การศึกษาความดันในถังต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1

A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN

นางสาวนภาลัย ไกรเพชร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาความดันในถังต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1

A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN

นางสาวนภาลัย ไกรเพชร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN

MISS NAPALAI KRAIPETH

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาความดันในถังต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1 A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนภาลัย ไกรเพชร
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กาจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาหร่าย เล็กชอุ่ม	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	
อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความดันในถังต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1

A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN

ชื่อนักศึกษา นางสาวนภาลัย ไกรเพชร

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กาจปัญญา สุวรรณสุโข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาความดันในถังต้มที่ส่งผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1 ซึ่งทำการศึกษาโดยการกำหนดความดันเข้าหอกลั่นที่ค่าความดันทั้งหมด 5 ค่า คือ 0.2 bar, 0.4 bar, 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar เพื่อหาช่วงอุณหภูมิภายในหอกลั่นและระยะเวลาในการกลั่นตัวของเอทานอล พบว่า ช่วงอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวอยู่ที่ 76-79 องศาเซลเซียส โดยที่ความดัน 1.0 bar ระยะเวลาที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวจะเร็วกว่าที่ความดันอื่นๆ ส่วนที่ความดัน 0.2 bar และ 0.4 bar เอทานอลจะไม่เกิดการกลั่นตัวออกมาเลย และเอทานอลที่ได้จากการกลั่นจะมีค่าความเข้มข้นที่ความดัน 1.0 bar, 0.8 bar และ 0.6 bar คือ 93.5%, 93.0% และ 83.8% ตามลำดับ

คำสำคัญ : ความดัน, การกลั่นตัว, อุณหภูมิ, การควบแน่น

Title	A STUDY OF PRESSURE IN BOILER EFFECTS TO CONDENSED ETHANOL OF APL-1 DISTILLATION COLUMN
Students	Miss Napalai Kraipeth
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Advisor	Kajpanya Suwansukho

ABSTRACT

This special project is studied pressure effects in boiler for condensed ethanol in distillation column of APL-1 model. The study was conducted to determine the pressure as follows 0.2 bar, 0.4 bar, 0.6 bar, 0.8 bar and 1.0 bar to find condensed temperature and time of ethanol distillation. The results show that condensed temperatures are between 76-79 $^{\circ}$C which the pressure, 1.0 bar, is faster distillation time than the other pressure. We found that the pressure of, 0.2 bar and 0.4 bar, can not condensed. And Finally, the concentration of condensed ethanol at the pressure 1.0 bar, 0.8 bar and 0.6 bar are 93.5%, 93.0% and 83.8%, respectively.

Keywords : Pressure, Distillation, Temperature, condensation

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความเมตตาอย่างยิ่งจาก อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข ที่ช่วยให้คำปรึกษา ช่วยแนะนำแนวทางในการทำวิจัย และรวมไปถึงการให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำในครั้งนี้ ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความเมตตาและความอนุเคราะห์ของท่านเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในห้องเรียนและนอกห้องเรียน เพื่อนำไปใช้ในการดำเนินชีวิตต่อไป

ผู้จัดทำขอขอบคุณพี่ๆปริญญาโทที่ให้ความกรุณาคอยช่วยเหลือ และแนะนำรวมไปถึงการให้คำปรึกษาในการทำวิจัยด้วย และขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเช่นกัน สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงบุคคลผู้ที่ให้ความปรารถนาดียิ่ง คอยช่วยเหลือผู้จัดทำในการทำวิจัยและปริญญานิพนธ์ทุกๆ ท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวนภาลัย ไกรเพชร

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของโครงงานพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การกลั่น (Distillation)	3
2.1.1 ประเภทการกลั่น	3
2.2 สมดุลของก๊าซและของเหลว	4
2.2.1 สมดุลของก๊าซและของเหลวภายใต้ความดันคงที่ในระบบที่มีสารองค์ประกอบ 2 ชนิด	4
2.2.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ของสมดุลของก๊าซและของเหลว	5
2.3 เคมีเชิงฟิสิกส์และเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับการแยกสาร (Physical Chemistry and Thermodynamics of Seperation Operations)	6
2.3.1 สมดุลพลังงาน สมดุลเอนโทรปี และสมดุลอื่นๆที่สำคัญ (Energy, Entropy and Availability Balances)	6
2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล	7
2.4.1 ความดัน	7
2.4.2 อุณหภูมิ	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 กระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์ 10

2.6 ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration of solution) 13

2.6.2 การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น หรือ การเจือจางสารละลาย 13

2.7 การหักเหของแสง (Refraction of Light) 14

2.7.1 สิ่งควรทราบเกี่ยวกับการหักเหของแสง 14

2.7.2 กฎการหักเหของแสง 14

2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของสารละลาย 15

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีทดลอง

3.1 วัดค่าความเข้มข้นของเอทานอลโดยการสอบเทียบกับ Calibration Curve 16

3.2 การติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบการกลั่นเอทานอล 17

3.2.1 อุปกรณ์การวัด 17

3.2.2 สารละลายที่ใช้ 17

3.3 บันทึกค่าอุณหภูมิภายในหอกลั่นเอทานอล 18

3.3.2 เงื่อนไขการทดลอง 19

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 Calibration Curve ของเอทานอล 20

4.2 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลที่ได้จากการกลั่น 21

4.3 เวลา(นาที) และอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัวที่ค่าความดันต่างๆ 22

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 26

5.2 ข้อเสนอแนะ 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
3.1 ความเข้มข้นโดยปริมาตรของเอทานอลสำหรับทำ Calibration Curve	16
3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอทานอลบริสุทธิ์	18
3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกลั่นบริสุทธิ์	18
4.1 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลและความเข้มข้นที่ได้จากการวัดที่ความเข้มข้นต่างๆ	20
4.2 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลและความเข้มข้นที่ได้จากการกลั่นที่ความดันต่างๆ	22
4.3 เวลา (นาที) และอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวที่ความดัน 0.2 บาร์ และ 0.4 บาร์	22
4.4 เวลา (นาที) และอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวที่ความดัน 0.6 บาร์, 0.8 บาร์ และ 1.0 บาร์	24

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการกลั่นแบบธรรมดา	3
2.2 หลักการกลั่นลำดับส่วน	4
2.3 รูปแบบที่สำคัญของสมดุลของก๊าซและของเหลวในระบบที่มีสารองค์ประกอบ 2 ชนิด	5
2.4 สายการป้อนที่ไหลเข้าสู่หน่วยแยก และจะถูกแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์	7
2.5 ความดันสมบูรณ์ ความดันเกจ และความดันบรรยากาศ	8
2.6 กระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากสถานะของเหลวมาเป็นไอ	11
2.7 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะในกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำที่ความดันคงที่	11
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิ่มตัวกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ	12
2.9 ปรากฏการณ์การหักเหของแสง	14
2.10 การหักเหของแสงผ่านตัวกลางต่างชนิดกันตามกฎของสเนลล์	15
3.1 ส่วนประกอบของระบบการกลั่นเอทานอล	19
4.1 Calibration Curve ของเอทานอลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น	21
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัว	25

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันสถานการณ์พลังงานของโลกมีการเปลี่ยนแปลงสูงมาก เนื่องจากความต้องการพลังงานมีมากขึ้น แต่กำลังการผลิตมีจำกัด จึงมีการคาดการณ์ว่าโลกในอนาคตข้างหน้า พลังงานหลักที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันคือ น้ำมัน ที่ได้จากฟอสซิลจะหมดไปในอีก 40 ปีข้างหน้า ทำให้หลายประเทศทั่วโลกพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้แหล่งพลังงานต่างๆ เหล่านี้จะสมารถนำมาทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ไม่สามารถนำมาทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้ ดังนั้นผู้เกี่ยวข้องทางด้านพลังงานทั่วโลกจึงพยายามมองหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้ เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนน้ำมันในอนาคต

แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงบางชนิดที่สามารถนำมาทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้และมีความตื่นตัวกันมากในขณะนี้คือ พลังงานจากเอทานอลหรือการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานจากเอทานอลนี้ได้รับความนิยมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในต่างประเทศ ในขณะที่การใช้เอทานอลของไทยยังคงน้อยเนื่องจากความไม่มั่นใจของผู้ใช้รถยนต์ ประกอบกับผู้ใช้รถยนต์บางส่วนได้หันไปติดตั้งเครื่องยนต์เพื่อให้รองรับ LPG/NGV ที่มีราคาถูกกว่า

และก่อนที่จะได้ผลิตภัณฑ์เอทานอลออกมา ก็ต้องมีหอกลั่นเอทานอล ซึ่งการออกแบบหอกลั่นเอทานอลก็ย่อมต้องมีปัจจัย เงื่อนไขและข้อจำกัดโดยเฉพาะของหอกลั่นนั้นๆ ซึ่งเราจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัย ข้อจำกัด และเงื่อนไขในการกลั่นของหอกลั่นนั้นๆ เพื่อจะทำให้หอกลั่นสามารถกลั่นเอทานอลออกมาได้ และสามารถกลั่นเอทานอลออกมาได้ความบริสุทธิ์สูงๆ ซึ่งปัจจัย เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ที่เราศึกษานี้สามารถเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานโดยเฉพาะของหอกลั่น APL-1 เพื่อนำไปปรับปรุงหอกลั่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อให้เข้าใจถึงระบบกระบวนการกลั่นเอทานอล
2. เพื่อทำการศึกษาความดันในหม้อต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ศึกษาถึงความดันในหม้อต้มที่ส่งผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล โดยการกำหนดความดันเข้าหอกลั่นที่ค่าต่างๆ ทำการวัดหาช่วงอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัว

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของโครงงานพิเศษ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน ช่วงที่ 1

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน				
		มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
1	ศึกษาข้อมูลและสภาพปัญหาต่างๆ					
2	ทดสอบและวิเคราะห์กระบวนการกลั่นเอทานอล					
3	จัดหาอุปกรณ์การวัดเพื่อทำการติดตั้ง					

ช่วงที่ 2

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน				
		พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
4	ติดตั้งอุปกรณ์การวัด					
5	ทดสอบการกลั่นพร้อมทำการวัดค่าอุณหภูมิ					
6	จัดทำรูปเล่มรายงาน					

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานพิเศษ

1. ได้ทราบถึงความดันในหม้อต้ม ระยะเวลาและช่วงอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัวของหอกลั่นเอทานอล APL-1
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบกระบวนการกลั่นเอทานอล
3. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับกระบวนการกลั่นเอทานอลไปใช้ในการทำงานจริงได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาความดันในหม้อต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอลมีทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้อ้างอิงในการศึกษาวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

