กระบวนการการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืดด้วยวิธีออสโมซิสย้อนกลับ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและแนวคิดในการออกแบบ	5
3. แบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำทะเลผ่านระบบออสโมซิสผันกลับ	16
4. หน่วยปฏิบัติการและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	20
5. สรุปผลการออกแบบ	29
6. เอกสารอ้างอิง	30
7. ภาคผนวก	32

บทที่ 1

บทนำ

น้ำสะอาดหรือน้ำจืด (Fresh water) จัดเป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญอย่างมาก ทั้งต่อครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม น้ำสะอาดจำเป็นต้องใช้สำหรับระบบปฏิบัติการต่างๆ มีระบบผลิตกระแสไฟฟ้า และระบบทำความเย็น เป็นอาทิ สำหรับประเทศไทย น้ำผิวดิน (Surface water) เป็นอุปทานหลักเพื่อใช้ในการบริโภค อย่างไรก็ดี การบริโภคน้ำผิวดินกลับเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึง เพราะการเพิ่มขนาดของประชากรและมลพิษทางสิ่งแวดล้อม นิคมอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกของประเทศไทย ต้องเสียต้นทุนเป็นค่าน้ำสะอาดในปริมาณมาก เพื่อให้กระบวนการผลิตยังคงดำเนินต่อไปได้ ภายใต้สถานการณ์นี้ ทางเลือกอื่นนอกจากน้ำผิวดินจึงถูกประเมินเพื่อตอบสนองต่ออุปสงค์ในภาคอุตสาหกรรม หนึ่งในทางเลือกนั้นคือกระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืด [1]

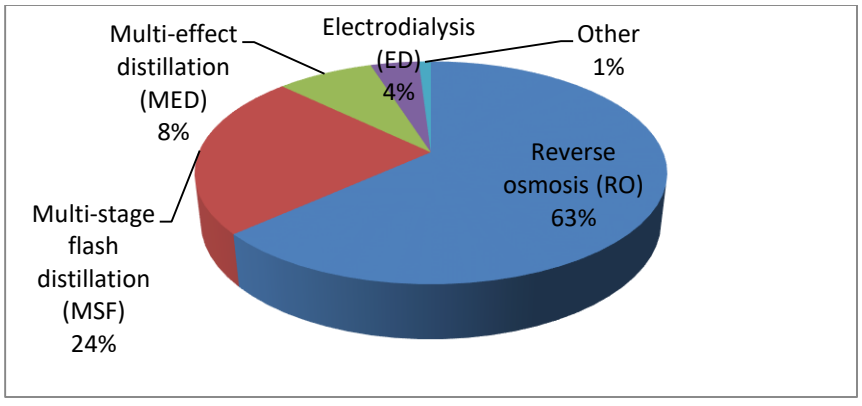
1.1 กระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืด

กระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืด (Seawater desalination) มีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการ หน่วยปฏิบัติการและสาธารณูประโภคที่ถูกใช้ ซึ่งแต่ละวิธีต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 1-1 สำหรับสัดส่วนของการใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันแสดงในภาพที่ 1-1

Technologies	Advantages	Drawbacks
Thermal-based technologies		
Multi-stage flash distillation (MSF)	No major scaling problem, Does fast evaporation process.	Large capital investment required, Energy intensive process Larger footprint required, Corrosion problems if materials of lesser quality used, Slow start-up rates, Maintenance requires entire plant to shut-down, Recovery ratio low.
Multi-effect distillation (MED)	Mature technology.	High energy consumption, scaling issue.
Vapour compression (VC)	Mature technology.	High energy consumption, scaling issue.
Adsorption desalination (AD)	100% rejection, No limitation on feed water, Stationary without any moving parts, Low energy consumption.	Still in demonstration and pilot plant scale.

Membrane-based technologies		
Membrane distillation (MD)	Able to handle high salinity, Low fouling, Uses low-grade heat.	Require high energy, Low water recovery.
Reverse osmosis (RO)	Lower energy consumption, Relatively lower investment cost, No cooling water flow, Simple operation and fast startup, High space/production capacity, Removal of contaminants other than salts achieved, Maintenance does not require entire plant to shutdown	Higher costs for chemical and membrane replacement, Vulnerable to feed water quality changes, Adequate pre-treatment a necessity, Membranes susceptible to biofouling, Mechanical failures due to high pressure, Membrane life expectancy around 5–7 years
Forward osmosis (FO)	Released highly concentrated brine, Flexibility to choose an appropriate draw.	High energy consumption.
Electrodialysis (ED)	High removal rates of salt, Able to generate high brine concentration, Less susceptible to scaling, High segregation of metals.	Requires high capital cost, Clogging and energy loss.

ตารางที่ 1-1 เทคโนโลยีในการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืด [2][3]



ภาพที่ 1-1 สัดส่วนการใช้แต่ละเทคโนโลยีในปัจจุบัน [2]

1.2 **หลักเกณฑ์และการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม**

เนื่องจากเทคโนโลยีในการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลนั้นมีหลากหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบต่างก็มีจุดเด่นและจุดด้อยต่างกันออกไป เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างละเอียดถี่ถ้วน จึงต้องมีหลักเกณฑ์ (Criteria) ในการพิจารณาคุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละเทคโนโลยี ดังแสดงในตารางที่ 1-2 เพื่อนำไปสู่การลงคะแนน (Scoring) และสรุปผลเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบกระบวนการ

Criteria	Definition	Trend
Scale	Laboratory, pilot plant to commercial scale	Commercial
Treated water quality	Salinity of the product water [<500 ppm]	Min
Adaptability	Input salinity that the technology can handle [30,000-50,000 ppm]	Max
Water recovery	Product water relative to input water	Max
CO_2 Emission	Emission that released from technology	Min
Energy consumption	Amount of thermal and electrical energy consumed per litre	Min
Cost	Capital and maintenance cost	Min

ตารางที่ 1-2 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อเลือกเทคโนโลยี [4]

เกณฑ์ที่หนึ่งถึงสามจะเป็นการตรวจสอบเริ่มต้น (Pre-screening) ก่อนการประเมินคะแนนเพื่อสรุปผล เนื่องจากหลักเกณฑ์ทั้งสามจะเป็นบทพิสูจน์แรกสุดว่าเทคโนโลยีนั้นเหมาะสมสำหรับการออกแบบเพื่อตอบสนองต่ออุปสงค์ของภาคอุตสาหกรรมมากน้อยเพียงใด

สำหรับหลักเกณฑ์แรกว่าด้วยระดับขั้นของเทคโนโลยี จากการทบทวนวรรณกรรมและทำการประเมินด้วย Technology readiness level (TRL) [5] พบว่ามีเพียง MSF, MED, VC, RO และ ED เท่านั้น ที่อยู่ในระดับที่ 9 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกใช้แล้วในเชิงพาณิชย์และมีความเหมาะสมในการออกแบบ ในขณะที่ MD, FO และ AD ยังเป็นเพียงระดับขั้นของโรงงานต้นแบบที่กำลังถูกพัฒนา [6] และอีกหลากหลายเทคโนโลยีที่ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

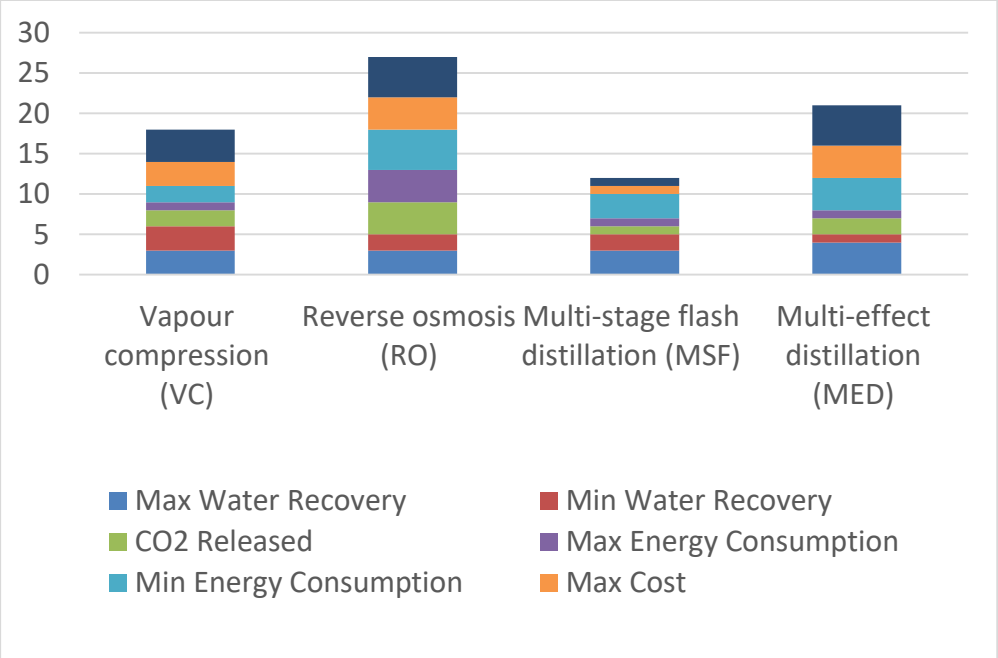
ตารางที่ 1-3 แสดงคุณลักษณะของแต่ละเทคโนโลยีจากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าทั้ง MSF, MED, VC, RO และ ED สามารถขจัดความเค็มหรือของแข็งรวมที่ไม่ละลาย (Total dissolved solid, TDS) จากระดับ 30,000 – 50,000 ppm ซึ่งเป็นช่วงของน้ำทะเลให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 500 ppm ซึ่งเป็นช่วงปกติของน้ำจืด จึงมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบนี้

Technologies	Treated quality [ppm]	Water recovery [%]	CO_2 Emission [kg/m^3]	Energy consumption [kW.h/m^3]	Production cost [$/$m^3$]
MSF	≈10	25-50	6.9	14-25	0.56-1.75
MED	≈10	0-65	5.5	7-25	0.52-1.5
VC	≈10	≈50	5.1	20-25	0.87-2.6
RO	400-500	30-60	3.8	4-6	0.45-1.72
ED	150-500	85-94	2.5	1-12	0.6-1.05

ตารางที่ 1-3 คุณลักษณะตามหลักเกณฑ์ของแต่ละเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ [2][3][7][8]

เมื่อพิจารณาหลักเกณฑ์ที่สาม คือช่วงของแข็งรวมที่ไม่ละลายที่เทคโนโลยีสามารถรับได้ พบว่า ED สามารถรับปริมาณ TDS ได้เพียงช่วง 100-12,000 ppm ซึ่งอยู่ในขอบเขตของน้ำกร่อยเท่านั้น ต้องการการบำบัดขั้นต้น อย่างน้อยก็ด้วย RO ก่อน นอกจากนี้ ถึงแม้ว่า ED จะมีการบริโภคพลังงานในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น แต่ก็แลกมาด้วยต้นทุนที่สูงมากเช่นเดียวกัน ดังนั้น ED จะไม่ถูกพิจารณาในการประเมินคะแนน

สำหรับการประเมินคะแนน ได้กำหนดช่วงของแต่ละหลักเกณฑ์ด้วยคะแนน 1 ถึง 5 โดยทำการประเมินทั้งค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะ ซึ่งได้ข้อสรุปดังภาพที่ 1-2 ว่าเทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับนั้นเป็นตัวเลือกที่น่าจะเหมาะสมที่สุดในการออกแบบ



ภาพที่ 1-2 การประเมินคะแนนตามหลักเกณฑ์เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม

บทที่ 2

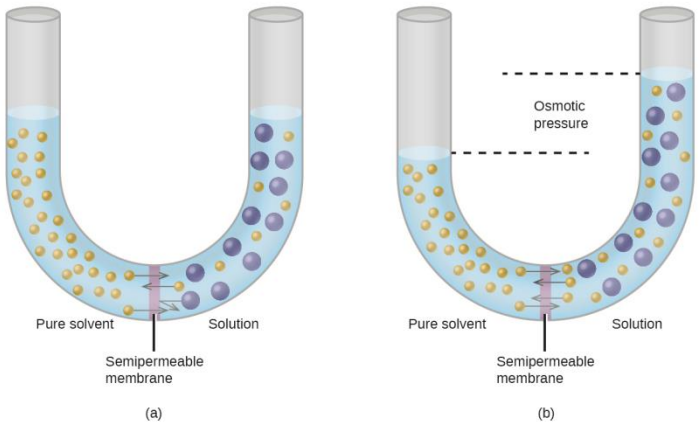
ทฤษฎีและแนวคิดในการออกแบบ

กระบวนการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลเริ่มต้นขึ้นด้วยเทคโนโลยี Multi-stage flash distillation (MSF) ซึ่งอาศัยหลักการเรื่องความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) เพื่อให้น้ำทะเลเดือดเป็นไอและควบแน่นเป็นน้ำสะอาด ระบบออสโมซิสผันกลับเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแข่งขันโดยตรงกับกระบวนการกลั่น เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานความร้อน ใช้เพียงงานเชิงกลและดำเนินการภายใต้อุณหภูมิปกติ และเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการกลั่น

2.1 อุณหพลศาสตร์เคมีของออสโมซิส และหลักการพื้นฐานของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

ออสโมซิส (Osmosis) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของตัวทำละลายบริสุทธิ์ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable membrane) จากสารละลายเจือจางไปสู่สารละลายเข้มข้น โดยเยื่อเลือกผ่านยอมให้ตัวทำละลายเท่านั้นที่สามารถผ่านไปได้ เมื่อปล่อยให้มีการแพร่ของตัวทำละลายผ่านเยื่อเลือกผ่านจนกระทั่งถึงจุดสมดุล ความดันภายนอกที่หยุดการเกิดออสโมซิสนั้นเรียกว่า ความดันออสโมติก (Osmotic pressure), $\boldsymbol{\pi}$ โดยสามารถพิสูจน์ทราบได้จากระดับความสูงของสารละลายเข้มข้นในออสโมมิเตอร์ที่สูงกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ [9] ดังแสดงในรูปที่ 2-1 การเกิดออสโมซิสมีความสำคัญอย่างมากในระบบทางชีววิทยา เนื่องจากเป็นหนึ่งในวิธีลำเลียงสารแบบไม่ใช้พลังงานผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ที่ทำหน้าที่ประหนึ่งเยื่อเลือกผ่าน [10]

เมื่อพิจารณาอุณหพลศาสตร์เคมีของสารละลายอุดมคติ [11] มวลสารจะถ่ายโอนจากวัฏภาคที่มีศักย์เคมี (Chemical potential) สูงกว่าไปยังวัฏภาคที่มีศักย์เคมีต่ำกว่า จนกว่าทั้งระบบจะมีศักย์เคมีเท่ากัน ระบบนั้นจึงเข้าสู่สมดุลวัฏภาค ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าเพราะศักย์เคมีของตัวทำละลายบริสุทธิ์, $\mu^*(T, P)$ มีค่ามากกว่าศักย์เคมีของตัวทำละลายในสารละลาย ซึ่งมีเศษส่วนโมลเป็น x_1, $\mu_{soln}(T, P, x_1)$ จึงเกิดการออสโมซิส ถ้าเพิ่มความดันให้กับสารละลายเท่ากับความดันออสโมติกแล้ว ระบบก็จะเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันได้ดังนี้



ภาพที่ 2-1 ออสโมซิส [12]

$$\mu^*(T,P) = \mu_{soln}(T,P+\pi,x_1) \qquad (1)$$

จากการพิสูจน์ทราบด้วยกฎของราอูลท์ (Raoult's law) บนสมการศักย์เคมีของสารละลาย จะได้ว่า

$$\mu_{soln} - \mu^* = RTlnx_1$$

แทนความสัมพันธ์นี้ลงในสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$\mu^*(T,P) = \mu^*(T,P+\pi) + RTlnx_1 \qquad (2)$$

เมื่อพิจารณาสมการมูลฐานของพลังงานอิสระกิบส์ (Gibbs free energy) และความสัมพันธ์ของแมกซ์เวลส์ (Maxwell's relation) จะได้ว่า

$$G(T,P,n_i) = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P,n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_{T,n_i} dP + \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_j} dn_i$$

$$G(T,P,n_i) = -SdT + VdP + \sum_{i=1}^{m}\mu_i\, dn_i$$

เมื่อพิจารณาอนุพันธ์ย่อยเทียบกับความดันของ Partial molar Gibbs free energy, $\overline{G}_i = \frac{\partial G}{\partial n_i} \equiv \mu_i$ ซึ่งแท้จริงแล้วคือศักย์เคมี ในกรณีที่อุณหภูมิและจำนวนโมลขององค์ประกอบคงที่ จะได้ว่า

$$\left(\frac{\partial \overline{G}_i}{\partial P}\right)_{T,n_i} = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial P}\right)_{T,n_i} = \overline{V}_i$$

$$d\mu_i = \overline{V}_i dP$$

เมื่อ $\overline{V}_i$ คือ Partial molar volume คือ V/n_i

พิจาณาผลเฉลยจากการปริพันธ์สมการ ในขอบเขตของการเพิ่มความดันจาก P ไปเป็น P+π และจากศักย์เคมี $\mu^*(T,P)$ ไปสู่ $\mu^*(T,P+\pi)$ ภายใต้สมมติฐานว่า Partial molar volume ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความดัน

$$\int_{\mu^*(T,P)}^{\mu^*(T,P+\pi)} d\mu_i = \bar{V}_i \int_{P}^{P+\pi} dP$$

$$\mu^*(T,P+\pi) - \mu^*(T,P) = \bar{V}_i[(P+\pi) - P] = \bar{V}_i\pi$$

แทนสมการที่ 2 ลงในผลเฉลย จะได้ว่า

$$-RT\ln x_1 = \bar{V}_1\pi$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า $-RT\ln(1-x_2) = \bar{V}_1\pi$

ภายใต้สมมติฐานว่าสารละลายเจือจางมากๆ, $x_2 << x_1$ จะได้ว่า พจน์ของ $-\ln(1-x_2) \approx x_2$ ดังนั้น

$$RTx_2 = \pi\bar{V}_1$$

โดยเศษส่วนโมลของตัวถูกละลาย $x_2 = n_2/(n_1+n_2) \approx n_2/n_1$ จะได้ว่า

$$RT\frac{n_2}{n_1} = \bar{V}_1\pi = \frac{V}{n_1}\pi$$

$$\pi = \frac{n_2}{V}RT$$

$$\pi = MRT$$

เรียกสมการนี้ว่า Van't Hoff equation เมื่อ M คือ โมลาริตี (Molarity) หรือความเข้มข้นของสารละลาย ในพจน์ของจำนวนโมลตัวถูกละลาย (n_2) ต่อปริมาตรของสารละลาย (V)

ในกรณีสารละลายอิเลกโทรไลต์ ซึ่งอนุภาคมีการแตกตัวเป็นไอออน สำหรับสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีความเข้มข้นค่าหนึ่ง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติคอลลิเกทีฟ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสองเท่าของสารละลายอีกชนิดที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากไอออน Na^+ และ Cl^- ที่เพิ่มอนุภาคของตัวถูกละลาย สำหรับความดันออสโมติกนั้น

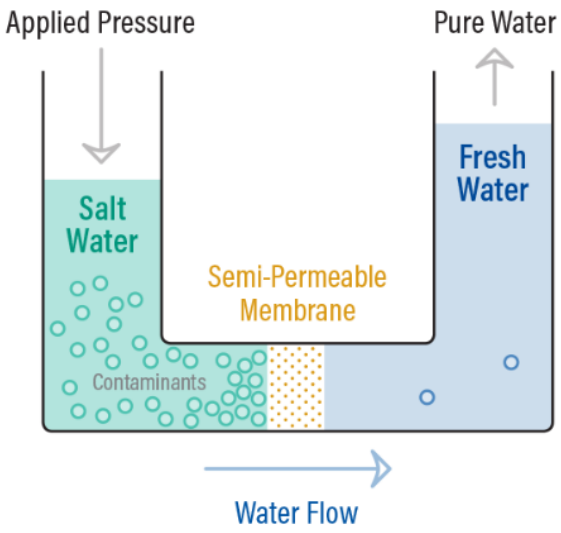
$$\pi = iMRT$$

เมื่อ i คือ Van't Hoff factor คือจำนวนอนุภาค (ไอออน) ที่มีอยู่จริงในสารละลายหลังเกิดการแตกตัว

