

ระบบกลั่นเมทานอลให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ กิจไชยา

นายศิริวิชญ์ ดาเก็ง

นายภาวัต สุวรรณนันท

นายวรพจน์ สีหาอินทร์

นายพิสันต์ ผลโพธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี 2550

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกลั่นเมทานอลให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

โดย



โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี 2550

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

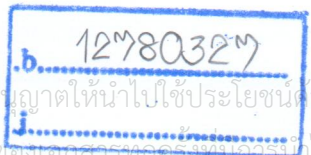
ร 228

2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าในกรณีใดๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

เลขที่ 142883

เลขทะเบียน 6 ส.ย. 2559



ระบบกลั่นเมทานอลให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

ประกอบ กิจไชยา ศิริวิชญ์ ตาเก็ง ภาวัต สุวรรณธนัช วรพจน์ สีหาอินทร์ พิสันต์ ผลโพธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการกลั่นแยกเมทานอลให้บริสุทธิ์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลที่มีปริมาณสารตั้งต้นเมทานอลปริมาณมากเกินพอในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ การนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่จะมีประโยชน์คือจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล พบว่าโดยทำการกลั่นลำดับส่วนในหอกลั่นแบบบรรจุด้วยวัสดุบรรจุสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอกลั่น 2 นิ้ว มีวัสดุบรรจุสูง 4 เมตร สามารถทำการแยกเมทานอลในสารป้อนที่มีความเข้มข้นเมทานอล 95% โดยน้ำหนัก ด้วยอัตราการป้อนสาร 0.5 ลิตร/ชั่วโมง มีค่าอัตราการป้อนกลับ 1 ได้เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอที่มีความเข้มข้นเมทานอล 99.3% โดยน้ำหนัก และมีอัตราการไหลที่ยอดหอเป็น 0.45 ลิตร/ชั่วโมง Reboiler load ประมาณ 600 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการวิจัยโดยใช้งบ
รายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี 2550 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะผู้วิจัยขอพระขอบคุณเป็นอย่างมาก

คณะผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

น้ำมันดีเซลชีวภาพ หรือ ไบโอดีเซลได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์(ในรูปน้ำมันหรือไขมันจากพืชสัตว์)ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์(มักจะใช้เมทานอล)โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณสารตั้งต้นเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์จะมีปริมาณมากเกินพอเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าของการเกิดไบโอดีเซลเกิดขึ้นได้ดี จึงทำให้มีปริมาณของเมทานอลเหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังกล่าวจะแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนมีไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์เป็นส่วนใหญ่ และชั้นล่างมีกลีเซอรินเป็นส่วนใหญ่ โดยมีอัตราส่วนโดยปริมาตรของชั้นบนต่อชั้นล่างเป็น 87: 13 ในชั้นไบโอดีเซลจะมีเมทานอลละลายอยู่ประมาณ 3 % โดยน้ำหนัก และใช้ชั้นกลีเซอรินจะมีเมทานอลละลายอยู่ประมาณ 20 % โดยน้ำหนัก การแยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชั้นนี้และนำกลับมาใช้ใหม่จะมีประโยชน์คือจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันในประเทศไทยการนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่มีน้อยมากและในรายที่มีการแยกเมทานอลออกมาใช้ใหม่ เช่น กลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินโดยการกลั่นแบบกะ(Batch Distillation)พบว่ามีปัญหาในการกลั่นเมทานอลให้บริสุทธิ์ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจะนำมาทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์เพื่อผลิตไบโอดีเซล กล่าวคือ ควรจะมีน้ำปนเปื้อนไม่เกิน 500-1000 ppm พบว่าเมทานอลที่กลั่นได้ข้างต้นมีน้ำปนเปื้อนอยู่ที่ประมาณ 10,000 – 15,000 ppm งานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยจะทำการกลั่นแยกเมทานอลให้บริสุทธิ์ โดยทำการกลั่นลำดับส่วน

การกลั่นลำดับส่วนเป็นเทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ในการแยกสารให้บริสุทธิ์ [1, 2] โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนในวัฏภาคของเหลวและไอที่ไหลสวนทางกันในหอกลั่นซึ่งความบริสุทธิ์ของสารที่กลั่นได้จะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราส่วนสารป้อนกลับ จำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอกลั่น (ซึ่งจะสัมพันธ์กับความสูงของหอกลั่นโดยเฉพาะกรณีที่เป็นแบบหอกลั่นแบบบรรจุ)

การกลั่นเมทานอลที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์พบว่ายังไม่ได้มีรายงานไว้ในเอกสารทางวิชาการและสิทธิบัตร อาจเนื่องมาจากว่าการกลั่นเมทานอลแยกจากน้ำเป็นเทคโนโลยีดั้งเดิม แต่สำหรับประเทศไทยการต้องนำเข้าเทคโนโลยีดังกล่าวหรือการสร้างหอกลั่นเพื่อแยกเมทานอลออกจากน้ำเป็นการลงทุนที่สูง สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะตอบสนองข้อจำกัดดังกล่าวในการกลั่นเมทานอลให้บริสุทธิ์ เพื่อให้มีปริมาณน้ำปนเปื้อนอยู่ในช่วง 500 – 1000 ppm

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การกลั่นแบบสมดุล [3 - 5]

เมื่อพิจารณาการดุลมวลสารทั้งหมด (Overall material balances) ของหอกลั่น อาจพิจารณา ระบบ 2 องค์ประกอบ (Binary system) ดังนี้

2.1.1 สมการดุลมวลสาร (Material balance)

สมการดุลรวม (Total balance) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = D + B \quad (2.1)$$

เมื่อ F: อัตราการไหลของสายป้อน (kmol/h)

D: อัตราการไหลของสายการกลั่น (kmol/h)

B: อัตราการไหลของสายก้นหอ (kmol/h)

และสมการดุลขององค์ประกอบ A (Species balance) เขียนได้ดังนี้

$$Fx_{A,F} = Dx_{A,D} + Bx_{A,B} \quad (2.2)$$

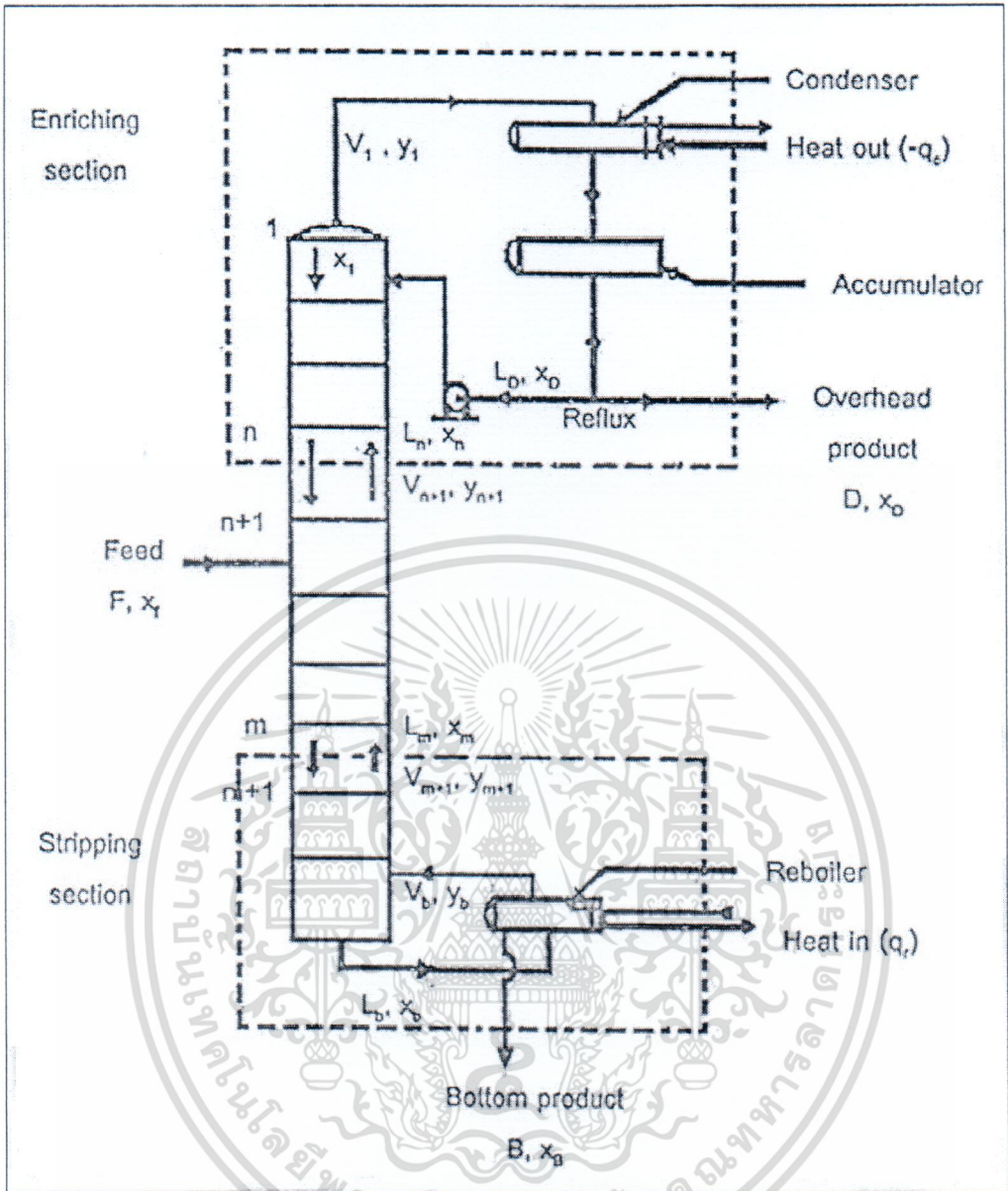
เมื่อ $x_{A,F}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายป้อน

