บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลอง

3.1 การพิจารณาเลือกสถานที่ทดลอง

ก่อนที่จะทำการออกแบบและจัดสร้างหน่วยปฏิบัติการทดลอง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงสถานที่ที่จะทำการทดลองประกอบด้วย ทั้งนี้เนื่องจากสถานที่ทดลอง มีความเกี่ยวพันถึงการออกแบบ และการติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลองอย่างมาก ผลกระทบและความเหมาะสมของสถานที่ต่อการทดลองที่จำเป็นต้องคำนึงถึง มีดังต่อไปนี้ คือ

1) แหล่งน้ำดิบ
2) จุดติดตั้งชุดทดลอง
3) ระยะเวลาทดลอง
4) ผลกระทบอื่น ๆ

1) แหล่งน้ำดิบ

การพิจารณาถึงผลกระทบของแหล่งน้ำดิบ ณ สถานที่ทดลองเป็นปัจจัยจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึง หากแหล่งน้ำดิบไม่เหมาะสมจะทำให้การทำวิจัยไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ อาจต้องทำการย้ายสถานที่ทดลองใหม่ทำให้เสียเวลาอย่างมาก ดังนั้นสถานที่ที่ทดลองจะต้องมีแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสมในแง่ของระยะทางความใกล้ที่จะนำแหล่งน้ำดิบมาใช้กับหน่วยปฏิบัติการทดลอง มีความพอเพียงและความสม่ำเสมอในการส่งจ่ายน้ำเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลองทั้งในเชิงปริมาณและระดับความดัน มีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่พอเหมาะสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ทดลอง ไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมากนักตลอดช่วงทดลอง สามารถต่อท่อทางนำน้ำมาใช้กับหน่วยปฏิบัติทดลองได้โดยง่าย ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำโดยแหล่งปนเปื้อนอื่น ๆ ในบางครั้งแหล่งน้ำนั้นอาจจำเป็นต้องผ่านขบวนการบำบัดเพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับหน่วยปฏิบัติการทดลองได้

2) จุดติดตั้ง

จุดติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลองเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ จุดติดตั้งจะต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับจัดวางอุปกรณ์ สามารถเดินเครื่องและบำรุงรักษาเครื่องได้สะดวก และเนื่องจากการทดลองนี้จะต้องใช้กรดและด่างในการล้างสารกรอง (เรซิน) จะต้องมีพื้นที่จัดวาง กรด ด่างที่เหมาะสม ในการทดลองนี้การล้างสารกรองอาศัยผลต่างของระดับเป็นแรงขับเคลื่อนในการถ่ายเทสารเคมีจึงต้องมีจุดวางสารเคมีในระดับความสูงที่เหมาะสม นอกจากนี้จุดติดตั้งจะต้องสามารถต่อท่อ-ทางจากแหล่งน้ำดิบเข้าเครื่องหน่วยปฏิบัติการทดลองได้โดยง่าย และระยะทางไม่ไกลมากนัก จุดติดตั้งยังควรต้องใกล้กับห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อที่จะสามารถเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากการทดลองได้สะดวก

3) ระยะเวลาทดลอง

ระยะเวลาของการทดลองก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน ระยะเวลาการทดลองย่อมมีผลกระทบต่อปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำดิบ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล การขออนุญาติใช้พื้นที่ทดลองก็ต้องมีการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นระยะเวลาจึงเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ทดลอง

4) ผลกระทบอื่น ๆ

เนื่องจากการทำวิจัยนี้เป็นการทดลองภายในหน่วยงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งหน่วยปฏิบัติการในพื้นที่ของการไฟฟ้าฯ ซึ่งพื้นที่ในการติดตั้งนั้นก็มีการปฏิบัติงานของหน่วยงานต่าง ๆ เป็นการประจำอยู่ ทำให้ต้องนำผลกระทบของการปฏิบัติงานของหน่วยงานเหล่านั้นมาพิจารณาประกอบกับการเลือกสถานที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลองด้วย นอกจากนั้นผลกระทบอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณา เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อวัสดุของหน่วยปฏิบัติการทดลองหรืออาจรบกวนทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ในบางเวลา สภาพไฟฟ้าแสงสว่างต้องเหมาะสมเนื่องจากการทดลองจะทำต่อเนื่องถึงเวลากลางคืนด้วย เป็นต้น

จากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการเลือกสถานที่ดังกล่าวข้างต้น ผู้ทำการวิจัยโดยผ่านความเห็นชอบของที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม(คุณมงคล ศรีเรือง)ได้พิจารณาเลือกสถานที่ติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลอง คือสถานที่แผนกเคมีโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นจุดติดตั้งเพื่อทำการวิจัย

3.2 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำดิบ

เมื่อได้ตัดสินใจเลือกสถานที่ติดตั้งหน่วยปฏิบัติการทดลองเพื่อทำการวิจัย ณ แผนกเคมีโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ กฟผ. จะกล่าวถึงระบบติดตั้งอุปกรณ์ผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือพอสังเขป

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือเป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 3 หน่วย ขนาดกำลังผลิต 75 เมกกะวัตต์ 2 หน่วย และขนาดกำลังผลิต 87.5 เมกกะวัตต์ 1 หน่วย รวมกำลังผลิต 237.5 เมกกะวัตต์ น้ำที่ใช้เติมเข้าในระบบหม้อต้มไอน้ำเป็นน้ำบริสุทธิ์ (Demineralized Water) โดยการนำน้ำจากแหล่งน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา มาผ่านกระบวนการทำน้ำใส (Clarification) และการกรอง (Filtration) นำน้ำใสที่ได้ไปผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Process) ได้เป็นน้ำบริสุทธิ์ป้อนเข้าระบบหม้อน้ำของโรงไฟฟ้า

น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองของการวิจัยนี้ คือ น้ำใสที่ได้ผ่านกระบวนการทำน้ำใสแล้ว ดังนั้นน้ำดิบจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทดลองนี้

การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำดิบ เพื่อการออกแบบหน่วยปฏิบัติการทดลอง ผู้ทำวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบ (น้ำใสจากโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ) เป็นระยะเวลาติดต่อกันประมาณ 3 เดือนครึ่ง โดยเก็บตัวอย่างทุกวัน วันละ 1 ตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1	ความเป็นกรด-ด่าง	(pH)
1.2	ความนำไฟฟ้า	(Conductivity, μS/cm.)
1.3	ความขุ่น	(Turbidity, NTU.)
1.4	ความกระด้างทั้งหมด	(Total hardness,ppm as $CaCO_3$)
1.5	แคลเซียม	(Calcium, ppm as $CaCO_3$)
1.6	แมกเนเซียม	(Magnesium, ppm as $CaCO_3$)
1.7	โซเดียมและโปแตสเซียม *	(Sodium and Potassium,ppm as $CaCO_3$)
1.8	ความเป็นด่าง	(Alkalinity, ppm as $CaCO_3$)
1.9	ไฮดรอกไซด์	(Hydroxide, ppm as $CaCO_3$)
1.10	ไบคาร์บอเนต	(Bicarbonate, ppm as $CaCO_3$)
1.11	คาร์บอเนต	(Carbonate, ppm as $CaCO_3$)
1.12	คลอไรด์	(Chloride, ppm)
1.13	ซัลเฟต	(Sulfate, ppm)
1.14	ซิลิกา	(Silica, ppm)

หมายเหตุ : * เป็นค่าจากการคำนวณ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำดิบตลอดระยะเวลา 3 เดือนครึ่ง ทำให้ได้ข้อมูลดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา และทราบถึงค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum) ของแต่ละดัชนี ดังข้อมูลแสดงอยู่ในตารางที่ ก.1 ถึง ก. 4 ในภาคผนวก ก. จากข้อมูลคุณสมบัติของน้ำดิบที่ได้นำค่าสูงสุดของแต่ละดัชนีมาเป็นพื้นฐานในการคำนวณออกแบบหน่วยปฏิบัติการทดลองต่อไป