ดังนั้น ความดันออสโมติกจึงเป็นหนึ่งในสมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative properties) ของสารละลาย กล่าวคือเป็นคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตัวถูกละลาย โดยไม่ขึ้นกับโครงสร้างและองค์ประกอบทาง

เคมีของสาร สำหรับน้ำทะเล ซึ่งมีความเข้มข้นของเกลือ NaCl ประมาณ 0.7 M มีความดันออสโมติกโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 30 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 °C

แต่หากมีความดันที่มากกว่าความดันออสโมติกกดลงมาบนสารละลายเข้มข้น ในกรณีนี้ ตัวทำละลายจากปริภูมิของสารละลายจะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าสู่ตัวทำละลายบริสุทธิ์แทน ด้วยลักษณะนี้จึงถูกเรียกว่ากระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO) ดังแสดงในรูปที่ 2-2 ซึ่งกระบวนการนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสำหรับแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ รวมถึงการเปลี่ยนน้ำทะเล น้ำกร่อย หรือน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาดด้วย [8]



ภาพที่ 2-2 ออสโมซิสผันกลับ [13]

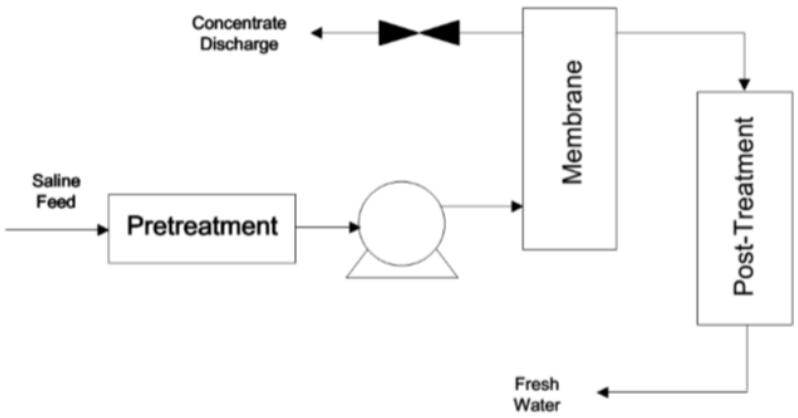
2.2 ระบบออสโมซิสผันกลับ

สิ่งสำคัญอันดับแรกคือการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทะเลที่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ เพื่อประเมินว่าจะต้องใช้การปรับสภาพเริ่มต้นด้วยรูปแบบใด และหน่วยปฏิบัติการออสโมซิสผันกลับควรมีขนาดเป็นเท่าใด โดยอาศัยการจำลองแบบผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ตารางที่ 2-1 จะแสดงคุณลักษณะและองค์ประกอบที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งมีผลต่อการจำลองแบบ อ้างอิงจาก The 2019-2020 TIChE National Chemical Engineering Student Design Competition

Analyse	Result	Method
Cations [mg/L]		
Barium (Ba)	< 0.02	Based on APHA (2012), 3125
Iron (Fe)	0.14	Based on APHA (2012), 3125
Manganese (Mn)	0.02	Based on APHA (2012), 3125
Strontium (Sr)	5.44	Based on APHA (2012), 3125
Calcium (Ca)	380	Based on US EPA, Method 200.7, Revision 4.4
Magnesium (Mg)	1,195	Based on US EPA, Method 200.7, Revision 4.4
Potassium (K)	402	Based on US EPA, Method 200.7, Revision 4.4
Sodium (Na)	11,336	Based on US EPA, Method 200.7, Revision 4.4
Ammonium (NH_4)	0.48	Based on APHA (2012), 4500-NH3(F)
Anions [mg/L]		
Fluoride (F)	0.9	Based on APHA (2012), 4500-F(C)
Nitrate (NO_3)	< 0.05	Based on APHA (2012), 4500-NO3(E)
Sulfate (SO_4)	2,403	Based on APHA (2012), 4500-SO4(B)
Chloride (Cl)	17,098	ISE Application
Neutrals [mg/L]		
Boron (B)	3.20	Based on APHA (2012), 3125
Silica (SiO_2)	< 0.5	Based on APHA (2012), 4500-SiO2(D)
Parameters		
Alkalinity as $CaCO_3$ [mg/L]	93	Based on APHA (2012), 2320 B
Conductivity at 25°C [µS/cm]	48,200	Based on APHA (2012), 2510 B
pH at 25°C	7.6	Based on APHA (2012),
Temperature [°C]	29.6	Based on APHA (2012), 2550B
Total dissolved solid, TSS [mg/L]	35,680	Based on APHA (2012), 2540 C
Total suspended solid, TDS [mg/L]	7	Based on APHA (2012), 2540 D
Turbidity [NTU]	4.6	Based on APHA (2012), 2130 B
Total organic carbon, TOC [mg/L]	0.01	Based on APHA (2012), 5310 B

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะและองค์ประกอบปนเปื้อนในน้ำทะเล [1]

ระบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis system) มีองค์ประกอบหลักๆทั้งสิ้น 4 ส่วน [14] ได้แก่ ระบบปรับสภาพน้ำก่อนเข้ากระบวนการ (Pre-treatment) เครื่องสูบน้ำแรงดันสูง (High pressure pump) เมมเบรน (RO membrane) และระบบดูแลสภาพน้ำหลังกระบวนการ (Post-treatment) ถ้าจำเป็น ดังแสดงในภาพที่ 2-3

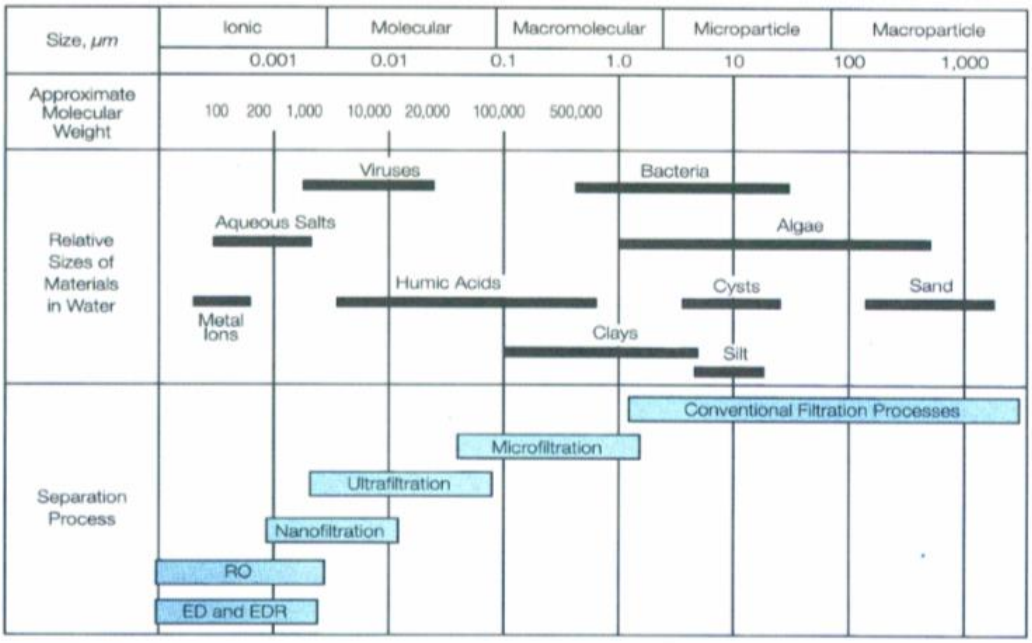


ภาพที่ 2-3 ระบบออสโมซิสผันกลับ [3]

1. การปรับสภาพน้ำก่อนเข้ากระบวนการ

น้ำที่ผ่านเข้ามาในเมมเบรนของออสโมซิสผันกลับจะต้องเป็นน้ำใสสะอาด มิเช่นนั้น เยื่อเมมเบรนจะสกปรกเพราะเกลือจากน้ำทะเล และทำให้ปริมาณการไหลของน้ำผ่านเยื่อลดลง ท้ายที่สุดแล้วก็ต้องอาศัยความดันที่มากขึ้นหรือไม่ก็ต้องเปลี่ยนเมมเบรนก่อนระยะอันควร เพื่อให้ปริมาณและคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้เป็นไปตามที่กำหนด การปรับสภาพน้ำในขั้นต้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญให้การทำงานของระบบออสโมซิสผันกลับเป็นไปได้อย่างปรกติ โดยทั่วไปมักจะใช้การเติมสารเคมีขั้นต้น หรือการกรองผ่านเยื่อ ultrafiltration (UF)

Ultrafiltration เป็นหนึ่งในกระบวนการเมมเบรน (Membrane process) ซึ่งอาศัยความดันต่ำในการขับดันน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านเพื่อคัดกรองอนุภาคออกจากน้ำหรือสารละลาย โดยสามารถกรองอนุภาคได้ถึงขนาด 0.002 ไมครอน ทั้งสารแขวนลอย (TSS) ความขุ่น (Turbidity) แบคทีเรีย ไวรัส รวมถึงสารอินทรีย์ต่างๆ (TOC) เช่นโปรตีนและไขมันจะถูกกรองออกไปหมด [8] ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 กระบวนการเมมเบรน [15]

เมมเบรนของ ultrafiltration จะประกบรวมกันเป็นโมดุลภายใต้ถังรับความดัน (Pressure vessel) จากข้อมูลของบริษัทดูปองท์ โมดุลของ ultrafiltration ประกอบด้วย Ultrafiltration SFP-2660, Ultrafiltration SFP-2860, Ultrafiltration SFP-2880, IntegraPac IP-51, IntegraPac IP-77, IntegraFlux SFP-2860XP, IntegraFlux SFP-2880XP, IntegraPac IP-51XP, IntegraPac IP-77XP และ IntegraFlux UXA-2680XP โดยแต่ละโมดุลต่างก็สามารถรองรับความจุ และประกอบด้วยข้อดีที่ต่างกันออกไป [16]

2. เมมเบรน

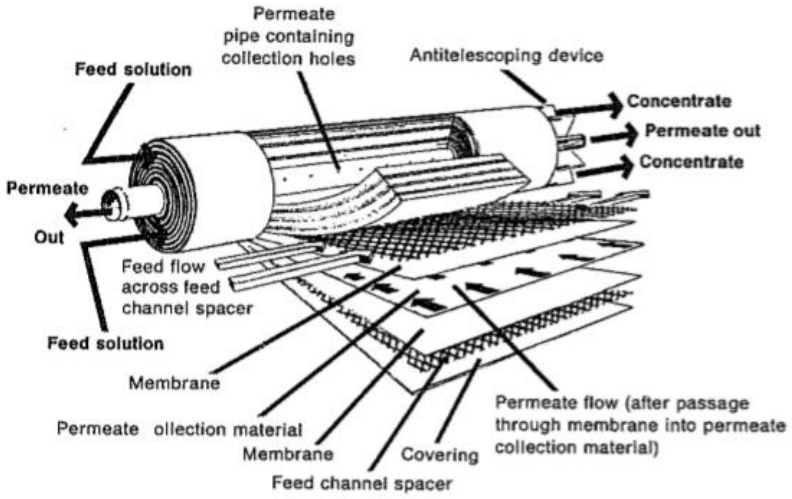
เมมเบรนทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งยินยอมให้โมเลกุลหรืออนุภาคของสารบางชนิดแพร่ผ่านไปได้ ในกรณีของระบบออสโมซิสผันกลับ ผ่านการกดด้วยความดันที่มากกว่าความดันออสโมติก เมมเบรนยอมให้น้ำแพร่ผ่านเพื่อผลิตเป็นน้ำสะอาด (Permeate) ขณะที่ขวางกั้นอนินทรียสารเอาไว้และระบายออกจากระบบในรูปสารละลายเข้มข้น (Concentrate)

ลักษณะของเมมเบรนที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมี 2 ชนิด [8] ได้แก่

- แบบเกลียว (Spiral-Wound)

เป็นการนำแผ่นเมมเบรนมาวางทับซ้อนกันกับแผ่นพลาสติกรวบรวมน้ำ (Product collection) แผ่นนำน้ำดิบ (Feed channel spacer) และแผ่นรองรับเมมเบรน (Membrane supporting backing) ม้วนติดกับท่อ

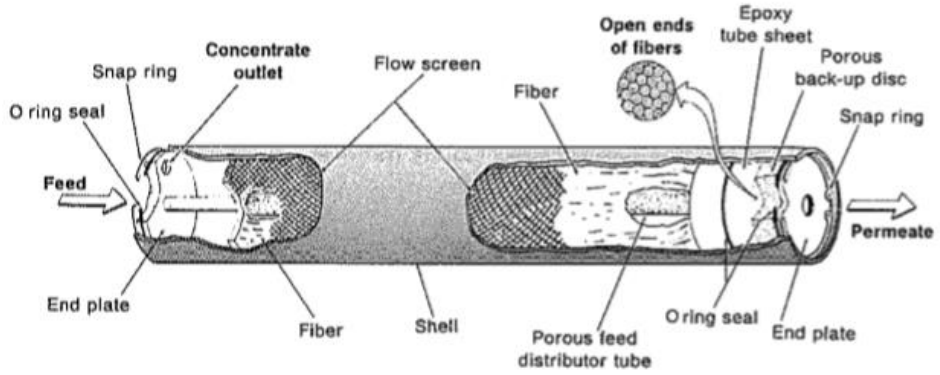
รับน้ำ (Product tube) และประกอบติดกับท่อน้ำดิบ (Feed inlet) และท่อน้ำทิ้ง (Brine outlet) ดังแสดงในภาพที่ 2-4 เมมเบรนแบบเกลียวเป็นที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ในการกรองมาก



ภาพที่ 2-4 Spiral-Wound RO membrane [17]

- แบบเส้นใยละเอียดกลวง (Hollow-Fibre)

มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนเส้นผม และมีรูอยู่ภายใน เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 90-95 ไมครอน และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 40 ไมครอน เส้นใยของ Hollow-Fibre จะถูกจับกลุ่มรวมเข้าด้วยกัน ปิดท้ายด้วยอีพอกซี แล้วประกอบกันเข้ากับท่อน้ำดิบ ท่อรับน้ำและท่อน้ำทิ้ง หลังจากนั้นส่วนประกอบทั้งหมดจึงถูกติดตั้งไว้ใน Pressure vessel ดังแสดงในภาพที่ 2-5 พื้นที่ในการกรองต่อ 1 โมดุลของเมมเบรนแบบเส้นใยละเอียดกลวงจะมากกว่าแบบเกลียว



ภาพที่ 2-4 Hollow-Fibre RO membrane [17]

เมมเบรนจะประกอบกันเข้าเป็นหนึ่งหน่วย เรียกว่าโมดุล (Module) โมดุลแต่ละอันจะถูกบรรจุเป็น machine model และเชื่อมติดกับเครื่องสูบน้ำแรงดันสูง ตารางที่ 2-2 แสดงคุณลักษณะของแบบจำลองเครื่องออสโมซิสผันกลับ (RO machine model) สำหรับน้ำทะเล ซึ่งมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ของบริษัทสุเอซ (SUEZ)

RO machine model	Stages	Pressure vessels per stage	Elements per vessel	Feed TDS [mg/L]	Recovery [%]	Permeate flow [m^3/day]
SeaPRO-E Series						
SeaPRO-E-36	1	6	6	45,000	35	500
SeaPRO-E-72	1	12	6	45,000	45	1,000
SeaPRO-E-105	1	15	7	45,000	45	1,500
SeaPRO-E-210	1	30	7	45,000	45	2,500
SeaPRO-series						
SeaPRO-8,45K	2	1	4	35,000 ppm, Recovery 40-45%, 4.5-13.6 m^3/day		
SeaPRO-16,45K	2	2	4	45,000 ppm, Recovery 35%, 4.5-13.6 m^3/day		
SeaPRO-24,45K	2	3	4			
SeaPRO-42,45K	1	6	7	35,000 ppm, Recovery 40-45%, 22.7-68.1 m^3/day		
SeaPRO-63,45K	1	9	7			
SeaPRO-84,45K	1	12	7	45,000 ppm, Recovery 35%, 22.7-68.1 m^3/day		
SeaPRO-126,45K	1	18	7			
SeaPRO-210,47K	1	30	7	47,000	35	2,500
SeaTECH series						
SeaTECH-12-60	1	3	4	35K-38K	40	163
SeaTECH-35-60	1	5	7	35K-38K	40	454
SeaTECH-84,45K	1	12	7	37K-45K	36-40	1,000
SeaTECH-252,45	1	36	7	37K-45K	35-45	3,000

ตารางที่ 2-2 แบบจำลองเครื่องออสโมซิสผันกลับของบริษัทสุเอซ [18]

น้ำที่ผ่านเมมเบรนของออสโมซิสผันกลับจะมีค่า TDS ลดลงจนต่ำกว่า 500 ppm ซึ่งเป็นช่วงของน้ำจืด อย่างไรก็ตาม หากน้ำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเมมเบรนยังมีคุณภาพไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จะมีความจำเป็นที่จะต้องต่อแบบสองขั้นตอน (Double pass) ซึ่งเมมเบรนที่ใช้จะสามารถรองรับค่า TDS ในช่วงน้ำกร่อย สำหรับแบบจำลองเครื่องออสโมซิสผันกลับสำหรับระบบสองขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 2-3

RO machine model	Stages	Pressure vessels per stage	Elements per vessel	Feed TDS [mg/L]	Recovery [%]	Permeate flow [m^3/day]
TITAN-90,2 pass	2	6 and 3	6	15k-25k	66-75	904.8
TITAN-180,2 pass	2	12 and 6	6			1810

ตารางที่ 2-3 แบบจำลองเครื่องออสโมซิสผันกลับสำหรับขั้นตอนที่สองของบริษัทสุเอซ [18]

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายโอนมวลสารผ่านระบบออสโมซิสผันกลับ

สำหรับการทำงานของระบบออสโมซิสผันกลับ ภายใต้การถ่ายโอนมวลสารแบบอุดมคติ สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น สำหรับการถ่ายโอนมวลสารของโมเลกุลน้ำผ่านเมมเบรนจะมีแรงขับเป็นผลต่างระหว่างความดันลดซึ่งตกคร่อมเมมเบรน, ΔP กับผลต่างความดันออสโมติกระหว่างสารป้อนและผลิตภัณฑ์, $\Delta\pi$ ฟลักซ์ของน้ำ (Water flux, J_w) [kg/m^{2}s] สามารถเขียนได้ดังสมการ [14]

$$J_w = \frac{C_{wp} D_w v_w}{RT}\left(\frac{\Delta P - \Delta\pi}{z}\right)$$

เมื่อ C_{wp} คือ ความเข้มข้นของpermeate [kg/m^3], D_w คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในเมมเบรน [m^2/s], v_w คือ partial molar volume ของน้ำ [m^3/mol] และ z คือ ความหนาของเมมเบรน [m]

สำหรับฟลักซ์ของตัวถูกละลาย (Solute flux, J_s) [kg/m^{2}s] จะขึ้นอยู่กับเกรเดียนท์ของความเข้มข้น (Concentration gradient) ดังสมการ [14]

$$J_s = D_s S_s\left(\frac{C_f - C_p}{z}\right)$$

เมื่อ D_s คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลายในเมมเบรน [m^2/s], S_s คือ สภาพการละลาย (Solubility), C_f คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำดิบ [kg/m^3], C_p คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในpermeate [kg/m^3]

การขจัด (Membrane rejection) [16] สามารถนิยามได้จากผลต่างระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำดิบและความเข้มข้นของตัวถูกละลายในpermeate ดังสมการ

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

ด้วยสมมติฐานว่าหน่วยปฏิบัติการอยู่ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state) อาจเขียนสมดุลมวลสารรอบเมมเบรนในรูปของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของpermeateและฟลักซ์ได้ว่า

$$Q_p = \frac{S_a J_w}{C_{wp}} = \frac{S_a J_s}{C_p}$$

เมื่อ Q_p คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของpermeate [m^3/s] และ S_a คือพื้นที่ผิวของเมมเบรน [m^2] ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$C_p = C_{wp}\left(\frac{J_s}{J_w}\right)$$

