บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

3.1 ผลของการแยกกลีเซอรีนออกจากสารผสมอินทรีย์โดยใช้กรดเกลือและกรดซัลฟิวริก

ตาราง 3.1 ความสามารถในการแยกกลีเซอรีนออกจากสารผสมอินทรีย์โดยกรดเกลือ

Glycerine:HCl (weight ratio)	glycerine phase density (g/cm^3)	pH	% Yield glycerine phase (wt%)	Glycerine concentration (wt%)	Glycerine yield (wt%)
20 : 0.6	-	-	-	-	-
20 : 0.8	1.21	5	13.48	70.70	9.53
20 : 1.0	1.23	5	50.66	70.13	35.53
20 : 1.2	1.24	4	64.91	67.67	43.92
20 : 1.4	1.26	1	75.90	67.53	51.26
20 : 1.6	1.24	1	75.92	67.53	51.27
20 : 1.8	1.24	1	79.33	67.07	53.21
20 : 2.0	1.24	1	86.01	66.41	57.12
20 : 2.2	1.20	1	91.68	66.09	60.59
20 : 2.4	1.20	1	92.52	57.40	53.11
20 : 2.6	1.20	1	93.58	56.98	53.32
20 : 2.8	1.20	1	96.58	55.40	53.51
20 : 3.0	1.20	1	96.62	53.90	52.08
20 : 3.2	1.20	1	97.82	53.74	52.53

ตาราง 3.2 ความสามารถในการแยกกลีเซอรีนออกจากสารผสมอินทรีย์โดยกรดซัลฟิวริก

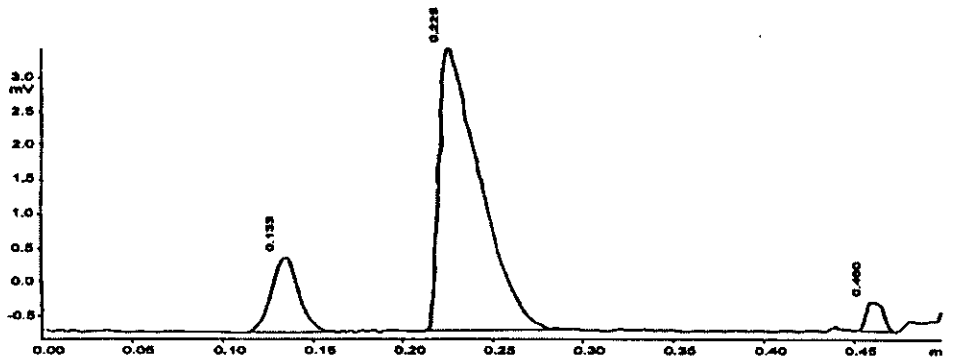
Glycerine:H_2SO_4 (weight ratio)	Glycerine phase density (g/cm^3)	pH	% yield Glycerine phase (wt%)	Glycerine concentration (wt%)	Glycerine yield (wt%)
20 : 0.9	1.23	2	62.54	73.15	45.75
20 : 1.2	1.24	1	83.89	66.80	56.04
20 : 1.5	1.26	1	87.23	66.14	57.69
20 : 1.8	1.28	1	89.70	65.67	58.90
20 : 2.1	1.30	1	91.84	65.62	60.26
20 : 2.4	1.30	1	95.28	62.43	59.48
20 : 2.7	1.31	1	95.69	58.87	56.33
20 : 3.0	1.31	1	95.70	57.31	54.83

การเปรียบเทียบความสามารถในการแยกกลีเซอรีนออกจากสารผสมอินทรีย์โดยกรดเกลือและกรดซัลฟิวริก แสดงใน ตาราง 3.1และ ตาราง 3.2 จะเห็นว่าการใช้กรดในปริมาณที่สูง จะทำให้ได้ปริมาณเฟสของกลีเซอรีนเพิ่มสูงขึ้น เพราะการเติมกรดจะเป็นการสลายปริมาณสบู่ที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลีเซอรีนซึ่งเป็นสารมีขั้ว แยกออกจากสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วและเป็นการทำให้เป็นกลางของปริมาณ NaOH ที่คงเหลืออยู่ แต่จากผลการทดลองเมื่อเติมปริมาณกรดที่มากเกินจะได้ร้อยละของกลีเซอรีนลดลงซึ่งคาดว่าอาจเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของกลีเซอรีนเกิดเป็น acrolein (Jangermann and Sonntag, 1991)