$x_{A,D}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายการกลั่น

$x_{A,B}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายก้นหอ

2.1.2 เส้นปฏิบัติการ (Operating line) [4-5]

การทำดุลมวลสารในหอกลั่น สามารถทำได้โดยพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนและ ส่วนล่างของหอกลั่นดังแสดงในรูปที่ 2.1 เขียนเป็นสมการเส้นปฏิบัติการได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 การควบคุมมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง [4]

ให้ x_n และ L_n คืออัตราส่วนเชิงโมลและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา ให้ y_{n+1} และ V_{n+1} คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยตัวมาจากชั้นที่ $n+1$ จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้น (Enriching section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{n+1}y_{n+1} = L_n x_n + D x_D \quad (2.3)$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D}{V_{n+1}} x_D \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ L และ V มีค่าคงที่ หรือเป็น Equimolar counter diffusion จะได้ว่า

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} x_n + \frac{D}{L_n + D} x_D \quad (2.5)$$

ถ้าให้อัตราส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio) คือ $R = L/D$ แล้วแทนลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D \quad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกันให้ y_{m+1} , V_{m+1} คือส่วนประกอบและอัตราส่วนการไหลของไอที่ลอยขึ้นจากชั้น $m+1$ และให้ x_m , L_m คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลลงมาจากชั้นที่ m จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่าย (Stripping section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{m+1} y_{m+1} = L_m x_m + B x_B \quad (2.7)$$

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} x_m + \frac{B}{V_{m+1}} x_B \quad (2.8)$$

และ

$$V_{m+1} = L_m - B \quad (2.9)$$

สมการเส้นปฏิบัติการทั้งสองช่วงนี้สามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.3 เส้น q (q -line) [4]

ถ้าสารป้อน 1 โมล มีสัดส่วนของเหลว q และสัดส่วนไอ $1-q$ เมื่อ $0 \leq q \leq 1$ จะได้ความสัมพันธ์ของสมการ

$$L_m = L_n + qF \quad (2.10)$$

และ

$$V_n = V_m - (1-q)F \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตัดของเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นกับเส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่ายบนกราฟ xy หาได้จากการเขียนสมการใหม่จากสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.7) โดยเมื่อนำเอา Subscript ของชั้นออก จะได้

$$V_n y = L_n x + Dx_D \quad (2.12)$$

และ

$$V_m y = L_m x + Bx_B \quad (2.13)$$

นำสมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) มาลบกัน จะได้

$$(V_m - V_n)y = (L_m - L_n)x - (Dx_D + Bx_B) \quad (2.14)$$

แทนสมการที่ (2.2), (2.10) และ (2.11) ในสมการที่ (2.14) จะได้เส้น q คือเส้นตรง ที่แสดงได้ด้วยสมการ

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1} \quad (2.15)$$

หรือ

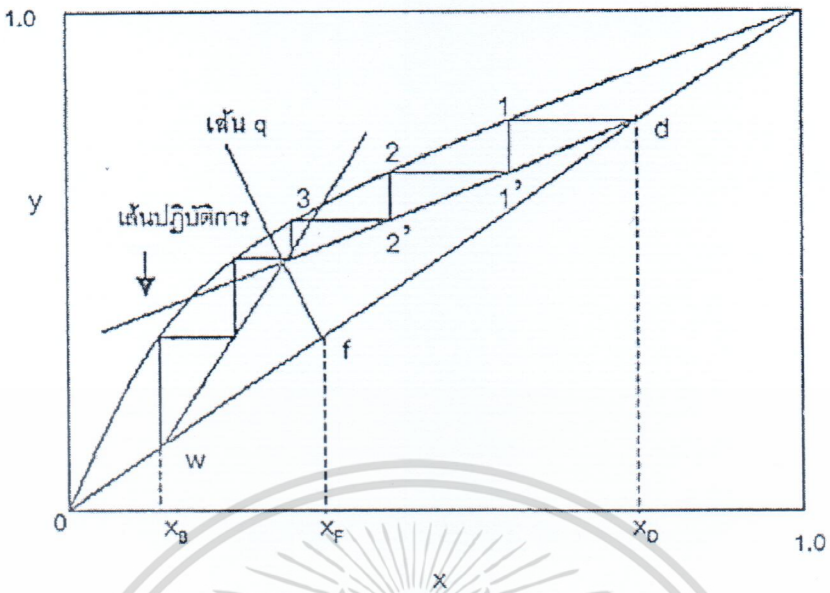
$$x_F = qx + 1(1-q)y \quad (2.16)$$

ในทางปฏิบัติควรจะทำให้ค่าของ x บนจุดตัดระหว่างเส้น q กับเส้นปฏิบัติการมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดกับส่วนประกอบของของเหลวบนชั้นที่ป้อนสารเข้า ความชันของเส้น q จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารป้อน

2.1.4 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี โดยวิธีกราฟของ McCABE-THIELE [4]

ในการหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีในหอกลั่นที่มีแบบจำลองแบบสมดุลแสดงในรูปที่ 2.2 ให้พล็อตเส้นสมดุลของไอและของเหลวลงบนกราฟ $x-y$ แล้วลงจุด d , f , w บนเส้นทแยงมุมเพื่อแทนตำแหน่งของความเข้มข้น x_D , x_F , x_B ตามลำดับ โดยอาศัยสมการที่ (2.6), (2.15) ลากเส้นตรงแสดงเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นและเส้น q ตามลำดับ หลังจากนั้นลากเส้นปฏิบัติการในช่วงไล่สารระเหยง่าย โดยลากจากจุด w ไปพบจุดตัดของเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นและเส้น q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



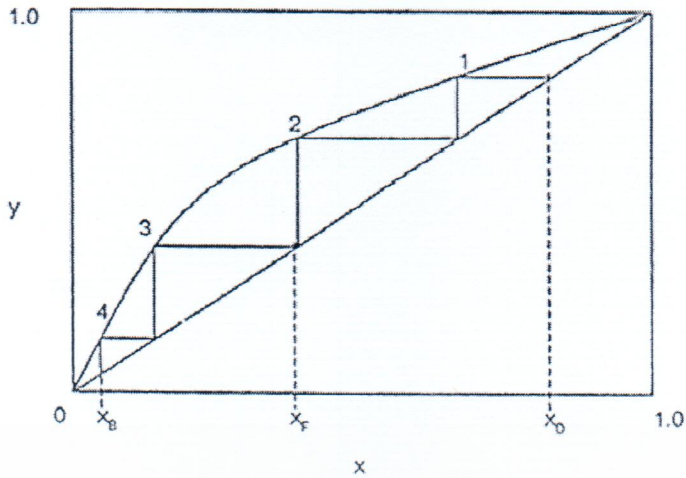
รูปที่ 2.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCabe-THIELE [4]