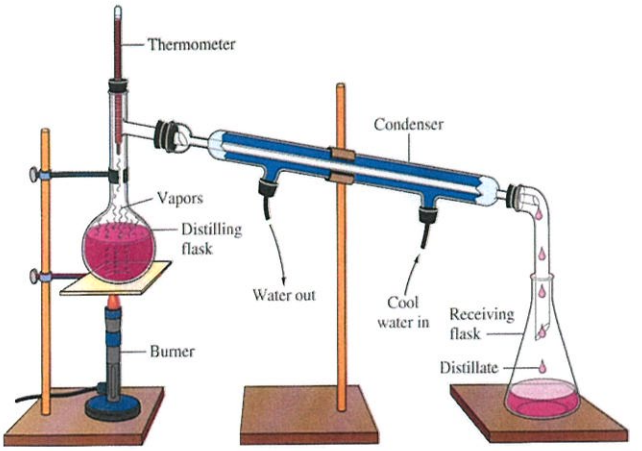
2.1 การกลั่น (Distillation)

การกลั่น หมายถึง การแยกของเหลวผสมที่มีสารองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปโดยใช้หลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้ไม่เท่ากัน ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อให้ความร้อนจนของเหลวผสมกลายเป็นไอบางส่วน แล้วนำไอนั้นไปควบแน่นกลับให้เป็นของเหลว จะได้ของเหลวผสมหลังควบแน่นที่มีส่วนผสมแตกต่างจากของเหลวก่อนการกลั่น ด้วยเหตุนี้การกลั่นจึงสามารถใช้ในการทำให้ของเหลวมีความบริสุทธิ์ขึ้นหรือใช้แยกของเหลวผสมออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ได้

2.1.1 ประเภทการกลั่น

2.1.1.1 การกลั่นแบบธรรมดา (Simple distillation)

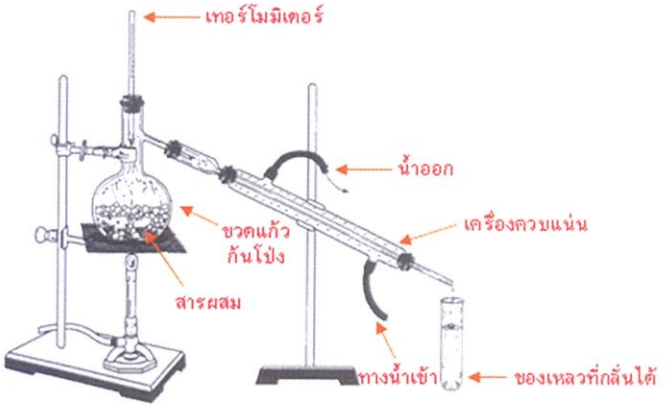
เป็นวิธีการแยกสารผสมให้บริสุทธิ์โดยอาศัยความแตกต่างของความดันไอของสารผสม ซึ่งจะต้องมีจุดเดือดแตกต่างกันพอสมควรจึงจะสามารถแยกสารออกจากกันได้อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นแบบธรรมดาประกอบด้วย ขวดก้นกลม (round bottom flask) หัวกลั่น (distillation head) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) ตัวแปลง (adapter) และเก็บสารที่ได้จากการกลั่นด้วยกระบอกตวง (cylinder)



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการกลั่นแบบธรรมดา

2.1.1.2 การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation)

เป็นวิธีการแยกสารผสมที่สามารถระเหยได้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมีหลักการเช่นเดียวกันกับการกลั่นแบบธรรมดาคือเพื่อต้องการแยกองค์ประกอบในสารละลายให้ออกจากกัน แต่ก็จะมีส่วนที่แตกต่างจากการกลั่นแบบธรรมดาคือการกลั่นแบบกลั่นลำดับส่วนเหมาะสำหรับใช้กลั่นของเหลวที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายที่จุดเดือดต่างกันน้อย ๆ ในขั้นตอนของกระบวนการกลั่นลำดับส่วนจะเป็นการนำไอของแต่ละส่วนไปควบแน่นแล้วนำไปกลั่นซ้ำและควบแน่นไอเรื่อยๆซึ่งเทียบได้กับเป็นการการกลั่นแบบธรรมดาหลาย ๆ ครั้งนั่นเอง ความแตกต่างของการกลั่นลำดับส่วนกับการกลั่นแบบธรรมดาจะอยู่ที่คอลัมน์โดยคอลัมน์ของการกลั่นลำดับส่วนจะมีลักษณะเป็นชั้นซับซ้อนเป็นชั้นๆ ในขณะที่คอลัมน์แบบธรรมดาจะเป็นคอลัมน์ธรรมดาไม่มีความซับซ้อนของคอลัมน์



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการกลั่นลำดับส่วน

2.2 สมดุลของก๊าซและของเหลว

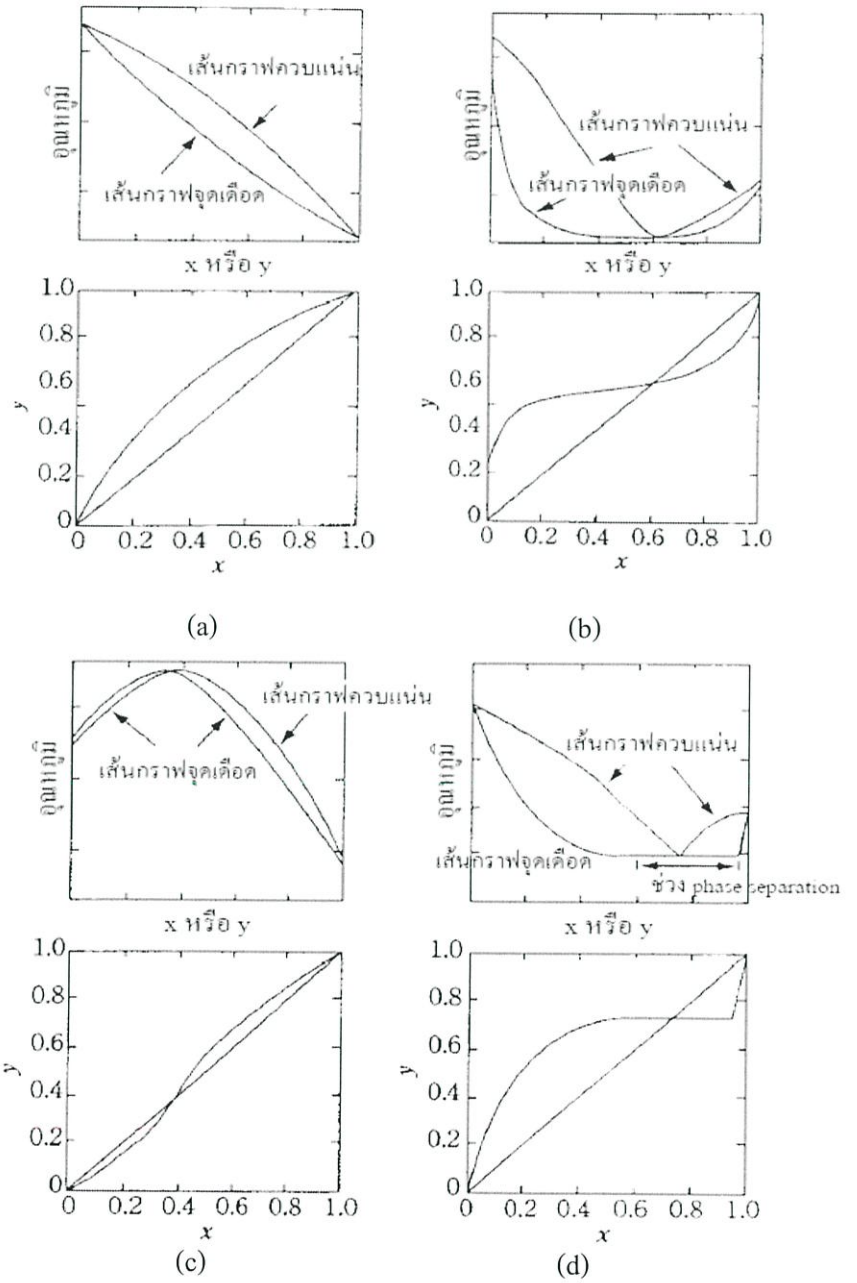
เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวผสมโดยรักษาความดันให้คงที่ค่าหนึ่ง ส่วนผสมของไอระเหยที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะเกิดสมดุลกับส่วนผสมของของเหลวในขณะนั้น ซึ่งจะสามารถหาความสัมพันธ์ทางกายภาพได้ เรียกว่า สมดุลของก๊าซและของเหลวที่ความดันคงที่ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่สุดในการกลั่น

2.2.1 สมดุลของก๊าซและของเหลวภายใต้ความดันคงที่ในระบบที่มีสารองค์ประกอบ 2 ชนิด

สมดุลของก๊าซและของเหลวในระบบที่มีองค์ประกอบ 2 ชนิดภายใต้ความดันคงที่โดยทั่วไปจะแสดงด้วยเส้นกราฟจุดเดือด-เส้นกราฟควบแน่นโดยให้แกนนอนแสดงอัตราส่วนโดยโมลของสารองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่าและให้แกนตั้งแสดงอุณหภูมิและสามารถปรับเป็น

กราฟ x-y (x-y diagram) ได้ ในที่นี้ x = สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่าในสถานะของเหลว และ y = สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่าในสถานะก๊าซ

รูป 2.3 แสดงรูปแบบที่สำคัญของสมดุลของก๊าซและของเหลวในระบบที่มีสารองค์ประกอบ 2 ชนิด โดย แบบ (a) เป็นสมดุลของก๊าซและของเหลวของระบบทั่วไป แบบ (b) และ (c) เป็นระบบที่ทำให้เกิด minimum azeotrope และ maximum azeotrope ตามลำดับ และแบบ (d) เป็นระบบที่ทำให้เกิด phase separation โดยในช่วงที่เส้นกราฟ x - y มีลักษณะเป็นเส้นระดับ จะเกิดสถานะก๊าซกับสถานะของเหลว 2 สถานะ



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบที่สำคัญของสมดุลของก๊าซและของเหลวในระบบที่มีสารองค์ประกอบ 2 ชนิด

2.2.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ของสมดุลของก๊าซและของเหลว

สมดุลของก๊าซและของเหลวสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ 2 รูปแบบดังนี้

ก. ผลบวกของความดันไอ p_i ของแต่ละสารทุกสารจะเท่ากับความดันรวม π (กฎของ Dalton)

$$\pi = p_1 + p_2 + p_3 + .. + p_i \tag{2.1}$$

ข. ความดัน p_i ของไอระเหยสารองค์ประกอบ i จะเท่ากับผลคูณระหว่างความดันไอขององค์ประกอบบริสุทธิ์ $P^o{}_i$ กับสัดส่วนโดยโมลของเหลว x_i (กฎของ Raoult)

สารละลายที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เป็นจริง เรียกว่า สารละลายอุดมคติ

$$p_1 = x_1 P^o{}_1, p_2 = x_1 P^0{}_2, p_3 = x_3 P^o{}_3, \ldots, p_i = x_i P^o{}_i \tag{2.2}$$

