

โปรแกรมการคำนวณของหอกลั่นสำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
หลายองค์ประกอบ



นายพิศิษฐ์ คำหน่อแก้ว

นายมนูศักดิ์ ปรีชาพร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42360
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

A Calculation Program for Multi-component Distillation of Hydrocarbon



Mr.Pisist Kumnorkaew

Mr.Manusak Preechaporn

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Bachelor Degree in Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


2000


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

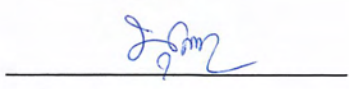
ปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมการคำนวณของหอกันสำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
หลายองค์ประกอบ
โดย นายพิศิษฐ์ คำหน่อแก้ว
นายมนุศักดิ์ ปรีชาพร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


กรรมการ
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)


กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริวานิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมการคำนวณของหอกลับสำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
หลายองค์ประกอบ
โดย นายพิศิษฐ์ คำหน่อแก้ว
นายมนุศักดิ์ ปรีชาพร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การกลั่นสารหลายองค์ประกอบ เป็นกระบวนการแยกสารที่สำคัญ โดยเฉพาะการแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งโครงการนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมช่วยคำนวณของหอกลับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยพัฒนาโปรแกรมการคำนวณ ด้วยภาษา Delphi มีสมมติฐานเบื้องต้น คือน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกแยกออกจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแล้ว โปรแกรมนี้ประกอบด้วย สองส่วนคือ การคำนวณโดยวิธีลัด และการคำนวณโดยวิธีละเอียด

การคำนวณโดยวิธีลัด จะคำนวณหา อัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด จำนวนขั้นน้อยที่สุด ตำแหน่งป้อนสาร จำนวนขั้นสมดุล โดยใช้สมการของอันเดอร์วูด สมการของเฟนสกี สมการของครีกไบรด์ สมการของกิลลิแลนด์ ตามลำดับ การคำนวณโดยวิธีละเอียด จะสามารถคำนวณหาสัดส่วนขององค์ประกอบ อุณหภูมิ อัตราการไหลของวัฏภาคของเหลวหรือไอ ในแต่ละชั้น และอัตราการถ่ายเทพลังงานของเครื่องควบแน่น โดยใช้สมการ คุณมวลสาร คุณสมดุล คุณสัดส่วน องค์ประกอบ คุณพลังงาน(MESH) สำหรับการคำนวณจะใช้วิธีไตรโคอะโกนอด เมทริกซ์ ในการแก้ปัญหา ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลขั้นต้น ในการออกแบบหอกลับ ของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

Report Title A Calculation Program for Multi-component Distillation of Hydrocarbon
By Mr. Pisit Kumnorkaew
 Mr. Manusak Preechaporn
Advisor Asst.Prof.Dr.Prakob Kitchaiya
Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Multi-component distillation is an important separation process especially for hydrocarbon separation. This project is a program development for the calculation of hydrocarbon distillation by Delphi program. There is an assumption that water and carbon dioxide are removed from the hydrocarbon compounds. This program has two calculation methods for hydrocarbon distillation, one is the short cut method and another is the rigorous method

The shortcut method will estimate minimum reflux ratio, minimum tray, feed tray location, equilibrium tray, and composition fraction of each tray, by Underwood equation, Fenske equation, Kerkbride equation, Gilliland equation respectively. The rigorous method will estimate composition fraction, temperature, liquid and vapor flow of each tray, and heat transfer of condenser and reboiler by mass balance equation, equilibrium balance equation, summation of composition equation, and heat balance equation(MESH) based on equilibrium base method. A tridiagonal matrix system is set up. The result of solving, the tridiagonal system by using this program can be used a preliminary data for distillation design of hydrocarbons.

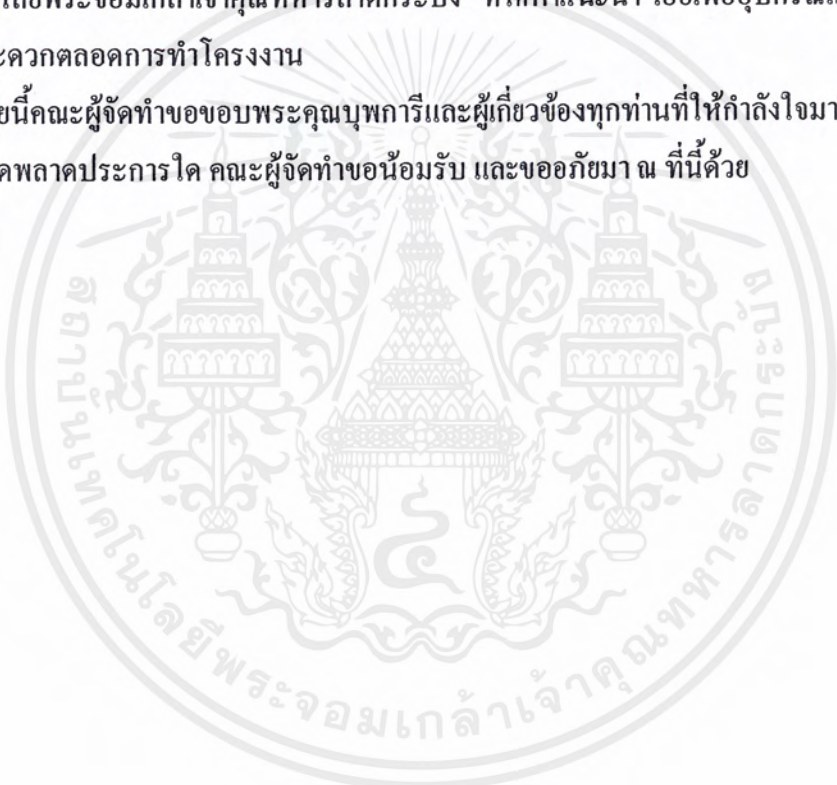
กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และ บุคลากรหลายฝ่าย
คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

ผศ.ดร ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขโครง
งาน ทำให้โครงงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผศ.ดร ไพศาล นาคพิพัฒน์ และ อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ เอื้อเพื่ออุปกรณ์และ
อำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุพการีและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้กำลังใจมาโดย
ตลอดถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฅ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
2. ทฤษฎีการกลั่น	4
การพัฒนาแบบจำลองของการออกแบบหอกลั่นลำดับส่วนของสารผสมหลายองค์ประกอบ	4
2.1 การกำหนดความดันที่ใช้ในการกลั่น	6
2.2 การคำนวณในการกลั่นแยกสาร	6
2.2.1 การคำนวณโดยวิธีตัด	6
2.2.1.1 การคำนวณหาอัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำ	7
2.2.1.2 จำนวนขั้นน้อยที่สุด	10
2.2.1.3 ตำแหน่งป้อนสาร	10
2.2.1.4 การหาจำนวนขั้นสมดุล	11
2.2.2 วิธีคำนวณโดยละเอียด	11
2.2.2.1 สมการ MESH	13
2.2.2.2 ขั้นตอนการคำนวณ	19
3. แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	

3.1 โปรแกรมหลักแสดงการคำนวณหอกลั่นโดยวิธีตัด 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1	โปรแกรมย่อยคำนวณความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์	21
3.1.2	โปรแกรมย่อยคำนวณจุดเกิดฟอง	22
3.1.3	โปรแกรมย่อยคำนวณอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุดใช้สมการอันเดอร์วูด	23
3.1.4	โปรแกรมย่อยคำนวณจำนวนชั้นต่ำสุดที่ใช้ในการกลั่นโดยใช้สมการเฟนสกี	24
3.1.5	โปรแกรมย่อยคำนวณจำนวนชั้นสมดุลโดยใช้สมการกิลลิแลนด์	24
3.1.6	โปรแกรมย่อยคำนวณตำแหน่งที่ป้อนสารโดยใช้สมการของเทริกไบรต์	25
3.2	โปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยละเอียดโดยใช้สมการ MESH วิธี Tridiagonal Matrix	26
4	รูปแบบโปรแกรม	27
4.1	ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยวิธีตัด	28
4.2	ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยละเอียด	28
4.3	ขอบเขตการทำงานของโปรแกรม	28
5	การทดสอบโปรแกรม	39
	กรณีศึกษาที่ 1	39
	กรณีศึกษาที่ 2	40
	กรณีศึกษาที่ 3	43
	กรณีศึกษาที่ 4	46
6	บทสรุป	
6.1	การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณของหอกลั่น	50
6.2	การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	50
6.3	การจำลองสถานการณ์	51
6.4	ข้อจำกัดของการกลั่น	51
6.5	ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณคอมพิวเตอร์	51
	เอกสารอ้างอิง	52
	ภาคผนวก	
	ตารางภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์	53
	ตารางภาคผนวก ข. ค่าคงที่แอนโทอินและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงแบบจำลองหอกลับ	9
รูปที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทมวลและพลังงานของแต่ละชั้น	12
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการคำนวณ โปรแกรมหลักการออกแบบหอกลับโดยวิธีตัด	20
รูปที่ 3.2 แผนภูมิการคำนวณจุดเกิดฟอง	22
รูปที่ 3.3 แผนภูมิการคำนวณอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด	23
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการคำนวณหาตำแหน่งป้อนสาร	25
รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการคำนวณ โดยใช้วิธี Tridiagonal Matrix	26
รูปที่ 4.1 หน้าจอแรกของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์	29
รูปที่ 4.2 หน้าจอหลักของโปรแกรม	29
รูปที่ 4.3 หน้าจอหลักของโปรแกรมย่อยการคำนวณโดยวิธีตัด	30
รูปที่ 4.4 การกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่กั้นหอและยอดหอ	31
รูปที่ 4.5 สัดส่วนขององค์ประกอบในสายป้อน ยอดหอ และกั้นหอ	31
รูปที่ 4.6 สัดส่วนขององค์ประกอบของไลท์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์ ที่ กั้นหอและยอดหอ และจำนวนชั้นน้อยที่สุดตามทฤษฎีตามสมการเฟนสกี	32
รูปที่ 4.7 สมการของแอนเดอร์วูด ที่ใช้สำหรับอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด	32
รูปที่ 4.8 สมการที่ใช้หาจำนวนชั้นสมดุลและตำแหน่งสารป้อน	33
รูปที่ 4.9 หน้าจอรับค่าการคำนวณโดยวิธีละเอียด	34
รูปที่ 4.10 ข้อมูลการคำนวณสัดส่วนองค์ประกอบวัฏภาคของเหลว	35
รูปที่ 4.11 ข้อมูลการคำนวณอุณหภูมิในแต่ละชั้น	35
รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงผลแบบแผนภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 4.13 แผนภูมิมวงกลมสัดส่วนขององค์ประกอบของวัฏภาคของเหลวในชั้นใดๆ	36
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแบบเส้นแสดงอุณหภูมิของแต่ละชั้น	37
รูปที่ 4.15 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทของแต่ละชั้น	37
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแบบเส้นแสดงการไหลของวัฏภาคของเหลวในแต่ละชั้น	38
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแบบเส้นแสดงอัตราการไหลของวัฏภาคไอในแต่ละชั้น	38
รูปที่ 5.1 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบของวัฏภาคของเหลว	41
รูปที่ 5.2 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคของเหลว	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคไอ	42
รูปที่ 5.4	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลั่น	42
รูปที่ 5.5	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานของเครื่องควบแน่น และ หม้อต้มซ้ำ	43
รูปที่ 5.6	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วน โมลของวัฏภาคของเหลว	44
รูปที่ 5.7	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคของเหลว	44
รูปที่ 5.8	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคไอ	45
รูปที่ 5.9	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลั่น	45
รูปที่ 5.10	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานของเครื่องควบแน่น และ หม้อต้มซ้ำ	46
รูปที่ 5.11	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วน โมลของวัฏภาคของเหลว	47
รูปที่ 5.12	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคของเหลว	47
รูปที่ 5.13	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคไอ	48
รูปที่ 5.14	กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลั่น	48
รูปที่ 5.15	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานของเครื่องควบแน่น และ หม้อต้มซ้ำ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

a_k	ค่าคงที่ของความจุความร้อนลำดับที่ k เมื่อ k คือ 1, 2, 3, 4, 5
A_k	ค่าคงที่ของสมการแอนโทอิน ลำดับที่ k เมื่อ k คือ 1, 2, 3
b_i	อัตราไหลขององค์ประกอบ i ของสายกั้นหอ (lbmol/h)
b_l	อัตราไหลขององค์ประกอบไลท์คีซี ของสายกั้นหอ (lbmol/h)
B	อัตราไหลของสายกั้นหอ (lbmol/h)
B_j	ค่าสัมประสิทธิ์ ในเมทริกซ์ การคำนวณวิธีไตรโคอะโกนอล ชั้นที่ j
C_j	ค่าสัมประสิทธิ์ ในเมทริกซ์ การคำนวณวิธีไตรโคอะโกนอล ชั้นที่ j
C_{PV}^o	ค่าความจุความร้อนจำเพาะขององค์ประกอบใด ๆ ต่อ (Btu/lbmol ^o F)
d_h	อัตราไหลขององค์ประกอบเฮฟวี คีซี ของสายยอดหอกลับ (lbmol/h)
d_i	อัตราไหลขององค์ประกอบ i ของสายยอดหอกลับ (lbmol/h)
d_l	อัตราไหลขององค์ประกอบ ไลท์ คีซี ของสายยอดหอกลับ (lbmol/h)
D	อัตราการไหลของสายยอดหอกลับ (lbmol/h)
D_j	ค่าสัมประสิทธิ์ ในเมทริกซ์ การคำนวณวิธีไตรโคอะโกนอล ชั้นที่ j
E_0	ประสิทธิภาพหอกลับ
E_j	ฟังก์ชันสมมูลวิทยาชั้นที่ j
F_j	สายป้อนวัตถุดิบ ชั้นที่ j (lbmol/h)
H_{ij}	เอนทาลปีขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j (Btu/lbmol)
H_L	เอนทาลปี วิทยาของเหลว (Btu/lbmol)
H_V	เอนทาลปี วิทยาไอ (Btu/lbmol)
K_h	ค่าอัตราส่วนสมมูลขององค์ประกอบ เฮฟวี คีซี
K_{ij}	ค่าอัตราส่วนสมมูลขององค์ประกอบ i ของชั้น j
l_{ij}	อัตราไหลของของเหลวองค์ประกอบ i ที่ออกจากชั้น j (lbmol/h)
L_j	อัตราไหลของของเหลวที่ออกจากชั้น j (lbmol/h)
m	จำนวนชั้นสมมูลเหนือตำแหน่งป้อนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_{ij}	ฟังก์ชันคลัชมวล
N	จำนวนชั้นของหอกถั่น
N_m	จำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอกถั่น
p	จำนวนชั้นสมมูลได้ตำแหน่งป้อนสาร
P	ความดันในหอกถั่น (psi)
P_{ci}	ความดันวิกฤตขององค์ประกอบ i (psi)
P_i^s	ความดันไออิ่มตัวขององค์ประกอบ i (psi)
P_{fi}	ความดันรีคิวซ์ขององค์ประกอบ i
P_T	ความดันรวม (psi)
q	Feed Quality
q_{ij}	พารามิเตอร์ในการแก้สมการเมทริกซ์ แบบ LU
Q	การถ่ายเทความร้อน (Btu/h)
Q_b	ความร้อนถ่ายเทที่ หม้อต้มซ้ำ (Btu/h)
Q_d	ความร้อนถ่ายเทที่ เครื่องควบแน่น (Btu/h)
Q_N	ความร้อนถ่ายเทที่ ชั้น N (Btu/h)
R	อัตราส่วนป้อนกลับ ; ค่าคงที่ของก๊าซ (psi.ft ³ / ⁰ R)
R_m	อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด
S_j	ฟังก์ชันคลัชขององค์ประกอบในชั้นที่ j
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (⁰ R)
T_0	อุณหภูมิอ้างอิง (⁰ F)
T_c	อุณหภูมิวิกฤต (⁰ F)
T_r	อุณหภูมิรีคิวซ์ ขององค์ประกอบ i
U_j	อัตราของเหลวที่ออกข้าง ชั้นที่ j (lbmol/h)
V_j	อัตราไหลของไอที่ออกจากชั้น j (lbmol/h)
V_{iL}	ปริมาตรสัมบูรณ์ของของเหลว i ที่อุณหภูมิใด ๆ (ft ³ /lbmol)
W_j	อัตราไอที่ออกข้างชั้นที่ j (lbmol/h)
x_b	สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ เฮฟวี คีย์
x_1	สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ ไลท์ คีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_{iF}	สัดส่วนโมลในวัฏภาคของเหลวขององค์ประกอบ i
x_{iB}	สัดส่วนโมลในสายกันหอยขององค์ประกอบ i
x_{iD}	สัดส่วนโมลในสายยอดหอยขององค์ประกอบ i
y_{ji}	สัดส่วนโมลในวัฏภาคไอขององค์ประกอบ i
z	สัดส่วนโมลของสายป้อน
α_B	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสายกันหอย
α_D	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสายยอดหอย
α_F	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสายป้อน
α_h	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ขององค์ประกอบ เฮฟวี คีย์
α_i	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ขององค์ประกอบ i
$\alpha_{i,av}$	ค่าการระเหยสัมพัทธ์เฉลี่ยขององค์ประกอบ i
α_l	ค่าการระเหยสัมพัทธ์ขององค์ประกอบ ไลท์ คีย์
μ	ความหนืด (cP)
Φ	ค่าคงที่ของสมการแอนเดอร์วูด
ε	ค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เปรียบเทียบ
ζ	ปริมาตรของเหลวต่อโมลที่สภาวะมาตรฐาน (ft^3/lbmol)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

การปฏิบัติการที่สำคัญมากประเภทหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมี ได้แก่ การแยกสารให้บริสุทธิ์ ไม่เพียงเฉพาะสารที่มีอยู่ตามธรรมชาติเท่านั้น ยังรวมถึงสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาด้วย ปฏิบัติการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในฐานะที่เป็นวิธีการสำหรับแยกสารให้บริสุทธิ์ก็คือ ปฏิบัติการที่เรียกว่า การกลั่น ซึ่งการกลั่นจัดว่าเป็นศาสตร์ที่สำคัญศาสตร์หนึ่งในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความดันไอของของเหลวแต่ละชนิด โดยการให้พลังงาน เพื่อให้เกิดการกลั่นตัวออกมา การคำนวณปริมาณองค์ประกอบและอุณหภูมิในชั้นต่างๆ ในหอกลั่น เป็นงานที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากการกลั่นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบ ความดัน การถ่ายเทมวลสาร และพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำคอมพิวเตอร์ มาใช้ในการออกแบบหอกลั่น ลำดับส่วนของสารหลายองค์ประกอบ ซึ่งได้ทำการเลือกวิธีการคำนวณหาการทำงานและการออกแบบมาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการหาจำนวนชั้นสมดุลทางทฤษฎีโดยวิธีถัดซึ่งใช้สมการของอันเดอร์วูดคำนวณอัตราส่วนรีฟลักซ์ ใช้สมการของเฟนสกี หาจำนวนชั้นต่ำสุด ใช้ความสัมพันธ์ของ กิลลิแลนด์คำนวณหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี นอกจากนี้ยังคำนวณ โดยวิธีละเอียดซึ่ง ใช้สมการ MESH ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมนี้จะเป็นการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในด้านการประเมินการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและวางแผนการผลิตได้ล่วงหน้าโดยอาจไม่ต้องปฏิบัติงานจริง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานคือ

1. ศึกษาการทำงาน และการออกแบบหอกลั่นลำดับส่วนของสารผสมหลายองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ
2. เลือกวิธีการคำนวณและการออกแบบหอกลั่น มาพัฒนาเป็นแบบจำลองการออกแบบที่เหมาะสม
3. นำแบบจำลองที่ได้ไปเขียนเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ได้ โดยการคำนวณออกแบบเปรียบเทียบกับ หอกลั่นที่ทราบข้อมูลการออกแบบอยู่แล้ว
5. นำโปรแกรมที่ทดสอบแล้วมาใช้ในการออกแบบหอกลั่นลำดับส่วนของสารหลายองค์ประกอบใด ๆ ที่สภาวะในการกลั่นต่างกันไปเพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ โปรแกรมที่พัฒนา

1.3 ขอบเขตของโครงการ

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการทำงาน การออกแบบหอกลั่นและทำการเขียนเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อการคิดคำนวณได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็วนี้มีขอบเขตกว้างขวางสามารถนำไปใช้ในการออกแบบหอกลั่นใหม่และศึกษาการทำงานของหอกลั่นที่มีอยู่แล้วได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ

1. ใช้ได้สำหรับสารหลายองค์ประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน ทั้งที่เป็นระบบสารที่เป็นอุดมคติและระบบสารที่ไม่เป็นอุดมคติ
2. สามารถคิดคำนวณได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีการคำนึงถึงผลของการสูญเสียความร้อน ผลของการสูญเสียมวลสาร ของของเหลวและ ไอในแต่ละชั้นของหอกลั่นเนื่องจากการผสมที่ไม่สมบูรณ์
3. สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยใช้งานได้ทั้งระบบที่มีการป้อนสารหลายตำแหน่งและระบบที่มีการดึงสารออกจากทางด้านข้างของหอกลั่น

ในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นทางผู้จัดทำโครงการได้นำภาษา Delphi มาใช้เนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมให้ใช้งานได้ง่ายและมีโครงสร้างภาษาเป็นภาษา Pascal ในการกลั่นนี้จะครอบคลุมการกลั่นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบหลักอยู่ 13 ชนิด ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทราบผลอยู่แล้วหรือได้รับการยอมรับโดยทั่วไป ในการทำโครงการนี้จะได้นำความรู้ในการแก้ปัญหาของแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

การคำนวณจำนวนชั้น ตำแหน่งสารป้อน อัตราส่วนป้อนกลับของผลิตภัณฑ์ยอดหอโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถออกแบบหอกลั่นขั้นเบื้องต้น การคำนวณปริมาณองค์ประกอบและอุณหภูมิในแต่ละชั้นของหอกลั่นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะช่วยให้สามารถประมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณองค์ประกอบ และอุณหภูมิในแต่ละชั้นของหอกถันได้ถูกต้องและแม่นยำนำไปสู่การประมาณตำแหน่งที่จะนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการออกมาและช่วยลดเวลาในการคำนวณลงได้มาก และยังสามารถคาดการณ์หรือทราบแนวโน้มของผลิตภัณฑ์จากการถันอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะการถันได้

นอกจากนี้ทางผู้ทำโครงการยังจะมีความรู้ความเข้าใจถึงหลักการทำงานของหอกถัน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถันทั้งหลาย และมีความรู้ความสามารถทางด้านการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Delphi ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้งานได้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

สารหลายองค์ประกอบหมายถึง สารที่มีองค์ประกอบมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไปซึ่งในทางอุตสาหกรรมนั้นพบว่า ระบบของสารที่ประกอบด้วยสารเพียง 2 ชนิดนั้นมีน้อยมาก สารส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นสารหลายองค์ประกอบ

การกลั่นแยกสาร N องค์ประกอบออกจากกัน จะต้องใช้หอกลั่น N-1 หอโดยหอกลั่นหอหนึ่งจะสามารถกลั่นแยกสาร 2 องค์ประกอบออกจากกัน ดังนั้นการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบนั้นอย่างหายากๆ ออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่มีจุดเดือดต่ำและส่วนที่มีจุดเดือดสูงโดยในการออกแบบนั้นจะตั้งข้อกำหนดในการกลั่นแยกระหว่างสาร 2 องค์ประกอบ คือ สารองค์ประกอบ เฮฟวี คีย์ (Heavy key) และสารองค์ประกอบ ไลต์ คีย์ (Light key) สารองค์ประกอบ เฮฟวี คีย์ หมายถึง องค์ประกอบที่ต้องการให้ปรากฏในส่วนที่กลั่นแยกได้ทางด้านบนของหอกลั่นน้อยที่สุด ส่วนสารองค์ประกอบ ไลต์ คีย์ หมายถึง องค์ประกอบที่ต้องการให้ปรากฏในส่วนที่กลั่นแยกได้ทางด้านล่างของหอกลั่นน้อยที่สุด สารองค์ประกอบอื่นที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างสารองค์ประกอบ เฮฟวี คีย์ และไลต์ คีย์ จะปรากฏอยู่ในส่วนที่กลั่นแยกออกทางด้านบนและด้านล่างของหอกลั่น เรียกว่าสารองค์ประกอบ ดิสทริบิวท์ (Distribute)

สำหรับข้อกำหนดในการกลั่นมีหลายรูปแบบ คือ

1. กำหนดเป็นอัตราส่วนของสารองค์ประกอบ ไลต์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์ ที่กลั่นแยกได้

ทางด้านบนและทางด้านล่าง ($b_t/d_t, b_b/d_b$)

2. กำหนดเป็นอัตราไหลของสารองค์ประกอบ ไลต์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์ที่กลั่นแยกได้ทางด้านบน (d_t, d_b)

3. กำหนดเป็นอัตราส่วนที่กลั่นแยกได้ (Fractional Recovery) ของสาร ไลต์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์ ($d_t/Fx_t, d_b/Fx_b$)

ทั้งนี้จะต้องออกแบบหอกลั่นให้มีจำนวนชั้นพอดีที่จะกลั่นสารที่ป้อนเข้ามาตามอัตราส่วน และสถานะที่ได้กำหนดให้ แยกเป็นสองส่วนดังข้อกำหนดดังกล่าวนี้

ความจริงแล้วข้อกำหนดในการกลั่นเหล่านี้อาจมีความหมายเหมือนกันซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังนี้ จากคุณมวลสารของสารองค์ประกอบโพลี คีซี

$$F_x = d_1 + b_1 = d_1(1 + b_1/d_1) \quad (2.1)$$

ดังนั้น

$$d_1 = \frac{F_x}{1 + b_1/d_1} \quad (2.2)$$

หรือ

$$\frac{d_1}{F_x} = \frac{1}{1 + b_1/d_1} \quad (2.3)$$

สำหรับสารองค์ประกอบเฮฟวี คีซีจะทำได้ในทำนองเดียวกัน

ตามปกติในการคิดคำนวณ จะเรียงลำดับองค์ประกอบของสารที่ป้อนตามลำดับความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ (Relative Volatility) โดยจะเรียงลำดับจากองค์ประกอบที่ระเหยได้ง่ายที่สุดมีความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์สูงสุด ไปหาองค์ประกอบที่ระเหยได้ยากที่สุด มีความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ต่ำสุด

ความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ จะคำนวณโดยเทียบค่าอัตราส่วนสมดุลขององค์ประกอบใด ๆ กับสารองค์ประกอบเฮฟวี คีซี

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_h} \quad (2.4)$$

K_i = ค่าอัตราส่วนสมดุลขององค์ประกอบ i

K_h = ค่าอัตราส่วนสมดุลขององค์ประกอบ เฮฟวี คีซี

ดังนั้นความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ ของสารองค์ประกอบเฮฟวี คีซีจะมีค่าเท่ากับ 1 และความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ขององค์ประกอบที่เบากว่าเฮฟวี คีซี จะมากกว่า 1 ในขณะที่ความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ขององค์ประกอบที่หนักกว่าเฮฟวี คีซี จะน้อยกว่า 1

การพัฒนาแบบจำลองของการออกแบบหอกลั่นลำดับส่วนของสารผสมหลายองค์ประกอบ

การออกแบบกระบวนการกลั่นจะมีลำดับขั้น และ สิ่งที่จะต้องออกแบบกำหนดดังต่อไปนี้

2.1 กำหนดความดันที่ใช้ในการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หาจำนวนชั้นสมดุค ทาง ทฤษฎี ที่จำเป็นในการกลั่นแยกสารตามข้อกำหนด

2.3 หาประสิทธิภาพของหอกลั่น

2.1 การกำหนดความดันที่ใช้ในการกลั่น

การเลือกความดันที่ใช้ในการกลั่นนั้น มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ

2.1.1 พยายามหลีกเลี่ยงการเกิด อะซิไอโทป

2.1.2 ความดันที่ใช้ในการกลั่นต้องไม่สูงจนทำให้ อุณหภูมิที่ชั้นใด ๆ ในหอกลั่นสูงจนทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในการกลั่นแยก

ตามปกติแล้วที่ความดันสูง การกลั่นแยกจะทำได้ยากกว่าที่ความดันต่ำดังนั้นจึงต้องใช้จำนวนชั้นในการกลั่นมากกว่า หอกลั่นจึงมีขนาดสูงกว่า และการที่จะทนต่อความดันสูงได้นั้นผนังของหอกลั่นจะต้องหนาพอด้วยแต่ อย่างไรก็ตามที่ความดันต่ำนั้นปริมาตรของไอจะสูงกว่าที่ความดันสูง จึงต้องใช้หอกลั่นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าจึงจะไม่เกิดปัญหาในการปฏิบัติการกลั่น ดังนั้นจะต้องเลือกความดันที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกลั่น ในการพัฒนาแบบจำลองของการออกแบบหอกลั่นลำดับส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไปจะสมมติว่า ความดันที่ใช้ในการกลั่น ได้ถูกเลือกอย่างเหมาะสมแล้ว

2.2 การคำนวณในการกลั่นแยกสาร

การคำนวณในการกลั่นแยกสารนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.2.1 การคำนวณโดยวิธีลัด (Short cut method)

การออกแบบกระบวนการกลั่นสารหลายองค์ประกอบสามารถประมาณหาค่าปัจจัยขั้นต้น ในการออกแบบหอกลั่นโดยใช้การคำนวณวิธีลัด สะดวกรวดเร็วกว่าวิธีละเอียดซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ในการคำนวณวิธีลัด เริ่มจากการหาอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด จำนวนชั้นสมดุคต่ำสุดที่อัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมด จากนั้นหาจำนวนชั้นสมดุคที่ต้องใช้ และตำแหน่งป้อนสารโดยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีลัดจะนำไปเป็นข้อมูลขั้นต้นของการคำนวณ โดยวิธีละเอียดต่อไปได้ซึ่งการคำนวณโดยวิธีลัดประกอบด้วย

- หาอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด [1]
- หาจำนวนชั้นต่ำสุดที่อัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมด[1]
- หาจำนวนชั้นสมดุคตามอัตราส่วนป้อนกลับที่กำหนดให้ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่าแห่งชั้นป้อนสาร [3]

ในการคำนวณแบบวิธีตัดนี้ หลังจากคำนวณอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุดและจำนวนชั้นต่ำสุดที่อัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมดแล้ว จะหาจำนวนชั้นสมดุลจากอัตราส่วนป้อนกลับที่กำหนดให้และค่าแห่งชั้นป้อนสารได้จากความสัมพันธ์ที่พิสูจน์ได้จากข้อมูลที่ได้จากผลการกลั่นจริงที่มีอยู่ในรูปสมการ ซึ่งในที่นี้การหาจำนวนชั้นสมดุลตามอัตราส่วนป้อนกลับที่กำหนดให้ และชั้นที่ป้อนสารสามารถหาได้เช่นกันหลังจากทราบค่า อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุดและ จำนวนชั้นน้อยที่สุด

2.2.1.1 การคำนวณหาอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด

ใช้สมการของอันเดอร์วูด (Underwood) โดยมีสมการดังนี้

$$\sum \frac{\alpha_i x_{i,F} F}{\alpha_i - \Phi} = F(1 - q) \quad (2.5)$$

$$\sum \frac{\alpha_i x_{i,D} D}{\alpha_i - \Phi} = D(R_m + 1) \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.4)

Φ = พารามิเตอร์ของสมการอันเดอร์วูด ซึ่ง $\alpha_1 < \Phi < \alpha_n$

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_h}$$

ในสมการ (2.5) จะทราบค่า x_i , F และ q เนื่องจากรู้สภาวะที่ป้อนสารแล้วหา α_i จากสมดุลระหว่างของเหลวและไอซึ่งในที่นี้พิจารณาว่าสารที่ใช้เป็นสารอุดมคติ จากสมการแอนโทอิน (Antoine) นำมาหาค่าความดันไออิ่มตัวเพื่อใช้หาค่าอัตราส่วนสมดุลขององค์ประกอบ

$$\ln \frac{P_i^s}{P_c} = A_1 - \frac{A_2}{T + A_3} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_i^s = ความดันไอ ในหน่วย psi

T = อุณหภูมิในหน่วย °F

ซึ่งการหาค่าอัตราส่วนสมดุลสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$K_i = \left(\frac{P_i^s}{P} \right) \exp \left[\frac{0.4278}{T_i^{2.5} P_{ci}} (P - P_i^s) + \frac{v_{iL} (P - P_i^s)}{RT} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ $T_i = \frac{T}{T_{ci}}$

P = ความดันภายในหอกลิ้น psi

P_{ci} = ความดันวิกฤตของสาร i หน่วย psi

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิ °F

T_c = อุณหภูมิวิกฤต °F

T_i = อุณหภูมิรีดิวซ์ของสาร i

V_L = ปริมาตรสัมบูรณ์ที่อุณหภูมิใดๆ

ค่าการระเหยสัมพันธ์ $\alpha_i = \frac{K_i}{K_h}$ เมื่อ K_h คือค่าคงที่สมดุลของตัวที่

เป็นองค์ประกอบเสฟวิซ์ คีย์ โดยที่รู้ความดันทั้งหมด (P) จะหา K_i และ α_i ในสมการอันเดอร์วูดจะใช้ α_i เป็นค่าคงที่ ดังนั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของ $\alpha_{i,av}$ ที่ชั้นบนสุด ชั้นป้อนสารและชั้นล่างสุดซึ่ง

$$\alpha_{i,av} = (\alpha_{i,D} \alpha_{i,F} \alpha_{i,B})^{1/3} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\alpha_{i,F}$ จะหาได้จากสมการ (2.4) (2.7) และ (2.8) โดยค่าจุดเกิดฟอง จะทราบจากสภาวะสายป้อน ในการหาค่า $\alpha_{i,D}$ และ $\alpha_{i,B}$ ในกรณีที่สารที่จะทำการกลั่นนั้นมีไลท คีย์และเฮฟวีคีย์ติดกันเนื่องจากสารที่เบากว่าไลท คีย์เมื่อทำการกลั่นแล้วถือว่าเป็นสารที่กลั่นได้ ด้านบนและสารที่หนักกว่าเฮฟวี คีย์เมื่อกลั่นแล้วถือว่าเป็นสารที่กลั่นได้ทางด้านล่างดังนั้นจะมี คีย์ทั้งสองเท่านั้นที่กระจายอยู่ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองส่วนแต่ในการกลั่นจะกำหนดปริมาณคีย์ทั้งสอง ที่จะกลั่นได้ในผลิตภัณฑ์แต่ละส่วนดังนั้นจะทำให้ค่า $x_{i,D}$ และ $x_{i,B}$ มีค่าคงที่ จากนั้นคำนวณ แบบลองผิดลองถูก โดยหาจุดเกิดฟองที่ทำให้ $\sum K_i x_i = 1$ จะได้จุดเกิดฟองที่ชั้นบนสุด (T_D) และ ที่ชั้นล่างสุด (T_B) ได้ แล้วหา $\alpha_{i,D}$ ได้ก็จะหา $\alpha_{i,B}$ ได้ตามลำดับ

วิธีแก้ตัวเลขสมการของอันเดอร์วูด โดยที่รู้ค่า $x_{i,F}$ F q และ $\alpha_{i,av}$ แล้ว การแก้สมการหา Φ ซึ่งเป็นตัวร่วมของสมการอันเดอร์วูดทั้งสองสมการใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน จาก (2.6)

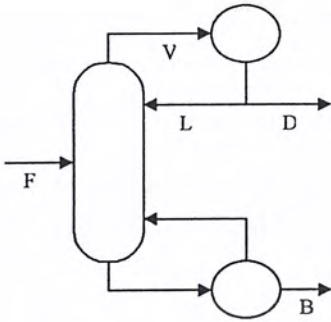
$$F(\Phi) = \sum \frac{\alpha_i x_{i,F} F}{\alpha_i - \Phi} - F(1-q) \quad (2.10)$$

อนุพันธ์ของสมการที่ (2.10) อาจเขียนได้ดังนี้

$$F'(\Phi) = \sum \frac{\alpha_i x_{i,F} F}{(\alpha_i - \Phi)^2} \quad (2.11)$$

เมื่อแก้สมการ โดยวิธีนิวตัน-ราฟสันแล้วจะได้ ค่าพารามิเตอร์ของสมการอันเดอร์วูด Φ จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการ (2.6) ในสมการนี้จะทราบค่า อัตราการไหลขององค์ประกอบใดๆที่ด้านบนของหอกลั่น ($x_{i,D}$) ค่าอัตราการไหลที่ยอดหอ (D) แทนค่าลงในสมการจะได้ค่า อัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด (R_m)

เมื่อหาอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด ได้ จะใช้อัตราส่วนป้อนกลับในการกลั่น R เป็น 1.25-1.5 เท่าของ R_m จากนั้นจะทำการประมาณอัตราการไหลของของเหลวและไอในส่วนที่อยู่เหนือตำแหน่งป้อนสารและส่วนที่อยู่ในตำแหน่งป้อนสารโดยใช้แนวความคิดของการไหลของของเหลวและไอในแต่ละส่วนของหอกลั่นมีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้



$$L = RD \quad (2.12)$$

$$V = D(R+1) \quad (2.13)$$

$$L' = qF + L \quad (2.14)$$

$$V' = F(q-1) + V \quad (2.15)$$

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงแบบจำลองหอกลั่น

2.2.1.2 จำนวนขั้นน้อยที่สุด (กรณีอัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมด (Total Reflux))

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไป ตามอัตราส่วนป้อนกลับ และการทำงานของหอกลั่นที่อัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมดจะนำไปสู่การหาจำนวนขั้นสมดุลต่ำสุด สมการของเฟนสกี (Fenske) จะใช้กับองค์ประกอบคีย์ทั้งสอง เพื่อหาจำนวนขั้นต่ำสุด (N_m) ที่อัตราส่วนป้อนกลับทั้งหมด

$$N_m = \frac{\log[(x_{1,D}/x_{h,D})(x_{h,B}/x_{1,B})]}{\log \alpha_{1,av}} \quad (2.16)$$

2.2.1.3 ตำแหน่งป้อนสาร (Feed Tray Location)

ตำแหน่งป้อนสารอาจจะประมาณได้โดยใช้ความสัมพันธ์จากผลการทดลองจำนวนมากดังเช่น เคริกไบรด์ (Cerkbride) ได้แนะนำวิธีการประมาณหาอัตราส่วนของจำนวนชั้นเหนือและได้ ชั้นป้อนสารเพื่อหาตำแหน่งป้อนสาร

$$\log \frac{m}{p} = 0.206 \log \left\{ \frac{B}{D} \left(\frac{x_{h,F}}{x_{1,F}} \right) \left(\frac{x_{1,B}}{x_{h,D}} \right)^2 \right\} \quad (2.17)$$

เมื่อ m = จำนวนชั้นสมดุลเหนือตำแหน่งชั้นป้อนสาร

p = จำนวนชั้นสมดุลใต้ตำแหน่งชั้นป้อนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 การหาจำนวนชั้นสมดุล

จำนวนชั้นทางทฤษฎีหรือชั้นสมดุลที่ใช้สำหรับการแยกที่ต้องการ อาจพิจารณาจากความสัมพันธ์อย่างง่ายของ กิลลิแลนด์ (Gilliland) ซึ่งได้มาจากผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนป้อนกลับ จำนวนชั้นทางทฤษฎี อัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุดและจำนวนชั้นสมดุลต่ำสุด ดังสมการ

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 - 0.75 \left(\frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0.5668}$$

เมื่อ N คือจำนวนชั้นสมดุล

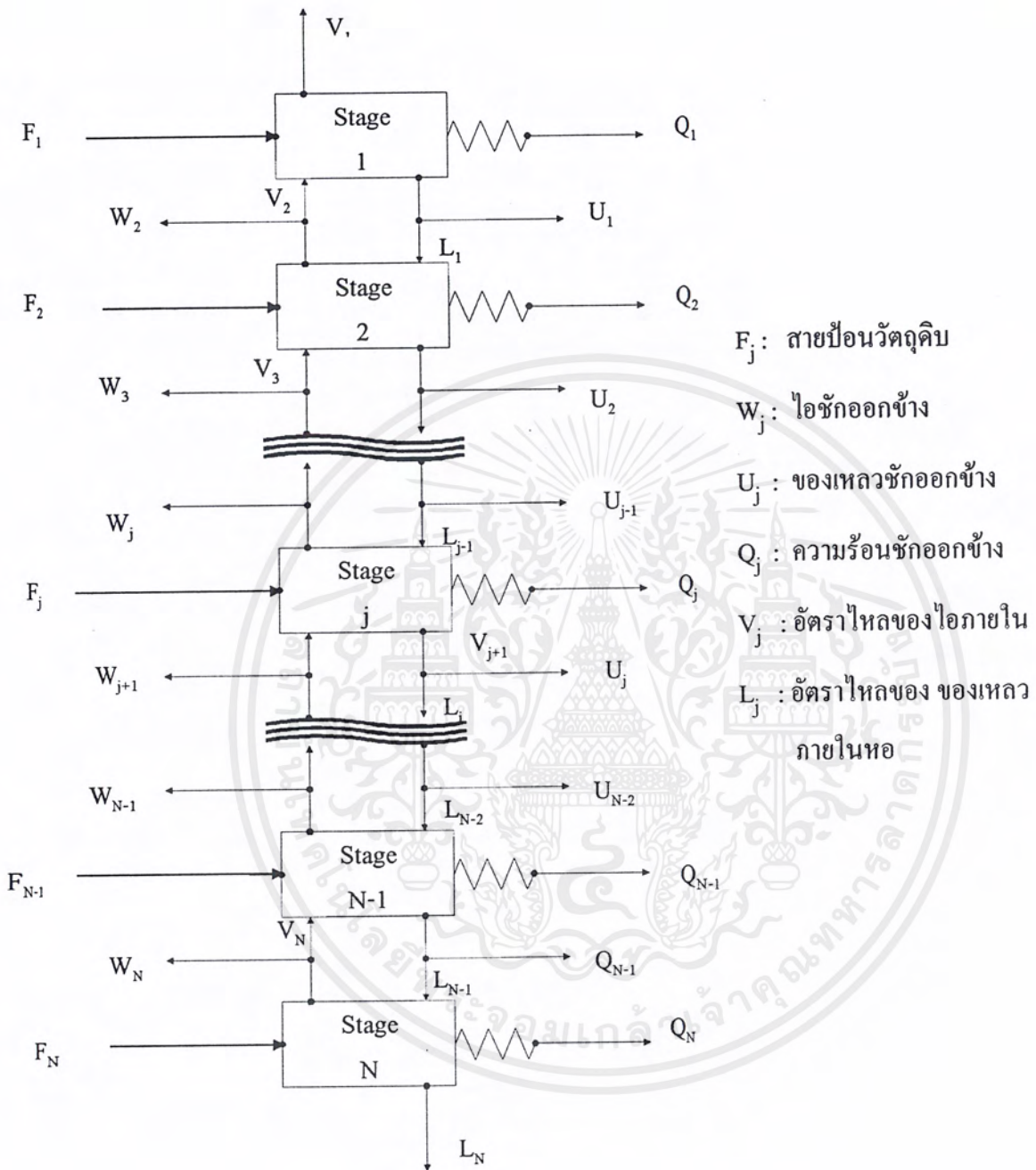
เมื่อกำหนด N_m และ R_m ได้จากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นก็จะสามารถนำมาหาจำนวน N ได้เมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนป้อนกลับ (R) ที่ต้องการ ซึ่งปกติสำหรับหอกลับโดยทั่วไป จะทำการกลับที่ อัตราส่วนป้อนกลับอยู่ในช่วง 1.25-1.5 เท่าของ R_m

2.2.2 การคำนวณโดยวิธีละเอียด (Rigorous calculation method)

แบบจำลองของหอกลับตามวิธีการคำนวณ โดย Equilibrium Base Method กำหนดให้ เครื่องควบแน่นเป็นชั้นที่ 1 ชั้นบนสุดเป็นชั้นที่ 2 ชั้นล่างสุดเป็นชั้นที่ (n-1) และ หม้อต้มข้างเป็นชั้นที่ n ที่แต่ละชั้นประกอบด้วย

- สายป้อนวัตถุดิบ (F_j)
- ไอชักออกข้าง (W_j)
- ของเหลวชักออกข้าง (U_j)
- ความร้อนชักออกข้าง (Q_j)

สำหรับชั้นที่ไม่ต้องมีปัจจัยประกอบเหล่านี้ก็กำหนดให้เป็นศูนย์ได้ ดังนั้น หอกลับตามปกติตัวแปรอื่น ๆ นอกจาก F , Q_d , Q_b , B จะเป็นศูนย์ทั้งหมด โดยชั้นตามที่แสดงในรูปที่ (2.2) สมมติว่าเป็นชั้นอุดมคติ กล่าวคือ เราใช้สมมติฐานว่าไอที่ออกจากชั้นอยู่ในสภาวะสมดุลกับของเหลวบนชั้นนั้น



รูปที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทมวลและพลังงานของแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 สมการ MESH

สมการ MESH เป็นสมการซึ่งแสดงแทนแบบจำลองดังรูป (2.2) โดยมีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

สมการ M คือสมการดุลมวลสาร ของสาร i

$$M_{i,j}(x_{i,j}, V_j, T_j) = L_{j-1}x_{i,j-1} - (V_j + W_j)y_{i,j} - (L_j + U_j)x_{i,j} + V_{j+1}y_{i,j+1} + F_j z_{i,j} = 0 \quad (2.19)$$

สมการ E คือสมการดุลวิฤภาคของชั้นที่ j

$$E_j(x_{i,j}, V_j, T_j) = y_{i,j} - K_{i,j}x_{i,j} = 0 \quad (2.20)$$

สมการ S คือสมการดุลสัดส่วนโมลของทุกองค์ประกอบของชั้นที่ j

$$S_j(y_{i,j}, V_j, T_j) = \sum_{i=1}^m y_{i,j} - 1.0 = 0 \quad \text{หรือ} \quad (2.21)$$

$$S_j(x_{i,j}, V_j, T_j) = \sum_{i=1}^m x_{i,j} - 1.0 = 0 \quad (2.22)$$

สมการ H คือสมการดุลความร้อน

$$H_{i,j}(x_{i,j}, V_j, T_j) = L_{j-1}H_{L,j-1} - (V_j + W_j)H_{V,j} - (L_j + U_j)H_{L,j} + V_{j+1}H_{V,j+1} + F_j H_{F,j} - Q_j = 0 \quad (2.23)$$

เมื่อ

$M_{i,j}$ ฟังก์ชันดุลมวลสาร (2.19) , (2.24)

E_j ฟังก์ชันสมดุลไอ-ของเหลวชั้นที่ j (2.20)

S_j ฟังก์ชันรวมสัดส่วนโมลชั้นที่ j (2.21) , (2.22)

H_j ฟังก์ชันดุลความร้อนชั้นที่ j (2.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $x_{i,j}$ สัดส่วนโมลในวัฏภาคของเหลวขององค์ประกอบ i
ในชั้นที่ j
- $y_{i,j}$ สัดส่วนโมลวัฏภาคไอขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j
- $H_{V,j}$ เอนทาลปีของวัฏภาคไอในชั้นที่ j (kcal/kg-mol)
- $H_{L,j}$ เอนทาลปีของวัฏภาคของเหลวในชั้นที่ j
- $K_{i,j}$ อัตราส่วนสมดุลองค์ประกอบที่ i ในชั้นที่ j ($= x_{i,j}/y_{i,j}$)

สมการมวลสารทั้งหมดสำหรับชั้นที่ j ใดๆ คือ

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{k=2}^j (F_k - W_k - U_k) - D \quad (2.24)$$

เมื่อ $2 \leq j \leq n-1$ ในที่นี้ $D = V_1 + U_1$

ดังนั้นสมการ M จะแตกออกได้เป็นสามสมการดังนี้

$$B_1 x_{i,1} + C_1 x_{i,2} = D_1 \quad (2.25)$$

$$A_j x_{i,j-1} + B_j x_{i,j} + C_j x_{i,j+1} = D_j \quad ; \quad 2 \leq j \leq n-1 \quad (2.26)$$

$$A_n x_{i,n-1} + B_n x_{i,n} = D_n \quad (2.27)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์จะได้

$$A_n = V_n + B \quad (2.34)$$

$$B_n = -(V_n K_{i,n} + B) \quad 1 \leq i \leq m \quad 1 \leq j \leq n \quad (2.35)$$

$$D_n = 0 \quad (2.36)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับสมการ E , S และ H จะได้เป็น

$$M_{i,j}(x_{i,j}, V_j, T_j) = K_{i,j} = y_{i,j} / x_{i,j} \quad (2.37)$$

$$S_j(x_{i,j}, V_j, T_j) = \sum_{i=1}^m K_{i,j} x_{i,j} - 1 = 0 \quad 1 \leq j \leq n \quad (2.38)$$

$$H_j(x_{i,j}, V_j, T_j) = (H_{V,j+1} - H_{V,j})V_{j+1} - (H_{V,j} - H_{L,j})(V_j + W_j) - (H_{L,j} - H_{L,j-1})L_{j-1} \\ + F_j(H_{FV,j} - H_{FL,j}) - Q = 0 \quad 1 \leq j \leq n \quad (2.39)$$

เนื่องจากมี n ชั้นและ m องค์ประกอบสมการดังกล่าวจะมีจำนวน $n(m+2)$

สมการ เมื่อแก้สมการเหล่านี้แล้วจะหาค่าของ $x_{i,j}$, V_j , T_j ได้

อย่างไรก็ดี สมการดังกล่าวเป็นสมการไม่เชิงเส้น จึงไม่สามารถแก้สมการได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้วิธีคำนวณแบบทำซ้ำ เพื่อให้การคำนวณได้คำตอบสุดท้ายอย่างรวดเร็วจะดำเนินการคำนวณดังนี้

1) อัตราป้อนวัตถุดิบพร้อมสัดส่วนโมล และ F_j , $Z_{i,j}$, W_j , U_j , D , B ถูก

กำหนดให้ จากนั้นสมมติค่าเริ่มต้นของ V_j , T_j เพื่อคำนวณหาเมทริกซ์ [ABC]

$$\begin{bmatrix}
 B_1 & C_1 & & & D_1 \\
 A_2 & B_2 & C_2 & & D_2 \\
 & \vdots & \vdots & & \vdots \\
 & A_j & B_j & C_j & D_j \\
 & & A_{n-1} & B_{n-a} & C_{n-1} & D_{n-1} \\
 & & & A_n & B_n & D_n
 \end{bmatrix}$$

เมื่อ i อยู่ในช่วง 1 ถึง m

2) เนื่องจากรู้ค่าของ $[ABC]$ และ $[D]$ แล้วจึงสามารถแปลงสมการ M ให้เป็นสมการเชิงเส้นได้ โดยอาจใช้ วิธีกำจัดของเกาส์ หรือ วิธีการแทนที่ด้วย LU แก่ระบบสมการ โดยให้

$$p_1 = C_1 / B_1 \tag{2.40}$$

$$q_1 = D_1 / B_1 \tag{2.41}$$

$$p_j = C_j / (B_j - A_j p_{j-1}) \tag{2.42}$$

$$q_j = (D_j - A_j q_{j-1}) / (B_j - A_j p_{j-1}) \tag{2.43}$$

จะได้คำตอบสำหรับ $x_{i,n}$ ก่อน แล้วค่อยลดค่า j ลงทีละชั้น หาค่า $x_{i,j}$ และ $x_{i,1}$ ในที่สุด

$$x_{i,n} = q_n \tag{2.44}$$

$$x_{i,j} = q_j - p_j x_{i,j+1} \tag{2.45}$$

3) นำค่า $x_{i,j}$ ที่ได้ไปแทนค่าในสมการ S (2.38) สำหรับค่าของ $K_{i,j}$ นั้นสามารถแสดงให้เป็นฟังก์ชัน ของอนุกรม T_j ดังสมการที่(2.8)