และค่าการขจัดก็สามารถเขียนใหม่ในรูปของฟลักซ์ได้เป็น

$$R = 1 - \left(\frac{J_s C_{wp}}{J_w C_f}\right)$$

จึงอาจกล่าวได้ว่า ค่าการขจัดเป็นฟังก์ชันของความดันและความเข้มข้น ถ้าหากความดันลดตกคร่อมเมมเบรนมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ฟลักซ์ของตัวถูกละลายมีค่าคงที่ จะทำให้ค่าการขจัดของเมมเบรนมีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการถ่ายโอนมวลสารในอุดมคตินั้นไม่อาจทำนายผลเฉลยได้อย่างแม่นยำในความเป็นจริง หากไม่พิจารณาผลลัพธ์ของการเกิดโพลาไรเซชันของความเข้มข้น (Concentration polarization) และการเกิดตะกรันที่เมมเบรนซึ่งจะมีผลทำให้ฟลักซ์ของpermeateลดลง และระบบทางจุลภาคเข้าสู่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ซึ่งต้องอาศัยวิธีเชิงตัวเลขในการพิสูจน์ทราบผลเฉลย

สำหรับระบบอย่างง่ายซึ่งเป็นระบบแบบต่อเนื่องและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเทียบกับเวลา ยังสามารถทำนายสมดุลมวลสารรอบเมมเบรนสำหรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำดิบ, Q_f และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของpermeate, Q_p ได้จากค่า Water recovery ของเมมเบรน โดยที่

$$\text{Recovery} = \frac{Q_p}{Q_f}$$

2.4 การสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมเคมี

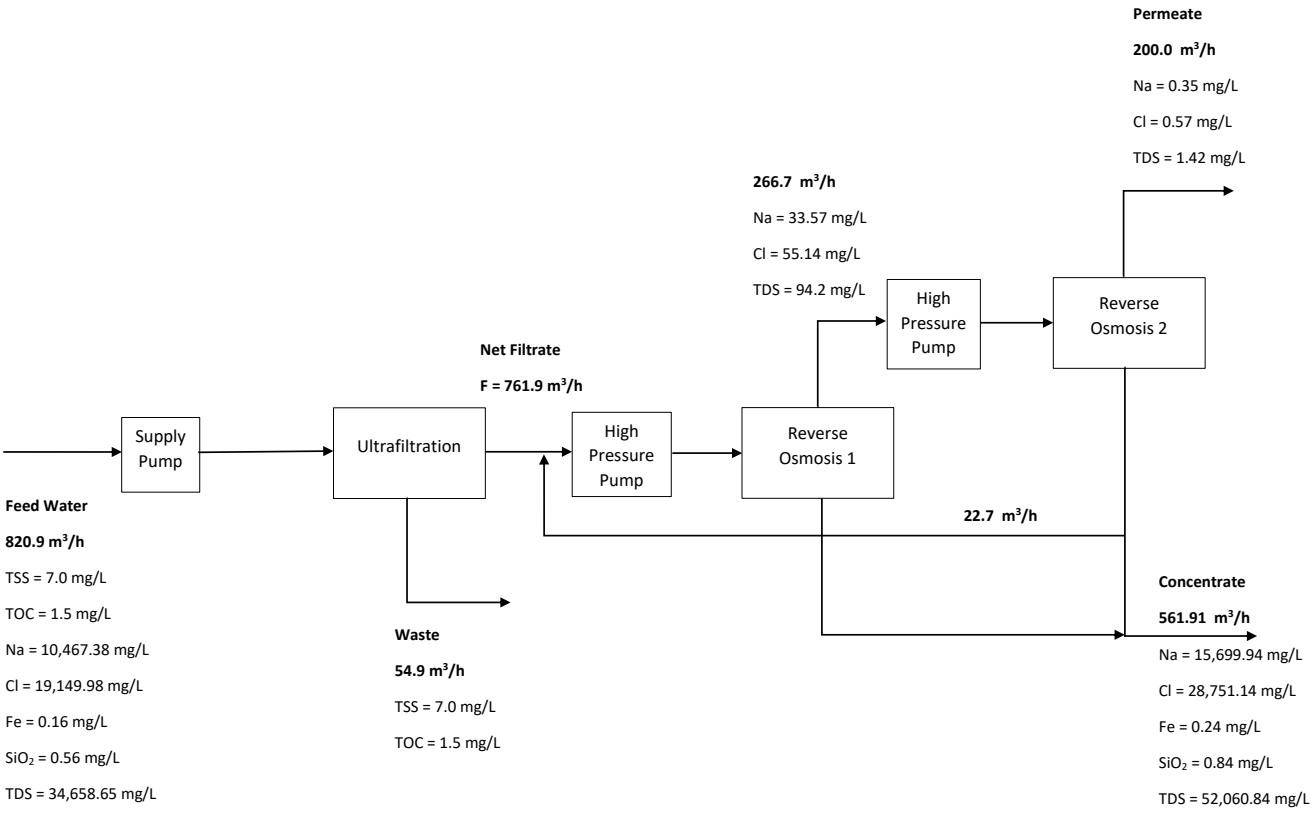
ในการสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมเคมีของกระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืดผ่านระบบออสโมซิสผันกลับ จะอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป 2 โปรแกรมประกอบกัน โดยใช้โปรแกรม WAVE Design Software ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทดูปองท์ (DuPont) สำหรับการจำลองแบบระบบ ultrafiltration ซึ่งใช้ขจัดความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและคาร์บอนอินทรีย์ออกจากน้ำทะเล โปรแกรม Winflows : Membrane system design software ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทสุเอซ (Suez) เพื่อจำลองแบบเมมเบรนออสโมซิสผันกลับ ซึ่งใช้ขจัดไอออนและผลิตน้ำบริสุทธิ์ในขั้นตอนสุดท้าย

การสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมเคมี จะต้องมีการกำหนดสมมติฐานหรือกำหนดขอบเขตในการดำเนินการเพื่อช่วยให้การออกแบบได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ และสอดคล้องกับหลักการออกแบบ กล่าวคือ สภาวะการไหลเป็นสภาวะคงตัว (Steady state) ซึ่งตัวแปรไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้น จึงสามารถทำนายอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำดิบซึ่งต้องป้อนเข้าสู่เมมเบรนออสโมซิสผันกลับได้จากค่า Water recovery [16] และความจุของกระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืดคือ 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยอ้างอิงจาก The 2019-2020 TIChE National Chemical Engineering Student Design Competition [1]

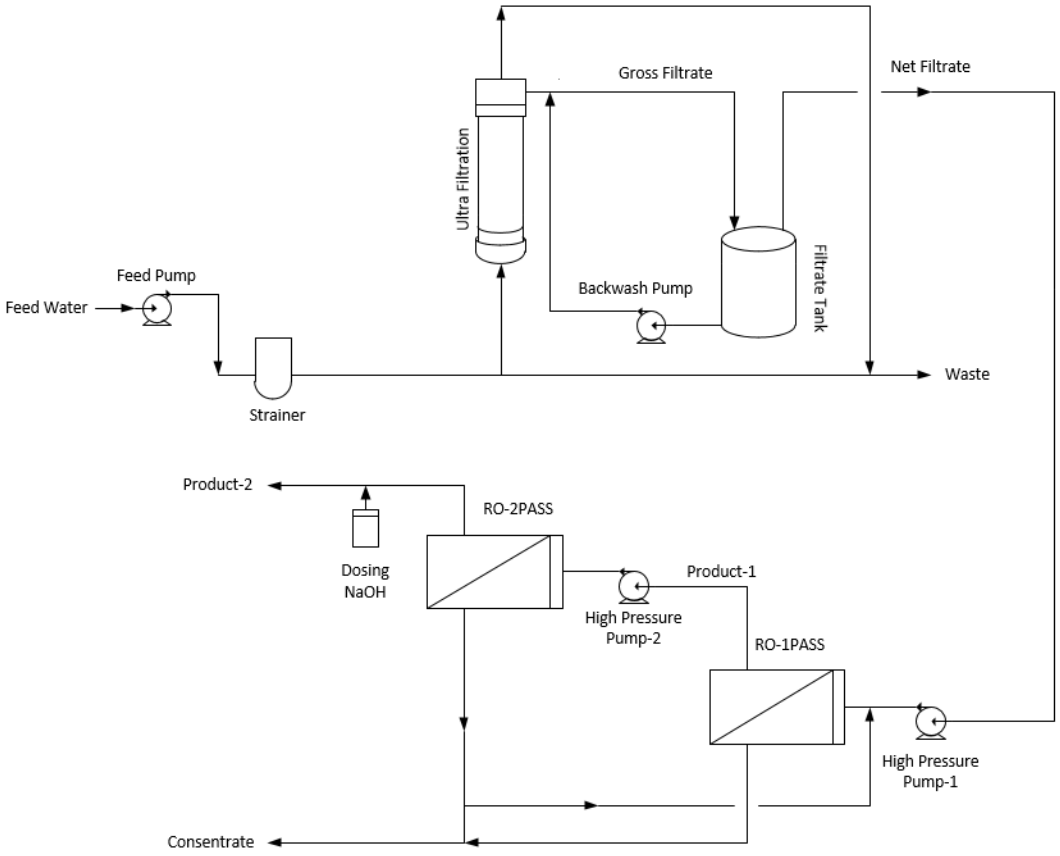
บทที่ 3

แบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลผ่านระบบออสโมซิสผันกลับ

ระบบออสโมซิสผันกลับจะถูกจำลองแบบผ่านโปรแกรม WAVE และ Winflows เพื่อทำนายผลเฉลยของสมดุลมวลสารรอบระบบ และคุณภาพของน้ำผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ โดยแผนภาพการไหลแบบกล่อง (Block flow diagram) และแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Process flow diagram) ของระบบออสโมซิสผันกลับ แสดงในภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3-1 แผนภาพการไหลแบบกล่องของระบบออสโมซิสผันกลับ



ภาพที่ 3-2 แผนภาพการไหลของกระบวนการสำหรับระบบออสโมซิสผันกลับ

น้ำทะเลจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ultrafiltration เป็นอันดับแรกเพื่อทำการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่เมมเบรนของออสโมซิสผันกลับ โดยในระบบ ultrafiltration นั้น จะประกอบด้วย strainer ซึ่งมีช่องว่างประมาณ 150-200 ไมครอนเพื่อทำหน้าที่กรองเอากรวดหินทรายและสาหร่ายออกจากน้ำดิบ หลังจากนั้นน้ำดิบจะถูกป้อนเข้าสู่โมดุลของ ultrafiltration เพื่อทำการกรองเอาความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและคาร์บอนอินทรีย์ออกไป น้ำจากการกรองบางส่วนอาจถูกวนกลับไปใช้ในระบบเพื่อทำความสะอาดเมมเบรน อาจด้วยระบบล้างน้ำย้อนกลับ (Backwash) ระบบล้างด้วยสารเคมี (Chemically enhanced backwash) เช่นสารละลายกรดเกลือ (HCl) และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) หรือด้วยการเป่าลม (Air scour) [20]

น้ำผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบบำบัดขั้นต้นนั้นจะถูกป้อนไปยังเครื่องสูบน้ำแรงดันสูง ซึ่งมีหน้าที่อัดความดันให้สูงกว่าความดันออสโมติกเพื่อให้เกิดกระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ น้ำป้อนแรงดันสูงจะส่งเข้าไปยังโมดุลของออสโมซิสผันกลับ เกิดการแพร่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อเมมเบรน จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม Winflows พบว่า ในขั้นต้นนั้น เมมเบรนยังไม่สามารถขจัดโซเดียมและคลอไรด์ให้ได้ตามข้อกำหนด ดังนั้น จึงต้องมีการต่อแบบสองขั้นตอน (Double pass) เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของน้ำให้เป็นไปตามที่ต้องการ อย่างไรก็ดี ค่า pH

ของน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการจำลองแบบมีค่า 5.36 ซึ่งยังคงแตกต่างจากช่วงที่ต้องการ (5.5-7) จึงต้องมีการเติมโซดาไฟ (Chemical dosing with NaOH) เพื่อปรับสภาพกรดด่างของผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลางที่ pH เท่ากับ 7 โดยตารางที่ 3-1 แสดงสมดุลมวลสารซึ่งได้จากการจำลองแบบจากโปรแกรม WAVE และ Winflows ในรูปอัตราการไหลเชิงปริมาตร และองค์ประกอบปนเปื้อนในหน่วย ppm กรัม

	Seawater	UF waste	UF product	RO product 1	RO product 2	RO concentrate
Volumetric flow rate [m3/h]	929.7	761.9	163.1	226.7	200	561.9
TDS [mg/L]	35679.96	-	35679.96	94.19	2.30	52,060.84
SiO_2 [mg/L]	0.58	-	0.58	-	-	0.84
Fe [mg/L]	0.16	-	0.16	-	-	0.24
Na [mg/L]	10,775.23	-	10,775.23	33.57	0.65	15,699.94
Cl [mg/L]	19,713.92	-	19,713.92	55.14	1.06	28,751.14
TSS [mg/L]	7.00	7.00	-	-	-	-
TOC [mg/L]	1.50	1.50	-	-	-	-

ตารางที่ 3-1 สมดุลมวลสารของระบบออสโมซิสผันกลับซึ่งได้จากการจำลองแบบ

จากข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งอ้างอิงจาก The 2019-2020 TIChE National Chemical Engineering Student Design Competition เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่ามีความสอดคล้องกันและเหมาะสมกับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ ด้วยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.9990

Product quality	Regulated value [ppm mol]	Regulated value [ppm g]	Simulated result [ppm g]
pH	5.5-7.0	5.5-7.0	7.0
Conductivity	≤ 5 µS/cm	≤ 5 µS/cm	5.5 µS/cm
Silica	≤ 0.02	≤ 1.20	0
Total iron	≤ 0.02	≤ 1.11	0
Sodium	≤ 0.5	≤ 11.5	0.65
Chloride	≤ 0.5	≤ 17.7	1.06

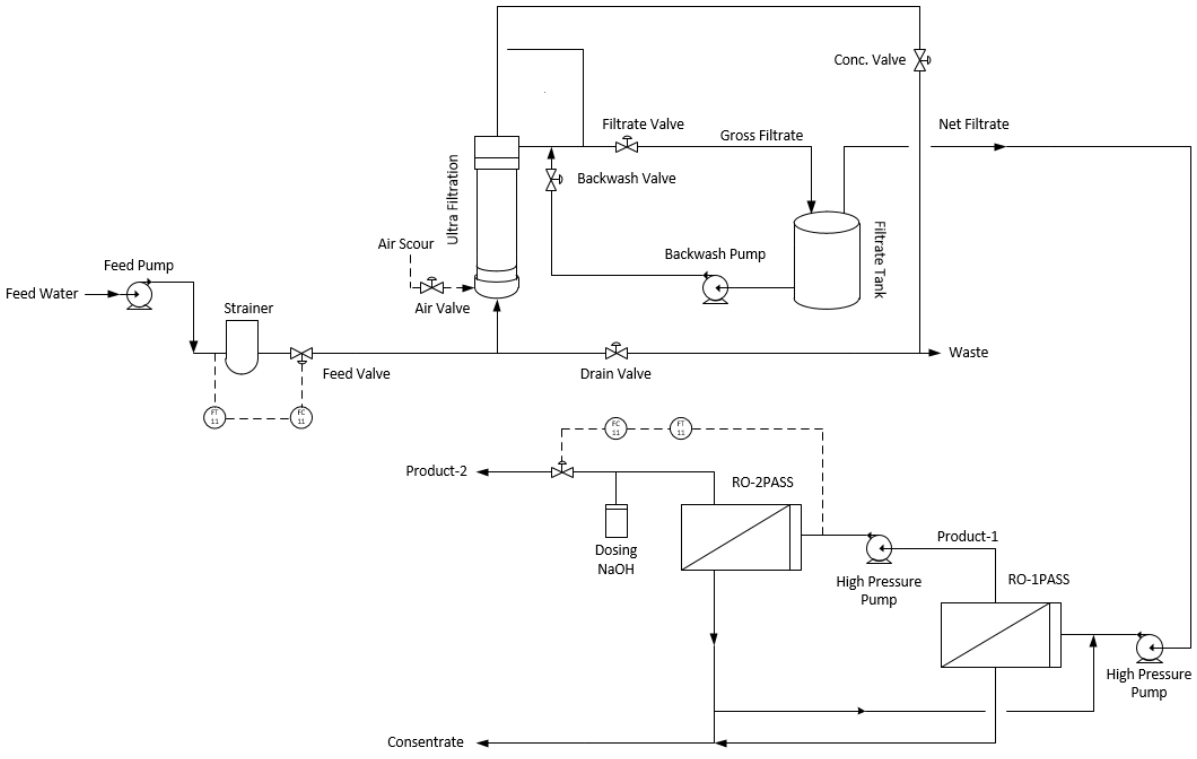
ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ระหว่างค่าที่กำหนดและค่าจากการจำลองแบบ [1]

สำหรับสาธารณูปโภค (Utility) ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตนี้ แสดงดังตารางที่ 3-3

Utilities	UF system	RO system
Electricity [kW]	229.4	1,888.9
Air [m^3/h]	1752	-
HCl 32% [L/h]	721.2	-
NaOCl 12% [L/h]	980.23	-
NaOH [g/h]	-	0.0008

ตารางที่ 3-3 สาธารณูปโภคซึ่งถูกใช้ในกระบวนการผลิต

สำหรับแผนภาพระบบท่อและระบบวัดคุม (Piping and instruments diagram) ของกระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับนี้ แสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-3 แผนภาพระบบท่อและระบบวัดคุมของระบบออสโมซิสผันกลับ

บทที่ 4

หน่วยปฏิบัติการและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

4.1 หน่วยปฏิบัติการ และราคาของหน่วยปฏิบัติการ

หน่วยปฏิบัติการ (Unit operation) ซึ่งถูกใช้ในการออกแบบระบบออสโมซิสผันกลับ ประกอบด้วยเครื่องอัด ระบบ ultrafiltration ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นต้น และเมมเบรนของออสโมซิสผันกลับซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นโมดุลภายในถังความดัน (Pressure vessel)

- เครื่องสูบน้ำ (Water pump) และเครื่องอัดอากาศ (Air compresser)
- โมดุลระบบ ultrafiltration

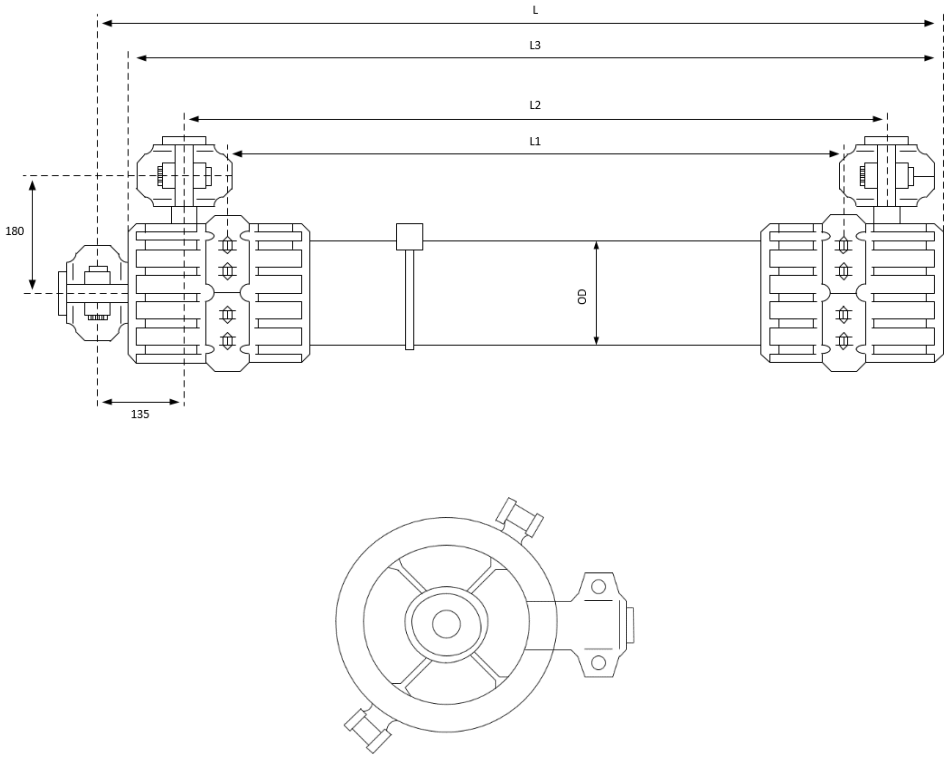
เมมเบรนของระบบ ultrafiltration เป็นแบบ Ultrafiltration-SFP2880 ซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นสำหรับอุตสาหกรรม โดยตารางที่ 4-2 และ 4-3 แสดงคุณลักษณะและการกำหนดขนาดของ Ultrafiltration-SFP2880 ซึ่งอ้างอิงจากบริษัทดาวน์ (DOW)

