



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพหอกลั่นเอทานอลขนาดเล็ก
The efficiency improvement of a small ethanol
distillation column

กวางปัญญา สุวรรณสุขุโ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 142670
วันเดือนปี 23 ก.ค. 2559

.b. 12780960
.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 แบบจำลอง	3
2.2 การพิจารณาตัวแปรในกระบวนการกลั่น	3
2.3 การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานขั้นต่ำสุด	4
2.4 การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในทางปฏิบัติ	5
2.5 การพิจารณาจำนวนของชั้นในหอกลั่น	6
2.6 การพิจารณาจำนวนของชั้นในหอกลั่นจริง	7
2.7 ความเข้มข้นและการดูดกลืนแสง	8
2.7.1 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)	8
2.7.2 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น	8
2.8 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน	9
2.9 การเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์ (Deviation from Beer's law)	10
2.9.1 การเบี่ยงเบนทางเคมี (chemical deviation)	10
2.9.2 การเบี่ยงเบนจากเครื่องมือ (Instrumental deviation)	11
บทที่ 3 การปรับปรุงและวิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 วัดค่าความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้เครื่อง UV/vis spectrometer	13
3.1.1 การทำ Calibration Curve ของเอทานอล	13
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบการกลั่นเอทานอล	14
3.3 เงื่อนไขการทดลอง	16
บทที่ 4 การอภิปรายผลการทดลอง	17
4.1 Calibration Curve ของเอทานอล	17
4.2 ผลการทดสอบการกลั่นเอทานอลตามเงื่อนไขที่กำหนด	19
4.2.1 เวลาที่ตัวทำความร้อน ทำความร้อนไปถึงอุณหภูมิและความดันที่ตั้งไว้	19
4.2.2 ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้	20

บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	22
5.1	สรุปผลการวิจัย	22
5.2	ข้อเสนอแนะ	23
	เอกสารอ้างอิง	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยในเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหอกลิ้นเอทานอลขนาดเล็ก ที่ได้ขอทุนไว้ในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งได้พัฒนาหอกลิ้นจนสำเร็จได้ในระดับหนึ่งคือสามารถกลั่นเอทานอลได้ความบริสุทธิ์ 93.5% เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้คือต้องให้ได้มากกว่า 90 % ในการพัฒนาต่อจะทำการปรับปรุงระบบให้สามารถกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 97 % เพื่อสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์เบนซินได้ และเนื่องจากการวัดความเข้มข้นยังไม่ได้เป็นการวัดโดยตรง โดยใช้หลักการดัชนีหักเหของแสงที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย จึงอาจจะยังมีความผิดพลาด ถึงแม้จะทำการวัดทางสถิติหลายครั้งก็ตาม โดยในงานวิจัยครั้งนี้ จะวัดความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน ซึ่งจะสร้างสมการสอบเทียบขึ้นมา โดยใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 99% เป็นตัวเปรียบเทียบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ปรับปรุงระบบการกลั่นเอทานอล
- 1.2.2 สามารถกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 97%
- 1.2.3 สามารถใช้ในการเรียนการสอนได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยคือ การควบคุม 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกลั่นเอทานอล คือ ความร้อนที่ให้กับถังต้ม แร่งต้นในถังต้ม และ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น โดยจะทำการติดตั้งตัวทำความร้อนแบบขดลวดกับถังต้ม และใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ ในการตั้งค่าอุณหภูมิที่ให้กับถังต้ม ตั้งค่าแรงดันไอ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่ เพื่อให้สามารถกลั่นเอทานอลให้ได้ ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 97% และทำการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer ซึ่งจะสร้างสมการสอบเทียบขึ้นมา โดยใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 99% เป็นตัวเปรียบเทียบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในหลักการการกลั่นเอทานอลและทฤษฎีการควบคุมของสาร
- 1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจระบบโครงสร้างของหอกลิ้นเอทานอล
- 1.4.3 สามารถปรับปรุงหอกลิ้นเอทานอลขนาดเล็กที่สามารถใช้งานได้จริง
- 1.4.4 สามารถสร้างอุปกรณ์การเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาฟิสิกส์-พลังงานทางเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											หมายเหตุ	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.		ก.ย.
- ทำการติดตั้ง Electrical Heater Temperature control - หุ้มฉนวนกันความร้อนที่ หอกลิ้น - ทดสอบการใช้งาน - สร้างสมการสอบเทียบ เพื่อวัดความเข้มข้นของเอ ทานอลที่กลั่นได้	←			→									
ทำการกลั่นตามเงื่อนไขที่ กำหนด				←						→			
ปรับปรุงระบบ								←			→		
เขียนรายงาน นำเสนอ												←	→

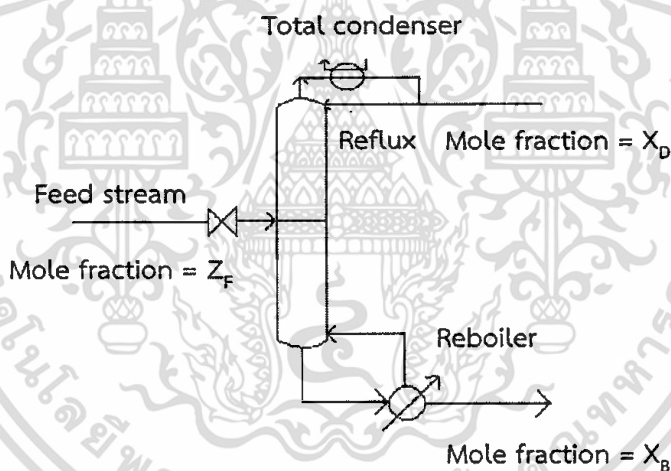
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

กระบวนการแยกจะประกอบด้วยหลักการ 3 ประการ ประการที่หนึ่ง สภาวะสองเฟสจะต้องเกิดขึ้นภายในหอกลั่นแยก นั่นคือเฟสของเหลวและไอ ประการที่สอง ทั้งสองเฟสจะต้องมีสภาวะการกลายเป็นไอที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดการแยกส่วนกันของทั้งสองเฟส ประการสุดท้าย สามารถแยกได้โดยหลักแรงโน้มถ่วงหรือวิธีการเชิงกลแบบอื่นๆ [1]

2.1 แบบจำลอง

หอกลั่นทั่วไปจะประกอบด้วย สตรีมป้อนเข้า(Feed stream) และผลผลิตสองสตรีม (เอทานอลและน้ำ) สตรีมป้อนเข้าจะประกอบด้วย เปอร์เซนต์โมลขององค์ประกอบสารระเหยเบา คือ Z_F ผลผลิตหนักที่ได้ด้านบนของหอกลั่นจะมีองค์ประกอบของสารระเหยเบา คือ X_D และ ผลผลิตที่ได้ในส่วนล่างของหอกลั่น จะมีองค์ประกอบของสารระเหยเบา คือ X_B ผลผลิตด้านบนจะถูกควบแน่นกลายเป็นของเหลว ส่วนผลผลิตด้านล่างบางส่วนจะถูกนำไปให้ความร้อนใหม่ เพื่อป้อนกลับเข้ามาในหอกลั่น โดยแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองหอกลั่นเอทานอล

