ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีของ มอก. 336 (2523)

สารเคมีที่ใช้

1.โปแทสเซียมไฮโดรเจนทาเลตที่แห้ง

2. สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต นำสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต 60 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโซเดียมเปอร์ไอ-โอเดตโดยไม่ต้องใช้ความร้อน ถ้าสารละลายขุ่นให้กรองด้วยซินเตอร์กลาสครูซิเบิลที่มีขนาดช่อง 15 – 40 ไมโครเมตร ถ่ายใส่ขวดสีน้ำตาลพร้อมจุกแก้วปิดสนิทแล้วเก็บในที่มืด

3. สารละลายอีเทนไดออล ผสมอีเทนไดออลที่เป็นกลางและปราศจากกลีเซอรอล 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 1 ส่วน

4. สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ สำหรับเทียบมาตรฐานกับเครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง

ชั่งโปตัสเซียมไฮโดนเจนทาเลต จากข้อ 1 จำนวน 10.21 กรัม ถ่ายใส่ขวดแก้ววัดปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเขย่าให้ละลาย สารละลายนี้จะมีความเป็นกรด – ด่าง 4.0 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต ความข้นข้น 0.125 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

7. สารละลายกรดซัลฟุริก ความเข้มข้นประมาณ 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

8.โบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์

ละลายโบรโมไทมอลบลูที่แห้ง 0.1 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร จำนวน 16 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยการบดในโกร่ง ถ่ายใส่ขวดแก้วปรับปริมาตร ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 100 ลูกบาศก์-เซนติเมตร

วิธีเตรียมตัวอย่าง

อุ่นตัวอย่างให้พอละลาย แล้วกวนทำให้เข้ากันก่อนนำมาวิเคราะห์และให้ระวังการดูดซับน้ำและการสูญเสียน้ำของตัวอย่างด้วย

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างในขวดชั่งให้ได้น้ำหนัก ระหว่าง (41 $\pm$ 9)/P กรัม เมื่อ P คือค่าร้อยละของกลีเซอรอลที่คาดว่าจะมีในตัวอย่าง แต่ถ้าไม่ทราบปริมาณกลีเซอรอลให้คำนวณจากค่า P เท่ากับ 100 ก่อน แล้วหลังจากได้ผลการวิเคราะห์ จึงเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมต่อไป

2. ถ่ายตัวอย่างลงบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร หยดโบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5 - 7 หยด แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟุริก 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร อย่างระมัดระวังจนได้สารละลายสีฟ้าซึ่งไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย ถ้าสีของสารละลายไปรบกวนการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์หรือในตัวอย่างมีสารที่เป็นบัฟเฟอร์อยู่มาก ให้วัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง แล้วปรับความเป็นกรด - ด่างให้ได้ 8.1 $\pm$ 0.1

4. ทำแบลงก์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนตัวอย่างแล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2. และข้อ 3. โดยใช้อินดิเคเตอร์ปรับความเป็นกรด - ด่าง ก่อนที่จะเติมสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต

5.ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตมาครั้งละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและแบลงก์แกว่งบีกเกอร์เบา ๆ แล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกาตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง (ไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายอีเทนไดออล 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แกว่งบีกเกอร์เบา ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้ที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

6. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวม 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.125 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างช่วยในการหาจุดยุติ (End point) ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่าง 6.5 $\pm$ 0.1 สำหรับแบลงก์ และ 8.1 $\pm$ 0.1 สำหรับสารละลายตัวอย่าง แล้วบันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จากบิวเร็ต ให้ละเอียดถึง 0.01 ลูกบาศก์เซนติเมตร

หมายเหตุ เนื่องจากตัวอย่างเป็นของแข็งจึงมีความจำเป็นต้องให้ความร้อนเล็กน้อย ในขั้นตอนที่ 2 เพื่อให้เกิดการละลายดีขึ้น

วิธีคำนวณ

ปริมาณกลีเซอรอล ร้อยละของน้ำหนัก $= \frac{9.209 \times N(T_1 - T_2)}{W}$

เมื่อ N คือความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเท่ากับ 0.125 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

T_1 คือปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่างเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

T_2 คือปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตกับแบลงก์เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

W คือน้ำหนักของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นกรัม

2. การวิเคราะห์หาความเป็นด่าง

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ ให้ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไรด์ตลอดการวิเคราะห์

1. สารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในเอทานอล

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างมาประมาณ 100 กรัม ชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ถ่ายใส่ขวดแก้วรูปกรวยขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร อุ่นตัวอย่างในอ่างน้ำร้อนเพื่อให้ตัวอย่างละลายดีขึ้น แล้วไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟ-ทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

หมายเหตุ อุ่นตัวอย่างเล็กน้อยเพื่อให้ตัวอย่างละลายดีขึ้น ก่อนการไตเตรต

วิธีคำนวณ

ความเป็นด่างคำนวณเป็น Na_2O ร้อยละของน้ำหนัก $= \frac{0.31T}{W}$

เมื่อ T คือปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเตรต เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3. การวิเคราะห์ค่าสปอนิฟิเคชั่น (Saponification value) ตามวิธีของ IUPAC (1979)

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์

1. สารละลายแอลกอฮอลิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล

3. สารละลายฟีนอฟทาลีน ความเข้นข้น 1 เปอร์เซ็นต์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันน้ำหนัก 2 กรัม ใส่ในขวดกลั่นที่แห้งและสะอาด

2. เติมสารละลายแอลกอฮอลิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตและเติมลูกแก้ว

3. จัดเครื่องกลั่นพร้อมเปิดน้ำหล่อชุดควบแน่นรีฟลักซ์สารละลาย (ให้เดือดเบา ๆ) นาน 1 ชั่วโมง

4. นำขวดใส่สารละลายออกจากอุปกรณ์ควบแน่นของชุดกลั่น

5. เติมฟีนอฟทาลีน 5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

6. เตรียมและไตเตรท Blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง

7. คำนวณค่าสปอนิฟิเคชั่นจากสูตร

$$\text{ค่าสปอนิฟิเคชั่น} = \frac{(B-A) \times N \times 56.1}{W}$$

โดย B = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

A = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W = น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

การประมาณค่าน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม

ค่าสปอนิฟิเคชั่นเท่ากับ 201.99

ค่าสปอนิฟิเคชั่น คือ จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันในน้ำมัน 1 กรัม KOH มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 56.11

การคำนวณ

KOH	56.11	กรัม	เท่ากับ			1	โมล
KOH	201.99	กรัม	เท่ากับ	$\frac{1 \times 201.99}{56.11 \times 1000}$	=	0.00359	โมล
KOH	3.59	มิลลิโมล	ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมัน			3.59	มิลลิโมล
กรดไขมัน	3	โมล	มาจากน้ำมันปาล์ม			1	โมล
กรดไขมัน	3.59	มิลลิโมล	มาจากน้ำมันปาล์ม	(1 x 3.59)/3	= 1.199	มิลลิโมล	
น้ำมันปาล์ม	1.199	มิลลิโมล	เท่ากับ			1	กรัม
น้ำมันปาล์ม	1000	มิลลิโมล	เท่ากับ	(1 x 1000)/1.199	=	833.89	กรัม

ดังนั้นน้ำมันปาล์มมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 834 กรัม

4. การหาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์โดย TLC/FID

สารเคมีที่ใช้

1. 3 % กรดบอริก
2. คลอโรฟอร์ม
3. กรดอะซิติก
4. เบนซิน

วิธีวิเคราะห์

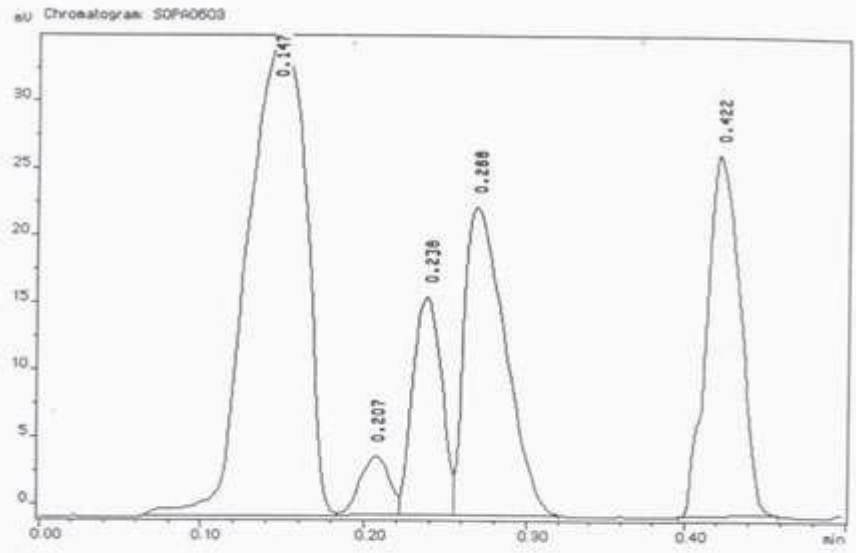
1. ละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 0.1 มิลลิกรัมด้วยคลอโรฟอร์ม และเจือจางเป็น 100 เท่า

2. เตรียม Quartz rod (Chromarod S-II) โดนแช่ใน 3 % กรดบอริกเป็นเวลา 3 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 นาที นำไปทำ Blank scan ด้วยเครื่อง Iatroscan MK-5 ภายใต้สภาวะ 30 วินาทีต่อสแกน การไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 160 มิลลิลิตรต่อนาที

3. หยดสารละลายตัวอย่าง 1-3 ไมโครลิตรบน Quartz rods นำไปแช่ในตัวทำละลายที่มีสารผสมระหว่าง เบนซีน : คลอโรฟอร์ม : กรดอะซิติก (70 : 30 : 2) จนกระทั่งความสูงของสารตัวทำละลายสูงประมาณ 10 เซนติเมตร

4. นำ Quartz rod ไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 นาที อีกครั้งแล้วนำไปสแกนภายใต้สภาวะเดียวกับ Blank scan

5. อ่านผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Chrom Star light ผลการทดลองจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ Peak ดังแสดงในภาพที่ 46



TAG FFA 1,3-DAG 1,2-DAG MAG

Peak-No.	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.147	0.063	0.183	45735	35.32	45.41
2	0.207	0.183	0.222	2965	4.43	2.94
3	0.238	0.222	0.255	10575	16.25	10.50
4	0.268	0.255	0.320	21131	23.06	20.98
5	0.422	0.397	0.458	20306	26.88	20.16
		Totals:		100713	105.95	100.00

ภาพที่ 46 โครมาโตแกรมที่ได้จากเครื่อง TLC/FID

ที่มา : **โสภา พรหมดวง** (2542)

5. ปริมาณกลีเซอรอลดิบและไขปาล์มสเตียรีนที่ใช้

ตัวอย่างการคำนวณ น้ำหนักโมเลกุลของกลีเซอรอล 92.09 กรัม/โมล

น้ำหนักโมเลกุลของไขปาล์มสเตียรีน 834 กรัม/โมล

ปริมาตรรวมของถังปฏิกรณ์ 10 ลิตร ต้องการให้ปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาประมาณ 2 ใน 3 ของถัง

