

出國報告(出國類別：實習)

大林電廠更新擴建計畫海水電解系統
及其附屬設備之設計、製造、測試、
運轉及維護訓練

服務機關：台灣電力公司核能火力發電工程處

姓名職稱：環保設備組 黃光徵

服務機關：台灣電力公司發電處

姓名職稱：環保化學組 黃建博

派赴國家：日本

出國期間：105年9月19日至10月15日

報告日期：105年11月24、30日

出國報告審核表

出國報告名稱：大林電廠更新擴建計畫海水電解系統及其附屬設備之設計、製造、測試、運轉及維護訓練

出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
黃建博	環境保護專員	發電處

出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽)
------	---

出國期間：105年9月19日至105年10月15日	報告繳交日期：105年12月9日
---------------------------	------------------

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6..送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7..送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8..退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) .其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

報告人：	單位 主管	主管處 主管	總經理 副總經理
------	-------	--------	----------

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大林電廠更新擴建計畫海水電解系統及其附屬設備之設計、製造、測試、運轉及維護訓練

頁數 20 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃光徵/台灣電力公司/核能火力發電工程處處/機械工程專員/(02)2322-9439

黃建博/台灣電力公司/發電處/環境保護專員/(02)2366-6551

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：105 年 9 月 19 日至 10 月 15 日 出國地區：日本

報告日期：105 年 11 月 24、30 日

分類號/目：G3/電力工程

關鍵詞：海水電解、電解極版、旋風式分離器、酸洗

內容摘要：(二百至三百字)

本公司之火力發電廠汲取海水做為發電餘熱冷卻水源，然而海洋中的附著型海生物會藉海水渠道進入冷卻系統中附著、生長及繁殖，此舉將降低熱交換器效率，更甚者會造成管線堵塞引起管路之腐蝕或穿孔，迫使機組停機影響營運，故本公司以採用海水電解法產生次氯酸鈉，抑制及阻止冷卻水系統管路中海生物滋生。

大林電廠更新擴建計畫海水電解設備係由 De Nora 公司負責設計並提供相關器材，主要設備包括海水增壓泵(Seawater Booster Pump)、過濾器(Strainer)、電解極板單元(Electrolyzer)、旋風式分離器(Hydrocyclone)、變壓及整流器單元(Transformer Rectifier)、酸洗設備(Acid clean)等，將於本報告內容中詳細介紹。

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	(1)
貳、實習內容與過程	(2)
一、研習內容	(2)
二、研習過程	(3)
參、研習內容心得報告	(4)
一、海水電解設備概述	(4)
二、海水電解設備說明	(7)
三、海水電解設備的維護與保養	(16)
四、心得與建議事項	(18)

壹、實習目的

大林電廠更新擴建計畫係以循環水泵將海水送入循環水渠道，引入鍋爐房、汽機房…等設備將發電的餘熱冷卻後，排放至SWFGD曝氣池後放流入海洋。而為避免海洋性的附著物於循環水渠道及熱交換設備管上附著生長，造成管路堵塞降低冷卻效果，甚至腐蝕管路，影響機組發電效率及設備使用壽命，故必須於渠道中添加抑制型藥劑以抑制海洋附著生物滋長。

一般為抑制海洋性附著物而加入冷卻水中的藥劑主要有氯氣及次氯酸鈉，然氯氣的運輸、儲存管理成本較高，故在需大量消耗氯氣的場合下，較少採用。而本計畫係採用安全性較高、成本較低、且已可自動化操作的海水電解法來製造次氯酸鈉。

海水電解設備是大林發電廠之主要發電設備之一，其製造、安裝、運轉、維護對電廠機組運轉影響甚鉅。因此，為期能熟悉海水電解設備之相關技術，需前往國外廠家研習，並蒐集相關資料，以便瞭解其設備製造、安裝技術、測試方法及運轉維護等技術，俾能提升安裝品質，使設備如期順利運轉，減少維護之耗費並提高機組可靠度及可用率。