$$HOCH_2CHOHCH_2OH \rightarrow CH_2=CH\text{-}CHO + 2H_2O$$

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาที่ค่าที่เหมาะสมที่สุดของการใช้กรดทั้งสอง พบว่าจะให้ค่า % yield ของกลีเซอรีนประมาณ 60% เท่ากัน ซึ่งเท่ากับปริมาณกลีเซอรีนที่ตรวจพบในสารตั้งต้น เมื่อเปรียบเทียบจุดเดือดของ HCl และ H_2SO_4 กับกลีเซอรีนพบว่า H_2SO_4 มีค่าจุดเดือด 330 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของกลีเซอรีน (293°C) ดังนั้นเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกจะเกิดปัญหาการการคงอยู่ของกรดในของเหลวที่ทำการกลั่น และซัลเฟตยังก่อให้เกิดปัญหาการเกิดตะกรันในกระบวนการกลั่นหรือกระบวนการระเหยได้ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) ในขณะที่ความดันไอของกรดเกลือจะสูงกว่า

ความดันไอของกรดซัลฟิวริกมาก ดังนั้นกรดเกลือจึงได้รับการพิจารณาว่าเป็นกรดที่เหมาะสมกว่าในการแยกกลีเซอรีนจากสารผสมอินทรีย์ อัตราส่วนระหว่าง Glycerine: HCl ที่เหมาะสมคือ 20 :2.2 โดยน้ำหนักซึ่งทำให้ได้ร้อยละของกลีเซอรีนเมื่อเทียบกับสารป้อนสูงที่สุด



Calculation Method : Percent

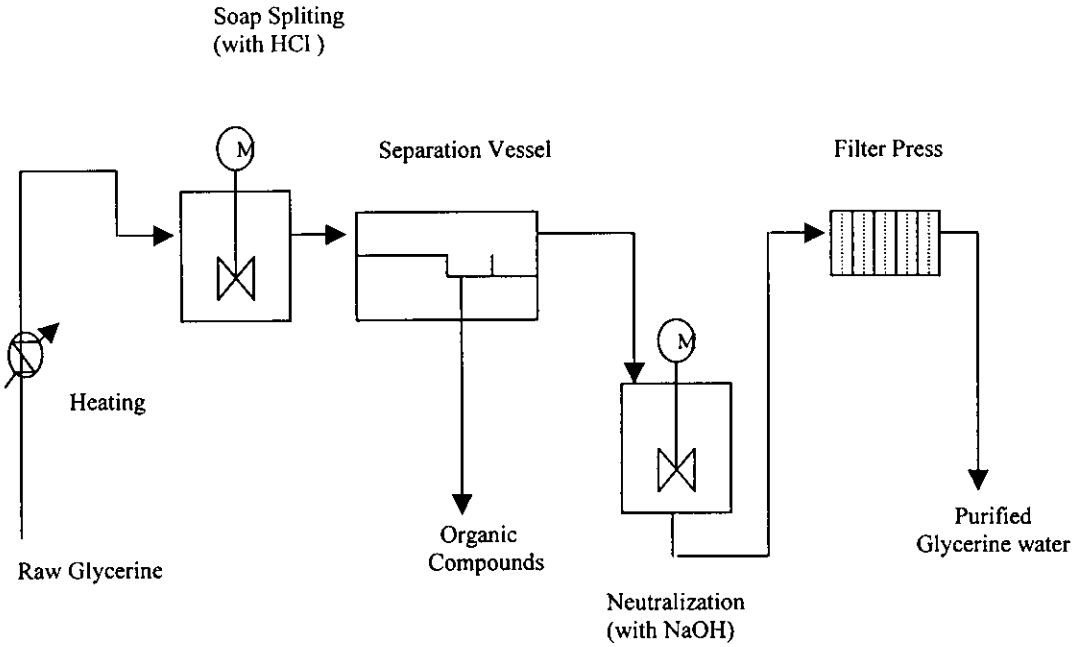
Peak-No		Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME	1	0.133	0.110	0.163	596	1.08	14.188
FA	2	0.225	0.212	0.287	3459	4.12	82.339
MG	3	0.460	0.450	0.473	146	0.42	3.473
					4200	5.62	100.000

ภาพประกอบ 3.1 โครมาโตรแกรมของของแข็งส่วนบนจากกระบวนการแยกกลีเซอรีนออกจากของผสมอินทรีย์โดยกรดเกลือ

กระบวนการแยกกลีเซอรีนออกจากของผสมอินทรีย์โดยกรดเกลือมีผลิตผลพลอยได้ (by-product) ที่สำคัญคือส่วนของแข็งชั้นบน จากการวิเคราะห์ของแข็งส่วนนี้ด้วยเทคนิค thin layer chromatograph (ภาคผนวก ข) ซึ่งแสดงโครมาโตแกรมไว้ใน ภาพประกอบ 3.1 พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งจะสามารถนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมทิลเอสเตอร์ใหม่ได้