โดยในที่นี้ $\sum x_i = 1$ (2.3)

นอกจากนี้จะสามารถคำนวณสัดส่วนโดยโมลของไอระเหย, y_{i} ได้ดังนี้

$$y_i = \frac{P_i}{\pi} \tag{2.4}$$

กฎของเฮนรี่ (Henry's Law)

กฎของเฮนรี่ กล่าวว่า ความดันย่อยของไอของสารที่ระเหยง่ายเหนือสารละลายของมัน ณ อุณหภูมิหนึ่งจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นในสารละลาย

$$p_i = H x_i \tag{2.5}$$

โดยที่ p_i = ความดันย่อยของไอขององค์ประกอบ i เหนือสารละลายนั้น

H = ค่าคงที่ของเฮนรี่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ชนิดของตัวทำละลายและความดัน

x_i = เศษส่วนโมลของส่วนประกอบ i ในสารละลาย

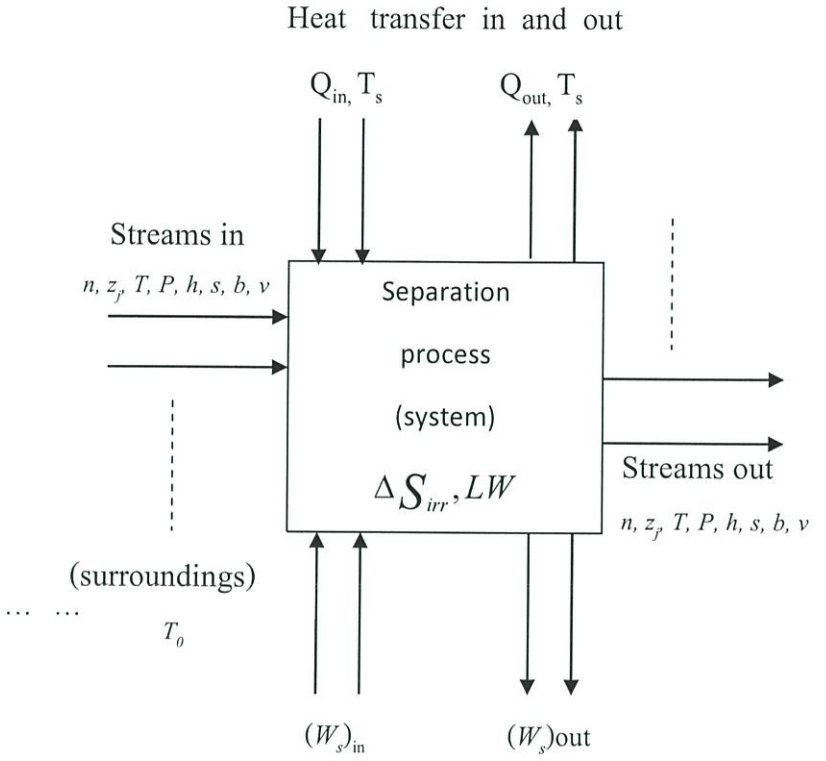
2.3 เคมีเชิงฟิสิกส์และเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับการแยกสาร (Physical Chemistry and Thermodynamics of Seperation Operations)

การออกแบบอุปกรณ์การแยกสาร ต้องอาศัยการคำนวณด้วยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วย คุณสมบัติขององค์ประกอบในระบบทั้งทางด้านกายภาพและสมบัติทางเคมีเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาดังนี้

2.3.1 สมดุลพลังงาน สมดุลเอนโทรปี และสมดุลอื่นๆที่สำคัญ (Energy, Entropy and Availability Balances)

กระบวนการแยกสารในอุตสาหกรรมเคมี ส่วนใหญ่จะมีการทำสมดุลมวลสารสมดุลพลังงาน สมดุลเอนโทรปี และสมดุลอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อใช้ในการออกแบบอุปกรณ์แยกสารไว้เสมอ ซึ่งในกระบวนการแยกสารทั่วไปมักจะอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady-state flow system) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงสายการป้อนที่ไหลเข้าสู่หน่วยแยกและจะถูกแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์ออกมามากมาย ซึ่งจะพบว่าสายที่ป้อนเข้าและสายผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากการแยกในทุกๆสายนั้นจะมีการ

เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากมาย เช่น ด้านพลังงานความร้อน (Q), เอนโทรปี, งาน (W), และอื่นๆ มากมาย



รูปที่ 2.4 แสดงสายการป้อนที่ไหลเข้าสู่หน่วยแยก และจะถูกแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์

เราสามารถทำสมดุลพลังงานและความร้อนตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎข้อที่ 1 เทอร์โมไดนามิกส์ได้ ในเทอมสมดุลพลังงานและสมดุลเอนโทรปี ดังนี้

(Stream enthalpy flows + heat transfer + shaft work)$_{\text{leaving system}}$ - (stream enthalpy flows + heat transfer + shaft work)$_{\text{entering system}}$ = 0 (2.6)

(Stream entropy flows + entropy flows by heat transfer)$_{\text{leaving system}}$ - (stream entropy flows + entropy flows by heat transfer)$_{\text{entering system}}$ = production of entropy by the process (2.7)

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล

2.4.1 ความดัน

โดยนิยามแล้ว ความดันคือแรงที่ของไหลกระทำต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยซึ่งตั้งฉากกับแนวแรงนั้น ความดันมีความหมายเฉพาะในของเหลวและก๊าซ ส่วนในของแข็ง แรงต่อพื้นที่เราเรียกว่าความเค้น (stress) สำหรับของไหลที่อยู่กับที่ ความดันที่จุดจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง โดยความดันจะแปรผันในแนวดิ่งเนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วง ส่วนในแนวระดับนั้นความดันมีค่าคงที่ ความดัน

ของก๊าซที่บรรจุในถังสามารถคิดได้ว่ามีค่าเท่ากันตลอดถัง ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซมีน้ำหนักน้อยมาก จนกระทั่งไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดัน

หน่วยของความดันในระบบ เอส ไอ คือ N/m^2 ซึ่งเรียกชื่อใหม่ว่า ปาสคาล (Pascal;Pa) แต่หน่วยปาสคาลนี้เป็นหน่วยที่เล็ก ส่งผลให้ต้องเขียนตัวเลขหลายหลักสำหรับค่าความดัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้หน่วยที่ใหญ่กว่า คือ กิโลปาสคาล (kPa) หรือ เมกกะปาสคาล (MPa) หน่วยความดันที่นิยมใช้อีกสองหน่วยได้แก่ บาร์ (bars) และบรรยากาศมาตรฐาน โดยที่

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101{,}325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars}$$

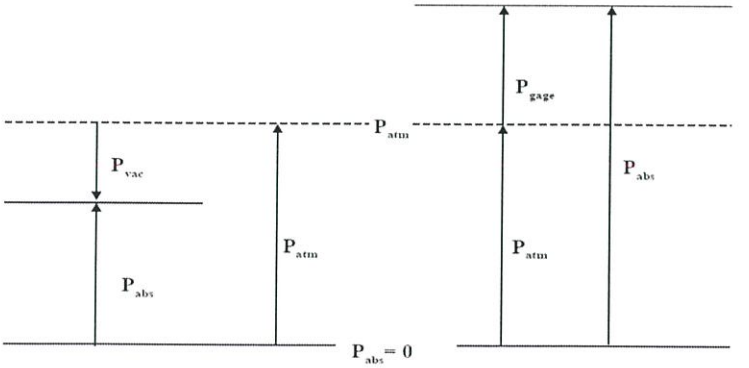
หน่วยความดันในระบบอังกฤษ คือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยที่ 1 atm = 14.696 psi

ความดันที่แท้จริงของระบบคือ ความดันสมบูรณ์ (absolute pressure; P_{abs}) ซึ่งเป็นการวัดค่าความดันเทียบกับสุญญากาศสมบูรณ์ (absolute vacuum) เนื่องจากความดันของของไหลเป็นผลมาจากแรงที่โมเลกุลของไหลพุ่งเข้ากระทบผนัง ดังนั้นที่สุญญากาศสมบูรณ์ ซึ่งไม่มีโมเลกุลอยู่เลยจึงมีค่าความดันเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์วัดความดันต่าง ๆ มักปรับให้อ่านได้เท่ากับศูนย์เมื่อความดันของระบบเท่ากับความดันบรรยากาศเฉพาะตำแหน่ง (local atmosphere pressure; P_{atm}) ดังนั้นความดันที่อ่านได้จึงเป็นค่าที่แตกต่างไปจากค่า P_{atm} ความดันที่อ่านได้จึง เรียกว่าค่าความดันเกจ (gage pressure; P_{gage}) ค่าความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศเรียกว่า ความดันสุญญากาศ (vacuum pressure; P_{vac}) ค่าความดันเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันดังนี้

สำหรับความดันสูงกว่าบรรยากาศ : $$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm} \tag{2.8}$$

สำหรับความดันต่ำกว่าบรรยากาศ : $$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \tag{2.9}$$

สมการทั้งสองรูปนี้สรุปได้ดังรูป 2.5 สมการและตารางต่าง ๆ ทางเทอร์โมไดนามิกส์จะใช้ค่าความดันสมบูรณ์เสมอ ดังนั้นในที่นี้สัญลักษณ์ P จะหมายถึง ค่าความดันสมบูรณ์ (นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น)



รูปที่ 2.5 ความดันสมบูรณ์ ความดันเกจ และความดันบรรยากาศ

2.4.2 อุณหภูมิ

ถึงแม้จะคุ้นเคยว่าอุณหภูมิเป็นตัววัดความรู้สึกร้อน/เย็น แต่การให้นิยามของอุณหภูมิอย่างแน่นอนนั้นเป็นเรื่องที่ยาก นอกจากนั้นแล้วการกำหนดตัวเลขแสดงอุณหภูมิจะใช้เพียงแต่ความรู้สึกเท่านั้นไม่ได้ เพราะผลที่ได้อาจให้ความหมายที่ผิดไป ตัวอย่างเวลาที่สัมผัสกับโลหะจะรู้สึกเย็นกว่าสัมผัสอโลหะ เช่น ไม้ แม้ว่าวัสดุทั้งสองมีค่าอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติหลายชนิดของสารต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในลักษณะที่สามารถคาดหมายได้ เราจึงใช้ช่วยในการวัดอุณหภูมิ เช่นเราใช้การขยายตัวของปรอทตามอุณหภูมิมาสร้างเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น จากประสบการณ์เรารู้ว่าหากนำน้ำร้อนใส่แก้วมาวางไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิตามปกตินำ้ร้อนจะค่อย ๆ เย็นลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศภายในห้อง หรือหากเป็นการนำน้ำเย็นมาวางไว้ในห้องมันก็จะอุ่นขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการถ่ายเทความร้อนจากอากาศมาสู่น้ำเย็น ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่าหากนำวัตถุสองชิ้นซึ่งอุณหภูมิต่างกันสัมผัสกัน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่อุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเดียวกันซึ่ง ณ จุดดังกล่าวจะไม่มีการถ่ายเทความร้อน และกล่าวได้ว่ามีการสมดุลทางความร้อนเกิดขึ้น

กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ (zeroth law of thermodynamics) กล่าวว่าวัตถุสองชิ้นต่างก็เกิดการสมดุลทางความร้อนกับวัตถุที่สาม โดยวัตถุทั้งสองนั้นจะต้องมีการสมดุลทางความร้อนต่อกันและกัน แม้ว่ากฎนี้จะมีความชัดเจนที่ไม่น่าจะเป็นกฎ แต่มันก็เป็นพื้นฐานสำคัญในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งวัตถุที่สามดังกล่าวก็คือเทอร์โมมิเตอร์นั่นเอง และกฎข้อที่ศูนย์นำมาใช้ได้ว่าวัตถุสองชิ้นอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนซึ่งกันและกัน (มีอุณหภูมิเดียวกัน) เมื่อมันสัมผัสกับเทอร์โมมิเตอร์และอ่านค่าได้เท่ากัน

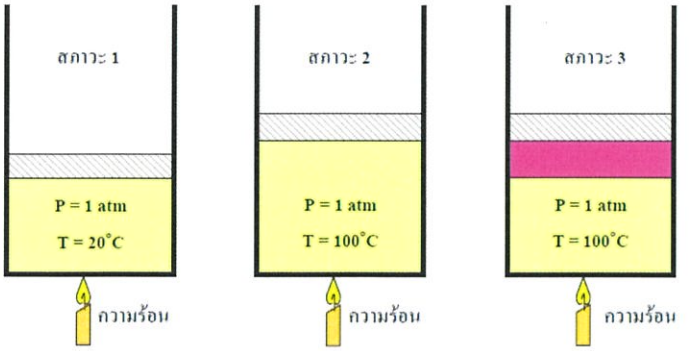
สเกลของอุณหภูมิเป็นพื้นฐานสามัญที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้วัดอุณหภูมิ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการเสนอให้ใช้สเกลอุณหภูมิหลายแบบ อย่างไรก็ดีทุกสเกลนั้นมีพื้นฐานจากสภาวะที่สามารถสร้างขึ้นได้ง่าย ๆ เช่นจุดเยือกแข็ง และจุดเดือด เป็นต้น สเกลอุณหภูมิที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ เซลเซียส (ตั้งชื่อตามนักดาราศาสตร์ชาวสวีเดนผู้คิดขึ้นมา แต่เดิมสเกลนี้เรียกว่า เซนติเกรด) และฟาเรนไฮต์ (ตั้งชื่อตามนักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน) ในสเกลเซลเซียส อุณหภูมิจุดเยือกแข็ง และจุดเดือดของน้ำให้ค่าไว้ที่ 0 °C และ 100 °C ตามลำดับ ส่วนในสเกลฟาเรนไฮต์ จุดทั้งสองคือที่ค่า 32 °F และ 212 °F ตามลำดับ แต่ในเทอร์โมไดนามิกส์เรามักใช้สเกลอุณหภูมิสมบูรณ์ (absolute temperature scale) ซึ่งในสเกลนี้จะไม่มีค่าที่ติดลบ คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดจะเป็นศูนย์สมบูรณ์ในระบบเอสไอ อุณหภูมิสมบูรณ์ดังกล่าว คือ เคลวิน อุณหภูมิเคลวินนี้ ใช้สัญลักษณ์ K

2.5 กระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์

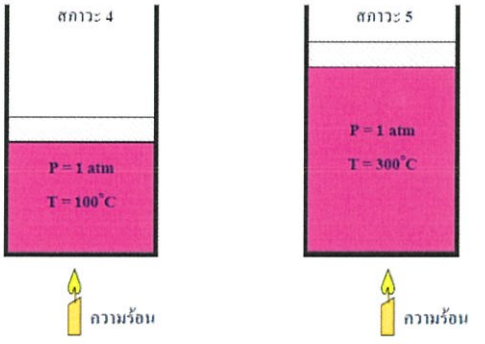
สารบริสุทธิ์อยู่ในสภาวะสมดุลได้ทั้งสองสถานะ อาทิ น้ำที่อยู่ในสถานะของผสมระหว่างของเหลวและไอน้ำภายในหม้อน้ำและเครื่องควบแน่นของโรงจักรไอน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอภายในช่องแข็งของตู้เย็นเป็นต้น แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างของแข็งและของเหลวนั้นเป็นเรื่องสำคัญ แต่ในที่นี้เราจะเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างของเหลวเป็นไอ

พิจารณากระบอกสูบในรูป 2.6 (ก) บรรจุน้ำที่ 20 °C และความดัน 1 atm ในสภาวะที่ 1 ภายใต้สภาวะดังกล่าวน้ำอยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งในเทอร์โมไดนามิกส์เรียกว่าเป็น ของเหลวอัด (compressed liquid) หมายความว่า ยังห่างจากการกลายเป็นไอมาก ต่อมามีการถ่ายเทความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้น้ำจะขยายตัวเล็กน้อย ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของมันเพิ่มขึ้น โดยลูกสูบจะขยับตัวขึ้นเล็กน้อย ในระหว่างกระบวนการดังกล่าวนี้ความดันในกระบอกสูบมีค่าคงที่ที่ 1 atm เพราะค่าของมันขึ้นกับความดันบรรยากาศเฉพาะตำแหน่ง และน้ำหนักของลูกสูบ (ซึ่งมีค่าคงที่) เท่านั้น น้ำยังคงอยู่ในสถานะของเหลวและยังคงสภาพเป็นของเหลวอัด เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนอุณหภูมิของน้ำเพิ่มเป็น 100 °C ในสภาวะที่ 2 ดังรูป 2.6 (ข) ที่สภาวะนี้น้ำยังอยู่ในสถานะของเหลว แต่การเพิ่มปริมาณความร้อนอีกไม่ว่าจะมีค่าน้อยเท่าใดจะส่งผลให้ของเหลวบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ จุดนี้คือจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ และของเหลวในสถานะนี้เรียกว่า ของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) ซึ่งก็คือของเหลวที่พร้อมจะระเหยเป็นไอ

ในกรณีที่มีการเดือด อุณหภูมิจะคงที่เมื่อความดันคงที่ จนกระทั่งของเหลวกลายไปเป็นไอหมด กล่าวคือในระหว่างการเปลี่ยนสถานะของสาร หากความดันของสารนั้นคงที่ อุณหภูมิของมันก็จะคงที่ด้วย (กรณีน้ำ ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิจะเท่ากับ 100 °C ตลอดการเปลี่ยนสถานะ) และในระหว่างนี้ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยระดับของเหลวจะลดลงเนื่องจากเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอ รูป 2.6 (ค) แสดงสภาวะที่น้ำอยู่ในสถานะทั้งของเหลวและไอปนกันอยู่ ซึ่งถ้าเรายังคงให้ความร้อนต่อไป ปริมาณของเหลวจะลดลงส่วนปริมาณไอจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหยดสุดท้ายของของเหลวกลายเป็นไอ ดังสภาวะที่ 4 รูป 2.6 (ง) ที่สภาวะนี้ภายในกระบอกสูบจะบรรจุด้วยไอซึ่งเป็นจุดแยกออกจากสถานะของเหลว ณ จุดนี้หากมีการสูญเสียความร้อนออกจากไอไม่ว่าจะเป็นปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด ไอก็จะควบแน่นเป็นของเหลวหรือเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวนั่นเอง ไอ ณ สภาวะนี้ เรียกว่า ไออิ่มตัว (saturated vapour) ซึ่งก็คือไอที่พร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวนั่นเอง สารที่อยู่ในสภาวะระหว่างสภาวะที่ 2 และ 4 ดังเช่นสภาวะที่ 3 ในรูป 2.6 (ค) เรียกว่า ของผสมอิ่มตัว (saturated liquid-vapour mixture) เนื่องจากทั้งของเหลวและไออยู่ในสภาวะสมดุลร่วมกัน



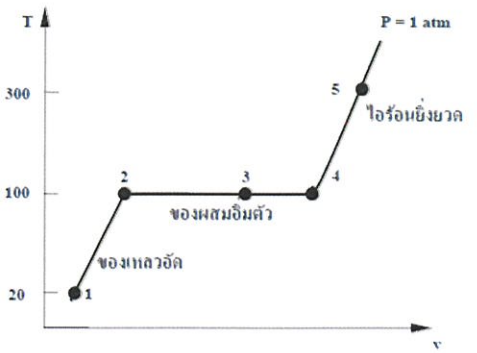
(ก) ของเหลวอัดตัว (ข) ของเหลวอิ่มตัว (ค) ของผสมอิ่มตัว



(ง) ไออิ่มตัว (จ) ไอร้อนยิ่งยวด

รูปที่ 2.6 กระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากสถานะของเหลวมาเป็นไอ

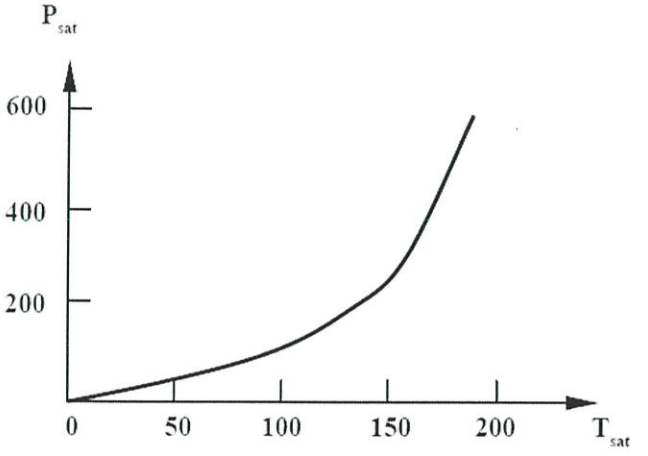
เมื่อกระบวนการแลกเปลี่ยนสถานะเป็นไปโดยสมบูรณ์ก็จะเป็นการกลับมาอยู่ในสถานะเดียวกันอีกครั้ง ในกรณีนี้คือสถานะไอ และถ้าเราให้ความร้อนต่อ ไอนี้ก็จะส่งผลให้ทั้งอุณหภูมิและปริมาตรจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูป 2.6 (จ) ที่สภาวะนี้ถ้าเราถ่ายเทความร้อนออกจากไอก็จะส่งผลให้อุณหภูมิลดลงแต่ไอยังไม่ควบแน่นเป็นของเหลวจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงเป็น 100 °C (สำหรับ P = 1 atm) ไอที่ยังห่างจากการควบแน่นนี้เรียกว่า ไอร้อนยิ่งยวด (superheated vapour) หรือ ไอดง



รูปที่ 2.7 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะในกระบวรการให้ความร้อนแก่น้ำที่ความดันคงที่

รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการเปลี่ยนสถานะในกรณีความดันคงที่บนแผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v diagram) ซึ่งถ้าเราทำย้อนกลับทางคือคายความร้อนจากสภาวะที่ 5 ตามกระบวนการความดันคงที่ เส้นทางของกระบวนการก็จะย้อนทางกลับมายังสภาวะที่ 1 และปริมาณความร้อนที่คายออกก็จะมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใส่ให้ตามกระบวนการข้างต้น

ในทางปฏิบัติรู้ว่าน้ำเดือดที่ 100 °C แต่ในทางเทอร์โมไดนามิกส์การกล่าวว่าน้ำเดือดที่ 100 °C นั้นไม่ถูกต้อง คำกล่าวที่ถูกคือน้ำเดือดที่ 100 °C ณ ความดัน 1 atm ซึ่งถ้าเปลี่ยนความดันไปอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะเปลี่ยนไปด้วย เช่นถ้าเราเปลี่ยนความดันในกระบอกสูบในระบบข้างบนเป็น 500 kPa (โดยการใส่น้ำหนักเพิ่มไปบนลูกสูบ) น้ำก็จะเดือดที่ 151.9 °C กล่าวคืออุณหภูมิจุดเดือดของน้ำขึ้นอยู่กับความดัน ณ ความดันที่กำหนด อุณหภูมิที่สารบริสุทธิ์เริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอ เรียกว่า อุณหภูมิอิ่มตัว (saturation temperature; T_{sat}) ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดอุณหภูมิ ความดันที่สารบริสุทธิ์เปลี่ยนสถานะเป็นไอ เรียกว่าความดันอิ่มตัว (saturation pressure, P_{sat}) ตัวอย่าง ที่ความดัน 101.35 kPa ค่าอุณหภูมิอิ่มตัว (T_{sat}) คือ 100 °C และในทางกลับกันที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าความดันอิ่มตัว (P_{sat}) คือ 101.35 kPa ในระหว่างการเปลี่ยนสถานะนั้นความดันและอุณหภูมิเป็นคุณสมบัติที่แปรผันตรงต่อกัน ซึ่งในรูปคณิตศาสตร์สามารถเขียนได้เป็น T_{sat} = ฟังก์ชัน(P_{sat}) รูปที่ 2.10 แสดงการเขียนค่า T_{sat} เทียบกับ P_{sat} ซึ่งมีชื่อเรียกว่า เส้นโค้งของผสมไอกับของเหลวอิ่มตัว (liquid-vapour saturation curve) และสารบริสุทธิ์ทุกชนิดสามารถเขียนได้ในทำนองเดียวกันนี้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิ่มตัวกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่า T_{sat} มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ P_{sat} มีค่าเพิ่ม ดังนั้นที่ความดันสูงสารจะเดือดที่อุณหภูมิสูงขึ้น และในการทำอาหาร การเดือดที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อาหารสุกเร็วขึ้น ดังเช่นกรณีของหม้อต้มเปื่อย (pressure cooker) นั้นก็อาศัยหลักการนี้ ซึ่งเป็นการประหยัดทั้งเวลาและพลังงานในการทำอาหาร

2.6 ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration of solution)

ความเข้มข้นของสารละลาย คือ ค่าที่แสดงสัดส่วนของตัวถูกละลายและตัวทำละลายในสารละลาย หน่วยความเข้มข้นของสารละลายมีหลายประเภท โดยสามารถคำนวณเปลี่ยนจากหน่วยความเข้มข้นจากหน่วยหนึ่งไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์
หน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่สำคัญมีดังนี้

2.6.1 ร้อยละของตัวถูกละลาย เป็นหน่วยที่แสดงปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 ส่วน มี 3 แบบ ได้แก่

1) ร้อยละโดยมวล (%wt) หมายถึง มวลของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยมวลเดียวกัน
สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}(g)}{\text{มวลของสารละลาย}(g)} \times 100$$

2) ร้อยละโดยปริมาตร (%v) หมายถึง ปริมาตรของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร เดียวกัน นิยมใช้กับสารละลายที่มีตัวถูกละลายและตัวทำละลายเป็นของเหลวทั้งคู่ คำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}(cm^3)}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}(cm^3)} \times 100$$

3) ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%wt/v) หมายถึง มวลของตัวถูกละลายเป็นกรัมในสารละลาย 100 cm^3 นิยมใช้กับสารละลายที่มีตัวถูกละลายเป็นของแข็งและตัวทำละลายเป็นของเหลว

$$\text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}(g)}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}(cm^3)} \times 100$$

2.6.2 การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น หรือ การเจือจางสารละลาย

สารละลายเข้มข้น (Stock solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ใช้เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดย การเจือจางสารละลาย (Dilution) การเตรียมสารละลายในลักษณะนี้ค่อนข้างสะดวกเนื่องจากไม่จำเป็นต้องชั่งสารเพื่อมาละลายตั้งแต่ต้น ในการเจือจางสารละลายต้องเป็นการเติมตัวทำละลายลงไปเพิ่มแต่จำนวนโมลของตัวถูกละลายเท่าเดิม ดังนั้นในการคำนวณจึงยึดหลักที่ว่า จำนวนโมลของตัวถูกละลายก่อนเจือจาง = จำนวนโมลของตัวถูกละลายหลังเจือจาง จากหลักดังกล่าว ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2 \qquad (2.10)$$

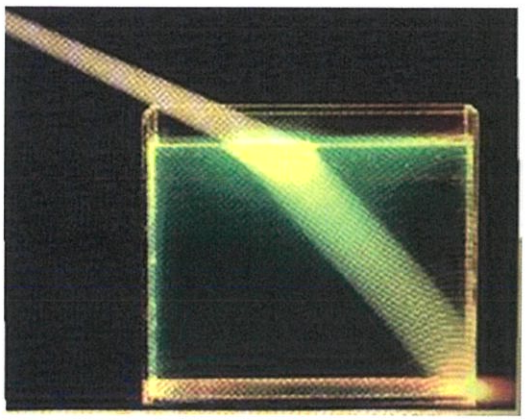
เมื่อ

C_1 และ C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายก่อนเจือจางและหลังเจือจางตามลำดับ (หน่วย ความเข้มข้นเดียวกัน)

V_1 และ V_2 = ปริมาตรของสารละลายก่อนเจือจางและหลังเจือจางตามลำดับ (หน่วยปริมาตรเดียวกัน)

2.7 การหักเหของแสง (Refraction of Light)

การหักเหแสงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งแสงจะมีการหักเห และการหักเหจะเกิดขึ้นเฉพาะผิวรอยต่อของตัวกลางเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.8 แสดงถึงปรากฏการณ์การหักเหของแสง

2.7.1 สิ่งควรทราบเกี่ยวกับการหักเหของแสง

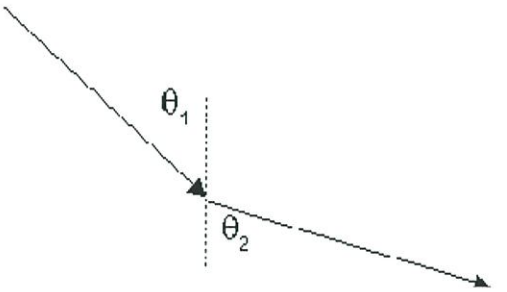
- ความถี่ของแสงยังคงเท่าเดิม ส่วนความยาวคลื่น และความเร็วของแสงจะไม่เท่าเดิม
- ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง จะอยู่ในแนวเดิมถ้าแสงตกตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลางจะไม่อยู่ในแนวเดิมถ้าแสงไม่ตกตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลาง

2.7.2 กฎการหักเหของแสง

1. รังสีตกกระทบ เส้นแนวฉาก และรังสีหักเห อยู่ในระนาบเดียวกัน

2. สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง ๆ อัตราส่วนระหว่างค่า sin ของมุมตกกระทบในตัวกลางหนึ่งกับค่า sin ของมุมหักเหในอีกตัวกลางหนึ่ง มีค่าคงที่เสมอ

จากกฎข้อ 2 สเนลล์นำมาตั้งเป็นกฎของสเนลล์ได้ดังนี้



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.11}$$

รูปที่ 2.9 แสดงการหักเหของแสงผ่านตัวกลางต่างชนิดกันตามกฎของสเนลล์

และสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$n = \frac{C}{V} \tag{2.12}$$

เมื่อ

V = ความเร็วของแสง ในตัวกลางใด ๆ เมตร/วินาที

n = ดัชนีหักเหของแสงในตัวกลาง(ไม่มีหน่วย) หรือ คือ ดัชนีหักเหสัมพัทธ์ระหว่างตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

C = ความเร็วแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

นั่นคือ ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อย (ความหนาแน่นน้อย) แสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมาก (ความหนาแน่นมาก) แสงจะเคลื่อนที่ด้วยความต่ำ

ข้อควรจำ n อากาศ = 1 ส่วน n ตัวกลางอื่น ๆ จะมากกว่า 1 เสมอ

2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของสารละลาย

จากทฤษฎีการหักเหของแสงในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงขึ้น ค่าดัชนีหักเหก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีทดลอง

ในการดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนและวิธีทดลอง ดังนี้

3.1 วัดค่าความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้เครื่อง Refractometer

3.2 การติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบการกลั่นเอทานอล

3.3 บันทึกค่าอุณหภูมิภายในหอกลั่นเอทานอล

3.1 วัดค่าความเข้มข้นของเอทานอลโดยการสอบเทียบกับ Calibration Curve

3.1.1 การทำ Calibration Curve ของเอทานอล

1. เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ดังนี้ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% และ 95% ตามลำดับ โดยเตรียมที่ปริมาตร 10 ml แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นโดยปริมาตรของเอทานอลสำหรับทำ Calibration Curve

ลำดับตัวอย่างสารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลายโดยปริมาตร	ปริมาตรของเอทานอล (ml)	ปริมาตรของน้ำกลั่น (ml)
1	5%	0.5	9.5
2	10%	1.0	9.0
3	15%	1.6	8.4
4	20%	2.1	7.9
5	25%	2.6	7.4
6	30%	3.2	6.8
7	35%	3.7	6.3
8	40%	4.2	5.8
9	45%	4.7	5.3
10	50%	5.3	4.7
11	55%	5.8	4.2

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

12	60%	6.3	3.7
13	65%	6.8	3.2
14	70%	7.4	2.6
15	75%	7.9	2.1
16	80%	8.4	1.6
17	85%	8.9	1.1
18	90%	9.5	0.5
19	95%	10	0

2. ทำการ Calibrated เครื่อง Refractometer โดยใช้น้ำกลั่น

3. วัดค่าดัชนีหักเหของทุกๆ ความเข้มข้นทั้งหมด 5 ครั้ง โดยใช้เครื่อง Refractometer

