ส
QD
305
.A9
ภ169ด
2545

สำนักหอสมุด
26 พ.ย. 2546
4740028

บทที่ 5
การออกแบบและประมาณราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิตโดยละเอียด รวมถึงการประมาณราคาในการจัดซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิต สำหรับโรงงานต้นแบบที่ทำการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว ซึ่งการออกแบบจะเป็นไปตามข้อสรุปของเทคโนโลยีที่ได้เลือกใช้ในบทที่ 4 โดยการคำนวณมีหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ

จากโครงงานเรื่อง "การศึกษาความเป็นไปได้ในการตั้งโรงงานผลิตเอสเทอร์ในจังหวัดพิษณุโลก" ในปี พ.ศ. 2544 ได้เลือกปริมาณการผลิตเอสเทอร์เท่ากับ 500,000 ลิตรต่อวัน สำหรับโรงงานผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวซึ่งจะจัดสร้างในจังหวัดพิษณุโลก และเนื่องจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถคำนวณได้จากการออกแบบระบบการผลิตมีขนาดใหญ่มาก จึงเป็นไปได้ยากในการจัดสร้างโรงงานขึ้นจริง และเพื่อที่จะได้ทำการศึกษาในส่วนของระบบการผลิตจากโรงงานจริง ในโครงงาน "ออกแบบโรงงานผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว" จึงทำการออกแบบโรงงานให้เป็นโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวซึ่งจะมีขนาดเล็ก และศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการผลิตที่เลือกใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างโรงงานขนาดใหญ่ที่สามารถใช้ประกอบกิจการได้จริง โดยโรงงานต้นแบบนี้จะลดปริมาณการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวจากเดิม 500,000 ลิตรต่อวัน เหลือเป็น 500 ลิตรต่อวัน และใช้เป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนแล้วจะต้องใช้ส่วนผสมในการผลิต คือ

น้ำมันมะพร้าวปริมาณ	500	ลิตรต่อวัน
เอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ	125	ลิตรต่อวัน
โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)ปริมาณ	6.5	กิโลกรัมต่อวัน
น้ำปริมาณ	150	ลิตรต่อวัน
เพื่อจะให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น		
เอสเทอร์ปริมาณ	500	ลิตรต่อวัน
กลีเซอรีนปริมาณ	125	ลิตรต่อวัน

5.2 การออกแบบระบบการผลิต

กระบวนการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวที่เลือกใช้มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

- การเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบมี 3 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว เอทิลแอลกอฮอล์ และโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยเตรียมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- การทำปฏิกิริยา นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ผสมกันในถังกวนทำปฏิกิริยา ซึ่งจะทำปฏิกิริยาโดยการกวนผสมที่อุณหภูมิ 60°C ใช้เวลาในกระบวนการนี้ 2 ชั่วโมง

- การแยกครั้งที่ 1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาพักไว้ในถังแยก 12 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของเอสเทอร์และกลีเซอรีน

- การล้าง เป็นการนำเอสเทอร์ที่ได้จากการแยกซึ่งยังมีสารที่ตกค้างอยู่ นำมากำจัดสารที่ตกค้างออก โดยผสมน้ำ 30% โดยปริมาตรของเอสเทอร์กับเอสเทอร์ในถังล้าง ซึ่งมีการกวนเพื่อช่วยกระจายน้ำให้กำจัดสารที่ตกค้าง ใช้เวลา 2 ชั่วโมง

- การแยกครั้งที่ 2 เป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการล้างมาพักไว้ในถังแยก 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ เมื่อการแยกชั้นสมบูรณ์แล้วลำเลียงเอสเทอร์ไว้ในถังเก็บเอสเทอร์และนำน้ำที่ได้ไปบำบัดต่อไป

จากขั้นตอนการผลิตดังกล่าว สามารถออกแบบการจัดวางตำแหน่งของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิตได้ดังรูป 5.1 ซึ่งแบ่งหน่วยการผลิตออกเป็น

- หน่วยที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบประกอบไปด้วย ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว 1 ถัง โดยให้มีความจุเป็น 2 เท่าของความต้องการน้ำมันมะพร้าวใน 1 วันจะได้ขนาดเท่ากับ 1,000 ลิตร และถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เอทิลแอลกอฮอล์ผสมกับโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ถัง ขนาด 150 ลิตร เพื่อรอการลำเลียงไปยังถังกวนทำปฏิกิริยา

- หน่วยที่ 2 การทำปฏิกิริยา ประกอบด้วยถังกวนทำปฏิกิริยา 1 ถัง เนื่องจากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และอัตราการไหลของสารเข้าถังกวนทำปฏิกิริยาเท่ากับ 26.04 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ปริมาณสารภายในถังเท่ากับ 52.08 ลิตร จึงเลือกถังกวนทำปฏิกิริยาขนาด 100 ลิตร โดยเมื่อสารลำเลียงออกจากถังกวนทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยาก็จะสมบูรณ์พอดี เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปแบบต่อเนื่อง

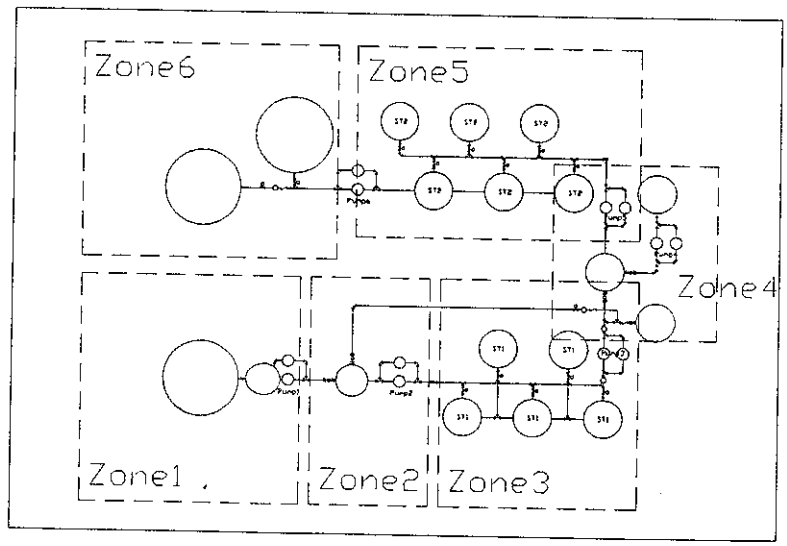
- หน่วยที่ 3 การแยกครั้งที่ 1 ประกอบด้วยถังแยกชั้น 5 ถัง เนื่องจากต้องพักส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไว้ 12 ชั่วโมง จึงออกแบบให้มีถังแยกชั้น 5 ถัง โดยแต่ละถังใช้เวลาในการลำเลียงส่วนผสมเข้าภายในถัง 4 ชั่วโมง อัตราการไหลเข้าเท่ากับ 26.04 ลิตรต่อชั่วโมง จะมีปริมาณ

สารภายในถังเท่ากับ 104.16 ลิตร จึงเลือกถังให้มีขนาด 150 ลิตร การลำเลียงสารออกจากถังแยกชั้นใช้เวลาถังละ 4 ชั่วโมง

- หน่วยที่ 4 การล้าง ประกอบด้วย ถังเก็บกลีเซอรีน ถังล้าง และถังเก็บน้ำอย่างละ 1 ถัง ผลิตภัณฑ์ที่ลำเลียงมาจากถังแยกมี 2 ชนิด คือ กลีเซอรีนกับเอสทอร์ ซึ่งกลีเซอรีนจะถูกลำเลียงไปยังถังเก็บกลีเซอรีนขนาด 200 ลิตร และเอสเทอร์จะถูกลำเลียงไปยังถังล้าง ซึ่งมีอัตราการไหลของสารเท่ากับ 20.83 ลิตรต่อชั่วโมง น้ำที่ใช้ในการล้างมีอัตราการไหลเท่ากับ 6.25 ลิตรต่อชั่วโมง การล้างใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะได้ปริมาณสารในถังล้างเท่ากับ 54.16 ลิตร จึงเลือกถังล้างขนาด 100 ลิตร โดยที่การทำงานเหมือนกับถังกวนทำปฏิกิริยา คือ เมื่อสารออกจากถังล้าง ปฏิกิริยาก็จะสมบูรณ์พอดี

- หน่วยที่ 5 การแยกครั้งที่ 2 ประกอบด้วยถังแยกชั้น 6 ถัง การแยกครั้งที่ 2 ต้องพักส่วนผสมที่ได้จากการล้างไว้ 24 ชั่วโมง จึงออกแบบให้มีถังแยกชั้น 6 ถัง โดยแต่ละถังใช้เวลาในการลำเลียงส่วนผสมเข้าภายในถัง 6 ชั่วโมง อัตราการไหลเข้าเท่ากับ 27.08 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ปริมาณสารภายในถังเท่ากับ 162.48 ลิตร จึงเลือกขนาดถัง 200 ลิตร การลำเลียงเอสเทอร์กับน้ำออกจากถังแยกชั้นใช้เวลาถังละ 6 ชั่วโมง

- หน่วยที่ 6 การเก็บผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยถังเก็บเอสเทอร์และถังเก็บน้ำอย่างละ 1 ถัง โดยให้ถังเก็บเอสเทอร์มีความจุเป็น 2 เท่าของปริมาณเอสเทอร์ที่ผลิตได้แต่ละวัน และถังเก็บน้ำมีความจุเป็น 6 เท่าของปริมาณน้ำที่ได้จากการผลิตแต่ละวัน จึงได้ขนาดถังเก็บเอสเทอร์และถังเก็บน้ำเท่ากับ 1,000 ลิตรทั้ง 2 ถัง



รูป 5.1 ผังการวางตำแหน่งเครื่องจักรและอุปกรณ์

จากการออกแบบระบบการผลิต สามารถแบ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิต ที่จะต้องทำการออกแบบเป็น 3 ประเภทดังนี้

- เครื่องปฏิกรณ์ , ถังเก็บ
- ระบบปั๊มและท่อ
- ระบบควบคุม

5.3 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ , ถังเก็บ

เครื่องปฏิกรณ์ คือ เครื่องที่มีการรบกวนสารภายในถัง ส่วนถังเก็บจะเป็นถังเก็บสารโดยปกติ ซึ่งในระบบการผลิตได้ทำการออกแบบตามเทคโนโลยีการผลิตที่เลือกใช้ โดยใช้ปริมาณความต้องการเอสเทอร์ในการผลิต 500 ลิตร/วัน และให้ระบบเป็นการทำงานต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ในการคำนวณขนาดและจำนวนถัง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ชนิด ขนาดและจำนวนของถัง

ชนิด	ชื่อถัง	ขนาดถัง			จำนวน
		ความจุ (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความสูง (mm)	
เครื่องปฏิกรณ์	ถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา	150	500	800	1
	ถังกวนทำปฏิกิริยา	100	420	600	1
	ถังล้าง	100	420	600	1
ถังเก็บ	ถังแยกชั้น 1	150	600	550	5
	ถังแยกชั้น 2	200	600	720	6
	ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว	1,000	1,200	1,000	1
	ถังเก็บน้ำ	200	600	720	1
	ถังเก็บกลีเซอรีน	200	600	720	1
	ถังเก็บเอสเทอร์	1,000	1,200	1,000	1
	ถังเก็บน้ำ	1,000	1,200	1,000	1

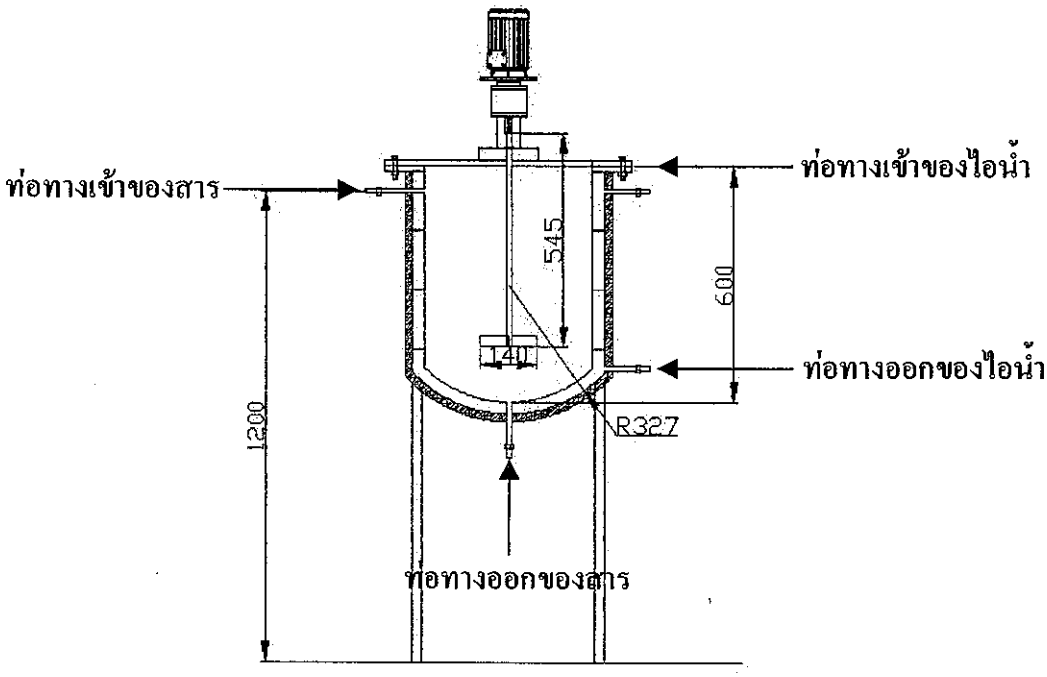
หมายเหตุ : แบบและรายละเอียดของถังทั้งหมดอยู่ใน ภาคผนวก ข.

