.950	$\alpha_{II} = 1.155$	1.25	8.6
11	120		0.039	0.102		0.153	0.893	1.714			2.76
12	130			0.410			0.725	1.423			
13	140			0.283			0.537	1.088			
14	143			0.078			0.440	0.910			
15	147			0.059	0.117		0.396	0.829	$\alpha_{II} = 1.146$	1.86	9.1
16	150			0.032	0.217		0.340	0.724			1.86
17	153				0.667			0.691			
รวม		1.000	1.000	1.000	1.000						24.3

บันทึก: * $N_m = \log \left[\left(\frac{x_{LK}}{x_{HK}} \right)_D \left(\frac{x_{HK}}{x_{LK}} \right)_B \right] \left(\frac{1}{\log \alpha} \right)$ = เป็นจำนวนเพลทต่ำสุด

หาจำนวนเพลททางทฤษฎีทั้งหมด

1) ให้รีฟลักซ์เป็น 1.7 เท่าของรีฟลักซ์ต่ำสุด : $R = 1.7R_m = 1.7 \times 0.934 = 1.6$

2) ค่า $(R-R_m)/(R+1) = 0.256$ และกราฟความสัมพันธ์ของกิลลิแลนด์ จะได้ $(N-N_m)/(N+1) = 0.40$

3) แก้สมการ $(N-N_m)/(N+1) = 0.40$ โดยแทน $N_m = 24.3$ จะได้จำนวนเพลททางทฤษฎี 42 เพลท

4) หาคำแหน่งของเพลทป้อนโดยใช้สูตร $\log \frac{m}{p} = 0.20 \log \left\{ \frac{B \left(\frac{x_{HK}}{x_{LK}} \right)_D \left[\left(\frac{x_{LK}}{x_{LK}} \right)_B \right]^2}{D \left(\frac{x_{LK}}{x_{LK}} \right)_F \left(\frac{x_{HK}}{x_{HK}} \right)_D} \right\}$ โดยแทนค่า

$B/D = 0.422/0.578$, $(x_{HK}/x_{LK})_F = 0.052/0.035$ และ $(x_{LK})_B/(x_{HK})_D = 0.012/0.018$ ในสมการได้ $m/p = 0.86$

จะได้ $m = 19$ เพลท (จำนวนเพลทเหนือเพลทป้อน) และ $p = 23$ เพลท (จำนวนเพลทใต้เพลทป้อน)

ภาคผนวก ฎ. ข้อมูลการหาน้ำหนักโมเลกุลของเนฟทา2

ตาราง ฎ.1 การหาน้ำหนักโมเลกุลของเนฟทา2 ด้วยวิธีส่วนประกอบเทียบ

ลำดับ	ช่วงอุณหภูมิ TBP, °C	อุณหภูมิที่ร้อยละส่วนกลั่น (Deg C) การกลั่น ASTM D86					ความหนาแน่น, kg/l	ความถ่วง °API	VABP* Deg C	MeABP** Deg C	MW ***
		10%	30%	50%	70%	90%					
1	29-50	32.0	36.5	42.5	50.5	72.0	0.643	88.63	46.7	44.0	78.8
2	50-60	47.0	50.0	53.5	58.0	64.5	0.664	81.47	54.6	53.1	81.2
3	60-70	61.5	63.5	65.0	67.0	69.5	0.690	73.57	65.3	64.2	84.6
4	70-80	71.5	73.0	74.0	76.5	82.0	0.711	67.46	75.4	74.2	90.0
5	80-90	81.5	83.0	85.0	88.0	92.5	0.727	63.08	86	84.8	93.0
6	90-100	92.0	93.5	95.0	96.5	98.0	0.736	60.76	95	94.0	96.1
7	100-110	100.0	101.5	102.5	104.5	109.0	0.747	57.98	103.5	102.4	100.0
8	110-118	111.0	112.0	113.5	115.0	118.5	0.751	56.87	114	113.0	105.4
9	118-125	120.0	120.5	121.0	121.5	123.0	0.756	55.77	121.2	120.3	108.9
10	125-130	125.0	125.5	126.0	126.5	128.5	0.760	54.78	126.3	125.4	111.5
11	130-135	129.5	130.0	131.0	132.0	134.0	0.769	52.46	131.3	130.4	112.7
12	135-142	135.0	136.0	136.5	137.5	139.5	0.772	51.89	136.9	136.0	115.8
13	142-153	147.5	149.0	150.5	153.0	159.5	0.776	50.94	151.9	150.7	125.8