จากจุด d ลากเส้นระดับตัดกับเส้นสมดุลที่จุดที่ 1 จากนั้นลากเส้นตั้งตัดเส้นปฏิบัติการที่จุด 1' จากจุด 1' ลากเส้นระดับ ตัดเส้นสมดุลที่จุด 2 ทำดังนี้เรื่อยไปจนเลยจุด w ให้นับชั้นที่ป้อน สายป้อน รวมอยู่ในช่วงเพิ่มความเข้มข้นซึ่งมีจำนวน k ชั้น และให้ชั้นของช่วงไล่สารระเหยง่ายมีจำนวน m ชั้น จะได้ว่าจำนวนชั้นในทางทฤษฎีทั้งสิ้นเป็น $k+m$ ชั้น

2.1.5 จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด (Minimum theoretical stages) [4]

ในกรณีที่อัตราส่วนป้อนกลับมีค่ามหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCabe-THIELE เส้นปฏิบัติการจะกลายเป็นเส้นทแยงมุม ซึ่งจะได้จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด ดังรูปที่

2.3



รูปที่ 2.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด [4]

2.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum reflux ratio, R_m) [4]

กรณีที่จำนวนชั้นมีมหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCabe-Thiele จะได้จุดตัดของเส้นปฏิบัติการกับเส้น q อยู่บนเส้นสมดุลพอดี อัตราส่วนป้อนกลับในกรณีนี้ เรียกว่า อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากรูปที่ 2.4 ดังนี้

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{x_D - y_c}{x_D - x_c} = \frac{x_D - \frac{x_D}{R_m + 1}}{x_D} = 1 - \frac{1}{R_m + 1}$$

$$= \frac{R_m + 1 - 1}{R_m + 1} = \frac{R_m}{R_m + 1}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

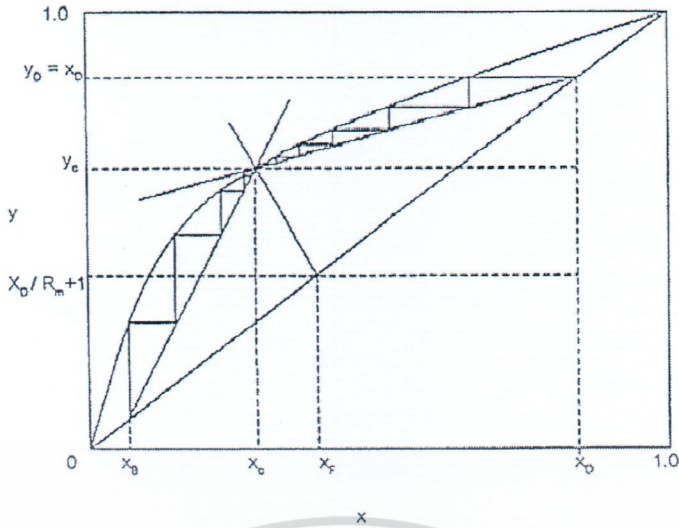
$$\frac{R_m}{R_m + 1} = \frac{x_D - y_c}{x_D - x_c} \quad (2.17)$$

เมื่อ x_c : อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล

y_c : อัตราส่วนเชิงโมลของไอที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล

ในกรณีที่เส้นสมดุลมีรูปร่างคดงอลงต่ำ R_m ก็คือความชัน (Slope) ของเส้นตรงที่ลากจากจุด d (รูปที่ 2.2) มาสัมผัสกับเส้นสมดุลพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด [4]

ซึ่งค่าอัตราส่วนป้อนกลับที่เราใช้จริงจะมีค่าประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่าของอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

2.2 การออกแบบหอกลั่นประเภทวัสดุบรรจุ [3 - 6]

2.2.1 ความสูงของหอกลั่นประเภทวัสดุบรรจุ

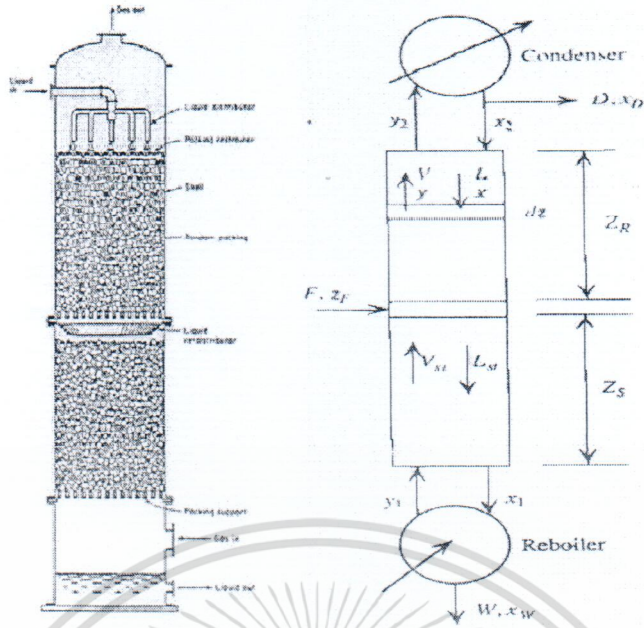
หอกลั่นประเภทบรรจุเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำให้ไอและของเหลวสัมผัสกันบนพื้นผิวของวัสดุบรรจุซึ่งทำให้เกิดกระบวนการกลั่นอย่างต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไปตลอดความสูงของหอกลั่น กระบวนการดังกล่าวต่างจากปรากฏการณ์ในหอกลั่นประเภทชั้น โดยส่วนประกอบ A ในเฟสหนึ่งจะถ่ายเทไปยังอีกเฟสหนึ่งตลอดความยาวของหอขณะที่ของไหลผ่านหอ ดังนั้นอัตราการไหล และความเข้มข้นของสาร A ในทั้งสองเฟส จะเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของหอ ดังนั้นในการออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ จะพิจารณาในส่วนย่อยของหอก่อน และทำการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าความสูงของหอทั้งหมดเพื่อป้องกันการล้นเกี่ยวกับทิศทางการไหลของสาร จะทำการกำหนดดังนี้

1. การถ่ายเทมวลจากเฟส L ไปยัง เฟส V ถือว่าเป็นบวก (คือกระบวนการดึงสารออกจากของเหลว)
2. การอินทิเกรตสมการจะอินทิเกรตจากกันหอยังยอดหอ
3. เฟสที่ไหลขึ้นภายในหอเป็นเฟส V ตรงกันข้ามเฟสที่ไหลลงให้เป็นเฟส L

การคำนวณความสูงของหอกลั่นประเภทบรรจุนิยมใช้ค่า HETP ซึ่งหมายถึงความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี HETP [3] นิยามได้ดังสมการที่ (2.18)

$$HETP = \frac{Z}{NTP} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



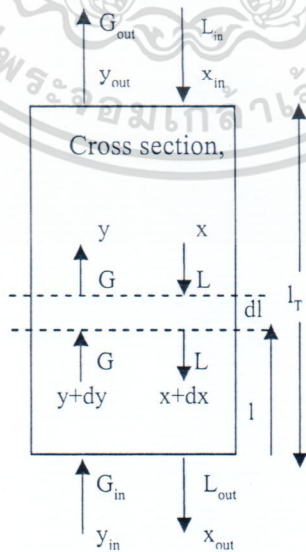
รูปที่ 2.5 หอคอยกลั่นประเภทหัตถ์บรรจุ [6]

HETP : ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (Height equivalent to a theoretical plate) (m)

Z : ความสูงของชั้นหัตถ์ (m)

NTP : จำนวนชั้นทางทฤษฎี (Number of theoretical plate)

การถ่ายเทมวลของสารละลายระหว่างไอกับของเหลวเป็นไปตามรูปที่ 2.6 โดยสมมติให้ที่ Interface อยู่ในภาวะสมดุล การหาความสูงของหอพิจารณาได้จากรูปที่ 2.6 ดังนี้



รูปที่ 2.6 Differential contacts in a countercurrent-flow packed column [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการดุลมวลสาร คือ

$$-GSdy = K_y a(y - y^*)S \, dl \quad (2.19)$$

ทำการอินทิเกรต

$$\frac{K_y a}{G} \int_0^{Z_T} dZ = \frac{K_y a Z_T}{G} = - \int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (2.20)$$

$$Z_T = \frac{G}{K_y a S} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{1}{y - y^*} dy \quad (2.21)$$