ดังนั้นสมการ S จึงเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิแต่เพียงอย่างเดียว

$$S_j(T_j) = \sum_{i=1}^m (K_{i,j} x_{i,j}) = 0 \quad (2.46)$$

เมื่อแก้สมการ (2.46) ด้วยวิธีลองผิดลองถูกจนผ่านเงื่อนไขตัดสินความพอใจ

$$S_{i,k} = S_j(T_{i,k}) \leq \epsilon \quad (2.47)$$

ผลการคำนวณจะทำให้รู้ค่าอุณหภูมิจุดเดือด T_j บนทุก ๆ ชั้น

4) เมื่อทราบทั้งค่า $x_{i,j}$ และ T_j แล้วต่อไปใช้สมการ H หาค่า v_j ได้โดยตรง
กรณีที่เป็นสารละลายอุดมคติ การคำนวณเอนทัลปีโดยใช้สมการ

$$H_V^O = \int_{T_0}^T C_{PV}^O dT = \sum_{k=1}^5 \frac{a_k (T^k - T_0^k)}{k} \quad (2.48)$$

เมื่อ C_{PV}^O = ค่าความจุความร้อนจำเพาะขององค์ประกอบใดๆต่อ 1 โมล

$$= a_1 + a_2 T + a_3 T^2 + a_4 T^3 + a_5 T^4 \quad \text{เมื่อ } a_k \text{ คือค่าคงที่ขององค์ประกอบใดๆ}$$

ค่าเอนทัลปีของวิภาคไอของสารผสมที่ชั้นใด ๆ ที่ความดันต่ำถึงปานกลาง [1]

สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$H_V = \sum_{i=1}^C y_i \left[H_{iV}^O - \frac{1.0695 R T P_i}{T_i^{2.5}} \right] \quad (2.49)$$

ค่าเอนทัลปีของวิภาคของเหลวของสารผสมที่ชั้นใด ๆ ที่ความดันต่ำถึงปาน

กลาง [1] สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$H_L = \sum_{i=1}^C x_i \left\{ H_{iV}^O - \frac{1.0695 R T P_i^s}{P_{ci} T_i^{2.5}} - \frac{P_i^s T A_{2i}}{(T + A_3)_i^2} \left[\frac{RT}{P_i^s} - \frac{0.4278 R T_{ci}}{P_{ci} T_i^{1.5}} - v_{iL} \right] + 5.7 \zeta_i (P - P_i^s) \right\} \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	A = ค่าคงที่แอนโทอิน
	T = อุณหภูมิ $^{\circ}\text{R}$
	T_{i1} = อุณหภูมิรีดิวส์ ขององค์ประกอบ i $^{\circ}\text{R}$
	P = ความดันรวม psi
	P_i^s = ความดันย่อยขององค์ประกอบ i psi
	P_{i1} = ความดันรีดิวส์ ขององค์ประกอบ i psi
	R = ค่าคงที่ของก๊าซ $10.73 \text{ psia}\cdot\text{ft}^3/\text{lbmol}\cdot^{\circ}\text{R}$
	H_L = เอนทาลปีของวัฏภาคเหลว Btu/h
	H_{iV}° = เอนทาลปีของวัฏภาคไอขององค์ประกอบ i
	V_{iL} = ปริมาตรของเหลวต่อโมล ft^3/lbmol
	ξ_i = ปริมาตรของเหลวต่อโมล ที่สภาวะมาตรฐาน ft^3/lbmol

2.2.2.2 ขั้นตอนการคำนวณ

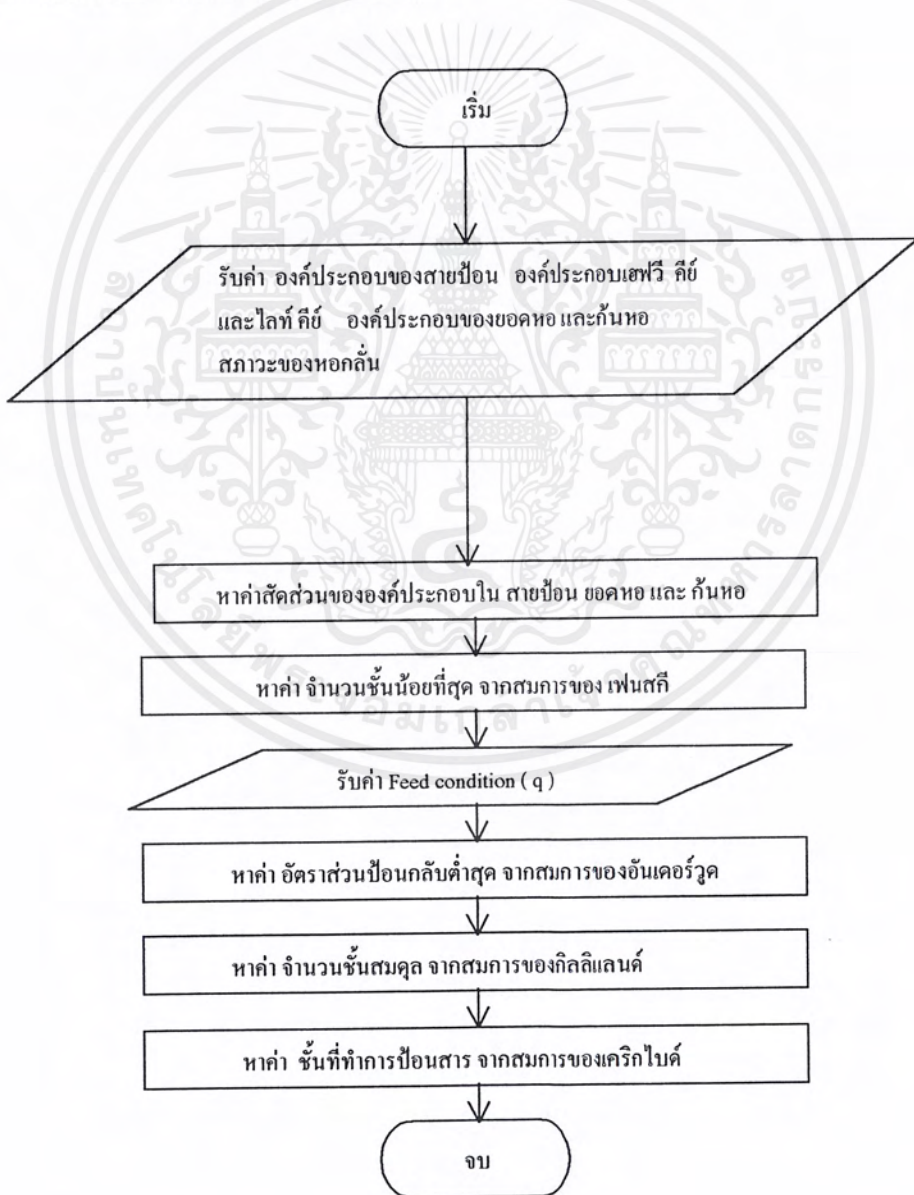
- 1) สมมติค่าเริ่มต้นของอัตราไหลของไอ และอุณหภูมิ ในทุกๆ ชั้น
- 2) คำนวณค่า K_{ij} จากสมการ และหาค่าตัวประกอบในเมทริกซ์ จากสมการ
- 3) แก้สมการ M ด้วยวิธี Tridiagonal Matrix เพื่อหาค่า x_{ij}
- 4) แทนค่า x_{ij} , K_{ij} ลงในสมการ หรือ เพื่อปรับแก้ค่า
- 5) หาค่าเอนทาลปีโดยสมการ (2.39)
- 6) ปรับแก้ค่า v_{ij}
- 7) ย้อนกลับไปคำนวณจาก 2) ถึง 6) จนกว่า

$$((T_j)_k - (T_j)_{k-1})^2 \leq \epsilon_T$$

บทที่ 3

แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

3.1 โปรแกรมหลักแสดงการคำนวณหอกลิ้นโดยวิธีลัด



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการคำนวณโปรแกรมหลักการออกแบบหอกลิ้นโดยวิธีลัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 โปรแกรมย่อยคำนวณความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์

จากสมการของแอนโทอิน(2.7)และ(2.8)

$$\ln \frac{P_i^s}{P_c} = A_1 - \frac{A_2}{T + A_3}$$

P_i^s = ความดันไอ (psi)

T = อุณหภูมิ °F

$$K_i = \left(\frac{P_i^s}{P} \right) \exp \left[\frac{0.4278}{T_{ri}^{2.5} P_{ci}} (P - P_i^s) + \frac{v_{iL} (P - P_i^s)}{RT} \right]$$

$$\text{เมื่อ } T_{ri} = \frac{T}{T_{ci}}$$

P_c = ความดันวิกฤต ในหน่วย ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

T = อุณหภูมิ ในหน่วย องศาโรเมอร์

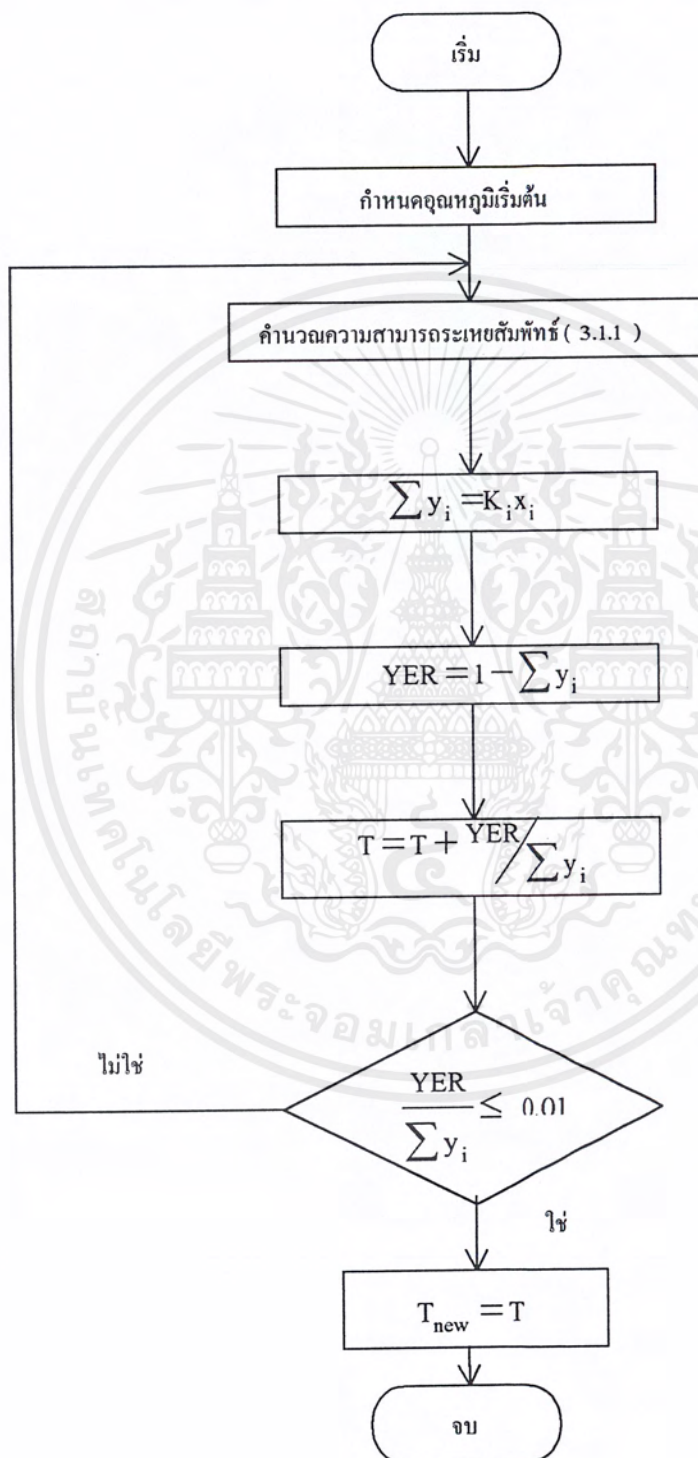
T_c = อุณหภูมิวิกฤต ในหน่วย องศาโรเมอร์

v_{iL} = ปริมาตรสัมบูรณ์ที่อุณหภูมิใด ๆ

ค่าการระเหยสัมพัทธ์ $\alpha = \frac{K_i}{K_h}$ เมื่อ K_h คือ ค่าคงที่สมดุลของสารตัวที่เป็นองค์ประกอบ

เฮฟวิสต์ คีย์

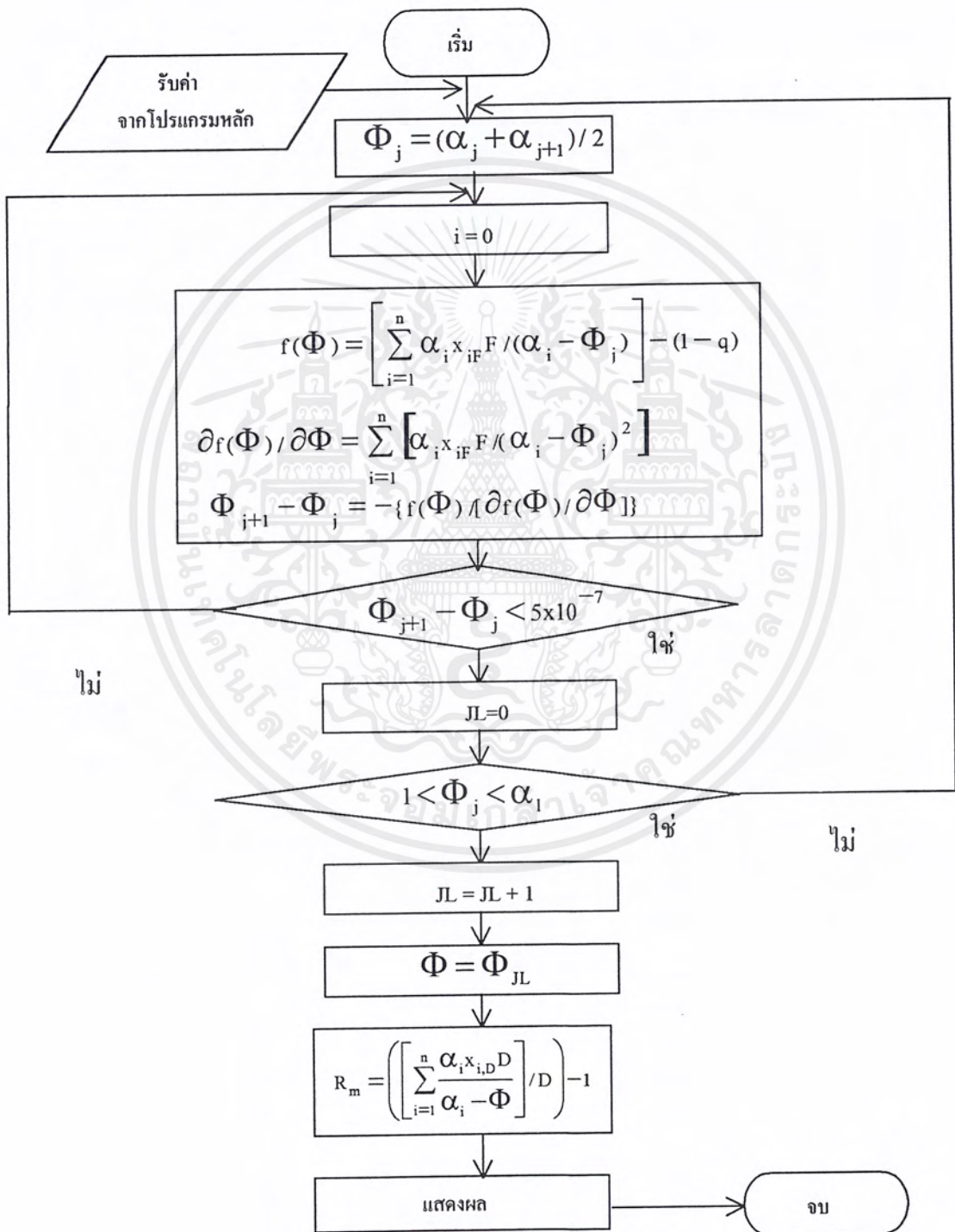
3.1.2 โปรแกรมย่อยคำนวณจุดเกิดฟอง



รูป 3.2 แผนภูมิการคำนวณจุดเกิดฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โปรแกรมย่อย คำนวณอัตราส่วนป้อนกลับค่าสุดท้ายสมการอันเดอร์วู้ด



รูปที่ 3.3 แผนภูมิการคำนวณอัตราส่วนป้อนกลับค่าสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 โปรแกรมย่อจำนวนขั้นต่ำสุดที่ใช้ในการกลั่นโดยใช้สมการเฟนสกี

เนื่องจากเอาสมการนี้มาเขียนเป็น โปรแกรมไม่ยุ่งยากจะแสดงแต่สมการเท่านั้นจาก(2.16)

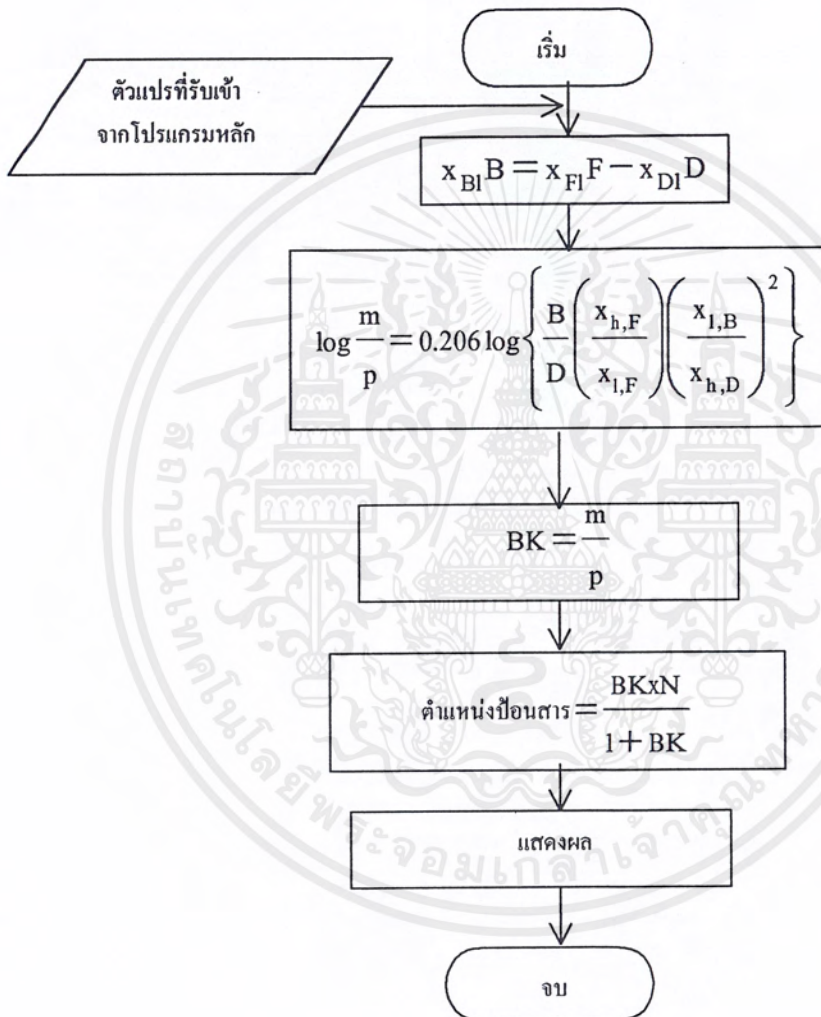
$$N_m = \frac{\log[(x_{1,D} / x_{h,D})(x_{h,B} / x_{1,B})]}{\log \alpha_{1,av}}$$

3.1.5 โปรแกรมย่อจำนวนขั้นสมดุลโดยใช้สมการกิลลิแลนด์

เนื่องจากเอาสมการ การหาจำนวนขั้นสมดุลมาเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ใช้วิธีการคำนวณหารากของสมการ โดยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน เท่านั้น จึงจะแสดงแต่สมการ การคำนวณ

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 - 0.75 \left[\frac{R - R_m}{R + 1} \right]^{0.5668}$$

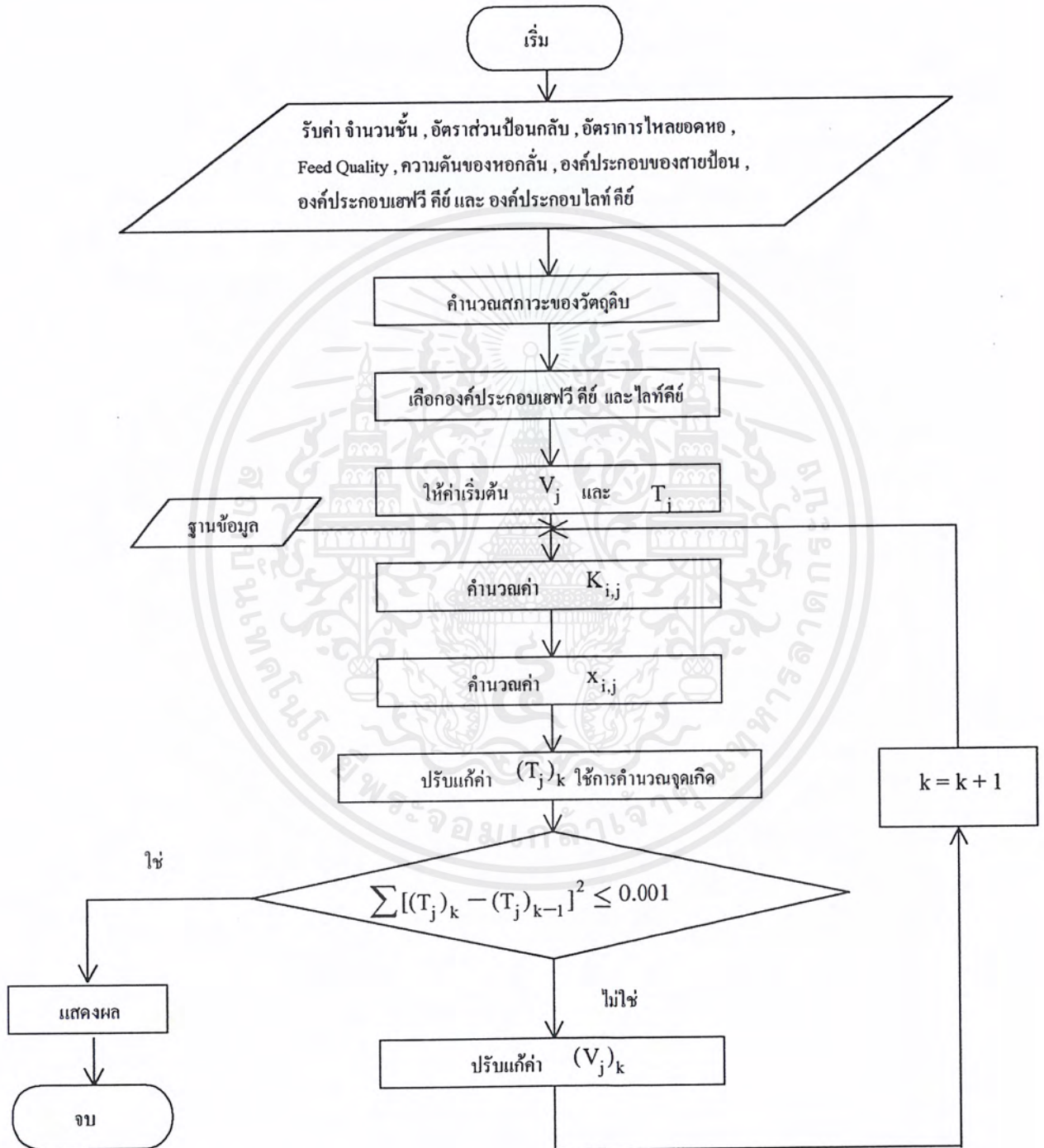
3.1.6 โปรแกรมย่อยคำนวณตำแหน่งที่ป้อนสารโดยใช้สมการเดริกไบรด์



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการคำนวณหาตำแหน่งป้อนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยละเอียดโดยใช้สมการ MESH วิธี Tridiagonal Matrix



รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการคำนวณโดยใช้วิธี Tridiagonal Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

รูปแบบโปรแกรม

บทนี้เป็นการนำทฤษฎีในบทที่ 2 มาพัฒนาเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของหอกลับของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการจำลองการทำงานของหอกลับโดยวิธีลัด ซึ่งเป็นการคำนวณหาจำนวนชั้นสมดุลทางทฤษฎี คำนวณปริมาณอัตราส่วนป้อนกลับ คำนวณตำแหน่งสารป้อน และส่วนของการจำลองการทำงานของหอกลับโดยละเอียด ซึ่งเป็นการคำนวณหาปริมาณสัดส่วนของวัฏภาคไอ หรือ วัฏภาคของเหลวของแต่ละองค์ประกอบ คำนวณอัตราการไหลของวัฏภาคต่างๆในแต่ละชั้น คำนวณอุณหภูมิในแต่ละชั้น คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องต้มซ้ำและเครื่องควบแน่น

โปรแกรมการจำลองการทำงานของหอกลับนี้พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Delphi ซึ่งเป็นภาษาที่สามารถใช้พัฒนาโปรแกรมให้ใช้งานได้ง่าย และมีโครงสร้างของภาษาเป็นภาษา Pascal ที่สามารถจะตรวจสอบและเข้าใจการทำงานของโปรแกรมได้ง่าย และโปรแกรมสามารถจำลองการกักตัวของสารผสมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด 13 ชนิด ซึ่งพบมากโดยทั่วไปดังนี้

1. มีเทน (CH_4)
2. เอทีลีน (C_2H_4)
3. อีเทน (C_2H_6)
4. โพรพีลีน (C_3H_6)
5. โพรเพน (C_3H_8)
6. ไอโซบิวเทน ($i\text{-C}_4\text{H}_{10}$)
7. นอร์มอลบิวเทน ($n\text{-C}_4\text{H}_{10}$)
8. ไอโซเพนเทน ($i\text{-C}_5\text{H}_{12}$)
9. นอร์มอลเพนเทน ($n\text{-C}_5\text{H}_{12}$)
10. นอร์มอลเฮกเซน ($n\text{-C}_6\text{H}_{14}$)
11. นอร์มอลเฮปเทน ($n\text{-C}_7\text{H}_{16}$)
12. นอร์มอลออกเทน ($n\text{-C}_8\text{H}_{18}$)
13. นอร์มอลโชนเทน ($n\text{-C}_9\text{H}_{20}$)

โปรแกรมจำลองการทำงานของหอกลั่น ใช้ฐานข้อมูลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งใช้ในการคำนวณทั้งสองส่วนของโปรแกรม ดังนี้