5.3.1 การออกแบบและการคำนวณต่างๆของถังแต่ละชนิด

การออกแบบและการคำนวณในส่วนของถังจะประกอบไปด้วย การออกแบบรูปร่างและขนาดของถัง คำนวณความหนาและเลือกวัสดุที่ใช้ทำถัง และออกแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนทำปฏิกิริยา โดยขนาดของถังที่ออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 ส่วนรูปร่างถังของแต่ละแบบจะแสดงในการคำนวณดังต่อไปนี้

5.3.1.1 ถังกวนทำปฏิกิริยา

ออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอก ก้นถังมีลักษณะโค้ง มี 2 ชั้น ชั้นในจะมีใบกวนซึ่งขับโดยใช้กำลังของมอเตอร์ซึ่งจะอยู่ด้านบนของถัง และชั้นนอกเป็นชั้นของการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยท่อทางเข้าของไอน้ำจะอยู่ด้านบนและจะแบ่งออกเป็น 4 ชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีแผ่นกั้นระหว่างชั้น ที่ปลายแผ่นกั้นจะเจาะช่องเพื่อให้ไอน้ำไหลผ่านไปได้และจะไหลวนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เพื่อให้มีอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาที่ต้องการ คือ 60°C และท่อทางเข้าของสารอยู่ด้านบน ส่วนท่อทางออกของสารจะอยู่ที่ก้นถังแสดงได้ดังรูป 5.2



รูป 5.2 ถังกวนทำปฏิกิริยา

- การคำนวณความหนา

ถังกวนทำปฏิกิริยาจะมีสารบรรจุอยู่ในถัง 52.08 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 420 mm เลือกใช้วัสดุเป็นสเตนเลส SUS 304ในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและจะไม่เกิดเป็นสนิม จากตารางภาคผนวก ก.1 จะได้ค่าคุณสมบัติต่างๆดังนี้

ความทนแรงดึงที่จุดล้า $\sigma_y = 250 \ N/mm^2$

ความทนแรงดึง $\sigma_u = 450 \ N/mm^2$

ขีดจำกัดความทนทาน $\sigma'_n = 0.5\sigma_u = 225 \ N/mm^2$ (5.1)

สมมติว่าความหนาของผนังไม่เกิน 8 mm. จะได้ค่า

ตัวประกอบผิว $k_a = 0.68$ ตัวประกอบขนาด $k_b = 1$ และตัวประกอบแรง $k_c = 0.80$

(ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 ศ.ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และรศ. ชาญ ถนัดงาน)

ความต้านแรงทนทาน $\sigma_n = k_a k_b k_c \sigma'_n = 122.4 \ N/mm^2$ (5.2)

ถังจะทำงานที่ความดันเปลี่ยนจาก

ความดันสูงสุด $P_{max} = (\rho gh) + P_{atm} = 0.10456 \ MPa$ (5.3)

ความดันต่ำสุด $P_{min} = 0.1013 \ MPa$

โดยที่ P = ความดัน (MPa)

g = แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

h = ความสูงของระดับน้ำในถัง (m)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

ความดันเฉลี่ย $P_m = \frac{P_{max} + P_{min}}{2} = 0.10293 \ MPa$ (5.4)

ความดันส่วนเปลี่ยน $P_a = \frac{P_{max} - P_{min}}{2} = 0.00163 \ MPa$ (5.5)

ความเค้นเฉลี่ย $\sigma_m = \frac{P_m R}{t}$ (5.6)

$$= \frac{21.615}{t} \text{ N/mm}^2$$

ความเค้นส่วนเปลี่ยน $\sigma_a = \frac{P_a R}{2t}$ (5.7)

$$= \frac{0.172}{t} \text{ N/mm}^2$$

โดยที่ P = ความดัน (MPa)

R = รัศมีของถัง (mm)

t = ความหนาถัง (mm)

สมมติว่าไม่มีความเค้นหนาแน่นจะได้ $k_f = 1$ และให้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4

สมการในการคำนวณ

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \quad (5.8)$$

N = ค่าความปลอดภัย

แทนค่า 1/4 = (21.615 /250t) + (0.1712 / 122.4t)

t = 0.3514 mm

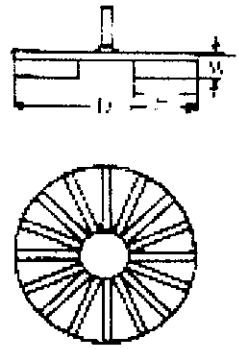
สามารถคำนวณความหนาที่ต้องการของถังกวนทำปฏิกิริยาได้เท่ากับ 0.3541 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังกวนทำปฏิริยาเท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

- การคำนวณกำลังมอเตอร์ของถังกวนทำปฏิกิริยาและขนาดของใบกวน

การทำปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตเอสเทอร์นั้นจะต้องอาศัยการกวน เพื่อผสมสารตั้งต้นต่างๆ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบถังกวนทำปฏิกิริยาให้ภายในมีใบกวนที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ในการขับ โดยความเร็วรอบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยานั้นจะมีค่าประมาณ 70 rpm โดยสามารถคำนวณส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- การคำนวณขนาดของใบกวน

เลือกใช้สแตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำใบกวนเพราะทนต่อการกัดกร่อนของสารที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและการเกิดสนิม ซึ่งรูปร่างลักษณะของใบกวนที่เลือกใช้เป็นใบกวนชนิดกังหันแบบมาตรฐาน หรือแบบมีแผ่นกลมปิดด้านบน ชนิด 6 ใบ แสดงได้ดังรูป 5.3 และขนาดของใบกวนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ตามรูป 5.3 และตารางที่ 5.2 ดังนี้



รูป 5.3 ลักษณะของใบกวนและความสัมพันธ์ของขนาดใบกวน
(ที่มา : คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี,สำนักพิมพ์ไทย-ญี่ปุ่น)

ตารางที่ 5.2 ขนาดมาตรฐานของใบกวน

ชนิดของใบกวน	D_t/D_i	H_l/D_i	H_i/D_i	แผ่นกั้น		หมายเลขเส้นโค้ง
				จำนวนแผ่น	W_b/D_t	
กังหันแบบมาตรฐานหรือแบบมีแผ่นกลมปิดด้านบนชนิด 6 ใบ $L_i/D_i = 0.25$ $W_i/D_i = 0.2$	3	3	1	4	0.10	1
กังหันแบบมีแผ่นกลมปิดด้านบนชนิด 16 ใบ $L_i/D_i = 0.35$ $W_i/D_i = 0.1$	2.3	2.5	0.75	4	0.11	2
ใบกวนแบบใบพาย ,$W_i/D_i = 0.25$	3	3	1	4	0.10	3
ใบกวนแบบใบพาย, $W_i/D_i = 0.25$	3	3.2	0.33	0	-	4
ใบกวนแบบใบพัดโดยมีพิทช์ = D_i	3	3	1	4	0.10	5

(ที่มา : คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี,สำนักพิมพ์ไทย-ญี่ปุ่น

จากรูป 5.3 และตารางที่ 5.2 จะได้ความสัมพันธ์ของขนาดใบกวนดังนี้

$$D_t/D_i = 3$$

$$L_i/D_i = 0.25$$

$$W_i/D_i = 0.2$$

โดยที่

D_t = เส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน (mm)

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

L_i = ความยาวของใบกวน (mm)

W_i = ความสูงของใบกวน (mm)

จากความสัมพันธ์ที่ได้นี้สามารถคำนวณหาขนาดของใบกวนได้ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D_i) เท่ากับ 140 mm

ความยาวของใบกวน (L_i) เท่ากับ 35 mm

ความสูงของใบกวน (W_i) เท่ากับ 28 mm

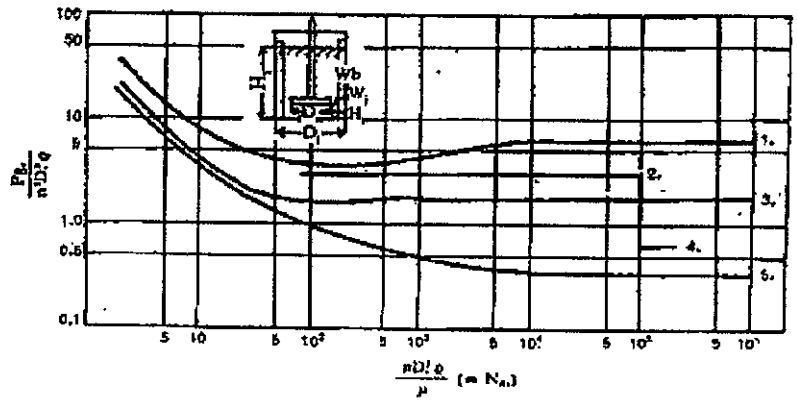
- การคำนวณกำลังมอเตอร์

กำลังของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P = \frac{\rho n^3 D_i^3 N_p}{g} \qquad (5.9)$$

กำลังของมอเตอร์ที่ได้จากสูตรนี้จะคิดที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 100%

และจากการเลือกลักษณะของใบกวนจะมีความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาเลือกเส้นโค้งที่ 1 ได้จากรูป 5.4



รูป 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_p และ N_{Re}

(ที่มา : คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี,สำนักพิมพ์ไทย-ญี่ปุ่น)

จากรูป 5.4 จะได้ความสัมพันธ์ในการหากำลังของมอเตอร์โดย N_p มีความสัมพันธ์กับค่า N_{Re} ดังนี้

$$N_P = 4$$

$$N_{Re} = \frac{nD_i^2\rho}{\mu}$$

โดยที่

μ = ความหนืดเฉลี่ยของสารทั้ง 2
= 0.01 kg/m-s

n = ความเร็วรอบ
= 70 rpm

g = แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

จากตารางที่ 5.2 จะได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$D_t/D_i = 3$

$H_l/D_i = 3$

$H_i/D_i = 1$

โดยที่

D_t = เส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน (mm)

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

H_l = ความสูงของสารภายในถัง (mm)

H_i = ความสูงของสารจากก้นถังถึงใบกวน (mm)

จะได้ความสูงของใบกวนจากก้นถัง (H_i) เท่ากับ 47 mm

แต่ในกรณีที่สัดส่วนต่างๆ ของความสัมพันธ์แตกต่างจากที่แสดงในตารางที่ 5.2 จะมีการชดเชยความคลาดเคลื่อนโดยอาศัยสูตรต่อไปนี้

$$f_c = \sqrt{\frac{(Dt/Di)*(Hl/Di)*}{(Dt/Di)(Hl/Di)}}$$

โดยที่ตัวแปรที่มีเครื่องหมาย * จะเป็นขนาดอัตราส่วนของถังกวนที่กำลังคำนวณและตัวแปรที่ไม่มีเครื่องหมายนี้จะเป็นอัตราส่วนของเส้นโค้งในรูป 5.4 ดังนั้นกรณีนี้จะสามารถหากำลังของมอเตอร์ได้ดังนี้

$$P^* = P \times f_c$$

โดยที่

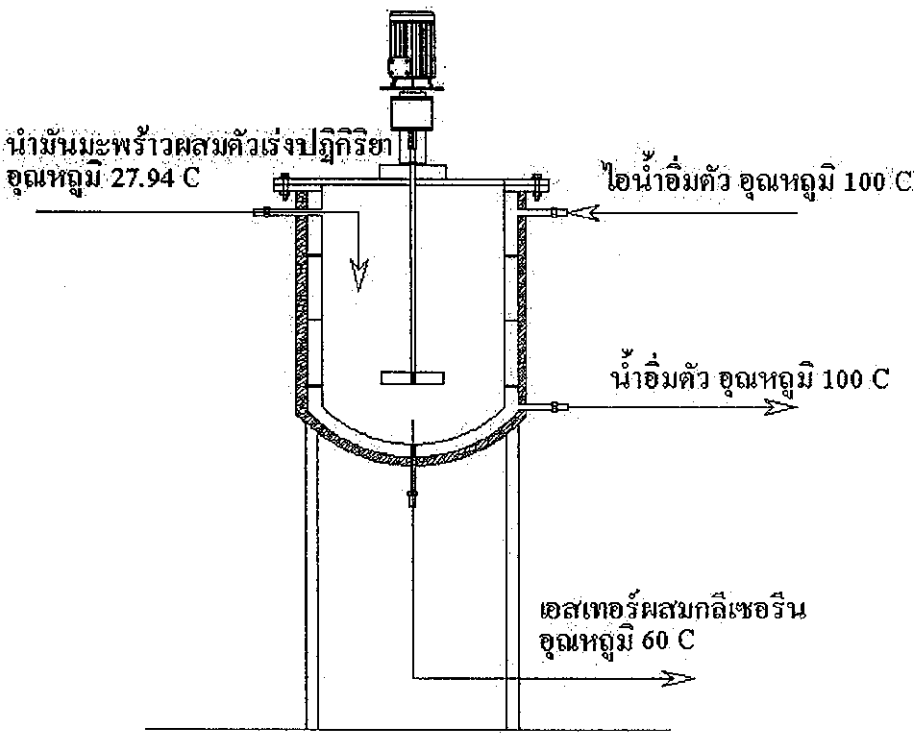
P^* = กำลังมอเตอร์ที่ทำการชดเชยแล้ว

P = กำลังมอเตอร์ที่ทำการคำนวณได้ตามสมการที่ 5.9

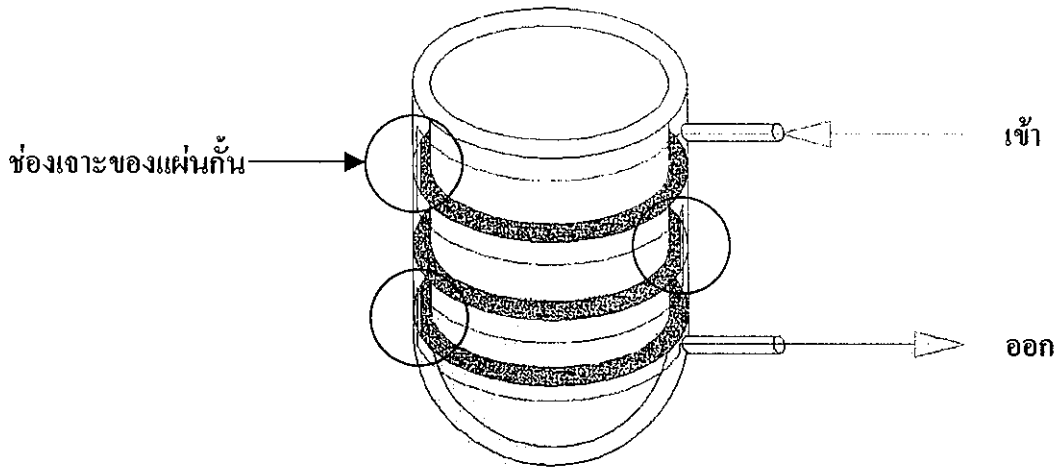
จากสูตรที่ 5.9 และค่าต่างๆ ดังกล่าวสามารถคำนวณได้กำลังมอเตอร์ของถังกวนเท่ากับ 7.83×10^{-4} hp แต่จากการสำรวจราคาในท้องตลาด พบว่าขนาดที่เล็กที่สุดของมอเตอร์ที่มีการวางจำหน่ายเท่ากับ 0.5 hp ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาด 0.5 hp เป็นต้นกำลังในการกวนผสมสารในถังกวนทำปฏิกิริยา

- การคำนวณอัตราความร้อนที่ใช้อุ่นขณะทำปฏิกิริยาในถังกวนทำปฏิกิริยา

เนื่องจากกระบวนการผลิตเอสเทอร์ที่เลือกใช้ ต้องการอุณหภูมิในขณะทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 °C จึงออกแบบให้ถังกวนมีการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยไอน้ำอิ่มตัวอุณหภูมิ 100 °C ดังรูป 5.5



รูป 5.5 การให้ความร้อนแก่ถังกวนทำปฏิกิริยา



รูป 5.6 เส้นทางการไหลของไอน้ำรอบถังกวนทำปฏิกิริยา

จากตารางที่ 5.3 จะได้ความหนาแน่นของน้ำมันมะพร้าวและแอลกอฮอล์เท่ากับ 900 และ 790 kg/m^3 ตามลำดับ

จะได้อัตราการไหลของสารเข้าถังกวนเท่ากับ 1.805×10^{-2} kg/s

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศจังหวัดพิษณุโลก ได้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดพิษณุโลกเท่ากับ 27.94 °C

คำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องให้กับถังกวน

โดยสูตร

$$Q = m C_p \Delta T \qquad (5.10)$$

โดยที่

Q = อัตราความร้อนที่ต้องการ (kJ/s)

m = อัตราการไหลของสารเข้าถังกวน(kg/s)

Cp = ค่าความจุความร้อนของน้ำมันมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 27.94 °C (kJ/kg-K)

ΔT = ค่าความต่างอุณหภูมิของสารที่ทางเข้าและทางออก

จะได้ปริมาณความร้อนที่ต้องให้แก่ถังกวนเท่ากับ 2,639.65 kJ/hr.