ถ้าให้สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 2 ต่อ 1 ทำการซุ่มหาสัดส่วนโมลที่แท้จริงด้วยโปรแกรม Microsofe Excel ได้สัดส่วน 11 ต่อ 5.5

กลีเซอรอล 11.1 โมล มีน้ำหนัก = (92.09 กรัม/โมล) x 11 โมล

= 1,013 กรัม

กลีเซอรอลดิบมีความบริสุทธิ์ 70 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นต้องใช้กลีเซอรอลดิบ = (1,013 กรัม)/0.7

= 1,447 กรัม

ไขปาล์มสเตียรีน มีน้ำหนัก = (834 กรัม/โมล) x 5.5 โมล

= 4,587 กรัม

น้ำหนักรวมสาร = 1,447 + 4,587

= 6,034 กรัม

น้ำหนักสารสัดส่วนโมลอื่นดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 น้ำหนักของสารที่ใช้ในการทดลอง

สัดส่วนโมล	สัดส่วนโมลที่ใช้	น้ำหนักสาร (กรัม)		
		กลีเซอรอลดิบ	ไขปาล์มสเตียรีน	รวม
2 ต่อ 1	11 ต่อ 5.5	1,447	4,587	6,034
2.5 ต่อ 1	12.97 ต่อ 5.188	1,707	4,327	6,034
3 ต่อ 1	14.73 ต่อ 4.91	1,939	4,095	6,034
4 ต่อ 1	17.74 ต่อ 4.435	2,335	3,699	6,034

6. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิส

1.ชั่งน้ำหนักไขปาล์มสเตียรีนและกลีเซอรอลดิบตามน้ำหนักที่ต้องใช้ตามสัดส่วนโมลต่าง ๆ นำมาให้ความร้อนเพื่อให้สารละลายประมาณ 80 องศาเซลเซียส

2. เปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อดึงอากาศออกจากถังปฏิกรณ์ พร้อมกับเปิดใบพัดกวนให้ทำงาน ความดันต่ำสุดที่สามารถทำได้ 4 เซนติเมตรปรอท เติมน้ำแข็งผสมเกลือในชุดควบแน่นเพื่อดักจับสารที่ระเหยออกมาในการทำปฏิกิริยาไม่ให้เข้าสู่ปั๊มสุญญากาศ

3. ทำการเปิดวาล์วด้านด้านถังปฏิกรณ์ ไขปาล์มสเตียรีนเหลวจะไหลเข้าด้วยแรงดูดจากปั๊มสุญญากาศ ต่อด้วยการใส่กลีเซอรอลดิบเหลวลงไปสู่ถังปฏิกรณ์ ดังภาพที่ 47

4. เปิดแก๊สให้ความร้อนแก่สารพร้อมกับการกวนด้วนความเร็วคงที่ 200 รอบ/นาที ความดันที่ใช้ 4 เซนติเมตรปรอท จนสารมีอุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียส ระหว่างนี้น้ำที่อยู่กลีเซอ-รอลดิบจะควบแน่นตกในชุดดักจับสาร ทำการไล่อากาศเพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่นด้วยการอัดแก๊สไนโตรเจนเข้าทางที่ใส่สารด้านหน้า จนความดันจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 76 เซนติเมตรปรอท ใช้เวลาประมาณ 1 นาที

5. ทำการเพิ่มความดันโดยควบคุมให้ความดันอยู่ในช่วง 26 ถึง 36 เซนติเมตรปรอท เพื่อไม่ให้กลีเซอรอลระเหยออกระหว่างการทำปฏิกิริยาสูง ๆ เช่นที่ 250 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 19 กลีเซอรอลบริสุทธิ์มีความดันไอประมาณ 250 มิลลิเมตรปรอท

6. เมื่ออุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิที่ต้องการทำปฏิกิริยาแล้ว เก็บตัวอย่างออกที่เวลา 15 , 20 , 30 , 60 และ 90 นาที จากวาล์วด้านหน้าถังปฏิกรณ์มาประมาณ 5 มิลลิลิตร ทำการแช่ในน้ำแข็งอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับแล้วเก็บตัวอย่างสารไว้ในตู้เย็นไม่ให้โดนแสงแดด เพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ด้วยเครื่อง TLC/FID

ภาพที่ 47 การใส่สารเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิส

ตารางที่ 19 แสดงจุดเดือดของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ความดันต่าง ๆ

Pressure (mm Hg)	Temp (^{0}C)	Pressure (mm Hg)	Temp (^{0}C)
800	292.01	60	208.40
760	290.00	50	203.62
700	286.79	40	197.96
600	280.91	30	190.87
500	274.23	20	181.34
400	266.20	15	179.86
300	256.32	10	166.11
200	243.16	8	161.49
100	222.41	6	155.69
90	219.44	5	152.03
80	216.17	4	147.87
70	212.52		

ที่มา : Jungermann (1991)

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการวิเคราะห์

1. เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ในขั้นตอนต่าง ๆ

1.1 ทำปฏิกิริยาที่สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 2 ต่อ 1

ตารางที่ 20 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ที่สัดส่วนโมล 2 ต่อ 1

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
180	15	59.711			59.711
	20	58.956			58.956
	30	59.499			59.499
	60	62.548			62.548
	90	58.445			58.445
200	15	57.135	62.436	60.253	59.941
	20	65.235	68.562	68.258	67.352
	30	61.592	64.567	65.699	63.953
	60	60.651	62.176	67.141	63.323
	90	60.780	61.276	62.531	61.529
230	15	53.088	56.244	55.743	55.025
	20	56.850	59.005	57.321	57.725
	30	58.136	59.001	60.866	59.334
	60	58.210	66.303	63.233	62.582
	90	57.788	63.107	59.436	60.110
250	15	53.326	58.424	51.505	54.418
	20	55.256	59.58	51.864	55.567
	30	56.234	58.566	54.494	56.431
	60	55.231	59.93	54.699	56.620
	90	54.624	55.63	51.969	54.074

1.2 สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 2.5 ต่อ 1

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ที่สัดส่วนโมล 2.5 ต่อ 1

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
180	15	68.472	69.980		69.226
	20	61.167	57.070		59.1185
	30	64.518	68.750		66.634
	60	58.798	51.930		55.364
	90	59.407	63.620		61.5135
200	15	70.323	69.421	72.551	70.765
	20	71.219	71.755	72.276	71.750
	30	71.810	68.24	69.809	69.953
	60	69.214	67.999	66.249	67.821
	90	70.580	70.79	66.147	69.172
230	15	61.924	64.940		63.432
	20	66.335	69.200		67.768
	30	66.702	68.130		67.416
	60	70.534	71.250		70.892
	90	63.248	74.050		68.649
250	15	69.992	66.110		68.051
	20	61.396	71.250		66.323
	30	70.121	71.000		70.5605
	60	67.587	69.750		68.6685
	90	68.086	62.100		65.093

1.3 สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 3 ต่อ 1

ตารางที่ 22 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ที่สัดส่วนโมล 3 ต่อ 1

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
180	15	66.752	63.563		65.158
	20	65.485	66.763		66.124
	30	68.433	69.930		69.1815
	60	70.106	69.520		69.813
	90	64.282	65.790		65.036
200	15	69.862	70.628	72.274	70.921
	20	73.254	73.077	73.646	73.326
	30	75.192	75.926	75.273	75.464
	60	73.593	72.496	74.14	73.410
	90	72.935	71.234	73.917	72.695
230	15	69.180	68.880		69.03
	20	66.887	70.520		68.704
	30	72.606	68.090		70.348
	60	70.402	70.170		70.286
	90	66.883	73.860		70.372
250	15	73.887	70.160		72.024
	20	71.213	67.100		69.157
	30	74.697	73.370		74.034
	60	73.078	69.650		71.364
	90	65.592	70.220		67.906

1.4 สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 4 ต่อ 1

ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ที่สัดส่วนโมล 4 ต่อ 1

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
200	15	72.74	75.587		74.163
	20	73.177	75.080		74.129
	30	76.257	77.665		76.961
	60	75.482	74.750		75.116
	90	76.902	74.809		75.855

1.5 กลีเซอรอลบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สัดส่วนโมลต่างๆ

ตารางที่ 24 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID จากการทำปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิสของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซนต์

สัดส่วนโมล	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
2 ต่อ 1	15	58.47			58.47
	20	57.70			57.70
	25	53.81			53.81
	30	55.02			55.02
	60	53.85			53.85
	90	53.15			53.15
2.5 ต่อ 1	15	59.48			59.48
	20	61.71			61.71
	25	52.91			52.91
	30	48.97			48.97
	60	47.99			47.99
	90	56.24			56.24
3 ต่อ 1	15	56.29			56.29
	20	58.24			58.24
	25	61.11			61.11
	30	53.10			53.10
	60	55.41			55.41
	90	52.00			52.00

1.6 การศึกษาปฏิกิริยาย้อนกลับ

ตารางที่ 25 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID หลังปล่อยให้สารเย็นตัวที่อุณหภูมิห้องและใช้น้ำหล่อเย็นช่วย (สัดส่วนโมล 2.5 ต่อ 1 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 200 องศาเซลเซียส เวลาการทำปฏิกิริยา 20 นาที)

สภาวะ	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (^{0}C)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
			Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
หลังทำปฏิกิริยา	0	200	72.483			72.483
เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง	60	150	69.525			69.525
	120	109	57.252			57.252
	180	82	55.991			55.991
	210	75	54.013			54.013
เย็นตัวด้วยน้ำหล่อเย็น	10	80	71.198			71.198

1.7 การกำจัดกลีเซอรอลด้วยการหยดน้ำร้อนล้าง

ตารางที่ 26 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ในขั้นตอนการล้างด้วยน้ำร้อนแบบหยดเพื่อกำจัดกลีเซอรอลส่วนเกินออก

ตัวอย่าง	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
	Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
หลังทำปฏิกิริยา	64.600	62.763	60.656	62.673
หลังล้างน้ำ	58.172			58.172
ส่วนน้ำล้าง	70.662			70.662

1.8 การกำจัดกลีเซอรอลด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 27 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID หลังทำการเติมกรดเพื่อกำจัดกลีเซอรอล

ตัวอย่าง	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
	Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
หลังทำปฏิกิริยา	62.673	60.235		61.454
HCl 1 มล./สาร 100 ก.	62.615	61.413		62.014
HCl 2 มล./สาร 100 ก.	57.207	51.486	51.22	53.304
HCl 3 มล./สาร 100 ก.	50.561			50.561
HCl 4 มล./สาร 100 ก.	36.745			36.745

1.9 การกลั่นกลีเซอรอลส่วนเกินออกหลังการปรับสภาพเป็นกลาง

ตารางที่ 28 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID จากการกลั่นสุญญากาศเพื่อกำจัดกลีเซอ-รอลหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับสภาพให้เป็นกลาง

ความดัน (mm Hg)	ตัวอย่างสาร	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
110	กลั่นได้	0			0
	เหลือ	38.869			38.869
20	กลั่นได้	67.817			67.817
	เหลือ	16.042			16.042

1.10 การกำจัดกลีเซอรอลด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริก 37 เปอร์เซ็นต์ และการล้างน้ำ

