

出國報告（出國類別：實習）

海水淡化系統之規劃設計 及運轉維修技術研習

服務機關：台灣電力公司興達發電廠

姓名職稱：謝汝傑 環境保護專員

派赴國家：韓國

出國期間：113年03月03日至113年03月16日

報告日期：113年04月30日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：海水淡化系統之規劃設計及運轉維修技術研習

頁數 19 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

謝汝傑/台灣電力公司/興達發電廠/環境保護專員/07-6912811#3393

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 開會6 其他

出國期間：113 年 03 月 03 日至 113 年 03 月 16 日

出國地區：韓國

報告日期：113 年 04 月 30 日

關鍵詞：海水淡化、逆滲透

內容摘要：(二百至三百字)

興達發電廠新建燃氣機組一期規畫以海淡水為製程供水來源之一。本次派員赴原設計廠商 TSK Engineering (現已合併為 Geumhwa Water Treatment Service)學習海水淡化系統之設計概念、造水製程、日常維護及化學清洗操作原則等。後續至興達電廠海水淡化系統之泵浦供應商(Soo Kwang)及逆滲透 RO 膜供應商(Toray)觀摩產品製程及品管方式，以了解設備性能、操作原理及簡易故障排除。

另赴韓國東岸蔚珍郡(Unjin)核電廠的海水淡化系統(由原設計廠商建置及後續操作維護)以及濟州島海水淡化廠參訪，向現場操作人員學習維護經驗及操作注意事項。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

壹、實習目的	5
貳、實習過程	5
參、實習內容	
一、興達發電廠海水淡化廠設計概要	6
二、前處理系統	9
三、RO 系統	12
四、能源回收裝置 ERD (Energy Recovery Device)	15
五、CIP 系統 (Clean In Place)	18
肆、心得及建議	18
伍、參考資料	19

圖 目 錄

圖 1、興達發電廠海水淡化廠-簡要架構圖-----	6
圖 2、興達發電廠海水淡化廠-前處理系統流程圖-----	6
圖 3、興達發電廠海水淡化廠-RO 系統流程圖-----	7
圖 4、興達發電廠海水淡化廠-污泥處理系統流程圖-----	7
圖 5、興達發電廠海水淡化廠-CIP 系統流程圖-----	8
圖 6、興達發電廠海水淡化廠-加藥系統流程圖-----	8
圖 7、DAF 作用原理圖-----	9
圖 8、UF 模型及過濾原理-----	9
圖 9、Toray UF 設計原理-----	10
圖 10、UF 操作流程-----	10
圖 11、TMC 程序圖-----	11
圖 12、執行 TMC 效能圖-----	11
圖 13、滲透現象及逆滲透原理-----	12
圖 14、Toray RO 膜結構-----	12
圖 15、RO 膜元件及模組-----	13
圖 16、興達海淡廠 Toray RO 膜規格-----	13
圖 17、RO 系統常見故障判定及處置方法-----	14
圖 18、濟州島熔岩海水-----	15
圖 19、Danfoss APP 內部設計-----	15
圖 20、Danfoss APP 與離心泵總效能比較圖-----	16
圖 21、Danfoss iSave 設計圖-----	16
圖 22、Danfoss APP 與 iSave 平衡流圖-----	17
圖 23、濟州島水處理廠能量回收裝置-----	17
圖 24、CIP 頻率及化學藥劑-----	18

壹、實習目的

因應興達電廠新燃氣機組一期計畫以海淡水為製程供水來源之一，赴韓國原設計廠商 Tsk Engineering(Geumhwa Water Treatment Service)實習，透過原設計廠人員之講述、解說及問答等方式，瞭解廠家之設計規劃邏輯及熟悉設備之運作流程與維護方式。研習海水淡化廠設計理念、故障排除、系統流程、起停操作、日常維護及化學清洗原理等。

另赴韓國東岸(蔚珍郡)核能電廠，實際參訪由原廠家設計、試車及後續操作維護之海水淡化廠現場設備，向現場操作人員學習平時操作維護經驗，探討運轉可能遭遇問題及解決方式，有助於日後電廠海水淡化廠操作維護及水質管理，以利日後新建機組穩定供水。

貳、實習過程

日期	地點	內容
113.03.03	高雄-首爾	去程
113.03.04~05	HUVIS WATER (Geumhwa Water Treatment Service)	研習海淡廠設計原理及製水流程
113.03.06	Soo Kwang	研習現場泵浦運轉維護
113.03.07~08	KHNP(蔚珍郡核電廠)	實地參訪海水淡化廠(系統流程及日常保養)
113.03.11~12	Danfoss	實地參訪海水淡化廠(能源回收裝置)
113.03.13~15	Toray	研習 RO/UF membrane 運轉維護
113.03.16	首爾-高雄	返程

參、實習內容

一、興達發電廠海水淡化廠設計概要

興達發電廠海水淡化廠(以下簡稱興達海淡廠)簡要架構如圖 1 所示，大項可分為主要系統及附屬系統，其中可分為 5 個子系統，分別為前處理系統、RO 系統、污泥處理系統、CIP 系統及加藥系統，各系統流程示意圖如圖 2~6 所示。