ดังนั้น

$$Z_R = \frac{G}{K_y a S} \int_{y_F}^{y_D} \frac{1}{y^* - y} dy \quad (2.22)$$

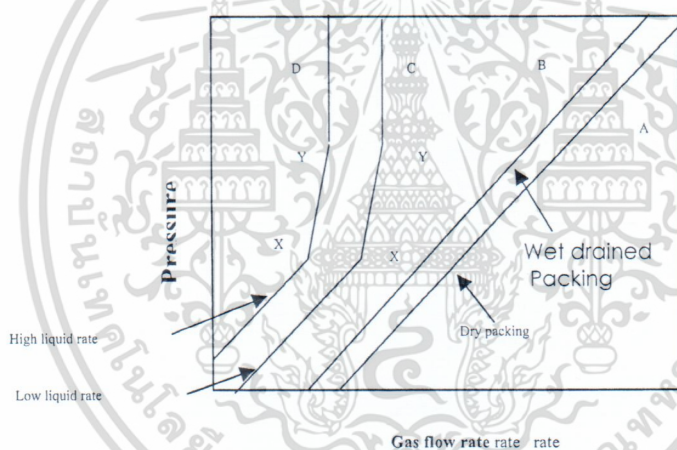
$$Z_S = \frac{L_s}{K_x a S} \int_{x_B}^{x_F} \frac{1}{x - x^*} dx \quad (2.23)$$

- เมื่อ
- G : อัตราการไหลเชิงโมลของไอต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kmol/ (h) • (m²))
 - L_s : อัตราการไหลเชิงโมลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kmol/ (h) • (m²))
 - $K_y a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟสไอ (kmol/ (h) • (m³))
 - $K_x a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟส ของเหลว (kmol/ (h) • (m³))
 - S : พื้นที่หน้าตัดของหอ (m²)
 - Z_T : ความสูงรวมของหอ (m)
 - Z_R : ความสูงของหอสำหรับส่วนเพิ่มความเข้มข้น (m)
 - Z_S : ความสูงของหอสำหรับส่วนไล่สารระเหยง่าย (m)
 - y : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล
 - y^* : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลว
 - x : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล
 - x^* : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความดันลดของหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุ [3, 6]

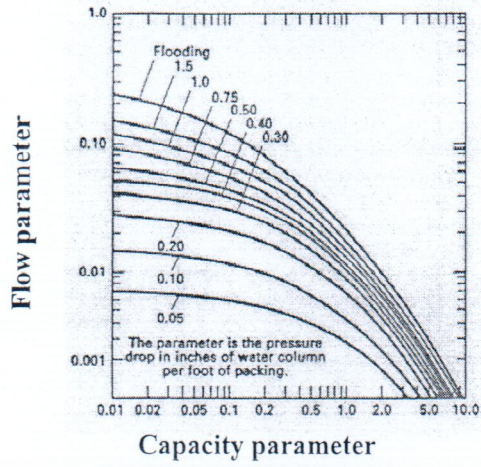
การประมาณค่าความดันลดของหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น โดยทั่วไปจะประมาณค่าด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันลด ภายในหอกลิ้นส่วนที่เป็นเฟสไอจะมีการไหลแบบปั่นป่วน รูปแบบความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างความดันลด ($-\Delta P$) และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซต่อพื้นที่หน้าตัดของหอก (U_g) โดยที่ $-\Delta P$ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ $U_g^{1.8}$ ถ้ากรณีที่อัตราการไหลของของเหลวมีค่าต่ำ จะพบว่าอัตราการไหลของของเหลวไม่มีผลต่อทางเดินของก๊าซ แต่เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นถึงค่าค่าหนึ่ง $-\Delta P$ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะแปรผันตาม $U_g^{2.5}$ ดังแสดงในช่วง XY บนเส้นกราฟ C บนช่วง XY นี้การไหลของของเหลวมีผลต่อการไหลของก๊าซ และค่าโฮลด์อัป (hold-up) ของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมของของเหลวภายในช่องว่างของวัสดุบรรจุ ส่งผลให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นและการไหลของก๊าซที่เหนือจุด Y จะมีค่า $-\Delta P$ สูงขึ้นมากจนอาจทำให้ของเหลวในหอกหยุดไหล



รูปที่ 2.7 ความดันลดในหอกลิ้นแบบวัสดุบรรจุ

จุด X คือจุดการไหล (Loading point) และจุด Y คือจุดการท่วมหอกลิ้น (Flooding point) สำหรับการไหลของของเหลวที่ค่านี้ๆ โดยปกติหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุจะทำงานอยู่ในช่วง XY แต่เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบจะกำหนดให้การทำงานของหอกอยู่ที่จุดการไหล (จุด X) เพราะหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุจะไม่สามารถทำงานที่ภาวะเกิดการท่วมหอกได้

ความสัมพันธ์ของกราฟของจุดท่วมหอกแสดงดังรูปที่ 2.8 สำหรับวัสดุบรรจุแบบต่างๆ กราฟนี้ใช้ในการทำนายขนาดของหอกลิ้นและอัตราการไหลที่ดำเนินการกลั่นได้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของความดันตกในหอกกลั่นแบบวัสดุบรรจุ [3]

$$\frac{U_i^2 a_p \rho_v (\mu_L)^{0.2}}{g^3 \rho_L (\mu_w)^{0.2}} = \text{Flow parameter} \tag{2.24}$$

$$\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} = \text{Capacity parameter} \tag{2.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์

จำลองกระบวนการกลั่นเมทานอลด้วยหอกลั่นแบบวัสดุบรรจุโดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าอัตราส่วนการป้อนกลับที่เหมาะสม ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการกลั่น ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการควบแน่นสารผลิตภัณฑ์

3.2 การทดลองการกลั่น

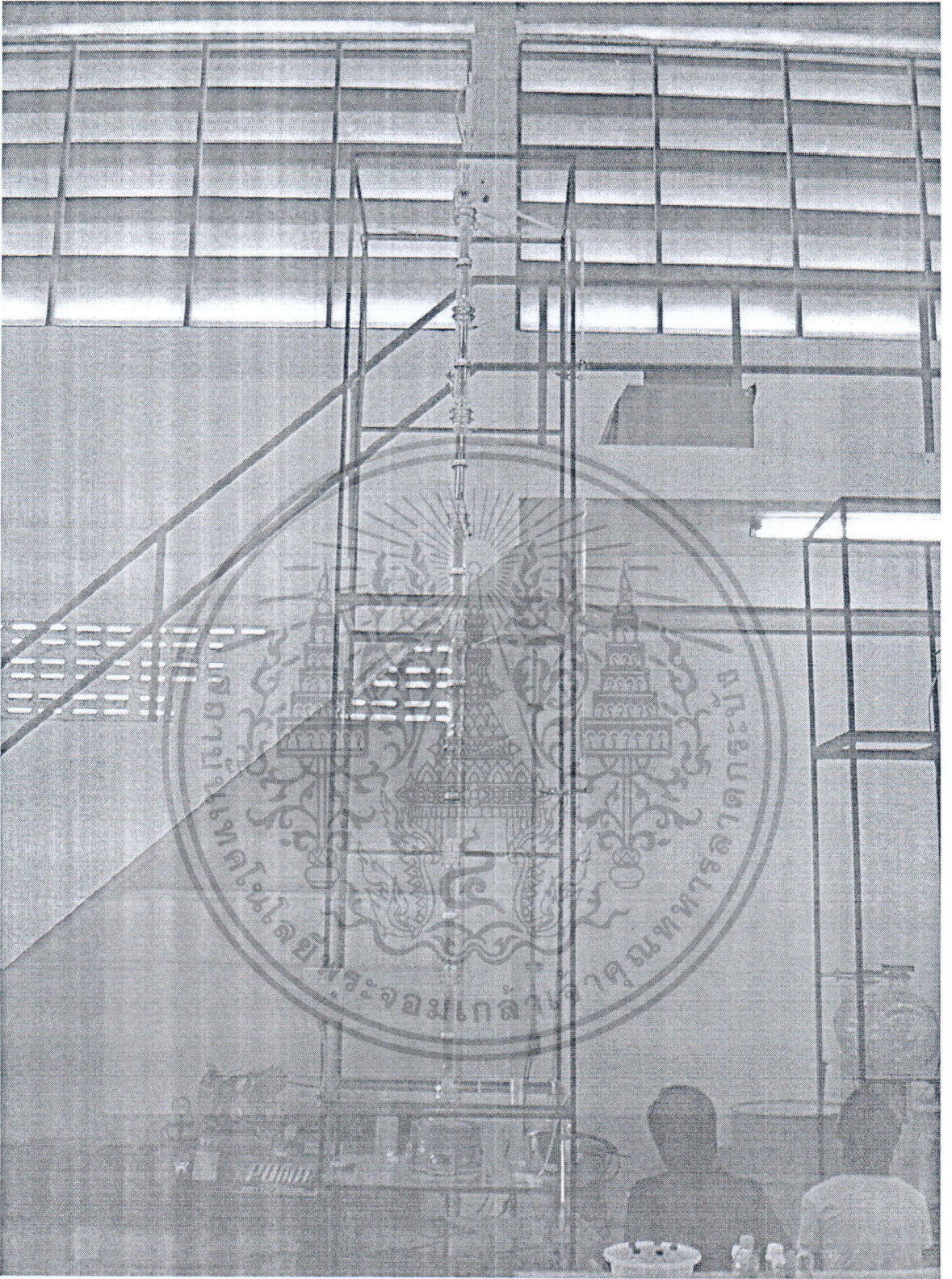
ได้ทำการสร้างหอกลั่นประเภทบรรจุขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.1 - 3.5 ส่วนหอกลั่นสูง 4 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หอดังกล่าวบรรจุด้วยสแตนเลส และมีวิธีการทดลองดังนี้