ตารางที่ 29 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ในขั้นตอนการปรับสภาพให้เป็นกลางและต่อด้วยการล้างน้ำ

ตัวอย่างสาร	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
	Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
หลังทำปฏิกิริยา	62.659	60.235		61.447
เฟสโมโนกลีเซอไรด์ หลังเติมกรด	62.615	61.413		62.014
เฟสกลีเซอรอล หลังเติมกรด	100	100		100
เฟสโมโนกลีเซอไรด์หลังล้างน้ำและต้มไล่น้ำ	57.288	60.903		59.095
เฟสน้ำล้าง	100	100		100

1.11 การทำให้โมโนกลีเซอไรด์มีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยการตกผลึกสารโดยใช้ตัวทำละลาย Isooctane

ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID ในขั้นตอนการตกผลึกด้วยตัวทำละลาย Isooctane

ส่วน	อุณหภูมิ (^{0}C)	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
ผลึก	37	82.905	68.945		75.925
	36	80.430	90.954	84.161	85.182
	35	60.817	86.217		73.517
	34	87.044	66.952		76.998
	33	51.335	66.275		58.805
	32	59.233	60.634		59.934
	31	58.711	64.576		61.643
	30	50.386	94.252		72.319
	29	85.252	62.520		73.886
	28	68.665	70.464		69.565
ใส	28	46.921	41.656		44.289

การตกผลึกครั้งที่ 2 เมื่อนำผลึกที่ได้จากการตกที่ 36 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์จาก TLC/FID จากการตกผลึกครั้งที่ 2 ด้วยตัวทำละลาย Isooctane

ส่วน	% โมโนกลีเซอไรด์ จาก TLC/FID			
	Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
ผลึก	98.864	98.692	99.471	99.009
ใส	50.551			50.551

2. เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์ของสารผสมจากการทำปฏิกิริยาที่ 200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์ของสารผสมจากการทำปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิสด้วยกลีเซอรอลดิบที่สภาวะต่าง ๆ

สัดส่วนโมล	เวลา (นาที)	% โมโนกลีเซอไรด์			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
2 ต่อ 1	15	51.61	57.51	54.84	54.65
	20	59.29	63.81	62.61	61.90
	30	56.18	59.84	60.60	58.87
	60	55.41	57.81	62.00	58.41
	90	54.90	56.76	57.84	56.50
2.5 ต่อ 1	15	63.49	63.44	65.72	64.22
	20	64.89	65.98	65.19	65.35
	30	65.26	62.63	63.47	63.79
	60	62.70	62.59	60.33	61.87
	90	64.27	65.09	59.61	62.99
3 ต่อ 1	15	61.38	61.85	63.52	62.25
	20	64.48	63.95	64.61	64.34
	30	66.10	66.71	66.19	66.33
	60	64.85	63.56	65.15	64.52
	90	64.14	62.82	64.73	63.90
4 ต่อ 1	15	57.72	53.67		55.69
	20	56.06	55.21		55.64
	30	60.08	57.92		59.00
	60	57.48	58.06		57.77
	90	58.19	59.45		58.82

3. ร้อยละผลได้ของโมโนกลีเซอไรด์จากการทำปฏิกิริยาที่ 200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 33 ร้อยละผลได้ของโมโนกลีเซอไรด์ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิสด้วยกลีเซอรอลดิบที่สภาวะต่าง ๆ

สัดส่วนโมล	เวลา (นาที)	% Yield โมโนกลีเซอไรด์			
		Run No.1	Run No.2	Run No.3	AV
2 ต่อ 1	15	66.54	74.46	70.95	70.65
	20	76.44	82.62	81.00	80.02
	30	72.43	77.48	78.40	76.10
	60	71.44	74.85	80.21	75.50
	90	70.78	73.50	74.83	73.04
2.5 ต่อ 1	15	86.99	86.34	90.12	87.81
	20	88.91	89.80	89.39	89.36
	30	89.42	85.24	87.03	87.23
	60	85.91	85.18	82.73	84.61
	90	88.05	88.59	81.74	86.13
3 ต่อ 1	15	87.27	88.51	90.17	88.65
	20	91.68	91.50	91.71	91.63
	30	93.98	95.46	93.96	94.47
	60	92.21	90.95	92.49	91.88
	90	91.20	89.89	91.88	90.99
4 ต่อ 1	15	89.21	83.15		86.18
	20	86.64	85.55		86.09
	30	92.87	89.74		91.30
	60	88.84	89.96		89.40
	90	89.94	92.11		91.02

ภาคผนวก ค
การออกแบบถังปฏิกรณ์

1. การหาปริมาตรถังสำหรับการออกแบบ

คิดจากกำลังการผลิตจากกลีเซอรอลดิบ 100 กิโลกรัม

ความเข้มข้นกลีเซอรอลในกลีเซอรอลดิบ 70 เปอร์เซ็นต์

สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาใช้สัดส่วนโมลกลีเซอรอลต่อไขปาล์มสเตียรีน 2.5 ต่อ 1

กลีเซอรอลดิบ 100 กิโลกรัม มีปริมาณของกลีเซอรอล 70 กิโลกรัม

น้ำหนักโมเลกุลของกลีเซอรอล 92.09 กรัม/โมล

กลีเซอรอล 70 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนโมล = 70,000 กรัม/(92.09 กรัม/โมล)

= 760.126 โมล

ดังนั้นต้องใช้จำนวนโมลของไขปาล์มสเตียรีน = 760.126 โมล/2.5 โมล

= 304.05 โมล

น้ำหนักโมเลกุลของไขปาล์มสเตียรีน 834 กรัม/โมล

ดังนั้นต้องใช้ไขปาล์มสเตียรีนน้ำหนัก = 304.05 โมล x 834 กรัม/โมล

= 253,578 กรัม

ความหนาแน่นของกลีเซอรอลบริสุทธิ์จากตารางที่ 34 ที่ 250 องศาเซลเซียส 1.090625 กรัม/มิลลิลิตร

ปริมาตรของกลีเซอรอลเมื่อมีอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

= (100,000 กรัม) / (1.090625 กรัม/มิลลิลิตร)

= 91,690.54 มิลลิลิตร

= 91.69 ลิตร

ปริมาตรของไขปาล์มสเตียรีนจากตารางที่ 35 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.8756 กรัม/มิลลิลิตร

ดังนั้นปริมาตรของไขปาล์มสเตียรีน = (253,578 กรัม)/(0.8756 กรัม/มิลลิลิตร)

= 289604.8 มิลลิลิตร

= 289.60 ลิตร

ปริมาตรรวมของกลีเซอรอลและไขปาล์มสเตียรีน = 91.69 + 289.60 ลิตร

= 381.29 ลิตร

ปรับปริมาตรรวมสาร = 400 ลิตร

เมื่อปริมาตรสารเท่ากับ 400 ลิตร เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการสูญเสียสาร ระหว่างการทำปฏิกิริยาเมื่อทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเกิดฟองขึ้น จึงให้มีพื้นที่ในการเกิดฟอง 1 ใน 3 ของปริมาตรถัง ดังนั้นปริมาตรถังสำหรับการออกแบบถึงเท่ากับ 600 ลิตร

ตารางที่ 34 ความหนาแน่นของกลีเซอรอลบริสุทธิ์

อุณหภูมิ (^{0}C)	ความหนาแน่น (g/ml)	อุณหภูมิ (^{0}C)	ความหนาแน่น (g/ml)
0	1.27269	130	1.18729
10	1.26699	140	1.17951
15	1.26443	160	1.16440
20	1.26134	180	1.14864
30	1.25512	200	1.13178
40	1.24896	220	1.11493
54	1.2397	240	1.09857
75.5	1.2256	260	1.08268
99.5	1.2097	280	1.06725
110	1.20178	290	1.05969
120	1.19446		

ที่มา : Junggermann (1991)

ตารางที่ 35 สมบัติของน้ำมันปาล์ม

Tests	Oleins	Stearins
Apparent density at		
40 ^{0}C (g/ml)	0.8965-0.8992	
60 ^{0}C (g/ml)		0.8659-0.8756
Refractive index		
n_D 40 ^{0}C	1.4586-1.4592	
n_D 60 ^{0}C		1.4472-1.4511
Saponification value mg KOH/g oil	194-202	193-206

ที่มา : Hui (1996)

2. การหาขนาดของถังปฏิกรณ์

ได้ใช้ถังปฏิกรณ์ต้นแบบจากการทดลอง ดังภาพที่ 20 มีสเกลต่าง ๆ ดังภาพที่ 48

ความสูงของทรงกระบอกถัง 30 เซนติเมตร

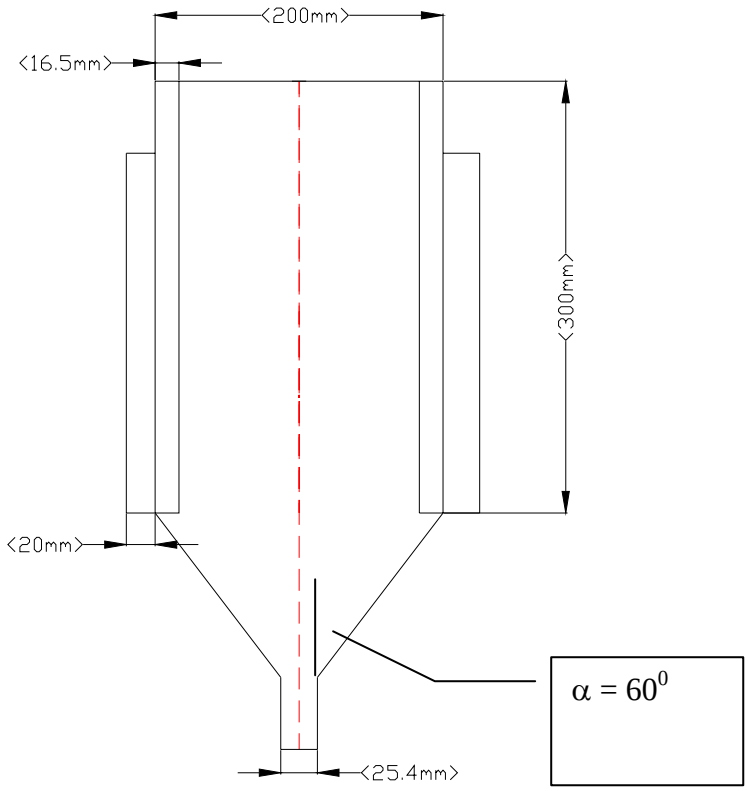
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในทรงกระบอกถัง 20 เซนติเมตร

ดังนั้นอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางภายในถังต่อความสูง = 2/3

ให้เส้นผ่าศูนย์กลางถังปฏิกรณ์ที่จะออกแบบ = 800 มิลลิเมตร

ดังนั้นความสูงของทรงกระบอกถัง = 800 x (3/2)

= 1,200 มิลลิเมตร



ภาพที่ 48 ขนาดของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

หาขนาดของกรวยล่าง

มุม α เท่ากับ 60 องศา จากถังในการทดลอง ดังนั้นในการออกแบบถังใหม่ มุมยอดกรวยของถังใหม่จึงเท่าเดิม