2.2 การพิจารณาตัวแปรในกระบวนการกลั่น

ในการพิจารณาองค์ประกอบของสารที่ได้จากกระบวนการกลั่นทั้งด้านบนและด้านล่างของหอกลั่น จะพิจารณาได้ดังนี้

$$F \cdot Z_F = X_D \cdot D + X_B \cdot B \quad (2.1)$$

$$F = D + B \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

F = อัตราการป้อนของสตรีมขาเข้า

D = ปริมาณทั้งหมดของสารที่ได้ด้านบนหอกลั่น

B = ปริมาณทั้งหมดของสารที่ได้ด้านล่างหอกลั่น

2.3 การพิจารณาอัตราการรีฟลักซ์ขั้นต่ำสุด

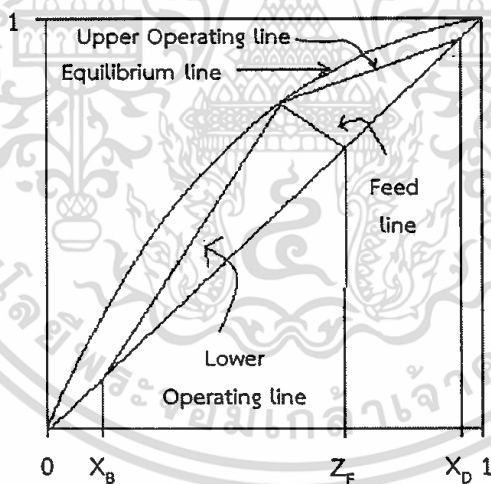
การพิจารณานี้จะใช้วิธีพิจารณาแบบกราฟของ McCabe – Thiele [2] สำหรับสารผสมสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งอัตราส่วนของการไหลของสารส่วนล่างหอกลั่นต่อการไหลของสารส่วนบนหอกลั่นจะถูกเรียกว่า อัตราการรีฟลักซ์ (Reflux ratio) โดยมีสมมติฐานดังนี้

2.3.1 มีการไหลคงที่ นั่นคือ มีอัตราการไหลเชิงโมลของไอและของเหลวในแต่ละส่วนของหอกลั่นค่อนข้างคงที่ ซึ่งแน่ใจได้ว่ากราฟกลั่นจะเป็นเส้นตรง

2.3.2 ไม่พิจารณาผลของความร้อน นั่นคือ การสูญเสียความร้อนที่หอกลั่นน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา

2.3.3 ทุกโมลของสารในสถานะไอจะถูกควบแน่น ขณะเดียวกันทุกโมลของสารในสถานะของเหลวจะกลายเป็นไอ

2.3.4 ของเหลวและไอที่ออกจากหอกลั่นจะสมดุลกับของเหลวและไอที่เข้าหอกลั่น



รูปที่ 2.2 เส้นกราฟสมดุลที่อัตราการรีฟลักซ์ขั้นต่ำสุด

ถ้าต้องการเส้นกราฟสมดุล (Equilibrium curve) ให้ทำกราฟ x - y (แกน x แทนสถานะของเหลว แกน y แทนสถานะไอ) เส้นกราฟสมดุลจะได้จากความสัมพันธ์ ของการกลายเป็นไอของของเหลว โดยพิจารณาได้ดังนี้

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{(1 + x(\alpha - 1))} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้กราฟที่แสดงสองจุดคือ จุดที่เป็นฟองไอ(Bubble point) และจุดที่ไออิมตัว(Dew point) ของสารผสมสองชนิด โดยที่เส้นสมดุลจะอธิบายส่วนประกอบของไอและของเหลวที่สภาวะสมดุลที่จุดซึ่งมีความดันคงที่ค่าหนึ่ง เส้นสมดุลนี้จะตัดกับเส้นแนวทแยง ซึ่งเป็นเส้นที่บ่งบอกถึงการผสมแบบอะซีโอโทรป (Azeotrope mixtures) ซึ่งก็คือของเหลวผสมที่มีจุดเดือดสูงสุดและต่ำสุด และกลั่นออกมาโดยไม่มีการสลายตัวและเป็นสัดส่วนที่แน่นอน

สำหรับเส้นกราฟป้อนเข้า (Feed line) สามารถพิจารณาได้จาก จุดบนเส้นแนวทแยงตรงตำแหน่งเดียวกับเปอร์เซ็นต์โมลป้อนเข้า (Z_F) ซึ่งจะได้เส้นตรงที่ตั้งฉากกับเส้นแนวทแยง โดยมีความชันเท่ากับ $q/(q-1)$ เมื่อ q คือ คุณภาพการป้อนเข้า ซึ่งเส้นกราฟป้อนเข้านี้ สามารถพิจารณาได้ตามสมการนี้

$$y = \frac{q}{(q-1)x} - \frac{Z_F}{(q-1)} \quad (2.4)$$

ในการพิจารณาการกลั่นในส่วนด้านบนของหอกลั่น จะพิจารณาจากเส้นกราฟปฏิบัติการด้านบน (Upper operating line) โดยพิจารณาจากจุดบนเส้นแนวทแยงตรงตำแหน่งเดียวกับองค์ประกอบของสารระเหยเบา (X_D) และจากจุดนี้ลากไปตัดกับจุดร่วมที่กราฟสมดุลและกราฟป้อนเข้า ซึ่งจะทำได้ เส้นกราฟปฏิบัติการด้านบน และมีจุดตัดแกน y เท่ากับ $X_D/(R+1)$ ซึ่งสามารถใช้พิจารณาการรีฟลักซ์น้อยที่สุด ได้ดังนี้

$$R_{\min} = \frac{X_D}{y_{\text{intercept}}} - 1 \quad (2.5)$$

สำหรับเส้นปฏิบัติการด้านล่างจะพิจารณากลับกันโดยเริ่มจากจุด X_B บนเส้นแนวทแยงลากไปตัดกับจุดร่วมที่กราฟสมดุลและกราฟป้อนเข้า ซึ่งจะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(V_{b\min} + 1)/V_{b\min}$ เมื่อ V_b คือ อัตราการให้ความร้อน ซึ่งอัตราการให้ความร้อนนี้ ก็คือ ปริมาณส่วนประกอบของของเหลวที่เดือดซึ่งถูกป้อนเข้าหอกลั่นกับของเหลวที่ออกจากหอกลั่น

2.4 การพิจารณาอัตราการรีฟลักซ์ในทางปฏิบัติ

ถ้าอัตราส่วนการรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น จำนวนของชั้นหอกลั่นและค่าใช้จ่ายในการสร้างหอกลั่นจะลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนรีฟลักซ์จะเพิ่มอัตราการเป็นไอน้ำในหอกลั่นด้วย ซึ่งจะทำให้ระบบการควบแน่นและระบบการให้ความร้อนมีราคาที่สูงเพิ่มขึ้นไปด้วย[3] โดยทั่วไปแล้วหอกลั่นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้ทำงานระหว่าง 1.2 และ 1.5 เท่าของอัตราการรีฟลักซ์ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบที่ลดลงด้วย เพราะฉะนั้น อัตราส่วนรีฟลักซ์จริงในทางปฏิบัติสามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ 2.6 [4] และรูปที่ 2.3

$$R_{\text{actual}} = R_{\min} \cdot 1.2 \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

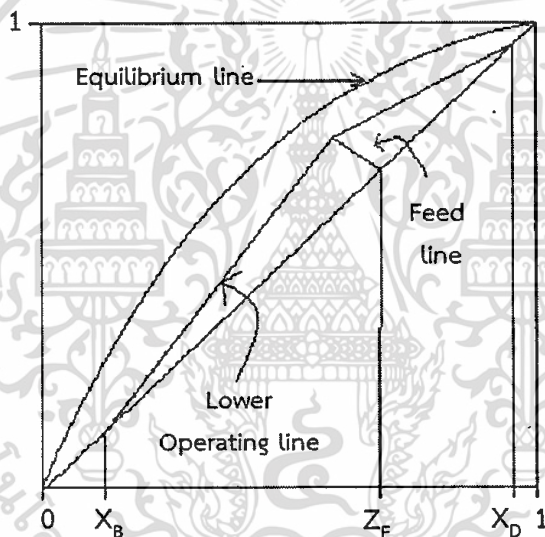
2.5 การพิจารณาจำนวนของชั้นในหอกลั่น (Number of trays)