貳、研習內容與過程

一、研習內容：大林電廠更新擴建計畫海水電解設備製設計、製造、測試、運轉及維護訓練。

二、研習過程：

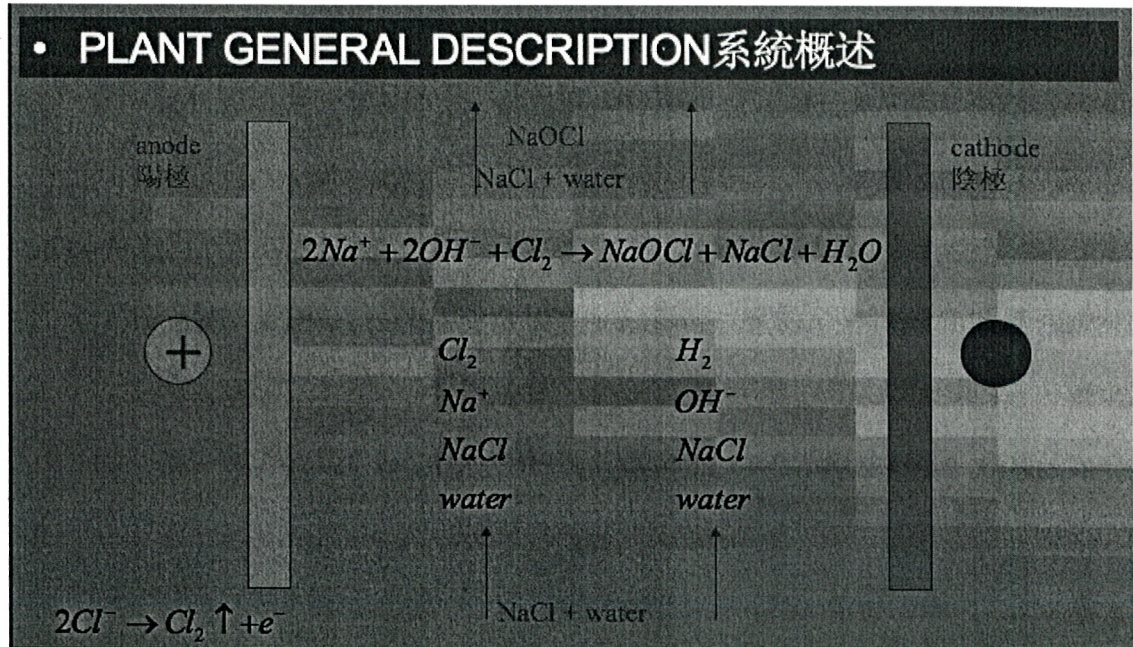
起訖日	研習地點及內容	備註
105年9月19日	台北~日本(往程)	
105年9月20日	於 De Nora 日本分公司研習海水電解設備之系統介紹。	
105年9月21日至 105年9月22日	海水電解系統課程簡介說明。	
105年9月22日至 105年9月23日	海水電解系統 P&ID 及系統安全。	
105年9月23日 105年9月26日	海水電解系統 SAMA LOGIC。	
105年9月27日 105年9月28日	海水電解系統課程介紹問答。	
105年9月29日	袖ヶ浦 LNG 基地。	
105年9月30日	海水電解系統設備及儀器解說。	
105年10月2日	移動至岡山	
105年10月3日至 105年10月5日	海水電解系統設計邏輯解說。	
105年10月6日	電解極板製作工廠參觀	
105年10月7日至 105年10月11日	海水電解系統維護操作解說。	

105 年 10 月 12 日	海水電解系統操作及維護問答。	
105 年 10 月 13 日至 105 年 10 月 14 日	口試及解說	
105 年 10 月 15 日	課程結束	