Operating Parameter	
Flow range	210-520 GPM
HP	60
RPM	3500
Voltage	230/460 VAC
Frequency	60
Phase	3
Enclosure	TEFC
Max. Inlet Pressure	200 PSI
Max. Discharge Pressure	1000 PSI
Stage	7

ตารางที่ 4-1 เครื่องสูบน้ำและเครื่องอัดอากาศ

Model	Type	Material	Membrane area [m^2]	Module volume [Litre]	Weight [kg]
SFP-2880	Hollow-Fibre	PVDF	77	39	61

ตารางที่ 4-2 คุณลักษณะของเมมเบรน SFP-2880 [21]



ภาพที่ 4-1 ภาพฉายของโมดุล ultrafiltration

	L	L_1	L_2	L_3	D	W_1	W_2
mm	2,360	2,000	2,130	2,320	225	180	342

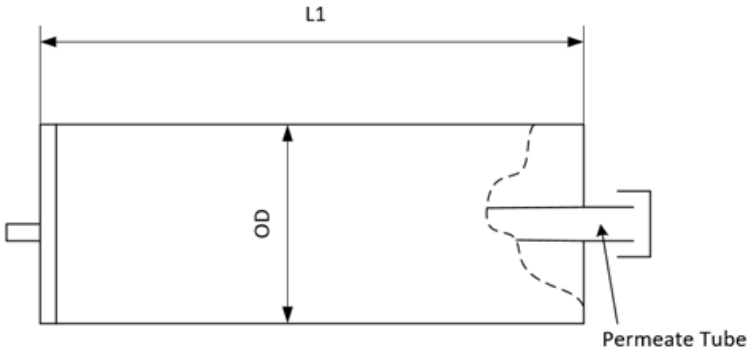
ตารางที่ 4-3 ขนาดของโมดุลสำหรับแบบจำลอง SFP-2880 [21]

C	
Flow range	3.1-9.3 m^3/h
Temperature	1-40 ^oC
Max. inlet pressure	6.25 bar
Max. operating TMP	2.1 bar
Max. operating air scour flow	12 $STDm^3$/h
Max backwash pressure	2.5 bar
Operating pH	2-11
Max. NaOCl	2,000 ppm
Max. TSS	100 ppm
Max. turbidity	300 NTU
Max. particle size	300 microns
Expected filtrate turbidity	≤ 0.1 NTU

ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์ของการดำเนินการสำหรับแบบจำลอง SFP-2880 [21]

- โมดุลระบบออสโมซิสผันกลับ

เมมเบรนออสโมซิสผันกลับจะเป็นชนิดเกลียว (Spiral-Wound) ที่มีพื้นที่ในการถ่ายโอนมวลสารมากและโอบล้อมท่อน้ำผลิตภัณฑ์เอาไว้ ดังแสดงในภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ภาพฉายของเมมเบรนออสโมซิสผันกลับ [18]

จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เมมเบรนออสโมซิสผันกลับแรกสุดจะใช้แบบจำลอง SeaPRO-210 ซึ่งมีคุณลักษณะกำหนดดังตารางที่ 4-5 น้ำที่ผ่านจาก SeaPRO-210 จะมีค่า TDS ที่ลดลงจนอยู่ในขอบเขตของน้ำจืด (<500 ppm) อย่างไรก็ดี ปริมาณของโซเดียมและคลอไรด์ยังคงเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ จึง

ต้องมีการต่อเมมเบรนเป็นแบบสองขั้นตอน (Double-pass) เพื่อให้น้ำผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามที่ต้องการ โดยเมมเบรนที่สองจะใช้แบบจำลอง TITAN-180 ซึ่งมีคุณลักษณะดังตารางที่ 4-7 สำหรับขจัดไอออนที่ยังเกินอยู่ทิ้งไป

Element type	Type	Membrane Area [m^2]	Length [mm]	Diameter [mm]	Weight [kg]
SW RO 370 HR WT Spiral-Wound	Seawater	34.3	1010.6	45.77	16

ตารางที่ 4-5 การกำหนดขนาดของแผ่นเมมเบรนของแบบจำลอง SeaPRO-210 [18]

Operating parameters	
Recovery	35%
Design temperature	25 °C
Operating temperature range	15-32 °C
Design feed TDS	47,000 ppm
Nominal rejection	97-99 %
Minimum inlet pressure	2 bar

ตารางที่ 4-6 พารามิเตอร์ของการดำเนินการสำหรับแบบจำลอง SeaPRO-210 [18]

Element type	Type	Membrane Area [m^2]	Length [mm]	Diameter [mm]	Weight [kg]
PRO RO 400 WT Spiral-Wound Polyamide	Brackish Water	37.1	1010.6	42.31	16

ตารางที่ 4-7 การกำหนดขนาดแผ่นเมมเบรนของแบบจำลอง TITAN-180 [18]

Operating parameters	
Recovery	66-75%
Design temperature	16 °C
Operating temperature range	16-25 °C
Design feed TDS	15,000-25,000 ppm
Nominal rejection	97-99 %
Minimum inlet pressure	2 bar

ตารางที่ 4-8 พารามิเตอร์ของการดำเนินการสำหรับแบบจำลอง TITAN-180 [18]

สำหรับราคาของหน่วยปฏิบัติการต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-9

Equipment	Specification	Cost [THB]
Supply pump		1,689,600
Strainer	150 μm	2,000
UF pressure vessel	Ultrafiltration SFP-2880, 252 modules	1,209,600 + 2800(252)
Ultrafiltration membrane	PVDF Hollow-Fibre	4,800
Filter tank	131 m^3	33,000
Backwash pump		7,500
Air compressor		7,500
High pressure pump 1		13,464,000
RO pressure vessel	SeaPRO-210,47K	*210,000 +2800(30)*
RO membrane	SW RO 370 HR WT Spiral-Wound	17,713,710
RO pump		1,689,600
RO 2 pressure vessel	TITAN-180	108,000 +2800(18)
RO 2 membrane	PRO-RO-400	7,906,860

ตารางที่ 4-9 ราคาของหน่วยปฏิบัติการ [16][18] [23]

4.2 ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิต (Production cost) คือค่าใช้จ่ายในปัจจัยการผลิตที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับปัจจัยคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิต และต้นทุนแปรผัน (Variable cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่แปรผันไปตามปริมาณผลผลิต

สำหรับต้นทุนคงที่ของเงินทุน (Fixed capital cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการจัดหาแหล่งเงินทุนแหล่งต่างๆของธุรกิจ ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นต้นทุนทางตรง (Direct cost) คือต้นทุนที่ใช้ในการก่อให้เกิดกิจกรรมนั้นโดยตรง เช่น ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ ค่าติดตั้งระบบท่อและระบบวัดคุม ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าอาคารและค่าที่ดิน เป็นต้น และส่วนที่เป็นต้นทุนทางอ้อม (Indirect cost) ในการออกแบบโรงงานสำหรับวิศวกรรมเคมีนั้นสามารถประเมินต้นทุนทางตรงและทางอ้อมได้อย่างคร่าวๆ [22] ดังแสดงในตาราง

	Range [%]	Cost [MTHB]
Direct cost		
Purchased equipment	15-40	12.343
Installation of equipment	6-14	4.488
Instrumentation and control	2-8	2.244
Installed piping	3-20	5.161
Installed electricity	2-10	5.386
Building and services	3-18	4.713
Yard improvement	2-5	1.571
Installed service facilities	8-20	6.284
Land	1-2	0.448
Indirect cost		
Engineering and supervision	4-21	5.610
Construction expense	4-16	4.488
Contractor's fee	2-6	1.795
Contingency	5-15	4.488
Total fixed capital cost (TFC)		59.025

ตารางที่ 4-10 Total fixed capital cost

ท้ายที่สุดแล้ว ต้นทุนคงที่ของเงินทุน จะถูกนำไปประเมินร่วมกับอัตราดอกเบี้ย และระยะเวลาตามที่คาดหวังเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายเงินทุนประจำปี (Annual capital charge) ดังแสดงในตาราง

Total fixed capital	Interest rate	years	Annual capital charge
59,025,313.6	15%	25	67,879,110.6

ตารางที่ 4-11 Annual capital charge

สำหรับต้นทุนการผลิตแปรผัน (Variable cost of production, VCOP) สามารถพิสูจน์ทราบได้จากปัจจัยแปรผันในกระบวนการผลิต ซึ่งมีสารตั้งต้น สารเคมีอื่นๆที่เพิ่มเติมเข้ามาและสาธารณูปโภคที่ถูกใช้ ดังแสดงในตาราง

Materials	Quantity [Unit/yr]	Cost per unit	Cost [MTHB/yr]
Product			
Fresh water [m^3]	1,599,984	60 THB/m^3	96.00
Raw material			
Seawater [m^3]	6,567,134	0.5 THB/m^3	3.28
Consumables			
HCl 32% [kg]	9,181.279	3.3 THB/kg	0.03
NaOCl 12% [kg]	9,296.344	9.9 THB/kg	0.09
NaOH 50% [kg]	14.927	8.58 THB/kg	0.000128

ตารางที่ 4-12 Revenue and raw material cost

Utilities	Quantity [Unit/h]	Cost per unit	Cost [MTHB/yr]
Electricity [kW.h]	2,118	3.7 THB/unit	62.702
Air [m^3/h]	1,752	0.5 THB/m^3	7.008

ตารางที่ 4-13 Utilities cost

	Cost [MTHB/yr]
Main product revenue	96.00
Raw material cost	3.28
Consumables cost	0.12
Utilities cost	69.71
Variable cost of production (VCOP)	169.11

ตารางที่ 4-15 Variable cost of production

สำหรับต้นทุนการผลิตคงที่ (Fixed cost of production, FCOP) เช่น ค่าแรงงาน ค่าบริหาร ค่าบำรุงรักษา ภาษี และการประกันภัย สามารถพิสูจน์ทราบได้ดังแสดงในตาราง

			MTHB/yr
Labour	4.*8* Operators per shift position		
Number of shift positions	3		3.46
Supervision		25% of operating labour	0.86
Direct overhead		45% of labour and supervision	1.94
Maintenance		3% of direct cost	0.95
Overhead expense			
Plant overhead		65% of labour and maintenance	4.69
Tax and Insurance		2% of Fixed capital	0.47
Interest on debt financing		7% of Fixed capital	2.22
Fixed cost of production (FCOP)			14.59

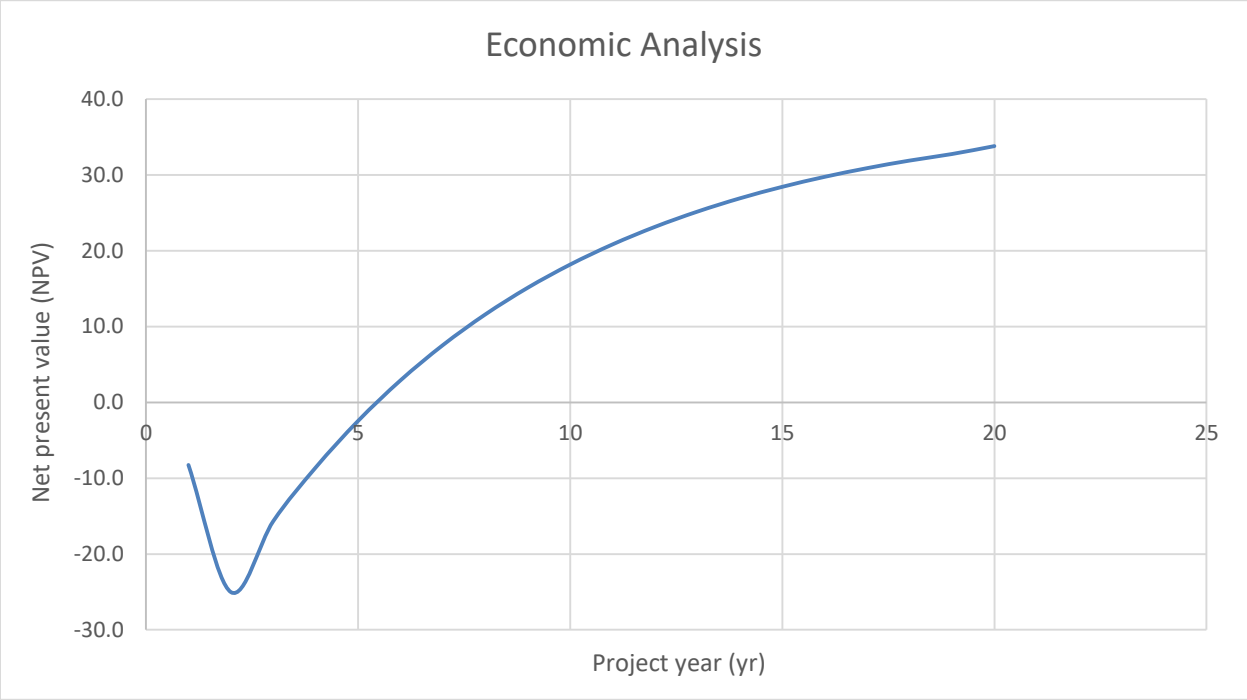
ตารางที่ 4-16 Fixed cost of production

ท้ายที่สุดแล้ว ต้นทุนการผลิตจึงประกอบด้วยต้นทุนการผลิตคงที่ ต้นทุนการผลิตแปรผัน และค่าใช้จ่ายเงินทุนประจำปี เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 242.725 ล้านบาท

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

IRR	**%**
10 yr	33.3
15 yr	36.0
20 yr	36.5

ตารางที่ 4-17 Internal rate of return



กราฟที่ 4.1 Economic Analysis

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นั้นตัวแปลที่เราสนใจนำมาวิเคราะห์มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัวแปร ได้แก่ Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR), Pay-back Period และ Gross Profit ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลสรุปว่า Gross Profit หรือก็คือ รายได้จากการขาย หัก ต้นทุนขาย ซึ่งเป็นกำไรขั้นต้น ได้ค่า 8.3 ล้านบาทต่อปี ซึ่ง Gross Profit มีค่าเป็นบวกจึงนับว่ากระบวนการนี้น่าลงทุน เมื่อลงทุนแล้วระยะเวลาที่จะคืนทุนหรือ Pay-back Period อยู่ที่ 2.8 ปี หรือประมาณ 3 ปี และ จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า Net Present Value หลังพ้น 5 ปีไปแล้วมีค่าที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือในการลงทุนสร้าง

บทที่ 5

สรุปผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบโรงงานกระบวนการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล ทางผู้เข้าแข่งขันได้เริ่มทำการออกแบบโรงงานตามโจทย์ที่ได้รับมาจากงานแข่งขันวิชาการ National Chemical Engineering Student Design Competition โดยเริ่มจากการหาข้อมูลเทคโนโลยีกระบวนการที่จะนำมาใช้เพื่อผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล หร้อมทั้งหาระบบวิธีการที่จะใช้คัดเลือกเทคโนโลยีในการผลิต เมื่อได้เทคโนโลยีมาแล้วทางผู้เข้าแข่งขันได้ทำการออกแบบโรงงานเพื่อใช้ผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลโดยใช้เทคโนโลยีที่ได้ทำการเลือกมา โดยผู้เข้าแข่งขันได้ทำการออกแบบตามหลักการออกแบบของวิศวเคมี โดยจะมีตามที่งานแข่งขันได้มอบหมายมา ไม่ว่าจะเป็น Block Flow Diagram, Process Flow Diagram, Piping and Instrument Diagram เป็นต้น รวมถึงทำการหาข้อมูลต่างๆ มาประกอบการออกแบบโรงงาน รวมถึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการสร้างโรงงาน ซึ่งจากการเข้าร่วมงานแข่งขันครั้งนี้ทำให้ให้ได้รับประสบการณ์และได้รับความรู้ที่เป็นประโยชน์มากมาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้ และยังได้ฝึกทักษะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อีกมากมาย

เอกสารอ้างอิง

[1] The 2019-2020 TIChE National Chemical Engineering Student Design Competition statement.

[2] Al-Amshawee Sajjad, Mohd Yusri Bin Mohd Yunus and Abdul Aziz Mohd Azoddein, David Geraint Hassell, Ihsan Habib Dakhil and Hassimi Abu Hasan. Electrodialysis Desalination for Water and Wastewater: A Review. (2019). Chemical Engineering Journal (2019).

[3] A. H. M. Saadat, M. S. Islam, F. Parvin and A. Sultana. Desalination Technologies for Developing Countries: A Review. (2018). Journal of Scientific Research · January 2018.

[4] P. Vivekh, M. Sudhakar, M. Srinivas and V. Vishwanthkumar. Desalination technology selection using multi-criteria evaluation: TOPSIS and PROMETHEE-2. (2015). International Journal of Low-Carbon Technologies 2017, 12, 24–35.

[5] “Technology Readiness Levels: ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม”. https://www.nstda.or.th/

[6] Arun Subramani and Joseph G. Jacangelo. Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review. (2015). Water Research Volume 75, 15 May 2015, Pages 164-187.

[7] Ali Al-Karaghouli and Lawrence L. Kazmerski. Comparisons of Technical and Economic Performance of The Main Desalination Process with and without Renewable Coupling. (2012). Materials Science.

[8] P. G. Youssefa, R.K. AL-Dadaha and S. M. Mahmouda. Comparative Analysis of Desalination Technologies. (2014). Energy Procedia 61 (2014) 2604 – 2607.

[9] วรรณกุล บำรุงสาลี. (2016). เอกสารประกอบรายวิชา ฟิสิโคเคมีพื้นฐานสำหรับวิศวกรเคมี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[10] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2011). หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน วิชาชีววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ.

[11] วิชัย ธรานนท์. (1999). ฟิสิกัลเคมี 1. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[12] “Osmosis”. https://commons.wikimedia.org/.

[13] “Reverse Osmosis”. https://www.researchgate.net/

[14] เนตรประภา โชติมานนท์. การศึกษาการผลิตน้ำจืดจากทะเลในเขตชายฝั่งทะเลตะวันออก. (1994). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[15] Electrodialysis and Electrodialysis Reversal. AWWA MANUAL M38 First Edition.

[16] “Ultrafiltration (UF)”. https://www.dupont.com/.

[17] Warren L. McCabe, Julian C. Smith and Peter Harriott. Unit Operations of Chemical Engineering, Fifth Edition. McGraw-Hill, Inc.

[18] “RO ED UF EQUIPMENT CHANNEL PARTNER”. http://www.ultrapure.com/.

[19] K. Jamal, M.A. Khan and M. Kamil. Mathematical modeling of reverse osmosis systems. (2003). Desalination 160 (2004) 29-42.

[20] “Advanced Water Treatment”. การประปานครหลวง. https://www.mwa.co.th/.

[21] “Ultrafiltration SFP-2880”. https://inaqua.de/assets/Uploads/DOW-UF-SFP-2.

[22] Max S. Peters and Klaus D. Timmerhaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc.

[23] “GE Price List Water & Process Technologies”.http://www.axialscientific.com/.

