



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกลิ้นด้วยแผนภาพอียูดี

โดย รุจิรา ตาปราบ

มิถุนายน 2546

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกลับด้วยแผนภาพอียูดี

โดย รุจิรา ตาปราบ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมืออย่างดีจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศ. ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ที่เป็นที่ปรึกษาโครงการนี้มาตลอดและต้องขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัยแก่โครงการนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของทุกฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

Abstract

=====

Project Code: PDF/41/2541

Project Title: Energy and Exergy Analysis of Distillation Column via EUD

Investigators: Miss Ruchira Taprap

Faculty of Agricultural Tech., King Mongkut's Institute of Tech. Ladkrabang

E-mail address: ktruchin@kmitl.ac.th

Project Period: July 1998 - June 2000

Objectives:

- To visualize the complicated behavior of processes in distillation as the graphical diagram
- To be as a demonstration case for other processes.
- To extend the knowledge in distillation column

Methodology:

- Choose the model of mass and heat transfer for calculation method
- Apply EUD (Energy Utilization Diagram) to explain the process behavior
- Interpret the results as the diagram

Results:

The EUD of distillation column can be drawn as the diagram. In each stage of column except reboiler and condenser, there are six kinds of exergy losses, i.e. exergy losses due to mixing in liquid and vapor phases, exergy losses due to heating of liquid and cooling of vapor phase, and exergy losses due to evaporation and condensation.

For the nonideal mixture, the result can not be obtained because of the calculation failure.

Discussion Conclusion:

The results can reveal the complicated behavior of distillation column on the EUD diagram. From the diagram, the amount of enthalpy of each process can be visualized by the width, the energy level by the height and the exergy loss by the area of this diagram.

When the reflux ratio is reduced, the amount of energy change in each stage has been reduced.

Suggestions/Further Implication/Implementation:

If the number of stage is increased, say 30 stages, the EUD diagram is not suitable.

Keywords: Exergy, Distillation, Energy

รหัสโครงการ PDF/41/2541

ชื่อโครงการ การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกลั่นด้วยแผนภาพอียูตี

หน่วยงานของนักวิจัย นาง รุจิรา ตาปราบ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

e-mail address: kruchin@kmitl.ac.th

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย กรกฎาคม 2541 – มิถุนายน 2543

วัตถุประสงค์

- เพื่อที่จะอธิบายพฤติกรรมที่ซับซ้อนของกระบวนการในหอกลั่นให้เป็นแผนภาพที่เข้าใจได้ง่าย
- เพื่อที่จะใช้เป็นแบบอย่างในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม
- เพื่อที่จะขยายและส่งเสริมความรู้ที่มีอยู่ให้เพิ่มขึ้น

วิธีการวิจัย

- เลือกแบบจำลองที่เป็นแบบ mass and heat transfer model
- ประยุกต์ใช้แผนภาพอียูตีในการอธิบายพฤติกรรมที่ซับซ้อนของหอกลั่น
- เขียนผลลัพธ์ที่ได้ให้เป็นแผนภาพ

ผลลัพธ์ของการวิจัย

แผนภาพอียูตีของหอกลั่นสามารถเขียนได้ ในแต่ละชั้นของหอกลั่นยกเว้น reboiler และ condenser แล้ว พบว่า การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีสามารถแบ่งได้เป็นหกชนิดด้วยกัน ได้แก่ (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการผสมในก๊าซเฟสและของเหลวเฟส (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการกระบวนการ heating ของของเหลวเฟสและ cooling ของก๊าซเฟส และ (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการ evaporation และ condensation ของแต่ละองค์ประกอบ

สำหรับของผสมที่เป็นอุดมคติ ผลลัพธ์ไม่สามารถทำได้เนื่องจากการคำนวณไม่ได้

สรุปสาระสำคัญของการวิจัย

แผนภาพอียูตีของหอกลั่นสามารถเปิดเผยความซับซ้อนของกระบวนการต่างๆที่มีขึ้นในหอกลั่นได้ จากแผนภาพทำให้สรุปได้ว่า แกนนอนของแผนภาพแสดงปริมาณของพลังงานของแต่ละกระบวนการ แกนตั้งแสดงถึงระดับพลังงาน และพื้นที่ของแผนภาพแสดงถึงปริมาณของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยี เมื่อค่าของ reflux ratio ลดลง ปริมาณของการเปลี่ยนแปลงพลังงานของแต่ละกระบวนการก็ลดลงตามไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

ถ้าจำนวนของชั้นภายในหอกลั่นเพิ่มขึ้นมากๆเช่น เป็น 30 ชั้น แผนภาพอียูตีจะไม่เหมาะสม

Keywords: Exergy, Distillation, Energy

Executive Summary

ชื่อโครงการ การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกลั่นด้วยแผนภาพอียูดี

หน่วยงานของนักวิจัย นาง รุจิรา ตาปราบ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

e-mail address: kruchir@kmitl.ac.th

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย กรกฎาคม 2541 – มิถุนายน 2543

วัตถุประสงค์

- เพื่อที่จะอธิบายพฤติกรรมที่ซับซ้อนของกระบวนการในหอกลั่นให้เป็นแผนภาพที่เข้าใจได้ง่าย
- เพื่อที่จะใช้เป็นแบบอย่างในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม
- เพื่อที่จะขยายและส่งเสริมความรู้ที่มีอยู่ให้เพิ่มขึ้น

วิธีการวิจัย

- เลือกแบบจำลองที่เป็นแบบ mass and heat transfer model
- ประยุกต์ใช้แผนภาพอียูดีในการอธิบายพฤติกรรมที่ซับซ้อนของหอกลั่น
- เขียนผลลัพธ์ที่ได้ให้เป็นแผนภาพ

ผลลัพธ์ของการวิจัย

แผนภาพอียูดีของหอกลั่นสามารถเขียนได้ ในแต่ละชั้นของหอกลั่นยกเว้น reboiler และ condenser แล้ว พบว่า การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีสามารถแบ่งได้เป็นหกชนิดด้วยกัน ได้แก่ (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการผสมในก๊าซเฟสและของเหลวเฟส (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการระเหยของของเหลวเฟสและ cooling ของก๊าซเฟส และ (2 ชนิด) การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการ evaporation และ condensation ของแต่ละองค์ประกอบ

สำหรับของผสมที่เป็นอุดมคติ ผลลัพธ์ไม่สามารถทำได้เนื่องจากทำการคำนวณไม่ได้

สรุปสาระสำคัญของการวิจัย

แผนภาพอียูดีของหอกลั่นสามารถเปิดเผยความซับซ้อนของกระบวนการต่างๆที่มีขึ้นในหอกลั่นได้ จากแผนภาพทำให้สรุปได้ว่า แกนนอนของแผนภาพแสดงปริมาณของพลังงานของแต่ละกระบวนการ แกนตั้งแสดงถึงระดับพลังงาน และพื้นที่ของแผนภาพแสดงถึงปริมาณของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยี เมื่อค่าของ reflux ratio ลดลง ปริมาณของการเปลี่ยนแปลงพลังงานของแต่ละกระบวนการก็ลดลงตามไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

ถ้าจำนวนของชั้นภายในหอกลั่นเพิ่มขึ้นมากๆเช่น เป็น 30 ชั้น แผนภาพอียูดีจะไม่เหมาะสม

Keywords: Exergy, Distillation, Energy

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	7
1.1 ที่มาของปัญหา	7
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	8
1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย	8
บทที่ 2 หลักการและงานที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 แบบจำลองสำหรับคำนวณ (Simulation model)	9
2.1.1 Equilibrium model	9
2.1.2 Mass and Heat Transfer model	9
2.2 แผนภาพอียูดี (EUD: Energy Utilization Diagram)	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 แผนงานและผลการวิจัย	13
3.1 แผนงานวิจัย	13
3.2 ผลการวิจัย	14
3.2.1 การวิเคราะห์สององค์ประกอบ	14
3.2.2 การวิเคราะห์สามองค์ประกอบ	17
3.2.3 การวิเคราะห์ของผสมที่เป็นออกุทมคติ	19
3.3 ข้อเสนอแนะและอุปสรรค	19
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