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความหนาแน่น

ชนิดของสาร	ความหนืด kg/m-s	ความหนาแน่น kg/m^3
น้ำมันมะพร้าว	0.01	900.0
แอลกอฮอล์	0.01	790.0
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.01	2,100.0
กลีเซอรีน	0.01	1,198.3
เอสเทอร์	0.001	880.7

ที่มา : http//www.newuwes.org/EG/EG-15/badger.html

ตารางที่ 5.4 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันมะพร้าว

อุณหภูมิ °C	Cp KJ/kg-K
20	1.880
40	1.964
60	2.047

ที่มา : Heat Transfer A Basic Approach, M.Necati O ZI SIK,p.740

- การคำนวณปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ในการอุ่นน้ำมันมะพร้าว

ออกแบบให้ใช้ไอน้ำเพื่อให้ความร้อนแก่ระบบ โดยใช้ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor) อุณหภูมิ 100 °C ที่ทางเข้า และเป็นน้ำอิ่มตัว (Saturated Liquid) อุณหภูมิ 100 °C ที่ทางออก และไม่มีการสูญเสียความร้อนแก่สิ่งแวดล้อม

คำนวณโดยใช้สูตร

$$ {}_1Q_2 = m(h_2-h_1) \qquad (5.11) $$

โดยที่

${}_1Q_2$ = อัตราความร้อนที่ต้องการ (kJ/s)

m = อัตราการไหลของไอน้ำ (kg/s)

h_1 = เอนทาลปีของ Saturated Liquid ที่ทางออก (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีของ Saturated Vaporที่ทางเข้า(kJ/kg)

จากตารางภาคผนวก ก.2 จะได้ค่า

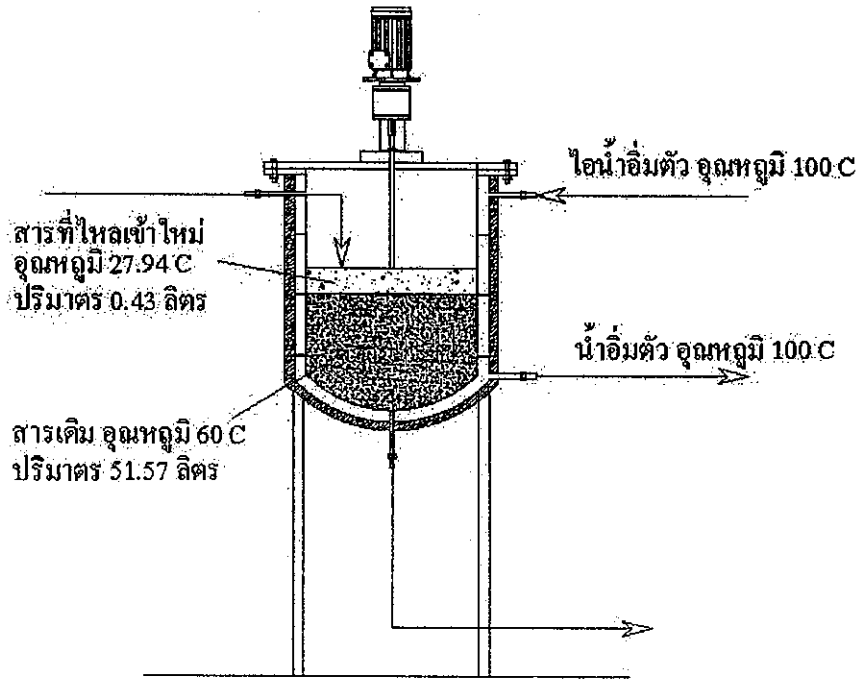
h_f ที่ 100 °C = 419.02 kJ/kg

h_g ที่ 100 °C = 2,676.05 kJ/kg

ซึ่งจะได้ปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้เท่ากับ 0.67 kg/hr.

- การคำนวณการแกว่งของอุณหภูมิของสารภายในถังกวนทำปฏิกิริยา

เนื่องจากระบบของถังกวนเป็นระบบต่อเนื่อง ให้สารที่อยู่ในถังก่อนแล้วมีอุณหภูมิ 60 °C และกำหนดให้ค่า Cp และ ρ ของสารคงที่ เมื่อคิดอัตราการเปลี่ยนแปลงใน 1 นาที อัตราการไหลของสารที่เข้าและออกจากถังกวนคงที่ ฉะนั้นจะได้ปริมาณสารเข้าใหม่เท่ากับ 0.43 ลิตร อุณหภูมิ 27.94 °C และปริมาณสารเดิมเท่ากับ 51.57 ลิตร อุณหภูมิ 60 °C แสดงได้ดังรูป 5.7



รูป 5.7 การไหลเข้าของสารในเวลา 1 นาที

จากสมการ 5.10

$$Q = mC_p\Delta T$$

โดยที่ Q = อัตราความร้อนที่ต้องการ (kJ/s)

m = อัตราการไหลของสารเข้าถังกวน(kg/s)

Cp = ค่าความจุความร้อนของน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ 27.94 °C (kJ/kg-K)

ΔT = ค่าความต่างอุณหภูมิของสารที่ทางเข้าและทางออก

จากความสัมพันธ์ของรูป 5.7 จะได้

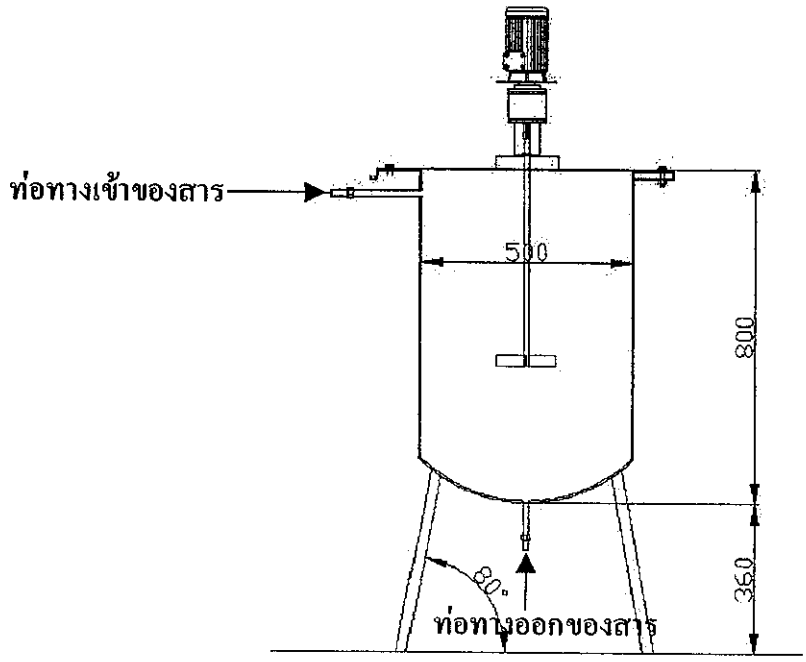
$$Q_{รวม} = Q_{เดิม} + Q_{ใหม่}$$

จากสมการ 5.10 จะได้อุณหภูมิของสารที่ผสมแล้ว เท่ากับ 59.73 °C

เมื่อคิดอัตราการเปลี่ยนแปลงในเวลา 3 นาทีและ 5 นาทีจะมีอุณหภูมิ 59.2 °C และ 58.66 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแกว่งของอุณหภูมิมีน้อยมากเพราะฉะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการอุ่นสารก่อนทำปฏิกิริยา

5.3.1.2 ถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา

ออกแบบให้ถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะคล้ายกับถังกวนทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นทรงกระบอก ก้นถังมีลักษณะโค้งแต่จะมีแค่ชั้นเดียว ซึ่งภายในมีใบกวนซึ่งขับโดยใช้กำลังของมอเตอร์ และท่อทางเข้าจะอยู่ด้านบน ส่วนท่อทางออกของสารอยู่ที่ก้นถังซึ่งแสดงได้ดังรูป 5.8



รูป 5.8 ถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา

- การคำนวณความหนา

ความหนาของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาตร 125 ลิตรโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม การคำนวณความหนาของถังตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะใช้ สมการที่ 5.1 – 5.7 ในการคำนวณโดยที่การคำนวณจะเหมือนกับการคำนวณความหนาของถังกวนทำปฏิกิริยา จะมีค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	$(790 \times 9.81 \times 0.6366 \times 10^{-6}) + 0.1013$	
		=	0.10623	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1037	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.0025	MPa

จากค่าที่ได้นี้สามารถนำมาแทนค่าในสมการที่ 5.8 คำนวณได้ความหนาถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.4352 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังกวนตัวเร่งปฏิริยาเท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

- การคำนวณกำลังมอเตอร์และขนาดของใบกวนของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา

ในถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยานั้นต้องมีการผสมกันระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์ที่สถานะของเหลวกับโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกวนผสมระหว่างสารทั้งสอง เพื่อช่วยให้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ได้ดียิ่งขึ้น โดยการกวนผสมนั้นใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 70 rpm และเลือกใช้ใบกวนและวัสดุที่ใช้ทำชนิดเดียวกันกับถังกวนทำปฏิกิริยา

โดยคำนวณด้วยสมการที่ 5.9 เหมือนกับการคำนวณกำลังมอเตอร์ของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางถัง (D_t)	=	500	mm
ความเร็วรอบที่ใช้ , n	=	70	rpm
ความจุสารภายในถัง	=	125	ลิตร
ความหนาแน่นของสาร	=	790	kg/m^3

จากค่าที่ทราบสามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้

N_{Re} = 2570.43

N_P = 4

และได้ขนาดของใบกวนของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D_i) เท่ากับ 167mm

ความยาวของใบกวน (L_s) เท่ากับ 42 mm

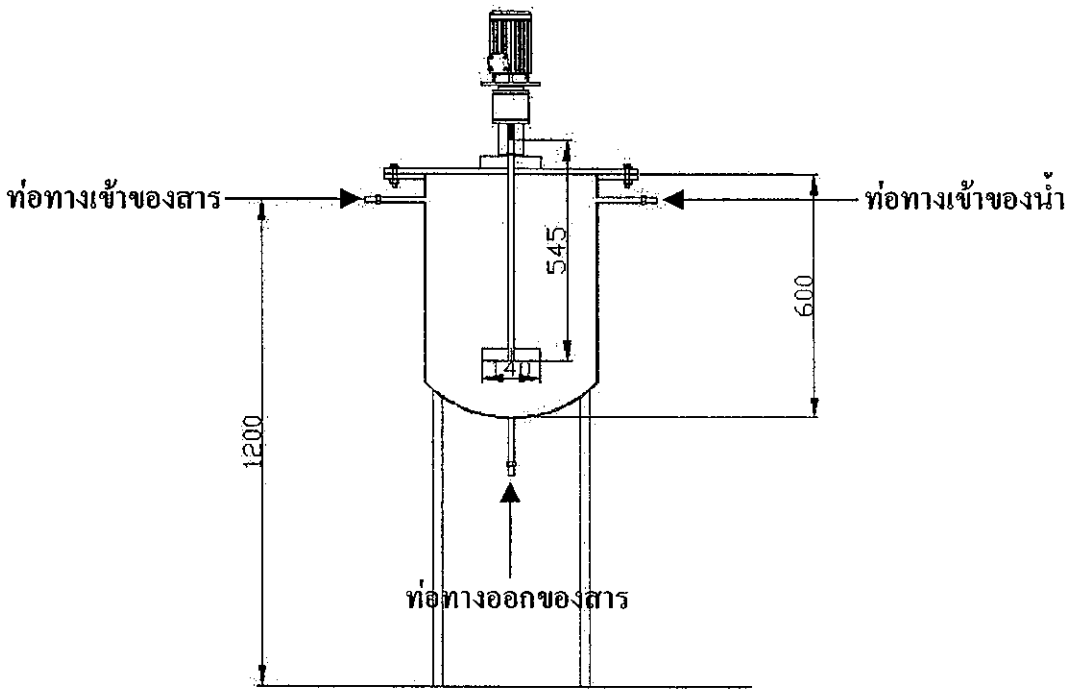
ความสูงของใบกวน (W_i) เท่ากับ 34 mm

ความสูงจากก้นถังถึงใบกวน(H_i) เท่ากับ57mm

จากค่าความสัมพันธ์ต่างๆ สามารถคำนวณได้กำลังมอเตอร์ของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 8.6784×10^{-4} hp แต่ขนาดเล็กที่สุดของมอเตอร์มีขนาด 0.5 hp จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 เป็นต้นกำลังในการขับใบกวนของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา

5.3.1.3 ถังล้าง

มีลักษณะคล้ายกับถังกวนทำปฏิกิริยาและถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นทรงกระบอกก้นถังมีลักษณะโค้ง ภายในมีใบกวนกวนซึ่งขับโดยใช้กำลังของมอเตอร์ กวนให้น้ำทำการล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งท่อทางเข้าของสารจะมี 2 ชนิดคือท่อทางเข้าของผลิตภัณฑ์และท่อทางเข้าของน้ำที่จะทำการล้างซึ่งจะอยู่ด้านบน และท่อทางออกของสารอยู่ที่ก้นแสดงได้ดังรูป 5.9



รูป 5.9 ถังล้าง

- การคำนวณความหนา

ความหนาของถังล้างที่มีปริมาตร 100 ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม และสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 โดยที่การคำนวณจะเหมือนกับการคำนวณความหนาของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่มีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.10302	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.10216	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.00086	Mpa

จากค่าที่ได้มานี้นำมาคำนวณหาความหนาถังด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังล้างเท่ากับ 0.4988 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังล้างเท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

- การคำนวณกำลังมอเตอร์และขนาดใบกวนของถังล้าง

ภายในถังล้างนั้นต้องมีการกวนผสมกันระหว่างเอสเทอร์กับน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกวนผสมระหว่างสารทั้งสอง เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างโมเลกุลของเอสเทอร์ และน้ำให้มากยิ่งขึ้นเพื่อกำจัดสารที่ตกค้างออกไป

โดยคำนวณด้วยสมการ 5.9 เหมือนกับการคำนวณกำลังมอเตอร์ของถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางถัง	D_t	=	300	mm
ความเร็วรอบที่ใช้	n	=	70	rpm
ความจุสารภายในถัง		=	54.6	ลิตร
ความหนาแน่นของสาร		=	908.23	kg/m^3

จากค่าคงที่สามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้

N_{Re} = 2076.81

N_P = 4

ได้ขนาดของใบกวนของถังล้างดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน(D_i) เท่ากับ 140 mm

ความยาวของใบกวน(L_i) เท่ากับ 35 mm

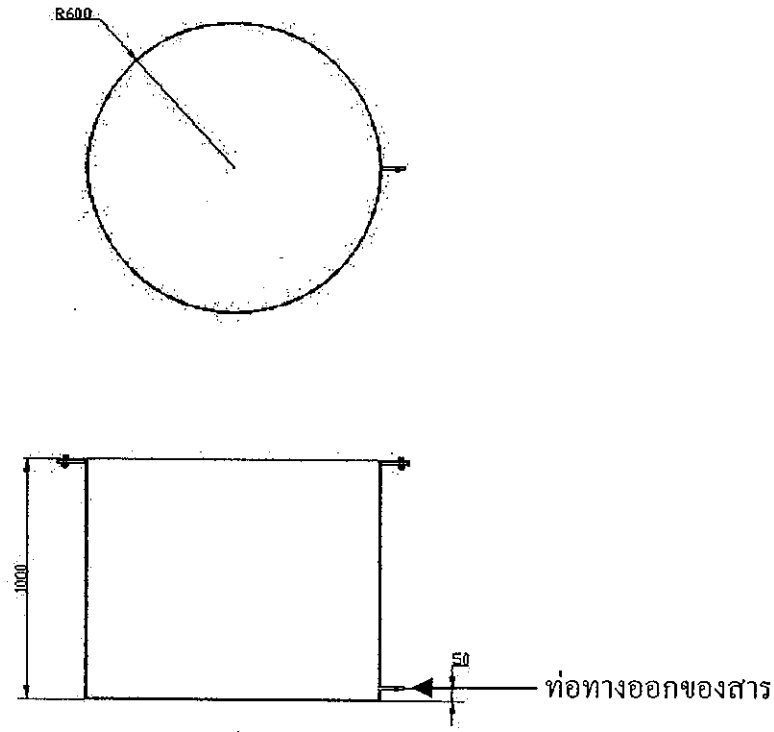
ความสูงของใบกวน(W_i) เท่ากับ 28 mm

ความสูงจากก้นถังถึงใบกวน(H_i) เท่ากับ 47 mm

จากค่าตัวแปรต่างๆ สามารถคำนวณได้กำลังมอเตอร์ของถังล้างเท่ากับ 4.1311×10^{-4} hp แต่ขนาดเล็กที่สุดของมอเตอร์ในท้องตลาดมีขนาด 0.5 hp จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 เป็นต้นกำลังในการขับใบกวนของถังล้าง