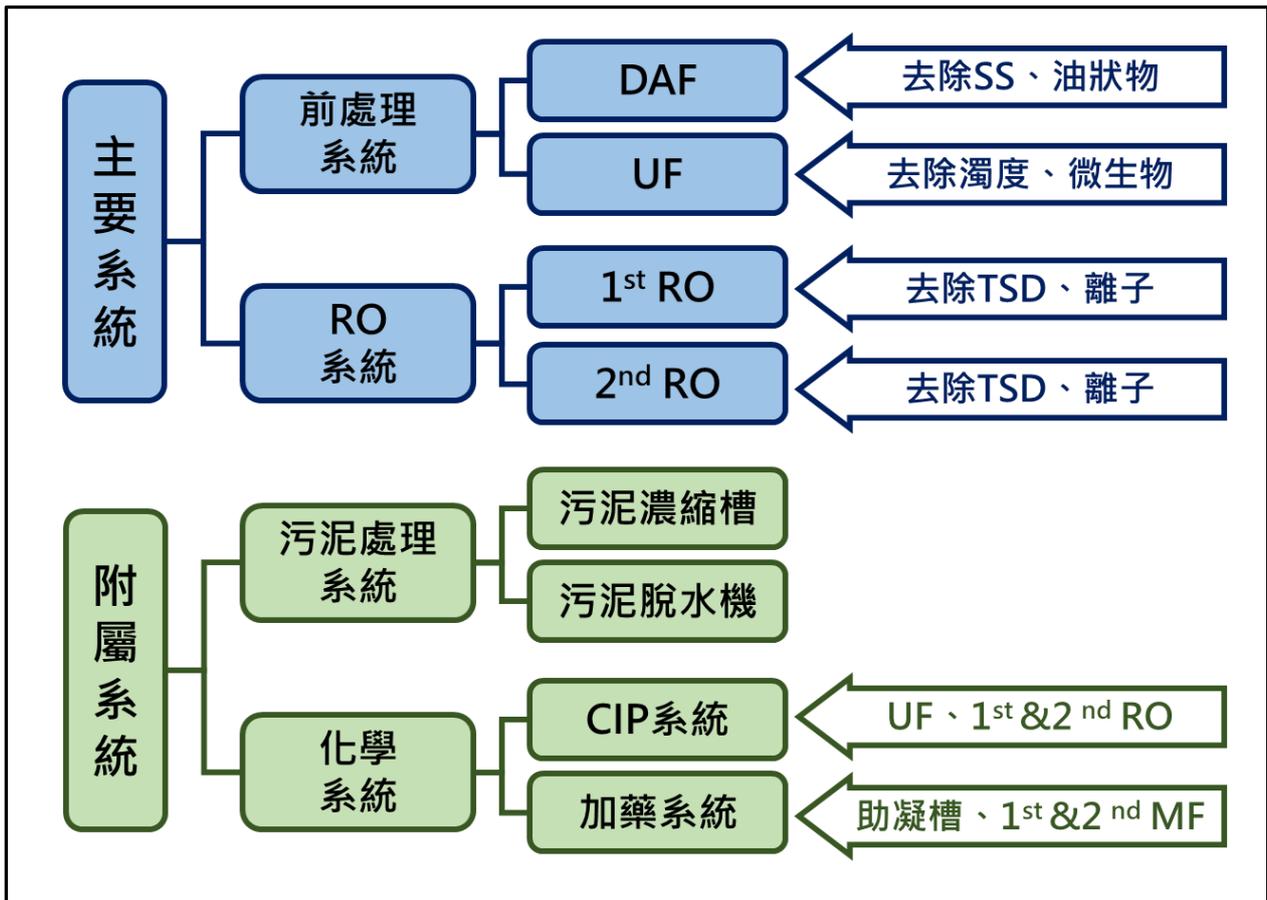


圖 1、興達發電廠海水淡化廠-簡要架構圖

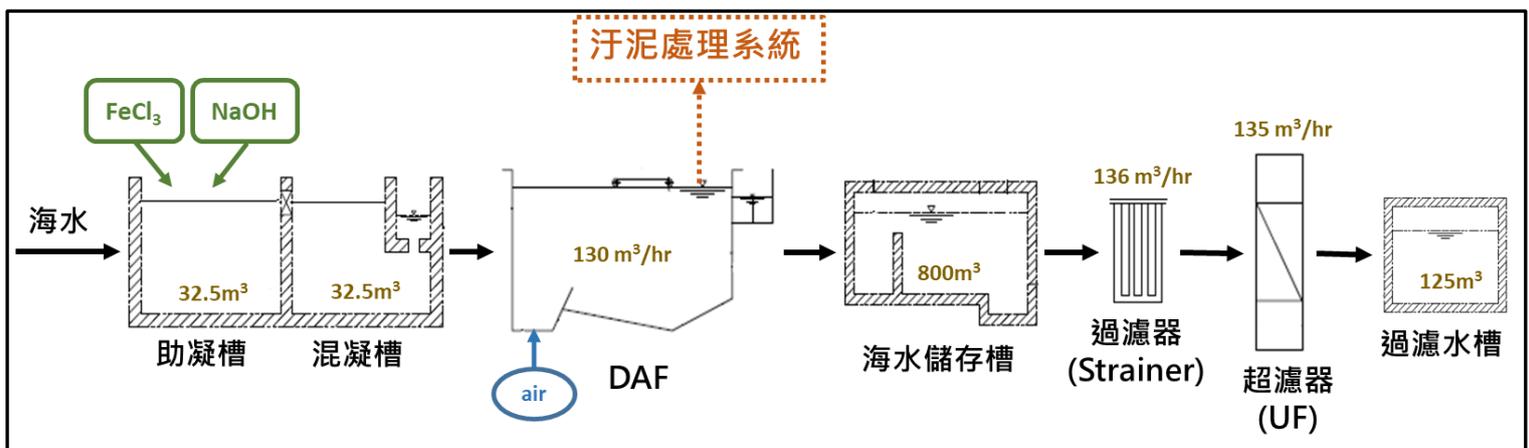


圖 2、興達發電廠海水淡化廠-前處理系統流程圖

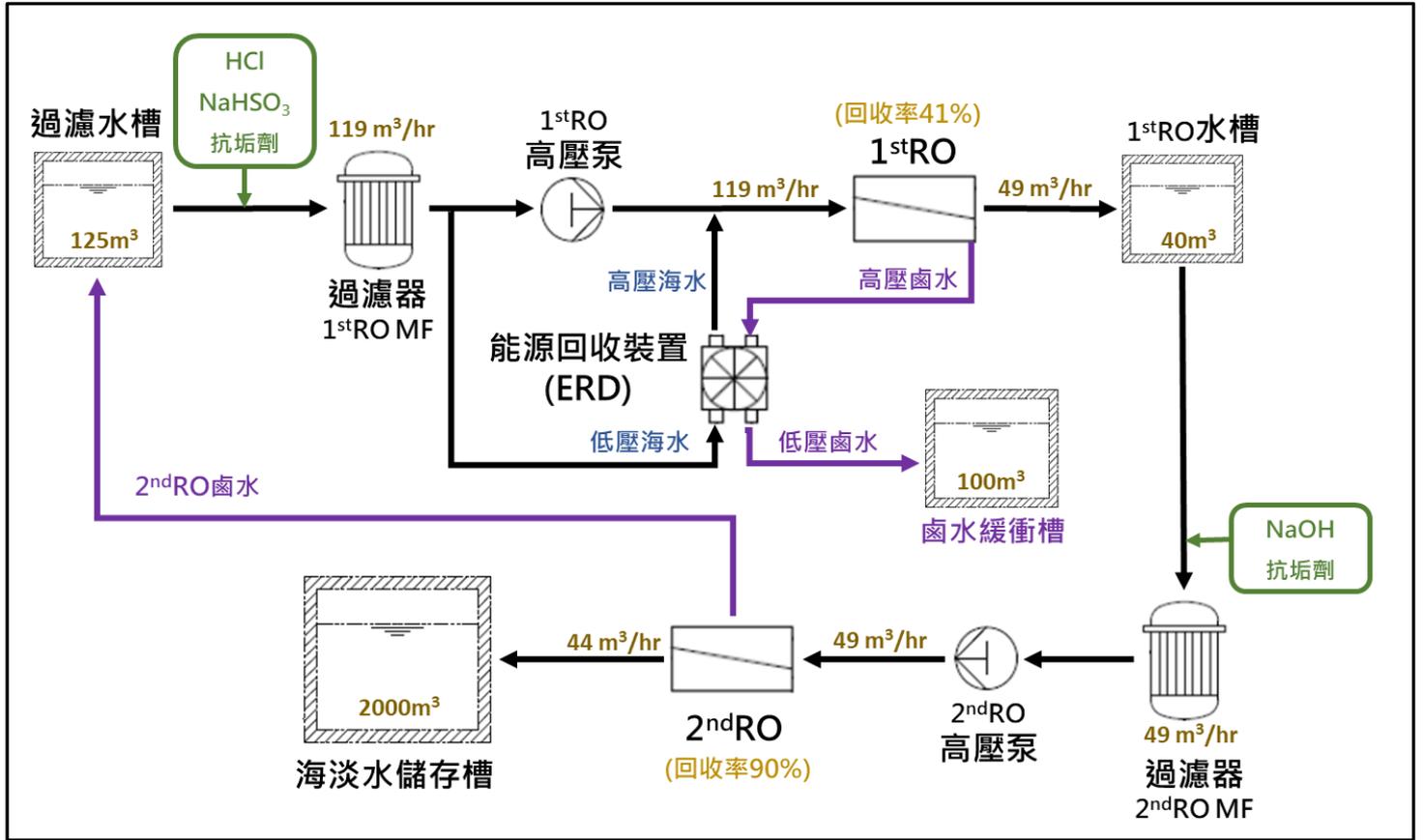


圖 3、興達發電廠海水淡化廠-RO 系統流程圖

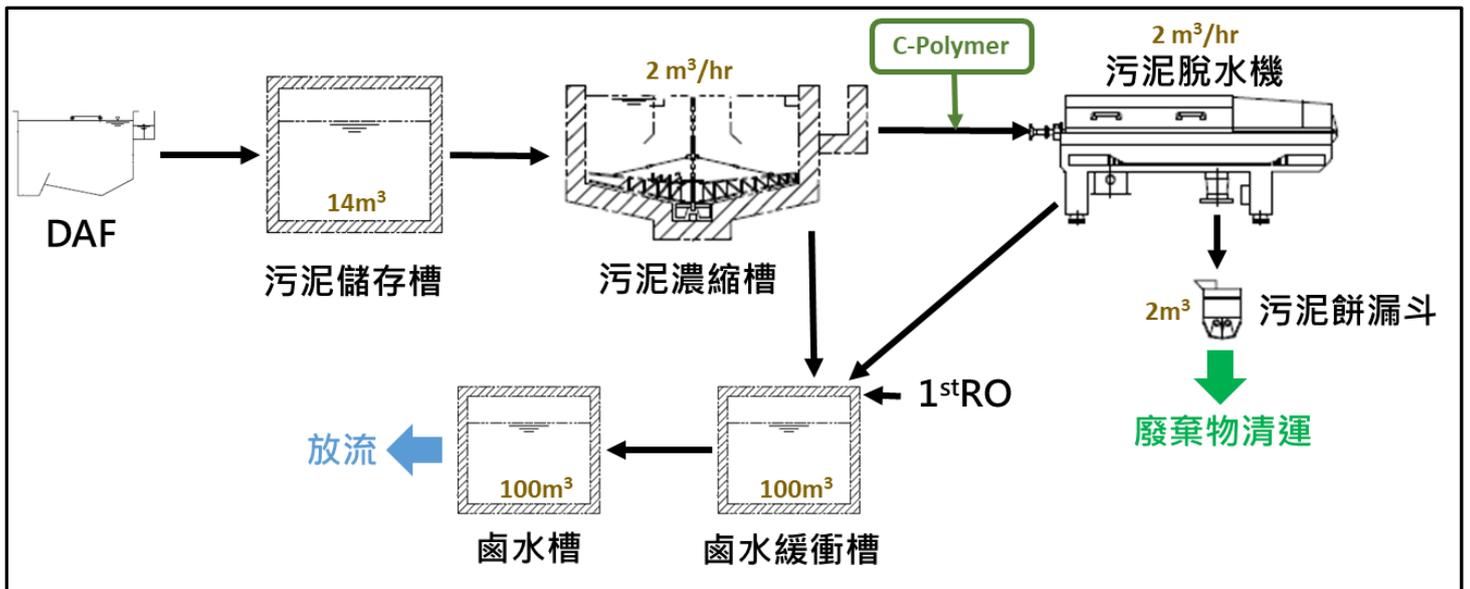


圖 4、興達發電廠海水淡化廠-污泥處理系統流程圖

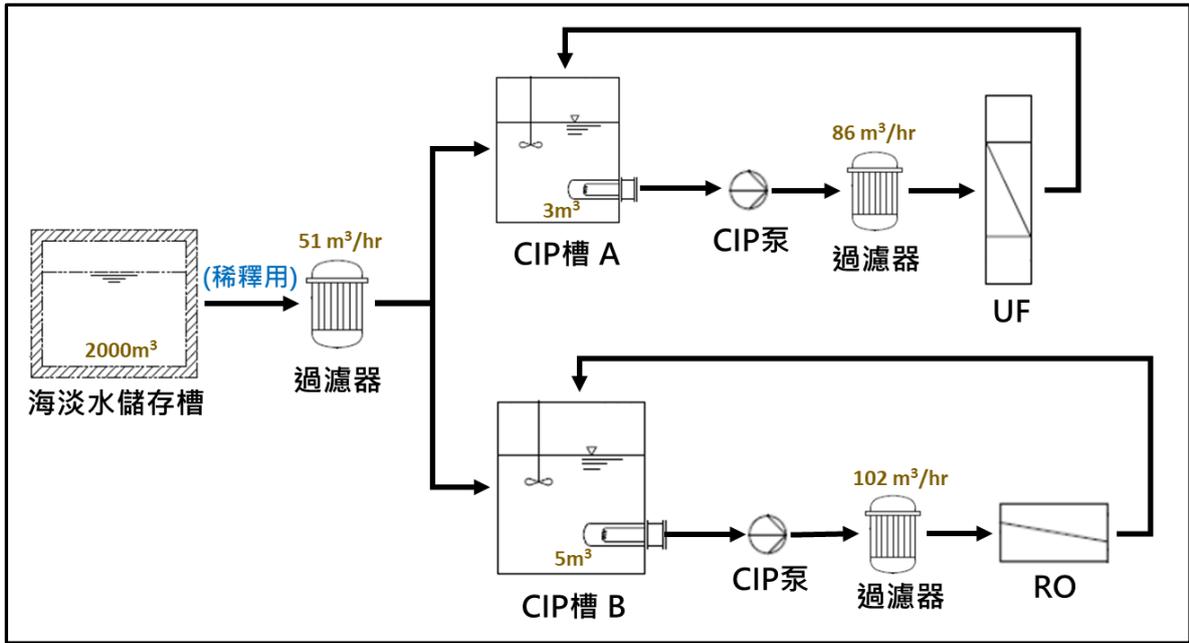