ภาพประกอบ 3.2 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการแยกกลีเซอรีนออกจากของผสมอินทรีย์โดยใช้กรดและปรับค่าพีเอชด้วยเบส ก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่น โดยร้อยละผลได้ของกระบวนการ (% yield) นอกจากจะขึ้นกับชนิดและปริมาณกรดที่ถูกใช้ กระบวนการทางกายภาพ

ในการแยกกลีเซอรีนออกจากชั้นของผสมอินทรีย์ ก็เป็นหน่วยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพราะจะช่วยลดการสูญเสียของกลีเซอรีนไม่ให้ปนไปกับชั้นของผสมอินทรีย์



ภาพประกอบ 3.2 ไดอะแกรมของกระบวนการแยกกลีเซอรีนออกจากของผสมอินทรีย์โดยใช้กรดและปรับค่าพีเอชด้วยเบส ก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่น

3.2 ผลการศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนโดยกระบวนการกลั่น

กลีเซอรีนที่ผ่านกระบวนการแยกสารอินทรีย์โดยกรดเกลือถูกทำให้เป็นกลางโดยสารละลายโซดาไฟ จากนั้นจึงทำการระเหยน้ำบางส่วนออกไปเพื่อช่วยให้การกลั่นในระบบสุญญากาศมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยคุณสมบัติของกลีเซอรีนก่อนเข้ากระบวนการกลั่นแสดงดัง ตาราง 3.3

ตาราง 3.3 คุณสมบัติของกลีเซอรีนดิบก่อนเข้ากระบวนการกลั่น

Glycerine concentration (wt%)	75.94
Water (wt%)	14.61
NaCl (wt%)	7.91
MONG* (wt%)	1.54

* MONG = Matter Organic Non-glycerol

เนื่องจากกลีเซอรีนมีจุดเดือดที่ 290 °C ที่ความดัน 760 mmHg และจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C (Jangermann and Sonntag, 1991) ดังนั้นสภาวะของการกลั่นที่ใช้จะต้องดำเนินงานที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การกลั่นระบบสุญญากาศจะใช้ชุดเครื่องกลั่นที่จัดสร้างขึ้นเอง โดยสามารถดำเนินการได้ทั้งแบบแบทช์และแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง ตาราง 3.4

ตาราง 3.4 สภาวะใช้งานของระบบกลั่นสุญญากาศในการดำเนินงานแบบแบทช์และแบบกึ่งต่อเนื่อง

Processing condition	**Batch**	**Semi-Continuous**
Bottom Temp (°C)	188 -192	188 -192
Top Temp (°C)	162- 170	162- 170
Feed Rate, ml/min	-	1.5
Minimum Pressure, mmHg	3-7	3-7
Top condenser Temp (°C)	100-120	100-120
Conduct tube Temp (°C)	80	80
Packing height (cm.)	20	20
Reflux ratio	3 : 1	3 : 1

ตาราง 3.5 ผลการดำเนินงานของการกลั่นแบบแบทช์

Vacuum distillation (batch)	**Distilled glycerine**	**Distilled Bottom**	**Losses**
ร้อยละผลได้ (wt%)	75.71	14.28	10.01

การศึกษาร้อยละผลได้ของกลีเซอรีนในการกลั่นแบบแบทช์แสดงผลการทดลองดังตาราง 3.5 จากตารางพบว่าจะได้ร้อยละผลได้ของกลีเซอรีนประมาณ 75.71% ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหนักจะสะสมอยู่ที่ก้นภาชนะกลั่น 14.28% โดยเกิดการสูญเสีย 10.01% ของสารป้อนซึ่งน่าจะเป็นปริมาณน้ำที่หายไป เนื่องจากระบบดักจับน้ำ (Water trap) ที่ออกแบบไม่สามารถดักจับไอน้ำที่เกิดขึ้นได้ เพราะการเป็นไอของน้ำที่รวดเร็วรวมไปถึงการสูบอากาศออกของปั๊มสุญญากาศ ไอน้ำ

ที่เกิดขึ้นจึงวิ่งผ่านระบบดักน้ำเข้าสู่ปั๊มสุญญากาศอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำอาจจะมีอยู่ในไส้กรองน้ำในปั๊มสุญญากาศทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณของน้ำที่เกิดขึ้นได้

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ก้นภาชนะกลั่นพบว่ามีองค์ประกอบของ NaCl 54.55%, residue glycerol 17.41% ส่วนที่ไม่ได้วิเคราะห์รวมเรียกว่า MONG ซึ่ง Yong และคณะ ,2001 ระบุว่าประกอบไปด้วย partial glyceride, free fatty acids,oxidation products and the polymerized compounds of glycerol

กระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องจะดำเนินการโดยให้มีกระแสป้อนประมาณ 1.5 ml/min ซึ่งเท่ากับอัตราการกลั่นได้ของกลีเซอรีน และเป็นอัตราการกลั่นสูงสุดซึ่งเครื่องกลั่นที่ถูกจัดสร้างขึ้นสามารถดำเนินงานได้ โดยจะทำการถ่ายส่วนหนักออก 20 ml ในทุกๆ 100 ml ของผลผลิตที่ได้ กระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องจะดำเนินงานครั้งละ 8 ชั่วโมงโดยจะได้ผลผลิตโดยรวมประมาณ 720 ml

ตาราง 3.6 ผลของความสูงของวัสดุบรรจุที่ส่งผลถึงความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีน

Packed height (cm.)	% glycerine
0	96.0
10	97.0
20	97.8
30	97.7

การเพิ่มความสามารถของหอกลั่นชนิด Packed column สามารถกระทำโดยการเพิ่มความสูงของวัสดุบรรจุ (packing) ซึ่งเปรียบเสมือนการเพิ่มจำนวนเพลททำให้ประสิทธิภาพการแยกเกิดได้ดีขึ้น (Winkle and Matthew Van , 1967) จากตาราง 3.6 พบว่าผลของความสูงของวัสดุบรรจุ (Packing)ในคอลัมน์กลั่นส่งผลน้อยมากในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนเนื่องจากในที่นี้มีเฉพาะแฟรกชันของกลีเซอรีนและน้ำ ซึ่งวัสดุบรรจุมีบทบาทเพียงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้องค์ประกอบหนักติดไปกับผลผลิตแต่จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากกลีเซอรีน เนื่องจากค่าสภาพการระเหยสัมพัทธ์ (α) ของน้ำและกลีเซอรีนมีค่าสูงมาก ($\alpha_{water\text{-}glycerol}$ = 11.87 at 100°C ,1 atm)ทำให้การแยกสารทั้งสองออกจากกันทำได้ง่าย โดยถ้าค่าการระเหยสัมพัทธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นการยากในการแยกสารทั้งสองออกกันโดยการกลั่น (Edgar Woollatt, 1985)

3.3 การปรับปรุงคุณภาพสีของกลีเซอรีนโดยการดูดซับด้วย Activated Carbon

เมื่อพิจารณาตาราง 3.7 พบว่าสีของกลีเซอรีนที่ได้จากกระบวนการกลั่น ยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งอาจจะเกิดจากสารสีที่ปนเปื้อนในกลีเซอรีนดิบควบแน่นมากับส่วนของกลีเซอรีนที่กลั่นได้ ดังนั้นจึงทำการดูดซับสีในกลีเซอรีนโดยการไหลผ่านคอลัมน์ซึ่งบรรจุด้วย activated carbon โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ไว้ที่ 80 °C (Jangermann and Sonntag, 1991)

ตาราง 3.7 ผลของค่าสีของกลีเซอรีนก่อนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ถูกวัดโดยเครื่องมือ The Hunter Lab CIE Scale Illuminant A/10° in the XYZ scale

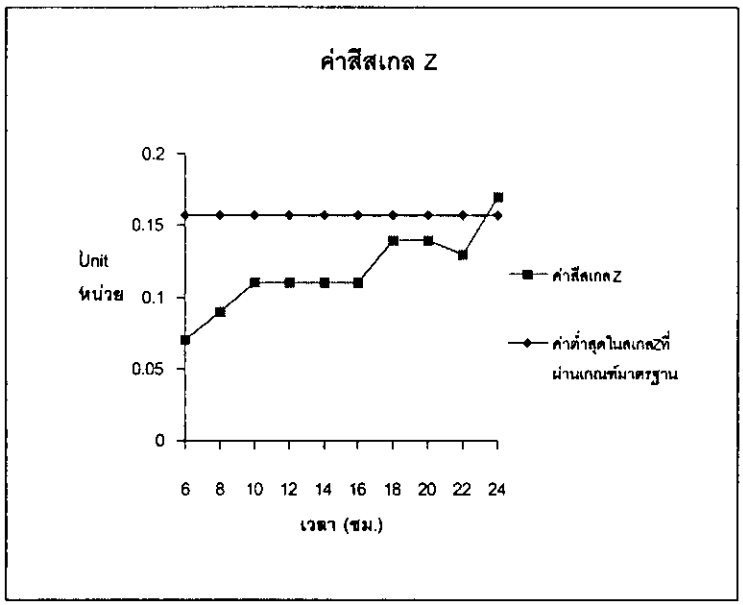
Method	Scale	BS 2621-1979 Not more than	Crude Glycerine	Distilled Glycerine
Hunter Lab	X	0.420	1.14	0.77
CIE Scale	Y	0.423	0.94	0.72
Illuminant A/10°	Z	0.157	0.10	0.31