3.3 การคำนวณและการออกแบบ (SIZING AND DESIGNING)

3.3.1 คุณลักษณะของน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลอง (Characteristic of raw water)

จากการเก็บและวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลองตามข้อ 3.2 ในระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2537 ถึงวันที่ 17 มกราคม 2538 พบว่าน้ำดิบมีคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำ ตามดัชนีคุณภาพน้ำพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

pH	6.5-7.1	
Specific Conductivity	195-330	µS/cm.
Turbidity	<1	NTU.
Total Hardness	68-114	ppm as $CaCO_3$
Calcium	38-70	ppm as $CaCO_3$
Magnesium	30-40	ppm as $CaCO_3$
Total Alkalinity,	48.3-93.4	ppm as $CaCO_3$
Bicarbonate	58.9-113.7	ppm as $CaCO_3$
Carbonate	nil	
Hydroxide	nil	
Chloride	6-38	ppm
Sulfate	21.6-49.6	ppm
Silica	7-9	ppm
Total Organic Carbon	5.2	ppm as Carbon

หมายเหตุ : ตัวอย่างน้ำดิบข้างต้นซึ่งเก็บที่ถังเก็บน้ำใส เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการทำน้ำใสจากการนำน้ำแม่น้ำเจ้าพระยามาผ่าน Flocculation Plant แล้ว

3.3.2 การคำนวณภาระไอออนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำดิบเพื่อการออกแบบ (Ionic Load Calculation for Unit Operation Design)

3.3.2.1 คำนวณแปลงหน่วยไอออนประจุบวกและประจุลบในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต

ในการคำนวณภาระไอออนทั้งประจุบวก (Cations) และประจุลบ (Anions) ที่มีอยู่ในน้ำดิบสำหรับการออกแบบจะคำนวณแปลงให้อยู่ในรูปความเข้มข้นในหน่วยของ ppm as $CaCO_3$ ดังนี้

- ประจุบวก (Cations)

- Calcium	70	ppm as $CaCO_3$
- Magnesium	44	ppm as $CaCO_3$
- Sodium + Potassium	Balance to equivalent with Total Anion	

- ประจุลบ (Anions)

- Bicarbonate 93.4 ppm as $CaCO_3$

- Chloride = 38 ppm Cl^- x $\frac{\text{equivalent weight of } CaCO_3}{\text{equivalent weight of } Cl^-}$ ppm as $CaCO_3$

  = 38 x $\frac{50}{35.5}$ ppm as $CaCO_3$

  = 53.5 ppm as $CaCO_3$

- Sulfate = 49.6 ppm SO_4^{2-} x $\frac{\text{equivalent weight of } CaCO_3}{\text{equivalent weight of } SO_4^{2-}}$ ppm as $CaCO_3$

  = 49.6 x $\frac{50}{48}$ ppm as $CaCO_3$

  = 51.6 ppm as $CaCO_3$

∴ Total Anion (without Silica) = Bicarbonate + Chloride + Sulfate

= 93.4 + 53.5 + 51.6 ppm as $CaCO_3$

= 198.5 ppm as $CaCO_3$

- Silica = 9 ppm SiO_2 x $\frac{\text{equivalent weight of } CaCO_3}{\text{equivalent weight of } SiO_2}$ ppm as $CaCO_3$

= 9 x $\frac{50}{60.086}$ ppm as $CaCO_3$

= 7.5 ppm as $CaCO_3$

∴ Total Anion (with Silica) = Bicarbonate + Chloride + Sulfate + Silica

= 93.4 + 53.5 + 51.6 + 198.5 + 7.5 ppm as $CaCO_3$

= 206.0 ppm as $CaCO_3$

คำนวณหา Sodium + Patassium

Sodium + Potassium = Total Anion (without SiO_2) - Calcium - Magnesium

= 198.5 - 70 - 44 ppm as $CaCO_3$

= 84.5 ppm as $CaCO_3$

∴ Total Cation = Calcium + Magnesium + Sodium + Potassium

= 70 + 44 + 84.5 ppm as $CaCO_3$

= 198.5 ppm as $CaCO_3$

3.3.2.2 คำนวณปริมาณสมมูลย์ของภาระไอออนทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตรน้ำ

เมื่อได้ภาระไอออนทั้งหมดทั้งไอออนบวกและไอออนลบในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนตแล้ว สามารถคำนวณหาปริมาณสมมูลย์ของภาระไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรน้ำ (ในที่นี้คิดต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรน้ำ) ได้ดังนี้

- ประจุบวก (Cations)

- Total Cations = 198.5 ppm as $CaCO_3$

$$= 198.5 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{lit.water}}$$

$$= 198.5 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{lit.water}} \times \frac{1}{\text{equivalent weight of } CaCO_3} \times \frac{1000 \text{ lit.}}{1 \text{ m}^3}$$

$$= 198.5 \times 1000 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{m}^3 \text{ water}} \times \frac{1}{50 \text{g./equivalent}} \times \frac{1\text{g.}}{1000 \text{ mg.}}$$

$$= \frac{198.5}{50} \text{ equivalent/ m}^3 \text{ water}$$

$$= 3.97 \text{ equivalent/ m}^3 \text{ water}$$

- ประจุลบ (Anions)

Total Anions (with Silica) = 206.0 ppm as $CaCO_3$

$$= 206.0 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{lit.water}}$$

$$= 206.0 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{lit.water}} \times \frac{1}{\text{equivalent weight of } CaCO_3} \times \frac{1000 \text{ lit.}}{1 \text{ m}^3}$$

$$= 206.0 \times 1000 \ \frac{\text{mg } CaCO_3}{\text{l water}} \times \frac{1}{50 \text{g./equivalent}} \times \frac{1\text{g.}}{1000 \text{ mg.}}$$

$$= \frac{206.0}{50} \text{ equivalent/ m}^3 \text{ water}$$

$$= 4.12 \text{ equivalent/ m}^3 \text{ water}$$

3.3.2.3 สรุปภาระไอออนในน้ำดิบ

- ประจุบวก (Cations)

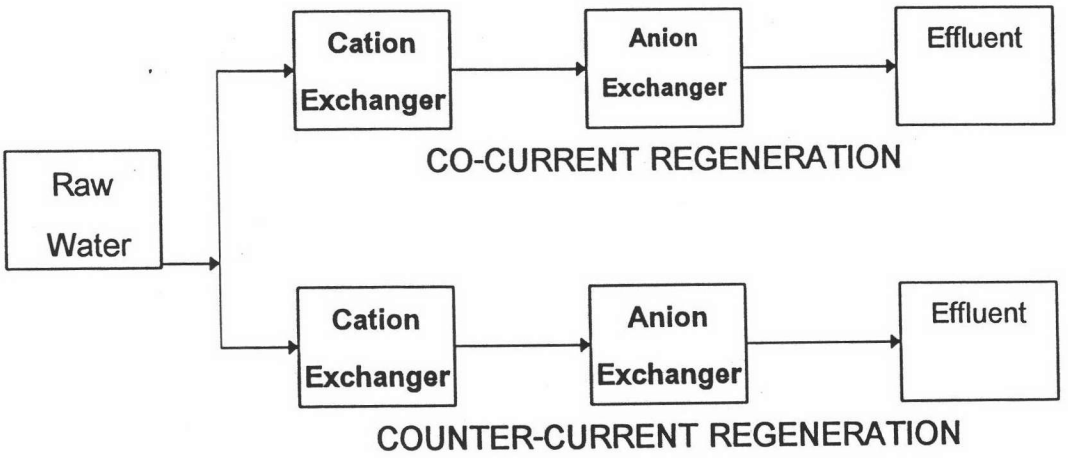
- Calcium		70	ppm as $CaCO_3$
- Magnesium		44	ppm as $CaCO_3$
- Sodium + Potassium(Balance)		84.5	ppm as $CaCO_3$
∴ Total Cations	=	198.5	ppm as $CaCO_3$
หรือ	=	3.97	equivalent/ m^3 water