ขนาดของ Baffle

ถังที่ใช้ในการทดลอง	มีความกว้างของ Baffle	=	1.65	เซนติเมตร
	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	=	20	เซนติเมตร
ถังที่ออกแบบใหม่	มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	=	80	เซนติเมตร
ดังนั้น	มีความกว้างของ Baffle	=	(1.65/20) x 80	
		=	6.6	เซนติเมตร

ขนาดของใบพัด

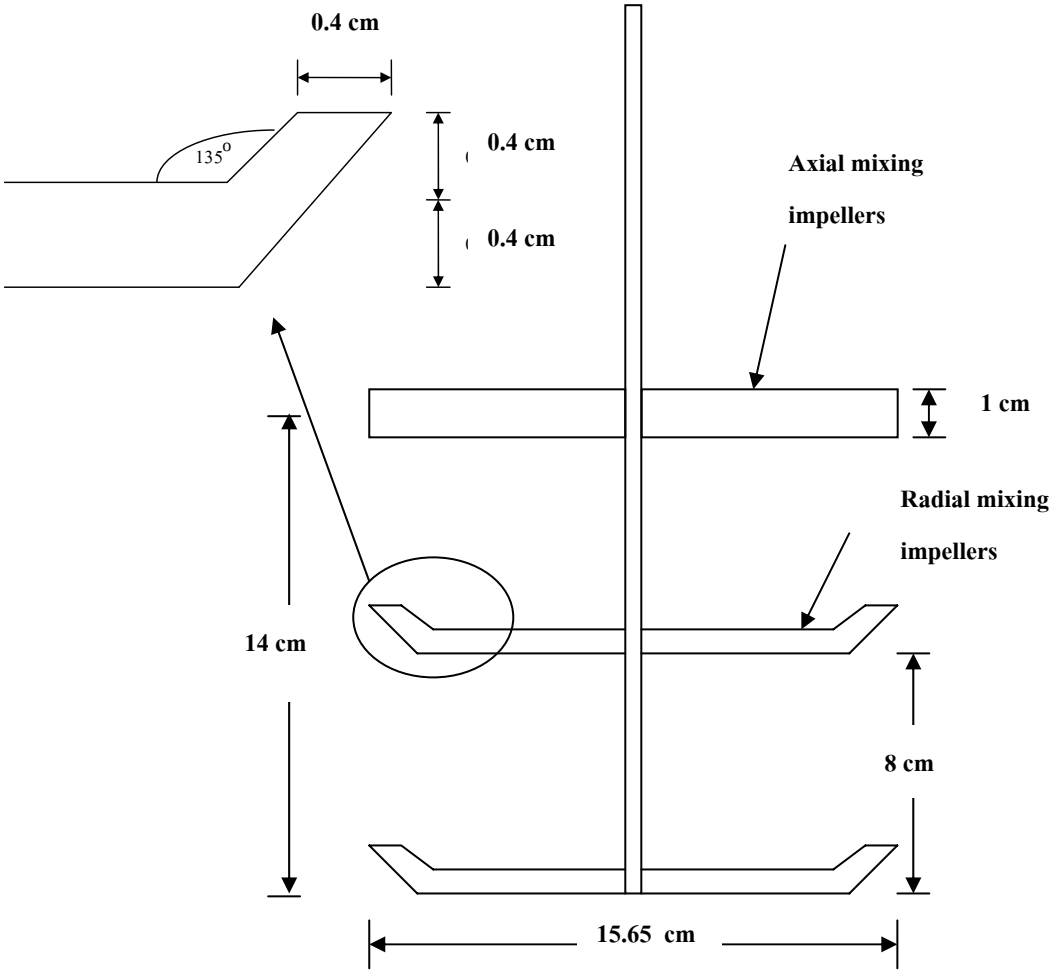
จากภาพที่ 49 เป็นขนาดใบพัดที่ใช้ในการทดลอง และรูปทรงดังภาพที่ 50

	มีความยาวของใบพัด	=	15.65	เซนติเมตร
	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในถัง	=	20	เซนติเมตร
ถังที่ออกแบบใหม่	มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	=	80	เซนติเมตร
ดังนั้น	ความยาวของใบพัด	=	(15.65/20) x 80	
		=	62.6	เซนติเมตร

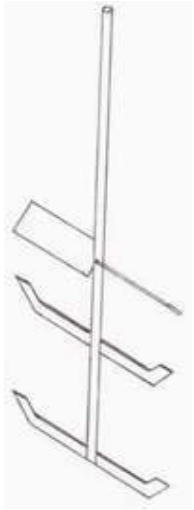
คำนวณปริมาตรถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบ

ถังทรงกระบอก	มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (r)	80	เซนติเมตร
	ความสูงทรงกระบอก	120	เซนติเมตร
กรวยล่าง (ภาพที่ 51)	มี di	3.81	เซนติเมตร
	ความสูงกรวย	23	เซนติเมตร

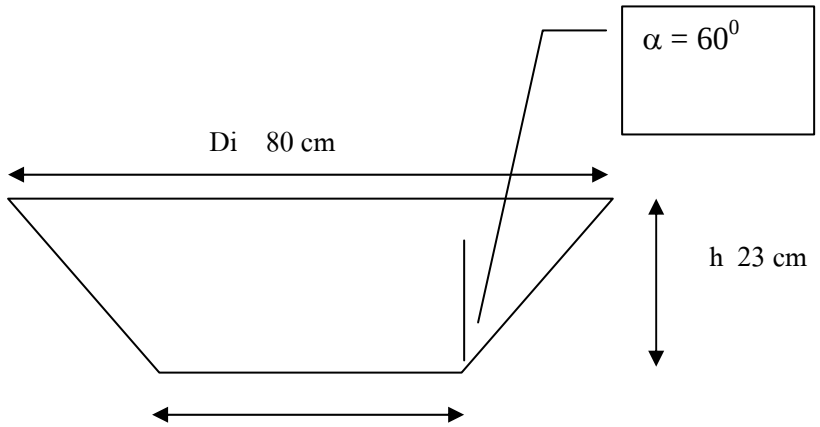
ปริมาตรทรงกระบอก	เท่ากับ	¶ x (40^2) x 120	
	เท่ากับ	603,429	ลูกบาศก์เซนติเมตร
	เท่ากับ	603.43	ลิตร



ภาพที่ 49 ขนาดของใบพัดที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 50 รูปทรงใบพัดที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 51 ขนาดกรวยล่างของถังปฏิกรณ์ที่ได้ออกแบบ

ปริมาตรกรวย = $0.262\ h\ (Di^2 + Didi + di^2)$

= 63.67 ลิตร

ปริมาตรของส่วนประกอบอื่น ๆ ภายใน จากการอ่านค่าด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop ได้ปริมาตรส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. Baffle = 1.49 ลิตร
2. คอยล์ร้อน = 10.57 ลิตร
3. ใบพัด = 1.71 ลิตร

ดังนั้นปริมาตรของถังเมื่อไม่คิดปริมาตรของฝาถัง เท่ากับ ปริมาตรของถัง – ปริมาตรของ Baffle – ปริมาตรของคอยล์ร้อน – ปริมาตรของใบพัด

เท่ากับ 667 – 1.49 – 10.57 – 1.71

เท่ากับ 626.33 ลิตร

2. การหาความหนาของเหล็กที่ใช้

เนื่องจากถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบต้องสามารถทำงานภายใต้ความดันและสภาพสุญญากาศ จึงต้องออกแบบทั้งสองสภาวะ ว่าความหนาแต่ละสภาวะมากน้อยแค่ไหน โดยใช้วิธีการตำนวณดังนี้ (ตระการ, 2540)

2.1. ถังความดันภายใต้ความดันภายนอก

(1) ฝาถังปฏิกรณ์

ออกแบบเป็นหัวถังครึ่งวงรี 2 : 1

กำหนดอุณหภูมิในการออกแบบ (สุธรรม, 2542)

= อุณหภูมิให้งาน + 30 องศาเซลเซียส

= 200 + 30

= 230 องศาเซลเซียส

การคำนวณเมื่อ P = ความดันออกแบบภายนอก 1.055 kg/cm^2g

D_0 = เส้นศูนย์กลางภายนอกของหัวถัง (มิลลิเมตร)

R_0 = 0.9 D_0 สำหรับหัวถังทรงรี

เมื่อสมมุติความหนาถัง : t = 2.5 มิลลิเมตร

R_0 = 0.9 (805)

= 724.5 มิลลิเมตร

คำนวณหาค่า A = $0.125/(R_0/t)$

= 0.125/(724.5/2.5)

= 0.000431

นำค่า A ไปหาค่า B จากภาพที่ 52 ได้ B = 350

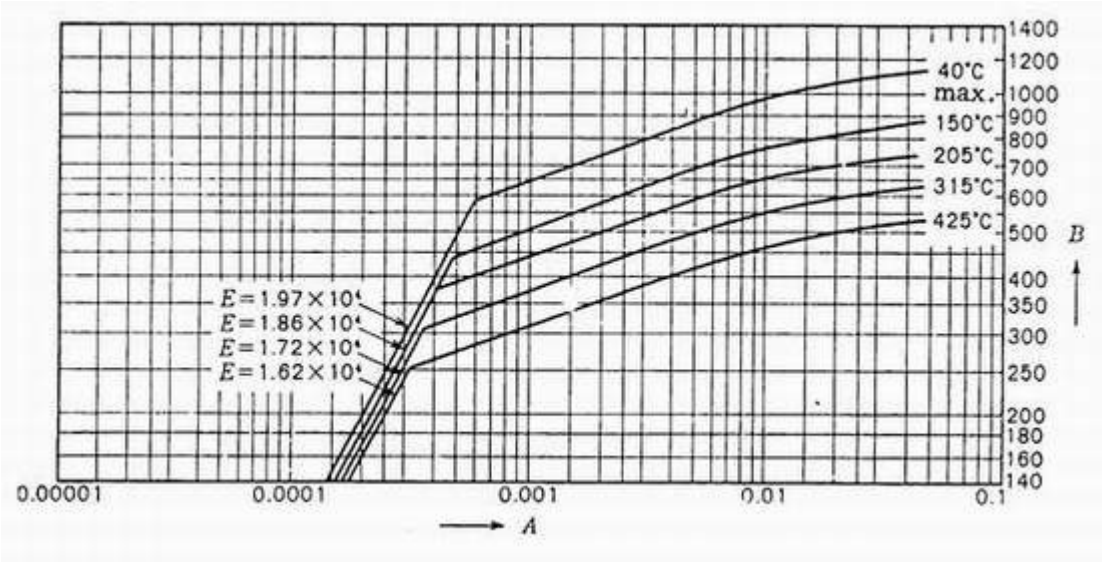
ได้ B = 350

คำนวณค่า P_a = $B/(R_0/t)$

= 350/(724.5/2.5)

= 1.208 kg/cm^2

เมื่อเปรียบเทียบ P_a กับ P ความหนาที่สมมุติ t = 2.5 มิลลิเมตร อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ



ภาพที่ 52 ค่าตัวประกอบ B ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก ค่าจากแผนภาพใช้เมื่อถังทำจากเหล็กกล้าออสเทนิติก (18Cr-8Ni-Mo, คาร์บอนสูตรสุด 0.03 ชนิด 316L)
ที่มา : ตระการ (2540)