บันทึก :

* VABP = จุดเดือดเฉลี่ยเชิงปริมาตร (Volumatic average boiling point)

$$= (T_{10} + T_{30} + T_{50} + T_{70} + T_{90}) / 5$$

** MeABP = ค่ากลางจุดเดือดเฉลี่ย (Mean average boiling point)

$$= VABP + 2 - \left(\frac{(T_{90} - T_{10})}{(170 + 0.075 \times VABP)} + 1.5 \right)^3$$

*** MW = น้ำหนักโมเลกุล

ตาราง ๑.2 น้ำหนักโมเลกุลของเนฟทา2 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ลำดับ	ชื่อส่วนประกอบ	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด Deg C	% wt สะสม
1	Propane	C ₃ H ₈	44	-42	0.16
2	i-butane	C ₄ H ₁₀	58	12	0.43
3	n-butane	C ₄ H ₁₀	58	0	2.16
4	n-pentane	C ₅ H ₁₂	72	36	8.18
5	cyclopentane	C ₅ H ₁₀	70	49	8.57
6	2,3-dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	86	50	8.60
7	2,3-dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	86	58	9.13
8	2-methyl pentane	C ₆ H ₁₄	86	60	11.12
9	3-methyl pentane	C ₆ H ₁₄	86	63	12.19
10	n-hexane	C ₆ H ₁₄	86	69	17.67
11	methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	84	72	20.96
12	2,2-dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100	79	21.02
13	benzene	C ₆ H ₆	78	80	21.21
14	cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84	81	23.42
15	1,1 dimethylcyclopentane	C ₇ H ₁₄	98	88	24.13
16	2-methylhexane	C ₇ H ₁₆	100	90	25.04
17	3-methylhexane	C ₇ H ₁₆	100	92	26.41
18	1,2-dimethylcyclopentane	C ₇ H ₁₄	98	92	30.04
19	n-heptane	C ₇ H ₁₆	100	99	37.19
20	methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	98	101	45.77
21	ethylcyclopentane	C ₇ H ₁₄	98	104	46.92
22	2,4-dimethylhexane	C ₈ H ₁₈	114	110	47.15
23	toluene	C ₇ H ₈	114	111	49.54
24	2,3-Dimethylhexane	C ₈ H ₁₈	114	116	49.95
25	4-methylheptane	C ₈ H ₁₈	114	117.9	52.26
26	3-methylheptane	C ₈ H ₁₈	114	119.1	53.46
27	1,4-dimethylcyclohexane-trans	C ₈ H ₁₈	112	119.5	54.57
28	1,1-dimethylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	112	119.7	54.78
29	1,3-dimethylcyclohexane-cis	C ₈ H ₁₆	112	120	58.61
30	1,2-dimethylcyclohexane-trans	C ₈ H ₁₆	112	123.6	61.30
31	n-octane	C ₈ H ₁₈	114	125.8	70.01
32	1,2-dimethylcyclohexane-cis	C ₈ H ₁₆	112	129.9	70.82
33	ethylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	112	131.9	75.12
34	ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106	136.3	79.34
35	m-xylene	C ₈ H ₁₀	106	139.3	82.96
36	2-methyloctane	C ₉ H ₂₀	128.2	143.4	84.03
37	o-xylene	C ₈ H ₁₀	106	144.6	85.54
38	n-nonane	C ₉ H ₂₀	128.2	151	94.14
39	n-decane	C ₁₀ H ₂₂	142	174.3	99.53
40	n-undecane	C ₁₁ H ₂₄	156	196.1	99.99
41	dodacane	C ₁₂ H ₂₆	170	216.5	100.00

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบเนฟทา2 โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบเนฟทา2 โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