- ประจุลบ (Anions)

- Bicarbonate		93.4	ppm as $CaCO_3$
- Chloride		53.5	ppm as $CaCO_3$
- Sulphate		51.6	ppm as $CaCO_3$
∴ Total Anions (without silica)	=	198.5	ppm as $CaCO_3$
- Silica		7.5	ppm as $CaCO_3$
∴ Total Anions (with silica)	=	206.0	ppm as $CaCO_3$
หรือ	=	4.12	equivalent/ m^3 water

3.3.3 ไดอะแกรมของกระบวนการ (Process Diagram)

เพื่อให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบแพ็กเบดทั้งสองชนิด คือ ชนิดโคเคอร์เรนต์และชนิดเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน มีเงื่อนไขการทดลองเหมือนกันจึงกำหนดไดอะแกรมของกระบวนการ ดังนี้



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของกระบวนการ

3.3.4 กำหนดข้อมูลเบื้องต้นของการเดินเครื่องเพื่อการออกแบบ (Operating Data for Design)

- Operating Flowrate : 200 lph.
- Degasifier : No.
- Running Time (Cycle Time) : 10 hr. or 15 hr. or 20 hr.
- Gross Volume Run : 2000 l or 3000 l or 4000 l

3.3.5 การคำนวณหาปริมาณสารกรองเรซินและขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารกรองและออกแบบขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนนั้นเริ่มต้นจะคำนวณกรณีของการไหลทางเดียวกัน (Co-flow) ซึ่งในที่นี้คือ กรณีของ Co-current regeneration ก่อน โดยอาศัยข้อมูลเทคนิค (Engineering Bulletin และ Engineering Data Sheet) ของสารกรองจากบริษัทผู้ผลิตประกอบการคำนวณ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณสารกรองเรซินที่ต้องใช้ในการทดลองได้ และจากปริมาณสารกรองที่คำนวณได้ประกอบกับ Suggested Operation Condition ใน Engineering Data Sheet สามารถออกแบบขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน หรือหน่วยปฏิบัติการทดลองได้

จากการคำนวณหาปริมาณเรซินได้ในกรณีของ Co-flow (Co-current Regeneration) นำตัวเลขปริมาณเรซินที่ได้ทั้งเรซินประจุบวก (Cation Resin) และเรซินประจุลบ

(Anion Resin) มากำหนดใช้กับ Reverse flow (Counter-current Regeneration) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองต้องมีเงื่อนไขที่เหมือนกันซึ่งรวมถึงปริมาณสารกรองเรซินด้วย เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทั้งสองชนิด ดังนั้นในการคำนวณเพื่อการออกแบบระบบในการทำวิจัยนี้จึงคำนวณเฉพาะกรณีของ Co-flow ก็เพียงพอ

3.3.5.1 สารกรองเรซินที่ใช้ในการทดลอง (Ion Exchanger Resin)

	CATION RESIN	ANION RESIN
บริษัท	: ROHM and HAAS, U.S.A.	ROHM and HAAS, U.S.A.
ชื่อทางการค้า	: AMBERLITE 200	AMBERLITE IRA 900
Resin Type	: STRONGLY ACIDIC CATION RESIN ชนิด MACRORETICULAR TYPE	STRONGLY BASIC ANION RESIN ชนิด MACRORETICULAR TYPE

	CATION RESIN	ANION RESIN
MATRIX TYPE	: STYRENE-DVB	STYRENE-DVB
FUNCTIONAL GROUP	: $-SO_3^-$	$-N^+-(CH_3)_3$

3.3.5.2 การคำนวณกรณี CO-FLOW (CO-CURRENT REGENRATION)

อาศัยข้อมูลเทคนิคจาก Engineering Data Sheet ของบริษัท สามารถกำหนดและคำนวณข้อมูลของเงื่อนไขการเดินเครื่อง และขนาดของหน่วยปฏิบัติการทดลองได้ดังนี้

	CATION COLUMN				ANION COLUMN			
■ RESIN : AMBERLITE	200				IRA 900			
■ GROSS RUN : m^3	2.0	3.0	4.0	(2.2)	2.0	3.0	4.0	(2.2)
■ IONIC LOAD : eq./tot.m^3	7.94	11.91	15.88	(8.734)	8.24	12.36	16.48	(9.064)
■ REGENERANT :	HCl				NaOH			
CONCENTRATION : % wt.	5				4			
REGEN. LEVEL : g/l_R	100				100			
■ OPERATING CAPACITY : $eq./l_R$								

(from Engineering Bulletin and Engineering Data Sheet)

(I) CATIONS

(See Engineering Bulletin for AMBERLITE 200,co-current regeneration)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำดิบ และสรุปภาระไอออนในน้ำดิบตามหัวข้อ 3.3.2.3

Cations

Calcium	70	ppm as $CaCO_3$
Magnesium	44	ppm as $CaCO_3$
Sodium + Potassium	84.5	ppm as $CaCO_3$
Total Cations	198.5	
% Sodium (+ Potassium)	$= \frac{84.5}{198.5} \times 100 = 42.6\ \%$	

Anions

Alkalinity (Bicarbonate)	93.4	ppm as $CaCO_3$
Chloride	53.5	ppm as $CaCO_3$
Nitrate	0	ppm as $CaCO_3$
Sulphate	51.6	ppm as $CaCO_3$
Total Anions	198.5	ppm as $CaCO_3$
% Allkalinity	$= \frac{93.4}{198.5} \times 100 = 47.0\ \%$	
% Theoretical Mineral Acidity	$= \frac{53.5 + 0 + 51.6}{198.5} \times 100\ \%$	
	$= 52.9\ \%$	

- จากรูปที่ 5 ใน Engineering Bulletin,
  ที่ Regen. Level 96 g HCl/l_R (96 g 100% HCl/l_R)
  จากกราฟที่ Sodium 42.6% และ alkalinity 47.0% ได้ค่า
  Exchange Capacity $\approx$ 52.0 $gCaCO_3/l_R$
  และ Average Leakage $\approx$ 0.7 % of Total Cation

- จากรูปที่ 6 ใน Engineering Bulletin,
  ที่ Regen. Level 112 gHCl/l_R (112 g 100% HCl/l_R)
  จากกราฟที่ Sodium 42.6% และ alkalinity 47.0% ได้ค่า
  Exchange Capacity ≈ 54.0 $gCaCO_3/l_R$
  และ Average Capacity ≈ 0.4 % of Total Cation

- คำนวณหาค่า Exchange Capacity Average Leakage ที่ Reg. Level 100 g 100% HCl/l_R ได้ดังนี้

  Exchange Capacity ที่ 100 g HCl/l_R $= 52.0 + \frac{(100-96)(54-52)}{(112-19)}\ gCaCO_3/l_R$

  $= 52.5\ gCaCO_3/l_R$

  Average Leakage ที่ 100 g HCl/l_R =0.4+(100-96)(0.7-0.4)% of Total Cation

  = 0.475 % of Total Cation

- คำนวณหาปริมาตรน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซิน AMBERLITE 200 ตามทฤษฎี

  ในน้ำมี Total Cations = 198.5 ppm as $CaCO_3$

  = 0.1985 $gCaCO_3/l_w$

  = 3.97 eq./m^3 water

  Exchange Capacity = 52.5 $gCaCO_3/l_R$

  $= \frac{52.5}{50}$ eq./l_R

  = 1.05 eq./l_R

  ∴ ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้จากเรซิน AMBERLITE 200 ตามทฤษฎี

