



## รายงานการวิจัย

การวิจัยพัฒนาการผลิตตัวทำละลายจากแฉกน้ำมันฝาง  
Research and Development of Solvent Oil Production from  
Fang Naphtha

งบประมาณแผ่นดิน 2542

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทบวงมหาวิทยาลัย

ค.ม.อ.

เลขหมู่	TP247.5 562 25449 ค.1
Bib Key	218947

คณะผู้วิจัย

นายชัชกริต ทองอุไร

นายสุธรรม สุขมณี

นางสุภาวรรณ ฐิระวณิชย์กุล

หัวหน้าโครงการ

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการผลิตตัวทำละลายจากเนฟทาของโรงกลั่นฝาง เพื่อหาความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมต่อไป จากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเนฟทาและการใช้งานของตัวทำละลายในประเทศไทย พบว่าเนฟทาจากโรงกลั่นฝางมีความเหมาะสมที่จะผลิตเป็นตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ ตัวทำละลายยาง (rubber solvent) และตัวทำละลายสารเคลือบและสี (vanish maker and paint: VM&P)

เนฟทาของโรงกลั่นฝางซึ่งมีช่วงอุณหภูมิการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D 86 ระหว่าง 44-175.5 องศาเซลเซียส เมื่อกั่นแยกด้วยอุปกรณ์การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point) ตามมาตรฐาน ASTM D 2892 จะผลิตตัวทำละลายยางได้ร้อยละ 32-45 และตัวทำละลายสารเคลือบและสีได้ร้อยละ 24-37 ซึ่งผลได้จะขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิการกลั่นของเนฟทาเริ่มต้น และสถานะในการกลั่น โดยตัวทำละลายที่ผลิตได้มีสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนด (specification) ของอุตสาหกรรมในประเทศไทย

## Abstract

Solvent oil production from Fang naphtha was investigated for a feasibility study for commercial production. Based on the physical properties of Fang naphtha and the uses of solvent in Thailand, two possible solvent products, namely rubber solvent and vanish maker and paint (VM&P), were studied.

Fang naphtha, boiling point range of 44 to 175.5 °C according to ASTM D 86, was used as feedstock in this experiment. True boiling point distillation column (TBP), according to ASTM D 2892, was used to separate the fraction solvent. The yield of solvent products, which was 32-45% for rubber solvent and 24-37% for VM&P, depends on the boiling point range of naphtha feeds and distillation conditions. The properties of both solvents were evaluated according to the specification of commercial solvent in Thailand.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
รายการตาราง	(3)
รายการรูป	(4)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ตรวจสอบเอกสาร	2
1.1.1 การกลั่น	2
1.1.2 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง	8
1.1.3 การกลั่น ASTM D 86	10
1.1.4 ความคมชัดในการแยก	12
1.2 แนฟทา	18
บทที่ 2 วิธีวิจัย	20
2.1 วัสดุ	20
2.2 อุปกรณ์	21
2.3 วิธีดำเนินการ	21
บทที่ 3 ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย	23
3.1 ผลผลิตจากการกลั่นแนฟทา	23
3.1.1 ชนิดของแนฟทา	24
3.1.2 อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น	26
3.1.3 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น	29
3.1.4 สมบัติของผลผลิตการกลั่น	29
3.2 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง	31
3.2.1 การเปรียบเทียบผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D 86	31
3.2.2 การกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นตาม ASTM D 86	33
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	34

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก. การกลั่นแบบจุดเดือดจริง	37
ก.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง	37
ก.2 วิธีการกลั่นแยกโดยเครื่องกลั่นจุดเดือดจริง	42
ภาคผนวก ข. เครื่องทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ปิโตรเลียม ASTM D 86	44
ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ปิโตรเลียม	44
ข.2 วิธีทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ ปิโตรเลียม	46
ภาคผนวก ค. การตรวจสอบสมบัติอื่น ๆ ตามค่ากำหนดของตัวทำ ละลาย	50
ภาคผนวก ง. การหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา	51

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา1	26
2	ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา2	27
3	เวลาที่ใช้ในการกลั่นแนฟทา2 ด้วยเครื่องกลั่น TBP	29
4	สมบัติของตัวทำละลายยาง	30
5	สมบัติของตัวทำละลาย VM & P	30
ข.1	คุณสมบัติของกลุ่มสารตัวอย่าง	46
ข.2	ข้อมูลควบคุมการทดสอบ	47
ค.1	ค่ากำหนดของสมบัติของผลิตภัณฑ์	50

## รายการรูป

รูปที่		หน้า
1	กราฟจุดเดือดจริงสำหรับสารผสม 2 ส่วนประกอบ	8
2	กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบ 7 ตัว	9
3	กราฟ TBP สำหรับสารผสมส่วนประกอบซับซ้อน	9
4	การเปรียบเทียบ TBP และ ASTM ของสารผสม 3 ส่วนประกอบ	10
5	การเปรียบเทียบ TBP และ ASTM ของสารผสมส่วนประกอบซับซ้อน	10
6	กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบ	11
7	ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟการกลั่นแบบ TBP และ ASTM	12
8	กราฟแสดงผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและการหาจุดเดือดจริงเฉลี่ย	12
9	แผนภาพแสดงสารป้อนและผลผลิตที่มีค่าช่องว่าง	14
10	กราฟการกลั่นสำหรับผลผลิตส่วนบนและส่วนล่างกับค่าช่องว่าง	14
11	แผนภาพแสดงสารป้อนและผลผลิตกับค่าซ้อนเหลื่อม	15
12	กราฟการกลั่นของผลผลิตส่วนบนและส่วนล่างกับค่าซ้อนเหลื่อม	16
13	ตัวอย่างการเกิดค่าช่องว่างของจุดตัดการกลั่น	17
14	กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2	24
15	กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2 หลังจากการปรับช่วงอุณหภูมิจุดเดือด	25
16	เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D 86ของผลผลิต	28
17	เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D 86ของแนฟทา	32
ก.1	เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง	37
ข.1	ขวดกลั่น	44
ข.2	ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์ในขวดกลั่น	48
ง.1	กราฟการหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา	51

## บทที่ 1

### บทนำ

โรงกลั่นฝางจังหวัดเชียงใหม่ เป็นโรงกลั่นที่ทำการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ คือ แนฟทา (naphtha), น้ำมันก๊าด (kerosene), น้ำมันดีเซล (diesel oil) และผลิตภัณฑ์จากส่วนกลั่นหนักอื่นๆ เช่นน้ำมันเตา (fuel oil) โดยผลิตภัณฑ์ที่ใ้บางชนิดสามารถส่งขายยังท้องตลาดและนำไปใช้ระบบสาธารณูปการได้โดยตรง เช่น น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีราคาที่ย่อมเยาและทำผลกำไรให้กับโรงกลั่นได้เป็นอย่างมาก แต่ผลิตภัณฑ์บางชนิดจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถนำไปขายหรือใช้งานในระบบสาธารณูปการได้โดยตรง เช่นแนฟทา จะต้องนำผลิตภัณฑ์นี้ไปผ่านขั้นตอนกระบวนการอีกหนึ่งหรือสองขั้นจึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการขายผลิตภัณฑ์ในรูปของแนฟทาจึงมีราคาที่ย่อมเยาและให้ผลกำไรน้อย

ในปัจจุบันแนฟทาสามารถนำไปใช้ในการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น ตัวทำละลายสำหรับบำรุงรักษาเครื่องยนต์จรวด ตัวทำละลายยาง ตัวทำละลายสารเคลือบและสี ผลิตเป็นเอทิลีน (ethylene) โดยการป้อนแนฟทาควบคู่กับมีเทน (methane) บนตัวเร่งปฏิกิริยา และผลิตเป็นแก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนสูงโดยการนำแนฟทาไปผ่านกระบวนการไอโซเมอไรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (zeolite) เป็นต้น ซึ่งผลผลิตที่ได้จากแนฟทาเหล่านี้จะมีราคาที่สูงขึ้น

โรงกลั่นน้ำมันฝางจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาความรู้ด้านกระบวนการและการออกแบบสำหรับการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากแนฟทา โดยการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตและศึกษาถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตได้ให้มีผลได้จากการผลิตสูงสุด รวมทั้งจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศ จากการพิจารณาคุณสมบัติเบื้องต้นของแนฟทาจากโรงกลั่นฝาง เช่น ช่วงอุณหภูมิการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 พบว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายยางและตัวทำละลายสารเคลือบและสีอยู่ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทา และช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ทั้งสองไม่แตกต่างจากช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของแนฟทามากนัก จึงน่าจะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูงหรือมีผลผลิตพลอยได้จากการกลั่นน้อย รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ต่อเนื่องกัน จึงเป็นการง่ายในการดำเนินการกลั่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองออกมา และผลผลิตตัวทำละลายทั้งสองชนิดนี้มีการใช้กันในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศ เช่น อุตสาหกรรมผลิต



ยางรถยนต์ กาว ทินเนอร์ในสี สารเคลือบ และใช้เป็นสารทำความสะอาดในอุตสาหกรรมทอผ้า เป็นต้น

ในขณะที่เดียวกันภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีความต้องการที่จะพัฒนาองค์ความรู้ด้านปิโตรเลียมและกระบวนการปิโตรเคมีเพื่อรองรับการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาอุตสาหกรรมในด้านนี้สำหรับภาคใต้ ดังนั้นการวิจัยในหัวข้อนี้จึงมีประโยชน์ต่อการเพิ่มองค์ความรู้ทางด้านกระบวนการปิโตรเลียมการผลิตตัวทำละลาย ตลอดจนเพิ่มทักษะการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ และอาจเป็นโครงการนำร่องในการผลิตตัวทำละลายของโรงกลั่นน้ำมันผางต่อไป

## 1.1 ตรวจเอกสาร

### 1.1.1. การกลั่น

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์ การแยกด้วยวิธีการนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายตามต้องการ กระบวนการแยกสารผสมของเหลวไปเป็นองค์ประกอบแต่ละส่วนจะเป็นกระบวนการหลักอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอขึ้น องค์ประกอบของไอที่ได้จะแตกต่างจากของเหลว ความแตกต่างขององค์ประกอบในเฟสทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นที่สมดุล (equilibrium) ตามหลักเกณฑ์ของกระบวนการกลั่น จากเหตุนี้จึงต้องใช้ความรู้ในเรื่องสมดุล ไอ-ของเหลวในการวิเคราะห์ถึงปัญหาของการกลั่น

ความต้องการที่สำคัญของหน่วยการกลั่นคือการจัดให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างกระแสไอและของเหลวเพื่อให้เข้าใกล้สภาวะสมดุลมากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติจริง ๆ นั้นจะไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะสมดุลได้อย่างสมบูรณ์ กระบวนการกลั่นจะมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กในห้องทดลองหรือในโรงงานจำลองซึ่งมีปริมาณสารป้อนน้อย จนกระทั่งถึงการกลั่นขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่มีสารป้อนในปริมาณมาก การกลั่นแยกที่ดีจะต้องดำเนินกระบวนการแบบต่อเนื่อง เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และการแยกจะต้องมีความคมชัด (sharpness) เท่าที่จำเป็น ค่าใช้จ่ายในแง่ของพลังงานจะต้องต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

### ก. คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการกลั่น

เพื่อทำความเข้าใจในเรื่องการกลั่น จำเป็นต้องมีความรู้ที่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของสารที่จะนำมากลั่น เช่น ความดันไอ (vapour pressure) สมดุลไอ-ของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ และสภาพระเหย (volatility)

ความดันไอ ในถังปัดต่าง ๆ จะมีไออยู่เหนือของเหลวเสมอ ไอนี้ประกอบไปด้วยโมเลกุลของของเหลวซึ่งหนีหลุดรอดออกมาจากของเหลว โมเลกุลจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและชนกับผนังของถังทำให้มีความดันเกิดขึ้นที่ผนัง ซึ่งความดันนี้ก็คือความดันไอนั่นเอง ความดันไอนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ชนิดของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบในของเหลว จำนวนของโมเลกุลในเฟสไอ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในเฟสของเหลว อุณหภูมิของเหลว

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ ถ้าให้ความร้อนแก่ของเหลวที่อยู่ในถังเก็บ อุณหภูมิของของเหลวจะเพิ่มขึ้น ของเหลวก็จะระเหยมากขึ้นทำให้ความดันไอเพิ่มขึ้นด้วย จะเป็นเช่นนี้ไปจนเกิดเป็นสมดุลใหม่ ดังนั้นจะมีความดันไอ้อิ่มตัวเกิดขึ้นสำหรับแต่ละสถานะอุณหภูมิ

สมดุลไอ-ของเหลว ไอซึ่งสมดุลกับของเหลวที่ทราบองค์ประกอบ จะสามารถหาองค์ประกอบของไอได้โดยการทดลองใช้หอกลั่นสมดุล ของเหลวที่มีส่วนประกอบของสารระเหยง่ายอยู่มากจะทำให้เกิดไอบาง

สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวและไอ หมายถึง ที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจำนวนโมเลกุลที่เกิดการระเหยจากเฟสของเหลวเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เกิดการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวใหม่ อุณหภูมิที่จุดนี้จะคงที่ และจะเรียกไอที่สถานะนี้ว่าไอ้อิ่มตัว เมื่อเกิดสมดุลขึ้นความดันที่วัดได้จะเรียกว่าความดันไอ้อิ่มตัว (saturated vapour pressure)

#### สภาพระเหย (volatility)

จำนวนโมเลกุลที่ระเหยจากพื้นที่ผิวและอุณหภูมิกงที่จะขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างของโมเลกุล สำหรับโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนโซ่ยาวจะมีสภาพระเหยต่ำกว่าคาร์บอนโซ่สั้น ตัวอย่างเช่นเพนเทน ( $C_5H_{12}$ ) จะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าอีเทน ( $C_2H_6$ )

ของเหลวซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลโซ่ตรง (straight chain) จะมีสภาพระเหยน้อยกว่าของเหลวที่มีส่วนประกอบเป็นโมเลกุลโซ่กิ่ง (side chain) ดังนั้นจุดเดือดของโมเลกุลโซ่ตรงจึงสูงกว่า ตัวอย่างเช่นความดันไอของเพนเทน ( $C_5H_{12}$ ) จะต่ำกว่าไคเมธิลโพรเพน ( $C_5H_{12}$ ) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

## ข. การกลั่นแบบแบทช์ (batch distillation)

โดยปกติแล้วการดำเนินการกลั่นแบบต่อเนื่อง (continuous distillation) จะใช้เมื่อสารที่ต้องการกลั่นมีปริมาณมาก ๆ ด้วยอัตราการป้อนที่สม่ำเสมอ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการกลั่นแบบต่อเนื่องจะต่ำกว่าการกลั่นแบบแบทช์ สำหรับวิธีการกลั่นแบบแบทช์นั้น ได้มีใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องทดลองและในหน่วยการผลิตขนาดเล็ก

การกลั่นลำดับส่วนด้วยวิธีการกลั่นแบบแบทช์ ทำได้โดยป้อนสารที่ต้องการแยกด้วยปริมาณที่แน่นอนเข้าหม้อกลั่นเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มต้น แล้วให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นจนเกิดเป็นไอไหลขึ้นไปยังคอลัมน์ด้านบน ซึ่งจะดำเนินการเช่นนี้ไปจนกระทั่งได้ผลผลิตจากการกลั่นตามที่ต้องการ แล้วทำการป้อนสารใหม่เมื่อทำการกลั่นเสร็จในแต่ละครั้ง องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอและสารที่เหลืออยู่ในหม้อกลั่น จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการดำเนินการ ซึ่งจะมีส่วนแยกออกมาเป็นผลผลิตหลายส่วน สำหรับส่วนแยกบางส่วนจะเป็นผลผลิตที่ต้องการ ในขณะที่บางส่วนจะสามารถนำกลับไปกลั่นแยกใหม่ในหม้อกลั่นถัดไป

เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการดำเนินการกลั่นแบบแบทช์และแบบต่อเนื่องจะคล้ายกัน แต่สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแตกต่างกัน โดยที่การกลั่นแบบต่อเนื่องจะให้ส่วนประกอบและอัตราการไหลไม่ขึ้นอยู่กับเวลาของการกลั่นหรือเรียกว่าการกลั่นสถานะคงตัว

ในการกลั่นแบบแบทช์องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอจะขึ้นอยู่กับลักษณะและโครงสร้างของคอลัมน์ จำนวนเพลทในคอลัมน์ และอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่ใช้ ในการดำเนินการกลั่นจะให้ผลผลิตยอดหอที่มีสารระเหยง่ายอยู่มาก และของเหลวซึ่งเหลือค้างอยู่ส่วนล่าง (residue) ของคอลัมน์จะมีองค์ประกอบของสารระเหยง่ายอยู่น้อย

ถ้าสารป้อนของการกลั่นแบบแบทช์เป็นสารผสมที่มีแฟร็กชันเชิงโมลของสารระเหยง่ายอยู่ค่าหนึ่ง ทำการกลั่นตามอัตราส่วนรีฟลักซ์ที่กำหนด ในช่วงแรกจะได้ผลผลิตยอดหอซึ่งเป็นสารระเหยง่ายมีองค์ประกอบคงที่ หลังจากทำการกลั่นไปช่วงระยะเวลาหนึ่งองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอเริ่มที่จะเปลี่ยนไปเนื่องจากองค์ประกอบของสารป้อนในหม้อกลั่นเริ่มเปลี่ยนไป ถ้าเราเพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์เป็นค่าใหม่ก็จะมีความเป็นไปได้ที่จะได้องค์ประกอบของผลผลิตยอดหอออกมาคงที่เหมือนกับในตอนแรกถึงแม้ว่าสารที่เหลืออยู่ในส่วนล่างของคอลัมน์จะมีองค์ประกอบที่เปลี่ยนไป ดังนั้นการกลั่นแบบแบทช์ที่ทำให้สมบัติของผลผลิตยอดหอคงที่ได้ทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนรีฟลักซ์อย่างสม่ำเสมอ