กระบวนการต่างๆทางด้านอุตสาหกรรม เช่น การระเหย (evaporation) การกลั่น (distillation) เป็นต้น ต่างเป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานโดยเฉพาะพลังงานความร้อนที่ค่อนข้างสูงเพื่อใช้ในการแยกสาร หอกลั่นเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีนักวิจัยให้ความสนใจมาร่วมครั้งทศวรรษ โดยหลักการของหอกลั่นทั่วไป (conventional distillation) ความร้อนจะถูกป้อนที่ด้านล่างของหอกลั่นคือที่ reboiler และความร้อนส่วนใหญ่จะถูกดึงออกที่ด้านบนของหอกลั่นที่เครื่องควบแน่น (condenser) ภายในหอกลั่นการแยกสารจะเกิดขึ้นได้โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนของสสารที่เป็นไอและของเหลว องค์ประกอบที่เบากว่าหรือสามารถกลายเป็นไอดีง่ายกว่าจะถูกแยกออกด้านบนของหอกลั่น ส่วนองค์ประกอบที่หนักกว่าจะถูกแยกออกด้านล่างของหอกลั่น

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายในหอกลั่นเป็นกระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากเกิดการระเหยกลายเป็นไอของบางองค์ประกอบในขณะเดียวกันจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวของบางองค์ประกอบ ยิ่งเมื่อมีจำนวนองค์ประกอบมากขึ้น ความซับซ้อนก็มีมากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะพยายามอธิบายความซับซ้อนต่างๆที่ควรเกิดขึ้นภายในหอกลั่นให้ออกมาเป็นแผนภาพเพื่อที่จะมองเห็นการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นโดยอาศัยแผนภาพที่เรียกว่าอียูดี (EUD: Energy Utilization Diagram) เอกลักษณ์ของแผนภาพนี้คือ สามารถแสดงผลของปริมาณของพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างกระบวนการที่ให้พลังงาน (energy donating process: ΔH_{ed}) กับกระบวนการที่รับพลังงาน (energy accepting process: ΔH_{ea}) ในแนวแกนนอนและระดับพลังงานของทั้งสองกระบวนการในแนวแกนตั้งของแผนภาพ ส่วนพื้นที่ใต้เส้นทั้งสองนี้แสดงถึงปริมาณการสูญเสียเอ็กเซอร์ยี (Exergy loss: EXL) ซึ่งค่าของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีนี้จะมองเห็นได้ชัดเจนบนแผนภาพและสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อที่จะอธิบายพฤติกรรมที่ซับซ้อนของกระบวนการในหอกลั่นให้เป็นแผนภาพที่เข้าใจได้ง่ายและมองเห็นชัดเจน
- เพื่อที่จะใช้เป็นแบบอย่างในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม
- เพื่อที่จะขยายและส่งเสริมความรู้ที่มีอยู่ให้มากขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- เลือกสมการในการคำนวณเป็นแบบ mass and heat transfer model
- เขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณหาต่างๆ เช่น ค่าเอ็นทัลปีของไอและของเหลว ค่าปริมาณของอัตราการไหลของไอและของเหลว เป็นต้น ส่วนนี้ของโปรแกรมจะเป็นโปรแกรมหลัก (ส่วนที่ 1)
- เขียนโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ค่าของพลังงานและเอนโทรปีของหอกลับ (ส่วนที่ 2)
- เขียนโปรแกรมสำหรับแสดงผลบนแผนภาพอียูดี (ส่วนที่ 3)

สำหรับตัวอย่างของผสมที่เป็นสององค์ประกอบจะเลือกเป็น n-hexane และ n-octane สามองค์ประกอบเป็น n-hexane, n-heptane และ n-octane ส่วนของผสมที่เป็นออกุตมคติ (nonideal mixture) จะเลือกเป็น water-ethanol และ water-ethanol-methanol

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

- สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการแยกสารในอุตสาหกรรมได้
- สามารถใช้เป็นแบบอย่างในการวิเคราะห์พลังงานและเอนโทรปีของหอกลับที่มีของผสมที่แตกต่างกันไปได้

บทที่ 2

หลักการและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองสำหรับคำนวณ (Simulation Model)

2.1.1 Equilibrium Model

การคำนวณค่าต่างๆของหอกลั่นนิยมใช้ equilibrium model เนื่องจากว่าการตั้งสมมุติฐานเป็นไปค่อนข้างง่าย โดยหลักการแล้วของเหลวและไอที่มีการสัมผัสกันภายในแต่ละชั้นของหอกลั่นจะอยู่ในสภาวะที่เป็นสมดุลกัน นั่นคือใช้ความสัมพันธ์แบบสมดุลได้ (equilibrium relationship) จากความสัมพันธ์นี้สามารถบอกได้ถึงอุณหภูมิของของเหลวและไอ ปริมาณขององค์ประกอบทั้งในของเหลวและไอได้ด้วย ยกตัวอย่างสมการเช่น

$$K_i = y_i / x_i = (x_i P_i^\circ / P) / x_i = P_i^\circ / P \quad (2.1)$$

โดยที่ K_i หมายถึง ค่าคงที่สมดุลระหว่างไอกับของเหลว

x_i หมายถึง ปริมาณขององค์ประกอบ i ในของเหลว

y_i หมายถึง ปริมาณขององค์ประกอบ i ในไอ

P_i° หมายถึง ความดันไอขององค์ประกอบ i ซึ่งจะขึ้นกับอุณหภูมิ

P หมายถึง ความดันรวม

จากสมการ (2.1) ถ้าทราบค่าของอุณหภูมิ (T) จะทำให้สามารถหาค่า P_i° ได้ และจะหาค่า K_i ได้ ทำให้ทราบค่า x_i และ y_i ได้ตามลำดับ

2.1.2 Mass and Heat Transfer Model

สำหรับแบบจำลองการถ่ายเทมวลและความร้อนนี้ จะคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยพิจารณาที่ interface ระหว่างของเหลวกับไอที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของหอกลั่น สมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

$$N_i = J_i + C V_s y_{si} \quad (2.2)$$

โดยที่ N_i เป็นการถ่ายเทมวลรวม (Total mass flux)

J_i เป็น diffusional flux

$C V_s y_{si}$ เป็น convective flux

สมการการถ่ายเทความร้อนคำนวณจาก

$$W \sum N_i \lambda_i = Q_{\text{wall}} + Q_{\text{vapor}} - Q_{\text{liquid}} \quad (2.3)$$

โดยที่ W เป็นพื้นที่หน้าตัดของการสัมผัสระหว่างของเหลวและไอ

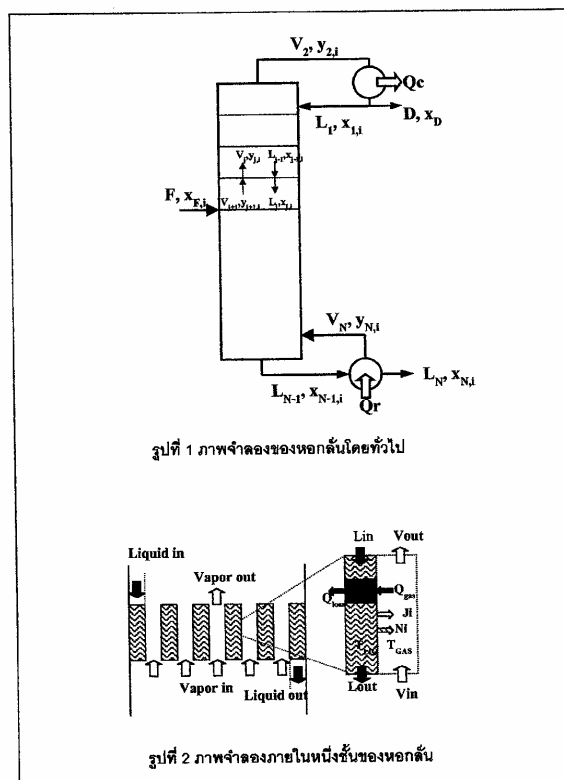
λ_i เป็นความร้อนแฝงขององค์ประกอบ i

Q_{vapor} เป็นปริมาณความร้อนจากไอ

Q_{liquid} เป็นปริมาณความร้อนจากของเหลว

Q_{wall} เป็นปริมาณความร้อนที่สูญเสีย

รูปที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของค่าๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ



รูปที่ 2.1 รายละเอียดของค่าต่างๆในหอกลั่น

2.2 แผนภาพอียูดี (EUD:Energy Utilization Diagram)

แผนภาพอียูดีเป็นแผนภาพที่แสดงปริมาณของพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างกระบวนการสองกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการผู้ให้พลังงาน (energy donating process) และกระบวนการผู้รับพลังงาน (energy accepting process) ในแนวแกนตั้ง และระดับพลังงาน (energy level) ของทั้งสองกระบวนการในแนวแกนนอน การสร้างแผนภาพอียูดีนี้อาศัยกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยถือว่าทุกๆกระบวนการมีการให้หรือรับพลังงานที่ระดับพลังงานหนึ่งๆ จะสามารถเขียนสมการการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสองกระบวนการได้ดังนี้

$$\Delta H_{ed} + \Delta H_{ea} = 0 \quad (2.4)$$

$$\Delta S_{ed} + \Delta S_{ea} \geq 0 \quad (2.5)$$

จากนิยามของเอนโทรปีจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_k &= \Delta H_k - T_o \Delta S_k \quad (k \text{ คือ } ed \text{ หรือ } ea) \\ &= \Delta H_k A_k \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่ หมายถึงระดับพลังงานของแต่ละกระบวนการและนิยามดังนี้

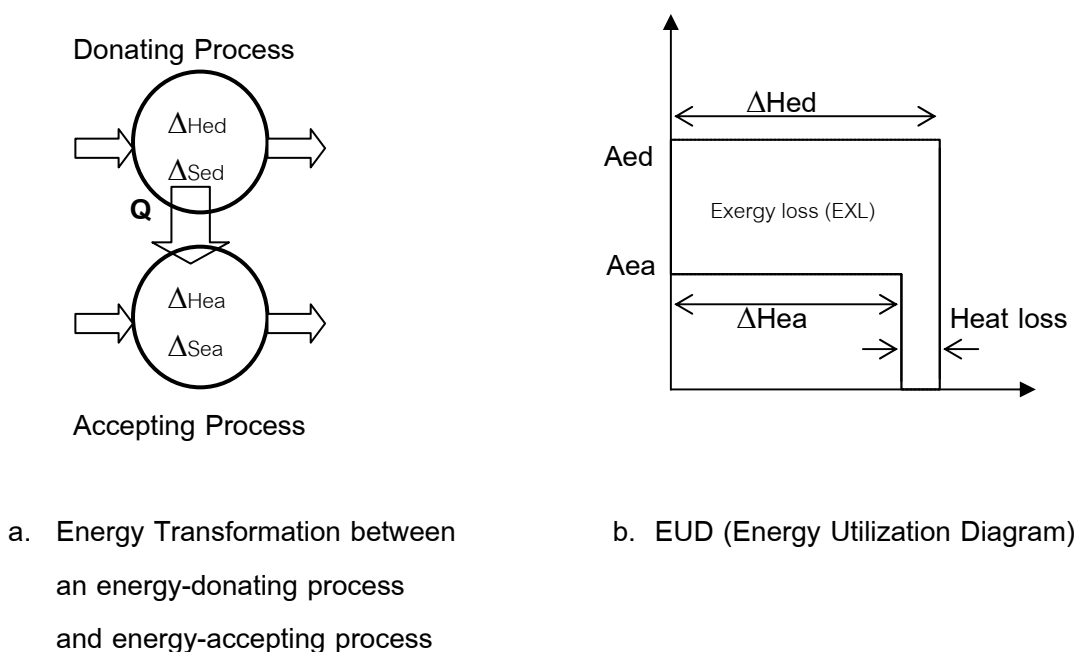
$$A_k = \Delta \mathcal{E}_k / \Delta H_k = 1 - T_o \Delta S_k / \Delta H_k \quad (2.7)$$

สำหรับการสูญเสียเอนโทรปี (EXL) จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} EXL &= -\Delta \mathcal{E}_k = -(\Delta H_k A_k) \\ &= \Delta H_{ed} A_{ed} - \Delta H_{ea} A_{ea} \\ &= \Delta H_{ea} (A_{ed} - A_{ea}) \geq 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

สมการที่ (2.8) เป็นสมการที่แสดงถึงการสูญเสียเอนโทรปีของการแลกเปลี่ยนพลังงานของสองกระบวนการใดๆ โดยขนาดของการสูญเสียนี้แสดงได้ในลักษณะพื้นที่ของแผนภาพ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

ในการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการใดก็ตาม จำเป็นที่จะต้องทราบถึงปริมาณของพลังงาน (หรือเอนทัลปี) ที่มีการแลกเปลี่ยนกันและระดับพลังงานของกระบวนการนั้นๆ จากนั้นจะสามารถสร้างแผนภาพอียูดีได้ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั้นจากแผนภาพอียูดีก็คือการพยายามที่จะลดการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีนั่นเอง



รูปที่ 2.2 ลักษณะของแผนภาพอียูดี

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์พลังงานของหอกกลั่นโดยใช้แผนภาพไทม์นักวิจัยได้ศึกษาและรายงานผลไว้หลายแห่งเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น Naka et al (1980) ได้ศึกษาการใช้แผนภาพ $(1-T/T_0)$ -Q diagram วิเคราะห์การใช้พลังงานแต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้แสดงการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีบนแผนภาพได้ Ishida et al (1983) ได้ใช้แผนภาพที่เรียกว่า energy-direction factor diagram ในการวิเคราะห์พลังงานของหอกกลั่น ซึ่งแผนภาพนี้จะคล้ายกับแผนภาพอียูดีแต่ direction factor (D) นั้นนิยามเป็น $D = 1 - A$ (โดยที่ A ก็คือระดับพลังงานนั่นเอง) ส่วน Rivero et al (1991) ได้ใช้แผนภาพชื่อ enthalpy-Carnot factor diagram วิเคราะห์พลังงานของหอกกลั่น

Taprap et al (1996) ได้ใช้แผนภาพอียูดีในการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกกลั่น แต่งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงเฉพาะของผสมที่มีสององค์ประกอบเท่านั้น Budiman et al (1996) ได้ใช้แผนภาพที่เป็นสามมิติที่เรียกว่า Integrated EUD (IEUD) วิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีไว้เช่นกัน

บทที่ 3

แผนงานและผลการวิจัย

3.1 แผนงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วางแผนศึกษากรณีหากลั่นที่ใช้แยกของผสมที่เป็นสององค์ประกอบ(n-hexane –n-octane) สามองค์ประกอบ (n-hexane, n-heptane, n-octane) ในปีที่ 1 และของผสมที่ไม่ใช่อุดมคติ ได้แก่ water-ethanol และ water-ethanol-methanol ในปีที่ 2 กิจกรรมและการดำเนินงานสรุปในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนและผลการดำเนินงานตลอดโครงการ