  $= \frac{52.5}{0.1985}\ \frac{gCaCO_3/l_R}{gCaCO_3/l_W}$

  $= 264.5\ l_W / l_R$

  = 264.5 BV (รวมถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในขั้นตอนล้างช้าและล้างเร็วด้วย)

  (BV = Bed Volume = 1 m^3 Solution per m^3 resin)

So, for Cation Column

■ OPERATING FLOWRATE	:	lph.	200			
■ RUNNING TIME (CYCLE TIME)	:	hr.	10	15	20	(11)
■ GROSS VOLUME RUN	:	m^3	2.0	3.0	4.0	(2.2)
■ IONIC LOAD	:	eq.	7.94	11.9	15.88	(8.734)
■ OPERATING CAPACITY	:	eq./l_R	1.05	1.05	1.05	(1.05)
■ RESIN VOLUME	:	lit.	7.56	11.33	15.12	(8.31)

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ ( ) เป็นค่าที่ออกแบบไว้

การคำนวณหาปริมาณสารกรองเรซินประจุบวก

ตัวอย่างการคำนวณ : กรณี Running Time 10 hr.

■ Operating Flowrate 200 lph.

■ กำหนด Running Time 10 hr.

∴ Gross volume run = $200 \frac{l}{hr.} \times 10 \text{ hr.} = 2000 \text{ l} = 2.0 \text{ } m^3$

จาก Total Cation = 3.97 eq./m^3 water

∴ Ionic load for Cation = $2.0 \text{ } m^3 \times 3.97 \text{ eq./}m^3$

= 7.94 eq.

■ Operating Capacity of Cation = 1.05 eq./l_R

∴ Resin Volume = $\frac{\text{Ionic Load}}{\text{Operating Capacity}}$

= $\frac{7.94 \text{ eq.}}{1.05 \text{ eq./}l_R}$

= 7.56 l_R

สำหรับกรณีของ Running Time อื่น ๆ ก็คำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

การออกแบบขนาดหอเรซินประจุบวก

การออกแบบรูปร่างและขนาดเครื่องกรองเรซินประจุบวก โดยใช้ท่อพีวีซีจัดทำเป็นหอทรงกระบอก เนื่องจากเป็นระบบแพ็กเบด (Packed Bed) สารกรองเรซินถูกบรรจุอยู่เต็มในหอ จากสูตร ;

ปริมาตรภายในของหอ = ปริมาตรสารกรองเรซินประจุบวก = $\pi r_c^2 h_c$

เมื่อ r_c = รัศมีภายในของหอประจุบวก

h_c = ความสูงของหอประจุบวก

$\therefore h_c = \frac{\text{Resin Volume}}{\pi r_c^2}$

1) กรณีของหอพีวีซี 4″ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 9.65 cm, เรซิน 7.56 l ⟶ h_c = 103.4 cm.
(Cycle time 10 h.) = 1034 mm.

2) กรณีของหอพีวีซี 4″ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 9.65 cm,เรซิน 15.12 l⟶ h_c = 206.7 cm.
(Cycle time 20 h.) = 2067 mm.

3) กรณีของหอพีวีซี 4″ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 9.65 cm, เรซิน 8.31 l ⟶ h_c = 113.6 cm.
(Cycle time 11 h.) = 1136 mm.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS FOR CATION AMBERLITE 200

(See Engineering Bulletin , co-current regeneration)

■ Maximum operating temperature 150 ^{o}C

■ Minimum bed depth 600 mm.

เลือกกรณี Running Time 11 h., Resin Volume 8.31 l ใช้หอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 9.65 cm. จะได้ค่า h_c หรือค่า Bed depth 1136 mm.

■ Service flow rate 16-40 BV/h.

หมายเหตุ : 1 gpm/ft^3

$$= \frac{1 \times 3.785\ l}{1/60\ h.} \times \frac{1}{28.3168\ l}$$

$$= 8.02\ l/h/l_R$$

Design service flowrate

$$= \frac{\text{Flowrate}}{\text{Resin Volume}}$$

$$= \frac{200\ l_W/h}{8.31\ l_R}$$

$$= 24.07\ l_W/l_R\text{-}h$$

$$= 24.07\ BV/h.$$

หมายเหตุ : 1 BV (Bed Volume) = 1 m^3 solution per m^3 resin

■ Linear velocity 24-120 m./h.

Design linear velocity

$$= \frac{\text{Flowrate}}{\text{Serface Area}}$$

$$= \frac{200\ l/h}{\pi r_c^2}$$

$$= \left(200\ \frac{l}{h} \times \frac{1000\ cm^3}{1l}\right) \Big/ \pi \left(\frac{9.65}{2}\right)^2 cm^2$$

$$= 2734.6\ cm/h.$$

$$= 27.35\ m/h.$$

(II) ANIONS

(See Engineering Data Sheet for AMBERLITE IRA 900, Co-flow regen.)

$$Cap = Cap_0 \times D \times E \times F \times G$$

Cap_0 ที่ NaOH 100 g/l_R = 0.50 eq./l

D = Capacity Correction Factor D versus Sulphate to Total Anions Ratio

Sulphate to Total Anion Ratio $= \frac{51.6}{206.0} \times 100\% = 25.05\%$

$$\therefore D = 0.96 + \frac{(25.05-25)(1.00-0.96)}{(50-25)} = 0.9604$$

E = Capacity Correction Factor E versus CO_2 to Total Anions Ratio

CO_2 to Total Anion Ratio $= \frac{93.4}{206.0} \times 100\% = 45.34\%$

$$\therefore E = 1.02 + \frac{(45.34-30)(1.05-1.02)}{(50-30)} = 1.043$$

F = Capacity Correction Factor F versus Silica to Total Anions Ratio and NaOH Temperature

Silica to Total Anion Ratio $= \frac{7.5}{206.0} \times 100\% = 3.64\%$

NaOH Temperature $\approx$ 35 $^{\circ}C$

$\therefore F \approx 1.03$

G = Capacity Correction Factor G versus Silica Endpoint

(ΔSiO_2 = difference between average leakage and endpoint)

กำหนด ΔSiO_2 = 200 ppb.

$\therefore G = 1.00$

$\therefore$ Cap = Cap_0 x D x E x F x x G

= 0.50 x 0.9604 x 1.043 x 1.03 x 1.00 eq./l_R

= 0.516 eq./l_R

So, for Anion Column

■ OPERATING FLOWRATE	:	lph.	200			
■ RUNNING TIME (CYCLE TIME)	:	hr.	10	15	20	(11)
■ GROSS VOLUME RUN	:	m^3	2.0	3.0	4.0	(2.2)
■ IONIC LOAD	:	eq.	8.24	12.36	16.48	(9.064)
■ OPERATING CAPACITY	:	eq./l_R	0.516	0.516	0.516	(0.516)
■ RESIN VOLUME	:	lit.	15.97	23.95	31.94	(17.57)

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ ( ) เป็นค่าที่ออกแบบไว้

การคำนวณหาปริมาณสารกรองเรซินประจุลบ

ตัวอย่างการคำนวณ : กรณี Running Time 10 hr.

■ Operating Flowrate 200 lph.

■ กำหนด Running Time 10 hr.

$\therefore$ Gross volume run = 200 $\frac{l}{hr.}$ x 10 hr. = 2000 l = 2.0 m^3

จาก Total Anion = 4.12 eq./m^3 water

$\therefore$ Ionic load for Anion = 2.0 m^3 x 4.12 eq./m^3

= 8.24 eq.