4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้โปรแกรม MathLab

3.2 การติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบการกลั่นเอทานอล

3.2.1 อุปกรณ์การวัด

1. เกจวัดความดัน ช่วงการวัด 1-4 บาร์

2. เกจวัดอุณหภูมิ ช่วงการวัด 0-125 ^{o}C

3. เครื่องวัดอัตราการไหล ช่วงการวัด 1-10 L/min

4. Refractrometer ยี่ห้อ ATAGO ช่วงการวัด 1.3306-1.5284

3.2.2 สารละลายที่ใช้

1. เอทานอลความเข้มข้น 95%

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอร์ (Ethyl Alcohol) เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมด้วย Hydroxyl group (OH) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 มีจุดเดือดประมาณ 78 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย ให้เปลวไฟสีน้ำเงิน ไม่มีควัน ถูกย่อยสลายได้ มีความเป็นพิษต่ำและเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยถ้าเกิดการรั่วไหล เอทานอลเผาไหม้แล้วสามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ สามารถลดปัญหาการนำเข้าจากต่างประเทศและช่วยประหยัดเงินตราให้ประเทศปีละหลายพันล้านบาทได้ คุณสมบัติของเอทานอลแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอทานอลบริสุทธิ์

สมบัติ	ค่า
สูตรโครงสร้าง	CH_3CH_2OH
มวลโมเลกุล	46
จุดเดือด (°C)	78.32
อุณหภูมิวิกฤต (°C)	243.1
ความหนาแน่นที่ 20 °C	0.7893 กรัม.ซม^3
ความร้อนของการสันดาป, kJ/kg	29.68
อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง (°C)	793.0

2. น้ำกลั่น

คุณสมบัติของน้ำกลั่นแสดงดังตารางที่ 3.3

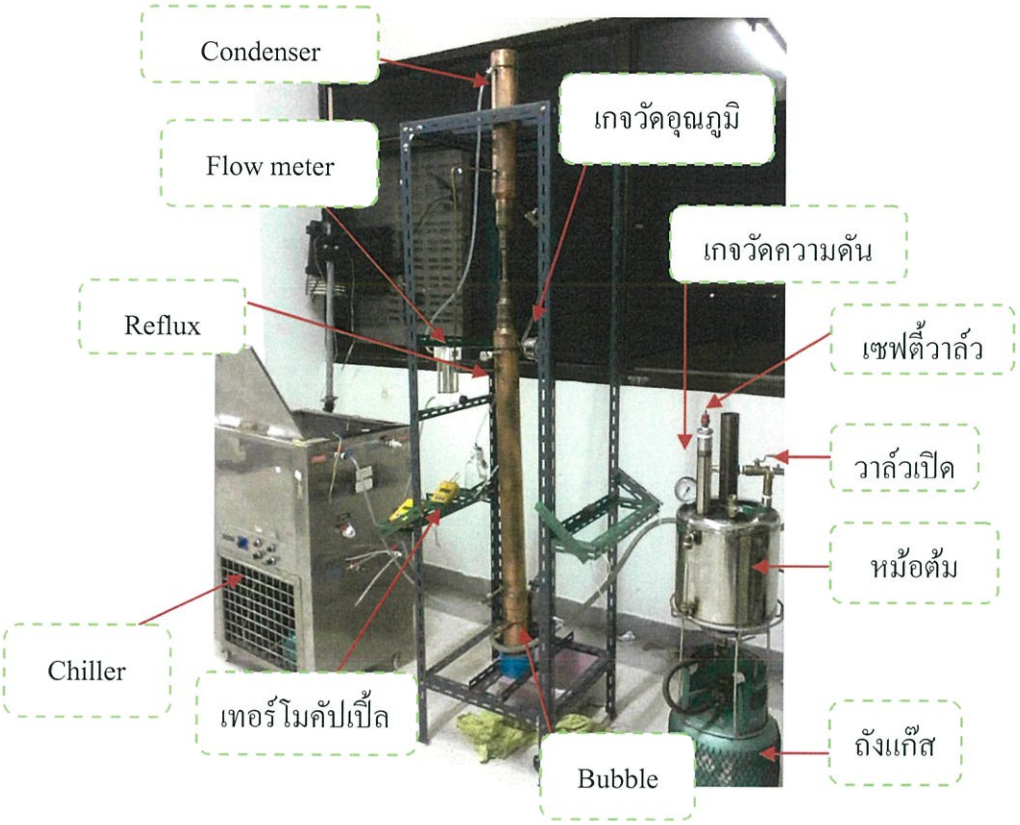
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกลั่นบริสุทธิ์

สมบัติ	ค่า
สูตรโครงสร้าง	H_2O
มวลโมเลกุล	18.015
จุดเดือด (°C)	100
อุณหภูมิวิกฤต (°C)	374.2
ความหนาแน่นที่ 20 °C	กรัม.ซม^3

3.3 บันทึกค่าอุณหภูมิภายในหอกลั่นเอทานอล

3.3.1 ส่วนประกอบของระบบการกลั่นเอทานอล

ระบบการกลั่นเอทานอลประกอบไปด้วย หม้อต้ม, หอกลั่น และเครื่องทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3. 1 แสดงส่วนประกอบของระบบการกลั่นเอทานอล

3.3.2 เงื่อนไขการทดลอง มีดังนี้

1. การเตรียมสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ

โดยเตรียมสารละลายปริมาตร 7000 ml โดยผสมเอทานอล 3000 ml กับน้ำกลั่น 4000 ml เพื่อทำการทดลอง

2. ให้ความร้อนกับหม้อต้ม จนหม้อต้มมีความดัน ดังนี้ 0.2 บาร์, 0.4 บาร์, 0.6 บาร์, 0.8 บาร์ และ 1.0 บาร์ ตามลำดับ

3. เปิดวาล์วให้ความดันไอเข้าสู่หอกลั่น ทำการจับเวลาทุกๆ 10 นาที เพื่อสังเกตดูว่าที่เวลา (นาที) และอุณหภูมิในหอกลั่นเท่าไหร่ที่เอทานอลจะเกิดการกลั่นตัวออกมา

4. บันทึกอุณหภูมิในหอกลั่นและเวลา(นาที) ที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวออกมา

5. นำเอทานอลที่ได้ไปวัดค่าความเข้มข้น(%) โดยสอบเทียบจาก Calibration Curve

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 Calibration Curve ของเอทานอล

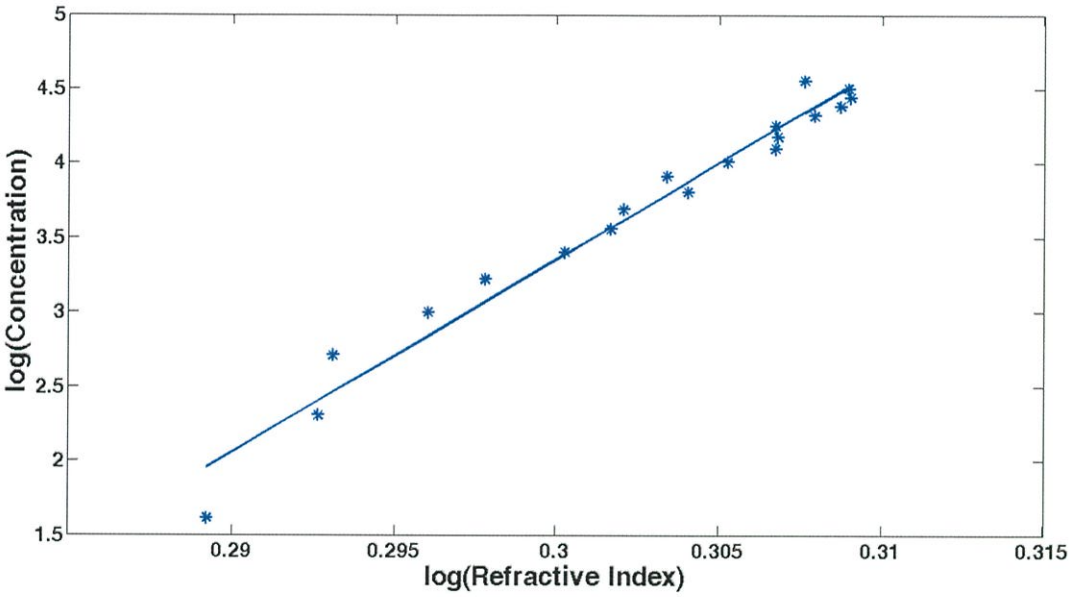
เตรียมความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำในหน่วยร้อยละโดยปริมาตร จากความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 95% และทำการวัดค่า Refractive index ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะแสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลและความเข้มข้นที่ได้จากการวัดที่ความเข้มข้นต่างๆ

ลำดับตัวอย่างสารละลาย	ค่าความเข้มข้นของสารละลายผสม (%)	ค่าดัชนีหักเห
1	5	1.3354
2	10	1.340
3	15	1.3406
4	20	1.3445
5	25	1.3469
6	30	1.3502
7	35	1.3521
8	40	1.3526
9	45	1.3553
10	50	1.3544
11	55	1.3570
12	60	1.3590
13	65	1.3591
14	70	1.3590
15	75	1.3606
16	80	1.3617
17	85	1.3621
18	90	1.3620
19	95	1.3602

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Refractive index (n) กับค่าความเข้มข้น(%) หรือ Calibration Curve ซึ่งได้จากการวัดค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของเอทานอลมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 95% ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นว่าค่า Refractive index จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4. 1 Calibration Curve ของเอทานอลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น

จากกราฟจะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเห
ดังสมการที่ 4.1

$$\log X = 129.8381 \log n - 35.5998 \qquad (4.1)$$

เมื่อ X = ความเข้มข้นของเอทานอล

n = ค่าดัชนีหักเห

4.2 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลที่ได้จากการกลั่น

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีหักเหที่วัดได้ที่ความดัน 0.6, 0.8 และ 1.0 บาร์ และค่าความเข้มข้นที่กลั่นออกมาได้เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีหักเหของเอทานอลและความเข้มข้นที่ได้จากการกลั่นที่ความดันต่างๆ

ความดัน (บาร์)	ค่าดัชนีหักเห	% ความเข้มข้น
0.6	1.3611	83.8
0.8	1.3622	93.0
1	1.3623	93.5

4.3 เวลา(นาที) และอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัวที่ค่าความดันต่างๆ

ในการทดลองจะทำการกำหนดค่าความดันในหม้อต้มก่อนที่จะป้อนเข้าสู่หอกลั่นทั้งหมด 5 ค่า ดังนี้ 0.2 บาร์, 0.4 บาร์, 0.6 บาร์, 0.8 บาร์ และ 1 บาร์ ตามลำดับ แล้วทำการจับเวลาเพื่อหาช่วงอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัว ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เวลา (นาที) และอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวที่ความดัน 0.2 บาร์ และ 0.4 บาร์