參、研習內容心得報告

一、海水電解設備概述：

(一) 海水電解原理及化學反應：

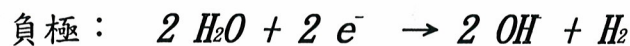


海水電解設備是利用電解槽內正副極板構成的電極間通以直流電流產生電解反應，於正極產生游離態的氯：



正極的產物： Cl_2

副極產生氫氧化鈉及氫氣：



負極的產物： $2 NaOH + H_2$

當氯氣與氫氧化鈉通過電極面會結合產生具高效殺菌力的次氯酸鈉，故海水電解法的全反應可如下表示：

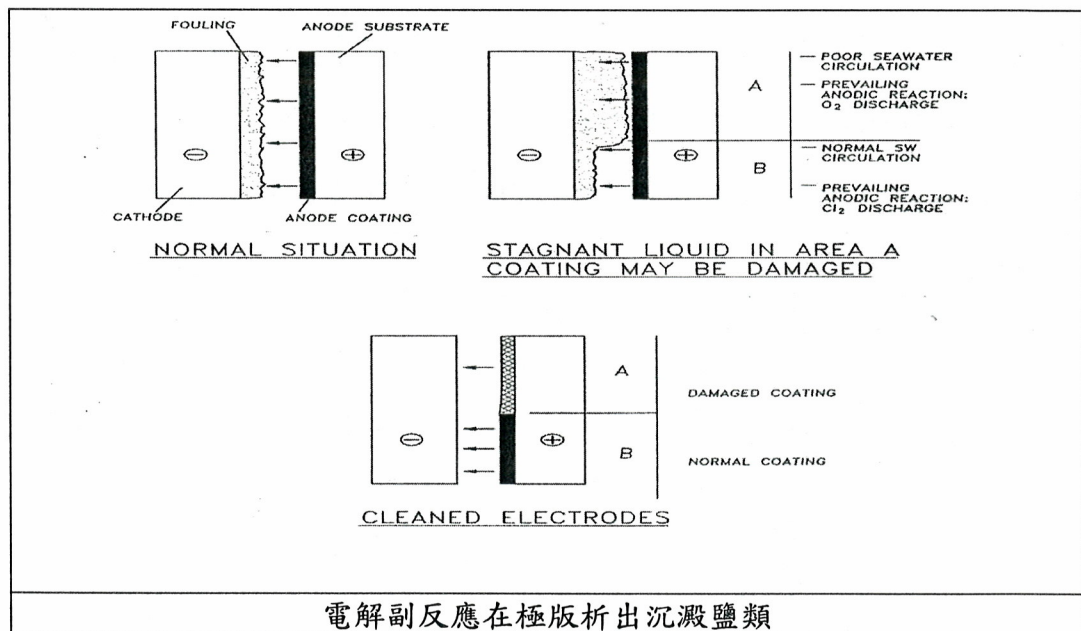


$NaOCl$ 即我們所須要的主產物-次氯酸鈉，藉由次氯酸鈉的強氧化

特性達成抑制海生物的附著及生長。海水電解設備主要投入原料僅為海水及消耗外加電力，故漸成為火力電廠抑制海生成首選。

(二)、海水電解的副反應：

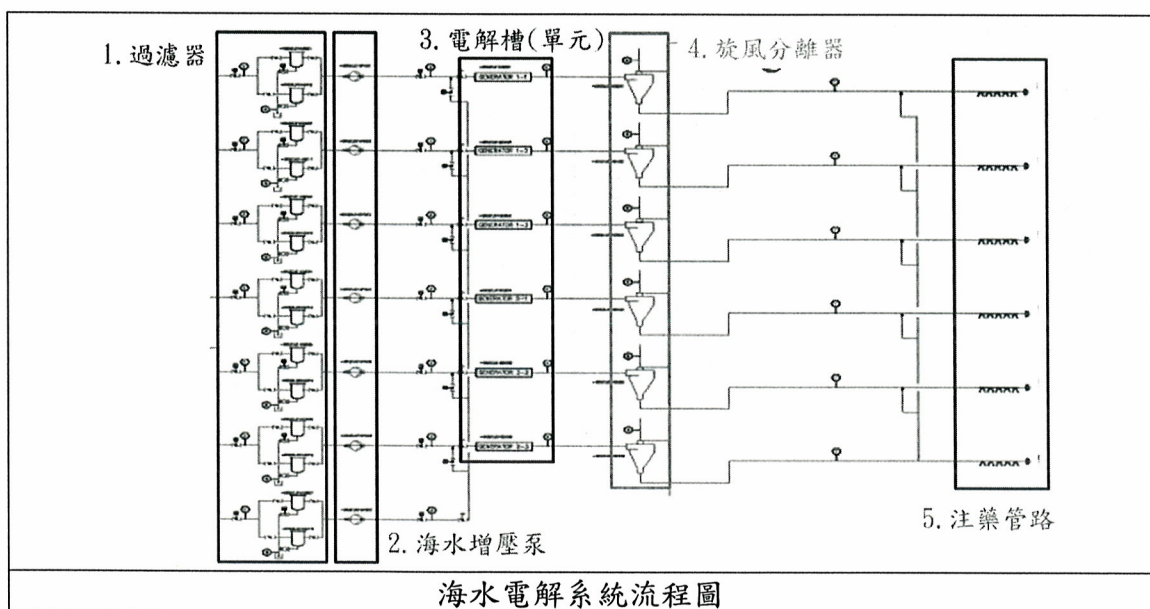
然海水實際成份複雜，電解反應產生的氫氧根離子另會與海水中的金屬鹽類反應生成氫氧根鹽類(如：氫氧化鈣、氫氧化鎂等)，而氫氧化鎂及氫氧化鈣會沉澱在電解槽中，其中之氫氧化物因溶解性低且附着力強，有部分會附着在電極板上，隨着時間逐漸累積成長，而使電解效率下降，須利用 6%濃度的鹽酸(HCl)將之清洗溶解，避免影響海水電解設備的工作效率。此外，次氯酸根分解成氯離子，陽極從次氯酸鹽到氯酸鹽的氧化反應，陰極次氯酸鹽到氯離子的還原反應，以及陽極電解水所析出的氧氣等。所有這些副反應都影響著電流的效率，因此產生所需次氯酸鈉的所需直流電功率需比理論值要高。