3.2.1 เตรียมสารละลาย เมทิลแอลกอฮอล์ 95% ในน้ำโดยน้ำหนัก

3.2.2 ปรับอัตราการป้อนสาร และ รีฟลักซ์

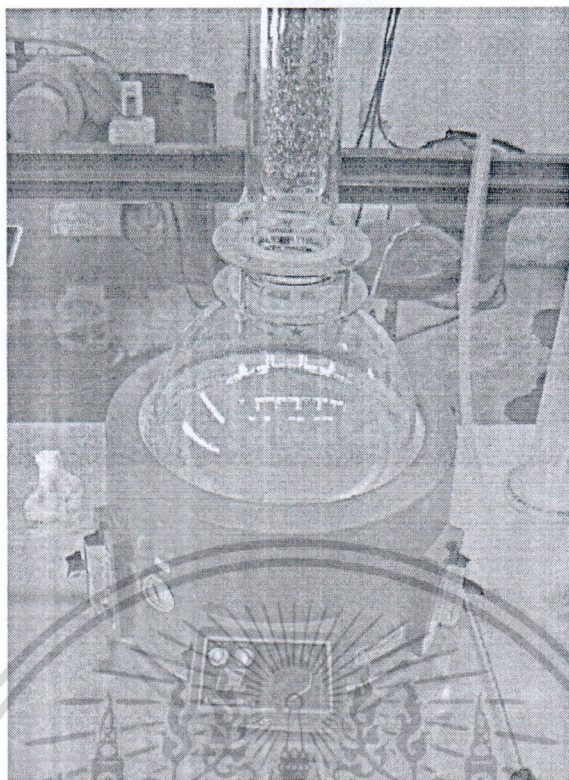
3.2.3 ทำการกลั่นจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

3.2.4 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยอดหอและก้นหอเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นและค่าสัดส่วนโดยมวลพร้อมทั้งวัดค่าอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอ และก้นหอ



รูปที่ 3.1 หอกล้นประเภทบรรจุที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

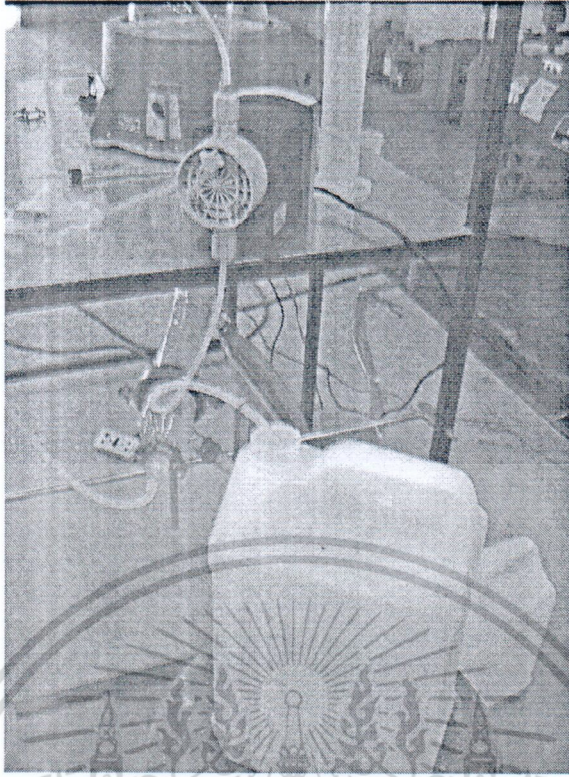


รูปที่ 3.2 หม้อต้มซ้ำ



รูปที่ 3.3 ส่วนควบแน่นไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ถังบรรจุสารป้อนและปั๊มสารป้อน



รูปที่ 3.5 ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน และ ถังบรรจุผลิตภัณฑ์กั้นหอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

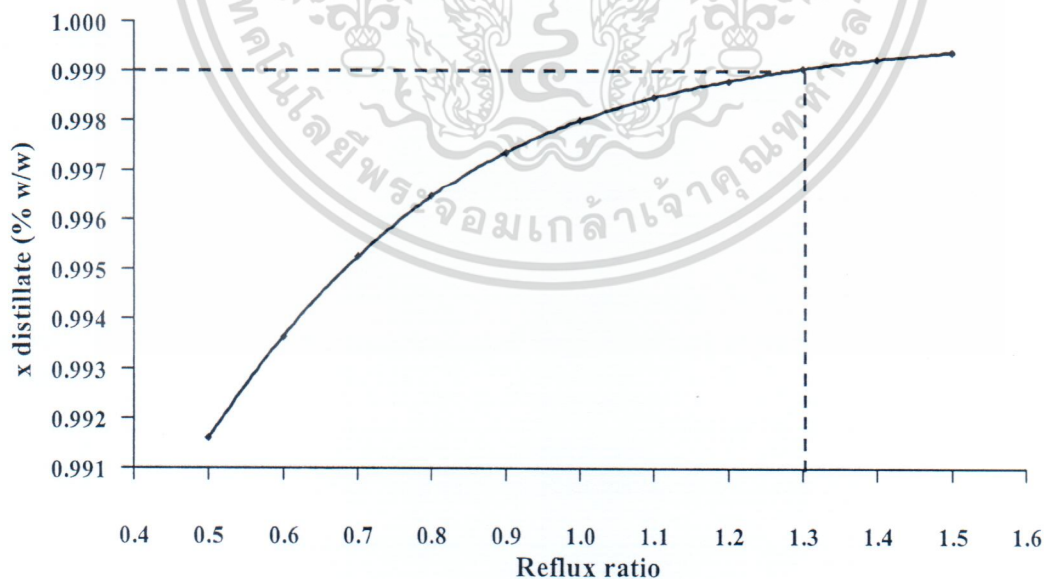
ผลการทดลอง

4.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์

4.1.1 การจำลองกระบวนการกลั่นโดยใช้โปรแกรม HYSYS

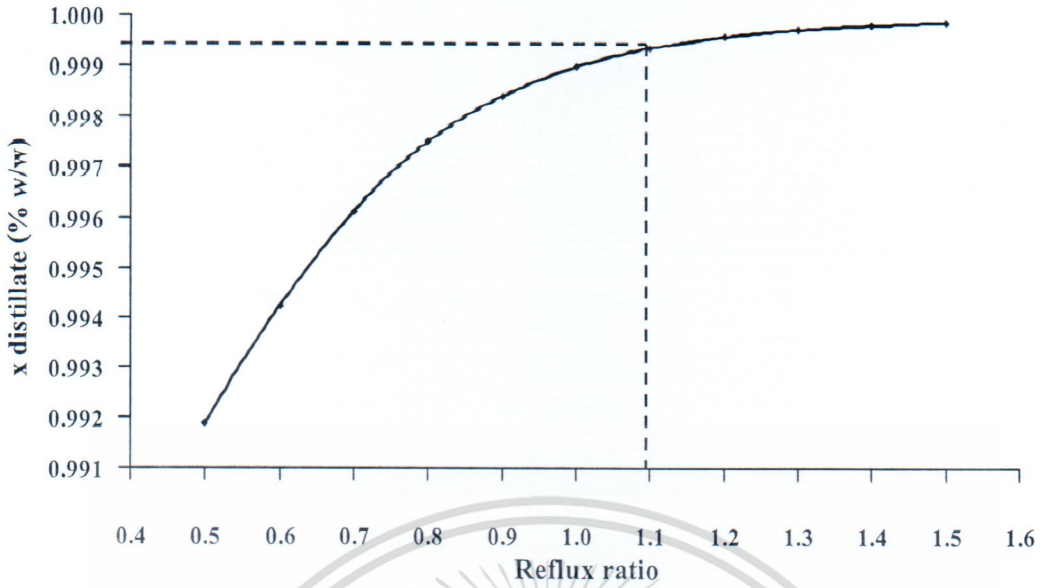
จำลองกระบวนการกลั่น ดังรายละเอียดในภาคผนวก ซึ่งมีข้อมูลพื้นฐานดังนี้

