

ผลของแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ



นายเจษฎา บุญนำพา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

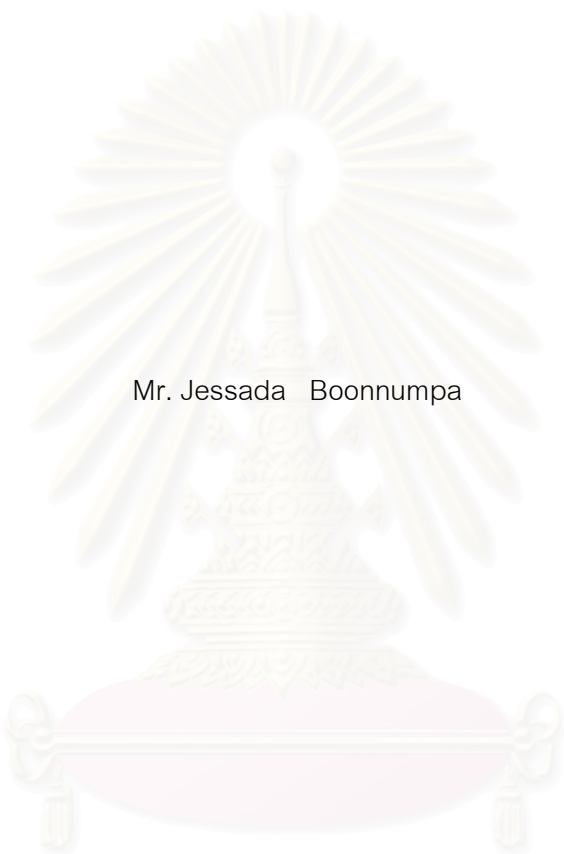
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF ALCOHOLS ON PROPERTIES OF THE AZEOTROPIC MIXTURE OF ETHANOL AND WATER



Mr. Jessada Boonnumpa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่
ของเอทานอลกับน้ำ

โดย

นาย เจษฎา บุญนำพา


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

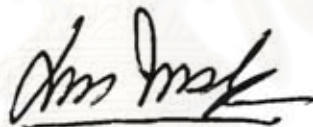
รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

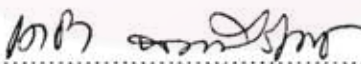


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มล. สุภกนก ทองใหญ่)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ผึ้งผาย พรธเวดี)

นาย เจษฎา บุญนำพา : ผลของแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ. (EFFECTS OF ALCOHOLS ON PROPERTIES OF THE AZEOTROPIC MIXTURE OF ETHANOL AND WATER) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เฉชา ฉัตรศิริเวช, 151 หน้า.

วิธีการประมาณสถานะสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบสามารถสร้างได้จากแบบจำลอง VLE และ VLLE ร่วมกับสมการ NRTL, UNIQUAC และ UNIFAC ในการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ แบบจำลองกระบวนการแยกเอทานอลที่ประกอบด้วยหอกกลั่น 3 หอ โดยใช้กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วย เอทิลีน ไกลคอลเป็นต้นแบบ และพัฒนาแบบจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ โดยดึงตัวทำละลายออกทางด้านข้างของหอกกลั่น โดยแบบจำลองทั้งสองนำมาเพื่อศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อความบริสุทธิ์ของเอทานอล และประมาณพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล

การประมาณสมดุลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบสามารถใช้แบบจำลอง UNIFAC-VLE, NRTL-VLE และ NRTL-VLLE แต่แบบจำลอง UNIFAC-VLE มีความแม่นยำสูงสุด กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้เมทานอลแทนเอทิลีน ไกลคอล สามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.4 โดยมวล ทั้งกระบวนการที่ใช้หอกกลั่น 3 และ 2 หอ โดยต้องใช้เมทานอลต่อเอทานอล 1.56 เท่า เป็นอย่างน้อย และแยกเอทานอลที่ได้จากของผสมเริ่มต้นได้มากกว่าร้อยละ 98 โดยมวล อย่างไรก็ตาม เมทานอลสูญเสียจากกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้หอกกลั่น 3 และ 2 หอ ร้อยละ 0.03 และ 0.06 โดยมวล ตามลำดับ พลังงานต่ำสุดที่ใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้เมทานอลที่ใช้หอกกลั่น 3 และ 2 หอ เท่ากับ 63.5 และ 44.4 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์เอทานอล ตามลำดับ นอกจากนี้ เอทิลีนไอมิน และ โพรพิลีนไอมิน สามารถใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอลทั้งสองกระบวนการดังกล่าว โดยใช้ปริมาณสารประกอบไอมิน และพลังงานน้อยกว่ากระบวนการที่ใช้เมทานอล แต่สูญเสียสารประกอบไอมินมากกว่ากระบวนการที่ใช้เมทานอล

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต..... เจษฎา บุญนำพา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ดร. เฉชา ฉัตรศิริเวช
ปีการศึกษา.....2550.....

4870263021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ETHANOL / DISTILLATION / SIMULATION / ALCOHOL / AZEOTROPIC MIXTURE

Jessada Boonnumpa : EFFECTS OF ALCOHOLS ON PROPERTIES OF THE AZEOTROPIC MIXTURE OF ETHANOL AND WATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH , Ph.D., 151 pp.

Determination procedure of ternary azeotropes has been proposed based on conventional liquid activity coefficient models, i.e. NRTL, UNIQUAC, and UNIFAC, together with vapour-liquid and vapour-liquid-liquid equilibria. Influence of another alcohol on ethanol-water azeotrope has been investigated. Ethanol separation process has been modeled with 3 distillation columns according to extractive distillation with ethylene glycol. Afterwards, the process has been modified as 2 columns with side-streams. Both process models have been employed for investigating effects of various alcohols on ethanol purity produced. Finally, the minimum energy requirement of the process has been estimated. Ternary azeotropes can be predicted with UNIFAC-VLE, NRTL-VLE and NRTL-VLLE. UNIFAC-VLE can predict more precisely than the others. With 3-column and 2-column processes, high purity ethanol, above 99.4%, can be produced by adding methanol instead of ethylene glycol. The processes require methanol to ethanol ratio of at least 1.56. Ethanol can be recovered more than 98%. However, methanol has lost by 0.03% and 0.06% for 3-column, and 2-column processes, respectively. The minimum total energy requirement has become 63.5 and 44.4 MJ/kg ethanol for 3-column and 2-column processes, respectively. In addition, ethylene imine and propylene imine can also be used for both processes. Although the processes have required less imines energy than methanol for similar separation, they have been lost greater than methanol.

Department.....Chemical Engineering..... Student's signature

Field of study.....Chemical Engineering..... Advisor's signature

Academic year.....2007.....

Jessada Boonnumpa

Decha Chatsiriwech

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้คำแนะนำ และการดูแลเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา รวมทั้ง กรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์เพื่อให้ได้วิทยานิพนธ์ที่มีความสมบูรณ์ ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.มล. ศุภกนก ทองใหญ่ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปริษานนท์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ฝั่งผาย พรรณวดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ซึ่งคอยเป็น กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่	หน้า
3.5 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น.....	19
3.6 การจำลองกระบวนการกลั่น.....	23
3.6.1 วิธีการคำนวณหาคำตอบ Inside-out method.....	25
3.6.1.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization Procedure).....	28
3.6.1.2 การคำนวณวงใน (Inner-loop calculation).....	28
3.6.1.3 การคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation).....	30
4. การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	31
4.1 การศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ.....	31
4.2 การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	34
4.2.1 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	34
4.2.1.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	34
4.2.1.2 การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	35
4.2.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	40
4.2.2.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	40
4.2.2.2 การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	41
4.3 การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	43
4.3.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	43
4.3.1.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	43
4.3.1.2 การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	43
4.3.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	48
4.3.2.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	48
4.3.2.2 การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	48
4.4 การศึกษาผลของสารประกอบอื่น ๆ ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	48
4.5 การประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	49
5. ผลการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	50
5.1 ผลการศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ.....	50
5.2 ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	54
5.2.1 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	54
5.2.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	61

บทที่	หน้า
5.3 ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	65
5.3.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ.....	65
5.3.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ.....	71
5.4 ผลของสารประกอบอื่น ๆ ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	75
5.4.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ.....	75
5.4.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ.....	80
5.5 ผลการประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	84
5.5.1 พลังงานที่ต้องให้กับกระบวนการ.....	84
5.5.2 พลังงานที่ต้องดึงออกจากกระบวนการ.....	89
6. สรุปผลการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	96
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	96
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	113
ภาคผนวก ค.....	116
ภาคผนวก ง.....	132
ภาคผนวก จ.....	148
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	151

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 กระบวนการสกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย.....	3
1.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์.....	4
2.1 กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามให้เกิดของผสมจุดเดือด คงที่ชุดใหม่.....	9
2.2 กระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับ.....	10
2.3 กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์.....	11
2.4 กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น.....	11
3.1 กราฟสมมูลไอ-ของเหลวสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลและน้ำ.....	15
3.2 กลุ่มของสารประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีสาร ประกอบแอลกอฮอล์ และน้ำเป็นองค์ประกอบร่วม.....	16
3.3 กลุ่มของสารประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ไม่มี สารประกอบแอลกอฮอล์ และน้ำเป็นองค์ประกอบร่วม.....	17
3.4 ขั้นตอนสมดุลภายในหอกลั่น ที่สภาวะป้อนกลับทั้งหมด.....	20
3.5 ความสัมพันธ์ของสมการ (3-11) และ (3-12) ในสมการของ Gilliland.....	21
3.6 การคำนวณการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบเบื้องต้นด้วยวิธี FUG.....	22
3.7 ขั้นตอนสมดุลที่ j สำหรับกระบวนการกลั่น.....	23
3.8 ขั้นตอนสมดุลที่ 1 ถึงขั้นตอนสมดุลที่ N ในกระบวนการกลั่น.....	24
3.9 การคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี Inside-out method.....	27
4.1 สมมูลไอ-ของเหลวที่ใช้ศึกษาการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ.....	31
4.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้เมทานอล และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	37
4.3 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือด ใกล้กับจุดเดือดของเอทานอล และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	38
4.4 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือด ใกล้กับจุดเดือดของน้ำ และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	39
4.5 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือด สูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	40
4.6 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือด ใกล้กับจุดเดือดของน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 2 หอ.....	42

4.7	กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 2 หอ.....	42
4.8	กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายและใช้หอกลั่น 3 หอ.....	44
4.9	กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับจุดเดือดของเอทานอล และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	46
4.10	กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	46
4.11	กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 3 หอ.....	47
5.1	ผลต่างของสัดส่วนโดยมวลของไอและของเหลวสำหรับระบบที่เกิดและไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ.....	50
5.2	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่พบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด.....	51
5.3	% ความแตกต่างของสัดส่วนโดยมวลของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจากการคำนวณกับข้อมูลรวบรวมไว้ โดยใช้สมการ UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLLE.....	52
5.4	% ความแตกต่างของอุณหภูมิของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจากการคำนวณกับข้อมูลรวบรวมไว้ โดยใช้สมการ UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLLE.....	52
5.5	ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล.....	54
5.6	ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	57
5.7	ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	58
5.8	ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	59
5.9	ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด.....	

ภาพประกอบ	หน้า
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	60
5.10 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด	
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	61
5.11 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด	
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	62
5.12 ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด	
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	63
5.13 ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด	
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	64
5.14 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น	
โดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์.....	65
5.15 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล.....	67
5.16 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล.....	68
5.17 ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล.....	69
5.18 ปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	70
5.19 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยเมทานอล.....	71
5.20 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยเมทานอล.....	72
5.21 ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น.....	73
5.22 ปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	74
5.23 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยสารประกอบเอไมด์.....	76
5.24 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยสารประกอบเอไมด์.....	77
5.25 ความบริสุทธิ์ของสารประกอบเอไมด์ที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น.....	78
5.26 ปริมาณของสารประกอบเอไมด์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	79
5.27 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยสารประกอบเอไมด์.....	80
5.28 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยใช้สารประกอบเอไมด์.....	81
5.29 ความบริสุทธิ์ของสารประกอบเอไมด์ที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น.....	82
5.30 ปริมาณของสารประกอบเอไมด์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	83
5.31 พลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กับกระบวนการกลั่น-สกัด	
และกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	85

ภาพประกอบ	หน้า
5.32 พลังงานที่ต้องให้กับหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้น และหอกลิ้นเอทานอล.....	86
5.33 พลังงานที่ต้องให้กับหอกลิ้นแยกตัวทำละลาย และสารที่เดิมเข้าไป เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่.....	87
5.34 พลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.....	90
5.35 พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้น และหอกลิ้นเอทานอล.....	91
5.36 พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นแยกตัวทำละลายและสารที่เดิมเข้าไป เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่.....	92
ข.1 การเปรียบเทียบ % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ เมื่อคำนวณจากฟังก์ชันที่ในโปรแกรม และแบบจำลอง สมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น.....	113
ข.2 % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE.....	113
ข.3 % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLLE.....	114
ข.4 % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง NRTL VLE.....	114
ข.5 % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง NRTL VLLE.....	115
ข.6 % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIQUAC.....	115
ค.1 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่กับ สัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน.....	116
ค.2 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกไอโซโพรพานอลเพื่อนำกลับมา ใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของไอโซโพรพานอลต่อ	

ภาพประกอบ	หน้า
เอทานอลสายป้อน.....	117
ค.3 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเทอร์นารีบิวทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเทอร์นารีบิวทานอลต่อเอทานอลสายป้อน.....	118
ค.4 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้น-สกัดกับสัดส่วนป้อนกลับ (R_1) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน.....	119
ค.5 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้น-สกัดกับสัดส่วนป้อนกลับ (R_1) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน.....	120
ค.6 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน.....	121
ค.7 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้น-สกัดกับสัดส่วนป้อนกลับ (R_1) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน.....	122
ค.8 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	122
ค.9 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	123
ค.10 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโพรพานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	123
ค.11 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเทอร์นารีบิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	124
ค.12 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซโพรพานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	124
ค.13 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ 2-บิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	125
ค.14 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และบิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	125
ค.15 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซบิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	126

ภาพประกอบ	หน้า
ค.16 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเพนทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	126
ค.17 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮกซานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	127
ค.18 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮปทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	127
ค.19 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และออกทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	128
ค.20 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และโนนทานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	128
ค.21 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเดคานอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	129
ค.22 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอริลลิน ไกลคอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	129
ค.23 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอริลลิน ไกลคอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	130
ค.24 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	130
ค.25 สัปดาห์โดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลิ้น-สกัด แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	131
ง.1 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัปดาห์ป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัปดาห์ของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน.....	132
ง.2 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเอริลลิน ไอมีนเพื่อนำกลับมา ใช้ใหม่กับสัปดาห์ป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัปดาห์ของเอริลลิน ไอมีน ต่อเอทานอลสายป้อน.....	133
ง.3 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมา ใช้ใหม่กับสัปดาห์ป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัปดาห์ของโพรพิลีน ไอมีน ต่อเอทานอลสายป้อน.....	134
ง.4 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	

ภาพประกอบ	หน้า
กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน.....	135
ง.5 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเอซิลลิน ไอมีนเพื่อนำกลับมา ใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอซิลลิน ไอมีน ต่อเอทานอลสายป้อน.....	136
ง.6 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมา ใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของโพรพิลีน ไอมีน ต่อเอทานอลสายป้อน.....	137
ง.7 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	138
ง.8 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	138
ง.9 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอซิลลิน ไอมีนในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	139
ง.10 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอซิลลิน ไอมีนในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	139
ง.11 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโพรพิลีน ไอมีนในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	140
ง.12 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโพรพิลีน ไอมีนในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ.....	140
ง.13 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโพรพานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	141
ง.14 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเทอร์นารีบิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	141
ง.15 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซโพรพานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	142
ง.16 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ 2-บิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	142
ง.17 สัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และบิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	143

ง.18 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซบิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	143
ง.19 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเพนทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	144
ง.20 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮกซานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	144
ง.21 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮปทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	145
ง.22 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และออกทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	145
ง.23 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโนนทานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	146
ง.24 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเดคานอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	146
ง.25 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอซิลลิน ไกลคอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	147
ง.26 สกัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลิ้นเอทานอล แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ.....	147

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสารประกอบแอลกอฮอล์.....	12
3.1 แบบจำลองอุณหพลศาสตร์ในการคำนวณของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ.....	18
4.1 สภาวะในการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วยเอทิลีน ไกลคอล.....	36
5.1 ข้อมูลของสารประกอบอื่นๆ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับเมทานอล.....	75
5.2 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์.....	94
ก.1 แสดงข้อมูลการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบที่มีผู้รายงานเอาไว้.....	101
ก.2 แสดงข้อมูลการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีผู้รายงานเอาไว้.....	107



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์

T_j	อุณหภูมิของระบบ ณ ชั้นสมดุลที่ j
T_{j-1}	อุณหภูมิของระบบ ณ ชั้นสมดุลที่ $j-1$
T_{j+1}	อุณหภูมิของระบบ ณ ชั้นสมดุลที่ $j+1$
V_j	อัตราการไหลของไอ ณ ชั้นสมดุลที่ j
L_j	อัตราการไหลของของเหลว ณ ชั้นสมดุลที่ j
x_i	สัดส่วนโดยมวลของของเหลวของสารประกอบชนิดที่ i
x_{ij}	สัดส่วนโดยมวลของของเหลวของสารประกอบชนิดที่ i ณ ชั้นสมดุลที่ j
y_i	สัดส่วนโดยมวลของไอของสารประกอบชนิดที่ i
y_{ij}	สัดส่วนโดยมวลของไอของสารประกอบชนิดที่ i ณ ชั้นสมดุลที่ j
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์
R	ค่าคงที่ของแก๊ส
B_{ii}	Pure-species virial coefficients component i
V_i^L	Molar volume of liquid component i
a_{ij}	Long range attraction between i and j components
b_{ij}	Equation of state parameter for an i and j interaction
A_{ij}	Wilson constant
q_i	Relative surface area of a molecule
Q_k	Area parameter for functional group k
r_i	Relative number of segment per molecule
R_k	Volume parameter for functional group k
u_{ji}	Energy of interaction
G_{ij}	Molar or specific Gibbs energy between i and j components

สัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

อักษรกรีก

γ_i	สัมประสิทธิ์แอกติวิตี้ของสารชนิดที่ i
δ_{ij}	Virial coefficients between i and j components
θ_k	Area fraction
$\nu_k^{(i)}$	Number of functional group of kind k in molecule i
τ_{ij}	Interaction parameter



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

สารประกอบแอลกอฮอล์

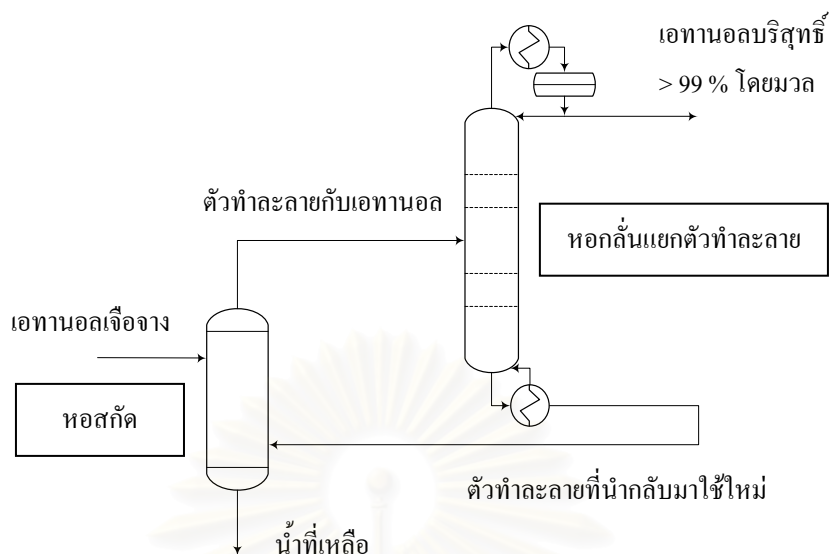
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอทานอล หรือ เอทิล แอลกอฮอล์ มีสูตรโมเลกุล คือ C_2H_5OH เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ $-OH$ หรือหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์และอีเทอร์ ใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิตสีทาบ้าน เครื่องสำอาง สเปรย์ น้ำหอม ยา และเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้เอทานอลใรรน้ำยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสะอาด สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง และสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่นับวันก็ยิ่งจะมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนหมดลงจากโลกนี้ในอีกประมาณ 40-50 ปีข้างหน้า เราจึงต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคต แหล่งพลังงานอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น พลังงานที่ได้จากแก๊สธรรมชาติ แก๊สปิโตรเลียมเหลว ถ่านหิน หินน้ำมัน พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานจากสารชีวมวล เป็นต้น งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะพลังงานที่ได้จาก เอทิล แอลกอฮอล์ หรือเอทานอลเท่านั้น และอาจมีคำถามต่อไปอีกว่าเอทานอลสามารถผลิตได้จากกระบวนการใดบ้าง เอทานอลสามารถผลิตได้จากหลายกระบวนการ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ๆ ได้แก่ กระบวนการผลิตเอทานอลจากการสังเคราะห์ และการผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมัก เอทานอลที่ได้จากกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการที่กล่าวมาจะมีน้ำปนออกมาจากกระบวนการเสมอ จึงต้องทำการแยกน้ำออกไปให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงตามต้องการ ตัวอย่างเช่น เอทานอลที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีความบริสุทธิ์ 95.6 เปอร์เซ็นต์โดยมวล สามารถใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป เช่น กระบวนการผลิตตัวทำละลาย เป็นต้น และเอทานอลใรรน้ำมีความบริสุทธิ์ 99.6-99.7 เปอร์เซ็นต์โดยมวล นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น แต่การกลั่นเอทานอลให้ได้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นมีข้อจำกัดของการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ หรือจุดอะซิโโทรอปกับน้ำจึงไม่สามารถกลั่นให้ได้ถึงความบริสุทธิ์ของเอทานอลเกิน 95.6 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งกระบวนการในการทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นเกินจุดอะซิโโทรอปเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายมากที่สุดในการผลิตเอทานอล [2] ตัวอย่างเช่น กระบวนการสกัดเอทานอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วยตัวทำละลาย กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่ กระบวนการใช้เมมเบรนในการแยกน้ำ กระบวนการสกัดเอทานอลด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการดูดซับน้ำด้วยสาร โมเลกุลคลาซีฟ เป็นต้น

งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาผลของการเติมสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ เนื่องจากผลการวิจัยของ สุธี อธิปัญญาพันธ์ (2549) [1] ทำให้ทราบว่าเมื่อใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ปฐมภูมิเป็นตัวทำละลายในกระบวนการสกัดเอทานอล ปริมาณของสารประกอบแอลกอฮอล์ปฐมภูมิที่ใช้ในกระบวนการสกัดเอทานอลน้อยกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น (พาราฟินส์ อะโรมาติกส์) ปริมาณน้ำที่ปะปนมากับสารประกอบแอลกอฮอล์ปฐมภูมิหลังจากกระบวนการสกัด และจากผลการวิจัยของ Gill I. D. และผู้ร่วมงาน (2001) พบว่า เอทิลลีน ไกลคอล [2] และกลีเซอรอล [3] ซึ่งเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล 2 และ 3 หมู่ ตามลำดับ สามารถทำให้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ หรือจุดอะซีโอโทรปหายไปได้ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล โดยเอทิลลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลจะดึงน้ำออกจากของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ ทำให้เอทานอลที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงกว่าความเข้มข้น ณ ของผสมจุดเดือดคงที่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการแยกเอทานอลจากน้ำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นต่อไป

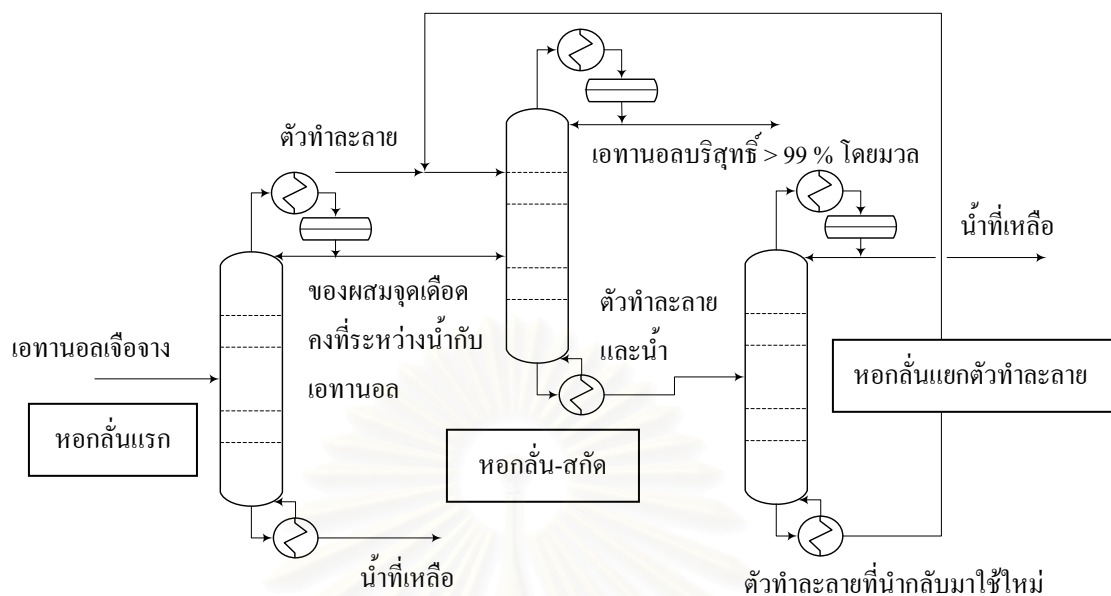
กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่กล่าวไว้ในงานวิจัยของ สุธี อธิปัญญาพันธ์ (2549) [1] คือ กระบวนการสกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย ได้แก่ พาราฟินส์ อะโรมาติกส์ แนฟทีน แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และไฮโดรคาร์บอนผสมอื่น ๆ มาละลายเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำออกไปเพื่อแยกเอทานอลออกจากน้ำ เนื่องจากเอทานอลสามารถละลายได้บางส่วนในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่น้ำไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้น ตัวทำละลายอินทรีย์จึงสามารถแยกเอทานอลออกจากน้ำได้ความบริสุทธิ์ตามที่ต้องการ (เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99 %โดยมวล) หลังจากนั้นจึงกลั่นแยกตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากเอทานอลเพื่อนำตัวทำละลายอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ กระบวนการสกัดเอทานอล ประกอบด้วย หอสกัดเอทานอล และหอกลั่นแยกตัวทำละลายอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในการสกัดเอทานอล ดังรูปที่ 1.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการสกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย

กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่กล่าวไว้ในงานวิจัยของ Gill I. D. และผู้ร่วมงาน (2001) คือ กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทิลลีน ไกลคอล [2] และกลีเซอรอล [3] เป็นตัวทำละลาย ซึ่งสามารถละลายได้ทั้งในเอทานอลและน้ำ มีจุดเดือดสูงกว่าเอทานอลและน้ำ และไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับเอทานอลและน้ำ ซึ่งตัวทำละลายจะดูดสารออกจากของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำไม่พอที่จะเกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับเอทานอล จึงสามารถกลั่นแยกเอทานอลจากน้ำได้ความบริสุทธิ์สูงกว่าความเข้มข้นที่ของผสมจุดเดือดคงที่ โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วยหอกลั่น 3 หอ หอกลั่นแรกเป็นหอกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่นเอทานอลเจือจาง หอกลั่นที่สองเป็นหอกลั่น-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอกลั่นแรก และสายป้อนของสารที่เติมลงไปช่วยในการกลั่น-สกัดหรือตัวทำละลาย ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99% โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่น-สกัด และได้น้ำที่เหลือในของผสมจุดเดือดคงที่ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น-สกัด ส่วนหอกลั่นที่สามเป็นหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกลั่น-สกัด ซึ่งจะได้น้ำที่เหลือในของผสมจุดเดือดคงที่เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และได้ตัวทำละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ เพื่อใช้ในการแยกเอทานอลออกจากน้ำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) การศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ โดยการสร้างสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบขึ้นในโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต ทดสอบแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ เพื่อเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ และสามารถคำนวณจุดที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สำหรับสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบที่ศึกษาอยู่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลที่มีผู้ศึกษาและรวบรวมเอาไว้ [10] [13] [17] [18] โดยตัวแปรที่สนใจจะศึกษา คือ สัดส่วนโดยมวลของสารองค์ประกอบในสมมูลไอ-ของเหลว ซึ่งแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในการทดสอบ สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังต่อไปนี้

- แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ไม่สามารถคำนวณการแยกชั้นของของเหลว ได้แก่

Soave Redlich Kwong (SRK), Peng Robinson (PR), Universal Functional Activity Coefficient Vapor-Liquid Equilibrium (UNIFAC VLE), Non-Random Two-Liquid Vapor-Liquid Equilibrium (NRTL VLE), และ Universal Quasi-Chemical Vapor-Liquid Equilibrium (UNIQUAC VLE)

- แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่สามารถคำนวณการแยกชั้นของของเหลว ได้แก่

Universal Functional Activity Coefficient Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium (UNIFAC VLLE), Non-Random Two-Liquid Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium (NRTL VLLE) และ Universal Quasi-Chemical Vapor-Liquid Equilibrium (UNIQUAC VLLE) งานวิจัยนี้จะเลือกเฉพาะสมการทางอุณหพลศาสตร์ที่เหมาะสมกับสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบมาไปใช้ในการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อไป

2) การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลและน้ำ โดยใช้กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วยเอทิลีน ไกลคอลเป็นกรณีศึกษา แล้วเติมสารประกอบแอลกอฮอล์ลงไปแทนเอทิลีน ไกลคอล เพื่อศึกษาว่าสารประกอบแอลกอฮอล์จะสามารถใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลหรือไม่ โดยพิจารณาสัดส่วนโดยมวลของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด เมื่อมีการเติมสารประกอบแอลกอฮอล์เข้าไปเรื่อย ๆ เพื่อทำให้ของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำหายไป สารประกอบแอลกอฮอล์ชนิดใดจะสามารถใช้ในการกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล (ความบริสุทธิ์สูงตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน สัดส่วนการป้อนกลับ

สารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ในโมเลกุล ได้แก่ เมทานอล ไอโซโพรพานอล เทอร์นารีบิวทานอล โพรพานอล 2-บิวทานอล ไอโซบิวทานอล บิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล และเดกคานอล สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ในโมเลกุล คือ เอทิลีน ไกลคอล และสารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ในโมเลกุล คือ กลีเซอรอล

3) การออกแบบกระบวนการกลั่นที่มีการเติมสารองค์ประกอบที่สามซึ่งเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ เพื่อช่วยให้สามารถกลั่นเอทานอลออกจากน้ำได้ความบริสุทธิ์สูงขึ้น การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์เมื่อผสมเข้ากับเอทานอลสายป้อนว่าสารประกอบแอลกอฮอล์ชนิดใดจะสามารถใช้ในการกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล (ความบริสุทธิ์สูงตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน สัดส่วนการป้อนกลับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ
- 2) สามารถกลั่นแยกเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยอาศัยผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การผลิตเอทานอล

2.1 กระบวนการผลิตเอทานอล

เอทานอลสามารถผลิตได้จากหลาย ๆ กระบวนการ โดยจะสามารถแบ่งกระบวนการผลิตเอทานอลออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์เอทานอล และกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอล โดยกระบวนการสังเคราะห์เอทานอลสามารถทำได้จากหลายกระบวนการและสารตั้งต้นที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์เอทานอลจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นกระบวนการผลิตเอทานอลจากปฏิกิริยาเคมีโดยใช้สารเคมีชนิดอื่นเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตัวอย่างเช่น การผลิตเอทานอลจากเอธิลีนโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การผลิตเอทานอลจากเอธิลีนโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการผลิตเอทานอลจากคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน เป็นต้น ส่วนกระบวนการสังเคราะห์เอทานอลจากกระบวนการหมัก โดยกระบวนการหมักเป็นวิธีการผลิตเอทานอลที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดในปัจจุบัน เพราะสามารถใช้ผลผลิต และของเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมัก เช่น ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งเป็นการส่งเสริมอาชีพเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้เอทานอลจากกระบวนการหมักจึงเป็นกระบวนการที่น่าสนใจกว่าเอทานอลที่ได้จากการสังเคราะห์จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลโดยกระบวนการกลั่นแบบดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปไม่สามารถทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์เกินร้อยละ 95.6 โดยมวล เนื่องจากเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ จึงมีกระบวนการอื่นในการทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นเกินร้อยละ 95.6 โดยมวล ได้แก่ กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ กระบวนการกลั่น-สกัดด้วยตัวทำละลาย กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามเพื่อทำให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชนิดใหม่ กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับ กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2 กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอล

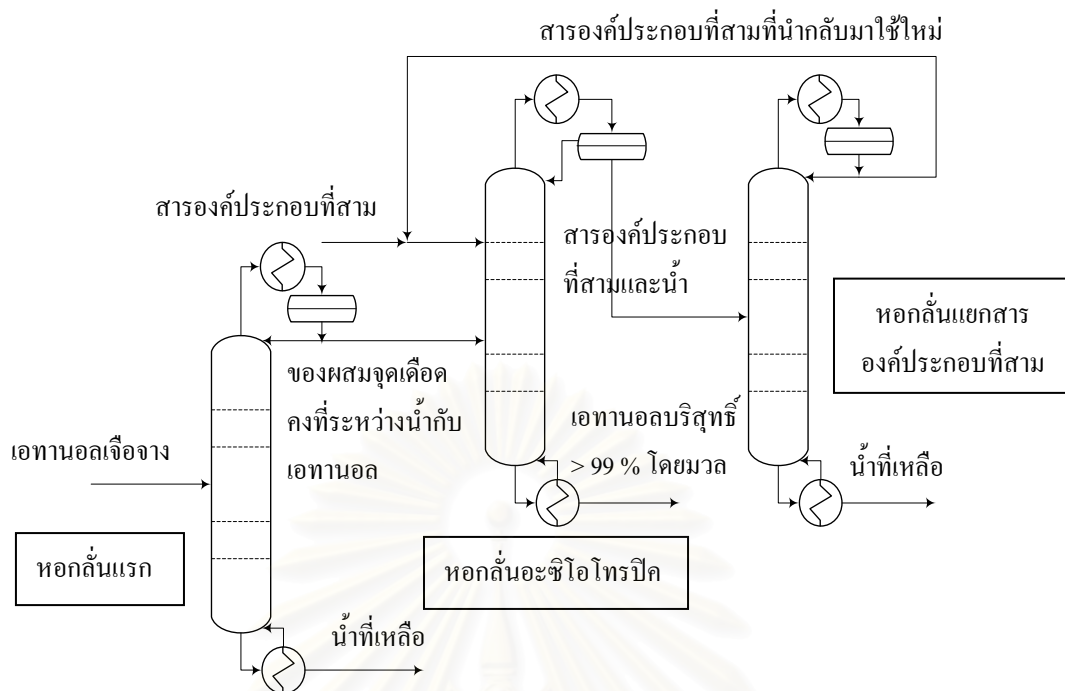
กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลสามารถทำได้หลายกระบวนการ โดยจะสามารถแบ่งกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่ใช้ในอุตสาหกรรม และกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่อยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่ใช้ในอุตสาหกรรม

กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่ใช้ในอุตสาหกรรมในการผลิตเอทานอลความบริสุทธิ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ กระบวนการกลั่น-สกัดด้วยตัวทำละลาย กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่ กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ และกระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่

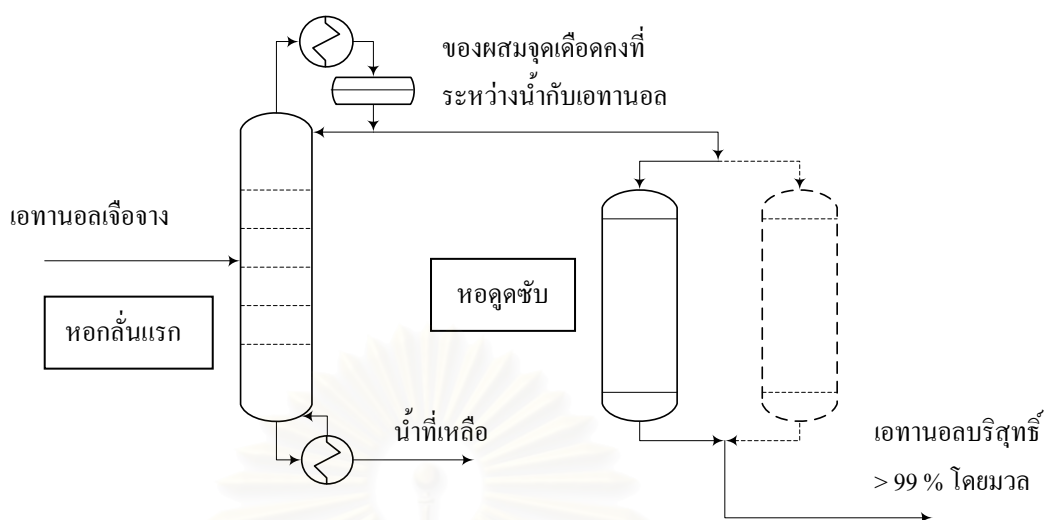
กระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สามเพื่อให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่เป็นการกลั่นที่มีการเติมสารที่ทำให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่กับเอทานอลและน้ำ เพื่อช่วยในการแยกเอทานอลออกจากน้ำ โดยของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่ที่เกิดขึ้นจะเป็นของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบระหว่างเอทานอล น้ำ และสารเติมลงไป เช่น เบนซีน ไซโคลเฮกเซน เพนเทน และไดเอทิล อีเทอร์ เป็นต้น โดยของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่เกิดขึ้นจะมีจุดเดือดต่ำกว่าของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ เมื่อกลั่นต่อไปจะออกทางยอดหอกลั่น ส่วนเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการจะออกทางส่วนล่างของหอกลั่น กระบวนการนี้ประกอบด้วยหอกลั่น 3 หอ หอกลั่นแรกเป็นหอกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่นเอทานอลเจือจาง หอกลั่นที่สองเป็นหอกลั่นอะซิโโทริก ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอกลั่นแรก และสายป้อนของสารองค์ประกอบที่สาม ซึ่งบางส่วนมาจากหอแยกสารองค์ประกอบที่สามเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมีผลผลิตก้นหอกลั่นอะซิโโทริก และได้ของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำสุดเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่นอะซิโโทริก ส่วนหอกลั่นที่สามเป็นหอกลั่นแยกสารองค์ประกอบที่สามเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกลั่นอะซิโโทริก ได้สารองค์ประกอบที่สามที่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่น และได้น้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่นแยกสารองค์ประกอบที่สามเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่ที่ระหว่างเอทานอล น้ำ และสารเติมลงไปที่ออกทางยอดหอกลั่นอะซิโโทริก เมื่อความแน่นกลายเป็นของเหลวจะเกิดการแบ่งเฟสเป็นของเหลว 2 เฟส ดังรูปที่ 2.1 [17]



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการกลั่นแบบเติมสารองค์ประกอบที่สาม
ให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่

2.2.1.2 กระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับ

กระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับเป็นการใช้สารอื่นมาดูดซับน้ำออกจากเอทานอล โดยสารดูดซับมีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดีกว่าเอทานอล ซึ่งขั้นตอนแรกจะเริ่มจากการกลั่นเอทานอลเจือจางให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ ขั้นตอนต่อไปจะใช้ตัวดูดซับเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอลให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ของตามต้องการ เช่น ซีโอไลต์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นจะเลือกดูดน้ำไว้ในสัดส่วนปริมาณมากกว่าเอทานอล ทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น เมื่อตัวดูดซับอิ่มตัวแล้วจะต้องมีการเปลี่ยนคอลัมน์แล้วนำตัวดูดซับไปทำการปรับสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่กระบวนการนี้มีข้อเสียในการใช้พลังงานจำนวนมากในการปรับสภาพตัวดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังรูปที่ 2.2 [9] นอกจากกระบวนการกลั่นแบบเติมสารตัวที่สามเพื่อให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ชุดใหม่ และกระบวนการแยกน้ำด้วยการดูดซับ ยังมีกระบวนการกลั่น-สกัดด้วยตัวทำละลาย และกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่ใช้อุตสาหกรรม โดยได้กล่าวในรายละเอียดไปแล้วในบทที่ 1 จึงไม่กล่าวถึงในบทนี้



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการแยกน้ำด้วยการควบแน่น

2.2.2 กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่อยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา

กระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์เอทานอลที่อยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนาในการผลิตเอทานอล ความบริสุทธิ์ ได้แก่ กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น ดังต่อไปนี้

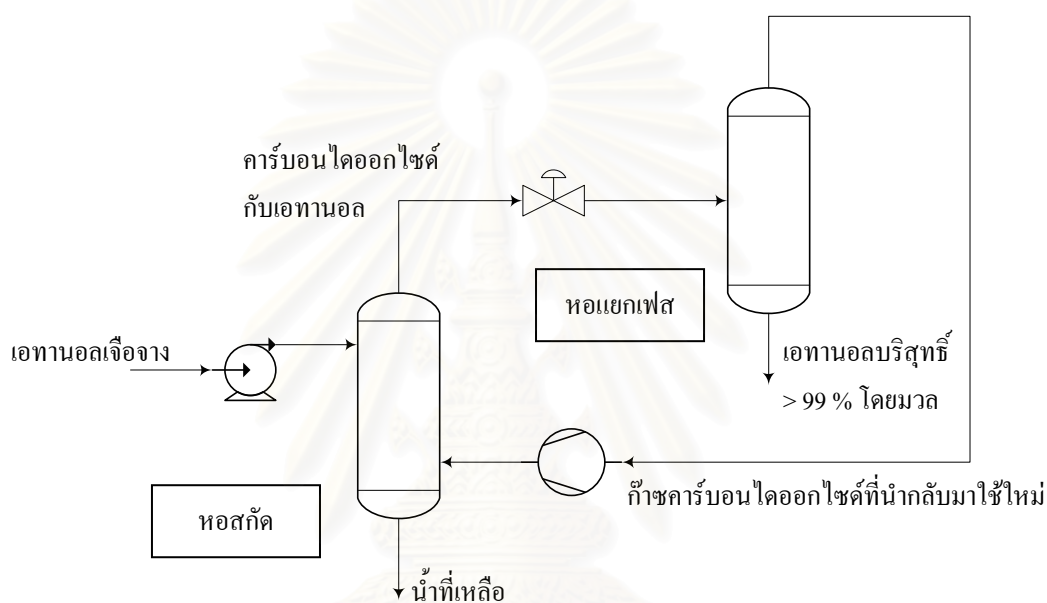
2.2.2.1 กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการแยกเอทานอลออกจากน้ำโดยวิธีการ สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สภาวะอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส และความดัน 80-160 บรรยากาศ ซึ่งสภาวะดังกล่าวพบว่าไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ในระบบ จึงสามารถแยกเอทานอลออกจากน้ำให้ได้ความบริสุทธิ์สูงกว่า 99 %โดยมวล จากนั้นจึงแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเอทานอลด้วยการลดความดันของลงเหลือ 1 บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนสถานะเป็น ก๊าซแยกออกจากเอทานอล เพื่อนำคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ในหอสกัด ดังนั้น หลังจากแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ดังรูปที่ 2.3 [19]

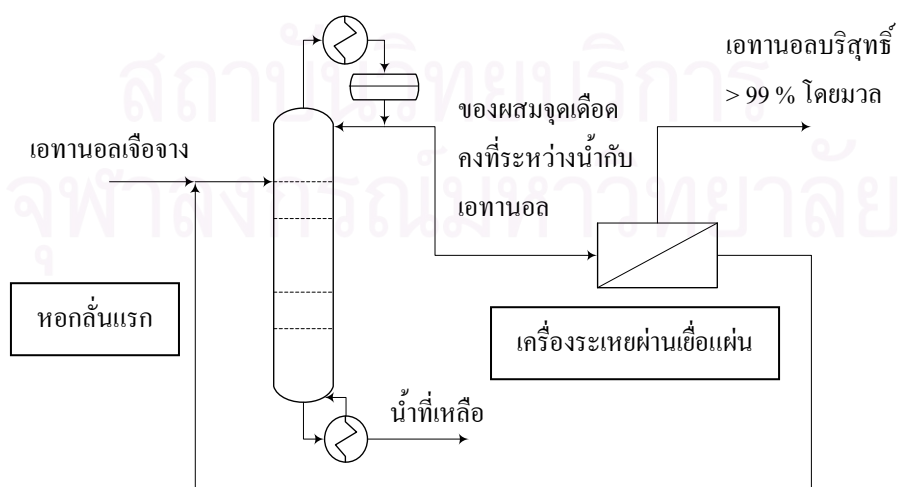
2.2.2.2 กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น

กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่นเป็นกระบวนการแยกสารละลายเอทานอลผ่านเยื่อแผ่นแบบทึบ ซึ่งเหมาะสำหรับการแยกสารละลายผสมที่มีสารองค์ประกอบหนึ่งอยู่ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าอีกสารหนึ่ง โดยเฉพาะสารละลายผสมจุดเดือดคงที่ ตัวอย่างเช่น สารละลายของเอทานอลกับน้ำ โดยกระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่นหอกลั่นเอทานอลเจือจางให้ได้ของ

ผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ แล้วจึงนำของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำไประเหยผ่านเยื่อแผ่นแบบทึบ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ซึ่งกระบวนการนี้มีข้อเปรียบทั้งในแง่เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คือ ประหยัดพลังงาน ไม่ต้องใช้สารเคมี จึงไม่มีปัญหาสารเคมีปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นซึ่งเลือกให้น้ำผ่าน (Hydrophilic) และกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นซึ่งเลือกให้เอทานอลผ่าน (Hydrophobic) ดังรูปที่ 2.4 [16]



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น

สารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท มีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันไป ได้แก่ จุดเดือด ความสามารถในการละลายน้ำและตัวทำละลายอื่น และการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำ งานวิจัยนี้จึงนำคุณสมบัติของสารประกอบแอลกอฮอล์เหล่านี้มาใช้ในการพิจารณาเพื่อจำลองและออกแบบกระบวนการกลั่นเอทานอลต่อไป ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบแอลกอฮอล์

สาร	Mw	จุดเดือด (°C)	การละลายในน้ำ (% โดยมวล ที่ 20 °C)	การละลายในตัวทำละลายอื่น	ของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำ (สัดส่วนโดยมวล / °C)
เมทานอล	32.04	64.7	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เอทานอล อีเทอร์ อะซิโตน โทลูอิน	-
ไอโซโพรพานอล	60.09	82.3	เป็นของผสมเนื้อเดียว	ตัวทำละลายอินทรีย์	0.873 / 80.6 [17]
เทอร์นารีบิวทานอล	74.12	83.0	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เอทานอล และอีเทอร์	0.860 / 79.9 [17]
โพรพานอล	60.09	97.1	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เอทานอล โพรพิลีนไกลคอล	0.717 / 87.7 [17]
2-บิวทานอล	74.12	99.5	22.5	เบนซีน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซิโตน	0.716 / 87.4 [18]
ไอโซบิวทานอล	74.12	108.0	8.8	เอทานอล และอีเทอร์	0.700 / 89.7 [13]
บิวทานอล	74.12	118.0	7.8	แอลกอฮอล์ อีเทอร์ ตัวทำละลายอินทรีย์	0.555 / 93.0 [17]
เพนทานอล	88.15	137.9	0.75	เอทานอล	0.437 / 95.9 [17]
เฮกซานอล	102.17	156.4	0.58	เอทานอล อีเทอร์ อะซิโตน	0.255 / 94.7 [17]
เฮปทานอล	116.20	175.8	0.30	เอทานอล อีเทอร์	0.165 / 98.8 [17]
ออกทานอล	130.23	195.0	0.059	เอทานอล ตัวทำละลายอินทรีย์	0.117 / 99.6 [17]
โนนทานอล	144.26	215.0	0.034	เอทานอล อีเทอร์	0.111 / 99.9 [17]
เดกทานอล	158.28	231.0	น้อยกว่า 0.01	เอทานอล ตัวทำละลายอินทรีย์	0.107 / 100.0 [17]
เอทิลีน ไกลคอล	62.70	198.0	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เอทานอล เมทานอล	-
กลีเซอรอล	92.09	290.0	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เอทานอล	-

บทที่ 3

ทฤษฎีการกลั่น

3.1 สมดุลไอ-ของเหลว

กระบวนการกลั่นเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบที่เกิดสมดุลระหว่างเฟสไอกับเฟสของเหลว โดยจะทำการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจนเกิดการระเหยกลายเป็นไอขึ้นบางส่วน ทำให้ภายในระบบมีทั้งไอและของเหลว เกิดการถ่ายเทมวลกันจนระบบเข้าสู่สมดุล ปริมาณของสารในสถานะไอของเหลวไม่เปลี่ยนแปลงระบบจะเข้าสู่สมดุล ในการศึกษาสมดุลไอ-ของเหลวจะใช้ค่าคงที่สมดุลเป็นตัวบอกว่าสารนั้น ๆ มีสมดุลไอ-ของเหลวเป็นอย่างไร ดังสมการ

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad \text{-----}(3-1)$$

เมื่อ y_i และ x_i คือ เศษส่วนโมลของสารในสถานะไอ และของเหลวตามลำดับ

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับสมดุลไอ-ของเหลวจะใช้กราฟสมดุลไอ-ของเหลวในการพิจารณารูปแบบของสมดุลไอ-ของเหลว โดยสมดุลไอ-ของเหลวของสารต่างชนิดกันจะมีลักษณะของกราฟสมดุลไอ-ของเหลวที่แตกต่างกัน และการศึกษาสมดุลไอ-ของเหลวของจะทำให้เราทราบว่าระบบที่เราศึกษาอยู่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่หรือไม่

3.2 แบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลว และสมดุลไอ-ของเหลว-ของเหลว

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเมื่อระบบอยู่ในสถานะสมดุลไอ-ของเหลวสามารถนำสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารมาใช้ในการคำนวณ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานะสมดุลไอ-ของเหลวให้ตรงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละแบบจำลองมีทั้งข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน ในการเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงต้องศึกษาถึงข้อดี-ข้อเสียของแบบจำลอง ควรนำผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง เพื่อให้ทราบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อยู่จะให้ผลใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่