1. อุณหภูมิวิกฤต $^{\circ}\text{R}$
2. ค่าคงที่ของแอนโทอิน (A_1, A_2, A_3)
3. ค่าความจุความร้อนของแก๊ส (C_p), $\text{Btu/lbmol.}^{\circ}\text{F}$
4. ความดันวิกฤต psi
5. ปริมาตรของของเหลวต่อโมลที่อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ, cm^3/gmole ;

ส่วนข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้

4.1 ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยวิธีตัด

1. ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ (lbmol/h)
2. กำหนดองค์ประกอบ ไกลท์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์
3. กำหนดอัตราส่วนป้อนกลับ (1.2 ถึง 1.5 เท่าของอัตราส่วนป้อนกลับต่ำสุด)
4. ปริมาณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ก้นหอและยอดหอ
5. อุณหภูมิของสายป้อน ยอดหอและก้นหอ

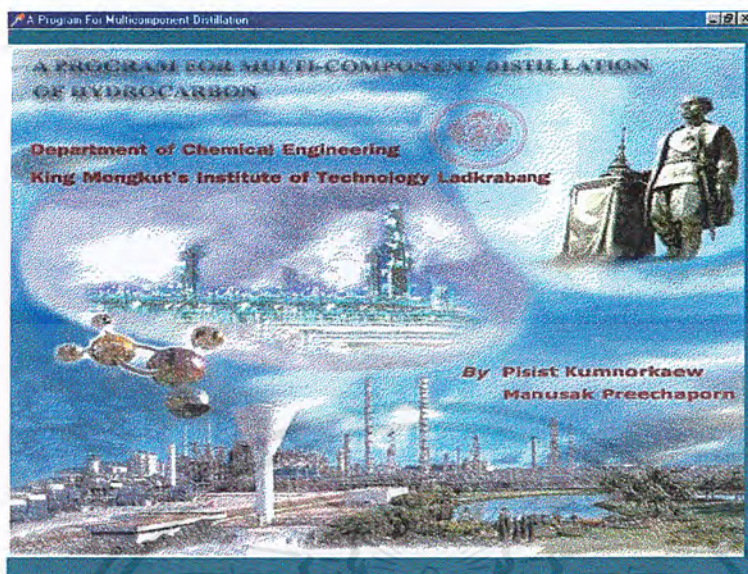
4.2 ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมการจำลองการกลั่นโดยละเอียด

1. สภาวะของสายป้อน (ปริมาณ, อุณหภูมิ, สัดส่วนวัฏภาค ไอ ในสารป้อน, ความดัน)
2. ความดันของหอกลั่น
3. อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอหรือก้นหอ (lbmol/h)
4. จำนวนชั้นของหอกลั่น
5. อัตราส่วนป้อนกลับ
6. กำหนดองค์ประกอบ ไกลท์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์
7. กำหนดชนิดของเครื่องควบแน่น

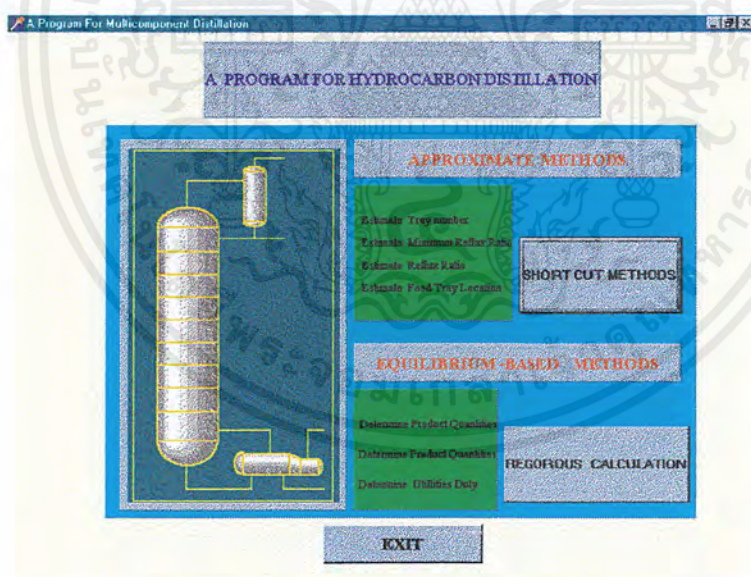
4.3 ขอบเขตการทำงานของโปรแกรม

1. ใช้ได้กับหอกลั่นที่มีจำนวนชั้นสูงสุด 60 ชั้น
2. เลือกองค์ประกอบได้ต่ำสุด 2 องค์ประกอบ และสูงสุด 13 องค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



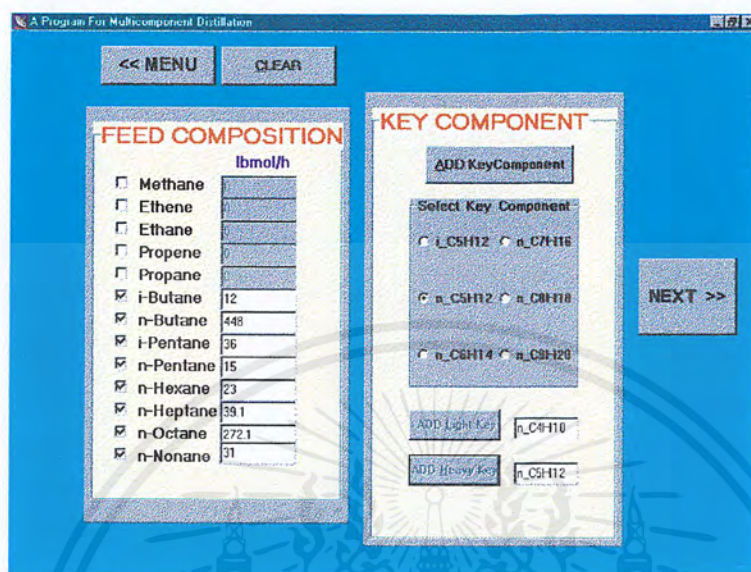
รูปที่ 4.1 หน้าจอแรกของโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 หน้าจอหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการจำลองหอกลั่นโดยวิธีตัด



รูปที่ 4.3 หน้าจอหลักของโปรแกรมย่อยการคำนวณโดยวิธีตัด

จากรูปที่ 4.3 ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

- การเลือกองค์ประกอบที่ต้องการกลั่น โดยเลือกที่ช่องหน้าชื่อของสารองค์ประกอบ และป้อนปริมาณของแต่ละองค์ประกอบในอัตราเป็น lbmol/h
- กำหนดองค์ประกอบคีย์ โดยให้องค์ประกอบที่ต้องการให้ออกที่ก้นหอ น้อยที่สุดเป็น ไลท์ คีย์ และองค์ประกอบที่ต้องการให้ออกที่ยอดหอ น้อยที่สุดเป็น เฮฟวี คีย์
- กดปุ่ม NEXT

A Program For Multicomponent Distillation

Light Key: C4H10 Heavy Key: C8H18

COMPOSITION (lbmol/h)

	Feed	Distillate	Bottom
Methane			
Ethene			
Ethane			
Propene			
Propane			
i-Butane	12	12	0
n-Butane	448	443	5
i-Pentane	36	13	23
n-Pentane	15	1	14
n-Hexane	23	0	23
n-Heptane	39.1	0	39.1
n-Octane	272.1	0	272.1
n-Nonane	31	0	31

Next >>

รูปที่ 4.4 การกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ก้นหอและยอดหอ

ทำการป้อนข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ก้นหอและยอดหอแล้วทำการกดปุ่ม NEXT

A Program For Multicomponent Distillation

CONDITION

Solution Pressure (Psi): 30

Feed temperature (F): 180

Distillate Temperature (F): 123 recommended

Bottom Temperature (F): 340 recommended

COMPOSITION FRACTION

	Feed	Distillate	Bottom
Methane			
Ethene			
Ethane			
Propene			
Propane			
i-Butane	0.01370	0.02559	0.00000
n-Butane	0.51130	0.94456	0.01220
i-Pentane	0.04103	0.02772	0.05648
n-Pentane	0.01712	0.00213	0.03430
n-Hexane	0.02625	0.00000	0.05648
n-Heptane	0.04462	0.00000	0.09602
n-Octane	0.31055	0.00000	0.66022
n-Nonane	0.03538	0.00000	0.07613

Next >>

รูปที่ 4.5 สัดส่วนขององค์ประกอบในสายป้อน ยอดหอ และก้นหอ

ป้อนข้อมูลของความดันหอกถัน และอุณหภูมิของสายป้อน ยอดหอ และก้นหอ

โปรแกรมจะแสดงค่าสัดส่วนขององค์ประกอบที่สายป้อน ยอดหอ และก้นหอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fenske Equation

$$N_m = \frac{\log[(x_{1,D} / x_{h,D})(x_{h,B} / x_{1,B})]}{\log \alpha_{1,av}}$$

x_{1,D}: 0.94456
 x_{h,D}: 0.02772
 x_{h,B}: 0.05640
 x_{1,B}: 0.01228
 alpha_{1,av}: 1.76403

N_{min}: 0.058027

Show R_{min}

รูปที่ 4.6 สัดส่วนองค์ประกอบของไลต์ คีย์ และ เฮฟวี คีย์ ที่ กำหนดและยอดหอ และจำนวนชั้นน้อยที่สุดตามสมการเฟนสกี

Underwood Equation

$$\sum \frac{\alpha_i X_{i,F}}{\alpha_i - \Phi} = F(1 - q)$$

$$\sum \frac{\alpha_i X_{i,D}}{\alpha_i - \Phi} = D(R_m + 1)$$

Feed Condition (q):
 Underwood Variable: 0.307365970178108
 Minimum Reflux Ratio: 0.190594547737214

Show the number of tray

รูปที่ 4.7 สมการของอันเดอร์วูด ที่ใช้สำหรับอัตราส่วนป้อนกลับที่น้อยที่สุด

ป้อนค่าสภาวะของสายป้อน q เมื่อ q คือสัดส่วนของวัฏภาคไอในสายป้อน กำหนดให้ ของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) $q = 1$ ไออิ่มตัว (saturated vapor) $q = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Program For Multicomponent Distillation

The Number of Equilibrium Tray

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 - 0.75 \left(\frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0.5668}$$

Reflux Ratio = **1.2** R_{min} **SHOW Equilibrium Tray**

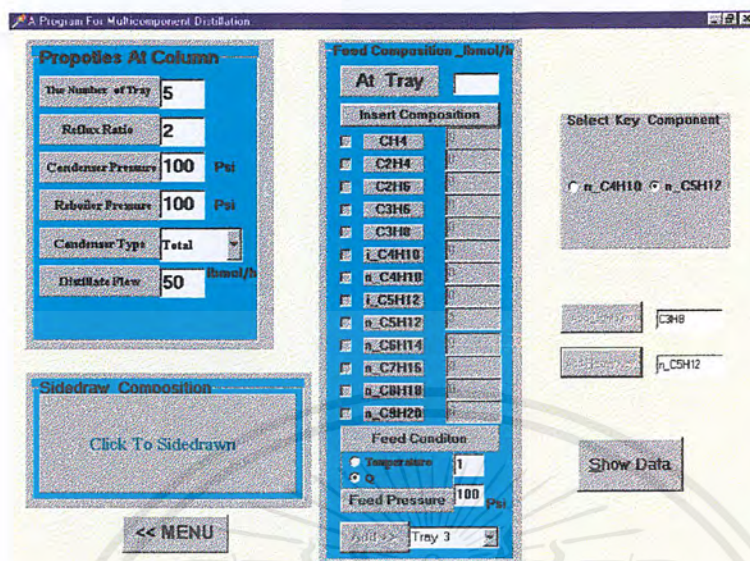
Feed Tray Location

$$\log \frac{m}{p} = 0.206 \log \left\{ \frac{B \left(\frac{X_h}{X_l} \right)_B \left[\left(\frac{X_l}{X_h} \right)_B \right]^2}{D \left(\frac{X_l}{X_h} \right)_F \left[\left(\frac{X_h}{X_l} \right)_D \right]} \right\}$$

Feed Tray
7.6528

รูปที่ 4.8 สมการที่ใช้หาจำนวนชั้นสมดุลและตำแหน่งสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

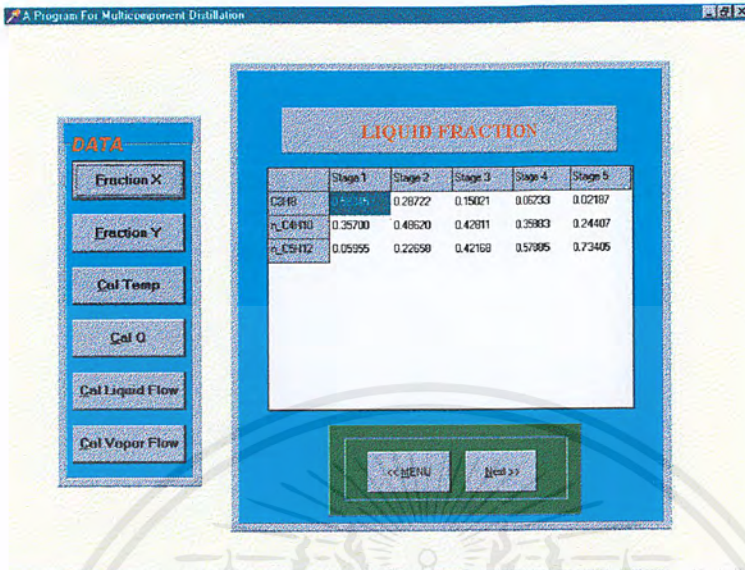


รูปที่ 4.9 หน้าจอรับค่าการคำนวณโดยวิธีละเอียด

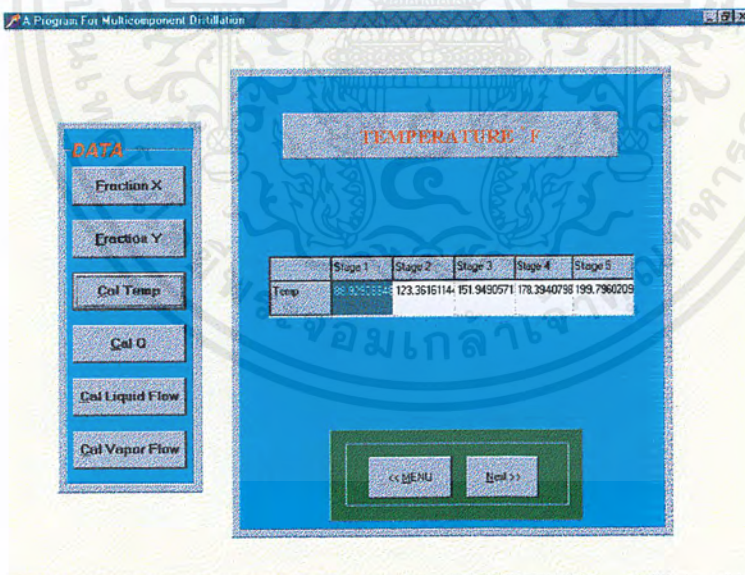
การป้อนค่าสามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

- (1) กำหนดค่าจำนวนชั้นของหอกลั่น 1-60
- (2) กำหนดค่าอัตราส่วนป้อนกลับ
- (3) กำหนดความดันของเครื่องควบแน่น (psi)
- (4) กำหนดความดันของหม้อต้มซ้ำ (psi)
- (5) กำหนดชนิดของเครื่องควบแน่น
- (6) กำหนดอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ
- (7) กำหนดชั้นที่ป้อนสาร
- (9) กำหนดปริมาณองค์ประกอบกับสารป้อน
- (10) กำหนดสถานะสารป้อน อุณหภูมิ หรือ สัดส่วน โมลของวัฏภาค
- (11) กำหนดความดันของแต่ละสารป้อน(psi)
- (12) กดปุ่ม ADD
- (13) เลือกองค์ประกอบ ไกลท์ คีย์ และเฮฟวี คีย์
- (14) กดปุ่ม Show Data เพื่อเข้าสู่หน้าถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

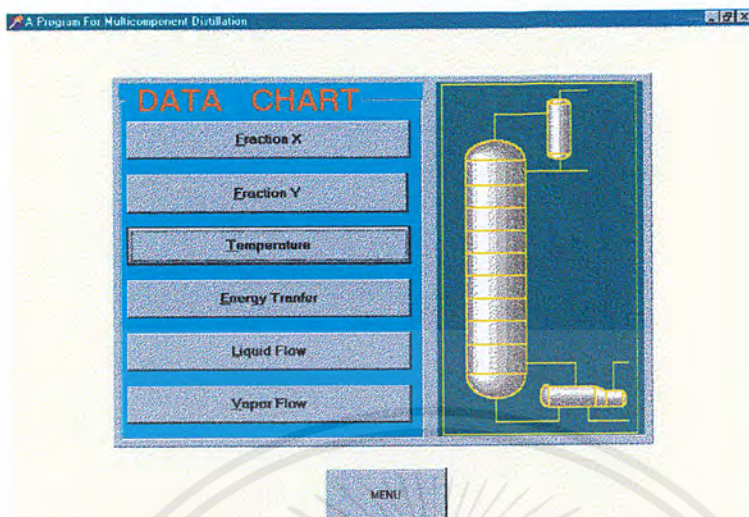


รูปที่ 4.10 ข้อมูลการคำนวณสัดส่วนองค์ประกอบวัฏภาคของเหลว

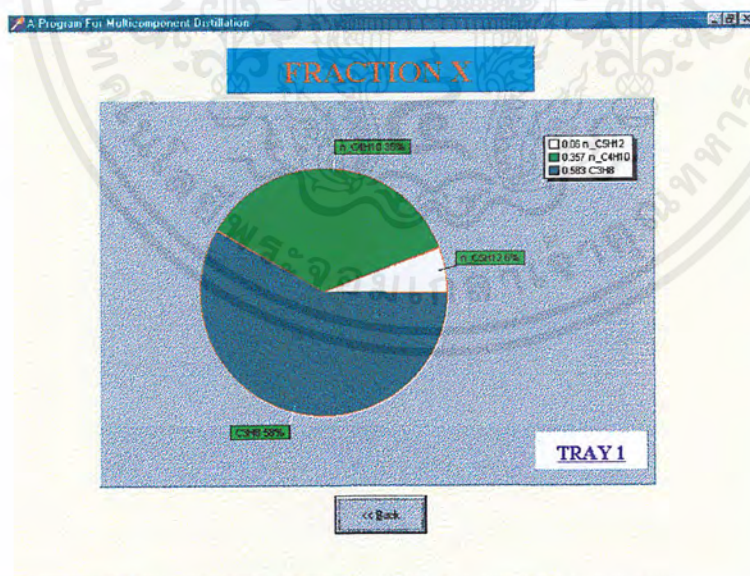


รูปที่ 4.11 ข้อมูลการคำนวณอุณหภูมิในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

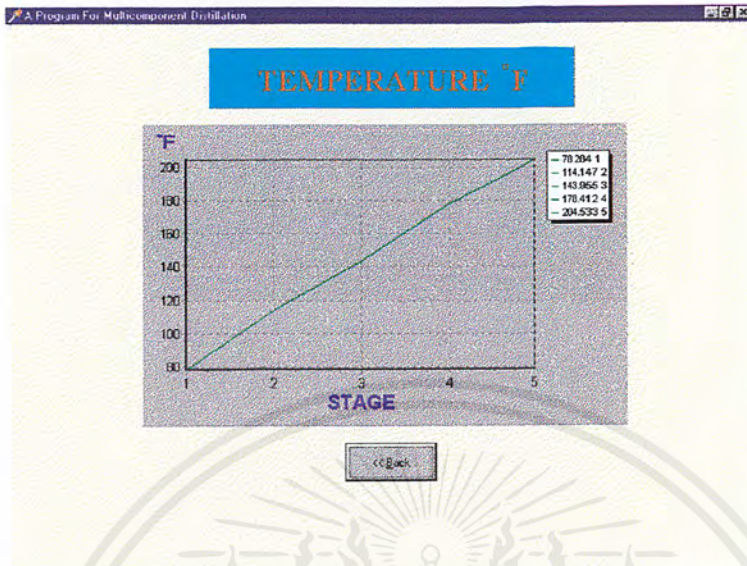


รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงผลแบบแผนภูมิต่างๆ

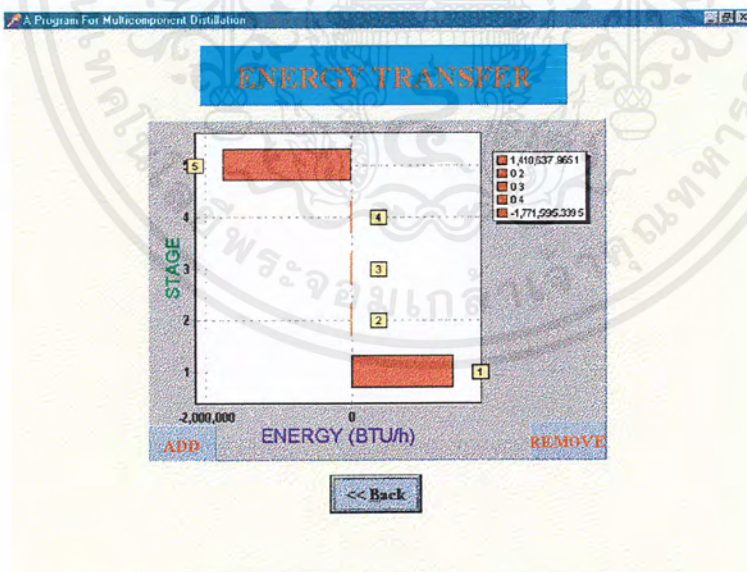


รูปที่ 4.13 แผนภูมิวงกลมสัดส่วนขององค์ประกอบของวิฤภาคของเหลวในชั้นใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

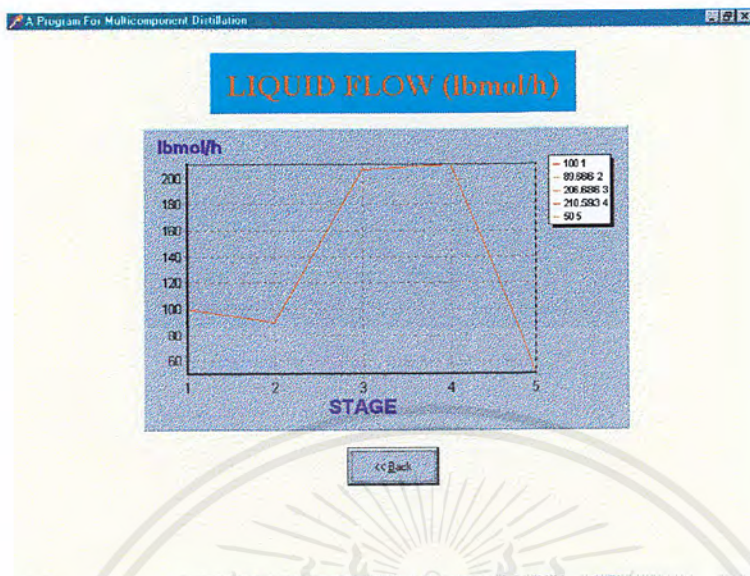


รูปที่ 4.14 แผนภูมิแบบเส้นแสดงอุณหภูมิของแต่ละชั้น

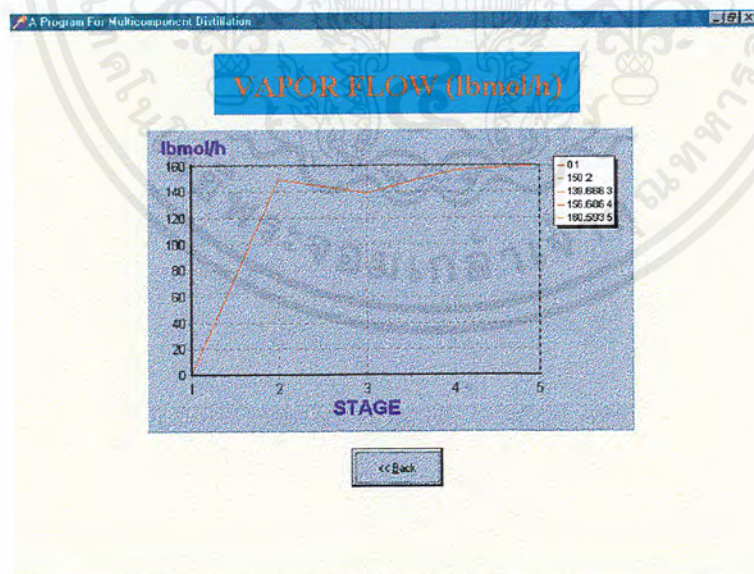


รูปที่ 4.15 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทของแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แผนภูมิแบบเส้นแสดงการไหลของวัฏภาคของเหลวในแต่ละชั้น



รูปที่ 4.17 แผนภูมิแบบเส้นแสดงอัตราการไหลของวัฏภาคไอในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบโปรแกรม

โปรแกรมจำลองการทำงานของหอกถันนี้ได้รับการพัฒนา ซึ่งสามารถนำมาจำลองสถานะ การณ์การกลั่นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบหลายองค์ประกอบได้ การทดสอบโปรแกรม ได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทนี้ โดยเปรียบเทียบแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้หรือข้อมูลที่ทดสอบกับ โปรแกรมไฮซิส ซึ่งผลเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

ภายในบทนี้ จะแสดงรายละเอียดออกมาในรูปของ กรณีสึกษา ผลลัพธ์ที่ได้ ความถูกต้อง ของผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้

กรณีสึกษาที่ 1

การทดสอบโปรแกรมจำลองการทำงานของหอกถันโดยการประมาณ ซึ่งเป็นการกลั่นสารผสมไฮโดรคาร์บอนดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลทดสอบโปรแกรมจำลองการทำงานของหอกถันโดยการประมาณ

	สายป้อน(lbmol/h)	ยอดหอ(lbmol/h)	ก้นหอ(lbmol/h)
1) ไอโซบิวเทน	12	12	
2) นอร์มอลบิวเทน	448	442	6
3) ไอโซเพนเทน	36	13	23
4) นอร์มอลเพนเทน	15	1	14
5) นอร์มอลเฮกเซน	23		23
6) นอร์มอลเฮปเทน	39.1		39.1
7) นอร์มอลออกเทน	272.1		272.1
8) นอร์มอลโนเนน	31		31.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโจทย์กำหนดความดันของหอกลับเท่ากับ 80 psi อุณหภูมิของสายป้อนเท่ากับ 180 °F อุณหภูมิที่ขอดหอกกำหนดเท่ากับ 123 °F อุณหภูมิที่ก้นหอกกำหนดเท่ากับ 340 °F อัตราค่า q เท่ากับ 0.88 ส่วนป้อนกลับเท่ากับ 1.2 เท่าของอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