- | | | | |
|--|-----------|--------|----------------|
| - องค์ประกอบของสารป้อน | : เมทานอล | 95 | % โดยน้ำหนัก |
| | : น้ำ | 5 | % โดยน้ำหนัก |
| - อัตราการไหลของสารป้อน | | 40 | ลิตรต่อชั่วโมง |
| - อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ส่วนบน | | 30 | ลิตรต่อชั่วโมง |
| - ความดันที่ใช้ในการกลั่น | | 1.013 | บาร์ |
| - เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น | | 0.1524 | เมตร |
| - HETP | | 0.2 | เมตร |
| - พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) | | 1,280 | m^2/m^3 |
| - องค์ประกอบเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ส่วนบน | : เมทานอล | 99.9 | % โดยน้ำหนัก |

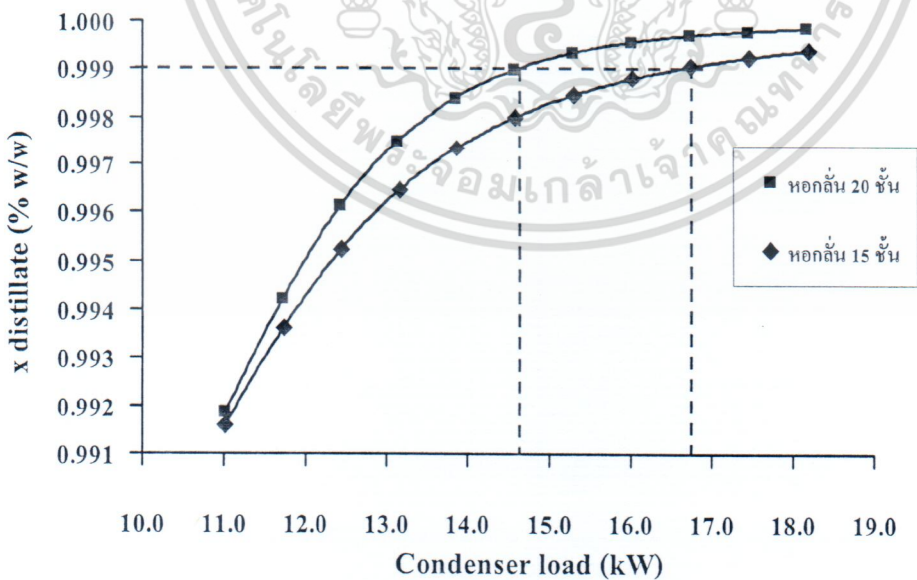


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reflux ratio ของหอกลั่นเมทานอล 15 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

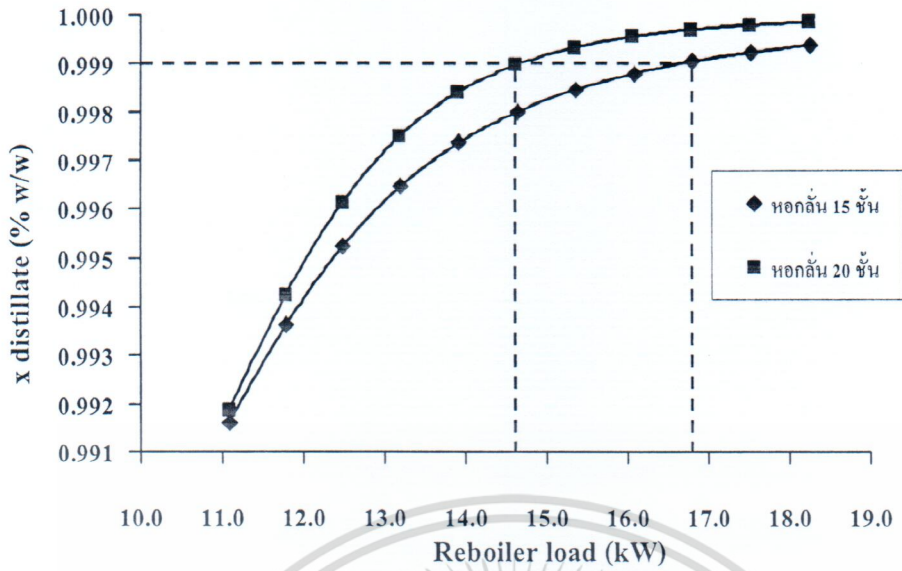


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reflux ratio ของหอกลั่นเมทานอล 20 ชั้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Condenser load ของหอกลั่นเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reboiler load ของหอกลั่นเมทานอล

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณจากโปรแกรม HYSYS

	หอกลั่น 15 ชั้น	หอกลั่น 20 ชั้น
องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนบน (% wt)	99.91	99.93
Reflux ratio ที่เหมาะสม	1.3	1.1
Condenser load (kW)	16.74	15.28
Reboiler load (kW)	16.79	15.34

จากตารางที่ 4.1 พบว่าหอกลั่นเมทานอลขนาดความสูง 20 ชั้น มีความเหมาะสมทางด้านการใช้งานมากกว่าหอกลั่นเมทานอลขนาดความสูง 15 ชั้น เพราะมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลของหอกลั่นเมทานอลขนาดความสูง 20 ชั้นในการออกแบบอุปกรณ์

4.2 การทดลองการกลั่น

ทำการแยกเมทานอลโดยใช้การกลั่นแยกในหอกลั่นแบบบรรจุก ในสารป้อนมีความเข้มข้นเมทานอล 95% โดยน้ำหนัก ที่มีอัตราการป้อน 0.5 ลิตร/ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ค่าอัตราการป้อนกลับ 1 ได้เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอที่มีความเข้มข้นเมทานอล 99.3% โดยน้ำหนัก และมีอัตราการไหลที่ยอดหอเป็น 0.45 ลิตร/ชั่วโมง โดยมี Reboiler load ประมาณ 600 วัตต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การจำลองกระบวนการกลั่น

จากการจำลองกระบวนการกลั่นเปรียบเทียบระหว่าง หอกลั่นความสูง 15 และ 20 ชั้น พบว่ามีค่าอัตราการป้อนกลับที่เหมาะสมคือ 1.3 และ 1.1 ตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลของสารป้อน 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง หอกลั่นสูง 15 ชั้น มีค่าอัตราการป้อนกลับ 1.3 และ หอกลั่นสูง 20 ชั้น มีค่าอัตราการป้อนกลับ 1.1 จะมีค่า Condenser และ Reboiler load ประมาณ 210 และ 190 วัตต์ ตามลำดับ หอกลั่นความสูง 20 ชั้น จึงมีความเหมาะสมทางด้านการใช้งานมากกว่าหอกลั่นความสูง 15 ชั้น เพราะมีการใช้พลังงานในการกลั่นที่น้อยกว่า

5.2 การทดลองการกลั่น

หอกลั่นแบบบรรจุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีวัสดุบรรจุสูง 4 เมตร สามารถทำการแยกเมทานอลในสารป้อนมีความเข้มข้น 95% โดยน้ำหนัก ที่มีอัตราการป้อนสาร 0.5 ลิตร/ชั่วโมง ได้เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอที่มีความเข้มข้นเมทานอล 99.3% โดยน้ำหนัก และมีอัตราการไหลที่ยอดหอเป็น 0.45 ลิตร/ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kister, H. Z., Distillation Design, 1992, McGraw-Hill, Inc. USA.
- [2] Kister, H. Z., Distillation Troubleshooting, 2006, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- [3] Seader, J.D. and Henley, E.J. Separation Process Principles. 2nd ED. New York: John Wiley&Sons, Inc. 2006.
- [4] McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering. 6th ED. Singapore: McGraw-Hill. 2001.
- [5] Christie J. Geankoplis. Transport Processes and Separation Process Principles. 4th ED. Singapore: Prentice Hall. 2003.
- [6] Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney, J.O. Perry's Chemical Engineer's Handbook. 7th ED. New York: McGraw-Hill, 1997.