สำหรับระบบที่อยู่ในสถานะสมดุล ไอ-ของเหลวหรือสมดุลระหว่างเฟสตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการบอกว่าระบบเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟส คือ ฟังก์ชันดี หรือ f_i สำหรับระบบที่อยู่ในสถานะสมดุลไอ-ของเหลวจะมีสมการเป็นดังนี้

$$\hat{f}_{iV} = \hat{f}_{iL} \quad \text{-----(3-2)}$$

$$\gamma_{iV} y_i = \gamma_{iL} x_i \quad \text{-----(3-3)}$$

และสำหรับระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลของเหลว-ของเหลวจะมีสมการเป็นดังนี้

$$\hat{f}_{iL}^{(1)} = \hat{f}_{iL}^{(2)} \quad \text{-----(3-4)}$$

$$\gamma_{iL}^{(1)} x_i^{(1)} = \gamma_{iL}^{(2)} x_i^{(2)} \quad \text{-----(3-5)}$$

โดย γ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์กิจกรรมของเหลว สามารถคำนวณได้จากสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีผู้ทำการพัฒนาสมการขึ้นมาอย่างมากมาย ซึ่งจะแตกต่างกันอยู่บ้างขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันในแต่ละระบบ

แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาสมดุลไอ-ของเหลว หรือสมดุลระหว่างเฟส สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1) แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์สำหรับของผสมอุดมคติ เป็นสมการสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารที่พัฒนาขึ้นจากคุณสมบัติในอุดมคติของสาร โดยอาจมีความเบี่ยงเบนไปจากอุดมคติบ้าง ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของทั้งเฟสไอ และของเหลว ตัวอย่างแบบจำลองเช่น Soave-Redlich-Kwong และ Peng-Robinson เป็นต้น

2) แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์สำหรับของผสมที่เบี่ยงเบนไปจากอุดมคติ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สัมประสิทธิ์กิจกรรมของเหลวในการศึกษาพฤติกรรมของสารในเฟสของเหลว ซึ่งพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสาร ตัวอย่างแบบจำลองเช่น Non-Random Two-Liquid, Universal Quasi-Chemical, Wilson, และ Universal Functional Activity Coefficient เป็นต้น

3.3 ของผสมจุดเดือดคงที่

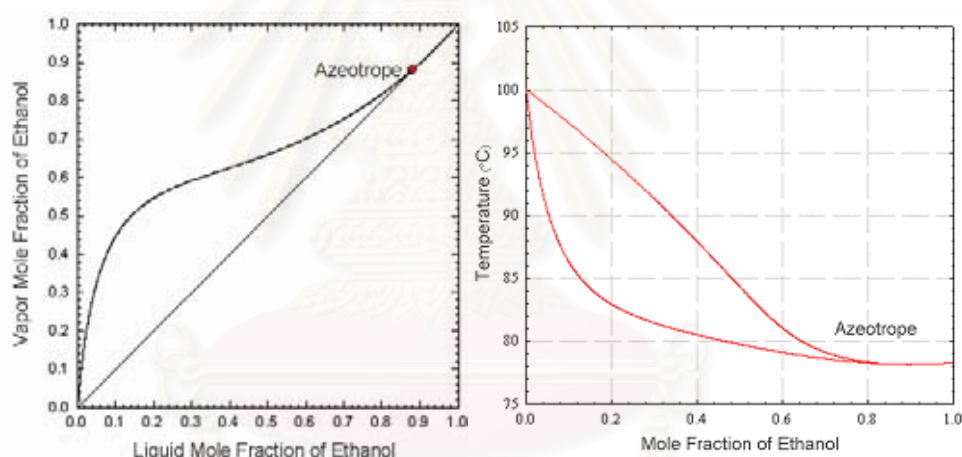
ของผสมจุดเดือดคงที่ หรืออะซีโอโทรป คือ สารละลายผสมใด ๆ ที่มีสารองค์ประกอบตั้งแต่ 2 องค์ประกอบขึ้นไป ซึ่งเมื่ออยู่ในสมดุลไอ-ของเหลวสารองค์ประกอบแต่ละสารจะมีสัดส่วนของเฟสไอเท่ากับสัดส่วนของเฟสของเหลว ณ ความดันนั้น ๆ มีจุดเดือดคงที่ โดยทำให้ดูเหมือนว่าของผสมที่เกิดขึ้นเป็นสารบริสุทธิ์สารใหม่ ซึ่งมีจุดเดือดคงที่ จึงเรียกของผสมที่เกิดขึ้นนี้ว่า ของผสมจุดเดือดคงที่ และเรียกจุดที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ว่า จุดอะซีโอโทรป ซึ่งจุดนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในของผสมจุดเดือดคงที่นั้น เพราะสารแต่ละชนิดมีแรงระหว่างโมเลกุลกับสารชนิดอื่นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสมบัติที่เบี่ยงเบนไปจากของผสมในอุดมคติ ในการบ่งชี้จุดอะซีโอโทรปสามารถใช้กราฟสมดุลไอ-ของเหลวในการแสดง ดังรูปที่

3.1 โดยของผสมจุดเดือดคงที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามความเป็นเนื้อเดียวกันของของผสม ได้แก่

1) ของผสมจุดเดือดคงที่เป็นเนื้อเดียว หรือไฮโมอะซิโโทรป โดยสารองค์ประกอบทุกสารในเฟสของเหลวผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

2) ของผสมจุดเดือดคงที่ไม่เป็นเนื้อเดียว หรือเฮเทอร์โรอะซิโโทรป โดยสารองค์ประกอบในเฟสของเหลวไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งลักษณะของผสมจุดเดือดคงที่ที่แตกต่างกันนี้จะทำให้กระบวนการแยกสารที่อยู่ในของผสมจุดเดือดคงที่เป็นเนื้อเดียวและของผสมจุดเดือดคงที่ไม่เป็นเนื้อเดียวออกจากกันจะต้องใช้กระบวนการการแยกที่แตกต่างกันตามไปด้วย

สำหรับสมมูลไอ-ของเหลวตั้งแต่ 2 องค์ประกอบขึ้นไป เมื่อเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ค่าคงที่สมมูลไอ-ของเหลวของสารทุกองค์ประกอบจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง หรือ $K_i = 1$ เพราะสัดส่วนในเฟสไอเท่ากับเฟสของเหลว



รูปที่ 3.1 แสดงกราฟสมมูลไอ-ของเหลวสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลและน้ำ [17]

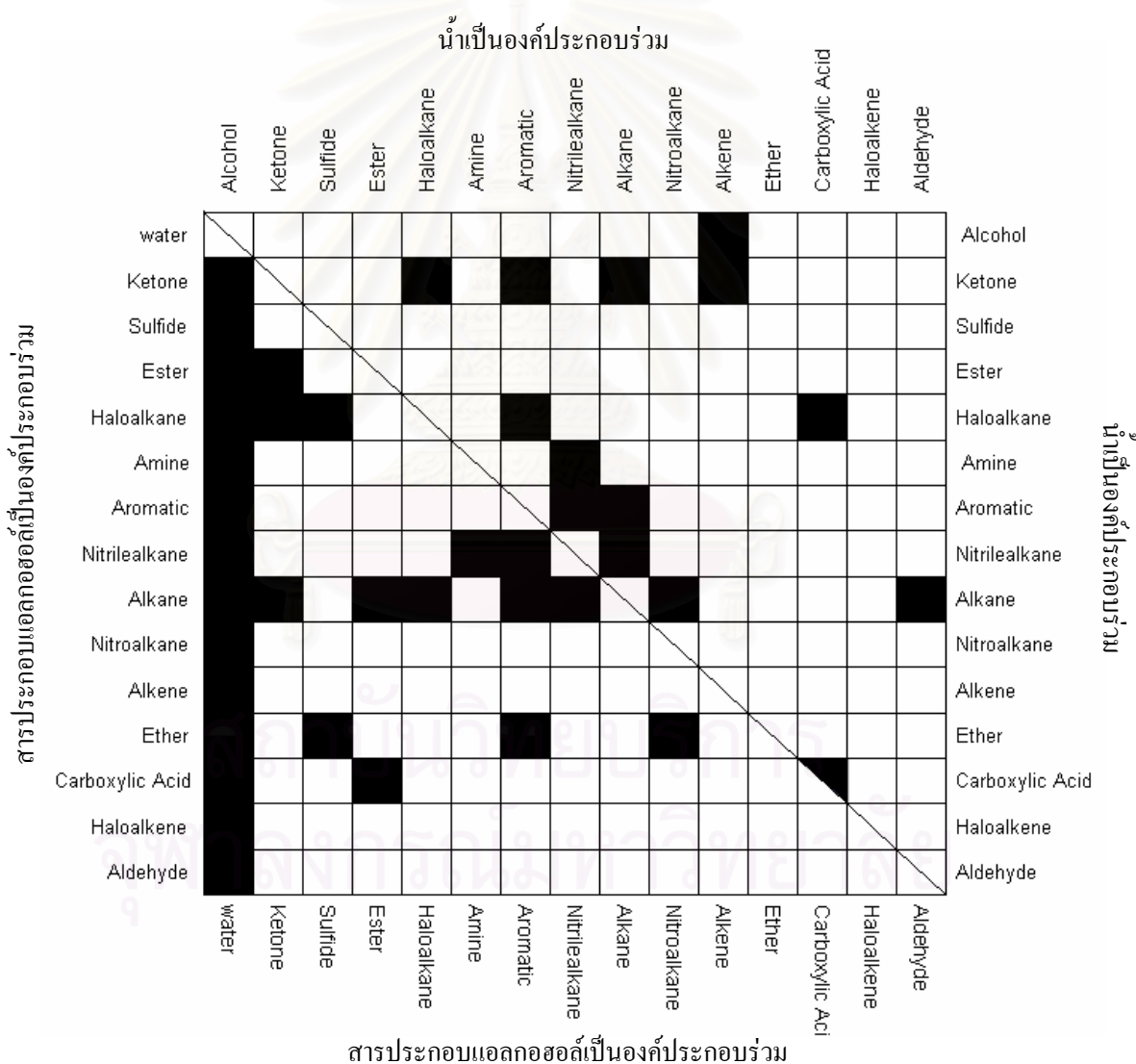
3.4 ของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ

การบ่งชี้การเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบสามารถใช้นิยามสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่โดยทั่วไป คือ สารทุกองค์ประกอบมีสัดส่วนในไอเท่ากับสัดส่วนในของเหลว ณ ความดันที่กำหนด ดังสมการ (3-6) โดยสัดส่วนที่เท่ากันของสารทุกองค์ประกอบในไอและของเหลวของคือ สัดส่วนของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ และอุณหภูมินั้น คือ อุณหภูมิที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งการคำนวณหาสัดส่วนของสารทั้งสามองค์ประกอบในไอและของเหลว และอุณหภูมิของสมมูลไอ-ของเหลวจากแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ ได้แก่

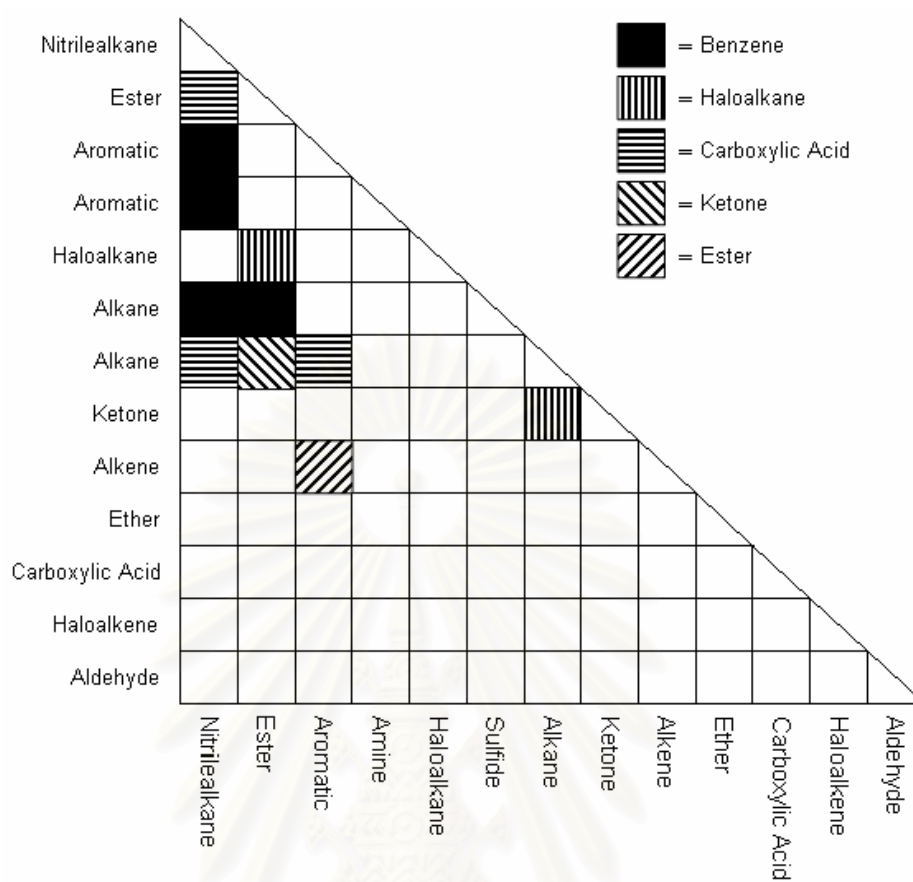
Soave Redlich Kwong (SRK), Peng Robinson (PR), Universal Functional Activity Coefficient (UNIFAC), Non-Random Two-Liquid (NRTL), และ Universal Quasi-Chemical (UNIQUAC) เป็นต้น

$$\frac{y_i}{x_i} = 1 \quad \text{-----(3-6)}$$

สมคูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีรวบรวมข้อมูลไว้แล้ว [10] [13] [17] [18] ทั้งหมด 170 ระบบ เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจะสามารถจัดกลุ่มสารองค์ประกอบตามประเภทของสารในสมคูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงกลุ่มของสารประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีสารประกอบแอลกอฮอล์ และน้ำเป็นองค์ประกอบร่วม



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงกลุ่มของสารประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ไม่มีสารประกอบแอลกอฮอล์ และน้ำเป็นองค์ประกอบร่วม

สมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีสารประกอบแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบจากรูปสามเหลี่ยมล่าง แกนตั้งและแกนนอน คือ กลุ่มของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบร่วมกับสารประกอบแอลกอฮอล์ สมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจากรูปสามเหลี่ยมบน แกนตั้งและแกนนอน คือ กลุ่มของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบร่วมกับน้ำ ดังรูปที่ 3.2

สมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ไม่มีทั้งสารประกอบแอลกอฮอล์และน้ำเป็นองค์ประกอบได้จากรูปสามเหลี่ยม โดยแกนตั้งและแกนนอน คือ กลุ่มของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบร่วมกับสารองค์ประกอบที่สุดท้ายซึ่งระเหยไว้มุมบนขวาของรูปสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองอุณหพลศาสตร์ในการคำนวณของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ

แบบจำลอง	สมการที่ใช้ในการคำนวณ
Soave Redlich Kwong (SRK)	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2 + bv}, \quad a = 0.42748R^2T_C^2[1 + f_\omega(1 - T_r^{0.5})]^2 / P_C,$ $f_\omega = 0.48 + 1.574\omega - 0.176\omega^2, \quad b = 0.08664RT_C / P_C$
Peng Robinson (PR)	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2 + 2bv - b^2}, \quad a = 0.45724R^2T_C^2[1 + f_\omega(1 - T_r^{0.5})]^2 / P_C,$ $f_\omega = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2, \quad b = 0.07780RT_C / P_C$
Universal Functional Activity Coefficient (UNIFAC)	$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{J_i}{L_i} + \ln \frac{J_i}{L_i} \right)$ $\ln \gamma_i^R = q_i \left[1 - \sum_k \left(\theta_k \frac{\beta_{ik}}{s_k} - e_{ki} \ln \frac{\beta_{ik}}{s_k} \right) \right]$ $J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j}, \quad L_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j}, \quad s_i = \sum_l \theta_l \tau_{li}, \quad \ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R,$ $r_i = \sum_k v_k^{(i)} R_k, \quad q_i = \sum_k v_k^{(i)} Q_k, \quad e_{ki} = \frac{v_k^{(i)} Q_k}{q_i}, \quad \beta_{ik} = \sum_m e_{mi} \tau_{mk},$ $\theta_k = \frac{\sum_i x_i q_i e_{ki}}{\sum_j x_j q_j}, \quad s_k = \sum_m \theta_{mi} \tau_{mk}, \quad \tau_{mk} = \exp \frac{-a_{mk}}{T}$
Non-Random Two-Liquid (NRTL)	$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left[\tau_{21} \left(\frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right)^2 + \frac{G_{12} \tau_{12}}{(x_2 + x_1 G_{12})^2} \right],$ $\ln \gamma_2 = x_1^2 \left[\tau_{12} \left(\frac{G_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right)^2 + \frac{G_{21} \tau_{21}}{(x_1 + x_2 G_{21})^2} \right],$ $G_{12} = \exp(-\alpha \tau_{12}), \quad G_{21} = \exp(-\alpha \tau_{21}), \quad \tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT}, \quad \tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT}$
Universal Quasi-Chemical (UNIQUAC)	$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{J_i}{L_i} + \ln \frac{J_i}{L_i} \right),$ $\ln \gamma_i^R = q_i \left(1 - \ln s_i - \sum_j \theta_j \frac{\tau_{ij}}{s_j} \right), \quad \ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R, \quad J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j},$ $L_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j}, \quad s_i = \sum_l \theta_l \tau_{li}, \quad \tau_{ji} = \exp \frac{-(u_{ji} - u_{ii})}{RT}$

3.5 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น

หอกลั่นเป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการแยกสารผสมเนื้อเดียวออกจากกันให้ได้สารที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ เช่น การกลั่นแยกเอทานอลออกจากน้ำ เป็นต้น ปัจจัยที่มีความสำคัญในการคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นโดยทั่วไป ได้แก่

- อัตราการไหล สัดส่วนของสาร อุณหภูมิ ความดัน และเฟสของสายป้อน
- ความบริสุทธิ์ของสารที่ต้องการแยกออกจากกัน
- สัดส่วนสารป้อนกลับน้อยที่สุด และสัดส่วนสารป้อนกลับจริงที่ใช้
- จำนวนขั้นตอนสมดุลทางทฤษฎีน้อยที่สุด และจำนวนขั้นตอนสมดุลจริงที่ใช้
- ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลที่ใช้ป้อนสารผสม
- ชนิดของเครื่องควบแน่น และหม้อต้ม

การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบโดยใช้วิธีของ Fenske-Underwood-Gilliland : FUG เป็นการคำนวณเพื่อหาจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลั่น ตำแหน่งของสายป้อน และสัดส่วนการป้อนกลับ ซึ่งขั้นตอนแรกต้องกำหนดสารเบา (Light key : i) และสารหนัก (Heavy key : j) ที่จะต้องถูกแยกออกจากกันก่อน คำนวณจำนวนขั้นตอนสมดุลทางทฤษฎีน้อยที่สุด (Minimum Theoretical Stages : N_{\min}) ด้วยสมการของ Fenske ดังสมการ 3-7

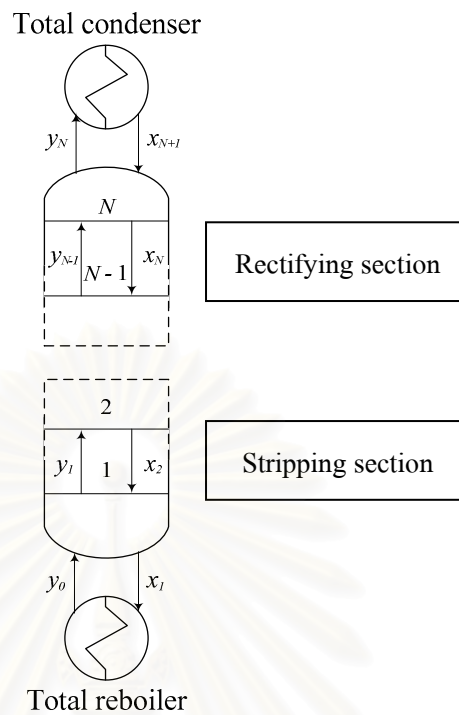
$$N_{\min} = \frac{\log\{(x_{i,N+1})/x_{i,1}\}[x_{j,1}/(x_{j,N+1})\}}{\log \alpha_{i,j}} \quad \text{-----}(3-7)$$

คำนวณค่าสัดส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum Reflux Ratio : R_{\min}) ด้วยสมการของ Underwood ดังนี้

$$1-q = \sum_i \frac{\alpha_i x_{Fi}}{\alpha_i - \theta} \quad \text{-----}(3-8)$$

$$q = \frac{L_F}{F} = 1 - \frac{V_F}{F} \quad \text{-----}(3-9)$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_i \frac{\alpha_i x_{Di}}{\alpha_i - \theta} \quad \text{-----}(3-10)$$



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนสมมูลภายในหอกลั่น ที่สภาวะป้อนกลับทั้งหมด

คำนวณค่าจำนวนขั้นตอนสมมูลจริง (Actual Theoretical Stages : N) ด้วยสมการของ Gilliland โดยการกำหนดค่าสัดส่วนการป้อนกลับที่ใช้จริง (Actual Reflux : R) ต่อสัดส่วนการป้อนกลับที่น้อยที่สุด (Minimum Reflux Ratio : R_{\min}) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเป็น 1.3-1.5 เท่าของ R_{\min} ดังสมการ 3-11 และ 3-12

$$X = \frac{R - R_{\min}}{R + 1} \quad \text{-----(3-11)}$$

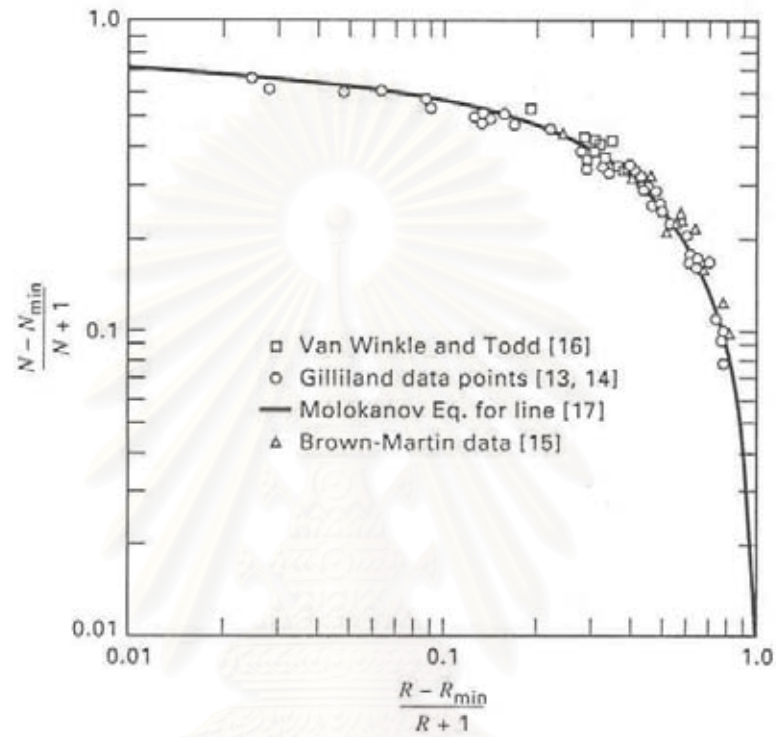
$$Y = \frac{N - N_{\min}}{N + 1} = 1 - \exp\left[\left(\frac{1 + 54.4X}{11 + 117.2X}\right)\left(\frac{X - 1}{X^{0.5}}\right)\right] \quad \text{-----(3-12)}$$

หลังจากนั้นจึงคำนวณตำแหน่งของสายป้อนด้วยสมการของ Kirkbride ดังสมการ (3-13) และคำนวณพลังงานที่ใช้ในหอกลั่นด้วยสมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Balance Equation) แล้วจึงนำค่าที่ได้จากการคำนวณการกลั่นแยกเบื้องต้นไปใช้ในการคำนวณการกลั่นแยกด้วยวิธีการแบบซับซ้อน เพื่อหาอัตราการไหล และสัดส่วนของแต่ละสารที่ออกมาทางยอดและก้นของหอกลั่น

$$\frac{N_R}{N_S} = \left[\left(\frac{z_{j,F}}{z_{i,F}} \right) \left(\frac{x_{i,B}}{x_{j,D}} \right)^2 \left(\frac{B}{D} \right) \right]^{0.206} \quad \text{-----(3-13)}$$

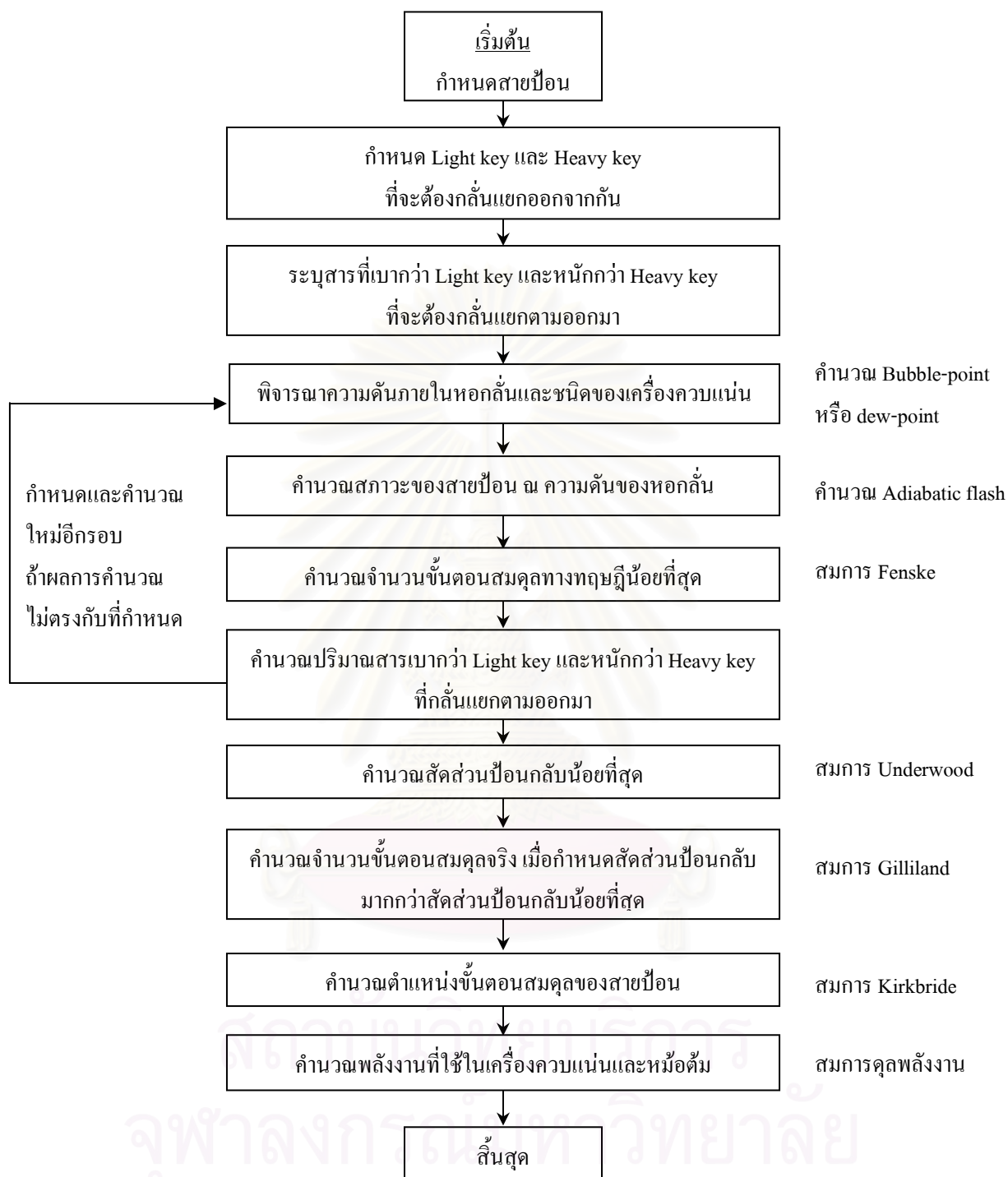
ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของสายป้อน (N_F) จะไม่รวมอยู่ในขั้นตอนสมดุลของ Rectifying section (N_R) และ Stripping section (N_S) ดังนั้น

$$N = N_R + 1 + N_S \quad \text{และ} \quad N_F = N - N_S \quad \text{-----}(3-14)$$



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของสมการ (3-11) และ (3-12) ในสมการของ Gilliland

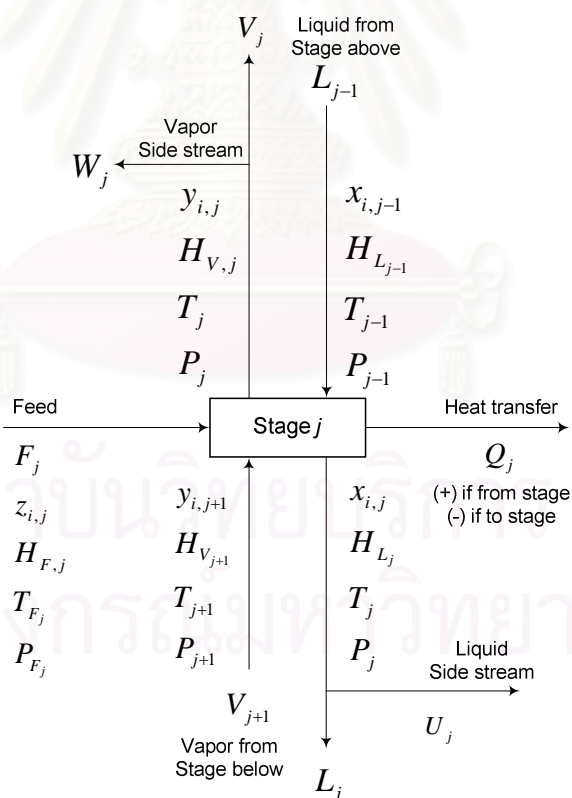
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



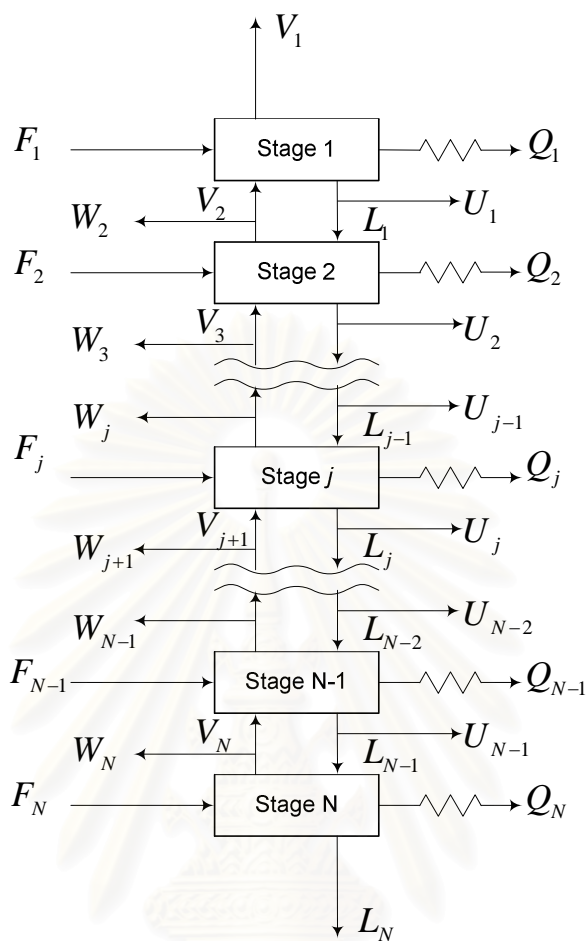
รูปที่ 3.6 แผนผังการคำนวณการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบเบื้องต้นด้วยวิธี FUG

3.6 การจำลองกระบวนการกลั่น

การจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบ เป็นวิธีการคำนวณ หรือจำลองกระบวนการกลั่นที่สามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองกระบวนการกลั่น และคำนวณค่าของคำตอบจากสมการที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองกระบวนการกลั่นในแต่ละขั้นตอนสมดุลของกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบ สำหรับสมการที่ใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบนั้น ประกอบด้วย สมการดุลมวล (Material balance : M) สมการสมดุลระหว่างเฟส (Phase Equilibrium relation : E) กฎรวมเศษส่วนโมล (Sum of mole fraction : S) และสมการดุลพลังงาน (Energy balance : H) ในแต่ละขั้นตอนสมดุล หลังจากที่ทราบค่าของจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลั่น ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของสายป้อนเข้าสู่หอกลั่น และสัดส่วนการป้อนกลับที่ใช้จริงจากวิธีการคำนวณออกแบบด้วยวิธีของ Fenske-Underwood-Gilliland จากนั้นจึงนำผลจากวิธีการคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นมาใช้ในการคำนวณต่อในขั้นตอนการจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบ



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนสมดุลที่ j สำหรับกระบวนการกลั่น



รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนสมมูลที่ 1 ถึงขั้นตอนสมมูลที่ N ในกระบวนการกลั่น

- สมการสมดุล (จำนวนสมการเท่ากับจำนวนสารองค์ประกอบในแต่ละขั้นตอนสมมูล)

$$M_{i,j} = L_{j-1}x_{i,j-1} + V_{j+1}y_{i,j+1} + F_j z_{i,j} - (L_j + U_j)x_{i,j} - (V_j + W_j)y_{i,j} = 0 \quad \text{-----}(3-15)$$

- สมการสมดุลระหว่างเฟส (จำนวนสมการเท่ากับจำนวนสารองค์ประกอบในแต่ละขั้นตอนสมมูล)

$$E_{i,j} = y_{i,j} - K_{i,j}x_{i,j} = 0 \quad \text{-----}(3-16)$$

- กฎรวมเศษส่วนโมล (จำนวนสมการเท่ากับขั้นตอนสมมูล)

$$(S_y)_j = \sum_{i=1}^c y_{i,j} - 1.0 = 0 \quad \text{-----}(3-17)$$

$$(S_x)_j = \sum_{i=1}^c x_{i,j} - 1.0 = 0 \quad \text{-----}(3-18)$$

- สมการดุลพลังงาน (จำนวนสมการเท่ากับขั้นตอนสมดุล)

$$H_j = L_{j-1}h_{L_{j-1}} + V_{j+1}h_{L_{j+1}} + F_j h_{F_j} - (L_j + U_j)h_{L_j} - (V_j + W_j)h_{V_j} - Q_j = 0 \quad \text{-----}(3-19)$$

สมการสมการดุลมวล สมการสมดุลระหว่างเฟส กฎรวมเศษส่วนโมล และสมการดุลพลังงาน ที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบในแต่ละขั้นตอนสมดุลนี้เป็นความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear algebraic equation) ซึ่งยากแก่การคำนวณเพื่อหาคำตอบของสมการเหล่านี้ จึงต้องอาศัยวิธีการอื่น ๆ ในการคำนวณหาคำตอบของสมการที่สร้างขึ้นเพื่อการจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารหลายองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น Bubble point method, Tridiagonal matrix algorithm, Simultaneous correction procedure และ Inside-out method เป็นต้น วิธีการคำนวณหาคำตอบ Simultaneous correction procedure และ Inside-out method เป็นวิธีการที่ใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการกลั่น โดยวิธีการหาคำตอบ Simultaneous correction procedure เป็นวิธีที่มีเสถียรภาพในการคำนวณหาคำตอบ แต่เป็นวิธีที่ช้าในการคำนวณหาคำตอบ ส่วนวิธีการหาคำตอบ Inside-out method เป็นวิธีการหาคำตอบที่เร็ว และเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการหาคำตอบของสมการสมการดุลมวล สมการสมดุลระหว่างเฟส กฎรวมเศษส่วนโมล และสมการดุลพลังงานที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองกระบวนการกลั่นแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายองค์ประกอบ จึงเป็นวิธีการหาคำตอบที่ใช้เป็นลำดับแรกในโปรแกรมจำลองกระบวนการกลั่น โดยจะขอกกล่าวในรายละเอียดเฉพาะวิธีการหาคำตอบ Inside-out method เท่านั้น

3.6.1 วิธีการคำนวณหาคำตอบ Inside-out method

วิธีการคำนวณหาคำตอบ Inside-out method เป็นวิธีการหาคำตอบที่มีความเร็วสูง เริ่มต้นโดยการสร้างสมการที่ใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่น ซึ่งประกอบด้วย สมการดุลมวล (Material balance : M) สมการสมดุลระหว่างเฟส (Phase Equilibrium relation : E) กฎรวมเศษส่วนโมล (Sum of mole fraction : S) และสมการดุลพลังงาน (Energy balance : H) ในแต่ละขั้นตอนสมดุล โดยเรียกสมการทั้งหมดว่า สมการเมช (MESH equations)

- การกำหนดตัวแปรเพื่อใช้ในการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation)

$$\alpha_{i,j} = K_{i,j} / K_{b,j} \quad \text{-----}(3-20)$$

$$S_{b,j} = K_{b,j} V_j / L_j \quad \text{-----}(3-21)$$

$$R_{L_j} = 1 + U_j / L_j \quad \text{-----}(3-22)$$

$$R_{V_j} = 1 + W_j / V_j \quad \text{-----}(3-23)$$

แทนค่าตัวแปรที่กำหนดในสมการ (3-15) ถึง (3-19) จะได้

- สมการสมดุลระหว่างเฟส

$$v_{i,j} = \alpha_{i,j} S_{b,j} l_{i,j}, \quad i = 1 \text{ to } C, \quad j = 1 \text{ to } N \quad \text{-----}(3-24)$$

- สมการดุลมวล (จำนวนสมการเท่ากับจำนวนสารองค์ประกอบในแต่ละขั้นตอนสมดุล)

$$l_{i,j-1} - (R_{L_j} + \alpha_{i,j} S_{b,j} R_{V_j}) l_{i,j} + (\alpha_{i,j+1} S_{b,j+1}) l_{i,j+1} = -f_{i,j}, \quad i = 1 \text{ to } C, \quad j = 1 \text{ to } N \quad \text{-----}(3-25)$$

- สมการดุลพลังงาน

$$H_j = h_{L_j} R_{L_j} L_j + h_{V_j} R_{V_j} V_j - h_{L_{j-1}} L_{j-1} - h_{V_{j+1}} V_{j+1} - h_{F_j} F_j - Q_j = 0, \quad j = 1 \text{ to } N \quad \text{-----}(3-26)$$

- Complex thermodynamic models

Complex thermodynamic models เป็นแบบจำลองที่คำนวณพื้นฐานของแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ในกลุ่ม Equations of State ตัวอย่างเช่น Soave Redlich Kwong และ Peng Robinson เป็นต้น และแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ในกลุ่ม Liquid Activity ตัวอย่างเช่น NRTL, UNIQUAC และ UNIFAC เป็นต้น โดยแบบจำลองเหล่านี้จะใช้ค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์ของ Approximate thermodynamic models ได้แก่

$$K_{i,j} = K_{i,j} \{P_j, T_j, x_j, y_j\} \quad \text{-----}(3-27)$$

$$h_{V,j} = h_{V,j} \{P_j, T_j, y_j\} \quad \text{-----}(3-28)$$

$$h_{L,j} = h_{L,j} \{P_j, T_j, x_j\} \quad \text{-----}(3-29)$$

- Approximate thermodynamic models

ค่า K

Approximate thermodynamic model เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิแต่ละขั้นตอนสมดุล และคำนวณค่าของ $S_{b,j}$ โดยประมาณค่า $K_{b,j}$ จากสมการ (3-30)

$$K_{b,j} = \exp(A_j - B_j / T_j) \quad \text{-----}(3-30)$$

$$A = \ln(K_{bT_1} + B / T_1) \quad \text{-----}(3-31)$$

$$B = \frac{\ln(K_{bT_1} / K_{bT_2})}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \quad \text{-----}(3-32)$$

สำหรับของผสมที่ไม่ใช่ของผสมในอุดมคติค่า $K_{b,j}$ ประมาณได้จากสมการ (3-33)

$$\alpha_{i,j} = \frac{(\Phi_{iL} / \Phi_{iV})_j}{K_{b,j}} \quad \text{-----}(3-33)$$

หมายเหตุ : ค่า $\alpha_{i,j}$ คำนวณจากสมการ (3-20)

ค่าเอนทัลปี

ประมาณค่าเอนทัลปีของไอ และของเหลวจากสมการ (3-34) และ (3-35)

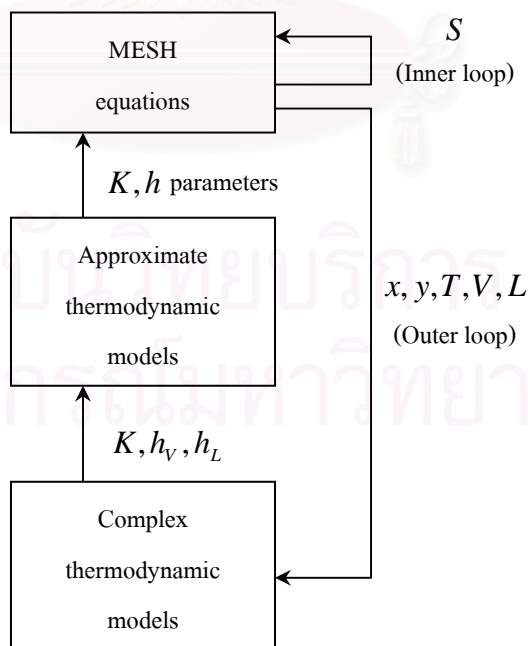
$$H_{V_j} = c_j - d_j (T_j - T^*) \quad \text{-----}(3-34)$$

$$H_{L_j} = e_j - f_j (T_j - T^*) \quad \text{-----}(3-35)$$

หมายเหตุ : ค่าเอนทัลปีของไอ และของเหลวที่คำนวณได้อยู่ในหน่วย ต่อมวล

T^* คือ อุณหภูมิอ้างอิง และค่า c, d, e และ f คำนวณจากการคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation)

วิธีการคำนวณหาค่าตอบ Inside-out method ประกอบด้วยการคำนวณ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization Procedure) การคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) และการคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation)



รูปที่ 3.9 แผนผังการคำนวณหาค่าตอบด้วยวิธี Inside-out method

3.6.1.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization Procedure)

ก่อนที่จะทำการคำนวณวงใน และคำนวณวงนอก ต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรในระบบ ได้แก่ $x_{i,j}$, $y_{i,j}$, T_j , V_j และ L_j โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

- 1) การกำหนดค่าจำนวนขั้นตอนสมดุล สภาวะของสายป้อน ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของสายป้อน และความดันภายในหอกถัน
- 2) การกำหนดตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของสายผลิตภัณฑ์ที่ดึงออกด้านข้างของหอกถัน
- 3) การกำหนดค่าเริ่มต้นของสายผลิตภัณฑ์ที่ดึงออกด้านข้างของหอกถัน
- 4) การประมาณค่า V_j และ L_j โดยสมการ (3-36)

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{m=1}^j (F_m - U_m - W_m) - V_1 \quad \text{-----}(3-36)$$

5) การประมาณค่าอุณหภูมิยอดหอกและก้นหอกถัน ประมาณอุณหภูมิจากองค์ประกอบของสายป้อน โดยอุณหภูมิยอดหอกถันคำนวณอุณหภูมิไออิ่มตัว และอุณหภูมิก้นหอกถันคำนวณอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว

6) การคำนวณสัดส่วนของไอ และของเหลวของสายป้อนที่เข้าสู่หอกถัน ณ ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของสายป้อน โดยใช้อุณหภูมิ และความดันเฉลี่ยภายในหอกถัน

7) การประมาณค่า K และ h ของการคำนวณวงนอก และประมาณค่า A_j , B_j , $a_{i,j}$, $b_{i,j}$, c_j , d_j , e_j , f_j , K_j และ $\alpha_{i,j}$ ของ Approximate thermodynamic models จากตัวแปรเริ่มต้นที่ประมาณในขั้นตอนที่ 1-6 และใช้ค่าคงที่ของ Complex thermodynamic models

8) การคำนวณค่าเริ่มต้นของ $S_{b,j}$, R_{L_j} และ R_{V_j} จากสมการ (3-21), (3-22) และ (3-23)

3.6.1.2 การคำนวณวงใน (Inner-loop calculation)

การคำนวณวงในจำเป็นต้องใช้ค่าที่ได้การประมาณค่าของการคำนวณวงนอกในขั้นตอนการคำนวณที่ 7 และค่าทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization Procedure)

9) การคำนวณค่าอัตราการผลิตของของเหลว $l_{i,j}$ ของสารทุกองค์ประกอบจากสมการ (3-25) โดยใช้วิธีการหาคำตอบ Tridiagonal matrix algorithm

10) การคำนวณค่าอัตราการผลิตของไอ $v_{i,j}$ ของสารทุกองค์ประกอบจากสมการ (3-24)

11) การคำนวณค่าอัตราการผลิตของไอ V_j และอัตราการผลิตของของเหลว L_j ค่าใหม่สำหรับสารทุกองค์ประกอบจากสมการ (3-37) และ (3-38)

$$V_j = \sum_{i=1}^C v_{i,j} \quad \text{-----}(3-37)$$

$$L_j = \sum_{i=1}^C l_{i,j} \quad \text{-----}(3-38)$$

12) การคำนวณค่าอุณหภูมิของชั้นตอนสมดุล T_j ทั้งหมดค่าใหม่ โดยเริ่มจากการคำนวณค่า $x_{i,j}$ จากสมการ (3-39) จากนั้นคำนวณค่า $K_{b,j}$ ค่าใหม่ จากสมการ (3-40) เพื่อนำไปคำนวณค่า T_j ค่าใหม่ของชั้นตอนสมดุลทั้งหมด จากสมการ (3-41)

$$x_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{L_j} \quad \text{-----(3-39)}$$

$$K_{b,j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c (\alpha_{i,j} x_{i,j})} \quad \text{-----(3-40)}$$

$$T_j = \frac{B_j}{A_j - \ln K_{b,j}} \quad \text{-----(3-41)}$$

หมายเหตุ : จากการคำนวณจนถึงชั้นตอนที่ 11 เราจะได้ค่า $v_{i,j}$, $j_{i,j}$ และ T_j ที่สอดคล้องกับสมการสมดุล และสมการสมดุลระหว่างเฟส แต่ยังไม่สอดคล้องกับสมการดุลพลังงาน

13) การเลือกตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) ได้แก่ $\ln S_{b,j}$ จากสมการ (3-42) และตัวแปรอื่น ๆ โดยใช้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ถ้ามีการกำหนดค่าพลังงานที่ดึงออกจากเครื่องควบแน่น และพลังงานที่ให้แก่ม้อต้ม จะไม่มีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) เพิ่มอีก

$$\ln S_{b,j} = \ln(K_{b,j} V_j / L_j) \quad \text{-----(3-42)}$$

- ถ้ามีการกำหนดค่าสัดส่วนป้อนกลับ (L/D) และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์กั้นหอ (B) จะคำนวณของ H_1 และ H_N จากสมการ (3-26) จะมีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) เพิ่ม ได้แก่ D_1 และ D_2

$$D_1 = L_1 - (L/D)V_1 = 0 \quad \text{-----(3-43)}$$

$$D_2 = L_N - B = 0 \quad \text{-----(3-44)}$$

- ถ้ามีผลิตภัณฑ์ที่ดึงออกด้านข้างของหอกลั่นจะมีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) เพิ่ม ได้แก่ $\ln(U_j / L_j)$ และ $\ln(W_j / V_j)$

14) การคำนวณค่าเอทลปีของไอ และของเหลวจากสมการ (3-34) และ (3-35)

15) การคำนวณค่า H_j , D_1 , D_2 และ Q_j จากสมการ (3-26), (3-43) และ (3-44) ยกเว้นค่า Q_1 และ Q_N ให้คำนวณจากค่า H_1 และ H_N ตามลำดับ

16) การคำนวณ Jacobian Matrix สำหรับ Partial derivative ของ H_j , D_1 , D_2 และ Q_j

17) การคำนวณค่าตัวแปรของการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) โดยใช้วิธีการของ Newton-Raphson

18) การคำนวณค่าตัวแปรใหม่จากสมการ (3-45) เพื่อลดค่า Sum of square

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + t\Delta X^{(k)} \quad \text{-----(3-45)}$$

19) การพิจารณาค่า Sum of square ว่าน้อยเพียงพอหรือไม่ ถ้าน้อยเพียงพอแล้วให้ข้ามไปคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation) แต่ถ้ายังไม่น้อยเพียงพอให้กลับไปคำนวณจากขั้นตอนที่ 15 ถึงขั้นตอนที่ 18 ซ้ำอีกรอบ

20) การพิจารณาตัวแปร $x_{i,j}$, $v_{i,j}$, $l_{i,j}$, T_j , V_j และ L_j ในขั้นตอนที่ 15 ถึงขั้นตอนที่ 19 โดยการคำนวณจากขั้นตอนที่ 9 ถึงขั้นตอนที่ 12 เพื่อปรับแก้ตัวแปรที่ดังกล่าว การคำนวณเพื่อปรับแก้ตัวแปรจะเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่อค่าของตัวแปรที่ได้จาก Approximate thermodynamic models สอดคล้องกับค่าของตัวแปรที่ได้จาก Complex thermodynamic models และใช้ค่าของตัวแปรที่ได้ไปเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation)

3.6.1.3 การคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation)

21) การคำนวณค่าการระเหยสัมพัทธ์ และค่าเอนทัลปีจาก Complex thermodynamic model เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 20 ถ้ามีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) ถูกเข้าหาคำตอบ แต่ถ้าค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกันจะต้องข้ามไปคำนวณในขั้นตอนที่ 22

22) การประมาณค่า K และ h ของการคำนวณวงนอก (Outer-loop calculation) จาก Approximate thermodynamic models จากตัวแปรเริ่มต้นของ Complex thermodynamic models จากขั้นตอนที่ 7

23) การคำนวณค่า $S_{b,j}$, R_{Lj} และ R_{Vj} เพื่อนำไปเป็นค่าเริ่มต้นในขั้นตอนที่ 8

24) การคำนวณวงใน (Inner-loop calculation) ซ้ำอีกรอบจากขั้นตอนที่ 9 ถึงขั้นตอนที่ 20

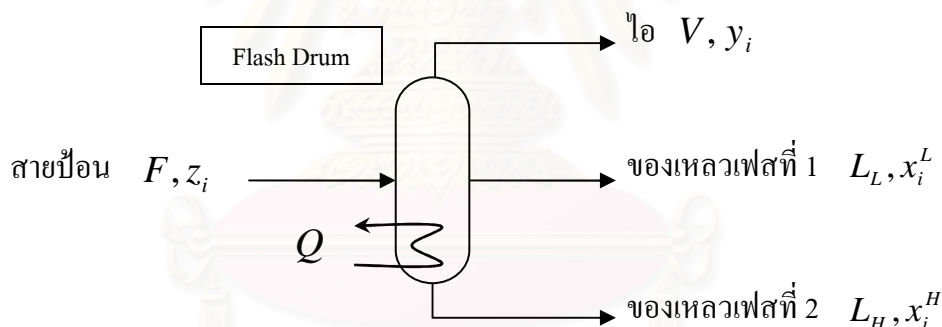
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล

4.1 การศึกษาสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ

การศึกษาสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ โดยการสร้างสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบขึ้นในโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต ทดสอบแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ เพื่อเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ และสามารถคำนวณจุดที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สำหรับสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบที่ศึกษาอยู่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกเฉพาะสมการทางอุณหพลศาสตร์ที่เหมาะสมกับสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบไปใช้ในการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลที่มีผู้ศึกษาและรวบรวมเอาไว้ [10] [13] [17] [18] ซึ่งเริ่มต้นจากการสร้างระบบสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบขึ้นในโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสมดุลไอ-ของเหลวที่ใช้ศึกษาการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ

สมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบที่สร้างขึ้นในโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิตจะถูกใส่ข้อมูลของสารในสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ และสถานะของสมดุลไอ-ของเหลวเข้าไป ได้แก่ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ และสัดส่วนของสารแต่ละองค์ประกอบที่ป้อนเข้าสู่สมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ จากนั้นก็สั่งให้ Flash Drum คำนวณสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ จะได้ไอและของเหลวแยกเฟสหรือไม่แยกเฟสกันออกมา โดยโปรแกรมจะแสดงสัดส่วนของสารองค์ประกอบทั้งเฟสไอและของเหลว และอุณหภูมิของสมดุลไอ-ของเหลวออกมา จากนั้นเปลี่ยนสัดส่วนของสารองค์ประกอบในสายป้อนไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบจุดที่สัดส่วนของสารในเฟสไอและของเหลวมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด ตามเงื่อนไขดัง

สมการ (4-1) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สำหรับการศึกษามวลไอ-ของเหลวที่ของเหลวสามองค์ประกอบที่ของเหลวไม่แยกชั้น สัดส่วนของของเหลวจะเหลือเพียงค่าเดียว (เนื่องจากของเหลวทั้งสองชั้นละลายเป็นเนื้อเดียวกัน) จากนั้นนำสัดส่วนของสารทุกองค์ประกอบและอุณหภูมิของสารในของผสมจุดเดือดคงที่ไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณกับข้อมูลของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีการรายงานเอาไว้

$$|y_i - x_i| < 0.01 \quad \text{-----(4-1)}$$

หมายเหตุ : ค่าผลต่างของสัดส่วนของสารในไอและสัดส่วนของสารในของเหลวควรต่างกันน้อยกว่า 0.01 หรือแตกต่างกันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่ามวลไอ-ของเหลวเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ เนื่องจากในการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์นั้นไม่สามารถทำให้ค่าสัดส่วนของสารในไอและของเหลวมีค่าเท่ากันตามนิยาม จึงใช้สัดส่วนของสารในไอและของเหลวที่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดในการตัดสินใจว่ามวลไอ-ของเหลวเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ

มวลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามการแยกชั้นของของเหลวในของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ได้แก่

1) ของผสมจุดเดือดคงที่เป็นเนื้อเดียว โดยสารองค์ประกอบทุกสารในของเหลวผสมเป็นเนื้อเดียวกัน การบ่งชี้สัดส่วนของสารองค์ประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามารถใช้นิยามสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่โดยทั่วไป ดังสมการ (4-2)

$$y_i \equiv x_i \quad \text{-----(4-2)}$$

2) ของผสมจุดเดือดคงที่ไม่เป็นเนื้อเดียว โดยสารองค์ประกอบทุกสารในของเหลวไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน การบ่งชี้สัดส่วนของสารองค์ประกอบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ไม่สามารถใช้นิยามสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่ทั่วไปได้โดยตรง แต่สามารถคำนวณค่าสัดส่วนของสารแต่ละองค์ประกอบในของเหลวที่แยกชั้นกันออกมาในรูปค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของสารในของเหลวแบบถ่วงน้ำหนักตามปริมาณที่มีอยู่ในของเหลวที่แยกชั้นกัน ดังสมการ (4-3) แล้วนำสัดส่วนของสารองค์ประกอบในของเหลวที่คำนวณได้จากการถ่วงน้ำหนักมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนของสารแต่ละองค์ประกอบในไอ

$$y_i \equiv \frac{Lx_i^L + Hx_i^H}{L + H} \quad \text{-----(4-3)}$$

หมายเหตุ : x_i^L และ L = สัดส่วนโดยมวลและปริมาณของสารในชั้นของเหลวชั้นบน ตามลำดับ

x_i^H และ H = สัดส่วนโดยมวล และปริมาณของสารในชั้นของเหลวชั้นล่าง ตามลำดับ

แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการคำนวณการแยกชั้นของของเหลวในสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ไม่สามารถคำนวณการแยกชั้นของของเหลว ได้แก่ Soave Redlich Kwong (SRK), Peng Robinson (PR), Universal Functional Activity Coefficient Vapor-Liquid Equilibrium (UNIFAC VLE), Non-Random Two-Liquid Vapor-Liquid Equilibrium (NRTL VLE), และ Universal Quasi-Chemical Vapor-Liquid Equilibrium (UNIQUAC VLE) เป็นต้น

2) แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่สามารถคำนวณการแยกชั้นของของเหลว ได้แก่ Universal Functional Activity Coefficient Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium (UNIFAC VLLE), Non-Random Two-Liquid Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium (NRTL VLLE) และ Universal Quasi-Chemical Vapor-Liquid Equilibrium (UNIQUAC VLLE) เป็นต้น

การเปรียบเทียบสัดส่วน โดยมวลของสารในของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบซึ่งมีการรายงานเอาไว้ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วน โดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบแบบถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนของสารทุกองค์ประกอบที่มีอยู่ในของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ดังสมการ (4-4)

$$\% \text{ ความแตกต่างของสัดส่วน โดยมวล} = \sum_{i=1}^N \frac{(x_{Lit_i} \text{ error}_i)}{N} \quad \text{-----(4-4)}$$

$$\text{หมายเหตุ : } error_i = \left(\frac{x_{Lit_i} - \left[\frac{x_{Cal_{xi}} - x_{Cal_{yi}}}{2} \right]}{x_{Lit_i}} \right) * 100$$

x_{Lit_i} = ค่าสัดส่วน โดยมวลของสารในของเหลว จากการข้อมูลที่มีการรายงานเอาไว้

$x_{Cal_{xi}}$ และ $x_{Cal_{yi}}$ = ค่าสัดส่วน โดยมวลของสารในของเหลวและไอ จากการคำนวณ

$error_i$ = % ความแตกต่างของสัดส่วน โดยมวลจากการข้อมูลที่มีการรายงานเอาไว้

การเปรียบเทียบอุณหภูมิของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลอุณหภูมิของของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีการรายงานเอาไว้ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ดังสมการ (4-5)

$$\% \text{ ความแตกต่างของอุณหภูมิ} = \frac{(\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากการข้อมูล}) \times 100}{\text{ค่าจากการข้อมูล}} \text{-----(4-5)}$$

การศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ เพื่อยืนยันผลจากการศึกษาชนิดของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบในบทที่ 3 และการทดสอบแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งจากการศึกษาชนิดของสารที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบพบว่าระบบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบส่วนใหญ่เกิดจากสารต่างชนิดกันหรือมีหมู่ฟังก์ชันของสารต่างกัน และไม่พบระบบที่มีสารประกอบแอลกอฮอล์สองชนิดเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบที่จะทำการศึกษาในหัวข้อต่อไป และแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด จะถูกใช้ในการศึกษาการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบเมื่อมีสารประกอบแอลกอฮอล์สองชนิดในสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ

4.2 การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อการกลั่น-สกัดเอทานอลจะใช้กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วย เอทิลีน ไกลคอล เป็นต้นแบบในการศึกษาว่าสารประกอบแอลกอฮอล์จะมีผลทำให้สามารถกลั่น-สกัดเอทานอลได้ความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เช่นเดียวกับ เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลหรือไม่ โดยจะแยกกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ และกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ ดังต่อไปนี้

4.2.1 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล หอกลั่น-สกัด และหอกลั่นแยกตัวทำลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขั้นตอนในการศึกษา ดังต่อไปนี้

4.2.1.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

การคำนวณออกแบบหอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเพื่อให้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจนเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ ส่วนหอกลั่น-สกัด และหอกลั่นแยกตัวทำลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะใช้ข้อมูลการคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้ เอทิลีน ไกลคอล เป็นข้อมูลในการจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้

สารประกอบแอลกอฮอล์ต่อไป

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ยอดหอและก้นหอกลั่น-สกัด ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำองค์ประกอบของสาร และอัตราการไหลของสารที่ออกจากหอกลั่น-สกัดไปคำนวณเพื่อออกแบบหอกลั่นแยกตัว ทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการคำนวณหาจำนวนขั้นตอนสมดุล และอัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หอกลั่นแบบ Short Cut Distillation ในโปรแกรมจำลองกระบวนการ เพื่อนำผลที่ได้จากการออกแบบไปใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้หอกลั่น 3 หอต่อไป

4.2.1.2 การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลจากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการคำนวณออกแบบ โดยใช้ เมทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล เทอร์นารีบิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล เดกคานอล เอทิลีน ไกลคอล [2] และกลีเซอรอล [3] เป็นตัวทำละลาย โดยใช้หอกลั่น 3 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล หอกลั่น-สกัด และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับหัวข้อนี้จะทำศึกษาและเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการกลั่น-สกัดเอทานอลกับข้อมูลที่มีผู้ศึกษาและได้รายงานผลการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งใช้ เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล โดยหอกลั่นแรกเป็นหอกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 %โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น หอกลั่นที่สองเป็นหอกลั่น-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอกลั่นแรก และสายป้อนของสารประกอบแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้ได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 %โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น-สกัดก็จะประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลายจะถูกแยกน้ำออกจากตัวทำละลายทางยอดหอกลั่น เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ในหอกลั่นที่สอง ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 สภาวะในการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วยเอทิลีน ไกลคอล [2]

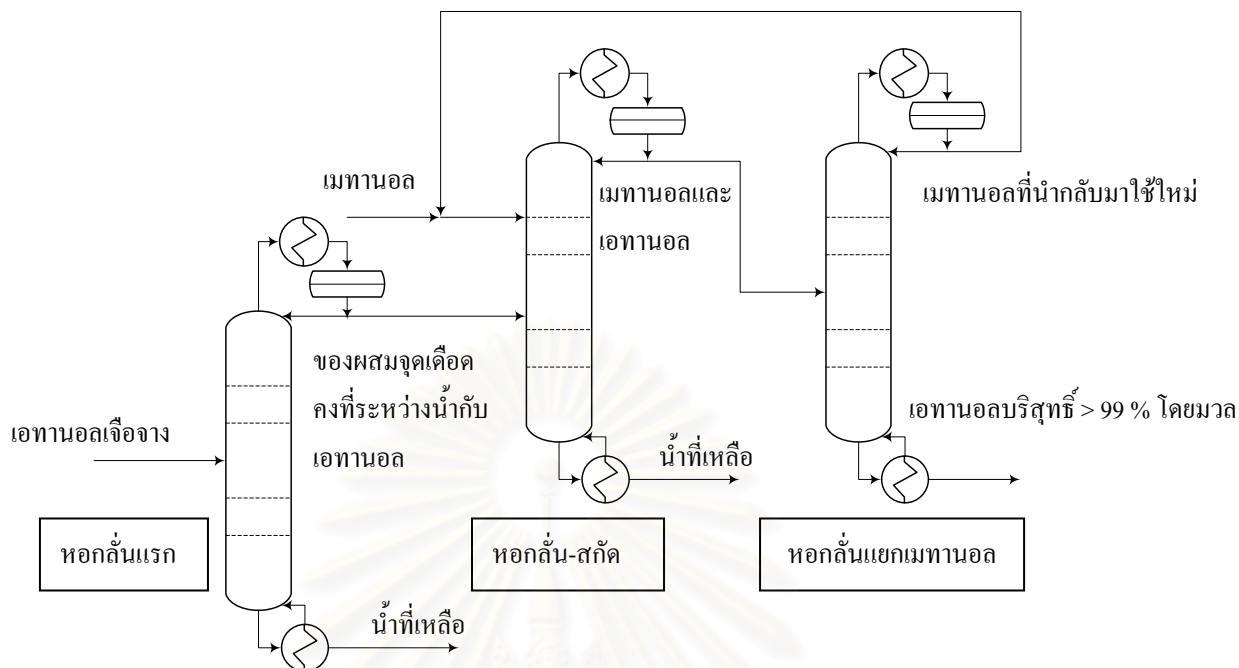
พารามิเตอร์	หอกลิ้นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล	หอกลิ้น-สกัดเอทานอล
อัตราการไหลของสายป้อนเอทานอลเจือจาง (kmol/h)	100	-
อุณหภูมิของเอทานอลสายป้อน (°C)	25	20
อุณหภูมิของตัวทำละลาย (°C)	-	75
จำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลิ้น-สกัด	15	20
ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของเอทานอลสายป้อน	8	12
ตำแหน่งขั้นตอนสมดุลของตัวทำละลายสายป้อนเข้าสู่หอกลิ้น-สกัด	-	4

สารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามจุดเดือดของสารประกอบแอลกอฮอล์เมื่อเทียบกับจุดเดือดของเอทานอล และน้ำ ได้แก่

- 1) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล ได้แก่ เมทานอล
- 2) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอล และน้ำ ได้แก่ โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล
- 3) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ ได้แก่ บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล เดคานอล เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล

1) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล

กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลประกอบด้วย หอกลิ้น 3 หอ โดยหอกลิ้นแรกเป็นหอกลิ้นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 %โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลิ้น และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลิ้น หอกลิ้นที่สองเป็นหอกลิ้น-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และสายป้อนของเมทานอลหรือตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลและเมทานอลถูกแยกออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลิ้น-สกัด ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกลิ้น-สกัดก็จะประกอบด้วยน้ำ ผลิตภัณฑ์ยอดหอซึ่งประกอบด้วยเอทานอล และเมทานอลจะถูกแยกเมทานอลออกจากเอทานอลโดยหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกลิ้น-สกัดเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลิ้น และได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 %โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลิ้นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังรูปที่ 4.2

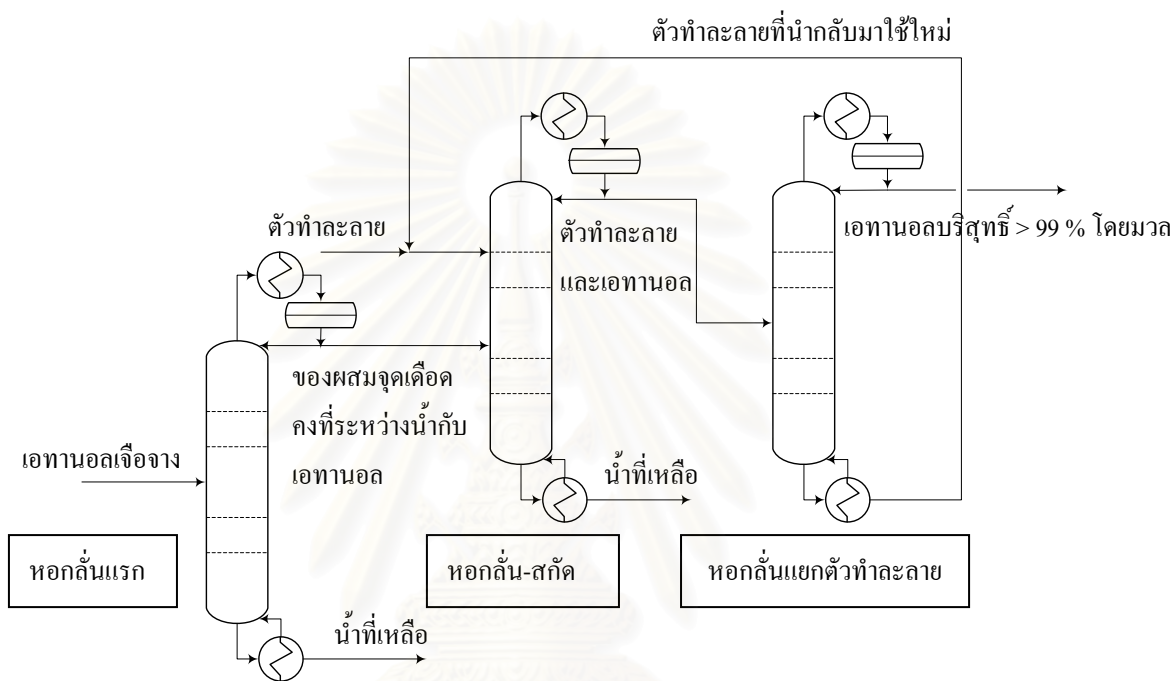


รูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้เมทานอล และใช้หอกลั่น 3 หอ

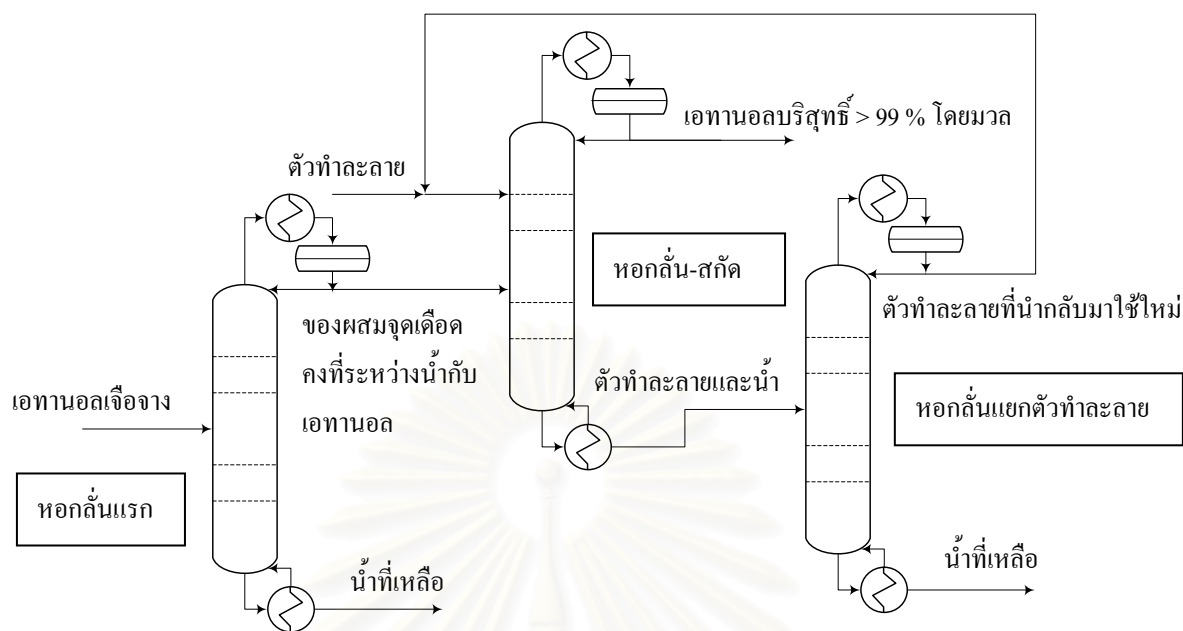
2) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอล และน้ำ

กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงเอทานอล ได้แก่ ไอโซโพรพานอล กับ เทอร์นารีบิวทานอล และกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้กับน้ำ ได้แก่ โพรพานอล กับ 2-บิวทานอล โดยทั้ง 2 กระบวนการประกอบด้วย หอกลั่น 3 หอ โดยหอกลั่นแรกเป็นหอกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 % โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น หอกลั่นที่สองเป็นหอกลั่น-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และสายป้อนของตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอล และตัวทำละลายถูกแยกออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่น ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น-สกัดประกอบด้วยน้ำ ผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่น-สกัดซึ่งประกอบด้วยเอทานอล และตัวทำละลายจะถูกแยกออกจากกันโดยหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ จะได้ตัวทำละลายเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น และได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงเอทานอล ส่วนกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้กับน้ำ หอกลั่นที่สองเป็นหอกลั่น-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และ

สายป้อนของตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกลับแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะ
 ทำให้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ขอดี ส่วนผลิตภัณฑ์ที่กินหอก
 ล้น-สกัดประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลาย จะถูกแยกน้ำออกจากตัวทำละลายทางก้นหอกกลับ เพื่อ
 นำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ในหอกกลับที่สอง ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



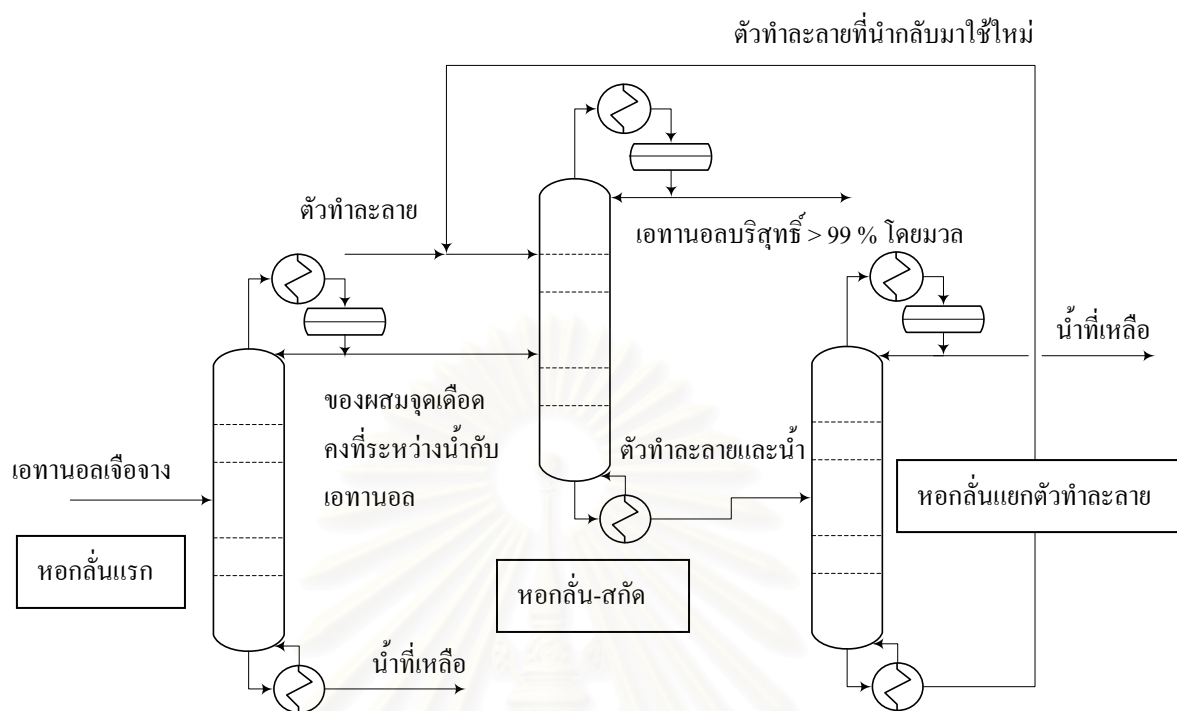
รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มี
 จุดเดือดใกล้เคียงกับจุดเดือดของเอทานอล และใช้หอกลับ 3 หอ



รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ และใช้หอกัน 3 หอ

3) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ

กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลประกอบด้วย หอกัน 3 หอ โดยหอกันแรกเป็นหอกันเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 % โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกัน หอกันที่สองเป็นหอกัน-สกัด ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอกันแรก และสายป้อนของสารประกอบแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกันแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกัน-สกัดก็จะประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลาย จะถูกแยกน้ำออกจากตัวทำละลายทางยอดหอกัน เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ในหอกันที่สอง เช่นเดียวกับกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้กับน้ำ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 3 หอ

4.2.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ

กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลด้วยตัวทำละลายที่สามารถใช้ในการกลั่นเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซลีนกำหนด (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ตามหัวข้อที่ 4.2.1 โดยใช้กลั่น 2 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นแยกเอทานอล (หอกลั่นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลั่น-สกัดเอทานอล) โดยจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลั่นแยกเอทานอล เท่ากับ จำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลั่นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกลั่น-สกัดเอทานอล และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดจำนวนหอกลั่นอุปกรณ์ควมแน่น และหม้อต้มที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล

4.2.2.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

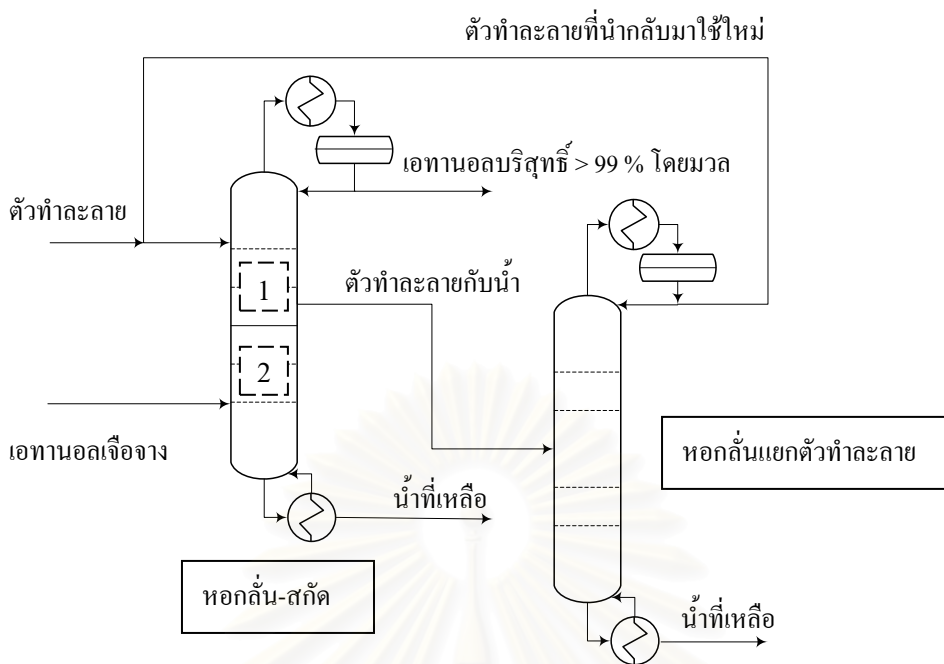
ในหัวข้อนี้ไม่มีการคำนวณออกแบบหอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล และหอกลั่น-สกัดเอทานอล เนื่องจากใช้ข้อมูลการคำนวณออกแบบตามหัวข้อที่ 4.2.1 ส่วนหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะทำการคำนวณหาจำนวนขั้นตอนสมดุล และอัตราการใช้ของสาร

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หอกลั่นแบบ Short Cut Distillation ในโปรแกรมจำลองกระบวนการ เพื่อนำผลที่ได้จากการออกแบบไปใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้หอกลั่น 2 หอต่อไป

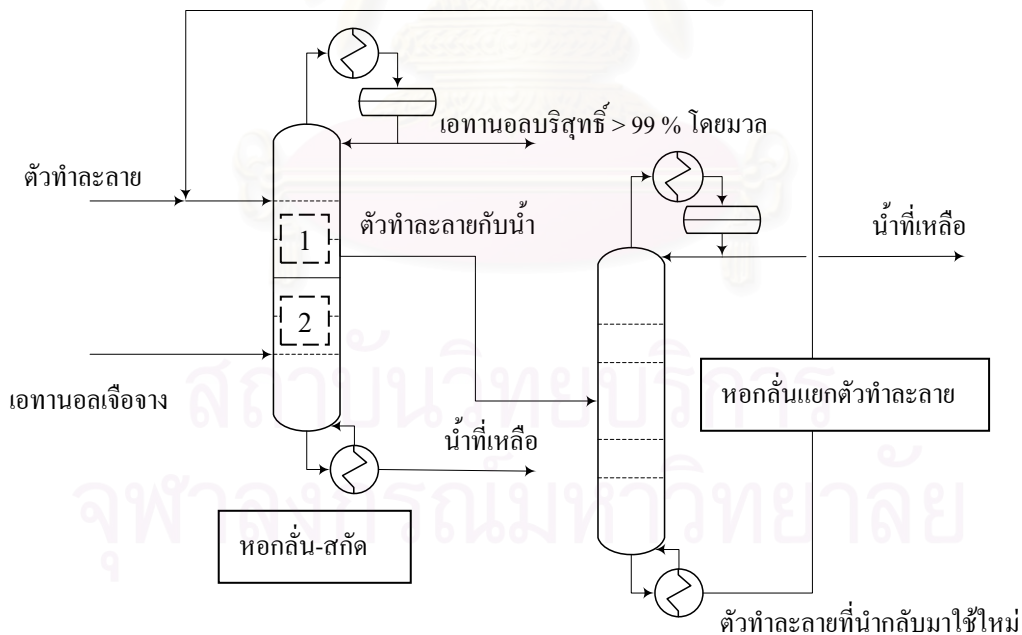
4.2.2.2 การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลเอทานอล

การจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลจากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการคำนวณออกแบบ โดยใช้ เมทานอล โพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล เป็นตัวทำละลาย โดยใช้หอกลั่น 2 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นแยกเอทานอล (หอกลั่นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลั่น-สกัดเอทานอล) และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ส่วนการจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้ ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนทานอล เดกคานอล เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นตัวทำละลาย โดยใช้หอกลั่น 2 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นแยกเอทานอล (หอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลั่น-สกัดเอทานอล) หอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และจะต้องมีการดึงตัวทำละลายออกจากหอกลั่นเอทานอลก่อนที่จะถึงขั้นตอนสมดุลของส่วนหอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล เนื่องจากจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากในการกลั่นแยกตัวทำละลายออกจากน้ำซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในระบบ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 2 หอ



หมายเหตุ : 1 = หอกลั่นส่วนที่เกิดการกลั่น-สกัดด้วยตัวทำละลาย
2 = หอกลั่นส่วนเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล

รูปที่ 4.7 แสดงกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลั่น 2 หอ

4.3 การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล

ในการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์เมื่อผสมเข้ากับเอทานอลสายป้อนว่าสารใด จะสามารถใช้ในการกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล (ความบริสุทธิ์สูงตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน สัดส่วนการป้อนกลับ และเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลระหว่างกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ กับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ ดังต่อไปนี้

4.3.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

การศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์เมื่อผสมเข้ากับเอทานอลสายป้อน โดยใช้หอกลั่น 3 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล หอกลั่นเอทานอล และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขั้นตอนในการศึกษา ดังต่อไปนี้

4.3.1.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นเอทานอล

การคำนวณออกแบบหอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเพื่อให้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจนเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ หอกลั่นเอทานอล และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หอกลั่นแบบ Short Cut Distillation ในโปรแกรมจำลองกระบวนการเพื่อนำผลที่ได้จากการออกแบบ ไปใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ผสมเข้ากับเอทานอลสายป้อน โดยใช้หอกลั่น 3 หอ ต่อไป

4.3.1.2 การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล

การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอลจากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการคำนวณออกแบบโดยใช้ เมทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล เทอร์นารีบิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล เดกคานอล เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นตัวทำละลาย โดยใช้หอกลั่น 3 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล หอกลั่นเอทานอล และหอกลั่นแยกสารประกอบแอลกอฮอล์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามจุดเดือดของสารประกอบแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลายเมื่อเทียบกับเอทานอลและน้ำ ได้แก่

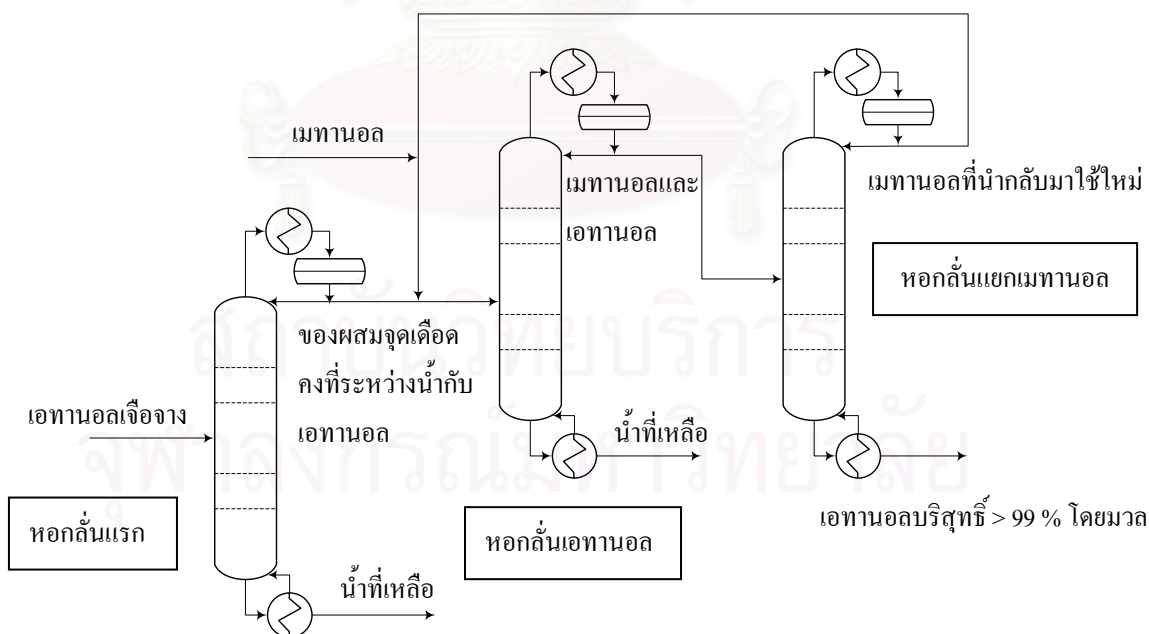
- 1) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล ได้แก่ เมทานอล
- 2) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอล และน้ำ ได้แก่

โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล

3) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ ได้แก่ บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล เดคานอล เอทิลลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล

1) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล

กระบวนการกลั่นเอทานอลประกอบด้วย หอกกลั่น 3 หอ โดยหอกกลั่นแรกเป็นหอกกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 % โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่น และได้ น้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น หอกกลั่นที่สองเป็นหอกกลั่นเอทานอล ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และสายป้อนของเมทานอลหรือตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลและเมทานอลถูกแยกออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่น ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น-สกัดก็จะประกอบด้วยน้ำ ผลิตภัณฑ์ยอดหอซึ่งประกอบด้วยเอทานอล และเมทานอลจะถูกแยกเมทานอลออกจากเอทานอลโดยหอกกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกกลั่นที่สองเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่น และจะได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังรูปที่ 4.8

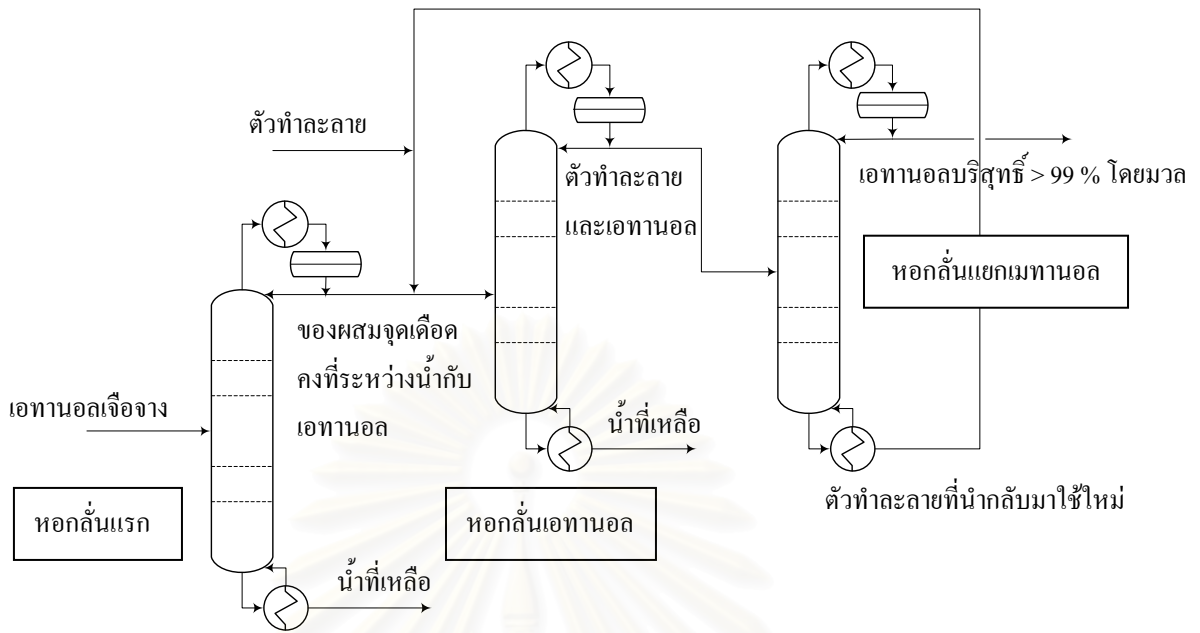


รูปที่ 4.8 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกกลั่น 3 หอ

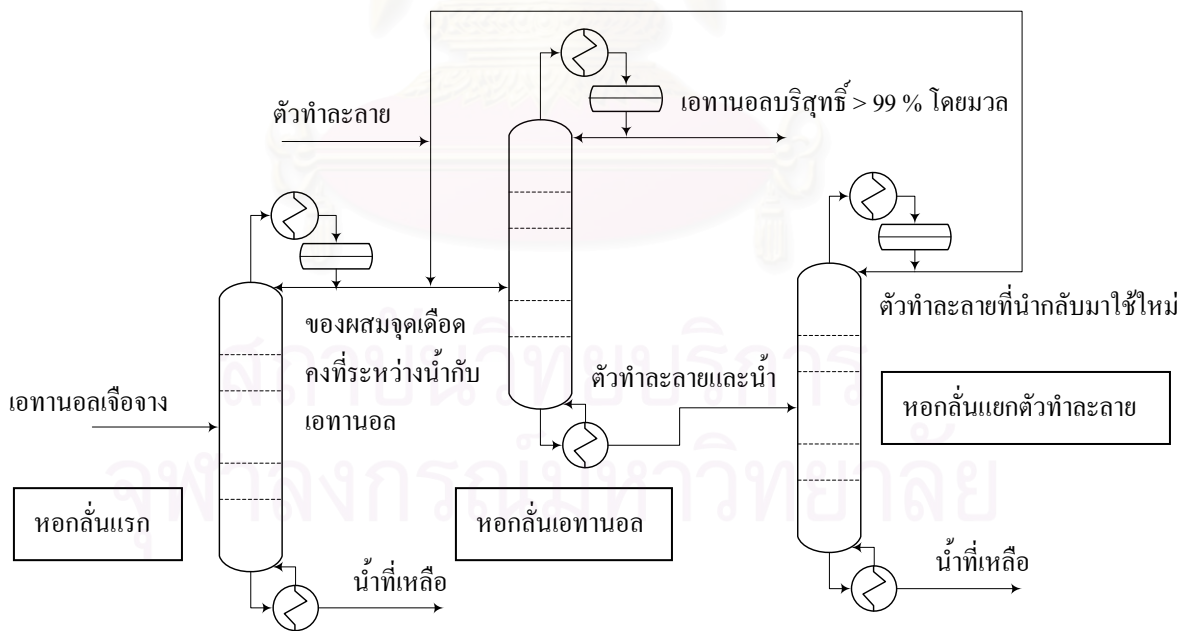
2) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอล และน้ำ

กระบวนการกลั่นเอทานอล แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการกลั่นเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงเอทานอล ได้แก่ ไอโซโพรพานอล กับ เทอร์นารีบิวทานอล และกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงน้ำ ได้แก่ โพรพานอล กับ 2-บิวทานอล ทั้ง 2 กระบวนการประกอบด้วย หอกกลั่น 3 หอ โดยหอกกลั่นแรกเป็นหอกกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 %โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น หอกกลั่นที่สองเป็นหอกกลั่นเอทานอล ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และสายป้อนของตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลและตัวทำละลายถูกแยกออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่น ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่นเอทานอลก็จะประกอบด้วยน้ำ ผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่นเอทานอลซึ่งประกอบด้วยเอทานอล และตัวทำละลายจะถูกแยกออกจากกัน โดยหอกกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกกลั่นที่สองเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น และจะได้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 %โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอกกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงเอทานอล ส่วนกระบวนการกลั่นเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกล้เคียงน้ำ หอกกลั่นที่สองเป็นหอกกลั่นเอทานอล ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอแรก และสายป้อนของตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 %โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น-สกัดประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลาย จะถูกแยกน้ำออกจากตัวทำละลายทางก้นหอกกลั่น เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ในหอกกลั่นที่สอง ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



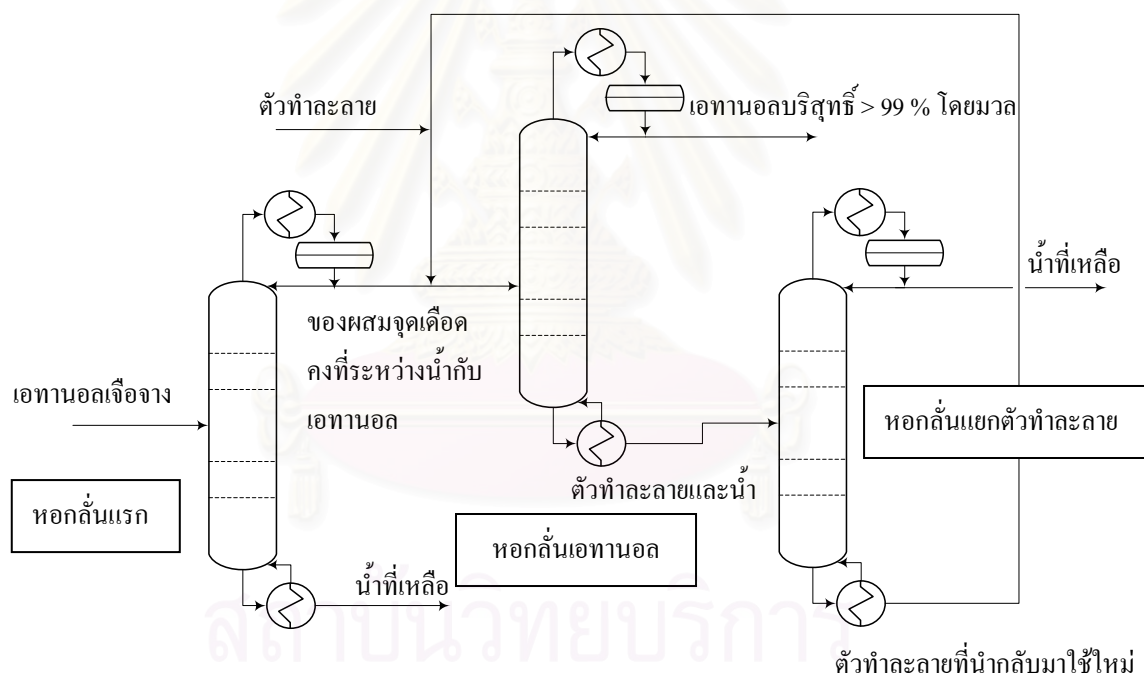
รูปที่ 4.9 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้กับจุดเดือดของเอทานอล และใช้หัวกลั่น 3 หอ



รูปที่ 4.10 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดใกล้กับจุดเดือดของน้ำ และใช้หัวกลั่น 3 หอ

3) สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ

กระบวนการกลั่นเอทานอลประกอบด้วย หอกกลั่น 3 หอ โดยหอกกลั่นแรกเป็นหอกกลั่นเอทานอลเจือจางเพื่อให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (เอทานอลเข้มข้น 95.6 % โดยมวล) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และได้ น้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่น หอกกลั่นที่สองเป็นหอกกลั่นเอทานอล ซึ่งมีสายป้อน 2 สาย ได้แก่ สายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่จากหอกกลั่นแรก และสายป้อนของสารประกอบแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลาย ซึ่งบางส่วนมาจากหอกกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะทำให้เอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยมวลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลั่นเอทานอลประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลายจะถูกแยกน้ำออกจากตัวทำละลายทางก้นหอกกลั่น เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ในหอกกลั่นที่สอง เช่นเดียวกันกับกระบวนการกลั่นเอทานอลซึ่งตัวทำละลายมีจุดเดือดใกว่าน้ำ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์

ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกกลั่น 3 หอ

4.3.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ

กระบวนการกลั่นเอทานอลด้วยสารประกอบแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ในการกลั่นเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์กำหนด (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ตามหัวข้อที่ 4.3.1 โดยใช้กลั่น 2 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นแยกเอทานอล (หอกลั่นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลั่นเอทานอล) และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเริ่มจากสายป้อนเอทานอลเจือจางเพื่อลดจำนวนหอกลั่น อุปกรณ์ควบแน่น และหม้อต้มที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล

4.3.2.1 การคำนวณออกแบบกระบวนการกลั่นเอทานอล

ในหัวข้อนี้ไม่มีการคำนวณออกแบบหอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล และหอกลั่นเอทานอล เนื่องจากใช้ข้อมูลการคำนวณออกแบบตามหัวข้อที่ 4.3.1 ส่วนหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะทำการคำนวณหาจำนวนขั้นตอนสมดุล และอัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หอกลั่นแบบ Short Cut Distillation ในโปรแกรมจำลองกระบวนการ เพื่อนำผลที่ได้จากการออกแบบไปใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลั่น 2 หอต่อไป

4.3.2.2 การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล

การจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอลจากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการคำนวณออกแบบ โดยใช้ เมทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล เทอร์นารีบิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล เดกคานอล เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล โดยใช้หอกลั่น 2 หอ ซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นแยกเอทานอล (หอกลั่นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลั่นเอทานอล) และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

4.4 การศึกษาผลของสารประกอบอื่น ๆ ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล

การศึกษาผลของสารประกอบอื่น ๆ ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอลที่มีสมบัติใกล้เคียงกับสารประกอบแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ในการกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล (ความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์) โดยมีวิธีการคำนวณออกแบบ และวิธีการจำลองกระบวนการกลั่นเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3

4.5 การประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล

กระบวนการกลั่นเอทานอล ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีการให้หรือการดึงพลังงานออกจากอุปกรณ์ ดังนั้น การจำลองกระบวนการกลั่นจึงแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานที่ต้องให้กับระบบ เช่น พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้ม และพลังงานที่ต้องดึงออกจากระบบ เช่น พลังงานความร้อนที่ต้องดึงออกจากเครื่องควบแน่น เป็นต้น โดยพิจารณาเป็นพลังงานรวมในแต่ละกระบวนการกลั่น เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้กระบวนการกลั่นโดยใช้หอกลั่น 2 หอ กับกระบวนการกลั่นโดยใช้หอกลั่น 3 หอ และเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้กระบวนการกลั่นกับข้อมูลกระบวนการกลั่นเอทานอลด้วยเอทิลีน ไกลคอล [2] และกลีเซอรอล [3] ซึ่งมีผู้รายงานเอาไว้



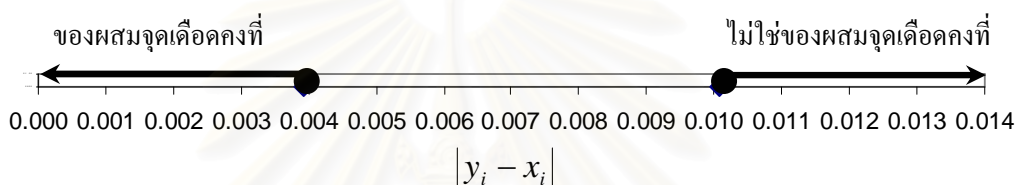
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล

5.1 ผลการศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ

การศึกษาสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจากการสร้างสมมูลไอ-ของเหลวขึ้นในโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต เพื่อคำนวณค่าสัดส่วนโดยมวลของสารทุกองค์ประกอบ และอุณหภูมิของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ โดยนำค่าสัดส่วนโดยมวลของสารในไอ และของเหลวที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 5.1

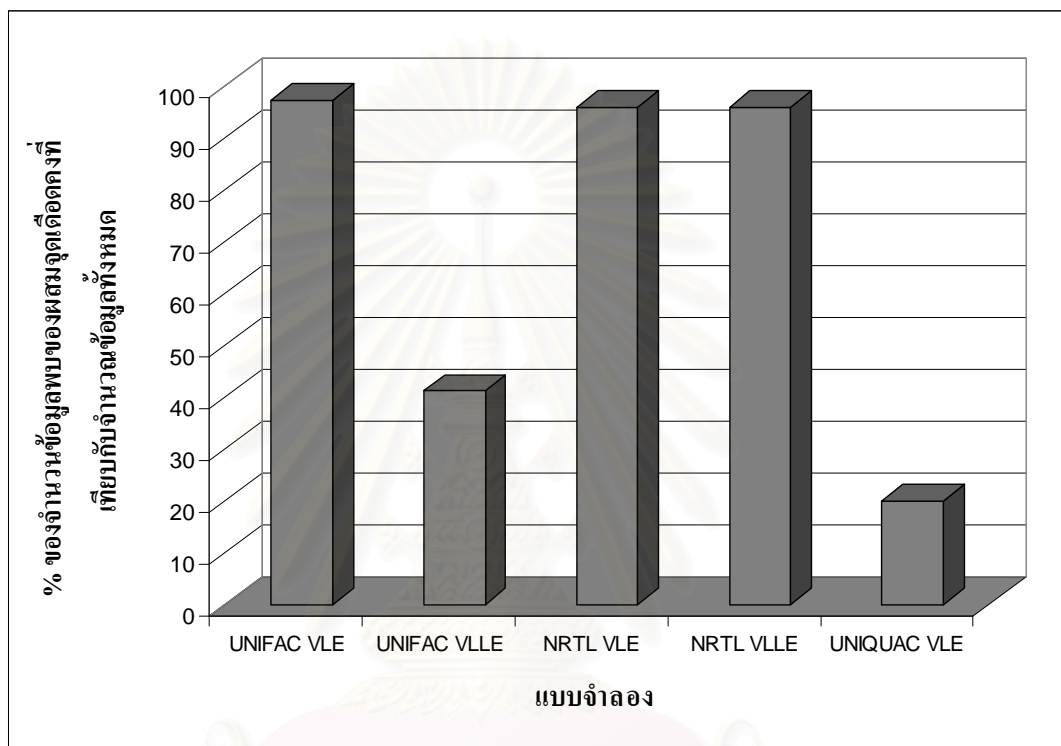


รูปที่ 5.1 แสดงผลต่างของสัดส่วนโดยมวลของไอและของเหลวสำหรับระบบที่เกิดและไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ

จากรูปที่ 5.1 แสดงผลต่างของสัดส่วนของสารองค์ประกอบในไอและของเหลวที่ได้จากการคำนวณสำหรับสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่และไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ โดยพบว่าผลต่างของไอและของเหลวที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.005-0.009 ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ในเบื้องต้นว่าระบบที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจะมีค่าผลต่างของไอและของเหลวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.0039 ส่วนระบบที่ไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจะมีค่าผลต่างของไอและของเหลวมากกว่าหรือเท่ากับ 0.010 จากระบบสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบทั้งหมด 75 ระบบ [10] [13] [17] [18] สำหรับทุกแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้คำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ โดยตามทฤษฎีแล้วของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสัดส่วนของสารทั้งสามองค์ประกอบมีค่าเท่ากันทั้งสัดส่วนในไอและสัดส่วนในของเหลว สำหรับสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ของเหลวไม่แยกชั้น สัดส่วนโดยมวล และอัตราการไหลของของเหลวจะเหลือเพียงค่าเดียว (เนื่องจากชั้นของของเหลวเพียงชั้นเดียว) ส่วนสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่ของเหลวแยกชั้น สัดส่วนโดยมวล และอัตราการไหลของของเหลวจะมีสองค่า จึงต้องคำนวณสัดส่วนโดยมวลของของเหลวใหม่โดยการหาค่าสัดส่วนโดยมวลของสารทุกองค์ประกอบในของเหลวแบบถ่วงน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวแทนของสัดส่วนโดยมวลของ

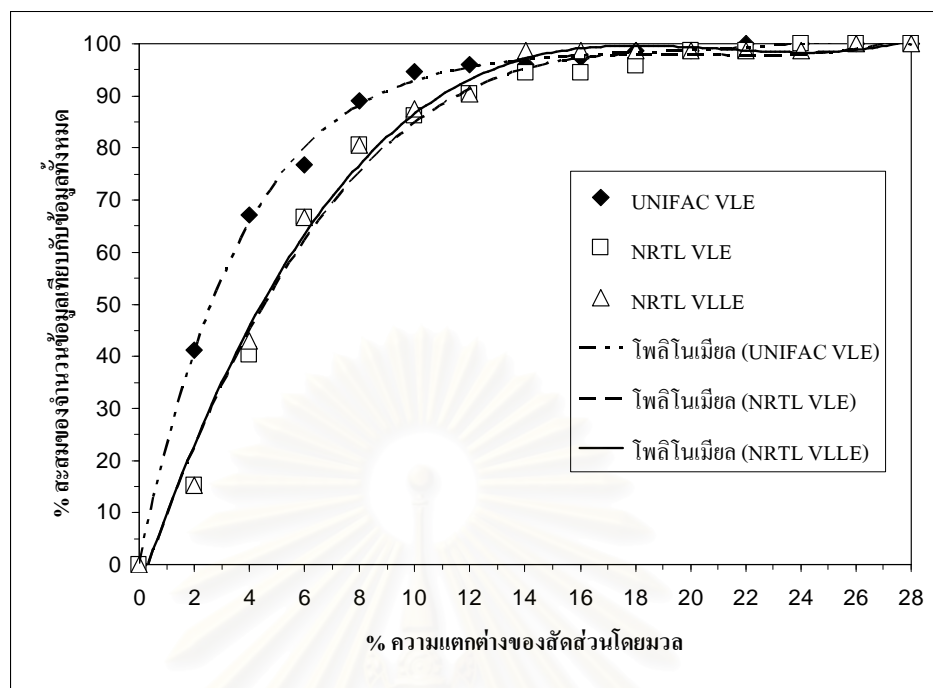
ของเหลวทั้งสองชั้น

การทดสอบแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ เพื่อที่จะหาแบบจำลองที่สามารถคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบได้มากที่สุด โดยใช้ระบบสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้นซึ่งได้ผลการคำนวณ ดังนี้

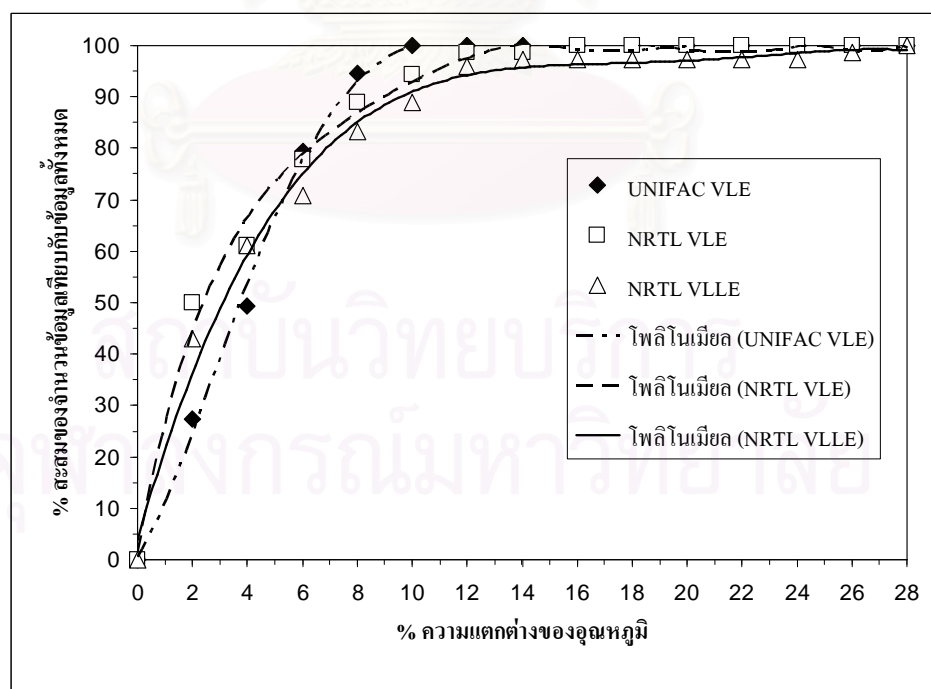


รูปที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่พบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด

แบบจำลองสำหรับสารผสมอุดมคติ ได้แก่ SRK และ PR ไม่สามารถคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบได้ ส่วนแบบจำลองสำหรับสารผสมที่มีคุณสมบัติเบี่ยงเบนไปจากอุดมคติ ได้แก่ UNIFAC, NRTL และ UNIQUAC สามารถคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบได้ โดยแบบจำลอง UNIFAC VLE (UNIFAC Vapor-Liquid Equilibrium) มีค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่สามารถคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบได้มากที่สุด เท่ากับ 97.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ NRTL VLE (NRTL Vapor-Liquid Equilibrium), NRTL VLE (NRTL Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium), UNIFAC VLE (UNIFAC Vapor-Liquid-Liquid Equilibrium) และ UNIQUAC VLE (UNIQUAC Vapor-Liquid Equilibrium) เท่ากับ 96, 96, 41.3 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 แสดง % ความแตกต่างของสัดส่วน โดยมวลของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ จากการคำนวณกับข้อมูลรวบรวมไว้ โดยใช้สมการ UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLE



รูปที่ 5.4 แสดง % ความแตกต่างของอุณหภูมิของของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ จากการคำนวณกับข้อมูลรวบรวมไว้ โดยใช้สมการ UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLE

จากรูปที่ 5.3 เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วนโดยมวลที่คำนวณจากโปรแกรมกับข้อมูลที่รวบรวมไว้ โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLLE มีค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนข้อมูลสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วนโดยมวลไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 73 56 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนข้อมูลสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วนโดยมวลไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 94 86 และ 87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.4 เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิที่คำนวณจากโปรแกรมกับข้อมูลที่รวบรวมไว้ โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE, NRTL VLE และ NRTL VLLE มีค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนข้อมูลสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 68 75 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนข้อมูลสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 100 94 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

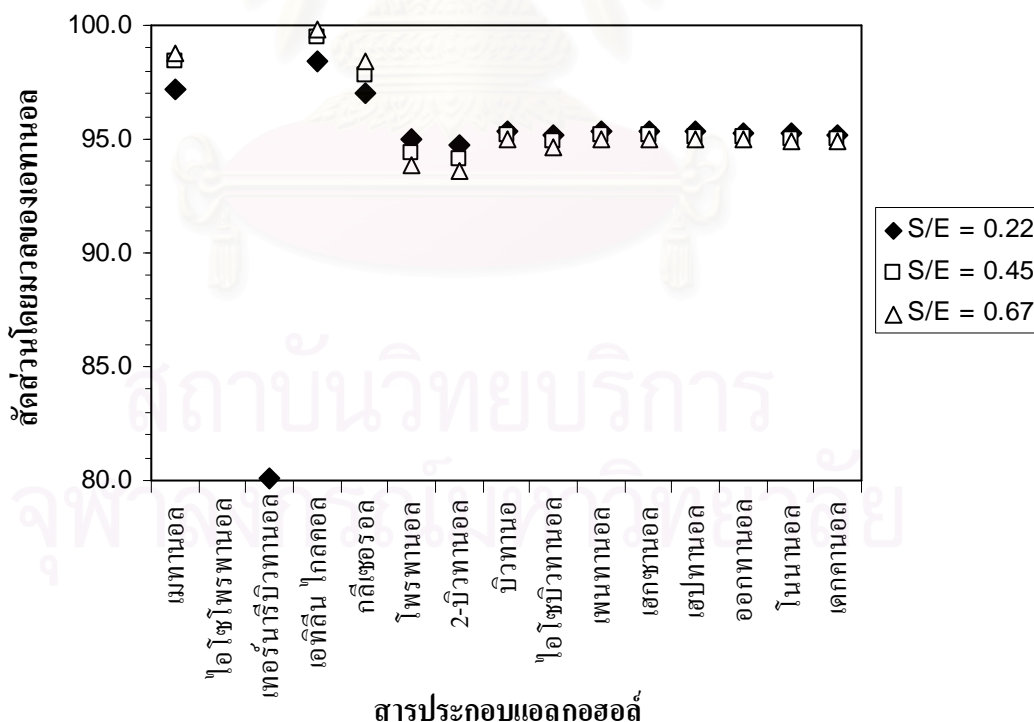
จากผลการคำนวณดังกล่าวมาข้างต้นพบว่าแบบจำลอง UNIFAC VLE มีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่พบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ เปรอร์เซ็นต์สะสมของข้อมูลสัดส่วนโดยมวลเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วนโดยมวลไม่เกิน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์สะสมของข้อมูลอุณหภูมิเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดสำหรับข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง NRTL VLE และ NRTL VLLE ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE ในจำลองกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล และกระบวนการกลั่นเอทานอลสำหรับขั้นตอนต่อไปของงานวิจัย และผลจากการคำนวณการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบโดยแบบจำลอง UNIFAC VLE เมื่อมีสารประกอบแอลกอฮอล์สองชนิดในสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบพบว่าไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่เมื่อมีสารประกอบแอลกอฮอล์สองชนิดในสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ จึงยืนยันได้ว่าสมมูลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบที่มีสารประกอบแอลกอฮอล์สองชนิดในระบบจะไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบในขณะที่จำลองกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นในหัวข้อต่อไปของงานวิจัย

5.2 ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

5.2.1 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

ผลการศึกษาระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ได้แก่ เมทานอล ไอโซโพรพานอล เทอร์นารีบิวทานอล โพรพานอล 2-บิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล เดคานอล เอทิลีน ไกลคอล และ กลีเซอรอล ในการแยกเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบว่าสารประกอบแอลกอฮอล์สารใดช่วยในการกลั่น-สกัดเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงตามต้องการ ส่วนเอทิลีน ไกลคอล และ กลีเซอรอล สามารถใช้ในการกลั่น-สกัดเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงตามต้องการ [2], [3] แต่ทำการคำนวณเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการกลั่น-สกัดเอทานอล ดังต่อไปนี้

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอทิลีน ไกลคอล เป็นต้นแบบในการศึกษาว่าสารประกอบแอลกอฮอล์ในการกลั่น-สกัดเอทานอลได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล เช่นเดียวกับกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้ เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล โดยสถานะของหอกลิ้น-สกัดได้ระบุไว้ในบทที่ 4



หมายเหตุ : S/E = สัดส่วนปริมาณตัวทำละลายต่อปริมาณเอทานอลที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกลั่น-สกัด

รูปที่ 5.5 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

การกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอลเป็นตัวทำละลาย คือ เมทานอล ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เนื่องจากเมทานอลทำให้สมดุลไอของเหลวระหว่างเอทานอล และน้ำเปลี่ยนแปลง โดยเมทานอลซึ่งมีจุดเดือดต่ำที่สุดในระบบจะกลายเป็นไอขึ้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอแทนที่ของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ ทำให้น้ำปนไปกับผลิตภัณฑ์ยอดหอน้อยลง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ยอดหอไปกลั่นแยกเมทานอลออกจากเอทานอล ก็จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เนื่องจากเมทานอลไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับเอทานอล และเมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลที่ใช้ในการกลั่น-สกัดก็จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น เมทานอลจึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่น-สกัดเอทานอลความบริสุทธิ์สูง ดังรูปที่ 5.5

กรณีการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอลกับน้ำเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ ไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ทั้งนี้เนื่องจากไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอลมีจุดเดือดสูงกว่าของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ และมีจุดเดือดใกล้เคียงกับเอทานอล จึงระเหยกลายเป็นไอขึ้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอได้ไม่ดีเท่าของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ จึงไม่สามารถแยกน้ำออกจากเอทานอลที่เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอได้ ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลหลังจากกลั่นแยกเอาสารประกอบแอลกอฮอล์ออกจากเอทานอลไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น ไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล จึงไม่เหมาะสมในการเป็นตัวทำละลายในการกลั่น-สกัดเอทานอล ดังรูปที่ 5.5

กรณีการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอลกับน้ำเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ โพรพานอล และ 2-บิวทานอล พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ทั้งนี้เนื่องจากโพรพานอล และ 2-บิวทานอลมีจุดเดือดสูงกว่าของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ และมีจุดเดือดใกล้เคียงกับน้ำ ประกอบกับความในการละลายน้ำไม่ดีพอที่จะดึงน้ำออกมาจากของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ จึงไม่สามารถดึงน้ำออกไปกับผลิตภัณฑ์ก้นหอ ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น โพรพานอล และ 2-บิวทานอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวทำละลายในการกลั่น-สกัดเอทานอลความบริสุทธิ์สูง ดังรูปที่ 5.5

กรณีการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล และ เดคานอล พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความ

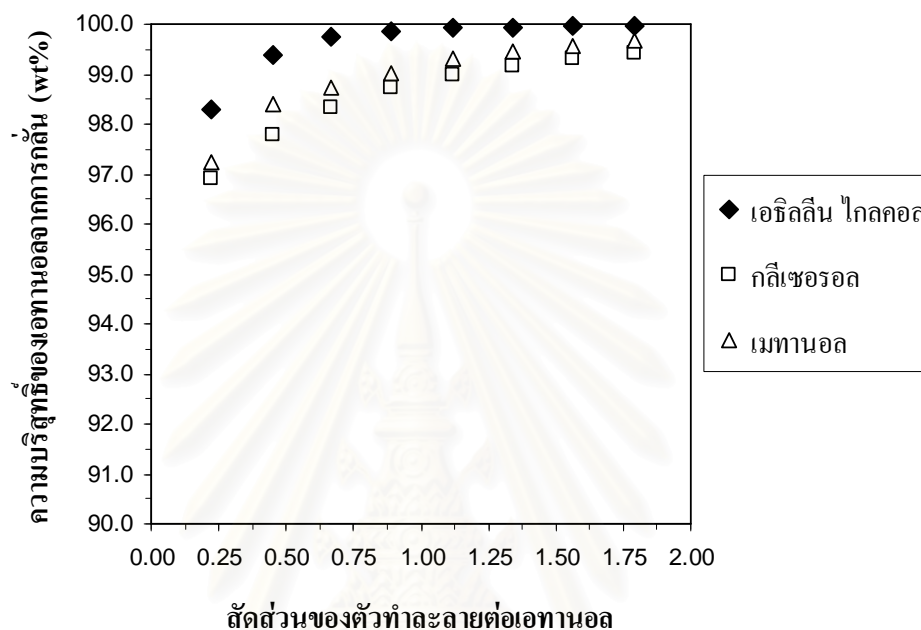
บริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบแอลกอฮอล์ในกลุ่มนี้มีความสามารถในการละลายน้ำน้อย และความสามารถในละลายน้ำจะน้อยลงเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลเพิ่มขึ้น จึงไม่สามารถดึงน้ำออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอยพร้อมกับตัวทำละลายได้ ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขอดีไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล และ เดคานอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวทำละลายในการกลั่น-สกัดเอทานอลความบริสุทธิ์สูง ดังรูปที่ 5.5

กรณีการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ เอซิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล พบว่าทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องจาก เอซิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ และมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ จึงสามารถดึงน้ำออกไปกับผลิตภัณฑ์ก้นหอยพร้อมกับตัวทำละลายได้ ประกอบกับสารประกอบแอลกอฮอล์กลุ่มนี้ไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำ จึงสามารถกลั่นแยกเอซิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลออกจากน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเมื่อเพิ่มปริมาณของเอซิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลที่ใช้ในการกลั่น-สกัดก็จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น เอซิลีน ไกลคอล และ กลีเซอรอล จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวทำละลายในการกลั่น-สกัดเอทานอลความบริสุทธิ์สูง ดังรูปที่ 5.5

จากผลการศึกษากระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยเอซิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอล เป็นตัวทำละลายซึ่งใช้หอกลั่น 3 หอ สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล ดังนั้น เราจะแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาในหัวข้อต่าง ๆ ได้แก่ ความบริสุทธิ์และปริมาณของเอทานอลที่ได้ ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด และปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากการกลั่น-สกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

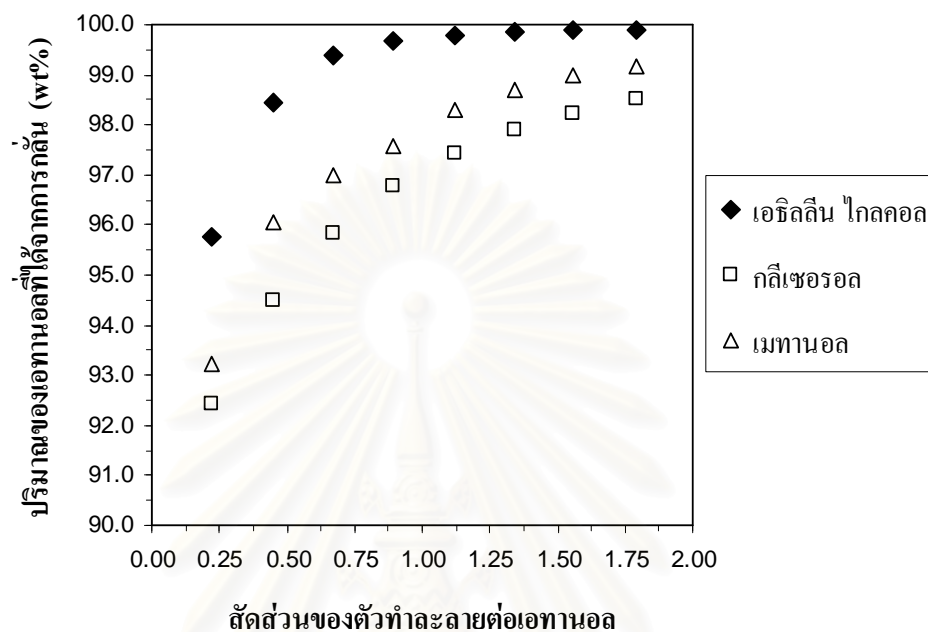
- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลิเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ คือ หอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ หอกลิ้น-สกัด และหอกลิ้นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 5.6 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลิเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลิเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยสัดส่วนของเอธิลีน ไกลคอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 0.67 สัดส่วนของกลิเซอรอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1.79 และสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1.56 ดังรูปที่ 5.6

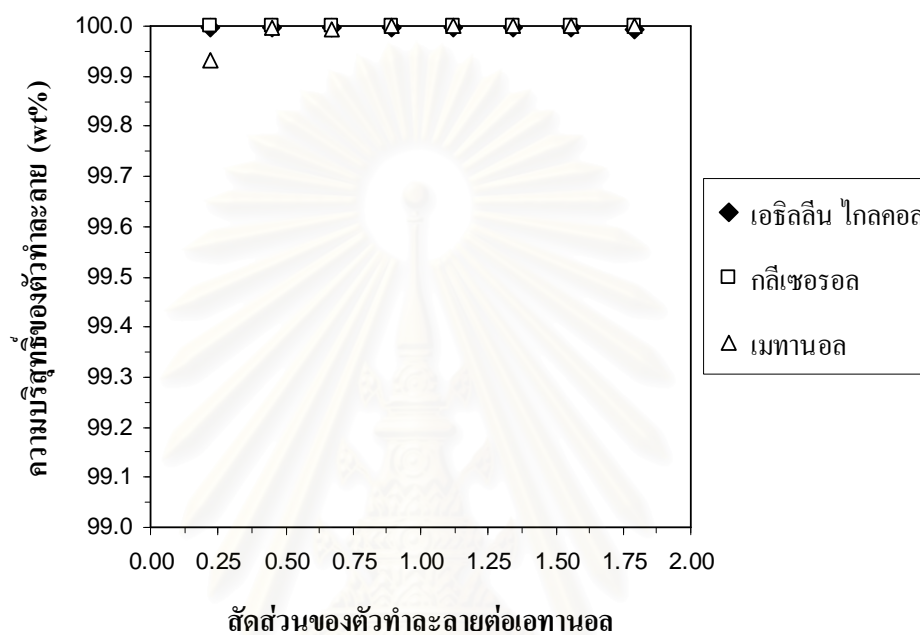
- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล
กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



รูปที่ 5.7 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด
โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ปริมาณของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงสัดส่วนของตัวทำละลายต่อเอทานอลซึ่งได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลจากกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล เท่ากับ 99.4 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาณของเอทานอลจากกลั่น-สกัดโดยใช้กลีเซอรอล เท่ากับ 98.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และปริมาณของเอทานอลจากกลั่น-สกัดโดยใช้เมทานอล เท่ากับ 98.7 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ดังรูปที่ 5.7

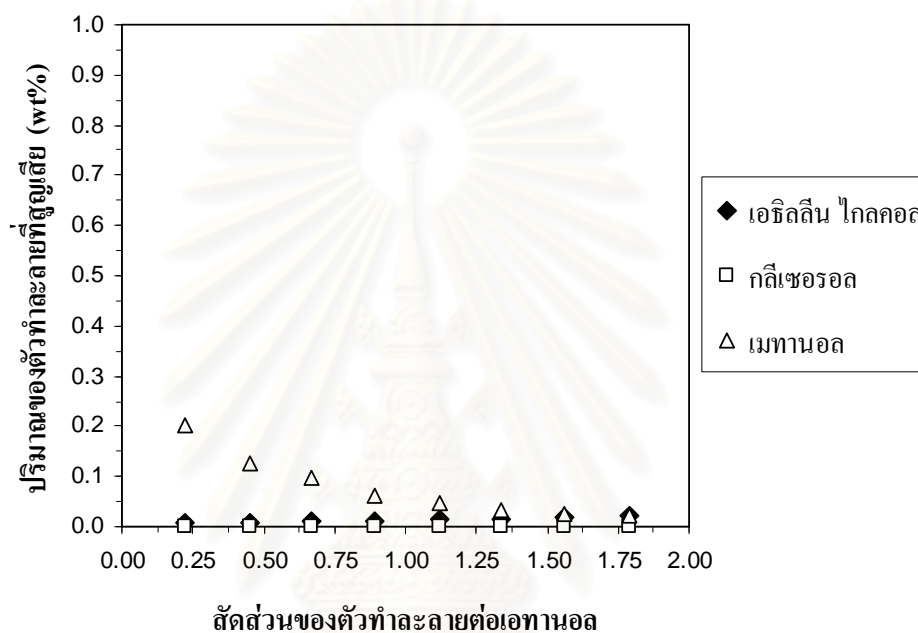
- ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ เนื่องจากต้องนำตัวทำละลายกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด



รูปที่ 5.8 แสดงความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลเป็นตัวทำละลายค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวทำละลาย เนื่องจากจุดเดือดของเอธิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลสูงกว่าจุดเดือดของน้ำพอสมควร จึงกลั่นแยกออกจากกันในหอกลิ้นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในหอกลิ้น-สกัดเอทานอลได้ความบริสุทธิ์สูง ประกอบกับเอธิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำ โดยความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอลเท่ากับ 99.98 และ 99.99 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ ส่วนความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายขึ้นเรื่อย ๆ และคงที่ เมื่อความบริสุทธิ์ของเมทานอล 99.98 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เนื่องจากจุดเดือดของเมทานอลต่ำกว่าจุดเดือดของเอทานอลไม่มากนัก และเมทานอลไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำเอทานอลจึงกลั่นแยกออกจากเอทานอลได้ความบริสุทธิ์สูง

- ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอซิลลิน ไกลคอลล ก्लीเซอร์อล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ เนื่องจากต้องนำตัวทำละลายกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด เพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณของตัวทำละลายที่จะต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่น-สกัด



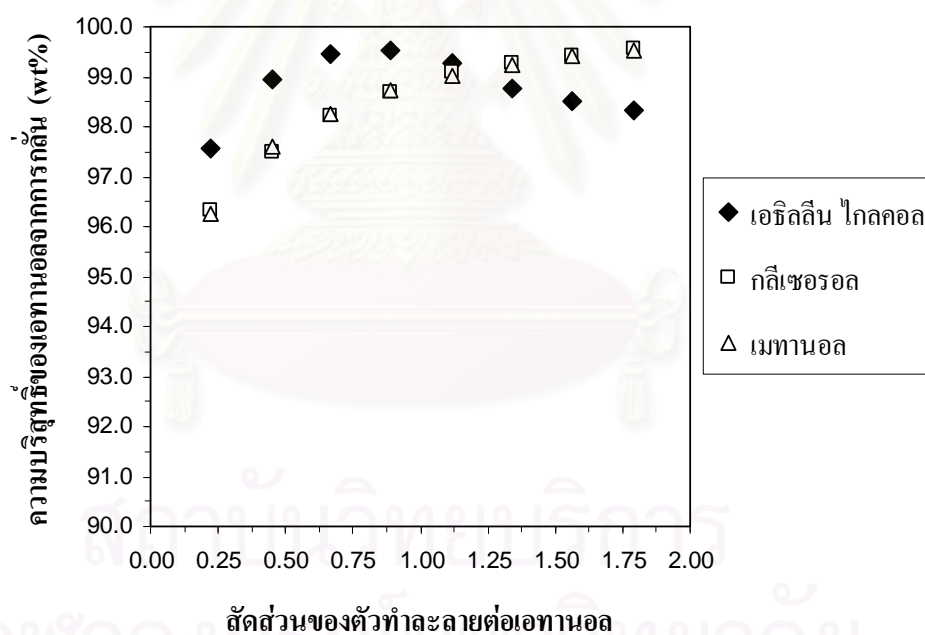
รูปที่ 5.9 แสดงปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอซิลลิน ไกลคอลล ก्लीเซอร์อล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอซิลลิน ไกลคอลล ก्लीเซอร์อล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายน้อยมาก โดยเอซิลลิน ไกลคอลล ก्लीเซอร์อล และเมทานอล เมื่อใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัดจนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด เท่ากับ 0.01, 0.001 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

5.2.2 กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

การกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ ซึ่งเป็นการรวมหอกลิ้นเอทานอลและหอกลิ้น-สกัดเข้าด้วยกัน โดยใช้เอซิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายในการกลั่น-สกัดเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษา น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยใช้หอกลิ้นเพียง 2 หอ คือ หอกลิ้นแยกเอทานอล (หอกลิ้นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลิ้น-สกัดเอทานอล) และหอกลิ้นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดจำนวนหอกลิ้น อุปกรณ์ควบแน่น และหม้อต้มที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล ซึ่งใช้จำนวนชิ้นตอนสมดุล เท่ากับจำนวนชิ้นตอนของทั้ง 2 หอกลิ้นรวมกัน

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอซิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย โดยใช้หอกลิ้นเพียง 2 หอ

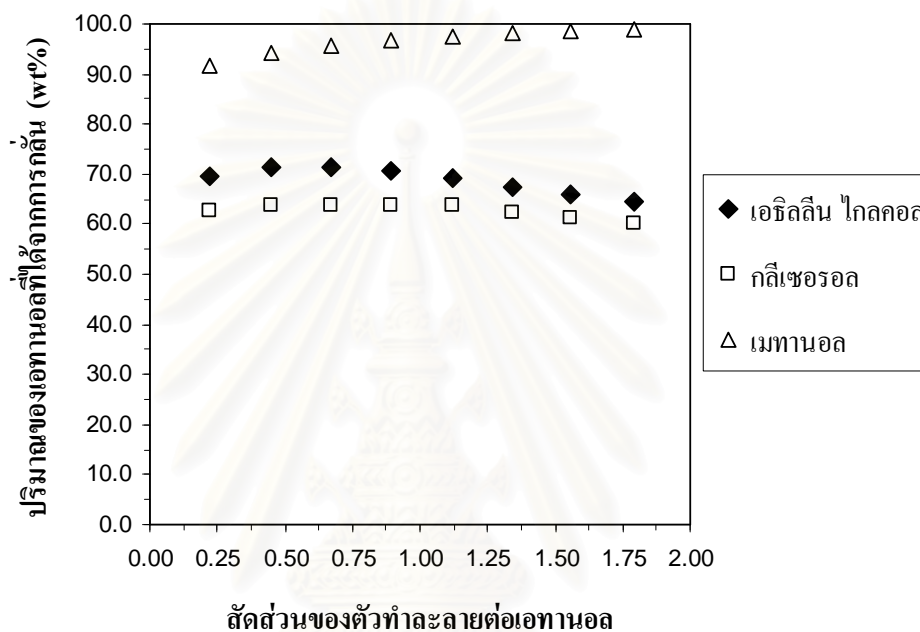


รูปที่ 5.10 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอซิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอซิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยสัดส่วนของเอซิลีน ไกลคอลต่อเอทานอลที่

ใช้ เท่ากับ 0.67 สัดส่วนของกลีเซอรอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1.56 และสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1.56 ดังรูปที่ 5.10

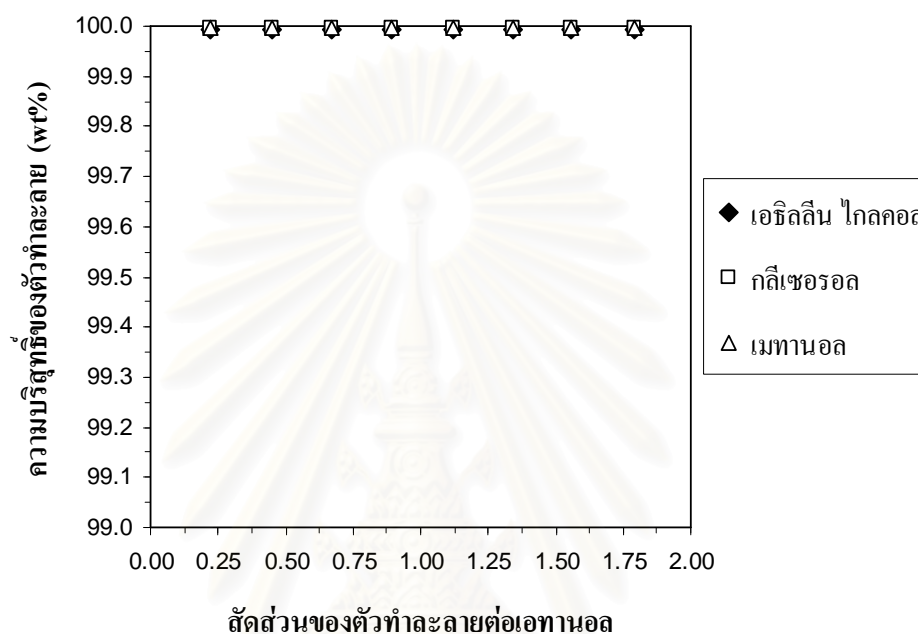
- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ปริมาณของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลจากกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล เท่ากับ 71.5 และ 61.2 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ ปริมาณของเอทานอลจากกลั่น-สกัดโดยใช้เมทานอล เท่ากับ 98.6 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เนื่องจากเอทานอลส่วนหนึ่งสูญเสียออกไปพร้อมสายของตัวทำละลายที่ดึงออกในขั้นตอนสมดุลที่ 20 ดังนั้น เมื่อแยกตัวทำละลายออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แล้วจะต้องนำสารละลายที่มีเอทานอลปนอยู่กลับมากลั่นในหอกลั่น-สกัดอีกครั้ง เพื่อแยกเอทานอลให้ได้ปริมาณมากที่สุด

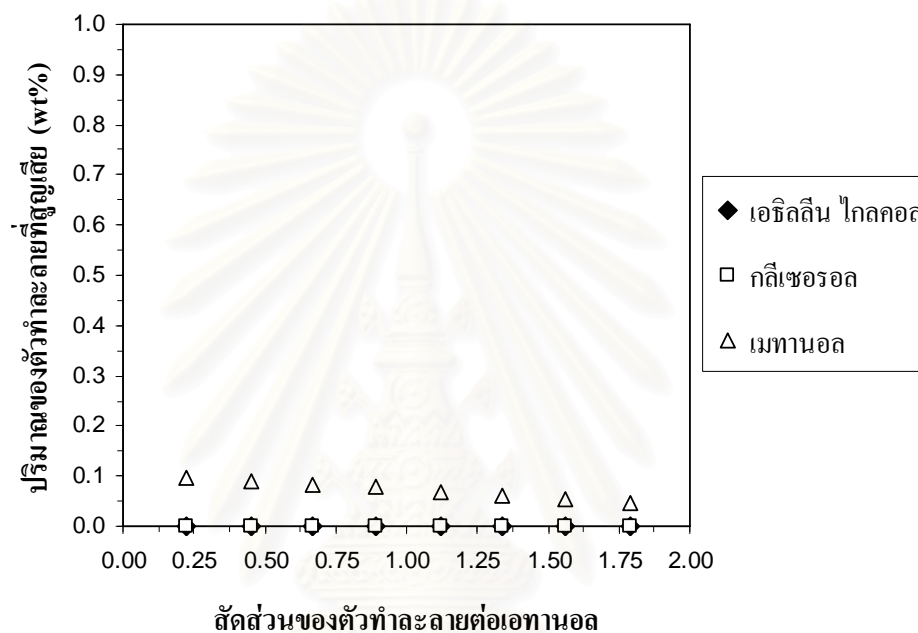
- ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ เนื่องจากต้องนำตัวทำละลายกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด



รูปที่ 5.12 แสดงความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เท่ากับ 99.98, 99.99 และ 99.99 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ตามลำดับ

- ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ เนื่องจากต้องนำตัวทำละลายกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด เพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณของตัวทำละลายที่จะต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่น-สกัด



รูปที่ 5.13 แสดงปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย

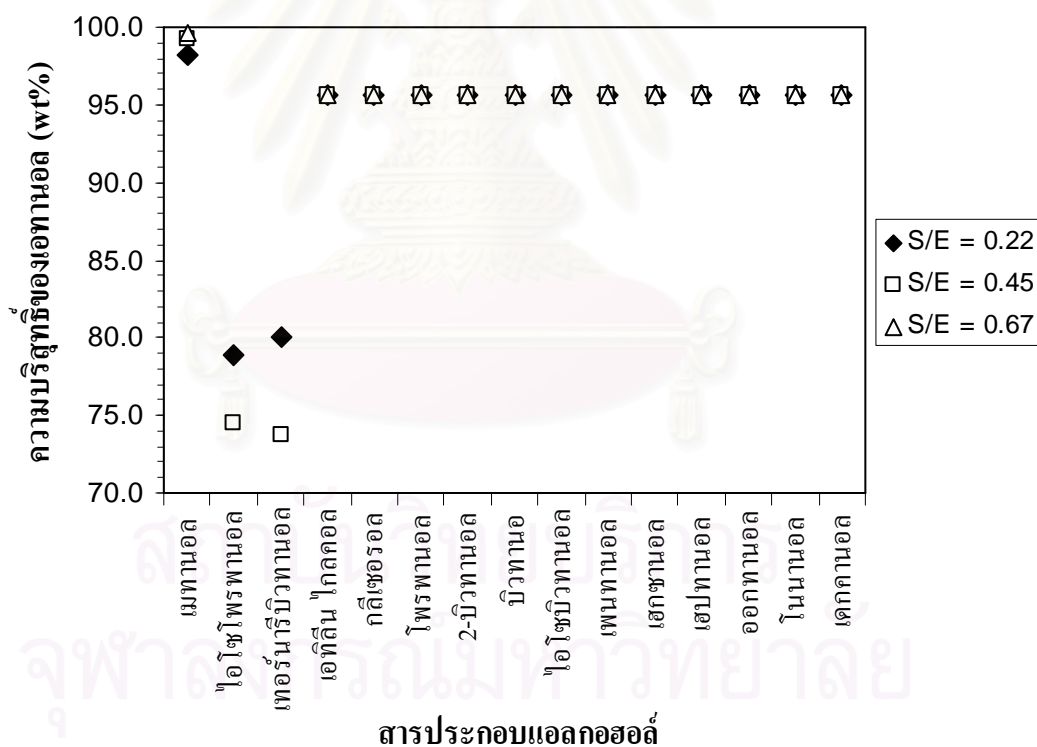
ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลายน้อยมาก โดยเอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอล เมื่อใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัดจนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัด เท่ากับ 0.001, 0.001 และ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

5.3 ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล

5.3.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้ เมทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล 2-บิวทานอล เทอร์นารีบิวทานอล บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล เดกคานอล เอทิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล เดิมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่เข้าสู่หอกลั่นแยกเอทานอลในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยใช้หอกลั่น 3 หอ

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อสมดุลไอ-ของเหลวของเอทานอลกับว่าจะสามารถกลั่นแยกเอทานอลและน้ำออกจากกันได้ให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล ดังต่อไปนี้



หมายเหตุ : S/E = สัดส่วนปริมาณตัวทำละลายต่อปริมาณเอทานอลที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล

รูปที่ 5.14 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์

กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล คือ เมทานอล เติมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่ ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เนื่องจากเมทานอลทำให้สมดุลไอ-ของเหลวระหว่างเอทานอลและน้ำเปลี่ยนแปลง โดยเมทานอลซึ่งมีจุดเดือดต่ำที่สุดในระบบจะกลายเป็นไอขึ้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอแทนที่ของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ ทำให้น้ำปนไปกับผลิตภัณฑ์ยอดหอน้อยลง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ยอดหอไปกลั่นแยกเมทานอลออกจากเอทานอลก็จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล เนื่องจากเมทานอลไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่กับเอทานอล ดังนั้น เมทานอล จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์

กรณีกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ ได้แก่ ไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล เติมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่ พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ทั้งนี้เนื่องจากไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล มีจุดเดือดใกล้กับเอทานอล และมีจุดเดือดสูงกว่าของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ จึงระเหยกลายเป็นไอขึ้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอได้ไม่ดีเท่าของผสมจุดเดือดคงที่ของเอทานอลกับน้ำ จึงไม่สามารถกลั่นแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ยอดหอ ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลหลังจากกลั่นแยกเอาสารประกอบแอลกอฮอล์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้น ไอโซโพรพานอล และ เทอร์นารีบิวทานอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์

กรณีกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ ได้แก่ โพรพานอล และ 2-บิวทานอล เติมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่ พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากโพรพานอล และ 2-บิวทานอลมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำและมีจุดเดือดใกล้กับน้ำ ประกอบกับความในการละลายน้ำไม่ดีพอที่จะดึงน้ำออกมาจากของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลกับน้ำ จึงไม่สามารถดึงน้ำออกไปกับผลิตภัณฑ์ก้นหอได้ ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ได้ตามต้องการ ดังนั้น โพรพานอล และ 2-บิวทานอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์

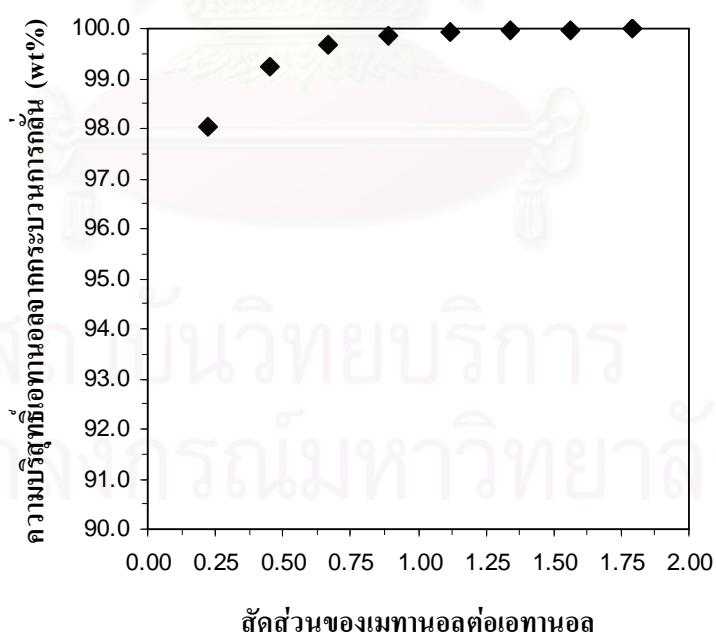
กรณีกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ ได้แก่ บิวทานอล ไอโซบิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนนานอล และ เดคานอล เติมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่ พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบแอลกอฮอล์ในกลุ่มนี้มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ และความสามารถในละลายน้ำจะน้อยลงเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลเพิ่มขึ้น จึงไม่สามารถดึงน้ำออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอพร้อมกับตัวทำละลายได้ ดังนั้น บิวทานอล ไอโซบิวทา

นอล เพทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล ออกทานอล โนแนนอล และ เดคานอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์

กรณีกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ เอซิลีน ไกลคอล และ กลีเซอรอล เดิมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนของผสมจุดเดือดคงที่ พบว่าไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ทั้งนี้เนื่องจาก เอซิลีน ไกลคอล และกลีเซอรอล มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำมาก จึงไม่สามารถรบกวนสมดุลไอ-ของเหลวของเอทานอลและน้ำ จึงไม่สามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ดังนั้น เอซิลีน ไกลคอล และ กลีเซอรอล จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยในการกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์

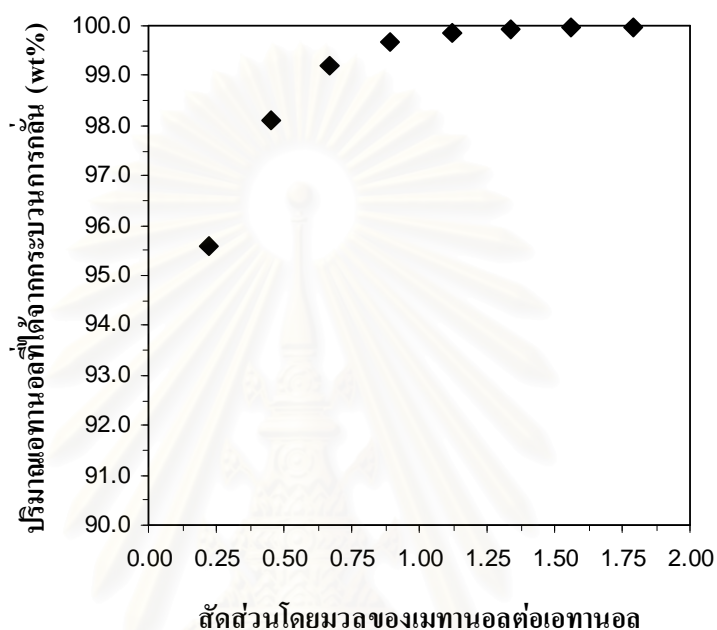
สรุปผลการศึกษากระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบแอลกอฮอล์ พบว่าเมทานอลสามารถทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล เป็นการศึกษาความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น หลังจากกลั่นแยกเมทานอลออกจากเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล โดยสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 0.67 ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล

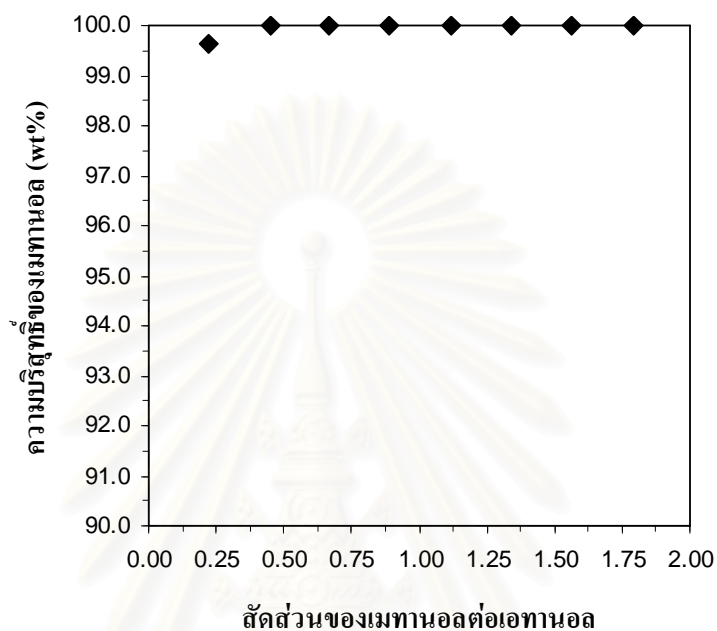
- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล เป็นการศึกษ ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น หลังจากกลั่นแยกเมทานอลออกจากเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล โดยสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 0.67 ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอล

ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอลมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลที่กลั่นแยกได้ เท่ากับ 99.2 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล

- ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น โดยใช้หอกลั่น 3 หอ เนื่องจากต้องนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล

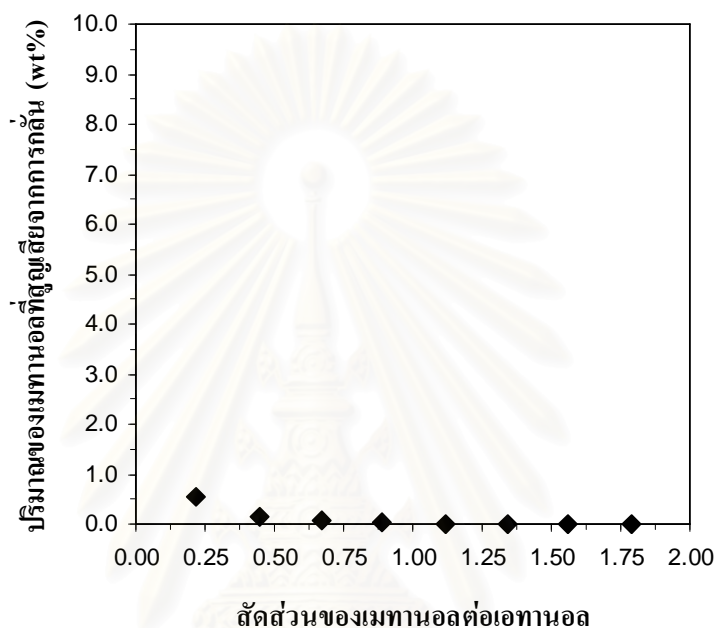


รูปที่ 5.17 แสดงความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล

ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ เนื่องจากต้องนำเมทานอลกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณของตัวทำละลายที่จะต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่นเอทานอล



รูปที่ 5.18 แสดงปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล

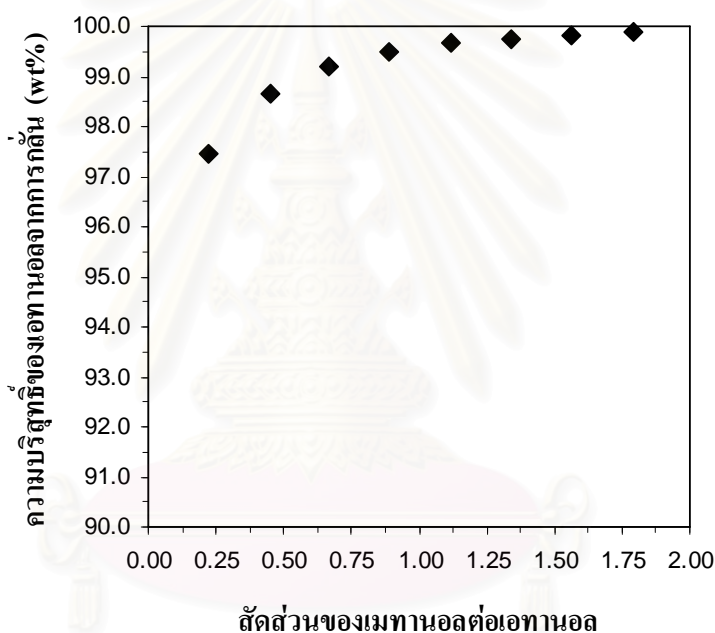
ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เท่ากับ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

ศูนย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้เมทานอลในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยใช้หอกลิ้นเพียง 2 หอ คือ หอกลิ้นแยกเอทานอล (หอกลิ้นเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำร่วมกับหอกลิ้น-สกัดเอทานอล) และหอกลิ้นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดจำนวนหอกลิ้น อุปกรณ์ควบแน่น และหม้อต้มที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล

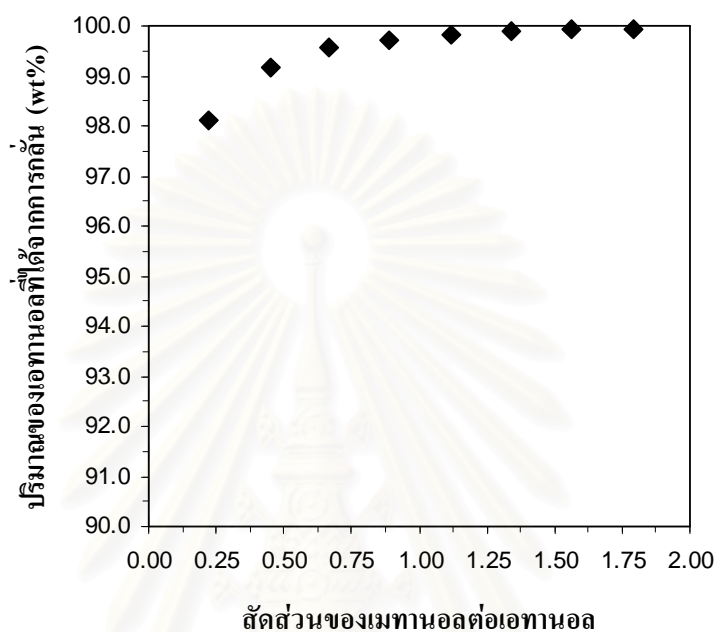
- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาผลของเมทานอลต่อความบริสุทธิ์ของเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.19 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยเมทานอล

ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการโดยใช้เมทานอลจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยสัดส่วนของเมทานอลที่ใช้ เท่ากับ 0.89 ดังรูปที่ 5.19

- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น หลังจากกลั่นแยกเมทานอลออกจากเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล ดังต่อไปนี้

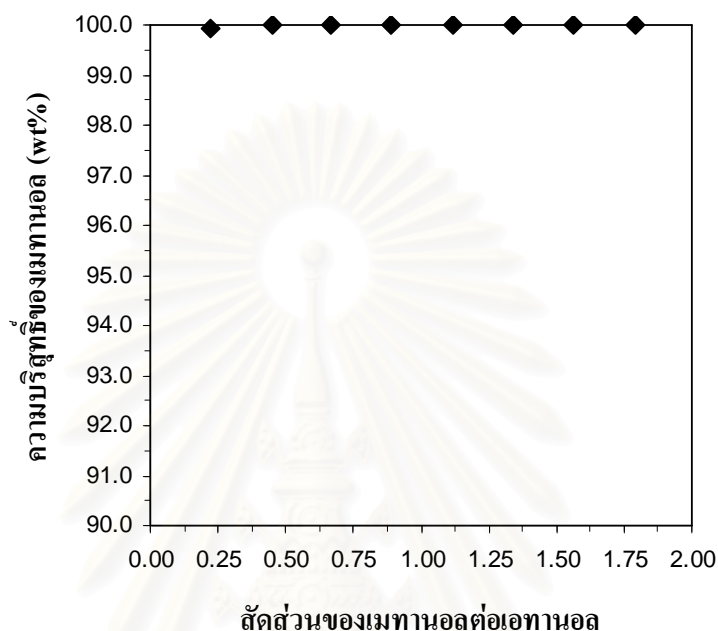


รูปที่ 5.20 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยเมทานอล

ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเมทานอลมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลที่กลั่นแยกได้ เท่ากับ 99.7 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น โดยใช้หอกกลั่น 2 หอ เนื่องจากต้องนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล

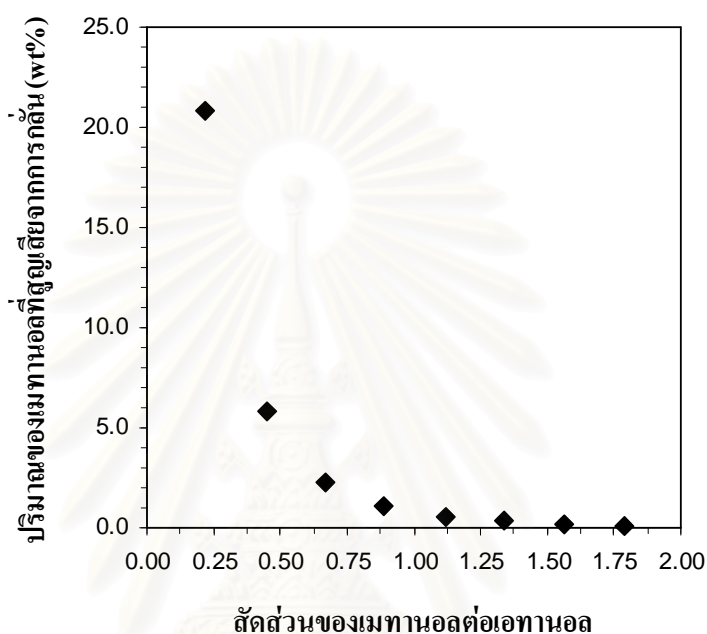


รูปที่ 5.21 แสดงความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น

ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ข้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกกลั่น 2 หอ เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ เนื่องจากต้องนำเมทานอลกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณของตัวทำละลายที่จะต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่นเอทานอล



รูปที่ 5.22 แสดงปริมาณของเมทานอลที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล

ปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เท่ากับ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

5.4 ผลของสารประกอบอื่น ๆ ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล

จากการศึกษาผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล พบว่าการเติมเมทานอลเข้าไปเป็นตัวทำละลายในกระบวนการกลั่น-สกัด และผสมกับสายป้อนทำให้สามารถกลั่นเอทานอลได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล (ความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์) จึงมีความสนใจที่จะศึกษาสารประกอบอื่น ๆ ที่มีสมบัติใกล้เคียงเมทานอล ได้แก่ มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล ไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบทั้งกับเอทานอลและน้ำ และไม่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบกับเอทานอลและน้ำว่าจะสามารถทำให้เอทานอลได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวลหรือไม่ จากการศึกษาสมบัติของสารประกอบอื่น ๆ พบว่ามีสารที่มีสมบัติเหมือนเมทานอล ดังนี้

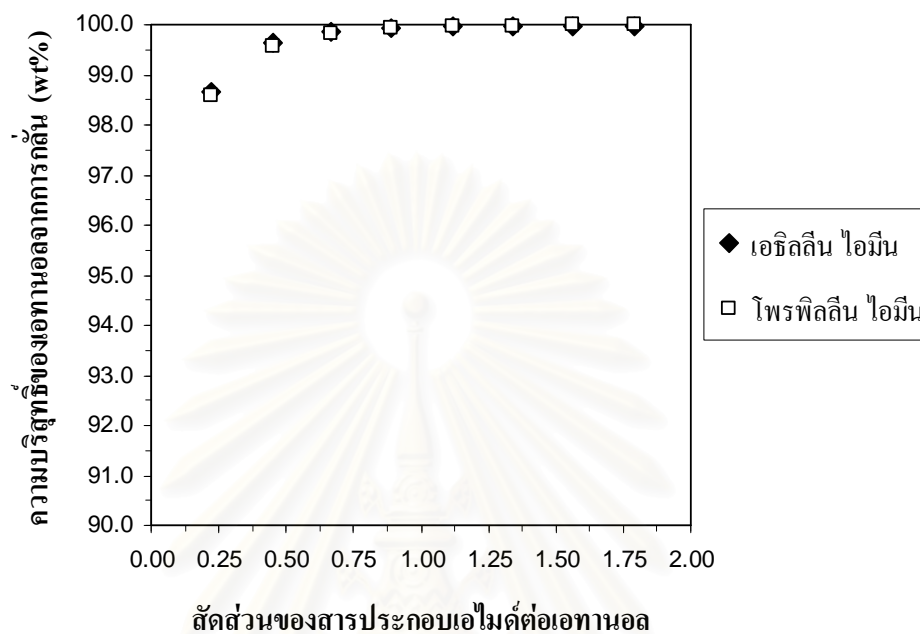
ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลของสารประกอบอื่น ๆ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับเมทานอล

สมบัติของสาร	เมทานอล	เอซิลีน ไอมีน	โพรพิลีน ไอมีน
สูตรโมเลกุล	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ N	C ₃ H ₇ N
น้ำหนักโมเลกุล	32.04	43.07	57.09
จุดเดือด(°C)	64.70	55.85	60.85
จุดหลอมเหลว(°C)	-97.68	-77.95	-44.15
การละลายน้ำ (ที่ 20 °C)	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เป็นของผสมเนื้อเดียว	เป็นของผสมเนื้อเดียว
ของผสมจุดเดือดคงที่กับเอทานอล	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ของผสมจุดเดือดคงที่กับน้ำ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

5.4.1 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

ผลการกลั่นเอทานอล โดยใช้สารประกอบเอไมด์ในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เมื่อเติมเข้าไปพร้อมกับสายป้อนเอทานอลที่ความเข้มข้นที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ โดยใช้หอกลั่น 3 หอ ได้แก่ หอกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้ได้ของผสมจุดเดือดคงที่ระหว่างเอทานอลและน้ำ หอกลั่นเอทานอล และหอกลั่นแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ แล้วทำการศึกษาความบริสุทธิ์และปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น ความบริสุทธิ์ของสารประกอบเอไมด์ที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น และปริมาณของสารประกอบเอไมด์ที่สูงสูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น ดังต่อไปนี้

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาผลของเอซิลตินไอมิน และ โพรพิลิตินไอมินต่อความบริสุทธิ์ของเอทานอล โดยใช้หอกถัน 3 หอ ดังต่อไปนี้

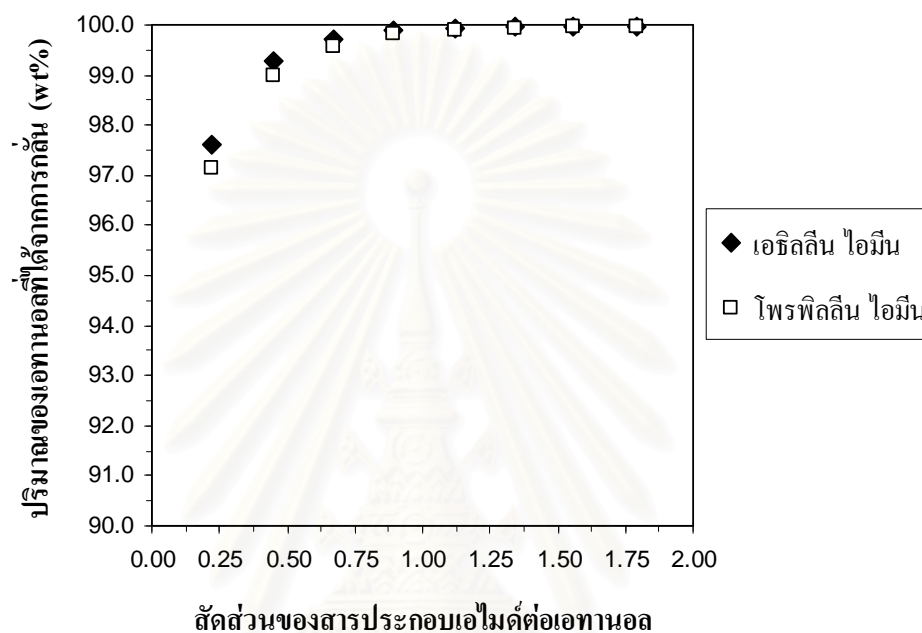


รูปที่ 5.23 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยสารประกอบเอไมด์

ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่นโดยใช้เอซิลตินไอมิน และ โพรพิลิตินไอมินจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเอซิลตินไอมิน และ โพรพิลิตินไอมินขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยสัดส่วนของเอซิลตินไอมิน และ โพรพิลิตินไอมินต่อเอทานอลที่ใช้ เท่ากับ 0.45 ดังรูปที่ 5.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

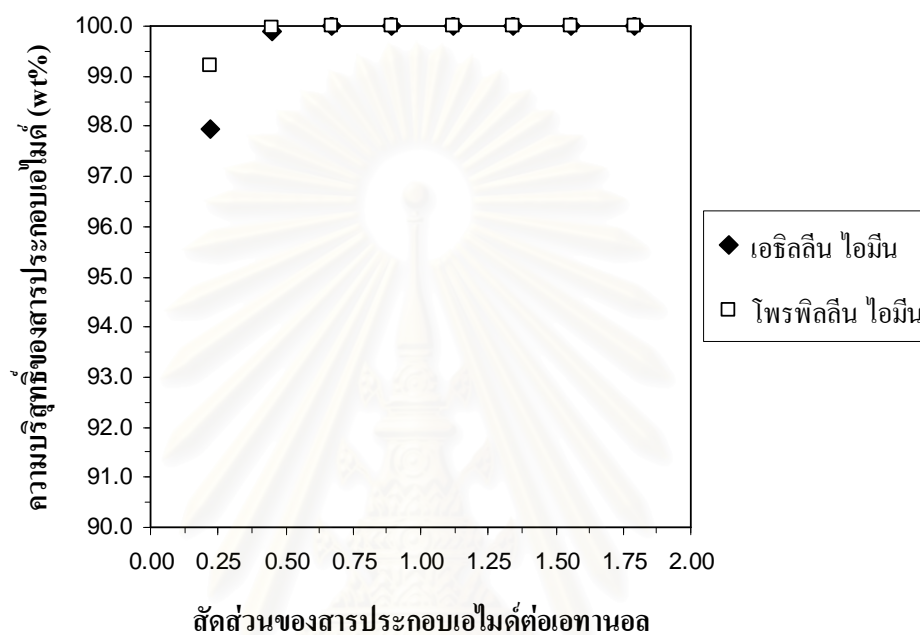
- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ เป็นการศึกษา ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น หลังจากกลั่นแยกเอซิลลินไอมิน และโพรพิลลินไอมินออกจากเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.24 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยสารประกอบเอไมด์

ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเอซิลลินไอมิน และโพรพิลลินไอมินมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลที่กลั่นแยกได้ เท่ากับ 99.3 และ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

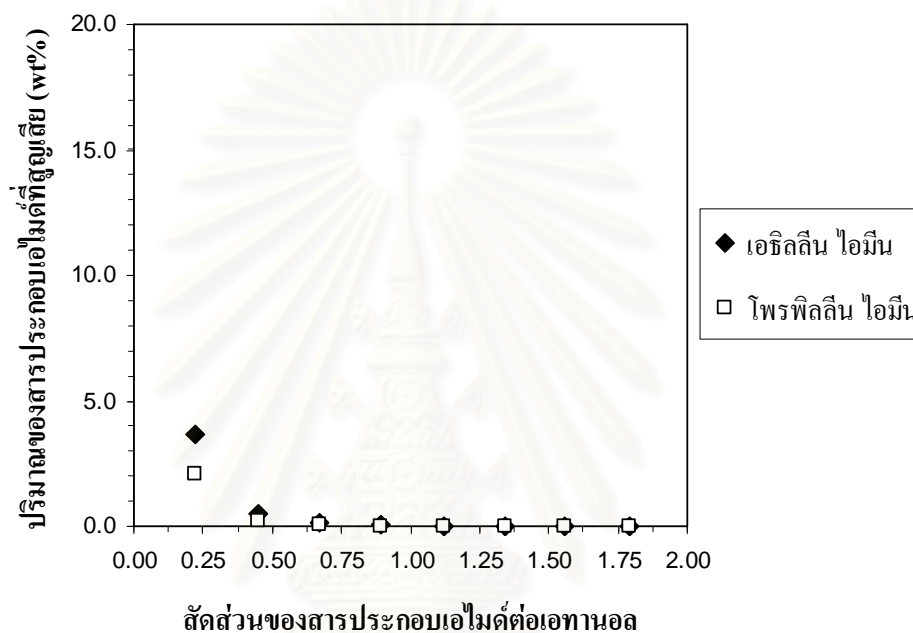
- ความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นโดยใช้หอกลั่น 3 หอ เนื่องจากต้องนำเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล



รูปที่ 5.25 แสดงความบริสุทธิ์ของสารประกอบเอไมด์ที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น

ความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เท่ากับ 99.89 และ 99.98 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

- ปริมาณของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ เนื่องจากต้องนำเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เพื่อจะได้กำหนดหาปริมาณของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่จะต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่นเอทานอล



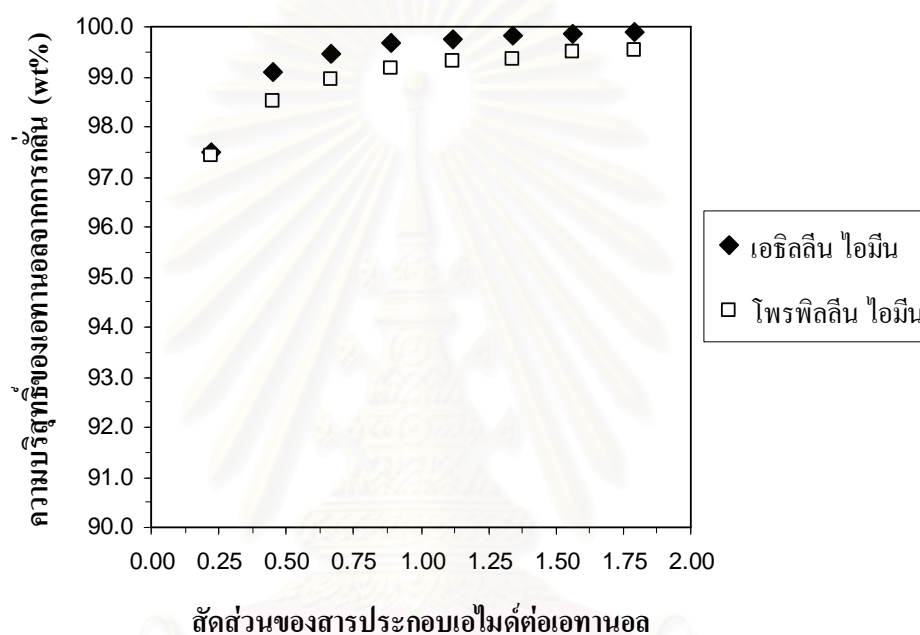
รูปที่ 5.26 แสดงปริมาณของสารประกอบเอไมด์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล

ปริมาณของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เท่ากับ 0.53 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

5.4.2 กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ

ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้สารประกอบเอไมด์เป็นตัวทำละลายในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยใช้หอกกลั่น 2 หอ ดังนี้

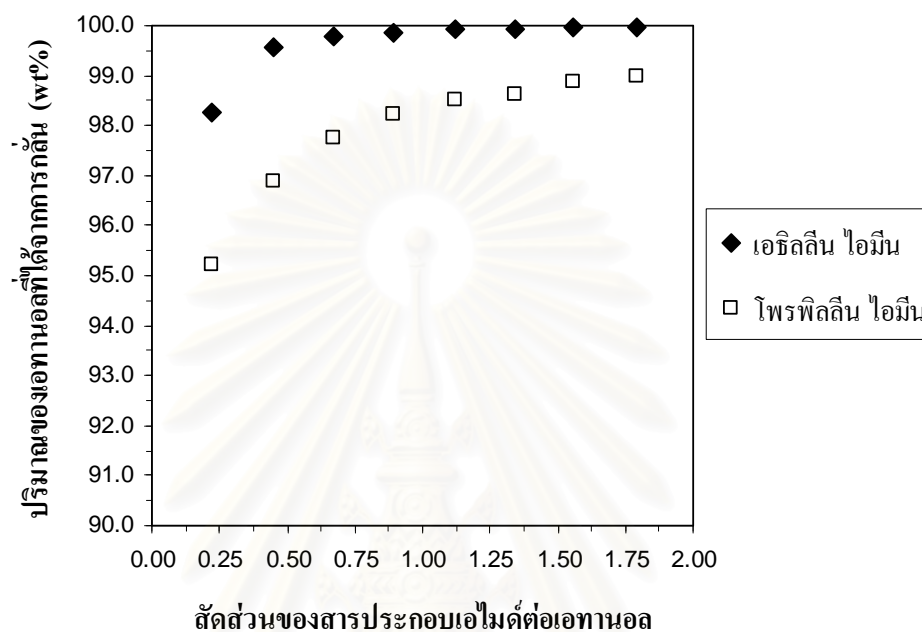
- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาผลของเอซิลลิน ไอมีน และโพรพิลลิน ไอมีนต่อความบริสุทธิ์ของเอทานอล เมื่อใช้หอกกลั่น 2 หอ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.27 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยสารประกอบเอไมด์

ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการโดยใช้อเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยสัดส่วนของเอซิลลินไอมีน และโพรพิลลินไอมีนต่อเอทานอลที่ใช้เท่ากับ 0.67 ดังรูปที่ 5.27

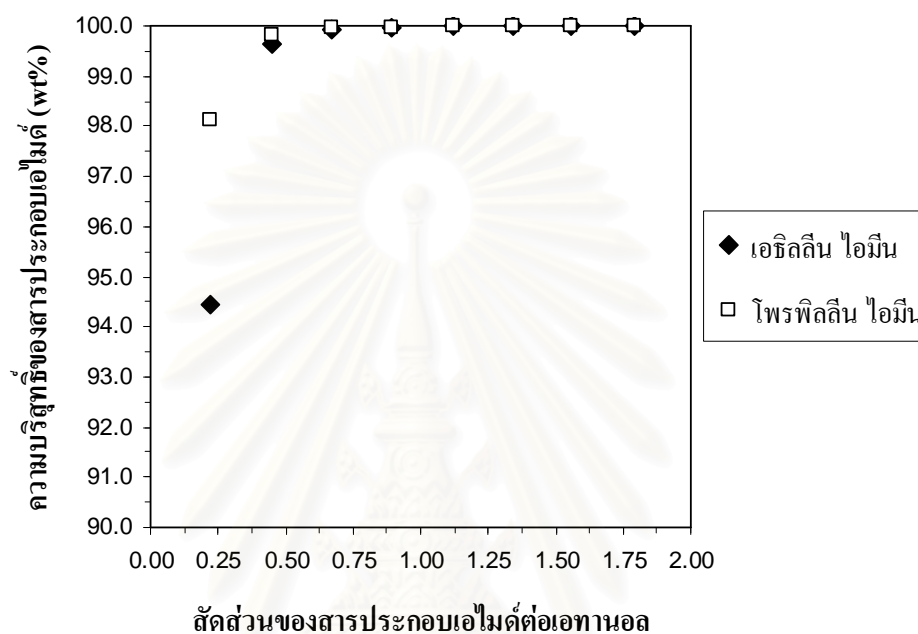
- ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น เป็นการศึกษาปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น หลังจากกลั่นแยกเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลีนไอมินออกจากเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.28 แสดงปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยใช้สารประกอบเอไมด์

ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นด้วยเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลีนไอมินมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเอทานอลขึ้นเรื่อย ๆ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) โดยปริมาณของเอทานอลที่กลั่นแยกได้ เท่ากับ 99.8 และ 97.7 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

- ความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ เนื่องจากต้องนำเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินกลับใช้ใหม่ใน กระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล

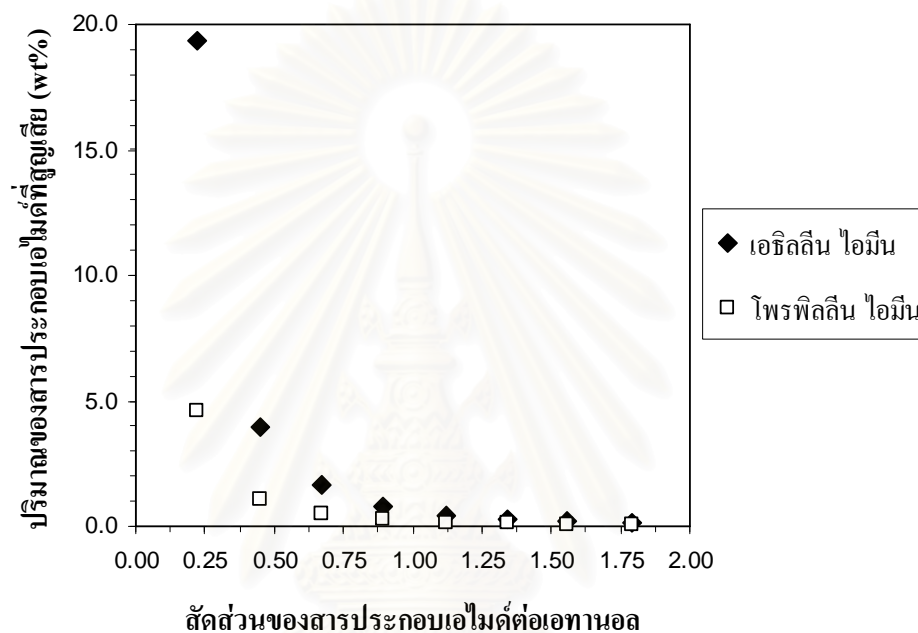


รูปที่ 5.29 แสดงความบริสุทธิ์ของสารประกอบเอไมด์ที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่น

ความบริสุทธิ์ของเอซิลลินไอมิน และ โพรพิลลินไอมินที่ย้อนกลับสู่กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) เท่ากับ 99.91 และ 99.95 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ปริมาณของเอซิลลินไอมีน และ โพรพิลลินไอมีนที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น โดยใช้หอกกลั่น 2 หอ เนื่องจากต้องนำเอซิลลินไอมีน และ โพรพิลลินไอมีนกลับใช้ใหม่ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงต้องมีการพิจารณาปริมาณของเอซิลลินไอมีน และ โพรพิลลินไอมีนที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณของเอซิลลินไอมีน และ โพรพิลลินไอมีนที่ต้องชดเชยเข้าไปในกระบวนการกลั่นเอทานอล



รูปที่ 5.30 แสดงปริมาณของสารประกอบเอไมด์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล

ปริมาณของเอซิลลินไอมีน และ โพรพิลลินไอมีนที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น เท่ากับ 1.65 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

5.5 ผลการประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล

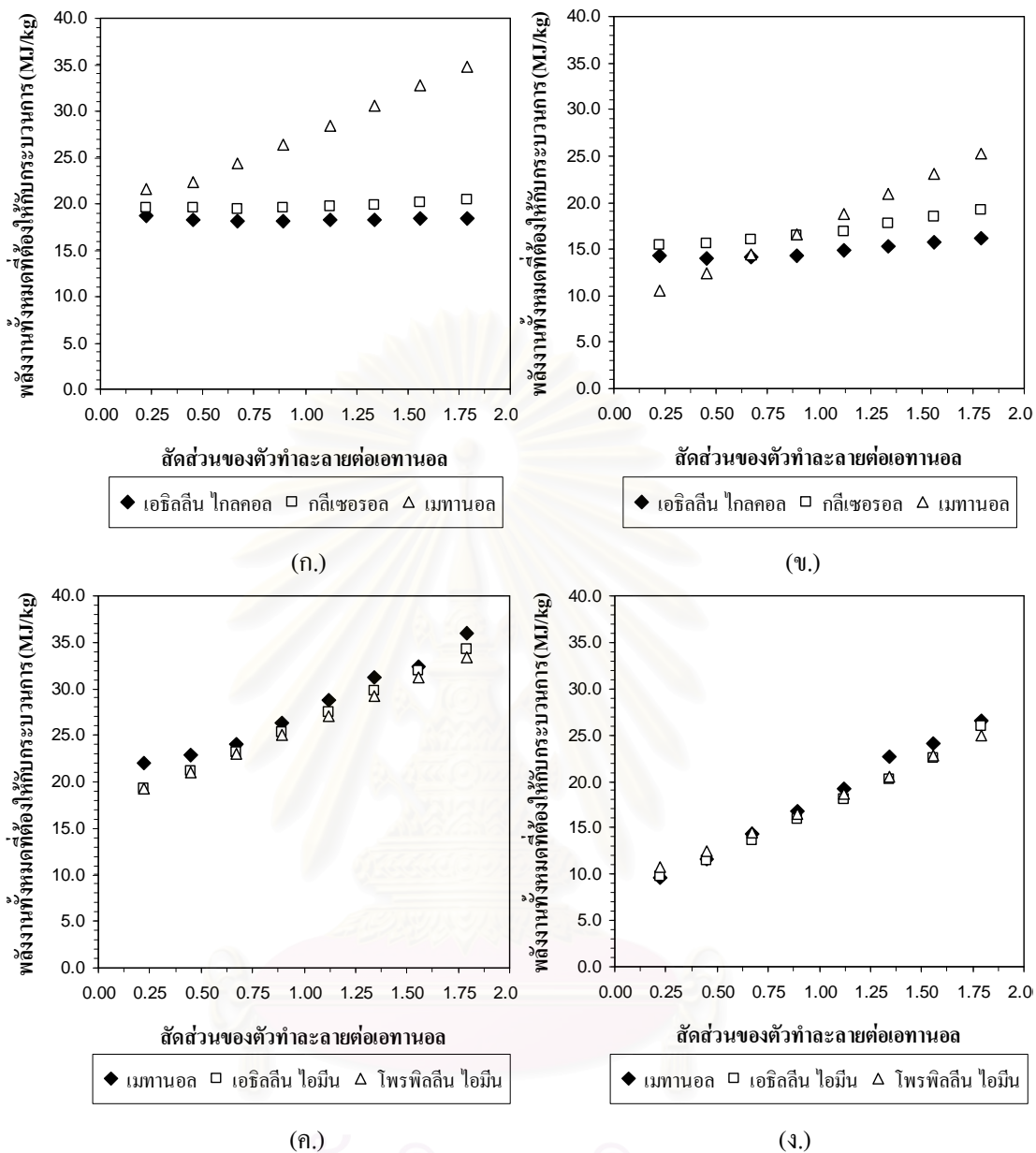
จากการจำลองกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลนั้นมีพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการหลัก ๆ ประกอบด้วย พลังงานสำหรับหม้อต้ม และพลังงานสำหรับการควบแน่นของหอกั่น เป็นต้น โดยพลังงานสำหรับกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พลังงานที่ต้องให้กับกระบวนการกลั่น และ พลังงานที่ต้องดึงออกจากกระบวนการกลั่น สำหรับการประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะพิจารณาพลังงานที่จะต้องให้กับกระบวนการกลั่นจะพิจารณาพลังงานที่ให้ ณ หม้อต้มของหอกั่น และพลังงานที่ต้องดึงออกจากกระบวนการกลั่นจะพิจารณาพลังงานที่ออกจากการควบแน่น ณ คอนเดนเซอร์ของหอกั่น

5.5.1 พลังงานที่ต้องให้กับกระบวนการ

การประเมินการใช้พลังงานทั้งหมดสำหรับกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล พลังงานที่ต้องให้กระบวนการ คือ พลังงานที่ให้กับหอกั่น ณ หม้อต้มของหอกั่น (สามารถดูแผนผังกระบวนการผลิตได้จากบทที่ 3) ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- พลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กับกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล คือ ผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กระบวนการไม่ว่าจะใช้หอกั่น 3 หอ หรือใช้หอกั่น 2 หอในกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล ซึ่งใช้ปริมาณตัวทำละลายหรือสารเติมลงไปเพื่อช่วยในการกลั่นมากเท่าใด พลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กับกระบวนการจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.31

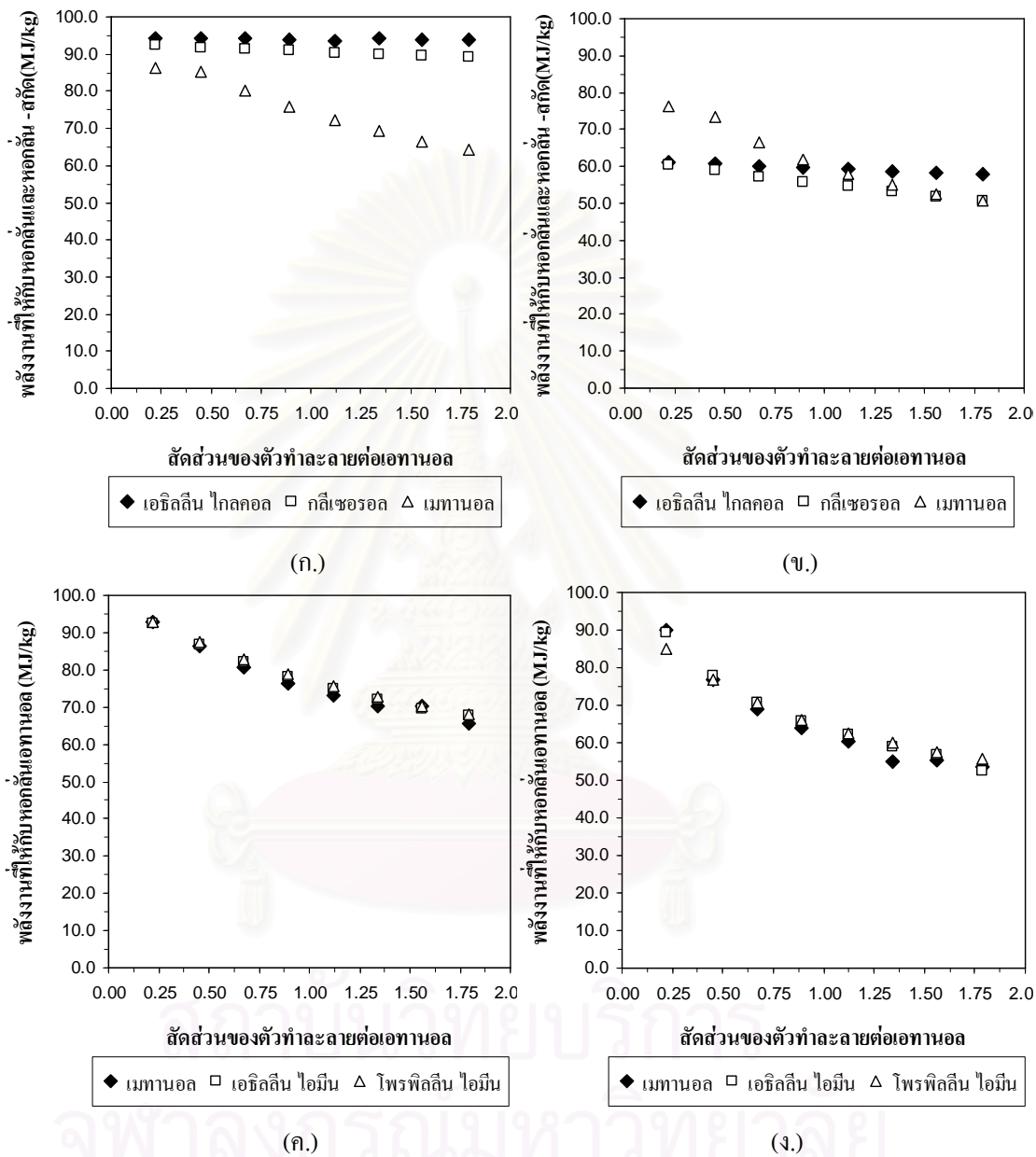
พลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กับกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล และกระบวนการกลั่นเอทานอล เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สำหรับกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้หอกั่น 3 หอ เมื่อใช้เอซิลลิน ไกลคอล กลีเซอรอล และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 18.05, 20.43 และ 32.69 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ส่วนกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้หอกั่น 2 หอ เมื่อใช้เอซิลลิน ไกลคอล กลีเซอรอล และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 14.11, 18.45 และ 22.11 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ พลังงานทั้งหมดที่ต้องให้กับกระบวนการกลั่นเอทานอล สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกั่น 3 หอ เมื่อใช้เมทานอล เอซิลลินไอมีน และโพรพิลีนไอมีน เท่ากับ 24.08, 21.10 และ 21 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ส่วนกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกั่น 2 หอ เมื่อใช้เมทานอล เอซิลลินไอมีน และโพรพิลีนไอมีน เท่ากับ 16.78, 13.65 และ 22.81 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ



- ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ
- ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ
- ค. กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ
- ง. กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

รูปที่ 5.31 พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้กับกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล

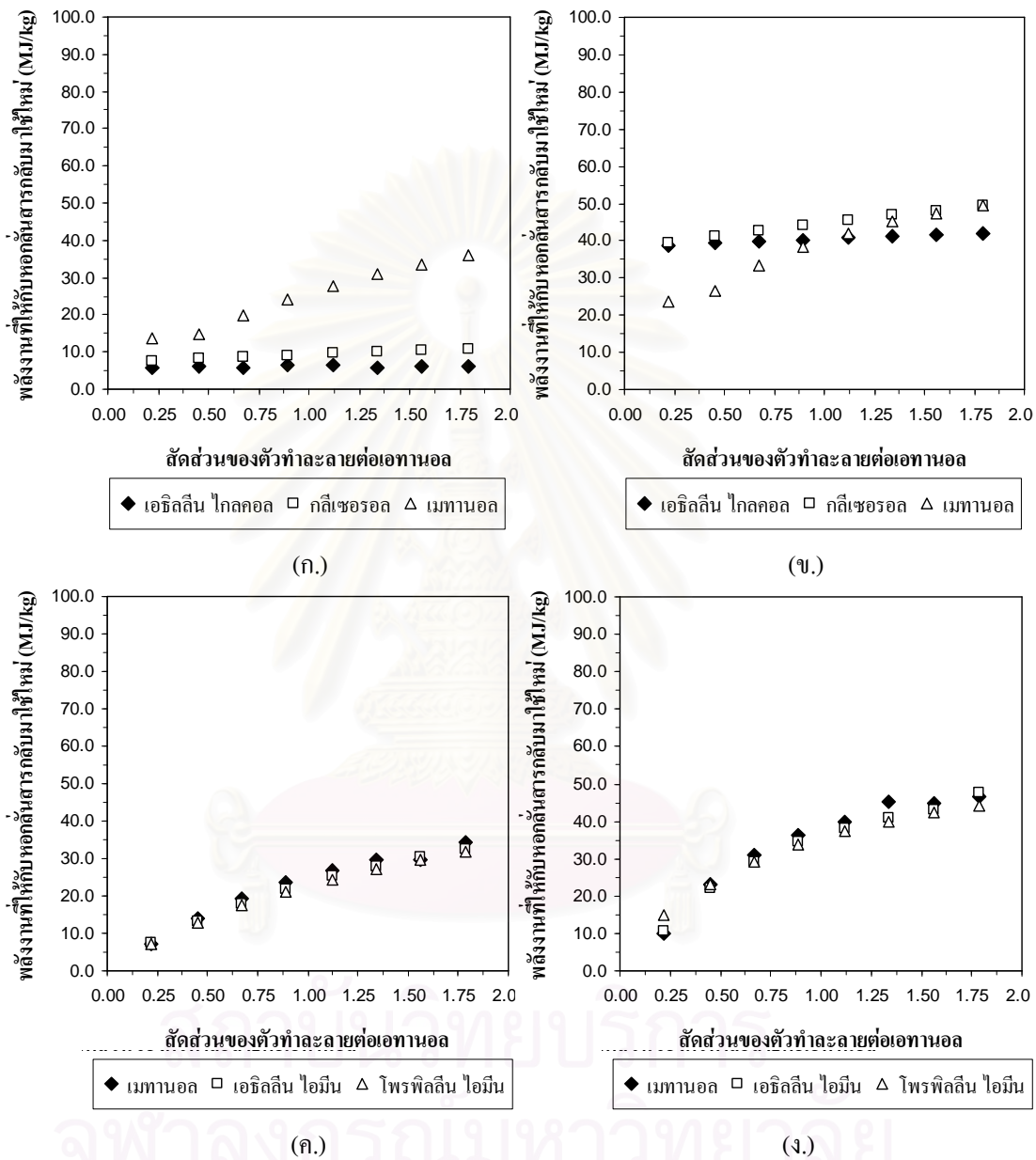
- พลังงานที่ต้องให้กับหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้นเอทานอล หอกลิ้น-สกัดเอทานอล ทั้งกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ และใช้หอกลิ้น 2 หอ



- ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ
- ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ
- ค. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ
- ง. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

รูปที่ 5.32 พลังงานที่ต้องให้กับหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้น และหอกลิ้นเอทานอล

- พลังงานที่ให้กับหอกลับแยกตัวทำละลาย หรือสารที่เติมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลับ 3 หอ และใช้หอกลับ 2 หอ



- ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลับ 3 หอ
- ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลับ 2 หอ
- ค. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลับ 3 หอ
- ง. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลับ 2 หอ

รูปที่ 5.33 พลังงานที่ต้องให้กับหอกลับแยกตัวทำละลาย และสารที่เติมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

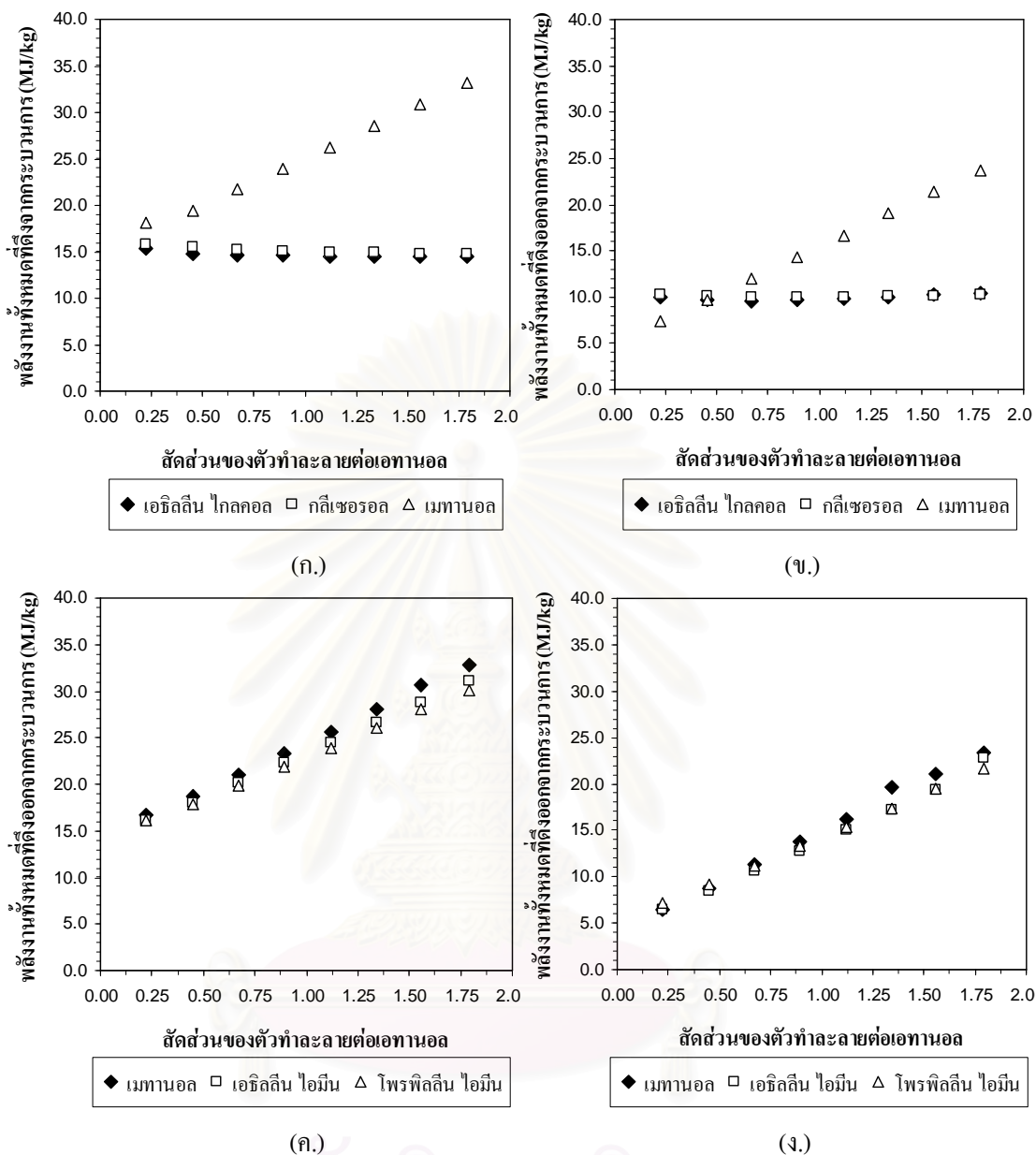
กระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ ซึ่งทำให้ทราบว่าขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของหอกลิ้นแยกสารที่เดิมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ มีขนาดเท่ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของหอกลิ้นแยกสารที่เดิมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

5.5.2 พลังงานที่ต้องดึงออกจากกระบวนการ

การประเมินการใช้พลังงานทั้งหมดสำหรับกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล พลังงานที่ดึงออกจากกระบวนการ คือ พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้น ณ หอควบแน่นของหอกลิ้น (สามารถดูแผนผังกระบวนการผลิตได้จากบทที่ 3) ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- พลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล คือ ผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการไม่ว่าจะใช้หอกลิ้น 3 หอ หรือใช้หอกลิ้น 2 หอในกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล ซึ่งใช้ปริมาณตัวทำละลายหรือสารเดิมลงไปเพื่อช่วยในการกลั่นมากเท่าใด พลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.34

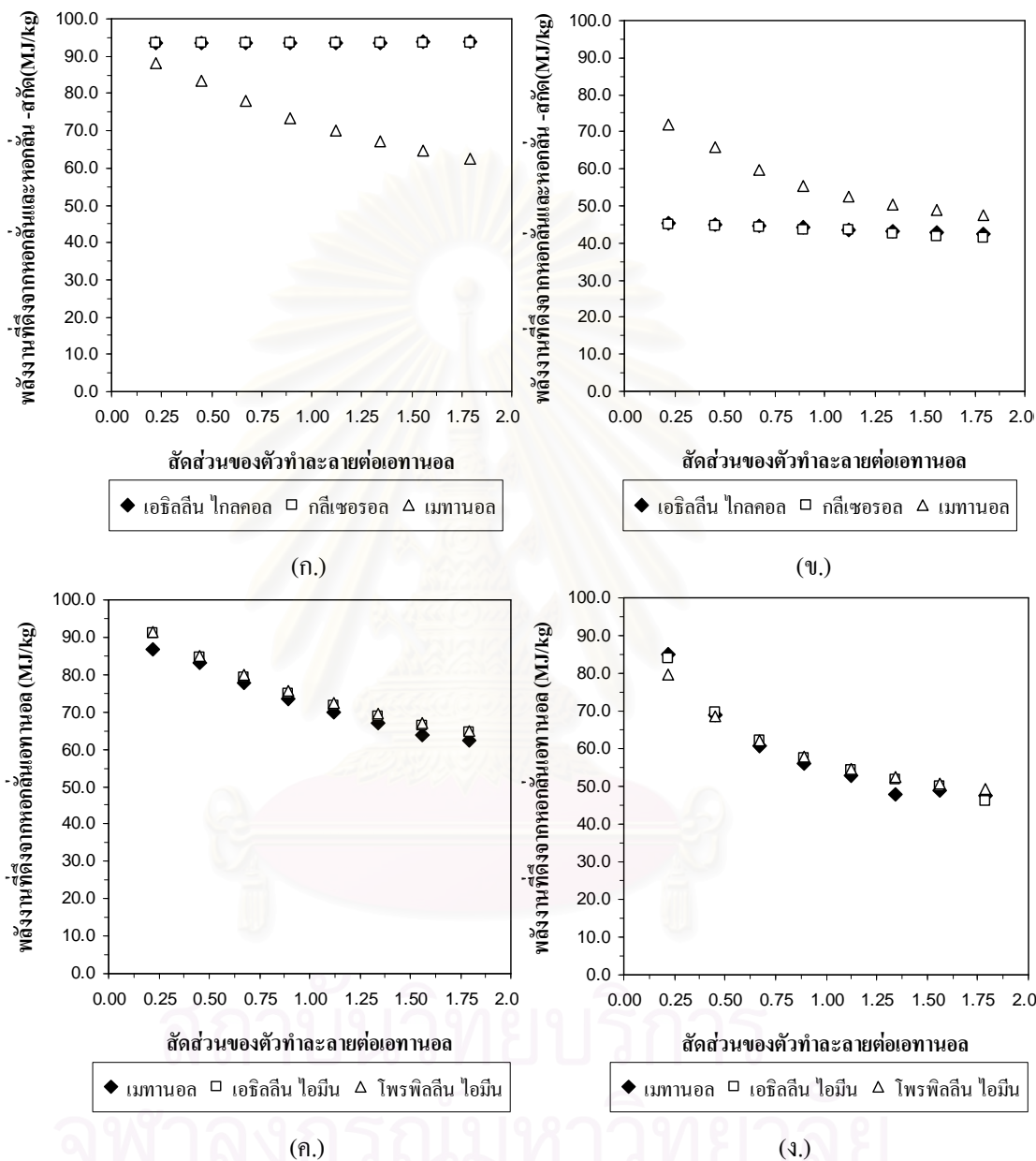
พลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล และกระบวนการกลั่นเอทานอล เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) สำหรับกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้หอกลิ้น 3 หอ เมื่อใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 14.66, 14.78 และ 30.84 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ส่วนกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลที่ใช้หอกลิ้น 2 หอ เมื่อใช้เอธิลีน ไกลคอล กลีเซอรอล และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 9.56, 10.17 และ 21.34 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ พลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการกลั่นเอทานอล สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ เมื่อใช้เมทานอล เอธิลีนไอมิน และโพรพิลีนไอมิน เท่ากับ 20.97, 18.01 และ 17.88 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ส่วนกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ เมื่อใช้เมทานอล เอธิลีนไอมิน และโพรพิลีนไอมิน เท่ากับ 13.74, 10.62 และ 19.57 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของเอทานอลผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ



- ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ
- ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ
- ค. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ
- ง. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ

รูปที่ 5.34 พลังงานทั้งหมดที่ได้ออกจากระบวนการกลั่นเอทานอล

- พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้นเอทานอล หอกลิ้น-สกัดเอทานอล ทั้งกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ และใช้หอกลิ้น 2 หอ



ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

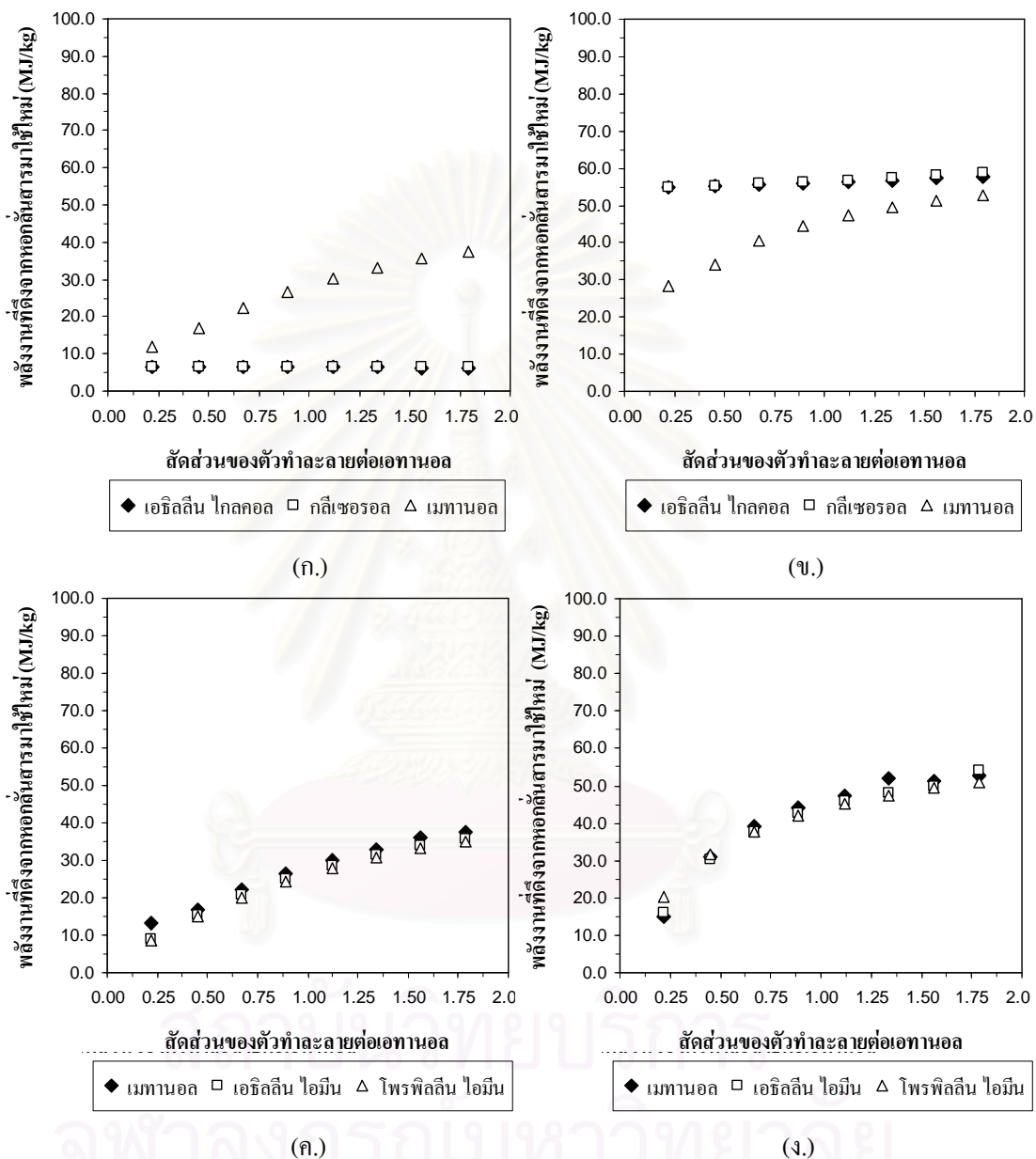
ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

ค. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

ง. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

รูปที่ 5.35 พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นเพิ่มความเข้มข้น และหอกลิ้นเอทานอล

- พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นแยกตัวทำละลาย หรือสารที่ใช้เดิมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ และใช้หอกลิ้น 2 หอ



ก. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

ข. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

ค. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

ง. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลิ้น 2 หอ

รูปที่ 5.36 พลังงานที่ดึงออกจากหอกลิ้นแยกตัวทำละลาย และสารที่เดิมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่ดึงออกจากกระบวนการกลั่นเอทานอลทั้งกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ ซึ่งทำให้ทราบว่าขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของหอกกลั่นแยกสารที่เดิมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 3 หอ มีขนาดเท่ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของหอกกลั่นแยกสารที่เดิมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกกลั่น 2 หอ

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์

กระบวนการ	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการ (kJ/kg)	
	จากการคำนวณ	จากงานวิจัยอื่น
พลังงานที่ใช้ในอุดมคติ (Ideal work)	1,365	-
กลั่น-สกัดด้วยเอทิลีน ไกลคอล ใช้หอกกลั่น 3 หอ	3,376	2,018 [2]
กลั่น-สกัดด้วยเอทิลีน ไกลคอล ใช้หอกกลั่น 2 หอ	3,556	-
กลั่น-สกัดด้วยกลีเซอรอล ใช้หอกกลั่น 3 หอ	3,229	1,473 [3]
กลั่น-สกัดด้วยกลีเซอรอล ใช้หอกกลั่น 2 หอ	3,346	-
กลั่นด้วยเมทานอล ใช้หอกกลั่น 3 หอ	3,510	-
กลั่นด้วยเมทานอล ใช้หอกกลั่น 2 หอ	3,046	-
กลั่นด้วยเอทิลีนไอมิน ใช้หอกกลั่น 3 หอ	3,494	-
กลั่นด้วยเอทิลีนไอมิน ใช้หอกกลั่น 2 หอ	3,053	-
กลั่นด้วยโพรพิลีนไอมิน ใช้หอกกลั่น 3 หอ	3,513	-
กลั่นด้วยโพรพิลีนไอมิน ใช้หอกกลั่น 2 หอ	3,119	-
Azeotropic Distillation ด้วย Cyclohexane	-	4,853 [6]
กลั่น-สกัดด้วย Potassium acetate	-	9,270 [3]
กระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น	-	4,602 [3]

จากตารางที่ 5.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัดด้วยเอทิลีน ไกลคอล และกระบวนการกลั่น-สกัดด้วยกลีเซอรอล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ จากการคำนวณมีค่ามากกว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัดจากงานวิจัยอื่น แต่ใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการกลั่น Azeotropic โดยใช้ Cyclohexane กระบวนการกลั่น-สกัดโดย Potassium acetate และกระบวนการระเหยเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น โดยพลังงานที่ใช้ในอุดมคติต่ำสุด (Ideal work) ในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากเอทานอลที่มีความเข้มข้น 10 % โดยมวล จนได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 90 % โดยมวล ต้องใช้พลังงานทั้งหมด เท่ากับ 1,365 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเอทานอลผลิตภัณฑ์

การประมาณเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้ง-สกัดเอทานอลจากอัตรา
การไหลของไอกายในหอกกลิ้ง พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้ง-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง 3
หอก มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้ง-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง 2 หอก ประมาณ 1.5
เท่า และ เส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก มี
ขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งแยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 2
หอก ประมาณ 3 เท่า จำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล เท่ากับ 15
ขั้นตอนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้ง-สกัดเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก
เท่ากับ 20 ขั้นตอน ส่วนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้ง-สกัดเอทานอลโดย
ใช้หอกกลิ้ง 2 หอก เท่ากับ 35 ขั้นตอน และจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งแยกตัวทำละลายเพื่อนำ
กลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก เท่ากับ 18 ขั้นตอน ส่วนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้ง
แยกตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 2 หอก เท่ากับ 24 ขั้นตอน

การประมาณเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้งเอทานอลจากอัตราการไหล
ของไอกายในหอกกลิ้ง พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก มีขนาด
ใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง 2 หอก ประมาณ 1.25 เท่า และ
เส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งแยกสารที่เติมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก มี
ขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกกลิ้งแยกสารที่เติมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอก
กลิ้ง 2 หอก ประมาณ 1.2 เท่า จำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล
เท่ากับ 15 ขั้นตอนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้งเอทานอลโดยใช้หอกกลิ้ง
3 หอก เท่ากับ 33 ขั้นตอน ส่วนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งในกระบวนการกลิ้งเอทานอลโดย
ใช้หอก กลิ้ง 2 หอก เท่ากับ 35 ขั้นตอน และจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอกกลิ้งแยกสารที่เติมเข้าไป
เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 3 หอก เท่ากับ 80 ขั้นตอน ส่วนจำนวนขั้นตอนสมดุลของหอก
กลิ้งแยกสารที่เติมเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้หอกกลิ้ง 2 หอก เท่ากับ 85 ขั้นตอน

บทที่ 6

สรุปผลการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอล

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้เอซิลลิน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลิ้น 3 หอ ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษา น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ต่อปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในกระบวนการกลั่น-สกัด เอซิลลิน ไกลคอลจะใช้ปริมาณต่ำที่สุด รองลงมาก็คือ เมทานอล และกลีเซอรอล ตามลำดับ ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้ เอซิลลิน ไกลคอลมีค่าสูงสุด รองลงมาก็คือ เมทานอล และกลีเซอรอล ตามลำดับ และปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เมทานอล มีค่าสูงสุด รองลงมาก็คือ เอซิลลิน ไกลคอล และกลีเซอรอล ตามลำดับ

2. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอลโดยใช้เอซิลลิน ไกลคอล กลีเซอรอล และเมทานอลเป็นตัวทำละลาย และใช้หอกลิ้น 2 หอ ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษา น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ต่อปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในกระบวนการกลั่น-สกัด เอซิลลิน ไกลคอลจะใช้ปริมาณต่ำที่สุด รองลงมาก็คือ เมทานอล และกลีเซอรอล ซึ่งใช้ในปริมาณเท่ากัน ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น-สกัด โดยใช้เมทานอลมีค่าสูงสุด รองลงมาก็คือ เอซิลลิน ไกลคอล และกลีเซอรอล ตามลำดับ และปริมาณของตัวทำละลายที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้เมทานอลมีค่าสูงสุด แต่เอซิลลิน ไกลคอล และกลีเซอรอล ไม่มีการสูญเสียตัวทำละลายไปจากกระบวนการกลั่น-สกัดเลย

3. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้เมทานอล เอซิลลินไอมีน และโพรพิลีนไอมีน และใช้หอกลิ้น 3 หอ ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษา น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ปริมาณสารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้ต่อปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในกระบวนการกลั่น เอซิลลินไอมีน และโพรพิลีนไอมีนใช้ปริมาณต่ำที่สุด รองลงมาก็คือ เมทานอล ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยใช้ เอซิลลินไอมีนมีค่าสูงสุด รองลงมาก็คือ เมทานอล และโพรพิลีนไอมีน ตามลำดับ และปริมาณของสารประกอบแอลกอฮอล์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นโดยใช้เอซิลลินไอมีนมีค่าสูงสุด รองลงมาก็คือ เมทานอล และโพรพิลีนไอมีน ตามลำดับ

4. กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้เมทานอล เอซิลลินไอมีน และโพรพิลีนไอมีน และใช้หอกลิ้น 2 หอ ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษา น้ำมันแก๊สโซฮอล์

(ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล) ปริมาณสารประกอบแอลกอฮอล์ที่ใช้ต่อปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในกระบวนการกลั่น เอซิลลินไอมิน และโพรพิลีนไอมินใช้ปริมาณต่ำที่สุด รองลงมาคือ เมทานอล ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยใช้ เอซิลลินไอมินมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เมทานอล และโพรพิลีนไอมิน ตามลำดับ และปริมาณของสารประกอบแอลกอฮอล์ที่สูญเสียไปจากกระบวนการกลั่นโดยใช้เอซิลลินไอมินมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เมทานอล และโพรพิลีนไอมิน ตามลำดับ

5. กระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ ใช้พลังงานในการกลั่นเอทานอลน้อยกว่ากระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 3 หอ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตามราชกิจจานุเบกษาน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ความบริสุทธิ์ของเอทานอลไม่ต่ำกว่า 99.4 % โดยมวล)

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้เป็นการจำลองกระบวนการ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของสารประกอบแอลกอฮอล์สำหรับการเติมในกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล ดังนั้น จึงควรมีการทดลองกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล เพื่อยืนยันผลการจำลองกระบวนการ และใช้ประโยชน์ได้ในทางอุตสาหกรรม

2. กระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้หอกลั่น 2 หอ ช่วยลดจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกลั่น-สกัด และกระบวนการกลั่นเอทานอล แต่อาจทำให้รูปร่างหรือสถานะในการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนไปจากเดิม ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาในแง่จุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนไปในส่วนนี้ด้วย

3. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองกระบวนการกลั่นเอทานอลไม่สามารถตรวจพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ดังนั้น การเติมสารองค์ประกอบที่สามเพื่อให้เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบในกระบวนการกลั่นเอทานอลจึงไม่สามารถทำได้ และโปรแกรมจะมองว่าของผสมจุดเดือดคงที่เป็นสารบริสุทธิ์สารหนึ่งในระบบ จึงควรทำการทดลองในส่วนนี้เพื่อความถูกต้องของผลที่ได้จากการศึกษา

รายการอ้างอิง

1. สุธี อธิปัญญาพันธุ์. การจำลองกระบวนการสกัดเอทานอลออกจากสารละลายในน้ำด้วยไฮโดรคาร์บอนผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
2. I.D. Gil, A.M. Uyazan, J.L. Aguilar, G. Rodriguez and L.A. Caicedo. Simulation of Ethanol Extractive Distillation with a Glycols Mixture as Entrainer. Enpromer Costa Verd RJ Brasil (2001) : 1-12.
3. I.D. Gil, A.M. Uyazan, J.L. Aguilar, G. Rodriguez and L.A. Caicedo. Producing fuel alcohol by extractive distillation: Simulating the process with glycerol. Revista Ingenieria Investigacion 26 (2006) : 45–50.
4. Jose Manuel Goenaga, Rafael Gonzalez-Olmos, Miguel Iglesias and Jose Mara Resa. Measurement and Modelling of phase equilibria for ethanol+water+1-pentanol. Korean J. Chem. Eng 23 (2006) : 631-637.
5. Vicente Gomis, Alicia Font, Maria Dolores Saquete. Vapour-liquid-liquid and vapour-liquid equilibrium of the system water + ethanol + heptane at 101.3 kPa. Fluid Phase Equilibria 248 (2006) : 206–210.
6. V. Gomis, A. Font, R. Pedraza and M.D. Saquete. Isobaric vapor-liquid and vapor-liquid-liquid equilibrium data for the system water + ethanol + cyclohexane. Fluid Phase Equilibria 235 (2007) : 7–10.
7. Magdalena Dominguez , Ana M. Mainar , Juan Pardo, Jesus Santafe and Jose S. Urieta. . Experimental data, correlation and prediction of isobaric VLE for the ternary mixture (2-butanol + n-hexane + 1-chlorobutane) at 101.3 kPa. Fluid Phase Equilibria 184 (2003) : 179–188.
8. M. Iglesias, S. Mattedi, M. C. Santana and N. A. Carvalho-Santos. Fluid phase topology of ethanol-benzene-cyclohexane at 101.3 kPa. Physics and Chemistry of Liquids 144 (2006) : 607–621.
9. Eva-Katrine Hilmen. Separation of Azeotropic Mixtures : Tools for Analysis and Studies on Batch Distillation Operation. Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering 54 (2000) : 30–37.

10. Ibert Mellan. Source Book of Industrial Solvents. Vol. 3. New York : Chapman & Hall, Ltd, 1959.
11. Kirk, R.E. and Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology. 3rd Edition. Vol.8. New York : Wiley, 1978.
12. Ullmann. Encyclopedia of Industrial Chemistry. Sixth Completely Revised Edition. Vol. 13. Weinheim : Wiley-VCH, 2003.
13. Robert H. Perry and Don W. Green. Perry's Chemical Engineers' Handbook. Sixth Edition. New York : McGraw-Hill, 1984.
14. Doherty, M.F. and J.F. Knapp. Distillation, Azeotropic and Extractive. Fourth edition. Vol. 8. New York : McGraw-Hill, 1993.
15. Doherty, M. F. and Malone, M. F. Conceptual Design of Distillation Systems. Fourth edition. Vol. 8. New York : McGraw Hill, 2001.
16. J.D.Seader and Ernest J. Henley. Separation Process Principles. Second edition. Asia : John Wiley & Sons, 2006.
17. David R.Lide. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 85 th Edition. New York : CRC Press, 2004.
18. David R.Lide. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 75 th Edition. London : CRC Press, 1994.
19. A. Guvenc, U. Mehmetoglu and A. CALIMLI. Supercritical CO2 Extraction of Ethanol. Turk J Chem 23 (1999) : 285-291.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก : ข้อมูลการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีผู้รายงานเอาไว้ [10] [13] [17] [18]

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบที่มีผู้รายงานเอาไว้

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
1	water	Acrylonitrile	70.6
	0.143	0.857	
2	water	Allyl acetate	83.0
	0.167	0.833	
3	water	Allyl cyanide	89.4
	0.340	0.660	
4	water	Benzene	69.4
	0.089	0.911	
5	water	1-Butanol	93.0
	0.445	0.555	
6	water	Butyl acetate	90.7
	0.271	0.729	
7	water	Butyl acrylate	94.3
	0.380	0.620	
8	water	Butyl aniline	99.8
	0.944	0.056	
9	water	Butyl butyrate	97.9
	0.530	0.470	
10	water	Butyl chloride	68.0
	0.070	0.930	
11	water	Butyronitrile	88.7
	0.325	0.675	
12	water	Carbon disulfide	43.6
	0.020	0.980	
13	water	Carbon tetrachloride	66.8
	0.041	0.959	
14	water	Chloroform	56.3
	0.030	0.970	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของ ผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
15	water	Cyclohexane	69.8
	0.085	0.915	
16	water	Cyclopentanone	93.5
	0.420	0.580	
17	water	Diisobutyl ketone	97.0
	0.519	0.481	
18	water	Diisobutylene	82.0
	0.120	0.880	
19	water	Dipropyl ketone	94.3
	0.405	0.595	
20	water	Epichlorohydrin	88.5
	0.260	0.740	
21	water	Ethyl acetate	70.4
	0.081	0.919	
22	water	Ethyl acrylate	81.0
	0.151	0.849	
23	water	N-Ethyl aniline	99.2
	0.839	0.161	
24	water	2-Ethyl hexanol	99.1
	0.800	0.200	
25	water	N-Heptane	79.2
	0.129	0.871	
26	water	Hexanoic acid	99.9
	0.921	0.079	
27	water	N-Hexanol	97.8
	0.672	0.328	
28	water	Hexyl acetate	97.4
	0.610	0.390	
29	water	Isobutyl alcohol	89.7
	0.300	0.700	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของ ผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
30	water	Isophorone	99.5
	0.839	0.161	
31	water	Isopropyl acetate	75.9
	0.111	0.889	
32	water	Isopropyl benzene	95.0
	0.438	0.562	
33	water	Isopropyl chloride	35.0
	0.010	0.990	
34	water	Isopropyl ether	62.2
	0.046	0.954	
35	water	Mesityl oxide	91.8
	0.347	0.653	
36	water	Methylene chloride	38.8
	0.010	0.990	
37	water	N-Nonane	95.0
	0.398	0.602	
38	water	Paraldehyde	90.8
	0.252	0.748	
39	water	N-Pentane	34.6
	0.014	0.986	
40	water	3-Pentanol	91.5
	0.350	0.650	
41	Methanol	Acetone	55.5
	0.120	0.880	
42	Methanol	Acrylonitrile	61.4
	0.613	0.387	
43	Methanol	Benzene	58.3
	0.395	0.605	
44	Methanol	1-Bromobutane	63.7
	0.590	0.410	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของ ผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
45	Methanol	2-Bromobutane	61.5
	0.415	0.585	
46	Methanol	Methyl acetate	53.8
	0.187	0.813	
47	Methanol	Ethyl acetate	62.3
	0.440	0.560	
48	Methanol	Carbon tetrachloride	55.7
	0.206	0.794	
49	Methanol	Chloroform	53.5
	0.130	0.870	
50	Methanol	Ethyl formate	51.0
	0.160	0.840	
51	Ethanol	Benzene	68.3
	0.324	0.676	
52	Ethanol	1-Bromobutane	75.0
	0.430	0.570	
53	Ethanol	2-Bromobutane	72.5
	0.330	0.670	
54	Ethanol	Chloroform	59.4
	0.070	0.930	
55	Ethanol	N-Pentane	34.3
	0.050	0.950	
56	Ethanol	N-Hexane	58.6
	0.210	0.790	
57	Ethanol	N-Heptane	70.9
	0.490	0.510	
58	Ethanol	N-Octane	77.0
	0.780	0.220	
59	N-Propanol	Acetal	92.4
	0.370	0.630	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของ ผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
60	N-Propanol	Benzene	77.1
	0.169	0.831	
61	N-Propanol	Water	87.7
	0.717	0.283	
62	N-Propanol	N-Hexane	65.7
	0.040	0.960	
63	N-Propanol	Butyl formate	93.2
	0.400	0.600	
64	N-Propanol	3-Pentanone	96.0
	0.630	0.370	
65	N-Propanol	Propyl acetate	94.2
	0.400	0.600	
66	N-Butanol	Acetal	101.0
	0.130	0.870	
67	N-Butanol	Butyl formate	105.8
	0.236	0.764	
68	N-Butanol	Cyclohexane	79.8
	0.100	0.900	
69	N-Butanol	N-Heptane	93.3
	0.180	0.820	
70	N-Butanol	3-Hexanone	117.2
	0.800	0.200	
71	N-Butanol	N-Octane	110.2
	0.500	0.500	
72	Isoamyl Alcohol	Butyl acetate	125.9
	0.175	0.825	
73	Isoamyl Alcohol	N-Octane	120.0
	0.350	0.650	
74	Isoamyl Alcohol	N-Heptane	97.7
	0.070	0.930	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สององค์ประกอบ		อุณหภูมิที่เกิดของ ผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
75	N-Hexanol	Styrene	144.0
	0.230	0.770	
76	N-Hexanol	Propylbenzene	152.5
	0.450	0.550	
77	N-Heptanol	Camphene	171.7
	0.100	0.900	
78	N-Heptanol	Phenetole	169.0
	0.280	0.720	
79	Ethylene glycol	Ethyl benzoate	186.1
	0.465	0.535	
80	N-Octanol	D-limonene	177.5
	0.080	0.920	
81	Ethanol	Acrylonitrile	70.8
	0.401	0.590	
82	Ethanol	Ethyl sulfide	72.6
	0.560	0.440	
83	Ethanol	Cyclopentane	44.7
	0.075	0.925	
84	Ethanol	Fluorobenzene	70.0
	0.750	0.250	
85	Ethanol	Propyl ether	74.4
	0.440	0.560	
86	Ethanol	Toluene	76.7
	0.680	0.320	
87	Ethanol	Water	78.15
	0.956	0.044	
88	Ethanol	Cyclohexane	64.8
	0.292	0.708	
89	Methanol	N-octane	62.75
	0.675	0.325	
90	Methanol	N-nonane	64.1
	0.834	0.166	

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลการเกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบที่มีผู้รายงานเอาไว้

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วน โดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ (°C)
1	Methanol	Acetone	Cyclohexane	51.1
	0.160	0.435	0.405	
2	Methanol	Acetone	Methyl acetate	53.7
	0.174	0.058	0.768	
3	Methanol	Carbon Disulfide	Bromoethane	33.9
	0.100	0.400	0.500	
4	Methanol	Carbon Disulfide	Methylal	35.6
	0.070	0.550	0.380	
5	Methanol	Chloroform	Acetone	47.0
	0.230	0.470	0.300	
6	Methanol	Methyl acetate	Cyclohexane	50.8
	0.178	0.486	0.336	
7	Methanol	Methyl acetate	N-Hexane	45.0
	0.140	0.270	0.590	
8	Methanol	Water	Methyl chloroacetate	67.9
	0.812	0.053	0.135	
9	Methanol	Water	Chloroform	52.6
	0.150	0.040	0.810	
10	Ethanol	Water	Acetal	77.8
	0.276	0.114	0.610	
11	Ethanol	Water	Benzene	64.9
	0.185	0.074	0.741	
12	Ethanol	Water	1-Bromopropane	60.0
	0.120	0.050	0.830	
13	Ethanol	Water	2-Bromopropane	43.3
	0.040	0.010	0.950	
14	Ethanol	Water	Carbon Disulfide	41.3
	0.950	0.016	0.034	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสม จุดเดือดคงที่ (°C)
15	Ethanol	Water	Chloroform	55.4
	0.040	0.035	0.925	
16	Ethanol	Water	Cyclohexene	64.1
	0.200	0.070	0.730	
17	Ethanol	Water	1,2-Dichloroethane	66.7
	0.170	0.050	0.780	
18	Ethanol	Water	Methylal	73.2
	0.177	0.128	0.695	
19	Ethanol	Water	Ethyl acetate	70.2
	0.084	0.090	0.826	
20	Ethanol	Water	Trichloroethylene	67.0
	0.161	0.055	0.784	
21	Ethanol	Water	Triethylamine	74.7
	0.130	0.090	0.780	
22	Ethanol	Water	Cis-1,2-Dichloroethylene	53.8
	0.067	0.029	0.905	
23	Ethanol	Water	Trans-1,2-Dichloroethylene	44.4
	0.044	0.011	0.945	
24	Ethanol	Water	Ethylene chloride	66.7
	0.170	0.050	0.780	
25	Ethanol	Water	Cyclohexane	62.1
	0.170	0.070	0.760	
26	Ethanol	Water	Acetonitrile	72.9
	0.550	0.010	0.440	
27	Ethanol	Water	Methyl ethyl ketone	73.2
	0.140	0.110	0.750	
28	Ethanol	Water	Carbon tetrachloride	61.8
	0.097	0.043	0.860	

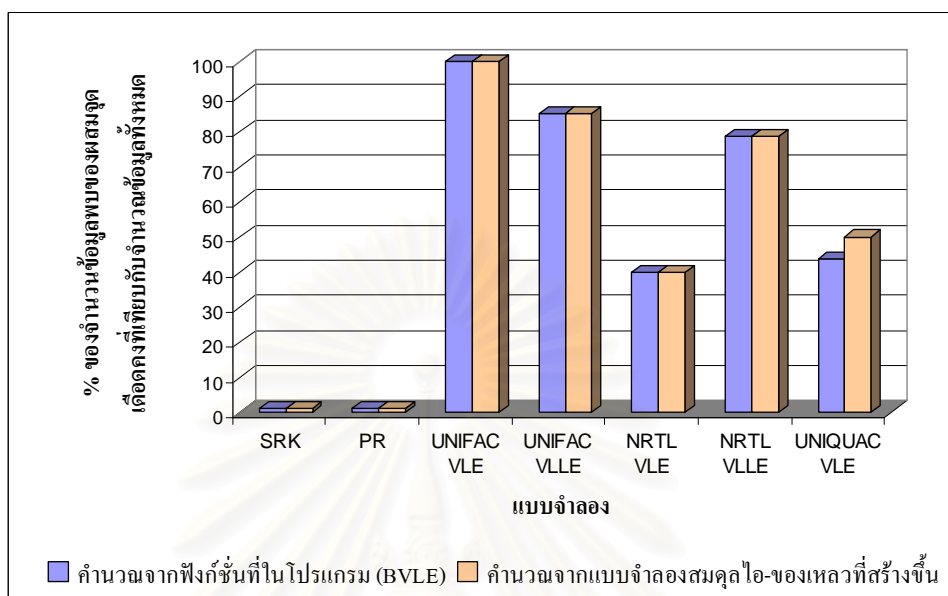
ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสม จุดเดือดคงที่ (°C)
29	Ethanol	Water	Toluene	74.4
	0.370	0.120	0.510	
30	Ethanol	Water	N-hexane	56.0
	0.120	0.030	0.850	
31	Ethanol	Water	N-heptane	68.8
	0.330	0.610	0.060	
32	N-Propanol	Water	Carbon tetrachloride	65.4
	0.110	0.050	0.840	
33	N-Propanol	Water	1,3-Cyclohexadiene	67.8
	0.120	0.090	0.790	
34	N-Propanol	Water	Cyclohexane	66.6
	0.100	0.085	0.815	
35	N-Propanol	Water	Cyclohexene	63.2
	0.115	0.090	0.795	
36	N-Propanol	Water	Nitromethane	82.3
	0.266	0.175	0.559	
37	N-Propanol	Water	3-Pentanone	81.2
	0.200	0.200	0.600	
38	N-Propanol	Water	Propyl acetate	82.2
	0.195	0.210	0.595	
39	N-Propanol	Water	Trichloroethylene	71.6
	0.120	0.070	0.810	
40	N-Propanol	Water	Propyl acetate	82.2
	0.195	0.210	0.595	
41	N-Propanol	Water	Propyl chloroacetate	88.6
	0.582	0.253	0.165	
42	N-Propanol	Water	Propyl ether	74.8
	0.202	0.117	0.681	
43	N-Propanol	Water	Propyl formate	70.8
	0.050	0.130	0.820	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสม จุดเดือดคงที่ (°C)
44	N-Propanol	Water	Benzene	68.5
	0.090	0.086	0.824	
45	N-Propanol	Water	Diethyl ketone	81.2
	0.200	0.200	0.600	
46	Iso-Propanol	Water	Benzene	66.5
	0.187	0.075	0.738	
47	Iso-Propanol	Water	Cyclohexane	64.8
	0.185	0.075	0.740	
48	Iiso-Propanol	Water	Cyclohexene	61.1
	0.215	0.075	0.710	
49	Iso-Propanol	Water	Nitromethane	78.0
	0.620	0.060	0.320	
50	Iso-Propanol	Water	Toluene	76.3
	0.382	0.131	0.487	
51	Iso-Propanol	Water	Ethyl butyl ether	73.4
	0.219	0.104	0.677	
52	Iso-Propanol	Water	Ethylene dichloride	69.7
	0.190	0.077	0.733	
53	Iso-Propanol	Water	Isopropyl acetate	75.5
	0.130	0.110	0.760	
54	Iso-Propanol	Water	Isopropyl ether	61.6
	0.073	0.047	0.880	
55	Iso-Propanol	Water	Methyl ethyl ketone	73.4
	0.010	0.110	0.880	
56	N-Butanol	Water	Butyl acetate	89.4
	0.274	0.373	0.353	
57	N-Butanol	Water	Butyl formate	83.6
	0.100	0.213	0.687	
58	N-Butanol	Water	Carbon tetrachloride	64.7
	0.119	0.031	0.850	

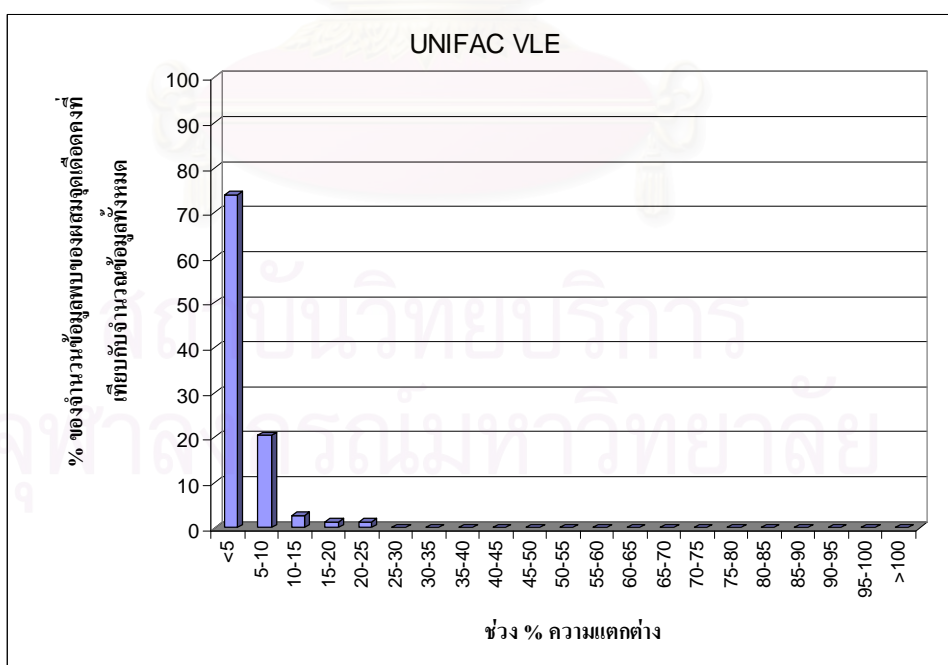
ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสม จุดเดือดคงที่ (°C)
59	Iso-Butanol	Water	Isobutyl acetate	86.8
	0.231	0.304	0.465	
60	Iso-Butanol	Water	Isobutyl formate	80.2
	0.067	0.173	0.760	
61	Ter-Butanol	Water	Benzene	67.3
	0.214	0.081	0.705	
62	Ter-Butanol	Water	Cyclohexane	65.0
	0.210	0.080	0.710	
63	Isoamyl Alcohol	Water	Isoamyl acetate	93.6
	0.312	0.448	0.240	
64	Isoamyl Alcohol	Water	Isoamyl formate	89.8
	0.196	0.324	0.480	
65	Allyl Alcohol	Water	Benzene	68.2
	0.091	0.086	0.823	
66	Allyl Alcohol	Water	Carbon tetrachloride	65.2
	0.110	0.050	0.840	
67	Allyl Alcohol	Water	Cyclohexane	66.2
	0.110	0.080	0.810	
68	Allyl Alcohol	Water	Cyclohexene	68.0
	0.110	0.085	0.805	
69	Allyl Alcohol	Water	Hexane	59.7
	0.050	0.050	0.900	
70	Allyl Alcohol	Water	Trichloroethylene	71.6
	0.087	0.066	0.847	
71	Benzene	Water	Acetonitrile	66.0
	0.685	0.082	0.233	
72	Acetone	Water	Chloroform	60.4
	0.384	0.040	0.576	

ลำดับที่	ชื่อสาร / สัดส่วนโดยมวลที่เกิดของผสมจุดเดือดกึ่งที่ สามองค์ประกอบ			อุณหภูมิที่เกิดของผสม จุดเดือดกึ่งที่ (°C)
73	Benzene	Water	Methyl ethyl ketone	68.2
	0.651	0.088	0.261	
74	Methyl ethyl ketone	Water	Carbon tetrachloride	65.7
	0.222	0.030	0.748	
75	Methyl ethyl ketone	Water	Cyclohexane	63.6
	0.600	0.050	0.350	
76	Methanol	Acetone	N-Haxane	47.0
	0.146	0.308	0.596	
77	Methanol	Methyl acetate	Cyclohexane	50.8
	0.178	0.486	0.336	
78	Methanol	Methyl acetate	N-Haxane	47.4
	0.146	0.368	0.486	
79	Ethanol	Benzene	Cyclohexane	64.7
	0.296	0.128	0.576	
80	Iso-Propanol	Benzene	Cyclohexane	69.1
	0.311	0.150	0.539	
81	N-Propanol	Benzene	Cyclohexane	73.81
	0.155	0.304	0.542	
82	p-Dioxane	Iso-Butanol	Toluene	101.8
	0.443	0.267	0.300	
83	N-Butanol	Pyridine	Toluene	108.7
	0.119	0.207	0.674	
84	N-Butanol	Benzene	Cyclohexane	77.42
	0.004	0.480	0.480	
85	Iso-Butanol	Benzene	Cyclohexane	77.2
	0.432	0.470	0.098	
86	Pyridine	Isoamyl alcohol	Toluene	110.79
	0.086	0.041	0.873	
87	Phenol	Aniline	N-Tridecane	184.45
	0.335	0.485	0.180	

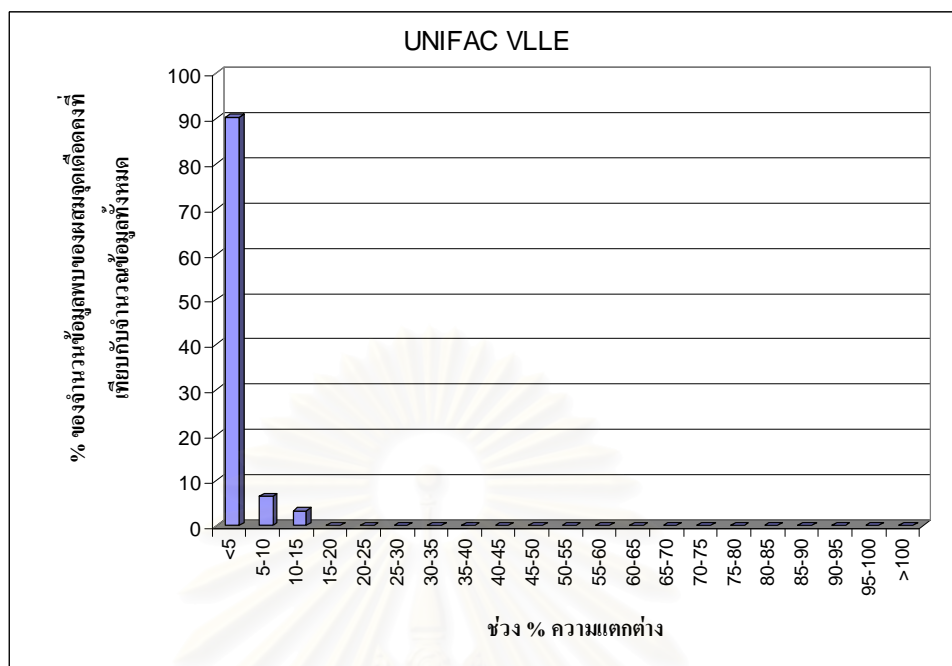
ภาคผนวก ข : ผลการทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาสมดุลไอ-ของเหลวสามองค์ประกอบ



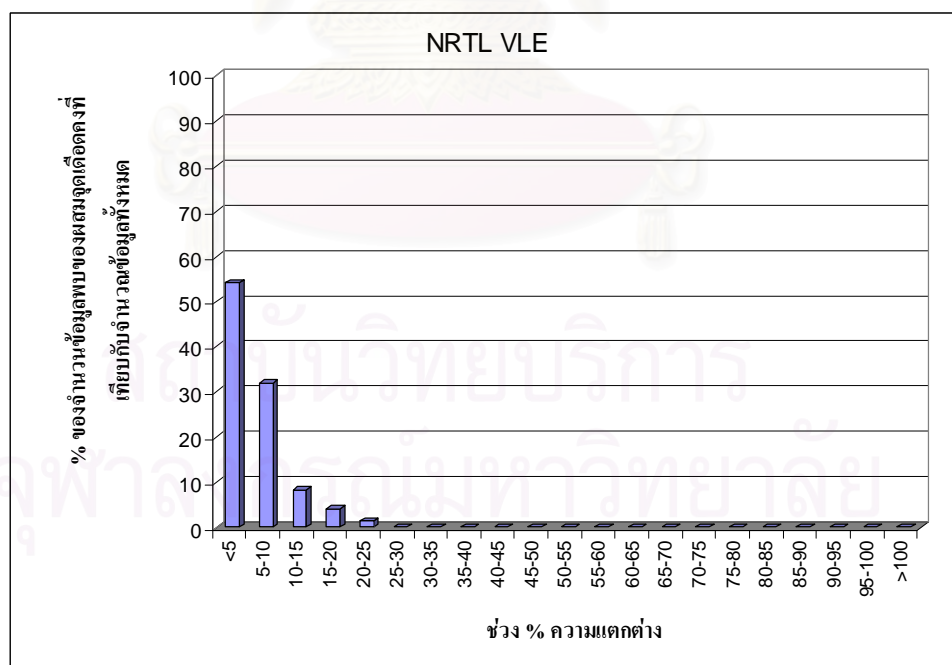
รูปที่ ข.1 แสดงการเปรียบเทียบ % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผลสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบ เมื่อคำนวณจากฟังก์ชันที่ใน โปรแกรม และแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น



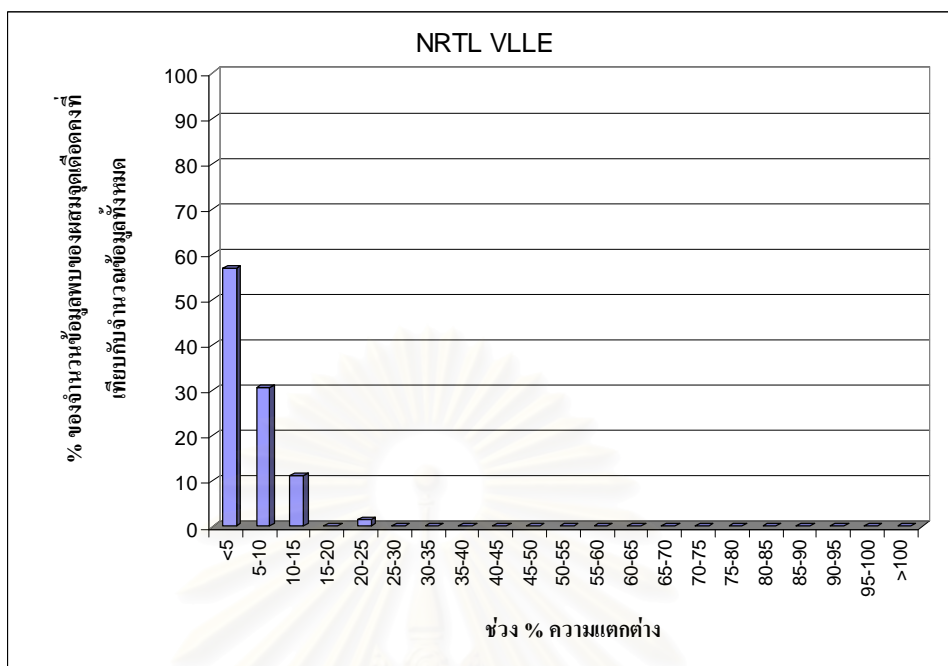
รูปที่ ข.2 แสดง % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผลสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE



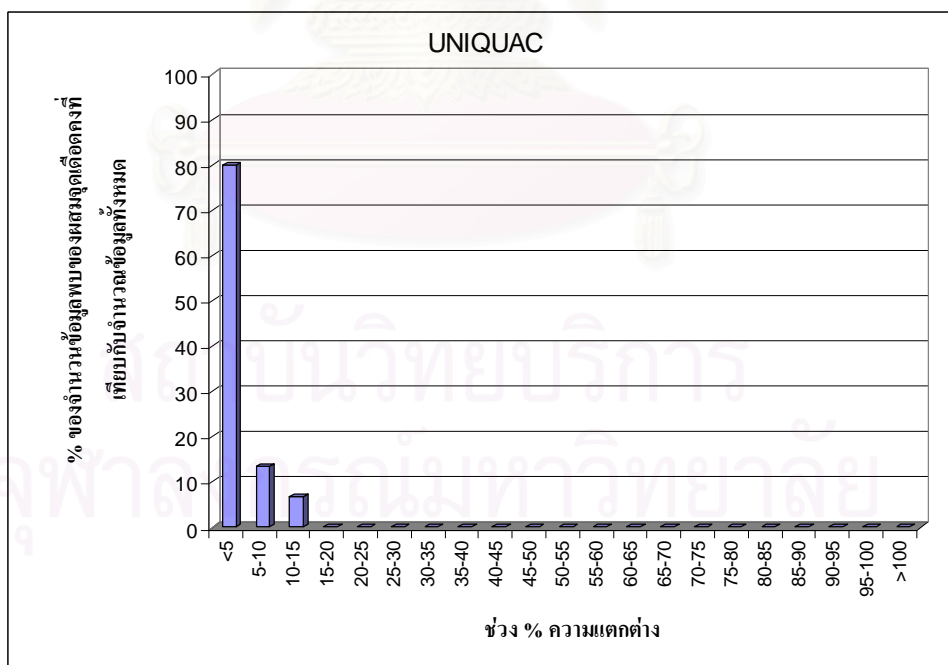
รูปที่ ข.3 แสดง % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIFAC VLE



รูปที่ ข.4 แสดง % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง NRTL VLE



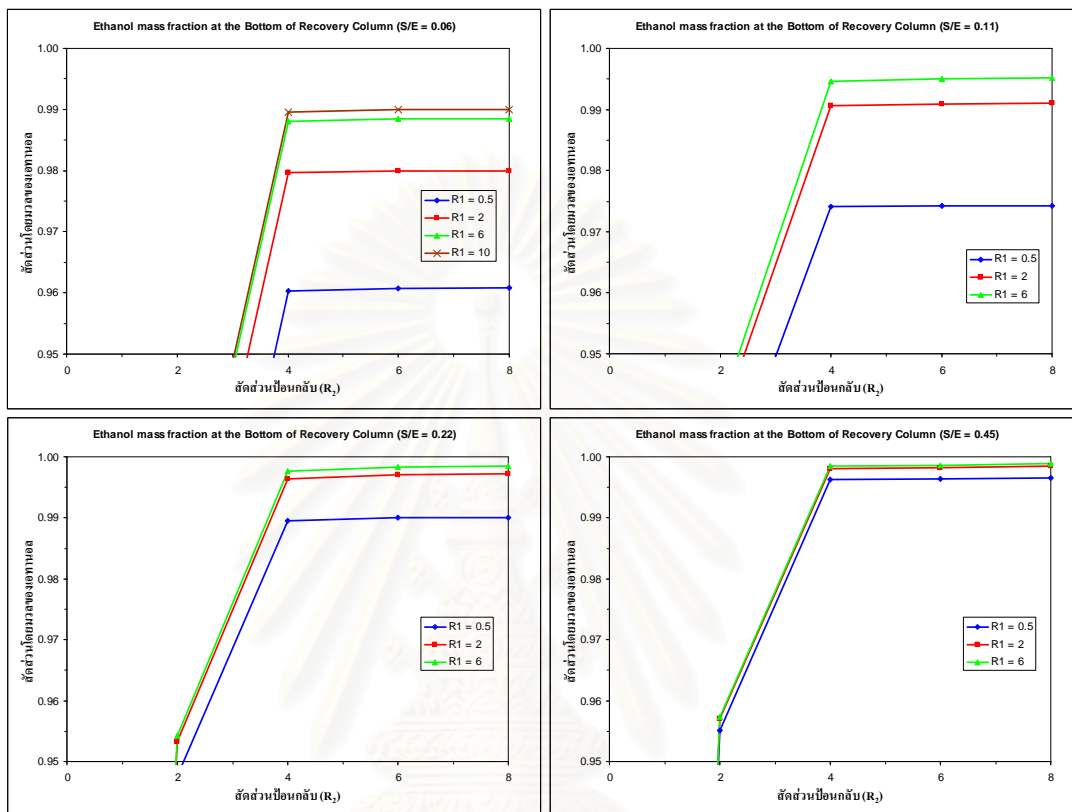
รูปที่ ข.5 แสดง % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง NRTL VLLE



รูปที่ ข.6 แสดง % ของจำนวนข้อมูลที่คำนวณพบของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบจำลอง UNIQUAC

ภาคผนวก ค : ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่น-สกัดเอทานอล

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

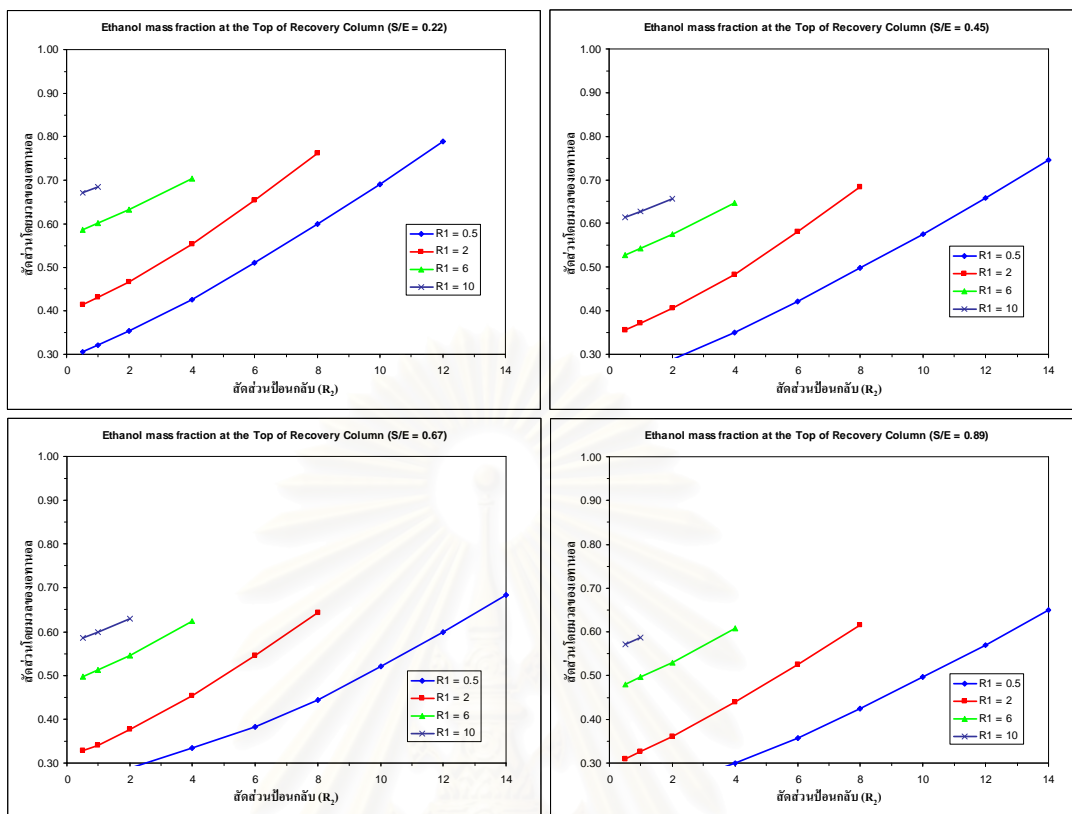


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่น-สกัด

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ค.1 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

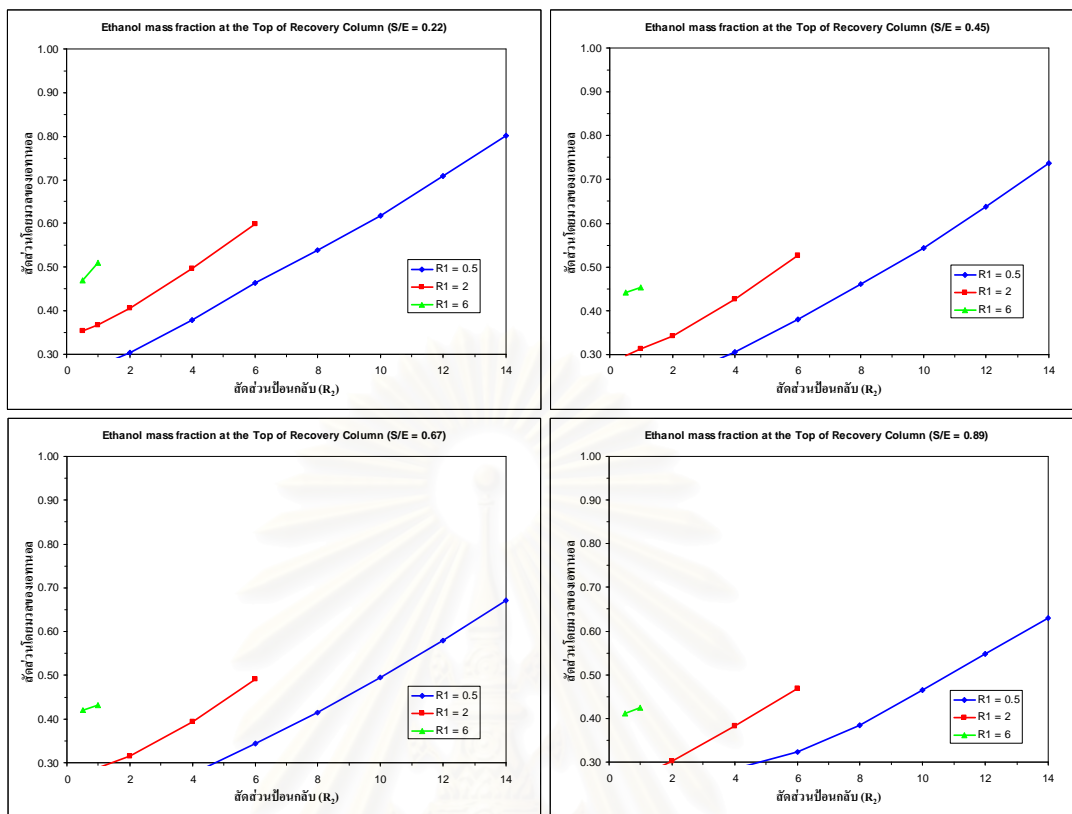


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้น-สกัด

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแยกไอโซโพรพานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ค.2 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกไอโซโพรพานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของไอโซโพรพานอลต่อเอทานอลสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

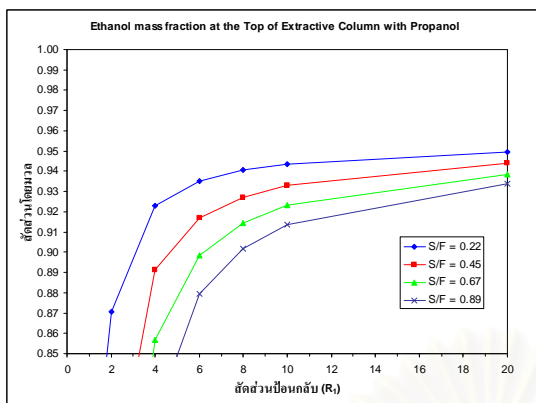


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้น-สกัด

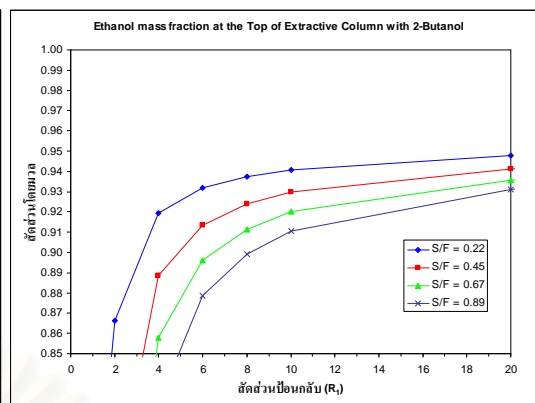
R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแยก เทอร์นารีบิวทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ค.3 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยก เทอร์นารีบิวทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ เทอร์นารีบิวทานอลต่อเอทานอลสายป้อน

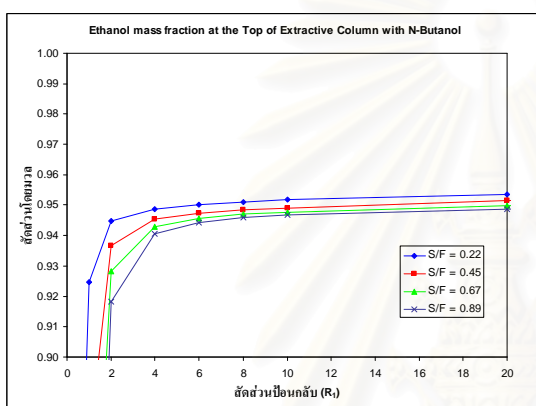
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



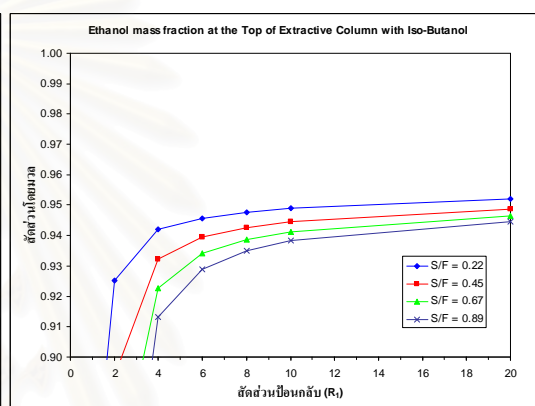
โพรพานอล



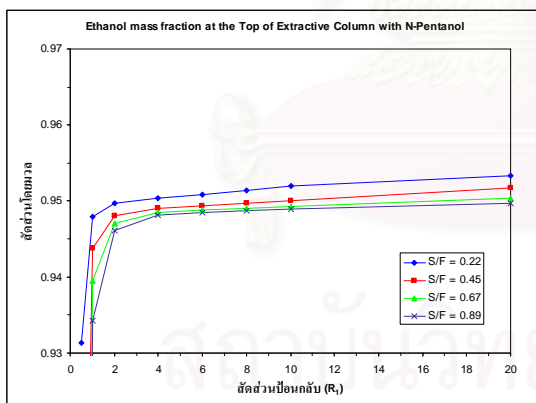
2-บิวทานอล



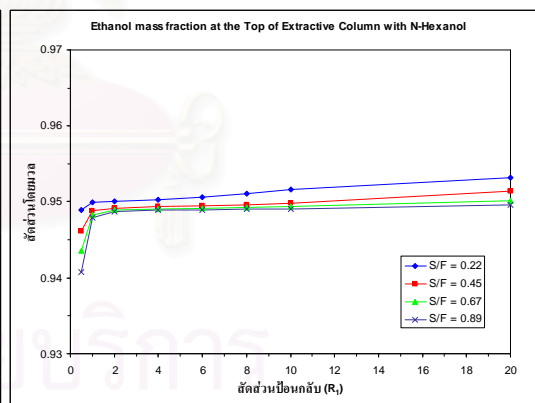
บิวทานอล



ไอโซบิวทานอล



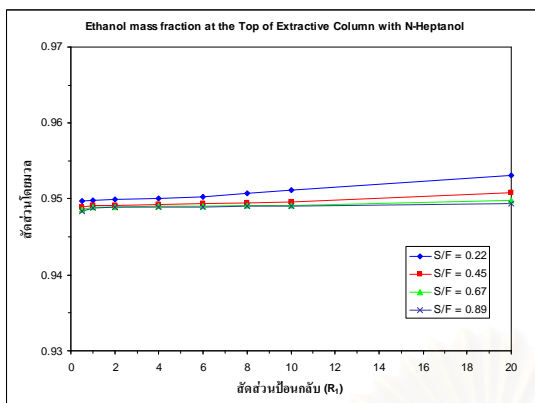
เพนทานอล



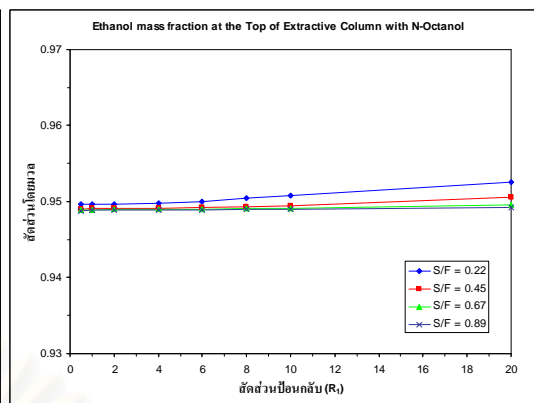
เฮกซานอล

หมายเหตุ: R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้น-สกัด

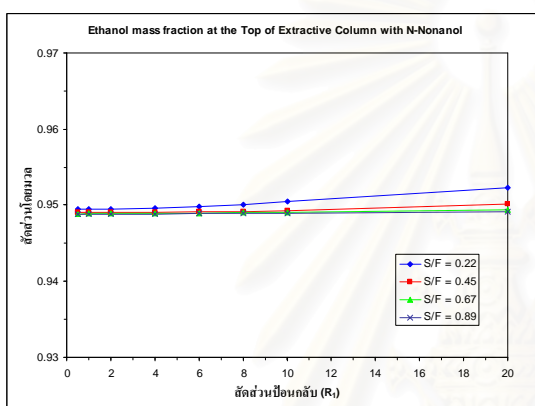
รูปที่ ๓.๔ แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้น-สกัดกับสัดส่วนป้อนกลับ (R_1)
เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน



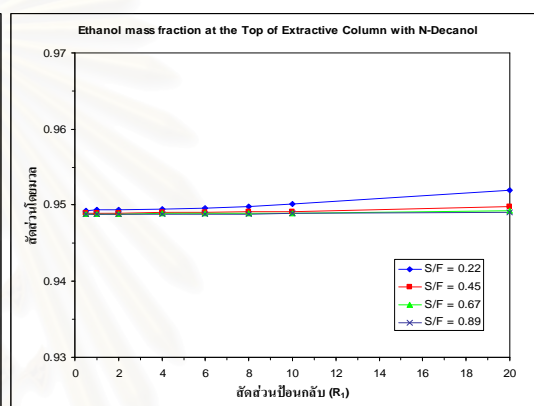
เฮปทานอล



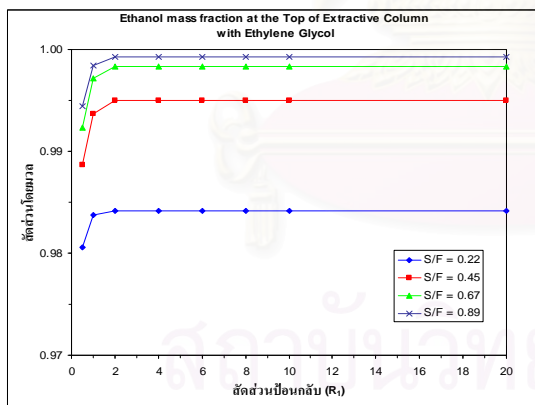
ออกทานอล



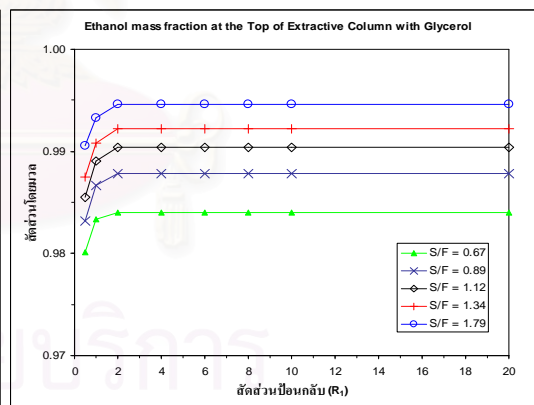
โนแนนอล



เดคานอล



เอทิลีน ไกลคอล

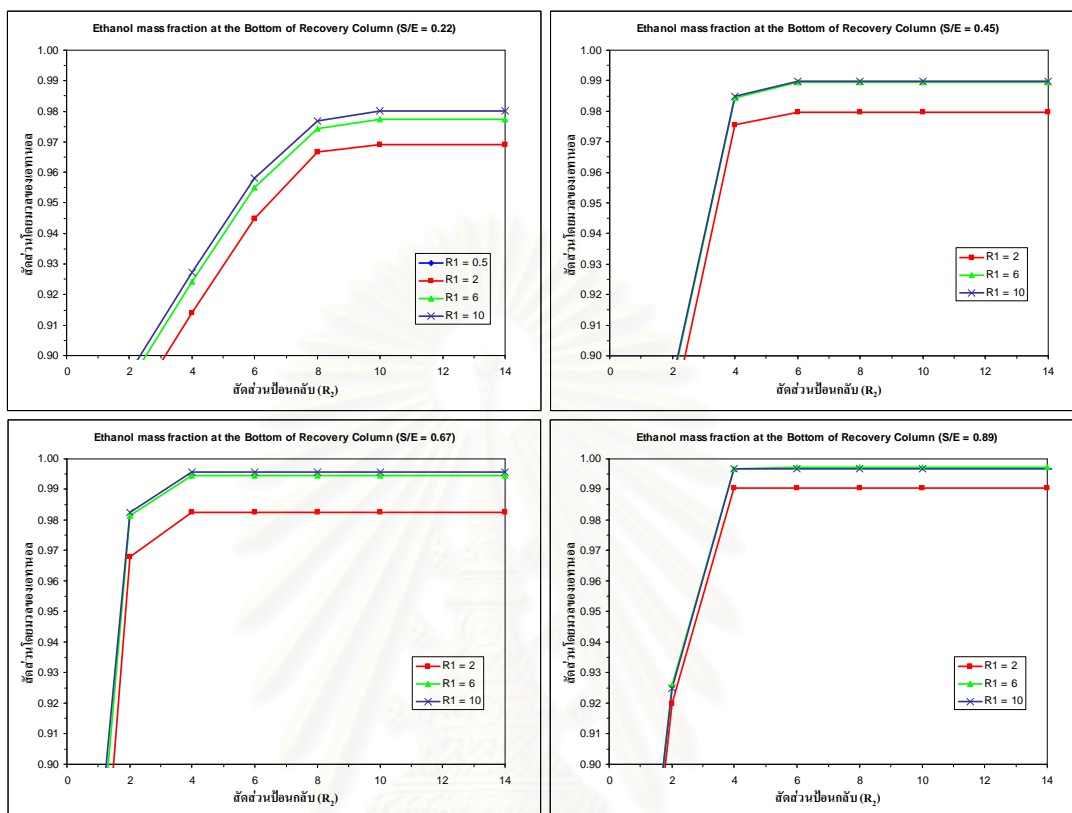


กลีเซอรอล

หมายเหตุ: R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้น-สกัด

รูปที่ ๓.5 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้น-สกัดกับสัดส่วนป้อนกลับ (R_1)
เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อเอทานอลสายป้อน

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่น-สกัดโดยใช้หอกลั่น 2 หอ

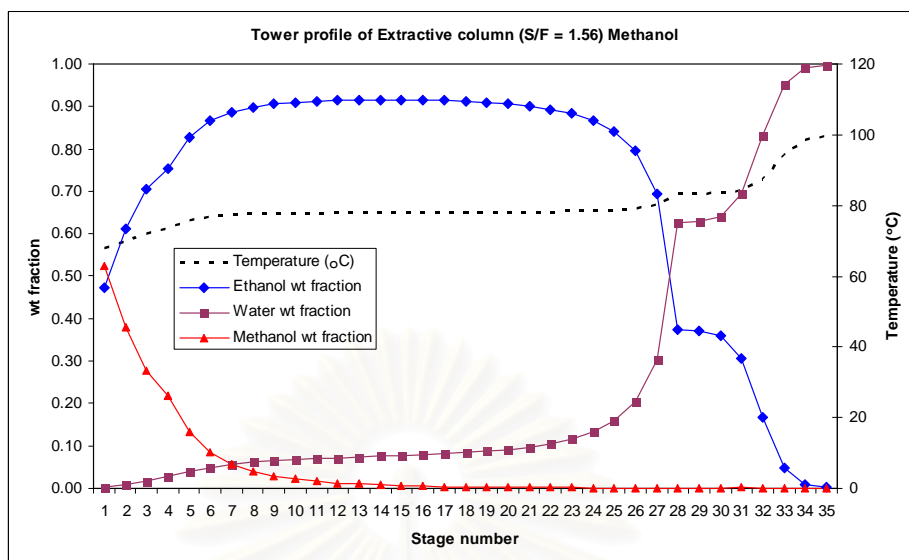


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่น-สกัด

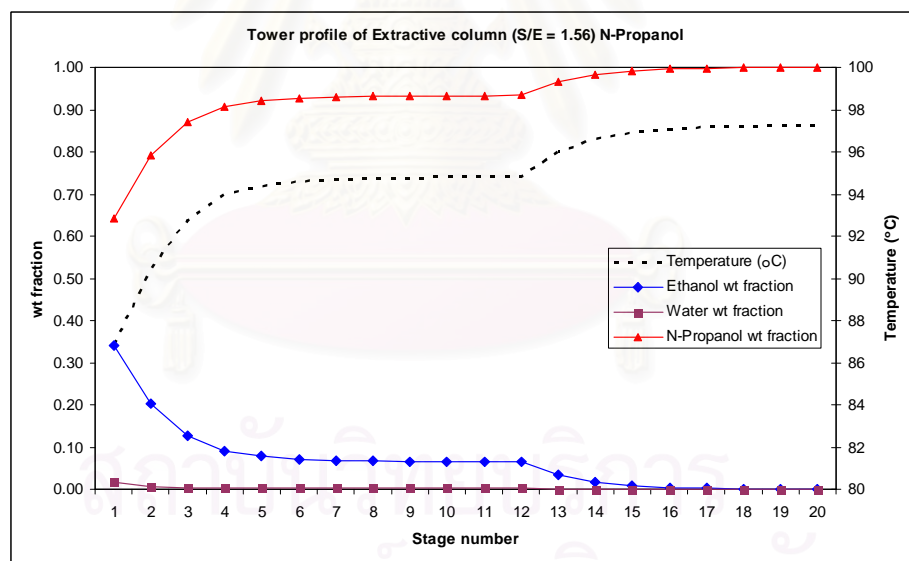
R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ๓.6 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน

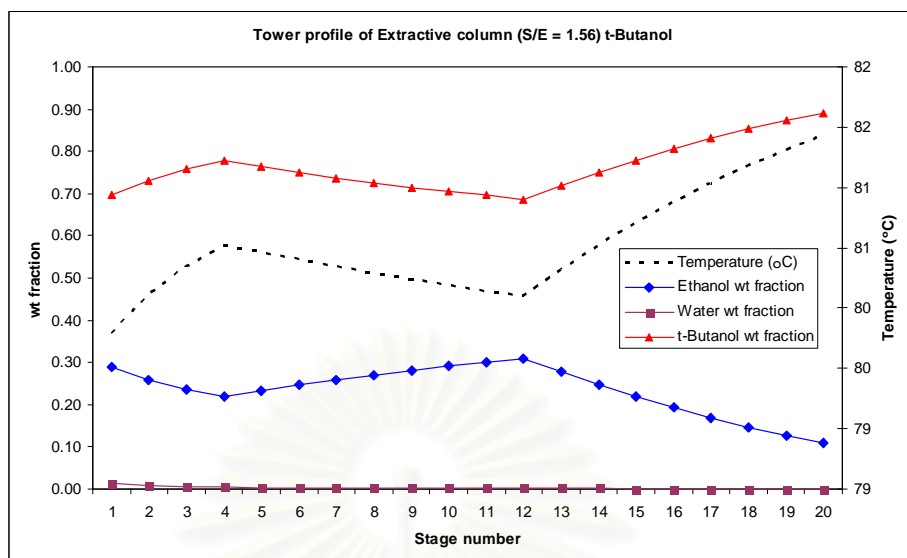
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



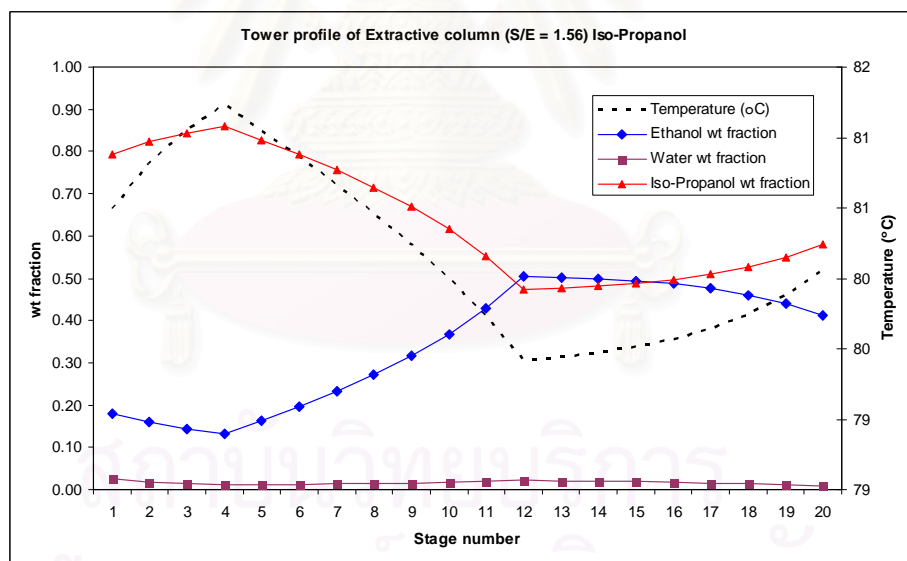
รูปที่ ค.9 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ



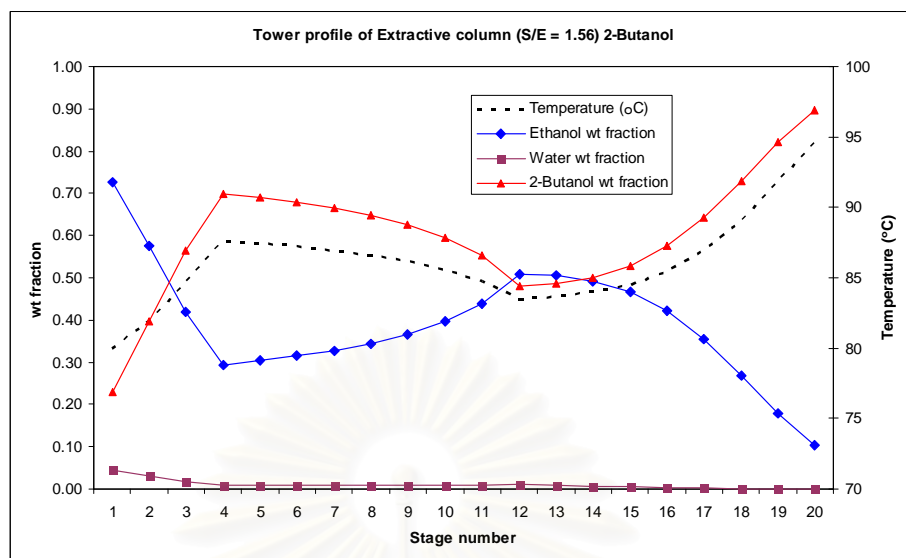
รูปที่ ค.10 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโพรพานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



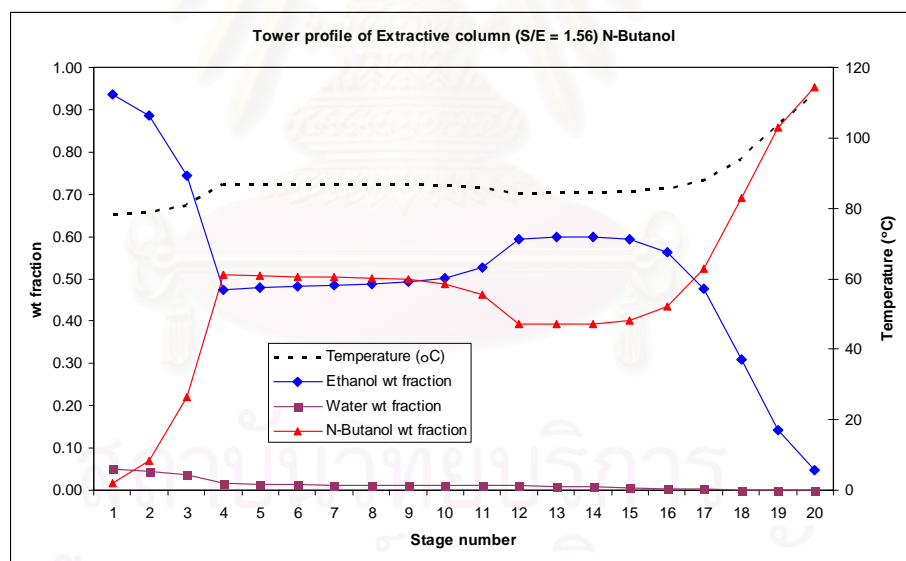
รูปที่ ค.11 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ เทอร์นารีบิวทานอลในหอกกลั่น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



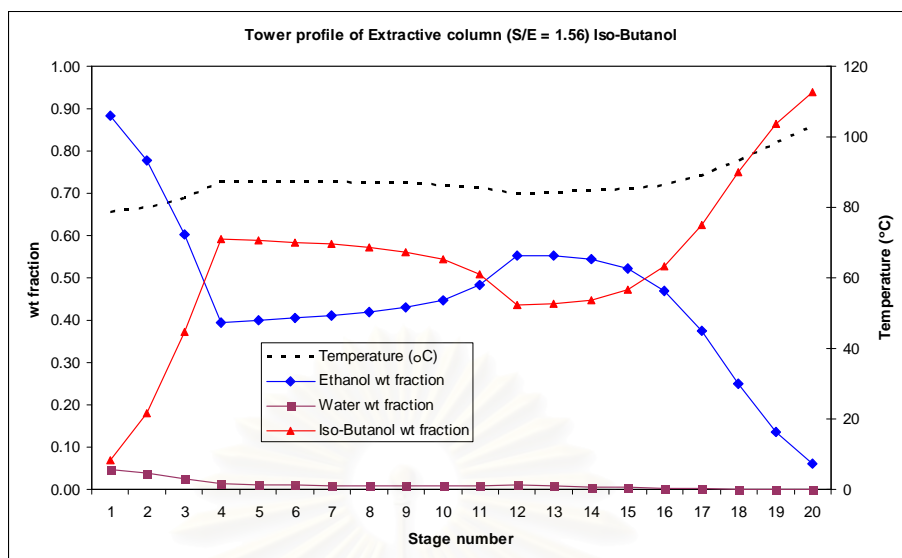
รูปที่ ค.12 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ ไอโซโพรพานอลในหอกกลั่น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



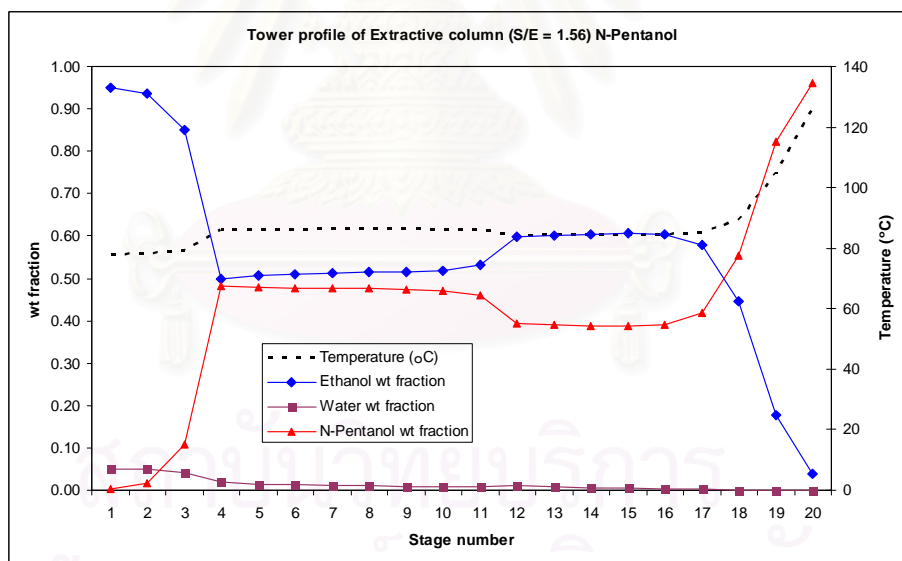
รูปที่ 13 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ 2-บิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



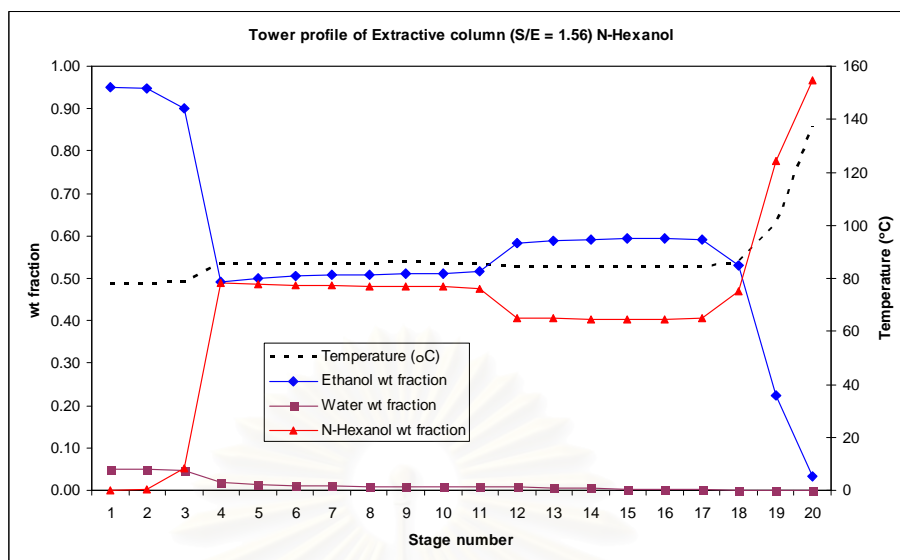
รูปที่ 14 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และบิวทานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



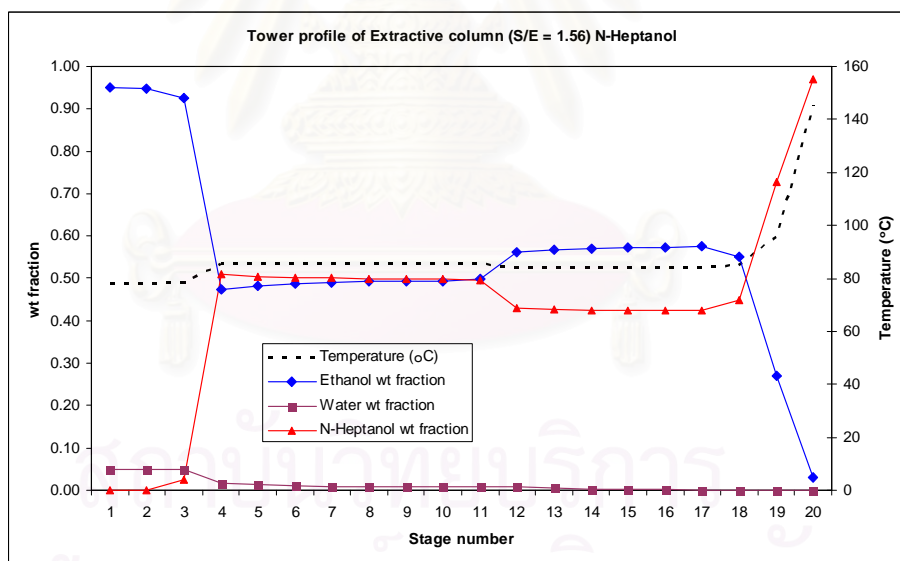
รูปที่ ค.15 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซบิวทานอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



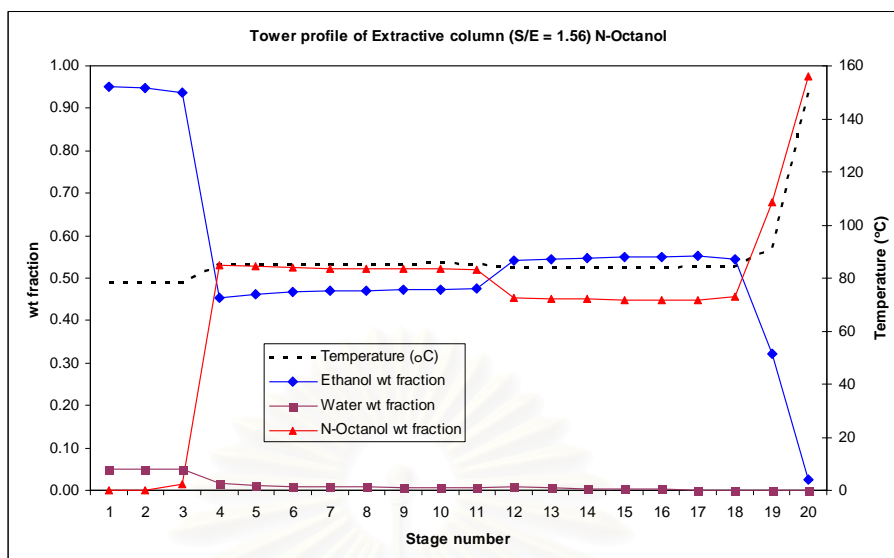
รูปที่ ค.16 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเพนทานอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



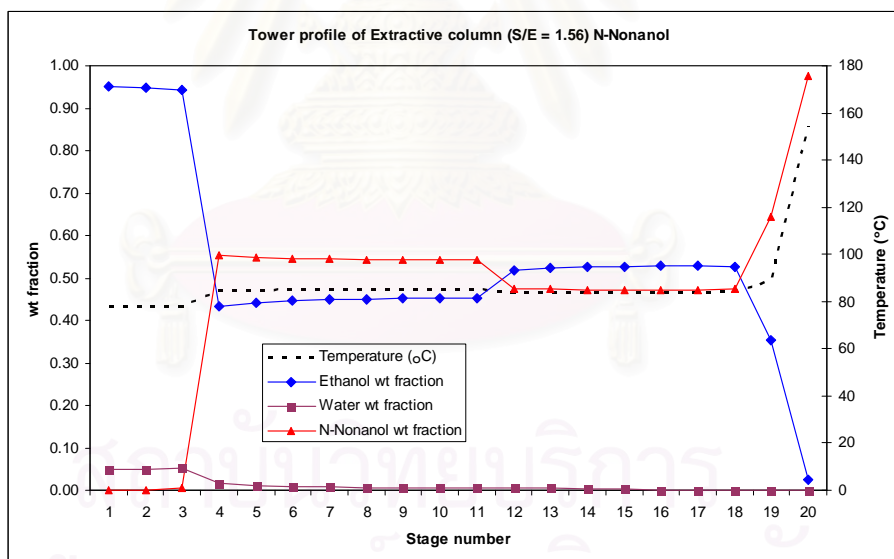
รูปที่ ค.17 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮกซานอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



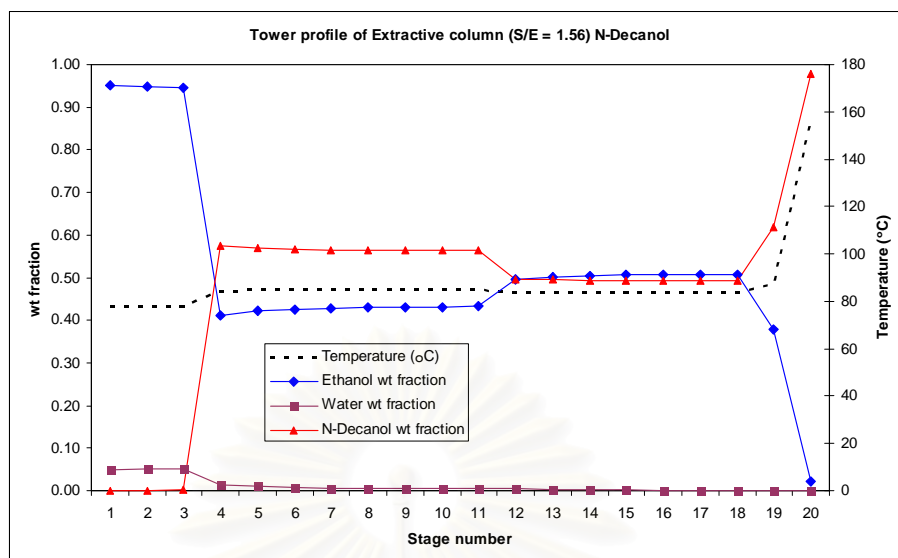
รูปที่ ค.18 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮปทานอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



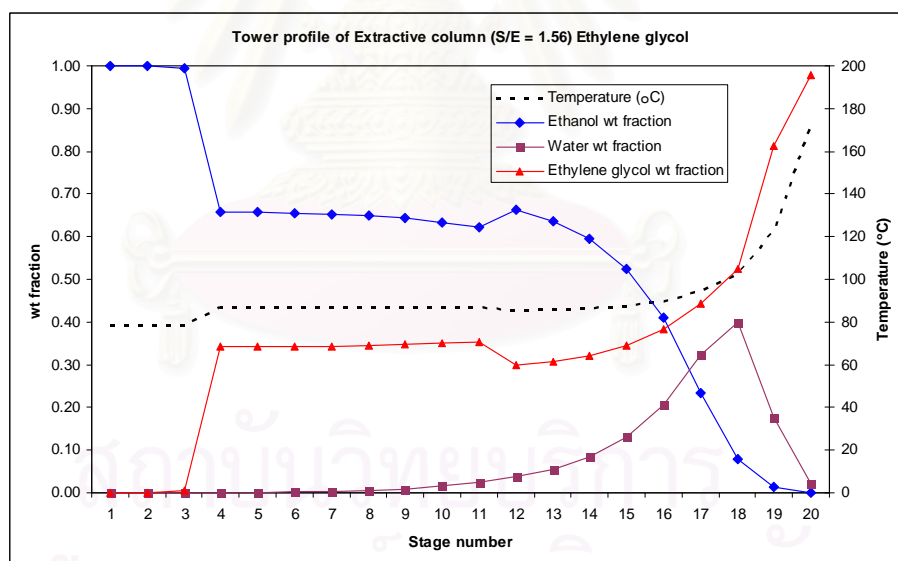
รูปที่ ค.19 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และออกทานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



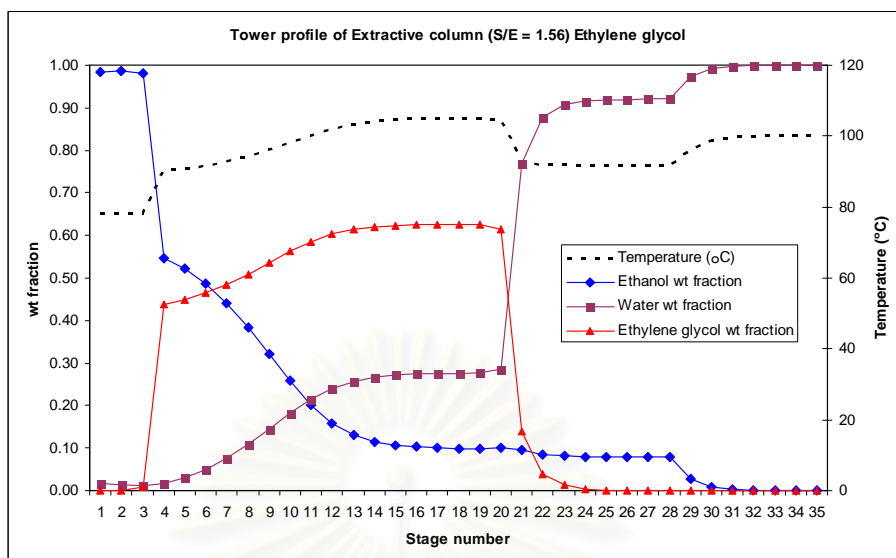
รูปที่ ค.20 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และโนนานอลในหอกลิ้น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



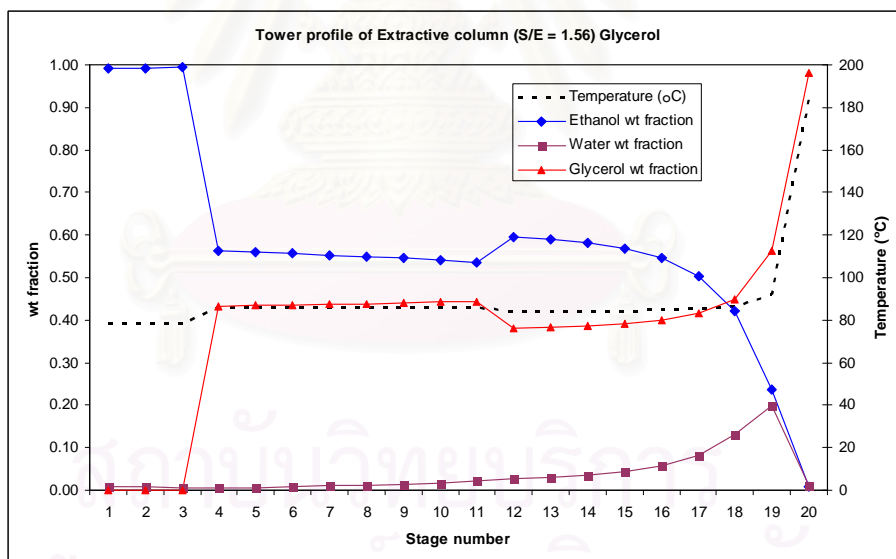
รูปที่ ค.21 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเดคานอลในหอกกลั่น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



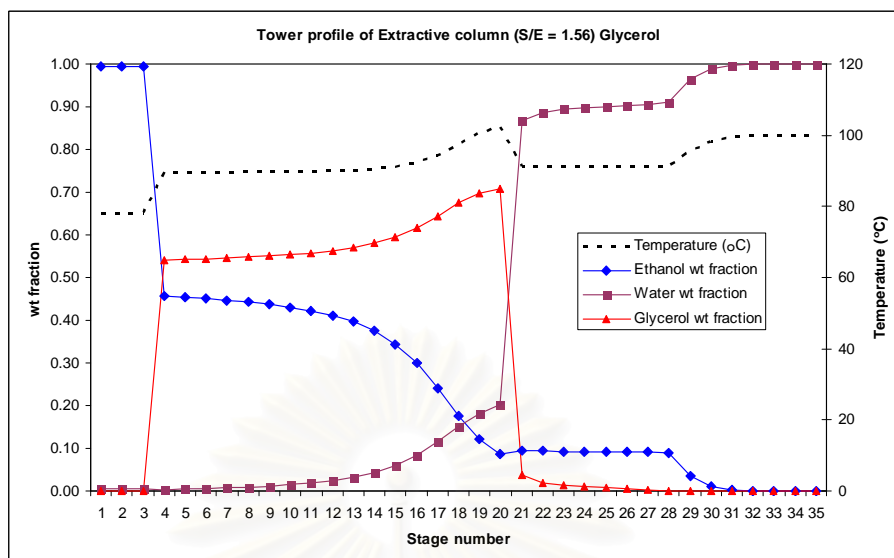
รูปที่ ค.22 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอทิลีน ไกลคอลในหอกกลั่น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



รูปที่ ค.23 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอทิลีน ไกลคอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 2 หอ



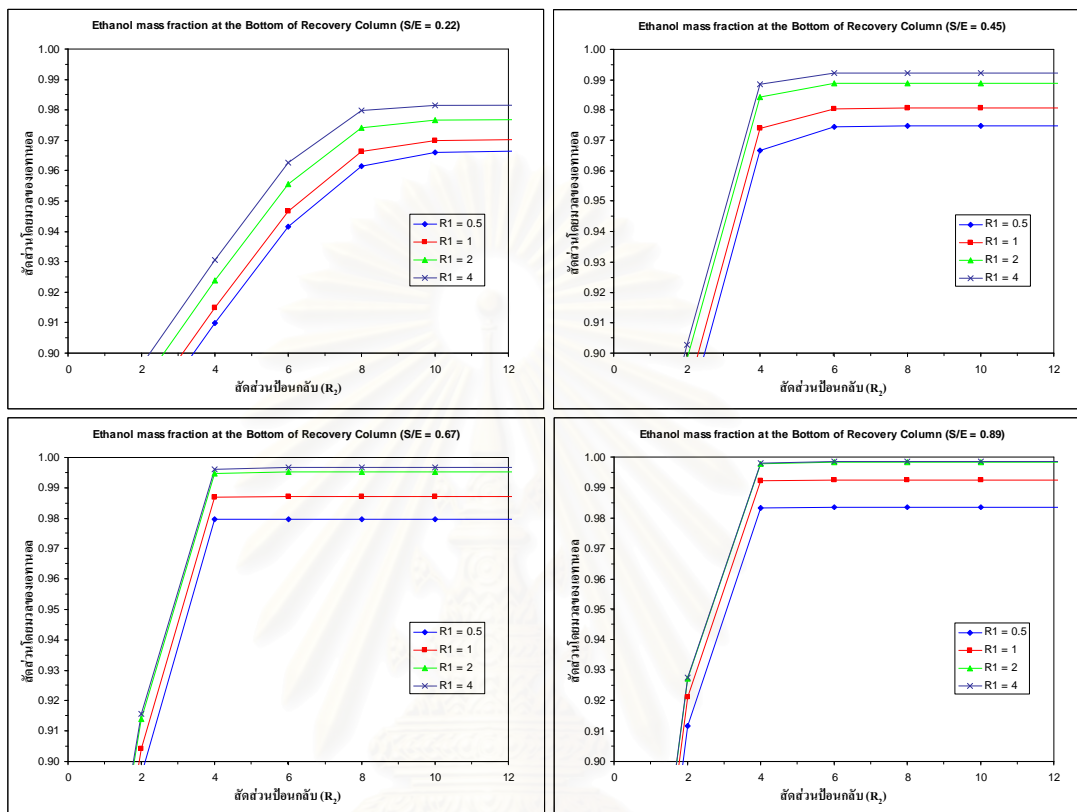
รูปที่ ค.24 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



รูปที่ ค.25 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลั่น-สกัด
แต่ละขั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 2 หอ

ภาคผนวก ง : ผลของสารประกอบแอลกอฮอล์ต่อกระบวนการกลั่นเอทานอล

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่นโดยใช้หอกลั่น 3 หอ

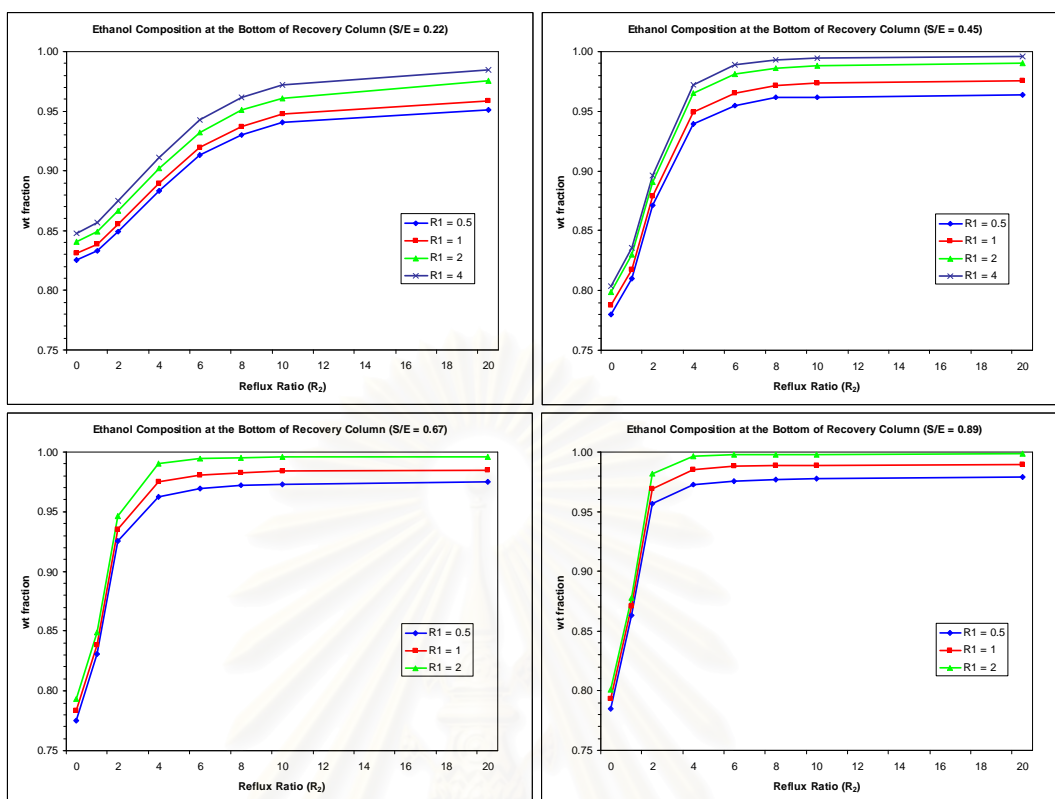


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นเอทานอล

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ง.1 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

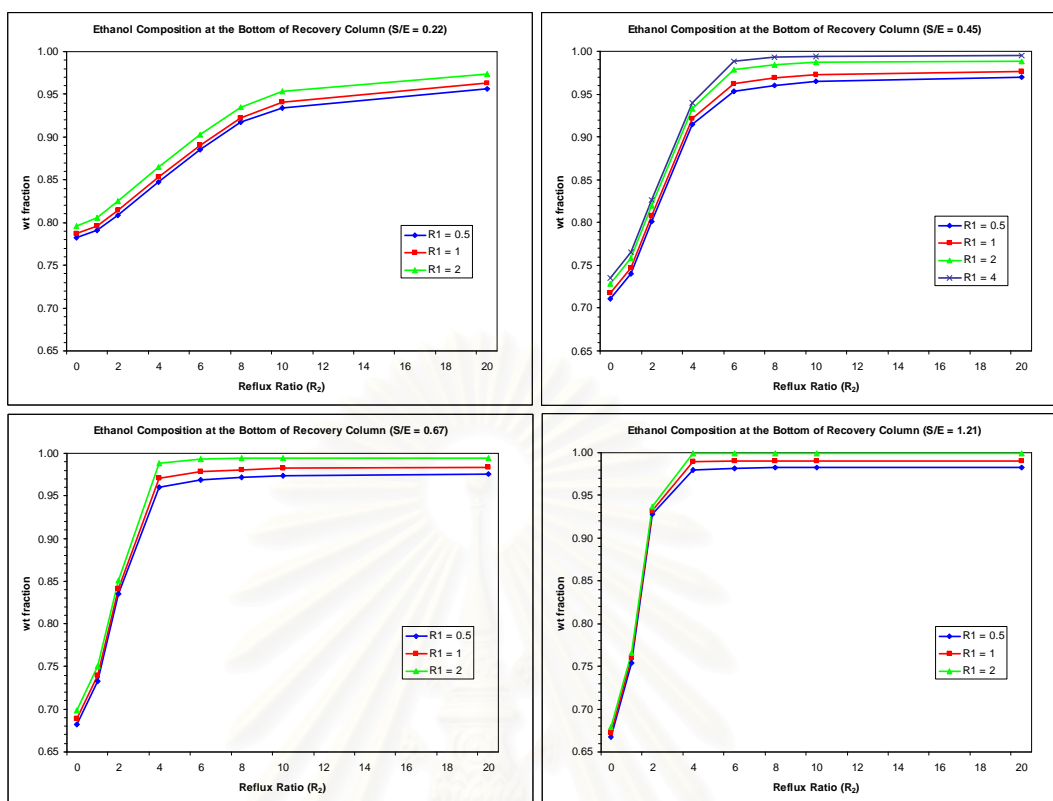


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นเอทานอล

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแยกเอซิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ 2 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเอซิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอซิลีน ไอมีนต่อเอทานอลสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



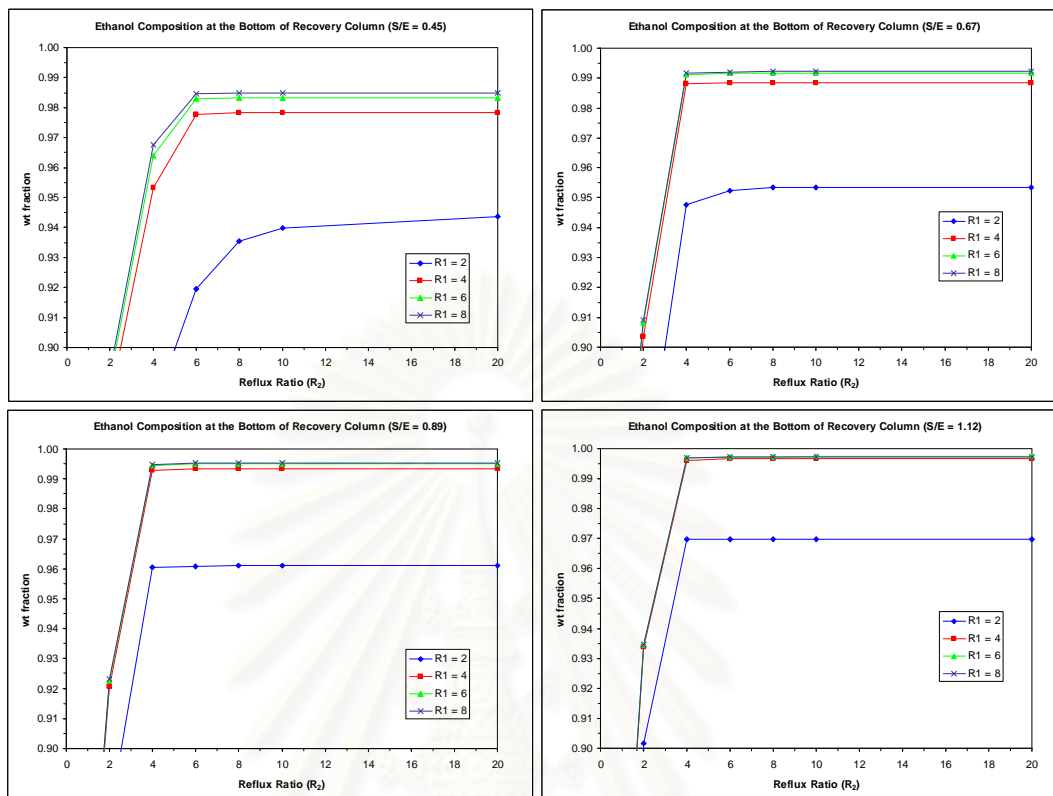
หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นเอทานอล