5.3.1.4 ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว

ออกแบบให้ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก้นถังตัด มีฝาเปิดด้านบน และมีท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง แสดงดังรูป 5.10



รูป 5.10 ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว

- การคำนวณความหนา

ถังเก็บน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาตร 1,000 ลิตร โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม คำนวณความหนาได้ด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 โดยที่การคำนวณจะเหมือนกับการคำนวณความหนาของถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่มีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

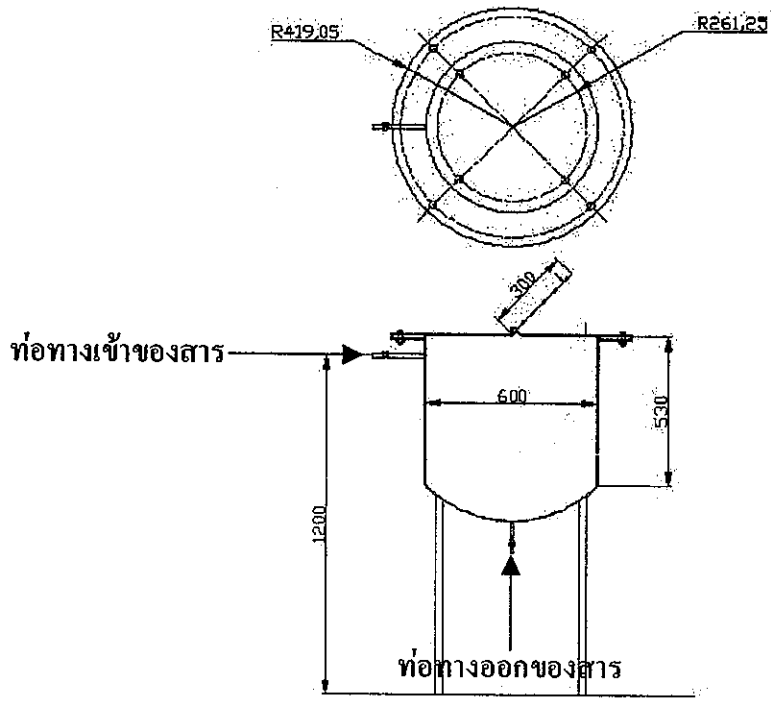
ความดันสูงสุด $P_{max} = 0.1091$ MPa

ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013 MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1052 MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.0039 MPa

จากค่าที่ได้มานี้ สามารถนำมาคำนวณความหนาได้ด้วยสมการ 5.8 จะได้ความหนาถังเก็บน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 1.0482 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังเก็บน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 2 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.5 ถังแยกชั้น 1

ออกแบบให้ถังแยกชั้น 1 มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ก้นถังมีลักษณะโค้ง มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบน และท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง มีฝาเปิดอยู่ด้านบนสุดของถัง แสดงได้ดังรูป 5.11



รูป 5.11 ถังแยกชั้น 1

- การคำนวณความหนา

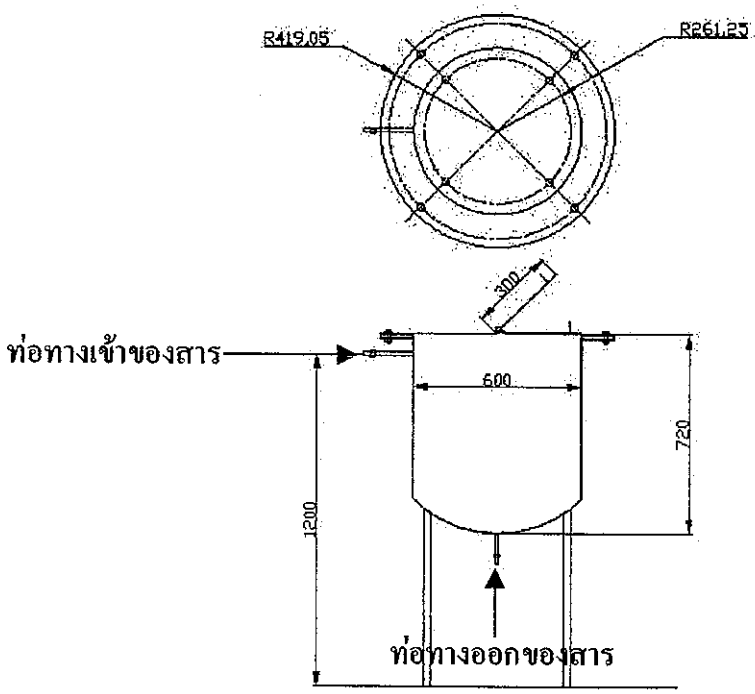
ถังแยกครั้งที่ 1 ที่มีปริมาตร 150 ลิตร โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณหาความหนาถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีตัวค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.10474 MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013 MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.10302 MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.00172 Mpa

จากค่าที่ได้มานี้ สามารถนำมาคำนวณความหนาได้ด้วยสมการ 5.8 จะได้ความหนาของถังแยกชั้น 1 เท่ากับ 0.5114 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังแยกชั้น 1 เท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.6 ถังเก็บกลีเซอรีน

ออกแบบให้ถังกลีเซอรีน มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก้นถังมีลักษณะโค้ง มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบน และท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง มีฝาเปิดอยู่ด้านบนสุดของถัง แสดงได้ดังรูป 5.12



รูป 5.12 ถังเก็บกลีเซอรีน

- การคำนวณความหนา

ถังกลีเซอรีนที่มีปริมาตร 200 ลิตรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่

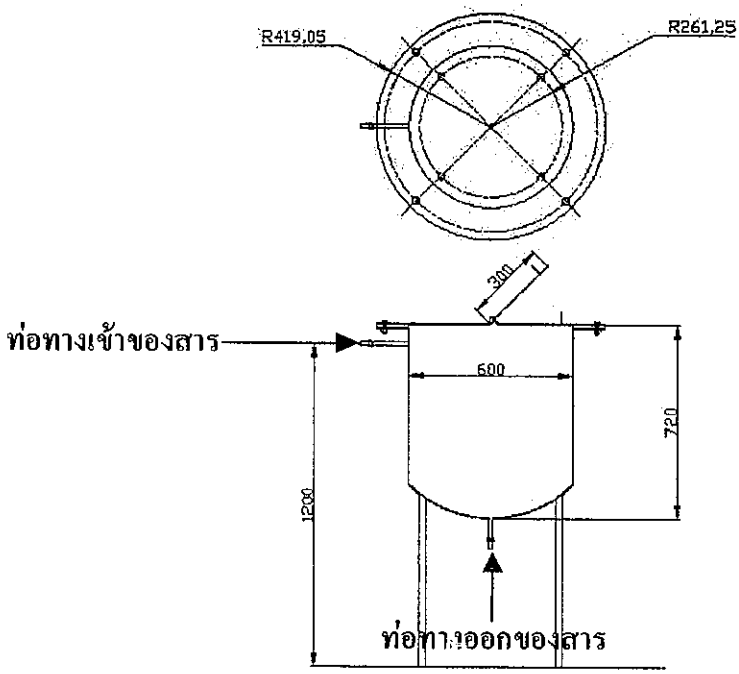
มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณความหนาถังกวนทำปฏิกิริยาโดยมีตัวค่าแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.1065	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1039	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.0026	Mpa

จากค่าที่ได้มานี้สามารถนำมาคำนวณด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังเก็บกลีเซอรีนเท่ากับ 0.5242 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังเก็บกลีเซอรีนเท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.7 ถังเก็บน้ำ

ถังเก็บน้ำในส่วนนี้เป็นถังเก็บน้ำสำหรับนำไปใช้ในการล้าง ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ก้นถังมีลักษณะโค้ง มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบน และท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง มีฝาเปิดอยู่ด้านบนสุดของถัง สามารถแสดงได้ดังรูป 5.13



รูป 5.13 ถังเก็บน้ำ

- การคำนวณความหนา

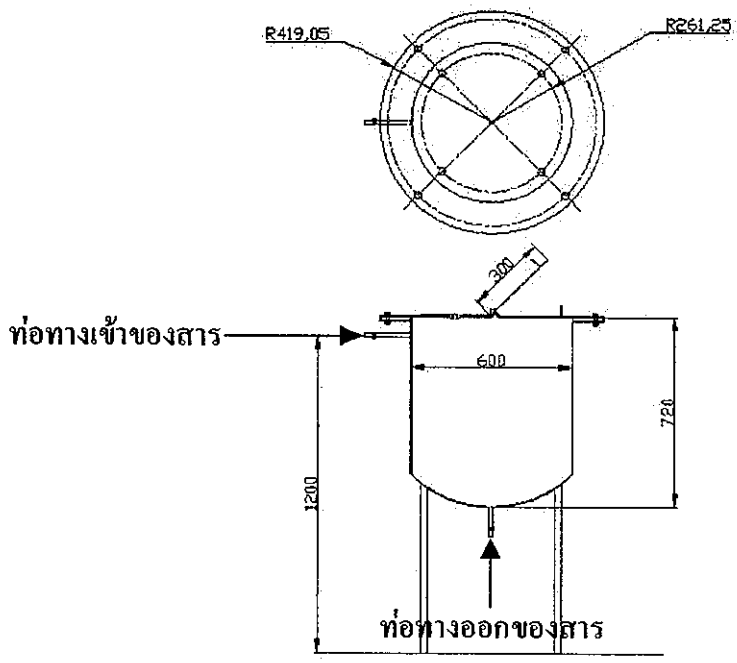
ถังน้ำที่มีปริมาตร 200 ลิตรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณหาความหนาถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.1065	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1039	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.0026	Mpa

จากค่าที่ได้มานี้สามารถ นำมาคำนวณด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังเก็บน้ำเท่ากับ 0.5242 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังเก็บน้ำเท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.8 ถังแยกชั้น 2

ออกแบบให้ถังแยกชั้น 2 มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก้นถังมีลักษณะโค้ง มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบน และท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง มีฝาเปิดอยู่ด้านบนสุดของถัง ดังรูป 5.14



รูป 5.14 ถังแยกชั้น 2

- การคำนวณความหนา

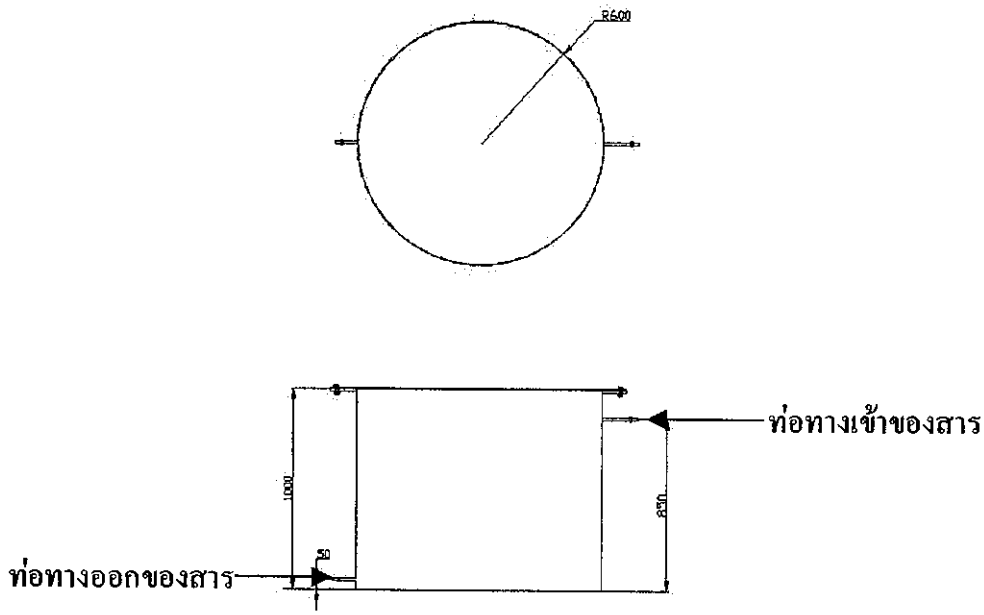
ถังแยกชั้น 2 ที่มีปริมาตร 200 ลิตร โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณหาความหนาถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.1065	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1039	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.0026	MPa

จากค่าที่ได้มานี้สามารถนำมาคำนวณด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังแยกชั้น 2 เท่ากับ 0.5242 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังแยกชั้น 2 เท่ากับ 1.5 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.9 ถังเก็บเอสเทอร์

ออกแบบให้ถังเก็บเอสเทอร์ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก้นถังตัด มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบนและมีท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง ดังรูป 5.15



รูป 5.15 ถังเก็บเอสเทอร์

- การคำนวณความหนา

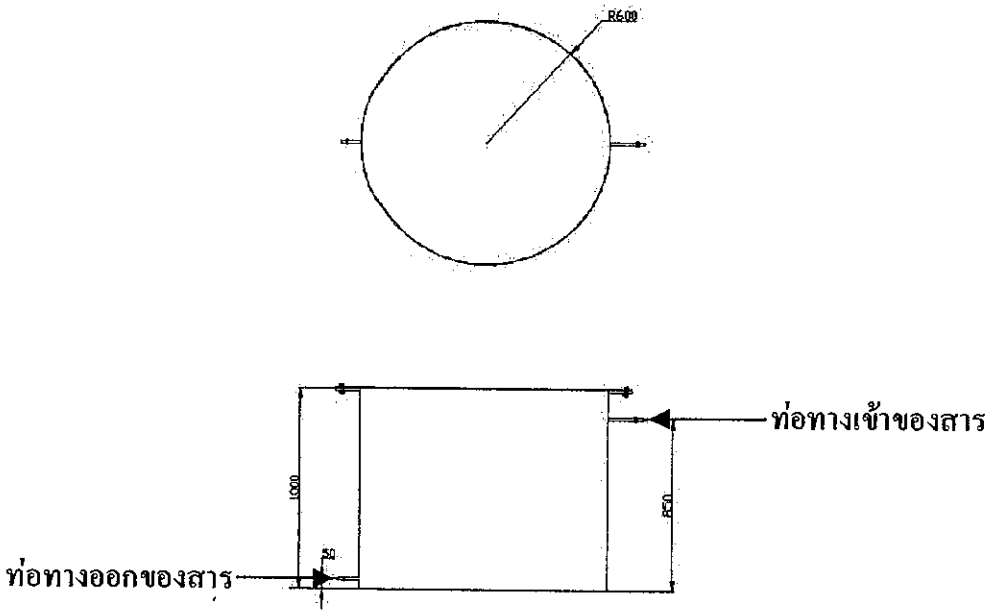
ถังเก็บเอสเทอร์ ที่มีปริมาตร 1,000 ลิตรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณหาความหนาถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.10894	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.1051	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	0.00382	MPa