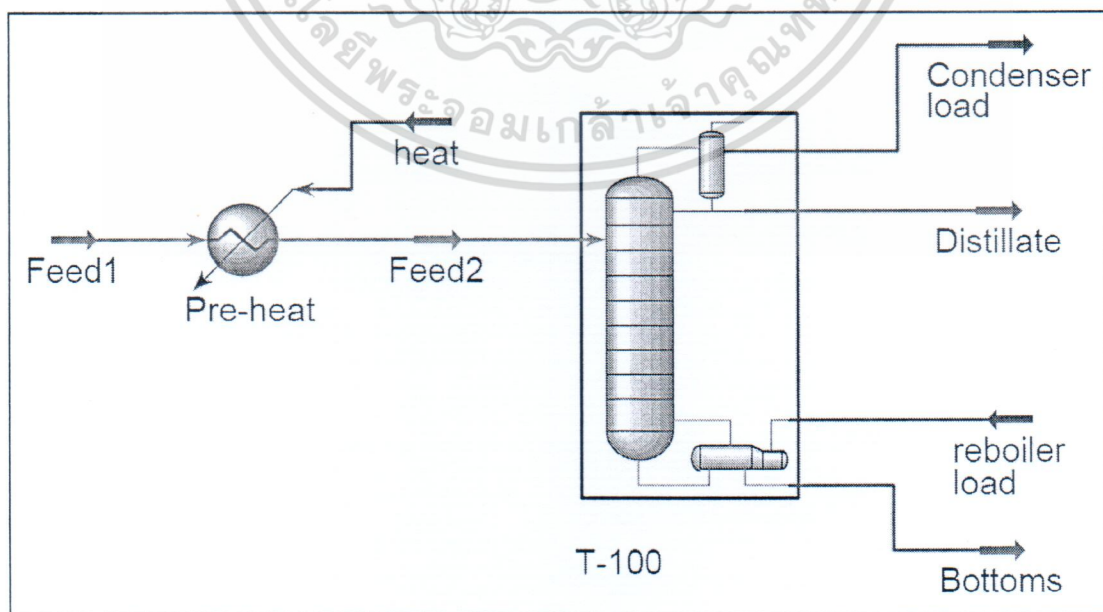
ภาคผนวก
การจำลองกระบวนการกลั่น

ทำการจำลองกระบวนการการกลั่นแบบวัสดูบรรจด้วยข้อมูลพื้นฐาน ดังนี้

- องค์ประกอบของสารป้อน : เมทานอล 95 % โดยน้ำหนัก
- : น้ำ 5 % โดยน้ำหนัก
- อัตราการไหลของสารป้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ส่วนบน 30 ลิตรต่อชั่วโมง
- ความดันที่ใช้ในการกลั่น 1.013 บาร์
- เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกกลั่น 0.1524 เมตร
- ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (HETP) 0.2 เมตร
- พื้นที่ผิวจำเพาะ 1,280 m²/m³
- องค์ประกอบเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ส่วนบน : เมทานอล 99.9 % โดยน้ำหนัก

ได้ผลการจำลองกระบวนการกลั่นดังแสดงในรูปที่ 1- 10 กล่าวคือ

- องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนบน (Distillate) มีเมทานอล 99.93 % โดยน้ำหนัก
- องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนล่าง (Bottom) มีเมทานอล 80.78 % โดยน้ำหนัก
- Condenser load 15.28 กิโลวัตต์
- Reboiler load 15.34 กิโลวัตต์



รูปที่ 1 หอกกลั่นและระบบให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feed1

Worksheet	Stream Name	Feed1
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000
Properties	Temperature [C]	30.00
Composition	Pressure [bar]	1.013
K Value	Molar Flow [kgmole/h]	1.043
User Variables	Mass Flow [kg/h]	22.15
Notes	Std Ideal Liq Vol Flow [L/h]	40.00
Cost Parameters	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	2.428e+085
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	16.49
	Heat Flow [kW]	-70.31
	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3.995e-002
	Fluid Package	Basis-1

Worksheet Attachments Dynamics

Delete Define from Other Stream...

รูปที่ 2 ค่าอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารป้อน

Feed1

Worksheet	Mass Fractions	
Conditions	H2O	0.050000
Properties	Methanol	0.950000
Composition		
K Value		
User Variables		
Notes		
Cost Parameters		

Total 1.00000

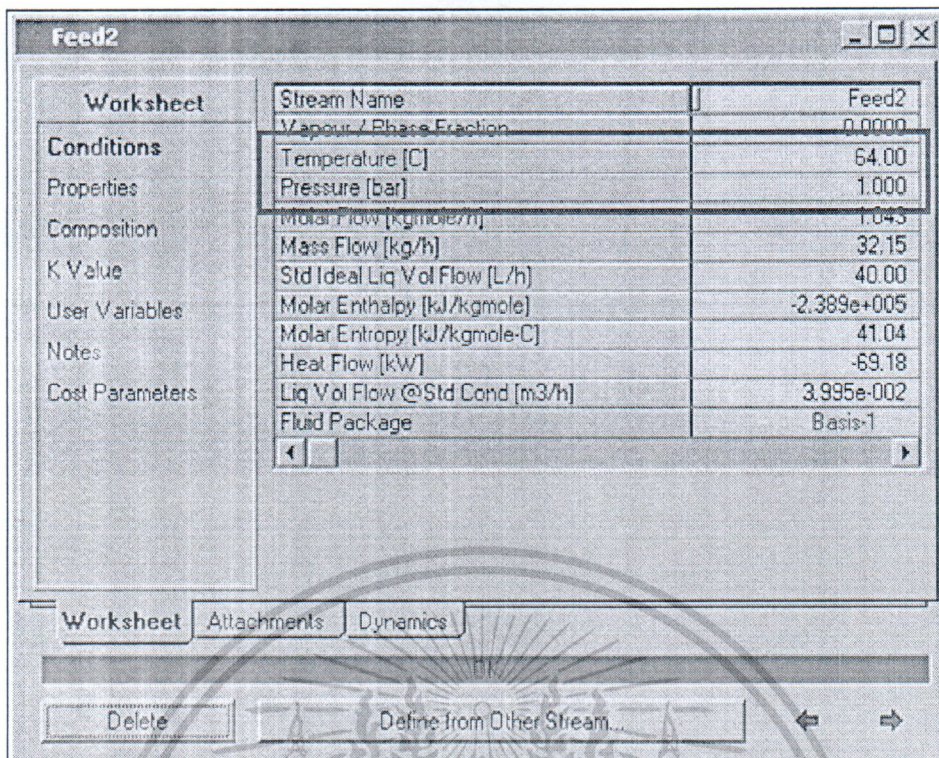
Edit... Edit Properties... Basis...

Worksheet Attachments Dynamics

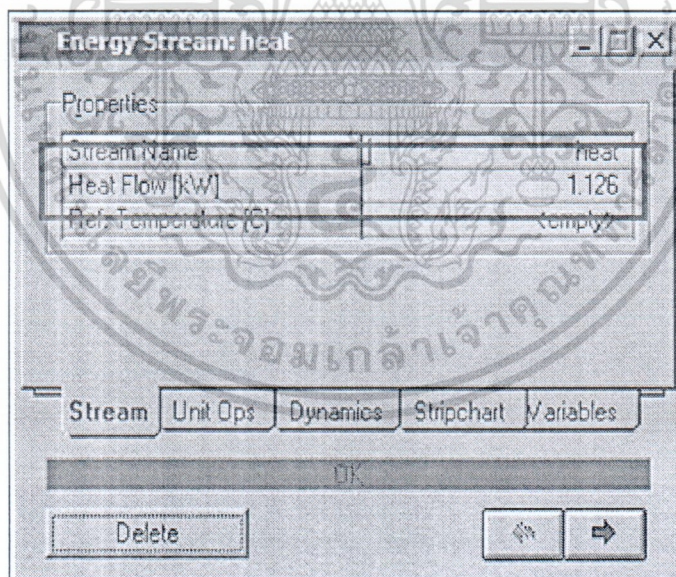
Delete Define from Other Stream...