ผลการทดลองจากการเปรียบเทียบที่ได้ระหว่างแหล่งข้อมูลกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาแสดงดังข้อมูลต่อไปนี้

ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 1

	ผลที่ได้จากโปรแกรม	ผลจากแหล่งข้อมูลอ้างอิง [3]
จำนวนชั้นน้อยที่สุด	8.89	8.88
อัตราส่วนรีฟลักซ์ต่ำสุด	0.84	0.808
จำนวนชั้นทางทฤษฎี	22.0	20.7
ชั้นที่ป้อนสาร	6.45	6.35

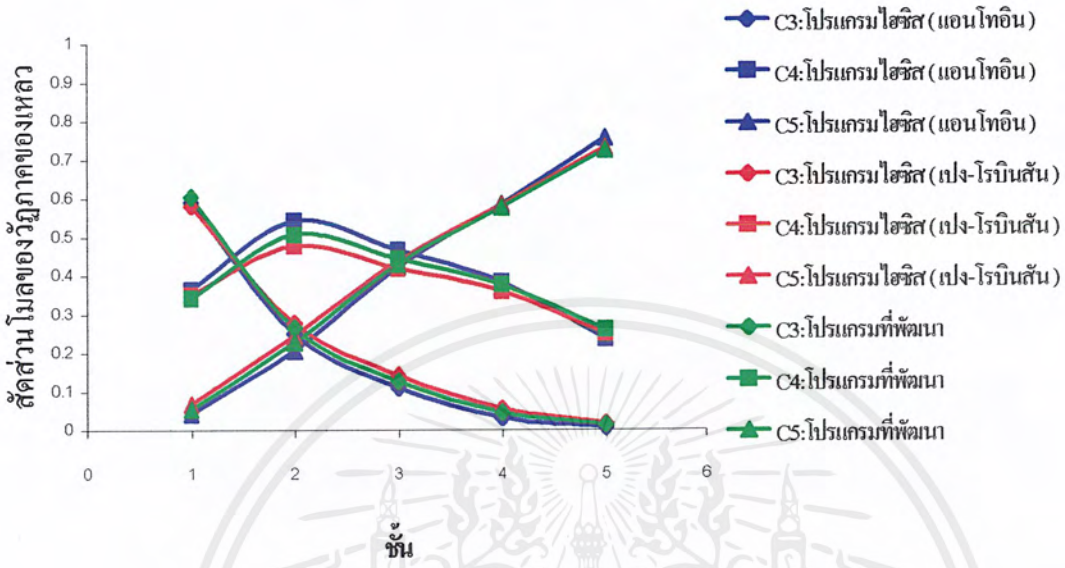
กรณีศึกษาที่ 2

เป็นการทดสอบโปรแกรมจำลองการทำงานของหอกลับโดยวิธีละเอียดซึ่งเป็นการกัณสารผสมไฮโดรคาร์บอนดังนี้

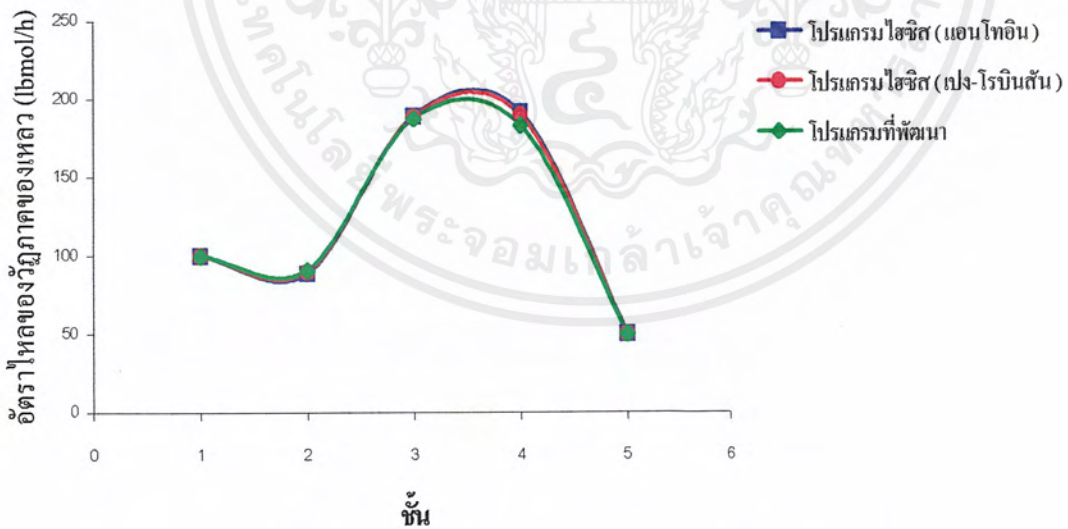
- 1) จำนวนชั้นสมดุล 5 ชั้น
- 2) สายป้อนที่ชั้นที่ 3 สถานะของเหลวอิ่มตัว 100 lbmol/h
- 3) อัตราส่วนป้อนกลับเท่ากับ 2
- 4) ประกอบด้วย โพรเพน 30% นอร์มอลบิวเทน 30% และ นอร์มอลเพนเทน 40 %
- 5) อัตราการไหลที่ขอดหอก 50 lbmol/h

ผลการคำนวณจาก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการศึกษาทดสอบกับโปรแกรมไฮซีสโดยเลือกรูปแบบการคำนวณคุณสมบัติของสารโดยสมการของ แอนโทอิน และของ เปรง-โรบินสัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโปรแกรมในการคำนวณค่าดังกล่าวผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษา (รูปที่ 5.1 – 5.5)

ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 2

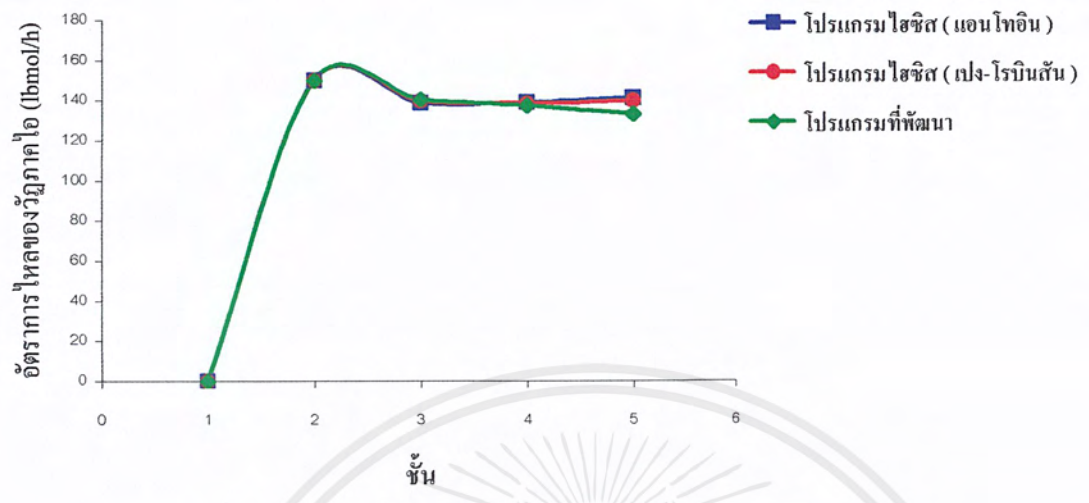


รูปที่ 5.1 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบของวัฏภาคของเหลว

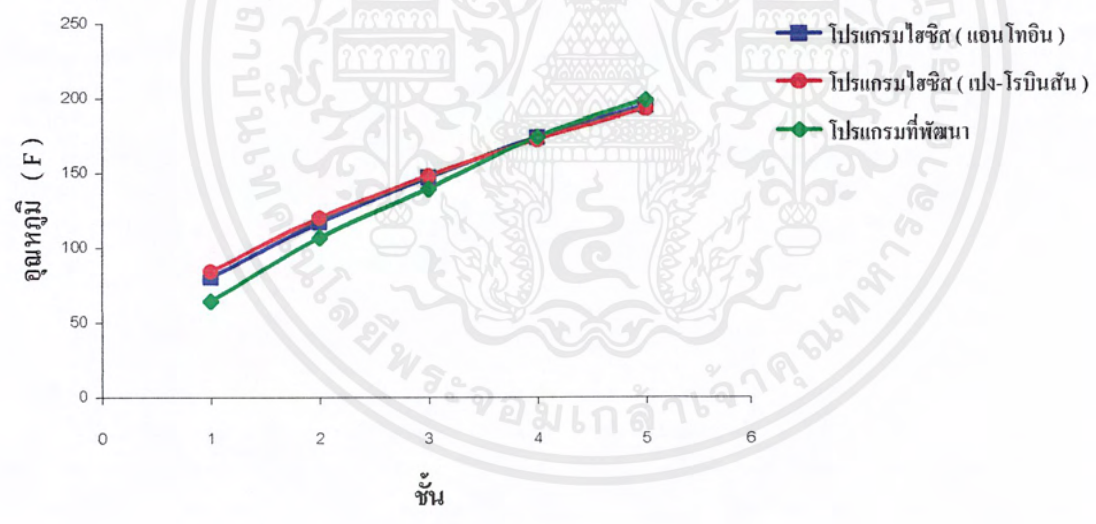


รูปที่ 5.2 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

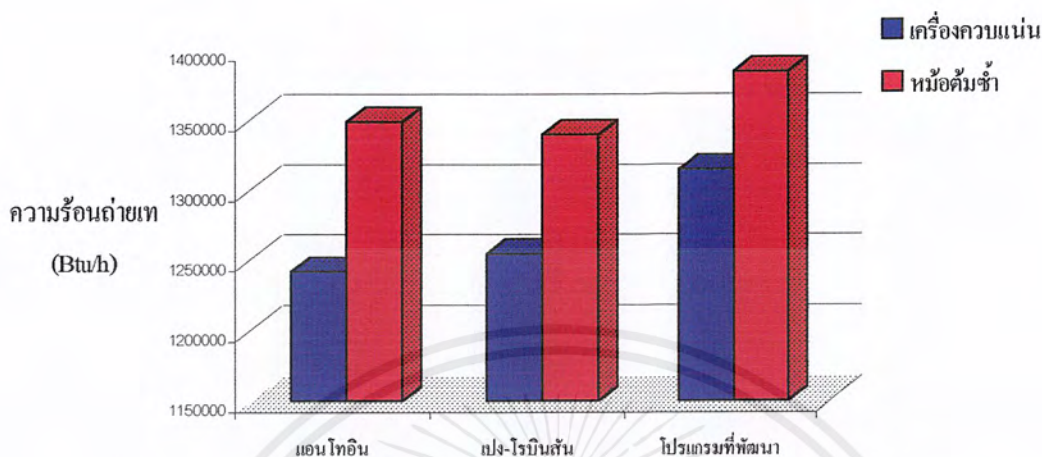


รูปที่ 5.3 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของอินซูลิน



รูปที่ 5.4 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานของ เครื่องควบแน่น และ หม้อต้มซ้ำ

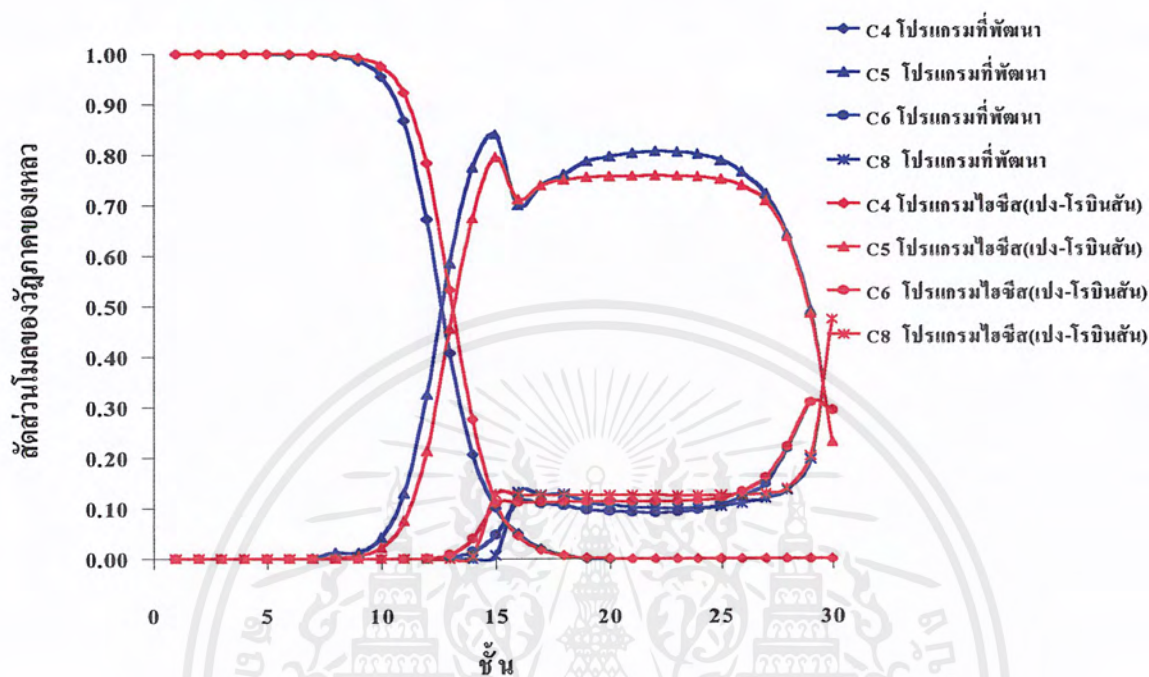
กรณีศึกษาที่ 3

เป็นการทดสอบโปรแกรมจำลองการทำงานของหอกลั่นโดยวิธีละเอียดซึ่งเป็นการกลั่นสารผสมไฮโดรคาร์บอนดังนี้

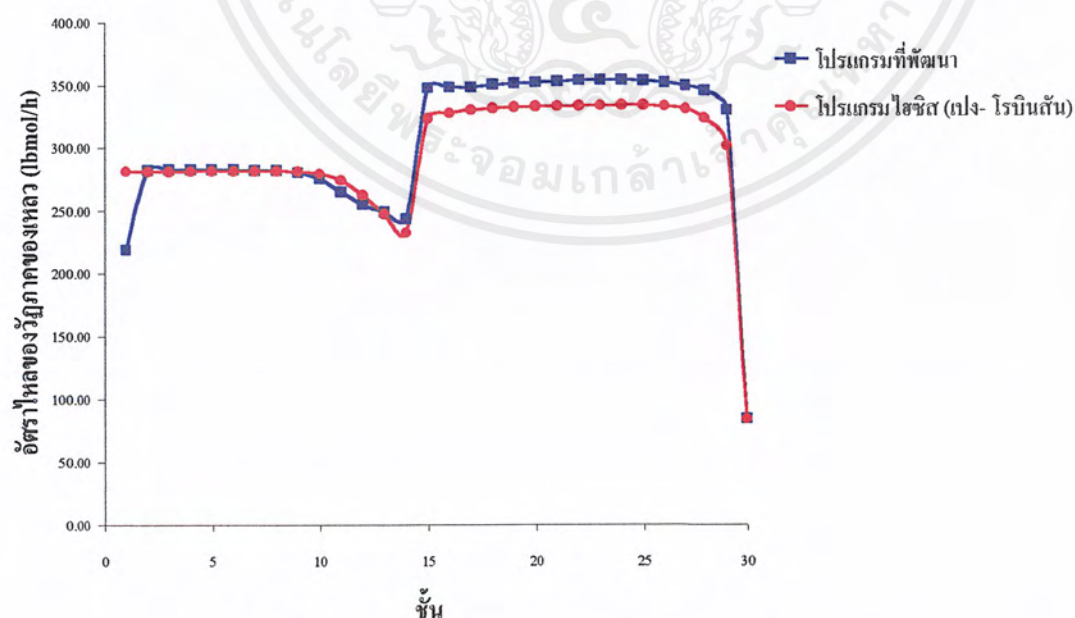
- 1) จำนวนชั้นสมดุล 30 ชั้น
- 2) สายป้อนที่ชั้นที่ 15 อุณหภูมิ 150 °F ความดัน 25 psi
- 3) อัตราส่วนป้อนกลับเท่ากับ 20
- 4) ประกอบด้วย นอร์มอลบิวเทน 14.08 lbmol/h นอร์มอลเพนเทน 19.53 lbmol/h นอร์มอลเพนเทน 24.78 lbmol/h นอร์มอลออกเทน 39.94 lbmol/h
- 5) อัตราการไหลที่ยอดหอ 14.08 lbmol/h

ผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการทดสอบกับโปรแกรมไฮซิสโดยเลือกรูปแบบการคำนวณคุณสมบัติของสารโดยสมการของ เพง-โรบินสัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโปรแกรมในการคำนวณค่าดังกล่าวการเปรียบเทียบกรณีศึกษา (รูปที่ 5.6 – 5.10)

ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 3

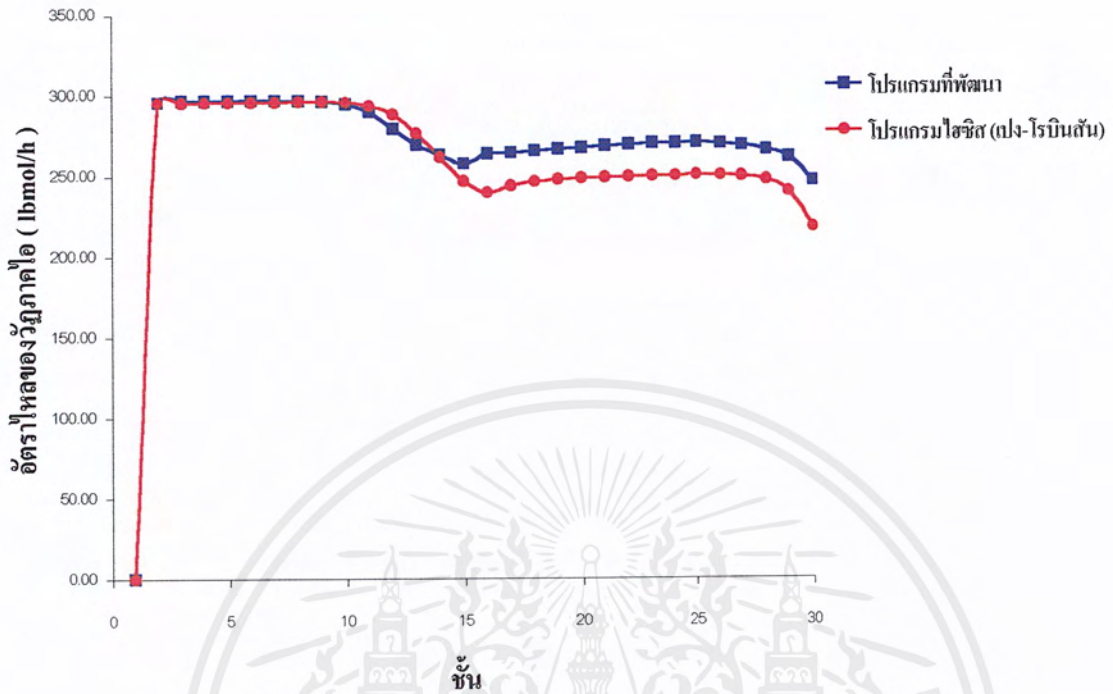


รูปที่ 5.6 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนโมลของน้ำหนักของเหลว

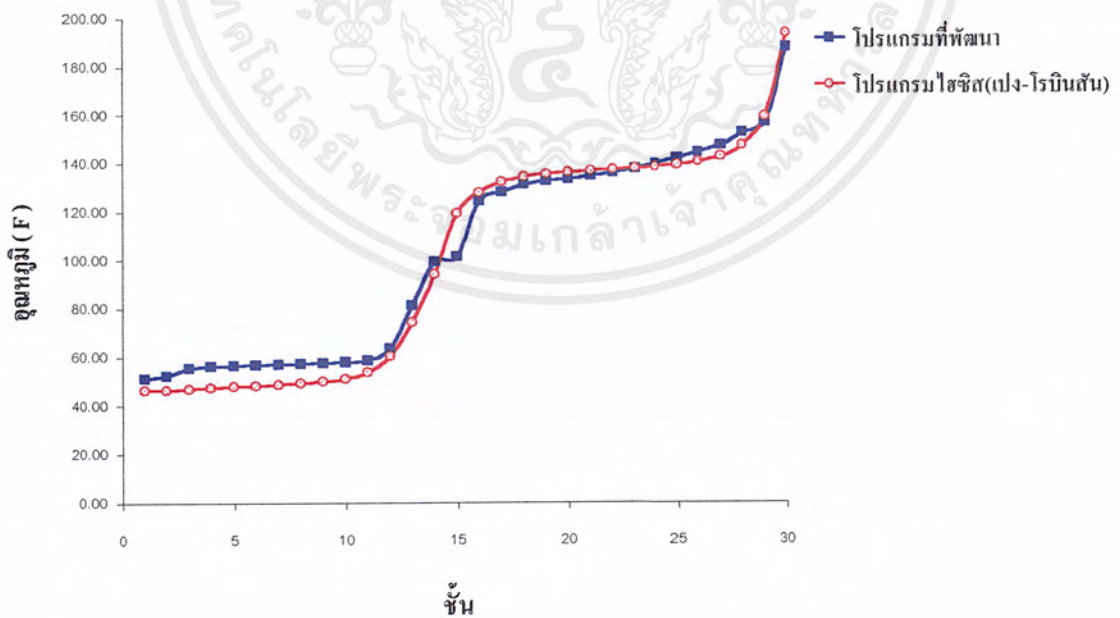


รูปที่ 5.7 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของน้ำหนักของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

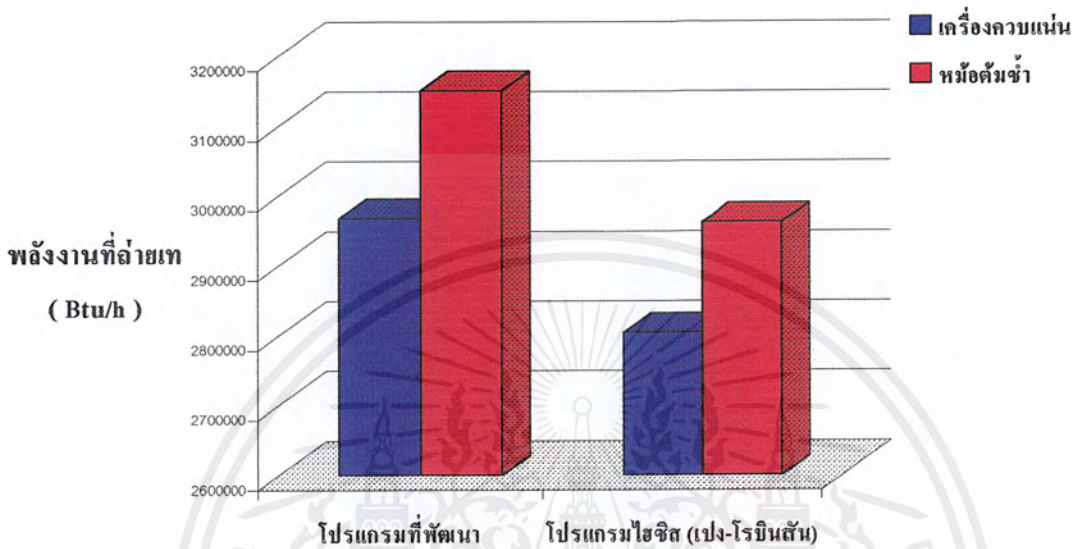


รูปที่ 5.8 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของไอโอดีน



รูปที่ 5.9 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การถ่ายเทพลังงาน ของเครื่องควบแน่น และ หม้อต้มซ้ำ

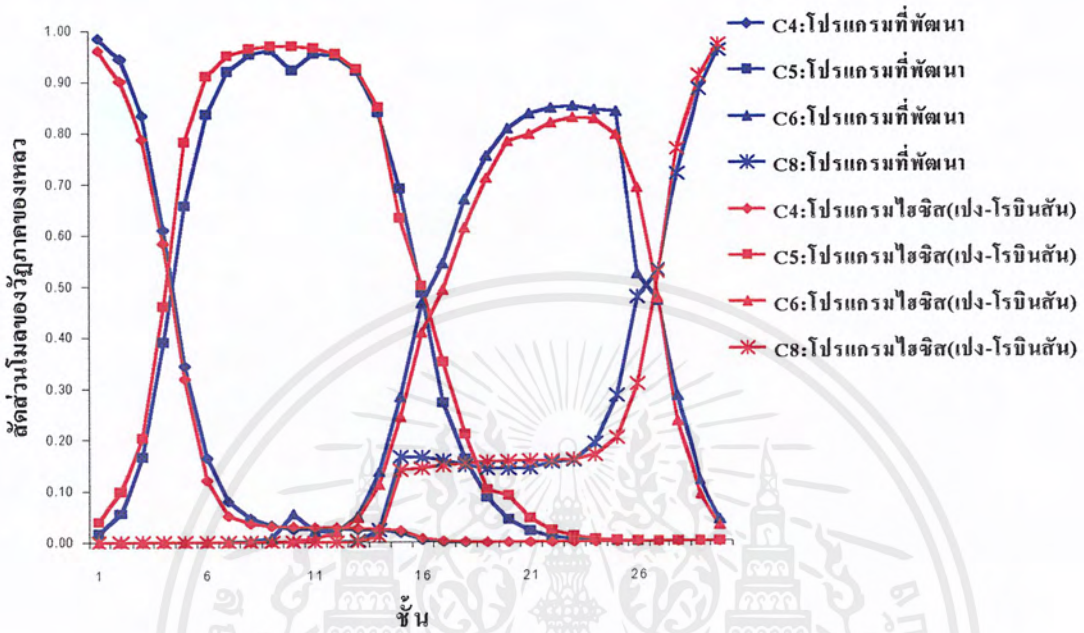
กรณีศึกษาที่ 4

จากกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการปรับสถานะการทำงานโดย มีอัตราการดีสารออกทางด้านข้าง ซึ่งประกอบด้วย