กระบวนการดูดซับแบบไหลผ่านชั้นของ activated carbon ซึ่งมีระยะเวลากักกัน (retention time) เท่ากับ 1 ชั่วโมงแสดงดัง ตาราง 3.8 จะพบว่าสีของกลีเซอรีนหลังผ่านกระบวนการดูดซับ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชิงการค้า (มอก. 337 – 2538)

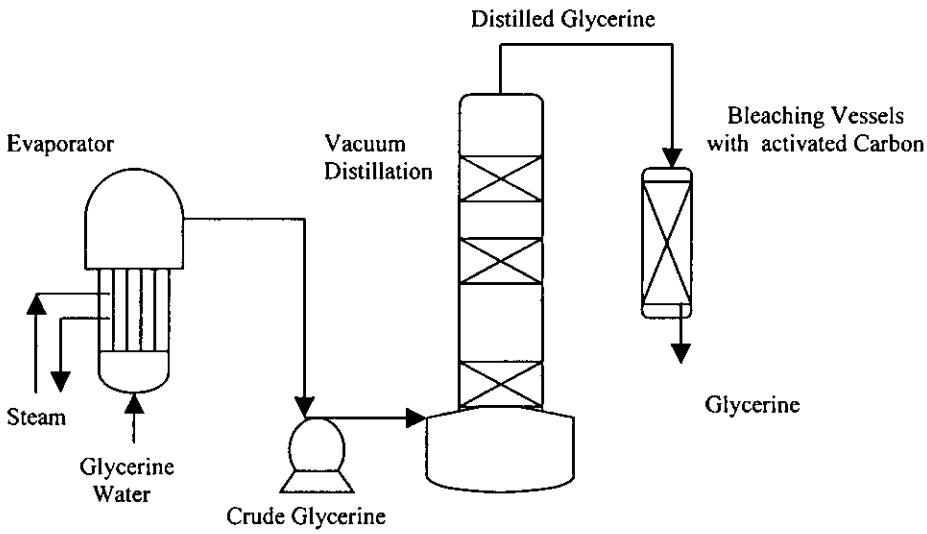
ตาราง 3.8 ผลของค่าสีของกลีเซอรีนซึ่งผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ถูกวัดโดยเครื่องมือ The Hunter Lab CIE Scale Illuminant A/10° in the XYZ scale

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	ค่าสี XYZ Scale (Unit)		
	X	Y	Z
0	0.77	0.72	0.31
2	0.31	0.29	0.11
4	0.29	0.26	0.10
6	0.23	0.22	0.07
8	0.25	0.23	0.09
10	0.30	0.28	0.11
12	0.30	0.28	0.11
14	0.30	0.28	0.11
16	0.30	0.28	0.11
18	0.35	0.33	0.14
20	0.31	0.29	0.14
22	0.34	0.32	0.13
24	0.40	0.38	0.17

จากการทดลองศึกษาหาระยะเวลาใช้งานของคอลัมน์ดูดซับ จะพบว่าเมื่อทำการใช้งานคอลัมน์นานขึ้นจะทำให้ค่าสีของกลีเซอรีนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้งานไปนานๆ activated carbon จะเสื่อมสภาพ โดยจากภาพประกอบ 3.3 พบว่าที่เวลาใช้งานประมาณ 24 ชั่วโมง ค่าสีในสเกล Z ของกลีเซอรีนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อนำเวลาที่ 20 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่คอลัมน์ดูดซับสามารถบำบัดค่าสีของกลีเซอรีนให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมาคำนวณกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะพบว่าควรทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์เมื่อปริมาณกลีเซอรีนที่ผลิตได้ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ที่ใช้เท่ากับ 150 cm^3/g