วิธีการกลับแบบอัตราส่วนรีฟลักซ์คงที่ จะยอมให้อัตราประกอบของผลผลิตขดห่อเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการผลผลิตขดห่อซึ่งมีสารระเหยง่ายมากกว่ามีองค์ประกอบเป็น 0.9 ทำได้โดยการจัดให้อัตราประกอบของผลผลิตในตอนเริ่มต้นเป็น 0.95 และยอมให้การกลับดำเนินไปจนมีองค์ประกอบเปลี่ยนไปเป็น 0.85 จะทำให้ได้ผลผลิตทั้งหมดเป็นไปตามองค์ประกอบที่ต้องการ และให้ความบริสุทธิ์ที่ถูกต้องตามที่ได้เลือกไว้

ข้อดีอย่างหนึ่งของการกลับแบบแบทช์คือจะได้ผลผลิตออกมามากกว่าหนึ่งชนิด เช่น ทำการกลับส่วนผสมของแอลกอฮอล์และน้ำ ในตอนเริ่มต้นจะได้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและสารที่เหลือในคอลัมน์จะมีแอลกอฮอล์อยู่น้อยลง ส่วนผลผลิตที่สองจะมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ลดลง ในที่สุดปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลือในคอลัมน์จะลดลงจนได้ค่าน้อยที่สุด วิธีการดำเนินการเช่นนี้จะมีประโยชน์สำหรับการกลับสารผสมอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบหลายตัว โดยที่แต่ละส่วนประกอบจะมีปริมาณน้อย

Diwekar et al., 1991 ได้ทำการออกแบบคอลัมน์การกลับแบบแบทช์สำหรับการแยกสารหลายส่วนประกอบ ซึ่งการออกแบบการกลับแบบแบทช์นี้เป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากองค์ประกอบของสารเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การออกแบบที่มีใช้กันอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ PROCESS และ BATCHFRAC ซึ่งเป็นวิธีที่ยากเกินไปเพราะว่าต้องใช้เวลาในการคำนวณและต้องการหน่วยความจำมาก สำหรับการคำนวณการออกแบบในที่นี้จะใช้วิธีลัด (short cut method) โดยมีการดำเนินการทั้งแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงรีฟลักซ์และรีฟลักซ์คงที่ จากการเปรียบเทียบการออกแบบด้วยวิธีลัดและวิธีอื่นๆ พบว่าได้ผลที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีลัดจึงน่าจะสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในขั้นต้นของการออกแบบและการวิเคราะห์คอลัมน์แบบแบทช์โดยใช้เวลาในการคำนวณน้อย

### ก. การกลับสารผสมพหุส่วนประกอบ

การกลับแยกสารผสมที่มีส่วนประกอบอยู่สองชนิดภายใต้สภาวะความดันคงที่ ถ้าทราบความเข้มข้นของแต่ละส่วนประกอบในเฟสของเหลวและทำให้ส่วนประกอบของของเหลวและไอคงที่อยู่บนพื้นฐานของกราฟสมดุลเดียว ก็จะสามารถพัฒนาวิธีการแมคแคบ-ทิล (McCabe-Thiele) ในการหาจำนวนเพลททางทฤษฎีได้อย่างรวดเร็ว โดยเกิดการแยกตามความต้องการได้ สำหรับระบบสามองค์ประกอบนั้นสภาวะสมดุลที่เกิดขึ้นจะซับซ้อนมาก ที่ความดันคงที่และกำหนดให้เป็นระบบทางอุดมคติ รวมทั้งต้องทราบแฟร็กชันเชิงโมลของส่วนประกอบทั้งสามในเฟสของเหลว จึงจะสามารถหาองค์ประกอบของสมดุลไอได้ ดังนั้นแฟร็ก

ชั้นเชิงโมลของไอ  $y_A$  จะไม่ขึ้นอยู่กับเฉพาะแต่  $x_A$  ในของเหลว แต่ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของส่วนประกอบอีกสองตัว

สมการความสัมพันธ์แบบง่ายสำหรับสารผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบหลายชนิดในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม คือ  $y_A = Kx_A$  เมื่อค่า  $K$  เป็นค่าคงตัวสมดุลที่วัดสำหรับไฮโดรคาร์บอนในช่วงกว้าง ที่ความดันต่าง ๆ

Neri et al., 1998 ทำการศึกษาการออกแบบการกลั่นสำหรับระบบที่มีส่วนประกอบหลายชนิดโดยการใช้ทฤษฎีสมดุล เครื่องมือในการออกแบบจะอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์และอาศัยสมมติฐานอ้างอิงดังนี้ 1) ให้คอลัมน์มีสเตจอยู่จำนวนมากแทนการใช้สมการสเตจ-ต่อ-สเตจ (stage by stage) เพื่อหาจำนวนสเตจสมดุล 2) มีการไหลล้นเชิงโมล (molar overflow) คงตัว 3) สภาพระเหยสัมพันธ์คงที่ และ 4) สถานะสมดุลตลอดคอลัมน์ การแก้ปัญหาของสมการจะอยู่ในกรอบของทฤษฎีสมดุล ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากกระบวนการโครมาโตกราฟี จากเงื่อนไขทั้งหมดนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลที่แน่นอนของคอลัมน์ที่อยู่ในสถานะคงตัว (steady state) ว่าให้ความบริสุทธิ์สูง ผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงบริเวณการแยกที่แตกต่างกันในคอลัมน์ โดยจะแสดงให้อยู่ในรูปของแฟร็กชันอัตราการไหลสำหรับส่วนเรกติไฟอิงและสตรipping รวมทั้งแสดงถึงสถานะการดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับแต่ละบริเวณการแยกที่แตกต่างกัน

ในระบบที่มีส่วนประกอบสองตัว ถ้าทราบองค์ประกอบ 1 ตัวในสารป้อน ( $x_p$ ) และผลผลิตยอดหอ ( $x_d$ ) จะสามารถหาองค์ประกอบของส่วนล่าง ( $x_w$ ) ที่ต้องการได้ และจากสมดุลมวลสารจะหาจำนวนของผลผลิตยอดหอ  $D$  และส่วนล่าง  $W$  ได้ การเลือกองค์ประกอบอย่างอิสระจะไม่สามารถนำมาใช้กับสารผสมที่มีส่วนประกอบสามตัวหรือมากกว่าได้ สำหรับกรณีทั่วไปในแต่ละองค์ประกอบของสารป้อน จะกำหนดธรรมชาติของสารป้อนและความดันมาให้ จะมีตัวแปร 4 ตัวเท่านั้นที่จะถูกเลือกใช้

ถ้าอัตราส่วนรีฟลักซ์คงที่เป็น  $R$  จำนวนเพลทที่ตำแหน่งเหนือและล่างของเพลทป้อนถูกเลือกเพื่อให้การใช้งานของเพลทที่ดีที่สุด จะได้ว่ามีเพียงตัวแปร 2 ตัวที่ยังเหลืออยู่ ถ้าองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอและส่วนล่างตัวใดตัวหนึ่งถูกกำหนดให้คงที่ ทำให้มีระดับขั้นของการลงผิดลงถูกในการคำนวณหาจำนวนเพลทเพื่อให้ได้การแยกตามที่ต้องการน้อยลงพบว่าถ้ากำหนดค่าองค์ประกอบของส่วนล่างและนำมาหาองค์ประกอบของผลผลิตยอดหอแล้วไม่ได้ผลออกมาตามความต้องการที่อัตราส่วนรีฟลักซ์ที่เลือกไว้ จะต้องทำการปรับองค์ประกอบของส่วนล่างเสียใหม่ ค่าที่ถูกต้องในการคำนวณด้วยวิธีนี้ไม่ใช่สิ่งสำคัญ เนื่องจากข้อมูลสมดุลและประสิทธิภาพของเพลทมีความถูกต้องจำกัด จากปัญหานี้จะทำให้ง่ายขึ้นได้ถ้า

ความซับซ้อนในการแยกระหว่างส่วนประกอบมีสูง ซึ่งส่วนประกอบที่ระเหยง่ายทั้งหมดจะปรากฏในส่วนบน และส่วนประกอบที่ระเหยได้น้อยทั้งหมดจะปรากฏผลผลิตก้นหอ

### ส่วนประกอบส่วนคีย์หนักและเบา

การแยกสารผสมที่มีส่วนประกอบหลายชนิดจะต้องการให้การแยกเกิดขึ้นในระหว่างส่วนประกอบสองตัว โดยส่วนประกอบแต่ละตัวนี้จะเรียกว่าเป็นส่วนประกอบคีย์ (key components) เราจะทำให้ความสนใจต่อส่วนประกอบคีย์เหล่านี้ จึงเป็นการง่ายที่จะทำการแยกสารผสมที่ซับซ้อน ตัวอย่างเช่น สารผสมมีส่วนประกอบอยู่ 4 ตัว คือ A-B-C-D โดยที่ A เป็นสารที่ระเหยง่ายมากที่สุด และ D เป็นสารที่ระเหยได้ยากที่สุด โดยจะทำการแยกสารเหล่านี้ออกจากกันเป็นสองส่วน ดังแสดงได้ตามตารางด้านล่างนี้

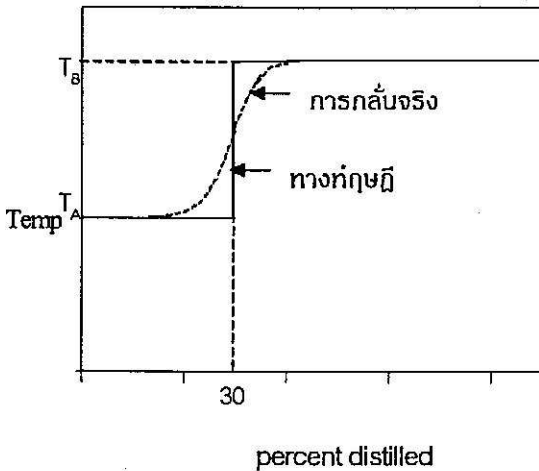
สารป้อน	ผลผลิตยอดหอ	ผลผลิตก้นหอ
A	A	
B	B	B
C	C	C
D		D

จะได้ว่า B เป็นส่วนประกอบที่เบาที่สุดที่ปรากฏในผลผลิตก้นหอ จะเรียกว่าส่วนประกอบคีย์เบา และ C เป็นส่วนประกอบที่หนักที่สุดที่ปรากฏในผลผลิตยอดหอ ซึ่งจะเรียกได้ว่าเป็นส่วนประกอบคีย์หนัก จุดประสงค์หลักของการแยกนี้คือต้องการให้ B ปนเปื้อนในผลผลิตก้นหอน้อยที่สุด และต้องการให้ C ปนเปื้อนในผลผลิตยอดหอน้อยที่สุดเช่นกัน

### 1.1.2. การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling distillation , TBP)

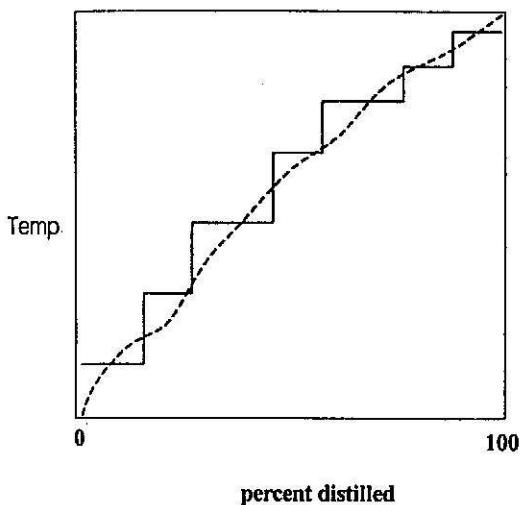
การกลั่นแบบซับซ้อน (complex distillation) เป็นการกลั่นแยกสารที่มีส่วนประกอบอยู่หลายชนิดเพื่อให้ได้ผลผลิตออกมามีสมบัติตามความต้องการ ซึ่งการแยกส่วนประกอบนี้ จะไม่สามารถทำให้เกิดเป็นสารบริสุทธิ์แต่ละตัวได้ ตัวอย่างของการกลั่นแบบซับซ้อนได้แก่ การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมอันเป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียมนี้มีส่วนประกอบทางเคมีกว่าร้อยชนิด การกลั่นที่จัดว่าเป็นระบบการกลั่นแบบซับซ้อนอีกวิธีการหนึ่งคือ การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (TBP)

การกลั่น โดยวิธีจุดเดือดจริงเป็นระบบการกลั่นที่มีความสามารถในการแยกสูง ส่วนประกอบแต่ละตัวที่อยู่ในสารผสมจะค่อย ๆ แยกตัวออกมาตามจุดเดือดของมัน ปริมาณที่กลั่นได้ ณ ช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะเป็นผลรวมของปริมาณส่วนประกอบที่มีจุดเดือด ณ ช่วงอุณหภูมินั้น

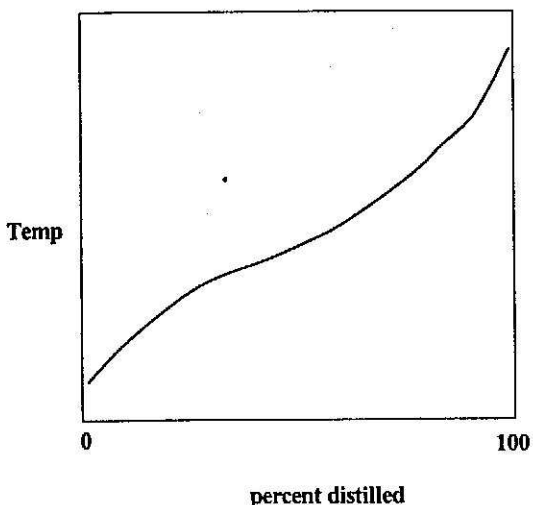


รูป 1 กราฟจุดเดือดจริงสำหรับสารผสม 2 ส่วนประกอบ

การหาลักษณะเฉพาะด้านคุณสมบัติการระเหยของสารผสมปิโตรเลียม ทำได้โดยการเขียนกราฟของการกลั่นในรูปร้อยละผลได้ของการกลั่น (% yield) กับอุณหภูมิการกลั่น จากรูป 1 แสดงกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงแบบแบบทฤษฎีของสารผสมที่มีสาร A 30% และสาร B 70 % โดยที่สาร A มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ  $t_a$  และสาร B มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ  $t_b$  ที่ความดันบรรยากาศ จากกราฟแสดงถึงผลของการกลั่นในทางทฤษฎีและการกลั่นจริง ในทางทฤษฎีจะได้กราฟของการกลั่นมีลักษณะเป็นเส้นระดับขั้น ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะของการกลั่นแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ส่วนผลที่ได้จากการทดลองกลั่นจริงซึ่งเป็นการกลั่นแบบจุดเดือดจริงจะได้เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเรียบ แสดงถึงลักษณะของการกลั่นแยกแบบไม่สมบูรณ์



รูป 2 กราฟ TBP สำหรับ สารผสมส่วนประกอบ 7 ตัว



รูป 3 กราฟ TBP สำหรับ สารผสมส่วนประกอบซับซ้อน

ในรูป 1.2 แสดงเส้นกราฟสำหรับสารผสมที่มีองค์ประกอบ 7 ตัว จะได้ลักษณะของเส้นกราฟเช่นเดียวกันรูป 1 นั่นคือเส้นกราฟระดับขั้นจะแสดงถึงการกลั่นแยกส่วนประกอบออกจากกันอย่างสมบูรณ์ในทางทฤษฎี ส่วนเส้นโค้งเรียบจะแสดงถึงการแยกที่เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง สำหรับเส้นกราฟจุดเดือดจริงของสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนแสดงได้ตามรูป 3 ส่วนประกอบแต่ละตัวที่นำมากลั่นแยกมีร้อยละโดยปริมาตรอยู่น้อย

กราฟจุดเดือดจริงจะอธิบายถึงจุดเดือด ร้อยละผลได้โดยปริมาตร และลักษณะเฉพาะของส่วนที่กลั่นได้ เส้นกราฟจุดเดือดจริงจะแสดงถึงจุดเดือดของแต่ละส่วนประกอบที่ความดันรวม (total pressure) ดังนั้นแต่ละจุดบนเส้นกราฟนี้จะสามารถนำไปหาความดันไอตามอุณหภูมิจุดเดือดได้ สารที่มีคุณสมบัติตรงกับแต่ละจุดในกราฟจุดเดือดจริงนี้เราเรียกว่าสารประกอบเทียบ (pseudocompound) ด้วยวิธีการเช่นนี้จะสามารถหาชนิดของสารประกอบแทนในแต่ละจุดบนเส้นกราฟการกลั่นได้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เป็นสารผสมไฮโดรคาร์บอนจะสามารถกำหนดได้ว่าเป็นพาราฟินิก อะโรแมติก หรือแนฟทานิก ตัวอย่างของแผนภูมิความดันไอที่ใช้ ได้แก่ แผนภูมิกอกซ์ (Cox-chart) ซึ่งจะสามารถแปลงค่าอุณหภูมิเหล่านี้ไปเป็นอุณหภูมิที่ความดันต่างออกไปได้ และจะได้เส้นกราฟของอุณหภูมิใหม่ที่เหมาะสมตามความดันที่ต้องการ