จากค่าที่ได้มานี้ นำมาคำนวณด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังเก็บเอสเทอร์เท่ากับ 1.0466 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังเก็บเอสเทอร์เท่ากับ 2 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

5.3.1.10 ถังถังเก็บน้ำ

ถังเก็บน้ำในส่วนนี้เป็นถังเก็บน้ำที่จะนำไปบำบัด ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก้นถังตัด มีท่อทางเข้าอยู่ด้านบนและมีท่อทางออกอยู่ที่ก้นถัง แสดงได้ดังรูป 5.16



รูป 5.16 ถังเก็บน้ำ

- การคำนวณความหนา

ถังเก็บน้ำที่มีปริมาตร 1,000 ลิตร มีของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 mm เลือกใช้สเตนเลส SUS 304 เป็นวัสดุในการทำถัง เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและไม่เกิดสนิม ทำการคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 – 5.7 เหมือนกับการคำนวณหาความหนาถังกวนทำปฏิกิริยา โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความดันสูงสุด	P_{max}	=	0.10997	MPa
ความดันต่ำสุด	P_{min}	=	0.1013	MPa
ความดันเฉลี่ย	P_m	=	0.10564	MPa
ความดันส่วนเปลี่ยน	P_a	=	4.335×10^{-3}	MPa

จากค่าที่ได้มานี้ นำมาคำนวณด้วย สมการ 5.8 จะได้ความหนาถังเก็บน้ำขนาด 1,000 ลิตร เท่ากับ 1.0566 mm แต่จากการสำรวจพบว่า ไม่มีการผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังเก็บน้ำขนาด 1,000 ลิตรเท่ากับ 2 mm ซึ่งเป็นมาตรฐานแทน

จากการคำนวณความหนาของถังปฏิกรณ์และถังเก็บต่างๆ สามารถสรุปความหนาของถังที่สามารถคำนวณได้ และความหนาของถังที่เลือกใช้ได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ความหนาของถังที่คำนวณได้และความหนาของถังที่เลือกใช้

รายการ	มีสารบรรจุภายในถัง (ลิตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความดันเฉลี่ย (MPa)	ความดันส่วนเปลี่ยน (MPa)	ความหนาของถัง (mm)	ความหนาที่เลือกใช้ (mm)
ถังเก็บน้ำ	1,000	1,200	0.10546	0.004335	1.0566	2
ถังเก็บเอสเทอร์	1,000	1,200	0.10512	0.003852	1.0466	2
ถังเก็บน้ำมันมะพร้าว	1,000	1,200	0.1052	0.00391	1.0482	2
ถังกวนตัวเร่งปฏิกิริยา	125	500	0.1037	0.0025	0.4352	1.5
ถังกวนทำปฏิกิริยา	52.5	420	0.10293	0.00163	0.3570	1.5
ถังแยกชั้น 1	105	600	0.10302	0.00172	0.5114	1.5
ถังเก็บกลีเซอรีน	125	600	0.1039	0.0026	0.5242	1.5
ถังล้าง	54.6	600	0.10216	0.00086	0.4988	1.5
ถังเก็บน้ำ	151.2	600	0.1039	0.0026	0.5242	1.5
ถังแยกชั้น 2	163.8	600	0.1039	0.0026	0.5242	1.5

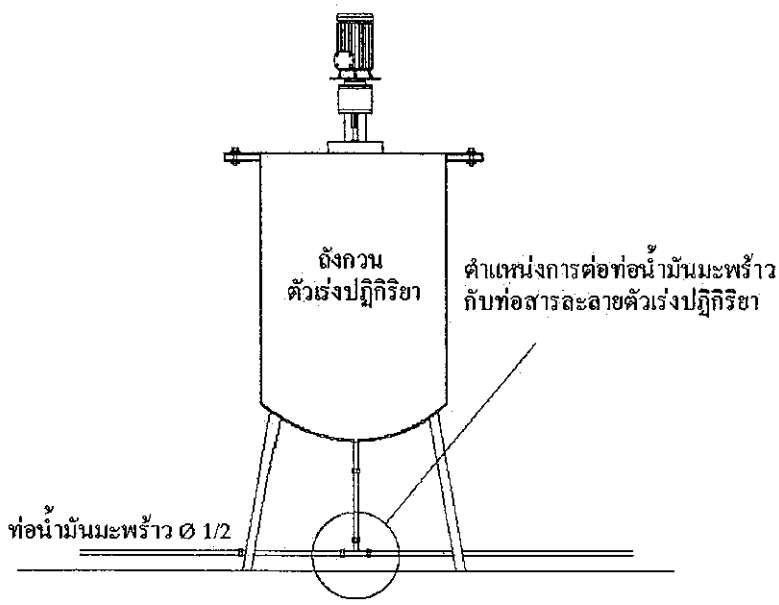
5.4 ระบบปั๊มและท่อ

การออกแบบระบบการลำเลียงสารนั้น เนื่องจากอัตราไหลของสารในระบบมีค่าต่ำมากคือประมาณ 26.25 ลิตรต่อชั่วโมง จึงเลือกใช้ท่อที่มีขนาดเล็กที่สุดในท้องตลาดซึ่งมีขนาด 1/2″ และเลือกใช้เป็นท่อสเตนเลสซึ่งสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้เพื่อใช้ในระบบการผลิต ซึ่งการคำนวณระบบปั๊มและท่อ ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ

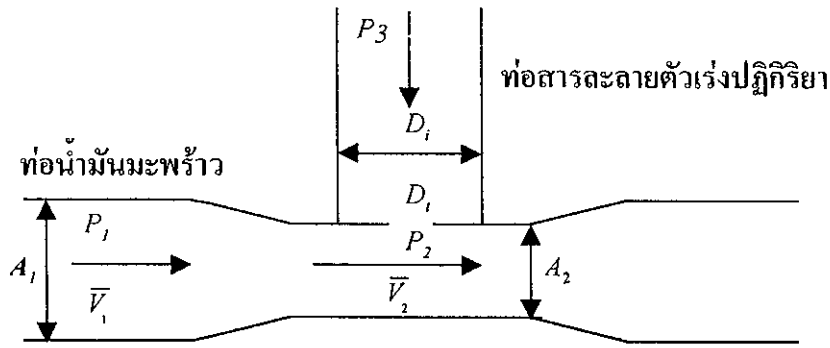
- การออกแบบและคำนวณท่อผสมน้ำมันมะพร้าวกับตัวเร่งปฏิกิริยา
- การคำนวณหากำลังของปั๊มแต่ละจุด

5.4.1 การออกแบบและการคำนวณของท่อผสมน้ำมันมะพร้าวกับตัวเร่งปฏิกิริยา

การออกแบบท่อผสมน้ำมันมะพร้าวกับตัวเร่งปฏิกิริยานั้น อาศัยหลักการของ Nozzle โดยออกแบบให้ท่อน้ำมันมะพร้าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2″ ลดพื้นที่หน้าตัดลงและเจาะรูเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์กับโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไปผสมกันกับน้ำมันมะพร้าวภายในท่อน้ำมันมะพร้าว โดยอาศัยความแตกต่างของความดันภายในท่อ ซึ่งจากการลดพื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำมันมะพร้าวเพื่อให้มีความเร็วที่ต้องการและได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูที่จะทำการเจาะ และขนาดของท่อสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่ตำแหน่งของการต่อท่อทั้ง 2 ชนิดและลักษณะของท่อน้ำมันมะพร้าวที่ทำการออกแบบให้เป็น Nozzle สามารถแสดงได้ดังรูป 5.17 และ 5.18



รูป 5.17 ตำแหน่งการต่อท่อน้ำมันมะพร้าวกับท่อสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา



รูป 5.18 การต่อท่อน้ำมันมะพร้าวกับท่อสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูป 5.18 สามารถคำนวณหา P_2 ได้จากสูตร

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{\overline{V}_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{\overline{V}_2^2}{2} + gZ_2$$

$$P_2 = P_1 - \frac{\rho}{2}[(Q/A_2)^2 - (Q/A_1)^2]$$

โดยที่

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำมันมะพร้าว

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของ nozzle

และความดันลด(P_{drop})เนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัด

$$P_{drop} = \frac{\rho}{2}[(Q/A_2)^2 - (Q/A_1)^2]$$

$$P_{drop} = (900/2)[0.1901^2 - 0.0475^2] = 15.25 \text{ Pa}$$

5.4.1.1 การคำนวณพื้นที่หน้าตัดรูเจาะของท่อน้ำมันมะพร้าว

เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันมะพร้าวที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของสารที่ต้องการจึงจำเป็นต้องคำนวณหาพื้นที่รูเจาะ

โดยใช้สูตร

$$Q = KA_t\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \qquad (5.12)$$

โดยที่

$\Delta P = P_3 - P_2$

$\Delta P = (P_3 - P_1) + \frac{\rho}{2}[(Q/A_2)^2 - (Q/A_1)^2]$ Pa

ρ = ความหนาแน่นของแอลกอฮอล์

K = 0.6 จากรูป 5.19

A_t = พื้นที่หน้าตัดของรูที่ต้องเจาะ

Q = อัตราการไหล

ในสูตรข้างต้นจะเห็นได้ว่า ΔP ขึ้นอยู่กับค่าความดันของสองค่าด้วยกัน คือความดันที่เกิดจากความแตกต่างของ P_1 กับ P_3 (P_1-P_3) และความดันลดที่เกิดจากการไหลผ่านnozzleของท่อน้ำมันมะพร้าว(P_{drop}) โดยจะลดความผันผวนของอัตราส่วนผสมของสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันมะพร้าวจึงกำหนดให้ $P_1 = P_3$ เพื่อตัดความดันที่เกิดจากความสูงของสารภายในถังออกไป จึงลดอิทธิพลที่มีผลต่ออัตราส่วนผสมของสารทั้งสอง ดังนั้นอัตราส่วนผสมของสารจะขึ้นอยู่กับความดันที่เกิดจากการลดพื้นที่หน้าตัดเพียงอย่างเดียวซึ่งความดันนี้เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำมันมะพร้าวจึงทำให้อัตราส่วนผสมมีความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในค่าที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ตารางที่ 5.6 จึงสามารถนำค่าต่างๆ มาแทนค่าในสมการ 5.12 จะได้

$A_t = 12.37 \times 10^{-6}$ m^2

ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะได้ดังนี้

$A_t = \P d^2/4$

$D_t = 3.97$ mm

5.4.1.2 ขนาดของท่อสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา

อาศัยความสัมพันธ์ตามรูป 5.19 ที่ค่า K = 0.6 จะได้ความสัมพันธ์

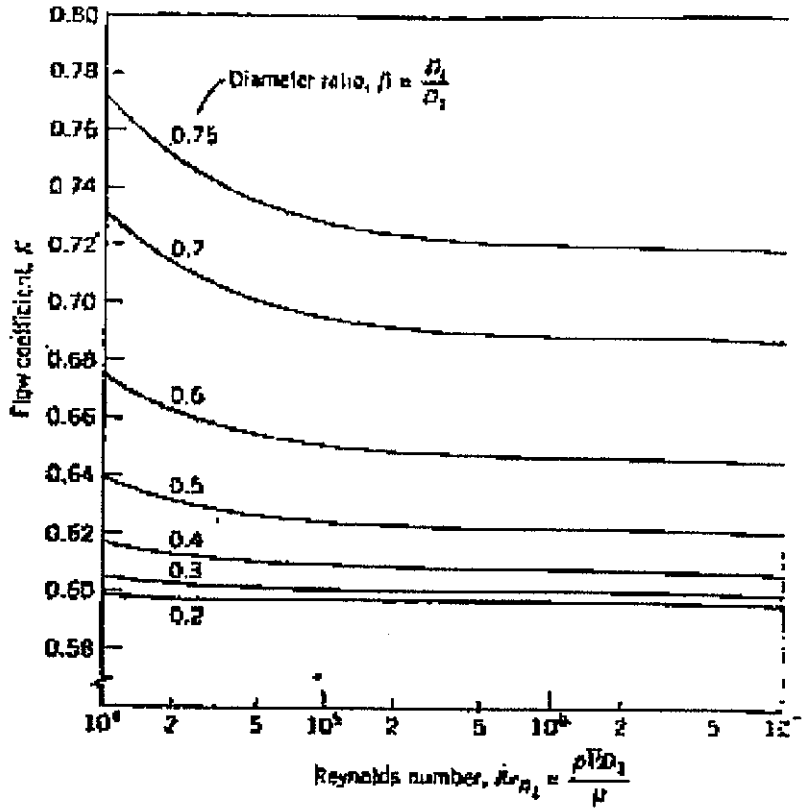
$D_t / D_i = 0.2$

โดยที่

ขนาดของรูเจาะ $D_t = 3.97$ mm

เพราะฉะนั้นจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา

$D_i = 19.85$ mm



รูป 5.19 Flow coefficients for concentric orifices with corner taps

(**ที่มา** : Introduction to Fluid Mechanics , Robert W. Fox and Alan T. Mcdonald)

5.4.1.3 ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสม

เนื่องจากส่วนผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไหลผ่านรูเจาะ จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำมันมะพร้าว จึงได้มีการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันมะพร้าวเทียบจากสภาวะปกติที่อัตราการไหล 21 ลิตรต่อชั่วโมงเพื่อต้องการจะทดสอบว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันมะพร้าวเกิดขึ้นแล้วจะทำให้อัตราส่วนผสมมีความคลาดเคลื่อนเพียงใดและสามารถยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 5.6

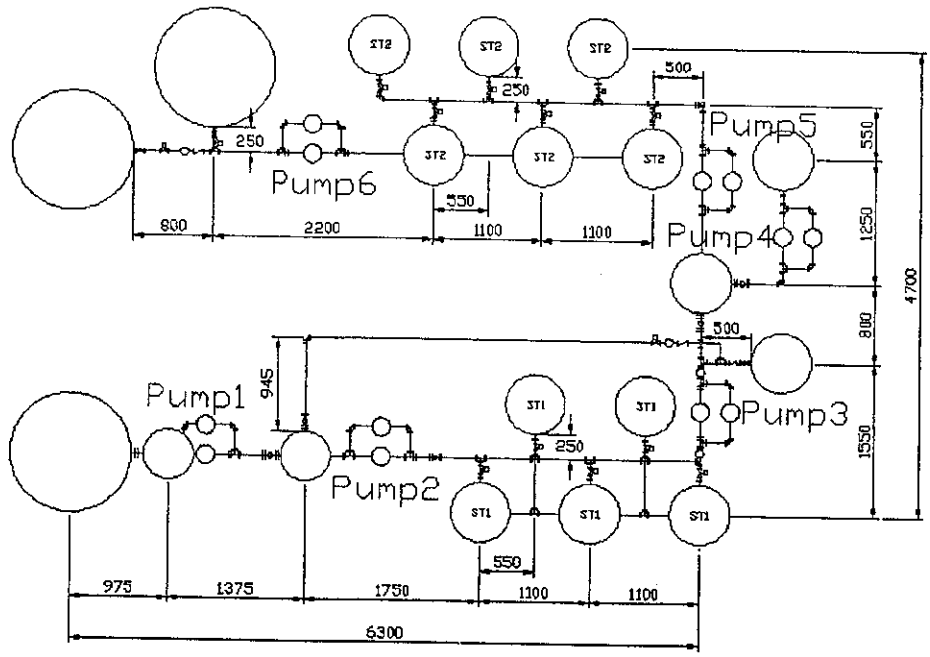
ตารางที่5.6 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสม

เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล	ΔP (Pa)	อัตราการไหลของตัวเร่ง (ลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของตัวเร่งที่ต้องการ (ลิตรต่อชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสม
-50%	3.812	2.625	2.625	0
-40%	5.489	3.149	3.150	0.032
-30%	7.471	3.675	3.675	0
-20%	9.758	4.199	4.200	0.024
-10%	12.350	4.725	4.725	0
0%	15.250	5.250	5.250	0
10%	18.449	5.774	5.775	0.017
20%	21.955	6.299	6.300	0.016
30%	25.770	6.824	6.825	0.015
40%	29.880	7.349	7.350	0.014
50%	34.310	7.874	7.875	0.013

จากตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความเคลื่อนของอัตราส่วนผสม กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลจากสภาวะปกติโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่บวกลบ 50% ซึ่งจะเห็นว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสมที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.032 % ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากจึงสามารถยอมรับได้ว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันมะพร้าวจะไม่ทำให้อัตรส่วนผสมของสารเปลี่ยนแปลง

5.4.2 การคำนวณกำลังของปั๊มแต่ละช่วง

เนื่องจากต้องการผลิตเอสเทอร์ ในปริมาณ 500 ลิตรต่อวัน จึงนำปริมาณสารตั้งต้นมาคำนวณหากำลังของปั๊มแต่ละจุดซึ่งแสดงได้ดังรูป 5.20 โดยที่ในแต่ละช่วงจะมีปั๊มสำรอง (Parallel Pump) ไว้สำหรับการซ่อมบำรุง โดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้



รูป 5.20 ตำแหน่งของปั๊มจุดต่างๆ

การคำนวณคิดประสิทธิภาพของปั๊มและมอเตอร์ เท่ากับ 100%

คำนวณกำลังของปั๊มโดยใช้สูตร

$$P = \frac{Q\rho H}{75} \qquad (5.13)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่นของสาร

H = Head ที่ต้องการ

Q = อัตราการไหล

โดย H หาได้จากสูตร

$$H = \Delta p + Z + (V^2/2g) + h_{loss} + h_{lm} \qquad (5.14)$$

โดยที่ Δp = ความแตกต่างระหว่างความดันทางเข้าและทางออกโดยคิดที่ผิวอิสระมีหน่วยเป็นเมตร

$= \rho gh / \gamma$

h_{loss} = h_{loss}ตามความยาวบวกกับข้อต่อและวาล์วต่างๆ

h_{lm} = ความสูญเสียเนื่องจากรูปร่างของทางเข้าของท่อ

Z = ความสูงของถัง (m)

จากความสัมพันธ์มีเพียง h_{loss} และ h_{lm} เท่านั้นที่ยังไม่ทราบค่าและในการหา h_{loss} นั้นจะหาเฉพาะทางเดินที่ยาวสุดของการไหล และต้องรู้ความยาวท่อทั้งหมดและความยาวสมมูลที่ข้อต่อเปลี่ยนมาเป็นความยาวท่อตรง โดยใช้ L_e เป็นความยาวท่อสมมูลและการหา h_{lm} สามารถหาได้จากสมการ

$$h_{lm} = K\frac{\bar{V}^2}{2g} \qquad (5.15)$$

$\bar{V}$ = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ในการหาค่า K นั้นสามารถหาได้จากตารางภาคผนวก ก.3

หา h_{loss}จากสมการ 5.15 แต่ การไหลต้องเป็น Laminar flow เท่านั้น

$$h_{loss} = \frac{64}{Re}\frac{L_e}{D}\frac{\overline{V^2}}{2g} \qquad (5.16)$$

$$Re = \frac{\rho\bar{V}D}{\mu} \qquad (5.17)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่นเฉลี่ยระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันมะพร้าว

L = ความยาวของท่อตรงบวกกับความยาวท่อสมมูลโดยความยาวท่อสมมูลของข้อต่อและวาล์วต่างๆ หาได้จากตารางภาคผนวก ก.4 และ ก.5

μ = ความหนืดของสาร

เนื่องจากการไหลออกจากถังแยกชั้นนั้นต้องเป็นการไหลแบบ Laminar flow เพื่อเป็นการป้องกันการไหลข้ามชั้นของสารซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตัวขึ้น และเพื่อให้ได้สารที่บริสุทธิ์มากที่สุดก่อนนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป จึงต้องมีการตรวจสอบค่า Reynolds Number ซึ่งการไหลแบบ Laminar flow จะขึ้นอยู่กับค่า Reynolds Number โดยการไหลแบบ Laminar flow ในกรณีการไหลในท่อจะต้องมีค่า Reynolds Number น้อยกว่า 2000-2300

คำนวณ Re จากสูตร

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu}$$

โดยที่ค่า Re คิดที่ปากทางออกของถังแยก 1

$D = 0.0125$ m

$\rho = 1198.3$ kg/m^3

$\bar{V} = 0.059$ m/s

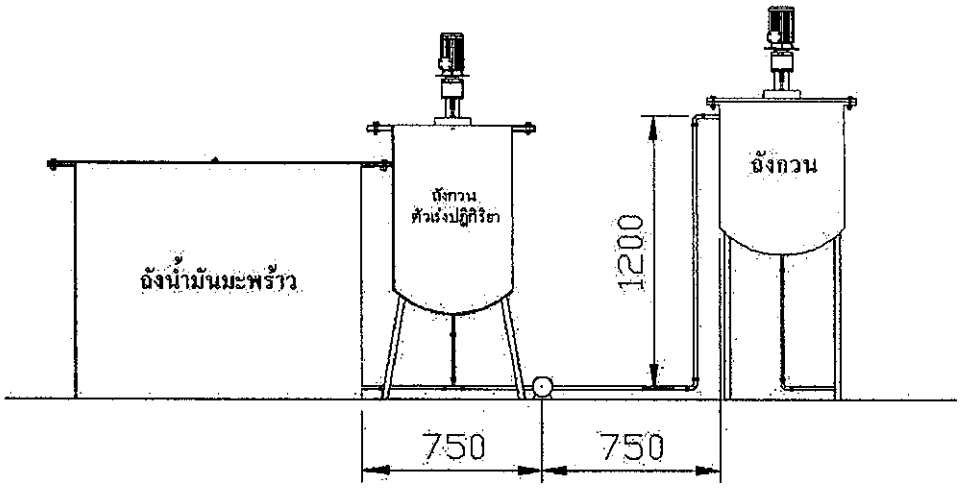
สามารถคำนวณค่า Reynolds Number

$Re = 89$

จากค่า Re ที่ได้จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วของการไหลของสารในระบบการแยกชั้นของสารนั้นเป็นการไหลแบบ Laminar flow เพราะฉะนั้นการไหลของสารออกจากถังแยกชั้นนั้นจะไม่ทำให้เกิดการไหลข้ามชั้น และโอกาสเกิดการรวมตัวของสารระหว่างการไหลมีน้อย

5.4.2.1 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 1

ปั๊มจุดที่ 1 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังเก็บน้ำมันมะพร้าวไปถังกวนทำปฏิกิริยา แสดงได้ดังรูป 5.21 ในการคิดความยาวของท่อนั้น ต้องคิดช่วง h_{loss} มากที่สุด และช่วงของปั๊มจุดที่ 1 นี้จะสามารถคำนวณได้ดังนี้



รูป 5.21 ปั๊มจุดที่ 1 จากถังเก็บน้ำมันมะพร้าวไปถังกวนทำปฏิกิริยา

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 3 ตัว มีค่า $L_e/D = 30x3 = 90$

ข้อต่อตัวT จำนวน 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 20$

ความยาวท่อตรง 2.0825 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 2.0825/0.0125 = 166.6$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 90+20+166.6+8 = 284.6

จากสมการ 5.17

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu}$$

โดยที่

ρ = [(900x100)+(790x25)] / 125

= 878 kg/m^3

D = 0.0125 m

$\bar{V}$ = $[(21+5.25)x10^{3}] / (3600x1.227x10^{-4})$

= 0.0594 m/s

μ = 0.01 kg/m-s

แทนค่าในสมการ 5.17 จะได้ Re = 65.221

จากสมการ 5.16

$$h_{loss} = \frac{64}{\mathrm{Re}} \frac{l_e}{D} \frac{\overline{V^2}}{2g}$$

โดยที่

L_e/D = 284.6

D = 0.0125 m

$\overline{V}$ = 0.0594 m/s

Re = 65.221

แทนค่าในสมการ 5.16 จะได้ h_{loss} = 0.0502 m

จากสมการ 5.15

$$h_{lm} = K\frac{\overline{V}^2}{2g}$$

จากตารางภาคผนวก ก.3 มีค่า K เท่ากับ 0.5 และสามารถคำนวณ h_{lm} ได้

h_{lm} = 8.8209×10^{-4} m

จากสมการ 5.14

$H = \Delta p + Z + (V^2/2g) + h_{loss} + h_{lm}$

โดยที่

Δp = 0

Z = 1.15 m

h_{loss} = 0.0502 m

h_{lm} = 8.8209×10^{-4} m

$\overline{V}$ = 0.0594 m/s

แทนค่าในสมการ 5.14 จะได้ Head ที่ต้องการ = 1.2029 m

จากสมการ 5.13 หากำลังของปั๊ม

$$P = \frac{Q\rho H}{75}$$

โดยที่

Q = 26.25×10^{-3} m^3/hr

ρ = 878 kg/m^3

H = 1.2029 m

แทนค่าในสมการ 5.13 จะได้

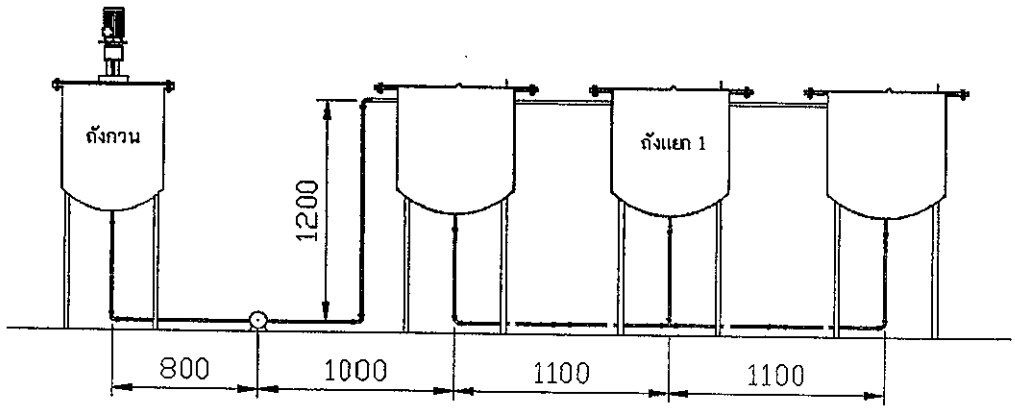
$$P = 1.027x10^{-4}\ Ps$$

$$= 1.013x10^{-4}\ hp$$

ปั๊มในจุดที่ 1 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ $1.013x10^{-4}$ hp และ Headที่ต้องการเท่ากับ 1.2029 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

5.4.2.2 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 2

ปั๊มจุดที่ 2 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังกวนทำปฏิกิริยาไปยังถังแยกชั้น 1 แสดงได้ดังรูป 5.22 และอัตราการไหลเท่ากับ 26.25 ลิตรต่อชั่วโมง



รูป 5.22 ปั๊มจุดที่ 2 จากถังกวนทำปฏิกิริยาไปถังแยกชั้น 1

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 3 ตัว มีค่า $L_e/D = 30x3 = 90$

ข้อต่อตัวT จำนวน 5 ตัว มีค่า $L_e/D = 20x5 = 100$

ความยาวท่อตรง 5.1 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 5.1/0.0125 = 408$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 90+100+408+8 = 606

ค่าความหนาแน่นของเส้นทางนี้ใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยระหว่างเอสเทอร์กับกลีเซอรีนเท่ากับ 959.66 kg/m^3

Head ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.379 m

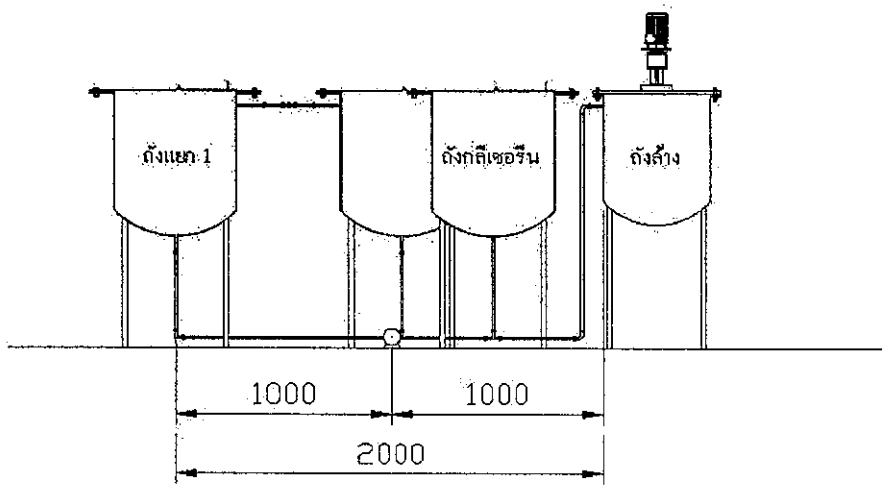
นำค่าคงที่ไปแทนค่าในสมการที่ 5.13 – 5.17 ดังแสดงในการหากำลังของปั๊มจุดที่ 1

ได้กำลังของปั๊ม P = 1.2692×10^{-4} hp

ปั๊มในจุดที่ 2 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ 1.2692×10^{-4} hp และ Head ที่ต้องการเท่ากับ 1.379 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

5.4.2.3 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 3

ปั๊มจุดที่ 3 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังแยกชั้น 1 ไปยังถังล้าง ถังกลีเซอรีนและกลับไปยังถังกวนทำปฏิกิริยาแสดงได้ดังรูป 5.23 ด้วยอัตราการไหลที่ 26.25 ลิตรต่อชั่วโมง



รูป 5.23 ปั๊มจุดที่ 3 จากถังแยกชั้น 1 ไปยังถังกลีเซอรีน

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 5 ตัว มีค่า $L_e/D = 30 \times 5 = 150$

ข้อต่อตัวT จำนวน 3 ตัว มีค่า $L_e/D = 20 \times 3 = 60$

ความยาวท่อตรง 7.04 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 7.04/0.0125 = 563.2$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 150+60+563.2+8 = 781.2

ค่าความหนาแน่นของเส้นทางนี้ใช้ความหนาแน่นของกลีเซอรีนนเพราะเป็นค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดเท่ากับ 1198.3 kg/m^3