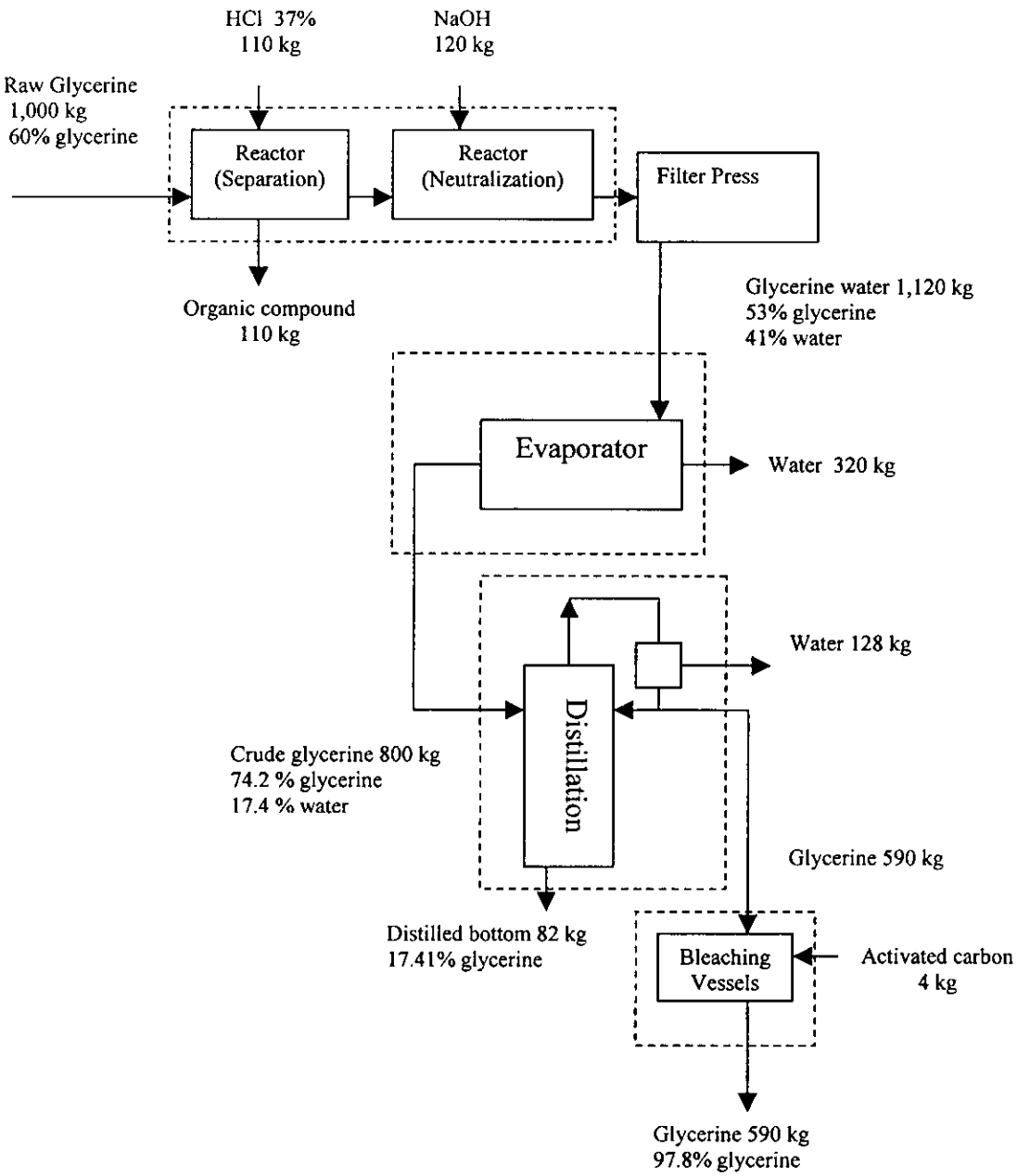
ภาพประกอบ 3.3 ระยะเวลาใช้งานของคอลัมน์ดูดซับ



ภาพประกอบ 3.4 ไดอะแกรมของกระบวนการทำกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์ : กระบวนการระเหยน้ำ ; กระบวนการกลั่น ; กระบวนการบำบัดสี

กระบวนการทำกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์ แสดงดังภาพประกอบ 3.4 โดยก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นปริมาณน้ำบางส่วนที่อยู่ในกลีเซอรีนดิบจะถูกระเหยออกไปโดยเครื่องระเหย ซึ่งอาจเป็นชนิด single effect second effect หรือ triple effect โดยความเข้มข้นกลีเซอรีนดิบก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 70 – 80 % ซึ่งกระบวนการกลั่นในระบบสุญญากาศถูกเลือก