ในการหาอุณหภูมิจุดตัดและประสิทธิภาพของการกลั่น (cut point and efficiency, CPE) เพื่อประเมินการแยกที่เกิดขึ้นจากการกลั่นนั้น Bellet, 1997 ได้ออกแบบซอฟต์แวร์ (software) ที่เรียกว่า CPE ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณตามมาตรฐาน ASTM D2892 หรือการกลั่น

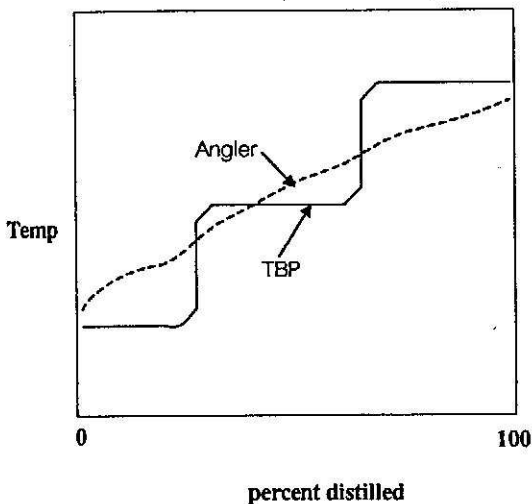


แบบจุดเดือดจริง โดยจะสามารถใช้หาการปนเปื้อนของส่วนกลั่นที่มีจุดเดือดติดกัน แล้วจะนำไปสู่การหาประสิทธิภาพของการแยกได้

การกลั่นแบบจุดเดือดจริงยังใช้ประโยชน์สำหรับการคำนวณหาสมมูลไอ-ของเหลวของสารผสม ทำโดย Haynes and Matthews, 1991. ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ของสมบัติวิกฤต (critical properties) อะเซ็นตริกแฟกเตอร์ (acentric factor) และน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) กับจุดเดือดของสาร

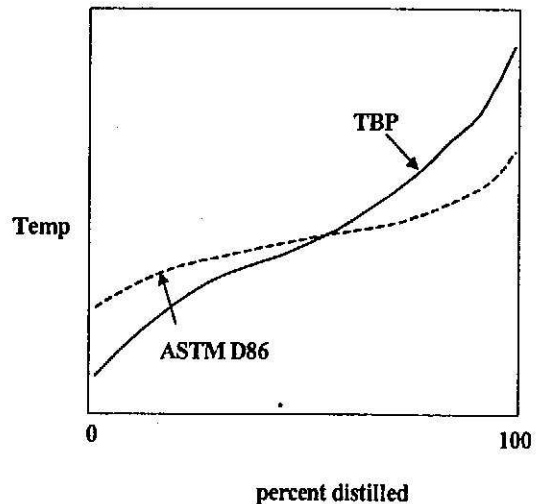
Quiroga and Campanella, 1996. ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการหาลักษณะเฉพาะของสารผสมซับซ้อนที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ชนิด คือ พาราฟิน แนพทีน และ อะโรแมติก ผลปรากฏว่าวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดและสามารถหาลักษณะเฉพาะของสารผสมได้โดยตรง คือการใช้กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

### 1.1.3. การกลั่น ASTM D 86



รูป 4 การเปรียบเทียบ TBP

และ ASTM ของสารผสม 3 ส่วนประกอบ

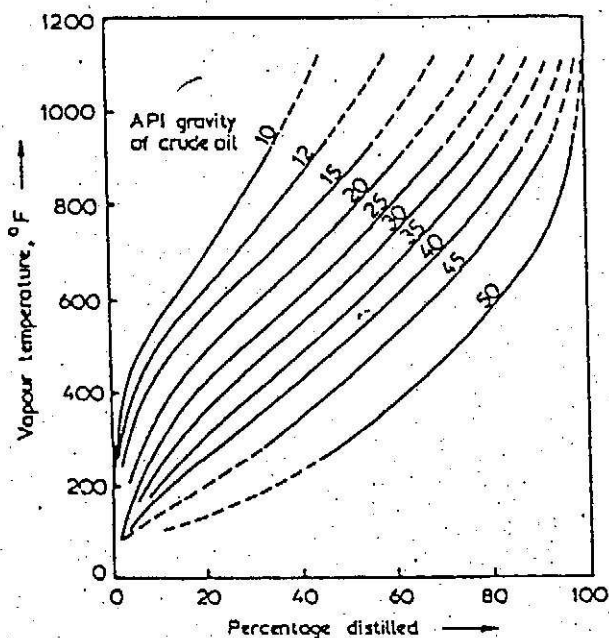


รูป 5 การเปรียบเทียบ TBP และ

ASTM ของสารผสมส่วนประกอบซับซ้อน

สมบัติการระเหยของสารผสมปิโตรเลียมและเคมีอินทรีย์ที่ซับซ้อนบางชนิดสามารถหาได้โดยใช้การกลั่นแบบง่ายซึ่งเป็นการกลั่นแบบแบทช์ การกลั่นแบบง่ายนี้จะไม่มีการถ่ายโอนมวลสารและความร้อนอันเกิดจากการสัมผัสกันระหว่างไอและของเหลว เนื่องจากไม่มีเพลทหรือสเทจที่ทำให้เกิดสมดุลและไม่มีรีฟลักซ์ซึ่งเป็นตัวช่วยให้เกิดการแยก การกลั่นจะเกิดขึ้นในขวดกลั่นที่มีการให้ความร้อนจนเกิดเป็นไอ ส่วนของไอนี้จะผ่านการควบแน่นเป็นผลผลิตโดยไม่มีการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและไอหรือไม่เกิดการถ่ายโอนมวลขึ้นนั่นเอง ดังนั้นการกลั่นแบบนี้จึงทำให้ไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวในน้ำมันจะไม่เกิดการกลั่นแยกออก

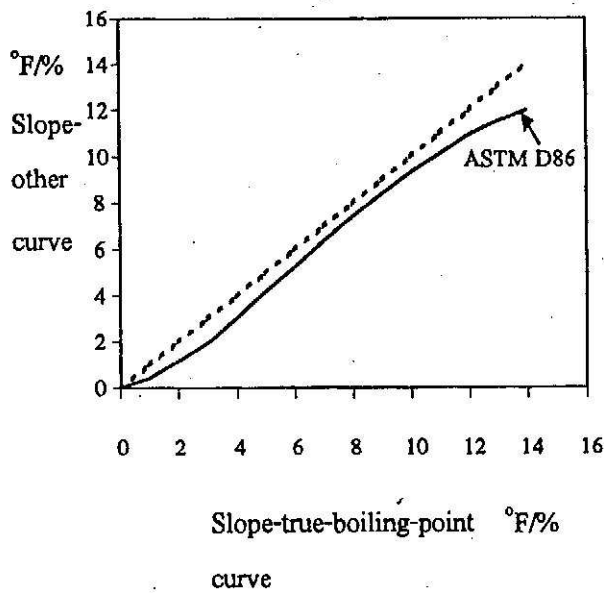
ตามจุดเดือดของมันแต่จะเดือดแยกออกมาเป็นสารผสม การกลั่นที่ได้รับการออกแบบในลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่าเป็นการกลั่นแบบแองเกอร์ ส่วนใหญ่แล้วคุณสมบัติด้านการระเหยของผลผลิตปิโตรเลียมมักจะกำหนดตามมาตรฐานการกลั่น ASTM D-86 ซึ่งมีหลักการเดียวกับการกลั่นแบบแองเกอร์ ทำได้โดยใช้สารตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ทำการกลั่นแบบแบบทซ์ภายใต้สภาวะที่ได้กำหนดไว้



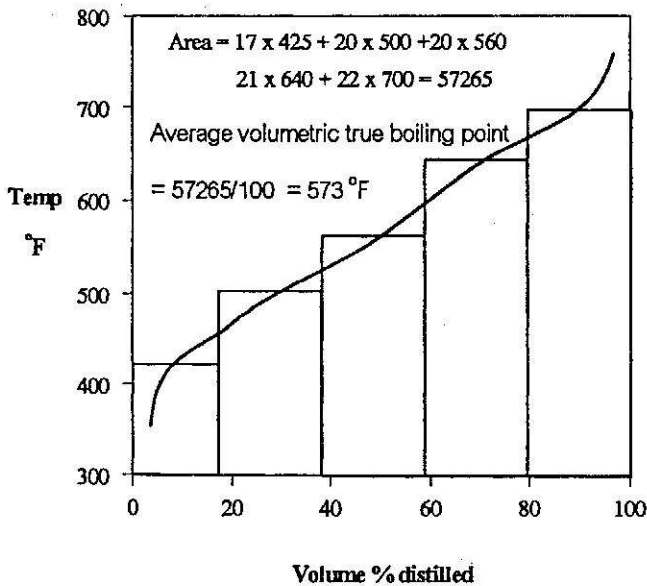
รูป 6 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของน้ำมันดิบ

รูป 4 แสดงลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จากการกลั่นแบบแบบทซ์ชนิดแองเกอร์ ซึ่งเป็นการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบ 3 ตัว โดยทำการเปรียบเทียบกับเส้นกราฟจุดเดือดจริงอันได้จากการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบเดียวกัน และสำหรับการกลั่นสารที่มีส่วนประกอบซับซ้อน จะแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่ได้จากวิธีการกลั่นทั้งสองแบบตามรูป 5

ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟจุดเดือดจริง และค่า API gravity ของน้ำมันดิบต่าง ๆ แสดงได้ตามรูป 6 จะได้ว่าที่ร้อยละของผลผลิตจากการกลั่นเดียวกัน เมื่อน้ำมันดิบมีค่า API gravity ต่ำลงหรือมีความหนืดมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของไอหรืออุณหภูมิในการกลั่นแยกจะสูงขึ้น นอกจากนั้นจากรูป 6 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชันในหน่วยของสภาพเรนไฮต์ต่อร้อยละของส่วนที่กลั่นได้ ของกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและแบบ ASTM จะได้ว่า การกลั่นแบบ ASTM จะให้ความชันของกราฟน้อยกว่าการกลั่นแบบจุดเดือดจริง



รูป 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟการกลั่นแบบ TBP และ ASTM



รูป 8 กราฟแสดงผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและการหาจุดเดือดจริงเฉลี่ย

เราสามารถคำนวณหาอุณหภูมิจุดเดือดจริงเฉลี่ยเชิงปริมาตร (average volumetric true boiling point) จากอุณหภูมิที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ซึ่งอธิบายการคำนวณได้จากกราฟในรูป 8

#### 1.1.4 ความคมชัดในการแยก

การพิจารณาถึงสมบัติของสารที่มีส่วนประกอบจำนวนมาก ในทางปฏิบัติจะใช้กราฟจุดเดือดจริงแสดงในรูปของช่วงจุดเดือดของสารต่างๆ และร้อยละผลได้ของผลผลิตจากการกลั่นเทียบกับสารป้อน ตัวอย่างเช่น การกลั่นแยกน้ำมันดิบจะให้ผลผลิตออกมาตามช่วงจุด

เดือด ได้แก่ แก๊สโซลีน (Gasoline), ดีเซล (Diesel), น้ำมันก๊าด (Kerosene) หรือแก๊สออยล์ (Gas oil) การหาความสามารถในการกลั่นแยกนี้โดยวิธีหาคคุณสมบัติเฉพาะของผลผลิตจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวมักจะไม่เหมาะสม เนื่องจากน้ำมันดิบมีส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก จึงมักจะนิยามความสามารถในการกลั่นแยกเป็นระดับขั้นของการแยก (degree of separation) หรือความคมชัดในการแยก (sharpness of separation) แทน

การประมาณความสามารถในการแยกของเครื่องกลั่นแยก (fractionator) ที่มีอัตราส่วนรีฟลักซ์และจำนวนเพลทต่างๆ จะประมาณได้อย่างรวดเร็วในเทอมของค่าช่องว่าง (gap) หรือค่าซ้อนเหลื่อม (overlap) ของอุณหภูมิจุดเดือด ซึ่งจะเรียกทั้งสองเทอมนี้ว่าเป็นระดับขั้นของการแยก หรือความคมชัดในการแยก ค่าเหล่านี้ได้เป็นผลจากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของการกลั่นแบบซับซ้อนและการกลั่น ASTM แบบแองเกอร์ หรือ ASTM D-86

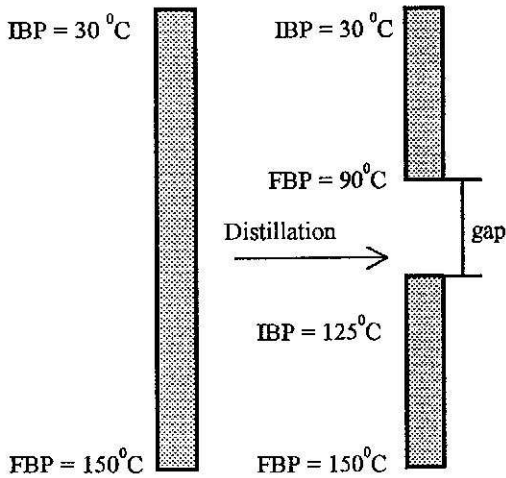
ค่าช่องว่าง นิยามได้ว่าเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point) ของผลผลิตหนักและจุดเดือดสุดท้าย (final boiling point) ของผลผลิตเบา สำหรับผลผลิตที่มีช่วงจุดเดือดติดกัน ส่วนค่าซ้อนเหลื่อมจะสามารถนิยามได้ในทางตรงข้ามกับค่าช่องว่าง คือเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตเบาและจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตหนัก โรงกลั่นหลายแห่งใช้วิธีการนี้ในการกำหนดคุณสมบัติสำหรับการออกแบบคอลัมน์ในทางการค้า เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและค่าใช้จ่ายไม่สูง

ตัวอย่างดังต่อไปนี้จะอธิบายถึงค่ากล่าวข้างต้น

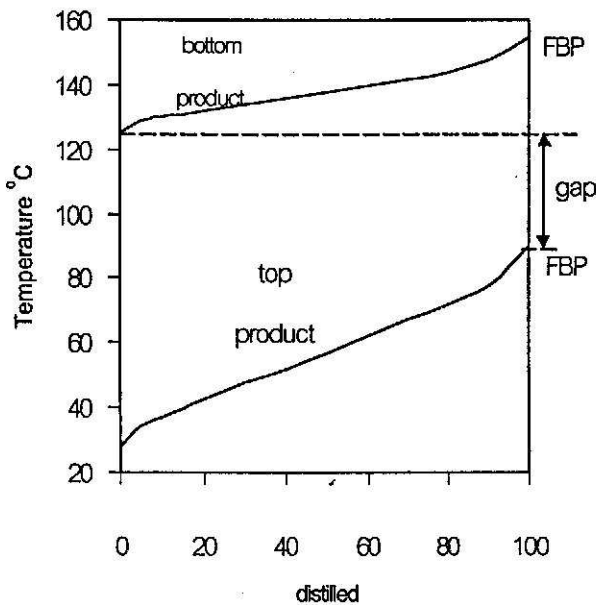
สมมุติว่าสารป้อนประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 30 ถึง 150 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารป้อนไปกลั่นแยกในคอลัมน์การกลั่น โดยให้ส่วนประกอบรวมที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ออกมาที่ส่วนบนของคอลัมน์เป็นผลผลิตส่วนบน และส่วนประกอบรวมซึ่งมีจุดเดือดสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ถูกแยกออกมาเป็นผลผลิตส่วนล่าง จะได้ว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบนเป็น 100 องศาเซลเซียส และจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตส่วนล่างก็จะเป็น 100 องศาเซลเซียสด้วย ซึ่งเป็นไปได้เฉพาะในทางทฤษฎีเท่านั้น

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตถึงจุดเดือดของส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเฮปเทนมีจุดเดือดเป็น 98 องศาเซลเซียส และไฮโซออกเทน มีจุดเดือดเป็น 118 องศาเซลเซียส ดังนั้นเฮปเทนจะพบได้ในผลผลิตส่วนบนและเป็นส่วนประกอบที่หนักที่สุด ซึ่งจะหมายความว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบนจะต้องไม่สูงกว่า 98 องศาเซลเซียส และเนื่องจากอิทธิพลของส่วนประกอบที่เบากว่าในผลผลิตส่วนบน

จะทำให้จุดเดือดสุดท้ายที่ได้จากการกลั่นแบบ ASTM D-86 ต่ำกว่า 98 องศาเซลเซียส เช่นอาจจะเป็น 90 องศาเซลเซียส



รูป 9 แผนภาพแสดงสารป้อนและผลผลิตที่มีค่าช่องว่าง



รูป 10 กราฟการกลั่นสำหรับผลผลิตส่วนบนและส่วนล่างกับค่าช่องว่าง

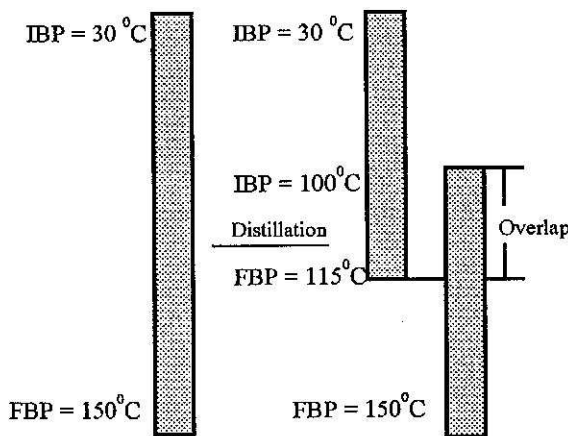
ไอโซออกเทนซึ่งมีจุดเดือดที่ 118 องศาเซลเซียส จะเป็นส่วนประกอบที่เบาที่สุดในผลผลิตส่วนล่าง ดังนั้นจุดเดือดเริ่มต้นจะต้องไม่ต่ำกว่า 118 องศาเซลเซียส และเนื่องจากอิทธิ