(三)、海水電解設備概述：

海水電解設備共可分為六大系統：(1)海水增壓系統、(2)海水過濾系統、(3)海水電解系統、(4) 氫氣移除系統、(5)次氯酸鈉注入系統、(6)酸洗系統。

工作原理係利用海水增壓泵(Seawater Booster Pump)將循環水渠道入口之海水打到過濾系統，先經過海水過濾器(Auto / Manual Strainer)過濾去除海水中大於 0.5mm 以上之雜質及海生物等後，再將海水打入海水電解槽系統(Electrolyzer)產生次氯酸鈉及氫氣，由於氫氣為易燃之危險氣體，須要經過氫氣移除系統(Hydrocyclone)利用離心力原理將氫氣與含次氯酸鈉的海水分離，氫氣釋放至大氣，而含有次氯酸鈉的海水流入指定加藥位置(此設計並無規劃次氯酸鈉儲槽和加藥泵，如下圖標示)。另外當海水電解系統因電解伴生之沉澱物($MgOH_2$ or $CaCO_3$)沉澱會導致電極板的效率降低，須利用酸洗系統 (Acid Clean System)注入 6%的鹽酸 HCl 將沉墊物溶解，以維持系統正常運轉。



二、海水電解設備說明：

(一)合約規範

大林計畫海水電解系統所依據之 P&ID 為 T0-1-GEC01-D9000-9007，由6組海水電解系統組成，每一部機皆包含3組Seaclor[®]設備，每一組Seaclor[®]設備至少可輸出Cl₂產量為120 kg/h。

本計畫設計資料如下：

循環水流率：144,000 m³/h

加藥率：1.5 mg/l

加藥點：循環水渠道

加藥頻率：持續不斷

每組最少可輸出Cl₂量：120 Kg/h (6 sets)

氯濃度：1,500 ppm

設計溫度：30°C

操作溫度範圍：21 ~ 32°C(1)

海水壓力至少為0.05MPag大林一、二號機由6組獨立系統組成

每組包含元件為：

海水增壓泵、

自動過濾器、

手動過濾器備用、

次氯酸鈉產生器、

T/R set、

氫氣移除系統及所有必備儀器及閥類。

此外依規定尚有下列設備：

一組備用供應循環水系統：包含元件有1組自動過濾器，1組手

動過濾器及1組海水泵，鹽酸酸洗系統及廢水系統等。

(二) 海水供應系統

輸送進來海水壓力至少為0.05 MPa g，在進入極板前海水會先透過海水泵達到額定壓力，海水壓力過低時 (0.7 bar g) 系統會自動停止，在這時備用系統將會啟動。

註：其他可能也會造成系統停止的訊號：

1. 次氯酸鈉產生器出口處被偵測出過高的溫度，
2. 因為內部錯誤造成整流器跳脫，
3. 氫氣偵測濃度過高，
4. 鼓風機流量過低，
5. 環水泵停止時，
6. 流量控制閥全關時，

在這些情況時直流電源將立即切斷，海水泵亦將於5分鐘後停止，系統設定延遲時間係為將氫及次氯酸鈉沖洗出管路。

(三) 海水泵操作

在操作海水泵前需先開啟自動模式，在每一台泵浦吸力側之手動隔離閥亦須打開，該閥應常時打開除非遇有需維護情況，操作員在操作手動隔離閥時應以漸進的方式打開，尤其在第一次啟動或經長時間停機後重啟，洩放閥須維持開啟狀態，在剛啟動狀態，利用閥控制水量在30%，這是為了避免水錘現象，然後約30秒後逐漸打開至額定海水流量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ，相反的若需停機，應以逐漸的方式關才閘門並立即關閉泵浦。