ย้อนกลับไปพิจารณาเส้นกราฟปฏิบัติการบนและล่าง โดยการใช้ อัตราส่วนรีฟลักซ์จริงในทางปฏิบัติ เขียนจุด $X_D/(R_{actual}+1)$ และเขียนเส้น X_D แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้ได้สมการเส้นปฏิบัติการด้านบน คือ

$$y = \left(\frac{R_{actual}}{R_{actual} + 1} \right) x + \frac{X_D}{(R_{actual} + 1)} \quad (2.7)$$

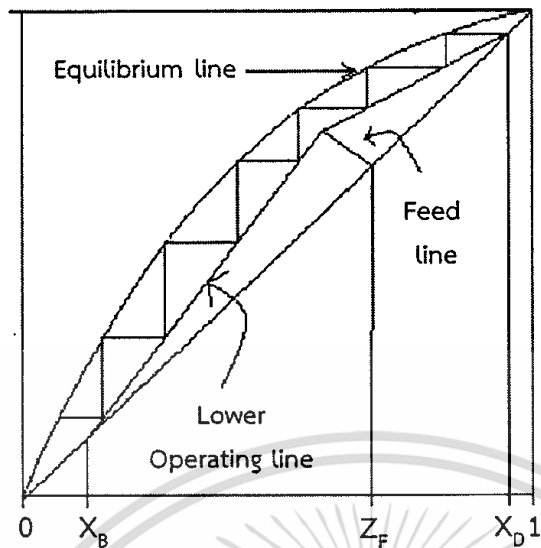
สำหรับสมการเส้นกราฟปฏิบัติการด้านล่างสามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$y = \left(\frac{V_b + 1}{V_b} \right) x + \frac{X_B}{V_b} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.3 เส้นกราฟสมดุลที่อัตราการรีฟลักซ์จริงในทางปฏิบัติ

ในส่วนของการพิจารณาจำนวนชั้นของหอกลั่น จะเริ่มจาก องค์ประกอบของสารที่จะกลั่น (X_D) โดยลากเส้นแนวราบไปจนถึงเส้นกราฟสมดุล เส้นนี้จะป็นชั้นที่ 1 จากนั้นลากเส้นลงมาในแนวตั้งจนถึงเส้นปฏิบัติการด้านบน แล้วลากเส้นแนวราบไปจนถึงเส้นกราฟสมดุล เส้นนี้จะป็นชั้นถัดขึ้นไป ทำการลากเส้นเช่นนี้ไปจนกระทั่ง ไปถึงจุดที่เป็นองค์ประกอบของของเหลว (X_B) ซึ่งจะไดกราฟดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เส้นกราฟสมดุลที่อัตราการรีฟลักซ์จริงในทางปฏิบัติและการพิจารณาจำนวนชั้นภายในหอกลั่น

อย่างไรก็ตาม ถ้าสารที่จะทำการกลั่นมีจำนวนมาก การทำกระบวนการข้างต้นจะมีความยุ่งยาก ในกรณีเช่นนี้ จะใช้สมการของเครมเซอร์ (Kremser equation) นั่นคือ

$$N = \ln \left[\left(1 - m \frac{V}{L} \right) \left(\frac{y_{in} - y_{e,out}}{y_{out} - y_{e,out}} \right) + m \frac{V}{L} \right] / \ln \left(m \frac{V}{L} \right) \quad (2.9)$$

เมื่อ

N = จำนวนชั้นที่ไม่สามารถพิจารณาได้

m = ความชันของเส้นที่ไม่สามารถพิจารณาได้

$V/L = R_{actual} / (R_{actual} + 1)$

y_{in} = จุดที่สามารถเลือกได้ใต้เส้นที่ไม่สามารถพิจารณาได้

$y_{out} = X_D$

$y_{e,out} = m \cdot (X_D + b)$ โดยที่ b คือจุดตัดแกน y ของเส้นกราฟสมดุลใหม่

2.6 การพิจารณาจำนวนของชั้นในหอกลั่นจริง

เราสามารถพิจารณาได้โดยการหารจำนวนชั้นทางทฤษฎีกับประสิทธิภาพของจำนวนชั้น (tray efficiency, ϵ) ค่าทั่วไปของประสิทธิภาพของจำนวนชั้นจะอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.7 [3] ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ รวมทั้งอัตราการไหลของไอและของเหลวภายในหอกลั่น โดยมีสมการดังนี้

$$N_{actual} = \frac{N_{theory}}{\epsilon} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ความเข้มข้นและการดูดกลืนแสง

2.7.1 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) มีใจความว่า

“เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงที่ตกกระทบตัวกลางนั้น และความเข้มข้นของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

กฎของเบียร์ (Beer's law) มีใจความว่า

“เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็น กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident light: I_0) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลือผ่านออกมา (I) โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง

2.7.2 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น (absorbance and concentration)

ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการ

$$A = \epsilon cl \quad (2.11)$$

เมื่อ

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

ϵ = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง เรียกว่า molar absorptivity ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์นั่นเอง (cm)

c = ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)

ถ้าความเข้มข้นของสารอยู่ในหน่วยอื่นจะเขียนสมการเป็น

$$A = a cl \quad (2.12)$$

เมื่อ

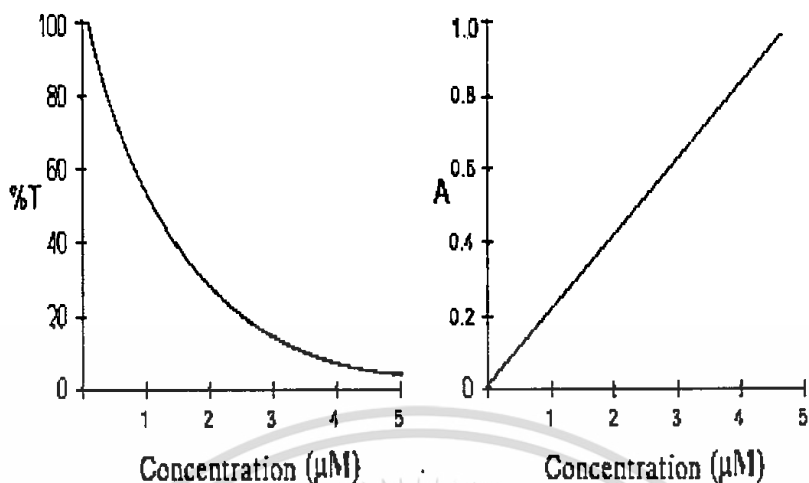
a = absorptivity ซึ่งเป็นค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของสารและความยาวคลื่น