พลของส่วนประกอบหนักที่อยู่ในผลผลิตส่วนล่าง จะทำให้จุดเดือดเริ่มต้นสูงกว่า 118 องศาเซลเซียส เช่นอาจจะเป็น 125 องศาเซลเซียส

จากที่ได้กล่าวมาแสดงว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบน และจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตส่วนล่างจะไม่เท่ากัน แต่มีค่าช่องว่างเกิดขึ้นเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ( $125 - 90 = 35$  องศาเซลเซียส) แสดงได้ตามรูป 9

“ค่าช่องว่าง” เป็นระดับขั้นของการแยกที่ใช้นิยามสำหรับกรณีจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตส่วนล่างสูงกว่าจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบน ค่าช่องว่างยิ่งกว้างจะแสดงว่ามีความคมชัดในการแยกยิ่งสูง หรือมีความสามารถในการแยกสูงนั่นเอง

ถ้าทำการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM D-86 โดยใช้ผลผลิตทั้งสองจากการกลั่นแบบซับซ้อนจะได้กราฟตามรูป 10 การแยกที่ให้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100 ตามที่ได้อธิบายในตัวอย่างข้างต้นจริงๆ แล้วเป็นไปได้ จะพบว่ามีไอโซออกเทนบางส่วนติดอยู่ในผลผลิตส่วนบน และมีเฮปเทนบางส่วนอยู่ในผลผลิตส่วนล่าง จากเหตุนี้จะมีผลให้จุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบนสูงขึ้น และจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตส่วนล่างต่ำลง นั่นคือทำให้ค่าช่องว่างยิ่งแคบลงนั่นเอง

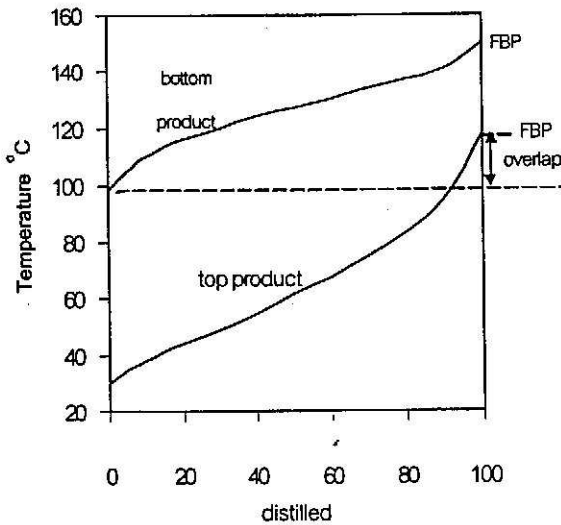


รูป\_11 แผนภาพแสดงสารป้อนและผลผลิตกับค่าซ้อนเหลื่อม

ถ้าการแยกเกิดขึ้นไม่ดีหรือไม่คมชัด อาจทำให้จุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตส่วนบนสูงกว่าจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตส่วนล่าง เราจึงนิยามระดับขั้นของการแยกในกรณีเช่นนี้ว่าเกิดค่าซ้อนเหลื่อม

การกลั่นที่มีระดับขั้นของการแยกแบบค่าซ้อนเหลื่อม เช่น สมมุติให้จุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตบนของตัวอย่างข้างต้นเป็น 115 องศาเซลเซียส และจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิต

ส่วนล่างลดลงเป็น 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นค่าช้อนเหลื่อมเป็น 15 องศาเซลเซียส (115-110 = 15 องศาเซลเซียส) แสดงได้ตามรูป 11 และเมื่อเขียนในรูปกราฟของการกลั่นแบบ ASTM จะแสดงได้ตามรูป 12



รูป 12 กราฟการกลั่นของผลผลิตส่วนบนและส่วนล่างกับค่าช้อนเหลื่อม

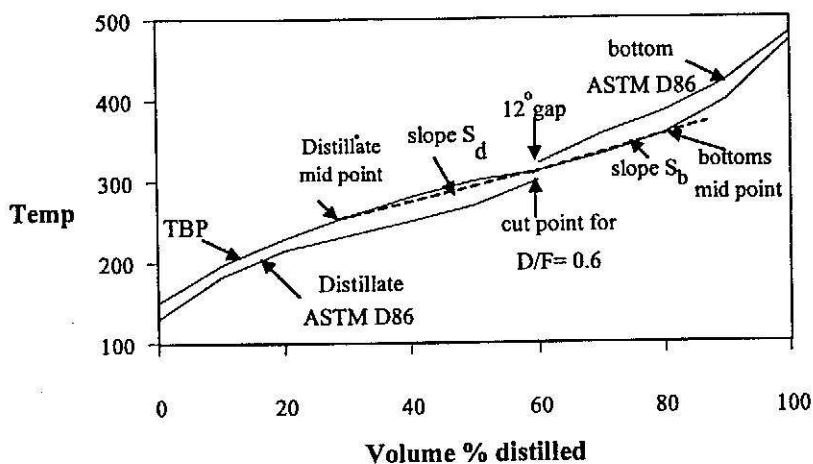
เราสามารถทำให้ค่าช่องว่างกว้างขึ้นได้ โดยการเพิ่มรีฟลักซ์และเพิ่มการต้มซ้ำในระหว่างการกลั่นจริง ซึ่งจะหมายความว่า เป็นการเพิ่มการใช้พลังงาน ดังนั้นในการกลั่นแยกจึงต้องควบคุมให้มีค่าช่องว่างที่เหมาะสมไม่สูงจนเกินความจำเป็น

ค่าช่องว่างจะขึ้นอยู่กับสมบัติของสารป้อน ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการกลั่นแยกสารป้อน 2 ชนิดที่มีอุณหภูมิช่วงจุดเดือดแคบและช่วงจุดเดือดกว้างด้วยเครื่องกลั่นที่มีค่าการออกแบบเช่นเดียวกัน พบว่าสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดกว้างกว่าจะให้ผลผลิตที่มีค่าช่องว่างมากกว่าสารป้อนที่มีช่วงจุดเดือดแคบ เนื่องจากในการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM D-86 นั้นค่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดกว้างจะได้รับอิทธิพลจากสารที่มีจุดเดือดสูงมากกว่าผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดแคบ และค่าอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตที่มีจุดเดือดกว้างจะได้รับอิทธิพลจากสารที่มีจุดเดือดต่ำมากกว่าผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดแคบ ดังนั้นในการเปรียบเทียบระดับขั้นของการแยกสำหรับสารป้อนที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างกันจึงใช้ค่าช่องว่างไม่ได้

พิจารณาถึงการกลั่นแยกสารป้อนที่มีส่วนประกอบ 2 ตัวในเครื่องกลั่นแยกแบบซับซ้อนซึ่งเกิดการแยกขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยที่ส่วนประกอบทั้งสองมีอุณหภูมิจุดเดือดที่ใกล้เคียง

กัน เมื่อนำผลผลิตจากการแยกทั้งสองไปทำการกลั่นแบบ ASTM D-86 จะพบว่าจะได้ค่าช่องว่างสูงสุด โดยจะนิยามค่าช่องว่างสูงสุดในเทอม  $g_m$

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และ ASTM ตามรูป 13 ได้รับการพัฒนาโดย Edmister จะใช้สำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $g_m$ , การกลั่น ASTM ของสารป้อน และอัตราส่วนของผลผลิตที่กลั่นได้ต่อสารป้อนหรือ D/F ผลที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์เอมพิริคัลในรูปของกราฟ



รูป 13 ตัวอย่างการเกิดค่าช่องว่างของจุดตัดการกลั่น

จากรูป 13 จะได้ว่า  $S_d$  เป็นความชันของเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดกลางส่วนเบา (distillate mid point) กับจุดตัดหรือจุด D/F และ  $S_b$  เป็นความชันของเส้นที่ลากเชื่อมระหว่างจุดกลางหนัก (bottoms mid point) กับจุดตัด จากค่า  $S_d$  และ  $S_b$  นำไปกำหนดจุดในกราฟ และอ่านค่าเป็น  $g_m$  ออกมา วิธีการหาค่าช่องว่างสูงสุดวิธีนี้อาจจะไม่ถูกต้องนักแต่เป็นวิธีการที่สะดวก

การกลั่นแยกที่ไม่เกิดการแยกขึ้นเลยจะได้ค่าช่องว่างเป็นลบหรือเป็นค่าซ้อนเหลื่อม ค่าซ้อนเหลื่อมนี้จะเป็นค่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดทั้งหมดของสารป้อน ซึ่งนิยามค่านี้ได้เป็น  $r$

ระดับขึ้นของการกลั่นแยกที่เคยแสดงได้โดยค่าช่องว่างจริงซึ่งนิยามเป็น  $g$  แต่เนื่องจากสาเหตุที่ค่าช่องว่างจริงนี้จะเปรียบเทียบกันระหว่างสารป้อนต่างชนิดกันไม่ได้ จึงต้องแสดงค่าระดับขึ้นของการแยกเป็นเทอมของ "approach factor" หรือ  $A$  ซึ่งจะได้ว่า

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

ค่า  $A$  นี้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

โดยค่า  $A=0$  หมายถึงไม่เกิดการแยกขึ้นจากการกลั่นแยก เมื่อไม่เกิดการแยกขึ้นค่า  $g$  จะเท่า



กับ  $-r$

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

## 1.2. แนฟทา (Naphtha)

แนฟทาเป็นผลผลิตจาก 2 กระบวนการที่มีวัตถุประสงค์ต่างกัน คือ กระบวนการกลั่นโดยตรงจากน้ำมันดิบ (straight – run fraction) และจากกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) หรือไฮโดรแครกกิง (hydrocracking) ได้มีผู้ทำการทดลองผลิตแนฟทาจากน้ำมันดิบแก๊สออยล์สังเคราะห์ (synthetic crude gas oil) ได้แก่ Mahay et al., 1992 โดยใช้น้ำมันดิบนี้มาทำการแตกตัวด้วยน้ำบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล-ทังสเตนซึ่งเกาะยึดอยู่บนโครงสร้างของซิลิกา-อลูมินา มีการดำเนินกระบวนการเป็นแบบ 2 สเตจ ซึ่งจะให้ผลของการเปลี่ยนแก๊สออยล์ไปเป็นแนฟทามีร้อยละผลได้สูง

แนฟทามี 2 ชนิด คือ แนฟทาเบา (light Naphtha) และแนฟทาหนัก (heavy Naphtha) แนฟทาเบาจะมีช่วงจุดเดือดตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้นของน้ำมันดิบ (initial boiling point) จนถึงอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สามารถวิเคราะห์แนฟทาเบาได้ด้วยวิธีที่ง่ายคือใช้แก๊สโครมาโตกราฟี (GC) ส่วนแนฟทาหนักจะมีองค์ประกอบที่มีจุดเดือดในช่วง 130-220 องศาเซลเซียส ในการวิเคราะห์คุณสมบัติจะมีความยากขึ้นจึงใช้ GC PONA ในการวิเคราะห์

แนฟทาจากส่วนกลั่นที่ได้กล่าวถึงมานี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งได้มีผู้ที่ทำการศึกษาถึงการนำแนฟทาไปใช้ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น Ley, 1996 ได้ทำการศึกษาถึงการใช้ตัวทำละลายสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องยนต์จรวด โดยการใช้ตัวทำละลายปิโตรเลียมแนฟทา เมทิลีนคลอไรด์ และเพอร์คลอโรเอททีลีน แทนการใช้ 1,1,1 – ไตรคลอโรอีเทน และ ซีเอฟซี-113 ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในแต่ละปีเป็นเงินจำนวนมาก

Brushwood and McElwee, 1997 ได้พิจารณาการออกแบบระบบการเผาไหม้ของเทอร์ไบน์โดยใช้แนฟทาเป็นเชื้อเพลิง โดยจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของแนฟทาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการดำเนินการ พบว่าการใช้แนฟทาเป็นเชื้อเพลิงไม่ทำให้ระบบเกิดการหยุดเดิน (tripping) และสามารถควบคุมการเดินเครื่องได้เต็มกำลังเหมือนกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น

Taniewski and Czechowicz, 1998 ได้กล่าวถึงการใช้น้ำมันสำหรับผลิตเอททีลีน โดยการป้อนควบคู่ไปกับมีเทน (methane) บนตัวเร่งปฏิกิริยาเบดนิ่ง (catalyst fixed bed) ส่วน True, 1998 ได้กล่าวถึงการขนย้ายบิทูเมน (bitumen) และน้ำมันหนัก (heavy oil) อย่างมีประสิทธิภาพ

สีทึบภาพและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการทำให้น้ำมันหนักเจือจางก่อนการขนย้าย ซึ่งสารที่นำมาเจือจางได้แก่ น้ำมันดิบส่วนเบาหรือส่วนควบแน่นจากการกลั่น หรืออาจใช้เนฟทา

ในระยะเวลาที่ผ่านมาเนฟทาเบาได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติโดยนำไปผ่านกระบวนการไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เพื่อให้ได้แก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนตามความต้องการ การทำไอโซเมอไรเซชันนี้จะเกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (zeolite) หรือตัวเร่งปฏิกิริยาอสัณฐาน (amorphous) ซึ่ง Cusher et al., 1990 ได้ทำการศึกษาถึงผลกำไรจากกระบวนการของ UOP อันเป็นเทคโนโลยีสำหรับการทำไอโซเมอไรเซชันของเนฟทาเบา โดยการพัฒนากระบวนการเพื่อให้การทำไอโซเมอไรเซชันมีผลผลิตมากขึ้นและเปรียบเทียบผลได้กับกระบวนการอื่นๆ

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

1. แนฟทา เป็นวัตถุดิบสำหรับการกลั่นจากโรงกลั่นน้ำมันฝาง อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ แนฟทาเป็นผลผลิตจากการกลั่นแยกน้ำมันดิบ (crude oil) มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point) ของน้ำมันดิบซึ่งไม่รวมแก๊สจนถึงจุดเดือดเริ่มต้นของ เคโรซีน (kerosene) ซึ่งเป็นผลผลิตของน้ำมันดิบที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดติดกับแนฟทา โดยช่วงจุดเดือดของแนฟทาจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความต้องการเคโรซีน นั่นคือถ้าต้องการผลผลิตเคโรซีนจากการกลั่นน้ำมันดิบมากขึ้นก็จะเพิ่มช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของเคโรซีนให้กว้างขึ้น ซึ่งจะทำให้แนฟทาที่ได้มีจุดเดือดสุดท้ายต่ำลง ในทางตรงกันข้ามต้องการผลผลิตเคโรซีนในปริมาณน้อยลงก็จะลดช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของเคโรซีนลง จะทำให้อุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของแนฟทาเพิ่มขึ้น

แนฟทาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้มี 2 ชนิด โดยทั้งสองชนิดนี้จะแตกต่างกันที่จุดเดือดสุดท้าย นั่นคือ แนฟทา 1 มีช่วงจุดเดือด 29-171 องศาเซลเซียส และแนฟทา 2 มีช่วงจุดเดือดเป็น 29-153 องศาเซลเซียส ลักษณะโดยทั่วไปของแนฟทา คือ สี มีสีส้มอ่อน เมื่อวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีกลิ่นไอระเหยของน้ำมัน การเก็บรักษาแนฟทาจะต้องเก็บในที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากส่วนประกอบที่มีจุดเดือดต่ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจจะเกิดการระเบิดเมื่อมีประกายไฟเกิดขึ้นในบริเวณที่เก็บแนฟทา

2. น้ำหล่อเย็น (cooling water) ใช้น้ำปะปาที่อุณหภูมิห้องในการควบแน่นไอซึ่งออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์เพื่อทำให้เกิดรีฟลักซ์ และทำให้เกิดการควบแน่นที่ท่อนำไอซึ่งรับไอของส่วนกลั่นมาจากคอลัมน์การกลั่นและส่งไปเก็บยังหน่วยเก็บผลผลิต

3. ตัวกลางทำความเย็น (cooling media) เป็นสารทำความเย็นที่สามารถทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $-10$  องศาเซลเซียสได้โดยใช้เครื่องทำความเย็น (refrigerator) ไอที่ผ่านการควบแน่นด้วยน้ำหล่อเย็นในท่อนำไอจะมีไอส่วนหนึ่งที่ยังเปลี่ยนสถานะได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวกลางทำความเย็นเป็นตัวช่วยให้เกิดการควบแน่นโดยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งตัวกลางทำความเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิของเหลวที่ผ่านการควบแน่นลงจนสามารถเก็บผลผลิตไว้ที่อุณหภูมิห้องได้โดยไม่เกิดการระเหย ตัวกลางทำความเย็นยังใช้สำหรับหล่อเย็นหน่วยเก็บผลผลิตซึ่งใช้เก็บผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิต่ำและสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง

## 2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง มีดังนี้

1. เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงหรือเครื่องกลั่น TBP ได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบการกลั่นน้ำมันดิบ ASTM D2892 (standard test method for distillation of crude petroleum, D2892) ซึ่งมีส่วนประกอบและสภาวะในการกลั่นดังแสดงในภาคผนวก ก.1

2. เครื่องกลั่นแบบง่าย ซึ่งได้รับการออกแบบตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86 (standard test method for distillation of petroleum products ,D86) ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลั่นแบบง่ายนี้จะแสดงในภาคผนวก ข.1

3. ปีกโนมิเตอร์ (pycnometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความหนาแน่นของส่วนกลั่น

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อชั่งน้ำหนักของสารป้อนและส่วนกลั่นที่กลั่นได้

5. ถังบรรจุอากาศ เพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการถ่ายน้ำมันที่คงค้างในหม้อกลั่นออก

6. ขวดเก็บส่วนกลั่นพร้อมฝาครอบ

7. เครื่องอัดอากาศ สำหรับช่วยในการถ่ายเทความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของคอลัมน์

กลั่นหลังจากทำการกลั่นเสร็จและเตรียมคอลัมน์กลั่นเพื่อทำการกลั่นในแบบถัดต่อไป

8. เครื่องมือกัญญแจชนิดต่าง ๆ เพื่อเปิด-ปิดส่วนต่างๆ ของเครื่องกลั่น

## 2.3 วิธีดำเนินการ

ในการกลั่นแยกแฉะเพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของแฉะและการผลิตตัวทำละลายรวมถึงการศึกษาออกแบบกระบวนการผลิตตัวทำละลาย มีขั้นตอนหลัก 3 อยู่ขั้นตอนคือ

1. ขั้นแรกทำการกลั่นแยกแฉะด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงตามมาตรฐาน ASTM 2892 โดยกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของจุดเดือดเพื่อให้ได้ค่าช่วงอุณหภูมิการกลั่น (distillation range) ตามค่ากำหนดของผลผลิตที่ต้องการ ข้อมูลที่ได้จากการกลั่นนี้จะเป็นอุณหภูมิช่วงจุดเดือดแบบจุดเดือดจริงและร้อยละผลได้ของส่วนกลั่นเทียบกับสารป้อน ซึ่งจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปเขียนเป็นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

2. นำผลผลิตส่วนกลั่นที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงไปทำการตรวจสอบหาช่วงอุณหภูมิการกลั่น โดยใช้การกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86 นำข้อมูลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ ถ้าช่วงอุณหภูมิการกลั่นไม่ตรง

กับคำกำหนด จะต้องทำการกลั่น โดยปรับอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงใหม่ เมื่อผลผลิตที่ได้มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดตรงกับคำกำหนดแล้วจึงจะทำการตรวจสอบหาคุณสมบัติอื่นๆ ตามคำกำหนดของตัวทำละลาย เช่น ความหนาแน่น ปริมาณซัลเฟอร์ อะโรแมติก และเบนซีน เป็นต้น

3. ในระหว่างการกลั่นทำการเก็บข้อมูลโดยการบันทึกค่าต่างๆ เช่น ความดันลด อุณหภูมิที่จุดต่างๆของคอลัมน์ และวัดอัตราการกลั่นโดยการจับเวลาพร้อมกับวัดจำนวนผลผลิตที่ออกมา เพื่อนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้มาหาแฟกเตอร์ที่มีผลต่อการกลั่น และหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่น

4. นำเอาผลผลิตที่ได้จากการกลั่นมาทำการทดสอบคุณสมบัติตามคำกำหนดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งคุณสมบัติในบางหัวข้อจะไม่สามารถทำการทดสอบได้ภายในภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงต้องขอความอนุเคราะห์จากภาครัฐและภาคเอกชนเพื่อทำการทดสอบ

### บทที่ 3

#### ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

##### การผลิตตัวทำละลายโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

จากการทดลองทำการกลั่นเพื่อผลิตตัวทำละลายจะมีผลการทดลองออกมาในแง่ของผลผลิตที่สามารถผลิตได้ ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น การเลือกสถานะที่เหมาะสมในการกลั่น และคุณสมบัติของผลผลิตที่ผลิตได้ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

##### 3.1 ผลผลิตจากการกลั่นแนฟทา

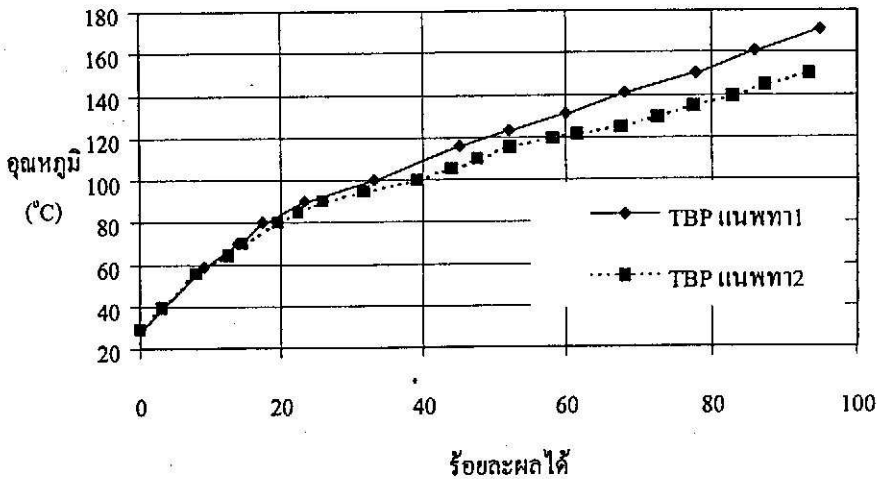
จากการทดลองกลั่นแบบจุดเดือดจริง โดยใช้แนฟทาเป็นวัตถุดิบ จากการสำรวจตัวทำละลายที่ผลิตใช้ในประเทศไทย พบว่ามีผลผลิตหลักของตัวทำละลายที่ควรจะมีผลผลิตคือ ตัวทำละลายยาง (rubber solvent) ตัวทำละลายสารเคลือบและสี (varnish maker & painter, VM&P) ซึ่งมีช่วงจุดเดือดอยู่ในช่วงส่วนกลั่นของแนฟทาจากโรงกลั่นฝาง อย่างไรก็ตามในการกลั่นแยกจะได้ผลผลิตที่มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่ต่อเนื่องกันทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ผลผลิตเบา (light product) ตัวทำละลายยาง (rubber solvent) ตัวทำละลายสารเคลือบและสี (varnish maker & painter, VM&P) และผลผลิตหนัก (heavy product) จากผลผลิตทั้งหมดที่ได้นี้จะมีผลผลิตที่สามารถนำไปขายและใช้งานได้โดยตรงในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศเพียงสองชนิดคือตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเป็นผลผลิตหลัก ส่วนผลผลิตเบาและผลผลิตหนักจะถูกเรียกว่าเป็นผลผลิตพลอยได้ (by product) ซึ่งผลผลิตนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแนฟทามีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตหลัก ดังนั้นหากแนฟทามีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าผลผลิตหลักมากก็จะได้ร้อยละผลได้ของผลผลิตพลอยได้ในปริมาณมากด้วย

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

เนื่องจากในการทดลองวิจัยได้ใช้วัตถุดิบแนฟทาจากโรงกลั่นฝาง 2 งวด ซึ่งมีสมบัติต่างกันบ้างเล็กน้อย ดังนั้นผลการศึกษาก็ยังแปรตามชนิดของแนฟทาที่ใช้เป็นวัตถุเริ่มต้นอีกด้วย

### 3.1.1 ชนิดของแนฟทา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวทำละลายมีอยู่ 2 ชนิด คือแนฟทา1 และแนฟทา2 แนฟทาทั้งสองชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือด TBP ที่แตกต่างกัน นั่นคือแนฟทา1 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 30 – 171 องศาเซลเซียส และแนฟทา2 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเป็น 30 – 153 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองการกลั่นแนฟทาทั้งสองชนิดจะสามารถเขียนเป็นกราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงด้วยความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลได้ (% yield) และอุณหภูมิจุดเดือดได้ แสดงในรูป 14

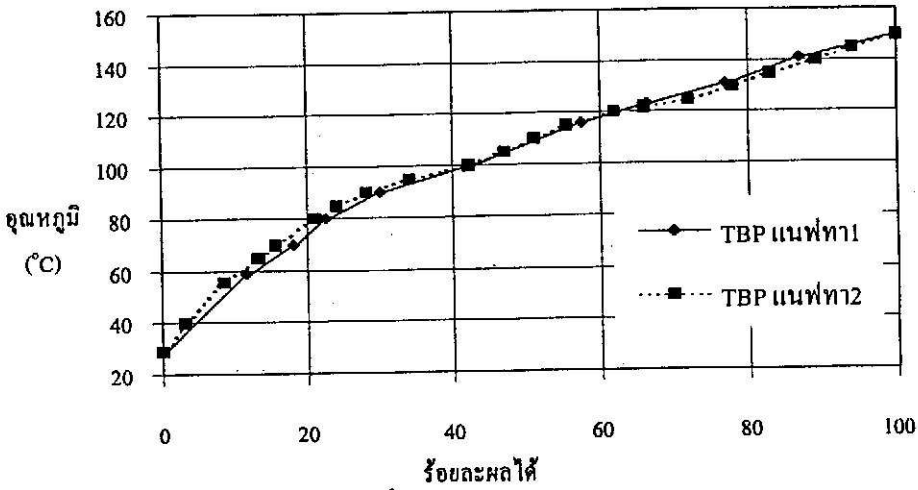


รูป 14 กราฟการกลั่นแบบจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2

เส้นกราฟการกลั่นทั้ง 2 เส้นที่แสดงในรูป 14 จะเป็นผลของการทดลองกลั่นแบบจุดเดือดจริงที่ได้จากการใช้แนฟทา1 และแนฟทา2 เป็นวัตถุดิบ ซึ่งพบว่าเส้นกราฟทั้งสองนี้ไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน แสดงว่าแนฟทาทั้งสองมีสมบัติที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ทำให้แนฟทาทั้งสองนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันน่าจะเนื่องมาจากแนฟทาทั้งสองได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบคนละงวดกัน ซึ่งการกลั่นน้ำมันดิบในแต่ละงวดจะมีการกำหนดช่วงอุณหภูมิจุดตัดของผลผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับราคาและความต้องการของผลผลิตที่ได้จากการกลั่นในขณะนั้น

ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์ว่าแนฟทา1 และแนฟทา2 ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบที่มีสมบัติเหมือนกันหรือไม่ โดยการเขียนกราฟการกลั่นที่มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับกราฟในรูป 14 ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเดียวกัน (30 – 135 องศาเซลเซียส) เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดนี้แนฟทาจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันหรือไม่ ซึ่งจะได้กราฟดังในรูป 15 จากกราฟที่ได้นี้พบว่าเส้นกราฟการกลั่นของแนฟทา1 และแนฟทา2 เกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเดียวกัน แนฟทาทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติ

สมบัติที่เหมือนกัน ดังนั้นแนฟทาทั้ง 2 ชนิดนี้จะได้มาจากการกลั่น โดยใช้น้ำมันดิบที่สมบัติเหมือนกัน



รูป 15 กราฟการกลั่นจุดเดือดจริงของแนฟทา1 และแนฟทา2 หลังจากการปรับช่วงอุณหภูมิจุดเดือด

ส่วนสาเหตุที่ทำให้แนฟทาทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลผลิตแนฟทาทั้งสองได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบต่างงวดกัน ซึ่งการกลั่นน้ำมันดิบในแต่ละงวดจะมีค่ากำหนดของช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการผลิตภัณฑ์ของตลาดในแง่ของคุณสมบัติ ปริมาณ และราคา ดังมีตัวอย่างของการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้แนฟทาในการทดลองนี้ ซึ่งพบว่าแนฟทา 1 มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายเป็น 171 องศาเซลเซียส จะเกิดจากความต้องการผลิตน้ำมันก๊าด (มีช่วงจุดเดือดต่อเนื่องกับแนฟทาและมีราคาที่สูงกว่าแนฟทา) ที่มีอุณหภูมิจุดเดือดจริงเริ่มต้นเป็น 171 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันก๊าดที่ได้จากการกลั่นงวดนี้จะมีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นสูงกว่าน้ำมันก๊าดที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้แนฟทา 2 ดังนั้นเมื่อกลั่นน้ำมันดิบสองงวดด้วยปริมาณสารป้อนเท่ากัน จะได้ปริมาณน้ำมันก๊าดจากการกลั่นในงวดของแนฟทา 1 น้อยกว่าการกลั่นในงวดของแนฟทา 2

ในการศึกษาร้อยละผลได้ของผลผลิตจากการกลั่นแนฟทา 1 และแนฟทา 2 ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ จะแสดงผลการทดลองได้ดังตาราง 1 และ 2 ตามลำดับ จากตารางพบว่าเมื่อทำการกลั่นโดยใช้วัตถุดิบแนฟทา 1 จะให้ผลได้ของผลผลิตหลักโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 ส่วนในการกลั่นโดยวัตถุดิบแนฟทา 2 จะให้ผลได้ของผลผลิตหลักโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 80 ความแตกต่างของร้อยละผลได้ที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากแนฟทาทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แตกต่างกัน นั่นคือแนฟทา 1 มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายที่สูงกว่าแนฟทา 2 จึงทำให้แนฟ



พลา มีร้อยละผลได้ของผลผลิตหนักในปริมาณมาก และผลผลิตหนักที่ได้จะมีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่กว้างกว่าผลผลิตหนักที่ได้จากการกลั่นแนฟทา2 จากเหตุนี้จึงทำให้ได้สัดส่วนของผลผลิตหลักที่ต่างกัน

ตาราง 1 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากแนฟทา 1

ผลผลิต	หน่วย	ผลผลิตเบา (A)	ตัวทำละลายยาง (B)	VM & P (C)	ผลผลิตหนัก (D)	ผลผลิตหลัก (B + C)	ผลผลิตพลอยได้ (A + D)
ข้อกำหนด ASTM D 86	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	-	78-116	121-138	-	
	ร้อยละผลได้	%wt	11.2	32.4	24.8	31.6	57.2
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
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

ในการกลั่นแยกผลผลิตตัวทำละลายนั้น มีปัจจัยหลายประการที่จะส่งผลกระทบต่อผลได้(yield) และสมบัติ(property) ของผลผลิต เช่น อัตราในการกลั่นเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองเป็นแบบแบทช์ จึงได้สรุปผลการทดลองของปัจจัยนี้ไว้ด้วย

### 3.1.2 อัตราการให้ความร้อนของการกลั่น

จากการศึกษาถึงสถานะที่เหมาะสมในการกลั่นแบบจุดเดือดจริง โดยทำการศึกษาถึงอัตราการให้ความร้อนที่ให้แก่มือก้อนที่ระดับการควบคุม 3 ระดับ ได้แก่ที่ระดับร้อยละ 50 65 และ 80 ซึ่งในแต่ละระดับของการให้ความร้อนนี้จะกำหนดโดยการควบคุมสัดส่วนการเปิด/ปิดเครื่องให้ความร้อนหรือเตาเผาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ตัวอย่างเช่นในช่วงเวลา 100

ตาราง 2 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของผลผลิตจากเนฟทา 2

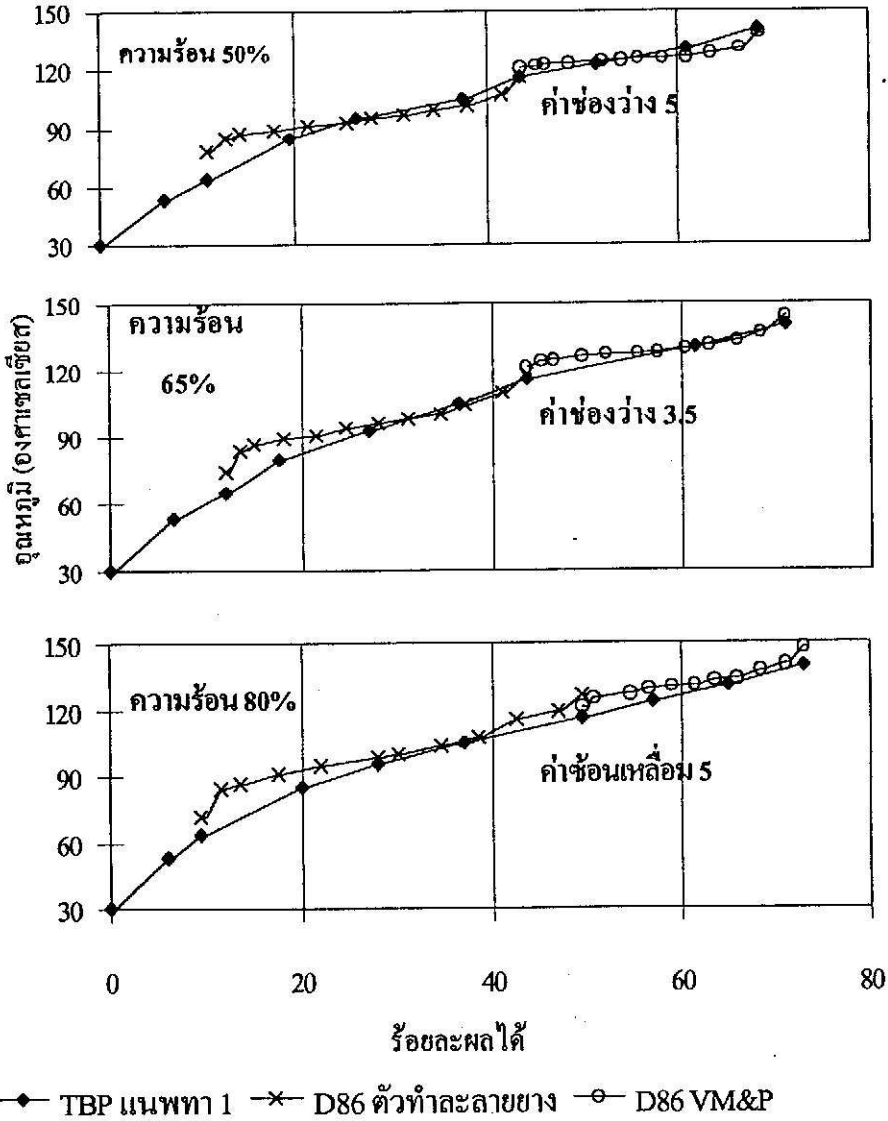
ผลผลิต	หน่วย	ผลผลิต	ตัวทำละลาย	VM & P	ผลผลิต	ผลผลิตหลัก	ผลผลิตพลอย
		เบา (A)	ยาง (B)	(C)	หนัก (D)	(B + C)	ได้ (A + D)
ค่ากำหนด ASTM D86	Deg C	-	66-120	119-143	-		
ความร้อน 50%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-56	56-116	116-147	140-153	
	ช่วงกลั่น ASTM D86	Deg C	-	66-114	123-143	-	
	ร้อยละผลได้	%wt	7.7	43.3	37.4	11.6	80.7
ความร้อน 65%	ช่วงกลั่นจุดเดือดจริง	Deg C	29-60	60-116	116-144	144-153	
	ช่วงกลั่น ASTM D86	Deg C	-	66-120	122-143	-	
	ร้อยละผลได้	%wt	8.2	45.3	33.1	13.4	78.4