เวลา (นาที)	0.2 บาร์		0.4 บาร์	
	อุณหภูมิในหอกลั่น (^{O}C)	เอทานอลเริ่มกลั่น	อุณหภูมิในหอกลั่น (^{O}C)	เอทานอลเริ่มกลั่น
0	32	x	32	x
10	32	x	32	x
20	32	x	32	x
30	32	x	32	x
40	32	x	32	x
50	32	x	32	x
60	32	x	32	x
70	32	x	33	x
80	32	x	34	x
90	32	x	35	x
100	33	x	35	x
110	33	x	35	x
120	33	x	35	x

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

130	34	x	35	x
140	34	x	36	x
150	34	x	36	x
160	35	x	36	x
170	35	x	36	x
180	35	x	38	x
190	36	x	40	x
200	36	x	40	x
210	36	x	41	x
220	36	x	41	x
230	38	x	42	x
240	38	x	42	x
250	40	x	42	x
260	40	x	43	x
270	41	x	43	x
280	41	x	43	x
290	42	x	43	x
300	42	x	43	x
310	41	x	42	x
320	41	x	40	x
330	40	x	40	x
340	39	x	39	x
350	39	x	39	x

หมายเหตุ: x ไม่มีการกลั่นตัวของเอทานอลเกิดขึ้น

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อป้อนความดันเข้าหอกลั่นที่ค่าความดัน 0.2 บาร์ และ 0.4 บาร์ จะไม่เกิดการกลั่นตัวของเอทานอล และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิภายในหอกลั่นก็เริ่มลดลง ทำให้ไอเอทานอลไม่สามารถระเหยขึ้นไปควบแน่นได้

ตารางที่ 4.4 เวลา (นาที) และอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวที่ความดัน 0.6 บาร์, 0.8 บาร์ และ 1.0 บาร์

เวลา (นาที)	0.6 บาร์		0.8 บาร์		1.0 บาร์	
	อุณหภูมิในหอกลั่น (^{o}C)	เอทานอลเริ่มกลั่น	อุณหภูมิในหอกลั่น (^{o}C)	เอทานอลเริ่มกลั่น	อุณหภูมิในหอกลั่น (^{o}C)	เอทานอลเริ่มกลั่น
0	32	x	32	x	32	x
10	32	x	32	x	32	x
20	32	x	33	x	32	x
30	32	x	35	x	33	x
40	32	x	35	x	33	x
50	32	x	35	x	34	x
60	32	x	36	x	35	x
67	32	x	36	x	76	✓
70	32	x	77	✓	77	✓
80	32	x	79	✓	78	✓
90	33	x	79	✓	78	✓
100	38	x	79	✓	78	✓
110	46	x	79	✓	78	✓
120	76	✓	79	✓	78	✓
130	77	✓	76	✓	79	✓
140	78	✓	78	✓	76	✓
150	78	✓	78	✓	78	✓
160	78	✓	79	✓	79	✓
170	78	✓	77	✓	76	✓
180	78	✓	79	✓	77	✓
190	76	✓	79	✓	78	✓
200	77	✓	76	✓	79	✓
210	77	✓	78	✓	79	✓
220	78	✓	78	✓	79	✓

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

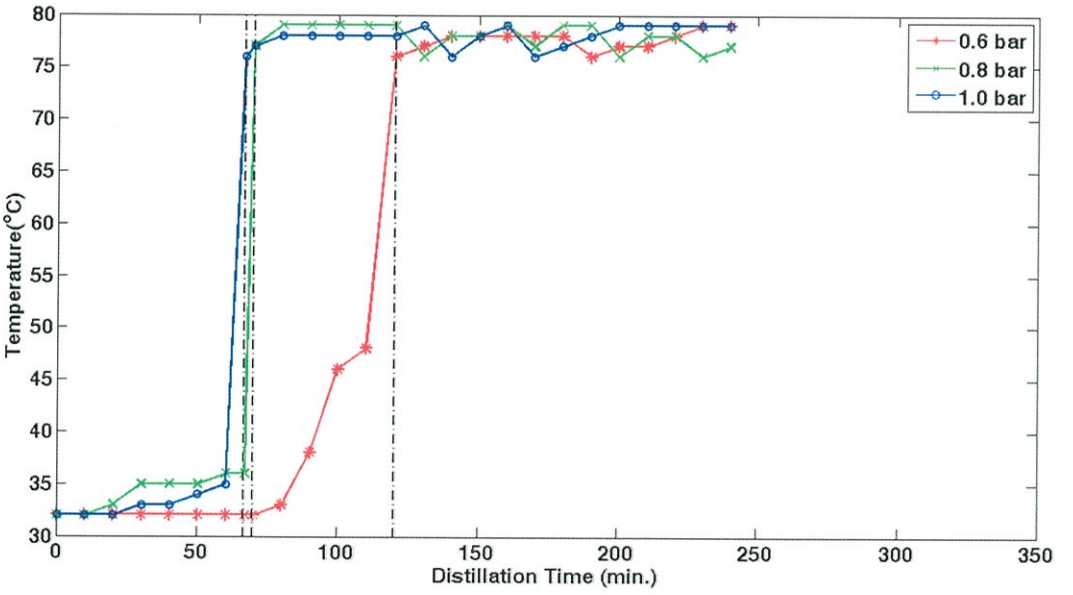
230	79	✓	76	✓	79	✓
240	79	✓	77	✓	79	✓

หมายเหตุ : x ไม่มีการกลั่นตัวของเอทานอลเกิดขึ้น

✓ มีการกลั่นตัวของเอทานอล

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (นาที) กับอุณหภูมิในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัวที่ความดัน 0.6 บาร์, 0.8 บาร์ และ 1.0 บาร์ ได้ดังรูปที่ 4.2

จากตารางที่ 4-4 พบว่า เมื่อความดันภายในหอกลั่นมาก เอทานอลจะเกิดการกลั่นตัวเร็ว เมื่อค่าความดันสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความดันไอมาก ก็ส่งผลทำให้ ความดันไอใช้ระยะเวลาน้อยในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นของเอทานอล ทำให้เอทานอลเกิดการกลั่นตัวเร็ว



รูปที่ 4. 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัว

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเรื่องความดันในหม้อต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอลโดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอล 4:3 ลิตร ใช้เวลาในการทำความดันถึง 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar เท่ากับ 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที ตามลำดับ อุณหภูมิที่เกิดการกลั่นตัวจะอยู่ที่ 76-79 องศาเซลเซียส โดยที่ความดัน 1.0 bar เอทานอลจะเริ่มกลั่นตัวเร็วที่สุด โดยใช้เวลา 67 นาที และจากการใช้สมการสอบเทียบ เราจะได้ความเข้มข้นของเอทานอลตามความดันที่เพิ่มขึ้น คือ 83.8%, 93.0% และ 93.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความดันต่ำ คือ 0.2 bar และ 0.4 bar ไม่สามารถทำให้เกิดการควบแน่นของเอทานอลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการควบคุมความดัน อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิของหม้อต้ม
2. ควรมีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการนำความร้อนกลับมาใช้ในกระบวนการ
3. ควรใช้เตาไฟฟ้าเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Shigefumi Fujita. 1985. อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี, ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. แปลจาก Kagaku Sochi Binran (K.S.B.) : โดย ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิฑิตศานต์, รองศาสตราจารย์ ดร.นวดล เหล่าศิริพจน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ชัยประเสริฐ, ประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ. 2553. รายงานสถานภาพของการวิจัยและผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล ไบโอแก๊สและน้ำมันชีวภาพในประเทศไทย (Position Paper on Biofuel Developmemt in Thailand). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว).

[3] Smith, J.M. and H.C. VanNess, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1982.

[4] A. Jana "Heat integrated distillation operation", Applied energy 87 (1477-1494), Nov 12, 2009.

ภาคผนวก

การศึกษาความดันในถังต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1

(A study of pressure in boiler effects to condensed ethanol of APL-1 distillation column)

นภาลัย ไกรเพชร และ กาจปัญญา สุวรรณสุโข

ฟิสิกส์-พลังงานทางเลือก คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาความดันในถังต้มที่ส่งผลต่อการกลั่นตัวเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1 ซึ่งทำการศึกษาโดยการกำหนดความดันเข้าหอกลั่นที่ค่าความดันทั้งหมด 5 ค่า คือ 0.2 bar, 0.4 bar, 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar เพื่อหาช่วงอุณหภูมิภายในหอกลั่นและระยะเวลาในการกลั่นตัวของเอทานอล พบว่า ช่วงอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวอยู่ที่ 76-79 องศาเซลเซียส โดยที่ความดัน 1.0 bar ระยะเวลาที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวจะเร็วกว่าที่ความดันอื่นๆ ส่วนที่ความดัน 0.2 bar และ 0.4 bar เอทานอลจะไม่เกิดการกลั่นตัวออกมาเลย และเอทานอลที่ได้จากการกลั่นจะมีค่าความเข้มข้นที่ความดัน 1.0 bar, 0.8 bar และ 0.6 bar คือ 93.5%, 93.0% และ 83.8% ตามลำดับ

1.บทนำ

ในการออกแบบหอกลั่น APL-1 เพื่อใช้ในการกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์สูง ๆ นั้น ย่อมมีปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อระบบกระบวนการกลั่น ไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิของหม้อต้ม ความดันภายในหม้อต้ม อุณหภูมิภายในหอกลั่น ความดันภายในหอกลั่น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ต้องทำการควบคุมเพื่อทำให้หอกลั่น APL-1 มีประสิทธิภาพในการกลั่นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ ทั้งนี้ทั้งนั้น หอกลั่นเอทานอล APL-1 ที่ได้ทำการออกแบบเองนั้นย่อมมีเทคนิคในกระบวนการกลั่นเพื่อให้สามารถกลั่นเอทานอลออกมาได้ ซึ่งเทคนิคที่ว่านี้ย่อมต้องมีการศึกษาในระบบการกลั่นก่อน ซึ่งจำเป็นจะต้องรู้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกลั่นเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL- 1 ก่อน เพื่อที่จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของหอกลั่นต่อไปได้

2. หลักการและทฤษฎี

การกลั่นหมายถึงการแยกของเหลวผสมที่มีสารองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยใช้หลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้ไม่เท่ากัน ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อให้ความร้อนจนของเหลวผสมกลายเป็นไอบางส่วน แล้วนำไอนั้นไปควบแน่นกลับให้เป็นของเหลว จะได้ของเหลวผสมหลังควบแน่นที่มีส่วนผสมแตกต่างจากของเหลวก่อนการกลั่น ด้วยเหตุนี้การกลั่นจึงสามารถใช้ในการทำให้ของเหลวมีความบริสุทธิ์ขึ้น หรือใช้แยกของเหลวผสมออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ได้

2.1 สมดุลของก๊าซและของเหลว

เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวผสมโดยรักษาความดันให้คงที่ค่าหนึ่งส่วนผสมของไอระเหยที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ จะเกิดสมดุลกับส่วนผสมของของเหลวในขณะนั้น ซึ่งจะสามารถหาความสัมพันธ์ทางกายภาพได้