圖 5、興達發電廠海水淡化廠-CIP 系統流程圖

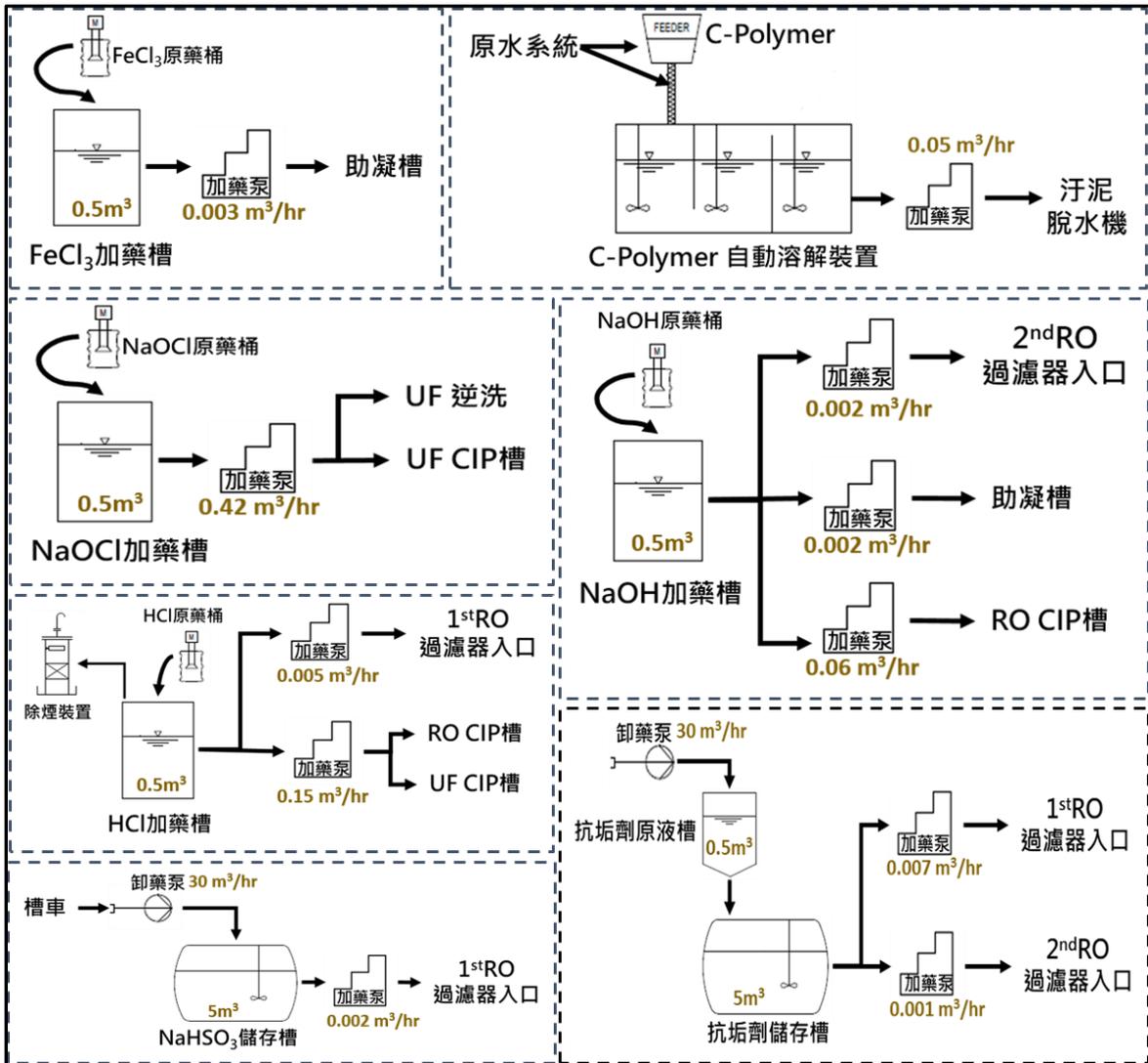


圖 6、興達發電廠海水淡化廠-加藥系統流程圖

二、前處理系統

前處理系統主要包含(DAF)及超濾器(UF)兩個重要元件，目的為去除海水中顆粒較大的雜質，如懸浮固體(SS)、油狀物、微生物等，以延長 RO 膜壽命。海水經由海水傳送泵注入助凝槽並添加 FeCl_3 (助凝劑)及 NaOH (調節 pH 值，原廠建議 pH=7 效果較佳)攪拌，海水中雜質與助凝劑反應後產生膠羽狀污泥，隨後污泥與乾淨海水一同送進 DAF 分離。