■ Operating Capacity of Anion = 0.516 eq./l_R

$\therefore$ Resin Volume $= \frac{\text{Ionic Load}}{\text{Operating Capacity}}$

$= \frac{8.24 \text{ eq.}}{0.516 \text{ eq./l}_R}$

$= 15.97 \text{ l}_R$

สำหรับกรณีของ Running Time อื่น ๆ ก็คำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

การออกแบบขนาดหอเรซินประจุลบ

การออกแบบรูปร่างและขนาดเครื่องกรองเรซินประจุลบ โดยใช้ท่อพีวีซีจัดทำเป็นหอทรงกระบอก เช่นเดียวกับเครื่องกรองเรซินประจุบวก ในกรณีเดียวกันเนื่องจากเป็นระบบแพ็กเบด (Packed Bed) สารกรองเรซินถูกบรรจุอยู่เต็มในหอ

จากสูตร ;

ปริมาตรภายในของหอ = ปริมาตรสารกรองเรซินประจุลบ = $\pi r_A^2 h_A$

เมื่อ r_A = รัศมีภายในของหอประจุลบ

h_A = ความสูงของหอประจุลบ

$\therefore h_A = \frac{\text{Resin Volume}}{\pi r_A^2}$

1) กรณีของหอพีวีซี 6″มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14.05 cm,เรซิน 15.97 l $\longrightarrow$ h_A= 103.0 cm.
(Cycle time 10 h.) = 1030 mm.

2) กรณีของหอพีวีซี 6″ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14.05 cm,เรซิน 23.95 l $\longrightarrow$ h_A= 154.5 cm.
(Cycle time 15 h.) = 1545 mm.

3) กรณีของหอพีวีซี 6″ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14.05 cm,เรซิน 17.57 l $\longrightarrow$ h_A= 113.3 cm.
(Cycle time 11 h.) = 1133 mm.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS FOR ANION AMBERLITE IRA 900

(See engineering data sheet , co-flow regeneration)

■ Maximum operating temperature 60 ^{o}C

■ Minimum bed depth 700 mm. (co-flow), 1000 mm. (counter-flow)

เลือกกรณี Running Time 11 h., Resin Volume 17.57 liters ใช้หอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14.05 cm. จะได้ค่า h_A หรือค่า Bed depth 1133 mm.

■ Service flow rate 5-40 BV/h.

Design service flowrate = $\frac{\text{Flowrate}}{\text{Resin Volume}}$

$= \frac{200\ l_W/h}{17.57\ l_R}$

$= 11.38\ l_W/l_R\text{-}h$

$= 11.38$ BV/h.

หมายเหตุ : 1 BV (Bed Volume) = 1 m^3 solution per m^3 resin

■ Maximum Linear velocity 50 m./h.

Design linear velocity = $\frac{\text{Flowrate}}{\text{Serface Area}}$

$= \frac{200\ l/h}{\pi r_A^2}$

$= \left(200 \frac{l}{h} \times \frac{1000\ cm^3}{1l}\right) \Big/ \pi \left(\frac{14.05}{2}\right)^2 cm^2$

$= 1290.0$ cm./h.

$= 12.90$ m./h.

3.3.5.3 การคำนวณรีเจนเนอเรนต์ (REGENERANTS) ที่ใช้

ตามที่กำหนดใน Suggested operating condition เรื่องการใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regenerant) กรณีของแคทอิออนเรซินใช้กรดเกลือ (Hydrochloric acid) และแอนอิออนเรซินใช้โซดาไฟ (Sodium hydroxide) ในที่นี้ได้ใช้ กรดเกลือ 35% wt. และโซดาไฟ 50% wt. โดยกำหนดขนาดระดับ (Level) ของรีเจนเนอแรนต์ทั้ง 2 ชนิด ไว้เท่ากับ 100 g./l_R ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราส่วนผสมของรีเจนเนอแรนต์ได้ดังนี้

- **กรณีเรซินประจุบวก (Cation Resin)**

จาก Handbook : Norbert Adolph Lange, " Lange's Handbook of Chemistry" , 10th edition , Ohio , U.S.A. , 1967 , p.1141-1142.

	HCl 34% wt.	สมมูลย์กับ	397.5	g/l
และ	HCl 36% wt.	สมมูลย์กับ	424.4	g/l
ดังนั้น	HCl 35% wt.	สมมูลย์กับ	424.4 + 397.5	g/l
		=	410.95	g/l

■ กำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรตของเรซินประจุบวก (Cation regeneration level) 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร หมายความว่าต้องการใช้ปริมาณเนื้อกรดเกลือเข้มข้น (Conc. HCl) จำนวน 100 กรัม ต่อ เรซิน 1 ลิตร ถ้าใช้เรซินจำนวน 8.31 ลิตร ดังนั้นต้องใช้กรดเกลือเข้มข้น (Conc. HCl) จำนวนทั้งสิ้น 100 x 8.31 = 831 กรัม

จากข้อมูล Handbook ได้ว่า :

HCl (Conc.) จำนวน 411.05 g. มีอยู่ใน 1 l HCl 35% wt.

∴ HCl (Conc.) จำนวน 831 g. มีอยู่ใน $\frac{1 \times 831}{411.05}$ l HCl 35% wt.

= 2.022 l HCl 35% wt.

■ กำหนดใช้ Cation regenerant concentration 5% wt.

จาก Handbook :

	HCl 4% wt.	สมมูลย์กับ	40.72	g/l
และ	HCl 6% wt.	สมมูลย์กับ	61.67	g/l
ดังนั้น	HCl 5% wt.	สมมูลย์กับ	51.195	g/l

นั่นคือ HCl (Conc.) จำนวน 51.195 g. มีอยู่ใน 1 l HCl 5% wt.

∴ HCl (Conc.) จำนวน 831 g. มีอยู่ใน $\frac{1 \times 831}{51.195}$ l HCl 5% wt.

$= 16.232$ l HCl 5% wt.

ดังนั้นเมื่อกำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรต 100 g/l_R และใช้จำนวนเรซิน 8.31 ลิตรนั้น จะต้องนำกรด HCl (35% wt.) มาจำนวน 2.022 ลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์จนได้ปริมาตรรวม 16.232 ลิตร เป็นสารละลายที่จะนำมาใช้เป็นสารรีเจนเนอแรนต์สำหรับเรซินประจุบวกต่อไป

● **กรณีเรซินประจุลบ (Anion Resin)**

จาก Handbook : Norbert Adolph Lange, " Lange's Handbook of Chemistry" , 10th edition , Ohio , U.S.A. , 1967 , p.1150.

	NaOH 50% wt.	สมมูลย์กับ	762.7	g/l
และ	NaOH 4% wt.	สมมูลย์กับ	41.71	g/l

■ กำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรตของเรซินประจุลบ (Anion regeneration level) 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร หมายความว่าต้องการใช้ปริมาณเนื้อโซดาไฟเข้มข้น (Conc. NaOH) จำนวน 100 กรัม ต่อ เรซิน 1 ลิตร ถ้าใช้เรซินจำนวน 17.57 ลิตร ดังนั้นต้องใช้โซดาไฟเข้มข้น (Conc. NaOH) จำนวนทั้งสิ้น 100 x 17.57 = 1757 กรัม

จากข้อมูล Handbook ได้ว่า :

NaOH (Conc.) จำนวน 762.7 g. มีอยู่ใน 1 l NaOH 50% wt.

∴ NaOH (Conc.) จำนวน 1757 g. มีอยู่ใน $\frac{1757}{762.7}$ l NaOH 50% wt.

$= 2.304$ l NaOH 50% wt.

■ กำหนดใช้ Anion regenerant concentration 4% wt.

จาก Handbook :

NaOH (Conc.) จำนวน 41.71 g. มีอยู่ใน 1 l NaOH 4% wt.