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์นั่นเอง (cm)

c = ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

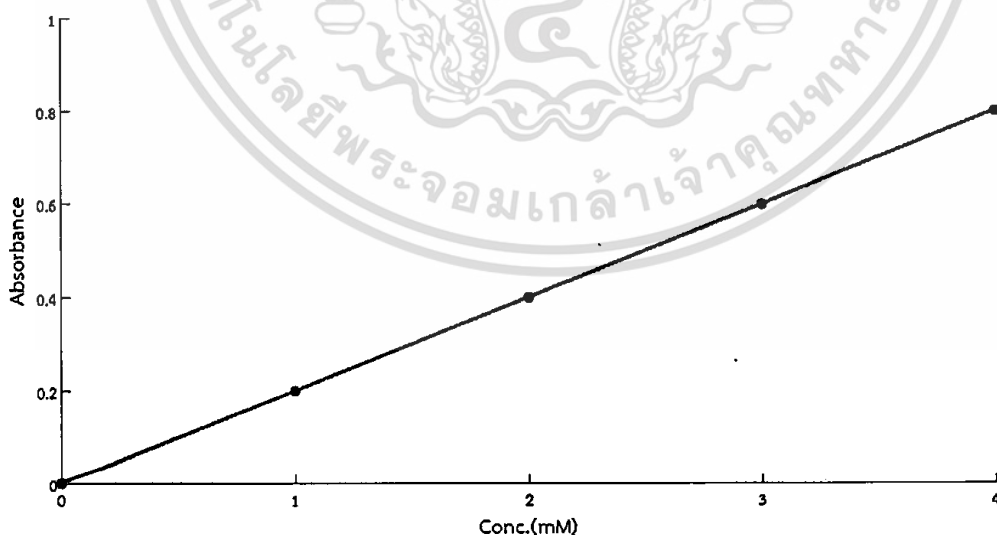


รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับ %T และ absorbance

2.8 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve)

เราทราบแล้วว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารหรือปริมาณของเนื้อสารนั้นตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต ดังนั้นถ้าเรานำความสัมพันธ์นี้มาสร้างกราฟและได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เราจะเรียกกราฟนี้ว่ากราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration - curve)

กราฟความเข้มข้นมาตรฐานนี้มีประโยชน์มากในเชิงปริมาณวิเคราะห์ เพราะสามารถใช้เทียบเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบค่าได้ โดยที่สารที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้นนั้นจะต้องอยู่ในช่วงความเข้มข้นมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว และเส้นกราฟความเข้มข้นมาตรฐานจะต้องเป็นเส้นตรงเสมอ



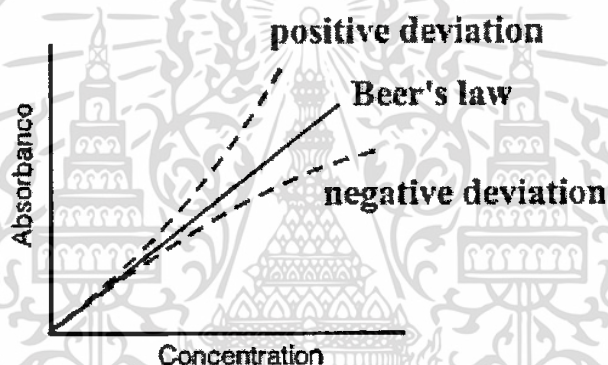
รูปที่ 2.6 แสดงการสร้างกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน คือนำสารละลายมาตรฐาน (standard solution) ที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอนอย่างน้อย 3-4 ความเข้มข้น มาวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นก็นำความสัมพันธ์ที่ได้ไปสร้างกราฟ ส่วนความเข้มข้นที่ไม่ทราบค่าก็นำไปวัดค่าการดูดกลืนเช่นเดียวกัน แล้วนำค่าการดูดกลืนนั้นไปเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานหรือคำนวณจากสมการเชิงเส้นของกราฟความเข้มข้นมาตรฐานเพื่อย้อนกลับมาเป็นความเข้มข้น เราก็จะทราบค่าความเข้มข้นของสารนั้นได้ รูปที่ 2.6 แสดงกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

2.9 การเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์ (Deviation from Beer's law)

เราทราบมาแล้วจากกฎของเบียร์ว่าค่าการดูดกลืนจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น ดังนั้นเมื่อเราพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืน (A) กับความเข้มข้น (c) เมื่อความหนาของเซลล์คงที่ จะได้กราฟเส้นตรง แต่ในบางครั้งพบว่าอาจจะเกิดการเบี่ยงเบนได้ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งอาจเป็นการเบี่ยงเบนในเชิงบวก (positive deviation) คือค่าการดูดกลืนให้แนวโน้มสูงกว่าปกติ ทำให้กราฟที่ได้โค้งขึ้น หรือเป็นการเบี่ยงเบนเชิงลบ (negative deviation) คือค่าการดูดกลืนมีแนวโน้มต่ำลงทำให้กราฟโค้งลง



รูปที่ 2.7 แสดงการเบี่ยงเบนที่ไม่เป็นไปตามกฎของเบียร์

ซึ่งการเบี่ยงเบนดังกล่าวมาจากสาเหตุหลัก 2 ประการ ได้แก่

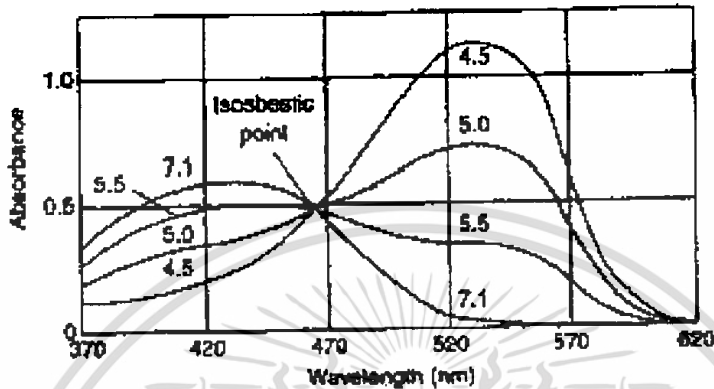
2.9.1 การเบี่ยงเบนทางเคมี (chemical deviation)

เกิดจากสารที่ต้องการวิเคราะห์เกิดการสลายตัว การรวมตัว หรือทำปฏิกิริยากับตัวทำละลาย แล้วกลายเป็นสารตัวอื่นที่ให้ absorption spectrum ต่างจากสารที่ต้องการจะวิเคราะห์ ทำให้ผลเบี่ยงเบนออกจากกฎของเบียร์ ยกตัวอย่างเช่น การรวมตัวกันของโมเลกุล ทำให้การดูดกลืนแสงต่อโมเลกุลลดลง ดังนั้นจึงเกิดการเบี่ยงเบนเชิงลบ

บ่อยครั้งที่การวัดค่าการดูดกลืนเกิดขึ้นในขณะที่สารนั้นสามารถอยู่ในรูปร่างที่ดูดกลืนแสงได้หลายความยาวคลื่น เช่น methyl red ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) ชนิดหนึ่ง สามารถเปลี่ยนรูปร่างเป็น HIn (สีแดง) และ In⁻ (สีเหลือง) ได้ในช่วง pH 5.1

จากรูปที่ 2.8 สเปกตรัมของ methyl red ในช่วง pH ระหว่าง 4.5-7.1 จะเห็นว่า methyl red มีพีคการดูดกลืน 2 พีคคือ ที่ประมาณ 530 nm เป็นพีคการดูดกลืนของ HIn ส่วนที่ประมาณ 410 nm เป็นของ In⁻ อย่างไรก็ตาม สเปกตรัมที่ทุกๆ สภาวะจะมีจุดตัดร่วมซึ่งเราเรียกว่า Isosbestic point ซึ่งเป็นจุดที่ methyl

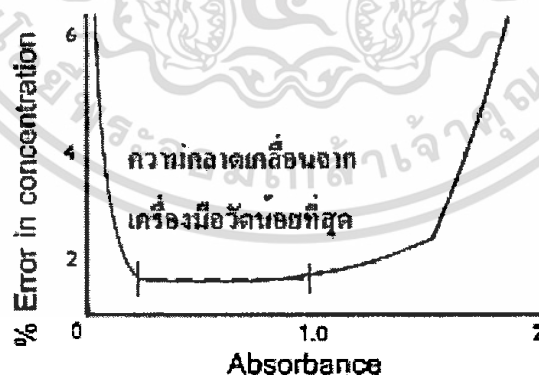
red ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้นเราสามารถเลือกใช้ความยาวคลื่นที่จุดนี้สำหรับการวัดค่าการดูดกลืน ซึ่งจะทำให้หมดปัญหาเรื่องการรบกวนจากการเปลี่ยนรูปร่าง ถ้าต้องการเลือกใช้ที่ความยาวคลื่นอื่นๆ เราจำเป็นต้องควบคุม pH ให้คงที่โดยการใส่บัฟเฟอร์ เพื่อให้การเปลี่ยนรูปร่างของสารคงที่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.8 Isosbestic point ของ methyl red

2.9.2 การเบี่ยงเบนจากเครื่องมือ (Instrumental deviation)

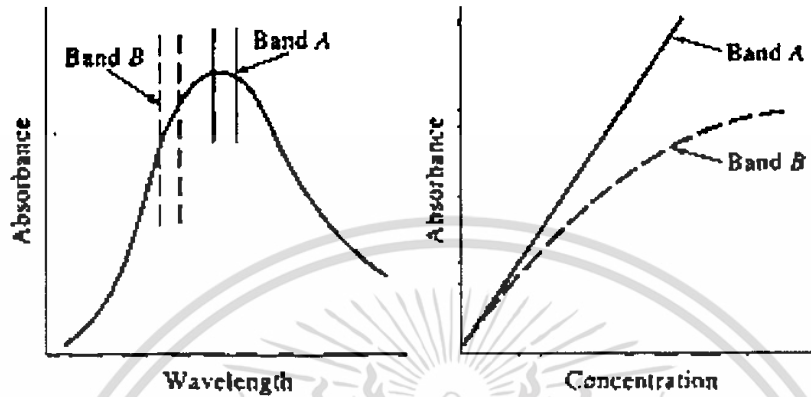
ความไม่แม่นยำของเครื่องมือวัด ในทางปฏิบัติพบว่าการวัดค่าการดูดกลืนของสารให้มีความแม่นยำในช่วง $A = 0.1-1.0$ จะมีความคลาดเคลื่อนของการวัดความเข้มข้นน้อยมาก ประมาณ 1-2% ดังนั้นในปฏิบัติการจริงจะมีการปรับความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในช่วง $A = 0.1-1.0$ ถ้าค่าการดูดกลืน อยู่ในช่วงที่มากกว่า หรือน้อยกว่านี้ แสงที่ผ่านออกมาถึงเครื่องตรวจวัดจะน้อยหรือมากเกินไป ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจึงมีสูง



รูปที่ 2.9 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่คลาดเคลื่อน (% error in concentration) อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าการดูดกลืน (absorbance) ของเครื่องมือ

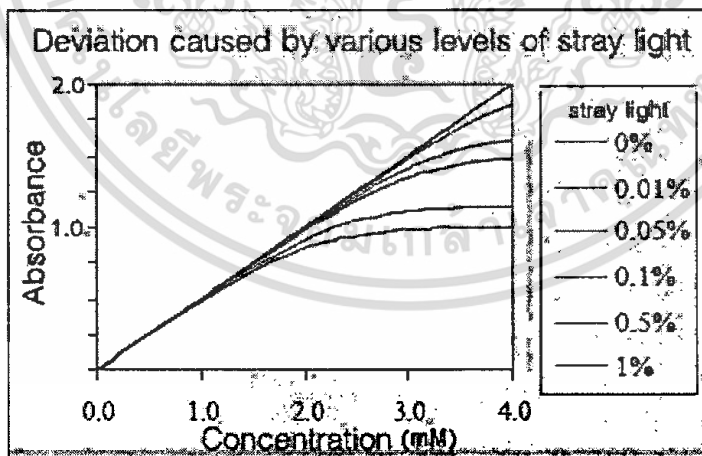
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่มีหลายความยาวคลื่น (Polychromatic light) จากกฎของเบียร์ฮูมมานว่า ความยาวคลื่นที่ผ่านสารละลายเป็นความยาวคลื่นเดี่ยว แต่ในทางปฏิบัติ ตัวแยกความยาวคลื่น (Monochromator) อาจแยกความยาวคลื่นให้เป็นคลื่นเดี่ยวไม่ได้ มีความยาวคลื่นอื่นปนมาด้วยดังนั้นการวัดค่าการดูดกลืน อาจคลาดเคลื่อนได้ ถ้าความยาวคลื่นอื่นที่ปนมามีค่า molar (ϵ) ของสารเปลี่ยนแปลงไปจากความยาวคลื่นที่เราเลือกมาก



รูปที่ 2.10 ผลของแสงที่มีหลายความยาวคลื่นต่อการเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์

คลื่นแสงรบกวน (Stray light) คือการรบกวนของความยาวคลื่นที่เราไม่ได้เลือกผ่านเข้าไปตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) อาจเกิดจากการกระเจิงแสง (Scattering) หรือการสะท้อน (Reflection) หลายๆ ครั้งบนผิวของเกรตติ้งเลนส์ หรือฟิลเตอร์ เป็นต้น ผลของแสงรบกวนทำให้ค่าการดูดกลืนลดลง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงๆ ถ้าค่าการดูดกลืนมีค่ามาก แสงที่ผ่านออกมาตกบนตัววัดมีน้อย ดังนั้นแสงรบกวนจึงส่งผลได้มากขึ้น ทำให้ได้กราฟที่ไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.11

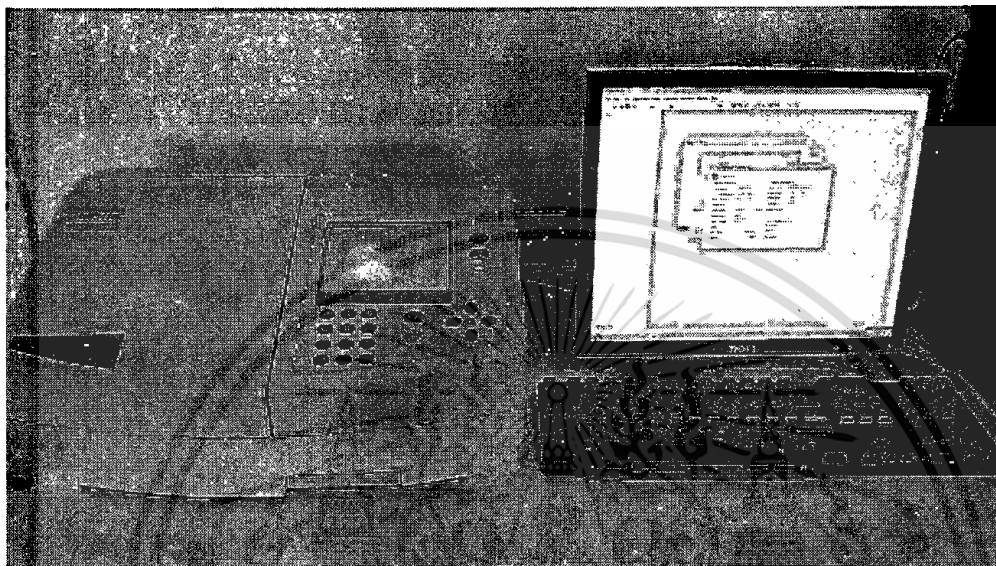


รูปที่ 2.11 อิทธิพลของคลื่นแสงรบกวน (stray light)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การปรับปรุงและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัดค่าความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้เครื่อง UV/vis spectrometer



รูปที่ 3.1 เครื่อง UV/vis Spectrometer

3.1.1) การทำ Calibration Curve ของเอทานอล

- 3.1.1.1 เตรียมเอทานอลความเข้มข้น 95% ให้มีความเข้มข้น ดังนี้ 1% , 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% และ 10% ตามลำดับ โดยเตรียมที่ปริมาตร 10 ml แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3.1
- 3.1.1.2 นำเอทานอลตามความเข้มข้นที่เตรียมไว้ ไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/vis Spectrometer แสดงดังรูปที่ 1
- 3.1.1.3 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านกับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอทานอล
- 3.1.1.4 สร้างสมการ Calibration curve เพื่อใช้ในการสอบเทียบกับเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลอง

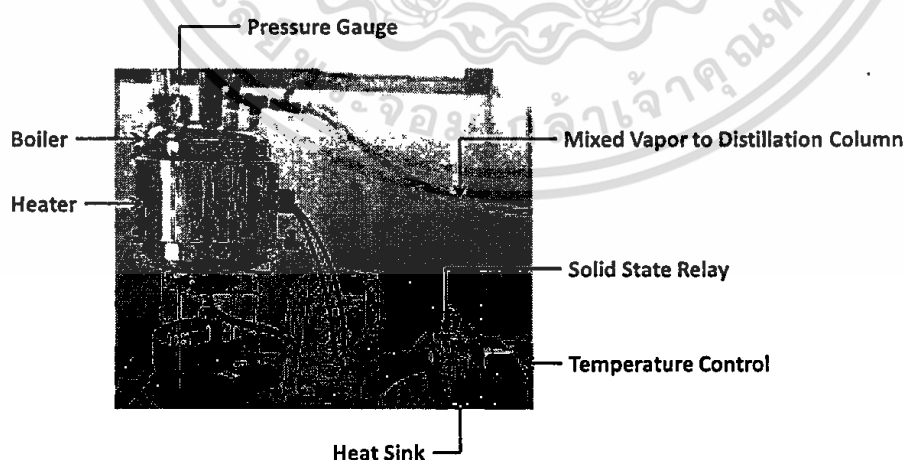
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นโดยปริมาตรของเอทานอลสำหรับการวัดด้วยเครื่อง UV/vis Spectrometer

ลำดับตัวอย่างสารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลายโดยปริมาตร	ปริมาตรของเอทานอล (ml)	ปริมาตรของน้ำกลั่น (ml)
1	1%	0.105	9.895
2	2%	0.210	9.790
3	3%	0.315	9.685
4	4%	0.421	9.579
5	5%	0.526	9.474
6	6%	0.631	9.369
7	7%	0.736	9.264
8	8%	0.842	9.158
9	9%	0.947	9.053
10	10%	1.050	8.950

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบการกลั่นเอทานอล

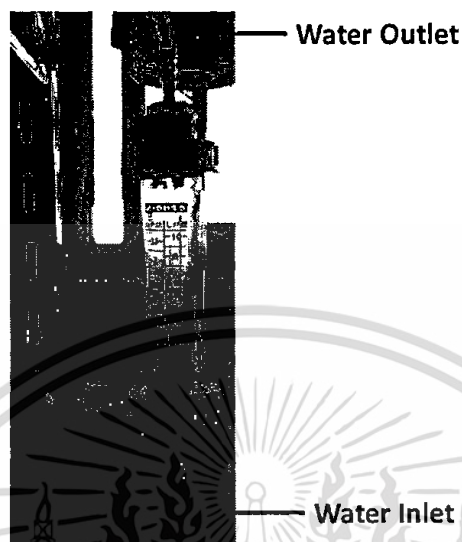
3.2.1 ติดตั้งเครื่องทำความร้อนขนาด 3500 วัตต์ พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.2 เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ให้กับถังต้ม โดยจะให้เครื่องทำความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 140 – 180 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.2 การติดตั้งตัวทำความร้อน และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

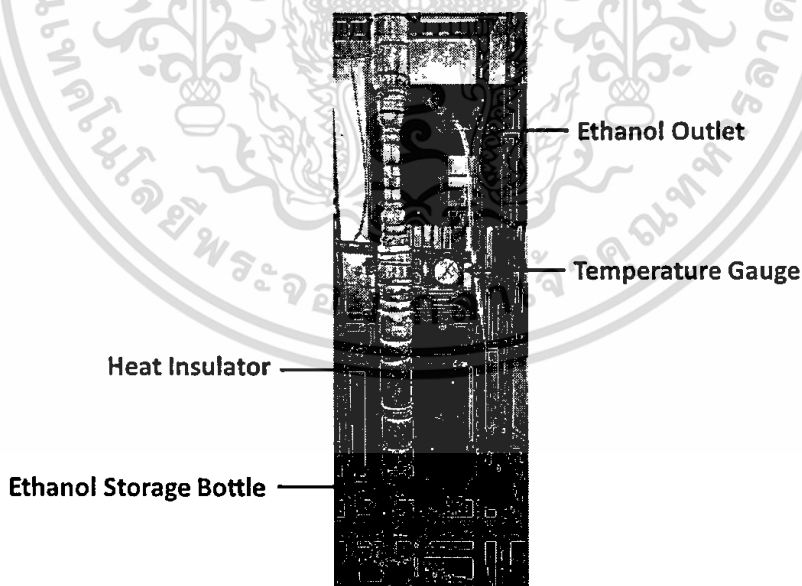
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่ ซึ่งมีอัตราการไหลอยู่ที่ 0.5 L/min



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

3.2.3 ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนแสดงดังรูปที่ แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดโฟลีโอทิลีน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $0.025 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของท่อกลั่นเอทานอล



รูปที่ 3.3 การหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ท่อกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-1 ความเข้มข้นโดยปริมาตรของเอทานอลสำหรับทำ Calibration Curve

จำนวนตัวอย่าง สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย โดยปริมาตร	ปริมาตรของเอทานอล (ml)	ปริมาตรของน้ำกลั่น (ml)
1	5%	0.5	9.5
2	10%	1.0	9.0
3	15%	1.6	8.4
4	20%	2.1	7.9
5	25%	2.6	7.4
6	30%	3.2	6.8
7	35%	3.7	6.3
8	40%	4.2	5.8
9	45%	4.7	5.3
10	50%	5.3	4.7
11	55%	5.8	4.2
12	60%	6.3	3.7
13	65%	6.8	3.2
14	70%	7.4	2.6
15	75%	7.9	2.1
16	80%	8.4	1.6
17	85%	8.9	1.1
18	90%	9.5	0.5
19	95%	10	0

3.3 เงื่อนไขการทดลอง

1. ในการทดสอบการกลั่น จะใช้เอทานอลความเข้มข้น 95% โดยจะทำการเตรียมสารละลายผสมของน้ำกับเอทานอล 95% ในอัตราส่วน 2:1 ซึ่งจะได้ปริมาตรสารละลายผสมรวม 9 ลิตร
2. ให้ความร้อนกับถังต้ม ที่อุณหภูมิ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนกระทั่งความดันไอน้ำในถังต้ม มีค่าเป็น 2.0 บาร์, 3.0 บาร์ และ 4.0 บาร์ ตามลำดับ
3. ที่ความดันไอน้ำค่าต่างๆ เปิดวาล์วให้ความดันไอน้ำเข้าสู่หอกลั่น เพื่อสังเกตเวลาที่เวลา (นาทิจ) และอุณหภูมิในหอกลั่นเท่าไร ที่เอทานอลจะเกิดการกลั่นตัวออกมา
4. บันทึกอุณหภูมิในหอกลั่นและเวลา (นาทิจ) ที่เอทานอลเกิดการกลั่นตัวออกมา
5. นำเอทานอลที่ได้จากการกลั่นไปวัดค่าความเข้มข้น(%) โดยสอบเทียบจากสมการ Calibration Curve

บทที่ 4
การอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของหอกลิ้นขนาดเล็ก ในการกลั่นเพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 97 % โดยจะเป็นการกลั่นทดสอบเพื่อการแยกเอทานอลออกจากน้ำ โดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ 140 - 180 องศาเซลเซียส และความดันที่ 2 - 4 บาร์

4.1 Calibration Curve ของเอทานอล

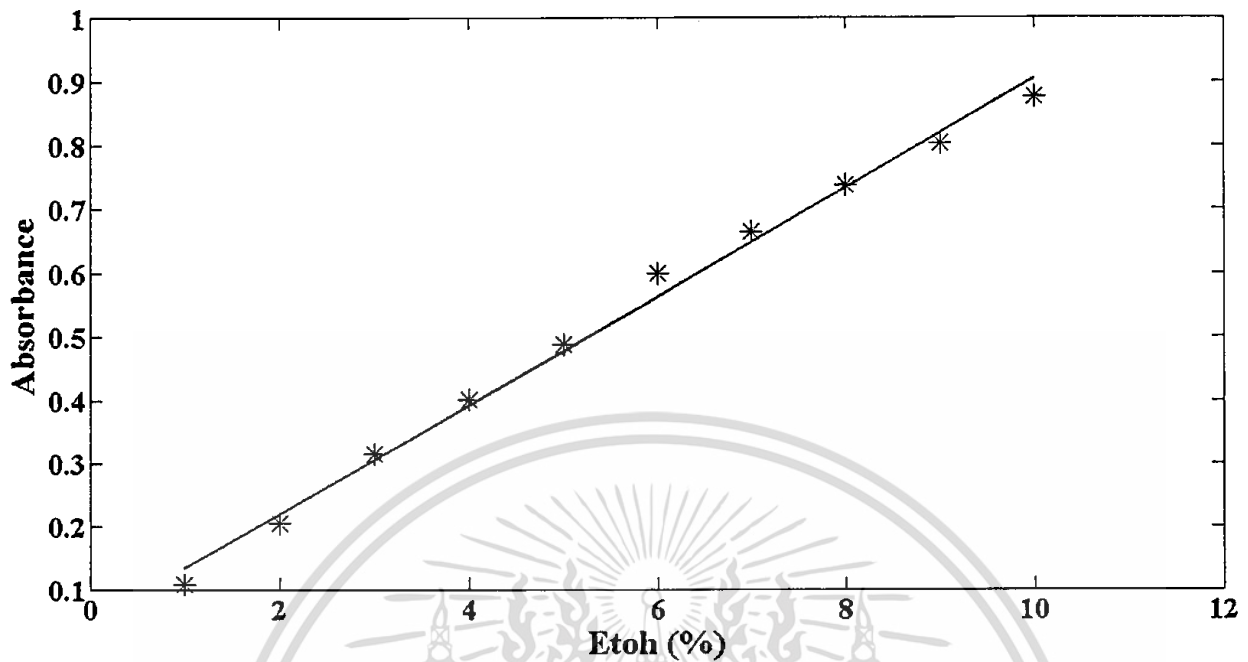
เตรียมความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำกลั่น โดยใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยทำการเจือจางความเข้มข้นลงมาจนอยู่ในช่วง 1 - 10 % และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV - Vis Spectrometer โดยทำการวัดตั้งแต่ 190 nm จนถึง 1000 nm พบว่าความชันที่มีความเส้นตรงและมีค่า Linear regression เข้าใกล้ 1 มากที่สุด จะอยู่ที่ความยาวคลื่น 193 nm จึงเลือกที่ความสัมพันธ์ที่ความยาวคลื่นนี้ มาสร้างสมการสอบเทียบ

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลที่ความเข้มข้น 1 - 10 %

Wavelength (nm)	EtoH (%)	Absorbance
1		0.108
2		0.205
3		0.315
4		0.401
5		0.489
6		0.599
7		0.664
8		0.738
9		0.803
10		0.876

จากตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของเอทานอลมาสร้างสมการสอบเทียบจะได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9934$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. 1 Calibration Curve ที่ความยาวคลื่น 193 nm

จากกราฟที่ 4.1 จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอทานอลกับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 193 nm ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งจะใช้เป็นสมการสอบเทียบในการหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้

$$y = 0.0855x + 0.0495 \quad (4.1)$$

เมื่อ X = ความเข้มข้นของเอทานอล (%)
 y = ค่าการดูดกลืนแสง

4.2 ผลการทดสอบการกลั่นเอทานอลตามเงื่อนไขที่กำหนด

4.2.1 เวลาที่ตัวทำความร้อน ทำความร้อนไปถึงอุณหภูมิและความดันที่ตั้งไว้

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่ตัวทำความร้อน ทำความร้อนไปถึงอุณหภูมิและความดันที่ตั้งไว้

อุณหภูมิ Heater ($^{\circ}\text{C}$)	ความดัน (Bar)	เวลา (นาที)			เวลาเฉลี่ย (นาที)
		การทดลองที่			
		1	2	3	
140	2	10.4	10.3	9.5	10.1
	3	11.2	11.5	10.4	11.0
	4	12.3	12.6	11.1	12.0
160	2	14.3	14.1	13	13.8
	3	15.4	14.6	14.3	14.8
	4	16.1	16	15.8	16.0
180	2	19.2	18.6	19.1	19.0
	3	20.7	19.3	20.2	20.1
	4	22.1	21.5	21.4	21.7

จากตารางที่ 4.2 การทดสอบเวลาในการทำความร้อนและความดันไปถึงจุดที่กำหนดไว้ พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิและความดันไอบางขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำอุณหภูมิและความดัน มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำความร้อนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยที่ 4 บาร์ จะใช้เวลา 12 นาที ส่วนอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากที่สุด โดยเฉลี่ยที่ 4 บาร์ จะใช้เวลาประมาณ 22 นาที

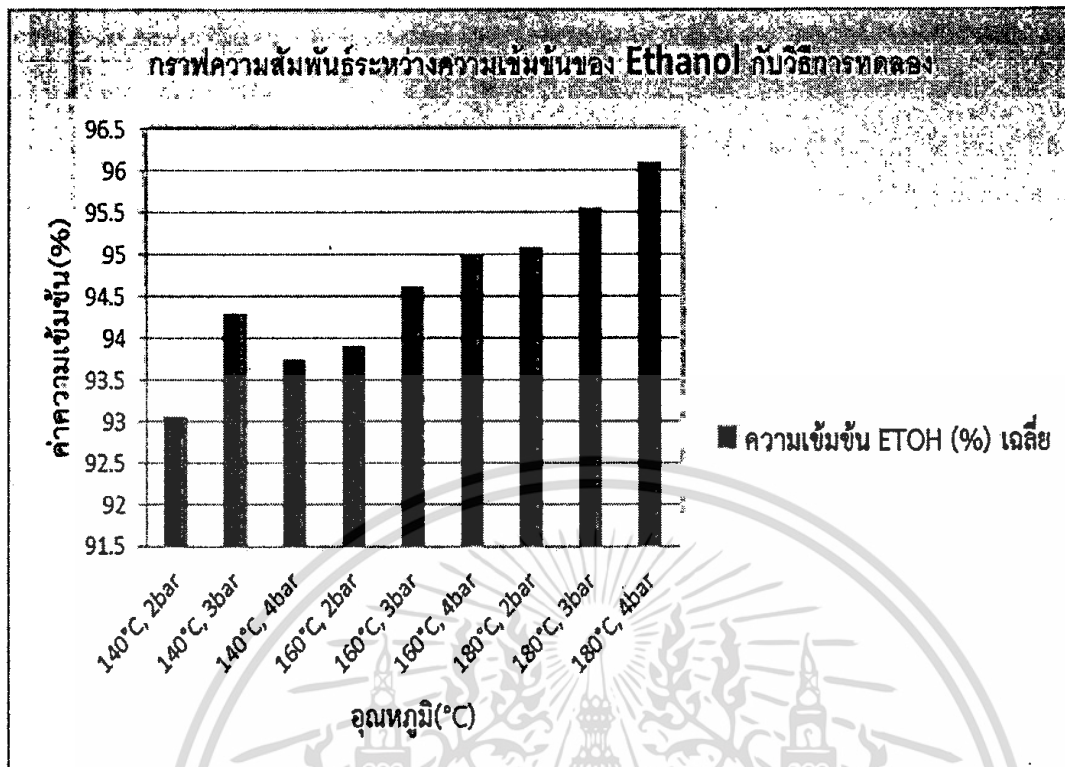
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้

อุณหภูมิ Heater ($^{\circ}\text{C}$)	ความดัน (Bar)	ความเข้มข้น (%)			ค่าเฉลี่ยความ เข้มข้น (%)
		การทดลองที่			
		1	2	3	
140	2	90.4	93.5	95.3	93.0
	3	90.9	95.8	96.3	94.3
	4	90.6	95.6	95.1	93.8
160	2	93.0	93.2	95.6	94.0
	3	94.9	93.2	95.8	94.6
	4	96.0	92.3	96.7	95.0
180	2	94.6	96.7	95.0	95.0
	3	95.0	95.3	96.2	95.6
	4	95.8	96.5	96.0	96.0

จากการทดสอบการกลั่น เราจะได้ทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอทานอลและน้ำแต่จะแยกส่วนกันในทอกั่น ในที่นี้เราจะนำเอทานอลที่ได้ในการทดลองแต่ละครั้งมาวัดความเข้มข้น โดยใช้เครื่อง UV/vis Spectrometer หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 193 nm ไปแทนในสมการที่ 4.1 โดยความเข้มข้นที่มากที่สุดในการทดลองครั้งนี้อยู่ที่ 96% จากการทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 4 บาร์ ซึ่งแสดงดังกราฟรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้กับอุณหภูมิและความดันในช่วงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง ในขั้นตอนแรกจะทำการสร้างสมการสอบเทียบโดยใช้เครื่อง UV/vis-Spectrometer โดยเตรียมเอทานอล ให้มีความเข้มข้น 1-10% เพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนหรือค่า OD (Optical-density) อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 1 ซึ่งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด โดยในการทดลองเราจะใช้อีทานอลที่มีความเข้มข้น 95% เป็นสารละลาย และใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย โดยเราจะทำการวัดโดยใช้เครื่อง UV/vis Spectrometer ตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นที่ 190 – 1000 nm พอเสร็จกระบวนการของเครื่อง UV/vis Spectrometer เราก็จะได้ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลในแต่ละช่วงความเข้มข้นมา โดยเราเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ 193 nm เนื่องจากมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด และได้สมการสอบเทียบคือ $y = 0.0855x + 0.0495$ เมื่อ X คือ เปอร์เซนต์ความเข้มข้นของเอทานอล และ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

ในขั้นตอนการกลั่นเราจะใช้ตัวทำความร้อน (Heater) ขนาด 3500 วัตต์ และระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID โดยจะทำการตั้งอุณหภูมิให้ตัวทำความร้อนมีอุณหภูมิ คือ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส และที่แต่ละค่าของอุณหภูมิจะกำหนดให้ภายในถังต้มมีความดันไอน้ำ 2 3 และ 4 บาร์ ก่อนจะปล่อยไอเข้าหอกลั่น จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 140 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 10.1 นาที ที่ความดัน 2 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 93%, ที่อุณหภูมิ 140 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 11 นาที ที่ความดัน 3 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 94.3%, ที่อุณหภูมิ 140 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 12 นาที ที่ความดัน 4 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 93.8%, ที่อุณหภูมิ 160 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 13.8 นาที ที่ความดัน 2 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 94%, ที่อุณหภูมิ 160 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 14.8 นาที ที่ความดัน 3 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 94.6%, ที่อุณหภูมิ 160 °C ที่ จะใช้เวลาเฉลี่ย 16 นาที ความดัน 4 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 95%, ที่อุณหภูมิ 180 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 19 นาที ที่ความดัน 2 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 95%, ที่อุณหภูมิ 180 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 20.1 นาที ที่ความดัน 3 บาร์ และได้ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 95.6%, ที่อุณหภูมิ 180 °C จะใช้เวลาเฉลี่ย 21.7 นาที และได้ความดัน 4บาร์ ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 96%

สุดท้ายนี้ที่อุณหภูมิ 180 °C ทุกค่าความดัน จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นที่สูง และจากการสังเกตพบว่า จะใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่น้อยกว่าอุณหภูมิอื่น แต่ในขณะที่เดียวกันความเข้มข้นที่สูงกว่าเอทานอลตั้งต้น จะต้องทำการตรวจสอบด้วยวิธี Gas chromatography อีกครั้งเพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบการปรับปรุงหอกลั่นในเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าหอกลั่นที่ประดิษฐ์ขึ้นมาสามารถกลั่นเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ระบบควบคุมอุณหภูมิ ควรเลือกแบบที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เพราะอาจจะทำให้ความเข้มข้นของการทดลองคลาดเคลื่อนได้

5.2.2. ในหอกลิ้นไม่ควรมีสารเคมีตกค้าง เพราะอาจจะทำให้เอทานอลมีความคลาดเคลื่อนได้

5.2.3. ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของเครื่อง UV/vis Spectrometer อาจจะมีสารเคมีอื่นๆที่เกิดจากการเชื่อมหอกลิ้นที่ยังตกค้างอยู่ ทำให้ค่าการดูดกลืนในช่วง 193 nm มีการรบกวน ทำให้ค่าการดูดกลืนอาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ ตามกฎการเบี่ยงเบนของเครื่องมือของเปียร์แลมเบิร์ต

5.2.4. ในการวัดค่าความเข้มข้นให้แม่นยำควรใช้วิธีวัดแบบ GC (Gas Chromatography)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Seader, J. and Henley, E. *Separation Process Principles*. John Wiley & Sons, 1998, Chapters 7 and 8.
- [2] McCabe, Warren. *Unit Operations of Chemical Engineering, Fifth Edition*. McGraw-Hill, Inc, 1993, Chapters 18 and 19.
- [3]. Douglas, James. *Conceptual Design of Chemical Processes*. McGraw-Hill, Inc., 1988, Section A.3.
- [4.] King, C. Judson. *Separation Processes, Second Edition*. McGraw-Hill, Inc., 1980, Chapters 4-6.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้