วินาที จะควบคุมให้มีการเดินเครื่องให้ความร้อน 50 65 และ 80 วินาที และหยุดการให้ความร้อน 50 35 และ 20 วินาที ตามลำดับ

การเปรียบเทียบผลของการกลั่นแยกที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ จะทำได้โดยนำเอาผลผลิตจากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงมาทดลองกลั่นด้วยเครื่องกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (ASTM D86) และบันทึกค่าอุณหภูมิจุดเดือดที่ร้อยละผลได้ต่างๆ ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังในรูป 16 นำผลที่ได้จากการกลั่น ASTM D86 เหล่านี้มาพิจารณาค่าระดับขั้นของการแยก (degree of separation) ที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าระดับขั้นของการแยกมีอยู่ 2 รูปแบบ คือค่าช่องว่าง (gap) และค่าซ้อนเหลื่อม (overlap) โดยค่าทั้งสองนี้จะเกิดจากผลต่างของอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของผลผลิตที่หนักกว่าและอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของผลผลิตที่เบากว่า กรณีที่ค่าผลต่างนี้มีค่าเป็นบวกจะเรียกค่าระดับขั้นของการแยกนั้นว่าเป็นค่าช่องว่าง แต่ถ้าค่าผลต่างมีค่าเป็นลบจะเรียกว่าเป็นค่าซ้อนเหลื่อม ซึ่งผลของการกลั่นที่มีระดับขั้นของการแยกเป็นค่าช่องว่างจะแสดงถึงการกลั่นแยกที่มีความคมชัด (sharpness) หรือมีการปนเปื้อนระหว่างผลผลิตน้อย ส่วนในกรณีที่มีค่าระดับขั้นการแยกเป็นแบบค่าซ้อนเหลื่อมจะแสดงถึงการแยกที่ไม่มีความคมชัด

ในการทดลองนี้จะพิจารณาค่าระดับขั้นของการแยกที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายยางและ VM & P ซึ่งเป็นผลผลิตที่มีอุณหภูมิจุดเดือดติดกัน พบว่าผลผลิต

ที่มีอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะมีค่าระดับชั้นการแยกเป็นค่าช่องว่าง 5 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่มีการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีค่าระดับชั้นการแยกค่าช่องว่างที่ต่ำลงเป็น 3.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าระดับชั้นจะบ่งบอกถึงความคมชัดของการกลั่นแยก ยิ่งค่าช่องว่างมี



รูป 16 เปรียบเทียบผลของการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของผลผลิต

ค่ามากจะแสดงถึงการกลั่นแยกที่มีความคมชัดสูง ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยอัตราร้อยละ 50 จึงมีความคมชัดในการแยกสูงสุด ส่วนในกรณีที่ค่าระดับชั้นเป็นแบบชั้นเหลื่อมจะแสดงถึงการแยกที่ไม่มีความคมชัดหรือมีสถานะการกลั่นที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 80 จึงเป็นสถานะการกลั่นที่ไม่เหมาะสมต่อการกลั่นแยก

### 3.1.3 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น

ในการกลั่นแยกบางครั้งอาจไม่จำเป็นจะต้องมีค่าความคมชัดของการแยกที่คิมากนัก การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกจะต้องพิจารณาถึงค่าตัวแปรที่ดำเนินการอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแยกและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เหมาะสม รวมทั้งได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการ ในที่นี้เราจะศึกษาถึงตัวแปรดำเนินการอื่นเพิ่มเติม ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการกลั่น

ตาราง 3 เวลาที่ใช้ในการกลั่นแนฟทา2 ด้วยเครื่องกลั่น TBP

อัตราการให้ความร้อน	เวลาการกลั่น (นาที)
ความร้อนร้อยละ 50	311
ความร้อนร้อยละ 65	134

เวลาที่ใช้สำหรับการกลั่นที่มีอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 และ 65 แสดงได้ดังในตาราง 3 พบว่าเมื่อทำการกลั่นในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้าย ด้วยปริมาณสารป้อนที่เท่ากันและมีอัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน จะทำให้เวลาที่ใช้ในการกลั่นไม่เท่ากัน นั่นคือ การกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะใช้เวลาในการกลั่นมากกว่าการให้ความร้อนร้อยละ 65 ถึง 2.4 เท่า จึงอาจกล่าวได้ว่าการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีอัตราการกลั่นมากกว่าเป็น 2.4 เท่าของอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำเกินไป จะทำให้การกลั่นมีกำลังการผลิตต่ำ ซึ่งจากการทดลองนี้ควรที่จะเลือกอัตราการให้ความร้อนที่ร้อยละ 65 เป็นสภาวะการกลั่นที่เหมาะสม (ร้อยละผลได้ของการกลั่นทั้งสองแบบแสดงไว้ในตาราง 2)

### 3.1.4 สมบัติของผลผลิตการกลั่น

จากตาราง 4 และ 5 ประกอบด้วยสมบัติและค่ากำหนดของผลผลิตภัณฑ์ซึ่งได้มาจากค่ากำหนดของผู้ซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ตารางทั้งสองนี้ยังแสดงถึงผลการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เหล่านี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเอกชนและศูนย์เครื่องมือการวิเคราะห์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี แต่จะมีสมบัติบางประการที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดและไม่มีการวัดค่าในประเทศไทย

จากตารางผลการวิเคราะห์ผลผลิตจากการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 พบว่าทุกสมบัติที่วัดค่าได้จะอยู่ในช่วงของค่ากำหนด จึงอาจสรุปได้ว่าเราสามารถทำการกลั่น

แยกแวนฟทาจากโรงกลั่นน้ำมันผาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตัวทำละลายยางและตัวทำละลาย VM&P ที่มีสมบัติตรงกับความต้องการของอุตสาหกรรมที่จะนำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้

ตาราง 4 สมบัติของตัวทำละลายยาง

สมบัติ	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 D1353	1.006	-	-
Doctor test	-	ASTM D235	Negative	ASTM D235	Negative
Aniline point	Deg C	ASTM D611	53.4	ASTM D611	54.4
Copper strip	-	ASTM D130	1a	ASTM D130	1a
Naphthanics content	% wt	G.C.	54.2	-	-
Flash point, Abel	Deg C	IP 17C	<1	-	-

ตาราง 5 สมบัติของตัวทำละลาย VM & P

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

สำหรับผลผลิตที่ได้จากการกลั่นที่อัตราการให้ความร้อนอื่นๆ เช่น ที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 หรือ 80 จะมีข้อมูลผลการวิเคราะห์สมบัติ (ยกเว้นช่วงอุณหภูมิจุดเดือด) ที่ใกล้เคียงกับสมบัติที่ได้แสดงในตาราง 4 และ 5 เนื่องจากการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ต่างกันจะมีผลทำให้ปริมาณของส่วนผสมหนักและเบาเกิดการปนเปื้อนที่ต่างกัน ซึ่งการปนเปื้อนจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 3.2 การกลั่นแบบจุดเดือดจริง

#### 3.2.1 การเปรียบเทียบผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86

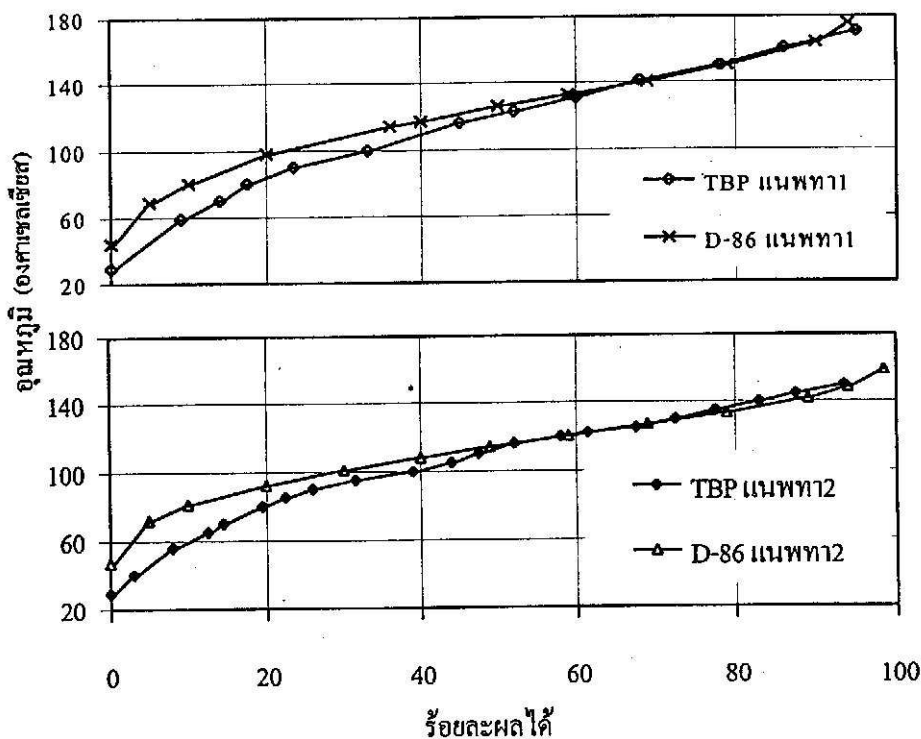
เนื่องจากการทดลองนี้ได้กระทำด้วยอุปกรณ์การกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point distillation) ซึ่งเป็นอุปกรณ์การกลั่นแยกที่ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า โดยโรงกลั่นทั่วไปจะไม่มีอุปกรณ์นี้ และมักจะใช้อุปกรณ์กลั่นแบบ ASTM D 86 เป็นเครื่องมือทดสอบสมบัติการกลั่นเบื้องต้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบผลจากการกลั่นทั้งสองแบบไว้ด้วย

เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงและ ASTM D86 จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในเรื่องของการมีรีฟลักซ์และวัสดุบรรจุหรือเพลทภายในคอลัมน์ ซึ่งส่วนประกอบทั้งสองนี้มีความสำคัญต่อการกลั่นแยกเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและไอ ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลและความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริงมีทั้งรีฟลักซ์และวัสดุบรรจุ จึงทำให้สารเกิดการกลั่นและแยกตัวออกมาตามอุณหภูมิจุดเดือดของมัน ดังนั้นการกลั่นแบบนี้จึงมีความสามารถในการแยกสูงว่าการกลั่นแบบ ASTM D86 ซึ่งไม่มีทั้งรีฟลักซ์และเพลท

การเปรียบเทียบผลการกลั่นจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของเนฟทาทั้งสองชนิดจะพิจารณาได้จากร้อยละผลได้สะสมที่ช่วงอุณหภูมิจุดเดือดต่างๆ ดังแสดงกราฟในรูป 17 และรูป 16

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดเดือดของผลผลิตที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริง (กลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสม) และการกลั่นแบบ ASTM D86 ตามรูป 16 พบว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบ ASTM D86 จะสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นจุดเดือดจริง และอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นแบบ ASTM D86 จะต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง ความแตกต่างดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการกลั่นแบบ ASTM D86 จะมีส่วนกลั่นที่ประกอบด้วยกลุ่มของสารผสมทั้งส่วนหนักและส่วนเบา อุณหภูมิจุดเดือดที่อ่านได้จึงเป็นอุณหภูมิจุดเดือดของสารผสม ดังนั้น

อุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่น ASTM D86 จึงได้รับอิทธิพลจากสารผสมส่วนที่หนักกว่าสารที่อุณหภูมิเป็นจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นจุดเดือดจริง และอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่น ASTM D86 จะได้รับอิทธิพลจากสารผสมส่วนที่เบากว่าสารที่มีอุณหภูมิเป็นจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นจุดเดือดจริง จึงทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าผลการกลั่นแบบจุดเดือดจริง



รูป 17 เปรียบเทียบผลการกลั่นจุดเดือดจริงและ ASTM D86 ของแนพทา

ถ้าการกลั่นจุดเดือดจริงมีความคมชัดในการแยกตัว ผลผลิตที่ได้จะมีการปนเปื้อนของส่วนเบาและส่วนหนักกว่าสารที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดมากขึ้น นั่นคือส่วนปนเปื้อนที่เบากว่าช่วงอุณหภูมิจุดเดือดจะทำให้จุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่น ASTM D86 มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบจุดเดือดจริง และเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้าย เนื่องจากมีสารผสมส่วนที่หนักกว่าสารที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายของการกลั่นจุดเดือดจริงติดมามาก จึงทำให้จุดเดือดสุดท้ายของการกลั่น ASTM D86 มีค่าสูงขึ้น

จึงอาจกล่าวได้ว่าถ้าผลของการกลั่นแบบ ASTM D86 มีช่วงอุณหภูมิจุดเดือดที่แคบกว่าการกลั่นจุดเดือดจริงมากจะแสดงว่าการกลั่นจุดเดือดจริงนั้นมีประสิทธิภาพและความคมชัดในการแยกสูง

จากการทำวิจัยนี้จะมีตัวอย่างความแตกต่างของอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นในการผลิตตัวทำละลายยางด้วยการกลั่นจุดเดือดจริงที่อัตราการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 50 และ 65 พบว่าที่อัตราการให้ความร้อนร้อยละ 50 จะให้อุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นตามการกลั่น ASTM D86 ที่สูงกว่าการกลั่นจุดเดือดจริง 15 องศาเซลเซียส ในขณะที่การกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65 จะมีอุณหภูมิจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นแบบ ASTM D86 ที่สูงกว่าเพียง 9 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสรุปได้ว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ร้อยละ 50 จะให้ความคมชัดในการแยกได้ดีกว่าการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนร้อยละ 65

### 3.2.2 การกำหนดอุณหภูมิจุดตัดของการกลั่นตาม ASTM D86

เนื่องจากค่ากำหนดช่วงอุณหภูมิการกลั่นของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานเป็นช่วงการกลั่นตาม ASTM D86 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำผลผลิตที่ได้จากการกลั่นแบบจุดเดือดจริงมาทำการกลั่น ASTM D86 ทุกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าผลผลิตที่ได้ตรงกับค่ากำหนดหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในช่วงของค่ากำหนดหรือมีช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่าค่ากำหนดมากจะต้องปรับช่วงอุณหภูมิการกลั่นจุดเดือดจริงแล้ว ทำการทดสอบผลผลิตโดยการกลั่น ASTM D86 ใหม่ สำหรับกรณีที่วัตถุประสงค์ของการกลั่นจุดเดือดจริงมีสมบัติที่เปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนอัตราการให้ความร้อนในการกลั่น จะต้องทำการตรวจสอบช่วงอุณหภูมิการกลั่นของผลผลิตด้วยการกลั่น ASTM D86 ใหม่ทุกครั้ง

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

สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน เช่นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะต้องทำการปรับอุณหภูมิจุดตัดให้แคบลง เนื่องจากการกลั่นด้วยอัตราการให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะให้ความคมชัดในการแยกที่ลดลง ถ้ายังคงกำหนดอุณหภูมิจุดตัดเท่าเดิมจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีช่วงการกลั่นที่กว้างกว่าค่ากำหนด ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ



## บทที่ 4

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์ในการผลิตตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ แนฟทา1 และแนฟทา2 จากโรงกลั่นฝาง ซึ่งมีช่วงจุดเดือด 30-171 องศาเซลเซียส และ 30-153 องศาเซลเซียส ตามลำดับนั้นสามารถนำมากลั่นด้วยอุปกรณ์การกลั่นแบบจุดเดือดจริง เป็นตัวทำละลายหลักได้ 2 ชนิด คือ

1. ตัวทำละลายยาง (ช่วงจุดเดือด 66-120 °C)
2. ตัวทำละลาย VM&P (ช่วงจุดเดือด 119-143 °C)

โดยมีผลผลิตพลอยได้ที่เป็นส่วนกลั่นเบาและส่วนกลั่นหนักซึ่งอาจนำไปผ่านขั้นตอนต่อไปเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่นตัวทำละลายอีเทอร์, ตัวทำละลายสารผสม (blending) ต่อไป ส่วนตัวทำละลายหลักที่ผลิตได้มีลักษณะเฉพาะเป็นไปตามข้อกำหนดเชิงการค้าทุกประการ (ทุกรายการที่ตรวจวัดได้ในประเทศ)

ผลได้ (yield) ของตัวทำละลายหลักทั้ง 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ (ช่วงจุดเดือด) และอัตราในการกลั่น โดยร้อยละผลได้ของตัวทำละลายยางอยู่ในช่วง 32-45 และร้อยละผลได้ของตัวทำละลาย VM&P อยู่ในช่วง 24-37 โดยอิทธิพลหลักมาจากช่วงจุดเดือดของวัตถุดิบ ซึ่งหากจุดตัด (cut point) ในการกลั่นแยกแนฟทาจากโรงกลั่นมีค่าสูงกว่าจุดเดือดสูงสุดของตัวทำละลาย VM&P น้อย ก็จะทำให้ร้อยละผลได้ที่สูงขึ้น ส่วนอัตราในการกลั่นมีอิทธิพลในด้านความคมชัดในการแยกหรือปริมาณการปนเปื้อนจากส่วนที่เบากว่าหรือหนักกว่าช่วงจุดเดือดของผลผลิต ซึ่งเมื่ออัตราในการกลั่นสูงจะมีความคมชัดต่ำและมีการปนเปื้อนมากขึ้น

นอกจากนั้น ในกระบวนการกลั่นจริงจะต้องมีการปรับค่าจุดตัดของการกลั่นเพื่อให้ผลผลิตมีช่วงจุดเดือดตามมาตรฐาน ASTM D 86 อีกประการหนึ่งด้วย ซึ่งจุดตัดในการดำเนินการกลั่นจะแตกต่างกันไปจากช่วงจุดเดือดของมาตรฐาน ASTM D 86

อย่างไรก็ตาม ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมจะต้องมีการศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตและปัญหาด้านการตลาดอย่างละเอียดมากขึ้น

### บรรณานุกรม

ปราโมทย์ ไชยเวช. 2537. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สุนทรออฟเซท

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.