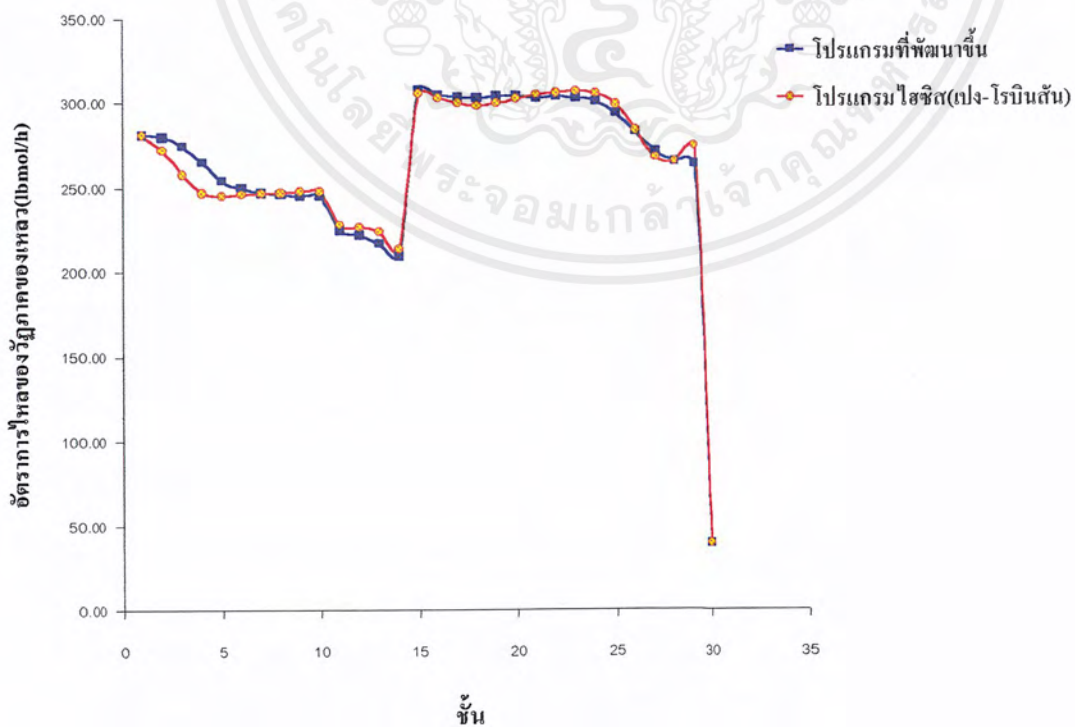
- 1) อัตราการดีสารสถานะของเหลวที่ชั้นที่ 10 ปริมาณ 19.53 lbmol/h
- 2) อัตราการดีสารสถานะไอที่ชั้นที่ 25 ปริมาณ 24.78 lbmol/h

ผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำให้การทดสอบกับโปรแกรมไอซิสโดยเลือกรูปแบบการคำนวณคุณสมบัติของสารโดยสมการของ เปง-โรบินสัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโปรแกรมในการคำนวณค่าดังกล่าวผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษา (รูปที่ 5.11 – 5.15)

ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 4

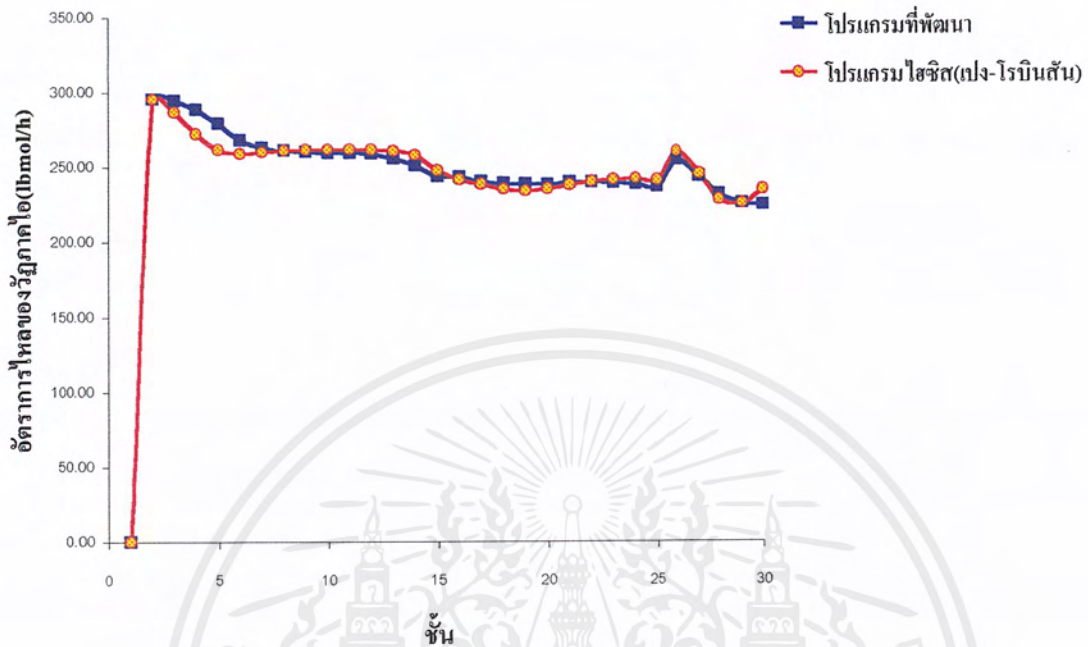


รูปที่ 5.11 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนโมลของน้ำหนักของเหลว

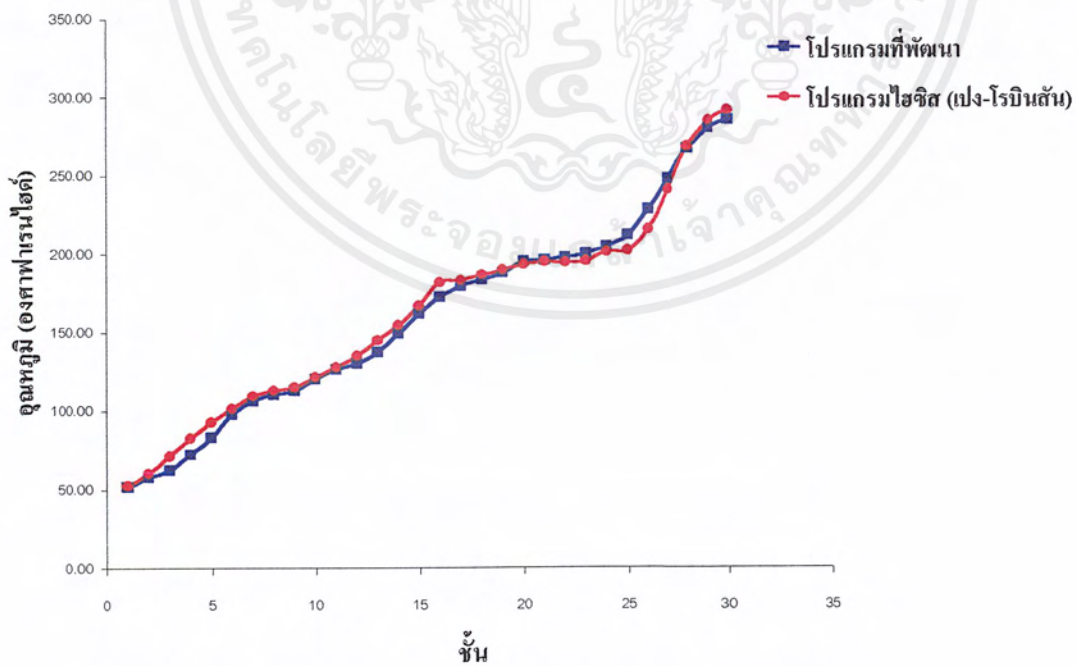


รูปที่ 5.12 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้ของน้ำหนักของเหลว

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาเห็นชอบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

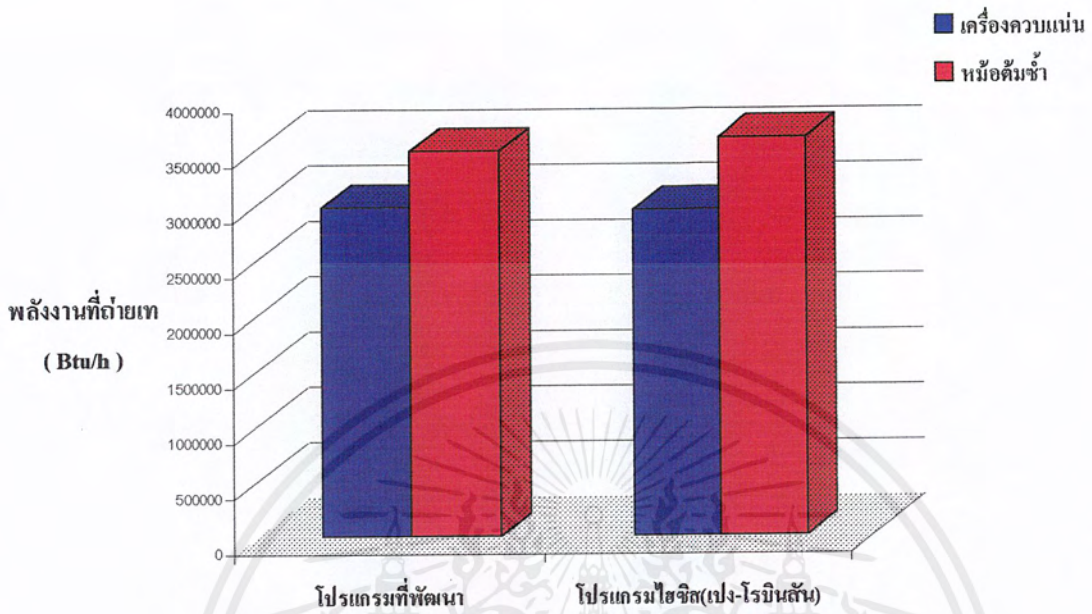


รูปที่ 5.13 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอัตราไหลของวัฏภาคไอ



รูปที่ 5.14 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุมหภูมิภายในหอกถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ถ่ายเทของเครื่องควบแน่น และ หม้อต้มข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

6.1 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณของหอกลับ

แบบจำลองการก่อกวนที่ใช้สำหรับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ประกอบด้วยชั้นสมมูลที่เรียงกันมาประกอบกัน ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถจำลองการก่อกวนที่มีการป้อนวัตถุคิบและมีการชักผลิตภัณฑ์ออกทางด้านข้าง และสามารถใช้กับการก่อกวนที่มีการใช้เครื่องควบแน่นแบบ ควบแน่นบางส่วนหรือเครื่องควบแน่นทั้งหมด

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงข้อมูลที่ประมวลผลได้ในแบบตารางข้อมูลหรือแผนภูมิชนิดต่างๆ ของ สัดส่วนองค์ประกอบของวัฏภาคไอ และของเหลว อุณหภูมิ อัตราการไหลของวัฏภาคของเหลวและไอ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำและเครื่องควบแน่น

แบบจำลองของสารผสมในโปรแกรมนี้มีความถูกต้องในระดับที่ดี ซึ่งขึ้นกับความสัมพันธ์ทางด้านสมมูลของวัฏภาคที่ใช้ และข้อมูลที่ใช้คำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์(เช่น ค่าคงที่สมมูล ค่าเอนทาลปี)

6.2 การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลที่นำไปประมวลผลจากโปรแกรมไฮซิสโดยมีการคำนวณค่าคงที่สมมูลจากสมการต่างๆ ซึ่งกรณีศึกษาแต่ละกรณีได้จากเอกสารอ้างอิง [3] โดยแต่ละกรณีศึกษากำหนดให้ใช้สมการคำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์แบบต่างๆ

ในส่วนของความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนา แสดงให้เห็นได้ในบทที่ 5 ในส่วนของการก่อกวนที่ ความดันต่ำเกินไปหรือความดันสูงเกินไปก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลอ้างอิงจากโปรแกรมไฮซิส

6.3 การจำลองสถานการณ์

การคำนวณการก่อกวนของสารผสมหลายองค์ประกอบมีความซับซ้อนมาก แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างแต่ก็สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนานี้ มาศึกษาแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของผลลัพธ์ ที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงาน ของหอก่อกวน ดังนั้นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจึงมีประโยชน์กับผู้ใช้ ในกรณีที่ต้องการศึกษาหรือคาดคะเน แนวโน้มที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับสภาวะการก่อกวน

6.4 ข้อจำกัดของการก่อกวน

เนื่องจากโปรแกรมมีความซับซ้อนมากจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำจำนวนมาก เมื่อจำลองการทำงานของหอก่อกวนที่จำนวนชั้นมากๆ มีความดันมาก ๆ การทำงานของโปรแกรมก็จะช้าลง ซึ่งเกิดเนื่องจากการคำนวณซ้ำหลายรอบ โปรแกรมนี้จึงจำเป็นต้องมีการจำกัดจำนวนชั้นของหอก่อกวนที่ 60 ชั้น และความดันไม่เกิน 400 psi

6.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณคอมพิวเตอร์

จะเห็นได้ ว่าเกิดความผิดพลาดในการประมวลผลอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากการคำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในการพัฒนาโปรแกรมในอนาคตควรจะมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้ได้กับสมการที่คำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ในแบบต่าง ๆ เช่น สมการเพง-โรบินสัน สมการแอนโทอิน หรือสมการ NRTL

ในความเป็นจริงแล้วสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีการก่อกวนโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมมีมากมายหลายชนิดแต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้กับไฮโดรคาร์บอนหลัก ๆ เพียง 13 ชนิดซึ่งการพัฒนาในอนาคตควรจะพัฒนาระบบฐานข้อมูลให้มีการครอบคลุม สารไฮโดรคาร์บอนหลากหลายชนิด ซึ่งฐานข้อมูลประกอบด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางเคมีของสารชนิดนั้น ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Henley, E.J., and Seader J. D., *Equilibrium-stage Separation Operation in Chemical Engineering*. John Wiley & Sons., New York ,1981
2. Perry, R. H., and Chilton C. H., Eds., *Chemical Engineers Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, New York , 1988
3. Seader, J. D., and Ernest J. H., *Separation Process Principles*. John Wiley & Sons, New Yoke , 1998
4. โชโซ โอเฮะ., *วิศวกรรมการกลั่นจากห้องทดลองถึงโรงงาน* , แปลโดย วีรพงษ์ ลือประสิทธิ์สกุล . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , กรุงเทพมหานคร, พ.ศ 2536
5. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม., *หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร*, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร , พ.ศ 2530



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์

Number	Empirical Formula	Name	M	T _b	T _c	P _c	Z _c	ω	δ	V _l
<i>Inorganic Chemicals</i>										
1	Ar	Argon	39.948	157.1	271.2	705.4	0.293	-0.0034	5.330	
2	Br ₂	Bromine	159.808	597.5	1051.5	1499.0	0.298	0.1242	11.442	51.2 ²⁰
3	CCl ₄	Carbon tetrachloride	153.823	627.5	1001.5	661.3	0.277	0.1938	9.338	97.1 ³
4	CO	Carbon monoxide	28.010	147.0	239.3	507.4	0.289	0.048	3.1300	(35.2) ²³
5	COCl ₂	Phosgene	98.916	505.3	819.3	823.0	0.279	0.203	7.1200	(44.1) ³¹
6	CO ₂	Carbon dioxide	44.011	350.4	547.6	1070.5	0.273	0.177	8.4170	71.6 ²⁰
7	CS ₂	Carbon disulfide	76.131	574.9	993.6	1146.3	0.285	0.115	9.8640	53.9 ⁹
8	C ₂ H ₂ Cl ₄	Trichloroacetyl chloride	181.833	704.1	1061.4	594.6	0.275	0.359	12.0540	112.2 ²⁰
9	CH ₃	Hydrogen chloride	36.461	338.6	584.2	1198.5	0.267	0.133	7.0110	30.6 ²⁰
10	Cl ₂	Chlorine	70.906	430.4	750.9	1118.4	0.278	0.0743	8.708	45.4 ³⁴
11	HI	Hydrogen iodide	127.912	428.0	761.7	1193.4	0.305	0.0290	8.270	45.6 ³⁶
12	H ₂	Hydrogen	2.016	36.7	59.7	190.8	0.321	0.0	0.0	(31.0) ³⁷
13	H ₂ O	Water	18.015	621.7	1165.1	3206.7	0.232	0.1477	18.0	18.1 ²⁰
14	H ₂ S	Hydrogen sulfide	34.080	383.1	672.4	1306.5	0.283	0.0868	8.8	34.3 ⁴⁰
15	H ₃ N	Ammonia	17.031	431.5	730.2	1653.7	0.248	0.2582	12.408	26.7 ⁰
16	Ne	Neon	20.183	49.1	80.1	395.3	0.306	-0.0299	0.0	
17	NO	Nitric oxide	30.006	218.5	324.0	940.5	0.267	0.5877	0.0	
18	NO ₂	Nitrogen dioxide	46.006	530.1	775.8	1469.6	0.257	0.8199	16.208	31.8 ²⁰
19	N ₂	Nitrogen	28.013	139.1	227.3	492.9	0.289	0.0206	-4.40	(53.0) ³⁵
20	N ₂ O	Nitrous oxide	44.013	330.7	557.5	1053.7	0.277	0.1601	5.474	35.9 ²⁰
21	O ₂	Oxygen	31.999	162.3	278.6	736.9	0.291	0.0250	-4.0	(28.4) ³¹
22	O ₃	Sulfur dioxide	64.063	473.7	775.2	1144.8	0.267	0.2402	6.0	44.0 ¹⁰
23	O ₃	Sulfur trioxide	80.058	572.2	883.6	1196.8	0.252	0.4384	15.329	45.0 ⁵
<i>Organic Chemicals</i>										
24	CHCl ₃	Chloroform	119.378	602.8	965.8	793.6	0.277	0.2117	9.236	80.2 ²⁰
25	CH ₃ N	Hydrogen cyanide	27.026	538.0	822.0	718.6	0.172	0.3752	12.192	39.3 ²⁰
26	CH ₂ O	Formaldehyde	30.026	457.1	747.3	983.6	0.222	0.2298	10.604	36.8 ²⁰
27	CH ₃ Cl	Methyl chloride	50.488	448.1	749.3	968.5	0.270	0.1530	8.585	55.2 ²⁰
28	C ₂ H ₂	Methyl iodide	141.919	568.2	950.7	1061.1	0.283	0.1925	9.863	62.3 ²⁰
29	CH ₄	Methane	16.043	201.0	343.9	673.1	0.289	0.0	5.680	(52.0) ³¹
30	C ₂ H ₆ O	Methanol	32.042	607.8	923.7	1153.6	0.228	0.5556	14.510	40.5 ²⁰
31	C ₂ H ₅ N	Methylamine	31.058	480.1	774.1	1081.6	0.260	0.2852	10.479	44.2 ¹¹
32	C ₂ H ₄ Cl ₂	Trichloroethylene	131.389	648.1	979.5	727.5	0.278	0.4281	9.263	89.9 ²⁰

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์(ต่อ)

Number	Empirical Formula	Name	M	r_b	r_c	P_c	Z_c	ω	δ	v_c
<i>Organic Chemicals</i>										
31	$C_2H_3Cl_2O$	Dichloroacetyl chloride	147.388	685.2	1019.1	668.5	0.271	0.3645	12.679	96.216
34	C_2H_4	Acetylene	26.038	339.1	555.0	890.3	0.267	0.1917	5.229	42.3 #1
35	$C_2H_3Cl_2O$	Chloroacetyl chloride	112.913	687.9	1034.8	740.7	0.255	0.3194	13.856	79.520
36	C_2H_3Cl	Vinyl chloride	62.499	467.0	776.8	774.5	0.266	0.0929	7.717	64.5-14
37	C_2H_3ClO	Acetyl chloride	78.498	583.3	914.3	832.7	0.270	0.3238	12.485	71.020
38	C_2H_3ClN	1,1,2-Trichloroethane	113.405	569.5	1101.9	701.2	0.267	0.2273	9.628	92.620
39	C_2H_5N	Acetonitrile	41.053	638.6	986.2	701.0	0.194	0.3234	12.049	52.530
40	C_2H_4	Ethylene	28.054	305.0	509.5	742.2	0.284	0.0872	5.801	(61.0)23
41	$C_2H_4Cl_2$	1,1-Dichloroethane	98.960	594.8	941.7	734.8	0.274	0.2450	8.913	84.714
42	$C_2H_4Cl_2$	1,2-Dichloroethane	98.960	641.9	1010.8	778.9	0.267	0.3064	9.828	79.216
43	C_2H_4O	Acetaldehyde	44.054	528.4	830.1	805.3	0.238	0.2882	9.844	56.620
44	C_2H_4O	Ethylene oxide	44.054	510.6	842.7	1013.4	0.260	0.2121	10.271	49.01
45	$C_2H_4O_2$	Acetic acid	60.052	705.0	1070.6	839.1	0.220	0.4536	10.051	57.220
46	$C_2H_4O_2$	Methyl formate	60.052	548.9	876.9	870.7	0.259	0.2562	10.018	61.720
47	C_2H_4Cl	Ethyl chloride	64.515	513.8	828.7	764.2	0.268	0.1918	8.471	75.120
48	C_2H_6	Ethane	30.070	332.2	550.0	709.8	0.282	0.1064	6.050	(68.0)23
49	C_2H_6O	Dimethyl ether	46.069	447.0	720.1	764.2	0.271	0.1900	7.608	69.120
50	C_2H_6O	Ethanol	46.069	642.7	929.3	925.3	0.250	0.6341	12.915	58.420
51	$C_2H_6O_2$	Ethylene glycol	62.069	847.1	1161.4	1091.9	0.242	0.1177	16.604	55.720
52	C_2H_6S	Dimethyl sulfide	62.130	558.9	905.5	802.4	0.268	0.1951	9.045	71.320
53	C_2H_6S	Ethyl mercaptan	62.130	554.7	898.5	796.5	0.271	0.1856	8.933	74.120
54	C_2H_7N	Ethylamine	45.085	521.5	821.1	815.6	0.264	0.2861	9.427	66.020
55	C_2H_7N	Acrylonitrile	53.064	630.8	934.5	512.9	0.186	0.3853	11.029	65.820
56	C_2H_4	Methylacetylene	40.065	449.9	724.3	816.2	0.271	0.2150	8.010	56.7 50
57	C_2H_4	Propadiene	40.065	429.6	721.7	747.2	0.284	0.0631	6.854	61.623
58	C_2H_6	Propylene	42.081	405.8	657.2	667.0	0.279	0.1421	6.208	79.023
59	C_2H_6O	Acetone	58.079	592.7	917.0	693.7	0.247	0.3035	9.366	71.520
60	$C_2H_6O_2$	Ethyl formate	74.080	589.5	915.3	680.4	0.258	0.2784	9.311	79.916
61	$C_2H_6O_2$	Methyl acetate	74.080	594.7	912.4	680.9	0.256	0.3269	9.014	79.320
62	$C_2H_6O_2$	Propionic acid	74.080	745.5	1102.8	778.9	0.249	0.5322	12.385	74.620
63	C_2H_7NO	Dimethylformamide	73.095	767.1	1074.4	681.1	0.236	0.7458	11.775	77.020
64	C_2H_6	Propane	44.097	416.0	665.9	617.4	0.278	0.1538	6.400	84.023
65	C_2H_6O	Isopropanol	60.096	649.8	915.0	691.0	0.249	0.6614	11.572	76.520
66	C_2H_6O	n-Propanol	60.096	666.7	966.4	737.1	0.250	0.6111	12.050	74.720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

ตารางผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์(ต่อ)

67	C ₄ H ₉ N	Trimethylamine	59.112	496.9	779.9	590.8	0.272	0.2008	7.070	93.4 ³⁰
68	C ₄ H ₈	Vinylacetylene	52.076	501.7	821.3	704.8	0.264	0.0970	10.229	73.3 ⁰
69	C ₄ H ₆ S	Thiophene	84.136	643.3	1062.3	705.4	0.246	0.0670	9.654	78.6 ¹⁶
70	C ₄ H ₃ N	Methacrylonitrile	67.091	654.2	998.2	563.3	0.228	0.2823	8.576	83.3 ²⁰
71	C ₄ H ₆	Dimethylacetylene	54.092	540.4	879.7	737.4	0.270	0.1359	7.937	78.3 ²⁰
72	C ₄ H ₆	Ethylacetylene	54.092	506.3	834.7	683.2	0.260	0.0610	7.937	83.2 ¹⁶
73	C ₄ H ₆	1,2-Butadiene	54.092	511.2	834.7	578.1	0.276	0.0987	7.950	83.7 ³⁵
74	C ₄ H ₆	1,3-Butadiene	54.092	483.8	765.0	628.0	0.272	0.2028	6.940	88.0 ³⁵
75	C ₄ H ₆	1-Butene	56.108	480.2	755.3	583.0	0.274	0.2085	6.766	95.6 ³⁵
76	C ₄ H ₆	cis-2-Butene	56.108	498.3	779.7	610.0	0.272	0.2575	6.760	91.2 ³⁵
77	C ₄ H ₆	Isobutene	56.108	479.3	752.2	580.0	0.274	0.1975	6.760	95.4 ³⁵
78	C ₄ H ₆	trans-2-Butene	56.108	493.3	770.7	595.0	0.273	0.2230	6.760	93.8 ³⁵
79	C ₄ H ₈ O	Isobutyraldehyde	72.107	606.9	909.7	609.0	0.261	0.3800	9.199	91.4 ²⁰
80	C ₄ H ₈ O	Methyl ethyl ketone	72.107	635.0	964.2	603.0	0.251	0.3188	9.199	89.6 ²⁰
81	C ₄ H ₈ O ₂	n-Butyric acid	88.107	785.6	1130.7	648.1	0.249	0.6630	11.861	92.0 ²⁰
82	C ₄ H ₈ O ₂	Ethyl acetate	88.107	630.5	941.9	556.0	0.254	0.3718	8.974	97.8 ²⁰
83	C ₄ H ₈ O ₂	Methyl propionate	88.107	635.6	955.1	578.0	0.256	0.3500	9.046	96.3 ²⁰
84	C ₄ H ₈ O ₂	Propyl formate	88.107	638.1	968.6	589.3	0.260	0.3154	9.024	96.7 ¹⁶
85	C ₄ H ₉ NO	Dimethyl acetamide	87.120	792.3	1182.0	583.7	0.230	0.3762	10.788	93.0 ³⁵
86	C ₄ H ₁₀	Isobutane	58.124	470.6	734.7	529.1	0.276	0.1825	6.730	105.5 ³⁵
87	C ₄ H ₁₀	n-Butane	58.124	490.8	765.3	550.7	0.274	0.1954	6.634	101.4 ³⁵
88	C ₄ H ₁₀ O	Isobutanol	74.123	686.9	985.9	623.0	0.256	0.5917	10.949	92.4 ²⁰
89	C ₄ H ₁₀ O	n-Butanol	74.123	703.6	1013.2	640.5	0.256	0.5903	11.440	91.5 ²⁰
90	C ₄ H ₁₀ O	t-Butyl alcohol	74.123	640.0	912.0	576.1	0.255	0.6071	10.316	94.2 ²⁰
91	C ₄ H ₁₀ O	Diethyl ether	74.123	553.9	840.2	523.2	0.264	0.2800	7.544	104.0 ²⁰
92	C ₄ H ₁₀ O ₂	Diethylene glycol	106.122	933.8	1225.9	668.0	0.244	1.1747	13.551	95.1 ²⁰
93	C ₄ H ₄ O ₂	Furfural	96.085	782.8	1182.8	714.2	0.243	0.4239	11.986	82.8 ²⁰
94	C ₄ H ₁₀	2-Methyl-1-butene	70.135	547.8	850.0	514.4	0.274	0.2000	7.055	108.7 ³⁵
95	C ₄ H ₁₀	2-Methyl-2-butene	70.135	561.1	870.0	527.6	0.273	0.2120	7.055	106.7 ³⁵
96	C ₄ H ₁₀	3-Methyl-1-butene	70.135	527.8	831.0	507.0	0.278	0.1490	7.055	112.8 ³⁵
97	C ₄ H ₁₀	Cyclopentane	70.135	580.4	921.2	655.0	0.274	0.1966	8.010	94.7 ³⁵
98	C ₄ H ₁₀	1-Pentene	70.135	545.6	853.0	586.0	0.273	0.2198	7.055	110.4 ³⁵
99	C ₄ H ₁₀	cis-2-Pentene	70.135	558.2	860.6	512.0	0.272	0.2060	7.055	107.8 ³⁵
100	C ₄ H ₁₀	trans-2-Pentene	70.135	557.1	857.0	508.4	0.272	0.2090	7.055	109.0 ³⁵
101	C ₄ H ₁₀ O	Diethyl ketone	86.134	674.9	1009.7	542.3	0.256	0.3407	8.898	105.8 ²⁰
102	C ₄ H ₁₀ O ₂	n-Propyl acetate	102.134	674.5	988.9	483.6	0.253	0.3936	8.729	115.1 ²⁰
103	C ₄ H ₁₂	Isopentane	72.151	541.8	829.8	483.0	0.270	0.2104	7.020	117.4 ³⁵
104	C ₄ H ₁₂	n-Pentane	72.151	556.6	845.6	489.5	0.269	0.2387	7.020	116.1 ³⁵
105	C ₄ H ₁₂	Neopentane	72.151	508.8	780.8	464.0	0.276	0.1950	7.020	123.3 ³⁵
106	C ₆ H ₆ (C ₆ H ₄)	1,2,4-Trichlorobenzene	181.449	876.0	1322.9	578.2	0.262	0.3358	9.956	124.8 ²⁰