(2) ตัวถังปฏิกรณ์

ออกแบบเป็นทรงกระบอก

การคำนวณเมื่อ P = ความดันออกแบบภายนอก 1.055 kg/cm^2g

D_0 = เส้นศูนย์กลางภายนอกของหัวถัง (มิลลิเมตร)

L_0 = ความยาวของทรงกระบอก

= 1,250 มิลลิเมตร

เมื่อสมมุติความหนาถัง : t = 2 มิลลิเมตร

D_0 = 804 มิลลิเมตร

L/D_0 = 1.555

D_0/t = 402

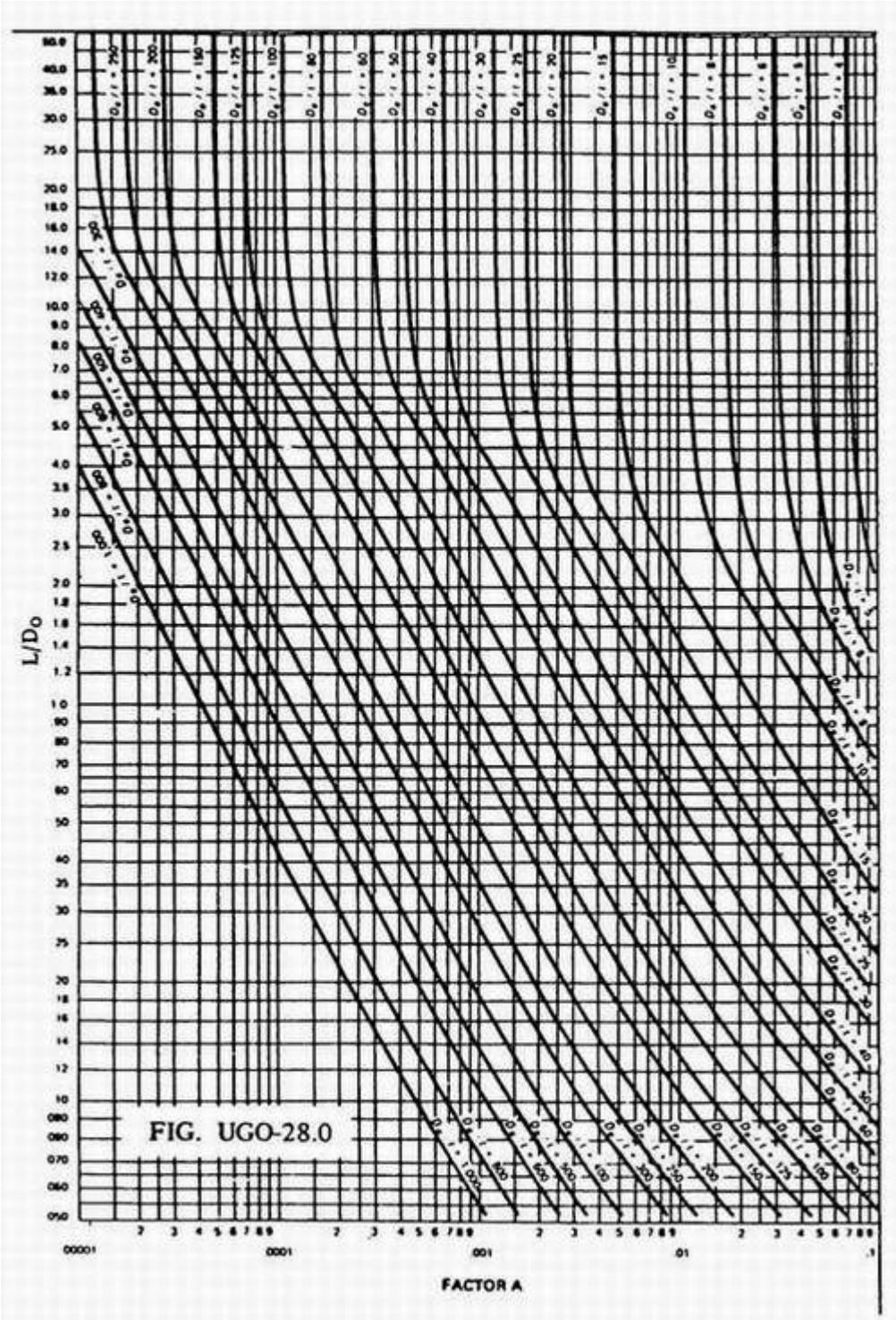
หาค่า A กราฟภาพที่ 53 ได้ 0.0013 และนำค่า A ไปหาค่า B จากภาพที่ 52 ต่อ

ได้ B = 430

P_a = $2B/3(D_0/t)$

= 1.43 kg/cm^2

เมื่อเปรียบเทียบ P_a กับ P ความหนาที่สมมุติ t = 2 มิลลิเมตร อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ



ภาพที่ 53 ค่าของตัวประกอบ A ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก

ที่มา : ตระการ (2540)

(3) ตัวกรวยถัง

การคำนวณเมื่อ P = ความดันออกแบบภายนอก 1.055 kg/cm^2g

ข้อมูลกรวยที่ได้ออกแบบ

α = ครึ่งหนึ่งของมุมยอด, องศา

= 60^0

D_l = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ณ ปลายด้านใหญ่, มิลลิเมตร

L = ความยาวของกรวย, มิลลิเมตร

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ณ ปลายด้านเล็ก, มิลลิเมตร

เมื่อสมมุติความหนาถัง : t = 3 มิลลิเมตร

t_e = $t \cos \alpha$

= 1.5 มิลลิเมตร

L_e = $(L/2)(1+ D_s/ D_l)$

= 123.625 มิลลิเมตร

L_e/ D_l = 123.625/800

= 0.154

D_l/ t_e = 800/1.5

= 533

นำค่า L_e/ D_l และ D_l/ t_e ไปหาค่า A จากภาพที่ 53 ได้ A = 0.0009

นำค่า A ไปหาค่า B ในภาพที่ 52 ได้ B = 420

แทนค่าในสูตร P_a = $4B/(3(D_l/ t_e))$

= $(4 \times 420)/(3 \times 533)$

= 1.05 kg/cm^2

เมื่อเปรียบเทียบ P_a กับ P ความหนาที่สมมุติ t = 3 มิลลิเมตร อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

2.2.ถังภายใต้ความดันภายใน

(1) ฝาถังปฏิกรณ์

ออกแบบเป็นหัวถังครึ่งวงรี 2 : 1

การคำนวณเมื่อ P = ความดันออกแบบ 1.25 บาร์ (1.275 kg/cm^2)

D = เส้นศูนย์กลางภายนอกภายใน (800 มิลลิเมตร)

E = ประสิทธิภาพรอยเชื่อมต่อ (1)

S = ค่าความเค้นของแผ่น SA-240 316L ภาพที่ 54 ที่ 315 องศาเซลเซียส มีค่า 731 kg/cm^2

แทนค่าเพื่อหาความหนาจากสูตร t = PD/(2SE-0.2P)

= (1.275 x 800)/(2 x 731 x 1 – 0.2 x 1.275)

= 0.7 มิลลิเมตร

(2) ตัวถังปฏิกรณ์ทรงกระบอก

การคำนวณเมื่อ R = รัศมีภายใน 400 มิลลิเมตร

สูตรการคำนวณความหนา t = PR/(2SE + 0.4P)

แทนค่า t = (1.275 x 400) /((2 x 731 x 1) + (0.4 x 1.275))

= 0.35 มิลลิเมตร

(3) ตัวกรวยถัง

ข้อมูลกรวยที่ได้ออกแบบ

α = ครึ่งหนึ่งของมุมยอด, องศา

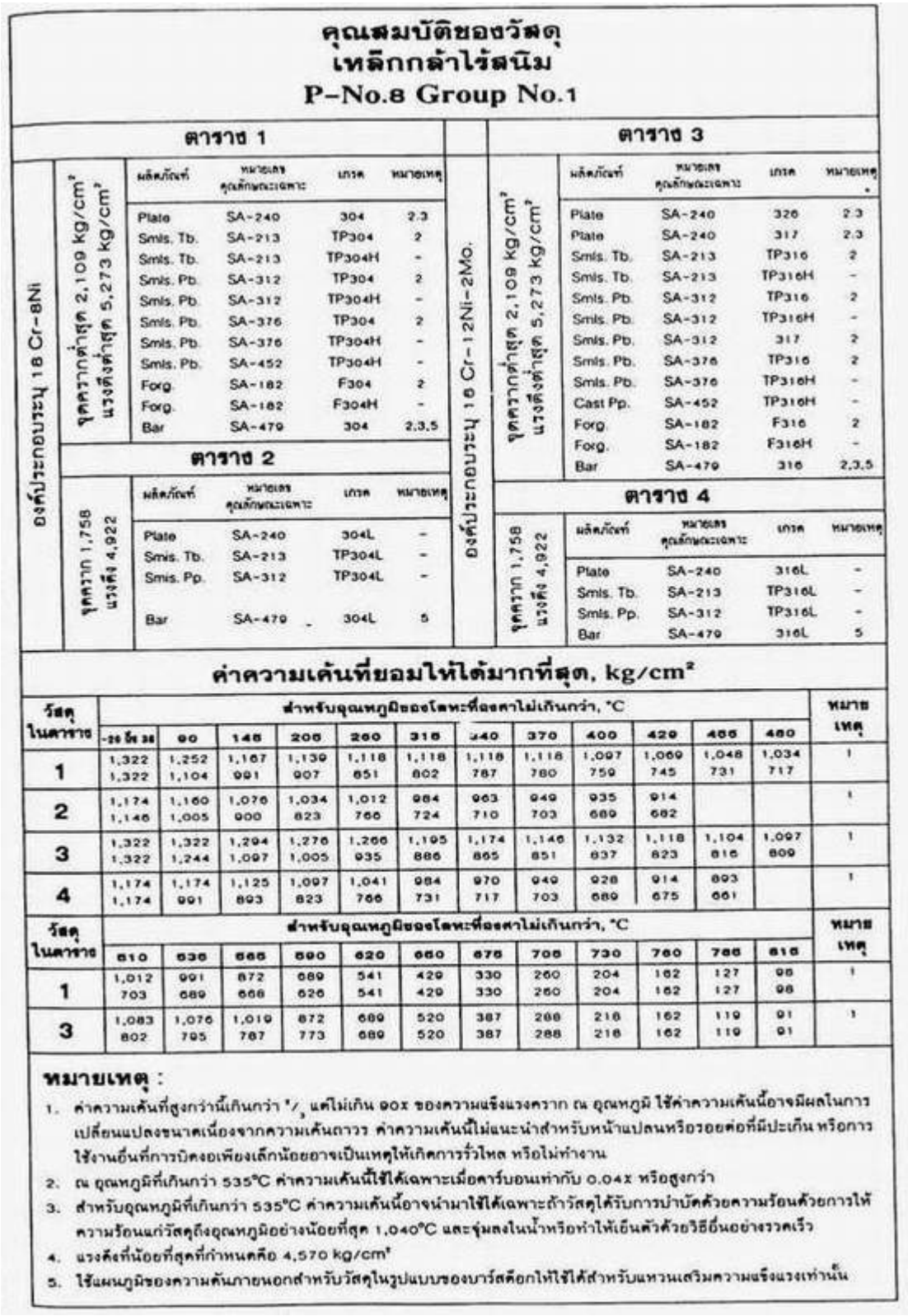
= 60^0

E = ประสิทธิภาพรอยเชื่อมต่อมีค่าเท่ากับ 0.6 เมื่อรอยต่อชนที่เชื่อมเดี่ยวโดย ไม่มีแผ่นประกบหลัง