Software Version	: 6.1.0.2:G07	Date	: 04/08/99 03:10:12 PM
Operator	: Nuch	Sample Name	:
Sample Number	: 002	Study	: naphta
AutoSampler	: BUILT-IN	Rack/Vial	: 0/2
Instrument Name	: R&D	Channel	: A
Instrument Serial #	: None	A/D mV Range	: 1000
Delay Time	: 0.00 min	End Time	: 179.12 min
Sampling Rate	: 6.2500 pts/s	Area Reject	: 0.000000
Volume Injected	: 1.000000 _L	Dilution Factor	: 1.00
Sample Amount	: 1.0000	Cycle	: 2
Data Acquisition Time	: 04/07/99 07:25:36 PM		

OIL REPORT

Peak #	Component Name	Time [min]	Area [μ V-s]	Norm. Area [%]	Raw Amount	Weight [%]	
1	propane:3p	8.376	71930.75	0.16	0.1809	0.16	0.0311
2	i-butane:4p	8.893	119062.37	0.27	0.2994	0.27	0.0851
3	n-butane:4p	9.339	757092.88	1.72	1.9037	1.73	3.4410
	2,2-d-m-propane	9.560	0.00	0.00	0.0000	0.00	
4	i-pentane:5p	10.979	952274.47	2.17	2.3945	2.18	5.4439
5	n-pentane:5p	11.872	1595297.90	3.63	4.2119	3.84	16.8442
6	2,2-DM-C4	13.557	14517.90	0.03	0.0365	0.03	0.0013
7	2,3-DM-C4	15.349	232376.35	0.53	0.5843	0.53	0.3242
8	Cy-C5	15.453	169278.15	0.39	0.4256	0.39	0.1720
9	2-M-C5:6p	15.749	868128.07	1.98	2.1829	1.99	4.5243
10	3-M-C5:6p	16.907	465338.83	1.06	1.1701	1.07	1.2999
11	n-hexane:6p	18.539	2323124.45	5.29	6.0167	5.48	34.3723
12	2,2-DM-C5:7p	21.291	24166.18	0.05	0.0608	0.06	0.0035
13	M-Cy-C5:6n	21.600	1436935.93	3.27	3.6131	3.29	12.3954
14	2,4-DM-C5:7p	22.101	47203.67	0.11	0.1187	0.11	0.0134
15	UnC7:1	22.819	4566.09	0.01	0.0115	0.01	0.0001
16	benzene:6a	24.888	29036.97	0.07	0.0818	0.07	0.0063
17	3,3-DM-C5:7p	25.869	13130.04	0.03	0.0330	0.03	0.0010
18	Cy-C6:6n	26.472	952963.05	2.17	2.3962	2.18	5.4518
19	2-M-C6:7p	28.251	399068.53	0.91	1.0035	0.91	0.9561
20	1,1-DMCy-C5:7n	28.523	307864.20	0.70	0.7741	0.71	0.5690
21	2,3-DMCyC5:7p	28.979	120857.09	0.28	0.3039	0.28	0.0877
22	3M-C6:7p	29.976	473702.35	1.08	1.1911	1.09	1.3471
23	1-cis-3DM-CyC5:	31.131	402875.25	0.92	1.0130	0.92	0.9744
24	1-trans-4-DMCyC	31.627	375998.86	0.86	0.9454	0.86	0.8487
25	UnC7:2	31.920	28994.03	0.07	0.0729	0.07	0.0050
26	1-trans2DMCyC5:	32.123	775040.04	1.76	1.9488	1.78	3.6061
27	iso-octane	32.429	418853.67	0.95	0.0000	0.00	0.0000
28	n-heptane	34.427	3122311.97	7.11	7.8510	7.15	58.5246
29	M-Cy-C6	37.240	3745516.17	8.52	9.4180	8.58	84.2189
30	1,1,3-TM-Cy-C5:	37.648	287213.12	0.65	0.7222	0.66	0.4952
31	E-Cy-C5:8n	38.789	215091.87	0.49	0.5408	0.49	0.2777
32	2,5-DM-C6:8p	39.019	42180.88	0.10	0.1061	0.10	0.0107
33	2,4-DM-C6	39.264	57892.02	0.13	0.1456	0.13	0.0201
34	1I2c4-TM-Cy-C5:	39.957	343493.82	0.78	0.8637	0.79	0.7083
35	unC8:1	40.131	18692.66	0.04	0.0470	0.04	0.0021
36	1I2C3-TM-Cy-C5	40.904	372861.98	0.85	0.9376	0.85	0.8346
37		41.264	31754.57	0.07	0.0798	0.07	
38	toluene	41.683	260057.11	0.59	0.6997	0.64	0.4648
-	1,1,2-TM-Cy-C5:	42.570	0.00	0.00	0.0000	0.00	
39	2,3-DM-C6:8p	42.605	179499.26	0.41	0.4513	0.41	0.1934
40		42.685	36783.13	0.08	0.0925	0.08	