∴ NaOH (Conc.) จำนวน 1757 g. มีอยู่ใน $\frac{1757}{41.71}$ l NaOH 4% wt.

$= 42.124$ l NaOH 4% wt.

ดังนั้นเมื่อกำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรต 100 g/l_R และใช้จำนวนเรซิน 17.57 ลิตรนั้น จะต้องนำ NaOH (50% wt.) มาจำนวน 2.304 ลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์จนได้ปริมาตรรวม 42.124 ลิตร เป็นสารละลายที่จะนำมาใช้เป็นสารรีเจนเนอแรนต์สำหรับเรซินประจุลบต่อไป

3.3.5.4 คำนวณอัตราการไหลและระยะเวลาที่รีเจนเนอร์แรนต์สัมผัสกับเรซิน

- **กรณีเรซินประจุบวก**

จาก Suggested operating conditions ใน engineering bulletin แนะนำให้ใช้ regeneration flow rate 2-4 BV/h. โดยกำหนด minimum contact time 30 minutes (BV คือ Bed volume)

flow rate 4 BV = 2 x 8.31 l/h. = 16.62 l/h.

flow rate 5 BV = 4 x 8.31 l/h. = 33.24 l/h.

กำหนดใช้ regeneration flow rate 30 l/h. = 3.61 BV

∴ ใช้เวลาในการ regenerate เท่ากับ $16.232 \text{ l} \times \frac{60 \text{ min}}{30 \text{ l}} = 32.46$ min.

∴ Contact time = 32.46 min. มากกว่า 30 min. ใช้ได้

- กรณีเรซินประจุลบ

จาก Suggested operating conditions ใน engineering data sheet แนะนำให้ใช้ regeneration flow rate 2-8 BV/h. โดยกำหนด minimum contact time 30 minutes

flow rate 2 BV = 2 x 17.57 l/h. = 35.14 l/h.

flow rate 8 BV = 8 x 17.57 l/h. = 140.56 l/h.

กำหนดใช้ regeneration flow rate 70 l/h. = 3.61 BV

∴ ใช้เวลาในการ regenerate เท่ากับ $42.124\ l \times \frac{60\ min}{70\ l} = 36.11$ min.

∴ Contact time = 36.11 min. มากกว่า 30 min. ใช้ได้

3.3.6 สรุปการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

(I) DESIGN CONDITIONS :

RESINS / PARAMETERS	UNITS	CATION	ANION
• Flowrate	lph	200	200
• Gross Volume Run	l	2200	2200
• Running Time	h	11	11
• Resin , AMBERLITE	-	200	IRA 900
• Ionic Load	eq.	8.734	9.064
• Regenerants	-	HCl	NaOH
Concentration	%wt.	5	4
Regeneration Level	g/l_R	100	100
• Operating Capacity	$eq./l_R$	1.05	0.516
(Calculation by using Data Sheets)			
• Resin Volume	l	8.31	17.57
• Column Inner Diameter	cm.	9.65	14.05
• Bed Depth	mm.	1136	1133

(II) SUGGESTED OPERATING CONDITIONS :

RESINS / PARAMETERS	UNITS	CATION			ANION		
			SUGGESTED IN DATA SHEET			SUGGESTED IN DATA SHEET	
		DESIGN	CO-FLOW	REVERSE-FLOW	DESIGN	CO-FLOW	REVERSE-FLOW
• Operating Temperature	°C	< 50	135-150	-	< 50	60	60
• Bed Depth	mm.	1136	600 (min.)	-	1133	700 (min.)	1000
• Service Flowrate	BV/h.	24.07	16-40	-	10.31	5-40	5-40
• Linear Velocity	m./h.	27.35	24-120	-	12.90	50 max.	50 max.
• Regenerants	-	HCl	HCl, H_2SO_4	-	NaOH	NaOH	NaOH
Level	g/l_R	100	32-144,64-160	-	100	50-150	30-120
Flowrate	BV/h.	3.61	2-4	-	3.61	2-8	2-8
	l/h.	30	-	-	70	-	-
Concentration	% wt.	5	4-10,0.5-10	-	4	2-4	2-4
Minimum Contact Time	min	32.46	30	-	36.11	30	30

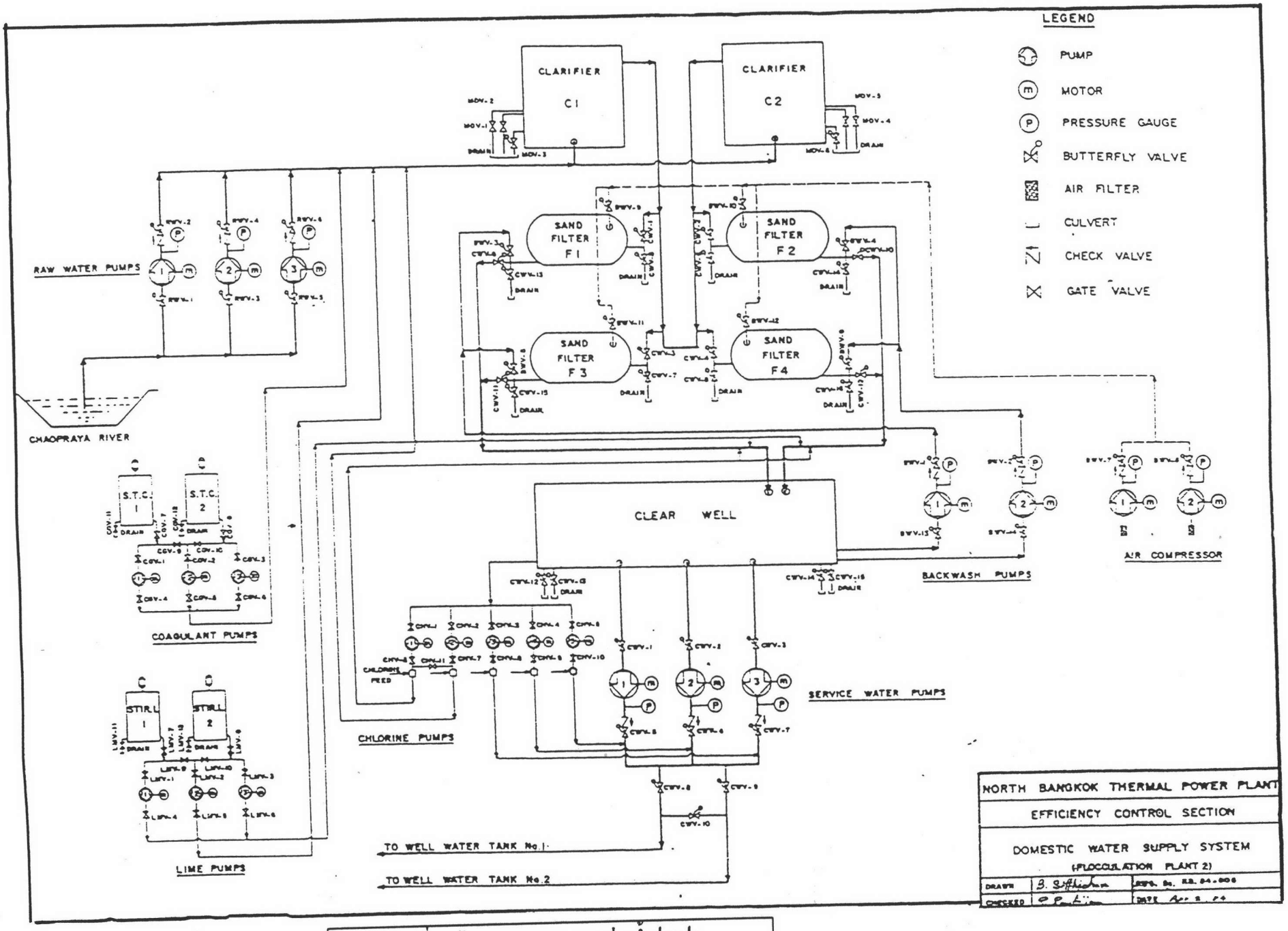
3.4 ภาพเขียนและไดอะแกรม (DRAWING AND DIAGRAM)

รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมของระบบจ่ายน้ำประปา แสดงขบวนการผลิตน้ำใส น้ำใสที่ได้ถูกใช้เป็นน้ำดิบป้อนเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลองในการวิจัยนี้

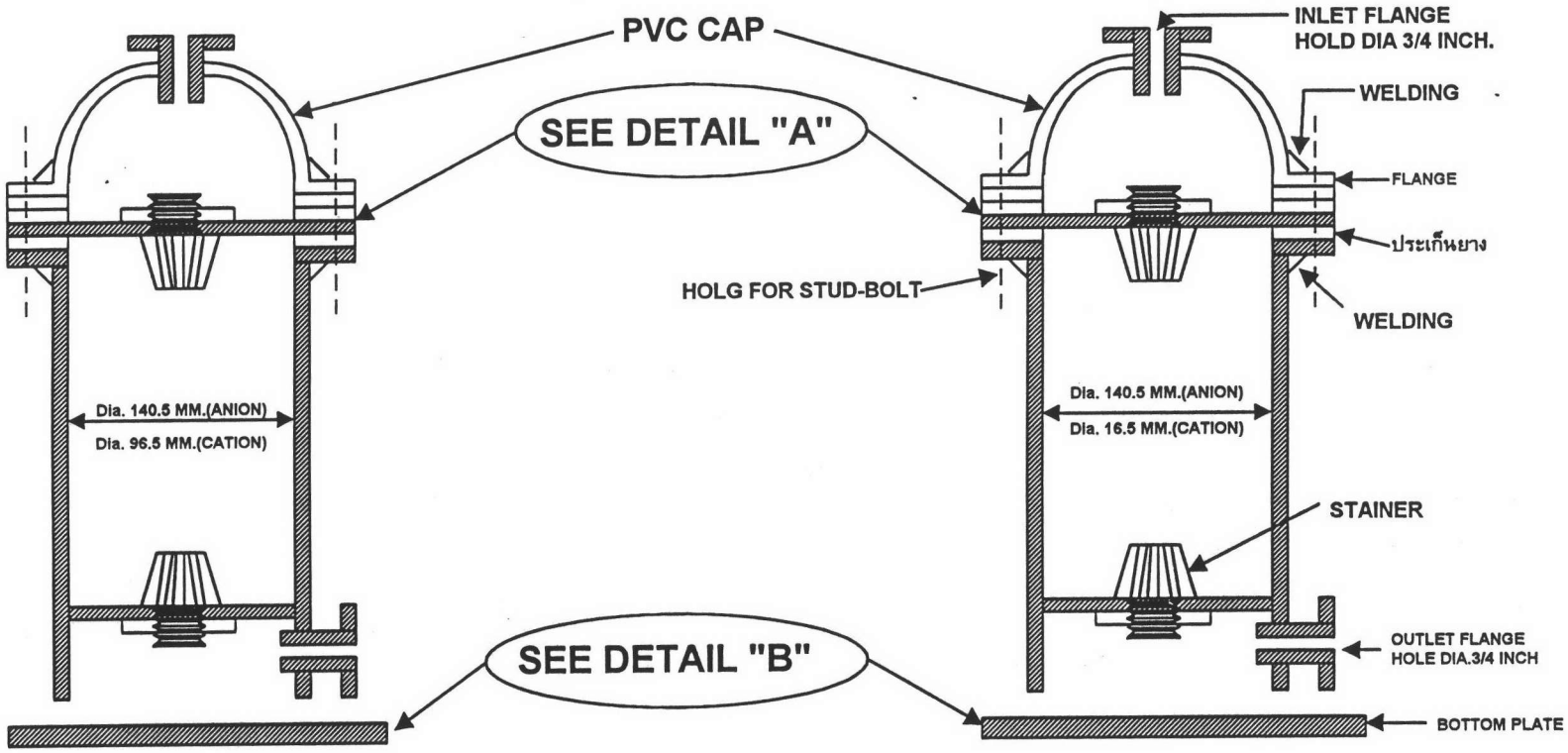
รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงรายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหอบรรจุเรซินประจุบวกและลบ

รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงรูปร่าง ทิศทางการจ่ายน้ำ การรีเจนเนอเรต ของหอเรซินประจุบวกและลบของทั้งสองชนิด

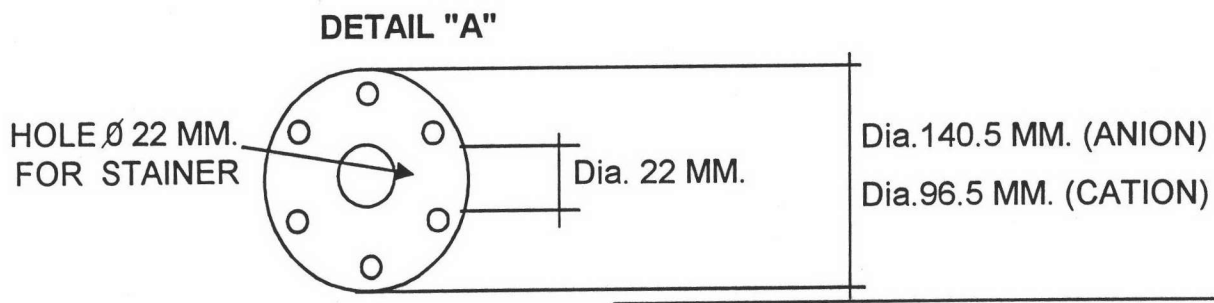
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแสดงระบบท่อและอุปกรณ์วัด



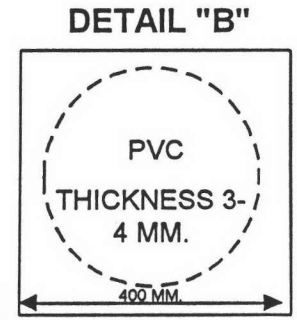
รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมของระบบจ่ายน้ำประปา