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์(ต่อ)

Number	Empirical Formula	Name	M	T _b	T _c	P _c	Z _c	ω	δ	V _L
<i>Organic Chemicals</i>										
107	C ₆ H ₄ Cl ₂	m-Dichlorobenzene	117.004	803.1	1231.1	562.9	0.252	0.3073	9.554	114.1 ²⁰
108	C ₆ H ₂ Cl ₂	o-Dichlorobenzene	147.004	813.9	1255.1	595.3	0.256	0.2720	8.815	112.6 ²⁰
109	C ₆ H ₂ Cl ₂	p-Dichlorobenzene	147.004	804.7	1232.6	566.5	0.253	0.2822	9.645	117.8 ¹⁵
110	C ₆ H ₃ Br	Bromobenzene	157.010	772.9	1206.3	655.4	0.245	0.2508	9.753	105.0 ²⁰
111	C ₆ H ₅ Cl	Chlorobenzene	112.559	729.7	1138.3	656.0	0.266	0.2545	9.623	101.8 ²⁰
112	C ₆ H ₆	Iodobenzene	204.011	830.7	1298.1	655.8	0.266	0.2470	9.782	110.0 ⁴
113	C ₆ H ₆	Benzene	78.114	635.9	1012.7	714.2	0.272	0.2116	9.158	89.4 ¹⁵
114	C ₆ H ₆ O	Phenol	94.113	819.0	1251.1	889.1	0.279	0.4201	12.106	88.9 ⁴⁰
115	C ₆ H ₇ N	Aniline	93.129	823.1	1257.8	768.6	0.261	0.3830	11.461	91.1 ²⁰
116	C ₆ H ₁₂	Cyclohexane	84.162	617.0	995.3	591.5	0.272	0.2149	8.193	108.7 ¹⁵
117	C ₆ H ₁₂	Methylcyclopentane	84.162	621.0	959.0	549.0	0.271	0.2316	7.847	113.1 ¹⁵
118	C ₆ H ₁₂	1-Hexene	84.162	606.0	920.0	471.7	0.269	0.2463	7.400	125.8 ¹⁵
119	C ₆ H ₁₄	2,2-Dimethylbutane	86.178	581.2	880.9	450.5	0.275	0.2312	6.712	122.7 ¹⁵
120	C ₆ H ₁₄	2,3-Dimethylbutane	86.178	596.1	900.5	455.4	0.272	0.2447	6.967	131.2 ¹⁵
121	C ₆ H ₁₄	n-Hexane	86.178	615.4	914.2	440.0	0.266	0.2972	7.266	131.6 ¹⁵
122	C ₆ H ₁₄	2-Methylpentane	86.178	600.2	896.5	440.1	0.269	0.2771	7.018	132.0 ¹⁵
123	C ₆ H ₁₄	3-Methylpentane	86.178	605.6	907.8	453.1	0.270	0.2745	7.132	129.8 ¹⁵
124	C ₆ H ₁₄ O ₄	Triethylene glycol	150.176	1008.7	1282.2	481.0	0.243	1.2715	12.677	133.2 ¹⁵
125	C ₇ H ₈	Toluene	92.141	600.8	1069.1	587.8	0.263	0.2415	8.914	106.8 ¹⁵
126	C ₇ H ₈ O	o-Cresol	108.140	835.5	1255.6	726.0	0.272	0.4299	11.139	105.2 ²⁰
127	C ₇ H ₈	Methylcyclohexane	98.189	673.4	1030.2	504.4	0.271	0.2362	7.825	128.3 ¹⁵
128	C ₇ H ₁₀	Ethylcyclopentane	98.189	677.9	1025.0	492.8	0.268	0.2712	7.739	128.8 ¹⁵
129	C ₇ H ₁₄	1-Heptene	98.189	660.3	963.9	412.2	0.262	0.3467	7.168	140.9 ²⁰
130	C ₇ H ₁₄	n-Heptane	100.205	668.9	972.3	396.9	0.261	0.3403	7.430	147.5 ¹⁵
131	C ₇ H ₈	Styrene	104.152	752.9	1146.4	559.0	0.261	0.2885	9.211	115.0 ²⁰
132	C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	106.168	736.8	1115.5	540.0	0.265	0.2981	8.783	123.1 ¹⁵
133	C ₈ H ₁₀	m-Xylene	106.168	742.1	1114.6	510.0	0.261	0.3086	8.818	123.5 ¹⁵
134	C ₈ H ₁₀	o-Xylene	106.168	751.6	1138.0	530.0	0.266	0.2904	8.987	121.2 ¹⁵
135	C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106.168	740.7	1112.8	500.0	0.265	0.3104	8.769	124.0 ¹⁵
136	C ₈ H ₁₆	Methylcyclohexane	112.216	728.9	1084.7	453.9	0.265	0.3041	7.739	143.1 ¹⁵
137	C ₈ H ₁₆	n-Propylcyclopentane	112.216	727.4	1062.5	406.5	0.253	0.3386	7.894	143.7 ¹⁶
138	C ₈ H ₁₈	n-Octane	114.232	717.9	1024.9	362.1	0.258	0.3992	7.551	163.5 ¹⁵
139	C ₈ H ₁₈ O ₂	Tetraethylene glycol	154.229	1065.8	1432.4	304.4	0.205	0.8162	12.113	172.1 ¹⁵
140	C ₉ H ₈	Indene	116.161	819.2	1245.5	553.6	0.250	0.3064	9.647	116.6 ²⁰

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์(ต่อ)

141	C ₉ H ₁₀	Indan	118.179	810.3	1225.9	526.6	0.251	0.2912	9.334	12.6 ²⁰
142	C ₉ H ₁₀	Methylstyrene	118.179	797.7	1192.6	500.0	0.255	0.3191	9.002	129.7 ²⁰
143	C ₉ H ₁₂	1-Ethyl-2-methylbenzene	120.195	788.7	1172.0	441.0	0.247	0.2970	8.839	136.4 ²⁰
144	C ₉ H ₁₂	n-Propylbenzene	120.195	778.3	1149.0	464.1	0.261	0.3446	8.661	139.4 ²⁰
145	C ₉ H ₁₈	n-Propylcyclohexane	126.243	773.8	1114.5	369.2	0.248	0.3617	7.886	150.2 ²⁰
146	C ₉ H ₂₀	n-Nonane	128.259	763.1	1071.0	331.0	0.254	0.4439	7.649	170.6 ²⁰
147	C ₁₀ H ₈	Naphthalene	128.174	884.0	1347.0	576.1	0.258	0.2934	9.738	131.0 ²⁰
148	C ₁₀ H ₁₀	1-Methylindene	130.190	851.7	1266.2	483.0	0.247	0.3291	9.323	
149	C ₁₀ H ₁₀	2-Methylindene	130.190	866.1	1286.2	486.5	0.246	0.3367	9.485	
150	C ₁₀ H ₁₂	Dicyclopentadiene	132.206	797.7	1188.7	773.9	0.234	0.2767	8.398	
151	C ₁₀ H ₁₄	n-Butylbenzene	134.222	821.6	1188.8	418.7	0.258	0.3929	8.425	
152	C ₁₀ H ₁₄	1,2-Dimethyl-3-ethylbenzene	134.222	840.8	1224.1	453.6	0.262	0.3968	8.916	
153	C ₁₀ H ₂₀	n-Butylcyclohexane	140.27	817.4	1162.4	353.9	0.252	0.4035	7.90	175.5 ²⁰
154	C ₁₀ H ₂₂	n-Decane	142.286	805.1	1114.0	306.0	0.251	0.4869	7.722	196.0 ²¹
155	C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	142.201	925.6	1384.5	517.6	0.254	0.3607	9.770	139.4 ²⁰
156	C ₁₁ H ₁₀	2-Methylnaphthalene	142.201	925.6	1371.4	508.1	0.256	0.3647	9.660	
157	C ₁₁ H ₁₄	n-Undecane	156.313	844.3	1152.0	282.0	0.248	0.521	7.990	212.2 ²¹
158	C ₁₂ H ₁₄	Acenaphthalene	152.196	977.7	1434.5	467.4	0.237	0.3733	10.018	169.3 ¹⁶
159	C ₁₂ H ₁₆	Diphenyl	154.212	951.1	1420.0	557.0	0.226	0.3638	9.891	155.8 ²⁴
160	C ₁₂ H ₁₆	2,7-Dimethylnaphthalene	156.228	965.1	1400.7	467.4	0.257	0.4232	9.760	
161	C ₁₂ H ₁₄	1,2,3-Trimethylindene	158.244	909.3	1296.4	384.1	0.242	0.4271	8.955	228.6 ²¹
162	C ₁₂ H ₁₆	n-Dodecane	170.328	881.0	1188.3	261.6	0.245	0.561	7.840	
163	C ₁₂ H ₁₆	Fluorene	166.223	1027.9	1480.1	434.2	0.234	0.4512	10.136	
164	C ₁₃ H ₁₄	1-Methylethynaphthalene	170.255	986.7	1393.4	408.6	0.233	0.5044	10.03	
165	C ₁₃ H ₁₄	2,3,5-Trimethylnaphthalene	170.255	1004.7	1418.9	408.6	0.232	0.5044	10.121	
166	C ₁₃ H ₁₈	n-Tridecane	184.367	915.5	1219.0	250.0	0.242	0.6002	7.890	244.9 ²¹
167	C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	178.234	1103.0	1581.8	420.4	0.228	0.4396	10.524	
168	C ₁₄ H ₂₀	n-Tetradecane	198.394	948.1	1251.0	230.0	0.240	0.640	7.920	261.3 ²¹
169	C ₁₅ H ₁₂	1-Phenylindene	192.261	1071.3	1518.6	391.0	0.230	0.4644	9.933	
170	C ₁₅ H ₁₄	2-Ethylfluorene	194.277	1047.9	1459.9	357.5	0.230	0.5175	9.636	
171	C ₁₅ H ₁₂	n-Pentadecane	212.421	978.8	1278.0	220.0	0.237	0.6743	7.960	277.8 ²¹
172	C ₁₆ H ₁₀	Fluoranthene	202.256	1199.1	1685.9	378.1	0.221	0.4930	10.426	
173	C ₁₆ H ₁₀	Pyrene	202.256	1143.3	1605.7	378.1	0.224	0.4988	10.222	
174	C ₁₆ H ₁₂	1-Phenylnaphthalene	204.272	1076.7	1512.2	381.8	0.228	0.5034	10.283	
175	C ₁₆ H ₁₄	n-Hexadecane	226.448	1007.9	1305.0	206.0	0.236	0.7078	7.990	294.1 ²¹
176	C ₁₈ H ₁₂	Chrysene	228.294	1298.1	1788.5	346.4	0.213	0.5676	10.691	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ค่าคงที่แอนโทอินและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข. ค่าคงที่แอมไพริคัลและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส

Number	Empirical Formula	Name	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃
Inorganic Chemicals															
1	Ar	Argon	4.9647	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Br ₂	Bromine	8.552	0.8334 E-3	-0.5053 E-06	0.0	0.1098 E-09	0.0	0.1098 E-09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	CCl ₄	Carbon tetrachloride	18.36077	0.1922811 E-01	-0.2376049 E-04	0.173446 E-07	0.7641183 E-10	-0.4540734 E-11	0.173446 E-07	0.7641183 E-10	-0.4540734 E-11	0.173446 E-07	0.7641183 E-10	-0.4540734 E-11	0.173446 E-07
4	CO	Carbon monoxide	6.956012	0.591124 E-04	0.5073809 E-06	0.5073809 E-06	0.7906403 E-08	-0.6540363 E-12	0.5073809 E-06	0.7906403 E-08	-0.6540363 E-12	0.5073809 E-06	0.7906403 E-08	-0.6540363 E-12	0.5073809 E-06
5	C ₂ H ₂	Phosgene	13.76767	0.1093685 E-01	-0.1226482 E-04	0.7906403 E-08	0.7906403 E-08	-0.2079814 E-11	0.1093685 E-01	-0.1226482 E-04	0.7906403 E-08	-0.2079814 E-11	0.1093685 E-01	-0.1226482 E-04	0.7906403 E-08
6	CO ₂	Carbon dioxide	8.398605	-6.6475766 E-02	-0.3353025 E-05	0.1143955 E-08	-0.8548489 E-08	0.2966337 E-11	-0.3353025 E-05	0.1143955 E-08	-0.8548489 E-08	0.2966337 E-11	-0.3353025 E-05	0.1143955 E-08	-0.8548489 E-08
7	CS ₂	Carbon disulfide	11.63044	0.123864 E-01	0.4778188 E-05	0.4778188 E-05	0.1143955 E-08	0.2966337 E-11	0.123864 E-01	0.4778188 E-05	0.4778188 E-05	0.1143955 E-08	0.2966337 E-11	0.123864 E-01	0.4778188 E-05
8	C ₂ H ₄ OCl ₂	Trichloroethyl chloride	23.70705	0.2731643 E-01	-0.3266946 E-04	0.7333 E-06	0.2107381 E-07	-0.3450088 E-11	0.2731643 E-01	-0.3266946 E-04	0.7333 E-06	0.2107381 E-07	-0.3450088 E-11	0.2731643 E-01	-0.3266946 E-04
9	CH ₃	Hydrogen chloride	6.969	0.2236 E-03	0.7333 E-06	0.7333 E-06	-0.1776 E-09	0.0	0.2236 E-03	0.7333 E-06	0.7333 E-06	-0.1776 E-09	0.0	0.2236 E-03	0.7333 E-06
10	Cl ₂	Chlorine	7.973	0.18901 E-02	0.12101 E-05	0.12101 E-05	0.26326 E-09	0.0	0.18901 E-02	0.12101 E-05	0.12101 E-05	0.26326 E-09	0.0	0.18901 E-02	0.12101 E-05
11	HI	Hydrogen iodide	6.948176	0.1437827 E-05	0.1104365 E-05	0.1104365 E-05	-0.3203962 E-09	0.7354255 E-13	0.1437827 E-05	0.1104365 E-05	0.1104365 E-05	-0.3203962 E-09	0.7354255 E-13	0.1437827 E-05	0.1104365 E-05
12	H ₂	Hydrogen	6.647816	0.247647 E-02	-0.4357635 E-05	0.3117701 E-08	-0.6643678 E-12	0.0	0.247647 E-02	-0.4357635 E-05	0.3117701 E-08	-0.6643678 E-12	0.0	0.247647 E-02	-0.4357635 E-05
13	H ₂ O	Water	7.983742	0.463191 E-02	0.1407841 E-05	0.1407841 E-05	-0.6578387 E-09	0.9795288 E-13	0.463191 E-02	0.1407841 E-05	0.1407841 E-05	-0.6578387 E-09	0.9795288 E-13	0.463191 E-02	0.1407841 E-05
14	H ₂ S	Hydrogen sulfide	8.031194	0.9868632 E-03	0.2388543 E-05	0.2388543 E-05	-0.159311 E-08	0.320329 E-12	0.9868632 E-03	0.2388543 E-05	0.2388543 E-05	-0.159311 E-08	0.320329 E-12	0.9868632 E-03	0.2388543 E-05
15	HN ₃	Ammonia	8.2765	0.39006 E-02	0.35245 E-06	0.35245 E-06	-0.27402 E-09	0.0	0.39006 E-02	0.35245 E-06	0.35245 E-06	-0.27402 E-09	0.0	0.39006 E-02	0.35245 E-06
16	Ne	Neon	4.9647	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	NO	Nitric oxide	7.255110	0.4531648 E-03	0.2640019 E-06	0.2640019 E-06	-0.1235439 E-09	0.133261 E-13	0.4531648 E-03	0.2640019 E-06	0.2640019 E-06	-0.1235439 E-09	0.133261 E-13	0.4531648 E-03	0.2640019 E-06
18	NO ₂	Nitrogen dioxide	8.495494	0.4971745 E-02	-0.1239651 E-05	-0.1239651 E-05	-0.2704996 E-09	0.1240708 E-12	0.4971745 E-02	-0.1239651 E-05	-0.1239651 E-05	-0.2704996 E-09	0.1240708 E-12	0.4971745 E-02	-0.1239651 E-05
19	N ₂	Nitrogen	6.947158	0.6629177 E-04	0.5693395 E-06	0.5693395 E-06	0.3226863 E-10	-0.9683239 E-13	0.6629177 E-04	0.5693395 E-06	0.5693395 E-06	0.3226863 E-10	-0.9683239 E-13	0.6629177 E-04	0.5693395 E-06
20	N ₂ O	Nitrous oxide	8.763171	0.6389103 E-02	-0.3621806 E-05	-0.3621806 E-05	0.1572094 E-08	-0.2356612 E-12	0.6389103 E-02	-0.3621806 E-05	-0.3621806 E-05	0.1572094 E-08	-0.2356612 E-12	0.6389103 E-02	-0.3621806 E-05
21	O ₂	Oxygen	6.986501	0.5381101 E-03	0.1399933 E-05	0.1399933 E-05	-0.1092387 E-08	0.2299662 E-12	0.5381101 E-03	0.1399933 E-05	0.1399933 E-05	-0.1092387 E-08	0.2299662 E-12	0.5381101 E-03	0.1399933 E-05
22	O ₃	Sulfur dioxide	9.134	0.532 E-02	0.2323 E-05	0.2323 E-05	0.3527 E-09	0.0	0.532 E-02	0.2323 E-05	0.2323 E-05	0.3527 E-09	0.0	0.532 E-02	0.2323 E-05
23	O ₃ S	Sulfur trioxide	10.964	0.1251 E-01	-0.6523 E-05	-0.6523 E-05	0.1328 E-08	0.0	0.1251 E-01	-0.6523 E-05	-0.6523 E-05	0.1328 E-08	0.0	0.1251 E-01	-0.6523 E-05
Organic Chemicals															
24	CHCl ₃	Chloroform	14.84	0.1245 E-01	-0.6495 E-05	-0.6495 E-05	0.1259 E-08	0.0	0.1245 E-01	-0.6495 E-05	-0.6495 E-05	0.1259 E-08	0.0	0.1245 E-01	-0.6495 E-05
25	CHN	Hydrogen cyanide	8.194594	0.526853 E-02	-0.3123249 E-05	-0.3123249 E-05	0.1256972 E-08	-0.2109817 E-12	0.526853 E-02	-0.3123249 E-05	-0.3123249 E-05	0.1256972 E-08	-0.2109817 E-12	0.526853 E-02	-0.3123249 E-05
26	CH ₂ O	Formaldehyde	8.209533	0.183823 E-02	0.1607531 E-05	0.1607531 E-05	-0.1107293 E-08	0.2015218 E-12	0.183823 E-02	0.1607531 E-05	0.1607531 E-05	-0.1107293 E-08	0.2015218 E-12	0.183823 E-02	0.1607531 E-05
27	CH ₃ Cl	Methyl chloride	8.964398	0.106818 E-01	-0.8351344 E-07	-0.8351344 E-07	-0.2838358 E-10	0.1964404 E-11	0.106818 E-01	-0.8351344 E-07	-0.8351344 E-07	-0.2838358 E-10	0.1964404 E-11	0.106818 E-01	-0.8351344 E-07
28	CH ₄	Methyl iodide	9.71643	0.1103462 E-01	-0.3302857 E-05	-0.3302857 E-05	0.173936 E-09	0.3161217 E-12	0.1103462 E-01	-0.3302857 E-05	-0.3302857 E-05	0.173936 E-09	0.3161217 E-12	0.1103462 E-01	-0.3302857 E-05
29	CH ₄	Methane	8.243223	0.3806333 E-02	0.8864745 E-05	0.8864745 E-05	-0.2464153 E-08	0.1822959 E-11	0.3806333 E-02	0.8864745 E-05	0.8864745 E-05	-0.2464153 E-08	0.1822959 E-11	0.3806333 E-02	0.8864745 E-05
30	CH ₄ O	Methanol	9.801084	0.8430642 E-02	0.6649185 E-05	0.6649185 E-05	-0.8208981 E-08	0.2400638 E-11	0.8430642 E-02	0.6649185 E-05	0.6649185 E-05	-0.8208981 E-08	0.2400638 E-11	0.8430642 E-02	0.6649185 E-05
31	CH ₅ N	Methylamine	11.192	0.1571 E-01	-0.43782 E-05	-0.43782 E-05	0.50592 E-09	0.0	0.1571 E-01	-0.43782 E-05	-0.43782 E-05	0.50592 E-09	0.0	0.1571 E-01	-0.43782 E-05
32	C ₂ H ₅ Cl	Trichloroethylene	17.8198	0.1891162 E-01	-0.1588157 E-04	-0.1588157 E-04	0.7817208 E-08	-0.1645299 E-11	0.1891162 E-01	-0.1588157 E-04	-0.1588157 E-04	0.7817208 E-08	-0.1645299 E-11	0.1891162 E-01	-0.1588157 E-04
33	C ₂ H ₅ Cl ₂	Dichloroethyl chloride	21.08973	0.2396316 E-01	-0.2415183 E-04	-0.2415183 E-04	0.1440388 E-07	-0.3583915 E-11	0.2396316 E-01	-0.2415183 E-04	-0.2415183 E-04	0.1440388 E-07	-0.3583915 E-11	0.2396316 E-01	-0.2415183 E-04
34	C ₂ H ₆	Acetylene	9.89	0.8273 E-02	0.3783 E-05	0.3783 E-05	0.7457 E-09	0.0	0.8273 E-02	0.3783 E-05	0.3783 E-05	0.7457 E-09	0.0	0.8273 E-02	0.3783 E-05
35	C ₂ H ₅ Cl ₃	Chloroethyl chloride	18.47242	0.2082988 E-02	-0.1563425 E-04	-0.1563425 E-04	0.7731953 E-08	-0.1717742 E-11	0.2082988 E-02	-0.1563425 E-04	-0.1563425 E-04	0.7731953 E-08	-0.1717742 E-11	0.2082988 E-02	-0.1563425 E-04
36	C ₂ H ₄ Cl ₂	Vinyl chloride	11.52336	0.1776248 E-01	-0.9084331 E-05	-0.9084331 E-05	0.2459901 E-08	-0.1792789 E-12	0.1776248 E-01	-0.9084331 E-05	-0.9084331 E-05	0.2459901 E-08	-0.1792789 E-12	0.1776248 E-01	-0.9084331 E-05
17	C ₂ H ₃ Cl ₃	Acetyl chloride	13.8551	0.1725661 E-01	0.2116638 E-05	0.2116638 E-05	0.1084935 E-08	0.1484103 E-12	0.1725661 E-01	0.2116638 E-05	0.2116638 E-05	0.1084935 E-08	0.1484103 E-12	0.1725661 E-01	0.2116638 E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข. ค่าคงที่เอนโทรปีและความจุความร้อนของแก๊ส(ต่อ)