สูตรการคำนวณความหนา t = $PD/2\cos\alpha(SE-0.6P)$

แทนค่า t = $((1.275*800)/(2 \times \cos 60^0 \times (731 \times 0.6 – (0.6 \times 1.275)))$

= 2.33 มิลลิเมตร



คุณสมบัติของวัสดุ เหล็กกล้าไร้สนิม P-No.8 Group No.1

ตาราง 1

องค์ประกอบระบุ 18 Cr–8Ni

จุดคราก ต่ำสุด 2,109 kg/cm² แรงดึงต่ำสุด 5,273 kg/cm²

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	304	2,3
Smls. Tb.	SA-213	TP304	2
Smls. Tb.	SA-213	TP304H	-
Smls. Pb.	SA-312	TP304	2
Smls. Pb.	SA-312	TP304H	-
Smls. Pb.	SA-376	TP304	2
Smls. Pb.	SA-376	TP304H	-
Smls. Pb.	SA-452	TP304H	-
Forg.	SA-182	F304	2
Forg.	SA-182	F304H	-
Bar	SA-479	304	2,3,5

ตาราง 2

จุดคราก 1,758 แรงดึง 4,922

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	304L	-
Smls. Tb.	SA-213	TP304L	-
Smls. Pp.	SA-312	TP304L	-
Bar	SA-479	304L	5

องค์ประกอบระบุ 16 Cr–12Ni–2Mo.

ตาราง 3

จุดคราก ต่ำสุด 2,109 kg/cm² แรงดึงต่ำสุด 5,273 kg/cm²

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	316	2,3
Plate	SA-240	317	2,3
Smls. Tb.	SA-213	TP316	2
Smls. Tb.	SA-213	TP316H	-
Smls. Pb.	SA-312	TP316	2
Smls. Pb.	SA-312	TP316H	-
Smls. Pb.	SA-312	317	2
Smls. Pb.	SA-376	TP316	2
Smls. Pb.	SA-376	TP316H	-
Cast Pp.	SA-452	TP316H	-
Forg.	SA-182	F316	2
Forg.	SA-182	F316H	-
Bar	SA-479	316	2,3,5

ตาราง 4

จุดคราก 1,758 แรงดึง 4,922

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	316L	-
Smls. Tb.	SA-213	TP316L	-
Smls. Pp.	SA-312	TP316L	-
Bar	SA-479	316L	5

ค่าความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด, kg/cm²

วัสดุในตาราง	สำหรับอุณหภูมิของโลหะที่ของค่าไม่เกินกว่า, °C												หมายเหตุ
	-29 ถึง 38	90	148	205	260	316	340	370	400	420	455	480	
1	1,322 1,322	1,252 1,104	1,167 991	1,139 907	1,118 851	1,118 802	1,118 787	1,118 780	1,097 759	1,069 745	1,048 731	1,034 717	1
2	1,174 1,146	1,160 1,005	1,076 900	1,034 823	1,012 766	984 724	963 710	949 703	935 689	914 682			1
3	1,322 1,322	1,322 1,244	1,294 1,097	1,276 1,005	1,266 935	1,195 886	1,174 865	1,146 851	1,132 837	1,118 823	1,104 816	1,097 809	1
4	1,174 1,174	1,174 991	1,125 893	1,097 823	1,041 766	984 731	970 717	949 703	928 689	914 675	893 661		1

วัสดุในตาราง	สำหรับอุณหภูมิของโลหะที่ของค่าไม่เกินกว่า, °C												หมายเหตุ
	510	535	565	590	620	650	675	705	730	760	785	815	
1	1,012 703	991 689	872 668	689 626	541 541	429 429	330 330	260 260	204 204	162 162	127 127	98 98	1
3	1,083 802	1,076 795	1,019 787	872 773	689 689	520 520	387 387	288 288	216 216	162 162	119 119	91 91	1

หมายเหตุ :

1. ค่าความเค้นที่สูงกว่านี้เกินกว่า ⅔ แต่ไม่เกิน 90% ของความแข็งแรงคราก ณ อุณหภูมิ ใช้ค่าความเค้นนี้อาจมีผลในการเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากความเค้นคราว ค่าความเค้นนี้ไม่แนะนำสำหรับหน้าแปลนหรือรอยต่อที่มีปะเก็น หรือการใช้งานอื่นที่การบิดงอเพียงเล็กน้อยอาจเป็นเหตุให้เกิดการรั่วไหล หรือไม่ทำงาน
2. ณ อุณหภูมิที่เกินกว่า 535°C ค่าความเค้นนี้ใช้ได้เฉพาะเมื่อคาร์บอนเท่ากับ 0.04% หรือสูงกว่า
3. สำหรับอุณหภูมิที่เกินกว่า 535°C ค่าความเค้นนี้อาจนำมาใช้ได้เฉพาะถ้าวัสดุได้รับการบำบัดด้วยความร้อนด้วยการให้ความร้อนแก่วัสดุถึงอุณหภูมิอย่างน้อยที่สุด 1,040°C และจุ่มลงในน้ำหรือทำให้เย็นตัวด้วยวิธีอื่นอย่างรวดเร็ว
4. แรงดึงที่น้อยที่สุดที่กำหนดคือ 4,570 kg/cm²
5. ใช้แผนภูมิของความค้นภายนอกสำหรับวัสดุในรูปแบบของบาร์สต็อกให้ใช้ได้สำหรับแหวนเสริมความแข็งแรงเท่านั้น

ภาพที่ 54 คุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม P – No.8 Group No. 1

ที่มา : ตระการ (2540)

เมื่อดูความหนาที่ได้จากการคำนวณทั้งการคำนวณภายใต้ความดันภายนอกและภายใน จะเห็นว่าความหนาที่ได้จากการคำนวณภายใต้แรงดันภายนอกมีค่ามากที่สุด คือ 3 มิลลิเมตร มาใช้ในการออกแบบโดยให้ส่วนถังทั้ง 3 ส่วนมีความหนาอย่างต่ำ 3 มิลลิเมตร

นำค่าที่ได้มาบวกกับค่าเผื่อการกัดกร่อน อีก 2 มิลลิเมตร จึงได้ความหนาของเหล็ก 5 มิลลิเมตร แต่ในท้องตลาดไม่มีเหล็ก 316L ที่หนาขนาดดังกล่าวได้ โดยมีขนาดที่ใกล้เคียงอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร จึงใช้เหล็ก 316L ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ในการออกแบบถังปฏิกรณ์

3. คำนวณขนาดมอเตอร์ที่ใช้

วิวัฒน์ (2543) กล่าวว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังงานซึ่งต้องต้องใช้ในการกวน (คิดจากกำลังของมอเตอร์ที่ใช้) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของเหลวที่กวน ผลการสำรวจพบว่ามีการใช้งานที่สุดในช่วง 0.25 HP/m^3 แต่ในกรณีที่ทำปฏิกิริยาเคมีขณะกวนด้วย อัตราส่วนนี้ก็จะประมาณ 1 HP/m^3

จากน้ำหนักรวมของสารที่ทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 360 กก.
คิดความหนาแน่นของสารอยู่ที่ 1 ลิตร/กก.
จะได้ปริมาตรสารประมาณ (1 ลิตร/กก.) x 360 กก. = 360 ลิตร หรือ 0.36 m^3

เพราะฉะนั้นกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ = 0.36 m^3 x 1 HP/m^3

= 0.36 HP

= 0.27 kW

กำลังมอเตอร์ในท้องตลาดมีที่ 0.37 kW ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 0.37 kW มาใช้

4. คำนวณหาจำนวนขดคอยล์ความร้อน

ไขปาล์มสเตียรีน ความหนาแน่น ใช้ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C 0.8659 ก./มล. (Hui, 1996)

ความจุความร้อนจำเพาะ (Cp) จาก Hui (1996)

Cp (kcal/kg) = 0.47 + 0.00073 x T

= 0.47 + 0.00073 x 200

= 0.616 kcal/kg ^{0}C

แปลงให้เป็นหน่วย BTU/lb ^{0}F

= (0.616 kcal/kg. ^{0}C) x ((1 BTU/lb)/(0.252 kcal/kg))

x (1 ^{0}C/(5/9)^{0}F)

= 4.4 BTU/lb ^{0}F

น้ำหนักสารรวม กลีเซอรอลดิบ +ไขปาล์มสเตียรีน เท่ากับ 354 กก. (780.57 lb)

อุณหภูมิของสารเข้า 80 ^{0}C (176 ^{0}F)

อุณหภูมิที่ต้องการ 200 ^{0}C (392 ^{0}F)

ความร้อนที่ต้องเพิ่มให้กับสารละลาย = น้ำหนักสาร x ความจุความร้อนจำเพาะ x อุณหภูมิสารที่เพิ่มขึ้น

$= mCp \Delta T$

= (780.57) x (4.4 BTU/lb ^{0}F) x (392-176) ^{0}F

= 741,853.73 BTU

ต้องการให้ร้อนขึ้นภายใน 30 นาที (0.5 hr.) = 741,853.73 BTU /0.5 hr

= 1,483,707.46 BTU /hr

น้ำมันถ่ายเทความร้อนสูง มี U = 225 BTU/ft^2 hr ^{0}F

ความต้องการให้อุณหภูมิของสารเริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียส สูงถึง 200 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 นาที

หาจำนวนของคอยล์ร้อนที่ต้องใช้ (มนตรี) จาก $\dot{Q} = UA (t_1 - t_2)$

โดยที่ $\dot{Q}$ คืออัตราความร้อนถ่ายเทออกจากคอยล์สู่ของเหลว (BTU /hr)

U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (BTU/ft^2 hr ^{0}F)

A คือพื้นที่ผิวคอยล์ด้านนอก (ft^2)

t_1 คืออุณหภูมิเฉลี่ยของ Hot oil ในคอยล์ (^{0}F) และสมมุติว่าคงที่ (572 ^{0}F)

t_2 คืออุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายหรือของเหลวในถังต้ม (^{0}F) และสมมุติว่าคงที่

t_2 = (392 + 176)/2

= 284 ^{0}F

แทนค่า

1,483,707.46 BTU /hr. = (225 BTU/ft^2 hr ^{0}F) x A x (572-284) ^{0}F

A = 22.90 ft^2

สมบัติของท่อที่จะใช้เป็นคอยล์ ใช้ขนาด 0.5 นิ้ว มี เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 21.7 mm (0.071176 ft)