ภาคผนวก

Design Basis

	XXXXXX PACKAGE DATA SHEET		
CUSTOMER	AUTHORIZED BY		
PROJECT Seawater Desalination	CHECKED BY		
LOCATION Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	REV	DATE	MADE BY
UNIT			
SUPPLIER **JOB NO.**			
ITEM NO. **REQ. NO.**			
SERVICE			
NO. REQ'D **Working** Unit **Stand-By** Unit **Total** Unit			

1. General

The plant is seawater desalination to produce fresh water from seawater. The plant capacity is 200 cubic meter of fresh water an hour, 8,000 hours a year. The site plot is at seashore in Map Ta Phut industrial estate, Rayong. The plant shall be so designed for life time of 25 years.

2. Design Basis

2.1 Design and Operating Condition

Hazard classification	Material Safety Data Sheet	
Water Source	Seawater	
Total Capacity	200	m^3/hr
Design Capacity (per unit)	-	m^3/hr
Design Mechanical temperature	25	^oC
Operating temperature	15-32	^oC
Design Mechanical pressure	35	kg/cm^2G
Operating pressure	20-40	kg/cm^2G
Pressure drop		
- Allowable pressure drop (Dirty)	2	kg/cm^2G
- Allowable pressure drop (Clean)	2	kg/cm^2G

2.2 Seawater Qualities for Side Stream Filter design as follow ;

Table 1 : Seawater water specification (inlet)

Characteristic	Unit	Value
pH	-	7.6
Seawater TDS	mg/L	35,680
Total Suspended Solids	mg/L	7
Turbidity	NTU	4.6
Oil & grease	mg/L	<3

	XXXXXX PACKAGE DATA SHEET		
CUSTOMER	AUTHORIZED BY		
PROJECT Seawater Desalination	CHECKED BY		
LOCATION Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	REV	DATE	MADE BY
UNIT			
SUPPLIER **JOB NO.**			
ITEM NO. **REQ. NO.**			
SERVICE			
NO. REQ'D **Working** Unit **Stand-By** Unit **Total** Unit			

Table 2 : Seawater water specification (outlet)

Parameter	Unit	Specification of Blow Down Water
pH	-	5.5-7.0
Conductivity	micro S/cm	≤ 5
Silica	ppm mol	≤ 0.02
Total Iron	ppm mol	≤ 0.02
Copper	ppm mol	≤ 0.003
Sodium	ppm mol	≤ 0.5
Chloride	ppm mol	≤ 0.5
T-Hardness	ppm mol	≤ 0.3

2.4 Operating Condition

Operation type	Automatic self-cleaning mode	
Operation system	Timer and DP	
Backwash capacity	-	m^3/day per unit
Backwash capacity (Total)	-	m^3/day per package
Backwash flow rate	-	L/flush
Backwash pressure	-	kg/cm^2G
Cleaning cycle per hour	-	cycle(s)/h
Cleaning time	-	second /flush cycle

3. Equipment specification

3.1 Side Stream Filter Part

Quantity per unit Set(s)	-	
Model	-	
Manufacturer	-	
Contry of origin	-	
Dimension per unit	-	mm(L) x mm(W) x m(H)
Filter body material	-	
Screen material	-	
Screen size/area	-	micron/cm^2

	XXXXXX PACKAGE DATA SHEET		
CUSTOMER	AUTHORIZED BY		
PROJECT Seawater Desalination	CHECKED BY		
LOCATION Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	REV	DATE	MADE BY
UNIT			
SUPPLIER **JOB NO.**			
ITEM NO. **REQ. NO.**			
SERVICE			
NO. REQ'D **Working** Unit **Stand-By** Unit **Total** Unit			

3.2 Booster pump (if any)		
Quantity per unit	-	
Model	-	
Manufacturer	-	
Country of origin	-	
Capacity	-	m^3/hr
Design pressure	-	kg/cm^2G
Operating pressure	-	kg/cm^2G
Pump head	-	
Explosure	-	
Material (Casing / Impeller)	-	
3.3 Gear Motor		
Quantity per unit	-	Set(s)
Type	-	
Model	-	
Manufacturer	-	
Country of origin	-	
Power Specification	-	Volt / Phase / Hz
4. General Requirement		
4.1 Location	: Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	
4.2 Noise level	: < 115 dB	
4.3 Other		
5. Control and Instrumentation		

		XXXXXX PACKAGE DATA SHEET		
CUSTOMER		AUTHORIZED BY		
PROJECT Seawater Desalination		CHECKED BY		
LOCATION Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong		REV	DATE	MADE BY
UNIT				
SUPPLIER	**JOB NO.**			
ITEM NO.	**REQ. NO.**			
SERVICE				
NO. REQ'D **Working** Unit **Stand-By** Unit **Total** Unit				

5.1 Local Control Panel			
General			
- Manufacture	-		
- Type/Model	-		
- Quantity	-		
- Dimension	-	mm(L) x mm(W) x m(H)	
Electrical control type	-		
Control cabinet type	-		
Signal to DCS dry contact	-		
Set Point			
- Timer Set point	-		
- Normal flush Set point (from DPS1)	-		
5.2 Pressure gauge			
Manufacturer	-		
Type / Size	-		
Connection size	-		
Number of units	-		
5.3 Differential Pressure Transmitter			
Manufacturer	-		
Type / Size	-		
Number of units	-		
Set point range	-	kg/cm^2G	
6. Code and standard			
6.1 Motor			
6.2 Vessel			
6.3 Material			
6.4 Piping Design			
6.5 Piping thred			
6.6 Bolt & NUTS			
7. Utility consumption			
7.1 Electrical cinsumption			
Power Source	: 220 / 3 / 50	Volt / Phase / Hz	
Power Supply	:	kW	

	XXXXXX PACKAGE DATA SHEET		
CUSTOMER	AUTHORIZED BY		
	CHECKED BY		
LOCATION Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	REV	DATE	MADE BY
UNIT			
SUPPLIER **JOB NO.**			
ITEM NO. **REQ. NO.**			
SERVICE			
NO. REQ'D **Working** Unit **Stand-By** Unit **Total** Unit			

7.2 Air consumption

Service Air	Consumption	:	-	Nm^3/h
	Pressure	:	-	kg/cm^2G
Instrument Air	Consumption	:	-	Nm^3/h
	Pressure	:	-	kg/cm^2G

8. Performance Guarantee

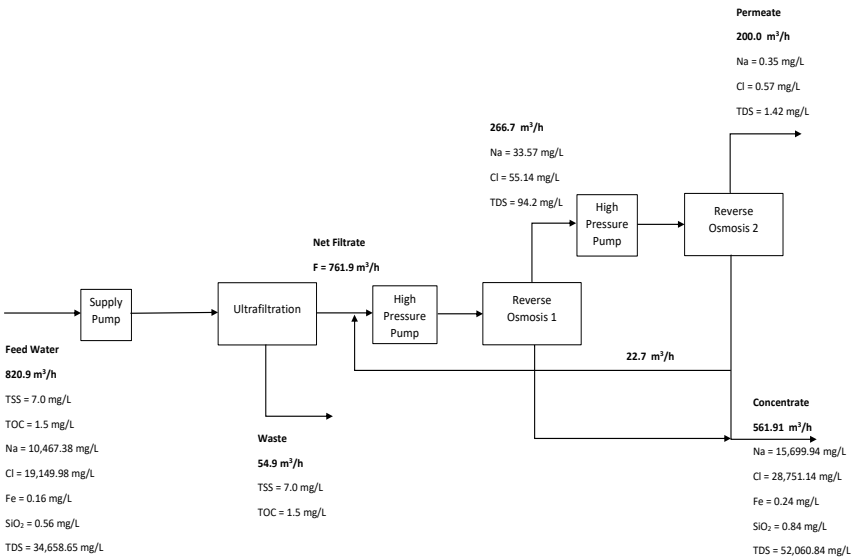
Vendor shall guarantee the following perfprmance.

8.1 Product capacity : 200 m^3/hr per unit

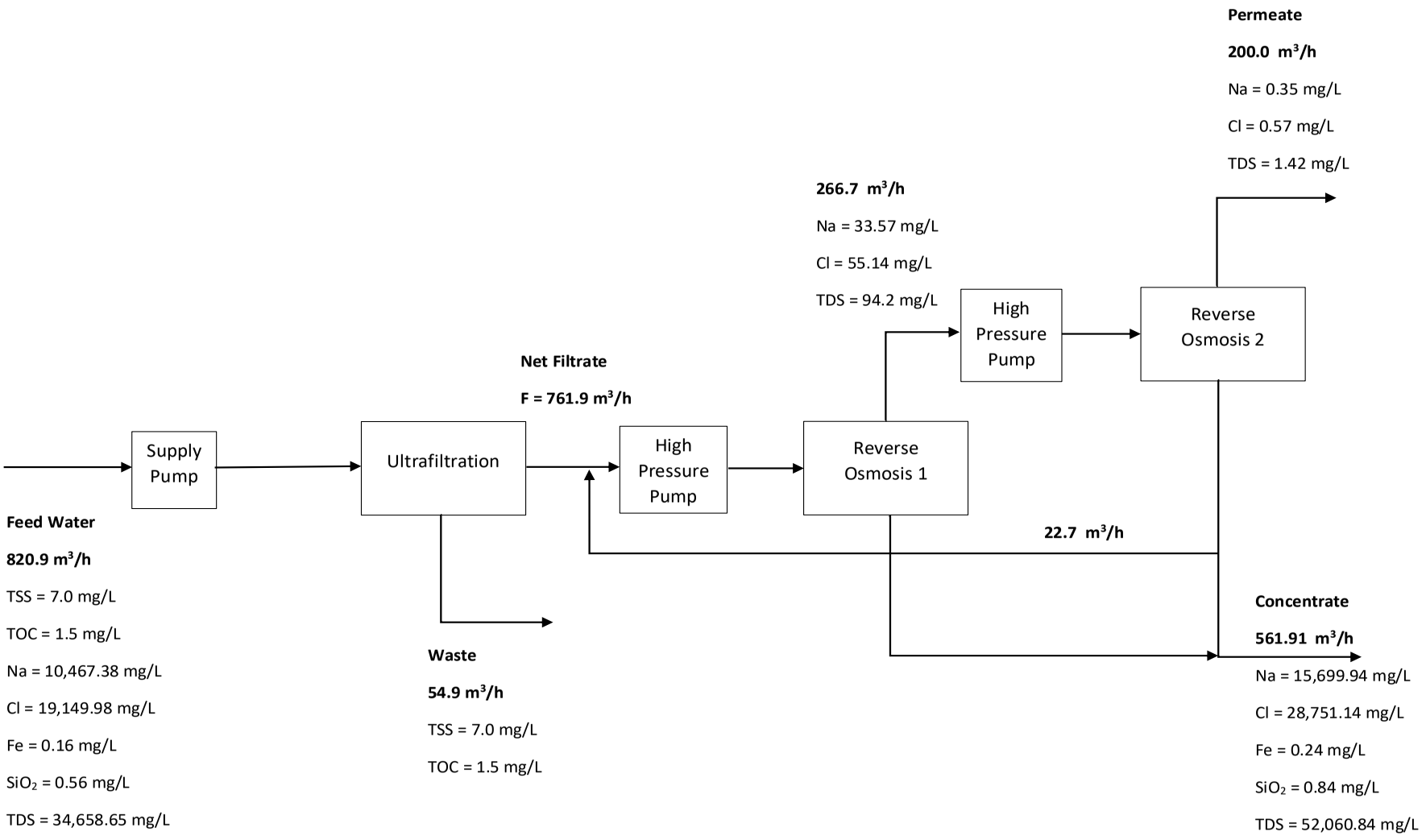
8.2 Quality of water after treated

Shall be 90% removed particle TSS at particle size is equal or more than the screen size 50-micron

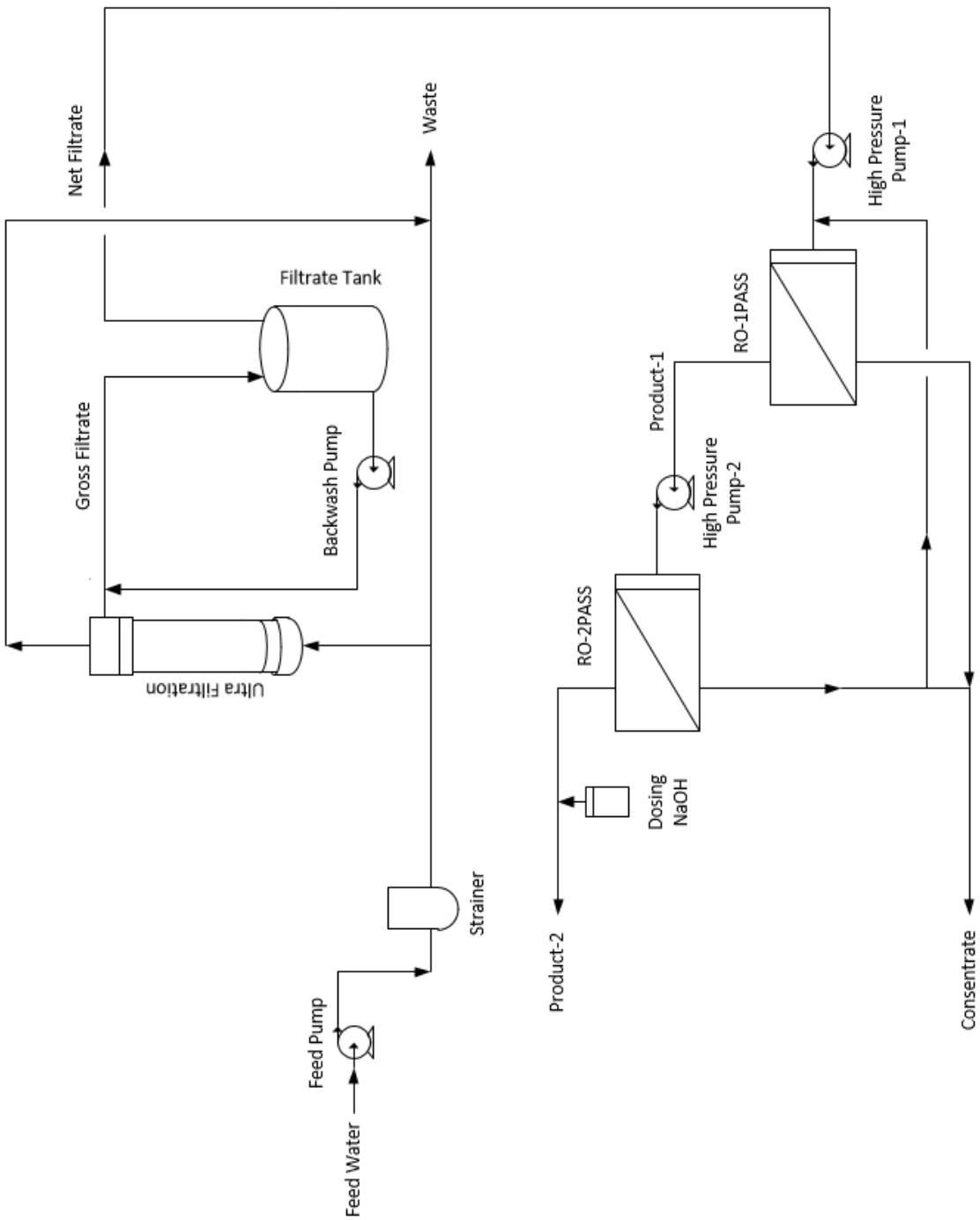
9. Overall Process Diagram (TBC)