ระยะเวลาการดำเนินงาน	กิจกรรมที่จะดำเนินงาน	กิจกรรมที่ได้ดำเนินงาน	ผลที่ได้จากการดำเนินงาน
ปีที่ 1 (ส.ค.41-ก.ค.42)	1. รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณของหากลั่น 2. สร้างโปรแกรมคำนวณเอ็นเนอร์ยีและเอ็กเซอร์ยีของผสมที่เป็นอุดมคติสำหรับ 2 และ 3 องค์ประกอบ 3. สรุปผลการวิเคราะห์	-ใช้โมเดลของการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนของแต่ละองค์ประกอบ - เขียนโปรแกรมการคำนวณ	แสดงผลของพลังงานและเอ็กเซอร์ยีของสองและสามองค์ประกอบในแผนภาพอียูดี
ปีที่ 2 (ส.ค.42-ก.ค.43)	พัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณของผสมที่เป็นอุดมคติ	ปรับปรุงโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีสำหรับของผสมอุดมคติ	ไม่สามารถสร้างการคำนวณพลังงานและเอ็กเซอร์ยีของของผสมดังกล่าวได้
ปีที่ 3 (ส.ค.43-มิ.ย.43)	พัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณของผสมที่เป็นอุดมคติ	พยายามพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณของผสมที่เป็นอุดมคติ	ไม่ประสบผลสำเร็จ

เดือนตุลาคม 2546	ได้ทดลองประยุกต์ใช้โปรแกรมHYSYS ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียวสำหรับการวิเคราะห์ของหอกลั่น	ได้ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานและการแยกของสององค์ประกอบด้วยโปรแกรมสำเร็จ	ขอยุติโครงการเดือนกันยายน 2546 ได้ผลการศึกษานำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการนานาชาติปี 2005
------------------	---	---	---

3.2 ผลการวิจัย

3.2.1 การวิเคราะห์สององค์ประกอบ

องค์ประกอบที่ใช้เป็นตัวอย่างศึกษาได้แก่ n-hexane และ n-octane โดยกำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้ ของผสมนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบอย่างละ 50 % ปริมาณของผสมที่ป้อนในหอกลั่นเป็น 100 โมล/วินาที ที่ชั้นที่ 6 จำนวนชั้นภายในหอกลั่นรวม reboiler และ condenser เป็นทั้งหมด 11 ชั้น จะทำการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีที่มีอัตราส่วนของ reflux ratio สองค่าด้วยกันคือ 1.0 และ 2.0

พบว่าการเปลี่ยนแปลงของทั้งเ็นรัลปีและเอ็กเซอร์ยีของแต่ละชั้นของหอกลั่นแสดงได้ในรูปที่ 3.1 จากรูปชั้นที่ 1 คือ condenser และ ชั้นที่ 11 คือ reboiler เนื่องจากที่ตำแหน่งของ reboiler เป็นตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงสุด จึงเห็นจากภาพได้ว่า มีค่าในแนวแกนตั้งสูงสุด ในแนวแกนตั้งเป็นค่าของระดับพลังงานที่ให้นิยามไว้ในบทที่ 2 ในแต่ละชั้นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานและเอ็กเซอร์ยีอธิบายในรายละเอียดที่รูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นรายละเอียดของชั้นที่ 4 ของหอกลั่น จากรูปนี้จะมีการกระจายตัวของพลังงานและเอ็กเซอร์ยีทั้งหมด 6 ชนิดด้วยกัน โดยที่เส้นที่เขียนในแนวตั้งจะบอกถึงระดับพลังงานของแต่ละกระบวนการ (process) และขนาดที่เขียนในแนวแกนนอนบอกถึงขนาดของพลังงานและขนาดของพื้นที่ในแต่ละกล่องสี่เหลี่ยมบอกถึงเอ็กเซอร์ยี

สี่เหลี่ยม a หมายถึงการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีของการ cooling ของก๊าซเฟสที่มาจากชั้นที่ 5 ที่ระดับ At_{gas} หมายถึงระดับพลังงานของก๊าซเฟส ขนาดของพลังงานนี้ดูได้จากแกนนอนของสี่เหลี่ยมนี้

สี่เหลี่ยม b หมายถึงการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการผสมของก๊าซเฟส

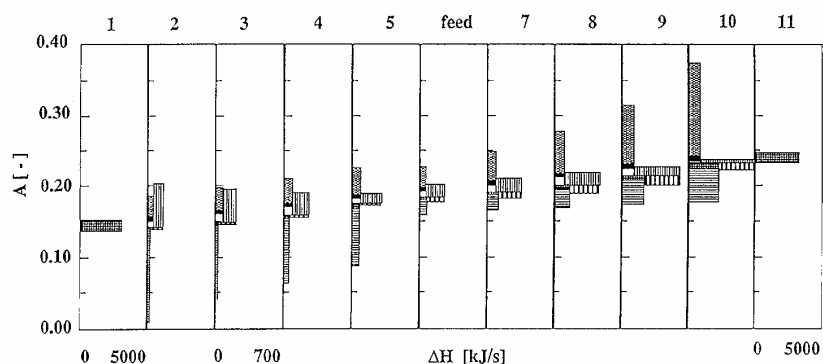
สี่เหลี่ยม d หมายถึงการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการ heating ของของเหลวเฟสที่มาจากชั้นที่ 3

สี่เหลี่ยม e หมายถึงการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการผสมของของเหลวเฟส ที่ระดับ At_{liq} คือระดับพลังงานของของเหลวเฟสที่ชั้นที่ 4 นั่นเอง

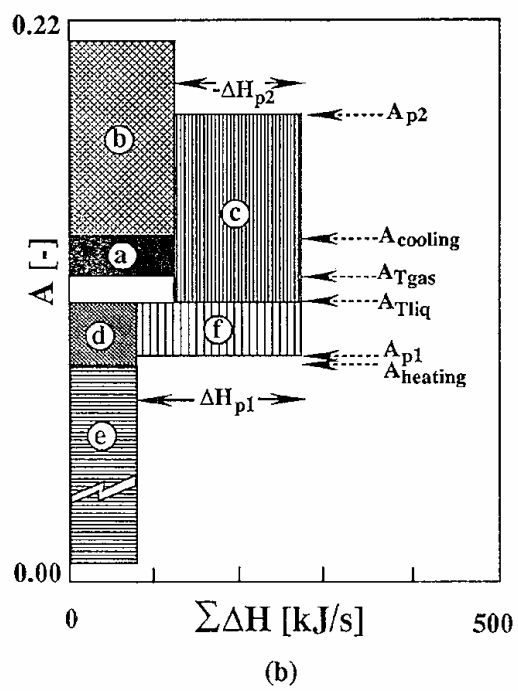
สี่เหลี่ยม c หมายถึงการเกิด condensation ขององค์ประกอบ n-octane ที่มีขนาดของพลังงานเท่ากับ ΔH_{p2} เครื่องหมายลบหมายถึงกระบวนการนั้นให้พลังงานออกมาซึ่งก็คือการเกิด condensation นั้นเอง ส่วน Ap2 ก็คือ ระดับพลังงานของการเกิด condensation

สี่เหลี่ยม f หมายถึงการเกิด evaporation ขององค์ประกอบ n-hexane ที่มีขนาดพลังงานเท่ากับ ΔH_{p1} ส่วน Ap1 ก็คือระดับพลังงานของการเกิด evaporation นั้นเอง

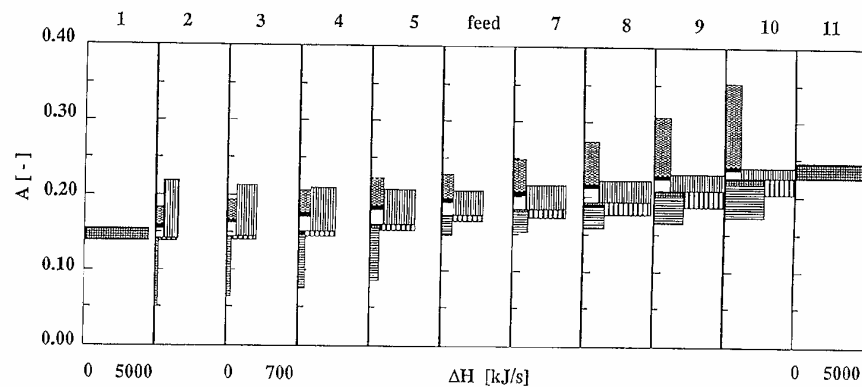
รูปที่ 3.3 แสดงอียูดีของหอกลั่นเมื่อให้ค่า reflux ratio = 2 พบว่าขนาดของพลังงานของหอกลั่นแต่ละชั้นมีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.1 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณที่ป้อนกลับเข้ามาในหอ นั้นมีมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 3.1 EUD ของหอกลั่นของสององค์ประกอบเมื่อมีค่า reflux ratio = 1.0



รูปที่ 3.2 รายละเอียดของค่า exergy loss ที่ชั้นที่ 4 ของหอกลั่น



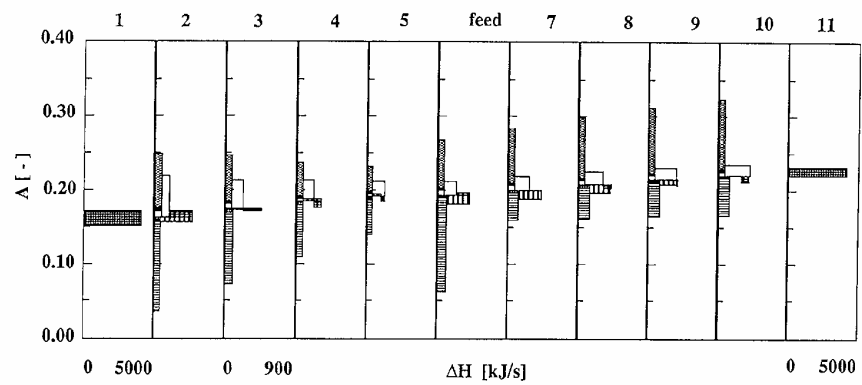
รูปที่ 3.3 EUD ของหอกลั่นเมื่อ reflux ratio = 2.0

3.2.2 การวิเคราะห์สามองค์ประกอบ

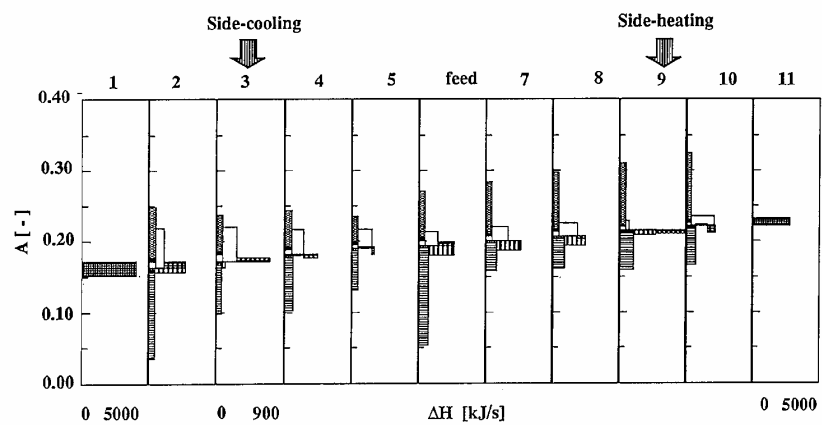
กำหนดให้ของผสมมีส่วนประกอบดังนี้ n-hexane = 0.35, n-heptane = 0.30, n-octane = 0.35 และปริมาณของผสมที่ป้อนเข้าหอกลั่นยังคงเป็น 100 โมล/วินาที ที่ตำแหน่งชั้นที่ 6 และให้ ค่า reflux ratio = 1.6

รูปที่ 3.4 แสดงอียูดีของหอกลั่นเมื่อมีสามองค์ประกอบ ผลการวิเคราะห์ให้ผลคล้ายกับกรณีสององค์ประกอบ แต่องค์ประกอบที่ 2 คือ n-heptane มีโอกาสเกิดการ evaporation และ condensation ได้เมื่อดูจากแผนภาพ

รูปที่ 3.5 แสดงอียูดีของหอกลั่นเมื่อสมมุติว่ามีการติดตั้ง side-cooling ที่ตำแหน่งชั้นที่ 3 และติดตั้ง side-heating ที่ตำแหน่งชั้นที่ 9 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในแต่ละชั้นของหอกลั่นเปลี่ยนไป นั่นคือ เมื่อติดตั้ง side-heating แล้วพลังงานความร้อนที่ใช้ที่ reboiler ลดลง



รูปที่ 3.4 EUD ของหอกลั่นของสามองค์ประกอบเมื่อมีค่า reflux ratio = 1.6



รูปที่ 3.5 EUD ของหอกลั่นเมื่อมี side-heating และ side-cooling

3.2.3 การวิเคราะห์ของผสมที่เป็นออดมคติ

ทดลองเลือกของผสมที่เป็นสององค์ประกอบได้แก่ water-ethanol ส่วนของผสมที่เป็นสามองค์ประกอบได้แก่ water-methanol-ethanol

ในการคำนวณกรณีของของผสมที่เป็นออดมคตินี้ จะต้องคำนึงถึงค่าการเบี่ยงเบนจากออดมคตินั้นคือในส่วนที่เป็นของเหลวจะต้องคำนวณผลของค่า activity coefficient ด้วย
ในส่วนนี้ ผู้วิจัยขอยุติการศึกษา

3.3 ข้อเสนอแนะและอุปสรรค

- การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกกลั่นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาค้นคว้าเดียวกันนี้ในกระบวนการอื่นได้เช่น การทำแห้ง การระเหย เป็นต้น
- การศึกษานี้เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง
- อุปสรรคของการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของหอกกลั่นเมื่อจำนวนชั้นของหอกกลั่นเพิ่มขึ้นมากๆ กราฟอียูตีนี้จะแสดงผลได้ไม่ชัดเจนนัก

เอกสารอ้างอิง

- Budiman A. and M. Ishida, "Three-Dimensional Graphic Exergy Analysis of a Distillation Column", *J. Chem. Eng. Japan*, 29(4), 662-668 (1996).
- Ishida M. and T. Ohno, "Application of Energy-Direction Factor Diagram for Exergy Analysis of a Distillation Column", *J. Chem. Eng. Japan*, 16(4), 281 (1983).
- Naka Y., M. Terashita, S. Hayashiguchi and T. Takamatsu, "An Intermediate Heating and Cooling Method for a Distillation Column", *J. Chem. Eng. Japan*, 13(2), 123 (1980).
- Rivero R., T Cachot, A. Ramadane and P. Le Goff, "Diabatic or Quasi-Reversible Distillation: Exergy Analysis-Industrial Application", *Analysis of Thermal and Energy Systems*, Proc. of Int. Conf., Athens, Greece (1991).
- Reid R. C., J. M. Prausnitz and B. E. Poling, *The Properties of Gases and Liquids*, 4th ed, McGraw-Hill (1987).
- Treybal R. E, *Mass Transfer Operation*, McGraw-Hill, New York (1968).
- Taprap R. and M. Ishida, "Graphic Exergy Analysis of Processes in Distillation Column by Energy-Utilization Diagrams", *AIChE Journal*, 42(6), 1663 (1996).

ภาคผนวก

Proceedings of ECOS 2005 the 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy System. June 20-22 2005, Trondheim, Norway

Separation Profile of Binary Component in Conventional and Feed Splitting Distillation Column by Simulator HYSYS

Ruchira Taprap*

Faculty of Agro Industry

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok Thailand 10520

Phone: 662 326 4092, Fax: 662 326 4092

E-mail address: kruchin@kmitl.ac.th

Junjiro Kawasaki and Hiroaki Habaki

Department of Chemical Engineering

Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552 Japan

Telephone, Fax: 81-3-5734-3285

ABSTRACT

The separation performances of ideal mixture (n-hexane and n-heptane) were evaluated by using the commercial software simulator called HYSYS in the conventional distillation column and the feed splitting column. The optimum conditions of stage number and reflux ratio can be pointed out from the simulation results. To obtain a better separation performance, the stage number should be increased while having a low reflux or vice versa. From the result of conventional column, the condition of minimum reflux ratio was visualized. Moreover, the composition profiles of those two columns were performed with the variations of stage number, reflux ratio and the second feed location in feed splitting column in order to find the proper criteria.

Keywords: Binary Distillation, HYSYS, Simulation, Feed splitting column

INTRODUCTION

Distillation has been one of the most popular separation units being applied in many engineering fields. Since it is a major energy consuming, a lot of efforts to reduce energy consumption in distillation have been evolved throughout the world. One of the efforts is to introduce the intermediate heater/cooler to the column in order to reduce the amount of heat duty at the reboiler as well as at condenser [1, 2, 3]. Some studies have emphasized on the use of waste heat as a heat source to preheat and partially vaporize the feed before entering the column [4, 5]. Other approaches for energy saving or optimization in distillation unit are exergy analysis and entropy production of the column [6, 7, 8]. Although, the

above mentioned efforts were done and still have been under investigated even it was proclaimed to be a dead end as mentioned by Soave and Felio [4]. Nevertheless, calculation of distillation by using commercial software will be another approach for studying the performance of column [8].

In the operating problem, the separation of the mixture by distillation depends on the difference of volatility between components. The greater the relative volatility is, the easier the separation will be. For binary component, the profile of separation can be represented as the mole fraction of one component (usually light component in distillate) or as its equilibrium temperature of the column. Nowadays, some commercial simulators such as ASPEN PLUS and HYSYS are available and

become popular as the tool for process simulation. In some circumstance, those simulators can be used as the tool to study process control since they are rather reliable and less-time consuming [9, 10].

In this study, binary component of n-hexane and n-heptane will be selected as a case study and using commercial software HYSYS to simulate the conventional column and feed-splitting column in order to visualize the separation performance. Some conditions such as different reflux ratio, different feed location were investigated in this study as well.

CASE STUDY WITH SIMULATOR: HYSYS

Scheme of distillation column

Figure 1 (a) shows the schematic of conventional column. In binary component distillation, the McCabe-Thiele diagram can be used as a tool in design problem. By assuming the equimolar flow and equimolar latent heat both in the rectifying section and the stripping section, the operating lines of these two sections can be drawn as straight line on xy diagram. Then, the number of stages can be achieved by drawing the steps between the equilibrium line and the operating line. If the two operating lines intersect with the equilibrium curve, the minimum reflux condition will be reached as shown in Figure 1(b). At this intersect point, the number of stage will be infinity or in other word, there is no separation. Similar manner can be found in multicomponent as well by having the constant component concentration along the column [11]. In practical, the column should not be operated at this condition. It should be at the condition in between the minimum reflux and the total reflux. In the case of total reflux condition, the operating line will be shifted to the diagonal line. Figure 1 (c) shows the schematic of feed splitting column. The F2-feed is called the second feed whereas the F1-feed is the first feed. If the second feed is fed in the rectifying section and its temperature is lower than the first one, there will be two lines of feed making three operating lines of column because of the second feed as shown in Figure 1 (d). In this study, we would like to look at the separation profile of two type columns.

Separation performance of conventional distillation column

The HYSYS simulator was used to examine several operation cases of binary distillation column. The ideal mixture of n - hexane and n - heptane was selected for this study. The feed mixture of 50 % of each component was fed at stage number 10 with the flow rate 100 kmol/hr. The total number of stage in the column is 22 including total condenser and reboiler. The hypothesis UNIQUAC is used in this case. The column is operated at the atmospheric pressure. The simulator is run at steady state. Firstly, we will examine the case of conventional distillation column with manipulating reflux ratio. Secondly, the variation of thermal condition of feed will be examined. The column stage is fixed and distillate flow rate is 50 kmol/hr while the reflux ratio is varied. Figure 2 shows the composition profile of n-hexane with different reflux ratios. The ordinate is mole fraction of n-hexane along the column while the abscissa is the stage number of the column. When the reflux ratio is decreased, the obtained component in the distillate is decreased as well. Here, the smallest of reflux ratio is 0.5 whereas the highest is 1.4. It reveals that when the reflux ratio becomes large, the separation performance is improved and the composition profile is changed drastically along the column. When the reflux ratio is decreased, the profile is changed abruptly in the rectifying section. Similar manner can be seen also in the stripping section. The composition profile in the middle of column becomes constant when the small reflux is performed. It means the minimum condition of reflux is reached. Theoretically, the minimum reflux ratio can be observed from the composition profile along the column, if the composition appears constantly [11]. In binary component, this condition will appear at around feed stage as seen in Figure 2. Figure 3 shows the result of the temperature profile along the column which is the mirror image of the mole fraction. When we examine further if the thermal condition of feed is varied but keeping the reflux ratio fixed at 0.8. The other conditions of the column are kept the same. Figure 4 shows the temperature profile at each stage at the different feed condition. The higher temperature of feed is, the poorer of separation

performance is. This result supports the theory saying that when the feed temperature is low, it gives the internal reflux to encourage more condensation of the component resulting in having a better separation. However, having a low temperature of feed will enhance the heat duty at reboiler as shown in Figure 5.

Figure 6 shows the simulation result of the conventional column. When the reflux ratio is varied, the number of stages in the column will be varied as well. The y-axis is mole fraction of n-hexane in the distillate (X_{Hx}) and the x-axis is the number of stage in the column (excluding reboiler and condenser). At the stage number 11, the separation performance is poor at each value of reflux ratio comparing with the higher amount of stage number. The separation performance of n-hexane is improved by increasing the reflux ratio. At the stage number 20 with reflux ratio 2.5, the separation performance is about the same with the stage number 30 and reflux ratio at 1.5. The result of HYSYS program will give us a choice to obtain the suitable value of stage number or adjusted reflux ratio. We can say that the requirement of stage number is essential around 30-40 and reflux ratio 1.45-1.55 in order to obtain 100% separation of this mixture.

Separation performance of feed-splitting distillation column

In Figure 1(c), the feed will be split into two streams but keeping the same composition. The first feed is fed at the middle of column while the second is at different stage in the rectifying section. By doing that, the operating line of this column will be three lines since the internal flow is changed due to the second feed condition.

Figure 7 (a) shows the simulation result when the column has the feed splitting at ratio 10/90. The 10% of feed (the second feed) is fed at some certain stage (at stage 3, 5 and 7) while the 90 % (the first feed) is unchanged and fed at the middle of the column (at stage 10). It shows that the case with the second feed at stage 3 gives rather poor separation whereas the second feed at stage 5 and 7 give the insignificant result. Figure 7(b) shows the result when the stage number is 30 and the first feed is fed at stage 15 and the second feed is at stage 7, 9 and 12. The separation

performances of each case are about the same but the profile of hexane can reach 100 % at reflux around 2. When we check the stage number from 40 up to 60 shown in Figure 7 (c)-(e), the separations show the same result. It implies that when the amount of stage increases up to 40 or more, it is not necessary to have such a huge number. Figure 7 (f) shows the result of separation of this feed splitting column. When the feed is split into 50/50 and fed at different stage similar to previous case. We observed that the separation performance of this splitting case gives the significant result as shown in Figure 8. Note that when the feed splitting ratio is great, the separation performance is affected at the small value of reflux ratio.

CONCLUSION

Commercial simulation program HYSYS has been used in this study to visualize the separation performance of n-hexane and n-heptane mixture. The conventional distillation column has given the better separation when the feed has a lower temperature. However, the heat duty at the reboiler will be increased as a consequence. Regarding the feed splitting column, the separation performance is partly affected at high value of reflux ratio.

Acknowledgement

One author (R.Taprap) was fully supported by The Hitachi Scholarship Foundation at Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan.

Nomenclature

B:	bottom flow rate, kmol/hr
D:	distillate flow rate, kmol/hr
F:	feed flow rate, kmol/hr
F_1, F_2 :	the first and the second feed rate, kmol/hr
L, L', L'' :	liquid flow in rectifying, intermediate and in stripping section, kmol/hr
R or r:	reflux ratio, L/D
V, V', V'' :	vapor flow in rectifying, intermediate and in stripping section, kmol/hr

REFERENCES

- [1] Y. Naka, M. Terashita, S. Hayashiguchi, T.