ให้นำมาใช้กับการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรีน โดยอาจเป็น คอลัมน์การกลั่นแบบเพลท หรือ คอลัมน์วัสดุบรรจุ การกลั่นแบบต่อเนื่องจะต้องมีการออกแบบเครื่องควบแน่นชนิดร้อน (Hot Condenser) และเครื่องควบแน่นชนิดเย็น (Cold Condenser) เพื่อจุดประสงค์ในการแยกน้ำออกจากกลีเซอรีนอย่างสมบูรณ์ กระบวนการบำบัดสีโดยถ่านกัมมันต์ ถูกออกแบบให้เป็นชนิดไหลต่อเนื่องในคอลัมน์ที่ภายในบรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ โดยสามารถออกแบบเป็นคอลัมน์เดี่ยว หรือหลายๆคอลัมน์เรียงต่อกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและระยะเวลากักกัน (retention time) ที่ต้องการ เนื่องจากกลีเซอรีนที่มีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูงจะมีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้น (hygroscopic) ดังนั้นภาชนะที่ใช้จัดเก็บกลีเซอรีนต้องถูกออกแบบให้สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ดี จากข้อมูลในห้องปฏิบัติการจะสามารถประมาณการเมื่อมีความต้องการกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นโดยการทำสมดุลมวลสารของกระบวนการ ภาพประกอบ 3.5 แสดงดุลมวลสารของกระบวนการการทำกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์ พบว่า หากป้อนวัตถุดิบกลีเซอรีนจำนวน 1,000 kg เข้าสู่กระบวนการแยกสารอินทรีย์โดยกรดและทำให้เป็นกลางด้วยเบส จะต้องใช้ปริมาณกรดเกลือ 110 kg และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 120 kg โดยสามารถแยกเฟสของเหลวและของแข็งอินทรีย์ได้จำนวน 1,120 kg และ 110 kg ตามลำดับ โดยในเฟสของเหลว (Glycerine-water) จะประกอบด้วย 53% กลีเซอรีน , 41% น้ำ และ 6% เกลือโซเดียมคลอไรด์และสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรีน (Matter Organic Non-Glycerine) โดยหลังจากผ่านเข้าสู่เครื่องระเหยแล้วสามารถกำจัดน้ำออกไปได้ 320 kg จนมีปริมาณความเข้มข้นกลีเซอรีนดิบก่อนเข้าสู่หอกลั่น 74.2% ในส่วนของหอกลั่น ผลผลิตส่วนบนจะประกอบด้วยน้ำ 128 kg และกลีเซอรีน 590 kg ผลผลิตส่วนล่าง 82 kgจะประกอบด้วย 81.5% เกลือโซเดียมคลอไรด์ ,17.41% กลีเซอรีนที่ตกค้าง (residue glycerine) และ 1.09% สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรีน ถ่านกัมมันต์จำนวน 4 kg (150 cm^3 สารป้อนต่อ 1 กรัมถ่านกัมมันต์) ถูกใช้ในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่น ปริมาณผลผลิตกลีเซอรีนที่ได้หลังเสร็จสิ้นกระบวนการมีจำนวน 590 kg คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลได้ (%yield) ของกระบวนการเมื่อเทียบกับสารป้อนมีค่าประมาณ 59% โดยผลผลิตกลีเซอรีนที่ได้มีความบริสุทธิ์ 97.8%