Peak #	Component Name	Time [min]	Area [μ V·s]	Norm. Area [%]	Raw Amount	Weight [%]	
-	2-M-C7:8P	43.213	0.00	0.00	0.0000	0.00	-----
41	4M-C7:8p	43.219	971957.53	2.21	2.4440	2.23	5.6713
42		43.357	124690.36	0.28	0.3135	0.29	-----
43	3,4DM-C6:8p	43.520	43052.66	0.10	0.1083	0.10	0.0111
44	unC8:2	43.781	46187.52	0.11	0.0000	0.00	0.0000
45	3M-C7:8p	43.973	352511.93	0.80	0.8864	0.81	0.7460
46	1C3-DM-Cy-C6	44.139	1671336.11	3.80	4.2025	3.83	16.7693
47	1T4-DM-Cy-C6:8n	44.315	483125.62	1.10	1.2148	1.11	1.4012
48	1,1-DM-Cy-C6:8n	44.824	89616.78	0.20	0.2253	0.21	0.0482
-	unC8:3	44.987	0.00	0.00	0.0000	0.00	-----
49	2,2,5-TM-C5:8p	45.136	110765.65	0.25	0.2785	0.25	0.0737
-	1c-3EN-Cy-C5:8n	45.333	0.00	0.00	0.0000	0.00	-----
50	1M-12-E-Cy-C5:8	45.333	100113.57	0.23	0.2517	0.23	0.0602
51		45.453	254592.62	0.58	0.6402	0.58	-----
52	2,2,4-TM-C5:8p	45.637	22957.43	0.05	0.0577	0.05	0.0032
53	112-DM-Cy-C6:8n	45.915	687656.10	1.57	1.7291	1.58	2.8388
54	n-octane	46.397	3803554.17	8.66	9.5640	8.71	86.8491
55	1,2-DM-Cy-C6	46.520	355402.01	0.81	0.8937	0.81	0.7583
56		47.112	64751.96	0.15	0.1628	0.15	-----
57		47.392	4736.42	0.01	0.0119	0.01	-----
58		47.579	37311.97	0.08	0.0938	0.09	-----
59		47.675	9236.64	0.02	0.0232	0.02	-----
60		47.909	56594.93	0.13	0.1423	0.13	-----
61		48.229	46603.46	0.11	0.1172	0.11	-----
62		48.381	170137.84	0.39	0.4278	0.39	-----
63		48.547	7654.34	0.02	0.0192	0.02	-----
64		48.717	414704.78	0.94	1.0428	0.95	-----
65	E-Cy-C6:9n	48.763	1062513.44	2.42	2.6717	2.43	6.7773
66		48.965	35362.10	0.08	0.0889	0.08	-----
67	1,1,3-TM-CyC6:9	49.163	1203529.56	2.74	3.0263	2.76	8.6956
68		49.328	77188.76	0.18	0.1941	0.18	-----
69		49.448	41386.42	0.09	0.1041	0.09	-----
70		49.533	52378.71	0.12	0.1317	0.12	-----
71		49.632	83143.56	0.19	0.2091	0.19	-----
72	Ethyl Benzene	49.963	349189.73	0.79	0.8780	0.80	0.7320
73		50.197	428785.01	0.98	1.0782	0.98	-----
74		50.421	21750.99	0.05	0.0547	0.05	-----
75	m-xylene:9a	50.552	1128610.87	2.57	2.8379	2.59	7.6467
76		50.616	506.54	0.00	0.0013	0.00	-----
-	p-xylene	50.635	0.00	0.00	0.0000	0.00	-----
77	4m-C8	51.024	239110.79	0.54	0.6012	0.55	0.3432
78	2m-C8	51.077	227203.36	0.52	0.5713	0.52	0.3099
79		51.451	49261.48	0.11	0.1239	0.11	-----
80	3m-C8	51.493	225826.55	0.51	0.5678	0.52	0.3062
81		51.621	0.00	7e-15	8.156e-15	7e-15	-----
82		51.672	169080.78	0.38	0.4252	0.39	-----
83	o-xylene	51.960	214905.12	0.49	0.5404	0.49	0.2773
84		52.104	84386.30	0.19	0.2122	0.19	-----
85	1m3-ECy-C6	52.293	116596.03	0.27	0.2932	0.27	0.0816
86	1m4-ECy-C6	52.397	345232.43	0.79	0.8681	0.79	0.7155
87		52.539	146769.59	0.33	0.3690	0.34	-----
88		52.659	81501.90	0.19	0.2049	0.19	-----
89	n-nonane	53.099	2974667.82	6.77	7.4797	6.82	53.1206
90		53.248	101382.57	0.23	0.2549	0.23	-----
91		53.488	194804.06	0.44	0.4898	0.45	-----
92		53.653	28755.94	0.07	0.0723	0.07	-----
93		53.819	32316.08	0.07	0.0813	0.07	-----
94		54.016	26252.98	0.06	0.0660	0.06	-----
95		54.125	241880.09	0.55	0.6082	0.55	-----
96		54.437	47735.40	0.11	0.1200	0.11	-----
97		54.667	227531.86	0.52	0.5721	0.52	-----
98		54.861	173909.08	0.40	0.4373	0.40	-----
99		54.981	49100.76	0.11	0.1235	0.11	-----
100		55.256	208893.47	0.48	0.5253	0.48	-----