38	C ₁₁ H ₁₂	19.37069	0.1598217 E-01	-0.1790523 E-04	0.7161791 E-08	-0.1193531 E-11	6.877873	6938.502	411.7362
39	C ₁₁ H ₁₄ N	11.5361	0.1232094 E-01	-0.1300452 E-05	-0.2031388 E-08	0.7743102 E-12	6.323303	6059.673	411.6977
40	C ₁₁ H ₄	9.326018	0.1939394 E-01	0.1010831 E-05	-0.7516552 E-08	0.3615367 E-11	5.27791	2368.994	433.9156
41	C ₁₁ H ₂ Cl ₂	16.548	0.22237 E-01	-0.92349 E-05	0.15584 E-08	0.0	5.34928	4694.056	371.5705
42	C ₁₁ H ₂ Cl	17.38636	0.1985922 E-01	-0.8175161 E-05	0.1405784 E-08	0.9333614 E-13	5.768529	5524.353	383.4458
43	C ₁₁ H ₄	11.90924	0.1481123 E-01	0.9359146 E-06	-0.301431 E-08	0.172932 E-11	6.49856	5121.453	419.9494
44	C ₁₁ H ₂ O	10.14899	0.1762188 E-01	0.4347253 E-05	-0.1164914 E-07	0.4326694 E-11	5.630604	4460.616	399.9853
45	C ₁₁ H ₂ O ₂	14.63924	0.229877 E-01	-0.1021997 E-04	0.2589453 E-08	-0.2804407 E-12	7.203594	7376.157	410.1814
46	C ₁₁ H ₂ O	14.31964	0.1285721 E-01	-0.3231842 E-05	-0.3463877 E-08	0.2608819 E-11	6.022116	4906.897	396.03
47	C ₁₁ H ₂ Cl	13.436	0.17167 E-01	-0.64893 E-05	0.6832 E-09	0.0	5.696013	4424.781	404.411
48	C ₁₁ H ₆	11.51606	0.140309 E-01	0.834034 E-05	-0.1106078 E-07	0.3162199 E-11	5.383894	2847.921	434.898
49	Dimethyl ether	15.91995	0.1599677 E-01	0.7899362 E-05	-0.1293051 E-07	0.4398304 E-11	5.77524	3918.305	415.2381
50	C ₁₁ H ₂ O	14.04653	0.2153149 E-01	-0.2153442 E-05	-0.4607259 E-08	0.1893692 E-11	7.43437	6162.36	359.3826
51	C ₁₁ H ₂ O ₂	18.11979	0.2404298 E-01	0.1263593 E-05	-0.1072173 E-07	0.4248091 E-11	7.258288	8088.817	311.8854
52	Dimethyl sulfide	16.21998	0.1919441 E-01	-0.334516 E-06	-0.3604401 E-08	0.2328362 E-11	5.610757	4769.088	396.9099
53	C ₁₁ H ₂ S	15.23943	0.2125969 E-01	-0.4178643 E-05	-0.2550822 E-08	0.1279568 E-11	5.613324	4709.222	394.2954
54	C ₁₁ H ₂ N	14.61884	0.2301337 E-01	0.5043536 E-05	-0.1298503 E-07	0.470142 E-11	5.841118	4333.688	377.3129
55	Acrylonitrile	13.77061	0.1984967 E-01	-0.8937427 E-05	0.193298 E-08	-0.2797383 E-13	6.038654	5459.573	396.7914
56	C ₁₁ H ₂ N	13.17061	0.1775777 E-01	-0.7298423 E-05	0.1921976 E-08	-0.242782 E-12	5.179851	3470.383	387.1001
57	Propadiene	12.6505	0.1728833 E-01	-0.6452827 E-05	0.1813724 E-11	2.443058	1832.002	317.5695	418.4319
58	C ₁₁ H ₆	13.63267	0.1306998 E-01	0.249845 E-05	-0.1146863 E-07	0.5347386 E-11	5.44467	3735.447	418.4319
59	Acetone	16.13621	0.2340064 E-01	-0.1479392 E-05	-0.4143553 E-08	0.1323724 E-11	6.244412	5356.715	397.5290
60	C ₁₁ H ₂ O ₂	20.94868	0.273312 E-01	-0.146055 E-05	-0.8996131 E-08	0.3692011 E-11	5.94826	4965.302	377.2637
61	Methyl acetate	21.04651	0.2395063 E-01	0.154732 E-05	-0.9770737 E-08	0.3676818 E-11	6.253272	5351.863	385.1996
62	C ₁₁ H ₂ O ₂	20.17881	0.2781613 E-01	-0.2700043 E-05	-0.7554358 E-08	0.3231272 E-11	6.838962	6770.055	340.8683
63	Dimethylformamide	20.8472	0.2068996 E-01	-0.4231415 E-05	-0.6471348 E-08	0.287279 E-11	5.298043	5665.834	313.234
64	C ₁₁ H ₂	15.58683	0.3084953 E-01	0.1404258 E-04	-0.3552621 E-07	0.1864467 E-10	5.353418	3371.084	414.488
65	C ₁₁ H ₂ O	18.703	0.3374998 E-01	-0.8097677 E-05	-0.4534869 E-08	0.2386334 E-11	7.180215	5596.813	327.2873
66	n-Propanol	18.71145	0.2788756 E-01	0.8385266 E-06	-0.9785116 E-08	0.3679178 E-11	6.683944	5414.961	303.9864
67	Trimethylamine	19.09335	0.3856444 E-01	-0.136938 E-04	0.2035707 E-08	-0.1282133 E-13	5.552747	4030.388	398.2676
68	C ₁₁ H ₂	5.297392	0.171349 E-01	-0.11425 E-05	-0.3775036 E-08	0.1440128 E-11	5.297392	3879.835	381.4085
69	Vinylacetylene	5.201119	0.3734804 E-01	-0.2222312 E-04	0.6562862 E-08	-0.709689 E-12	5.520119	5164.732	366.4536
70	C ₁₁ H ₂ S	19.23704	0.2314623 E-01	-0.2793527 E-05	-0.45453 E-08	0.1908719 E-11	5.824528	5313.429	366.5642
71	Dimethylacetylene	16.76823	0.3571102 E-01	-0.8454562 E-05	0.235627 E-08	-0.4824367 E-12	5.637212	4482.741	388.6972
72	C ₁₁ H ₆	17.38834	0.2778078 E-01	-0.116434 E-04	0.3040087 E-08	-0.3742309 E-12	5.606554	4103.138	387.8534
73	C ₁₁ H ₆	17.15982	0.3631 E-01	-0.5937819 E-05	-0.2361299 E-08	0.1011447 E-11	6.184933	4644.865	419.7079
74	1,2-Isobutadiene	16.47292	0.3392027 E-01	-0.1192511 E-04	-0.4786315 E-08	0.5611304 E-11	5.69864	4105.731	409.9979
75	C ₁₁ H ₂	17.96141	0.3297023 E-01	-0.605339 E-05	-0.569009 E-08	0.2826942 E-11	5.98272	3941.014	404.741
76	C ₁₁ H ₂	16.54537	0.2964593 E-01	0.3471621 E-05	-0.1863127 E-07	0.8452562 E-11	5.456285	3977.363	394.4956
77	Isobutene	18.93086	0.3101008 E-01	-0.4930013 E-05	-0.6036954 E-08	0.3300886 E-11	5.616762	3953.678	403.9166
78	C ₁₁ H ₂	18.84267	0.2764259 E-01	0.2097447 E-05	-0.1337556 E-07	0.5631517 E-11	5.487073	3984.406	400.0703
79	Isobutynilidethylene	20.75123	0.3284207 E-01	-0.3153369 E-06	-0.1104319 E-07	0.4330567 E-11	6.508438	5396.492	379.294
80	C ₁₁ H ₂ O	22.30644	0.2959544 E-01	-0.3306391 E-06	-0.8248859 E-08	0.3018054 E-11	5.885353	5097.37	336.3804
81	Methyl ethyl ketone	23.98619	0.377076 E-01	-0.3265636 E-05	-0.1019473 E-07	0.4365454 E-11	7.444973	7373.927	330.4843
82	n-Butyric acid	24.90819	0.3397932 E-01	0.7316711 E-06	-0.1247032 E-07	0.4824152 E-11	6.3307	5440.049	373.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข. ค่าคงที่เอนทัลปีและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส(ต่อ)

Number	Empirical Formula	Name	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	A_1	A_2	A_3
83	$C_3H_5O_2$	Methyl propionate	24.00819	0.3329732 E:01	0.7316711 E:06	-0.1247032 E:07	0.4824132 E:-11	6.280916	5.462.483	372.7137
84	$C_3H_7O_2$	Propyl formate	24.00819	0.3329732 E:01	0.7316711 E:06	-0.1247032 E:07	0.4824132 E:-11	5.956599	5225.881	363.3314
85	C_3H_7NO	Dimethyl acetylamine	24.63017	0.4015238 E:01	-0.5139106 E:05	-0.9138259 E:08	0.3017948 E:-11	4.812879	5194.59	279.0869
86	C_4H_{10}	Isobutane	20.41853	0.3462286 E:01	0.1415619 E:04	-0.3246126 E:-07	0.2296093 E:-10	5.611805	3870.419	409.949
87	$C_4H_{10}O$	n-Butanol	20.79783	0.3143287 E:01	0.1928511 E:04	-0.4588652 E:07	0.2386972 E:-10	5.741624	4126.385	409.5179
88	$C_4H_{10}O$	n-Butanol	17.208	0.3086603 E:01	0.2615677 E:04	-0.3727992 E:07	0.1247976 E:-10	7.134107	5843.713	310.811
89	$C_4H_{10}O$	t-Butyl alcohol	22.86768	0.4378233 E:01	-0.1487031 E:04	-0.4480366 E:09	0.1399299 E:-11	6.303186	5225.224	274.4291
90	$C_4H_{10}O$	Diethyl ether	23.80689	0.4378233 E:01	-0.1487031 E:04	-0.4480366 E:09	0.1399299 E:-11	6.180797	4482.792	274.7841
91	$C_4H_8O_2$	Diethylene glycol	26.81047	0.3456899 E:01	0.6983382 E:05	-0.1902477 E:07	0.1341633 E:-11	5.976844	4614.723	388.8028
92	$C_4H_8O_2$	Diethylene glycol	20.38649	0.3085529 E:01	-0.4992507 E:05	-0.7442546 E:08	0.8903581 E:-11	9.238843	10861.24	363.888
93	C_4H_{10}	2-Methyl-1-butene	23.51432	0.416842 E:01	-0.6797959 E:05	-0.1216439 E:07	0.3466098 E:-11	8.278279	9658.592	469.7835
94	C_4H_{10}	2-Methyl-1-butene	24.98621	0.4516003 E:01	-0.3709002 E:04	-0.1105363 E:07	0.511218 E:-11	5.655016	4383.237	387.8014
95	C_4H_{10}	3-Methyl-1-butene	22.08508	0.3921598 E:01	-0.3039504 E:05	-0.1105363 E:07	0.511218 E:-11	5.701977	4531.679	386.7617
96	C_4H_{10}	Cyclopentane	16.21714	0.4643093 E:01	-0.5947453 E:05	0.1719799 E:07	-0.6539064 E:-11	5.354918	4210.159	394.7537
97	C_4H_{10}	1-Pentene	23.09811	0.4065747 E:01	-0.7117898 E:05	-0.5280908 E:08	0.1318546 E:-10	5.429031	4663.062	384.6612
98	C_4H_{10}	cis-2-Pentene	21.12406	0.4169283 E:01	-0.3053253 E:05	-0.1195115 E:07	0.1708107 E:-11	5.453355	4336.393	388.5999
99	C_4H_{10}	trans-2-Pentene	22.95406	0.3853433 E:01	-0.1108019 E:05	-0.1368132 E:07	0.4473386 E:-11	5.623241	4412.304	382.3199
100	C_4H_8O	Diethyl ketone	24.50798	0.5231444 E:01	-0.1173314 E:05	-0.1373883 E:07	0.6325655 E:-11	5.722272	4491.719	387.2968
101	$C_4H_8O_2$	n-Propyl acetate	28.73032	0.4269 E:01	0.9489801 E:07	-0.1317592 E:07	0.5975479 E:-11	6.159806	5631.04	361.2781
102	$C_4H_8O_2$	Isopentane	24.94637	0.446726 E:01	0.7054883 E:05	-0.3344167 E:07	0.1774503 E:-10	6.302585	5596.313	355.8455
103	C_4H_{12}	n-Pentane	25.64637	0.389176 E:01	0.3927294 E:04	-0.5942615 E:07	0.1774503 E:-10	5.49978	4321.154	387.287
104	C_4H_{12}	n-Pentane	25.64637	0.389176 E:01	0.3927294 E:04	-0.5942615 E:07	0.1774503 E:-10	5.853654	4598.287	394.4148
105	C_4H_{12}	Neopentane	25.46761	0.461177 E:01	0.1147232 E:04	-0.4605143 E:04	0.2506343 E:-10	5.692011	4148.025	404.42
106	$C_6H_6Cl_2$	1,2,4-Trichlorobenzene	25.73674	0.4831912 E:01	-0.3089766 E:04	0.1052329 E:07	-0.1390436 E:-11	6.923514	8014.486	364.6567
107	$C_6H_6Cl_2$	m-Dichlorobenzene	22.87009	0.456102 E:01	-0.2128264 E:04	0.2990787 E:08	0.7316133 E:-12	11.37776	15451.49	682.6164
108	$C_6H_6Cl_2$	p-Dichlorobenzene	22.87009	0.456102 E:01	-0.2128264 E:04	0.2990787 E:08	0.7316133 E:-12	5.981208	6798.548	345.1776
109	$C_6H_6Cl_2$	Bromobenzene	30.30329	0.4011145 E:01	-0.1108768 E:04	-0.4813553 E:08	0.2980795 E:-11	6.813621	7773.248	396.0557
110	C_6H_6Cl	Chlorobenzene	19.98323	0.4080291 E:01	-0.1166762 E:04	-0.4590812 E:08	0.2862703 E:-11	5.888747	6222.905	372.2756
111	C_6H_6	Benzene	20.57765	0.3968462 E:01	-0.1067708 E:04	-0.50094 E:08	0.2927215 E:-11	5.72827	6854.36	348.1382
112	C_6H_6	Benzene	16.39282	0.4020369 E:01	0.6925339 E:05	-0.4114202 E:07	0.23989918 E:-10	5.658375	5307.813	379.456
113	C_6H_6O	Phenol	19.91816	0.3925218 E:01	-0.2435162 E:04	-0.464971 E:08	0.4113815 E:-12	6.55519	7230.359	321.6074
114	C_6H_5N	Aniline	20.11747	0.4538974 E:01	-0.5741054 E:05	-0.1216273 E:07	0.5366204 E:-10	6.41519	7386.331	346.6331
115	C_6H_{12}	Cyclohexane	21.00016	0.5627191 E:01	0.1129416 E:04	-0.1606168 E:07	0.1482606 E:-10	5.473055	5330.253	371.2755

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข. ค่าคงที่เอนโทรปีและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส(ต่อ)

117	C ₆ H ₁₂	Methylcyclopentane	22.02735	0.5465972 E-01	0.5935187 E-05	-0.3442294 E-07	0.164543 E-10	5.567563	4916.44	375.933
118	C ₆ H ₁₂	1-Hezene	27.87277	0.4926029 E-01	-0.7512748 E-05	-0.9298869 E-08	0.3952236 E-11	5.711574	4783.217	374.7552
119	C ₆ H ₁₄	2,2-Dimethylbutane	29.44918	0.5506511 E-01	-0.1806208 E-05	-0.2478814 E-07	0.9570332 E-11	5.50245	4486.167	381.1012
120	C ₆ H ₁₄	2,3-Dimethylbutane	29.27018	0.5595826 E-01	-0.2028283 E-05	-0.2494276 E-07	0.1323425 E-10	5.61351	4672.79	380.1172
121	C ₆ H ₁₄	n-Hezene	30.17847	0.5199263 E-01	0.3048799 E-05	-0.2763996 E-07	0.1346731 E-10	6.019243	5085.758	382.794
122	C ₆ H ₁₄	n-Methylpentane	30.30218	0.5351181 E-01	0.5716877 E-05	-0.3870868 E-07	0.2113274 E-10	5.7088	4700.639	375.5984
123	C ₆ H ₁₄	3-Methylpentane	30.17174	0.5189874 E-01	0.266338 E-05	-0.2868089 E-07	0.1391842 E-10	5.7023	4700.526	376.3611
124	C ₆ H ₁₄ O ₄	Triethylene glycol	38.88318	0.6322653 E-01	0.5449502 E-05	-0.2083416 E-07	0.1149462 E-10	9.707385	11860.26	356.928
125	C ₇ H ₈	Toluene	21.17722	0.4639546 E-01	0.9961368 E-05	-0.4628264 E-07	0.2385787 E-10	5.944251	5636.287	374.745
126	C ₇ H ₁₀ O	o-Cresol	24.15791	0.5181846 E-01	-0.7496517 E-05	-0.1323952 E-07	0.5909937 E-11	5.749559	6394.925	286.9147
127	C ₇ H ₁₄	Methylcyclohexane	27.06932	0.6729289 E-01	0.5750553 E-05	-0.3885885 E-07	0.1837708 E-10	5.608872	5318.374	370.0705
128	C ₇ H ₁₄	Ethylcyclopentane	24.63088	0.9883192 E-01	-0.3351091 E-05	0.1674966 E-06	-0.8292246 E-10	5.628096	5369.766	364.7743
129	C ₇ H ₁₄	1-Heptene	32.68419	0.5769426 E-01	-0.724699 E-05	-0.1448889 E-07	0.6897932 E-11	5.922457	5212.626	362.3801
130	C ₇ H ₁₆	n-Heptane	34.96845	0.608752 E-01	0.1213345 E-05	-0.201693 E-07	0.1454746 E-10	5.986227	5278.902	359.5259
131	C ₇ H ₈	Styrene	24.82664	0.5843 E-01	-0.25693 E-04	0.3432486 E-08	0.8297016 E-12	6.071326	6329.573	358.5947
132	C ₇ H ₁₀	1-Ethylene	26.37827	0.5326271 E-01	0.1239678 E-04	-0.583197 E-07	0.1311962 E-10	5.747492	5862.905	349.8327
133	C ₇ H ₁₀	m-Xylene	26.43788	0.5188146 E-01	0.122123 E-04	-0.4900955 E-07	0.2628339 E-10	5.949452	6049.457	354.6467
134	C ₇ H ₁₀	p-Xylene	27.89247	0.5103385 E-01	0.5908631 E-05	-0.3459655 E-07	0.1949676 E-10	5.922098	6141.641	354.0417
135	C ₇ H ₁₀	o-Xylene	26.39862	0.4982215 E-01	0.1658367 E-04	-0.5289838 E-07	0.276508 E-10	5.94371	6033.046	355.99
136	C ₇ H ₁₆	Ethylcyclohexane	32.07366	0.7610346 E-01	-0.7343807 E-05	-0.4881198 E-07	0.2469959 E-10	5.769319	5751.059	355.93
137	C ₇ H ₁₆	n-Propylcyclopentane	30.7991	0.839193 E-01	0.7343807 E-05	0.9086445 E-08	-0.107316 E-11	5.957854	5754.086	352.481
138	C ₇ H ₁₈	n-Octane	39.77987	0.6930903 E-01	0.3576344 E-04	-0.3456095 E-07	0.1749419 E-10	6.4141	5917.491	360.26
139	C ₇ H ₁₈ O ₅	Tetraethylene glycol	50.91845	0.8159435 E-01	0.1479927 E-05	-0.3636893 E-07	0.141849 E-10	10.89268	14782.51	439.2803
140	C ₇ H ₈	Indane	26.11572	0.6007207 E-01	-0.1628819 E-04	-0.7372481 E-08	0.4361004 E-11	6.176081	7190.945	371.053
141	C ₇ H ₁₀	Indene	27.22218	0.6712433 E-01	-0.1535148 E-04	-0.1126863 E-07	0.3886033 E-11	6.049353	6821.739	357.368
142	C ₇ H ₁₀	Methylstyrene	40.40845	0.5992828 E-01	0.1423367 E-04	-0.204508 E-07	0.9784106 E-11	6.087191	6638.097	352.369
143	C ₇ H ₁₂	1-Ethyl-2-methylbenzene	35.7457	0.6787234 E-01	-0.2692206 E-04	0.5325566 E-08	-0.3646534 E-12	6.202647	6541.084	351.7732
144	C ₇ H ₁₂	n-Propylbenzene	30.83869	0.7397426 E-01	-0.333376 E-04	0.8236172 E-08	-0.8488248 E-12	5.919976	6180.323	340.82
145	C ₇ H ₁₈	n-Propylcyclohexane	36.93022	0.9596314 E-01	-0.3732096 E-04	0.6920047 E-08	-0.3686707 E-11	6.022487	6079.604	343.4018
146	C ₇ H ₁₈	n-Nonane	44.6198	0.7733844 E-01	0.2963378 E-05	-0.4134716 E-08	0.2114216 E-10	6.22189	6662.653	330.96
147	C ₁₀ H ₈	Naphthalene	26.38315	0.7107626 E-01	-0.303242 E-04	0.2599232 E-08	0.1536979 E-11	5.464939	7090.598	305.1725
148	C ₁₀ H ₁₀	1-Methylindene	29.92083	0.696464 E-01	-0.1746832 E-04	-0.9807097 E-08	0.5436345 E-11	6.139705	7223.491	343.832
149	C ₁₀ H ₁₀	2-Methylindene	29.5297	0.7131178 E-01	-0.1815527 E-04	-0.990292 E-08	0.5540532 E-11	6.165742	6479.445	340.571
150	C ₁₀ H ₁₂	Dicyclopentilene	35.24185	0.8077631 E-01	-0.3064337 E-04	-0.1037675 E-08	0.1717173 E-11	5.97896	6514.868	353.37
151	C ₁₀ H ₁₄	n-Butylbenzene	33.32803	0.8134638 E-01	0.2713032 E-04	0.919402 E-08	-0.931636 E-12	6.089288	6334.868	330.3337
152	C ₁₀ H ₁₄	1,2-Dimethyl-3-Ethylbenzene	32.18688	0.7623887 E-01	-0.2317236 E-05	-0.2192313 E-07	0.9362406 E-11	6.180938	6838.277	330.4982
153	C ₁₀ H ₁₆	n-Butylcyclohexane	41.74714	0.1042007 E-01	-0.3064928 E-04	0.7648478 E-08	-0.214681 E-12	6.094088	6369.972	329.0528
154	C ₁₀ H ₁₆	n-Decene	49.42138	0.8402711 E-01	0.2049708 E-05	-0.4415409 E-07	0.2256651 E-10	6.33557	6213.978	317.6512
155	C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	29.13571	0.7475587 E-01	0.1564399 E-04	-0.1428024 E-07	0.7089241 E-11	6.080312	7676.797	323.8236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข. ค่าคงที่เอนทัลปีและค่าคงที่ความจุความร้อนของแก๊ส(ต่อ)

Number	Empirical Formula	Name	$\Delta_f H^\circ$	$\Delta_f G^\circ$	$\Delta_f S^\circ$	$\Delta_f H^\circ$	$\Delta_f G^\circ$	$\Delta_f S^\circ$	$\Delta_f H^\circ$	$\Delta_f G^\circ$	$\Delta_f S^\circ$
156	$C_{11}H_{10}$	2-Methylnaphthalene	29.3371	0.7473587 E-01	-0.1428024 E-07	6.101162	0.7089941 E-11	7630.143	325.2701		
157	$C_{11}H_{12}$	n-Undecene	34.23211	0.9422374 E-01	-0.4957262 E-07	7.21247	0.2544979 E-10	7475.258	350.7821		
158	$C_{11}H_{14}$	Acenaphthylene	30.48077	0.7758508 E-01	-0.2664829 E-04	6.218664	0.4429321 E-11	8047.648	313.365		
159	$C_{12}H_{10}$	Diphenyl	32.02568	0.9116691 E-01	-0.4408667 E-04	6.194778	0.9059193 E-12	7947.647	317.1246		
160	$C_{12}H_{12}$	2,7-Dimethylnaphthalene	33.16177	0.8467461 E-01	-0.1714886 E-04	6.707037	0.8138763 E-11	8521.498	331.2805		
161	$C_{12}H_{14}$	1,2,3-Trimethylindene	37.49874	0.8872309 E-01	-0.1961391 E-04	6.452743	0.7642388 E-11	7497.763	321.886		
162	$C_{12}H_{16}$	n-Dodecene	39.0328	0.1029143	0.2243202 E-05	6.561135	0.279613 E-10	6739.22	292.374		
163	$C_{13}H_{10}$	Fluorene	34.75668	0.8111078 E-01	-0.2222686 E-04	8.197664	0.6152866 E-11	11632.66	433.9648		
164	$C_{13}H_{12}$	1-Methylethyl-naphthalene	36.92984	0.9421013 E-01	-0.1816491 E-04	8.234.079	0.9260344 E-11	8234.079	293.939		
165	$C_{13}H_{14}$	2,3,5-Trimethylnaphthalene	36.96391	0.9458171 E-01	-0.1866141 E-04	6.678618	0.9196302 E-11	8366.407	292.104		
166	$C_{13}H_{16}$	n-Tridecene	63.85792	0.111595	0.118505 E-07	6.687748	0.9196302 E-11	8366.407	292.104		
167	$C_{14}H_{10}$	Phenanthrene	34.43893	0.9086123 E-01	0.1116408 E-05	6.63466	0.2630331 E-10	6995.694	281.4988		
168	$C_{14}H_{12}$	n-Tetradecene	68.69802	0.1196599	0.2323548 E-05	5.543959	0.7013306 E-11	7914.989	244.9414		
169	$C_{15}H_{12}$	1-Phenylindene	39.22844	0.101567	-0.6341006 E-07	6.35784	0.3319885 E-10	7203.471	269.269		
170	$C_{15}H_{14}$	2-Ethylfluorene	40.82861	0.1076498	-0.2937448 E-04	6.302465	0.7190397 E-11	8771.184	284.878		
171	$C_{15}H_{16}$	n-Pentadecene	73.51018	0.1281686	-0.1479421 E-07	6.695303	0.8512086 E-11	8631.0	283.702		
172	$C_{16}H_{10}$	Fluoranthene	40.95336	0.1036185	0.2315536 E-05	6.82225	0.3305542 E-10	7400.305	257.5334		
173	$C_{16}H_{12}$	Pyrene	38.96862	0.1053988	-0.4006217 E-04	6.82225	0.4437308 E-10	6.371647	9789.787		
174	$C_{16}H_{14}$	1-Phenyl-naphthalene	37.21348	0.1659667	0.2424246 E-04	6.603641	0.5453736 E-11	9365.347	267.09		
175	$C_{16}H_{16}$	n-Hexadecene	78.32123	0.1367191	-0.189117 E-07	7.078733	0.9723283 E-11	9631.87	313.9423		
176	$C_{18}H_{12}$	Chrysene	42.55082	0.1204639	0.1674373 E-05	6.92955	0.3676587 E-10	7569.57	243.2032		
					-0.3831014 E-04	6.810698	0.8077914 E-11	10647.46	229.481		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้