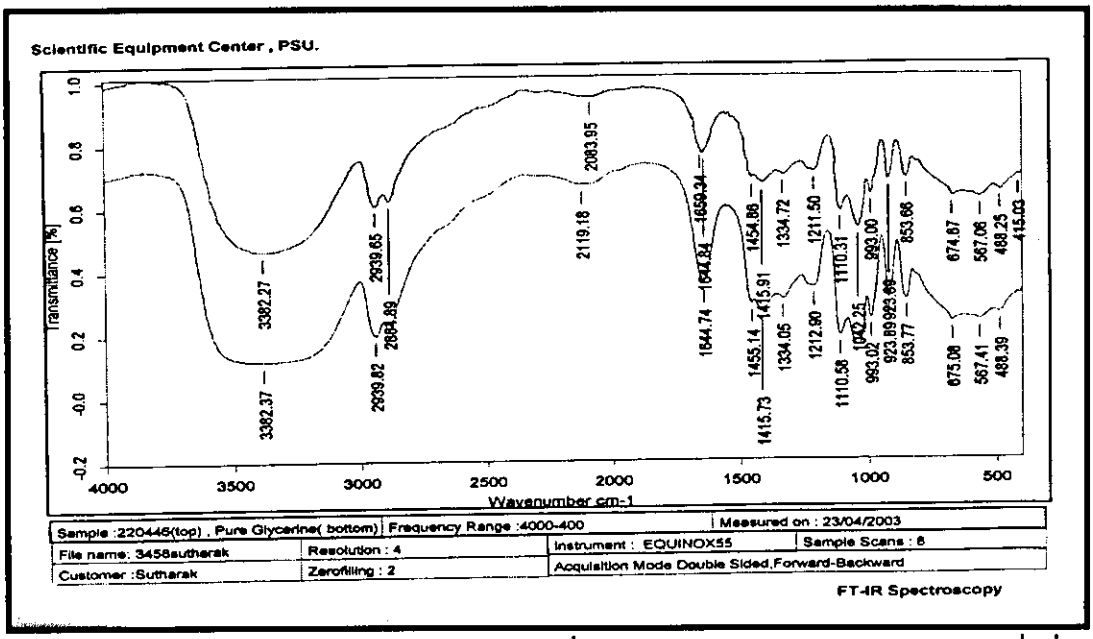


ภาพประกอบ 3.5 ไดอะแกรมแสดงดุลมวลสารของกระบวนการการทำกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์

3. สมบัติของผลผลิตการกลั่น

3.1 ลักษณะสเปกตรัมที่สำคัญของกลีเซอรีน

การเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นและลักษณะสเปกตรัมของกลีเซอรีนที่กลั่นได้กับกลีเซอรีนบริสุทธิ์มาตรฐานแสดงใน ภาพประกอบ 3.6 และ ตาราง 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะสเปกตรัมที่สอดคล้องกัน โดยสามารถบ่งถึงความเป็นกลีเซอรีนของส่วนที่กลั่นได้ว่าเป็นจริง รายละเอียดการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข



ภาพประกอบ 3.6 การเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นและลักษณะสเปกตรัมของกลีเซอรีนที่กลั่นได้ (เส้นบน) กับกลีเซอรีนบริสุทธิ์มาตรฐาน(เส้นล่าง)

ตาราง 3.9 IR Peak Listing of Glycerine Standard

IR Freq. (cm^{-1})	Intensity (Abs.Units)
3327	1.00
2939	0.41
2884	0.37
1418	0.24
1111	0.43
1043	0.70
993	0.25
924	0.15
854	0.12
675	0.19

ที่มา : Bugay and Bindlay , 1999

3.2 คุณสมบัติของผลผลิต

จากตาราง 3.10 แสดงคุณสมบัติและค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ตาราง 3.10 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของผลิตภัณฑ์

วิธีทดสอบ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				ผลการวิเคราะห์
		ชั้นคุณภาพเคมี	ชั้นคุณภาพไดนาไมต์	ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพยา	
BS 2621-5	ค่าของสีจากโลวิบอนด์สเกลในเซลล์ขนาด 113 มิลลิเมตรไม่เกิน	-	5.0Y+1.2R X 0.420 Y 0.423 Z 0.157	5.0Y+1.2R X 0.420 Y 0.423 Z 0.157	5.0Y+1.2R X 0.420 Y 0.423 Z 0.157	 X 0.31 Y 0.29 Z 0.14
BS 5711 : Part 19	กลิ่น	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	ไม่มีกลิ่น
BS 5711 : Part 3	กลีเซอรีนร้อยละโดยน้ำหนักไม่น้อยกว่า	99.0	99.0	99.0	95.0	97.8
ISO 2099	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ - ที่อุณหภูมิ 20/20 องศาเซลเซียส - ที่อุณหภูมิ 25/25 องศาเซลเซียส	 1.261 ถึง 1.264 -	 1.261 ถึง 1.264 -	 1.261 ถึง 1.264 -	 - $\geq$ 1.249	 1.262 1.260
ISO 1616	เถ้าซัลเฟตมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	0.010	0.010	0.010	0.010	0.004

ตาราง 3.10 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

วิธีทดสอบ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				ผลการวิเคราะห์
		ชั้นคุณภาพเคมี	ชั้นคุณภาพไดนาไมต์	ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพยา	
BS 5711 : Part 15	โลหะหนักทั้งหมด (เทียบเป็นตะกั่ว) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	5.0	-	-	5.0	ไม่พบ
BS 5711 : Part 12	คลอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	-	0.010	0.010	0.001	0.00068
USP	สารประกอบคลอรีน (คำนวณเป็นคลอไรด์) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	-	-	-	0.003	0.0022
BS 5711 : Part 16	เหล็ก มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	-	-	2.0	-	ไม่พบ
USP	ซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	-	-	-	0.002	ต่ำกว่า 0.002
BS 2621-5	ตะกั่ว มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	1.0	-	-	-	ไม่พบ

ตาราง 3.10 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

วิธีทดสอบ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				ผลการวิเคราะห์
		ชั้นคุณภาพเคมี	ชั้นคุณภาพไดนาไมต์	ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพยา	
USP	กรดไขมันและเอสเตอร์	-	-	-	ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์0.5 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร	ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์0.5 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร