NJ-6185

20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

ถึง สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย
ชั้น 10 อาคาร 4 (อาคารเจริญวิศวกรรม)
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

เรียน คณะกรรมการฯ

ทางคณะผู้จัดทำขอส่งผลงานการออกแบบกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีเข้าประกวดในการแข่งขัน The 2019-2020 TIChE National Chemical Engineering Student Design Competition โดยมีหัวข้อการแข่งขันหลักในปีนี้ คือ “กระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล (Seawater Desalination)” ซึ่งผู้จัดทำได้ออกแบบกระบวนการเป็นกระบวนการกลั่นแบบหลายขั้น (Multi-Effect Distillation, MED) ร่วมกับ เทคโนโลยีเซลล์สุริยะ (Solar cell)

หากคณะกรรมการฯ มีข้อสงสัยใด ๆ ในผลงานฉบับนี้ คณะกรรมการฯ สามารถสอบถามข้อมูลจากคณะผู้จัดทำเพิ่มเติมผ่านผู้ประสานงานสมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย หรือ สามารถสัมภาษณ์ข้อมูลจากคณะผู้จัดทำในโอกาสต่อไป (ถ้ามี)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา ทั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีโอกาสได้พบกับคณะกรรมการฯ ในอนาคตอันใกล้

ด้วยความเคารพอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารที่แนบมา: รายงานฉบับสมบูรณ์ 1 เล่ม

NJ-6185

การออกแบบกระบวนการกลั่นแบบหลายขั้น (Multi-Effect Distillation, MED) ร่วมกับ เทคโนโลยีเซลล์สุริยะ (Solar cell)

เสนอ

สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย

สารบัญ

	หน้า
Abbreviations	1
Introduction	2
Process Description	28
Block diagram	30
Process Flow Diagram	31
Preliminary Plot Plan	32
Material Selection	33
Material Balances	35
Energy Balances	73
Preliminary Piping and Instrument Design	80
Utility Requirements	81
Equipment List	83
Equipment Specification Sheets	86
Equipment Cost Summary	98
Economic Analysis	134
Safety, Health and Environmental Considerations	180
Other Important Considerations (Waste)	182
Conclusions and Recommendations	188
Acknowledgements	190

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
Bibliography	191
Appendix A	193
Calculation	199

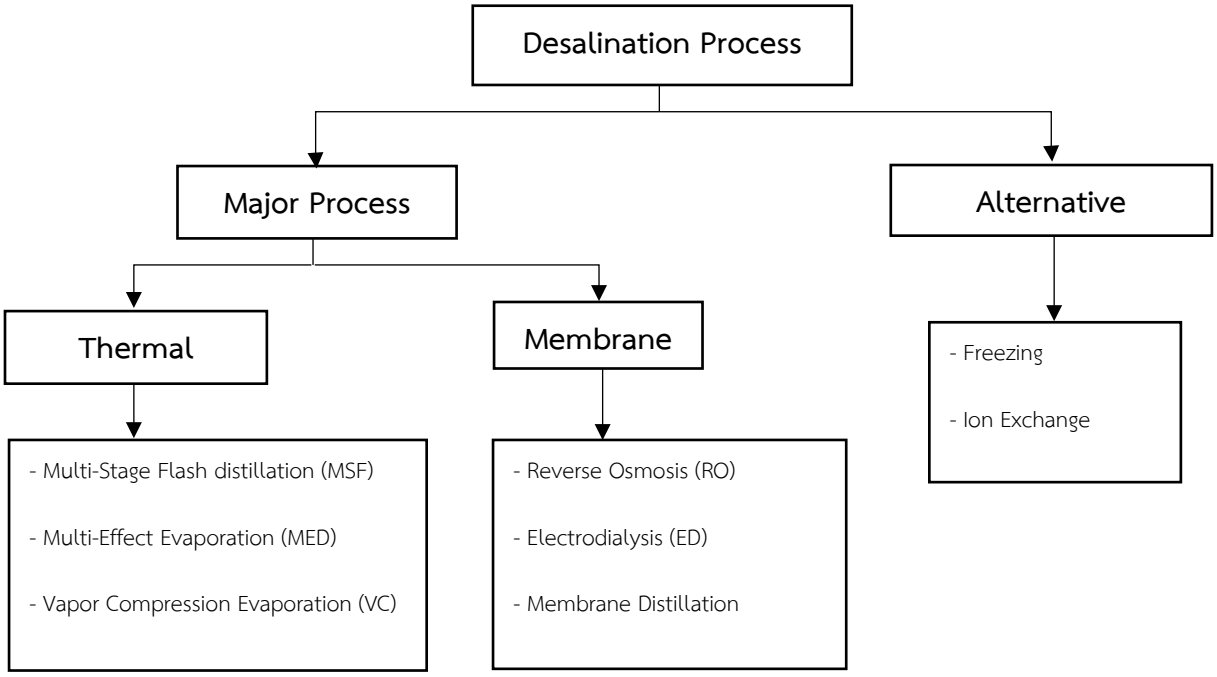
สัญลักษณ์ (Abbreviations)

A	พื้นที่, Area (m^2)
A_c	พื้นที่หน้าตัด, Cross-sectional Area (m^2)
P	ความดัน, Pressure (kPa)
T	อุณหภูมิ, Temperature (K)
L	ความยาว, Length (m)
H	ความสูง, Height (m)
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง, Diameter (m)
v	ความเร็วของไหล, Velocity (m/s)
$\dot{m}$	อัตราการไหลโดยมวล, Mass flow rates (kg/s)
$\dot{n}$	อัตราการไหลโดยโมล, Mole flow rates (mol/s)
$\dot{v}$	อัตราการไหลโดยปริมาตร, Volume flow rates (m^3/s)
ρ	ความหนาแน่น, Density (kg/m^3)
μ	ความหนืด, Viscosity (kg/m-s)
ε	ค่าความขรุขระ, Roughness (m)
Q	พลังงานความร้อนที่ต้องการ, Heat required (kW)
W	งานที่ต้องการ, Work required (kW)
h_L	เฮดที่สูญเสีย, Head loss (m)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยรวม, Overall heat transfer coefficient (W/m^2-K)
f	ตัวแปรความเสียดทาน, Friction factor (-)
Re	ตัวเลขเรย์โนลด์, Reynolds number (-)

บทนำ (Introduction)

1. กระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล (Desalination of Seawater)

น้ำเป็นสารสำคัญที่สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องใช้ในการดำรงชีวิต น้ำบนโลกมีปริมาณ 70% ของพื้นผิวโลก แต่ยังพบว่ามีปัญหาการขาดแคลนน้ำในหลายๆ ประเทศ ดังนั้นการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลจึงถูกนำมาใช้แก้ปัญหานี้ จากรูปที่ 1 ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับแยกเกลือออกจากน้ำทะเลอยู่สองเทคโนโลยีหลัก คือ การแยกเกลือด้วยวิธีทางความร้อน (Thermal desalination) และ การแยกเกลือด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane desalination) นอกจากนั้นยังมีเทคโนโลยีทางเลือกอื่น ๆ ได้แก่ Freezing และ Ion exchange แต่เทคโนโลยีดังกล่าวยังไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1 การจำแนกประเภทของกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล [1]

1.1 กระบวนการแยกเกลือด้วยวิธีทางความร้อน (Thermal desalination process)

การกลั่นเป็นเทคโนโลยีที่นิยมสำหรับการแยกเกลือออกจากทะเล อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง เทคโนโลยีนี้ มีหลักการ คือ การต้มน้ำทะเลเพื่อระเหยน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ จากนั้น จะทำการควบแน่นไอน้ำเพื่อให้ได้น้ำบริสุทธิ์ต่อไป [1]

กระบวนการแยกเกลือด้วยวิธีทางความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

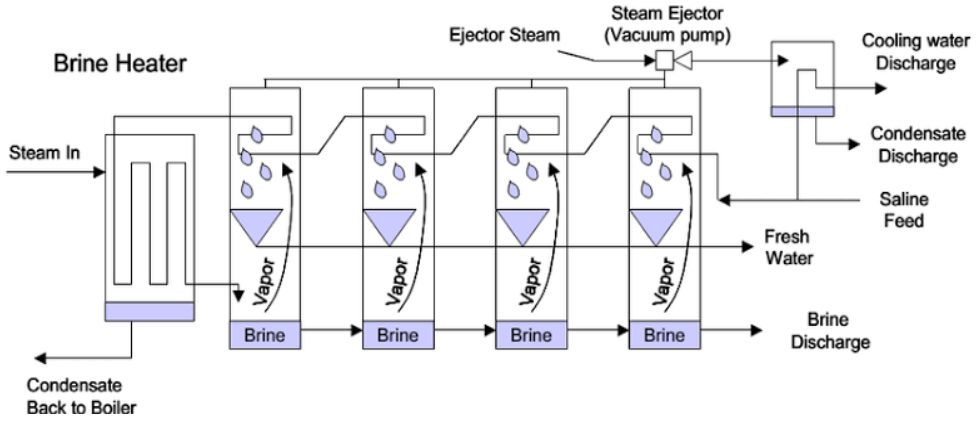
1.1.1 Multi-stage flash distillation (MSF)

1.1.2 Multi-effect distillation (MED)

1.1.3 Vapor compression evaporation(VC)

1.1.1 Multi-stage flash distillation (MSF)

Multi-stage flash distillation ใช้หลักการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วย Multi-stage หรือ Flash chamber (รูปที่ 2) ซึ่งแต่ละชั้นของ Flash distillation จะมีความดันต่ำ น้ำทะเลจะถูกทำให้ร้อนและผ่านเข้าไปใน Flash chamber ที่ 1 [2] ภายใน Flash chamber ที่ 1 จะมีการใช้ความดันเพื่อให้น้ำทะเลเดือดและเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว [3] จากนั้น น้ำทะเลที่ยังไม่ถูกระเหยก็จะถูกส่งต่อไปยัง Flash chamber ต่อไป โดยความดันในขั้นต่อไปนั้นจะต่ำกว่าขั้นตอนก่อนหน้า สำหรับไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกควบแน่นเป็นน้ำจืดบนท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่ในแต่ละ Flash chamber



รูปที่ 2 กระบวนการ Multi-stage flash distillation (MSF) [2]

ข้อดีของ Multi-stage flash distillation (MSF)

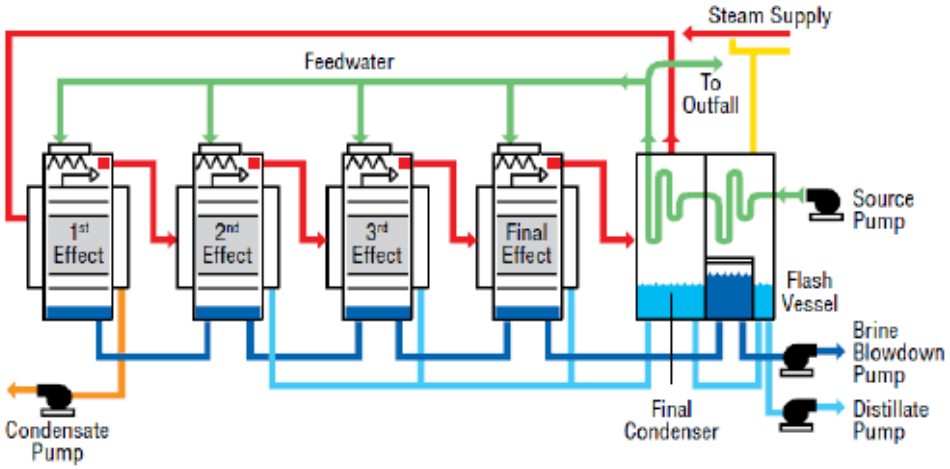
- ง่ายต่อการก่อสร้างและมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน
- ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในกระบวนการผลิตและมีท่อที่ลักษณะโค้งน้อย
- คุณภาพของน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์สูง

ข้อเสียของ Multi-stage flash distillation (MSF)

- อาจเกิดเกลือ เช่น แคลเซียมซัลเฟต บนพื้นผิวท่อซึ่งทำให้เกิดปัญหาทางกล เช่น การอุดตันของท่อ
- การเพิ่ม Flash chamber จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำบริสุทธิ์ แต่ก็เป็นการเพิ่มต้นทุนในการลงทุน

1.1.2 Multi-effect distillation

Multi-effect distillation (รูปที่ 3) มีหลักการเดียวกัน Multi-stage flash distillation โดยใช้หลักการของการระเหยและการควบแน่นที่สภาวะความดันต่ำ [4] ทั้งนี้น้ำทะเลและไอน้ำจะมีการสัมผัสกันโดยตรง เมื่อความดันลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติและไอน้ำที่ได้จาก Vessel ที่ 1 ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการทำความร้อนให้ส่วนอื่นๆ [5] ยิ่งมี Vessel มากจะยิ่งมีประสิทธิภาพสูง จากกระบวนการ Multi-effect distillation จะได้น้ำจืดที่มีคุณภาพสูงและประสิทธิภาพทางความร้อนสูง



รูปที่ 3 กระบวนการ Multi-effect distillation [4]

ข้อดีของ Multi-effect distillation

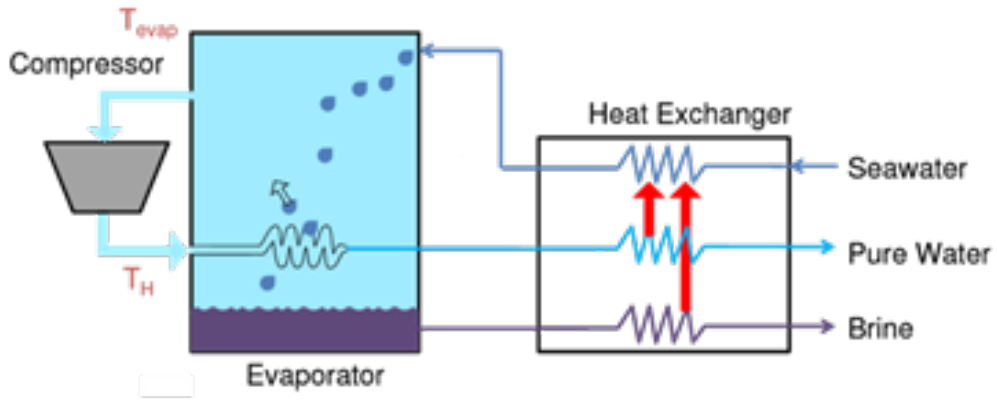
- ขั้นตอนการผลิตมีอุณหภูมิต่ำที่ 343 K ซึ่งช่วยลดการกัดกร่อนของท่อ
- ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการบำบัดเบื้องต้นต่ำ ทำให้คุณภาพน้ำที่ใช้ในการผลิตไม่สำคัญ
- การใช้พลังงานต่ำกว่า Multi-stage flash distillation และมีประสิทธิภาพจะสูงกว่า Multi-stage flash distillation ดังนั้นเทคโนโลยี Multi-effect distillation สามารถพิจารณาได้ว่าคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคโนโลยี Multi-stage flash distillation ในแง่ของการผลิตน้ำดื่ม [6]

ข้อเสียของ Multi-effect distillation

- ใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าวิธี Reverse osmosis

1.1.3 Vapour compression distillation

กระบวนการระเหยของการบีบอัดไอ (การกลั่นด้วยการบีบอัดไอ: Vapour compression evaporator or VCD) ในกระบวนการนี้คอมเพรสเซอร์เชิงกลที่ใช้ในการบีบอัดน้ำที่ได้จากเครื่องระเหย (รูปที่ 4) โดยที่ความร้อนที่เกิดจากการบีบอัดน้ำจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำทะเล หลังจากนั้นไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกควบแน่นและได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำจืดที่มีความบริสุทธิ์สูง



รูปที่ 4 กระบวนการ Vapour compression distillation [7]

ข้อดีของ Vapour compression distillation

- อุณหภูมิต่ำกว่า 343 K ทำให้มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานสูง
- กระบวนการผลิตนี้มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้การกัดกร่อนของท่อลดลง

ข้อเสียของ Vapour compression distillation

- กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการแยกเกลือขนาดเล็ก เนื่องจากมีความจุน้อยในกระบวนการผลิตน้อย

1.2 Membrane desalination

กระบวนการแยกเกลือด้วยเยื่อเลือกผ่าน กระบวนการนี้ใช้หลักการให้น้ำจืดซึมผ่านเยื่อเลือกผ่าน [7] กระบวนการเยื่อเลือกผ่าน แบ่งออกเป็น

1.2.1 Reverse osmosis

1.2.2 Electro dialysis

1.2.3 Membrane distillation

1.2.1 Reverse osmosis

Reverse Osmosis (รูปที่ 5) เป็นกระบวนที่ใช้สำหรับการแยกเกลือออกจากน้ำโดยใช้แรงดันเป็นแรงผลักดันให้น้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านแบบ Semi-membrane ไปยังฝั่งของผลิตภัณฑ์ [8] โดยกระบวนการนี้จะกำจัดไอออนโซเดียมคลอไรด์ โดยให้ความดันกับฝั่งที่มีความเข้มข้นของเกลือมากกว่า จากนั้น น้ำจะไหลในทิศทางตรงกันข้ามผ่าน Semi-membrane กระบวนการนี้ใช้ความดันอยู่ระหว่าง 50 ถึง 1,000 psig เทคโนโลยีนี้มีเยื่อเลือกผ่านเป็นเส้นใยลักษณะกลวงและแผ่นเกลียว

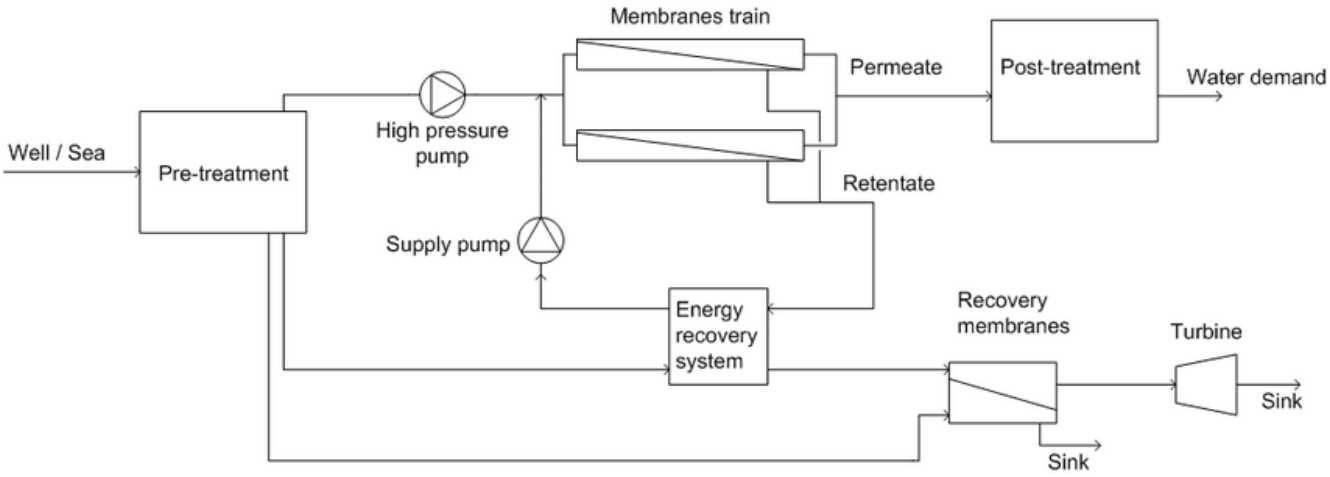
ระบบ Reverse Osmosis ประกอบด้วยสี่ระบบ คือ

1.2.1.1 Pre-treatment system

1.2.1.2 High-pressure pumps

1.2.1.3 Membrane system

1.2.1.4 Post-treatment



รูปที่ 5 กระบวนการ Reverse osmosis plant [8]

ข้อดีของ Multistage Reverse osmosis

- มีการกัดกร่อนที่เกิดกับโลหะน้อยมากเนื่องใช้อุณหภูมิในกระบวนการเท่ากับสิ่งแวดล้อม

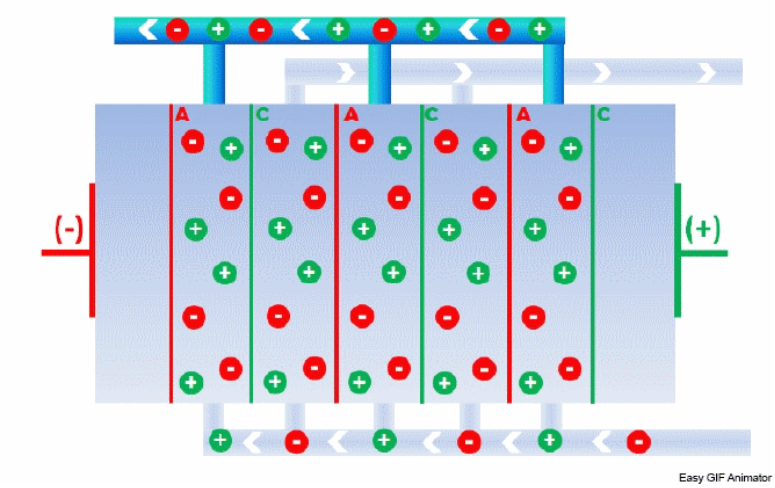
ข้อเสียของ Multistage Reverse osmosis

- Multistage Reverse osmosis ใช้น้ำถึง 40-90 แกลลอนในการผลิตน้ำ 5 แกลลอนจึงทำให้เกิดน้ำเสียอย่างมาก

1.2.2 Electrodialysis (ED)

วิธี Electrodialysis (ED) เป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันไฟฟ้า กระบวนการนี้ใช้ศักย์ไฟฟ้าเพื่อกำจัดเกลือโดยใช้เยื่อเลือกผ่าน [10] แสดงดังรูปที่ 6

กระบวนการ Electrodialysis (ED) ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งไอออน (ประจุที่ตรงข้ามกับน้ำในกระบวนผลิตถูกดันด้วยแรงผลักของความดัน) ไหลผ่านเยื่อเลือกผ่านที่ให้ไอออนที่ต้องการผ่านไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้าม ในระบบนี้ขั้วไฟฟ้าจะกลับด้านกันไปมา [11]



รูปที่ 6 กระบวนการ Reverse osmosis plant Electrodialysis [11]

ข้อดีของกระบวนการ Electrodialysis (ED)

- มีข้อจำกัดในกระบวนการแค่ขั้นตอน pre-treatment

ข้อเสียของกระบวนการ Electrodialysis (ED)

- เกิดสนิมที่ท่อ

1.2.3 Membrane distillation

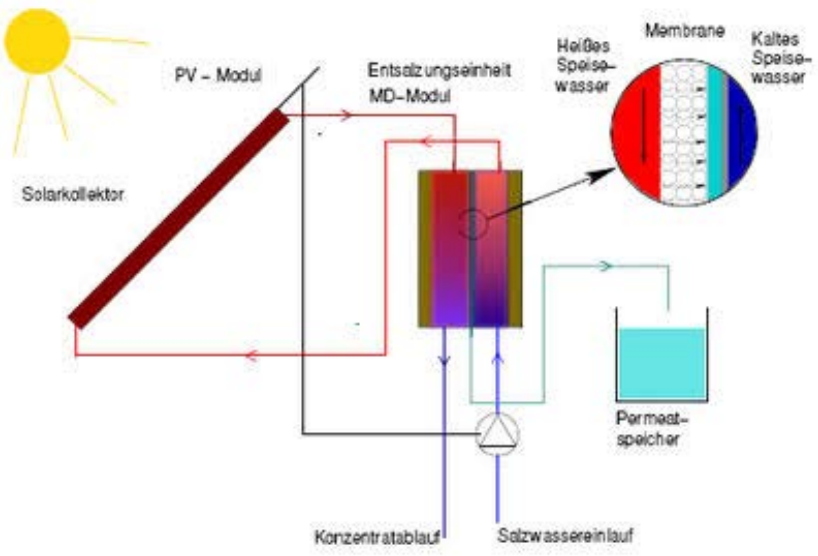
Membrane distillation (รูปที่ 7) ใช้หลักการความร้อนและเยื่อเลือกผ่านในกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิในระหว่างการป้อนสารละลายตั้งต้นจากการสัมผัสกับพื้นผิวด้านหนึ่งของ Microporous membrane และพื้นที่ที่อีกด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน [12] ความแตกต่างของอุณหภูมินี้ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ เป็นผลมาจากการถ่ายโอนของไอน้ำที่ผลิตแล้วผ่านเยื่อเลือกผ่านที่มีการควบแน่นบนพื้นผิว กระบวนการนี้ใช้เพียงเยื่อเลือกผ่านแบบ Hydrophobic membranes ซึ่งจะให้ไอน้ำผ่านได้เท่านั้น เมื่อมีการผลิตไอน้ำและผ่านไปยังเยื่อเลือกผ่านจะเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวทำความเย็นทำให้เกิดน้ำบริสุทธิ์ขึ้น

ข้อดีของ Membrane distillation

- การกลั่นด้วยเยื่อเลือผ่านที่ความดันต่ำและมีขั้นตอนก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตน้อย

ข้อเสีย Membrane distillation

- การกลั่นด้วยเยื่อเลือกผ่านต้องการพื้นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น
- น้ำในกระบวนการไม่ควรมีมลพิษอินทรีย์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของกระบวนการนี้



รูปที่ 7 กระบวนการ Membrane distillation [12]

1.3 Alternative processes

1.3.1 Freezing

Freezing (รูปที่ 8) ใช้หลักการการแช่แข็งโดยละลายเกลือลงในน้ำที่ใช้ในการผลิต จากนั้นเกลือจะถูกแยกออกโดยการทำให้น้ำเย็นลงเป็นผลึกน้ำแข็งภายใต้สภาวะที่ควบคุม ปริมาณน้ำทั้งหมดจะถูกแช่แข็งและถูกล้างเพื่อเอาเกลือที่เหลืออยู่ในน้ำหรือที่ติดกับผลึกน้ำแข็งออก [10] หลังจากนั้นน้ำแข็งจะละลายกลายเป็นน้ำจืด วิธีนี้มีประสิทธิภาพในด้านพลังงานสูงมาก

ข้อดีของ Freezing

- กระบวนการนี้มีการกัดกร่อนน้อย
- กระบวนการนี้ใช้พลังงานต่ำ

ข้อเสียของ Freezing

- ข้อเสียในกระบวนการนี้คือการจัดการน้ำแข็งและน้ำที่ผสมกัน โดยมีขั้นตอนที่ซับซ้อนทางกลไกในการเคลื่อนย้ายและการแปรรูป [11]

รูปที่ 8 กระบวนการ Freezing [10]

1.3.2 Ion exchanger: Solvent process

Ion exchanger มักใช้กับของแข็งอินทรีย์หรืออนินทรีย์ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกได้เพียงหนึ่งชนิด (หรือประจุลบ) โดยการตรึงบนพื้นผิวของแข็งที่มีประจุบวกชนิดอื่น (หรือประจุลบ) ในสารละลาย กระบวนการนี้สามารถเกิดกระบวนการย้อนกลับได้โดยสร้างตัวแลกเปลี่ยนประจุบวกใหม่ด้วยกรดและตัวแลกเปลี่ยนประจุลบ [12]

ข้อดีของ Ion exchanger: Solvent process

- สามารถเกิดกระบวนการย้อนกลับได้

ข้อเสียของ Ion exchanger: Solvent process

- เกิด Calcium Sulfate

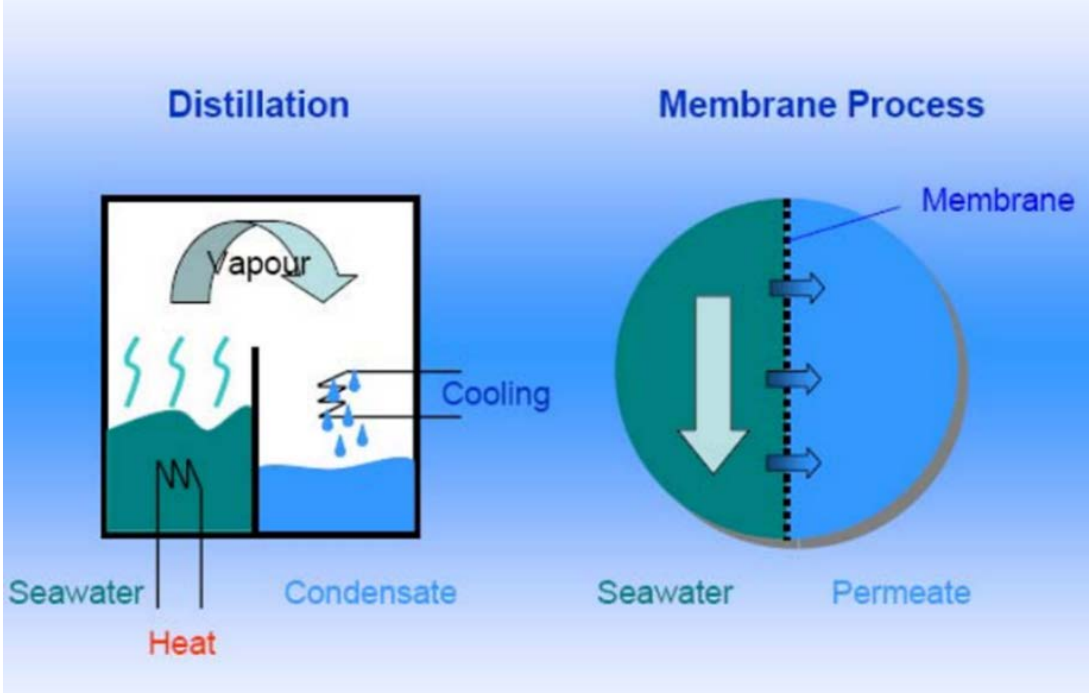
1.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการ

Thermal desalination processes	Advantage	Disadvantage
Multi-stage flash distillation (MSF)	- ง่ายต่อการก่อสร้างและติดตั้ง - ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวและมีท่อต่อข้องอน้อย - คุณภาพของน้ำบริสุทธิ์สูง	- ใช้อุณหภูมิสูงถึง 388 K - เกิดเกลือ เช่น Calcium sulphate ที่พื้นผิวของท่อ - ราคาสูงเมื่อเพิ่มชั้น
Multi-effect distillation	- ลดการกัดกร่อนของท่อ - ค่าใช้จ่ายต่ำ	- ใช้พลังงานสูงมาก
Vapour compression distillation	- มีขั้นตอนที่ง่ายและใช้อุณหภูมิต่ำ 343 K - การกัดกร่อนของท่อต่ำ	- เหมาะสำหรับกระบวนการขนาดเล็ก - ผลผลิตต่ำ
Membrane process		
Reverse osmosis	- การกัดกร่อนของท่อต่ำ	- ใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการผลิตและมีน้ำเสียปริมาณสูง
Electrodialysis (ED)	- มีข้อจำกัดแค่ขั้นตอนการ Pre-treatment	- เกิดสนิมที่ท่อ
Membrane distillation	- อุณหภูมิต่ำและมีโครงสร้างง่าย - ใช้อุณหภูมิต่ำ	- ใช้พื้นที่มาก - ห้ามมีสารอินทรีย์
Alternative processes		
Freezing	- การกัดกร่อนต่ำ - ใช้พลังงานต่ำ	- ควบคุมยาก
Ion exchanger: Solvent process	- สามารถเกิดกระบวนการย้อนกลับได้	- เกิด Calcium Sulfate

1.5 เหตุผลที่คณะผู้จัดทำเลือกใช้ระบบ Multi-effect distillation

ในรายงานฉบับนี้เลือกใช้ระบบ Multi-effect distillation เนื่องจากกระบวนการกลั่นนี้ทำที่อุณหภูมิต่ำ (343 K) เพื่อลดการกัดกร่อนของท่อและการก่อตัวของสนิมบนพื้นผิวของท่อและไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำทะเลที่ใช้ในกระบวนการผลิต นั่นเป็นเหตุผลที่ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและการใช้งานเทคโนโลยีนี้ต่ำ นอกจากนี้ การใช้พลังงานของกระบวนการกลั่น Multi-effect distillation (MED) นั้นต่ำกว่า Multi-stage flash distillation (MSF) อีกทั้งประสิทธิภาพการทำงานนั้นสูงกว่ากระบวนการ MSF เนื่องจากเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรง ทั้งนี้การเพิ่มจำนวน Vessel หรือเอฟเฟกต์ของกระบวนการ MED จะช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์ของน้ำให้สูงขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีนี้ใช้น้ำทะเลในกระบวนการผลิตต่ำกว่าเทคโนโลยีเยื่อเลือกผ่าน จึงมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตต่ำกว่า กระบวนการแยกเกลือด้วยเยื่อเลือกผ่าน เหมาะกับการนำน้ำกร่อยมาผลิตเป็นน้ำบริสุทธิ์มากกว่าการนำน้ำทะเลมาผลิต แต่กระบวนการ MED มีความเหมาะสมในการนำน้ำทะเลมาใช้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 9 [13] อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี MED ต้องการพลังงานจำนวนมาก จึงมีการใช้เซลล์สุริยะทดแทนไฟฟ้าที่ต้องใช้ โดยเซลล์สุริยะที่ใช้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 680 watt/m^2 ที่ประสิทธิภาพ 40 % [14]



รูปที่ 9 กระบวนการ Membrane และ Multi-effect distillation

1.6 เซลล์สุริยะ (Solar Cell)

เซลล์สุริยะ (Solar Cell) เป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง (รูปที่ 10) เซลล์สุริยะได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบต่างๆ เซลล์สุริยะเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์สุริยะ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์สุริยะต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้นทำให้สามารถทำงานได้ [13]

รูปที่ 10 เซลล์สุริยะ [13]

1.7 ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Piping System)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี มาตรฐาน และข้อกำหนดหรือแนะนำต่าง ๆ ของการใช้ท่อในระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากท่อมีความสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะท่อเปรียบเสมือนเส้นเลือดแดงที่ใช้ขนส่งสารต่าง ๆ ให้กระบวนการในโรงงานสามารถดำเนินไปได้ ฉะนั้นการเลือกท่อที่เหมาะสมจะทำให้กระบวนการดำเนินไปอย่างเหมาะสมได้ ซึ่งโดยทั่วไป ระบบท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยจะอ้างอิงตามมาตรฐานต่าง ๆ ของต่างประเทศ สำหรับประเทศไทย มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อที่มักใช้อ้างอิง ได้แก่ American Society of Mechanical Engineers (ASME) และ American Petroleum Institute (API)

ตัวอย่างมาตรฐานของต่างประเทศ

- American Society of Testing Materials (ASTM)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Petroleum Institute (API)
- American Waterworks Association (AWWA)
- American Petroleum Institute Standard (APIS)
- Japanese Industrial Standards (JIS)
- Deutscher Industrial Normen (DIN)

ตัวอย่างมาตรฐานของท่อ

- ASTM A53 – Steel Pipe
- ASTM A312 – Stainless Steel Pipe
- AWWA C151 – Ductile Iron Pipe
- API 5L – Line pipes
- ISO 11960, API 5CT – tubing
- ASTM A 53/A 53M – Electric-welded and seamless steel pipes, black or hot-dip galvanized
- ASTM A 106 – Seamless carbon steel pipes for high temperature performance

1.7.1 Piping and Pipeline Codes

สำหรับมาตรฐานอ้างอิงเกี่ยวกับระบบท่อที่นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้แก่ ASME B31 pressure piping code ซึ่งเป็นกลุ่มเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อทั้งหมด และจะแยกออกเป็นหลาย ๆ เล่ม ขึ้นอยู่กับเนื้อหาในแต่ละส่วน เช่น

- ASME B31.1 Power piping
- ASME B31.2 Fuel gas piping
- ASME B31.3 Process piping (ใช้อ้างอิงกับงานส่วนใหญ่ได้ทั่วไป)
- ASME B31.4 Liquid petroleum transportation piping

นอกจากนี้ยังมี ASME Boiler and Pressure Vessel Codes (ASME B&PV) ซึ่งใช้อ้างอิงในการออกแบบและสร้าง Pressure vessels

1.7.2 Factor to Consider in Designing Piping System

- ✓ วัสดุท่อและขนาดท่อ
- ✓ อุณหภูมิใช้งานและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
  - o Insulation, thermal expansion, freezing/solidification, viscosity
- ✓ ความยืดหยุ่นของระบบท่อต่อ Physical หรือ thermal shocks
- ✓ รางรับท่อ ส่วนหนุนรับท่อ และตัวจับยึดท่อ
- ✓ การเปลี่ยนแปลงในระบบและการใช้งาน
- ✓ การบำรุงรักษาและการตรวจสอบ
- ✓ ความยากง่ายในการติดตั้ง
- ✓ ลักษณะการไหลในท่อ (ต่อเนื่อง หรือเป็นช่วง ๆ)
- ✓ ความปลอดภัย (design factor, relief valves and flare system)

1.7.3 Reasonable Design Flow Velocity (ตารางที่ 3 - 6)

ตารางที่ 3 ความเร็วที่เหมาะสมของน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ

- ❖ Water flowing in pipes

Service condition	Reasonable velocity, m/s
Boiler feed water	2.5-4.6
Pump suction and drain lines	1.2-2.1
General services	1.2-3.0
City water	< 2.1

ตารางที่ 4 ความดันและความเร็วที่เหมาะสมของไอน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ

❖ Steam flowing in pipes

Steam condition	Pressure, kPa	Service	Reasonable velocity, m/s
Saturated	1-175	Heating	20-31
Saturated	>175	Powerhouse Process piping	31-51
Superheated	>1380	Boiler and turbine	36-100

ตารางที่ 5 อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน

Guidelines for Corrosion Allowance

Corrosion Allowance for steel pipes	mm/year
Superheated steam	0.3
Saturated steam	0.8
Steam coils in cargo tanks and liquid fuel tanks	2.0
Feed water for boilers in open circuit systems	1.5
Feed water for boilers in closed circuit systems	0.5
Blow-down systems for boilers	1.5

ตารางที่ 5 (ต่อ) อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน

Corrosion Allowance for steel pipes	mm/year
Compressed air	1.0
Hydraulic oil	0.3
Lubricating oil	0.3
Fuel oil	1.0
Thermal oil	1.0
Fresh water	0.8
Sea water	3.0
Refrigerants referred to in Section 13	0.3
Cargo systems for oil tankers	2.0
Cargo systems for ships carrying liquefied gases	0.3
Copper	0.8
Brass	0.8
Copper-tin alloys	0.8
Copper-nickel alloys with less than 10% of Ni	0.8
Copper-nickel alloys with at least 10% of Ni	0.5
Aluminium and aluminium alloys	0.5

ตารางที่ 6 ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อวัสดุต่างๆ

Value of absolute roughness, e for new commercial pipes

Surface	Absolute Roughness Coefficient – ε	
	(m) 10^{-3}	(feet)
Copper, Lead, Brass, Aluminium (new)	0.001 – 0.002	$3.33 – 6.7\times10^{-6}$
PVC and Plastic Pipes	0.0015 – 0.007	$0.5 – 2.33\times10^{-5}$
Stainless steel	0.015	5×10^{-5}
Steel commercial pipe	0.045 – 0.09	$1.5 – 3\times10^{-4}$

ตารางที่ 6 (ต่อ) ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อวัสดุต่างๆ

Surface	Absolute Roughness Coefficient – ε	
	(m) 10^{-3}	(feet)
Stretched steel	0.015	5×10^{-5}
Weld steel	0.045	1.5×10^{-4}
Galvanized steel	0.15	5×10^{-4}
Rusted steel (corrosion)	0.15 – 4	$5 – 133\times10^{-4}$
New cast iron	0.25 – 0.8	$8 – 27\times10^{-4}$
Worn cast iron	0.8 – 1.5	$2.7 – 5\times10^{-3}$
Rusty cast iron	1.5 – 2.5	$5 – 8.3\times10^{-3}$
Sheet or asphalted cast iron	0.01 – 0.015	$3.33 – 5\times10^{-5}$
Smoothed cement	0.3	1×10^{-3}
Ordinary concrete	0.3 – 1	$1 – 3.33\times10^{-3}$
Coarse concrete	0.3 – 5	$1 – 16.7\times10^{-3}$
Well planed wood	0.18 – 0.9	$6 – 30\times10^{-4}$
Ordinary wood	5	16.7×10^{-3}

1.7.4 การเลือกใช้วัสดุท่อและการประกอบท่อ

- คุณลักษณะของท่อ
- ลักษณะและสมบัติของท่อที่ทำจากวัสดุประเภทต่าง ๆ
- การเลือกใช้งานท่อประเภทต่าง ๆ
- การเลือกใช้วิธีการประกอบท่อชนิดต่าง ๆ

1.7.5 Standards for Piping

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Pipe diameters)
  - ASME B36.10 M: Welded and seamless wrought steel pipes
  - ASME B36.19 M: Stainless steel

- ขนาดท่อ (Pipe sizes)
  - The outside diameter of the pipe is standardized
    - IPS Iron pipe size
    - NPS Nominal pipe size
      - NPS 2 = 2 inch nominal diameter (OD = 2.375 in)
      - NPS 3 = 3 inch nominal diameter (OD = 3.5 in)
    - DN Diameter nominal developed by ISO (metric)

1.7.6 การกำหนดคุณลักษณะของท่อ (Pipe) (ตารางที่ 7)

- กำหนดขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ (Nominal diameter) และเลขระดับความหนา (Schedule number)
- เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือภายนอกของท่อ
- เส้นผ่านศูนย์กลางระบุใช้เฉพาะกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพียงค่าเดียวเท่านั้น
  - ตัวอย่าง: ขนาดระบุ 2" จะหมายถึงท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 2.375"

ตารางที่ 7 Nominal Pipe Size ต่าง ๆ คู่กับ Diameter Nominal

Pipe Size Designations in NPS and DN

NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
$^{1}/_{8}$	6	$3^{1}/_{2}$	90	22	550	44	1100
$^{1}/_{4}$	8	4	100	24	600	48	1200
$^{3}/_{8}$	10	5	125	26	650	52	1300
$^{1}/_{2}$	15	6	150	28	700	56	1400
$^{3}/_{4}$	20	8	200	30	750	60	1500
1	25	10	250	32	800	64	1600

ตารางที่ 7 (ต่อ) Nominal Pipe Size ต่าง ๆ คู่กับ Diameter Nominal

NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
$1^1/_4$	32	12	300	34	850	68	1700
$1^1/_2$	40	14	350	36	900	72	1800
2	50	16	400	38	950	76	1900
$2^1/_2$	65	18	450	40	1000	80	2000
3	80	20	500	42	1050	-	-

1.7.7 การกำหนดคุณลักษณะของท่อ (Pipe)

1. เลขระดับความหนากำหนดขึ้นตามความหนาของผนังท่อ
2. การหาเลขระดับความหนาโดยประมาณ

   เลขระดับความหนา (Schedule) = 1000 × P/ S × E

   โดย P = ความดันทำงาน (Pa)

   S = ความเค้นของวัสดุที่ยอมให้ได้ (N/m)

   E = ประสิทธิภาพของรอยต่อเชื่อม

1.7.8 ความแตกต่างระหว่าง Pipes และ Tubes

- คำว่า Pipe และ Tube ในภาษาไทยหมายถึงท่อ แต่โดยทั่วไป เวลาพูดถึง Pipes จะนึกถึงท่อขนาดใหญ่ ในขณะที่ Tubes จะนึกถึงท่อขนาดเล็ก
- นอกจากนี้ ท่อที่อยู่ภายนอก (Outdoor) จะนิยมเรียกว่า Pipe ในขณะที่ท่อที่อยู่ภายใน (Indoor) เช่น อยู่ในเตาเผา อยู่ในหม้อไอน้ำ เป็นต้น จะเรียกว่า Tubes
- ความแตกต่างระหว่าง Pipes และ Tubes แสดงดังตารางด้านล่าง

Feature	Pipe	Tube
Size	NPS, DN	Actual OD
Thickness	Schedule No.	Gauge No., Actual thickness
Method of production	Hot roll	Hot roll, Cold drawn
Surface finish	Not very smooth	Smooth

1.7.8 Piping Material Selection

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกวัสดุท่อ มีดังนี้

- Strength
  - Yield & Tensile strength
  - Creep strength
  - Fatigue strength
- Corrosion resistance
- Material fracture toughness
- Fabricability
- Availability & cost

1.7.9 Deterioration in Service

- General considerations
  - Fire resistance
  - Possibility of brittle fracture
  - Susceptibility to crevice corrosion
  - Possibility of galvanic corrosion
  - Chilling effect of the loss of pressure
  - Compatibility of materials such as
    - Packing

- Gaskets
- Thread sealants

- Specific material considerations
  - Carbon and low alloy steel
  - High alloy steel
  - Aluminum and aluminum alloys
  - Copper and copper alloys
  - Polymer

1.7.10 ประเภทของวัสดุท่อ

อาจแบ่งวัสดุท่อออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ท่อโลหะ และท่อที่ไม่ใช่โลหะ

ท่อโลหะ เช่น ท่อเหล็กกล้า ท่อเหล็กหล่อ ท่อทองแดง ท่ออะลูมิเนียม

ท่อที่ไม่ใช่โลหะ เช่น ท่อพลาสติก ท่อยาง

ท่อเหล็กกล้า

โดยส่วนใหญ่ ท่อที่ผลิตออกมาใช้งานจะผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) ส่วนประกอบทางเคมีและกรรมวิธีการผลิตจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละบริษัทผู้ผลิตและตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จะเป็นผู้กำหนดมาตรฐานในการผลิดท่อทางอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบระบบท่อส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานของต่างประเทศแทน เนื่องจากมีมาตรฐานจำนวนมากให้เลือกใช้มากกว่า

ประเภทของเหล็กกล้า

เหล็กกล้าแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain carbon steel)
2. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำความแข็งแรงสูง (High-strength low alloy steel)
3. เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low alloy steel)
4. เหล็กกล้าหล่อ (Cast steel)

5. เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)
6. เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel)
7. เหล็กกล้าพิเศษ (Special purpose steel)

ท่อเหล็กกล้าที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

1. เหล็กกล้าคาร์บอน
    - นิยมใช้มากที่สุด
    - มีราคาถูกที่สุด
    - แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่
        - เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) มีคาร์บอน 0.05-0.3 wt.% (ใช้มากที่สุด)
        - เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) มีคาร์บอน 0.3-0.5 wt.%
        - เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.5 wt.% ขึ้นไป
2. เหล็กกล้าผสมต่ำ
    - เหล็กกล้าคาร์บอนที่ผสมโลหะบางชนิดเข้าไป
    - โลหะที่ผสมเข้าไปจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนให้ดีขึ้น
    - มีราคาสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา
3. เหล็กกล้าไร้สนิม
    - มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่
    - แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด
        - ออสตินิติก (Austenitic)
        - เฟอร์ริติก (Ferritic)
        - มาเทนซิติก (Martensitic)
    - โดยทั่วไปจะใช้เกรดออสตินิติกเป็นหลักในระบบท่อทั่วไป เนื่องจากทนความร้อนได้ดี และมีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าชนิดอื่น
    - มีราคาแพง

4. ท่อเหล็กหล่อ
    - โดยทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ 2.5-4.0 wt.%
    - คุณสมบัติแข็ง แต่เปราะ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูง
    - นิยมนำมาใช้ในการขนส่งน้ำหรือแก๊ส และในระบบท่อฝังดิน เนื่องจากสามารถรับแรงกดได้มากเป็นพิเศษ
    - ไม่สามารถนำมาใช้กับของไหลที่มีอุณหภูมิสูง ความดันสูง หรือระบบที่มีการสั่นสะเทือน เนื่องจากความเปราะของเหล็กหล่อ (ไม่ควรใช้กับไอน้ำอุณหภูมิเกินกว่า 503 K และน้ำมันที่อุณหภูมิสูงกว่า 423 K)
    - การกำหนดขนาดระบุของท่อเหล็กหล่อ จะแตกต่างจากท่อเหล็กกล้า โดยจะกำหนดตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID)
5. ท่อทองแดงและทองแดงผสม
    - ทองแดงผสมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ
        - ทองเหลือง: โลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี
        - บรอนซ์: โลหะผสมระหว่างทองแดงกับดีบุก
    - โดยทั่วไป ท่อทองแดงและท่อทองเหลืองที่ใช้งานมีอยู่ 2 ชนิด
        - ชนิดแข็งแรงพิเศษ
        - ชนิดธรรมดา
    - นิยมใช้งานบริเวณที่ต้องการอายุการใช้งานที่ยาวนาน (เนื่องจากท่อทองแดงและท่อทองเหลืองมีราคาแพง) และใช้เพื่อเป็นตัวนำความร้อนที่ดี
6. ท่ออะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม
    - อะลูมิเนียม
        - โลหะที่ใช้มากเป็นอันดับสองรองจากเหล็กกล้า
        - ราคาไม่แพง
        - ท่ออะลูมิเนียมใช้งานอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณท่อเหล็กกล้า
        - สมบัติของอะลูมิเนียม
            - นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี
            - มีความแข็งตึงน้อยกว่าเหล็กกล้า

- ความต้านทานการล้าไม่สูง
- ไม่ทนต่อการสึกหรอ

7. ท่อพลาสติก
    - ในปัจจุบัน ท่อพลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในระบบงานท่อ ทั้งในระบบน้ำท่อทิ้ง ในระบบท่อน้ำทิ้ง ในระบบสุขภัณฑ์ และในระบบท่อทางอุตสาหกรรม
    - ข้อดีของท่อพลาสติก
        - ราคาไม่แพง
        - น้ำหนักเบา
        - มีการติดตั้งที่ง่าย
        - ไม่มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนและการกัดกร่อน
        - มีสภาพความต้านทานทางเคมีสูง
    - ข้อเสียของท่อพลาสติก
        - ไม่ทนต่อสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง

1.7.11 หลักสำคัญในการวางผังระบบท่อ

1. มีการวางแผนที่ดีตั้งแต่เริ่มแรก
    - ❖ การวางแผนที่ดีตั้งแต่เริ่มแรกจะช่วยให้สามารถประหยัดพื้นที่ในการวางท่อ และยังช่วยให้สามารถเดินเส้นท่อในแนวเส้นตรงให้ได้มากที่สุด
2. หลีกเลี่ยงการที่ต้องเดินเส้นท่อผ่านหน่วยผลิตอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
3. ระมัดระวังเส้นท่อกลุ่มอื่นและสายไฟฟ้า
4. ออกแบบท่อที่มีความยืดหยุ่นสูง
5. สำหรับท่อหลัก (Main line) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่และมีท่อสาขา (Branch lines) ขนาดเล็กหลายเส้นต่ออยู่กับท่อหลัก ต้องแน่ใจว่าท่อสาขามีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการขยายตัว/หดตัว
6. ระวังเป็นพิเศษในเรื่องการขยายตัวของท่อ

1.7.12 การควบคุมอุณหภูมิในท่อ

- ✓ การใช้ฉนวน (Insulation)
  - เพื่อลดการสูญเสียความร้อนหรือความเย็นในกระบวนการผลิตให้กับสิ่งแวดล้อม
  - ช่วยป้องกันไม่ให้คนสัมผัสกับเส้นท่อที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก ๆ
- ✓ การหุ้มปลอกท่อ (Jacketing)
  - ลักษณะของปลอกท่อจะทำเป็นท่อสวมเข้ากับท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ
  - ระหว่างผนังท่อของปลอกท่อกับผนังท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิจะมีของไหลไหลอยู่เพื่อถ่ายเทความร้อนหรือความเย็นให้กับท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ
  - มีราคาแพง
- ✓ การเดินท่อนำความร้อน (Heat tracing)
  - ทำให้อุณหภูมิของไหลคงที่อยู่เสมอ
  - ทำได้ด้วยการนำท่อนำความร้อนหรือสายนำความร้อนด้วยไฟฟ้ามาเชื่อมติดกับเส้นท่อเพื่อจ่ายความร้อนคงที่
  - การใช้สายนำความร้อนด้วยไฟฟ้า สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ได้ดีกว่าและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกว้างมากกว่าท่อนำความร้อน
  - การติดตั้ง จะมีฉนวนหุ้มอยู่โดยรอบอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการนำความร้อนได้สูงสุด

1.7.13 การหุ้มฉนวนในท่อ

- ➢ การหุ้มฉนวนในท่อแบ่งได้ 2 ชนิด
  - การหุ้มฉนวนแบบปิดสำหรับใช้งานแบบเย็น
  - การหุ้มฉนวนแบบเปิดสำหรับการใช้งานแบบร้อน
- ➢ การหุ้มฉนวนแบบปิดสำหรับใช้งานแบบเย็น สามารถหยุดยั้งความชื้นในบรรยากาศไม่ให้แพร่เข้ามาสัมผัสกับผนังท่อและเกิดการควบแน่นบนผิวของผนังท่อ เช่น Cellular glass
- ➢ การหุ้มฉนวนแบบเปิดสำหรับการใช้งานแบบร้อน สามารถปล่อยให้ความชื้นออกจากผนังท่อร้อนได้ มักใช้กับ Overlap insulation jacket เช่น Calcium silicate
- ➢ Jacket (Lagging) เป็นส่วนที่หุ้มปิดทับฉนวนอีกที มักทำจากอะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม หรือวัสดุผสมคอมโพสิต

- ตัวอย่างของวัสดุฉนวนสำหรับท่อ
  - Cellular glass (ASTM C 552): -400 – 900 °F
  - Phenolic foam (ASTM C 1126): -50 – 250 °F
  - Elastomeric foam (ASTM C 534): -35 – 180 °F
  - Fiberglass (ASTM C 553): -35 – 800 °F
  - Mineral wool (ASTM C 547): -250 – 1200 °F
  - Calcium silicate (ASTM C 533): -250 – 1200 °F

คำอธิบายกระบวนการ (Process Description)

โครงการนี้เลือกใช้วิธีการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยวิธีกระบวนการกลั่นแบบหลายขั้น (Multi-Effect Distillation, MED) ร่วมกับ เทคโนโลยีเซลล์สุริยะ (Solar cell) สำหรับภาวะการดำเนินการที่ดีที่สุดสามารถอธิบายกระบวนการได้ดังต่อไปนี้

น้ำทะเลที่ 301 K 301.325 kPa (2 barg) และ 270 m^3/h จะเริ่มเข้าสู่ centrifuge เพื่อทำการแยกของแข็งออกจากน้ำทะเล จากนั้นน้ำทะเลจะรับความร้อนบางส่วนจากไอน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ขาออกที่ Evaporator เครื่องสุดท้าย เพื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าสู่เครื่อง Evaporator และแยกองค์ประกอบของน้ำและเกลือไอออน โลหะต่าง ๆ ในน้ำทะเล โดยที่น้ำบริสุทธิ์จะแยกไปทางสายของแก๊สด้านบน และส่วนอื่น ๆ จะแยกไปทางสายของของเหลวด้านล่าง การที่จะระเหยน้ำออกจากน้ำทะเลในเครื่อง Evaporator ที่ 1 ใช้ความดันภายในเท่ากับ 70 kPa และใช้ไอน้ำที่ 693 K 4301.325 kPa (barg) and 4000 kg/h ควบคู่กับความร้อนจากเซลล์สุริยะในการให้ความร้อน เมื่อไอน้ำผ่านการให้ความร้อนไปแล้ว จะควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งจะแยกออกไปรวมกับผลิตภัณฑ์สุดท้าย หลังจากที่น้ำกลายเป็นไอแยกกับน้ำทะเลที่เข้มข้นขึ้นที่กลายเป็นของเหลวด้านล่างของ Evaporator แล้ว ต่อไปจะทำการแยกของเหลวนี้บางส่วนให้เป็น Feed ของ Evaporator เครื่องต่อไป และบางส่วนแยกเพื่อให้วนกลับมารวมกับน้ำทะเลต้นทางเพื่อเข้าเครื่อง Evaporator อีกครั้งหนึ่ง โดย Evaporator เครื่องถัดไปจะใช้ความร้อนจากสายที่กลายเป็นไอของ Evaporator เครื่องแรก ซึ่งหลังจากที่ให้ความร้อนไปแล้ว ไอจาก Evaporator เครื่องแรกก็จะควบแน่นกลายเป็นของเหลวและจะถูกแยกออกไปรวมกับผลิตภัณฑ์สุดท้าย และจะทำกระบวนเช่นนี้ซ้ำไปด้วยการใช้ Evaporator จำนวน 5 เครื่อง โดยความดันคือ 70 kPa, 60 kPa, 50 kPa, 40 kPa และ 30 kPa ตามลำดับ และการที่จะแยกส่วนของน้ำทะเลเข้มข้นที่เป็นของเหลวเพื่อวนกลับมาใช้ใหม่ จำเป็นต้องใช้ Pump เพื่อเพิ่มความดันให้สามารถกลับมาเข้า Evaporator ต้นทางของสายนั้น ๆ ได้ โดยที่ความดันขาออก Pump คือ 301.325 kPa (2 barg), 70 kPa, 60 kPa, 50 kPa และ 40 kPa ตามลำดับ โดยต้องใช้ Evaporator จำนวน 5 เครื่องจึงจะได้ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์เพียงพอ (>= 200 m^3/h) กับที่ต้องการ หากใช้จำนวน Evaporator น้อยกว่านี้จะไม่ได้ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่เพียงพอ เมื่อกระบวนการดำเนินไปจนถึง Evaporator เครื่องที่ 5 ซึ่งเป็นเครื่องสุดท้าย ไอที่ระเหยจากเครื่องจะต้องเข้า Cooler เพื่อทำการควบแน่นเป็นน้ำที่เป็นของเหลว แล้วทำการรวมกับไอน้ำที่ควบแน่นแล้วจากต้นทางในสายต่าง ๆ ก่อนที่จะเข้า Cooler เพื่อลดอุณหภูมิไปที่ 301 K และเข้า Pump เพื่อเพิ่มความดันเป็น 601.325 kPa (5 barg) โดยที่มีอัตราการไหลคือ 213.307 m^3/h เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายต่อไป

สำหรับเหตุผลที่ติดตั้งเซลล์สุริยะเข้าไปในกระบวนการ จากการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอน้ำที่ใช้ต่อค่าความร้อนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการระเหยน้ำทะเลให้กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ออกมา มีความร้อนทั้งหมดที่ต้องการ คือ 23752 kW ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้ไอน้ำปริมาณ 28,000 kg/h โดยทางผู้จัดทำได้คำนวณราคาขายน้ำผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับราคาซื้อไอน้ำที่ต้องใช้ พบว่าจะไม่คุ้มทุน หากดำเนินการซื้อไอน้ำปริมาณดังกล่าว ดังนั้นผู้จัดทำจึงเสนอการใช้เซลล์สุริยะ เพื่อทดแทนการซื้อไอน้ำมาใช้ในกระบวนการ

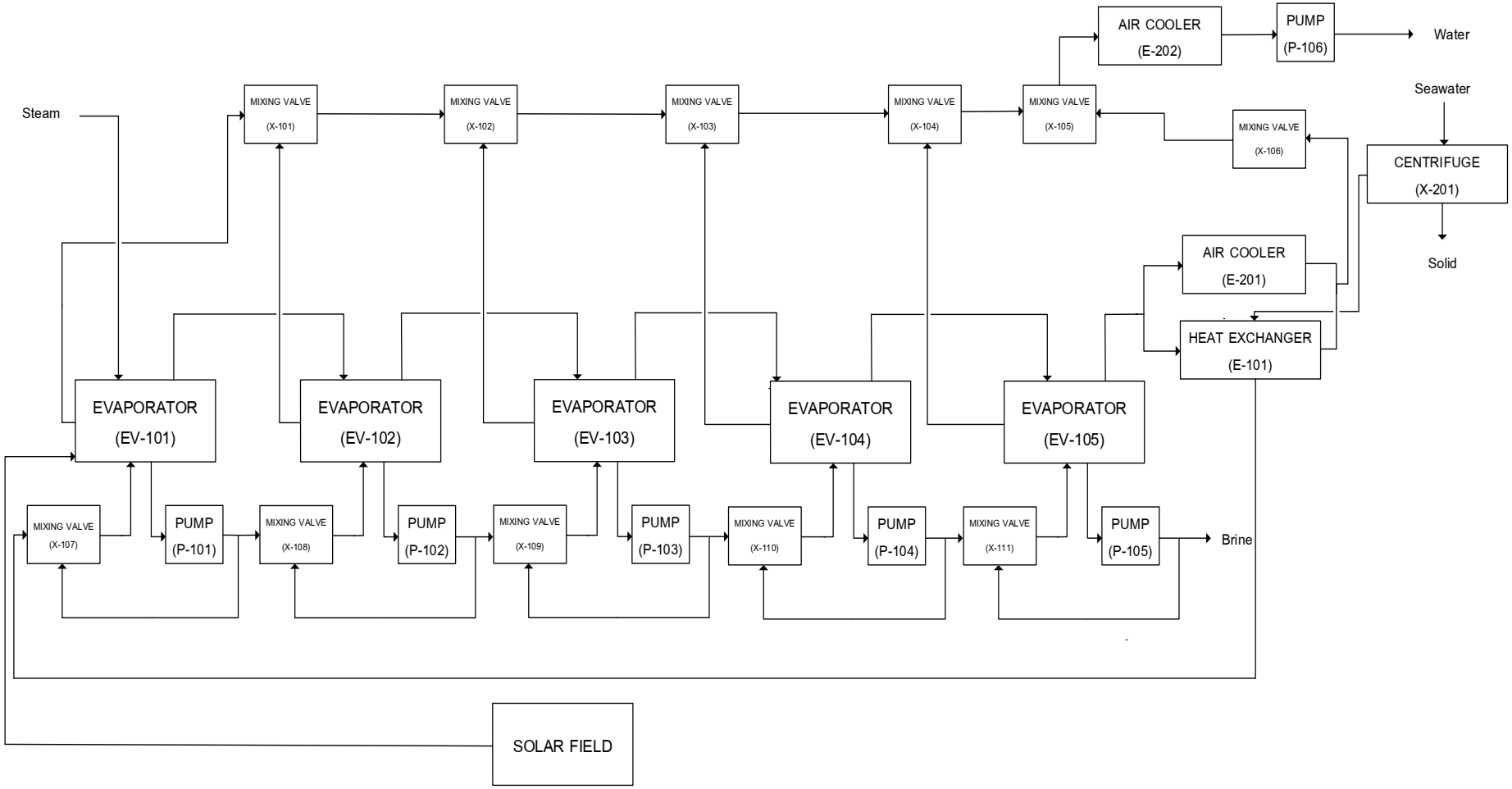
จากการคำนวณการดำเนินกระบวนการปีละ 8000 h ได้น้ำผลิตภัณฑ์ 200 m^3/h และมีราคาขายคือ 60 baht/m^3 จะสามารถขายได้ 96 ล้านบาท หากใช้ไอน้ำที่ 12,000 kg/h (ราคาซื้อ 950 baht/ton) จะต้องใช้เงินซื้อทั้งหมด 91.2 ล้านบาท ดังนั้นไอน้ำที่สามารถใช้ได้สูงสุดคือ 12,000 kg/h จึงจะมีโอกาสได้กำไร

ทั้งนี้ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอน้ำที่ใช้ไว้ดังตารางด้านล่าง

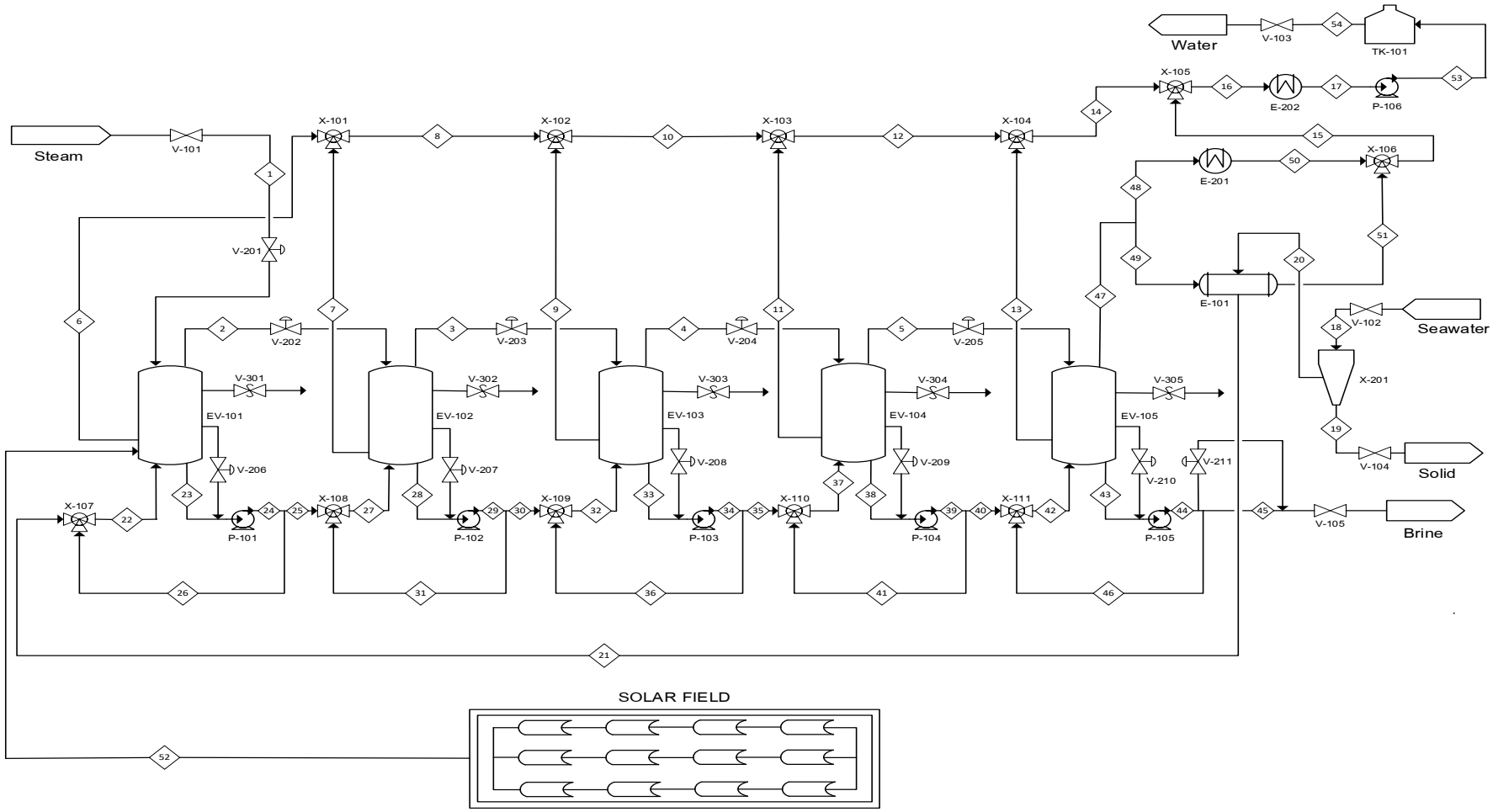
Steam Flow rate (kg/h)	Heat from steam (kW)	Heat from solar (kW)	Total Heat required (kW)
12,000	10,180	13,573	23,752
10,000	8,483	15,269	23,752
8,000	6,786	16,966	23,752
6,000	5,090	18,662	23,752
4,000	2,391	21,362	23,752

ซึ่งสามารถดูการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ได้ที่หัวข้อที่ 12 Economic Analysis เพื่อตรวจสอบว่าคุ้มค่าแก่การลงทุนดำเนินกิจการนี้หรือไม่

Block Flow Diagram of Selected Seawater Desalination Process

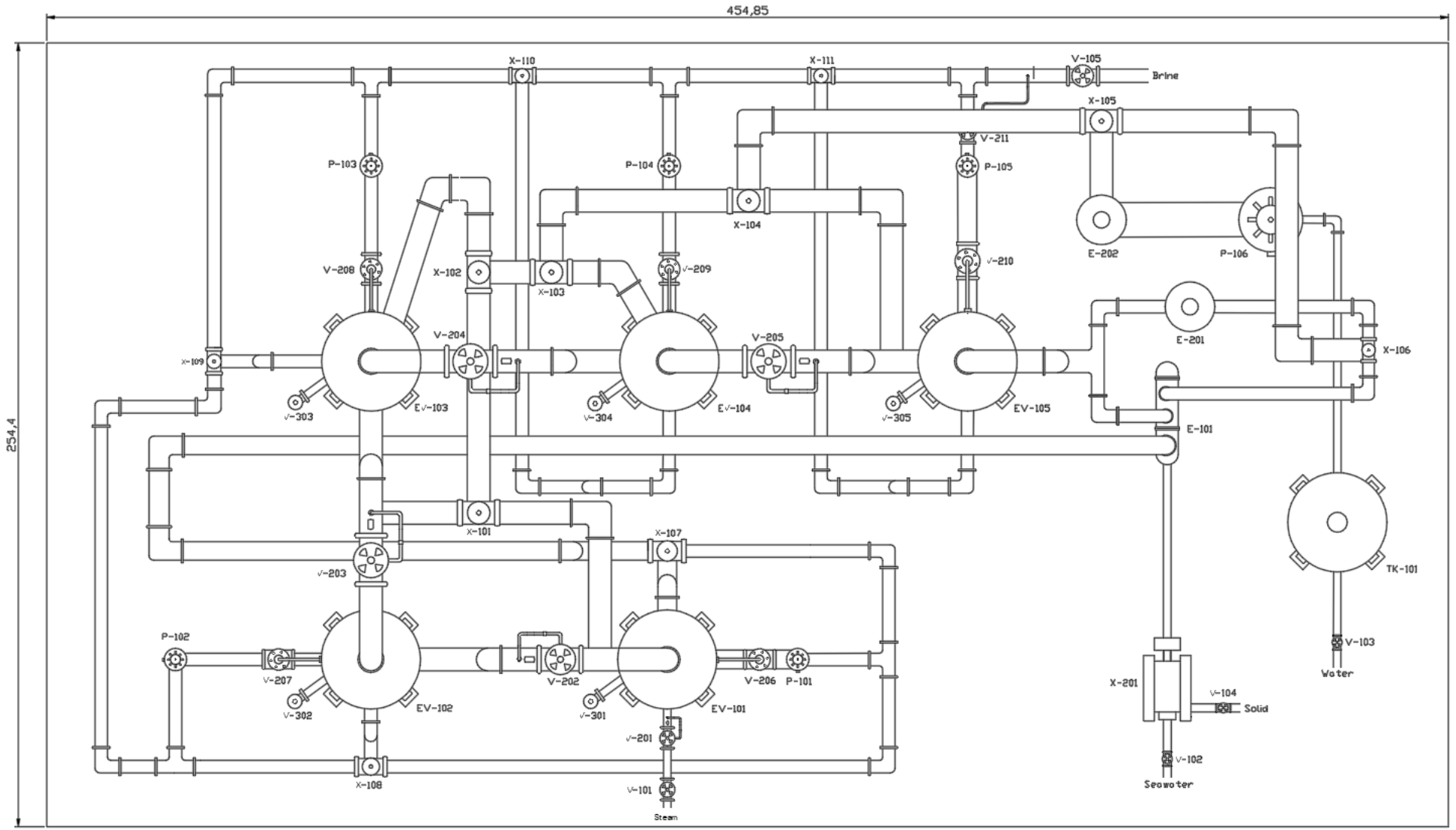


Process Flow Diagram of Selected Seawater Desalination Process (PFD)



หมายเหตุ: รายละเอียดของเครื่องสามารถดูได้ที่หัวข้อที่ 9 เอกสารระบุข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ (Equipment Specification Sheets)

Preliminary Plot Plan of Selected Seawater Desalination Process



การเลือกใช้วัสดุ (Material Selection)

โดยทั่วไประบบท่อในอุตสาหกรรมจะใช้ท่อที่มีวัสดุเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1703 K และมีช่วงการใช้งานสูงสุดคือ 673 – 950 K (รูปที่ 11) โดยกระบวนการที่เลือกเป็นท่อไอน้ำและน้ำผลิตภัณฑ์ จะมีอุณหภูมิสูงสุดในการใช้งานคือ 693 K (Steam Utility) และไอน้ำอื่นๆในระบบจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 353 K ดังนั้น ท่อที่เป็นไอน้ำและน้ำผลิตภัณฑ์จึงสามารถใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นวัสดุได้ และต้องใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สูง หากใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กเกินไปอาจเกิด Choking Condition

Physical Properties	Metric
Density	2.85 - 8.08 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	86.0 - 550
Hardness, Knoop	103 - 682
Hardness, Rockwell B	30.0 - 105
Hardness, Rockwell C	10.0 - 64.0
Hardness, Vickers	22.0 - 661
Tensile Strength, Ultimate	241 - 2450 MPa
Tensile Strength, Yield	140 - 2400 MPa
Elongation at Break	3.00 - 48.0 %
Reduction of Area	15.4 - 75.0 %
Modulus of Elasticity	183 - 213 GPa
Compressive Yield Strength	152 - 1800 MPa
Bulk Modulus	148 - 163 GPa
Poissons Ratio	0.250 - 0.300
Fatigue Strength	758 - 772 MPa
Fracture Toughness	33.0 - 115 MPa-m½
Machinability	50.0 - 160 %
Shear Modulus	70.0 - 80.0 GPa
Izod Impact	35.0 - 138 J
Charpy Impact	14.0 - 339 J
Bend Radius, Minimum	0.000 - 10.0 t

Electrical Properties	Metric
Electrical Resistivity	0.0000142 - 0.000142 ohm-cm

Thermal Properties	Metric
CTE, linear	10.1 - 16.6 µm/m-°C
Specific Heat Capacity	0.450 - 0.486 J/g-°C
Thermal Conductivity	25.3 - 93.0 W/m-K
Melting Point	1430 °C
Maximum Service Temperature, Air	400 - 677 °C

รูปที่ 11 คุณสมบัติต่างๆของท่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ [17]

ส่วนท่อที่มีน้ำทะเลไหลผ่าน จะมีการกัดกร่อนที่สูง ดังนั้นควรใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง เมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 5 ที่แสดงอัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน (Guidelines for Corrosion Allowance) เมื่อสารเป็นน้ำทะเลจะมีอัตราการกัดกร่อน 3 mm/year ซึ่งถ้าดำเนินกิจการ 25 ปีจะกัดกร่อนทั้งหมด 75 mm ดังนั้นความหนาของท่อควรมีค่ามากกว่า 75 mm หรือต้องคอยซ่อมบำรุง เนื่องจากหากปล่อยให้ท่อกัดกร่อนจนหมด อาจจะต้องหยุดกิจการไปชั่วขณะ และจะส่งผลทางเศรษฐศาสตร์ได้

ตารางที่ 5 อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน

Guidelines for Corrosion Allowance

Corrosion Allowance for steel pipes	**mm/year**
Superheated steam	0.3
Saturated steam	0.8
Steam coils in cargo tanks and liquid fuel tanks	2.0
Feed water for boilers in open circuit systems	1.5
Feed water for boilers in closed circuit systems	0.5
Blow-down systems for boilers	1.5
Compressed air	1.0
Hydraulic oil	0.3
Lubricating oil	0.3
Fuel oil	1.0
Thermal oil	1.0
Fresh water	0.8
Sea water	3.0
Refrigerants referred to in Section 13	0.3
Cargo systems for oil tankers	2.0
Cargo systems for ships carrying liquefied gases	0.3

Material Balances

การทำ Material Balances (ตารางที่ 8 – 25) เป็นการตรวจสอบว่ากระแสมวลที่เข้าและออกจากระบบที่สนใจนั้น สอดคล้องกันหรือไม่ ซึ่งตามหลักการอนุรักษ์มวลแล้ว มวลจะไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น เพื่อเป็นการยืนยันว่ากระบวนการของเราถูกต้อง เหมาะสม และเป็นไปได้จริง จึงต้องทำ Material Balances เพื่อตรวจสอบด้วย

ตารางที่ 8 แสดง Material Balances ใน Evaporator Effect

Evaporator Effect 1 (EV-101)

	Liquid phase	Liquid phase	Vapor phase		
Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	8.84E+01	7.76E+01	1.09E+01		
Na^+	9.99E-01	9.99E-01	0		
Cl^-	1.76E+00	1.76E+00	0		
F^-	9.25E-05	9.25E-05	0		
Mg^{2+}	1.05E-01	1.05E-01	0		
K^+	3.54E-02	3.54E-02	0		
Ca^{2+}	3.35E-02	3.35E-02	0		
Al^{3+}	1.50E-05	1.50E-05	0		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Fe^{3+}	1.23E-05	1.23E-05	0		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.64E-07	0		
Sr^{2+}	4.79E-04	4.79E-04	0		
$CaCO_3$	5.97E-01	5.97E-01	2.33E-80		
SiO_2	0	0	0		

ตารางที่ 8 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Evaporator Effect

Evaporator Effect 1 (EV-101)

Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
NO_3^-	5.14E-06	5.14E-06	0		
SO_4^{2-}	2.47E-01	2.47E-01	0		
NH_4^+	4.23E-05	4.23E-05	0		
Cl_2	2.28E-06	1.04E-09	2.28E-06		
CO_2	1.14E-04	1.51E-06	1.13E-04		
PO_4^{3-}	1.03E-06	1.03E-06	0		
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	92.2129	81.3491	10.8637	92.2129	92.2129

ตารางที่ 9 แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 2 (EV-102)

	Liquid phase	Liquid phase	Vapor phase		
Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	7.48E+01	6.35E+01	1.13E+01		
Na^+	9.99E-01	9.99E-01	0		
Cl^-	1.76E+00	1.76E+00	0		
F^-	9.25E-05	9.25E-05	0		
Mg^{2+}	1.05E-01	1.05E-01	0		
K^+	3.54E-02	3.54E-02	0		
Ca^{2+}	3.35E-02	3.35E-02	0		
Al^{3+}	1.50E-05	1.50E-05	0		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Fe^{3+}	1.23E-05	1.23E-05	0		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.64E-07	0		
Sr^{2+}	4.79E-04	4.79E-04	0		
$CaCO_3$	5.97E-01	5.97E-01	3.54E-80		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	5.14E-06	0		
SO_4^{2-}	2.47E-01	2.47E-01	0		
NH_4^+	4.23E-05	4.23E-05	0		
Cl_2	8.31E-10	2.68E-13	8.31E-10		
CO_2	1.21E-06	1.34E-08	1.20E-06		

ตารางที่ 9 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 2 (EV-102)

Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
PO_4^{3-}	1.03E-06	1.03E-06	0		
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	78.5294	67.2498	11.2796	78.5294	78.5294

ตารางที่ 10 แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 3 (EV-103)

	Liquid phase	Liquid phase	Vapor phase		
Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	6.06E+01	4.89E+01	1.16E+01		
Na^+	9.99E-01	9.99E-01	0		
Cl^-	1.76E+00	1.76E+00	0		
F^-	9.25E-05	9.25E-05	0		
Mg^{2+}	1.05E-01	1.05E-01	0		
K^+	3.54E-02	3.54E-02	0		
Ca^{2+}	3.35E-02	3.35E-02	0		
Al^{3+}	1.50E-05	1.50E-05	0		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Fe^{3+}	1.23E-05	1.23E-05	0		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.64E-07	0		
Sr^{2+}	4.79E-04	4.79E-04	0		
$CaCO_3$	5.97E-01	5.97E-01	5.97E-80		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	5.14E-06	0		
SO_4^{2-}	2.47E-01	2.47E-01	0		
NH_4^+	4.23E-05	4.23E-05	0		
Cl_2	2.14E-13	4.52E-17	2.14E-13		

ตารางที่ 10 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 3 (EV-103)

Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
CO_2	1.07E-08	9.50E-11	1.06E-08		
PO_4^{3-}	1.03E-06	1.03E-06	0		
$CaCO_3(s)$	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3(s)$	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2(s)$	0	0	0		
$MnCl_2(s)$	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnSO_4(s)$	0	0	0		
$CaF_2(s)$	0	0	0		
$AlCl_3(s)$	0	0	0		
$BaCl_2(s)$	0	0	0		
$CaCl_2(s)$	0	0	0		
Total	64.3382	52.6910	11.6472	64.3382	64.3382

ตารางที่ 11 แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 4 (EV-104)

	Liquid phase	Liquid phase	Vapor phase		
Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	4.59E+01	3.40E+01	1.20E+01		
Na^+	9.99E-01	9.99E-01	0		
Cl^-	1.76E+00	1.76E+00	0		
F^-	9.25E-05	9.25E-05	0		
Mg^{2+}	1.05E-01	1.05E-01	0		
K^+	3.54E-02	3.54E-02	0		
Ca^{2+}	3.35E-02	3.35E-02	0		
Al^{3+}	1.50E-05	1.50E-05	0		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Fe^{3+}	1.23E-05	1.23E-05	0		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.64E-07	0		
Sr^{2+}	4.79E-04	4.79E-04	0		
$CaCO_3$	5.97E-01	5.97E-01	1.21E-79		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	5.14E-06	0		
SO_4^{2-}	2.47E-01	2.47E-01	0		
NH_4^+	4.23E-05	4.23E-05	0		
Cl_2	3.62E-17	0	0		
CO_2	7.61E-11	5.04E-13	7.56E-11		

ตารางที่ 11 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 4 (EV-104)

Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
PO_4^{3-}	1.03E-06	1.03E-06	0		
$CaCO_3(s)$	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3(s)$	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2(s)$	0	0	0		
$MnCl_2(s)$	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnSO_4(s)$	0	0	0		
$CaF_2(s)$	0	0	0		
$AlCl_3(s)$	0	0	0		
$BaCl_2(s)$	0	0	0		
$CaCl_2(s)$	0	0	0		
Total	49.7011	37.7405	11.9607	49.7011	49.7011

ตารางที่ 12 แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 5 (EV-105)

	Liquid phase	Liquid phase	Vapor phase		
Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	3.09E+01	1.87E+01	1.22E+01		
Na^+	9.99E-01	9.99E-01	0		
Cl^-	1.76E+00	1.76E+00	0		
F^-	9.25E-05	9.25E-05	0		
Mg^{2+}	1.05E-01	1.05E-01	0		
K^+	3.54E-02	3.54E-02	0		
Ca^{2+}	3.35E-02	3.35E-02	0		
Al^{3+}	1.50E-05	1.50E-05	0		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Fe^{3+}	1.23E-05	1.23E-05	0		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.76E-06	0		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.64E-07	0		
Sr^{2+}	4.79E-04	4.79E-04	0		
$CaCO_3$	5.97E-01	5.97E-01	3.62E-79		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	5.14E-06	0		
SO_4^{2-}	2.47E-01	2.47E-01	0		
NH_4^+	4.23E-05	4.23E-05	0		
Cl_2	0	0	0		
CO_2	4.03E-13	1.58E-15	4.02E-13		

ตารางที่ 12 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Evaporator

Evaporator Effect 5 (EV-105)

Component	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
PO_4^{3-}	1.03E-06	1.03E-06	0		
$CaCO_3(s)$	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3(s)$	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2(s)$	0	0	0		
$MnCl_2(s)$	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnSO_4(s)$	0	0	0		
$CaF_2(s)$	0	0	0		
$AlCl_3(s)$	0	0	0		
$BaCl_2(s)$	0	0	0		
$CaCl_2(s)$	0	0	0		
Total	34.6944	22.5099	12.1856	34.6944	34.6955

ตารางที่ 13 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M1)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	1.55E+01	7.29E+01	8.84E+01		
Na^+	2.00E-01	7.99E-01	9.99E-01		
Cl^-	3.51E-01	1.41E+00	1.76E+00		
F^-	1.85E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	2.11E-02	8.42E-02	0		
K^+	7.08E-03	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	6.70E-03	2.68E-02	0		
Al^{3+}	3.00E-06	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	2.47E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	5.29E-08	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	9.59E-05	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	1.19E-01	4.77E-01	5.97E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	1.03E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	4.94E-02	1.98E-01	0		
NH_4^+	8.46E-06	3.38E-05	0		
Cl_2	2.08E-10	2.28E-06	2.28E-06		
CO_2	3.02E-07	1.14E-04	1.14E-04		
PO_4^{3-}	2.06E-07	8.22E-07	0		

ตารางที่ 13 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M1)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	16.2698	75.9430	92.2129	92.2128	92.2129

ตารางที่ 14 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M2)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	1.27E+01	6.21E+01	7.48E+01		
Na^+	2.00E-01	7.99E-01	9.99E-01		
Cl^-	3.51E-01	1.41E+00	1.76E+00		
F^-	1.85E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	2.11E-02	8.42E-02	0		
K^+	7.08E-03	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	6.70E-03	2.68E-02	0		
Al^{3+}	3.00E-06	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	2.47E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	5.29E-08	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	9.59E-05	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	1.19E-01	4.77E-01	5.97E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	1.03E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	4.94E-02	1.98E-01	0		
NH_4^+	8.46E-06	3.38E-05	0		
Cl_2	5.36E-14	8.31E-10	8.31E-10		
CO_2	2.67E-09	1.21E-06	1.21E-06		
PO_4^{3-}	2.06E-07	8.22E-07	0		

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M2)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	13.4501	65.0793	78.5294	78.5294	78.5294

ตารางที่ 15 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M3)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	9.78E+00	5.08E+01	6.06E+01		
Na^+	2.00E-01	7.99E-01	9.99E-01		
Cl^-	3.51E-01	1.41E+00	1.76E+00		
F^-	1.85E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	2.11E-02	8.42E-02	0		
K^+	7.08E-03	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	6.70E-03	2.68E-02	0		
Al^{3+}	3.00E-06	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	2.47E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	5.29E-08	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	9.59E-05	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	1.19E-01	4.77E-01	5.97E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	1.03E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	4.94E-02	1.98E-01	0		
NH_4^+	8.46E-06	3.38E-05	0		
Cl_2	9.04E-18	2.14E-13	2.14E-13		
CO_2	1.90E-11	1.07E-08	1.07E-08		
PO_4^{3-}	2.06E-07	8.22E-07	0		

ตารางที่ 15 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M3)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	10.5384	53.7998	64.3382	64.3382	64.3382

ตารางที่ 16 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M4)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	6.79E+00	3.91E+01	4.59E+01		
Na^+	2.00E-01	7.99E-01	9.99E-01		
Cl^-	3.51E-01	1.41E+00	1.76E+00		
F^-	1.85E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	2.11E-02	8.42E-02	0		
K^+	7.08E-03	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	6.70E-03	2.68E-02	0		
Al^{3+}	3.00E-06	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	2.47E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	5.29E-08	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	9.59E-05	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	1.19E-01	4.77E-01	5.97E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	1.03E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	4.94E-02	1.98E-01	0		
NH_4^+	8.46E-06	3.38E-05	0		
Cl_2	0.00E+00	3.62E-17	3.62E-17		
CO_2	1.01E-13	7.60E-11	7.61E-11		
PO_4^{3-}	2.06E-07	8.22E-07	0		

ตารางที่ 16 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M4)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	7.5483	42.1528	49.7011	49.7011	49.7011

ตารางที่ 17 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M5)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	3.75E+00	2.72E+01	3.09E+01		
Na^+	2.00E-01	7.99E-01	9.99E-01		
Cl^-	3.51E-01	1.41E+00	1.76E+00		
F^-	1.85E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	2.11E-02	8.42E-02	0		
K^+	7.08E-03	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	6.70E-03	2.68E-02	0		
Al^{3+}	3.00E-06	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	2.47E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	3.52E-07	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	5.29E-08	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	9.59E-05	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	1.19E-01	4.77E-01	5.97E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	1.03E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	4.94E-02	1.98E-01	0		
NH_4^+	8.46E-06	3.38E-05	0		
Cl_2	0	0	0		
CO_2	3.16E-16	4.03E-13	4.03E-13		
PO_4^{3-}	2.06E-07	8.22E-07	0		

ตารางที่ 17 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M5)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	4.5020	30.1924	34.6944	34.6944	34.6944

ตารางที่ 18 แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M6)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of inlet3 (kg/s)	Mass flow of inlet4 (kg/s)	Mass flow of inlet5 (kg/s)	Mass flow of inlet6 (kg/s)	Mass flow of inlet7 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	1.11E+00	1.09E+01	1.13E+01	1.16E+01	1.20E+01	8.53E+00	3.66E+00	5.90E+01		
Na^+	0	0	0	0	0	0	0	0		
Cl^-	0	0	0	0	0	0	0	0		
F^-	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mg^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
K^+	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ca^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
Al^{3+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ba^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
Fe^{3+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mn^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		

ตารางที่ 18 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M6)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of inlet3 (kg/s)	Mass flow of inlet4 (kg/s)	Mass flow of inlet5 (kg/s)	Mass flow of inlet6 (kg/s)	Mass flow of inlet7 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
Zn^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sr^{2+}	0	0	0	0	0	0	0	0		
$CaCO_3$	0	2.33E-80	3.54E-80	5.97E-80	1.21E-79	2.53E-79	1.09E-79	6.01E-79		
SiO_2	0	0	0	0	0	0	0	0		
NO_3^-	0	0	0	0	0	0	0	0		
SO_4^{2-}	0	0	0	0	0	0	0	0		
NH_4^+	0	0	0	0	0	0	0	0		
Cl_2	0	2.28E-06	8.31E-10	2.14E-13	0	0	0	2.28E-06		
CO_2	0	1.13E-04	1.20E-06	1.06E-08	7.56E-11	2.81E-13	1.20E-13	1.14E-04		
PO_4^{3-}	0	0	0	0	0	0	0	0		
$CaCO_3$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		

ตารางที่ 18 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M6)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of inlet3 (kg/s)	Mass flow of inlet4 (kg/s)	Mass flow of inlet5 (kg/s)	Mass flow of inlet6 (kg/s)	Mass flow of inlet7 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$FeCl_3$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
KF(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		

ตารางที่ 18 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Mixer

Mixer (M6)

Component	Mass flow of inlet1 (kg/s)	Mass flow of inlet2 (kg/s)	Mass flow of inlet3 (kg/s)	Mass flow of inlet4 (kg/s)	Mass flow of inlet5 (kg/s)	Mass flow of inlet6 (kg/s)	Mass flow of inlet7 (kg/s)	Mass flow of outlet (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCl_2$(s)	0	0	0	0	0	0	0	0		
Total	1.1111	10.8637	11.2796	11.6472	11.9607	8.5299	3.6557	59.0479	59.0479	59.0479

ตารางที่ 19 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP1)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	7.76E+01	1.55E+01	6.21E+01		
Na^+	9.99E-01	2.00E-01	7.99E-01		
Cl^-	1.76E+00	3.51E-01	1.41E+00		
F^-	9.25E-05	1.85E-05	7.40E-05		
Mg^{2+}	1.05E-01	2.11E-02	8.42E-02		
K^+	3.54E-02	7.08E-03	2.83E-02		
Ca^{2+}	3.35E-02	6.70E-03	2.68E-02		
Al^{3+}	1.50E-05	3.00E-06	1.20E-05		
Ba^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Fe^{3+}	1.23E-05	2.47E-06	9.87E-06		
Mn^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Zn^{2+}	2.64E-07	5.29E-08	2.11E-07		
Sr^{2+}	4.79E-04	9.59E-05	3.83E-04		
$CaCO_3$	5.97E-01	1.19E-01	4.77E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	1.03E-06	4.11E-06		
SO_4^{2-}	2.47E-01	4.94E-02	1.98E-01		
NH_4^+	4.23E-05	8.46E-06	3.38E-05		
Cl_2	1.04E-09	2.08E-10	8.31E-10		
CO_2	1.51E-06	3.02E-07	1.21E-06		
PO_4^{3-}	1.03E-06	2.06E-07	8.22E-07		

ตารางที่ 19 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP1)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	81.3491	16.2698	65.0793	81.3491	81.3491

ตารางที่ 20 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP2)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	6.35E+01	1.27E+01	5.08E+01		
Na^+	9.99E-01	2.00E-01	7.99E-01		
Cl^-	1.76E+00	3.51E-01	1.41E+00		
F^-	9.25E-05	1.85E-05	7.40E-05		
Mg^{2+}	1.05E-01	2.11E-02	8.42E-02		
K^+	3.54E-02	7.08E-03	2.83E-02		
Ca^{2+}	3.35E-02	6.70E-03	2.68E-02		
Al^{3+}	1.50E-05	3.00E-06	1.20E-05		
Ba^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Fe^{3+}	1.23E-05	2.47E-06	9.87E-06		
Mn^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Zn^{2+}	2.64E-07	5.29E-08	2.11E-07		
Sr^{2+}	4.79E-04	9.59E-05	3.83E-04		
$CaCO_3$	5.97E-01	1.19E-01	4.77E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	1.03E-06	4.11E-06		
SO_4^{2-}	2.47E-01	4.94E-02	1.98E-01		
NH_4^+	4.23E-05	8.46E-06	3.38E-05		
Cl_2	2.68E-13	5.36E-14	2.14E-13		
CO_2	1.34E-08	2.67E-09	1.07E-08		
PO_4^{3-}	1.03E-06	2.06E-07	8.22E-07		

ตารางที่ 20 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP2)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	67.2498	13.4501	53.7998	67.2499	67.2499

ตารางที่ 21 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP3)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	4.89E+01	9.78E+00	3.91E+01		
Na^+	9.99E-01	2.00E-01	7.99E-01		
Cl^-	1.76E+00	3.51E-01	1.41E+00		
F^-	9.25E-05	1.85E-05	7.40E-05		
Mg^{2+}	1.05E-01	2.11E-02	8.42E-02		
K^+	3.54E-02	7.08E-03	2.83E-02		
Ca^{2+}	3.35E-02	6.70E-03	2.68E-02		
Al^{3+}	1.50E-05	3.00E-06	1.20E-05		
Ba^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Fe^{3+}	1.23E-05	2.47E-06	9.87E-06		
Mn^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Zn^{2+}	2.64E-07	5.29E-08	2.11E-07		
Sr^{2+}	4.79E-04	9.59E-05	3.83E-04		
$CaCO_3$	5.97E-01	1.19E-01	4.77E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	1.03E-06	4.11E-06		
SO_4^{2-}	2.47E-01	4.94E-02	1.98E-01		
NH_4^+	4.23E-05	8.46E-06	3.38E-05		
Cl_2	4.52E-17	9.04E-18	3.62E-17		
CO_2	9.50E-11	1.90E-11	7.60E-11		
PO_4^{3-}	1.03E-06	2.06E-07	8.22E-07		

ตารางที่ 21 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP3)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	52.6910	10.5384	42.1528	52.6910	52.6910

ตารางที่ 22 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP4)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	3.40E+01	6.79E+00	2.72E+01		
Na^+	9.99E-01	2.00E-01	7.99E-01		
Cl^-	1.76E+00	3.51E-01	1.41E+00		
F^-	9.25E-05	1.85E-05	7.40E-05		
Mg^{2+}	1.05E-01	2.11E-02	8.42E-02		
K^+	3.54E-02	7.08E-03	2.83E-02		
Ca^{2+}	3.35E-02	6.70E-03	2.68E-02		
Al^{3+}	1.50E-05	3.00E-06	1.20E-05		
Ba^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Fe^{3+}	1.23E-05	2.47E-06	9.87E-06		
Mn^{2+}	1.76E-06	3.52E-07	1.41E-06		
Zn^{2+}	2.64E-07	5.29E-08	2.11E-07		
Sr^{2+}	4.79E-04	9.59E-05	3.83E-04		
$CaCO_3$	5.97E-01	1.19E-01	4.77E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	1.03E-06	4.11E-06		
SO_4^{2-}	2.47E-01	4.94E-02	1.98E-01		
NH_4^+	4.23E-05	8.46E-06	3.38E-05		
Cl_2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
CO_2	5.04E-13	1.01E-13	4.03E-13		
PO_4^{3-}	1.03E-06	2.06E-07	8.22E-07		

ตารางที่ 22 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP4)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	37.7405	7.5483	30.1924	37.7405	37.7405

ตารางที่ 23 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP5)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	1.87E+01	1.50E+01	3.75E+00		
Na^+	9.99E-01	7.99E-01	2.00E-01		
Cl^-	1.76E+00	1.41E+00	3.51E-01		
F^-	9.25E-05	7.40E-05	1.85E-05		
Mg^{2+}	1.05E-01	8.42E-02	2.11E-02		
K^+	3.54E-02	2.83E-02	7.08E-03		
Ca^{2+}	3.35E-02	2.68E-02	6.70E-03		
Al^{3+}	1.50E-05	1.20E-05	3.00E-06		
Ba^{2+}	1.76E-06	1.41E-06	3.52E-07		
Fe^{3+}	1.23E-05	9.87E-06	2.47E-06		
Mn^{2+}	1.76E-06	1.41E-06	3.52E-07		
Zn^{2+}	2.64E-07	2.11E-07	5.29E-08		
Sr^{2+}	4.79E-04	3.83E-04	9.59E-05		
$CaCO_3$	5.97E-01	4.77E-01	1.19E-01		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	5.14E-06	4.11E-06	1.03E-06		
SO_4^{2-}	2.47E-01	1.98E-01	4.94E-02		
NH_4^+	4.23E-05	3.38E-05	8.46E-06		
Cl_2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
CO_2	1.58E-15	1.27E-15	3.16E-16		
PO_4^{3-}	1.03E-06	8.22E-07	2.06E-07		

ตารางที่ 23 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP5)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	22.5099	18.0079	4.5020	22.5099	22.5099

ตารางที่ 24 แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP6)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	1.22E+01	8.53E+00	3.66E+00		
Na^+	0	0	0		
Cl^-	0	0	0		
F^-	0	0	0		
Mg^{2+}	0	0	0		
K^+	0	0	0		
Ca^{2+}	0	0	0		
Al^{3+}	0	0	0		
Ba^{2+}	0	0	0		
Fe^{3+}	0	0	0		
Mn^{2+}	0	0	0		
Zn^{2+}	0	0	0		
Sr^{2+}	0	0	0		
$CaCO_3$	3.62E-79	2.53E-79	1.09E-79		
SiO_2	0	0	0		
NO_3^-	0	0	0		
SO_4^{2-}	0	0	0		
NH_4^+	0	0	0		
Cl_2	0	0	0		
CO_2	4.02E-13	2.81E-13	1.20E-13		
PO_4^{3-}	0	0	0		

ตารางที่ 24 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Splitter

Splitter (SP6)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
$CaCO_3$(s)	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3$(s)	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2$(s)	0	0	0		
$MnCl_2$(s)	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnCl_2$(s)	0	0	0		
$ZnSO_4$(s)	0	0	0		
CaF_2(s)	0	0	0		
$AlCl_3$(s)	0	0	0		
$BaCl_2$(s)	0	0	0		
$CaCl_2$(s)	0	0	0		
Total	12.1856	8.5299	3.6557	12.1856	12.1856

ตารางที่ 25 แสดง Material Balances ใน Centrifuge

Centrifuge (X-201)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
H_2O	7.29E+01	7.29E+01	0		
Na^+	7.99E-01	7.99E-01	0		
Cl^-	1.41E+00	1.41E+00	0		
F^-	7.40E-05	7.40E-05	0		
Mg^{2+}	8.42E-02	8.42E-02	0		
K^+	2.83E-02	2.83E-02	0		
Ca^{2+}	2.68E-02	2.68E-02	0		
Al^{3+}	1.20E-05	1.20E-05	0		
Ba^{2+}	1.41E-06	1.41E-06	0		
Fe^{3+}	9.87E-06	9.87E-06	0		
Mn^{2+}	1.41E-06	1.41E-06	0		
Zn^{2+}	2.11E-07	2.11E-07	0		
Sr^{2+}	3.83E-04	3.83E-04	0		
$CaCO_3$	4.77E-01	4.77E-01	0		
SiO_2	3.79E-05	0	3.79E-05		
NO_3^-	4.11E-06	4.11E-06	0		
SO_4^{2-}	1.98E-01	1.98E-01	0		
NH_4^+	3.38E-05	3.38E-05	0		
Cl_2	2.28E-06	2.28E-06	0		
CO_2	1.14E-04	1.14E-04	0		

ตารางที่ 25 (ต่อ) แสดง Material Balances ใน Centrifuge

Centrifuge (X-201)

Component	Mass flow of inlet (kg/s)	Mass flow of outlet1 (kg/s)	Mass flow of outlet2 (kg/s)	Material input (kg/s)	Material output (kg/s)
PO_4^{3-}	8.22E-07	8.22E-07	0		
$CaCO_3(s)$	0	0	0		
NaCl(s)	0	0	0		
$FeCl_3(s)$	0	0	0		
KCl(s)	0	0	0		
KF(s)	0	0	0		
$MgCl_2(s)$	0	0	0		
$MnCl_2(s)$	0	0	0		
NaF(s)	0	0	0		
$SrCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnCl_2(s)$	0	0	0		
$ZnSO_4(s)$	0	0	0		
$CaF_2(s)$	0	0	0		
$AlCl_3(s)$	0	0	0		
$BaCl_2(s)$	0	0	0		
$CaCl_2(s)$	0	0	0		
Total	75.94301	75.94297	0.00004	75.94301	75.94301

Energy Balances

การคำนวณ Energy Balances (ตารางที่ 26 – 46) ทำเพื่อหาปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการหรืองานที่ต้องการ ในการดำเนินกระบวนการผ่านเครื่องมือ ต่าง ๆ และเป็นการตรวจสอบว่าพลังงานที่เข้าและออกกระบวนมีความสมดุลกัน

ตารางที่ 26 แสดง Energy Balances รอบ Evaporator

Evaporator (EV-101)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	92.21	- 15,213	- 1,402,793		
Outlet1	Liquid	81.35	- 15,174		- 1,234,422	
Outlet2	Vapor	10.86	- 13,312		- 144,619	
Total				- 1,402,793	- 1,379,040	23,752

ตารางที่ 27 แสดง Energy Balances รอบ Evaporator

Evaporator (EV-102)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	78.53	- 15,161	- 1,190,616		
Outlet1	Liquid	67.25	- 15,100		- 1,015,478	
Outlet2	Vapor	11.28	- 13,319		- 150,235	
Total				- 1,190,616	- 1,165,713	24,903

ตารางที่ 28 แสดง Energy Balances รอบ Evaporator

Evaporator (EV-103)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	64.34	- 15,079	- 970,184		
Outlet1	Liquid	52.69	- 14,974		- 788,996	
Outlet2	Vapor	11.65	- 13,327		- 155,225	
Total				- 970,184	- 944,220	25,963

ตารางที่ 29 แสดง Energy Balances รอบ Evaporator

Evaporator (EV-104)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	49.70	- 14,937	- 742,386		
Outlet1	Liquid	37.74	- 14,730		- 555,932	
Outlet2	Vapor	11.96	- 13,336		- 159,513	
Total				- 742,386	- 715,444	26,942

ตารางที่ 30 แสดง Energy Balances รอบ Evaporator

Evaporator (EV-105)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	34.69	- 14,651	- 508,319		
Outlet1	Liquid	12.19	- 13,347		- 162,635	
Outlet2	Vapor	22.51	- 14,121		- 317,872	
Total				- 508,319	- 480,507	27,812

ตารางที่ 31 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-101)

78.99 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.7000	0.0827	19,138	24,230
Outlet Stream	3.0133	0.0827		

ตารางที่ 32 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-102)

77.60 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.5999	0.0680	680	876
Outlet Stream	0.7000	0.0680		

ตารางที่ 33 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-103)

75.68 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.4999	0.0528	528	698
Outlet Stream	0.6000	0.0528		

ตารางที่ 34 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-104)

72.80 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.4000	0.0373	373	512
Outlet Stream	0.5000	0.0373		

ตารางที่ 36 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-105)

68.05 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.3000	0.0224	224	329
Outlet Stream	0.4000	0.0224		

ตารางที่ 37 แสดง Energy Balances รอบ Pump

Pump (P-106)

76.58 % eff

	Pressure (bar)	Volume flow (m^3/s)	Pump power (W)	Pump power (W)
Inlet Stream	0.0380	0.0593	35,413	46,241
Outlet Stream	6.0133	0.0593		

ตารางที่ 38 แสดง Energy Balances รอบ Heater

Heater (E-102)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Liquid	75.9430	- 15,485	- 1,175,955		
Outlet1	Liquid	75.9430	- 15,221		- 1,155,911	
Total				- 1,175,955	- 1,155,911	20,044

ตารางที่ 39 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (XEV-101)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	7.7778	- 12,714	- 98,885		
Outlet1	Liquid	7.7778	- 15,768		- 122,637	
Total				- 98,885	- 122,637	- 23,752

ตารางที่ 40 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (XEV-102)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	10.8637	- 13,312	- 144,619		
Outlet1	Liquid	10.8637	- 15,604		- 169,522	
Total				- 144,619	- 169,522	- 24,903

ตารางที่ 41 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (XEV-103)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	11.2796	- 13,319	- 150,235		
Outlet1	Liquid	11.2796	- 15,621		- 176,198	
Total				- 150,235	- 176,198	- 25,963

ตารางที่ 42 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (XEV-104)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	11.6472	- 13,327	- 155,225		
Outlet1	Liquid	11.6472	- 15,640		- 182,167	
Total				- 155,225	- 182,167	- 26,942

ตารางที่ 43 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (XEV-105)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	11.9607	- 13,336	- 159,513		
Outlet1	Liquid	11.9607	- 15,663		- 187,345	
Total				- 159,513	- 187,345	- 27,832

ตารางที่ 44 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (E-101)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	8.5299	- 13,347	- 113,845		
Outlet1	Liquid	8.5299	- 15,696		- 133,889	
Total				- 113,845	- 133,889	- 20,044

ตารางที่ 45 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (E-201)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Vapor	3.6557	- 13,347	- 48,791		
Outlet1	Liquid	3.6557	- 15,692		- 57,366	
Total				- 48,791	- 57,366	- 8,575

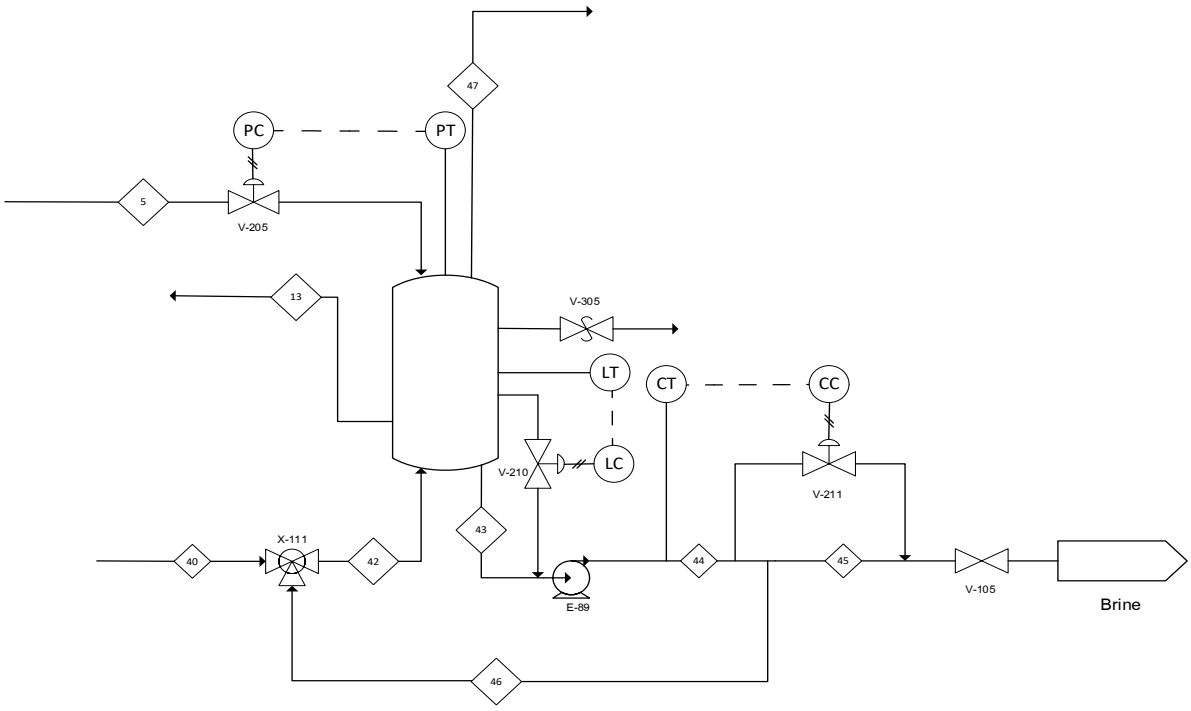
ตารางที่ 46 แสดง Energy Balances รอบ Cooler

Cooler (E-301)

	Phase	Mass flow (kg/s)	Mass Enthalpy (kJ/kg)	Energy In (kW)	Energy Out (kW)	Heat input (kW)
Inlet1	Mixed	59.0479	- 15,631	- 923,004		
Outlet1	Liquid	59.0479	- 15,863		- 936,693	
Total				- 923,004	- 936,693	- 13,690

Preliminary Piping and Instrument Design (P&ID)

จากรูปด้านล่างจะพบว่าที่เครื่องระเหยตัวที่ 5 มีการติดตั้งวาล์วอยู่ 2 ชนิด คือ วาล์วควบคุม (Control valve) และวาล์วนิรภัย (Safety valve) โดยในส่วนของวาล์วควบคุมที่ใช้มีอยู่ 3 แบบ คือ 1. วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control valve: V-205) ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันในเครื่องระเหยสูงจนเกินไป 2. วาล์วควบคุมระดับของไหล (Level control valve: V-210) ถูกนำมาใช้เพื่อไม่ให้ระดับน้ำสูงท่วมเครื่องระเหย 3. วาล์วควบคุมความเข้มข้น (Concentration control valve: V-211) ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมความเข้มข้นของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำ นับว่าเป็นหนึ่งในการควบคุมมลพิษก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยวาล์วควบคุมความเข้มข้นจะถูกนำมาใช้แค่ในเครื่องระเหยตัวที่ 5 เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน ลำดับต่อมา วาล์วนิรภัยถูกติดตั้งไว้ใช้หากเกิดอุบัติเหตุที่ไม่คาดฝันขึ้น เช่น ความดันในเครื่องระเหยสูงเกินไปจนควบคุมไม่ทัน เป็นต้น



Utility Requirements

เซลล์สุริยะ

เซลล์สุริยะ ให้พลังงาน 1700 watts/m^3 [14]

ขนาด 1.6 m^2/แผ่น กว้าง 99 ยาว 164 cm โดยวางทำมุม 30 องศากับพื้นระนาบ

ตารางที่ 47 แสดงจำนวนแผ่นเซลล์สุริยะที่ใช้ในกระบวนการผลิต กรณีที่ประสิทธิภาพ 40 %

Steam (kg/hr)	Heat requirement (kW)	Area requirement (m^2)	จำนวนแผ่นเซลล์สุริยะที่ต้องใช้
4,000	3,393	29,940	18,440
6,000	18,662	27,445	16,904
8,000	16,966	24,950	15,367
10,000	15,269	22,455	13,830
12,000	13,573	19,960	12,294

ตารางที่ 48 แสดงจำนวนแผ่นเซลล์สุริยะที่ใช้ในกระบวนการผลิต กรณีที่ Steam เท่ากับ 4,000 (kg/hr)

Efficiency	Energy from solar cell (W/m^2)	Heat requirement (kW)	Area requirement (m^2)	จำนวนแผ่นเซลล์สุริยะที่ต้องใช้
40	680	3,393	29,940	18,440.35
30	510	3,393	39,920	24,587.14
20	340	3,393	59,880	36,880.71
10	170	3,393	119,759	73,761.41

ไอน้ำ

ใช้ในการให้ความร้อนในกระบวนการระเหยน้ำออกจากน้ำทะเลที่ Evaporator Effect โดย Steam มีราคา 950 Baht/ton และมีสภาวะ ดังนี้ อุณหภูมิ 420 °C ความดัน 43 barg

พลังงานไฟฟ้า

ใช้ในการขับเคลื่อน Motor ของ Pump และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในรูปของงานที่ขับเพลา จากนั้นจึงเปลี่ยนพลังงานมาให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวสามารถเพิ่มความดันไปสู่สภาวะการทำงานที่ต้องการได้ เช่น Product water ต้องมีความดันที่ 5 barg เป็นต้น โดยราคาของค่าไฟฟ้าที่ซื้อขาย มีราคา 3.7 Baht/unit

Equipment list

ตารางที่ 49 แสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานพร้อมบอกประเภทและวัสดุที่ใช้

NO.	ITEM NO.	NAME	TYPE	Material
1	EV-101	1st Evaporator	Vertical tube	Single effect; stain less steel long, short tube
2	EV-102	2nd Evaporator	Vertical tube	Single effect; stain less steel long, short tube
3	EV-103	3rd Evaporator	Vertical tube	Single effect; stain less steel long, short tube
4	EV-104	4th Evaporator	Vertical tube	Single effect; stain less steel long, short tube
5	EV-105	5th Evaporator	Vertical tube	Single effect; stain less steel long, short tube
6	V-101	Globe valve	-	Stainless Steel
7	V-102	Globe valve	-	Stainless Steel
8	V-103	Globe valve	-	Stainless Steel
9	V-104	Globe valve	-	Stainless Steel
10	V-105	Globe valve	-	Stainless Steel
11	V-201	Control valve	-	Stainless Steel
12	V-202	Control valve	-	Stainless Steel
13	V-203	Control valve	-	Stainless Steel
14	V-204	Control valve	-	Stainless Steel

ตารางที่ 49 (ต่อ) แสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานพร้อมบอกประเภทและวัสดุที่ใช้

NO.	ITEM NO.	NAME	TYPE	Material
15	V-205	Control valve	-	Stainless Steel
16	V-206	Control valve	-	Stainless Steel
17	V-207	Control valve	-	Stainless Steel
18	V-208	Control valve	-	Stainless Steel
19	V-209	Control valve	-	Stainless Steel
20	V-210	Control valve	-	Stainless Steel
21	V-211	Control valve	-	Stainless Steel
22	V-301	Safety valve	-	Stainless Steel
23	V-302	Safety valve	-	Stainless Steel
24	V-303	Safety valve	-	Stainless Steel
25	V-304	Safety valve	-	Stainless Steel
26	V-305	Safety valve	-	Stainless Steel
27	X-101	Mixing valve	-	Stainless Steel
28	X-102	Mixing valve	-	Stainless Steel
29	X-103	Mixing valve	-	Stainless Steel
30	X-104	Mixing valve	-	Stainless Steel
31	X-105	Mixing valve	-	Stainless Steel

ตารางที่ 49 (ต่อ) แสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานพร้อมบอกประเภทและวัสดุที่ใช้

NO.	ITEM NO.	NAME	TYPE	Material
32	X-106	Mixing valve	-	Stainless Steel
33	X-107	Mixing valve	-	Stainless Steel
34	X-108	Mixing valve	-	Stainless Steel
35	X-109	Mixing valve	-	Stainless Steel
36	X-110	Mixing valve	-	Stainless Steel
37	X-111	Mixing valve	-	Stainless Steel
38	X-201	Mixing valve	-	Stainless Steel
39	E-101	Heat exchanger	Shell and tube	Stainless Steel
40	E-201	Cooler	-	Mild steel
41	E-202	Cooler	-	Mild steel
42	TK-101	Tank	-	Stainless Steel
43	X-201	Centrifuge	Solid- bowl	Stainless Steel
44	P-101	Pump	Miscellaneous	Mild steel
45	P-102	Pump	Miscellaneous	Mild steel
46	P-103	Pump	Miscellaneous	Mild steel
47	P-104	Pump	Miscellaneous	Mild steel
48	P-105	Pump	Miscellaneous	Mild steel
49	Solar field	Solar cell	Solar tower	Silicon, Gallium Arsenide, Indium Phosphide, Cadmium Telluride

Equipment Specification Sheets

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง ข้อมูลจำเพาะต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ แสดงในตารางที่ 50 - 52

ตารางที่ 50 แสดง Specification of Evaporator

Equipment Number: EV-101			
Name: Evaporator			
General Data			
Service: Evaporator			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Steam Tube Material: Carbon Steel			
Capacity [kW]: 23752			
Heat Exchanger Area [m^2]: 67.47			
Overall Heat Transfer Coefficient [W/m^2-K]: 2500			
Process Conditions			
	Inlet	Vapor Outlet	Liquid Outlet
Temperature [°C]	93.51	90.52	90.52
Pressure [bar]	3.01	0.70	0.70
Mass Vapor Fraction	0.00	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	92.21	10.86	81.35
Density [kg/m^3]	979.17	0.42	983.27
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15213	-13312	-15174

ตารางที่ 50 (ต่อ) แสดง Specification of Evaporator

Equipment Number: EV-102			
Name: Evaporator			
General Data			
Service: Evaporator			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Steam Tube Material: Carbon Steel			
Capacity [kW]: 24903			
Heat Exchanger Area [m^2]: 2375			
Overall Heat Transfer Coefficient [W/m^2-K]: 2500			
Process Conditions			
	Inlet	Vapor Outlet	Liquid Outlet
Temperature [°C]	89.92	86.62	86.62
Pressure [bar]	0.70	0.60	0.60
Mass Vapor Fraction	0.00	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	78.53	11.28	67.25
Density [kg/m^3]	984.33	0.36	989.69
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15161	-13319	-15100

ตารางที่ 50 (ต่อ) แสดง Specification of Evaporator

Equipment Number: EV-103			
Name: Evaporator			
General Data			
Service: Evaporator			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Steam Tube Material: Carbon Steel			
Capacity [kW]: 25963			
Heat Exchanger Area [m^2]: 1992			
Overall Heat Transfer Coefficient [W/m^2-K]: 2500			
Process Conditions			
	Inlet	Vapor Outlet	Liquid Outlet
Temperature [°C]	85.91	82.20	82.20
Pressure [bar]	0.60	0.50	0.50
Mass Vapor Fraction	0.00	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	64.34	11.65	52.69
Density [kg/m^3]	991.15	0.31	998.61
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15079	-13327	-14974

ตารางที่ 50 (ต่อ) แสดง Specification of Evaporator

Equipment Number: EV-104			
Name: Evaporator			
General Data			
Service: Evaporator			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Steam Tube Material: Carbon Steel			
Capacity [kW]: 26942			
Heat Exchanger Area [m^2]: 2077			
Overall Heat Transfer Coefficient [W/m^2-K]: 2500			
Process Conditions			
	Inlet	Vapor Outlet	Liquid Outlet
Temperature [°C]	81.46	77.13	77.13
Pressure [bar]	0.50	0.40	0.40
Mass Vapor Fraction	0.00	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	49.70	11.96	37.74
Density [kg/m^3]	1000.75	0.25	1012.78
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-14937	-13336	-14730

ตารางที่ 50 (ต่อ) แสดง Specification of Evaporator

Equipment Number: EV-105			
Name: Evaporator			
General Data			
Service: Evaporator			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Steam Tube Material: Carbon Steel			
Capacity [kW]: 27832			
Heat Exchanger Area [m^2]: 2155			
Overall Heat Transfer Coefficient [W/m^2-K]: 2500			
Process Conditions			
	Inlet	Vapor Outlet	Liquid Outlet
Temperature [°C]	76.48	71.59	71.59
Pressure [bar]	0.40	0.30	0.30
Mass Vapor Fraction	0.00	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	34.69	12.19	22.51
Density [kg/m^3]	1016.57	0.19	1042.17
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-14651	-13347	-14121

ตารางที่ 51 แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-101		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 19.13		
Net Work Required [kW]: 24.23		
Efficiency : 0.7899		
Discharge Pressure [bar]: 3.01		
Pressure Change [bar]: 2.31		
Head Developed [m]: 23.99		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	90.52	90.55
Pressure [bar]	0.70	3.01
Volume Flows [m^3/s]	0.0827	0.0827
Mass Flows [kg/s]	81.35	81.35
Density [kg/m^3]	983.27	983.35
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15174	-15174

ตารางที่ 51 (ต่อ) แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-102		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 0.68		
Net Work Required [kW]: 0.88		
Efficiency : 0.7760		
Discharge Pressure [bar]: 0.70		
Pressure Change [bar]: 0.10		
Head Developed [m]: 1.03		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	86.62	86.62
Pressure [bar]	0.60	0.70
Volume Flows [m^3/s]	0.0680	0.0680
Mass Flows [kg/s]	67.25	67.25
Density [kg/m^3]	989.69	989.69
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15100	-15100

ตารางที่ 51 (ต่อ) แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-103		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 0.53		
Net Work Required [kW]: 0.70		
Efficiency : 0.7568		
Discharge Pressure [bar]: 0.6		
Pressure Change [bar]: 0.1		
Head Developed [m]: 1.02		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	82.20	82.20
Pressure [bar]	0.50	0.60
Volume Flows [m^3/s]	0.0528	0.0528
Mass Flows [kg/s]	52.69	52.69
Density [kg/m^3]	998.61	998.61
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-14974	-14974

ตารางที่ 51 (ต่อ) แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-104		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 0.37		
Net Work Required [kW]: 0.51		
Efficiency : 0.7280		
Discharge Pressure [bar]: 0.5		
Pressure Change [bar]: 0.1		
Head Developed [m]: 1.01		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	77.13	77.13
Pressure [bar]	0.40	0.50
Volume Flows [m^3/s]	0.0373	0.0373
Mass Flows [kg/s]	37.74	37.74
Density [kg/m^3]	1012.78	1012.78
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-14730	-14730

ตารางที่ 51 (ต่อ) แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-105		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 0.22		
Net Work Required [kW]: 0.33		
Efficiency : 0.6805		
Discharge Pressure [bar]: 0.4		
Pressure Change [bar]: 0.1		
Head Developed [m]: 1.01		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	71.59	71.59
Pressure [bar]	0.30	0.40
Volume Flows [m^3/s]	0.0216	0.0216
Mass Flows [kg/s]	22.51	22.51
Density [kg/m^3]	1042.17	1042.17
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-14121	-14121

ตารางที่ 51 (ต่อ) แสดง Specification of Pump

Equipment Number: P-106		
Name: Pump		
General Data		
Type: Miscellaneous		
Position: Horizontal		
Material: Stainless		
Fluid Power [kW]: 35.41		
Net Work Required [kW]: 46.24		
Efficiency : 0.7658		
Discharge Pressure [bar]: 6.01		
Pressure Change [bar]: 5.98		
Head Developed [m]: 61.16		
Process Conditions		
	Inlet	Outlet
Temperature [°C]	28.00	28.06
Pressure [bar]	0.04	6.01
Volume Flows [m^3/s]	0.0593	0.0593
Mass Flows [kg/s]	59.05	59.05
Density [kg/m^3]	996.31	996.56
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15863	-15862

ตารางที่ 52 แสดง Specification of Centrifuge

Equipment Number: X-201			
Name: Centrifuge			
General Data			
Service: Separation Solid from Liquid			
Position: Vertical			
Column Material: Stainless			
Fraction of Solids to Solid Outlet : 1			
Fraction of Liquids to Liquid Outlet : 1 Number of Disc : 1			
Process Conditions			
	Inlet	Solid Outlet	Liquid Outlet
Temperature [oC]	28.00	28.00	28.00
Pressure [bar]	3.01	2.91	2.91
Mass Solid Fraction	5.00E-07	1.00	0.00
Mass Flows [kg/s]	75.94301	3.79460E-05	75.94297
Density [kg/m3]	1012.58	2648.03	1012.57
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-15485	-15155	-15485

Equipment Cost Summary

ตารางและรูปด้านล่างแสดงราคาทั้ง 8 กรณีที่มี Steam และ Efficiency ของ Solar cell ที่แตกต่างกันและกรณีที่มีการใช้ไฟฟ้าแทน Solar cell [17]

ตารางที่ 53 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ Efficiency 40 %

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	228,199,372	-
Total	**251,988,264**	**1,326,157**

Installation cost = 37,997,163.07 Baht

Instrument cost = 25,331,442.04 Baht

Total Capital cost = 316,643,026 Baht

ตารางที่ 54 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 6,000 kg/hr และ efficiency 40 %

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	209,182,758	-
Total	**232,971,650**	**1,326,157**

Installation cost = 35,144,670.93 Baht

Instrument cost = 23,429,780.62 Baht

Total Capital cost = 292,872,258 Baht

ตารางที่ 55 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 8,000 kg/hr และ efficiency 40 %

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	190,166,144	-
Total	**213,955,036**	**1,326,157**

Installation cost = 32,292,178.83 Baht

Instrument cost = 21,528,119.22 Baht

Total Capital cost = 269,101,490 Baht

ตารางที่ 56 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 10,000 kg/hr และ efficiency 40 %

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	171,149,530	-
Total	**194,938,422**	**1,326,157**

Installation cost = 29,439,686.74 Baht

Instrument cost = 19,626,457.82 Baht

Total Capital cost = 245,330,723 Baht

ตารางที่ 57 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 12,000 kg/hr และ efficiency 40 %

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost (Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	152,132,916	-
Total	**175,921,808**	**1,326,157**

Installation cost = 26,587,194.64 Baht

Instrument cost = 17,724,796.43 Baht

Total Capital cost = 221,559,955 Baht

ตารางที่ 58 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 30 %

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	304,265,830	-
Total	**328,054,721**	**1,326,157**

Installation cost = 49,407,131.68 Baht

Instrument cost = 32,938,087.79 Baht

Total Capital cost = 411,726,097 Baht

ตารางที่ 59 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 20 %

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361
Tank	1,248,000	
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	456,398,745	-
Total	**480,187,636**	**1,326,157**

Installation cost = 72,227,068.91 Baht

Instrument cost = 48,151,379.27 Baht

Total Capital cost = 601,892,241 Baht

ตารางที่ 60 แสดง Equipment Cost กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 10 %

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Tank	1,248,000	
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Solar cell	912,797,489	-
Total	**936,586,381**	**1,326,157**

Installation cost = 140,686,880.58 Baht

Instrument cost = 93,791,253.72 Baht

Total Capital cost = 1,172,390,672 Baht

ตารางที่ 61 แสดง Equipment Cost กรณีที่ใช้ไฟฟ้าแทนเซลล์สุริยะ

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
Evaporator	12,800,000	-
Pump 1	32,000	-
Pump 2	102,400	-
Pump 3	89,600	-
Pump 4	35,200	-
Pump 5	32,000	-
Pump 6	32,000	-
Centrifuge	864,000	-
Stainless-steel piping		-
B3	62,992	8,399
B4	1,496,063	199,475
B5	78,740	10,499
B6	13,858	4,094
B7	32,336	9,554
B8	23,097	6,824
B11	78,740	10,499
B12	13,858	4,094
B13	23,097	6,824
B15	62,992	8,399
B16	32,336	9,554
B20	18,478	18,478
B20-4	18,478	18,478
B21	16	17
B21-4	23,097	6,824
B22	13,858	4,094

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
B22-4	13,858	4,094
B24	23,097	6,824
B24-4	23,097	6,824
B25	32,336	9,554
B25-4	32,336	9,554
B26	18,478	5,459
B27	23,097	6,824
B28	13,858	4,094
B29	23,097	6,824
B31	32,336	9,554
B45	8,924	4,724
PIPE2	8,924	4,724
Carbon-steel piping		
CAR1	33,855	1,638
CAR2	150,689	398,950
CAR3	338,441	7,874
CAR4	150,689	239,370
CAR5	338,441	7,874
CAR6	150,689	119,685
CAR7	338,441	7,874
CAR8	150,689	79,790
CAR9	338,441	7,874
CAR10	150,689	25,932
CAR11	338,441	2,310
CAR12	150,689	2,310
CAR13	150,689	2,310
CAR14	150,689	7,087
CAR15	150,689	7,087

Equipment	Cost(Baht)	Insulation (Baht)
CAR16	338,441	2,310
CAR17	549,661	361
CAR18	33,855	361
Tank	1,248,000	-
Mixer	1,056,000	-
Splitter	480,000	-
Cooler	576,000	-
Heater	192,000	-
Total	**23,788,892**	**1,326,157**

Installation cost = 3,767,257.23 Baht

Instrument cost = 2,511,504.82 Baht

Total Capital cost = 31,393,810 Baht

Design requirements

ตารางที่ 62 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 40 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	32,000	ton/year	950	Baht/ton	30,400,000
Electricity	583,092	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441
Rental cost of a filled land	6.82	Rai	500,000	Baht/Rai/year	3,409,828.
Seawater	2,160,000	m^3	0.5	Baht/m3	1,080,000
Total					**37,047,270**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 63 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 6,000 kg/hr และ efficiency 40 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	48,000	ton/year	950	Baht/ton	45,600,000.00
Electricity	583,092	unit/year	3.7	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	6.25	Rai	500,000	Baht/Rai/year	3,125,676.26
Seawater	2,160,000	m^3	0.5	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**51,963,118.21**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 64 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 8,000 kg/hr และ efficiency 40 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	64,000.00	ton/year	950.00	Baht/ton	60,800,000.00
Electricity	583,092.42	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	5.68	Rai	500,000.00	Baht/Rai/year	2,841,523.88
Seawater	2,160,000.00	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**66,878,965.83**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 65 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 10,000 kg/hr และ efficiency 40 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	80,000	ton/year	950	Baht/ton	76,000,000.00
Electricity	583,092	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	5.11	Rai	500,000	Baht/Rai/year	2,557,371.50
Seawater	2,160,000	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**81,794,813.44**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 66 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 12,000 kg/hr และ efficiency 40 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total (Baht)
Steam	96,000	ton/year	950	Baht/ton	91,200,000.00
Electricity	583,092	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	4.55	Rai	500,000	Baht/Rai/year	2,273,219.12
Seawater	2,160,000	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**96,710,661.06**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 67 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 30 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	32,000.00	ton/year	950.00	Baht/ton	30,400,000.00
Electricity	583,092.42	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	9.09	Rai	500,000.00	Baht/Rai/year	4,546,438.19
Seawater	2,160,000.00	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**38,183,880.14**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 68 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 20 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	32,000	ton/year	950	Baht/ton	30,400,000
Electricity	583,092	unit/year	4	Baht/unit	2,157,442
Rental cost of a filled land	13.64	Rai	500,000	Baht/Rai/year	6,819,657
Seawater	2,160,000	m^3	1	Baht/m3	1,080,000
Total					**40,457,099.24**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 69 แสดง Design requirements กรณีที่ Steam 4,000 kg/hr และ efficiency 10 %

	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	32,000.00	ton/year	950.00	Baht/ton	30,400,000.00
Electricity	583,092.42	unit/year	3.70	Baht/unit	2,157,441.95
Rental cost of a filled land	27.28	Rai	500,000.00	Baht/Rai/year	13,639,314.58
Seawater	2,160,000.00	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**47,276,756.53**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 70 แสดง Equipment Cost กรณีที่ใช้ไฟฟ้าแทนเซลล์สุริยะ

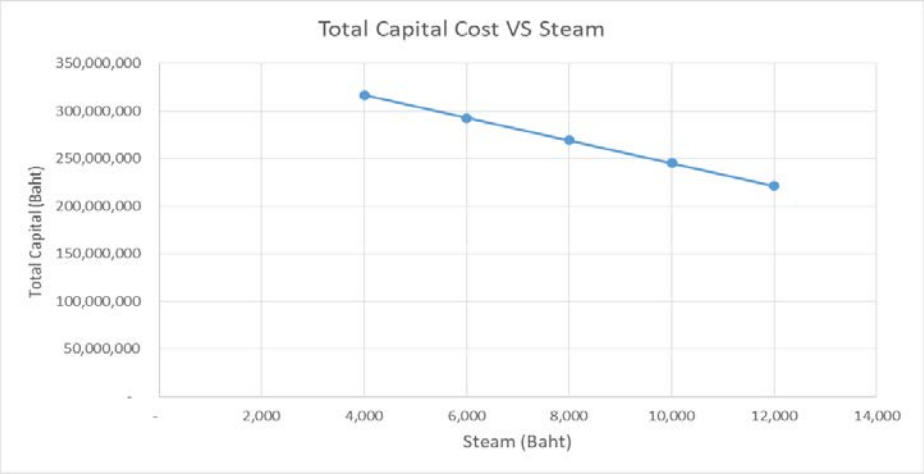
	Capacity	Unit	Cost per unit	Unit	Total
Steam	32,000.00	ton/year	950.00	Baht/ton	30,400,000.00
Electricity	163,455,373.98	unit/year	3.70	Baht/unit	604,784,883.73
Rental cost of a filled land	6.82	Rai	500,000.00	Baht/Rai/year	3,409,828.65
Seawater	2,160,000.00	m^3	0.50	Baht/m3	1,080,000.00
Total					**639,674,712.38**

Man power = 100,0000 Baht/year

Total Man power 25 year = 10,077,000.00 Bath

ตารางที่ 71 แสดงการเปรียบเทียบ Total Capital cost ที่ไอน้ำแตกต่างกัน

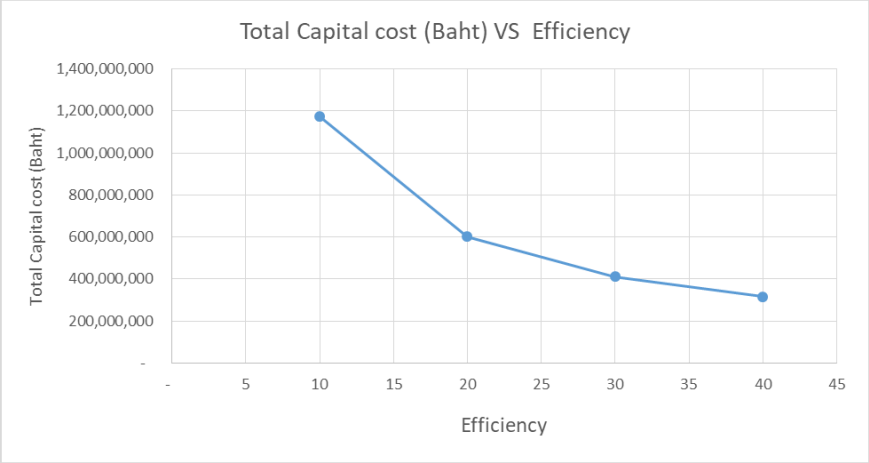
Steam (kg/hr)	Total Capital Cost (Baht)
4000	232,220,453.98
6000	105,749,598.41
8000	-10,644,257.73
10000	-127,038,114.06
12000	-243,431,970.38



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Total Capital Cost กับ Steam

ตารางที่ 72 แสดงการเปรียบเทียบ Total Capital cost ที่ efficiency ของเซลล์สุริยะแตกต่างกัน

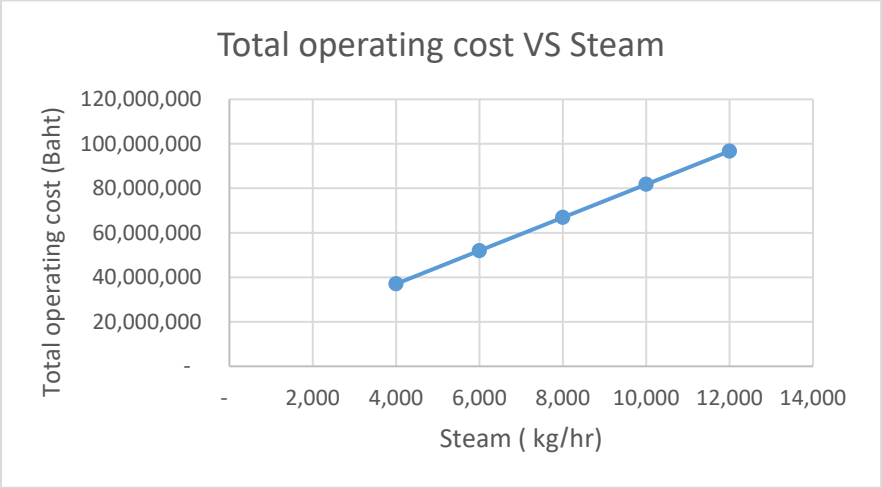
Efficiency	Total Capital cost (Baht)
40	316,643,026
30	411,726,097
20	601,892,241
10	1,172,390,672



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Total Capital Cost กับ Efficiency

ตารางที่ 73 แสดงการเปรียบเทียบ Total operating cost ที่ไอน้ำของเซลล์สุริยะที่แตกต่างกัน

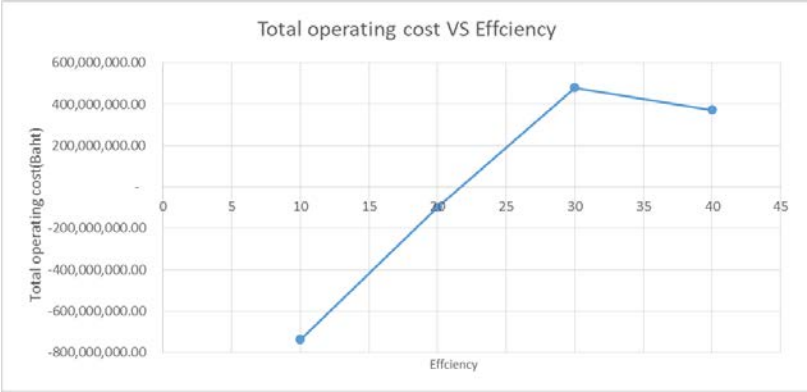
Steam	Total operating cost (Baht)
4,000	37,047,271
6,000	51,963,118
8,000	66,878,966
10,000	81,794,813
12,000	96,710,661



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Total operating cost กับ efficiency

ตารางที่ 74 แสดงการเปรียบเทียบ Total operating cost ที่ Efficiency ของเซลล์สุริยะ

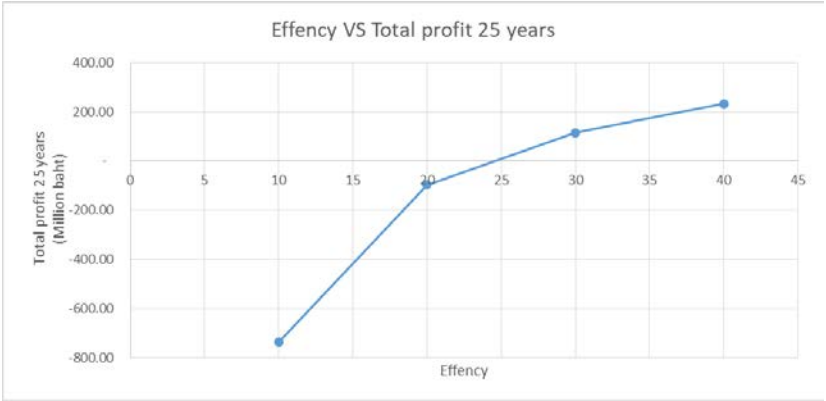
Efficiency	Total operating cost (Baht)
40	465,664,589
30	592,442,018
20	-251,109,011
10	-1,011,773,585



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Total operating cost กับ efficiency

ตารางที่ 75 แสดงการเปรียบเทียบ Total profit 25 year ที่ Efficiency ของเซลล์สุริยะที่แตกต่างกัน

Efficacy	Total profit 25 year (Baht)
40	232,220,453.98
30	115,606,767.79
20	- 97,466,604.60
10	- 736,686,721.76



รูปที่ 16 Total profit 25 year ที่ Efficiency ของ solar cell ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 76 แสดงการเปรียบเทียบ Total profit 25 year ที่ Steam ของเซลล์สุริยะที่แตกต่างกัน

Steam	Total profit 25 year
4000	232,220,453.98
6000	105,749,598.41
8000	- 10,644,257.73
10000	- 127,038,114.06
12000	- 243,431,970.38

รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบ Total profit 25 year ที่ steam ที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

WACC (Weighted Average Cost of Capital) คือ ต้นทุนทางการเงินเฉลี่ยของเงินทุน มีประโยชน์เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าควรลงทุนหรือไม่ควรลงทุนในโครงการใดบ้างของบริษัท [19]

รายงานฉบับนี้ใช้ WACC 10 %

กรณีที่ Steam 4000 kg/hr และ efficiency 40 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables) [18]

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 316,643,026 Baht

ราคา Operating cost = 5,567,270.59 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 5, 5,567,270.59* 9.077 + 316,643,026 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 539,145,015.59 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 31,480,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 31,480,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 282,847,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 539,145,015.59 + 282,847,800.00 + 20,154,000.00 = 697,149,211.32 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total (Baht/year)
Product water	1706455.263	60	**102,387,315.78**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 929,369,665.31 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 929,369,665.31 - 697,149,211.32 = 232,220,453.98 Baht

ตารางที่ 77 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	316.64	1.00	2.16	2.27	1.08	30.40	35.91	352.55	-	-352.55
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	30.40	75.41	423.72	102.39	-321.33
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	30.40	118.86	502.00	215.01	-286.99
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	30.40	166.66	588.11	338.90	-249.21
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	30.40	219.24	682.84	475.18	-207.66
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	30.40	277.07	787.03	625.08	-161.94
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	30.40	340.69	901.64	789.98	-111.66

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	30.40	410.67	1,027.72	971.37	-56.35
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	30.40	487.65	1,166.40	1,170.89	4.49
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	30.40	572.32	1,318.95	1,390.37	71.42
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	30.40	665.47	1,486.76	1,631.79	145.03
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	30.40	767.92	1,671.34	1,897.36	226.01
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	30.40	880.63	1,874.39	2,189.48	315.09
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	30.40	1,004.60	2,097.74	2,510.81	413.08
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	30.40	1,140.97	2,343.42	2,864.28	520.86

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	30.40	1,290.98	2,613.68	3,253.10	639.42
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	30.40	1,455.99	2,910.95	3,680.80	769.84
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	30.40	1,637.50	3,237.96	4,151.26	913.30
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	30.40	1,837.16	3,597.67	4,668.78	1,071.11
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	30.40	2,056.78	3,993.34	5,238.04	1,244.70
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	30.40	2,298.37	4,428.59	5,864.23	1,435.65
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	30.40	2,564.12	4,907.36	6,553.04	1,645.69
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	30.40	2,856.44	5,434.00	7,310.74	1,876.73

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	30.40	3,178.00	6,013.31	8,144.20	2,130.88
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	30.40	3,531.71	6,650.56	9,061.00	2,410.45
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	3,889.31	7,320.04	10,069.49	2,749.45

กรณีที่ Steam 6000 kg/hr และ efficiency 40 %

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 292,872,258 Baht

ราคา Operating cost = 5,283,118.21 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 5,283,118.21 * 9.077 + 292,872,258 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 346,110,239.92 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 46,680,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 46,680,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 419,419,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 346,110,239.92 + 419,419,800.00 + 20,154,000.00

= 832,364,039.92 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total (Baht/year)
Product water	1722510.445	60	**103350626.7**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 938,113,638.33 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 938,113,638.33 - 832,364,039.92 = 105,749,598.41 Baht

ตารางที่ 78 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	292.87	1.00	2.16	2.27	1.08	45.60	51.11	343.98	-	-343.98
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	45.60	107.33	429.49	102.39	-327.10
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	45.60	169.18	523.55	215.01	-308.54
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	45.60	237.20	627.02	338.90	-288.12
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	45.60	312.04	740.83	475.18	-265.65
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	45.60	394.35	866.02	625.08	-240.94
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	45.60	484.90	1,003.74	789.98	-213.76

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	45.60	584.50	1,155.22	971.37	-183.86
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	45.60	694.06	1,321.85	1,170.89	-150.96
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	45.60	814.57	1,505.15	1,390.37	-114.78
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	45.60	947.14	1,706.78	1,631.79	-74.99
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	45.60	1,092.96	1,928.56	1,897.36	-31.21
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	45.60	1,253.37	2,172.53	2,189.48	16.95
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	45.60	1,429.82	2,440.89	2,510.81	69.92
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	45.60	1,623.91	2,736.09	2,864.28	128.19

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	45.60	1,837.41	3,060.81	3,253.10	192.28
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	45.60	2,072.27	3,418.01	3,680.80	262.79
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	45.60	2,330.60	3,810.92	4,151.26	340.35
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	45.60	2,614.77	4,243.12	4,668.78	425.66
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	45.60	2,927.36	4,718.54	5,238.04	519.50
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	45.60	3,271.21	5,241.51	5,864.23	622.73
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	45.60	3,649.44	5,816.77	6,553.04	736.27
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	45.60	4,065.50	6,449.56	7,310.74	861.18

year	Capital cost (Million baht)	$(1+i)^N$	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	45.60	4,523.16	7,145.62	8,144.20	998.57
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	45.60	5,026.58	7,911.30	9,061.00	1,149.71
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	5,533.67	8,706.86	10,069.49	1,362.63

กรณีที่ Steam 8000 kg/hr และ efficiency 40 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 269,101,490 Baht

ราคา Operating cost = 4,998,965.83 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 4,998,965.83 * 9.077 + 407,016,612.49 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 319,476,068.90 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 61,880,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 61,880,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 555,991,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1000000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 555,991,800.00 + 319,476,068.90 + 20,154,000.00

= 957,501,868.90 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total (Baht/year)
Product water	1738565.626	60	**104,313,937.6**

Total income ต่อหนึ่งปี = 104,313,937.6 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 946,857,611.17 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 946,857,611.17 - 957,501,868.90 = -10,644,257.73 Baht

ตารางที่ 79 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	269.10	1.00	2.16	2.27	1.08	60.80	66.31	335.41	-	-335.41
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	60.80	139.25	435.26	102.39	-332.88
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	60.80	219.49	545.10	215.01	-330.09
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	60.80	307.75	665.92	338.90	-327.02
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	60.80	404.83	798.82	475.18	-323.65
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	60.80	511.63	945.02	625.08	-319.93
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	60.80	629.10	1,105.83	789.98	-315.85

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	60.80	758.32	1,282.72	971.37	-311.36
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	60.80	900.46	1,477.31	1,170.89	-306.42
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	60.80	1,056.82	1,691.35	1,390.37	-300.98
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	60.80	1,228.81	1,926.79	1,631.79	-295.00
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	60.80	1,418.01	2,185.78	1,897.36	-288.43
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	60.80	1,626.12	2,470.67	2,189.48	-281.19
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	60.80	1,855.04	2,784.05	2,510.81	-273.24
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	60.80	2,106.85	3,128.77	2,864.28	-264.48

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	60.80	2,383.85	3,507.95	3,253.10	-254.85
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	60.80	2,688.55	3,925.06	3,680.80	-244.26
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	60.80	3,023.71	4,383.88	4,151.26	-232.61
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	60.80	3,392.39	4,888.58	4,668.78	-219.80
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	60.80	3,797.94	5,443.74	5,238.04	-205.70
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	60.80	4,244.05	6,054.43	5,864.23	-190.19
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	60.80	4,734.76	6,726.18	6,553.04	-173.14
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	60.80	5,274.55	7,465.11	7,310.74	-154.37

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	60.80	5,868.32	8,277.93	8,144.20	-133.74
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	60.80	6,521.46	9,172.04	9,061.00	-111.03
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	7,178.04	10,093.67	10,069.49	-24.18

กรณีที่ Steam 10000 kg/hr และ efficiency 40 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 245,330,723 Baht

ราคา Operating cost = 4,714,813.44 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 4,714,813.44 * 9.077 + 245,330,723 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 292,841,897.88 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 77,080,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 61,880,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 692,563,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1000000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 424,200,149.39 + 692,563,800.00 + 20,154,000.00

= 1,082,639,697.88 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1754620.807	60	**105,277,248.41**

Total income ต่อหนึ่งปี = 104,313,937.6 * 9.077 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 946,857,611.17 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 946,857,611.17 - 1,082,639,697.88 = -127,038,114.06 Baht

ตารางที่ 80 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	245.33	1.00	2.16	2.27	1.08	76.00	81.51	326.84	-	-326.84
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	76.00	171.17	441.04	102.39	-338.65
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	76.00	269.80	566.65	215.01	-351.64
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	76.00	378.29	704.83	338.90	-365.92
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	76.00	497.63	856.82	475.18	-381.64
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	76.00	628.90	1,024.01	625.08	-398.93
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	76.00	773.31	1,207.92	789.98	-417.94

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	76.00	932.15	1,410.23	971.37	-438.86
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	76.00	1,106.87	1,632.76	1,170.89	-461.87
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	76.00	1,299.07	1,877.55	1,390.37	-487.18
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	76.00	1,510.49	2,146.81	1,631.79	-515.02
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	76.00	1,743.05	2,443.00	1,897.36	-545.65
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	76.00	1,998.86	2,768.82	2,189.48	-579.34
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	76.00	2,280.26	3,127.21	2,510.81	-616.39
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	76.00	2,589.80	3,521.44	2,864.28	-657.16

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	76.00	2,930.29	3,955.09	3,253.10	-701.99
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	76.00	3,304.83	4,432.11	3,680.80	-751.32
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	76.00	3,716.82	4,956.84	4,151.26	-805.57
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	76.00	4,170.01	5,534.03	4,668.78	-865.25
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	76.00	4,668.52	6,168.94	5,238.04	-930.90
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	76.00	5,216.89	6,867.35	5,864.23	-1,003.12
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	76.00	5,820.09	7,635.59	6,553.04	-1,082.55
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	76.00	6,483.60	8,480.66	7,310.74	-1,169.93

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	76.00	7,213.48	9,410.24	8,144.20	-1,266.04
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	76.00	8,016.33	10,432.78	9,061.00	-1,371.77
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	8,822.40	11,480.48	10,069.49	-1,410.99

กรณีที่ Steam 12000 kg/hr และ efficiency 40 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 221,559,955 Baht

ราคา Operating cost = 4,430,661.06 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 54,430,661.06 * 9.077 + 330,386,701.30 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 266,207,726.85 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 92,280,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 92,280,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 829,135,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1000000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 266,207,726.85 + 829,135,800.00+ 20,154,000.00

= 1,327,454,993.81 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1770675.988	60	**106,240,559.27**

Total income ต่อหนึ่งปี = 106,240,559.27 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 964,345,556.48 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 964,345,556.48 - 1,327,454,993.81 = -243,431,970.38 Baht

ตารางที่ 81 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	221.56	1.00	2.16	2.27	1.08	76.00	81.51	303.07	-	-303.07
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	76.00	171.17	414.89	102.39	-312.50
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	76.00	269.80	537.89	215.01	-322.87
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	76.00	378.29	673.19	338.90	-334.29
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	76.00	497.63	822.02	475.18	-346.84
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	76.00	628.90	985.73	625.08	-360.64
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	91.20	788.51	1,181.01	789.98	-391.03

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	91.20	964.07	1,395.82	971.37	-424.46
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	91.20	1,157.18	1,632.12	1,170.89	-461.23
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	91.20	1,369.61	1,892.04	1,390.37	-501.67
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	91.20	1,603.29	2,177.95	1,631.79	-546.16
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	91.20	1,860.32	2,492.46	1,897.36	-595.10
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	91.20	2,143.07	2,838.42	2,189.48	-648.94
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	91.20	2,454.08	3,218.97	2,510.81	-708.16
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	91.20	2,796.20	3,637.58	2,864.28	-773.29

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	91.20	3,172.54	4,098.05	3,253.10	-844.95
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	91.20	3,586.50	4,604.56	3,680.80	-923.76
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	91.20	4,041.86	5,161.73	4,151.26	-1,010.46
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	91.20	4,542.76	5,774.61	4,668.78	-1,105.83
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	91.20	5,093.74	6,448.78	5,238.04	-1,210.74
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	91.20	5,699.83	7,190.37	5,864.23	-1,326.14
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	91.20	6,366.52	8,006.12	6,553.04	-1,453.08
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	91.20	7,099.88	8,903.44	7,310.74	-1,592.71

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	91.20	7,906.58	9,890.50	8,144.20	-1,746.30
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	91.20	8,793.95	10,976.26	9,061.00	-1,915.25
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	9,677.78	12,078.31	10,069.49	-2,008.82

กรณีที่ Steam 4000 kg/hr และ efficiency 30 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 411,726,097 Baht

ราคา Operating cost = 6703880.141 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 6703880.141 * 9.077 + 411,726,097 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 479,281,097.52 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 31,480,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 31,480,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 282,847,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 479,281,097.52 + 282,847,800.00 + 20,154,000.00

= 813,762,897.52 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1706455.263	60	**102,387,315.78**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 929,369,665.31 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 929,369,665.31 - 813,762,897.52 = 115,606,767.79 Baht

ตารางที่ 82 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	411.73	1.00	2.16	2.27	1.08	30.40	35.91	447.64	-	-447.64
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	30.40	75.41	528.31	102.39	-425.92
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	30.40	118.86	617.05	215.01	-402.04
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	30.40	166.66	714.67	338.90	-375.77
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	30.40	219.24	822.05	475.18	-346.87
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	30.40	277.07	940.16	625.08	-315.08
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	30.40	340.69	1,070.09	789.98	-280.11

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	30.40	410.67	1,213.01	971.37	-241.64
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	30.40	487.65	1,370.22	1,170.89	-199.33
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	30.40	572.32	1,543.15	1,390.37	-152.79
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	30.40	665.47	1,733.38	1,631.79	-101.59
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	30.40	767.92	1,942.63	1,897.36	-45.27
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	30.40	880.63	2,172.80	2,189.48	16.68
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	30.40	1,004.60	2,425.99	2,510.81	84.82
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	30.40	1,140.97	2,704.50	2,864.28	159.78

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	30.40	1,290.98	3,010.86	3,253.10	242.24
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	30.40	1,455.99	3,347.86	3,680.80	332.94
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	30.40	1,637.50	3,718.55	4,151.26	432.71
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	30.40	1,837.16	4,126.32	4,668.78	542.46
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	30.40	2,056.78	4,574.86	5,238.04	663.18
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	30.40	2,298.37	5,068.26	5,864.23	795.97
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	30.40	2,564.12	5,611.00	6,553.04	942.05
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	30.40	2,856.44	6,208.01	7,310.74	1,102.73

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	30.40	3,178.00	6,864.72	8,144.20	1,279.48
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	30.40	3,531.71	7,587.10	9,061.00	1,473.90
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	3,889.31	8,350.24	10,069.49	1,719.25

กรณีที่ Steam 4000 kg/hr และ efficiency 20 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 601,892,241 Baht

ราคา Operating cost = 8977099.238 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 8977099.238 * 9.077 + 601,892,241 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 692,354,469.90 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 31,480,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 31,480,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 282,847,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 692,354,469.90 + 282,847,800.00 + 20,154,000.00

= 1,026,836,269.90 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1706455.263	60	**102,387,315.78**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 929,369,665.31 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 929,369,665.31 - 1,026,836,269.90 = -97,466,604.60 Baht

ตารางที่ 83 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	601.89	1.00	2.16	2.27	1.08	30.40	35.91	637.80	-	-637.80
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	30.40	75.41	737.49	102.39	-635.11
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	30.40	118.86	847.15	215.01	-632.14
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	30.40	166.66	967.78	338.90	-628.88
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	30.40	219.24	1,100.47	475.18	-625.29
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	30.40	277.07	1,246.43	625.08	-621.34
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	30.40	340.69	1,406.98	789.98	-617.00

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	30.40	410.67	1,583.59	971.37	-612.22
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	30.40	487.65	1,777.86	1,170.89	-606.97
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	30.40	572.32	1,991.55	1,390.37	-601.19
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	30.40	665.47	2,226.62	1,631.79	-594.83
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	30.40	767.92	2,485.19	1,897.36	-587.84
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	30.40	880.63	2,769.62	2,189.48	-580.14
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	30.40	1,004.60	3,082.50	2,510.81	-571.68
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	30.40	1,140.97	3,426.66	2,864.28	-562.37

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	30.40	1,290.98	3,805.23	3,253.10	-552.13
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	30.40	1,455.99	4,221.67	3,680.80	-540.87
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	30.40	1,637.50	4,679.74	4,151.26	-528.48
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	30.40	1,837.16	5,183.63	4,668.78	-514.85
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	30.40	2,056.78	5,737.90	5,238.04	-499.86
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	30.40	2,298.37	6,347.60	5,864.23	-483.37
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	30.40	2,564.12	7,018.27	6,553.04	-465.23
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	30.40	2,856.44	7,756.01	7,310.74	-445.28

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	30.40	3,178.00	8,567.52	8,144.20	-423.33
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	30.40	3,531.71	9,460.19	9,061.00	-399.18
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	3,889.31	10,410.63	10,069.49	-341.14

กรณีที่ Steam 4000 kg/hr และ efficiency 10 %

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 1,172,390,672 Baht

ราคา Operating cost = 15,796,756.53 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 15,796,756.53 * 9.077 + 1,172,390,672 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 1,331,574,587.07 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 31,480,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 31,480,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 282,847,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 1,331,574,587.07 + 282,847,800.00 + 20,154,000.00

= 1,666,056,387.07 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1706455.263	60	**102,387,315.78**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 929,369,665.31 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 1,666,056,387.07 - 929,369,665.31 = -736,686,721.76 Baht

ตารางที่ 84 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	1,172.39	1.00	2.16	2.27	1.08	30.40	35.91	1,208.30	-	-1,208.30
1	-	1.10	2.16	2.27	1.08	30.40	75.41	1,365.04	102.39	-1,262.65
2	-	1.21	2.16	2.27	1.08	30.40	118.86	1,537.46	215.01	-1,322.44
3	-	1.33	2.16	2.27	1.08	30.40	166.66	1,727.11	338.90	-1,388.21
4	-	1.46	2.16	2.27	1.08	30.40	219.24	1,935.74	475.18	-1,460.56
5	-	1.61	2.16	2.27	1.08	30.40	277.07	2,165.22	625.08	-1,540.13
6	-	1.77	2.16	2.27	1.08	30.40	340.69	2,417.65	789.98	-1,627.67

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
7	-	1.95	2.16	2.27	1.08	30.40	410.67	2,695.33	971.37	-1,723.96
8	-	2.14	2.16	2.27	1.08	30.40	487.65	3,000.77	1,170.89	-1,829.88
9	-	2.36	2.16	2.27	1.08	30.40	572.32	3,336.76	1,390.37	-1,946.39
10	-	2.59	2.16	2.27	1.08	30.40	665.47	3,706.35	1,631.79	-2,074.56
11	-	2.85	2.16	2.27	1.08	30.40	767.92	4,112.89	1,897.36	-2,215.53
12	-	3.14	2.16	2.27	1.08	30.40	880.63	4,560.09	2,189.48	-2,370.61
13	-	3.45	2.16	2.27	1.08	30.40	1,004.60	5,052.01	2,510.81	-2,541.20
14	-	3.80	2.16	2.27	1.08	30.40	1,140.97	5,593.12	2,864.28	-2,728.84

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
15	-	4.18	2.16	2.27	1.08	30.40	1,290.98	6,188.35	3,253.10	-2,935.25
16	-	4.59	2.16	2.27	1.08	30.40	1,455.99	6,843.09	3,680.80	-3,162.29
17	-	5.05	2.16	2.27	1.08	30.40	1,637.50	7,563.31	4,151.26	-3,412.05
18	-	5.56	2.16	2.27	1.08	30.40	1,837.16	8,355.55	4,668.78	-3,686.78
19	-	6.12	2.16	2.27	1.08	30.40	2,056.78	9,227.02	5,238.04	-3,988.98
20	-	6.73	2.16	2.27	1.08	30.40	2,298.37	10,185.63	5,864.23	-4,321.40
21	-	7.40	2.16	2.27	1.08	30.40	2,564.12	11,240.10	6,553.04	-4,687.06
22	-	8.14	2.16	2.27	1.08	30.40	2,856.44	12,400.02	7,310.74	-5,089.29