เส้นรอบวงท่อ = (22/7) x 0.071194 ft

= 0.2238 ft

คอยล์ต้องออกแบบให้ยาว = 22.90 ft^2 / 0.2238 ft

= 102.33 ft

ในการออกแบบสามารถออกแบบให้คอยล์แต่ละเส้นยาวได้ 1,050 mm หรือ 3.444 ft

ดังนั้นต้องออกแบบคอยล์ให้มีจำนวน = 102.33 ft /3.444 ft

= 29.70 แถว

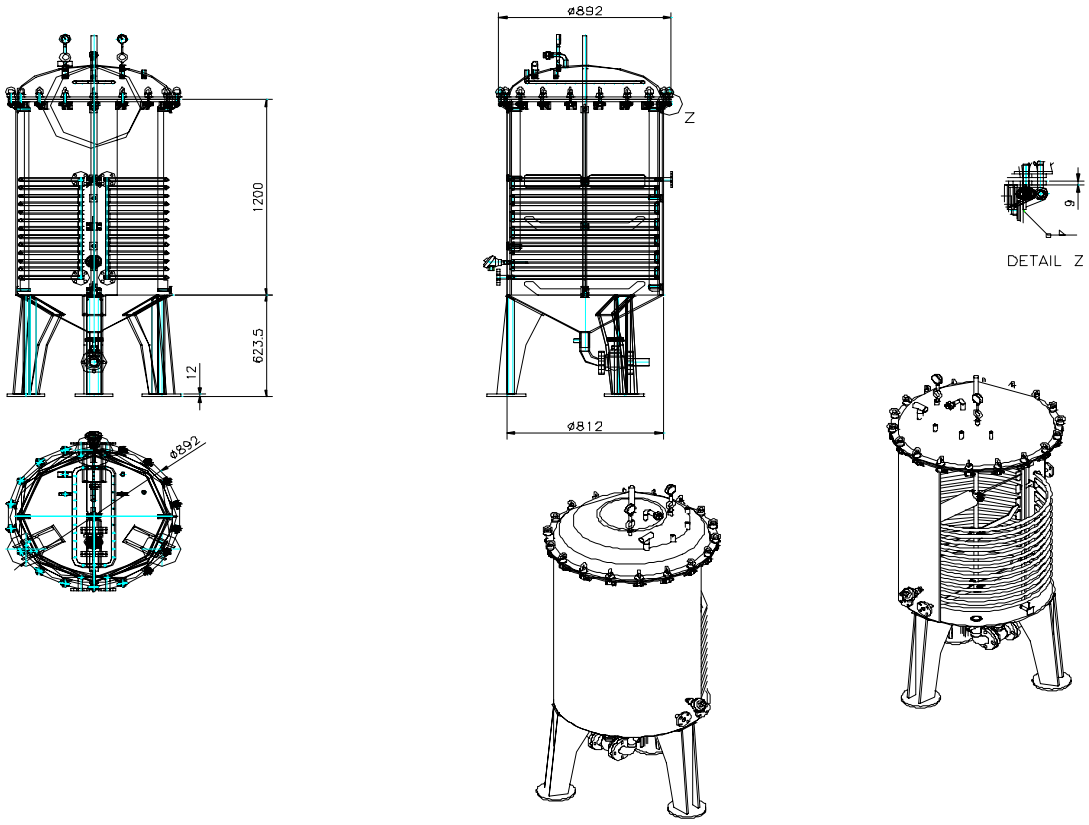
คิดประสิทธิภาพที่ 75 % จำนวนคอยล์ = 29.70 / 0.75

= 39.61 แถว

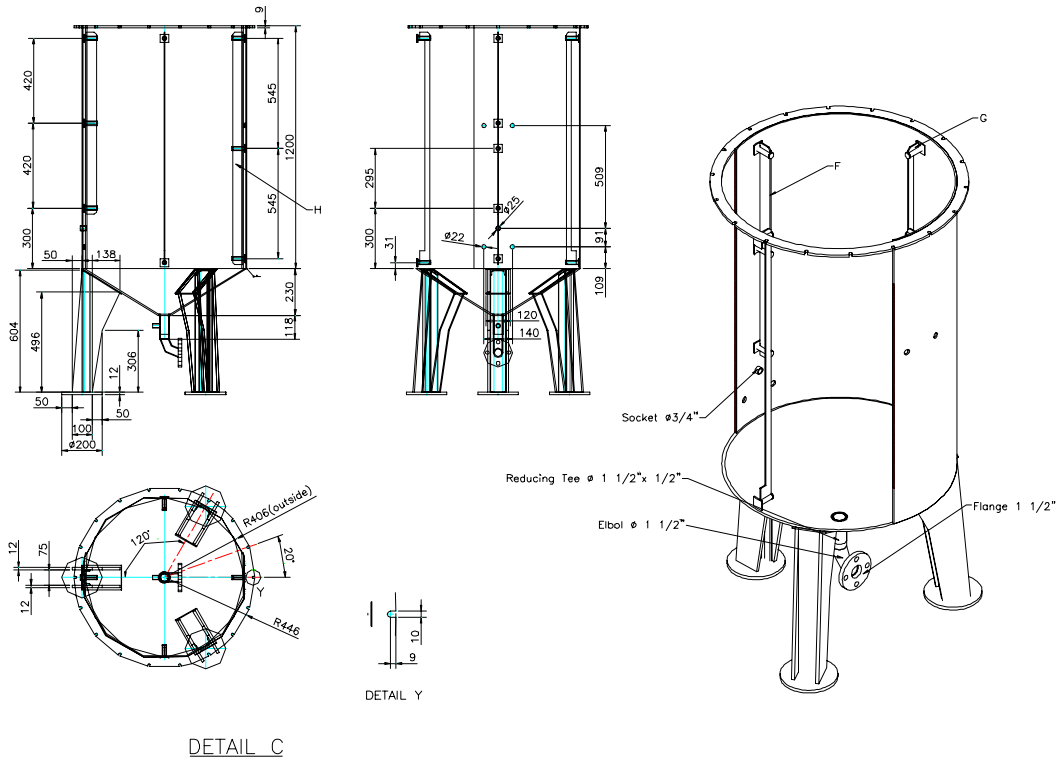
= 40 แถว

แต่เนื่องจากไม่สามารถออกแบบให้ใช้คอยล์ขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 40 แถว บรรจุในถังปฏิกรณ์ที่ได้ออกแบบได้ ได้ออกแบบให้มีขนาดสูงสุดได้ 26 แถว เมื่อคำนวณระยะเวลาที่จะใช้ในการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ต้องใช้ 1.8 ชม. หรือ 1 ชม. 46 นาที

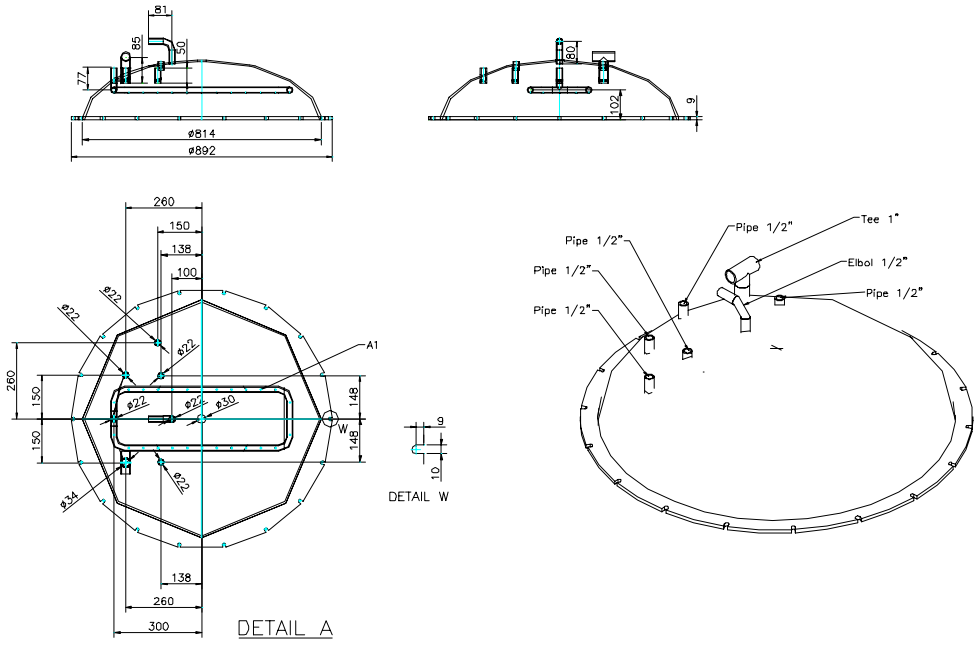
5. แบบปฏิกรณ์ที่ออกแบบ



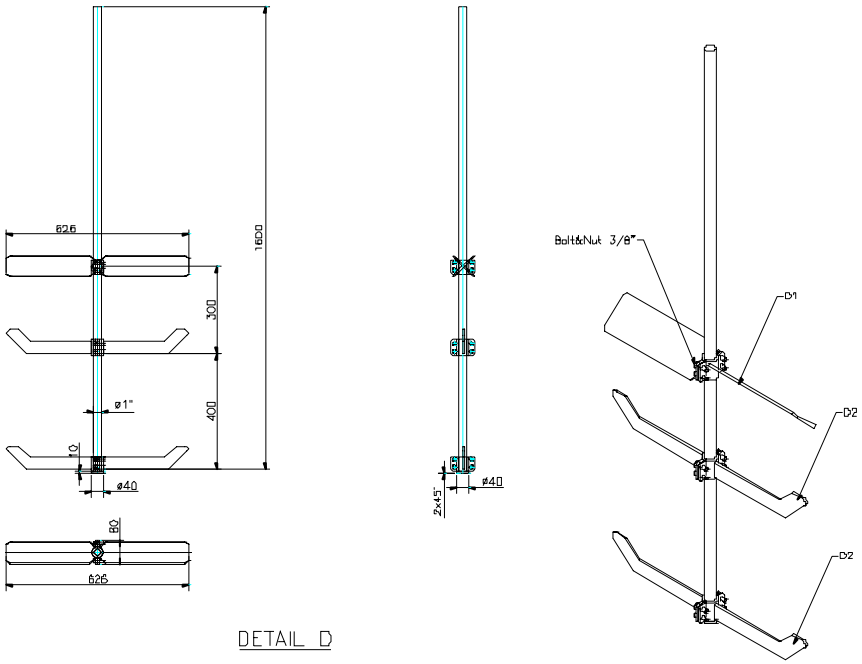
ภาพที่ 55 ลักษณะภาพรวมถังปฏิกรณ์



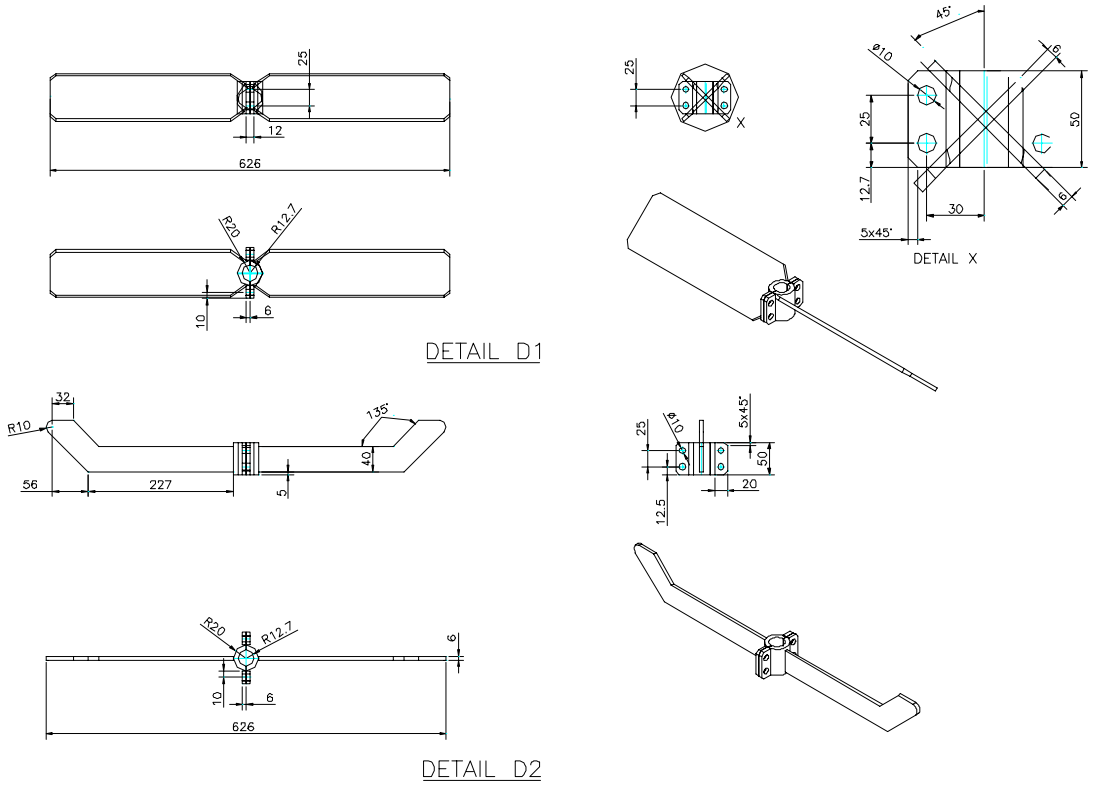
ภาพที่ 56 ขนาดของถังปฏิกรณ์



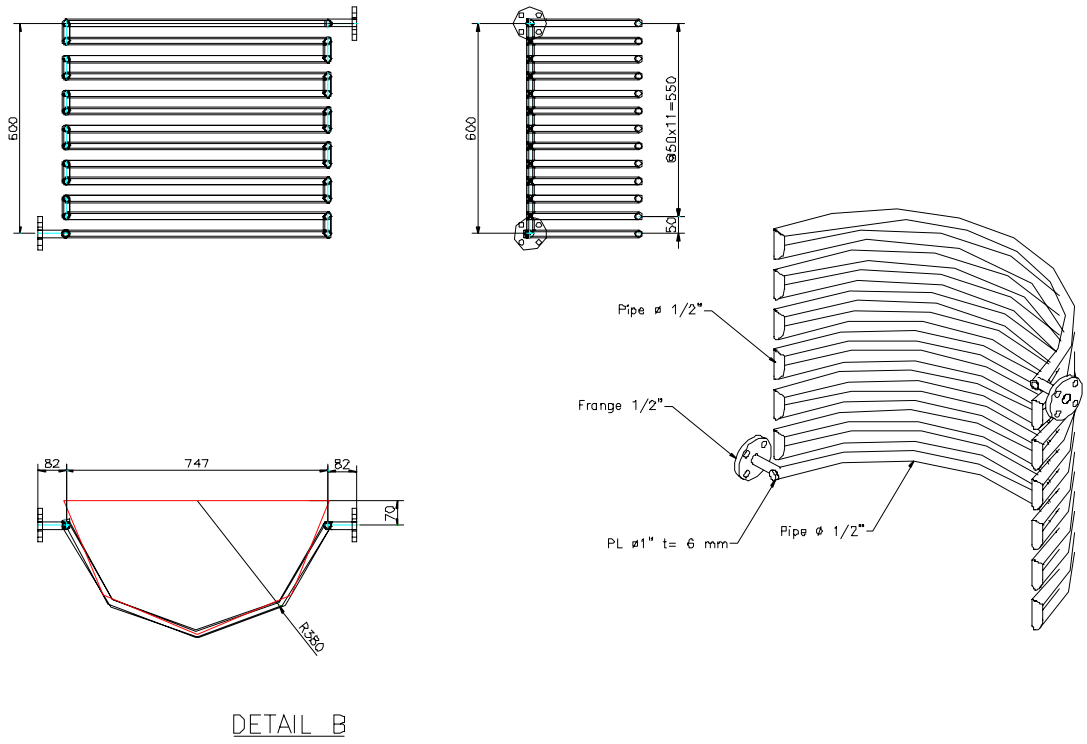
ภาพที่ 57 ขนาดของฝาถังปฏิกรณ์



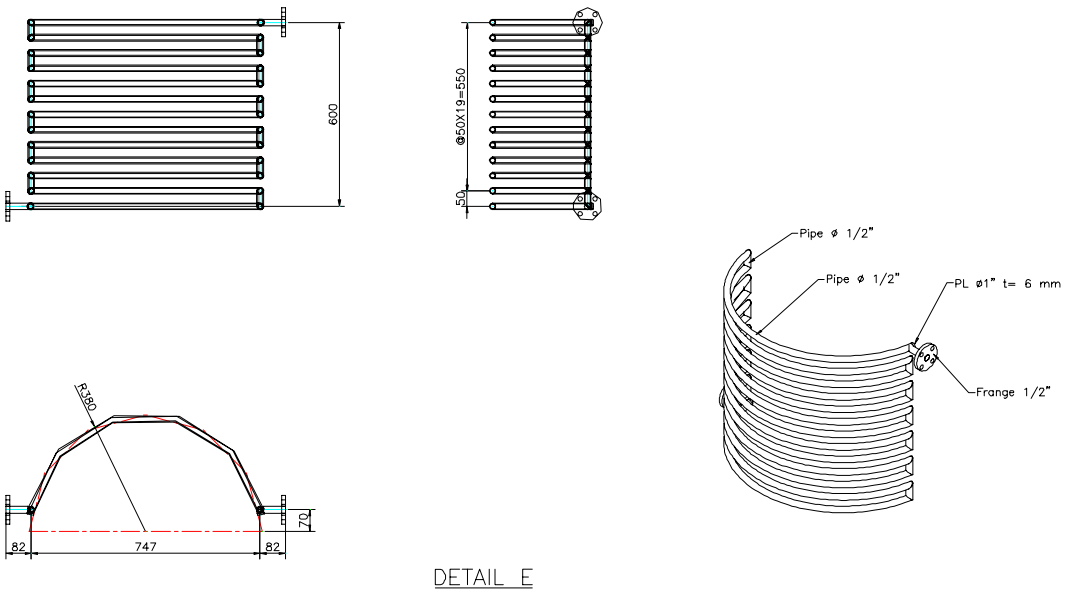
ภาพที่ 58 **ขนาดของใบพัด** 1



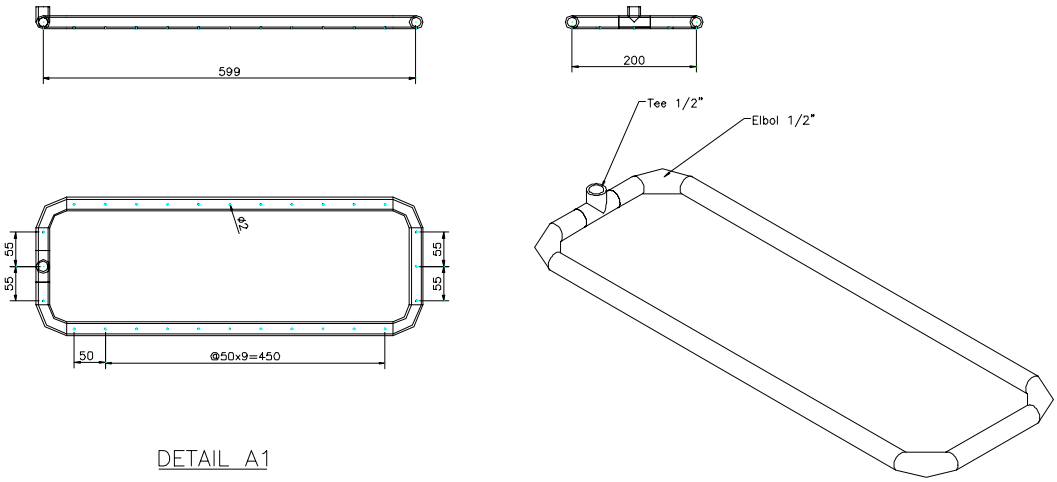
ภาพที่ 59 ขนาดของใบพัด 2



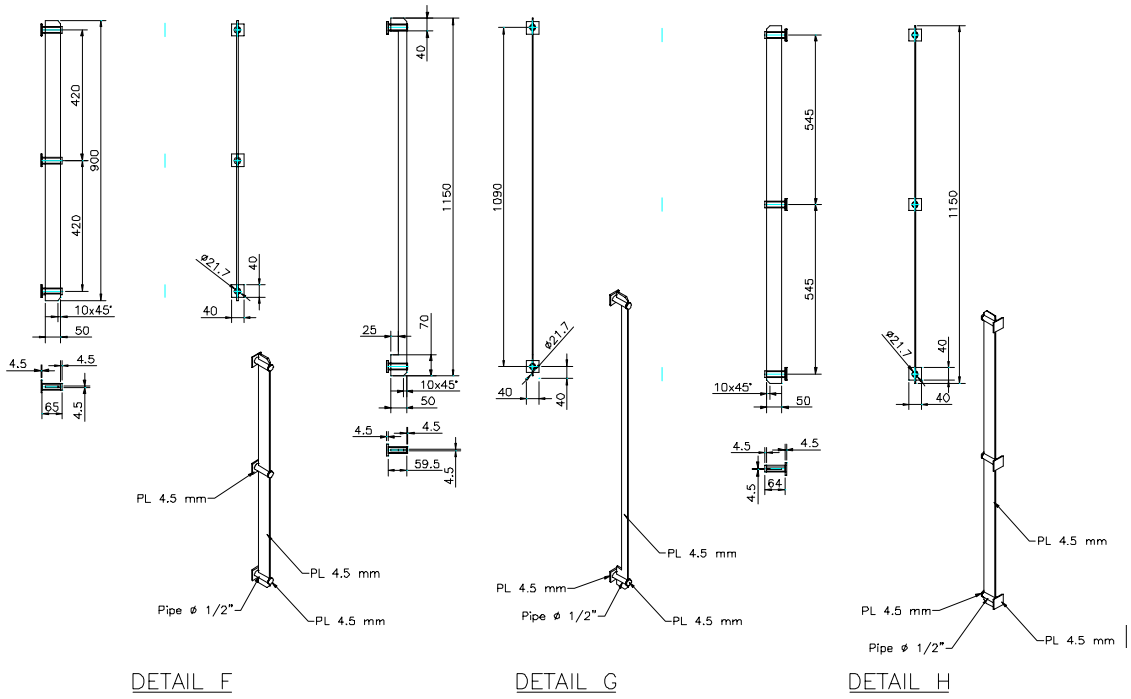
ภาพที่ 60 ขนาดของขดคอยล์ร้อน 1



ภาพที่ 61 ขนาดของขดคอยล์ร้อน 2



ภาพที่ 62 ขนาดของท่อน้ำล้าง



ภาพที่ 63 ขนาดของ Baffle