- Takamatsu, An Intermediate heating and cooling method for a distillation column, *J. Chem. Eng. Jpn.* 13 (1980) 123.
- [2] R. Agrawal and Z. T. Fidkowski, On the use of Intermediate reboilers in the rectifying section and condensers in the stripping section of a distillation column, *Ind. Eng. Chem. Res.* 35 (1996), 2801-2807.
- [3] G. M. Koeijer, S. Kjelstrup, H. J. Kooi, B. Gorp, K. F. Knoche, T. R. Anderson, Positioning heat exchangers in binary tray distillation using isoforce operation, *Energy Conversion and Management*, 43 (9-12) (2002) 1571-1581.
- [4] G. Soave and J.A. Feliu, saving energy in distillation towers by feed splitting, *Applied Thermal Engineering*, 22 (8) (2002), 889-896.
- [5] P. C. Wankat and D. P. Kessler, Two-feed distillation: Same-composition feeds with different enthalpies, *Ind. Eng. Chem. Res.* 32 (1993), 3061-3067.
- [6] R. Taprap and M. Ishida, Graphic exergy analysis of processes in distillation column by energy-utilization diagram. *AIChE J.* 42 (1996), 1633.
- [7] S.K. Ratkje, E. Sauar, E.M. Hansen, K.M. Lien and B. Hafskjold, Analysis of entropy production rates for design of distillation columns, *Ind. Eng. Chem. Res.* 34 (1995), 3001.
- [8] Q. Smejkel and M. Soos, Comparison of computer simulation of reactive distillation using Aspen Plus and Hysys software, *Chemical Engineering and Processing*, 41 (2002), 413-418.
- [9] Santanu Bandyopadhyay, Effect of feed on optimal thermodynamic performance of a distillation column. *Chem. Eng. Journal*, 88 (1-3) (2002), 175-186.
- [10] R. Agrawal and D. M. Herron, Optimal Thermodynamic feed conditions for distillation of ideal binary mixtures, *AIChE J.*, 43 (11) (1997), 2984-2996.
- [11] C. J. King, *Separation processes*, 2nd ed, New York, McGraw-Hill, 1980.

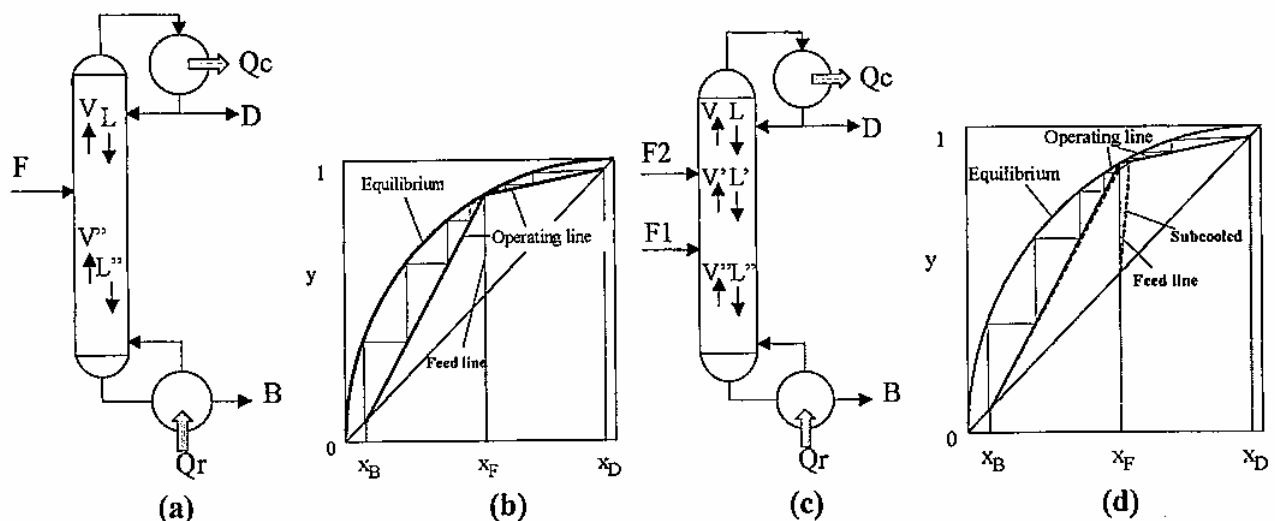


Figure 1 Schematic diagram of distillation columns
 (a) conventional distillation column, (b) McCabe-Thiele diagram of conventional column
 (c) feed splitting distillation column, (d) McCabe-Thiele diagram of feed splitting column

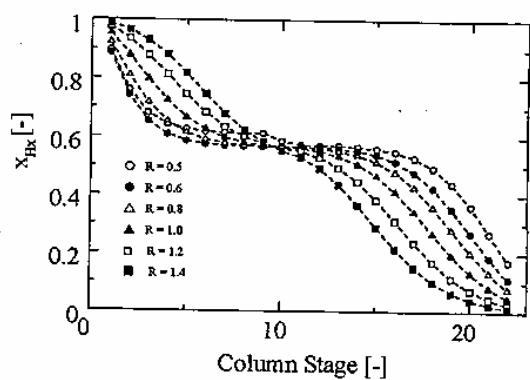


Figure 2 Composition profile of n-hexane at the top of conventional column

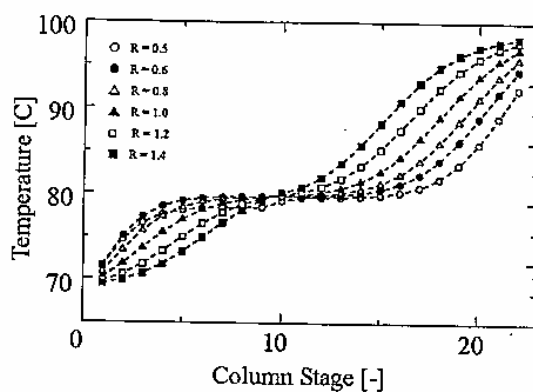


Figure 3 Temperature profile of conventional column

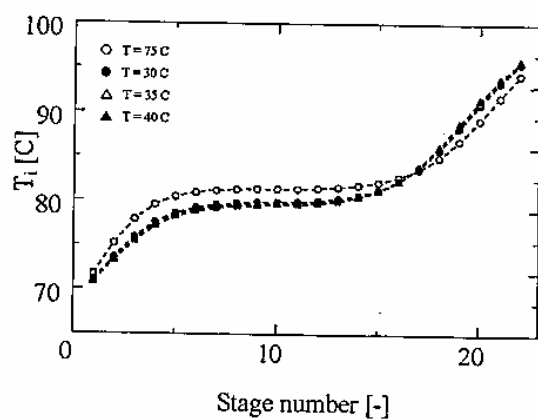


Figure 4 Temperature profile when feed at stage 10 and reflux ratio at 0.8

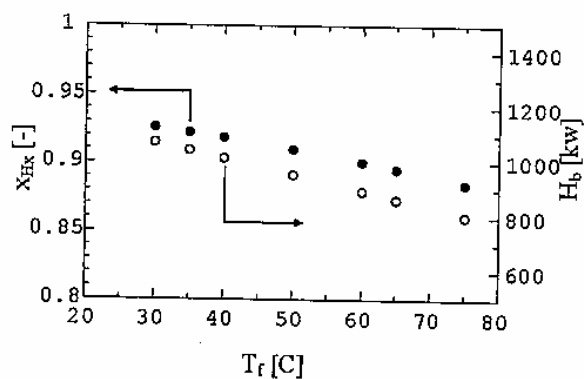


Figure 5 Separation performance and heat duty at reboiler when different feed condition