DAF(Dissolved Air Flootation)去除原理為自裝置下方打入加壓空氣，藉由細微空氣將污泥帶至上方，利用旋轉刮刀去除污泥，作用原理見圖 7。

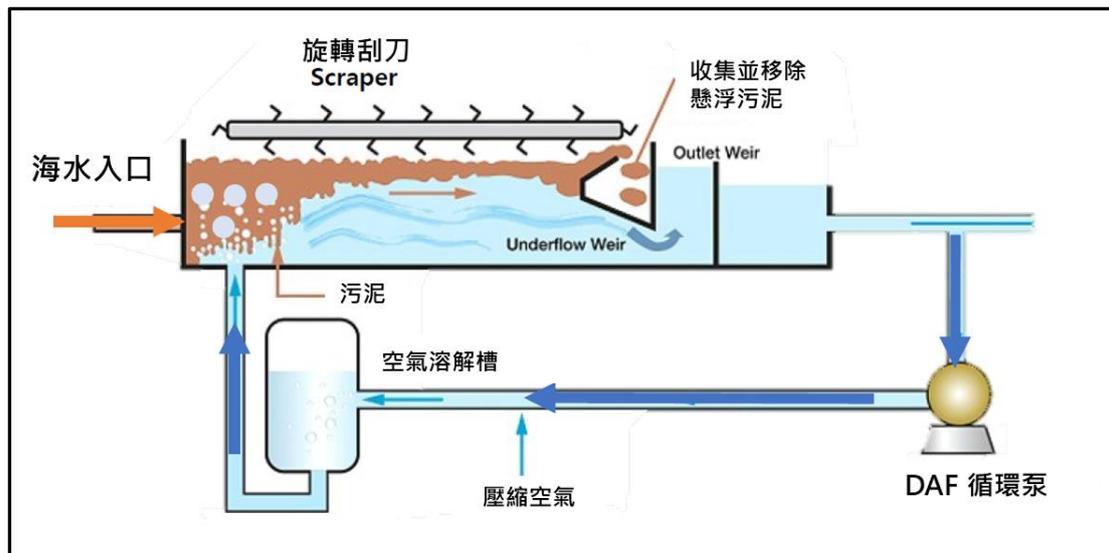


圖 7、DAF 作用原理圖

DAF 處理後之海水送入海水儲存槽，在入 UF 前會先經過一個自動過濾器 (Strainer)，再次去除懸浮固體以保護 UF。

UF 內部填充中空過濾纖維，原水由纖維外進入，過濾後由中心流出，興達海淡廠之 UF 由 Toray 公司供應，參訪現場模型照片及過濾原理見圖 8。



圖 8、UF 模型及過濾原理

Toray 公司 UF 設計原理如圖 9，中空過濾纖維採用 PVDF(聚偏二氟乙烯)材質，具高化學承受性，原廠保證可承受化學清洗時間 240 小時以上，若以每個月 2 小時化學清洗頻率估算可使用 10 年，保證新品使用 3 年不用更換。此外 Toray 特有之 TIPS 技術具高物理耐久性，可承受逆洗或空氣沖洗；外層膜孔徑僅 10nm，表面污垢不易堆積方便清除。

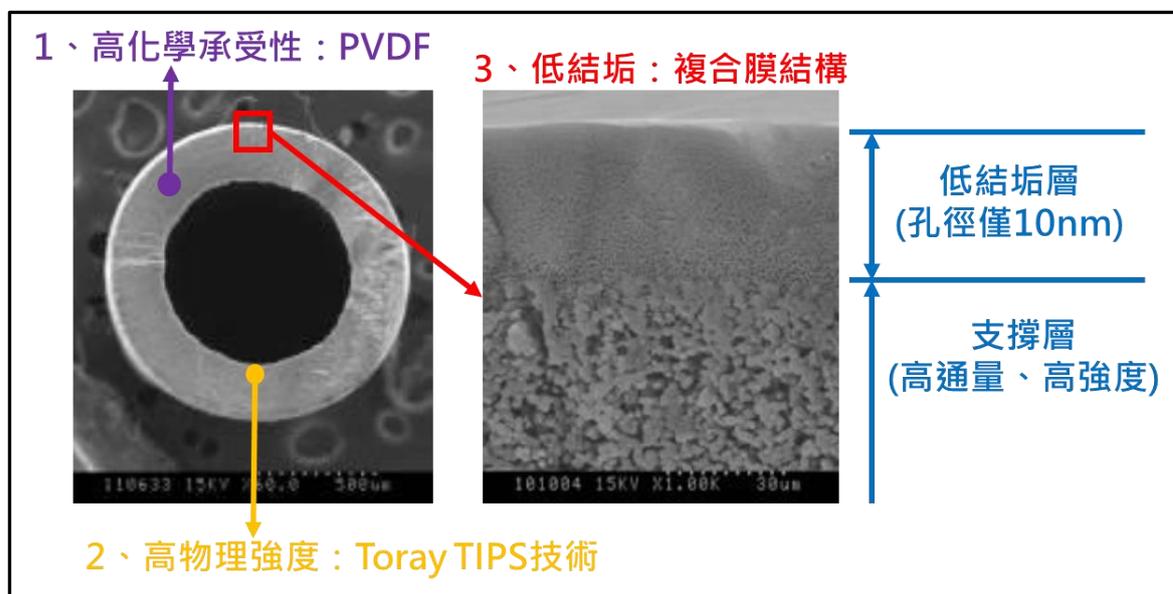


圖 9、Toray UF 設計原理

UF 操作時每隔 30 分鐘或達預定壓差時會進行自動逆洗程序，先以過濾海水(UF 處理水)逆洗，接著以空氣洗滌，最後再進行排放(Drain)及重新填充(Refill)，操作流程見圖 10。

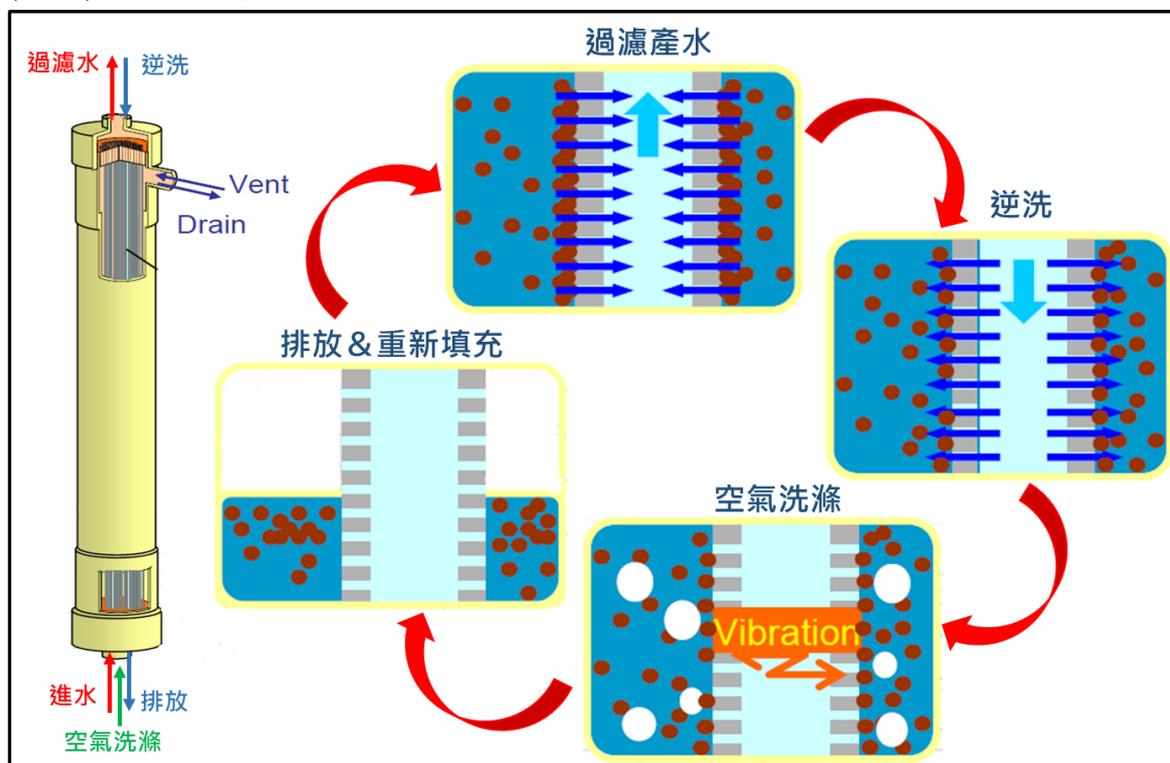


圖 10、UF 操作流程

Toray 原廠建議每日進行自動清洗程序 TMC (Toray Maintenance Cleaning) ，如圖 11，以 300ppm 之次氯酸鈉 NaOCl 浸泡 20 分鐘，可延長需要 CIP 時間，如圖 12。依原設計廠家(HUVIS WATER)於蔚珍郡核電廠代操作之海淡廠維護經驗，UF 約 5 年更換一次，視海水水質及保養頻率而有所變動。另因市面 UF 產品無統一規格化，建議向原廠採購更新。