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแฮกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ 3.3 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแฮกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของโพรพิลีน ไอมีนต่อเอทานอลสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากกระบวนการกลั่นโดยใช้หอกลั่น 2 หอ

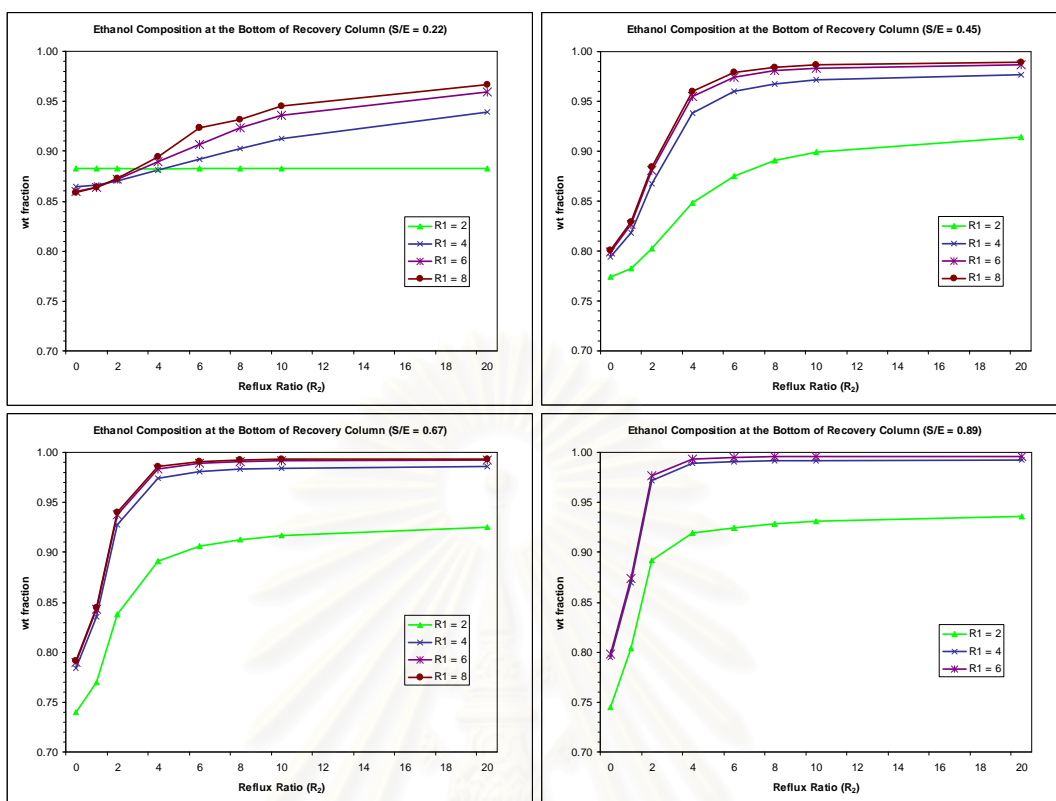


หมายเหตุ: R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นเอทานอล

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ๓.๔ แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลั่นแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลต่อเอทานอลสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

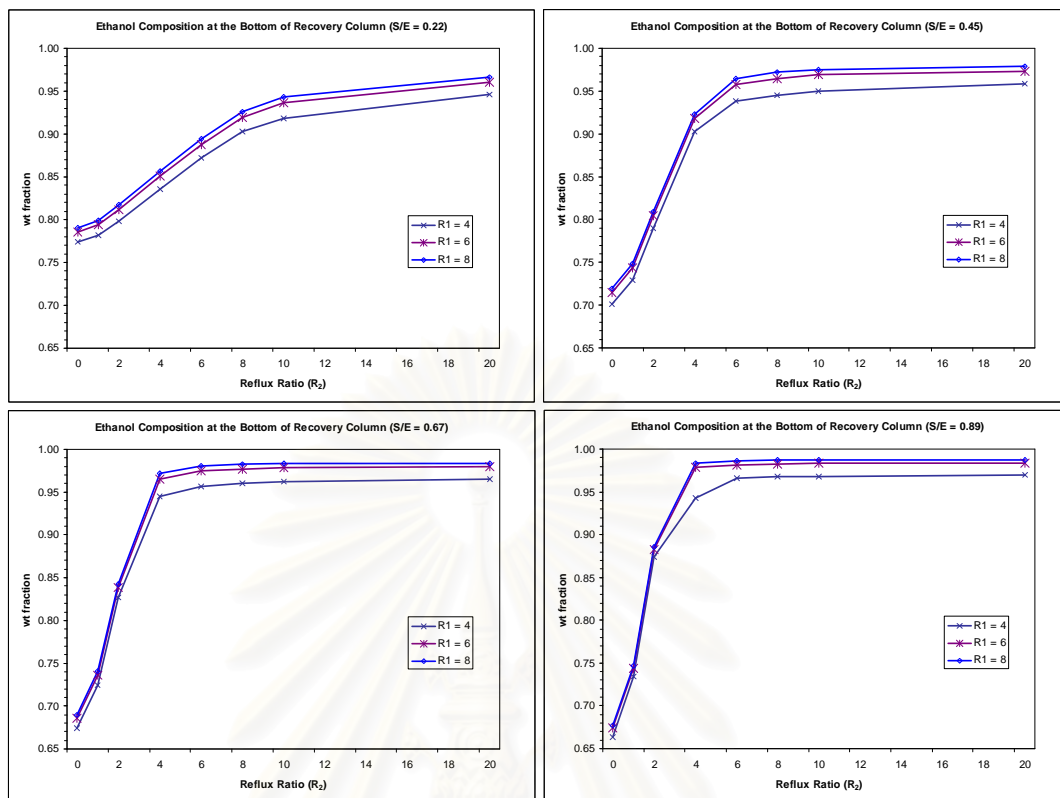


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นเอทานอล

R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแยกเอซิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ 5.5 แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกเอซิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอซิลีน ไอมีนต่อเอทานอลสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

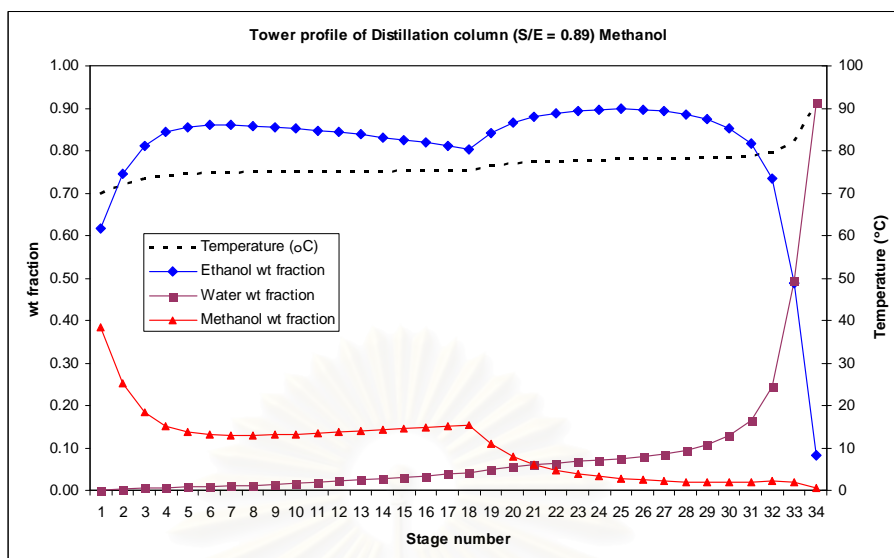


หมายเหตุ : R_1 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นเอทานอล

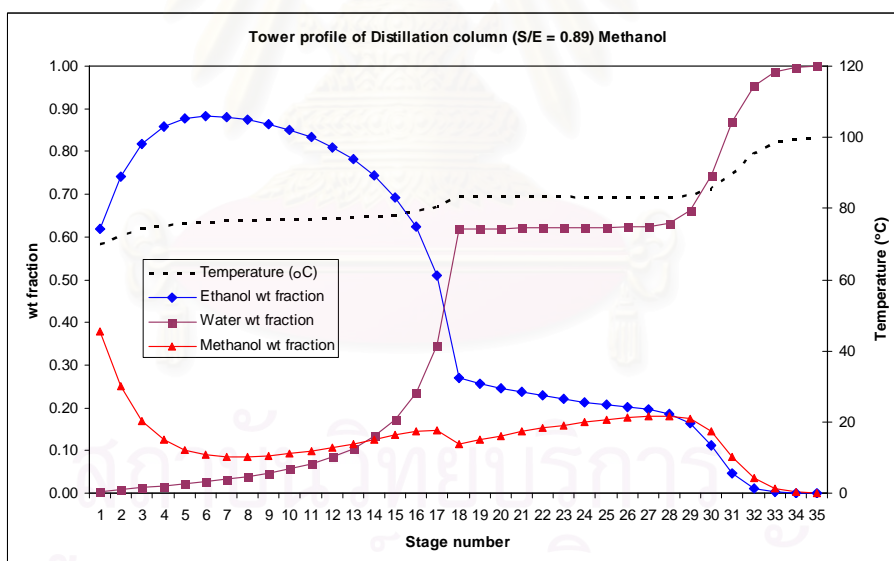
R_2 = สัดส่วนป้อนกลับของหอกลิ้นแยกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ ๖.๖ แสดงความบริสุทธิ์ของเอทานอลจากหอกลิ้นแยกโพรพิลีน ไอมีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ กับสัดส่วนป้อนกลับ (R_2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของโพรพิลีน ไอมีนต่อเอทานอลสายป้อน

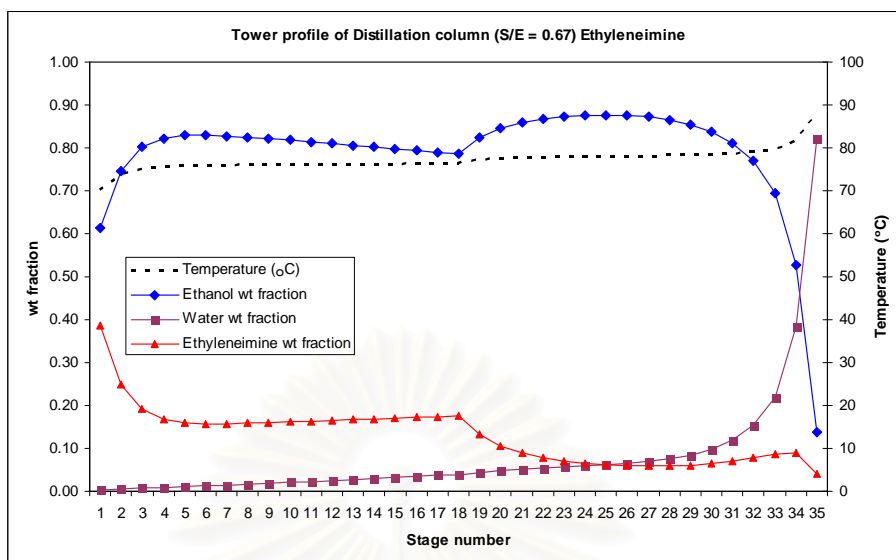
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



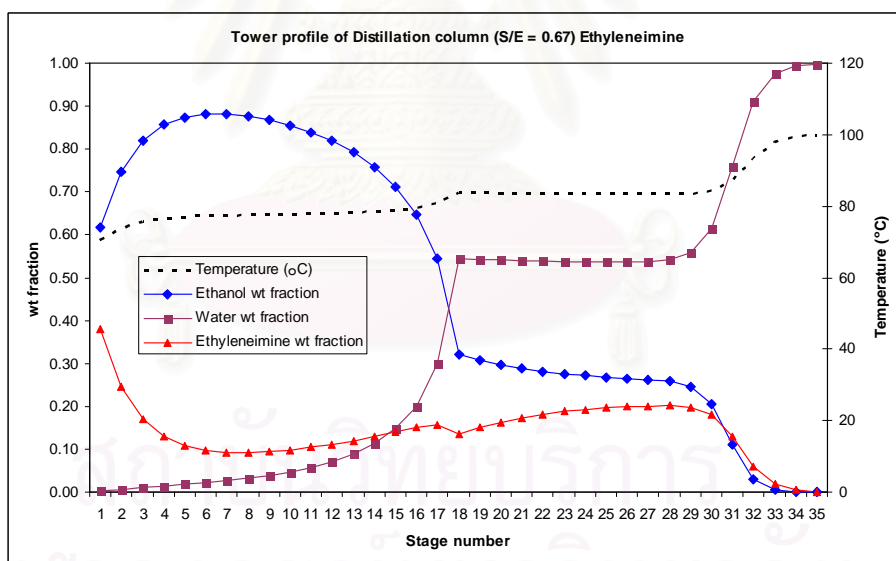
รูปที่ ง.7 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



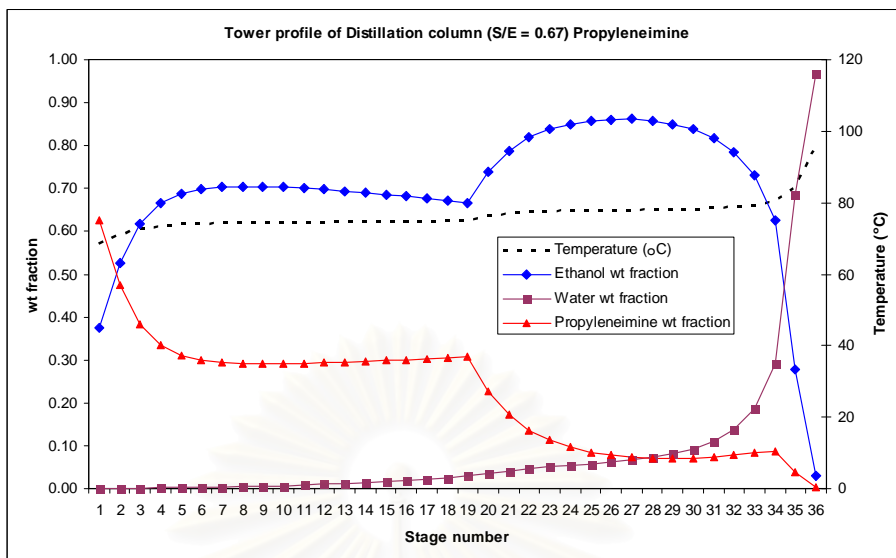
รูปที่ ง.8 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเมทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ



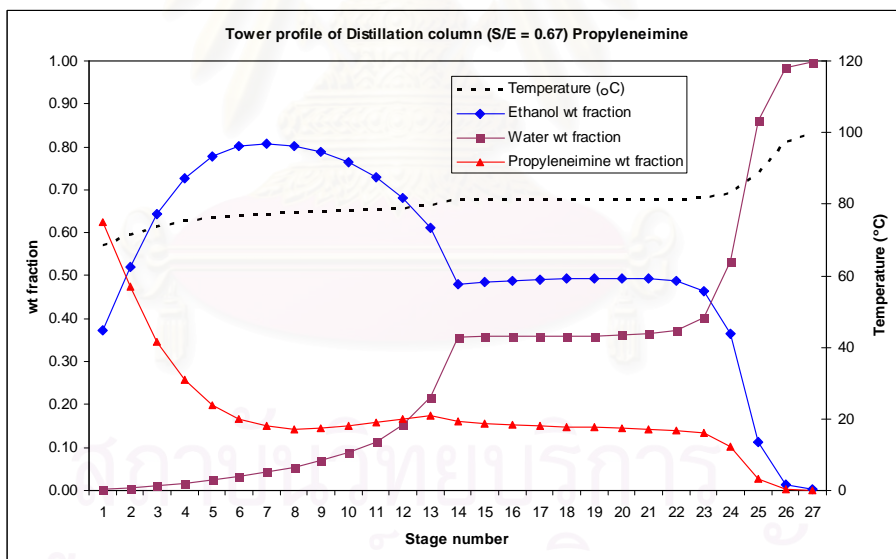
รูปที่ ง.9 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอทิลีนไอมินในหอกลั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 3 หอ



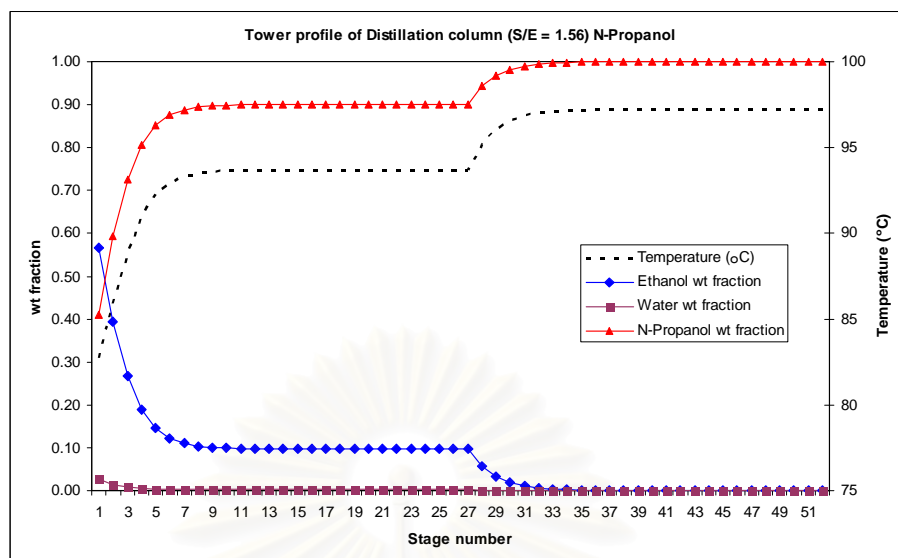
รูปที่ ง.10 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอทิลีนไอมินในหอกลั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลั่น 2 หอ



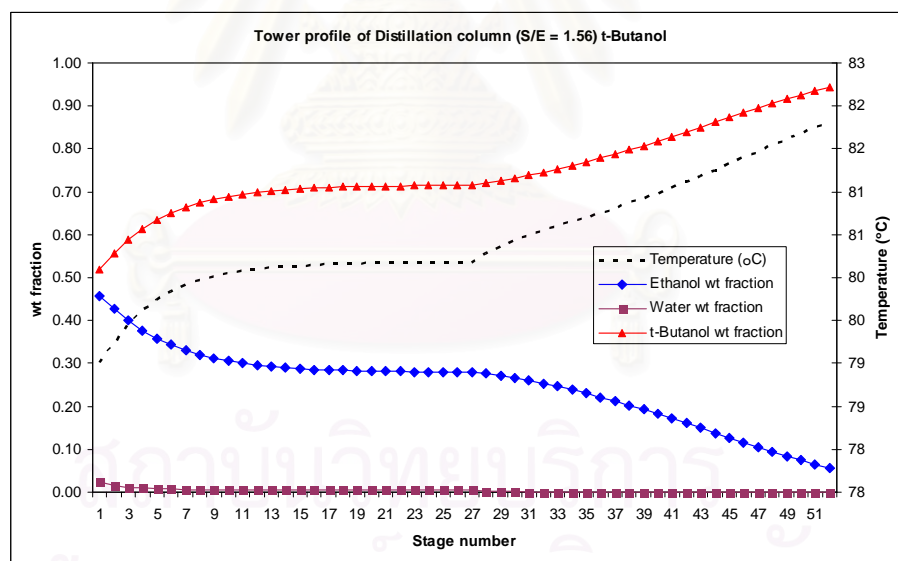
รูปที่ ง.11 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ โพรพิลีน ไอมินในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



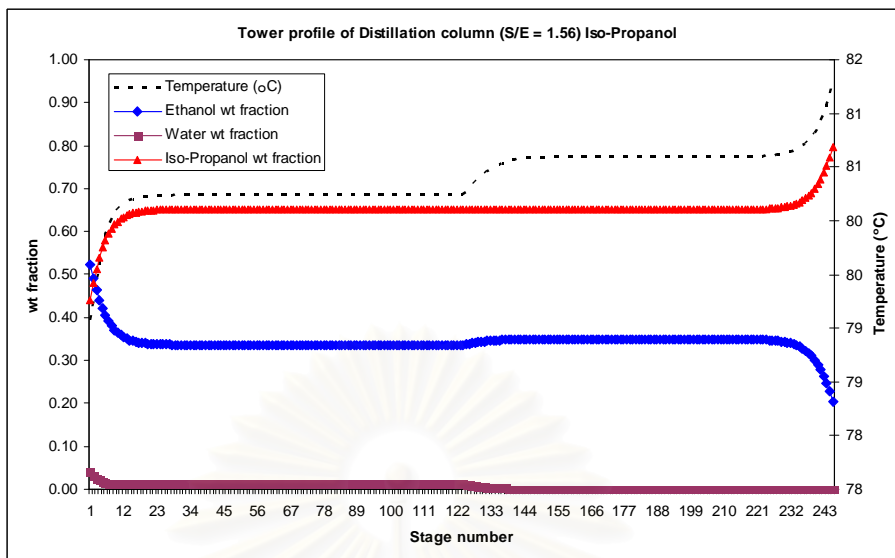
รูปที่ ง.12 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ โพรพิลีน ไอมินในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 2 หอ



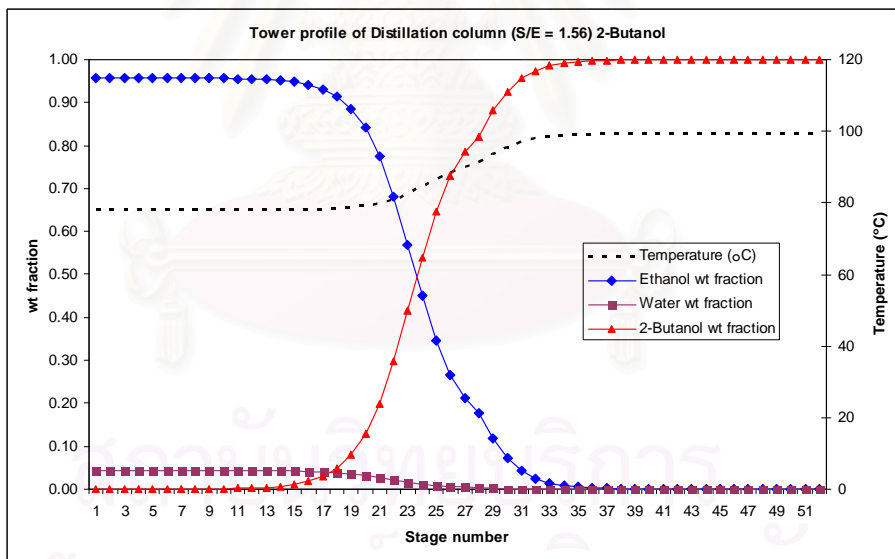
รูปที่ ง.13 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ โพรพานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



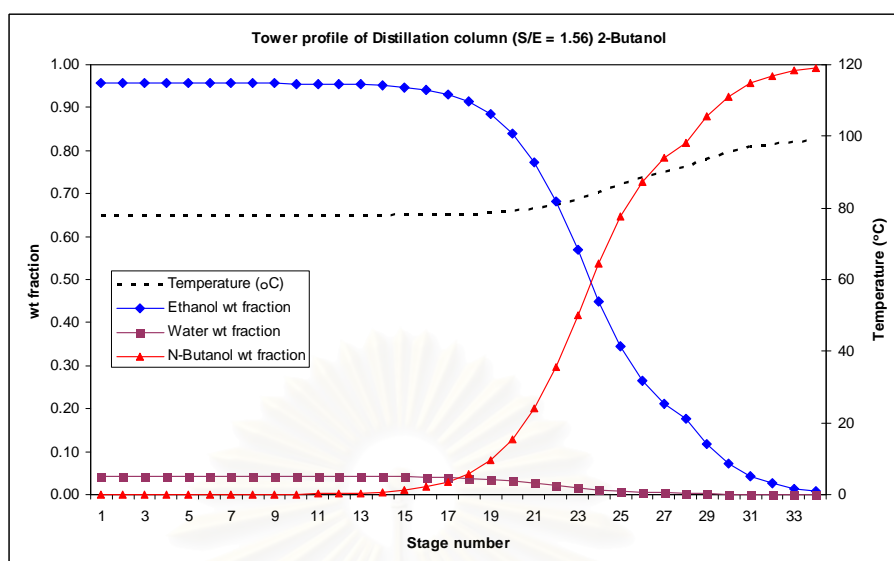
รูปที่ ง.14 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ เทอร์นารีบิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



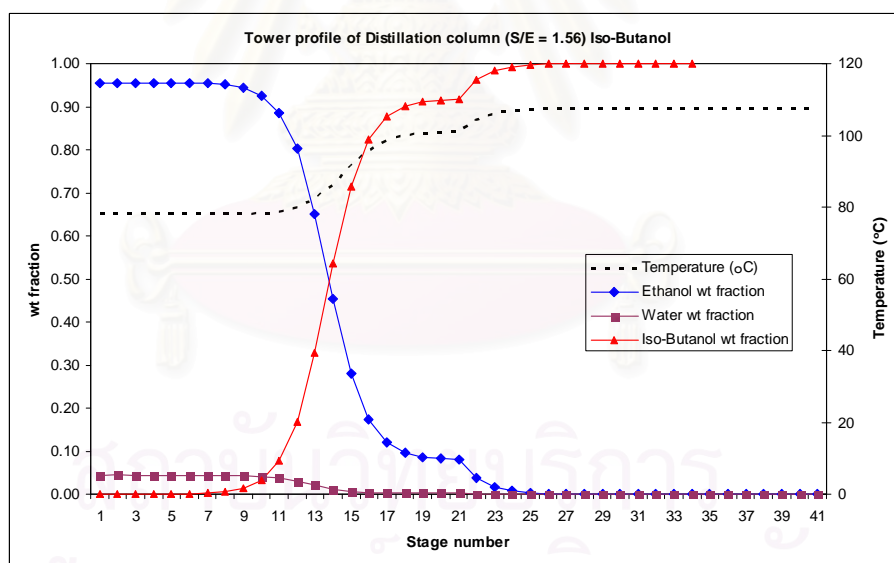
รูปที่ ง.15 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ ไอโซโพรพานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



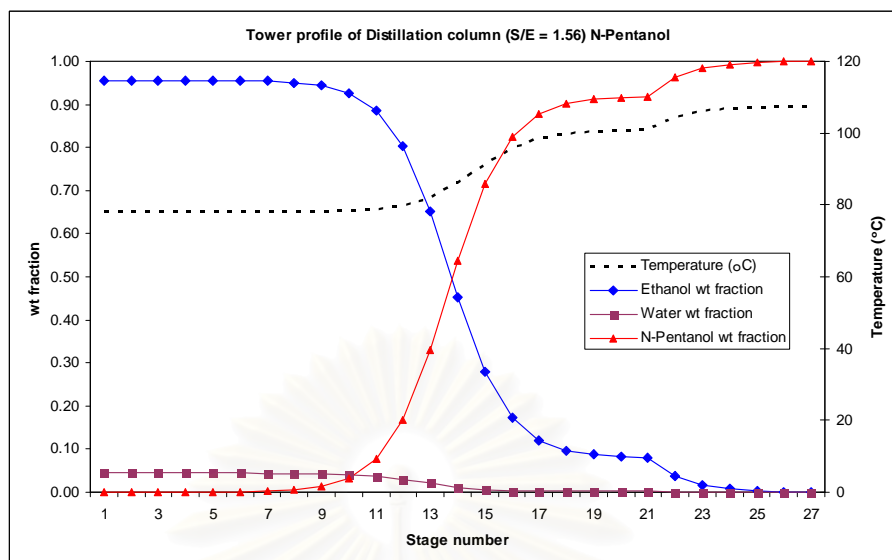
รูปที่ ง.16 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ 2-บิวทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



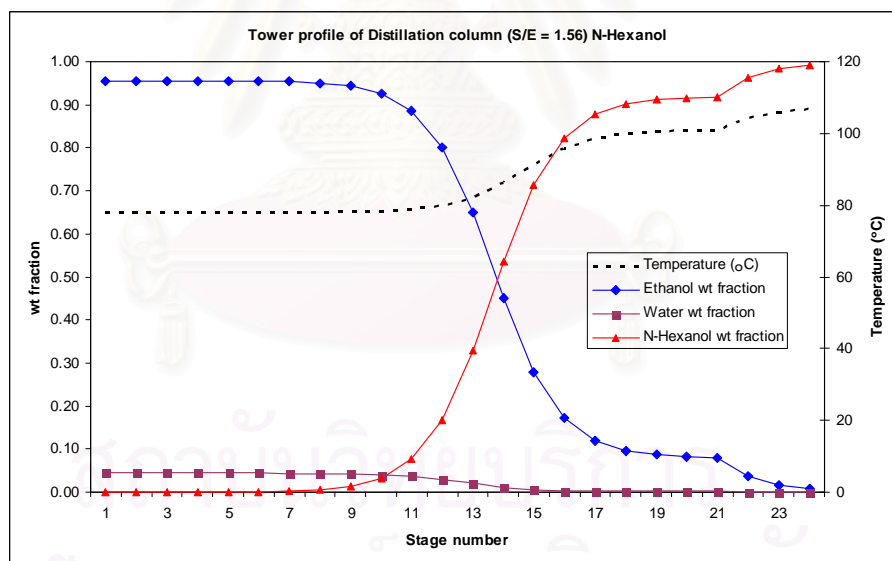
รูปที่ ง.17 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และบิวทานอลในหอกถั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกถั่น 3 หอ



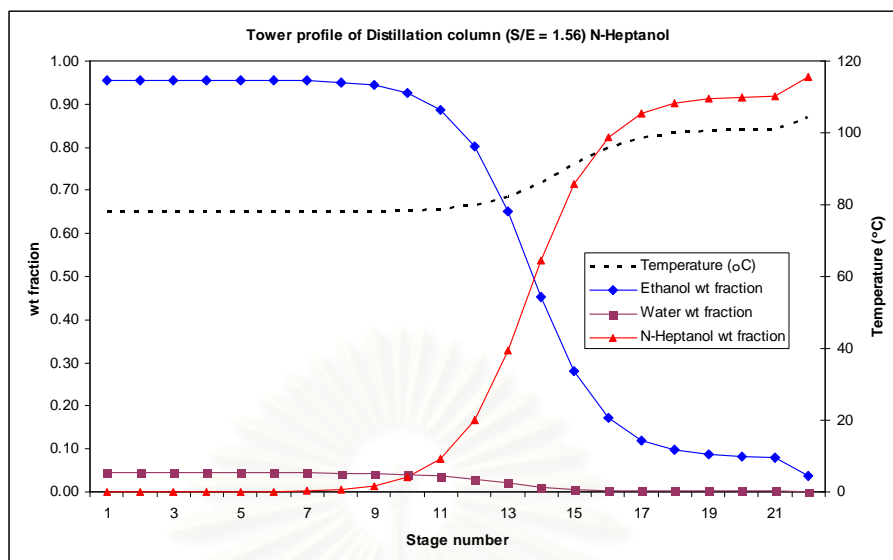
รูปที่ ง.18 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และไอโซบิวทานอลในหอกถั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกถั่น 3 หอ



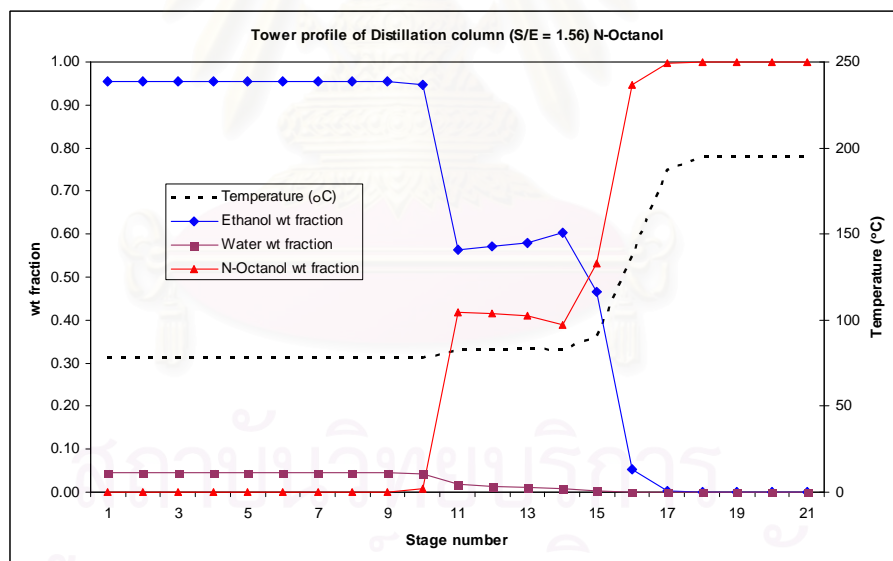
รูปที่ ง.19 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเพนทานอลในหอกกลั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมมูล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



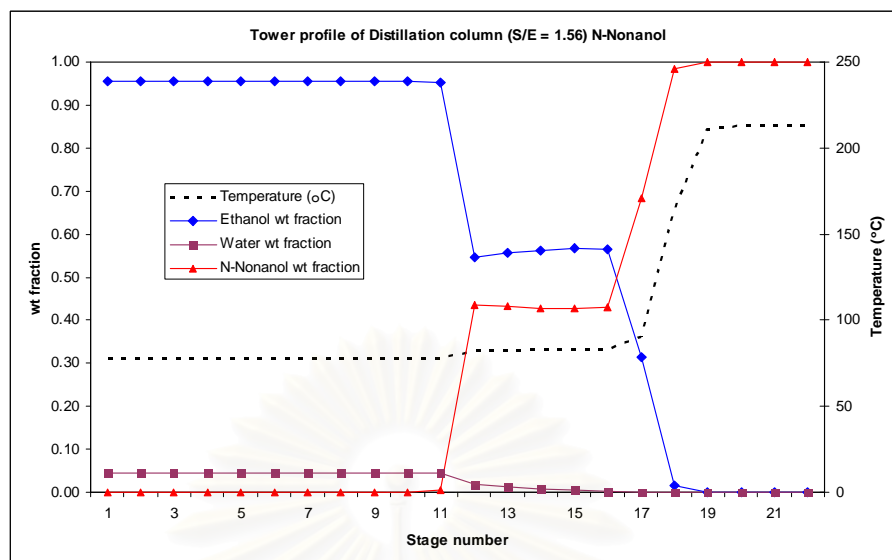
รูปที่ ง.20 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮกซานอลในหอกกลั่นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมมูล โดยใช้หอกกลั่น 3 หอ



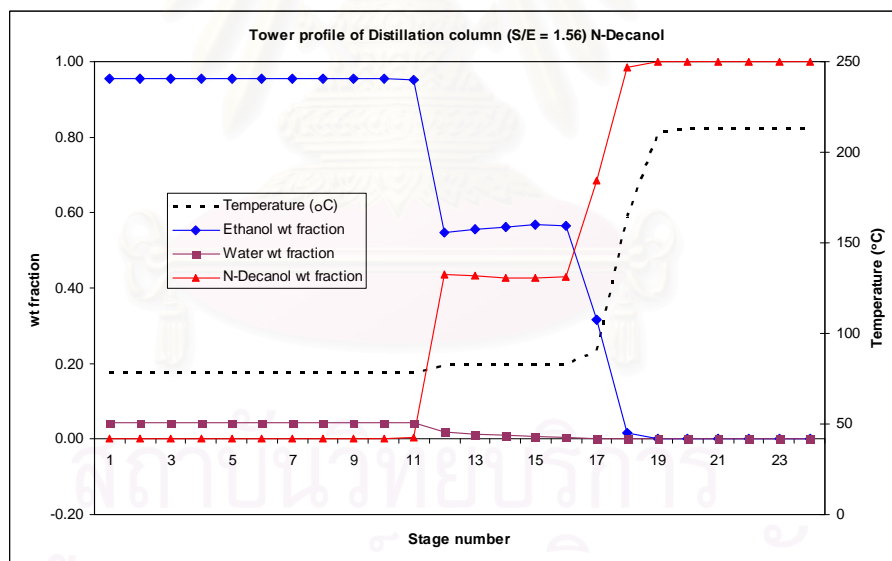
รูปที่ ง.21 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเฮปทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



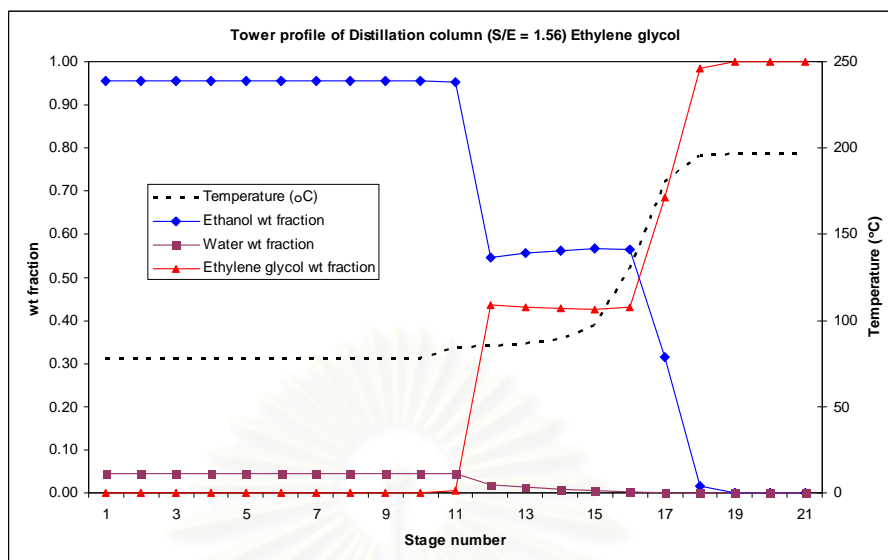
รูปที่ ง.22 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และออกทานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



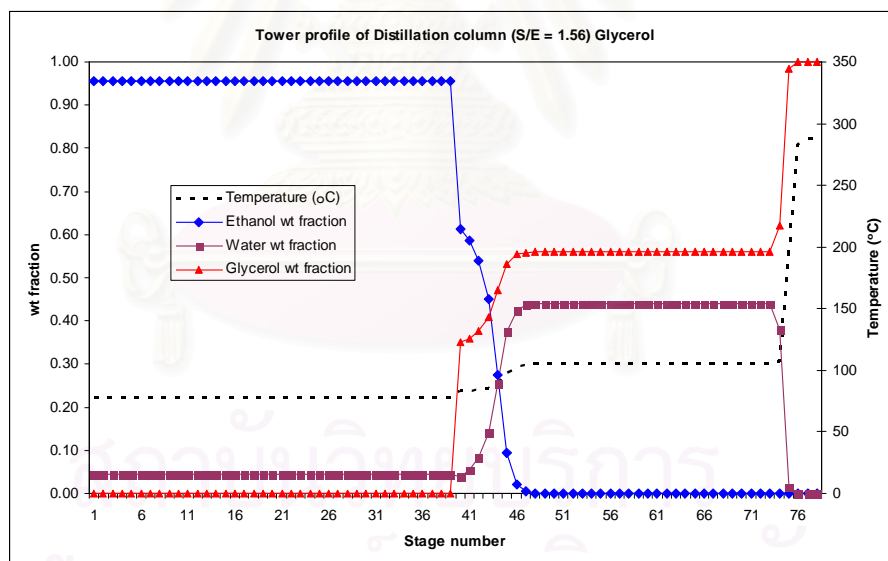
รูปที่ ง.23 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ โนนานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



รูปที่ ง.24 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และ เดคานอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



รูปที่ ง.25 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และเอทิลีน ไกลคอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ



รูปที่ ง.26 แสดงสัดส่วนโดยมวลของเอทานอล น้ำ และกลีเซอรอลในหอกลิ้นเอทานอล
แต่ละชั้นตอนสมดุล โดยใช้หอกลิ้น 3 หอ

ภาคผนวก จ : การเผยแพร่ผลงานวิจัยระดับชาติ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและ เคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17



TIChE17

29 – 30 ตุลาคม 2550
ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส
จ.เชียงใหม่

จัดโดย
สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย
ร่วมกับ
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



การประมาณสมมูลไอ-ของเหลวสำหรับของผสมจุดเดือดคงที่ ณ ความดันบรรยากาศ

เจษฎา บุญนำพา และเคชา ฉัตรศิริเวช*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

1. บทนำ

ของผสมจุดเดือดคงที่ หรืออะซิโโทรอป คือ สารละลายผสมใด ๆ เมื่ออยู่ในสมดุลไอ-ของเหลว สารองค์ประกอบทุกสารจะมีสัดส่วนไอเท่ากับสัดส่วนในของเหลว และมีจุดเดือดคงที่ ณ ความดันนั้น ๆ โดยของผสมจุดเดือดคงที่ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ของผสมจุดเดือดคงที่เนื้อเดียว คือ สารองค์ประกอบในของเหลวผสมเป็นเนื้อเดียว [1] เช่น ของผสมระหว่างเอทานอลและน้ำ [2] เป็นต้น และของผสมจุดเดือดคงที่ที่ไม่เป็นเนื้อเดียว คือ สารองค์ประกอบในของเหลวจะแยกชั้น เช่น ของผสมระหว่างน้ำและเบนซีน [3] เป็นต้น

ในการศึกษาสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ที่มีสารองค์ประกอบเพียง 2 สาร สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ สัดส่วนในของผสมจุดเดือดคงที่ได้ โดยคำนวณจากแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ ได้แก่ Soave Redlich Kwong, NRTL, UNIQUAC และ UNIFAC เป็นต้น แต่เมื่อมีจำนวนสารองค์ประกอบมากขึ้น การคำนวณที่กล่าวมาจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปไม่มีฟังก์ชันในการคำนวณสมดุลไอ-ของเหลวที่มีสารองค์ประกอบมากกว่าสองสาร แต่ในความเป็นจริงมีโอกาสพบของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีสารองค์ประกอบมากกว่าสองสาร เช่น ของผสมระหว่างเอทานอล น้ำ และเบนซีน [4] เป็นต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะประมาณสมมูลไอ-ของเหลวที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีสารองค์ประกอบมากกว่าสององค์ประกอบ โดยการสร้างสมมูลไอ-ของเหลวขึ้นมาให้สามารถอธิบายสมบัติของของผสมจุดเดือดคงที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2. วิธีการทดลอง

2.1 สร้างแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สามารถคำนวณระบบของเหลวแยกชั้นได้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูป 1 เพื่อคำนวณค่าตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ และ สัดส่วนของสารองค์ประกอบในของผสมจุดเดือดคงที่ ณ ความดันบรรยากาศ โดยการเปลี่ยนสัดส่วนโดยมวลของสารที่เข้าสู่สมดุลไอ-ของเหลว จนสัดส่วนโดยมวลในก๊าซและของเหลวมีค่าตรงกันเหมือนใจดังสมการ (1) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่

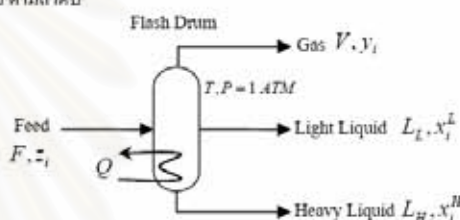
$$\left| y_i - (x_i^L + x_i^H) \right| \leq 0.0024 \quad (1)$$

และ โปรแกรมก็จะคำนวณอุณหภูมิที่เกิดสมดุลไอ-ของเหลวออกมา สำหรับการศึกษสมดุลไอ-ของเหลวที่ของเหลวไม่แยกชั้น สัดส่วนของของเหลวจะเหลือเพียงค่าเดียว จากนั้นนำสัดส่วนและ อุณหภูมิของสารในของผสมจุดเดือดคงที่ไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณกับข้อมูลของผสมจุดเดือดคงที่ซึ่งมีการรายงานเอาไว้ [3-5] ในรูป

ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสัดส่วนและอุณหภูมิที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่ ดังสมการ (3)

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{(\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากการข้อมูล}) \times 100}{\text{ค่าจากการข้อมูล}} \quad (2)$$

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อกำหนดน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (เนื่องจากพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 5 %) จากของผสมจุดเดือดคงที่สอง และ สารองค์ประกอบทั้งหมด 80 และ 75 ระบบ ตามลำดับ



รูป 1 สมดุลไอ-ของเหลวสำหรับระบบของเหลวแยกชั้น

สมการสมดุลที่เกี่ยวข้องในการคำนวณโดยแบบจำลองสมมูลไอ-ของเหลวที่สำหรับระบบของเหลวแยกชั้นมีดังนี้

- สมการสมดุลมวล

$$Fz_i = Vy_i + L_L x_i^L + L_H x_i^H \quad (3)$$

- สมการสมดุลพลังงาน

$$h_f F + Q = h_v V + h_L^L L_L + h_L^H L_H \quad (4)$$

- สมการสมดุลไอ-ของเหลว และของเหลว-ของเหลว

$$K_i^L = y_i / x_i^L \quad (5)$$

$$K_i^H = y_i / x_i^H \quad (6)$$

$$K_i^{LH} = x_i^L / x_i^H \quad (7)$$

สำหรับตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ในสมการสมดุลจะดูนำไปคำนวณร่วมกับแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อคำนวณสมดุลไอ-ของเหลว

2.2 ศึกษาสมดุลไอ-ของเหลว เมื่อใช้แบบจำลอง UNIFAC และ NRTL สำหรับการคำนวณแบบแยกชั้นของเหลว (VLE) และการคำนวณแบบไม่แยกชั้นของเหลว (VLE) โดยคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3. ผลการคำนวณและวิจารณ์ผล

แบบจำลองในกลุ่ม Equations of State ได้แก่ SRK และ PR ไม่สามารถคำนวณของผสมจุดเดือดคงที่สามองค์ประกอบ และ ระบบที่มีน้ำได้ แต่สามารถคำนวณผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบ

แบบจำลองในกลุ่ม Liquid Activity ได้แก่ UNIFAC, NRTL และ UNIQUAC สามารถใช้ในการคำนวณของผสมจุดเดือดคงที่สองและ

* corresponding author(s); cdeacha@chula.ac.th

FUO18_2

สามองค์ประกอบ โดยแบบจำลอง UNIFAC VLE มีจำนวนข้อมูลที่สามารถคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สองและ สามองค์ประกอบพบมากที่สุดเมื่อเทียบกับของผสมจุดเดือดคงที่สอง และ สามองค์ประกอบทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง NRTL VLE และ UNIFAC VLE มีข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์มากที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมดที่พบของผสมจุดเดือดคงที่สอง และ สามองค์ประกอบ ดังตารางที่ 1

การเลือกใช้แบบจำลอง UNIFAC เมื่อเปลี่ยนการคำนวณแบบ VLE ไปคำนวณแบบ VLE จะทำให้แบบจำลองใช้ได้กับสารในกลุ่ม Ether และ Amine เพิ่มจากกลุ่มที่มีอยู่เดิม และแบบจำลอง NRTL เมื่อเปลี่ยนไปคำนวณแบบ VLE ก็จะทำให้แบบจำลองใช้ได้กับสารในกลุ่ม Ether เนื่องจากสารในกลุ่ม Ether และ Amine เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบแบบแยกชั้นของเหลวกับน้ำ [4] เมื่อเปลี่ยนไปคำนวณแบบ VLE ก็จะทำให้ได้ผลการคำนวณสำหรับสารในกลุ่มที่เกิดของผสมจุดเดือดคงที่สองแบบแยกชั้นใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีการรายงานเอาไว้มากขึ้น ดังตารางที่ 2

ตาราง 1 เปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่สามารถคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สอง และ เปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยกว่า 5 %

แบบจำลอง	สมการไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น			
	สององค์ประกอบ		สาม องค์ประกอบ	
	%ที่พบ	%<5	%ที่พบ	%<5
(1) Equations of State				
- SRK	1.3	64.3	-	-
- PR	1.3	64.3	-	-
(2) Liquid Activity				
- UNIFAC VLE	100	58.1	97.3	28.3
- UNIFAC VLE	85.0	60.3	41.3	38.7
- NRTL VLE	40.0	68.8	96.0	13.0
- NRTL VLE	78.8	74.6	96.0	16.7
- UNIQUAC	50.0	48.8	20.0	31.1

4. สรุปผลการคำนวณ

- แบบจำลองในกลุ่ม Equations of State ได้แก่ SRK และ PR ไม่สามารถใช้ในการคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สองและ สามองค์ประกอบ

- แบบจำลองในกลุ่ม Liquid Activity ได้แก่ UNIFAC, NRTL และ UNIQUAC สามารถใช้ในการคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สองและ สามองค์ประกอบ

- การคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สองแบบแยกชั้นของเหลว หรือไม่แยกชั้นของเหลว สำหรับแบบจำลอง UNIFAC และ NRTL ต้องพิจารณาข้อมูลการแยกชั้นของเหลวในของผสมจุดเดือดคงที่สองระบบนั้น ๆ ด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Eva-Katrine Hilmén. (2000). *Separation of Azeotropic Mixtures: Tools for Analysis and Studies on Batch Distillation Operation*,

Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering, 30-37.

[2] Ullmann. (1996). *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Sixth Completely Revised Edition.
 [3] David, R. (1994). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, New York.
 [4] Ibert Mellan. (1959). *Source Book of Industrial Solvents*, Chapman & Hall, Ltd.
 [5] David, R. (2004). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, New York.

ตาราง 2 กลุ่มสารประกอบที่สามารถคำนวณหาของผสมจุดเดือดคงที่สองได้โดยแบบจำลองสมการไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น

แบบจำลอง	ฟังก์ชันไม่ประสม	สมการไอ-ของเหลวที่สร้างขึ้น	
	สององค์ประกอบ	สององค์ประกอบ	สามองค์ประกอบ
(1) Equations of State			
- SRK	-	ROH, RH	-
- PR	-	ROH, RH	-
(2) Liquid Activity			
- UNIFAC VLE	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH, RCHO	H ₂ O, RH, ROH, RCOOR', RCOOR', RC=CR, RC ₂ H ₅
- UNIFAC VLE	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH, RCHO, ROR', RNH	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH, RCHO, ROR', RNH	H ₂ O, XC=CX, ROH, ROR, RC ₂ H ₅
- NRTL VLE	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH	H ₂ O, RH, ROH, RCOOR', XC=CX
- NRTL VLE	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH, ROR'	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH, ROR'	H ₂ O, RH, ROH, RCOOR', ROR, XC=CX
- UNIQUAC	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH	H ₂ O, RC ₂ H ₅ , ROH, RH, RCOOR', RCOOR', RX, RCN, RCOOH	H ₂ O, RH, RCOOR'

หมายเหตุ : - หมู่ R และ R' เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นตัว
 - จากข้อมูลของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบจะมีสารในกลุ่มแอลกอฮอล์และน้ำเป็นองค์ประกอบเสมอ
 - จากข้อมูลของผสมจุดเดือดคงที่สององค์ประกอบจะมีสารในกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบเสมอ แต่สององค์ประกอบที่สองและ สามอาจมีน้ำหรือไม่ก็ได้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย เจษฎา บุญนำพา เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย