

# การเพิ่มความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน โดยวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ Glycerin Purifying by Vacuum Distillation

เริงชัย กล่อมใจ (Roengchai Klomjai)\* ดร.อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์ (Dr.Arthit Neramittagapong)\*\*

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแยก รวมทั้งศึกษาการกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการทดสอบสภาวะการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ และที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ โดยใช้อุณหภูมิในการกลั่นในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า การกลั่นที่สภาวะนั้นได้ปริมาณของเมทานอลในปริมาณใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 4-7 โดยปริมาตร แต่การกลั่นที่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดลอง ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์สามารถกลั่นตัวและควบแน่นได้เร็วกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้จากทั้งสองสภาวะไปตรวจวัดความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ พบว่าความบริสุทธิ์ของเมทานอลมีค่ามากกว่าร้อยละ 95 โดยปริมาตรถือเป็นความบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

## ABSTRACT

This project is to design and make a distillation column for methanol separating from crude glycerin produced from biodiesel process. Atmospheric and vacuum distillation condition were performed at the temperature rang of 70 °C to 80 °C due to the boiling point of methanol is 65 °C. Product recovered from crude glycerin atmospheric and from Vacuum conditions Were similar with 4-7% by volume of methanol. However, the distillation using Vacuum condition exhibited the higher performance than that using Atmospheric condition due to the short time to condense into product. Purified products analyzed by gas chromatograph showed more than 95 % methanol purity for both conditions.

คำสำคัญ: เมทานอล, กลีเซอริน, การกลั่นสุญญากาศ

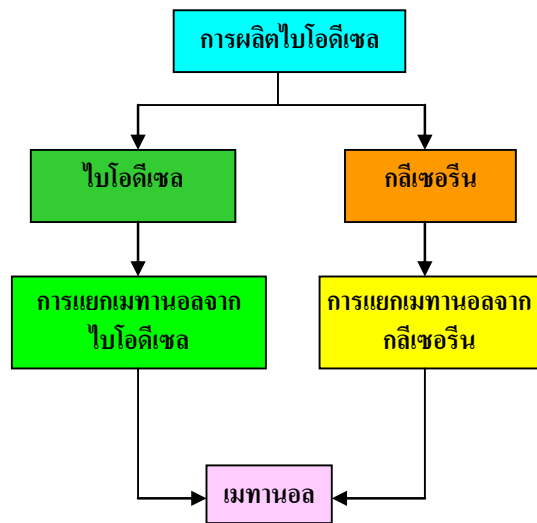
**Key Words:** Methanol, Glycerin, Vacuum distillation

\* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**บทนำ**

ในปัจจุบันเนื่องจากประสบปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันแพง จึงมีการหาพลังงานอื่นทดแทนการใช้น้ำมัน ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการผลิตไบโอดีเซลจะต้องใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้นร่วมกับน้ำมันพืชที่ใช้แล้วหรือน้ำมันที่สกัดได้จากพืชหรือสัตว์ โดยอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลใช้ในปริมาณ 1:3 โดยโมล แต่จะต้องใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินไป จึงใช้ในอัตราส่วน 1:6 โดยโมล [1] ดังนั้นเมื่อได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลแล้ว เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะรวมออกมากับผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ นั่นคือ ไบโอดีเซลและกลีเซอริน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

เมทานอลนั้นเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและหากเกิดการสะสมจะทำให้เป็นมะเร็งได้ หากเราสามารถกลั่นแยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล แล้วนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเมทานอลไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ จะทำให้ใช้เมทานอลในการวิจัยนี้เป็นไปอย่างคุ้มค่าและไม่ปล่อยให้เกิดมลพิษสู่อากาศ โดยใช้เครื่องกลั่นแยกธรรมดา ซึ่งมีหลักการคือ ใช้จุดเดือดที่ต่างกันของ

เมทานอลกับกลีเซอริน ในลำดับแรกจะต้องทดสอบการกลั่นกลีเซอรินเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นทำการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่น รวมถึงทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกลั่น

**อุปกรณ์และวิธีการวิจัย**

สำหรับการวิเคราะห์กลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนี้ เราทำการทดสอบกลั่นหาปริมาณเมทานอลที่ผสมอยู่ในกลีเซอรินด้วยเครื่องกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยหลักการในการกลั่นนี้ก็คือ การกลั่นแบบกะ สารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยและลอยขึ้นไปกลั่นตัวเป็นของเหลวที่ห้องควบแน่น (Condenser) ซึ่งในที่นี้เมทานอลมีจุดเดือด 65 องศาเซลเซียส และกลีเซอรินมีจุดเดือดที่ 279 องศาเซลเซียส เมทานอลจึงระเหยและกลั่นตัวแยกออกมาก่อน

**การกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินโดยใช้เครื่องกลั่น Rotary**

นำกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 10 ลิตร บรรจุกลีเซอรินใส่ในส่วนหม้อต้มให้ความร้อน จากนั้นปรับค่าอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมต่อการกลั่นเมทานอลออกจากกลีเซอริน และปรับสายน้ำเย็นที่ให้ความเย็นในส่วนห้องควบแน่นให้คงที่ และเปิดเครื่องกลั่นเพื่อให้ความร้อนแก่สาร แล้วรอจนกระทั่งสารระเหยแล้วกลั่นตัวเป็นหยดของเหลว จึงเริ่มจับเวลาแล้วทำการเก็บข้อมูลจากนั้นนำของเหลวที่กลั่นได้ไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมทานอลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph: GC (SHIMADZU,GC-14B, 2547) [2] และนำกลีเซอรินที่เหลือจากการกลั่นไปวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล ตามมาตรฐาน มอก. 336

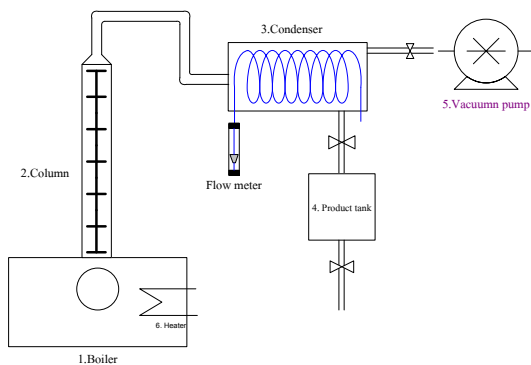
**การกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินโดยใช้เครื่องกลั่นต้นแบบ**

นำกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 10 ลิตร บรรจุกลีเซอรินใส่ส่วนที่ต้มให้

ความร้อนของเครื่องกลั่นแยกต้นแบบ จากนั้นปรับค่าอุณหภูมิและความดันที่เป็นสภาวะบรรยากาศและสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศสำหรับการกลั่นเมทานอลออกจากกลีเซอริน และปรับสายน้ำเย็นที่ให้ความเย็นในส่วนห้องควบแน่นให้คงที่และเปิดเครื่องกลั่นเพื่อให้ความร้อนแก่สารแล้วรอจนกระทั่งสารระเหยแล้วกลั่นตัวเป็นหยดของเหลว จึงเริ่มจับเวลาแล้วทำการเก็บข้อมูล จากนั้นนำของเหลวที่กลั่นได้ไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมทานอลด้วยเครื่อง GC และนำกลีเซอรินที่เหลือจากการกลั่นไปวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลตามมาตรฐาน มอก. 336

การออกแบบเครื่องกลั่นเพื่อแยกเมทานอลออกจากกลีเซอริน

หอกกลั่น (Distillation Column) เป็นเครื่องมือปฏิบัติการเพื่อแยกสารต่าง ๆ ในรูปของเหลวออกจากกันโดยมีอุปกรณ์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ของกระบวนการกลั่นแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังเครื่องกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินต้นแบบ

1. หม้อต้ม (Boiler) ทำจากสแตนเลส ขนาดความจุ 17 ลิตร และความหนาของสแตนเลส 2 มิลลิเมตร เพื่อใช้กลั่นสารที่ปริมาณไม่เกิน 10 ลิตร หม้อต้มมีการหุ้มฉนวน ซึ่งฉนวนเป็นฉนวนใยแก้วที่มีความหนาประมาณ 1.5 นิ้ว

2. คอลัมน์ (Column) ทำจากแก้วใสทนความร้อน ซึ่งคอลัมน์นี้มีความสูง 1 เมตร ภายในประกอบด้วยถาดรูปฟอง (Bubble cap) [3, 4] ทั้งหมด 6 ชั้น ซึ่งถาดรูปฟองมีหน้าที่เพิ่มพื้นที่ไอของของเหลวให้สัมผัสกับแก๊สที่อยู่ในคอลัมน์ได้ดีขึ้น

3. เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำจากสแตนเลส มีลักษณะแบบ Shell และ Tube [5, 6] ซึ่งประกอบไปด้วย shell เดียวและมีท่อน้ำเย็นขดอยู่ภายใน ความยาวของท่อน้ำเย็นก่อนขดในเครื่องควบแน่น 2.5 เมตร ท่อน้ำเย็นเป็นทองแดง มีลักษณะบางมาก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว หรือ 0.0127 เมตร และทำการออกแบบ shell สำหรับเครื่องคอนเดนเซอร์ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร

4. ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (Product Tank)

5. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)

6. Heater กำลังวัตต์ 3000 วัตต์ อยู่ในหม้อต้ม

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### การกลั่นโดยเครื่องกลั่น Rotary

จากการกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดันต่างกัน คือ ความดัน 320 มิลลิบาร์ ความดัน 300 มิลลิบาร์ และ ความดัน 280 มิลลิบาร์ ได้ทำการทดลองกลั่นสภาวะละ 3 ครั้ง ในการกลั่นแต่ละครั้งใช้กลีเซอรินปริมาตร 200 มิลลิลิตร พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความดัน 280 มิลลิบาร์ ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับการกลั่นที่สภาวะอื่น และมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอลสูงที่สุด ผลการทดลองดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองกลั่นกลีเซอรินดิบ ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 38 % โดยปริมาตร ในสภาวะที่อุณหภูมิ 60 °C และความดัน 320, 300 และ 280 มิลลิบาร์ ด้วยเครื่องกลั่น Rotary

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (มิลลิบาร์)	ครั้งที่	เวลาในการกลั่น (min)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (ml)	ความบริสุทธิ์ของเมทานอล (%vol)
60	320	1	30	4.0	76.15
		2	35	4.0	75.73
		3	35	4.0	94.78
60	300	1	26	3.0	91.23
		2	27	6.0	96.13
		3	25	4.4	98.89
60	280	1	43	8.5	95.40
		2	45	8.5	99.38
		3	42	8.8	99.67

การกลั่นกลีเซอรินจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบ

การทดลองชุดที่ 1 (กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.66 % โดยปริมาตร)

การทดลองจากการกลั่นกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุดที่ 1 โดยใช้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.66 % โดยปริมาตร ปริมาณ 10 ลิตรกลั่นภายใต้สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และที่สภาวะความดันบรรยากาศพบว่า การกลั่นภายใต้สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ในช่วง 280 - 320 มิลลิบาร์ได้ปริมาณสารที่กลั่นได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 460 มิลลิลิตรและเมื่อนำสารที่กลั่นได้ไปทดสอบหาความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง GC ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยเฉลี่ยสูงกว่า 95 % โดยปริมาตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกลั่นกลีเซอรินดิบชุดที่ 1 ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 38.66 % โดยปริมาตร กรณีกลั่นที่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศในช่วง 280 - 320 มิลลิบาร์ จากเครื่องกลั่นแยกเมทานอลต้นแบบ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (ml)			ความบริสุทธิ์ของเมทานอล (%vol)		
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่
	1	2	3	1	2	3
70	43	20	35	96.76	96.28	97.01
75	231	258	240	97.43	96.73	97.39
80	185	170	198	97.13	96.33	95.57
รวม	459	448	473	97.25	96.56	96.60

การกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ พบว่า ได้ปริมาณสารที่กลั่นได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 440 มิลลิลิตร และเมื่อนำสารที่กลั่นได้ไปทดสอบหาความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง GC ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยเฉลี่ยสูงกว่า 95 % โดยปริมาตร แต่จากการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทานอลคลาดเคลื่อนมากอาจมีผลมาจากน้ำที่ใช้ล้างเครื่องไปผสมกับผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกลั่นกลีเซอรินดิบชุดที่ 1 ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 38.66 % โดยปริมาตร กรณีกลั่นที่สภาวะความดันบรรยากาศจากเครื่องกลั่นแยกเมทานอลต้นแบบ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (ml)			ความบริสุทธิ์ ของเมทานอล (%vol)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	70	0	20	5	0	81.15
75	253	135	240	98.60	98.52	99.31
80	215	289	175	99.06	99.02	99.46
รวม	468	444	420	98.81	98.06	99.25

การทดลองชุดที่ 2 (กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.05 % โดยปริมาตร)

การทดลองจากการกลั่นกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุดที่ 2 โดยใช้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.05 % โดยปริมาตร ปริมาณ 10 ลิตร กลั่นภายใต้สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และที่สภาวะความดันบรรยากาศพบว่า การกลั่นภายใต้สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศได้ ปริมาณสารที่กลั่นได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 700 มิลลิลิตร และเมื่อนำสารที่กลั่นได้ไปทดสอบหาความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง GC ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยเฉลี่ยสูงกว่า 95% โดยปริมาตร ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การกลั่นกลีเซอรินดิบชุดที่ 2 ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.05 % โดยปริมาตร กรณีกลั่นที่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศจากเครื่องกลั่นแยกเมทานอลต้นแบบ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (ml)			ความบริสุทธิ์ ของเมทานอล (%vol)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	70	86	92	89	95.61	96.03
75	310	358	340	98.05	97.37	97.28
80	290	270	298	96.61	96.32	96.32
รวม	686	720	727	97.14	96.81	96.75

การกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ พบว่า ได้ปริมาณสารที่กลั่นได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 600 มิลลิลิตร และเมื่อนำสารที่กลั่นได้ไปทดสอบหาความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง GC ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยเฉลี่ยสูงกว่า 95 % โดยปริมาตร ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกลั่นกลีเซอรินดิบชุดที่ 2 ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มต้น 39.05 % โดยปริมาตร กรณีกลั่นที่สภาวะความดันบรรยากาศจากเครื่องกลั่นแยกเมทานอลต้นแบบ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (ml)			ความบริสุทธิ์ของ เมทานอล (%vol)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	70	70	68	63	95.96	94.24
75	280	278	286	97.49	97.88	97.90
80	270	263	283	96.60	96.09	96.50
รวม	620	609	632	96.93	97.81	96.99

**การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่เหลือจากการกลั่น**

หลังจากกลั่นเมทานอลออกจากกลีเซอริน เมื่อนำกลีเซอรินส่วนที่เหลือจากการกลั่นไปทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินโดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินหลังจากกลั่นเมทานอลออก ที่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ มีค่าความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 15 % และกลีเซอรินหลังจากกลั่นเมทานอลที่สภาวะบรรยากาศ มีค่าความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 10 % โดยปริมาตร เห็นได้ว่าการกลั่นที่สภาวะต่ำกว่าบรรยากาศทำให้ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินเพิ่มขึ้นมากกว่าการกลั่นที่สภาวะบรรยากาศ ผลการทดลองดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** ตารางแสดงความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน หลังกลั่นแยกเมทานอลจากเครื่องกลั่นต้นแบบ

การทดลองครั้งที่	ความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน (%vol)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ก่อนกลั่น (ชุดที่ 1)	38.54	39.69	40.74	39.66
กลั่นที่สุญญากาศ (ชุดที่ 1)	43.19	50.24	47.28	46.90
กลั่นที่บรรยากาศ (ชุดที่ 1)	44.18	49.42	38.57	44.06

**สรุปผลการวิจัย**

จากการกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้ทำการกลั่นแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรินจากเครื่องกลั่นแยกที่ออกแบบไว้ตามรูปที่ 2 โดยได้ทำการทดลองกลั่นแยกเมทานอล 2 สภาวะคือ ที่สภาวะบรรยากาศ และ

สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ โดยได้ทำการทดลองสภาวะละ 3 ครั้ง และเก็บผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียสจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้มาวัดปริมาตรเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการกลั่น พบว่า ที่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์จะเกิดการกลั่นตัวและควบแน่นได้เร็วกว่าการกลั่นที่สภาวะบรรยากาศ โดยปริมาตรที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 400-700 มิลลิลิตร และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้มาตรวจวัดความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยใช้เครื่อง GC พบว่าความบริสุทธิ์ของเมทานอลมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่ามากกว่า 95% โดยปริมาตร ถือเป็นความบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**เอกสารอ้างอิง**

1. Noppasak Pongpakdee, Vitsarut Jiwachart. 2005. Ethanol separation from continuous biodiesel production process. Songkla: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University. Thai.
2. Wuttichai Kamdee, Sukit Jamjang, Suradej Pupanna. 2004. Distillation ethanol by zoetrope. Report of fourth year project. Khon Kaen: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. Thai.

3. Amorn Udsen, Amornsiri Kumpon, Atiwat Charoenbud. 2007. Refining of glycerol from biodiesel production. Report of fourth year project. Khon Kaen: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. Thai.
4. Hendrick C. Van Ness and Michael M. abbot , 1999. Perry. Thermodynamics. (section 4), 2-36.
5. J.D Seader, Jeffrey J. Sirola and Scott D. Barnicki , 1999. Perry. Distillation. (section 13), 11-15.
6. James G Knudsen, Hoyt C. Hottel, Adel F. sarofim, Phillip C. Wankat and Kent s. knaebel, 1999. Perry. Heat and mass transfer (section 5), 2-80.