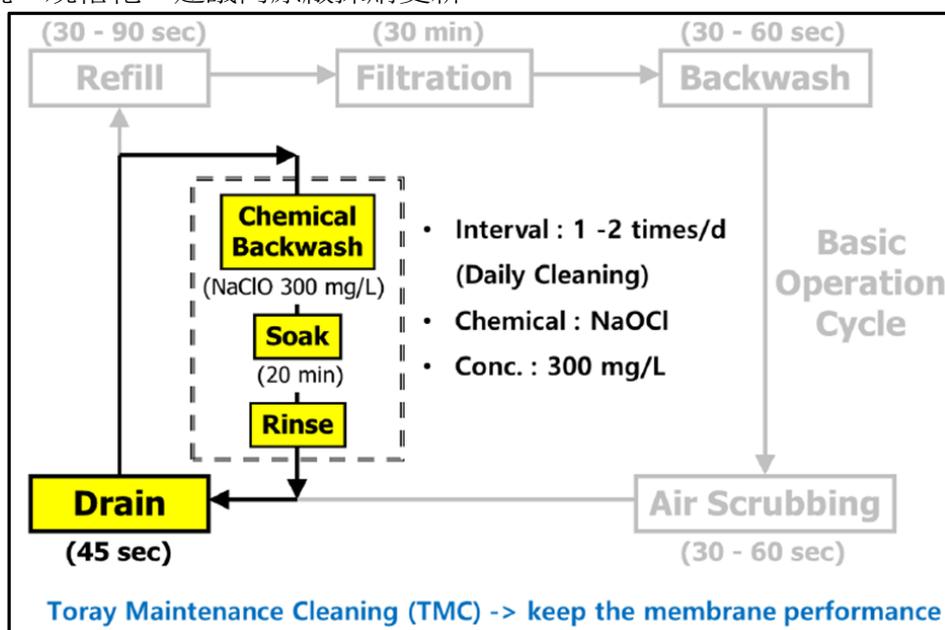


圖 11、TMC 程序圖

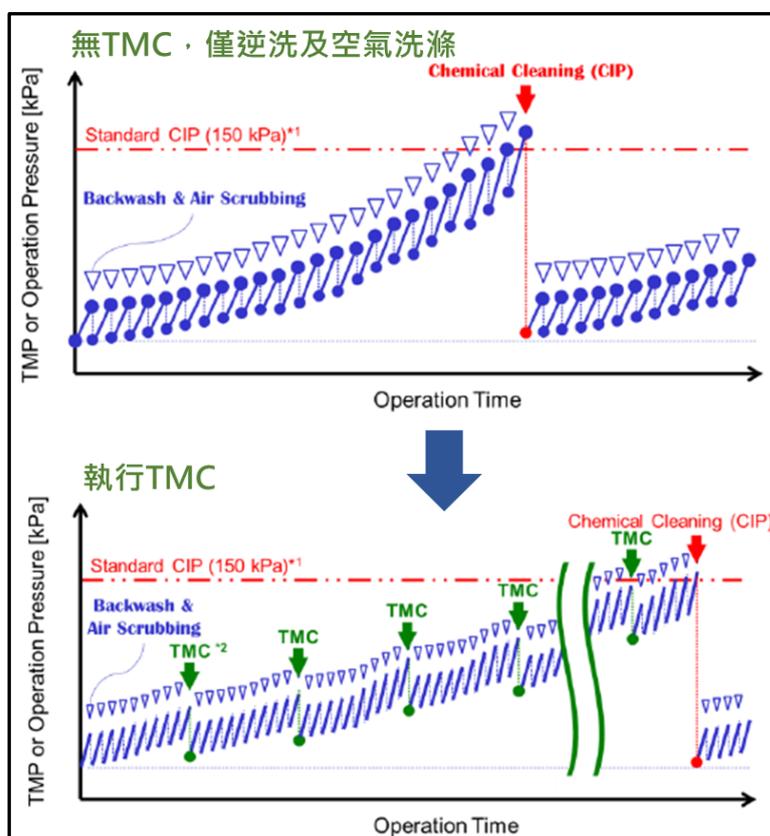


圖 12、執行 TMC 效能圖

三、RO 系統

RO(Reverse Osmosis)逆滲透原理：

若將兩不同濃度鹽類溶液以半透膜隔開，因半透膜具阻擋溶質(鹽類)，僅容許溶劑(水分子)通過之特性，兩邊溶液因滲透壓差異而產生低鹽度溶液(低張溶液)水分子向高鹽度溶液(高張溶液)之現象直至兩邊滲透壓相等為止，平衡後兩液面高度差即為滲透壓差，此即為「滲透現象」。逆滲透原理則是逆向操作，在高張溶液端施加大於滲透壓差之壓力，迫使水分子往低張溶液流動，達到分離鹽類之目的，如圖 13 所示。

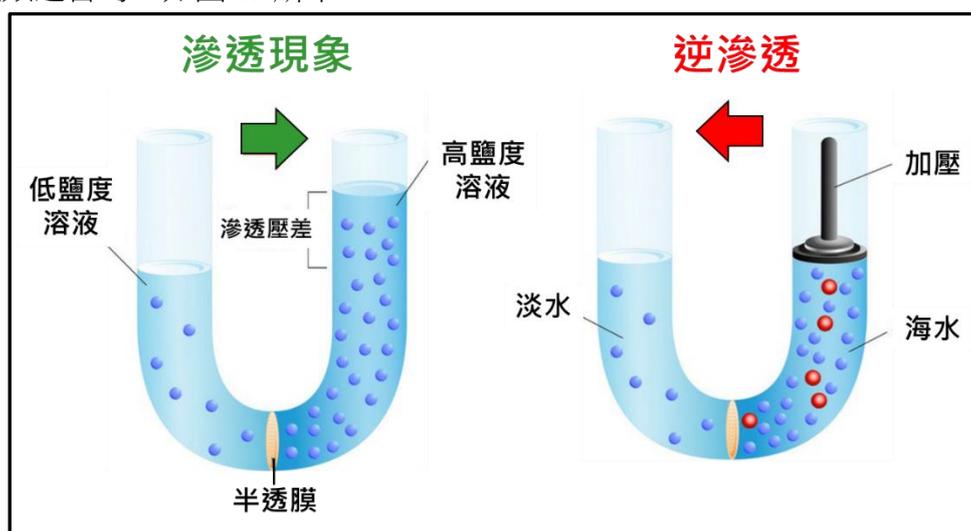


圖 13、滲透現象及逆滲透原理

興達海淡廠 RO 膜原廠為 Toray 公司，其結構設計如圖 14，外層 RO 膜使用交聯芳香聚醯胺材質(Crosslinked Aromatic Polyamide)，厚度僅 $0.2\ \mu\text{m}$ ，為主要作用層，中層使用聚砜薄膜(Polysulfone supporting layer)厚度約 $45\ \mu\text{m}$ 具支撐功能及透水性，底層為聚酯不織布材質(Non-woven Polyester Fabric) 厚度約 $100\ \mu\text{m}$ 。

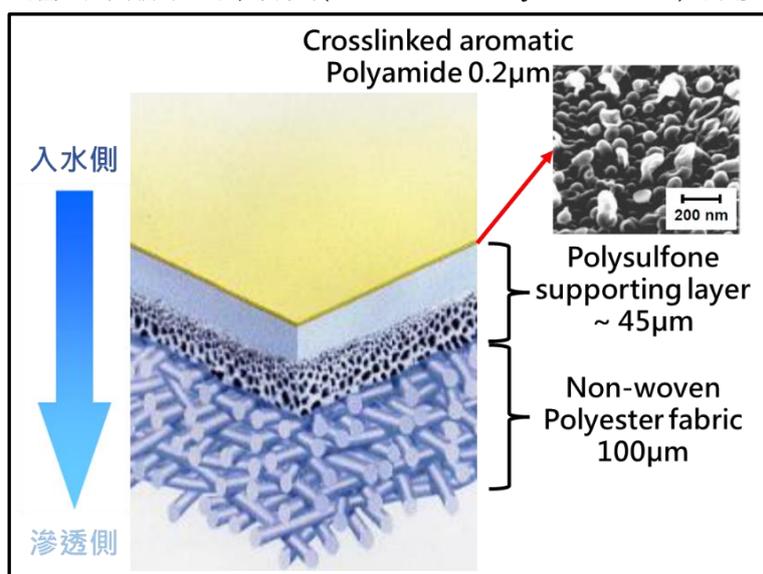


圖 14、Toray RO 膜結構

RO 膜元件及模組如圖 15 所示，RO 元件由多層 RO 膜及通水墊片(spacer)貼合而成，原水從外向內加壓滲透後由中心集水管流出，興達海淡廠每組 RO 內含 7 支 RO 元件，一套 RO 共 12 組，每次需更換 84 支元件。因 RO 元件市面尺寸統一，原設計廠家建議可用相同尺寸及性能之 RO 元件更換即可，不一定要向 Toray 原廠購買。