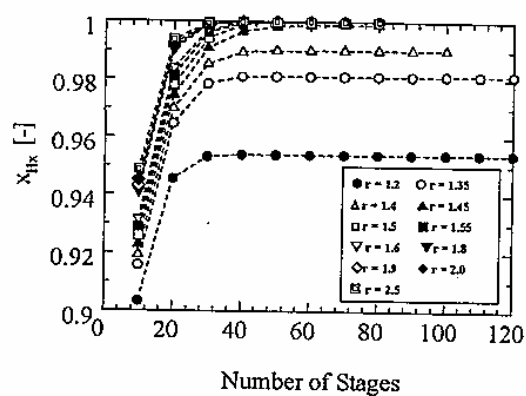


Figure 6 Separation performance at different reflux ratios

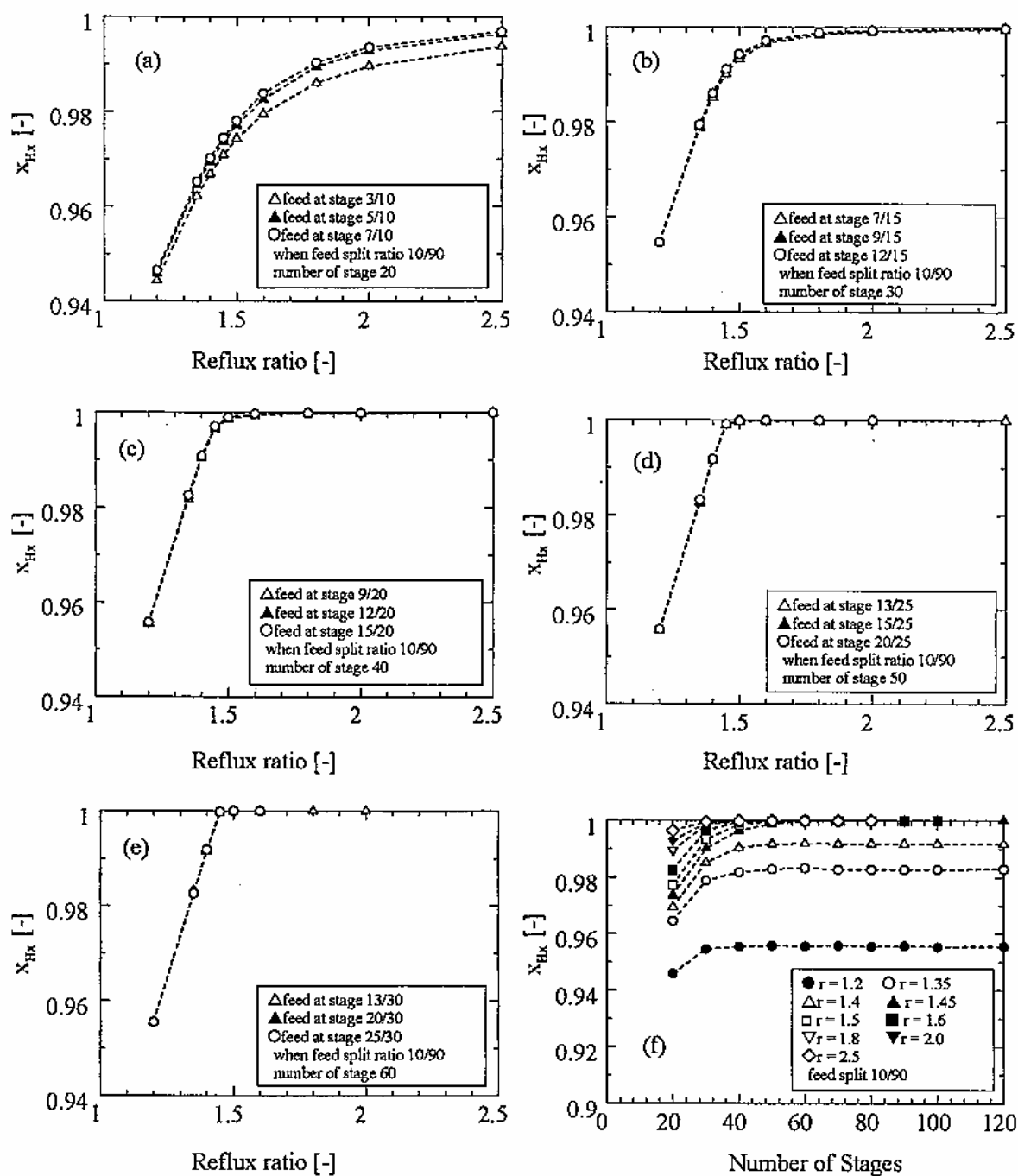


Figure 7 Separation performance when feed splitting at 10/90

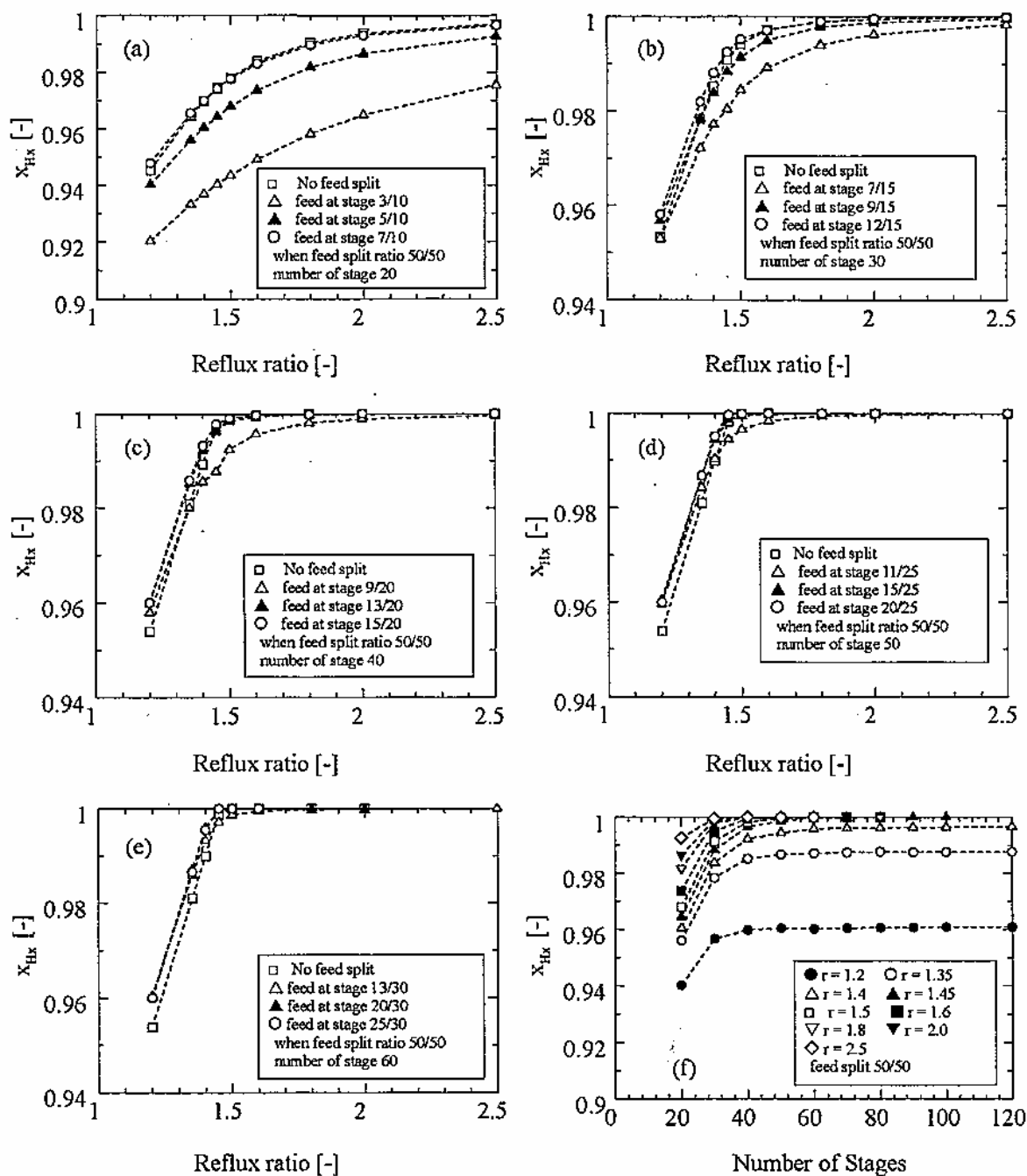


Figure 8 Separation performance when feed splitting at 50/50