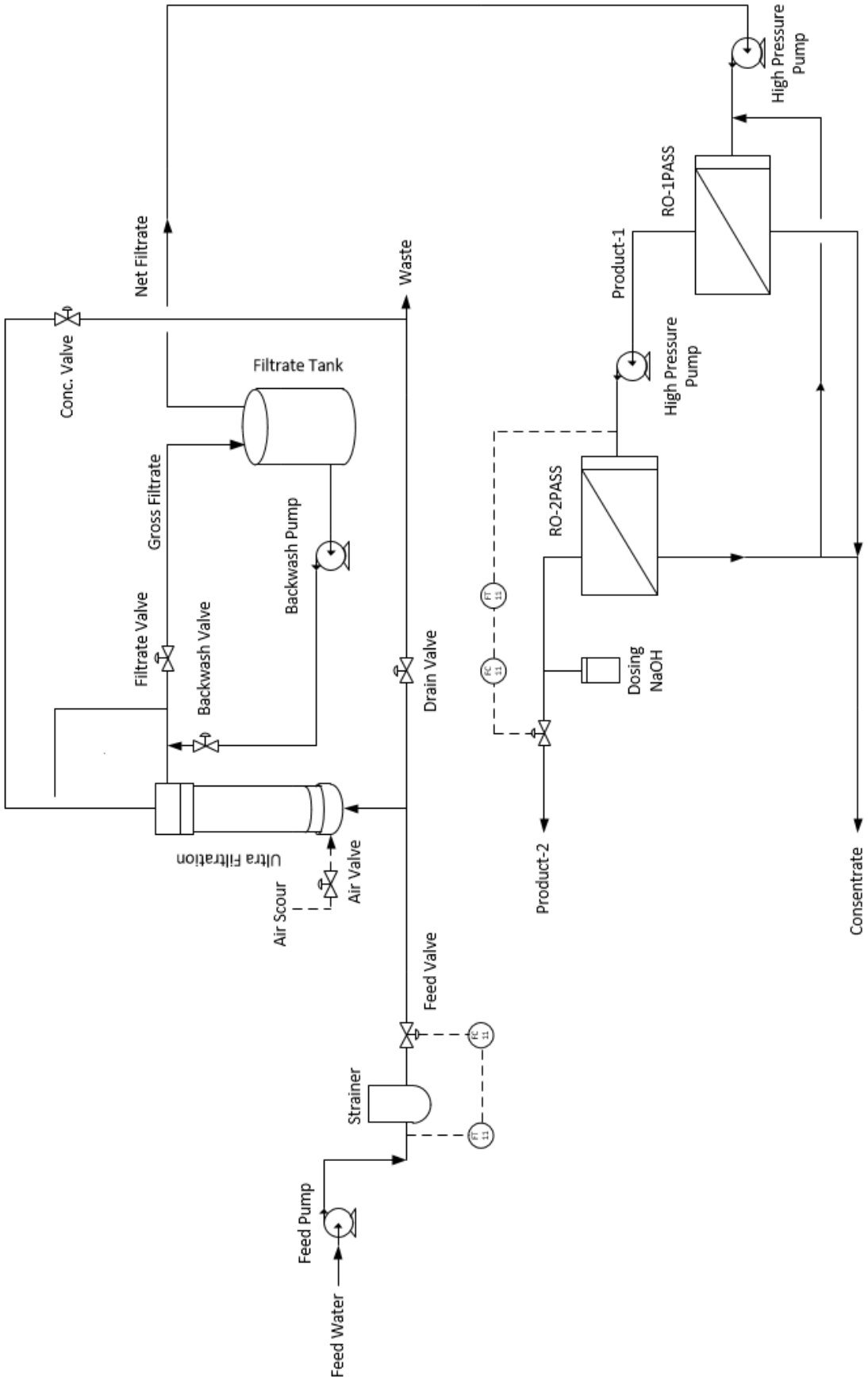
Block Flow Diagram



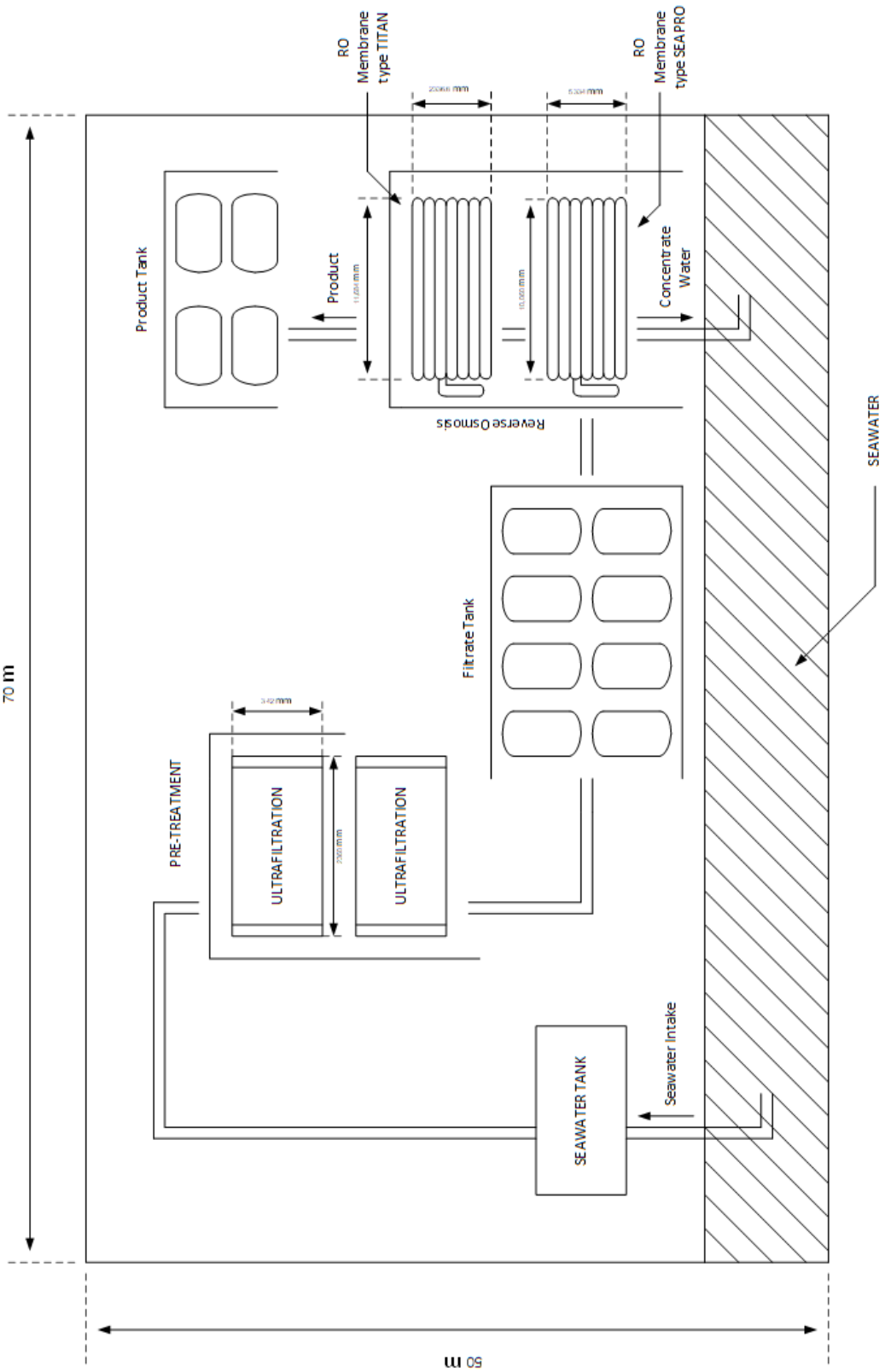
Process Flow Diagram



Piping & Instrument Diagram



Preliminary Plot Plan



Equipment List

EQUIPMENT LIST															
NO.	ITEM NO.	NAME	P&ID No.	QTY		TYPE	SPECIFICATION	FLUID NAME	MAT'L	PRESS. (BARG)		TEMP. (^{o}C)		RATED MOTOR Kw (PER UNIT)	REMARK
				W	S					OPER.	DESIGN	OPER.	DESIGN		
1		Supply pump				centrifugal pump	AS40407KZE 60Hz		316SS,324SS	2.4-31.3	70	93.33	29.6	75	
2		Strainer				-	DSTC Series		SS304, SS316	10	10	28	350	-	
3		Ultrafiltration				Seawater	SFP-2880		XP Fiber	2.1	2 .5	1--40	25		
4		Filtrate tank				Water Filter Parts	TIMOO		stainless steel					-	
5		Bachwash pump				centrifugal pump	AS40407KZE 60Hz		316SS,324SS	2.4-31.3	70	93.33	29.6	75	
8		Air compressor								2	8--13			55.5	
9		High pressure pump 1				centrifugal pump	AS40407KZE 60Hz		316SS,324SS	2.4-31.3	70	93.33	29.6	75	
10		RO membrane 1				Seawater	SW RO 370 HR WT		FRP	2	2	15-32	25	75	
11		High pressure pump 2				centrifugal pump	AS40407KZE 60Hz		316SS,324SS	2.4-31.3	15.4	93.33	29.6	60	
12		RO membrane 2				Brackish Water	PRO RO 400 2PASS WT		FRP	2	2	16-25	16	60	

Cost of Production

Company Name	Project Name							
	Project Number						Sheet	1
Address	REV	DATE	BY	APVD	REV	DATE	BY	APVD
COST OF PRODUCTION								
Form XXXXX-YY-ZZ								

Owner's Name	Capital Cost Basis Year	2006			
Plant Location	Units	○ English	◉ Metric		
Case Description	On Stream	8,000	hr/yr	333.33	day/yr

YIELD ESTIMATE

CAPITAL COSTS

	MTHB
ISBL Capital Cost	18.627
OSBL Capital Cost	8.382
Engineering Costs	2.794
Contingency	1.863
Total Fixed Capital Cost	31.666
Working Capital	4.750

REVENUES AND RAW MATERIAL COSTS

MASS BALANCE — MB Closure 24%

Key Products	Units	Units/Unit product	Units/yr	Price THB/unit	MTHB/yr	THB/unit main product
Fresh water	m3	0	1,599,984	60	96.00	60.00
	MT				0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
Total Key Product Revenues (REV)	MT	0	1599984		96.00	60.00
By-products & Waste Streams						
Byproduct 1	MT	0	0	0	0.00	0.00
Byproduct 2	MT	0	0	0	0.00	0.00
Byproduct 3	MT	0	0	0	0.00	0.00
Byproduct 4	MT	0	0	0	0.00	0.00
Off-gas	MT	0	0	0	0.00	0.00
Organic Waste	MT	0	0	0	0.00	0.00
Aqueous Waste	MT	0	0	0	0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
Total Byproducts and Wastes (BP)	MT	0	0		0.00	0.00
Raw Materials						
Sea water	m3	0	6,567,134	0.5	3.28	2.05
Feed 2	MT	0	0	0	0.00	0.00
Feed 3	MT	0	0	0	0.00	0.00
Feed 4	MT	0	0	0	0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
	MT				0.00	0.00
Total Raw Materials (RM)		0	6,567,134		3.28	2.05
			Gross Margin (GM = REV + BP - RM)		92.72	57.95

CONSUMABLES

	Units	Units/Unit product	Units/yr	Price THB/unit	MTHB/yr	THB/unit product
Solvent 1	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
Solvent 2	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
Solvent 3	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
HCl 32%	kg	0	9,181	3.30	0.03	0.02
Acid 2	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
NaOH 50%	kg	0	9,296	8.58	0.08	0.05
Base 2	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
NaOCl 12%	kg	0	15	9.90	0.00	0.00
Other	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
Other	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
Other	kg	0	0	0.00	0.00	0.00
Total Consumables (CONS)					0.11	0.07

UTILITIES

	Units	Units/Unit product	Units/hr	Price $/unit	MTHB/yr	THB/unit product
Electric	kWh	0.0	2,118	3.70	62.702	39.19
Air	m3	0.0	1,752	0.50	7.008	4.38
MP Steam	MT	0.0	0	0.00	0.000	0.00
LP Steam	MT	0.0	0	0.00	0.000	0.00
Boiler Feed	MT	0.0	0	0.00	0.000	0.00
Condensate	MT	0.0	0	0.00	0.000	0.00
Cooling Water	MT	0.0	0	0.00	0.000	0.00
Fuel Fired	GJ	0.0	0	0.00	0.000	0.00
Total Utilities (UTS)					69.710	43.569
			Variable Cost of Production (VCOP = RM - BP + CONS + UTS)		73.10	45.69

FIXED OPERATING COSTS

				MTHB/yr	THB/unit product
Labor					
	4.8	Operators per Shift Position			
Number of shift positions	3		240000 $/yr each	3.46	2.16
Supervision			25% of Operating Labor	0.86	0.54
Direct Ovhd.			45% of Labor & Superv.	1.94	1.22
Maintenance			3% of ISBL Investment	0.95	0.59
Overhead Expense					
Plant Overhead			65% of Labor & Maint.	4.69	2.93
Tax & Insurance			2% of Fixed Investment	0.47	0.30
Interest on Debt Financing			7% of Fixed Capital	2.22	1.39
			0% of Working Capital	0.00	0.00
			Fixed Cost of Production (FCOP)	14.59	9.12

ANNUALIZED CAPITAL CHARGES

	MTHB	Interest Rate	Life (yr)	ACCR	MTHB/yr	THB/unit product
Fixed Capital Investment	31.666	15%	25	0.155	4.90	3.06
Royalty Amortization	0.000	15%	10	0.199	0.00	0.00
Inventory Amortization						
Catalyst 1	0.000	15%	3	0.438	0.00	0.00
Catalyst 2	0.000	15%	3	0.438	0.00	0.00
Adsorbent 1	0.000	15%	3	0.438	0.00	0.00
Equipment 1	0.000	15%	5	0.298	0.00	0.00
Equipment 2	0.000	15%	5	0.298	0.00	0.00
				Total Annual Capital Charge	4.90	3.06

SUMMARY

	MTHB/yr	THB/unit product
Variable Cost of Production	73.10	45.69
Fixed Cost of Production	14.59	9.12
Cash Cost of Production	87.70	54.81
Gross Profit	8.30	5.19
Total Cost of Production	92.60	57.87

Economic Analysis

Company Name
Address

ECONOMIC ANALYSIS

Form XXXXX-YY-ZZ

Project Name
Project Number

Sheet 1

REV	DATE	BY	APVD	REV	DATE	BY	APVD

Owner's Name
Plant Location
Case Description

Capital Cost Basis Ye 2006
Units ◉ English ○ Metric
On Stream 8,000 hr/yr 333.33 day/yr

REVENUES AND PRODUCTION COSTS

	$MM/yr
Main product revenue	96.00
Byproduct revenue	
Raw materials cost	3.28
Utilities cost	62.70
Consumables cost	
VCOP	65.98
Salary and overheads	10.09
Maintenance	0.95
Interest	0.00
Royalties	0.00
FCOP	11.04

CAPITAL COSTS

	$MM
ISBL Capital Cost	18.627
OSBL Capital Cost	8.382
Engineering Costs	2.794
Contingency	1.863
Total Fixed Capital C	31.666
Working Capital	4.750

CONSTRUCTION SCHEDULE

Year	% FC	% WC	% FCOP	% VCOP
1	30.00%			
2	70.00%			
3		100.00%	100.00%	100.00%
4			100.00%	100.00%
5			100.00%	100.00%
6			100.00%	100.00%
7+			100.00%	100.00%

ECONOMIC ASSUMPTIONS

Cost of equity	30%	Debt ratio	0.23	Tax rate	35%
Cost of debt	7%	19590679		Depreciation method	Straight-line
Cost of capital	15%			Depreciation period	10 years

CASH FLOW ANALYSIS

All figures in $MM unless indicated

Project year	Cap Ex	Revenue	CCOP	Gr. Profit	Deprcn	Taxbl Inc	Tax Paid	Cash Flow	PV of CF	NPV
1	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9.5	-8.3	-8.3
2	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.2	-16.8	-25.0
3	4.7	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	0.0	14.2	9.4	-15.7
4	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	7.1	-8.6
5	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	6.2	-2.4
6	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	5.3	2.9
7	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	4.7	7.6
8	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	4.0	11.6
9	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	3.5	15.1
10	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	3.1	18.2
11	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	2.7	20.8
12	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	2.3	23.1
13	0.0	96.0	77.0	19.0	0.1	18.9	6.6	12.4	2.0	25.2
14	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.4	1.7	26.9
15	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.3	1.5	28.4
16	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.3	1.3	29.7
17	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.3	1.1	30.9
18	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.3	1.0	31.9
19	0.0	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	12.3	0.9	32.7
20	-4.7	96.0	77.0	19.0	0.0	19.0	6.6	17.1	1.0	33.8

ECONOMIC ANALYSIS

Average cash flow	12.6 $MM/yr	NPV	10 years	18.2 $MM	IRR	10 years	33.3%
Simple pay-back period	2.88156 yrs		15 years	28.4 $MM		15 years	36.0%
Return on investment (10 yrs)	41.47%		20 years	33.8 $MM		20 years	36.5%
Return on investment (15 yrs)	44.97%	NPV to yr	1	-8.3 $MM			

Hydrochloric Acid

Safety Data Sheet

:

SECTION 1: Identification

1.1. Identification

Product form	: Mixtures
Product name	: Hydrochloric Acid, 2.0N (2.0M)
Product code	: LC15320

1.2. Recommended use and restrictions on use

Use of the substance/mixture	: For laboratory and manufacturing use only.
Recommended use	: Laboratory chemicals
Restrictions on use	: Not for food, drug or household use

1.3. Supplier

LabChem, Inc.
Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court
Zelienople, PA 16063 - USA T 412-826-
5230 - F 724-473-0647
info@labchem.com - www.labchem.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number	: CHEMTREC: 1-800-424-9300 or +1-703-741-5970

SECTION 2: Hazard(s) identification

2.1. Classification of the substance or mixture GHS US classification

Skin corrosion/irritation Category 1B	H314 Causes severe skin burns and eye damage Serious eye
damage/eye irritation Category 1	H318 Causes serious eye damage

Full text of H statements : see section 16

2.2. GHS Label elements, including precautionary statements

GHS US labeling

Hazard pictograms (GHS US) :

Signal word (GHS US)	: Danger
Hazard statements (GHS US)	: H314 - Causes severe skin burns and eye damage
Precautionary statements (GHS US)	: P260 - Do not breathe mist, vapors, spray. P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling. P280 - Wear protective gloves, eye protection, protective clothing, face protection. P301+P330+P331 - IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. P303+P361+P353 - IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. P304+P340 - IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing P310 - Immediately call a poison center or doctor/physician. P363 - Wash contaminated clothing before reuse.

P405 - Store locked up.
P501 - Dispose of contents/container to comply with local, state and federal regulations

2.3. Other hazards which do not result in classification

Other hazards not contributing to the : None. classification

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

Not applicable

SECTION 3: Composition/Information on ingredients

3.1. Substances

Not applicable

3.2. Mixtures

Name	Product identifier	%	GHS US classification
Water	(CAS-No.) 7732-18-5	92.94	Not classified
Hydrochloric Acid, 37% w/w	(CAS-No.) 7647-01-0	7.06	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Corr. 1B, H314 Eye Dam. 1, H318 STOT SE 3, H335

Full text of hazard classes and H-statements : see section 16

SECTION 4: First-aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures general : Never give anything by mouth to an unconscious person. If you feel unwell, seek medical advice (show the label where possible).

First-aid measures after inhalation : Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. Immediately call a poison center or doctor/physician.

First-aid measures after skin contact : Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. Immediately call a poison center or doctor/physician.

First-aid measures after eye contact : Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Immediately call a poison center or doctor/physician.

First-aid measures after ingestion : Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. Immediately call a poison center or doctor/physician.

4.2. Most important symptoms and effects (acute and delayed)

Potential Adverse human health effects and : Based on available data, the classification criteria are not met. symptoms

Symptoms/effects : Causes severe skin burns and eye damage.

Symptoms/effects after inhalation : Possible inflammation of the respiratory tract.

Symptoms/effects after skin contact : Caustic burns/corrosion of the skin.

Symptoms/effects after eye contact : Causes serious eye damage.

Symptoms/effects after ingestion : Nausea. Vomiting.

Chronic symptoms : Affection/discolouration of the teeth.

4.3. Immediate medical attention and special treatment, if necessary

Obtain medical assistance.

SECTION 5: Fire-fighting measures

5.1. Suitable (and unsuitable) extinguishing media

Suitable extinguishing media : Foam. Dry powder. Carbon dioxide. Water spray. Sand. Unsuitable extinguishing media : Do not use a heavy water stream.

5.2. Specific hazards arising from the chemical

Fire hazard : Not flammable.

Explosion hazard : Not applicable.

Reactivity in case of fire : Thermal decomposition generates : Corrosive vapors.

5.3. Special protective equipment and precautions for fire-fighters

Firefighting instructions : Use water spray or fog for cooling exposed containers. Exercise caution when fighting any chemical fire. Prevent fire-fighting water from entering environment.

Protection during firefighting : Do not enter fire area without proper protective equipment, including respiratory protection.

Other information : Not applicable.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures : Try to stop release. Dike and contain spill.

6.1.1. For non-emergency personnel

Protective equipment : Gloves. Safety glasses. Protective clothing. Face-shield.

Emergency procedures : Evacuate unnecessary personnel.

6.1.2. For emergency responders

Protective equipment : Equip cleanup crew with proper protection.

Emergency procedures : Ventilate area.

6.2. Environmental precautions

Prevent entry to sewers and public waters. Notify authorities if liquid enters sewers or public waters.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Methods for cleaning up : Soak up spills with inert solids, such as clay or diatomaceous earth as soon as possible. Collect spillage. Store away from other materials.

6.4. Reference to other sections

See Heading 8. Exposure controls and personal protection.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Provide good ventilation in process area to prevent formation of vapor. Do not breathe mist, vapors, spray.

Hygiene measures : Wash exposed skin thoroughly after handling. Wash contaminated clothing before reuse.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Technical measures : Comply with applicable regulations.

Storage conditions : Keep only in the original container in a cool, well ventilated place away from : incompatible materials. Keep container closed when not in use.

Incompatible products : metals. cyanides. Strong bases.

Incompatible materials : Direct sunlight.

Packaging materials : Do not store in corrodable metal.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)		
ACGIH	ACGIH Ceiling (mg/m³)	2.98 mg/m³
ACGIH	ACGIH Ceiling (ppm)	2 ppm
OSHA	OSHA PEL (Ceiling) (mg/m³)	7 mg/m³
OSHA	OSHA PEL (Ceiling) (ppm)	5 ppm
IDLH	US IDLH (ppm)	50 ppm
NIOSH	NIOSH REL (ceiling) (mg/m³)	7 mg/m³
NIOSH	NIOSH REL (ceiling) (ppm)	5 ppm

Water (7732-18-5)
Not applicable

8.2. Appropriate engineering controls

Appropriate engineering controls : Emergency eye wash fountains should be available in the immediate vicinity of any potential exposure.

8.3. Individual protection measures/Personal protective equipment

Personal protective equipment: Chemical resistant apron. Face shield.

Gloves. Safety glasses.

Hand protection:

Wear protective gloves.

Eye protection:

Chemical goggles or face shield

Skin and body protection:

Wear suitable protective clothing **Respiratory**

protection:

Respiratory protection not required in normal conditions **Personal**

protective equipment symbol(s):

Other information:

Do not eat, drink or smoke during use.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state : Liquid

Color : Colorless

Odor : Odorless

Odor threshold : No data available

pH : No data available

Melting point : No data available

Freezing point : No data available

Boiling point : No data available

Flash point	: No data available
Relative evaporation rate (butyl acetate=1)	: No data available
Flammability (solid, gas)	: Non flammable.
Vapor pressure	: No data available
Relative vapor density at 20 °C	: No data available
Relative density	: No data available
Specific gravity / density	: 1 - 1.1
Molecular mass	: 36.46 g/mol
Solubility	: Soluble in water. Soluble in ethanol. Soluble in methanol.
Log Pow	: No data available
Auto-ignition temperature	: No data available
Decomposition temperature	: No data available
Viscosity, kinematic	: No data available
Viscosity, dynamic	: No data available
Explosion limits	: No data available
Explosive properties	: Not applicable.
Oxidizing properties	: None.

9.2 Other information

No additional information available

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

Thermal decomposition generates : Corrosive vapors.

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions. Not established.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Reacts violently with (some) bases: release of heat.

10.4. Conditions to avoid

Direct sunlight. Extremely high or low temperatures.

10.5. Incompatible materials

metals. cyanides. Strong bases.

10.6. Hazardous decomposition products

Hydrogen chloride. Thermal decomposition generates : Corrosive vapors.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity (oral) : Not classified

Acute toxicity (dermal) : Not classified

Acute toxicity (inhalation) : Not classified

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
LD50 oral rat	700 mg/kg
LD50 dermal rabbit	5010 mg/kg
ATE US (oral)	700 mg/kg body weight
ATE US (dermal)	5010 mg/kg body weight

Water (7732-18-5)	
LD50 oral rat	≥ 90000 mg/kg
ATE US (oral)	90000 mg/kg body weight

Skin corrosion/irritation : Causes severe skin burns and eye damage.