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	2.16	2.27	1.08	30.40	3,178.00	13,675.94	8,144.20	-5,531.74
24	-	9.85	2.16	2.27	1.08	30.40	3,531.71	15,079.44	9,061.00	-6,018.44
25	-	10.83	2.16	2.27	-	-	3,889.31	16,591.82	10,069.49	-6,522.33

กรณีที่ใช้ไฟฟ้าแทนเซลล์สุริยะ

คิดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ 25 ปีแบบ Present worth

จาก Present worth = P*(P/A,10 %,25)

(P/A,10 %,25) = 9.077 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

(P/A,10 %,24) = 8.985 (อ้างอิงจาก Appendix: Compound interest tables)

ราคา Capital Cost = 31,393,810 Baht

ราคา Operating cost = 608,194,712.38 Baht/year

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 608,194,712.38 * 9.077 + 31,393,810 Baht

ราคา Operating cost รวมทั้ง 25 ปีคือ = 6,160,171,926.85 Baht

โดยมีการลงทุนซื้อ Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี ตั้งแต่ปีที่ 1-24

ราคารวม Steam และน้ำทะเลในแต่ละปี = 31,480,000.00 Baht/year

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 31,480,000.00 * 8.985 Baht

ราคารวม Steam และน้ำทะเลทั้งหมด 24 ปี = 282,847,800.00 Baht

มีการจ้างคนงานรวมทั้งหมด 10 คน

Man power = 1,000,000 Baht/year

Total Man power 25 year = 20,154,000.00 Bath

ราคารวมที่ใช้ในการลงทุนกระบวนการนี้ทั้งหมด 25 ปี = 6,160,171,926.85 + 282,847,800.00 + 20,154,000.00

= 6,484,576,726.85 Baht

Income

Sold	m^3	Baht/m^3	Total
Product water	1706455.263	60	**102,387,315.78**

Total income ต่อหนึ่งปี = 102,387,315.78 Baht

Total income รวมทั้ง 25 ปี = 929,369,665.31 Baht

กำไรที่ได้ทั้งหมด 25 ปี = 929,369,665.31 - 6,484,576,726.85 = -5,555,207,061.54 Baht

ตารางที่ 85 Present worth ในแต่ละปี

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
0	31.39	1.00	604.78	2.27	1.08	30.40	638.54	669.93	-	-669.93
1	-	1.10	604.78	2.27	1.08	30.40	1,340.93	1,375.46	102.39	-1,273.08
2	-	1.21	604.78	2.27	1.08	30.40	2,113.56	2,151.55	215.01	-1,936.53
3	-	1.33	604.78	2.27	1.08	30.40	2,963.46	3,005.24	338.90	-2,666.34
4	-	1.46	604.78	2.27	1.08	30.40	3,898.34	3,944.30	475.18	-3,469.12

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
5	-	1.61	604.78	2.27	1.08	30.40	4,926.71	4,977.27	625.08	-4,352.19
6	-	1.77	604.78	2.27	1.08	30.40	6,057.92	6,113.54	789.98	-5,323.56
7	-	1.95	604.78	2.27	1.08	30.40	7,302.25	7,363.43	971.37	-6,392.06
8	-	2.14	604.78	2.27	1.08	30.40	8,671.01	8,738.31	1,170.89	-7,567.42
9	-	2.36	604.78	2.27	1.08	30.40	10,176.65	10,250.68	1,390.37	-8,860.31
10	-	2.59	604.78	2.27	1.08	30.40	11,832.86	11,914.28	1,631.79	-10,282.49

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
11	-	2.85	604.78	2.27	1.08	30.40	13,654.68	13,744.25	1,897.36	-11,846.89
12	-	3.14	604.78	2.27	1.08	30.40	15,658.69	15,757.21	2,189.48	-13,567.73
13	-	3.45	604.78	2.27	1.08	30.40	17,863.09	17,971.47	2,510.81	-15,460.66
14	-	3.80	604.78	2.27	1.08	30.40	20,287.94	20,407.16	2,864.28	17,542.87
15	-	4.18	604.78	2.27	1.08	30.40	22,955.27	23,086.41	3,253.10	-19,833.31
16	-	4.59	604.78	2.27	1.08	30.40	25,889.34	26,033.59	3,680.80	-22,352.80

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
17	-	5.05	604.78	2.27	1.08	30.40	29,116.81	29,275.49	4,151.26	-25,124.23
18	-	5.56	604.78	2.27	1.08	30.40	32,667.03	32,841.58	4,668.78	-28,172.80
19	-	6.12	604.78	2.27	1.08	30.40	36,572.27	36,764.27	5,238.04	-31,526.23
20	-	6.73	604.78	2.27	1.08	30.40	40,868.03	41,079.24	5,864.23	-35,215.00
21	-	7.40	604.78	2.27	1.08	30.40	45,593.38	45,825.70	6,553.04	-39,272.65
22	-	8.14	604.78	2.27	1.08	30.40	50,791.25	51,046.81	7,310.74	-43,736.07

year	Capital cost (Million baht)	(1+i)N	Electricity (Million baht)	Rental cost of a filled land (Million baht)	Seawater (Million baht)	Steam (Million baht)	Total Design requirements (Million baht)	Total cost expense (Million baht)	Product water (Million baht)	Income (Million baht)
23	-	8.95	604.78	2.27	1.08	30.40	56,508.92	56,790.02	8,144.20	-48,645.83
24	-	9.85	604.78	2.27	1.08	30.40	62,798.34	63,107.57	9,061.00	-54,046.56
25	-	10.83	604.78	2.27	-	-	69,685.24	70,025.38	10,069.49	-59,955.89

การพิจารณาด้านความปลอดภัย, สุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ความปลอดภัย

ประเมินสภาวะที่พบในโรงงาน

ในที่นี้แสดงเฉพาะอุณหภูมิและความดันที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่พบโรงงาน

รายการ	ค่า/ระดับ	ระดับความเสี่ยง	หมายเหตุ (ระบุแหล่ง)
ความดันที่พบ (psi)	285.72	มาก	สาย Water (53)
	4.35	น้อย	เครื่อง Evaporator ตัวที่ 5 (EV-105)
ระดับอุณหภูมิที่พบ (°C)	420	มาก	สาย Steam (1)
	28	น้อย	สาย Seawater (18) และ Water (53)

หมายเหตุ

1. ความดัน ระดับความเสี่ยง น้อยกว่า 15 psi = น้อย, 15 psi - 120 psi = ปานกลาง และมากกว่า 120 psi = มาก
2. อุณหภูมิ ระดับความเสี่ยง น้อยกว่า 50°C = น้อย, 50 °C - 100 °C = ปานกลาง และมากกว่า 100 °C = มาก

วิธีแก้ไขความดันที่สูงเกินไปคือ สร้างท่อให้มีความหนาเพื่อทนความดันที่เกิดขึ้น

วิธีแก้ไขอุณหภูมิที่สูงเกินไปคือ เลือกใช้วัสดุที่ทนความร้อนได้ดี เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีสมบัติทนความร้อนในช่วง 400 °C - 677 °C (ตารางที่ 9) มาใช้กับท่อ Steam ที่มีอุณหภูมิ 420 °C เป็นต้น

การควบคุมสภาวะที่ใช้ในโรงงาน

เนื่องจากความดันที่ใช้มีค่าสูง จึงมีการติดตั้งวาล์วควบคุมความดัน เพื่อป้องป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิดขึ้นเมื่อเครื่องระเหยมีความดันสูง นอกจากนี้ยังมีการควบคุมระดับของเหลวในเครื่องระเหยเพื่อไม่ให้ของไหลที่อยู่ในเครื่องระเหยล้นออกมา จนนำไปสู่การระเบิดของเครื่องระเหยได้

การออกแบบและเลือกใช้วัสดุในโรงงาน

ออกแบบให้ท่อที่ขนส่งแก๊สมีขนาดใหญ่และมีผนังที่หนาเพื่อรองรับความดันที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังมีการเลือกใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมในการขนส่งน้ำทะเล เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลได้ดีที่สุด (ตารางที่ 5) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ครบ 25 ปี สุดท้ายมีการหุ้มฉนวน

ในทุกท่อที่ใช้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและป้องกันอันตรายที่อาจได้รับจากการสัมผัสท่อที่มีอุณหภูมิสูง

สุขภาพ

ไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพในกระบวนแยกเกลือออกจากน้ำทะเล

สิ่งแวดล้อม

- ติดตั้งวาล์วควบคุมความเข้มข้นที่เครื่องระเหยตัวที่ 5 เพื่อควบคุมให้ของเสียมีองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด
- มีการนำน้ำทะเลมาผสมกับของเสียก่อนปล่อยลงสู่ทะเล
- ในกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลนี้ไม่มีการปล่อยแก๊สที่เป็นอันตรายออกสู่สิ่งแวดล้อม

Other Important Considerations

หน้า ๖
เล่ม ๑๓๔ ตอนพิเศษ ๒๘๖ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๒ พฤศจิกายน ๒๕๖๐

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต มลพิษที่เกิดขึ้น และเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

"สถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล" หมายความว่า สถานประกอบการที่จัดหาน้ำทำน้ำให้บริสุทธิ์ หรือจำหน่ายน้ำไปยังอาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรม เฉพาะที่ใช้น้ำทะเลเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต และระบายน้ำทิ้งลงสู่ทะเล

"น้ำทิ้ง" หมายความว่า น้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิตของสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล ที่จะระบายลงสู่ทะเล

ข้อ ๒ กำหนดความเร็วของน้ำบริเวณที่สูบเพื่อผลิตจะต้องไม่เกิน ๐.๑ เมตรต่อวินาที ปริมาตรในการสูบน้ำต้องไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของบริเวณชายฝั่ง และกำหนดให้ตำแหน่งที่สูบน้ำจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้สัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า ๙.๕ มิลลิเมตรเข้าสู่ระบบ

ข้อ ๓ กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล ดังต่อไปนี้

๓.๑ ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ ๖ ถึง ๘.๕

๓.๒ ของแข็งจมตัว (Settleable Solids) ไม่เกิน ๒ มิลลิลิตรต่อลิตร

๓.๓ ความขุ่น (Turbidity) ไม่เกิน ๑๐๐ เอ็นทียู (Nephelometric Turbidity Unit, NTU)

๓.๔ คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่เกิน ๐.๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

๓.๕ ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน ๑๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๔ การจัดการน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเลให้ใช้วิธีการอย่างหนึ่งอย่างใด ดังนี้

๔.๑ การระบายน้ำทิ้งด้วยท่อลอดลงสู่ทะเล (outfall) โดยจะต้องมีวิธีการเจือจางน้ำทิ้งเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม อย่างหนึ่งอย่างใด ดังนี้

(๑) การใช้หัวปล่อยแบบหลายช่อง (multiport diffusers)

(๒) การสูบน้ำทะเลมาผสมก่อนปล่อยโดยมีอัตราส่วนการเจือจางระหว่างน้ำทะเลต่อน้ำทิ้งไม่น้อยกว่า ๒๐ ต่อ ๑

(๓) การระบายร่วมกับน้ำระบายความร้อนของโรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำทะเลในการระบายความร้อน (co location)

ทั้งนี้ ตำแหน่งระบายน้ำทิ้งจะต้องมีการไหลเวียนของน้ำทะเลที่ดี โดยไม่เป็นจุดอับน้ำและไม่มีสิ่งกีดขวางการระบายน้ำทิ้งในระยะ ๕๐ เมตรตามทิศทางการไหล โดยไม่ให้นำกากตะกอนหรือน้ำล้างย้อน (Backwash) มาระบายร่วมกัน

๔.๒ การระบายน้ำทิ้งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางรวมกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ

๔.๓ การบำบัดน้ำเสียด้วยการระเหยแห้งโดยไม่ระบายน้ำทิ้ง เช่น การใช้บ่อผึ่ง (solar pond)

ข้อ ๕ ในกรณีการระบายน้ำทิ้งด้วยท่อลอดลงสู่ทะเล กำหนดให้มีพื้นที่ผสมน้ำ (mixing zone) รอบจุดระบายน้ำทิ้งเป็นรัศมี ๑๐๐ เมตร ในทุกทิศทาง เพื่อใช้เป็นพื้นที่ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของแหล่งรองรับ โดยพื้นที่ผสมน้ำจะต้องมีคุณภาพน้ำโดยเฉลี่ย ดังนี้

๕.๑ ค่าความเค็มบริเวณภายในขอบเขตของพื้นที่ผสมน้ำ (mixing zone) จะต้องเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ ๕ ในหน่วย Practical Salinity Unit (PSU) จากสภาพธรรมชาติ

๕.๒ ความเป็นกรดและด่าง (pH) ต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ๐.๕ หน่วยจากสภาพธรรมชาติ

๕.๓ ไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่พึงรังเกียจ เช่น สิ่งแขวนลอย ฟองโฟม ความขุ่น สี หรือคราบน้ำมัน ในพื้นที่ผสมน้ำจนกระทั่งมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพธรรมชาติ ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ หรือผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ

๕.๔ คุณภาพน้ำบริเวณขอบของพื้นที่ผสมน้ำจะต้องเป็นไปตามสภาพธรรมชาติ หรือเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่กำหนดในบริเวณนั้น

ข้อ ๖ การตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเลตามข้อ ๒ ข้อ ๓ และคุณภาพน้ำในพื้นที่ผสมน้ำตามข้อ ๕ ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

๖.๑ ความเร็วของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดความเร็วน้ำ (current meter) ณ บริเวณที่สูบเพื่อผลิต ใช้วิธีการคำนวณ หรือวิธีการอื่นใดที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

๖.๒ ความเป็นกรดและด่าง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า ๐.๑ หน่วย

๖.๓ ของแข็งจมตัว ให้ใช้วิธีตกตะกอนด้วยกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) หรือกระบอกตวงปริมาณ ๑ ลิตร เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง

๖.๔ ความขุ่น ให้ใช้วิธีเนฟฟีโลเมตริก (Nephelometric Turbidity Unit)

๖.๕ ความเค็ม ให้ใช้วิธีคำนวณจากการผลตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กทริคอลคอนดักติวิตี อิเล็กโทรด (Electrical Conductivity Electrode)

๖.๖ คลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไตเตรท (Titrimetric Method) หรือวิธีเทียบสี (Colorimetric Method)

๖.๗ ทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

ข้อ ๗ วิธีตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเลตามข้อ ๒ ข้อ ๓ และคุณภาพน้ำในพื้นที่ผสมน้ำตามข้อ ๕ ให้เป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด หรือตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๘ การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อการตรวจสอบมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล ตามข้อ ๓ และคุณภาพน้ำในพื้นที่ผสมน้ำตามข้อ ๕ ให้เป็นดังต่อไปนี้

๘.๑ การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ให้เก็บแบบจ้วง (grab sample) ในจุดระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือจุดอื่นที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล ในกรณีมีการระบายทิ้งหลายจุดให้เก็บแบบจ้วงทุกจุด

๘.๒ การเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ผสมน้ำ (mixing zone) ให้เก็บแบบผสมรวม (composite sample) ในบริเวณห่างจากจุดปล่อยสุดท้าย ๑๐ ๕๐ และ ๑๐๐ เมตร ในทิศทางแนวท่อและทิศทางกึ่งหนึ่งระหว่างทิศทางแนวท่อกับสิ่งกีดขวางหรือฝั่ง ไปทางด้านขวาและซ้าย ในระยะ ๑๐ ๕๐ และ ๑๐๐ เมตร รวม ๙ บริเวณ หรือมากกว่า โดยเก็บแต่ละบริเวณใน ๓ ระดับความลึก ได้แก่ ที่ระยะ ๕๐ เซนติเมตรจากผิวน้ำ ที่กึ่งกลางความลึกน้ำ และที่ระยะ ๕๐ เซนติเมตรจากพื้นน้ำ รวมแล้วต้องไม่น้อยกว่า ๑๘ จุดเพื่อนำมาผสมกัน

ข้อ ๙ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๖๐
พลเอก สุรศักดิ์ กาญจนรัตน์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 85 เปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำเสียจากกระบวนการ, น้ำทะเล และน้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับน้ำทะเลในอัตราส่วน 1 ต่อ 70

Stream Name	BRINE	SEAWATER	Mix BRINE: SEAWATER = 1: 70
Mole Fractions			
H_2O	9.06E-01	9.79E-01	9.78E-01
Na^+	3.79E-02	8.41E-03	8.82E-03
Cl^-	4.32E-02	9.59E-03	1.01E-02
F^-	4.24E-06	9.42E-07	9.88E-07
Mg^{2+}	3.77E-03	8.38E-04	8.80E-04
K^+	7.89E-04	1.75E-04	1.84E-04
Ca^{2+}	7.28E-04	1.62E-04	1.70E-04
Al^{3+}	4.84E-07	1.07E-07	1.13E-07
Ba^{2+}	1.12E-08	2.48E-09	2.61E-09
Fe^{3+}	1.92E-07	4.27E-08	4.49E-08
Mn^{2+}	2.79E-08	6.21E-09	6.51E-09
Zn^{2+}	3.52E-09	7.82E-10	8.21E-10
Sr^{2+}	4.77E-06	1.06E-06	1.11E-06
$CaCO_3$	5.19E-03	1.15E-03	1.21E-03
SiO_2	0	1.53E-07	1.51E-07
NO_3^-	7.22E-08	1.60E-08	1.68E-08
SO_4^{2-}	2.24E-03	4.97E-04	5.22E-04
NH_4^+	2.04E-06	4.54E-07	4.76E-07

ตารางที่ 85 (ต่อ)เปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำเสียจากกระบวนการ, น้ำทะเล และน้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับน้ำทะเลในอัตราส่วน 1ต่อ 70

Stream Name	BRINE	SEAWATER	Mix BRINE: SEAWATER = 1: 70
Mole Fractions			
Cl_2	0	7.77E-09	7.66E-09
CO_2	3.13E-17	6.26E-07	6.17E-07
PO_4^{3-}	9.43E-09	2.09E-09	2.20E-09
$CaCO_3$(s)	0	0	0
NaCl(s)	0	0	0
$FeCl_3$(s)	0	0	0
KCl(s)	0	0	0
KF(s)	0	0	0
$MgCl_2$(s)	0	0	0
$MnCl_2$(s)	0	0	0
NaF(s)	0	0	0
$SrCl_2$(s)	0	0	0
$ZnCl_2$(s)	0	0	0
$ZnSO_4$(s)	0	0	0
CaF_2(s)	0	0	0
$AlCl_3$(s)	0	0	0
$BaCl_2$(s)	0	0	0
$CaCl_2$(s)	0	0	0

ตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการเกี่ยวกับการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล เพื่อปฏิบัติตามข้อกำหนดนี้ ดังนั้นก่อนจะปล่อยน้ำเสียต้องทำการผสมกับน้ำทะเลในอัตราส่วนน้ำเสียต่อน้ำทะเล คือ 1:70 เพื่อเจือจางความเข้มข้นของเกลือไอออนต่างๆ หรือปล่อยในบริเวณที่มีการไหลเวียนของน้ำทะเลที่ดี ไม่เป็นจุดอับ โดยแบ่งจุดปล่อยน้ำเสียให้มีหลายจุด หากปล่อยน้ำเสียทั้งหมดในจุดเดียว อาจทำให้ความเข้มข้นของน้ำทะเลบริเวณนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง และจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นได้ ซึ่งต้องคอยเก็บน้ำตัวอย่างในบริเวณห่างจากจุดปล่อยสุดท้าย 10 40 และ 100 เมตร ในทิศทางแนวท่อและทิศทางกึ่งหนึ่งระหว่างทิศทางแนวท่อกับสิ่งกีดขวางหรือฝั่ง ไปทางด้านขวาและซ้าย ในระยะ 10 40 และ 100 เมตร รวม 9 บริเวณ หรือมากกว่า โดยเก็บแต่ละบริเวณใน 3ระดับความลึก ได้แก่ ที่ระยะ 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำ ที่กึ่งกลางความลึกน้ำ และที่ระยะ 50 เซนติเมตรจากพื้นน้ำ รวมแล้วต้องไม่น้อยกว่า 18 จุด เพื่อตรวจสอบให้ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 5 จึงไม่จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น หรืออาจจะใช้บ่อผึ่งแดด เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นของเกลือไอออนสูง สามารถระเหยน้ำส่วนน้อยที่เหลืออยู่แล้วตกผลึกเกลือของแข็งออกมาได้ อาจศึกษาเพิ่มเติมต่อว่าสามารถลงทุนทำนาเกลือไปด้วยได้หรือไม่

สรุปผลการทำโครงการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลและข้อเสนอแนะ

(Conclusions and Recommendations)

จากการศึกษากระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลเพื่อทำให้ได้น้ำจืดด้วยวิธี MED ในกระบวนการนี้ใช้เครื่องระเหย 5 เครื่อง เนื่องจากเมื่อเพิ่มเครื่องระเหยจะทำให้น้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่งผลให้น้ำมีองค์ประกอบของไอออนต่าง ๆ อยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ แต่พบปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ในเครื่องระเหยตัวที่ 1 ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงในการทำให้น้ำทะเลระเหย ซึ่งพลังงานจากไอน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ ในช่วงแรกของการศึกษาได้นำพลังงานไฟฟ้ามาช่วยให้ความร้อนแก่เครื่องระเหย แต่เนื่องจากไฟฟ้ามีราคาสูง ทำให้เกิดการขาดทุนขึ้น ดังนั้นจึงติดตั้งเซลล์สุริยะที่ให้พลังงาน 680 watt/m^2 ที่ประสิทธิภาพ 40% แทนพลังงานไฟฟ้า แต่เนื่องจากต้องการความร้อนที่สูงมาก จึงต้องใช้เซลล์สุริยะจำนวนมากและต้องใช้พื้นที่จำนวนมากการติดตั้งเซลล์สุริยะ เป็นผลให้ราคาในการเช่าพื้นที่สูง แต่เมื่อคำนวณแล้วพบว่าถูกกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้เซลล์สุริยะเป็นตัวช่วยให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องระเหยตัวที่ 1

ในการศึกษานี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการปรับปริมาณของไอน้ำที่เข้าเครื่องระเหยตัวที่ 1 และประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ เพื่อดูว่าวิธีไหนที่ให้ปริมาณของน้ำสูงสุดและมีราคาถูกสุด จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณของไอน้ำสูงขึ้น จำนวนเซลล์สุริยะที่ใช้จะลดลง แต่ปริมาณของน้ำสูงขึ้น แต่เนื่องจากราคาน้ำที่ขายมีราคาต่ำ แต่ราคาในการซื้อไอน้ำมีราคาที่สูงมาก ทำให้เงินที่ได้รับจากการทำโรงงานลดลง เมื่อปริมาณไอน้ำสูงขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณไอน้ำ 4000 kg/hr ในการศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ หลังจากการศึกษาพบว่าเมื่อประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะสูงขึ้น ทำให้ความร้อนที่ต้องการจากไอน้ำ มีจำนวนน้อยลง ส่งผลให้เงินที่ได้รับในการดำเนินการมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงสรุปว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลคือ ปริมาณไอน้ำ 4000 kg/hr และใช้เซลล์สุริยะที่มีประสิทธิภาพ 40%

ในส่วนของความปลอดภัยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมในการขนส่งน้ำทะเล เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและท่อเหล็กกล้าคาร์บอนในการขนส่งสารที่เป็นแก๊สเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทนความดันสูงได้ มีการติดตั้งวาล์วควบคุมความดัน,วาล์วควบคุมระดับของไหลและวาล์วนิรภัยเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างดำเนินโรงงาน นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งวาล์วควบคุมความเข้มข้นเพื่อควบคุมความเข้มข้นของของเสียก่อนปล่อยลงสู่ทะเล

ตารางที่ 86 เปรียบเทียบ Specification ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดกับผลลัพธ์จากแบบจำลอง

Product Water	Control Specification	Result from Simulation
Temperature (°C)	28	28.056
Pressure (barg)	5	4.999
Volume Flows (m^3/hr)	>=200	213.307
Mole Concentration (ppm)		
SiO_2	<= 0.02	0
Fe^{3+}	<= 0.02	0
Na^+	<= 0.5	0
Cl^-	<= 0.5	0

จากตารางพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเป็นไปข้อกำหนดที่ต้องควบคุม เป็นการยืนยันว่าการออกแบบกระบวนครั้งนี้สามารถทำได้จริงโดยมีทฤษฎีทางวิศวกรรมเคมีต่าง ๆ รองรับไว้แล้ว และการออกแบบกระบวนนี้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ คือ การผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล ซึ่งหมายความว่าสามารถนำน้ำที่ได้จากกระบวนการนี้ไปขายในฐานะน้ำจืดได้

ข้อเสนอแนะ

กระบวนการทำน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืดโดยวิธี MED มีความต้องการใช้พลังงานอย่างมากในการระเหย อาจใช้พลังงานทางเลือกอื่น ๆ เช่น พลังงานจากลมและคลื่น เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการประกวดฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการทำโครงการ และให้ปรึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำ Simulation ด้วยโปรแกรม Aspen Plus ทำให้คณะผู้วิจัยได้รับข้อมูลที่ครบถ้วน และสามารถนำมาวิเคราะห์ผลงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณในความเอาใจใส่และความจริงใจของอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ นักวิจัยและคณะทุกท่าน ที่คอยให้คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการเกี่ยวกับกระบวนการดำเนินงานวิจัยรวมถึงถ่ายทอดความรู้ด้านต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย อีกทั้งคอยให้ความช่วยเหลือและติดตามงานวิจัยจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการ

บรรณานุกรม (Bibliography)

[1] Al-Kharabsheh S. Theoretical and experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat. PhD dissertation. University of Florida; 2003

[2] Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. International Journal of Low-Carbon Technologies. March 1, 2014;9(1):1-19. DOI: 10.1093/ijlct/cts025

[3] United Nations Environment Programme. April 10, 2008. Available from: http://www.unep.org/themes/freshwater.html

[4] Colombo D, De Gerloni M, Reali M. An energy-efficient submarine desalination plant. Desalination. July 7, 1999;122:171-176

[5] WHO/EU Drinking Water Standards Comparative Table, Water Treatment & Air Purification and Other Supporting Information. October 26, 2007. Available from: http://www.lenntech.com/WHO-EU-water-standards.html

[6] Tiwari GN, Singh HN, Tripathi R. Present status of solar distillation. Solar Energy. November 1, 2003;75:367-373

[7] Krishna HJ. Introduction to Desalination Technologies. Austin, Texas, USA: Texas Water Development Board. 2004. Available from: http://www.twdb.texas.gov/innovativewater/desal/doc/VOL1-v7_Final.pdf [Accessed: March 05, 2012]

[8] Shatat MIM. New and renewable energy and environmental engineering. Durham Theses, Durham University; October 7, 2008

[9] Winter T, Pannell J, Mc MC. The Economics of Desalination and its Potential Application in Australia. University of Western Australia; 2005

[10] Lahmeyer International GmbH. Water Desalination. 2003. Available from: http://www.uwphoto.de/Dateien%201nfo%20+%20Kontakt/desalination-brochure.pdf [Accessed: September 2015]

[11] Introduction to Desalination Technologies. October 2, 2007. Available from: http://www.texaswater.tamu.edu/readings/desal/IntrotoDesal.pdf

[12] Khawaji AD, Wie J-M. Potabilization of desalinated water at Madinat Yanbu Al-Sinaiyah. Saudi Arabia: Desalination. 1994;98:135-146. DOI: 10.1016/0011-9164(94)00138-3

[13] Economic and technical assessment of desalination technologies. February 2, 2020. Available from: https://desline.com/Geneva/Banat.pdf

[14] ความรู้เกี่ยวกับ Solar cell. February 2, 2020. Available from: http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

[15] รศ. ดร.เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. (2562). ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Piping System). คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

[16] Energy Solar cell. February 2, 2020. Available from: https://www.solaris.co.th/renewable-energy/solar-wiki/frequently-asked-questions-solar

[17] Stainless steel pipe chart. February 19, 2020 Available from: https://www.unifiedalloys.com/p/stainless-steel-pipe-data/

[18] EQUIPMENT COST ESTIMATES. February 2, 2020. Available from: https://link.springer.com/content/pdf/bbm%3A978-94-011-6544-0%2F1.pdf

[19] COMPOUND INTEREST February 2, 2020. Available from: TABLEShttps://global.oup.com/us/companion.websites/9780199778126/pdf/Appendix_C_CITables.pdf

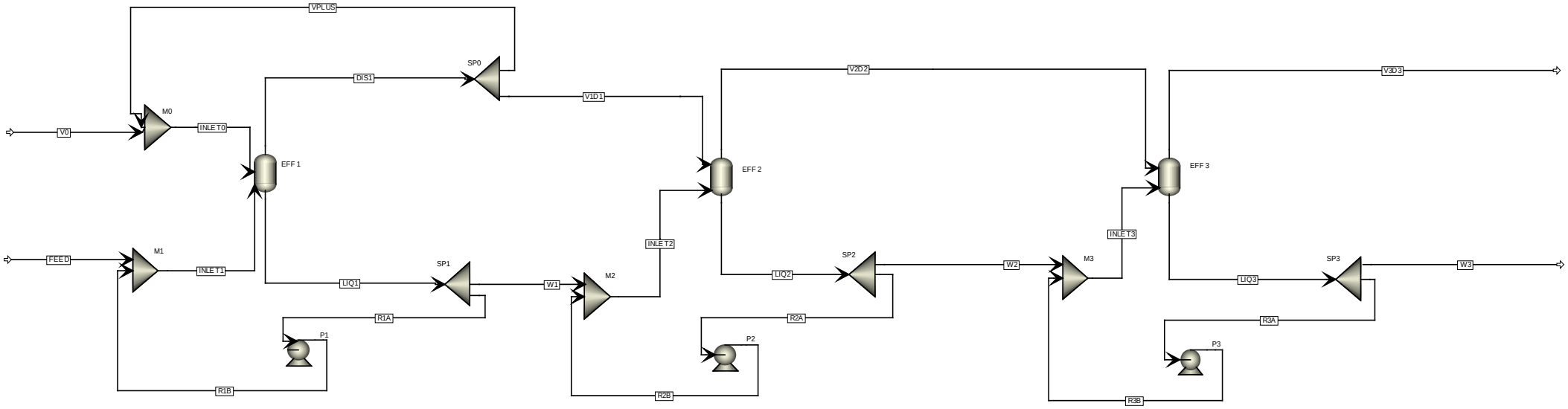
[20] WACC February 2, 2020. Available from:http://www.bis-online.com/knowleadge/%E0%B8%95-wac

[21] Morteza Sagharichihaa, Ali Jafarianb, Mehrdad Asgaric, Ramin Kouhikamali, Simulation of a forward feed multiple effect desalination plant with vertical tube evaporators. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 75 (2014) 110 – 118.

Appendix

1. **การตรวจสอบแบบจำลอง**

ทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยเทียบกับเอกสารงานวิจัยเรื่อง Simulation of a forward feed multiple effect desalination plant with vertical tube evaporators โดยอ้างอิงสภาวะของกระบวน แล้วดูผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกัน



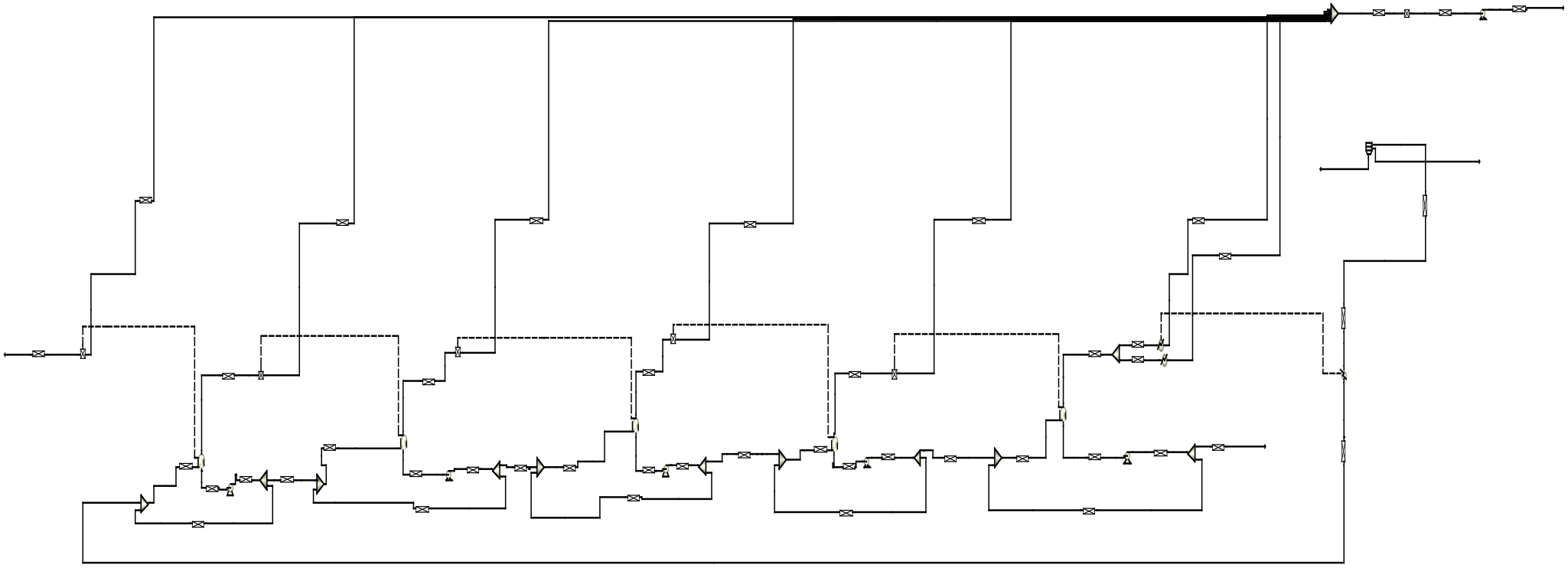
รูปที่ 1a แบบจำลองที่อ้างอิงสภาวะมาจากเอกสารงานวิจัย

ตารางที่ A1 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างเอกสารงานวิจัยกับแบบจำลอง

Process condition	Results from Paper			Results from Model			%error		
	Effect 1	Effect 2	Effect 3	Effect 1	Effect 2	Effect 3	Effect 1	Effect 2	Effect 3
Brine flow rate (effect outlet), (t/h)	93.4900	67.3900	39.3100	93.4542	67.3703	39.3209	0.0383	0.0293	0.0278
Pressure (kPa)	31.2000	23.0000	16.7000	31.2000	23.0000	16.7000	0	0	0
Steam temperature (°C)	70.0000	63.2000	56.2000	72.6119	65.8681	59.0884	3.7313	4.2217	5.1396
Recycle flow concentration (g/l)	23.8700	33.1100	56.7700	23.8819	33.1283	56.7602	0.0498	0.0553	0.0172

จากตารางจะพบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำและเหมาะสมที่จะนำไปใช้จำลองกรณีอื่นๆต่อไป โดยค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนในแต่ละกรณีมีค่าต่ำเข้าใกล้ 0% และความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ 5.1396% เท่านั้น

2. **กรณีการจำลอง**



รูปที่ 2a แสดงการออกแบบแบบจำลอง

3. **ผลลัพธ์ของกรณีการจำลอง**

ตารางที่ A2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระแสไอน้ำ, น้ำทะเล, น้ำจืด และน้ำเสียจากกระบวนการ

Stream Name	**STEAM**	**SEAWATER**	**WATER**	**BRINE**
Temperature (°C)	420.00	28.00	28.06	71.59
Pressure (bar)	44.01	3.01	6.01	0.40
Molar Vapor Fraction	1	0	0	0
Molar Liquid Fraction	0	1	1	1
Molar Solid Fraction	0	1.53E-07	0	0
Mass Vapor Fraction	1	0	0	0
Mass Liquid Fraction	0	1	1	1
Mass Solid Fraction	0	5.00E-07	0	0
Molar Enthalpy (kJ/kmol)	- 229,041	- 284,461	- 285,768	- 276,982
Mass Enthalpy (kJ/kg)	- 12,714	- 15,485	- 15,862	- 14,121
Molar Entropy (kJ/kmol-K)	- 47.12	- 158.44	- 162.40	- 136.72
Mass Entropy (kJ/kg-K)	- 2.62	- 8.62	- 9.01	- 6.97
Molar Density (kmol/m^3)	0.81	55.12	55.32	53.13
Mass Density (kg/m^3)	14.60	1,013	996.56	1,042
Enthalpy Flow (kJ/s)	- 98,885	- 1,175,955	- 936,647	- 254,297
Average MW	18.02	18.37	18.02	19.61
Mass Flows (kg/hr)	28,000	273,395	212,572	64,828
Mole Flows (kmol/hr)	1,554	14,882	11,800	3,305
Volume Flows (m^3/hr)	1917.92	270.00	213.31	62.21
Mole Fractions				
H_2O	1	9.79E-01	1.00E+00	9.06E-01
Na^+	0	8.41E-03	0	3.79E-02

ตารางที่ A2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระแสไอน้ำ, น้ำทะเล, น้ำจืด และน้ำเสียจากกระบวนการ

Stream Name	STEAM	SEAWATER	WATER	BRINE
Cl^-	0	9.59E-03	0	4.32E-02
F^-	0	9.42E-07	0	4.24E-06
Mg^{2+}	0	8.38E-04	0	3.77E-03
K^+	0	1.75E-04	0	7.89E-04
Ca^{2+}	0	1.62E-04	0	7.28E-04
Al^{3+}	0	1.07E-07	0	4.84E-07
Ba^{2+}	0	2.48E-09	0	1.12E-08
Fe^{3+}	0	4.27E-08	0	1.92E-07
Mn^{2+}	0	6.21E-09	0	2.79E-08
Zn^{2+}	0	7.82E-10	0	3.52E-09
Sr^{2+}	0	1.06E-06	0	4.77E-06
$CaCO_3$	0	1.15E-03	1.83E-81	5.19E-03
SiO_2	0	1.53E-07	0	0
NO_3^-	0	1.60E-08	0	7.22E-08
SO_4^{2-}	0	4.97E-04	0	2.24E-03
NH_4^+	0	4.54E-07	0	2.04E-06
Cl_2	0	7.77E-09	9.80E-09	0
CO_2	0	6.26E-07	7.89E-07	3.13E-17
PO_4^{3-}	0	2.09E-09	0	9.43E-09
$CaCO_3$(s)	0	0	0	0
NaCl(s)	0	0	0	0
$FeCl_3$(s)	0	0	0	0
KCl(s)	0	0	0	0

ตารางที่ A2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระแสไอน้ำ, น้ำทะเล, น้ำจืด และน้ำเสียจากกระบวนการ

Stream Name	STEAM	SEAWATER	WATER	BRINE
KF(s)	0	0	0	0
$MgCl_2$(s)	0	0	0	0
$MnCl_2$(s)	0	0	0	0
NaF(s)	0	0	0	0
$SrCl_2$(s)	0	0	0	0
$ZnCl_2$(s)	0	0	0	0
$ZnSO_4$(s)	0	0	0	0
CaF_2(s)	0	0	0	0
$AlCl_3$(s)	0	0	0	0
$BaCl_2$(s)	0	0	0	0
$CaCl_2$(s)	0	0	0	0

ตัวอย่างการคำนวณ

1. Material Balances

Assumption: Steady State ดังนั้น Accumulation = 0

จากสมการ Accumulation = Materials Input – Materials Output

0 = Materials Input – Materials Output

Materials Input = Materials Output

ตัวอย่าง Material Balances รอบ Centrifuge (X-201)

Materials Input = Materials Output

Feed = Solid Outlet + Liquid Outlet

75.94301 kg/s = 0.00004 kg/s + Liquid Outlet

Liquid Outlet = 75.94297 kg/s

2. Energy Balances

Assumption: Steady State ดังนั้น Accumulation = 0 และ Perfect Mixed

ตัวอย่าง Energy Balances รอบ Evaporator (EV-101)

Accumulation = Energy Input – Energy Output + Heat required

0 = Energy Input – Energy Output + Heat required

Heat required = Energy Output – Energy Input

Heat required = (Vapor flow rate) x (Vapor Enthalpy) +
(Liquid flow rate) x (Liquid Enthalpy) –
(Feed flow rate) x (Feed Enthalpy)

Heat required = (10.86 kg/s) x (-13,312 kJ/kg) +
(81.35 kg/s) x (-15,174 kJ/kg) –
(92.21 kg/s) x (-15,213 kJ/kg)

Heat required = 23,752 kW

ตัวอย่าง Energy Balances รอบ Pump (P-102)

Work required = (Pressure outlet – Pressure Inlet) x Volume flow rate

Work required = (70,000 – 60,000 Pa) x 0.06795 m^3/s

Work required = 680 W

77.60 %eff, Work required = 680 x 100 / 77.60

Work required = 876 W

ตัวอย่าง Energy Balances (Mechanical Energy) รอบ Pipe (B-45)

Assumption: 1. ท่อวางตัวในแนวนอน ซึ่งไม่พิจารณาผลของความสูง

2. ความสูญเสียหลักของท่อมีค่ามากกว่าความสูญเสียรอง
จึงไม่สนใจผลของความสูญเสียรอง

3. เส้นผ่าศูนย์กลางสม่ำเสมอตลอดทั้งท่อ ความเร็วของของไหลจึงคงที่

4. ท่อติดตั้งฉนวนความร้อนอย่างดี จึงไม่มีการสูญเสียความร้อน

Properties D = 0.3147 m, L = 5 m, ε = 4.57E-05 m, μ = 0.0009 kg/m-s,

ρ = 1012.57 kg/m^3

Cross-sectional Area (A_c) $= \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.3147)^2}{4} = 0.0778\ \mathrm{m}^2$

Velocity (v) $= \frac{\text{Flow rate}}{\text{Cross}-\text{sectional Area}} = \frac{0.075\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}}{0.0778\ \mathrm{m}^2} = 0.964\ \mathrm{m/s}$

Reynolds number (Re) $= \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{1012.57 \times 0.964 \times 0.3147}{0.0009} = 338642$

จากสมการ Colebrook Equation

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{4.57 \times 10^{-5}}{3.7(0.3147)} + \frac{2.51}{338642 \times \sqrt{f}}\right]$$

Solve; f = 0.01558

จากสมการ $f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} = \frac{\Delta P}{\rho g} = h_L$

Head loss (h_L) $= f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} = 0.01558 \times \frac{5\ \mathrm{m} \times 0.964^2\ \mathrm{m}^2}{2(0.3174\ \mathrm{m})\ (9.81\ \mathrm{m/s}^2)} = 0.0117\ \mathrm{m}$

$$\Delta P = \rho g h_L$$

$$\Delta P = 1012.57\ \mathrm{kg/m}^3 \times 9.81\ \mathrm{m/s}^2 \times 0.0117\ \mathrm{m}$$

$$\Delta P = 116.5\ \mathrm{Pa}$$

3. Area of heat transfer in Evaporator

Assumption: Perfect Mixed in Evaporator

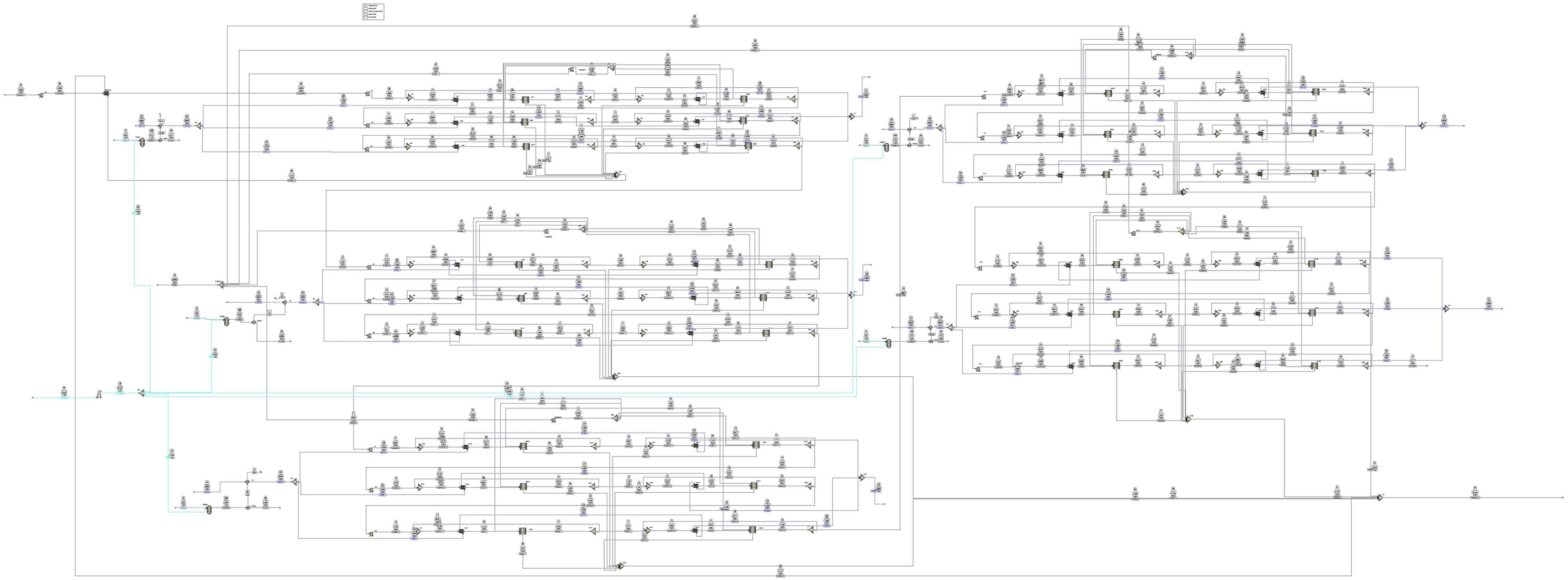
U = 2500 W/m^2-K (U is Overall heat transfer coefficient)

ตัวอย่าง Area Calculation of Evaporator (EV-102)

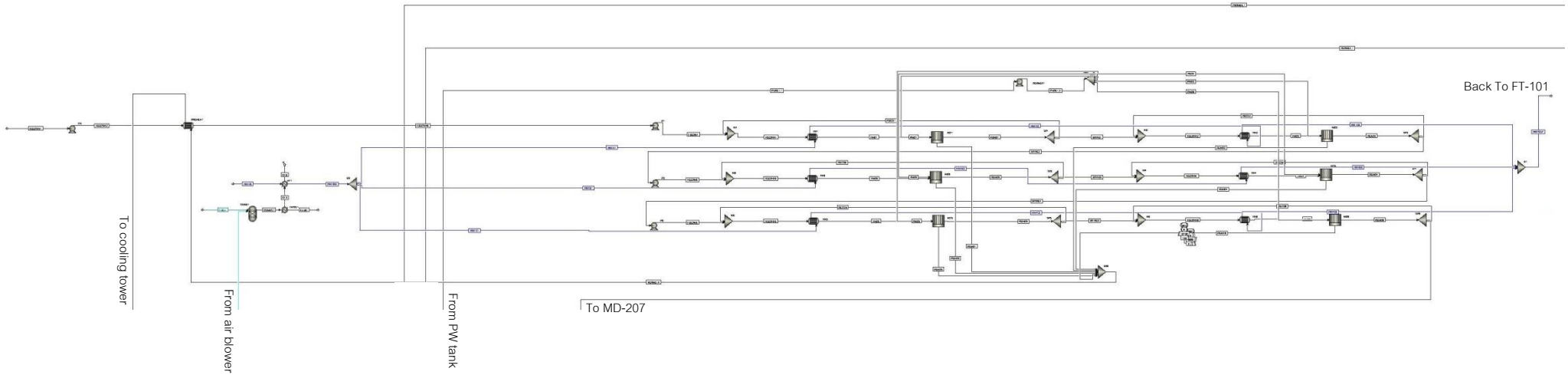
Heat required = U x Area x (T_s – T_{out})

23752207 W = 2500 W/m^2-K x Area x (91 – 87 K)

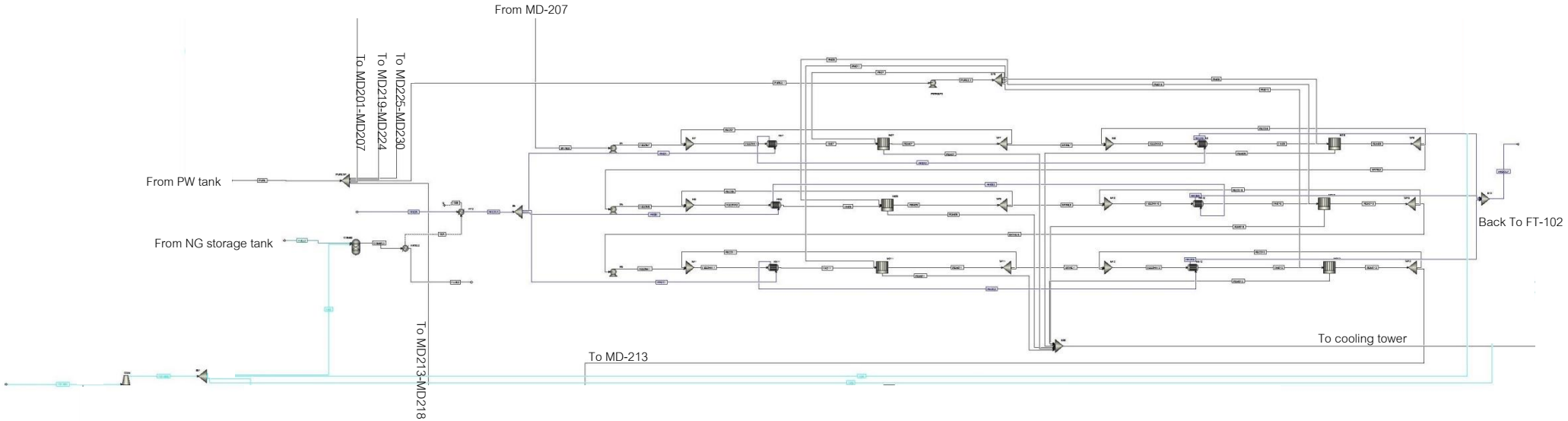
Area = 2375.22 m^2



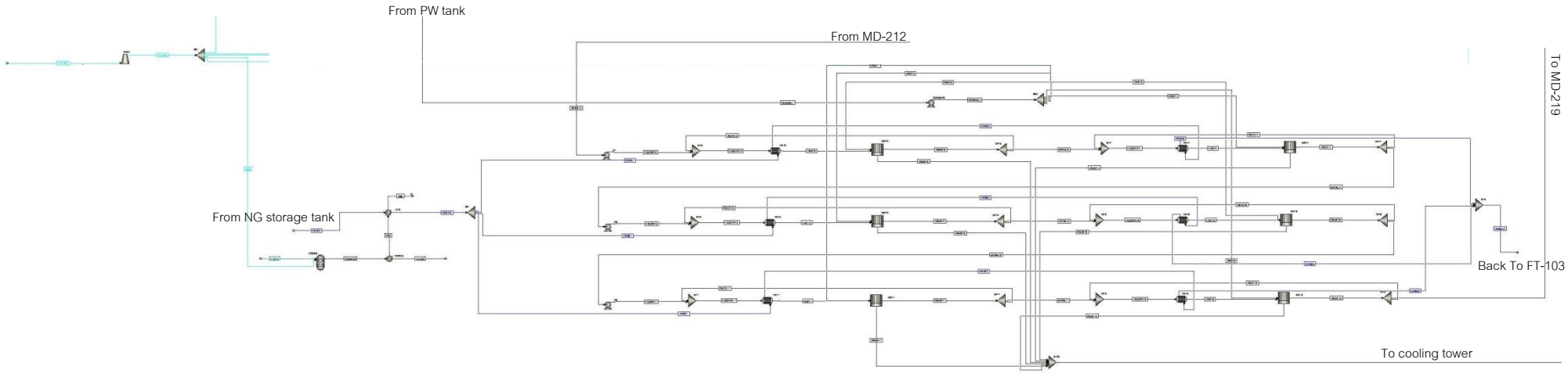
THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR OVERALL SYSTEM			
SCALE :	DRAWING NO. HMB-001	SHEET 1/7	REV. -



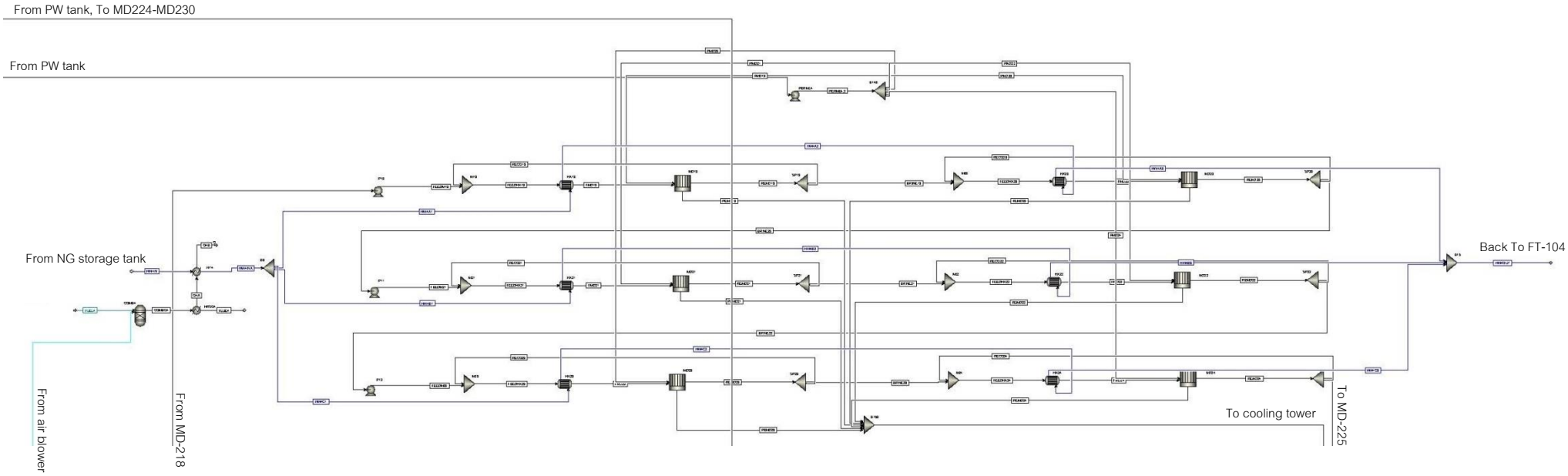
THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR MD201-206			
SCALE : ~	DRAWING NO. HMB-002	SHEET 2/7	REV. -



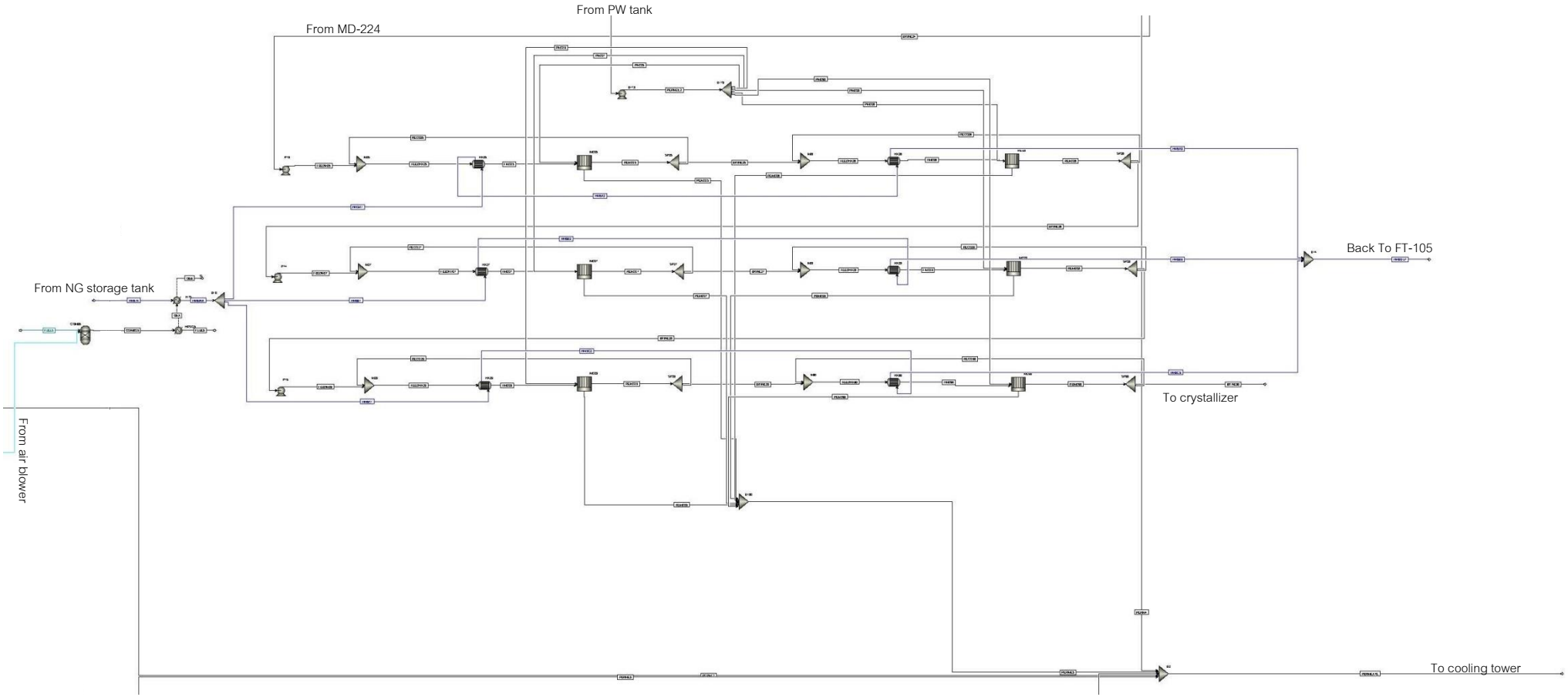
THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR MD207-212			
SCALE : ~	DRAWING NO. HMB-003	SHEET 3/7	REV. -



THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR MD213-218			
SCALE : ~	DRAWING NO. HMB-004	SHEET 4/7	REV. -



THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR MD219-MD224			
SCALE : ~	DRAWING NO. HMB-005	SHEET 5/7	REV. -



THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR MD225-230			
SCALE :	DRAWING NO. HMB-006	SHEET 6/7	REV. -

Heat and Material Balance Table

Stream ID		AIR1	AIR2	AIR3	AIR4	AIR5	BRINE1	BRINE2	BRINE3	BRINE4	BRINE5	BRINE6
Temperature	C	302.4	302.4	302.4	302.4	302.4	77.9	77.3	76.8	76.3	75.7	76.8
Pressure	bar	6.013	6.013	6.013	6.013	6.013	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	4099.994	3800.000	3800.000	3700.000	3300.006	13244.682	12842.653	12444.017	12048.876	11657.330	11261.498
Mass Flow	kg/hr	118286.447	109631.509	109631.509	106746.470	95206.493	249347.504	242104.828	234923.296	227804.723	220750.907	213619.878
Volume Flow	cum/hr	32676.195	30285.300	30285.300	29488.319	26300.443	249.691	242.169	234.715	227.329	220.013	212.831
Enthalpy	Gcal/hr	8.046	7.458	7.458	7.261	6.476	-895.950	-869.006	-842.284	-815.793	-789.537	-762.674
Mole Flow	kmol/hr											
WATER							12978.999	12576.969	12178.334	11783.193	11391.647	10995.814
NACL							265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684
CH4												
N2		3238.995	3002.000	3002.000	2923.000	2607.005						
O2		860.999	798.000	798.000	777.000	693.001						
CO2												
CO												

Stream ID		BRINE7	BRINE8	BRINE9	BRINE10	BRINE11	BRINE12	BRINE13	BRINE14	BRINE15	BRINE16	BRINE17
Temperature	C	76.2	75.6	75.0	74.4	77.5	76.8	76.1	75.4	74.7	78.6	77.8
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	10869.027	10480.714	10096.590	9716.755	9322.245	8932.566	8547.970	8168.668	7792.211	7397.465	7009.081
Mass Flow	kg/hr	206549.403	199553.845	192633.735	185790.909	178683.692	171663.523	164734.912	157901.680	151119.704	144008.172	137011.191
Volume Flow	cum/hr	205.497	198.243	191.072	183.986	177.026	169.742	162.557	155.476	148.454	141.492	134.230
Enthalpy	Gcal/hr	-736.347	-710.305	-684.540	-659.055	-631.959	-605.833	-580.042	-554.599	-529.340	-502.227	-476.190
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		10603.343	10215.031	9830.906	9451.072	9056.561	8666.883	8282.286	7902.984	7526.527	7131.784	6743.403
NACL		265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.682	265.678
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		BRINE18	BRINE19	BRINE20	BRINE21	BRINE22	BRINE23	BRINE24	BRINE25	BRINE26	BRINE27	BRINE28
Temperature	C	76.9	76.1	75.2	77.1	76.2	75.2	74.3	73.4	75.6	74.6	73.8
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	6627.406	6251.723	5883.265	5507.911	5142.272	4784.722	4436.992	4099.753	3757.724	3428.390	3114.512
Mass Flow	kg/hr	130135.006	123366.971	116729.101	109966.918	103379.407	96937.903	90673.309	84597.677	78435.481	72502.229	66846.933
Volume Flow	cum/hr	127.099	120.086	113.214	106.397	99.574	92.910	86.436	80.165	73.943	67.817	61.987
Enthalpy	Gcal/hr	-450.595	-425.394	-400.668	-375.192	-350.660	-326.659	-303.307	-280.648	-257.448	-235.322	-214.221
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		6361.732	5986.049	5617.592	5242.240	4876.611	4519.064	4171.338	3834.104	3492.085	3162.757	2848.895
NACL		265.674	265.674	265.673	265.671	265.661	265.658	265.654	265.650	265.639	265.634	265.617
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		BRINE29	BRINE30	COMBG1	COMBG2	COMBG3	COMBG4	COMBG5	FEEDHX1	FEEDHX2	FEEDHX3	FEEDHX4
Temperature	C	73.0	72.4	1600.0	1600.0	1600.0	1600.0	1600.0	70.0	77.5	76.9	76.4
Pressure	bar	1.000	1.000	11.013	10.000	10.000	10.000	10.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	2815.719	2534.535	4948.075	4590.046	4576.872	4466.960	3956.993	48567.855	47102.738	45649.872	44209.624
Mass Flow	kg/hr	61463.824	56397.911	127430.820	118134.172	118053.958	115008.491	102425.735	914021.122	887626.615	861452.833	835506.352
Volume Flow	cum/hr	56.446	51.240	70072.966	71579.506	71374.121	69660.044	61707.476	911.218	888.128	860.949	834.017
Enthalpy	Gcal/hr	-194.121	-175.192	-16.555	-15.245	-15.590	-14.899	-14.022	-3292.069	-3186.993	-3089.620	-2993.075
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		2550.110	2268.932	1139.080	1058.046	1049.872	1028.960	899.988	47601.733	46136.616	44683.750	43243.501
NACL		265.610	265.602						966.122	966.122	966.122	966.122
CH4				0.460	0.977	0.064	0.520	0.006				
N2				3238.995	3002.000	3002.000	2923.000	2607.005				
O2				trace	trace	trace	trace	trace				
CO2				13.378	8.931	21.191	10.561	36.020				
CO				556.162	520.091	503.745	503.919	413.974				

Stream ID		FEEDHX5	FEEDHX6	FEEDHX7	FEEDHX8	FEEDHX9	FEEDHX10	FEEDHX11	FEEDHX12	FEEDHX13	FEEDHX14	FEEDHX15
Temperature	C	75.8	76.5	76.4	75.9	75.2	74.6	76.7	76.7	76.0	75.3	74.7
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	42782.355	45441.824	43869.221	42312.106	40771.629	39248.198	47007.421	45054.373	43126.559	41225.035	39337.514
Mass Flow	kg/hr	809793.705	861610.541	833279.670	805227.799	777475.682	750030.644	900556.061	865371.358	830641.235	796384.746	762380.529
Volume Flow	cum/hr	807.341	858.483	829.382	800.292	771.520	743.084	892.011	855.913	819.889	784.380	749.264
Enthalpy	Gcal/hr	-2897.384	-3077.558	-2971.668	-2867.251	-2763.940	-2661.749	-3187.169	-3055.594	-2926.331	-2798.797	-2672.000
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		41816.233	44379.089	42806.487	41249.371	39708.895	38185.464	45679.003	43725.955	41798.141	39896.616	38009.096
NACL		966.122	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1328.418	1328.418	1328.418	1328.418	1328.418
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FEEDHX16	FEEDHX17	FEEDHX18	FEEDHX19	FEEDHX20	FEEDHX21	FEEDHX22	FEEDHX23	FEEDHX24	FEEDHX25	FEEDHX26
Temperature	C	77.9	77.7	76.8	76.2	75.3	76.6	76.0	75.4	74.5	73.6	75.2
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	49711.637	47116.250	44565.254	42053.843	39590.236	44438.927	41505.261	38635.710	35844.121	33135.792	37920.371
Mass Flow	kg/hr	967174.157	920416.619	874458.427	829214.650	784832.055	886502.515	833648.339	781951.559	731659.088	682866.362	790536.488
Volume Flow	cum/hr	950.197	902.052	854.337	807.570	761.605	857.883	803.309	749.973	697.995	647.630	745.583
Enthalpy	Gcal/hr	-3375.395	-3200.815	-3029.830	-2861.182	-2695.886	-3027.210	-2830.116	-2637.266	-2449.801	-2267.833	-2597.889
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		47940.426	45345.062	42794.097	40282.687	37819.080	42313.555	39379.972	36510.446	33718.888	31010.594	35263.981
NACL		1771.211	1771.189	1771.157	1771.157	1771.156	2125.372	2125.289	2125.264	2125.233	2125.198	2656.390
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FEEDHX27	FEEDHX28	FEEDHX29	FEEDHX30	FEEDM1	FEEDM3	FEEDM5	FEEDM7	FEEDM9	FEEDM11	FEEDM13
Temperature	C	74.6	73.7	72.9	72.2	50.0	77.3	76.3	76.7	75.6	74.4	76.8
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	34613.707	31460.422	28456.572	25627.184	13650.000	12842.653	12048.876	11261.498	10480.714	9716.755	8932.566
Mass Flow	kg/hr	730963.795	674149.664	620031.629	569056.517	256649.413	242104.828	227804.723	213619.878	199553.845	185790.909	171663.523
Volume Flow	cum/hr	684.262	625.671	569.955	517.550	253.377	242.169	227.329	212.823	198.243	183.986	169.742
Enthalpy	Gcal/hr	-2375.444	-2163.496	-1961.443	-1771.007	-930.007	-869.006	-815.793	-762.674	-710.305	-659.055	-605.833
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		31957.372	28804.256	25800.476	22971.159	13384.316	12576.969	11783.193	10995.814	10215.031	9451.072	8666.883
NACL		2656.335	2656.166	2656.096	2656.025	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684	265.684
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FEEDM15	FEEDM17	FEEDM19	FEEDM21	FEEDM23	FEEDM25	FEEDM27	FEEDM29	FEEDSW1	FEEDSW2	FEEDSW3
Temperature	C	75.4	78.6	76.9	75.2	76.2	74.3	75.6	73.8	29.6	29.6	50.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	8168.668	7397.465	6627.406	5883.265	5142.272	4436.992	3757.724	3114.512	13650.000	13650.000	13650.000
Mass Flow	kg/hr	157901.680	144008.172	130135.006	116729.101	103379.407	90673.309	78435.481	66846.933	256649.413	256649.413	256649.413
Volume Flow	cum/hr	155.476	141.492	127.099	113.214	99.574	86.436	73.943	61.987	251.437	251.437	253.377
Enthalpy	Gcal/hr	-554.599	-502.227	-450.595	-400.668	-350.660	-303.307	-257.448	-214.221	-934.956	-934.956	-930.007
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7902.984	7131.784	6361.732	5617.592	4876.611	4171.338	3492.085	2848.895	13384.316	13384.316	13384.316
NACL		265.684	265.682	265.674	265.673	265.661	265.654	265.639	265.617	265.684	265.684	265.684
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FLUE1	FLUE2	FLUE3	FLUE4	FLUE5	FMD1	FMD2	FMD3	FMD4	FMD5	FMD6
Temperature	C	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Pressure	bar	11.013	10.000	10.000	10.000	10.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.823	0.829	0.830	0.829	0.832	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	4948.075	4590.046	4576.872	4466.960	3956.993	48567.855	47102.738	45649.872	44209.624	42782.355	45441.824
Mass Flow	kg/hr	127430.820	118134.172	118053.958	115008.491	102425.735	914021.122	887626.615	861452.833	835506.352	809793.705	861610.541
Volume Flow	cum/hr	11148.026	11464.172	11447.249	11158.981	9920.746	922.715	895.367	868.248	841.364	814.723	865.979
Enthalpy	Gcal/hr	-88.050	-81.304	-81.466	-79.185	-70.999	-3274.765	-3176.456	-3078.969	-2982.329	-2886.560	-3066.598
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		1139.080	1058.046	1049.872	1028.960	899.988	47601.733	46136.616	44683.750	43243.501	41816.233	44379.089
NACL							966.122	966.122	966.122	966.122	966.122	1062.734
CH4		0.460	0.977	0.064	0.520	0.006						
N2		3238.995	3002.000	3002.000	2923.000	2607.005						
O2		trace	trace	trace	trace	trace						
CO2		13.378	8.931	21.191	10.561	36.020						
CO		556.162	520.091	503.745	503.919	413.974						

Stream ID		FMD7	FMD8	FMD9	FMD10	FMD11	FMD12	FMD13	FMD14	FMD15	FMD16	FMD17
Temperature	C	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	43869.221	42312.106	40771.629	39248.198	47007.421	45054.373	43126.559	41225.035	39337.514	49711.637	47116.250
Mass Flow	kg/hr	833279.670	805227.799	777475.682	750030.644	900556.061	865371.358	830641.235	796384.746	762380.529	967174.157	920416.619
Volume Flow	cum/hr	836.624	807.559	778.804	750.368	899.642	863.186	827.201	791.707	756.474	957.517	909.071
Enthalpy	Gcal/hr	-2961.077	-2856.595	-2753.230	-2651.008	-3176.017	-3044.968	-2915.612	-2788.021	-2661.369	-3364.748	-3190.598
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		42806.487	41249.371	39708.895	38185.464	45679.003	43725.955	41798.141	39896.616	38009.096	47940.426	45345.062
NACL		1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1328.418	1328.418	1328.418	1328.418	1328.418	1771.211	1771.189
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FMD18	FMD19	FMD20	FMD21	FMD22	FMD23	FMD24	FMD25	FMD26	FMD27	FMD28
Temperature	C	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	44565.254	42053.843	39590.236	44438.927	41505.261	38635.710	35844.121	33135.792	37920.371	34613.707	31460.422
Mass Flow	kg/hr	874458.427	829214.650	784832.055	886502.515	833648.339	781951.559	731659.088	682866.362	790536.488	730963.795	674149.664
Volume Flow	cum/hr	861.453	814.575	768.589	865.014	810.252	756.688	704.580	654.025	752.210	690.487	631.624
Enthalpy	Gcal/hr	-3019.427	-2850.912	-2685.605	-3016.773	-2819.924	-2627.378	-2440.064	-2258.335	-2588.111	-2366.235	-2154.648
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		42794.097	40282.687	37819.080	42313.555	39379.972	36510.446	33718.888	31010.594	35263.981	31957.372	28804.256
NACL		1771.157	1771.157	1771.156	2125.372	2125.289	2125.264	2125.233	2125.198	2656.390	2656.335	2656.166
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		FMD29	FMD30	FUEL1	FUEL2	FUEL3	FUEL4	FUEL5	HW1A1	HW1A2	HW1A3	HW1B1
Temperature	C	90.0	90.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	225.0	149.6	101.5	225.0
Pressure	bar	1.000	1.000	2.013	2.013	2.013	2.013	2.013	25.474	24.000	23.000	25.474
Vapor Frac		0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	28456.572	25627.184	570.000	530.000	525.000	515.000	450.000	12000.000	12000.000	12000.000	11999.999
Mass Flow	kg/hr	620031.629	569056.517	9144.373	8502.663	8422.449	8262.021	7219.242	216183.358	216183.358	216183.358	216183.338
Volume Flow	cum/hr	575.553	522.738	6754.926	6280.896	6221.642	6103.135	5332.836	259.235	235.419	225.643	259.235
Enthalpy	Gcal/hr	-1953.090	-1763.238	-10.198	-9.483	-9.393	-9.214	-8.051	-774.765	-792.068	-802.605	-774.764
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		25800.476	22971.159						12000.000	12000.000	12000.000	11999.999
NACL		2656.096	2656.025									
CH4				570.000	530.000	525.000	515.000	450.000				
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW1B2	HW1B3	HW1C1	HW1C2	HW1C3	HW1IN	HW1INA	HW1OUT	HW2A1	HW2A2	HW2A3
Temperature	C	179.2	131.1	225.0	178.5	129.3	120.5	225.0	120.7	224.0	180.6	132.9
Pressure	bar	24.000	23.000	25.474	24.000	23.000	23.000	25.474	23.000	25.000	24.000	23.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	11999.999	11999.999	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000	36000.000	12000.000	12000.000	12000.000
Mass Flow	kg/hr	216183.338	216183.338	216183.384	216183.384	216183.384	648550.080	648550.080	648550.080	216183.358	216183.358	216183.358
Volume Flow	cum/hr	243.267	231.273	259.235	243.044	230.903	687.395	777.705	687.471	348.827	243.676	231.665
Enthalpy	Gcal/hr	-785.415	-796.160	-774.765	-785.588	-796.548	-2395.398	-2324.294	-2395.314	-774.508	-785.099	-795.755
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		11999.999	11999.999	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000	36000.000	12000.000	12000.000	12000.000
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW2B1	HW2B2	HW2B3	HW2C1	HW2C2	HW2C3	HW2IN	HW2INA	HW2OUT	HW3A1	HW3A2
Temperature	C	224.0	180.1	132.0	224.0	178.2	130.5	129.4	224.0	131.8	225.0	178.9
Pressure	bar	25.000	24.000	23.000	25.000	24.000	23.000	23.000	25.000	23.000	25.474	24.000
Vapor Frac		0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	11999.988	11999.988	11999.988	12000.012	12000.012	12000.012	36000.000	36000.000	36000.000	12000.000	12000.000
Mass Flow	kg/hr	216183.144	216183.144	216183.144	216183.578	216183.578	216183.578	648550.080	648550.080	648550.080	216183.358	216183.358
Volume Flow	cum/hr	348.827	243.520	231.467	348.828	242.952	231.153	692.768	1046.482	694.282	259.235	243.178
Enthalpy	Gcal/hr	-774.507	-785.218	-795.958	-774.509	-785.661	-796.287	-2389.582	-2323.523	-2388.001	-774.765	-785.484
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		11999.988	11999.988	11999.988	12000.012	12000.012	12000.012	36000.000	36000.000	36000.000	12000.000	12000.000
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW3A3	HW3B1	HW3B2	HW3B3	HW3C1	HW3C2	HW3C3	HW3IN	HW3INA	HW3OUT	HW4A1
Temperature	C	130.6	225.0	179.3	131.6	225.0	181.2	134.6	131.0	225.0	132.3	225.0
Pressure	bar	23.000	25.474	24.000	23.000	25.474	24.000	23.000	23.000	25.474	23.000	25.474
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	12000.000	11999.999	11999.999	11999.999	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000	36000.000	11999.999
Mass Flow	kg/hr	216183.358	216183.338	216183.338	216183.338	216183.384	216183.384	216183.384	648550.080	648550.080	648550.080	216183.338
Volume Flow	cum/hr	231.178	259.235	243.292	231.387	259.235	243.829	232.026	693.785	777.705	694.586	259.235
Enthalpy	Gcal/hr	-796.260	-774.764	-785.395	-796.042	-774.765	-784.982	-795.385	-2388.517	-2324.294	-2387.686	-774.764
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		12000.000	11999.999	11999.999	11999.999	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000	36000.000	11999.999
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW4A2	HW4A3	HW4B1	HW4B2	HW4B3	HW4C1	HW4C2	HW4C3	HW4IN	HW4INA	HW4OUT
Temperature	C	180.9	134.9	225.0	180.2	134.6	225.0	182.6	139.1	132.3	225.0	136.2
Pressure	bar	24.000	23.000	25.474	24.000	23.000	25.474	24.000	23.000	23.000	25.474	23.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	11999.999	11999.999	11999.988	11999.988	11999.988	12000.013	12000.013	12000.013	36000.000	36000.000	36000.000
Mass Flow	kg/hr	216183.338	216183.338	216183.144	216183.144	216183.144	216183.598	216183.598	216183.598	648550.080	648550.080	648550.080
Volume Flow	cum/hr	243.760	232.094	259.235	243.544	232.019	259.235	244.261	233.017	694.583	777.705	697.121
Enthalpy	Gcal/hr	-785.034	-795.315	-774.764	-785.200	-795.392	-774.765	-784.653	-794.391	-2387.690	-2324.294	-2385.098
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		11999.999	11999.999	11999.988	11999.988	11999.988	12000.013	12000.013	12000.013	36000.000	36000.000	36000.000
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW5A1	HW5A2	HW5A3	HW5B1	HW5B2	HW5B3	HW5C1	HW5C2	HW5C3	HW5IN	HW5INA
Temperature	C	224.0	184.2	140.6	224.0	185.5	146.1	224.0	189.2	154.8	141.9	224.0
Pressure	bar	25.000	24.000	23.000	25.000	24.000	23.000	25.000	24.000	23.000	23.000	25.000
Vapor Frac		0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002
Mole Flow	kmol/hr	11999.999	11999.999	11999.999	12000.000	12000.000	12000.000	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000
Mass Flow	kg/hr	216183.338	216183.338	216183.338	216183.358	216183.358	216183.358	216183.384	216183.384	216183.384	648550.080	648550.080
Volume Flow	cum/hr	298.469	244.749	233.350	298.469	245.133	234.611	298.469	246.295	236.705	700.918	895.406
Enthalpy	Gcal/hr	-774.786	-784.283	-794.061	-774.786	-783.995	-792.844	-774.786	-783.139	-790.909	-2381.335	-2324.358
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		11999.999	11999.999	11999.999	12000.000	12000.000	12000.000	12000.001	12000.001	12000.001	36000.000	36000.000
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		HW5OUT	PEMD1	PEMD2	PEMD3	PEMD4	PEMD5	PEMD6	PEMD7	PEMD8	PEMD9	PEMD10
Temperature	C	147.2	71.1	70.1	69.1	68.0	66.9	68.8	67.6	66.4	65.1	63.8
Pressure	bar	23.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	36000.000	7970.710	7967.518	7964.236	7960.864	7957.400	7962.202	7958.450	7954.585	7950.606	7946.513
Mass Flow	kg/hr	648550.080	143594.574	143537.072	143477.949	143417.191	143354.783	143441.293	143373.709	143304.068	143232.392	143158.655
Volume Flow	cum/hr	704.592	146.966	146.820	146.669	146.516	146.359	146.606	146.437	146.265	146.089	145.909
Enthalpy	Gcal/hr	-2377.815	-537.546	-537.476	-537.404	-537.330	-537.253	-537.309	-537.225	-537.137	-537.047	-536.954
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		36000.000	7970.710	7967.518	7964.236	7960.864	7957.400	7962.202	7958.450	7954.585	7950.606	7946.513
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PEMD11	PEMD12	PEMD13	PEMD14	PEMD15	PEMD16	PEMD17	PEMD18	PEMD19	PEMD20	PEMD21
Temperature	C	69.5	68.1	66.6	65.1	63.5	70.6	68.8	66.9	65.0	63.0	66.2
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	7961.533	7956.877	7952.045	7947.031	7941.795	7960.538	7954.377	7947.884	7941.027	7933.804	7940.971
Mass Flow	kg/hr	143429.251	143345.374	143258.322	143167.994	143073.656	143411.324	143300.329	143183.361	143059.825	142929.697	143058.819
Volume Flow	cum/hr	146.654	146.448	146.237	146.019	145.796	146.730	146.466	146.190	145.903	145.607	146.002
Enthalpy	Gcal/hr	-537.163	-537.051	-536.934	-536.812	-536.683	-536.940	-536.775	-536.602	-536.417	-536.218	-536.239
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7961.533	7956.877	7952.045	7947.031	7941.795	7960.538	7954.377	7947.884	7941.027	7933.804	7940.971
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PEMD22	PEMD23	PEMD24	PEMD25	PEMD26	PEMD27	PEMD28	PEMD29	PEMD30	PERM4	PERME1A
Temperature	C	63.9	61.5	59.0	56.4	59.8	56.7	53.4	50.1	46.7	63.1	69.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	7932.418	7923.273	7913.518	7903.102	7908.471	7895.140	7880.642	7864.714	7847.175	47585.012	47782.930
Mass Flow	kg/hr	142904.733	142739.981	142564.250	142376.596	142473.319	142233.152	141971.978	141685.033	141369.047	857257.305	860822.860
Volume Flow	cum/hr	145.657	145.297	144.924	144.539	144.892	144.415	143.919	143.400	142.860	873.374	879.932
Enthalpy	Gcal/hr	-535.990	-535.717	-535.416	-535.082	-534.961	-534.502	-533.978	-533.371	-532.664	-3215.997	-3224.318
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7932.418	7923.273	7913.518	7903.102	7908.471	7895.140	7880.642	7864.714	7847.175	47585.012	47782.930
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PERME1B	PERME2	PERME3	PERME3,1	PERME3,2	PERME4,1	PERME4,2	PERME5	PERME5,1	PERME5,2	PERMEATE
Temperature	C	63.2	66.7	66.9	28.0	28.0	28.0	28.0	53.8	28.0	28.0	62.8
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	47782.930	47728.564	47703.671	45392.016	45392.016	45392.016	45392.016	47299.244	45392.016	45392.016	238099.420
Mass Flow	kg/hr	860822.860	859843.450	859394.987	817749.875	817749.875	817749.875	817749.875	852109.125	817749.875	817749.875	4.28943E+6
Volume Flow	cum/hr	877.066	877.793	877.423	820.745	820.745	820.745	820.745	863.967	820.745	820.745	4369.301
Enthalpy	Gcal/hr	-3229.267	-3222.577	-3220.745	-3096.402	-3096.402	-3096.402	-3096.402	-3204.558	-3096.402	-3096.402	-16093.144
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		47782.930	47728.564	47703.671	45392.016	45392.016	45392.016	45392.016	47299.244	45392.016	45392.016	238099.420
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PMD1	PMD2	PMD3	PMD4	PMD5	PMD6	PMD7	PMD8	PMD9	PMD10	PMD11
Temperature	C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336
Mass Flow	kg/hr	136291.649	136291.649	136291.649	136291.649	136291.649	136291.632	136291.649	136291.649	136291.649	136291.649	136291.649
Volume Flow	cum/hr	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791
Enthalpy	Gcal/hr	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PMD12	PMD13	PMD14	PMD15	PMD16	PMD17	PMD18	PMD19	PMD20	PMD21	PMD22
Temperature	C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336
Mass Flow	kg/hr	136291.632	136291.646	136291.646	136291.646	136291.646	136291.646	136291.644	136291.649	136291.649	136291.649	136291.649
Volume Flow	cum/hr	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791
Enthalpy	Gcal/hr	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PMD23	PMD24	PMD25	PMD26	PMD27	PMD28	PMD29	PMD30	PURE	PURE1,1	PURE1,2
Temperature	C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	7565.336	7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	226960.079	45392.016	45392.016
Mass Flow	kg/hr	136291.649	136291.632	136291.649	136291.646	136291.646	136291.646	136291.646	136291.643	4.08875E+6	817749.875	817749.875
Volume Flow	cum/hr	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	136.791	4103.725	820.745	820.745
Enthalpy	Gcal/hr	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-516.067	-15482.008	-3096.402	-3096.402
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		7565.336	7565.335	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	7565.336	226960.079	45392.016	45392.016
NACL												
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		PURE2,1	PURE2,2	RECO1	RECO2	RECO3	RECO4	RECO5	RECO6	RECO7	RECO8	RECO9
Temperature	C	28.0	28.0	77.9	77.3	76.8	76.3	75.7	76.8	76.2	75.6	75.0
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	45392.016	45392.016	34917.799	33858.055	32807.219	31765.606	30733.478	33784.493	32607.724	31443.079	30290.915
Mass Flow	kg/hr	817749.875	817749.875	657370.693	638279.111	619348.005	600583.056	581988.983	640859.634	619659.792	598678.396	577921.837
Volume Flow	cum/hr	820.745	820.745	658.276	638.449	618.798	599.328	580.044	638.494	616.502	594.747	573.238
Enthalpy	Gcal/hr	-3096.402	-3096.402	-2362.050	-2291.043	-2220.614	-2150.791	-2081.591	-2288.021	-2208.994	-2130.905	-2053.635
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		45392.016	45392.016	34217.361	33157.617	32106.781	31065.168	30033.040	32987.443	31810.673	30646.028	29493.864
NACL				700.439	700.439	700.439	700.439	700.439	797.051	797.051	797.051	797.051
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		RECO10	RECO11	RECO12	RECO13	RECO14	RECO15	RECO16	RECO17	RECO18	RECO19	RECO20
Temperature	C	74.4	77.5	76.8	76.1	75.4	74.7	78.6	77.8	76.9	76.1	75.2
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	29151.608	37290.666	35732.128	34193.992	32677.065	31168.846	41919.426	39718.785	37556.172	35426.438	33338.513
Mass Flow	kg/hr	557396.910	714765.152	686687.666	658977.712	631649.835	604478.849	816054.454	776408.448	737447.236	699079.643	661465.084
Volume Flow	cum/hr	551.981	708.133	679.000	650.267	621.948	593.814	801.795	760.648	720.242	680.486	641.544
Enthalpy	Gcal/hr	-1977.209	-2528.114	-2423.635	-2320.498	-2218.755	-2117.401	-2846.055	-2698.588	-2553.640	-2410.587	-2270.493
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		28354.557	36227.931	34669.394	33131.258	31614.330	30106.111	40413.899	38213.278	36050.694	33920.954	31833.031
NACL		797.051	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1505.528	1505.507	1505.479	1505.483	1505.483
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

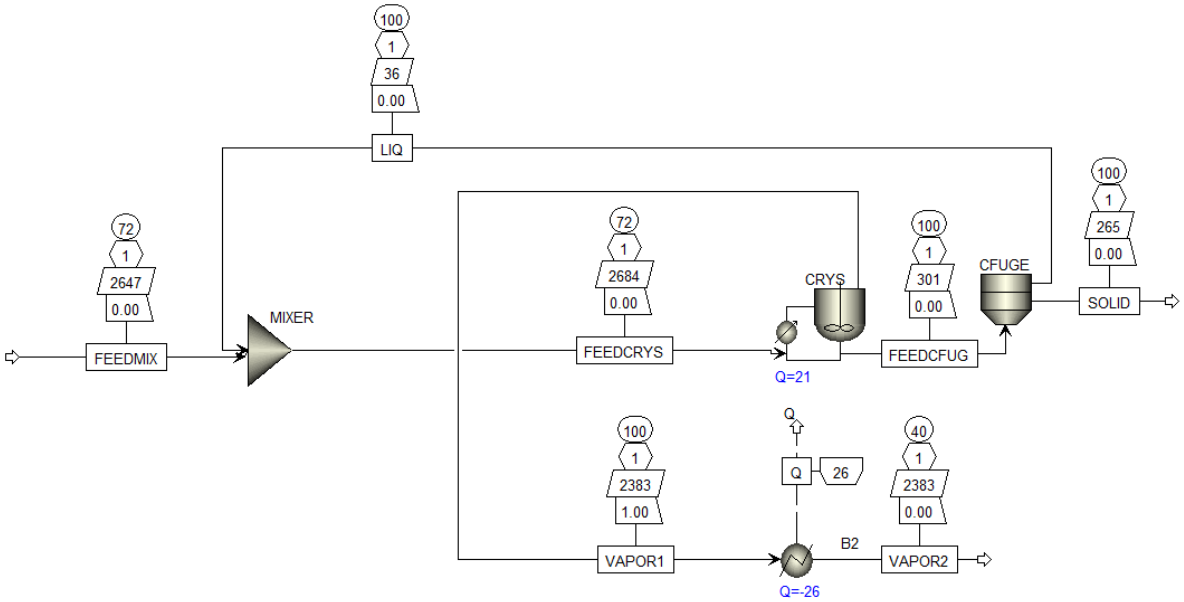
Stream ID		RECO21	RECO22	RECO23	RECO24	RECO25	RECO26	RECO27	RECO28	RECO29	RECO30	REMD1
Temperature	C	77.1	76.2	75.2	74.3	73.4	75.6	74.6	73.8	73.0	72.4	77.9
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	38555.661	35997.349	33493.437	31059.399	28698.800	33820.618	30855.984	28032.032	25342.061	22811.464	48162.482
Mass Flow	kg/hr	769773.414	723681.421	678572.152	634721.185	592193.054	705938.812	652528.313	601647.435	553184.696	507592.693	906718.197
Volume Flow	cum/hr	744.785	697.045	650.375	605.059	561.164	665.501	610.358	557.905	508.025	461.172	907.967
Enthalpy	Gcal/hr	-2626.541	-2454.924	-2286.607	-2123.142	-1964.525	-2317.241	-2117.996	-1928.174	-1747.222	-1576.886	-3258.000
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		36695.963	34137.732	31633.835	29199.824	26839.256	31429.877	28465.288	25641.499	22951.581	20421.049	47196.359
NACL		1859.698	1859.617	1859.602	1859.575	1859.544	2390.740	2390.696	2390.533	2390.480	2390.415	966.122
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		REMD2	REMD3	REMD4	REMD5	REMD6	REMD7	REMD8	REMD9	REMD10	REMD11	REMD12
Temperature	C	77.3	76.8	76.3	75.7	76.8	76.2	75.6	75.0	74.4	77.5	76.8
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	46700.556	45250.972	43814.096	42390.291	45045.991	43476.107	41922.857	40386.359	38867.021	46611.224	44662.831
Mass Flow	kg/hr	880381.192	854266.532	828380.810	802730.572	854479.512	826197.610	798215.380	770534.938	743163.637	893418.458	858317.616
Volume Flow	cum/hr	880.616	853.508	826.649	800.048	851.325	821.987	792.974	764.289	735.942	885.129	848.709
Enthalpy	Gcal/hr	-3160.020	-3062.852	-2966.519	-2871.044	-3050.695	-2945.386	-2841.222	-2738.158	-2636.222	-3159.796	-3029.167
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		45734.433	44284.850	42847.974	41424.169	43983.257	42413.373	40860.123	39323.625	37804.287	45282.806	43334.413
NACL		966.122	966.122	966.122	966.122	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1062.734	1328.418	1328.418
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		REMD13	REMD14	REMD15	REMD16	REMD17	REMD18	REMD19	REMD20	REMD21	REMD22	REMD23
Temperature	C	76.1	75.4	74.7	78.6	77.8	76.9	76.1	75.2	77.1	76.2	75.2
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Flow	kmol/hr	42739.849	40843.339	38961.055	49316.435	46727.209	44182.705	41678.152	39221.768	44063.291	41138.179	38277.773
Mass Flow	kg/hr	823674.559	789508.398	755598.518	960054.479	913407.937	867566.710	822446.473	778194.007	879735.344	827035.255	775503.226
Volume Flow	cum/hr	812.786	777.382	742.268	943.279	894.867	847.326	800.571	754.757	851.178	796.595	743.279
Enthalpy	Gcal/hr	-2900.210	-2772.994	-2646.698	-3348.179	-3174.598	-3003.966	-2835.958	-2671.122	-3001.536	-2805.276	-2613.276
Mole Flow	kmol/hr											
WATER		41411.431	39514.921	37632.637	47545.224	44956.021	42411.548	39906.996	37450.612	41937.920	39012.890	36152.509
NACL		1328.418	1328.418	1328.418	1771.211	1771.189	1771.157	1771.157	1771.156	2125.372	2125.289	2125.264
CH4												
N2												
O2												
CO2												
CO												

Stream ID		REMD24	REMD25	REMD26	REMD27	REMD28	REMD29	REMD30	TOTAIR1	TOTAIR2
Temperature	C	74.3	73.4	75.6	74.6	73.8	73.0	72.4	28.0	302.4
Pressure	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.013
Vapor Frac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000
Mole Flow	kmol/hr	35495.938	32798.026	37577.236	34283.904	31145.116	28157.194	25345.345	18700.000	18700.000
Mass Flow	kg/hr	725386.470	676781.415	784354.815	725022.289	668469.333	614638.242	563979.113	539502.428	539502.428
Volume Flow	cum/hr	691.487	641.320	739.425	678.167	619.869	564.462	512.402	468019.076	149035.535
Enthalpy	Gcal/hr	-2426.459	-2245.185	-2574.482	-2353.224	-2142.213	-1941.211	-1751.922	0.362	36.700
Mole Flow	kmol/hr									
WATER		33370.705	30672.828	34920.846	31627.569	28488.949	25501.098	22689.320		
NACL		2125.233	2125.198	2656.390	2656.335	2656.166	2656.096	2656.025		
CH4										
N2									14773.000	14773.000
O2									3927.000	3927.000
CO2										
CO										

THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)			
PROJECT: EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD			
DRAWING TITLE: HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR OVERALL SYSTEM			
SCALE : ~	DRAWING NO. HMB-007	SHEET 7/7	REV. -



Heat and Material Balance Table								
Stream ID		FEEDCFUG	FEEDCRYS	FEEDMIX	LIQ	SOLID	VAPOR1	VAPOR2
Temperature	C	100.0	72.4	72.0	100.0	100.0	100.0	40.0
Pressure	bar	0.906	1.000	1.000	1.000	1.000	0.906	1.000
Mass VFrac		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
Mass SFrac		0.952	0.001	0.000	0.091	1.000	0.000	0.000
*** ALL PHASES ***								
Mass Flow	kg/hr	16328.114	59251.048	58395.817	855.212	15472.903	42922.934	42922.934
Volume Flow	cum/hr	7.952	51.978	51.254	0.723	7.229	81550.258	43.827
Enthalpy	Gcal/hr	-28.291	-185.292	-182.766	-2.526	-25.765	-136.170	-162.002
Density	kg/cum	2053.320	1139.933	1139.337	1182.526	2140.439	0.526	979.368
Mass Flow	kg/hr							
H2O		564.357	43487.291	42923.898	563.381	0.976	42922.934	42922.934
NACL(S)		15549.302	77.748		77.747	15471.556		
NACL		214.455	15686.009	15471.919	214.084	0.371		

THE THAI INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND APPLIED CHEMISTRY (TICHE)

PROJECT:

EVALUATION TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SEAWATER DESALINATION PLANT DESIGN IN DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION METHOD

DRAWING TITLE:

HEAT AND MATERIAL BALANCE DIAGRAM FOR CRYSTALLIZATION SYSTEM

SCALE :	DRAWING NO.	SHEET	REV.
~	HMB-CRYS-001	1/1	-