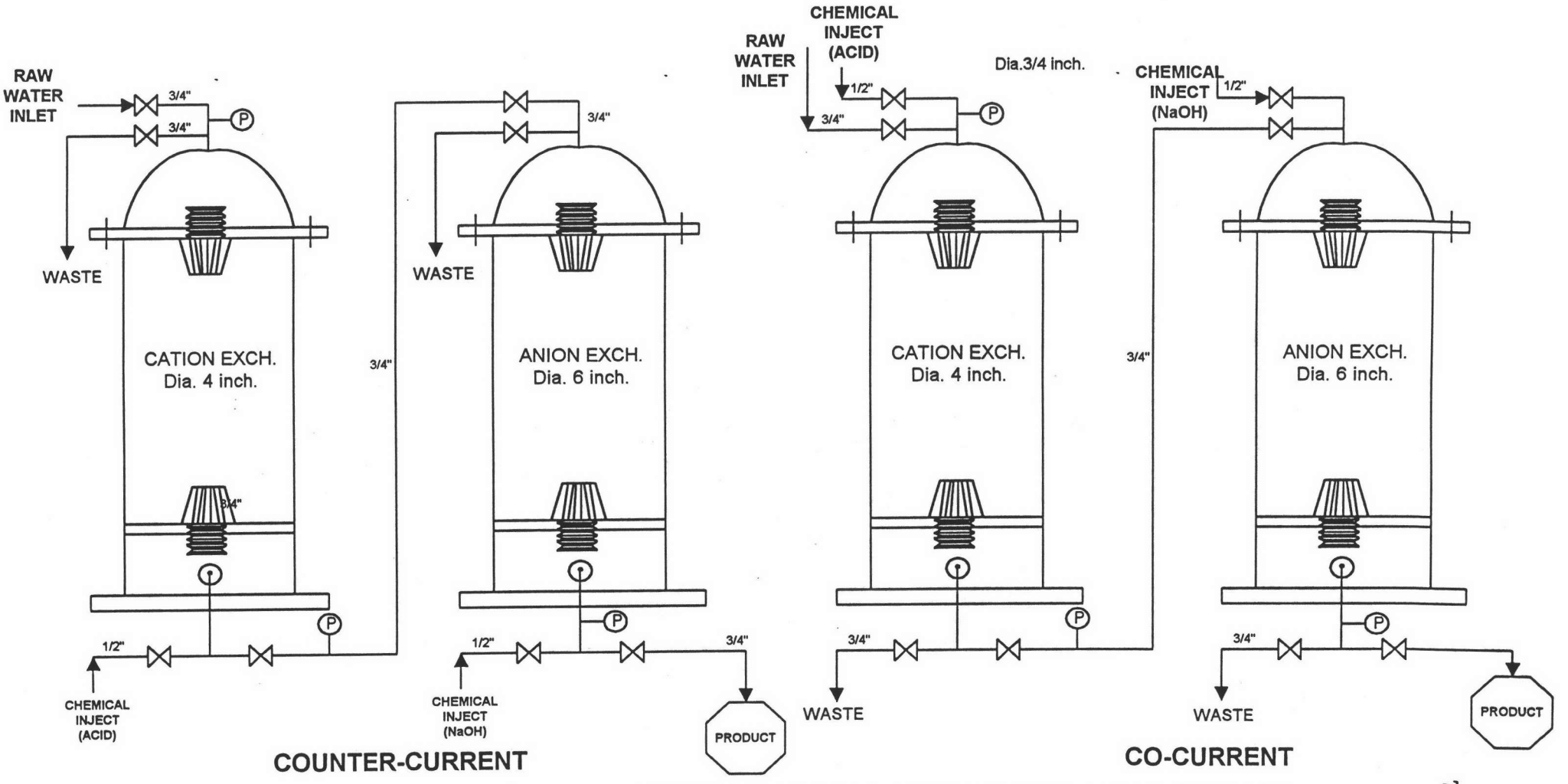
QUAN.	DESCRIP	MATERIA
2	COLUMN 6"	PVC
2	COLUMN 4"	PVC
8	FLANGE 6"	PVC
8	FLANGE 4"	PVC
8	STAINER	polyethalene
54	BOLT	STEEL
54	COLUMN 4"	STEEL
8	PACKING	PVC
8	FLANGE3/4"	PVC
4	PLATE (400x400MM.)	PVC



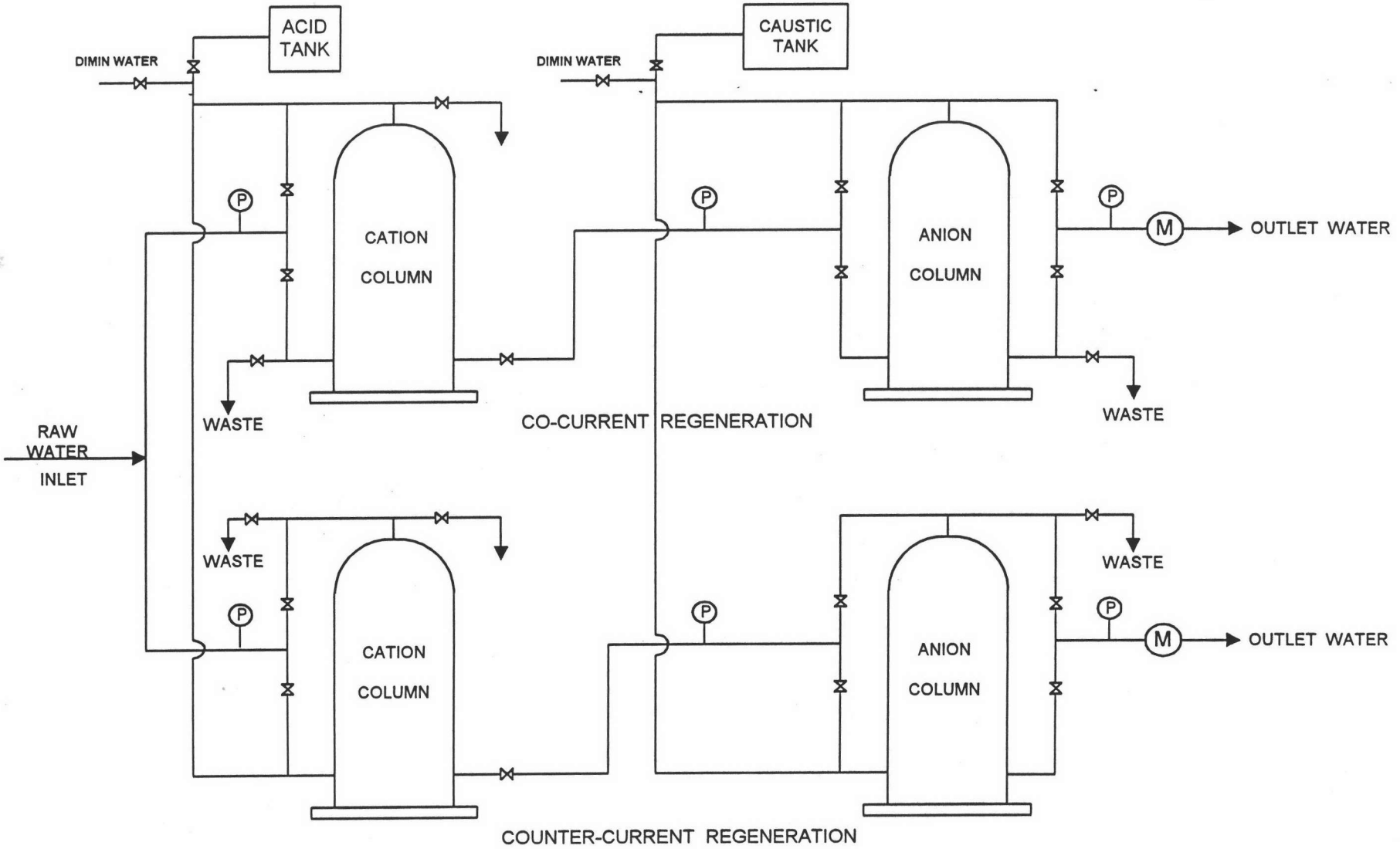
DETAIL DISTRIBUTOR
STANINER



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงรายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของหอบรรจุเรซินประจุบวกและประจุลบ



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงรูปร่าง ทิศทางการจ่าย การรีเจนเนอเรตของหอเรซินประจุบวกและประจุลบของระบบทั้งสองชนิด



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแสดงระบบท่อและอุปกรณ์วัด

3.5 การติดตั้งหน่วยปฏิบัติการ

หลังจากได้พิจารณาเลือกสถานที่ทดลองตามข้อ 3.1 การคำนวณและการออกแบบโดยอาศัย ข้อมูลจากคุณภาพน้ำดิบตามข้อ 3.2, 3.3 แล้ว จึงได้ทำการจัดสร้างหน่วยปฏิบัติการขึ้นตามข้อมูลออกแบบ วัสดุที่ใช้จัดทำหน่วยปฏิบัติการ รวมถึงท่อ-ทางต่าง ๆ เป็น พีวีซี (PVC ; Polyvinylchloride) โดยมีลักษณะเป็นไปตาม Drawing และ Diagram ข้อ 3.4 และรูปที่ ค.2 ค.3 และ ค.4 ก,ข ของภาคผนวก ค