Serious eye damage/irritation : Causes serious eye damage.

Respiratory or skin sensitization : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified

Reproductive toxicity : Not classified

STOT-single exposure : Not classified

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
IARC group	3 - Not classifiable

STOT-repeated exposure : Not classified

Aspiration hazard : Not classified

Viscosity, kinematic : No data available

Likely routes of exposure : Skin and eye contact.

Potential Adverse human health effects and : Based on available data, the classification criteria are not met. symptoms

Symptoms/effects : Causes severe skin burns and eye damage.

Symptoms/effects after inhalation : Possible inflammation of the respiratory tract.

Symptoms/effects after skin contact : Caustic burns/corrosion of the skin.

Symptoms/effects after eye contact : Causes serious eye damage.

Symptoms/effects after ingestion : Nausea. Vomiting.

Chronic symptoms : Affection/discolouration of the teeth.

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
LC50 fish 1	282 mg/l (96 h, Gambusia affinis, Pure substance)
EC50 Daphnia 1	< 56 mg/l (72 h, Daphnia magna, Pure substance)

12.2. Persistence and degradability

Hydrochloric Acid, 2.0N (2.0M)	
Persistence and degradability	Not established.

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
Persistence and degradability	Biodegradability: not applicable.
Chemical oxygen demand (COD)	Not applicable

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
ThOD	Not applicable
BOD (% of ThOD)	Not applicable

Water (7732-18-5)	
Persistence and degradability	Not established.

12.3. Bioaccumulative potential

Hydrochloric Acid, 2.0N (2.0M)	
Bioaccumulative potential	Not established.

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
Log Pow	0.25 (QSAR)
Bioaccumulative potential	Low potential for bioaccumulation (Log Kow < 4).

Water (7732-18-5)	
Bioaccumulative potential	Not established.

12.4. Mobility in soil

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
Ecology - soil	No (test)data on mobility of the components available. May be harmful to plant growth, blooming and fruit formation.

12.5. Other adverse effects

Other information : Avoid release to the environment.

Waste disposal recommendations : Dispose in a safe manner in accordance with local/national regulations.

Ecology - waste materials : Avoid release to the environment.

SECTION 14: Transport information

Department of Transportation

(DOT) In accordance with DOT

Transport document description	: UN1789 Hydrochloric acid, 8, II
UN-No.(DOT)	: UN1789
Proper Shipping Name (DOT)	: Hydrochloric acid
Transport hazard class(es) (DOT)	: 8 - Class 8 - Corrosive material 49 CFR 173.136
Packing group (DOT)	: II - Medium Danger
Hazard labels (DOT)	: 8 - Corrosive

SECTION 13: Disposal considerations

13.1.

Disposal methods

DOT Packaging Non Bulk (49 CFR 173.xxx) : 202

DOT Packaging Bulk (49 CFR 173.xxx) : 242

DOT Special Provisions (49 CFR 172.102) : A3 - For combination packaging, if glass inner packaging (including ampoules) are used, they must be packed with absorbent material in tightly closed metal receptacles before packing in outer packaging.
A6 - For combination packaging, if plastic inner packaging are used, they must be packed in tightly closed metal receptacles before packing in outer packaging.
B3 - MC 300, MC 301, MC 302, MC 303, MC 305, and MC 306 and DOT 406 cargo tanks and DOT 57 portable tanks are not authorized.
B15 - Packaging must be protected with non-metallic linings impervious to the lading or have a suitable corrosion allowance.
IB2 - Authorized IBCs: Metal (31A, 31B and 31N); Rigid plastics (31H1 and 31H2); Composite (31HZ1). Additional Requirement: Only liquids with a vapor pressure less than or equal to 110 kPa at 50 C (1.1 bar at 122 F), or 130 kPa at 55 C (1.3 bar at 131 F) are authorized. N41 - Metal construction materials are not authorized for any part of a packaging which is normally in contact with the hazardous material.
T8 - 4 178.274(d)(2) Normal..... Prohibited
TP2 - a. The maximum degree of filling must not exceed the degree of filling determined by the following: (image) Where: tr is the maximum mean bulk temperature during transport, tf is the temperature in degrees celsius of the liquid during filling, and a is the mean coefficient of cubical expansion of the liquid between the mean temperature of the liquid during filling (tf) and the maximum mean bulk temperature during transportation (tr) both in degrees celsius. b. For liquids transported under ambient conditions may be calculated using the formula: (image) Where: d15 and d50 are the densities (in units of mass per unit volume) of the liquid at 15 C (59 F) and 50 C (122 F), respectively.
TP12 - This material is considered highly corrosive to steel.

DOT Packaging Exceptions (49 CFR 173.xxx) : 154

DOT Quantity Limitations Passenger aircraft/rail (49 CFR 173.27) : 1 L

DOT Quantity Limitations Cargo aircraft only (49 CFR 175.75) : 30 L

DOT Vessel Stowage Location : C - The material must be stowed ‘‘on deck only’’ on a cargo vessel and on a passenger vessel.

Other information : No supplementary information available.

Transport by sea

Transport document description (IMDG) : UN 1789 HYDROCHLORIC ACID, 8, II
UN-No. (IMDG) : 1789
Proper Shipping Name (IMDG) : HYDROCHLORIC ACID
Class (IMDG) : 8 - Corrosive substances
Packing group (IMDG) : II - substances presenting medium danger

Air transport

Transport document description (IATA) : UN 1789 Hydrochloric acid, 8, II
UN-No. (IATA) : 1789
Proper Shipping Name (IATA) : Hydrochloric acid
Class (IATA) : 8 - Corrosives
Packing group (IATA) : II - Medium Danger

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Hydrochloric Acid, 2.0N (2.0M)	
SARA Section 311/312 Hazard Classes	Health hazard - Serious eye damage or eye irritation Health hazard - Skin corrosion or Irritation

All components of this product are listed, or excluded from listing, on the United States Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory

Chemical(s) subject to the reporting requirements of Section 313 or Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) of 1986 and 40 CFR Part 372.

Hydrochloric Acid, 37% w/w	CAS-No. 7647-01-0	7.06%

Hydrochloric Acid, 37% w/w (7647-01-0)	
EPA TSCA Regulatory Flag	T - T - indicates a substance that is the subject of a final TSCA section 4 test rule.
RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists)	5000 lb
RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists)	5000 lb
SARA Section 302 Threshold Planning Quantity (TPQ)	500 lb
SARA Section 311/312 Hazard Classes	Health hazard - Acute toxicity (any route of exposure) Health hazard - Skin corrosion or Irritation Health hazard - Serious eye damage or eye irritation Health hazard - Specific target organ toxicity (single or repeated exposure)

15.2. International regulations

CANADA

No additional information available

Water (7732-18-5)
Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List)

EU-Regulations

No additional information available

National regulations

No additional information available

15.3. US State regulations

California Proposition 65 - This product does not contain any substances known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

SECTION 16: Other information

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Revision date : 11/20/2019 Other information : None.

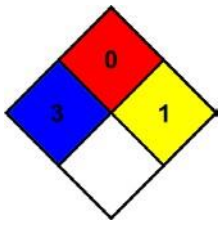
Full text of H-phrases: see section 16:

H302	Harmful if swallowed
H314	Causes severe skin burns and eye damage
H318	Causes serious eye damage
H335	May cause respiratory irritation

NFPA health hazard : 3 - Materials that, under emergency conditions, can cause serious or permanent injury.

NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn under typical fire conditions, including intrinsically noncombustible materials such as concrete, stone, and sand.

NFPA reactivity : 1 - Materials that in themselves are normally stable but can become unstable at elevated temperatures and pressures.



Hazard Rating

Health : 3 Serious Hazard - Major injury likely unless prompt action is taken and medical treatment is given

Flammability : 0 Minimal Hazard - Materials that will not burn

Physical : 1 Slight Hazard - Materials that are normally stable but can become unstable (self-react) at high temperatures and pressures. Materials may react non-violently with water or undergo hazardous polymerization in the absence of inhibitors.

Personal protection : C

C - Safety glasses, Gloves, Synthetic apron

SDS US LabChem

Information in this SDS is from available published sources and is believed to be accurate. No warranty, express or implied, is made and LabChem Inc assumes no liability resulting from the use of this SDS. The user must determine suitability of this information for his application.

Sodium Hypochlorite

Safety Data Sheet

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Product form	: Mixture
Product name	: Sodium Hypochlorite, 5% w/v
CAS No	: 7681-52-9
Product code	: LC24630
Formula	: NaOCl

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture : For laboratory and manufacturing use only.

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

LabChem Inc
Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court
Zelienople, PA 16063 - USA T 412-826-
5230 - F 724-473-0647
info@labchem.com - www.labchem.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : CHEMTREC: 1-800-424-9300 or 011-703-527-3887

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification

Skin Irrit. 2	H315
Eye Dam. 1	H318
Aquatic Acute 2	H401

2.2. Label elements

GHS-US labelling

Hazard pictograms (GHS-US) :

GHS05

Signal word (GHS-US) : Danger

Hazard statements (GHS-US) : H315 - Causes skin irritation
H318 - Causes serious eye damage
H401 - Toxic to aquatic life

Precautionary statements (GHS-US) : P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling
P273 - Avoid release to the environment
P280 - Wear protective gloves, protective clothing, eye protection, face protection
P302+P352 - IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water
P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing
P310 - Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician
P332+P313 - If skin irritation occurs: Get medical advice/attention
P362 - Take off contaminated clothing
P501 - Dispose of contents/container to comply with local, state and federal regulations

2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification : None.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS-US)

No data available

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substance

Not applicable

Full text of H-phrases: see section 16

3.2. Mixture

Name	Product identifier	%	GHS-US classification
Water	(CAS No) 7732-18-5	95	Not classified
Sodium Hypochlorite	(CAS No) 7681-52-9	5	Unst. Expl, H200 Ox. Sol. 2, H272 Skin Corr. 1B, H314 STOT SE 3, H335 Aquatic Acute 1, H400

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures general : Never give anything by mouth to an unconscious person. If you feel unwell, seek medical advice (show the label where possible).

First-aid measures after inhalation : Assure fresh air breathing. Allow the victim to rest.

First-aid measures after skin contact : Wash with plenty of soap and water. Wash contaminated clothing before reuse. If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

First-aid measures after eye contact : Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician.

First-aid measures after ingestion : Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. Obtain emergency medical attention.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Symptoms/injuries after skin contact : Causes skin irritation.

Symptoms/injuries after eye contact : Causes serious eye damage.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No additional information available

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Foam. Dry powder. Carbon dioxide. Water spray. Sand.

Unsuitable extinguishing media : Do not use a heavy water stream.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

No additional information available

5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions : Use water spray or fog for cooling exposed containers. Exercise caution when fighting any chemical fire. Avoid (reject) fire-fighting water to enter environment.

Protection during firefighting : Do not enter fire area without proper protective equipment, including respiratory protection.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

6.1.1. For non-emergency personnel

Protective equipment : Safety glasses. Protective clothing. Gloves.

Emergency procedures : Evacuate unnecessary personnel.

6.1.2. For emergency responders

Protective equipment : Equip cleanup crew with proper protection.

Emergency procedures : Ventilate area.

6.2. Environmental precautions

Prevent entry to sewers and public waters. Notify authorities if liquid enters sewers or public waters. Avoid release to the environment.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Methods for cleaning up : Soak up spills with inert solids, such as clay or diatomaceous earth as soon as possible. Collect spillage. Store away from other materials.

6.4. Reference to other sections

See Heading 8. Exposure controls and personal protection.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Provide good ventilation in process area to prevent formation of vapour.

Hygiene measures : Wash exposed skin thoroughly after handling.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions : Keep only in the original container in a cool, well ventilated place away from : incompatible materials. Keep container closed when not in use.

Incompatible products : Strong reducing agents. combustible materials. aluminium. metals. Ammonia. Strong acids.

Incompatible products : Sources of ignition. Direct sunlight.

7.3. Specific end use(s)

No additional information available

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

8.2. Exposure controls

Appropriate engineering controls	: Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Provide adequate general and local exhaust ventilation.
Personal protective equipment	: Avoid all unnecessary exposure.
Hand protection	: Wear protective gloves.
Eye protection	: Chemical goggles or safety glasses.
Skin and body protection	: Wear suitable protective clothing.
Respiratory protection	: Wear appropriate mask.
Other information	: Do not eat, drink or smoke during use.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state	: Liquid
Appearance	: Yellow liquid.
Colour	: Yellow.
Odour	: chlorine-like.
Odour threshold	: 0.3 ppm
pH	: 11.3
Relative evaporation rate (butylacetate=1)	: No data available
Melting point	: No data available
Freezing point	: No data available
Boiling point	: No data available
Flash point	: No data available
Self ignition temperature	: No data available
Decomposition temperature	: No data available
Flammability (solid, gas)	: No data available
Vapour pressure	: 12 mm Hg
Relative vapour density at 20 °C	: No data available
Relative density	: No data available
Solubility	: Soluble in water.
Log Pow	: No data available
Log Kow	: No data available
Viscosity, kinematic	: No data available
Viscosity, dynamic	: No data available
Explosive properties	: No data available
Oxidising properties	: No data available
Explosive limits	: No data available

9.2. Other information

VOC content : 0 %

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

No additional information available

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Reacts violently with acids. May react violently with reducing agents. Contact with acids liberates toxic gas.

10.4. Conditions to avoid

Incompatible materials. Direct sunlight. Extremely high or low temperatures.

10.5. Incompatible materials

Strong reducing agents. Water. zinc. metals. aluminium. Ammonia. Strong acids.

10.6. Hazardous decomposition products

Hydrogen chloride. Chlorine. Phosgene.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity : Not classified

Water (7732-18-5)	
LD50 oral rat	≥ 90000 mg/kg

Skin corrosion/irritation : Causes skin irritation.
pH: 11.3

Serious eye damage/irritation : Causes serious eye damage.
pH: 11.3

Respiratory or skin sensitisation : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified

Sodium Hypochlorite (7681-52-9)	
IARC group	3 - Not classifiable

Reproductive toxicity : Not classified

Specific target organ toxicity (single exposure) : Not classified

Specific target organ toxicity (repeated exposure) : Not classified

Aspiration hazard : Not classified

Potential Adverse human health effects and symptoms : Based on available data, the classification criteria are not met.

Symptoms/injuries after skin contact : Causes skin irritation.

Symptoms/injuries after eye contact : Causes serious eye damage.

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - water : Toxic to aquatic life.

Sodium Hypochlorite, 5% w/v (7681-52-9)	
LC50 fishes 1	4.7 mg/l

Sodium Hypochlorite (7681-52-9)	
LC50 fishes 1	0.026 mg/l (96 h; Oncorhynchus kisutch; Chlorine)
EC50 Daphnia 1	2.1 mg/l (96 h; Daphnia magna)
EC50 other aquatic organisms 1	0.2 mg/l (24 h; Skeletonema costatum; Biomass)
LC50 fish 2	0.19 mg/l (96 h; Pimephales promelas)
Threshold limit algae 1	0.84 mg/l (24 h; Chlorophyta; Biomass)

12.2. Persistence and degradability

Sodium Hypochlorite, 5% w/v (7681-52-9)	
Persistence and degradability	Not established.

Sodium Hypochlorite (7681-52-9)	
Persistence and degradability	Biodegradability: not applicable.
Biochemical oxygen demand (BOD)	Not applicable
Chemical oxygen demand (COD)	Not applicable
ThOD	Not applicable
BOD (% of ThOD)	Not applicable

Water (7732-18-5)	
Persistence and degradability	Not established.

12.3. Bioaccumulative potential

Sodium Hypochlorite, 5% w/v (7681-52-9)	
Bioaccumulative potential	Not established.

Sodium Hypochlorite (7681-52-9)	
Bioaccumulative potential	Not bioaccumulative.

Water (7732-18-5)	
Bioaccumulative potential	Not established.

12.4. Mobility in soil

No additional information available

12.5. Other adverse effects

Other information : Avoid release to the environment.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Waste disposal recommendations : Dispose in a safe manner in accordance with local/national regulations. Dispose of contents/container to comply with local, state and federal regulations.

Ecology - waste materials : Avoid release to the environment.

SECTION 14: Transport information

In accordance with DOT

No dangerous good in sense of transport regulations

Additional information

Other information : No supplementary information available.

ADR

Transport document description :

Transport by sea

No additional information available

Air transport

No additional information availabl

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Sodium Hypochlorite, 5% w/v (7681-52-9)	
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory	
RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists) :	100 lb

Sodium Hypochlorite (7681-52-9)	
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory	
RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists) :	100 lb

Water (7732-18-5)
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory

15.2. International regulations

CANADA

Sodium Hypochlorite, 5% w/v (7681-52-9)	
WHMIS Classification	Class E - Corrosive Material

Water (7732-18-5)	
WHMIS Classification	Uncontrolled product according to WHMIS classification criteria

EU-Regulations

No additional information available

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC

C; R34
R31
N; R50

Full text of R-phrases: see section 16

15.2.2. National regulations

No additional information available

15.3. US State regulations

No additional information available

SECTION 16: Other information

Other information : None.

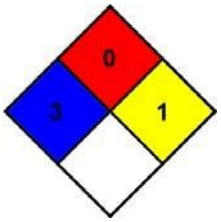
Full text of H-phrases: see section 16:

Aquatic Acute 1	Hazardous to the aquatic environment — AcuteHazard, Category 1
Aquatic Acute 2	Hazardous to the aquatic environment — AcuteHazard, Category 2
Eye Dam. 1	Serious eye damage/eye irritation, Category 1
Ox. Sol. 2	Oxidising Solids, Category 2
Skin Corr. 1B	Skin corrosion/irritation, Category 1B
Skin Irrit. 2	Skin corrosion/irritation, Category 2
STOT SE 3	Specific target organ toxicity — Single exposure, Category 3, Respiratory tract irritation
Unst. Expl	Explosives, Unstable explosives
H200	Unstable explosives
H272	May intensify fire; oxidiser
H314	Causes severe skin burns and eye damage
H315	Causes skin irritation
H318	Causes serious eye damage
H335	May cause respiratory irritation
H400	Very toxic to aquatic life
H401	Toxic to aquatic life

NFPA health hazard : 3 - Short exposure could cause serious temporary or residual injury even though prompt medical attention was given.

NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn.

NFPA reactivity : 1 - Normally stable, but can become unstable at elevated temperatures and pressures or may react with water with some release of energy, but not violently.



HMIS III Rating

Health : 3 Serious Hazard - Major injury likely unless prompt action is taken and medical treatment is given

Flammability : 0 Minimal Hazard

Physical : 1 Slight Hazard

Personal Protection : H

SDS US (GHS HazCom 2012)

Information in this SDS is from available published sources and is believed to be accurate. No warranty, express or implied, is made and LabChem Inc assumes no liability resulting from the use of this SDS. The user must determine suitability of this information for his application.

Sodium Hydroxide

Safety Data Sheet

:

SECTION 1: Identification

1.1. Identification

Product form : Substance

Substance name : Sodium Hydroxide

CAS-No. : 1310-73-2

Product code : LC23900

Formula : NaOH

Synonyms : anhydrous caustic soda / caustic alkali / caustic flake / caustic soda, solid / caustic white / caustic, flaked / hydrate of soda / hydroxide of soda / LEWIS red devil lye / soda lye / sodium hydrate / sodium hydroxide, pellets

1.2. Recommended use and restrictions on use

Use of the substance/mixture : Industrial use

Recommended use : Laboratory chemicals

Restrictions on use : Not for food, drug or household use

1.3. Supplier

LabChem Inc
Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court
Zelienople, PA 16063 - USA T 412-826-5230 - F 724-473-0647
info@labchem.com - www.labchem.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : CHEMTREC: 1-800-424-9300 or 011-703-527-3887

SECTION 2: Hazard(s) identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification		
Skin corrosion/irritation, Category 1A Serious eye damage/eye irritation, Category 1 Hazardous to the aquatic environment — Acute Hazard, Category 3	H314	Causes severe skin burns and eye damage.
	H318	Causes serious eye damage.
	H402	Harmful to aquatic life

Full text of H statements : see section 16

2.2. GHS Label elements, including precautionary statements

GHS-US labelling

Hazard pictograms (GHS-US) :

GHS05

Signal word (GHS-US) : Danger

Hazard statements (GHS-US) : H314 - Causes severe skin burns and eye damage.
H402 - Harmful to aquatic life

Precautionary statements (GHS-US) : P260 - Do not breathe dust, vapours.
P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling.
P273 - Avoid release to the environment.
P280 - Wear eye protection, face protection, protective clothing, protective gloves.
P301+P330+P331 - IF SWALLOWED: rinse mouth. Do NOT induce vomiting.
P303+P361+P353 - IF ON SKIN (or hair): Take off immediately all contaminated clothing.
Rinse skin with water/shower.
P304+P340 - IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. P305+P351+P338 - IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
P310 - Immediately call a POISON CENTER/doctor

P363 - Wash contaminated clothing before reuse.