© 2014 Applied Physics of Ladkrabang

เรียกว่า สมดุลของก๊าซและของเหลวที่ความดันคงที่ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่สุดในการกลั่น

สมการแสดงความสัมพันธ์ของสมดุลของก๊าซและของเหลว มีความสัมพันธ์ดังนี้

ก. ผลบวกของความดันไอ p_i ของแต่ละสารทุกสารจะเท่ากับความดันรวม π (กฎของ Dalton)

$$\pi = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots = \sum p_i \qquad (1)$$

ข. ความดัน p_i ของไอระเหยสารองค์ประกอบ i จะเท่ากับผลคูณระหว่างความดันไอขององค์ประกอบบริสุทธิ์ $P^o{}_i$ กับสัดส่วนโดยโมลของเหลว x_i (กฎของ Raoult)

$$p_i = x_i P^o{}_i \qquad (2)$$

โดยในที่นี้ $\sum x_i = 1$ (3)

2.2 ความเข้มข้นของเอทานอล

จากทฤษฎีการหักเหของแสงในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงขึ้น ค่าดัชนีหักเหก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากกฎของสเนลล์ จะได้ว่า

$$n = \frac{C}{V} \qquad (4)$$

เมื่อ

V = ความเร็วของแสง ในตัวกลางใด ๆ เมตร/วินาที

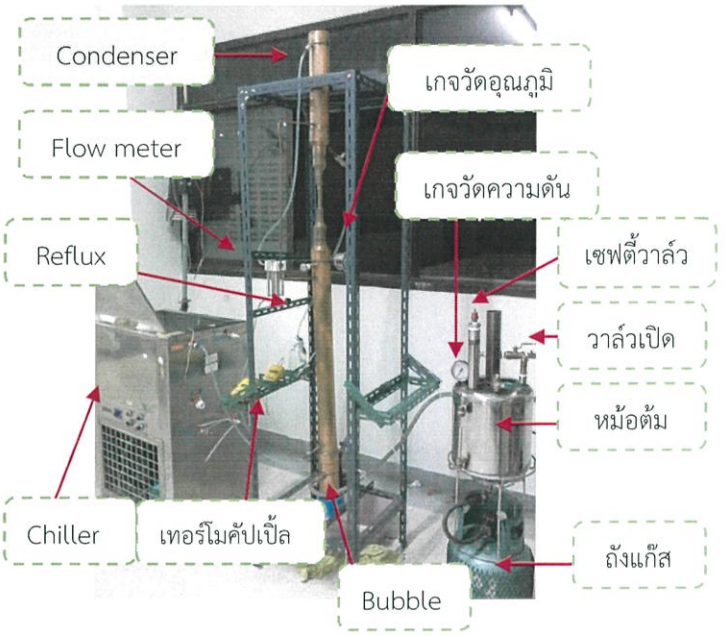
n = ดัชนีหักเหของแสงในตัวกลาง (ไม่มีหน่วย) หรือ คือ ดัชนีหักเหสัมพัทธ์ระหว่างตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

C = ความเร็วแสงในสุญญากาศ = 3 X 10^8 m/s

2.3 ระบบการกลั่นเอทานอล

ระบบกระบวนการกลั่นเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL-1 แสดงดังรูปที่ 1

เมื่อให้ความร้อนกับหม้อต้ม สารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ เมื่อความดันถึงค่าหนึ่งไอของสารผสมนี้จะถูกปล่อยเข้าหอกลั่นไปยังส่วน Bubble ซึ่งมีหน้าที่ในการลดแรงดันไอ หลังจากนั้นไอของสารผสมจะระเหยขึ้นไปในส่วนของ Reflux ซึ่งตรงส่วนนี้ไอน้ำจะควบแน่นตกลงมาสะสมบริเวณ Bubble สำหรับไอของเอทานอลจะระเหยขึ้นไปยังส่วน Condenser และควบแน่นเป็นสารละลายที่ส่วนนี้



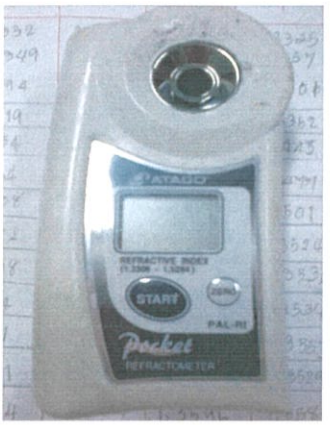
รูปที่ 1 แผนภาพแสดงระบบกระบวนการกลั่นเอทานอลของหอกลั่นเอทานอล APL- 1

3. วิธีการทดลอง

3.1 การทำ Calibration Curve ของเอทานอล

การทำ Calibration Curve ทำได้โดยการนำเอทานอลความเข้มข้น 95% มาเจือจางให้เป็นความเข้มข้น 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% และ 95% โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำไปวัดค่าดัชนีหักเหด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหของ ATAGO ตามรูปที่ 2 ซึ่งจะทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้งที่แต่ละความเข้มข้น นำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเห

© 2014 Applied Physics of Ladkrabang



รูปที่ 2 เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห ATAGO

3.2 เงื่อนไขในการกลั่นเอทานอล

ในการทดลองนี้ จะกำหนดอัตราส่วนของสารผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลในอัตราส่วน 4:3 L และกำหนดความดันเข้าหอกลั่นที่ค่าความดันต่างกัน ทั้งหมด 5 ค่า คือ 0.2 bar, 0.4 bar, 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในหอกลั่นทุกๆ 10 นาที เพื่อหาเวลาที่เอทานอลเริ่มกลั่นตัวออกมา

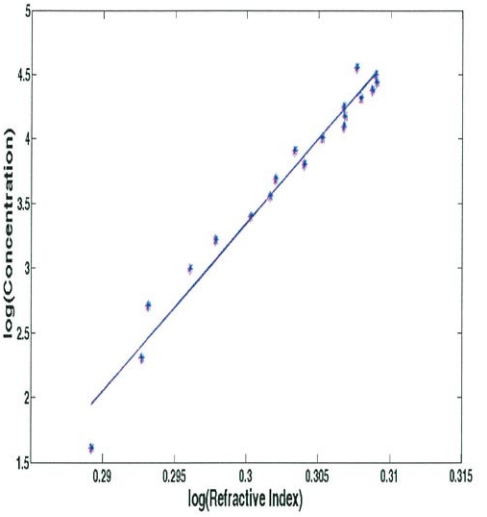
4. อภิปรายผลการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงกราฟ Calibration Curve ซึ่งได้จากการวัดค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของเอทานอลมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 95% มีสมการเส้นตรงดังนี้

$$\log X = 129.8381 \log n - 35.5998 \qquad (5)$$

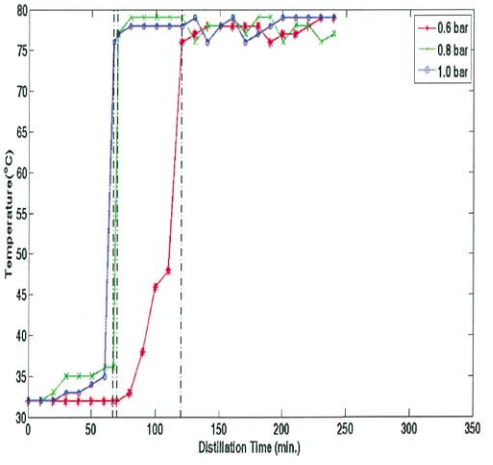
เมื่อ X = ความเข้มข้นของเอทานอล

n = ค่าดัชนีหักเห



รูปที่ 3 Calibration Curve ของความเข้มข้นของเอทานอลกับค่าดัชนีหักเห

จากรูปที่ 4 อธิบายได้ว่า เมื่อให้ความดันที่ 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar เข้าหอกลั่น พบว่า อุณหภูมิในหอกลั่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยใช้ระยะเวลาไม่นาน เอทานอลก็เกิดการกลั่นตัวแล้ว โดยที่ความดัน 1.0 bar จะใช้ระยะเวลา 67 นาที ในการทำให้เอทานอลเกิดการกลั่นตัว รองลงมาคือ 0.8 bar และ 0.6 bar โดยใช้เวลา 70 นาที และ 120 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำความดันในหม้อต้มจะสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น โดย 0.6 bar จะใช้เวลา 20 นาที, 0.8 bar 30 นาที และ 1.0 bar 40 นาที โดยอุณหภูมิที่เริ่มมีการกลั่นตัวของเอทานอลจะอยู่ในช่วง 76-79 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในหอกลั่นที่มีผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล

© 2014 Applied Physics of Ladkrabang

เมื่อนำเอทานอลที่กลั่นได้จากการกำหนดค่าความดันทั้งสามค่าไปหาค่าดัชนีหักเห พบว่า ได้ค่าดัชนีหักเห คือ 1.3611 ที่ความดัน 0.6 bar, 1.3622 ที่ความดัน 0.8 bar และ 1.3623 ที่ความดัน 1.0 bar และนำค่าดัชนีหักเหไปสอบเทียบกับสมการ (4) จะได้ความเข้มข้นของเอทานอลคือ 83.8%, 93.0% และ 93.5% ตามลำดับ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเรื่อง ความดันในหม้อต้มที่มีผลต่อการกลั่นตัวของเอทานอล โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอล 4:3 L ใช้เวลาในการทำความดันถึง 0.6 bar, 0.8 bar และ 1.0 bar เท่ากับ 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที ตามลำดับ อุณหภูมิที่เกิดการกลั่นตัวจะอยู่ที่ 76-79 องศาเซลเซียส โดยที่ความดัน 1.0 bar เอทานอลจะเริ่มกลั่นตัวเร็วที่สุด โดยใช้เวลา 67 นาที และจากการใช้สมการสอบเทียบ เราจะได้ความเข้มข้นของเอทานอลตามความดันที่เพิ่มขึ้น คือ 83.8%, 93.0% และ 93.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความดันต่ำ คือ 0.2 bar และ 0.4 bar ไม่สามารถทำให้เกิดการควบแน่นของเอทานอลได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Shigefumi Fujita. 1985. อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี, ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. แปลจาก Kagaku Sochi Binran (K.S.B.) :โดย ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์, รองศาสตราจารย์ ดร.นวดล เหล่าศิริพจน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ชัยประเสริฐ, ประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ. 2553. รายงานสถานภาพของการวิจัยและผลิตเอทานอลไบโอดีเซล ไบโอแก๊สและน้ำมันชีวภาพในประเทศไทย (Position Paper on Biofuel Developmemt in Thailand). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว).

[3] Smith, J.M. and H.C. VanNess, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1982.

[4] A. Jana "Heat integrated distillation operation", Applied energy 87 (1477-1494), Nov 12, 2009.

© 2014 Applied Physics of Ladkrabang