รูปที่ 3 ค่าองค์ประกอบของสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

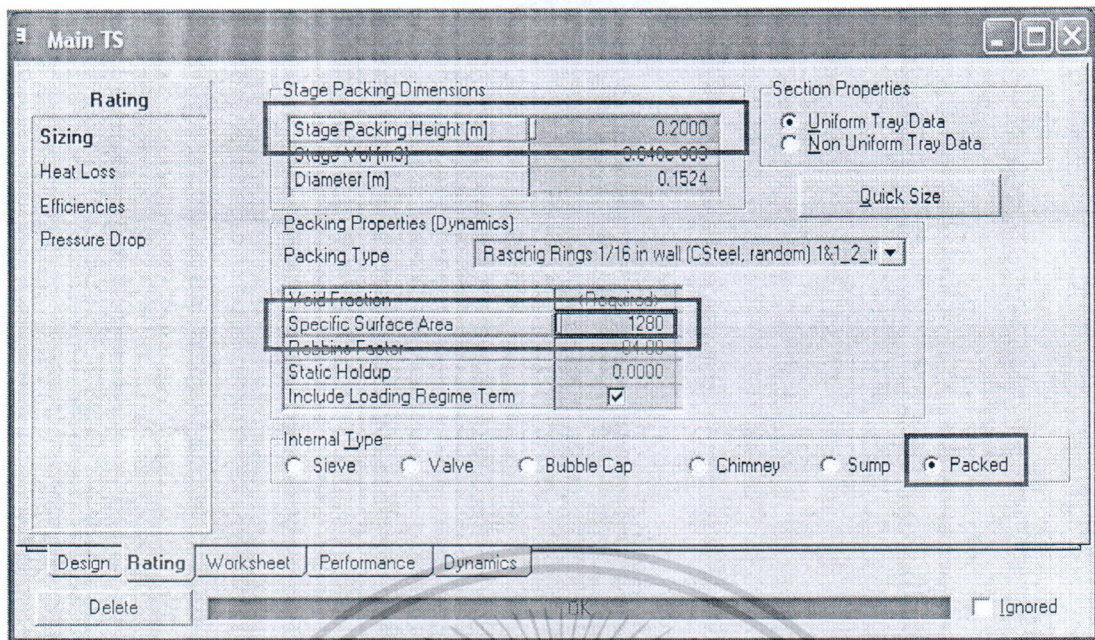


รูปที่ 4 อุณหภูมิและความดันของกระแส Feed 2 ก่อนป้อนเข้าหอกลั่น

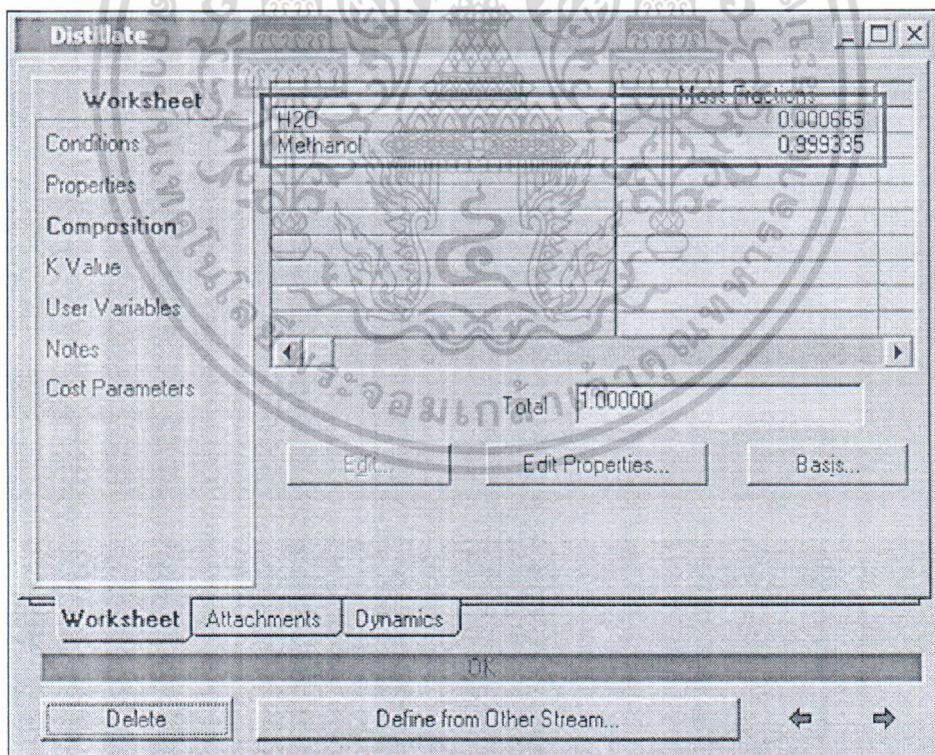


รูปที่ 5 Pre-heat feed heat exchanger load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

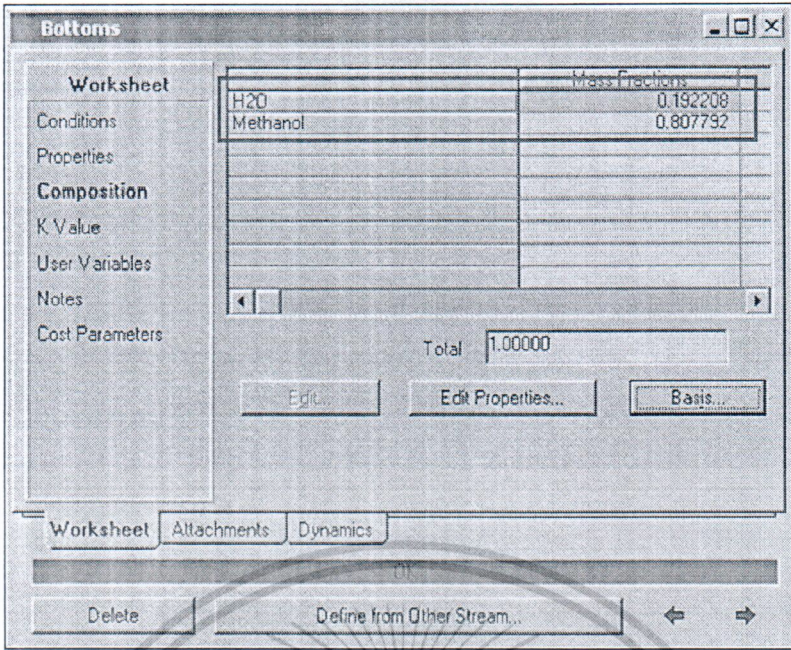


รูปที่ 6 การเลือกหอกลิ้นแบบวัสดุบรรจุและกำหนดค่า HETP และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

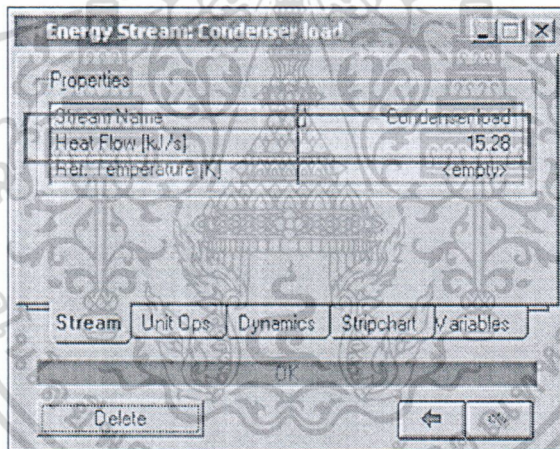


รูปที่ 7 องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน

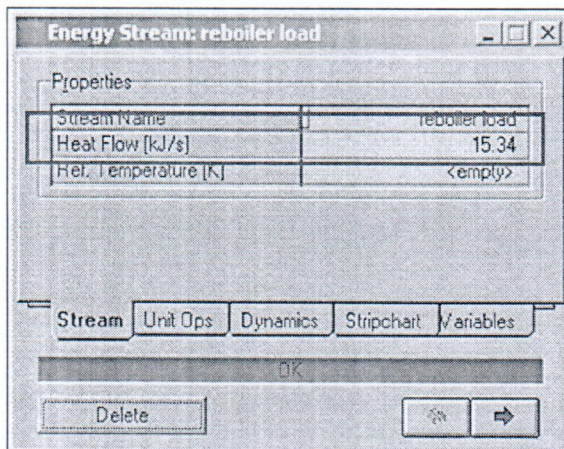
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ส่วนล่าง



รูปที่ 9 Condenser load



รูปที่ 10 Reboiler load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้