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.

Ley, Bede B. 1996. "Solvent Substitution in jet engine maintenance", Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition 1996.

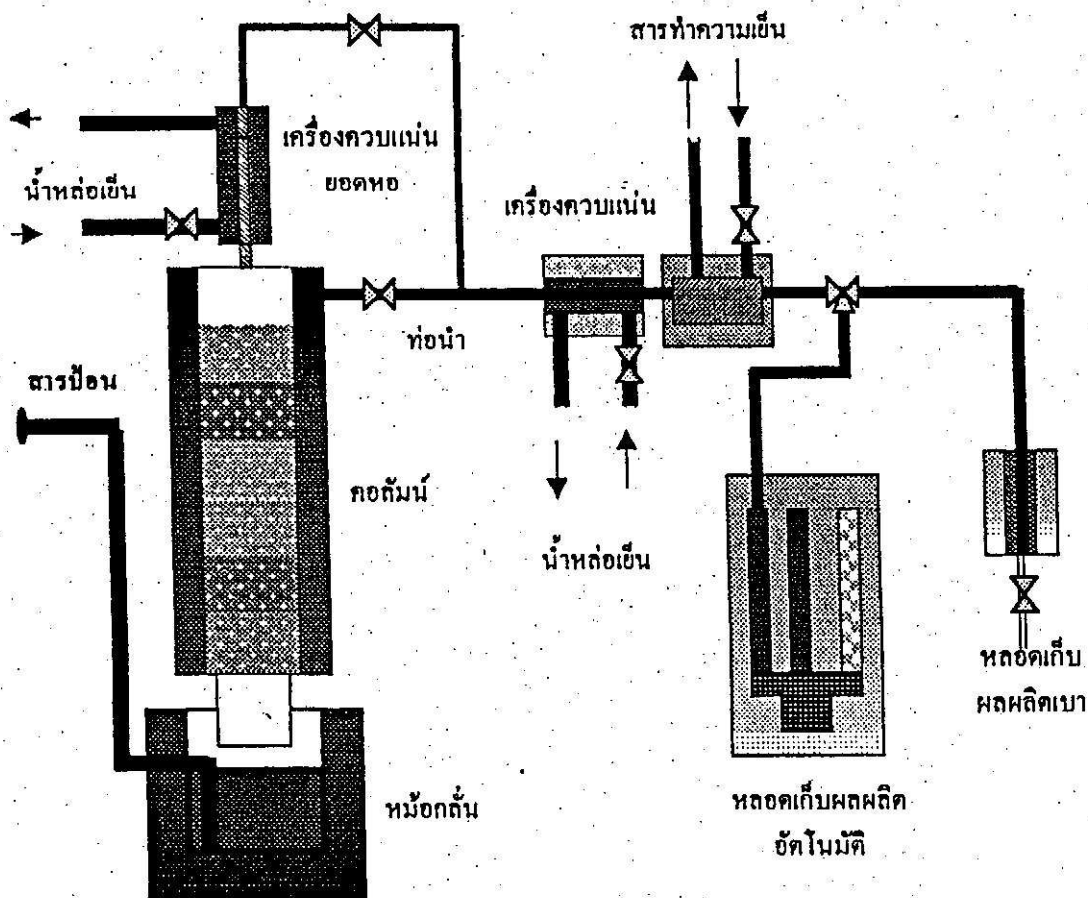
Mahay, A. et al., 1992. "Two-stage hydroprocessing of synthetic crude gas oil", Fuel Processing Technology. 30, 33-45.

- 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. 5<sup>th</sup> 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.
- Reid, Robert C. ; Prausnitz, John M. and Poling, Bruce E. 1987 The Properties of Gases & Liquids. 4<sup>th</sup> ed. New York ; McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS
- Sadeghbeigi, Rese. 1995. Fluid Catalytic Cracking Handbook. Texas ; Gulf Publishing Company.
- Sequeira, Avilino. 1994. Lubricant Base Oil and wax Processing.  
New York : Marcel Dekker, Inc.
- 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
- 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



รูปที่ ก.1 เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง

เครื่องกลั่น TBP ได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 2892 (standard test method for distillation of petroleum D 2892) มีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ ก.1 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังนี้

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

ท้ายใช้สำหรับป้อนวัตถุดิบการกลั่นและยังใช้สำหรับวัดความดันลดของการกลั่น สามารถรับสารป้อนได้ 5 - 10 ลิตร

2) เตาเผา (furnace) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น โดยเตาเผาจะคลุมอยู่ภายนอกหม้อกลั่นในลักษณะที่เป็นแจ็กเก็ต (jacket) แจ็กเก็ตนี้ประกอบด้วยขดลวดความร้อน 2 ชุด ชุดหนึ่งจะอยู่ที่ใต้หม้อกลั่นและอีกชุดจะอยู่ด้านข้างรอบหม้อกลั่น โดยขดลวดทั้ง 2 ชุดนี้จะเชื่อมต่อกันด้วยวงจรไฟฟ้าแบบขนาน สามารถควบคุมการให้ความร้อนได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (automatic control) และควบคุมด้วยมือ (manual control) ในกรณีที่ควบคุมแบบอัตโนมัติจะให้ความดันลดที่วัดระหว่างหม้อกลั่นและส่วนบนของคอลัมน์เป็นค่าควบคุม นั่นคือเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงอัตราการกลั่นเพิ่มขึ้นจึงต้องลดอัตราการกลั่นลงโดยการลดร้อยละการให้ความร้อนลง ร้อยละการให้ความร้อนหมายถึงปริมาณการให้ความร้อนของเตาเผา เมื่อควบคุมการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 100 หมายถึงเครื่องให้ความร้อนจะเดินเครื่องตลอดเวลา ส่วนเมื่อควบคุมการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 75 หมายถึงในช่วงเวลาหนึ่งเช่น 1 นาที เตาเผาจะเดินเครื่อง 45 วินาที และจะหยุดการเดินเครื่อง 15 วินาที

สำหรับการควบคุมการให้ความร้อนด้วยมือ เป็นการปรับปริมาณร้อยละการให้ความร้อนโดยผู้ที่ทำการควบคุม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราการกลั่นหรือความดันลดของผู้ควบคุม หรืออาจจะทำการควบคุมให้ร้อยละการให้ความร้อนคงที่ตลอดกระบวนการกลั่นก็ได้

หม้อกลั่นมีตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ติดตั้งอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิภายในส่วนล่างของหม้อกลั่น และอีกชุดหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิของเตาเผา คอลัมน์โดยจะเรียกค่าของอุณหภูมิทั้งสองที่วัดได้ว่า 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 มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเป็น 50 มิลลิเมตร บรรจุด้วยวัสดุบรรจุ (packing) แบบเซมิริง (semi-ring) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นสแตนเลสสตีล (stainless steel) มีผิวที่ขรุขระและมีขนาดเล็ก มีวนเป็นตัวอักษรจีใหญ่ โดยคอลัมน์การกลั่นนี้จะเชื่อมต่อกับหม้อกลั่นด้วยหน้าแปลน ภายในคอลัมน์มีชุดวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลอยู่ 3 ชุดสำหรับวัดอุณหภูมิที่ใจกลางของคอลัมน์ 3 ส่วนคือ ส่วนบนของคอลัมน์บริเวณที่ไอไหลออกไปสู่ท่อไอ ส่วนกลาง และส่วนล่างของคอลัมน์ ซึ่งจะเรียกค่าของอุณหภูมิเหล่านี้ว่า T1 T2 และ T3 ตามลำดับ

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

7) เครื่องควบแน่นยอดคอลัมน์ (top condenser) ทำหน้าที่รับไอจากคอลัมน์และเกิดการควบแน่นกลายเป็นรีฟลักซ์ไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์ 5 ส่วน ส่งออกไปยังท่อंनाไอ 1 ส่วน การแบ่งการไหลในลักษณะเช่นนี้ทำได้โดยติดตั้งท่อที่ส่วนล่างของเครื่องควบแน่นโดยปลายท่อมูลักษณะเป็นแฉก (slot) มีทั้งหมด 5 แฉก ของเหลวที่เกิดจากการควบแน่นจะไหลย้อนกลับลงมาตามผิวภายในเครื่องควบแน่น เมื่อของเหลวไหลลงสู่ปลายท่อจะทำให้ของเหลวถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยของเหลว 1 ส่วนจะส่งไปยังท่อंनाไอ และอีก 4 ส่วนจะไหลกลับมายังคอลัมน์ นอกจากของเหลวทั้ง 5 ส่วนนี้แล้วจะมีของเหลวอีก 1 ส่วนที่ไหลลงมาจากส่วนกลางของเครื่องควบแน่น จากลักษณะการแบ่งของเหลวที่กล่าวถึงนี้จะทำให้ได้อัตราส่วนรีฟลักซ์ (reflux ratio) เป็น 5 : 1 นั่นเอง

8) ท่อंना (conduct tube) ส่วนของไอและของเหลวที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ การกลั่นจะผ่านเข้าสู่ท่อंनाเพื่อที่จะส่งต่อไปยังหน่วยเก็บผลผลิต โดยท่อंनाนี้จะติดตั้งชุดเครื่องควบแน่น 2 ชุดเพื่อทำการควบแน่นน้ำมันที่ยังคงมีสถานะเป็นไอและลดอุณหภูมิของเหลวลง เครื่องควบแน่นชุดแรกจะใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวดึงความร้อน ส่วนเครื่องควบแน่นชุดที่สองจะใช้สารตัวกลางทำความเย็นซึ่งได้มาจากเครื่องทำความเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับกรณีทำการกลั่นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของแว็กซ์ (wax) ผสมอยู่ในปริมาณมาก อาจจะมีแว็กซ์บางส่วนเกาะติดค้างอยู่ภายในท่อंनाไออันเนื่องจากได้รับความเย็นจากเครื่องควบแน่นจนอาจจะทำให้ท่อंनाตันได้ จึงมีการติดตั้งชุดให้ความร้อนควบคู่กับเครื่องควบแน่นชุดที่สองเพื่อให้ความร้อนแก่แว็กซ์จนทำให้แว็กซ์หลอมละลายและไหลออกมา

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

10) หน่วยเก็บผลผลิตเบา (glass collector) ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ น้ำมันที่กลั่นได้ ณ อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปเก็บในหน่วยเก็บผลผลิตเบา โดยจะมีสารตัวกลางทำความสะอาดจากเครื่องทำความสะอาดหล่อเย็นอยู่โดยรอบ 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 เมกะปาสกาล สำหรับลดอุณหภูมิของคอลัมน์

13) ท่อน้ำ

14) เครื่องทำความเย็น (refrigerator) โดยให้ความเย็นแก่ตัวกลางทำความเย็น ได้ถึงอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส

15) ระบบควบคุม (control system) อุณหภูมิของการกลั่นจะถูกควบคุมหรือวัดค่าโดยเครื่องควบคุมเวสต์ (west controllers) ซึ่งเครื่องควบคุมเวสต์สามารถกำหนดการควบคุมให้เป็นที่ทั้งแบบอัตโนมัติและควบคุมด้วยมือ ในขณะที่เครื่องจ่ายกำลังสำหรับการให้ความร้อนจะควบคุมโดยเครื่องควบคุม PLC (simatic S7-200 programmable logical controller) ซึ่งจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมทั้งสอง

16) เครื่องควบคุมเวสต์ (อ้างอิงจากเอกสารแนะนำเครื่องรุ่นเวสต์ 8000 และ 8100 1/8 - DIN) เป็นเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถมาก โดยสามารถทำการปรับค่า PID ได้ด้วยตัวเอง (self tuning) สามารถกำหนดการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ แบบควบคุมด้วยมือ และเป็นแบบแร่มพ์ (ramp mode) ก็ได้ ซึ่งจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยใช้ RS 485 เครื่องควบคุมทุกตัวจะมีที่อยู่ (address) เฉพาะตัวสำหรับประโยชน์ในการเชื่อมต่อสื่อสาร การป้อนสัญญาณขาเข้า (input) สามารถทำได้ที่เครื่องควบคุมโดยการเปลี่ยนจัมเปอร์ (jumper) หรือการเปลี่ยนซอฟต์แวร์ (software) แต่สัญญาณขาออก (output) จะเป็นเฉพาะที่เลือกไว้

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

การควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ คอลัมน์การกลั่นมีฉนวนทางความร้อนติดตั้งอยู่ 2 ตัว มีหน้าที่คอยควบคุมอุณหภูมิภายนอกของคอลัมน์ ซึ่งควบคุมการให้ความร้อนโดยเครื่องควบคุมเวสต์ ค่าอุณหภูมิเหล่านี้จะถูกควบคุมตามอุณหภูมิที่ส่วนกลางของคอลัมน์ แต่เนื่อง

จากมีความล่าช้าในลูป (loop) ของการควบคุมอันเกิดจากแฉีกเก็ตรอบคอตัมน์จึงทำให้การควบคุมทำได้ยาก ที่จุดเริ่มต้นของการกลั่น คอตัมน์จะถูกอุ่นเครื่องก่อนโดยกำหนดอุณหภูมิ T6 ให้เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และกำหนดอุณหภูมิ T5 ให้เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ T1 สูงขึ้นจึงกำหนดเครื่องควบคุมเวสต์ทั้ง 2 ชุดให้เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้การควบคุมอุณหภูมิด้วยค่า PID คอมพิวเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าควบคุมสัญญาณขาออกนี้บ่อยนัก โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อความต่างสัมบูรณ์ของค่าจากการคำนวณต่างจากค่าสัญญาณขาออกมากกว่าร้อยละ 3

18) หน่วยคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการกลั่นทั้งหมด ซึ่งการเชื่อมต่อสื่อสารโดย 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 ชั้นนอตปิดช่องเปิดทุกช่องของหม้อกลั่นให้แน่นเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊สสู่ภายนอก

1.2) ขันเลื่อนยกเตาเผาขึ้น ให้เข้าระดับกับหม้อกลั่นและล็อกให้แน่นพอสมควร เพื่อป้องกันการเลื่อนไถลลงในระหว่างทำการกลั่น

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

1.4) เดินเครื่องอ่างลดยุณหภูมิก่อนทำการกลั่นครึ่งชั่วโมง เพื่อให้ตัวกลางทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 0°C จึงจะเริ่มทำการกลั่นได้ เพื่อให้การควบแน่นส่วนกลั่นเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์

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

1.6) เปิดน้ำหล่อเย็นให้ไหลเข้าเครื่องควบแน่นที่ส่วนบนของคอลัมน์และท่อ นำส่วนกลั่น

### 2. ขั้นตอนการกลั่น

2.1) กดปุ่ม “start” ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

2.2) เตาเผาจะเริ่มทำงาน โดยให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น ในการควบคุมการทำงานของเตาเผาจะทำได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยมือ (Manual control) สำหรับการควบคุมด้วยมือนั้นจะทำได้โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนในรูปร้อยละของความ สามารถในการให้ความร้อนทั้งหมดของเตาเผา ส่วนการควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นจะสามารถควบคุมความดันลดยุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นให้มีค่าคงที่ โดยการปรับเพิ่มหรือลดอัตราการให้ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมแบบอัตโนมัติ

2.3) เมื่อให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นไประยะหนึ่งแนฟทาจะเริ่มเดือดและระเหย ความดันลดยุณหภูมิ (pressure drop) ภายในคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิภายในของ

ยอดคอลัมน์หรือ 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) ในระหว่างดำเนินการกลั่น อุณหภูมิ T1 จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิจุด เดือดของส่วนกลั่นและความดันลดจะค่อยๆ สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ทำการหาอัตราการกลั่น โดย การจับเวลาและวัดปริมาณของส่วนกลั่นในหลอดเก็บ

2.6) เมื่อทำการกลั่นไปจนน้ำมันในหม้อกลั่นเริ่มหมด จะสังเกตเห็นว่าความดัน ลดค่อยๆ ลดต่ำลง และจะลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อน้ำมันในหม้อกลั่นหมด ที่สภาวะนี้ให้หยุดเดิน เครื่องกลั่น โดยกดปุ่ม “end” ซึ่งจะส่งผลให้เตาเผาหยุดการทำงาน

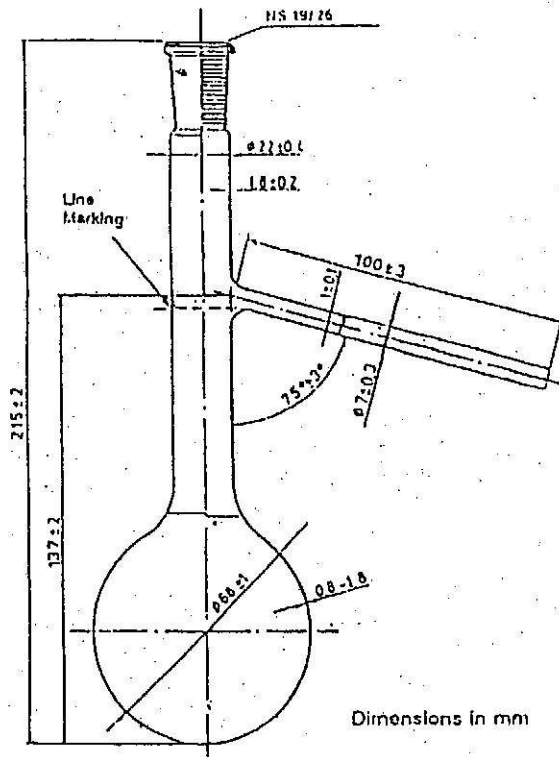
2.7) เก็บผลผลิตการกลั่น โดยขันเลื่อนหน่วยเก็บผลผลิตลง ทำการชั่งและบันทึก น้ำหนักของส่วนกลั่นในแต่ละหลอด แล้วนำไปเขียนกราฟการกลั่นด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิการกลั่นและร้อยละผลได้ของส่วนกลั่นเทียบกับสารป้อน

ภาคผนวก ข. เครื่องทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ASTM D86

### ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1) ขวดกลั่น เป็นขวดใส่สารที่ต้องการกลั่น โดยให้ความร้อนจากส่วนก้นของขวด เมื่อทำการกลั่นจะมีไอเกิดขึ้น ไอเหล่านี้จะไหลออกจากขวดกลั่นทางท่อนำไอ ตามรูปที่ ข.1



รูปที่ 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) กระจกบอกตวงจะต้องขีดบอกระดับที่ 5 มิลลิลิตร และเพิ่มทีละ 1 มิลลิลิตรสำหรับช่วงวัด 90 ถึง 100 มิลลิลิตร ใช้สำหรับวัดปริมาตรของสารตัวอย่างให้ได้ 100 มิลลิลิตร

7) ทอร์โมมิเตอร์ชนิด 7C ติดตั้งเข้ากับขวดกลั่นเพื่ออ่านอุณหภูมิการกลั่น

8) นาฬิกาจับเวลา ใช้สำหรับตรวจวัดอัตราการกลั่น โดยการจับเวลาเมื่อปริมาตรของส่วนกลั่นในกระจกบอกตวงเพิ่มขึ้น 1 หรือ 2 มิลลิลิตร แล้วทำการคำนวณหาอัตราการกลั่น

9) ตัวรองรับมุมเอียง (receiver deflector) ใช้สำหรับรองรับหยดของส่วนกลั่นที่ผ่านการควบแน่น โดยส่วนกลั่นจะไหลลงตามมุมเอียงของตัวรองรับไปยังผิวภายในกระจกบอกตวง

10) เศษกระเบื้อง หรือ boiling ship ใช้เป็นตัวช่วยให้มีการกระจายความร้อนที่ก้นขวดกลั่นอย่างสม่ำเสมอและป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดเกิดขึ้นอย่างรุนแรง

11) เทปกาว ใช้สำหรับปิดปากกระจกบอกตวงในระหว่างการกลั่น เพื่อป้องกันการสูญเสียส่วนกลั่นจากการระเหย

## ข.2 วิธีทดสอบการกลั่นตามมาตรฐานการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. กำหนดกลุ่ม (group) ของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบตามคุณสมบัติเฉพาะซึ่งแสดงในตารางที่ ข.2 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 การเตรียมอุปกรณ์การทดสอบ และควบคุมสถานะในระหว่างขั้นตอนการทดสอบตามค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ ข.2

3. เติมสารทำความเย็นในอ่างทำความเย็น โดยให้ระดับของเหลวในอ่างทำความเย็นอยู่เหนือจุดสูงสุดของท่อควบแน่น บางครั้งอาจจำเป็นต้องทำให้มีการไหลหมุนเวียน หรือมีการกววนสารทำความเย็นเพื่อทำให้อุณหภูมิในอ่างนี้คงตัว

4. ควบคุมให้กระบอกดวงมีอุณหภูมิคงที่ 13-18 องศาเซลเซียส โดยการจุ่มกระบอกดวงลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และให้ระดับของเหลวในอ่างอยู่สูงกว่าหรือเท่ากับระดับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

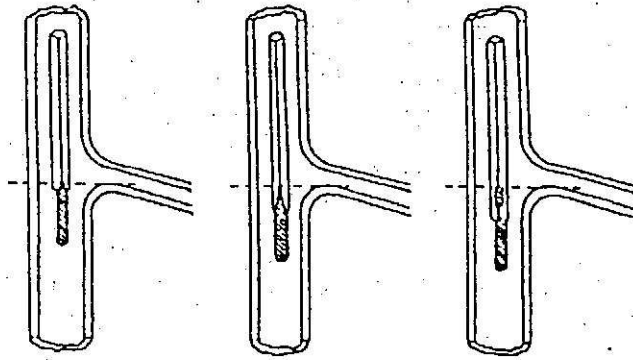
5. ดวงสารตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกดวง ทำการเทสารตัวอย่างใส่ขวดกลั่นจนหมด ในระหว่างการเทสารจะต้องระวังไม่ให้ของเหลวไหลผ่าน ไปยังท่อ นำไอ (vapor tube) ออกมาภายนอกโดยการวางขวดกลั่นในแนวเอียงและปลายท่อนำไอขึ้นด้านบน เติมเศษกระเบื้อง ลงในขวดกลั่นเพื่อช่วยให้มีการกระจายความร้อนที่ก้นขวดกลั่นอย่างสม่ำเสมอและไม่ให้เกิดการเดือดเกิดขึ้นอย่างรุนแรง

2.6 ยึดเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับปากของขวดกลั่นด้วยจุกยางให้แน่น โดยให้ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ที่กึ่งกลางของคอขวด และให้จุดสูงสุดของกระเปาะอยู่ที่ระดับขอบล่างของจุดต่อระหว่างท่อนำไอและขวดกลั่น ดังแสดงได้ตามรูปที่ ข.1

## ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการควบคุมการทดสอบ

การเก็บสารตัวอย่าง	
- อุณหภูมิของขวดตัวอย่าง,	0-10 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของการเก็บสารตัวอย่าง,	0-10 องศาเซลเซียส
การเตรียมอุปกรณ์	
- ขนาดขวดกลั่น,	125 มิลลิลิตร
- ASTM เทอร์โมมิเตอร์	7C
- แผ่นยัดขวดกลั่น	B
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องยัด	38 มิลลิเมตร
อุณหภูมิขณะเริ่มทดสอบ	
- ขวดกลั่นและเทอร์โมมิเตอร์	13-18 องศาเซลเซียส
- กระจกดวง	13-18 องศาเซลเซียส
สถานะในระหว่างขั้นตอนการทดสอบ	
- อุณหภูมิของอ่างทำความเย็น,	0-1 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของอ่างรอบกระจกดวง,	13-18 องศาเซลเซียส
- ช่วงเวลาการให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดเริ่มต้น	5-10 นาที
- เวลาตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้นจนได้ส่วนกลั่นร้อยละ 5	60-75 วินาที
- อัตราการควบแน่นตั้งแต่มีส่วนกลั่นร้อยละ 5 จนมีน้ำมันเหลือค้างในขวดกลั่น 5 มิลลิลิตร	4-5 มิลลิลิตร/นาที
- ช่วงเวลาจากที่มีน้ำมันเหลือค้างในขวดกลั่น 5 มิลลิลิตรจนถึงจุดสุดท้าย	3-5 นาที

7. ยึดท่อนำไอของขวดกลั่นกับท่อควบแน่นโดยใช้จุกยาง ปรับให้ขวดกลั่นอยู่ในแนวตั้งและให้ท่อนำไอยื่นเข้าไปในท่อควบแน่นเป็นระยะ 25 ถึง 50 มิลลิเมตร (1 ถึง 2 นิ้ว) ยกและปรับแผ่นยัดขวดกลั่นเพื่อรองรับส่วนล่างของขวดกลั่น



รูปที่ ข.2 ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์ในขวดกลั่น

8. วางกระบอกตวงที่ใช้ดวงสารป้อนในตอนต้นลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยไม่ต้องทำให้กระบอกตวงแห้ง แล้วนำกระบอกตวงนี้ไปวางสวมเข้าที่ปลายล่างของท่อควบแน่น ให้ปลายล่างของท่อควบแน่นอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระบอกตวง และให้ระยะช่วงปลายท่อขึ้นลงไปนในกระบอกตวงประมาณ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) โดยที่ปลายท่อต้องอยู่ไม่ต่ำกว่าระดับปริมาตร 100 มิลลิลิตร วางตัวรองรับส่วนกลั่นมุมเอียง (receiver deflector) เข้าที่ขอบของกระบอกตวง ปิดปากกระบอกตวงให้สนิทด้วยกระดาษขับหรือวัสดุที่มีลักษณะเช่นเดียวกัน

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

10. เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจากอุณหภูมิจุดเริ่มต้น จนได้ส่วนกลั่นเป็นร้อยละ 5 เป็น 60-75 วินาที

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

12. ในระหว่างการกลั่นที่อุณหภูมิจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย ทำการสังเกตและบันทึกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณและการรายงานผลการทดสอบตามหัวข้อที่ต้องการ ข้อมูลจากการสังเกตได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ตามร้อยละของส่วนกลั่นที่กำหนดไว้ หรือค่าร้อยละของส่วนกลั่นที่อ่านได้ตามค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ หรือบันทึกค่าทั้งสองแบบ ในการบันทึกปริมาณในกระบอกตวงจะต้องบันทึกอย่างละเอียดจนถึง 0.5 หรือ 0.1 มิลลิลิตร และค่า

อุณหภูมิที่อ่านได้จะต้องละเอียดถึง 0.5 หรือ 0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้วัด

13. เมื่อมีขงเหลวเหลือค้างอยู่ในขวดกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตร ปรับการให้ความร้อนจนของเหลวในขวดกลั่นหมดหรือถึงจุดสุดท้ายของการกลั่น โดยใช้เวลา 3 ถึง 5 นาที

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

15. หลังจากหยุดการให้ความร้อนและรอนขวดกลั่นเย็นจึงเทปริมาตรที่เหลือในขวดกลั่นลงในกระบอกตวงขนาด 5 มิลลิลิตรจนสังเกตเห็นว่าปริมาตรของเหลวในกระบอกตวงไม่เพิ่มขึ้นอีก อ่านปริมาตรและบันทึก

16. บวกปริมาตรของส่วนกลั่นและส่วนเหลือค้าง จะได้เป็นร้อยละการได้กลับคืนทั้งหมด นำค่านี้มาหักลบกับ 100 จะได้เป็นร้อยละการสูญเสีย



**ภาคผนวก ก. การตรวจสอบสมบัติอื่นๆ ตามค่ากำหนดของตัวทำละลาย**

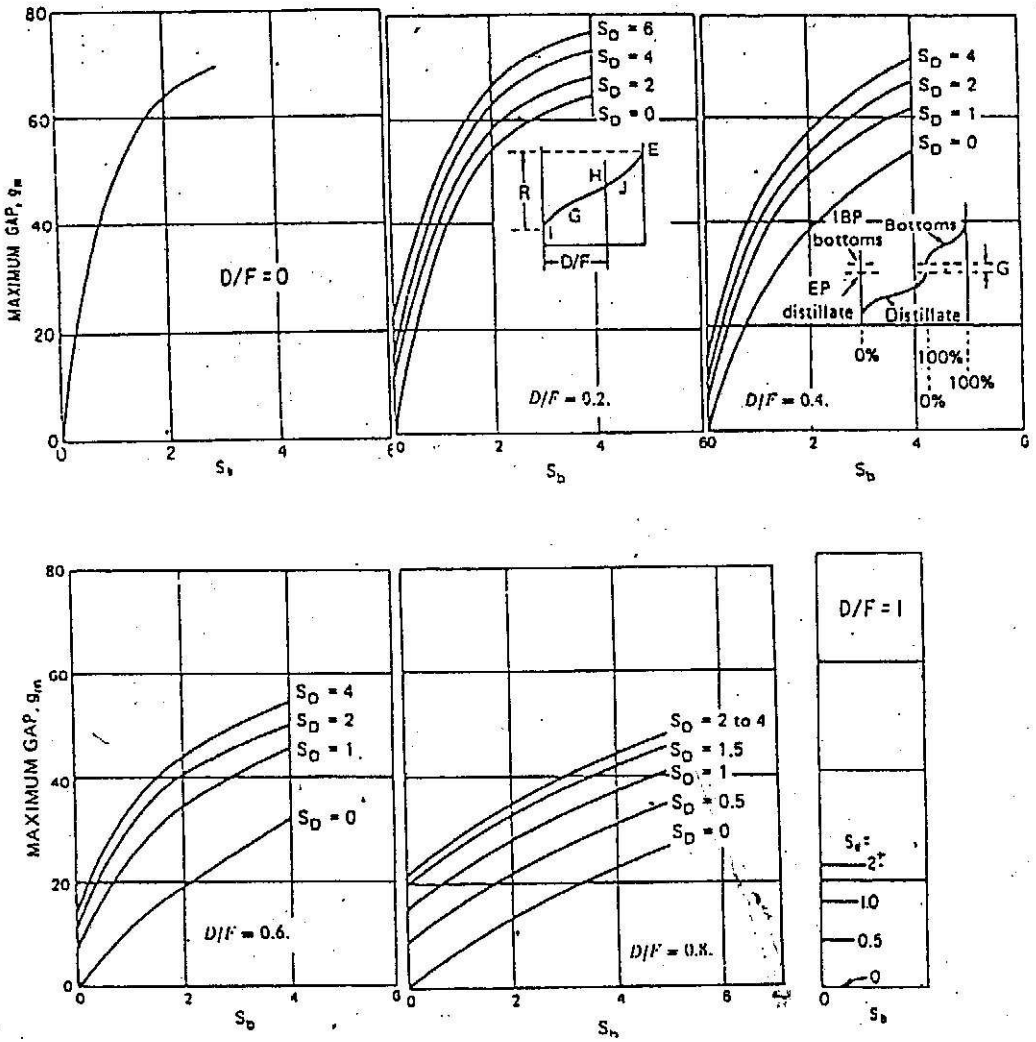
1. การตรวจสอบความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ทำได้โดยใช้พิคโนมิเตอร์ ซึ่งการตรวจสอบจะทำที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

2. สมบัติอื่นๆ นอกจากช่วงอุณหภูมิจุดเดือดและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ตามค่ากำหนดในตาราง ก.1 ไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตนเองที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงต้องขอความอนุเคราะห์ไปยังศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และหน่วยงานภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตตัวทำละลาย เพื่อทำการตรวจสอบหาสมบัติของผลิตภัณฑ์และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่ากำหนดในตาราง

**ตาราง ก.1 ค่ากำหนดของสมบัติของผลิตภัณฑ์**

ผลิตภัณฑ์	สมบัติ	หน่วย	ค่ากำหนด	วิธีการทดสอบ
ตัวทำละลายยาง	Distillation range	°C	66-120	ASTM D 86
	Density	kg/l	0.685-0.765	ASTM D 4052
	Colour	Saybolt	+25 Min	ASTM D 156
	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 D 1353
	Aniline point	Deg. C	52.4	ASTM D 611
	Doctor test	-	Negative	ASTM D 235
	Naphthanics content	%wt	53.2	G.C.
Flash point	Deg. C	<0	IP17C	
ตัวผสมสารเคลือบและสี (varnish maker & painter)	Distillation range	°C	119-143	ASTM D 86
	Autoignition temp	Deg. C	232	-
	Flash point	Deg. C	-6.6	-
	Pour point	Deg. C	-56	-

ภาคผนวก ง. การหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา



รูปที่ ง.1 กราฟการหาค่าช่องว่างสูงสุดของส่วนกลั่นแนฟทา