Peak #	Component Name	Time [min]	Area [μ V-s]	Norm. Area [%]	Raw Amount	Weight [%]	
101		55.491	27071.62	0.06	0.0681	0.06	_____
102		55.608	69494.42	0.16	0.1747	0.16	_____
103		55.715	16036.86	0.04	0.0403	0.04	_____
104		55.811	51093.63	0.12	0.1285	0.12	_____
105		55.944	58874.56	0.13	0.1480	0.13	_____
106		56.080	96490.46	0.22	0.2426	0.22	_____
107		56.181	69519.44	0.16	0.1748	0.16	_____
108		56.464	60066.32	0.14	0.1510	0.14	_____
109		56.731	18004.39	0.04	0.0453	0.04	_____
110		56.808	15349.56	0.03	0.0386	0.04	_____
111		57.064	161436.15	0.37	0.4059	0.37	_____
112		57.245	15873.65	0.04	0.0399	0.04	_____
113		57.368	19524.54	0.04	0.0491	0.04	_____
114	n-decane	57.584	339956.93	0.77	0.8548	0.78	0.6938
115		57.704	9351.45	0.02	0.0235	0.02	_____
116		57.813	8122.10	0.02	0.0204	0.02	_____
117		58.216	62789.90	0.14	0.1579	0.14	_____
118		58.499	45095.42	0.10	0.1134	0.10	_____
119		58.989	17978.42	0.04	0.0452	0.04	_____
120		59.240	5145.33	0.01	0.0129	0.01	_____
121		59.424	10046.71	0.02	0.0253	0.02	_____
122		59.864	3887.21	0.01	0.0098	0.01	_____
123		60.040	6647.83	0.02	0.0167	0.02	_____
124		60.403	4110.38	0.01	0.0103	0.01	_____
125	undecane	60.952	29209.73	0.07	0.0734	0.07	0.0051
126	n-dodecane	63.752	3948.67	0.01	0.0099	0.01	0.0001
			43938842.84	100.00	109.7445	100.00	433.4905

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางจันทิมา ชั่งสิริพร	
วัน เดือน ปี เกิด	13 พฤศจิกายน 2514	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2532