P405 - Store locked up.

P501 - Dispose of contents/container to Comply with applicable regulations

2.3. Other hazards which do not result in classification

Other hazards not contributing to the classification : None under normal conditions.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

Not applicable

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Substance type : Mono-constituent

Name	Product identifier	%	GHS-US classification
Sodium Hydroxide (Main constituent)	(CAS-No.) 1310-73-2	100	Skin Corr. 1A, H314 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 3, H402

Full text of hazard classes and H-statements : see section 16

3.2. Mixtures

Not applicable

SECTION 4: First-aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures general : Check the vital functions. Unconscious: maintain adequate airway and respiration. Respiratory arrest: artificial respiration or oxygen. Cardiac arrest: perform resuscitation. Victim conscious with laboured breathing: half-seated. Victim in shock: on his back with legs slightly raised. Vomiting: prevent asphyxia/aspiration pneumonia. Prevent cooling by covering the victim (no warming up). Keep watching the victim. Give psychological aid. Keep the victim calm, avoid physical strain. Depending on the victim's condition: doctor/hospital.

First-aid measures after inhalation : Remove the victim into fresh air. Respiratory problems: consult a doctor/medical service.

First-aid measures after skin contact : Wipe off dry product from skin. Remove clothing before washing. Wash immediately with lots of water (15 minutes)/shower. Do not apply (chemical) neutralizing agents. Do not remove clothing if it sticks to the skin. Cover wounds with sterile bandage. Consult a doctor/medical service. If burned surface > 10%: take victim to hospital.

First-aid measures after eye contact : Rinse immediately with plenty of water for 15 minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Do not apply neutralizing agents. Take victim to an ophthalmologist.

First-aid measures after ingestion : Rinse mouth with water. Immediately after ingestion: give lots of water to drink. Do not induce vomiting. Do not give activated charcoal. Do not give chemical antidote. Immediately consult a doctor/medical service. Call Poison Information Centre (www.big.be/antigif.htm). Ingestion of large quantities: immediately to hospital. Take the container/vomit to the doctor/hospital.

4.2. Most important symptoms and effects (acute and delayed)

Symptoms/effects after inhalation : WHEN PROCESSED: Dry/sore throat. Coughing. Irritation of the respiratory tract. Irritation of the nasal mucous membranes. ON CONTINUOUS EXPOSURE/CONTACT: Respiratory difficulties. FOLLOWING SYMPTOMS MAY APPEAR LATER: Possible oedema of the upper respiratory tract. Possible laryngeal spasm/oedema. Risk of lung oedema.

Symptoms/effects after skin contact : Blisters. Caustic burns/corrosion of the skin. Slow-healing wounds.

Symptoms/effects after eye contact : Corrosion of the eye tissue. Permanent eye damage.

Symptoms/effects after ingestion : Dry/sore throat. Nausea. Abdominal pain. Blood in vomit. Difficulty in swallowing. Possible esophageal perforation. Burns to the gastric/intestinal mucosa. Bleeding of the gastrointestinal tract. Shock.

Chronic symptoms : ON CONTINUOUS/REPEATED EXPOSURE/CONTACT: Dry skin. Skin rash/inflammation. Possible inflammation of the respiratory tract. Gastrointestinal complaints.

4.3. Immediate medical attention and special treatment, if necessary

Obtain medical assistance.

SECTION 5: Fire-fighting measures

5.1. Suitable (and unsuitable) extinguishing media

Suitable extinguishing media : Adapt extinguishing media to the environment for surrounding fires.

5.2. Specific hazards arising from the chemical

Fire hazard : DIRECT FIRE HAZARD: Non combustible. INDIRECT FIRE HAZARD: Reactions involving a fire hazard: see "Reactivity Hazard".

Explosion hazard : INDIRECT EXPLOSION HAZARD: Reactions with explosion hazards: see "Reactivity Hazard".

Reactivity : May be corrosive to metals. Absorbs the atmospheric CO_2. Violent to explosive reaction with (some) acids. Reacts violently with many compounds: heat release resulting in increased fire or explosion risk. Violent exothermic reaction with water (moisture): release of corrosive mist. Reacts exothermically on exposure to water (moisture) with combustible materials: risk of spontaneous ignition.

5.3. Special protective equipment and precautions for fire-fighters

Precautionary measures fire : Exposure to fire/heat: keep upwind. Exposure to fire/heat: consider evacuation. Exposure to fire/heat: have neighbourhood close doors and windows.

Firefighting instructions : Cool tanks/drums with water spray/remove them into safety. When cooling/extinguishing: no water in the substance. Take account of toxic fire-fighting water. Use water moderately and if possible collect or contain it.

Protection during firefighting : Heat/fire exposure: compressed air/oxygen apparatus.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures : Absorb spillage to prevent material damage. Dike and contain spill.

6.1.1. For non-emergency personnel

Protective equipment : Gloves. Face-shield. Corrosion-proof suit. Dust cloud production: compressed air/oxygen apparatus. Contact with moisture/water: compressed air/oxygen apparatus. Contact with moisture/water: gas-tight suit.

Emergency procedures : Mark the danger area. Prevent dust cloud formation. Corrosion-proof appliances. Keep containers closed. Avoid ingress of water in the containers. Wash contaminated clothes. On contact with moisture/water: keep upwind. On contact with moisture/water: consider evacuation. In case of hazardous reactions: keep upwind. In case of reactivity hazard: consider evacuation.

Measures in case of dust release : In case of dust production: keep upwind. Dust production: have neighbourhood close doors and windows.

6.1.2. For emergency responders

Protective equipment : Equip cleanup crew with proper protection. Do not breathe dust.

Emergency procedures : Stop release.

6.2. Environmental precautions

Prevent soil and water pollution. Prevent spreading in sewers.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

For containment : Contain released product, pump into suitable containers. Plug the leak, cut off the supply. Dam up the solid spill. Hazardous reaction: measure explosive gas-air mixture. Reaction: dilute combustible gas/vapour with water curtain.

Methods for cleaning up : Collect the spill only if it is in a dry state. Wetted substance: cover with powdered limestone or dry sand, earth, vermiculite. Scoop solid spill into closing containers. Under controlled conditions: neutralize leftovers with dilute acid solution. Possible violent reaction if you neutralize. Carefully collect the spill/leftovers. Clean contaminated surfaces with an excess of water. Take collected spill to manufacturer/competent authority. Wash clothing and equipment after handling.

6.4 Reference to other sections

No additional information available

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Avoid raising dust. Avoid contact of substance with water. Measure the concentration in the air regularly. Carry operations in the open/under local exhaust/ventilation or with respiratory protection. Comply with the legal requirements. Remove contaminated clothing immediately. Clean contaminated clothing. Keep the substance free from contamination. Use corrosionproof equipment. Thoroughly clean/dry the installation before use. Do not discharge the waste into the drain.

Hygiene measures : Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Wash contaminated clothing before reuse. Separate working clothes from town clothes. Launder separately.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Incompatible products : combustible materials. metals. Strong acids. Strong oxidizers. Protect from moisture.

Incompatible materials : incompatible materials. Moisture. Heat sources.

Storage temperature : 20 °C

Heat and ignition sources : KEEP SUBSTANCE AWAY FROM: heat sources.

Prohibitions on mixed storage : KEEP SUBSTANCE AWAY FROM: combustible materials. oxidizing agents. (strong) acids. metals. organic materials. water/moisture.

Storage area : Store in a dry area. Keep container in a well-ventilated place. Keep locked up. Unauthorized persons are not admitted. Store at ambient temperature. Keep only in the original container. Meet the legal requirements.

Special rules on packaging : SPECIAL REQUIREMENTS: hermetical. watertight. corrosion-proof. dry. clean. correctly labelled. meet the legal requirements. Secure fragile packagings in solid containers.

Packaging materials : SUITABLE MATERIAL: stainless steel. nickel. polyethylene. paper. MATERIAL TO AVOID: lead. aluminium. copper. tin. zinc. bronze. textile.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Sodium Hydroxide (1310-73-2)		
ACGIH	ACGIH Ceiling (mg/m³)	2 mg/m³
OSHA	OSHA PEL (TWA) (mg/m³)	2 mg/m³
IDLH	US IDLH (mg/m³)	10 mg/m³
NIOSH	NIOSH REL (ceiling) (mg/m³)	2 mg/m³

8.2. Appropriate engineering controls

Appropriate engineering controls : Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Provide adequate general and local exhaust ventilation.

8.3. Individual protection measures/Personal protective equipment

Personal protective equipment:

Safety glasses. Protective clothing. Gloves. Dust/aerosol mask with filter type P3.

Materials for protective clothing:

GIVE GOOD RESISTANCE: natural rubber. neoprene. nitrile rubber. GIVE LESS RESISTANCE: butyl rubber. polyethylene. PVA. GIVE POOR RESISTANCE: natural fibres **Hand protection:**

Gloves

Eye protection:

Face shield. In case of dust production: protective goggles

Skin and body protection:

Corrosion-proof clothing. In case of dust production: head/neck protection

Respiratory protection:

Dust production: dust mask with filter type P3. High dust production: self-contained breathing apparatus

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state	: Solid
Appearance	: Crystalline solid. Crystalline powder. Little spheres. Lumps. Needles. Scales. Flakes.
Colour	: White
Odour	: Odourless
Odour threshold	: No data available
pH	: 14 (5 %)
Melting point	: 323 °C
Freezing point	: No data available
Boiling point	: 1388 °C (1013.25 hPa)
Flash point	: Not applicable
Relative evaporation rate (butylacetate=1)	: No data available
Flammability (solid, gas)	: No data available
Vapour pressure	: < 0.1 hPa (20 °C)
Relative vapour density at 20 °C	: No data available
Relative density	: 2.13 (20 °C)
Density	: 2130 kg/m³
Molecular mass	: 40 g/mol
Solubility	: Exothermically soluble in water. Soluble in ethanol. Soluble in methanol. Soluble in glycerol. Water: 100 g/100ml (25 °C) Ethanol: soluble

Log Pow	: No data available
Auto-ignition temperature	: Not applicable
Decomposition temperature	: No data available
Viscosity, kinematic	: 0.53 mm²/s (25 °C, 1 mol/l)
Viscosity, dynamic	: 0.997 mPa.s (25 °C, Test data)
Explosive limits	: No data available
Explosive properties	: Not applicable.
Oxidising properties	: None.

9.2 Other information

Minimum ignition energy	: Not applicable
Saturation concentration	: 671 g/m³
VOC content	: Not applicable (inorganic)
Other properties	: Translucent. Hygroscopic. Substance has basic reaction.

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

May be corrosive to metals. Absorbs the atmospheric CO2. Violent to explosive reaction with (some) acids. Reacts violently with many compounds: heat release resulting in increased fire or explosion risk. Violent exothermic reaction with water (moisture): release of corrosive mist. Reacts exothermically on exposure to water (moisture) with combustible materials: risk of spontaneous ignition.

10.2. Chemical stability

Hygroscopic. Unstable on exposure to air.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Reacts violently with acids. Reacts violently with water.

10.4 Conditions to avoid

Moisture. Incompatible materials.

10.5. Incompatible materials

Water. Strong oxidizers. Strong acids. metals. combustible materials.

10.6. Hazardous decomposition products

Sodium oxide.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Likely routes of exposure : Skin and eyes contact

Acute toxicity : Not classified

Skin corrosion/irritation : Causes severe skin burns and eye damage.
pH: 14 (5 %)

Serious eye damage/irritation : Causes serious eye damage.
pH: 14 (5 %)

Respiratory or skin sensitisation : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified
(Based on available data, the classification criteria are not met)

Reproductive toxicity : Not classified

Specific target organ toxicity (single exposure) : Not classified

Specific target organ toxicity (repeated exposure) : Not classified

Aspiration hazard : Not classified

Potential adverse human health effects and symptoms : Causes severe skin burns. Causes serious eye damage.

Symptoms/effects after inhalation : WHEN PROCESSED: Dry/sore throat. Coughing. Irritation of the respiratory tract. Irritation of the nasal mucous membranes. ON CONTINUOUS EXPOSURE/CONTACT: Respiratory difficulties. FOLLOWING SYMPTOMS MAY APPEAR LATER: Possible oedema of the upper respiratory tract. Possible laryngeal spasm/oedema. Risk of lung oedema.

Symptoms/effects after skin contact : Blisters. Caustic burns/corrosion of the skin. Slow-healing wounds.

Symptoms/effects after eye contact : Corrosion of the eye tissue. Permanent eye damage.

Symptoms/effects after ingestion : Dry/sore throat. Nausea. Abdominal pain. Blood in vomit. Difficulty in swallowing. Possible esophageal perforation. Burns to the gastric/intestinal mucosa. Bleeding of the gastrointestinal tract. Shock.

Chronic symptoms : ON CONTINUOUS/REPEATED EXPOSURE/CONTACT: Dry skin. Skin rash/inflammation. Possible inflammation of the respiratory tract. Gastrointestinal complaints.

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : Not classified as dangerous for the environment according to the criteria of Regulation (EC) No 1272/2008.

Ecology - air : Not included in the list of fluorinated greenhouse gases (Regulation (EU) No 517/2014). Not classified as dangerous for the ozone layer (Regulation (EC) No 1005/2009).

Ecology - water : Harmful to crustacea. Harmful to fishes. Groundwater pollutant. pH shift.

Sodium Hydroxide (1310-73-2)	
LC50 fish 1	45.4 mg/l (Other, 96 h, Salmo gairdneri, Static system, Fresh water, Experimental value)
EC50 Daphnia 1	40.4 mg/l (Other, 48 h, Ceriodaphnia sp., Experimental value)

12.2. Persistence and degradability

Sodium Hydroxide (1310-73-2)	
Persistence and degradability	Biodegradability: not applicable.
Biochemical oxygen demand (BOD)	Not applicable (inorganic)
Chemical oxygen demand (COD)	Not applicable (inorganic)
ThOD	Not applicable (inorganic)

12.3. Bioaccumulative potential

Sodium Hydroxide (1310-73-2)	
Bioaccumulative potential	Not bioaccumulative.

12.4. Mobility in soil

Sodium Hydroxide (1310-73-2)	
Ecology - soil	No (test)data on mobility of the substance available.

12.5. Other adverse effects

No additional information available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Disposal methods

Waste disposal recommendations : Do not discharge into drains or the environment. Remove waste in accordance with local and/or national regulations. Hazardous waste shall not be mixed together with other waste. Different types of hazardous waste shall not be mixed together if this may entail a risk of pollution or create problems for the further management of the waste. Hazardous waste shall be managed responsibly. All entities that store, transport or handle hazardous waste shall take the necessary measures to prevent risks of pollution or damage to people or animals. Should not be landfilled with household waste. Recycle/reuse. Dilute. Neutralize.

Additional information : Hazardous waste according to Directive 2008/98/EC, as amended by Regulation (EU) No 1357/2014 and Regulation (EU) No 2017/997.

SECTION 14: Transport information

Department of Transportation (DOT)

In accordance with DOT

Transport document description : UN1823 Sodium hydroxide, solid, 8, II

UN-No.(DOT) : UN1823

Proper Shipping Name (DOT) : Sodium hydroxide, solid

Transport hazard class(es) (DOT) : 8 - Class 8 - Corrosive material 49 CFR 173.136

Packing group (DOT) : II - Medium Danger

Hazard labels (DOT) : 8 - Corrosive

DOT Packaging Non Bulk (49 CFR 173.xxx) : 212

DOT Packaging Bulk (49 CFR 173.xxx) : 240

DOT Special Provisions (49 CFR 172.102)	: IB8 - Authorized IBCs: Metal (11A, 11B, 11N, 21A, 21B, 21N, 31A, 31B and 31N); Rigid plastics (11H1, 11H2, 21H1, 21H2, 31H1 and 31H2); Composite (11HZ1, 11HZ2, 21HZ1, 21HZ2, 31HZ1 and 31HZ2); Fiberboard (11G); Wooden (11C, 11D and 11F); Flexible (13H1, 13H2, 13H3, 13H4, 13H5, 13L1, 13L2, 13L3, 13L4, 13M1 or 13M2). IP2 - When IBCs other than metal or rigid plastics IBCs are used, they must be offered for transportation in a closed freight container or a closed transport vehicle. IP4 - Flexible, fiberboard or wooden IBCs must be sift-proof and water-resistant or be fitted with a sift-proof and water-resistant liner. T3 - 2.65 178.274(d)(2) Normal..... 178.275(d)(2) TP33 - The portable tank instruction assigned for this substance applies for granular and powdered solids and for solids which are filled and discharged at temperatures above their melting point which are cooled and transported as a solid mass. Solid substances transported or offered for transport above their melting point are authorized for transportation in portable tanks conforming to the provisions of portable tank instruction T4 for solid substances of packing group III or T7 for solid substances of packing group II, unless a tank with more stringent requirements for minimum shell thickness, maximum allowable working pressure, pressure-relief devices or bottom outlets are assigned in which case the more stringent tank instruction and special provisions shall apply. Filling limits must be in accordance with portable tank special provision TP3. Solids meeting the definition of an elevated temperature material must be transported in accordance with the applicable requirements of this subchapter.
DOT Packaging Exceptions (49 CFR 173.xxx)	: 154
DOT Quantity Limitations Passenger aircraft/rail (49 CFR 173.27)	: 15 kg
DOT Quantity Limitations Cargo aircraft only (49 CFR 175.75)	: 50 kg
DOT Vessel Stowage Location	: A - The material may be stowed ‘‘on deck’’ or ‘‘under deck’’ on a cargo vessel and on a passenger vessel.
DOT Vessel Stowage Other	: 52 - Stow ‘‘separated from’’ acids
Other information	: No supplementary information available.

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Sodium Hydroxide (1310-73-2)	
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory Not subject to reporting requirements of the United States SARA Section 313	
RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists)	1000 lb
SARA Section 311/312 Hazard Classes	Immediate (acute) health hazard

All components of this product are listed, or excluded from listing, on the United States Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory

15.2. International regulations

CANADA

Sodium Hydroxide (1310-73-2)
Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List)

EU-Regulations

No additional information available

National regulations

No additional information available

15.3. US State regulations

California Proposition 65 - This product does not contain any substances known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

SECTION 16: Other information

Revision date : 02/21/2018

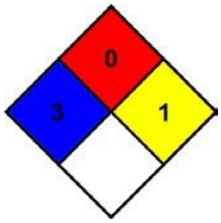
Full text of H-statements: see section 16:

H314	Causes severe skin burns and eye damage.
H318	Causes serious eye damage.
H402	Harmful to aquatic life

NFPA health hazard : 3 - Materials that, under emergency conditions, can cause serious or permanent injury.

NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn under typical dire conditions, including intrinsically noncombustible materials such as concrete, stone, and sand.

NFPA reactivity : 1 - Materials that in themselves are normally stable but can become unstable at elevated temperatures and pressures.



Hazard Rating

Health : 3 Serious Hazard - Major injury likely unless prompt action is taken and medical treatment is given

Flammability : 0 Minimal Hazard - Materials that will not burn

Physical : 1 Slight Hazard - Materials that are normally stable but can become unstable (self-react) at high temperatures and pressures. Materials may react non-violently with water or undergo hazardous polymerization in the absence of inhibitors.

Personal protection : F

F - Safety glasses, Gloves, Synthetic apron, Dust respirator