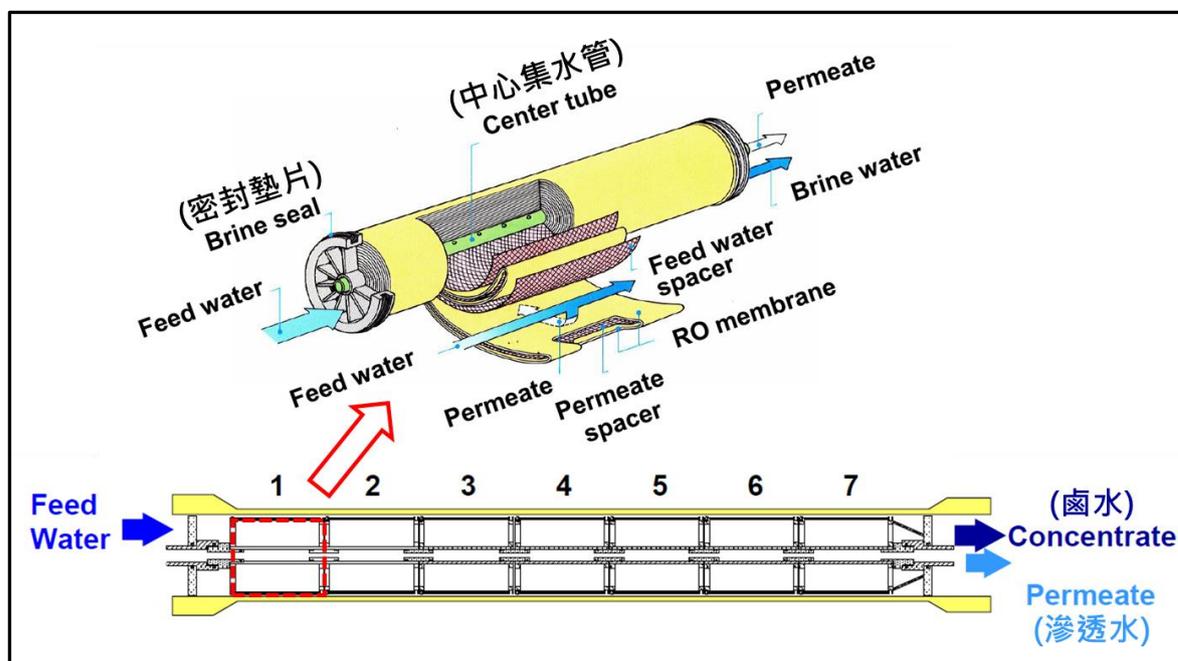


圖 15、RO 膜元件及模組

興達海淡廠採兩段式(2 pass)產水製程，過濾水先後經過第一道 SWRO(Sea Water Reverse Osmosis)及第二道 BWRO(Brackish Water Reverse Osmosis)處理程序後即為產品「海淡水」。兩道 RO 分別使用 Toray 公司 TM820M-400、TM720D-400 之 RO 膜，鹽類離子去除率可達 99.8%，產品規格及測試條件如圖 16。

產品規格	單位	TM-820M-400	TM-720D-400
半透膜面積	Ft ² (m ²)	400(37)	400(37)
正常鹽類去除率	%	99.8	99.8
最小鹽類去除率	%	99.50	99.65
產品流量	gpd(m ³ /d)	7,000(26.5)	11,000(41.6)
最小產品流量	gpd(m ³ /d)	5,600(21.2)	8,900(33.6)
SWRO測試條件：壓力800 psi (5.52 MPa)、水溫77 °F (25°C)、pH=7 入水鹽度32,000ppm NaCl、回收率8%。			
SWRO正常硼去除率：95% at pH 8 (入水添加5 ppm 硼情況下測試)			
BWRO測試條件：壓力225 psi (1.55 Mpa)、水溫77 °F (25°C)、pH=7 入水鹽度2,000ppm NaCl、回收率15%。			

圖 16、興達海淡廠 Toray RO 膜規格

RO 膜安裝時須注意方向性，且讓水進入 RO 系統之前，應做好以下查核內容：(1)確保管道和壓力容器內沒有灰塵、油、金屬殘留物、有機沉積物和其他碎片或污染物。(2)驗證進水水質是否符合系統設計值。(3)確保所有接頭、元件均緊固。Toray 原廠建議送入 RO 系統前，確認自由餘氯(free chlorine)小於 250ppm，且氧化還原電位(ORP)小於 180 mV 以免 OR 膜受損。

RO 系統若發生以下四點狀況會導致產水流量變小、去除鹽類效能降低或壓差變大等情形：【一】物理性損壞－RO 膜、元件結構、密封墊片、中心集水管等損壞。【二】化學性損壞－進水含氧化劑(如自由餘氯、過氧化氫等)或不當地 pH 值造成 RO 膜損壞。【三】污垢堆積(fouling)－此現象多發生於 RO 模組入口端，成因為油汙、有機物、懸浮固體或生物膜的堆積。【四】化學結垢(scaling)－此現象多發生於 RO 模組出口端，成因為後端溶液濃度過高，超過飽和溶解度而發生沉澱、結垢等現象。Toray 原廠提供 RO 系統常見故障判定及處置方法，見圖 17。

Causes		Phenomena			Checking items	Countermeasures	
		Qp	Rej.	DP			
Element	Degradation of membrane	↗	↘	↘	• Duration of use, water temperature and quality of raw water	• Cleaning • Replacement of element	
	Leak inside RO element	↗	↘	↘	• Vibration, back pressure or shock	Same as above	
	Leak from O-ring	↗	↘	↘	• Degradation of material, vibration or physical impact	• Replacement of O-ring	
	Brine seal failure	↘	↘	↘	• Degradation of material or adhesion to vessel	• Replacement of seal • Reinstall seal correctly	
	Center pipe damage	↗	↘	↘	• High water temperature / pressure or excessive differential pressure	• Replacement of element	
	Element deformation	↘	↘	↗	Same as above	Same as above	
	Fouling	Suspended solid	↘	↘	↗	• Pretreatment conditions (Coagulant injection volume etc.) • Water quality of raw water	• Pretreatment conditions optimization • Cleaning
		Organic, oil	↘	↘	↗	Same as above	• Same as above
		Microorganism	↘	↘	↗	• Pretreatment conditions (Disinfectant injection volume etc.) • Water quality of raw water	• Pretreatment conditions optimization • Cleaning
		Scaling	↘	↘	↗	• Pretreatment conditions (Anti-scalant injection volume etc.) • Water quality of raw water	• Pretreatment conditions optimization • Cleaning

Qp: Product flow rate, Rej.: Rejection, DP: Differential pressure

圖 17、RO 系統常見故障判定及處置方法

原設計廠建議 RO 膜每 3 年更換一次，若前處理系統及 CIP 運維得當，可延長 RO 膜壽命，依濟州島水處理廠經驗甚至可達 5 年以上不必更換 RO 膜，因濟州島東部地底蘊藏「熔岩海水」(Lava Seawater)，其形成於 30~40 萬年前，海水因滲透作用儲存於玄武岩間，滲透時經過層層過濾，所以水質純淨，幾乎沒有有機物及病菌，預估至少有 27 億噸，如圖 18 所示。

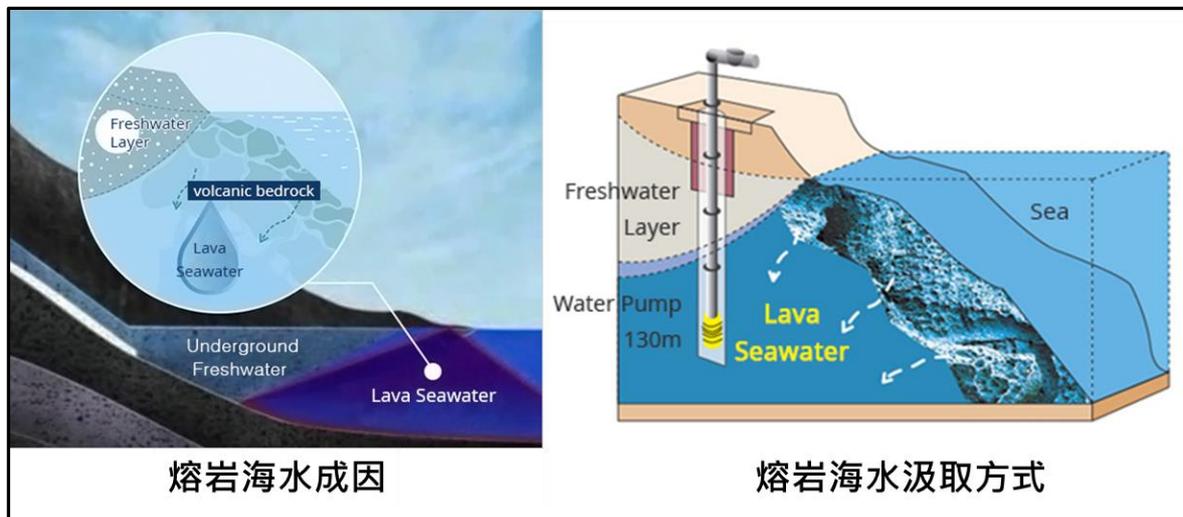


圖 18、濟州島熔岩海水

四、能源回收裝置 ERD (Energy Recovery Device)

過濾海水藉由高壓泵(High Pressure Pump)送入 1stRO，因鹽度高，需較高的操作壓力約 50bar，較 2ndRO 操作壓力 10bar 高出許多，為了降低耗能，興達海淡廠在 1stRO 系統裝設能源回收裝置(ERD)，用壓力交換器將出口鹵水壓力轉換至入口過濾海水，降低高壓泵出力。

興達海淡廠採用 Danfoss 公司設計之高壓泵及能源回收裝置，Danfoss 高壓泵為軸向活塞設計(Axial piston pump technology)簡稱 APP，外觀及內部設計見圖 19。依原廠提供資料，如圖 20，APP 於不同流量下之總效率皆可達 92%，相較於離心泵 60~80%之總效率，可節省約 50%電力。

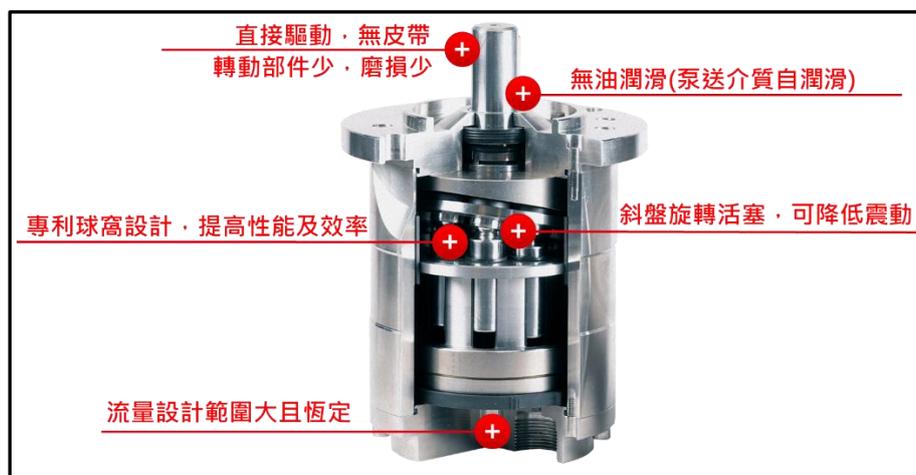


圖 19、Danfoss APP 內部設計

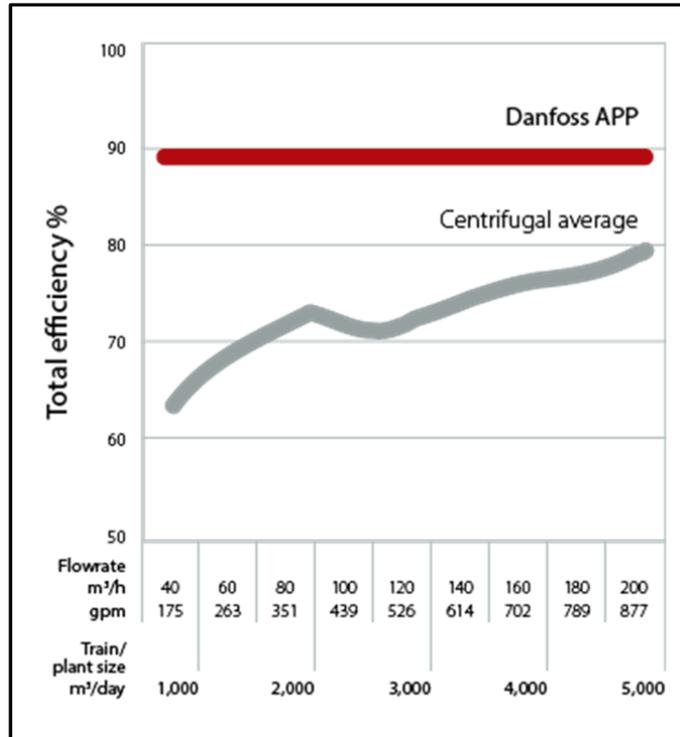


圖 20、Danfoss APP 與離心泵總效能比較圖

Danfoss 公司之能源回收裝置產品名為 iSave，其將壓力交換器(Pressure exchanger)、增壓泵(Booster pump)及電動馬達整合，大幅減少組件及管線占地面積，成本較低也易於維護，設計見圖 21。

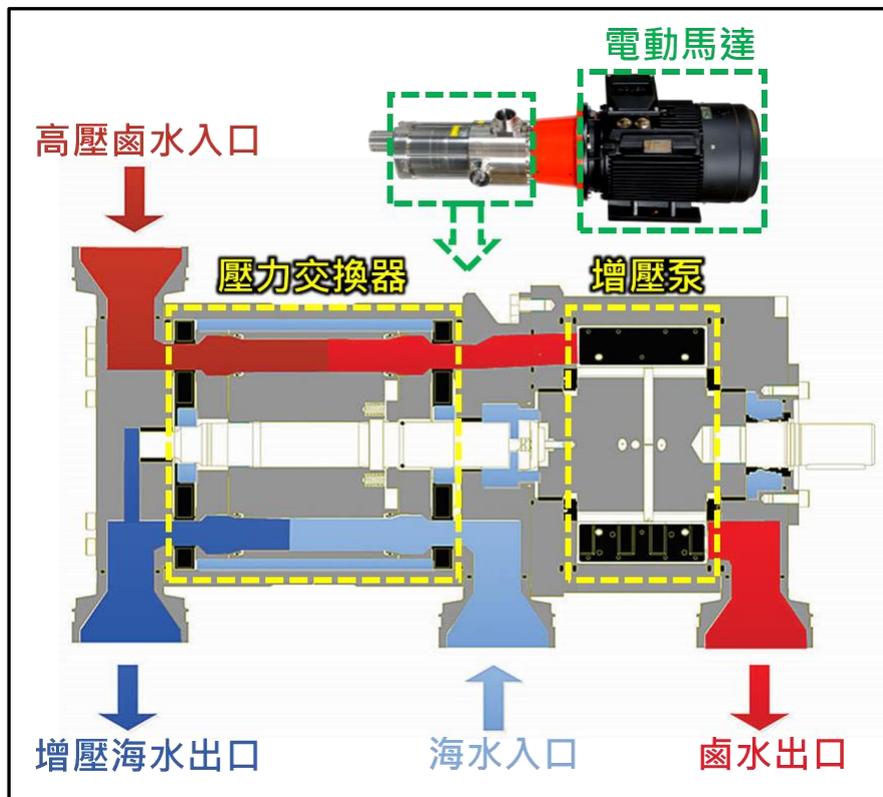


圖 21、Danfoss iSave 設計圖

Danfoss APP 與 iSave 之流程圖如圖 22，高壓泵送入 RO 系統產出滲透水及高壓滷水，流出之高壓滷水通過 iSave 與過濾水能量轉換後，高壓滷水變為低壓滷水送入滷水緩衝槽處理後最後放流，而過濾水接收能量後變為高壓飼水進入 RO 系統，藉此降低 APP 出力，降低成本。實際參訪濟州島水處理廠相同設備設置，如圖 23。

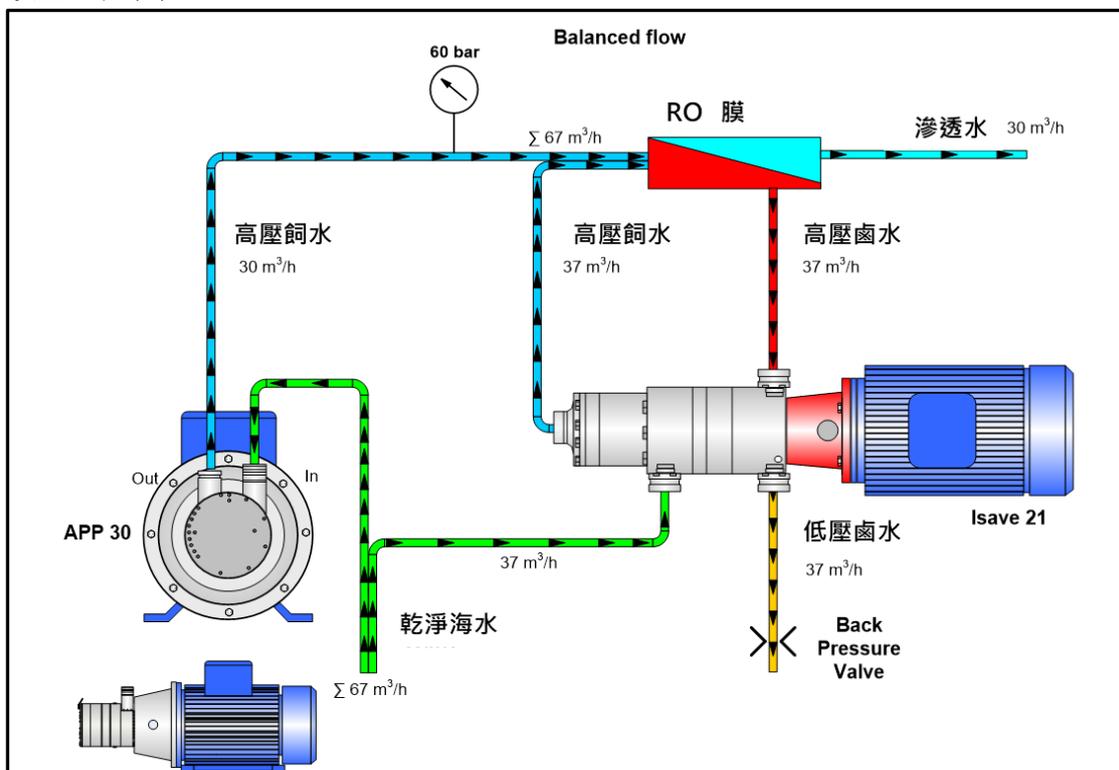


圖 22、Danfoss APP 與 iSave 平衡流圖

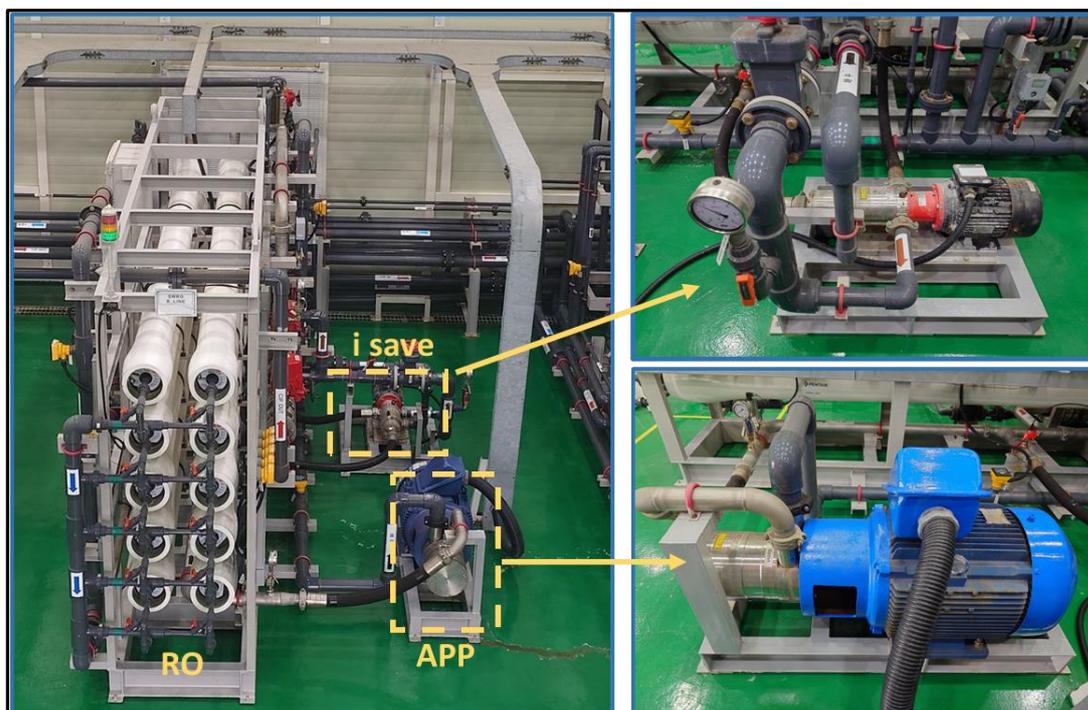


圖 23、濟州島水處理廠能量回收裝置

五、CIP 系統 (Clean In Place)

海水淡化廠之 UF、1stRO 及 2ndRO 需要定期執行 CIP(現地清潔)且為重要管理項目。以產品海淡水為溶劑稀釋化學藥劑後循環清洗設備，所需頻率及化學藥劑如圖 24 所示，流程見圖 5。

設備	原設計廠建議頻率	無機物清除	有機物清除
UF	1個月1次	0.3% HCl	0.3% NaOCl
1 st RO	2個月1次	0.2% HCl	0.1% NaOH
2 nd RO	3個月1次	0.2% HCl	0.1% NaOH

圖 24、CIP 頻率及化學藥劑

整個清洗流程除了源頭加藥需人工執行外，剩餘之循環、潤洗等皆為自動清洗。CIP 多於設備壓差過高或產水水質不合格時執行，但原設計廠建議定 CIP 期執行有助於保持系統效率，且定期 CIP 清洗不會影響膜類元件更換週期。原設計廠建議平時應多注意現場泵浦運轉狀況(有無異音等)及各壓力錶數值(壓差是否過大)，最好每日巡視 2 次以上，發現設備問題立即依維護手冊處理。

肆、心得及建議

本次出國受訓行前準備時間短暫，又是第一次辦理出國行政業務，能順利成行要特別感謝大潭發電廠黃子玲課長及發電處游慧玲專員的協助，也要感謝興達電廠黃錦城廠長、盧秀良副廠長、楊士弘經理及王毓婷課長的支持，讓我有機會增廣視野。

到韓國參訪了 2 座海淡廠(一座位於核電廠內)，其海水水質都相當好，與台灣西岸海水有顯而易見的差別，除了濟州島特有的熔岩海水之外，猜測與韓國緯度較高有關係，所以未來興達海淡廠的前處理系統可能會相當吃力，而其效能將直接影響後方 UF 和 RO 膜的壽命與海淡水水質，建議未來在試運轉時請原廠設計人員參與。

另外參訪 Toray 公司 RO 膜製程時也印象深刻，現場環境相當乾淨且設備先進，僅外層塗漆及包裝需要人力，其他流程及 QC 都自動化。整趟受訓行程讓我對海淡廠設備及製程有初步了解，最重要的是取得與原設計廠及設備供應商的聯繫管道，日後運維時遇到困難時多一個請教問題的窗口。

伍、參考資料

一、HUVIS WATER 海外訓練資料

二、TORAY 海外訓練資料

三、DANFOSS 海外訓練資料

四、興達海淡廠流程設計圖 (HT0-1-KGM01-D9023-2)

(HT0-1-KGM01-D9024-0) (HT0-1-KGM01-D9025-0)

五、<https://www.investkorea.org/jj-en/cntnts/i-1518/web.do>