Head ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.278 m

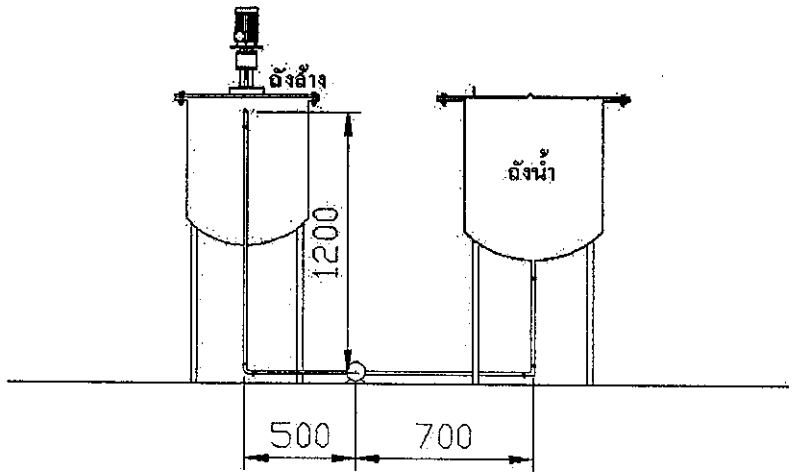
นำค่าคงที่ไปแทนค่าในสมการที่ 5.13 – 5.17 ดังแสดงในการหากำลังปั๊มจุดที่หนึ่ง

ได้กำลังของปั๊ม $P = 1.4689 \times 10^{-4}$ hp

ปั๊มในจุดที่ 3 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ 1.4689×10^{-4} hp และ Head ที่ต้องการเท่ากับ 1.278 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

5.4.2.4 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 4

ปั๊มจุดที่ 4 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังเก็บน้ำไปถังล้างแสดงได้ดังรูป 5.24 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 6.3 ลิตรต่อชั่วโมง



รูป 5.24 ปั๊มจุดที่ 4 จากถังน้ำไปถังล้าง

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 3 ตัว มีค่า $L_e/D = 30 \times 3 = 90$

ข้อต่อตัวT จำนวน 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 20 = 20$

ความยาวท่อตรง 1.95 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 1.95/0.0125 = 156$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 90+20+156+8 = 274

ค่าความหนาแน่นของเส้นทางนี้ใช้ความหนาแน่นของน้ำ= 1000 kg/m^3

Head ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.1558 m

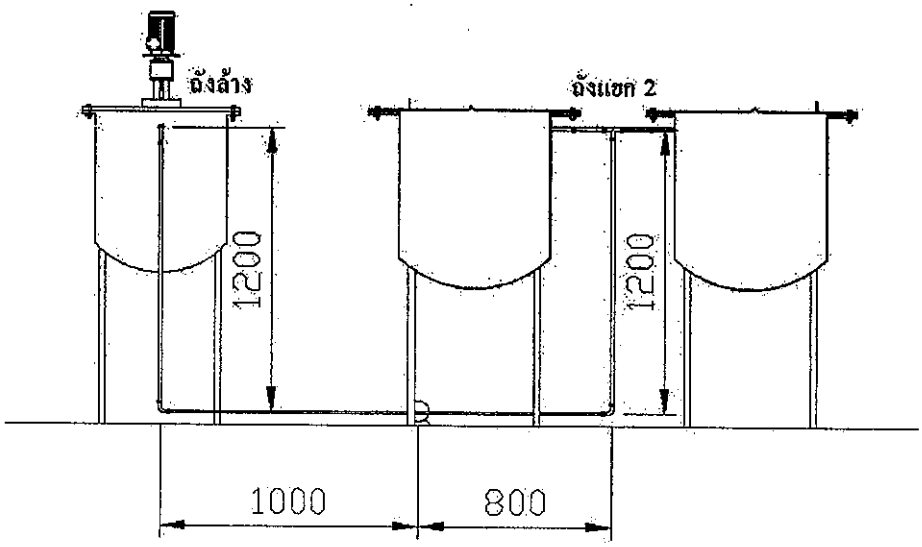
นำค่าคงที่ไปแทนค่าในสมการที่ 5.13 – 5.17 ดังแสดงในการหากำลังปั๊มจุดที่หนึ่ง

ได้กำลังของปั๊ม P = 2.660×10^{-5} hp

ปั๊มในจุดที่ 4 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ 2.660×10^{-5} hp และ Head ที่ต้องการเท่ากับ 1.1558 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

5.4.2.5 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 5

ปั๊มจุดที่ 5 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังล้างไปถังแยกชั้น 2 แสดงได้ดังรูป 5.25 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 27.3 ลิตรต่อชั่วโมง



รูป 5.25 ปั๊มจุดที่ 5 จากถังล้างไปถังแยกชั้น 2

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 4 ตัว มีค่า $L_e/D = 30 \times 4 = 120$

ข้อต่อตัวT จำนวน 6 ตัว มีค่า $L_e/D = 20 \times 6 = 120$

ความยาวท่อตรง 5.2 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 5.2/0.0125 = 416$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 120+120+416+8 = 664

ค่าความหนาแน่นของเส้นทางนี้ใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยระหว่างเของน้ำกับเอส-เทอร์เท่ากับ 907.69 kg/m^3

Head ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.2653 m

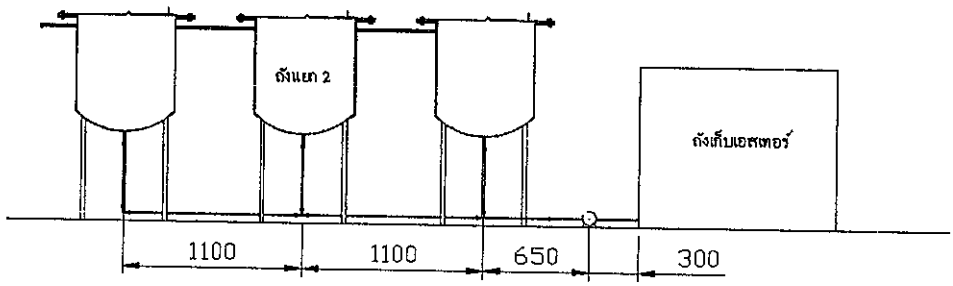
นำค่าคงที่ไปแทนค่าในสมการที่ 5.13 – 5.17 ดังแสดงในการหากำลังปั๊มจุดที่หนึ่ง

ได้กำลังของปั๊ม $P = 1.1454 \times 10^{-4}$ hp

ปั๊มในจุดที่ 5 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ 1.1454×10^{-4} hp และ Head ที่ต้องการเท่ากับ 1.2653 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

5.4.2.6 การคำนวณกำลังของปั๊มจุดที่ 6

ปั๊มจุดที่ 6 มีเส้นทางการลำเลียงสารจากถังแยกชั้น 2 ไปถังเก็บเอสเทอร์ แสดงได้ดังรูป 5.26 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 27.3 ลิตรต่อชั่วโมง



รูป 5.26 ปั๊มจุดที่ 6 จากถังแยกชั้น 2 ไปถังเก็บเอสเทอร์

จำนวนข้อต่อ

ข้อต่อ 90° จำนวน 2 ตัว มีค่า $L_e/D = 30 \times 2 = 60$

ข้อต่อตัวT จำนวน 2 ตัว มีค่า $L_e/D = 20 \times 2 = 40$

ความยาวท่อตรง 2.9 m ดังนั้นมีค่า $L_e/D = 2.9/0.0125 = 232$

มี Gate valve 1 ตัว มีค่า $L_e/D = 8$

ดังนั้นได้ค่า L_e/D ทั้งหมดในช่วงนี้ = 60+40+232+8 = 340

ค่าความหนาแน่นของเส้นทางนี้ใช้ความหนาแน่นของน้ำเพียงอย่างเดียว เพราะปั๊มสารออกที่ละชนิดจึงเลือกความหนาแน่นของน้ำเพราะมีค่ามากกว่าเอสเทอร์คือ 1000 kg/m^3

Head ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.2138 m

นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ 5.13 – 5.17 ดังแสดงในการหากำลังปั๊มจุดที่หนึ่ง

ได้กำลังของปั๊ม P = 1.2106×10^{-4} hp

ปั๊มในจุดที่ 6 สามารถคำนวณกำลังของปั๊มได้เท่ากับ 1.2106×10^{-4} hp และ Head ที่ต้องการเท่ากับ 1.2138 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ Head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp

จากการคำนวณกำลังของปั๊มในแต่ละจุด สามารถสรุปข้อมูลต่างๆ และกำลังของปั๊มแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 กำลังของปั๊มในแต่ละจุด

รายการ	ค่าความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)	ความเร็วเฉลี่ยของสาร(m/s)	ค่า L_e/D	จำนวนข้องอ 90°	จำนวนข้อต่อT	กำลังของปั๊ม (hp)
ปั๊มจุดที่ 1	878	0.0594	284.6	3	1	1.013×10^{-4}
ปั๊มจุดที่ 2	959.66	0.0594	606	3	5	1.2692×10^{-4}
ปั๊มจุดที่ 3	1198.3	0.0594	781.2	5	3	1.4689×10^{-4}
ปั๊มจุดที่ 4	1000	0.0143	274	3	1	2.660×10^{-5}
ปั๊มจุดที่ 5	907.69	0.0618	664	4	6	1.1454×10^{-4}
ปั๊มจุดที่ 6	1000	0.0618	340	2	2	1.2106×10^{-4}

สรุปในการคำนวณหากำลังของปั๊มได้กำลังสูงสุดที่ปั๊มจุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1.4689×10^{-4} hp และ Head ที่ต้องการคือ 1.278 m แต่จากการสำรวจราคาของปั๊มในท้องตลาด ปั๊มที่มีขนาดเล็กที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.5 hp สามารถให้ head ได้เท่ากับ 22 m จึงทำการเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.5 hp ทั้งหมดทุกจุด

5.5 ระบบควบคุม

เนื่องจากต้องมีการปรับปริมาณไอน้ำที่ให้ความร้อนแก่ถังกวนเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ และระบบแยกทั้ง 2 ครั้งจะมีการลำเลียงสาร 2 ชนิดออกจากถังด้วยท่อเดียวกัน แล้วทำการแยกลำเลียงส่งไปยังถังต่างๆ จึงออกแบบให้มีระบบควบคุมในระบบการผลิตซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- ระบบควบคุมวาล์วแบบ PLC Controller
- ระบบควบคุมวาล์วแบบ PID Controller

5.5.1 ระบบควบคุมวาล์วแบบ PLC Controller

ใช้สำหรับควบคุมวาล์วชนิดเปิด-ปิด (On-Off valve) ของระบบแยกทั้ง 2 ชุด โดยระบบแยกแต่ละชุดจะมีการควบคุม 2 ตำแหน่ง คือ ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อนำสารเข้าและออกจากถังแยก และ ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อแยกสารแต่ละชนิด

5.5.1.1 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อลำเลียงสารเข้าและออกจากถังแยกชุดที่ 1 จะประกอบด้วยถังแยก 5 ถัง โดยถังแยกแต่ละถังจะมีเซนเซอร์วัดระดับน้ำ 1 ตัว และวาล์วชนิดเปิด-ปิดอยู่ 2 ตัว คือ ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออก ดังรูป 5.27 ดังนั้นระบบควบคุมนี้จึงประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ตัว วาล์วเปิด-ปิด 10 ตัว ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 1 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 5 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 5 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว
- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 2 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 1 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 1 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว
- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 3 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 2 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 2 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว
- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 4 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 3 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 3 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว
- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 5 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 4 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 4 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

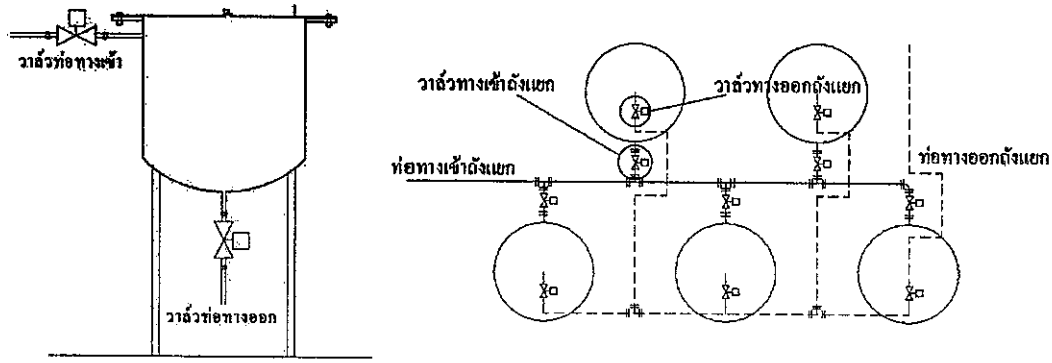
จากขั้นตอนการทำงานข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางการทำงานของ PLC Controller แสดงได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ลำดับการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อลำเลียงสารเข้าและออกจากถังแยกชุดที่ 1

ขั้นการทำงาน	ถังที่ 1		ถังที่ 2		ถังที่ 3		ถังที่ 4		ถังที่ 5	
	I	O	I	O	I	O	I	O	I	O
1	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด
2	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
3	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
4	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด
5	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด

โดยที่ O = วาล์วทางออกของถังแยก

I = วาล์วทางเข้าของถังแยก



รูป 5.27 ตำแหน่งวาล์วของถังแยกและตำแหน่งวาล์วของระบบแยกครั้งที่ 1

5.5.1.2 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อลำเลียงสารเข้าและออกจากถังแยกชุดที่ 2โดยถังแยกของถังแยกชุดที่ 2 จะมีวาล์วชนิดเปิด-ปิดเหมือนถังแยกชุดที่ 1 ระบบแยกชุดที่ 2 จะประกอบด้วยถังแยก 6 ถังดังรูป 5.28 ดังนั้นระบบควบคุมนี้จึงประกอบด้วย เซนเซอร์ 6 ตัว วาล์วเปิด-ปิด 12 ตัว ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 1 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 6 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 6 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 2 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 1 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 1 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

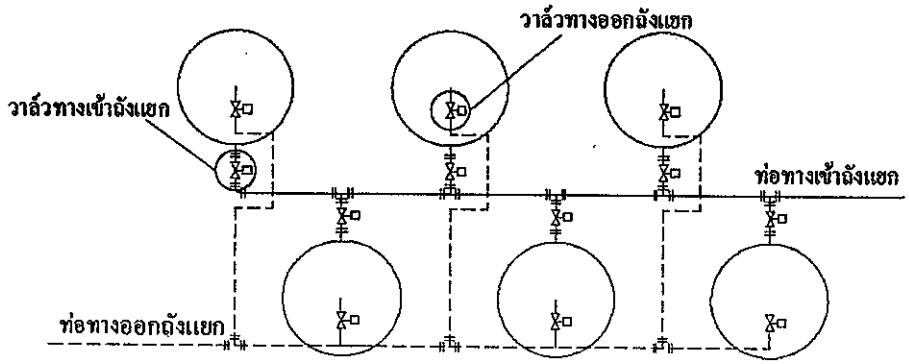
- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 3 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 2 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 2 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 4 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 2 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 3 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 5 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 2 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 4 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

- เปิดวาล์วท่อทางออกของถังที่ 6 พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังที่ 2 จนเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าระดับของสารในถังที่ 5 ถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการปิดวาล์วทั้ง 2 ตัว

จากการทำงานข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางการทำงานของ PLC Controller แสดงได้ดังตารางที่ 5.9



รูป 5.28 ตำแหน่งวาล์วของระบบแยกครั้งที่ 2

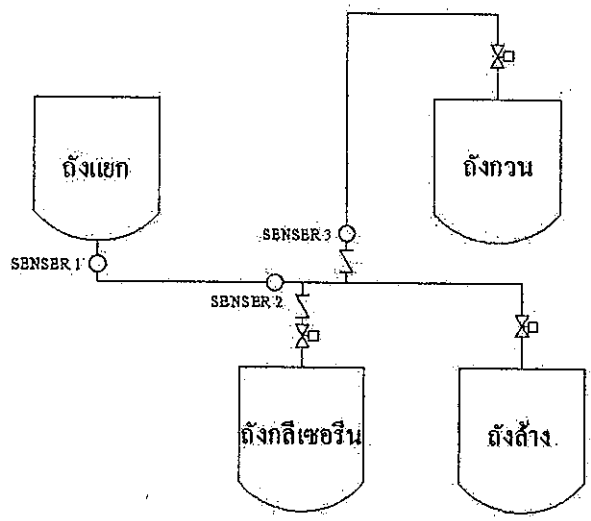
ตารางที่ 5.9 ลำดับการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อลำเลียงสารเข้าและออกจากถังแยกชุดที่ 2

ขั้นการทำงาน	ถังที่ 1		ถังที่ 2		ถังที่ 3		ถังที่ 4		ถังที่ 5		ถังที่ 6	
	I	O	I	O	I	O	I	O	I	O	I	O
1	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด
2	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
3	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
4	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
5	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด
6	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด

โดยที่ O = วาล์วทางออกของถังแยก

I = วาล์วทางเข้าของถังแยก

5.5.1.3 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อแยกสารจากถังแยกชุดที่ 1 สารที่พักอยู่ในถังแยกครบ 12 ชั่วโมงแล้วจะแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์กับกลีเซอรีน โดยกลีเซอรีนจะอยู่ด้านล่างการควบคุมวาล์วเพื่อแยกสารแต่ละชนิดไปยังถังที่ต้องการมีตำแหน่งของเซนเซอร์ วาล์วทางเดียวและวาล์วเปิด-ปิด ดังรูป 5.29 ดังนั้นจึงต้องใช้เซนเซอร์ 3 ตัว วาล์วทางเดียว 2 ตัวและวาล์วเปิด-ปิด 3 ตัว เมื่อปล่อยสารออกจากถังแยกมีแล้วจะขั้นตอนการควบคุมวาล์วเพื่อแยกสารดังนี้ดังนี้



รูป 5.29 ตำแหน่งวาล์วเพื่อแยกสารจากถังแยกชุดที่ 1

- เมื่อเริ่มปล่อยสารออกจากถังแยกให้เปิดวาล์วให้สารไหลกลับไปถังกวน เพราะมีส่วนผสมของกลีเซอรีนที่ออกจากถังแยกกับเอสเทอร์ที่ค้างอยู่ในท่อและให้เซ็นเซอร์ 3 ทำงาน

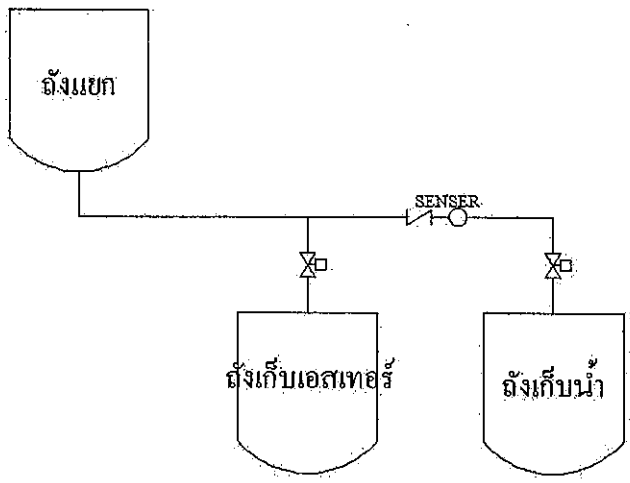
- เมื่อเซ็นเซอร์ 3 พบว่าสารที่ไหลเป็นกลีเซอรีนทั้งหมด ให้เปิดวาล์วเพื่อเปลี่ยนการไหลไปที่ถังเกลีเซอรีนและให้เซ็นเซอร์ 1 และ 2 ทำงาน

- เมื่อเซ็นเซอร์ 1 พบว่าสารที่ไหลเกิดการผสมแล้วให้เปิดวาล์วเพื่อเปลี่ยนการไหลกลับไปที่ถังกวนและให้เซ็นเซอร์ 3 ทำงาน

- เมื่อเซ็นเซอร์ 3 พบว่าสารที่ไหลผ่านเป็นเอสเทอร์ทั้งหมดแล้วให้เปิดวาล์วเพื่อเปลี่ยนการไหลไปที่ถังล้างจนกว่าจะหมดถัง

- เมื่อสารหมดถังแล้วถังต่อไปจะปล่อยสารออกมาให้ดำเนินตามขั้นตอนแรกใหม่

5.5.1.4 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อแยกสารจากถังแยกชุดที่ 2 สารที่พักอยู่ในถังแยกครบ 24 ชั่วโมงแล้วจะแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์กับน้ำโดยน้ำจะอยู่ด้านล่างของถัง การควบคุมวาล์วเพื่อแยกสารแต่ละชนิดไปยังถังที่ต้องการ มีตำแหน่งของเซนเซอร์ วาล์วทางเดียวและวาล์วเปิด-ปิด ดังรูป 5.30 ดังนั้นจึงต้องใช้เซนเซอร์ 1 ตัว วาล์วทางเดียว 1 ตัวและวาล์วเปิด-ปิด 2 ตัวเมื่อปล่อยสารออกจากถังแยกมีแล้วจะขั้นตอนการควบคุมวาล์วเพื่อแยกสารดังนี้ดังนี้



รูป 5.30 ตำแหน่งวาล์วเพื่อแยกสารจากถังแยกชุดที่ 2

- เมื่อเริ่มปล่อยสารออกจากถังแยกให้เปิดวาล์วให้สารไหลไปที่ถังน้ำ เพราะมีการผสมกันระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ที่ค้างอยู่ในท่อ

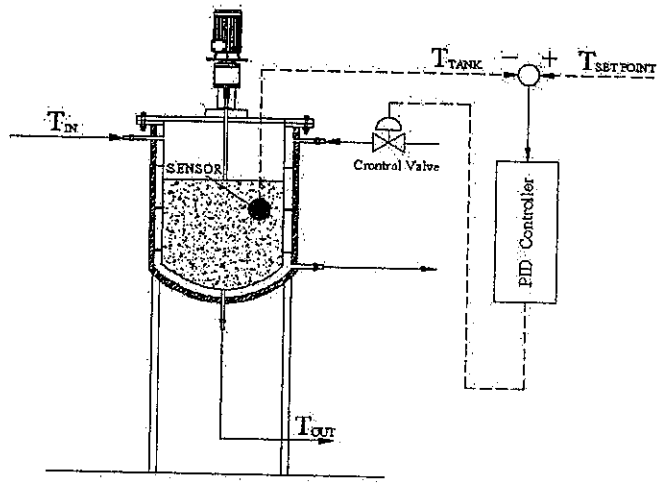
- เมื่อเซ็นเซอร์พบว่าสารที่ผ่านเป็นเอสเทอร์ทั้งหมดแล้วจึงเปิดวาล์วให้สารไหลไปถังเอสเทอร์

- เมื่อสารหมดแล้วสารจากถังใหม่ไหลมาให้ดำเนินขั้นตอนตามข้อ 1) ใหม่

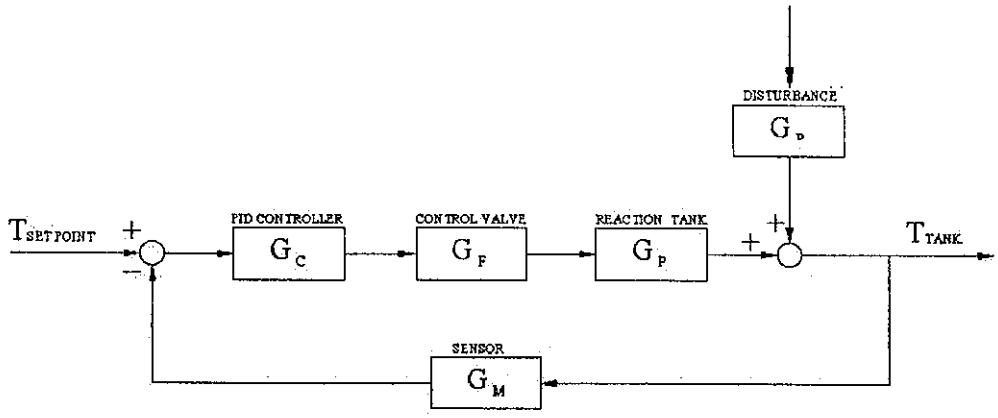
5.5.2 ระบบควบคุมวาล์วแบบ PID Controller

ระบบควบคุมวาล์วแบบ PID Controller ใช้สำหรับควบคุม Control valve ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของถังกวน โดย Control valve สามารถปรับปริมาณของสารที่ไหลผ่านได้ ซึ่งจะใช้ปรับปริมาณไอน้ำที่ให้ความร้อนแก่ถังกวน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารขณะทำปฏิกิริยาให้คงที่ที่ 60 °C ตำแหน่งวาล์วแสดงดังรูป 5.31

การทำงานของ PID Controller โดยจะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิของสารขณะทำปฏิกิริยาในถังกวนซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปเปรียบเทียบกับค่า Set Point ที่มีค่าเท่ากับ 60 °C เมื่อได้ค่าจากการเปรียบเทียบแล้วส่งสัญญาณไปที่ PID Controller จะสั่งให้เปิดหรือหรี่วาล์วจนกว่าอุณหภูมิภายในถังกวนเท่ากับ 60 °C ส่วนสารที่เข้ามาใหม่นั้นเป็น ตัวแปรรบกวน ซึ่งมี Block diagram รูปที่ 5.32



รูป 5.31 ตำแหน่งและการควบคุม Control Valve



รูป 5.32 Block Diagram ของ PID Controller

โดยที่

Manipulate Variable	คือ	อัตราไหลเข้าของไอน้ำ
Control Variable	คือ	อุณหภูมิของสารในถังกวน
Disturbance Variable	คือ	อัตราไหลของสารเข้าถังกวน
		อุณหภูมิของสารที่ไหลเข้าถังกวน
		อุณหภูมิของอากาศและไอน้ำ

5.6 ประเมินราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์

จากการออกแบบและการคำนวณขนาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ ทำให้ทราบรายละเอียดและจำนวนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบการผลิตของโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวโดยราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์สามารถประเมินได้จากใบเสนอราคาของ บริษัท อาร์ เอ็น พี อินเตอร์เนชั่นแนล เอ จำกัดและบริษัท เซอวิเทค เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด และจากการสืบค้นทางอินเตอร์เน็ต ซึ่งรายละเอียดและราคาต่อหน่วยของเครื่องจักรและอุปกรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 5.10 และ 5.11

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์

ชนิดอุปกรณ์	รายละเอียด
ท่อ ϕ ½"	Stainless Steel SUS 304 , ϕ ½" ยาวท่อนละ 6 เมตร ราคา : 830 บาท
ข้อต่อ 90° ϕ ½"	Stainless Steel SUS 304 , ϕ ½" ราคา : 56 บาท
ข้อต่อตัว Tee ϕ ½"	Stainless Steel SUS 304 , ϕ ½" ราคา : 240 บาท
ถังขนาด 1000 L	Stainless Steel SUS 304 หนา 2 mm. R 600 mm. ราคา : 20,000 บาท
ถังขนาด 200 L	Stainless Steel SUS 304 หนา 1.5 mm. R 300 mm. ราคา : 12,000 บาท
ถังขนาด 150 L	Stainless Steel SUS 304 หนา 1.5 mm. R 300 mm. ราคา : 7,000 บาท
ถังขนาด 150 L	Stainless Steel SUS 304 หนา 1.5 mm. R 250 mm. ราคา : 7,000 บาท
ถังขนาด 100 L	Stainless Steel SUS 304 หนา 1.5 mm. R 210 mm. ราคา : 6,500 บาท

ชนิดอุปกรณ์	รายละเอียด
Control Valve	ARMATUREN รุ่น ARI-PREMIO Thrust force : 2.2 kN Stroke distance max. : 50 mm. Control speed : 0.25 – 0.38 mm/sec. Power consumption : 10.3 – 11.7 VA Max. permissible temperature : -20°C - 70°C ราคา : 63,000 บาท
On-off valve	On/Off valve for use with 1/4" (6.4 mm.) OD tubing. Material: Teflon. ราคา : 3,100 บาท
Pump	CEAM70/3, 0.5 Hp Head 22 m. ราคา : 6,398 บาท
มอเตอร์พร้อมชุดกวน	0.5 Hp, 380V, 50Hz, 1430 rpm เพลาและใบกวนทำด้วย Stainless Steel SUS 304 ราคา : 4,625 บาท
PID Controller	HENGSTLER รุ่น grado921 ¼ DIN Process Controller Control Type : Full PID with Pre-tune , Self-tune , Manual Tuning , or On-Off control for Heat only or Heat & Cool Input : DC 0-20/4-20 mA , 0-50/10-50 mV Output : DC 0-20/4-20 mA into 500 Ω max , 0-10/0-5 V into 500 Ω max Power Supply : 90 to 264 V 50/60 Hz ราคา : 13,500 บาท
PLC Controllers	SPLat รุ่น OEM32 Input : 0-10V , 0-20 mA ราคา : 42,000 บาท

ชนิดอุปกรณ์	รายละเอียด
Flow Meter	HENGSTLER รุ่น UCC1000-30GM-IU-V1 (Ultrasonic Sensor) Sensing range 200-1000 mm. Output : 4 – 20 mA , 0 – 10 V ราคา 26,700 บาท
Sensor Density	CALEX แบบ Strain Gage Signal Power Req. : AC Output : 4-20 mA Input : 5mV-50mV ราคา : 16,200 บาท
Sensor Level	YOKOGAWA รุ่น EJA110A (Distribute Pressure Cell Sensor) Output : 4 to 20 mA DC with digital communication Measurement span : 5 to 500 kPa Maximum Working Pressure : 14 – 2000 MPa ราคา : 47,500 บาท
Check valve	Material : Stainless Steel ราคา : 250 บาท

หมายเหตุ : ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นราคา ณ วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546

ตารางที่ 5.11 ประเมินราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์

ชนิดอุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนอุปกรณ์	ราคาประเมิน(บาท)
ท่อ ϕ ½"	830	9	7,470
ข้อต่อ 90° ϕ ½"	56	33	1,848
ข้อต่อตัว Tee ϕ ½"	240	35	8,400
ถังขนาด 1000 L	20,000	3	60,000
ถังขนาด 200 L	12,000	8	96,000
ถังขนาด 150 L	7,000	5	35,000
ถังขนาด 150 L	7,000	1	7,000
ถังขนาด 100 L	6,500	2	6,500
Control Valve	63,000	1	63,000
On-off valve	3,100	44	136,400
Pump	6,398	12	76,776
มอเตอร์พร้อมชุดกวน	4,625	3	13,875
PID Controller	13,500	1	13,500
PLC Controllers	42,000	4	168,000
Flow Meter	26,700	1	26,700
Sensor Density	16,200	4	64,800
Sensor Level	47,500	4	190,000
Check valve	250	4	1,000
		รวม	976,269

หมายเหตุ : ค่าเชื่อมคิดต่อรอบเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว 50-80 บาทต่อจุด

จากราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์แต่ละชนิด สามารถรวมเป็นงบประมาณในการลงทุนซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิตให้กับโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 976,269 บาท ซึ่งราคานี้ไม่รวมค่าขนส่งและการติดตั้ง