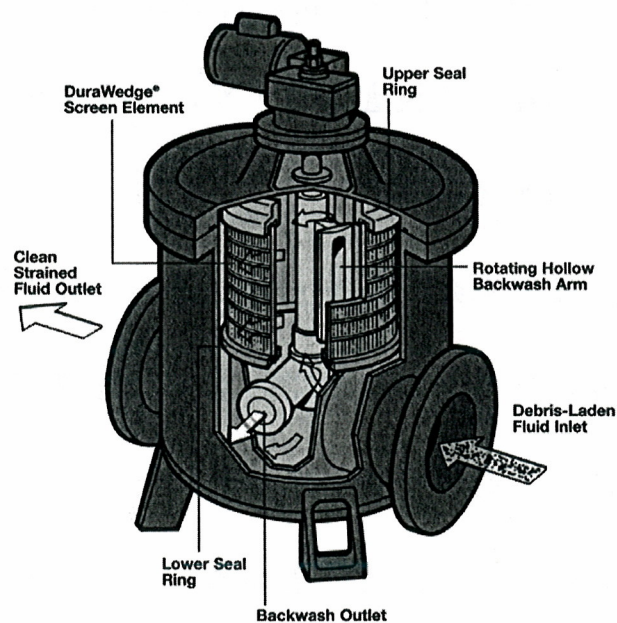
(四) 過濾器

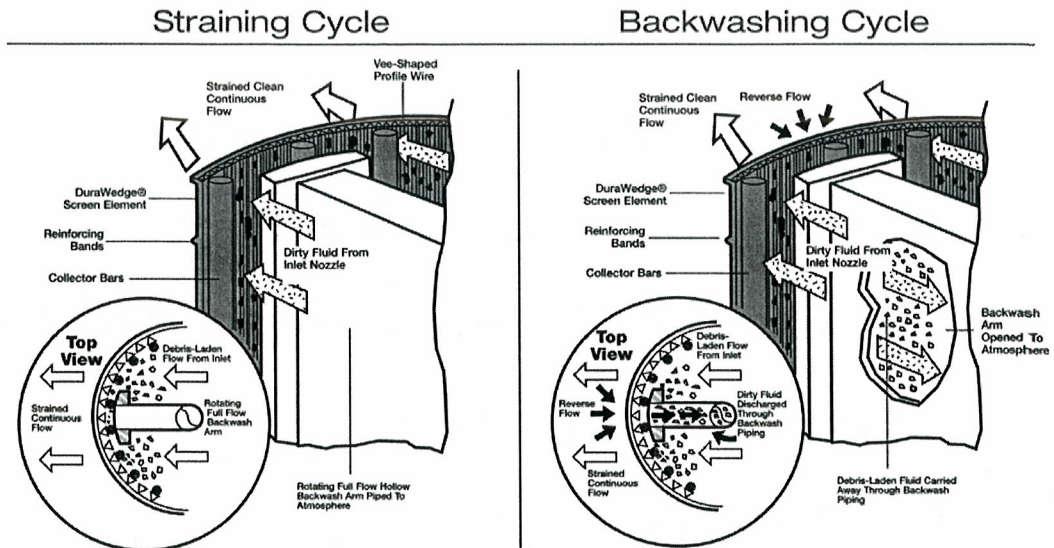
海水過濾器可以過濾掉0.5mm以上雜質；過濾器的設計是可自動移除雜質不需中斷通過的海水，一般操作狀態是採用6組自動過濾器，並有1組備用，當異物堵塞造過濾器的壓差到達額定壓差時(0.5bar)，過濾器沖洗程序將會啟動。

每一組自動過濾器所配備的元件為：

1. 自動過濾器電機
2. 自動BLOW-DOWN閥
3. 壓差感應開關
4. 定時器

註：在進行沖洗程序時，利用 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 通過blow-down閥，雖然會造成出口壓力輕微減少，但不會對電解槽造成影響。





過濾器示意圖

(五)次氯酸鈉產生器

每部機包含三組次氯酸鈉產生器和整流器亦為海水電解系統最核心設備，一般操作情況為6組次氯酸鈉產生器同時動作，透過手動控制面板直流電，可以連續控制氯氣產生。

系統設計概要如下：

第一台循環水泵啟動後，3台增壓泵亦跟著啟動，整流器電流將自動調整為全容量之33%；當第二台循環水泵啟動後，整流器電流將自動增加至全容量之66%；第三台循環水泵啟動後整流器電流將自動全開，當所有循環水泵都停止，3台增壓泵也會停止。

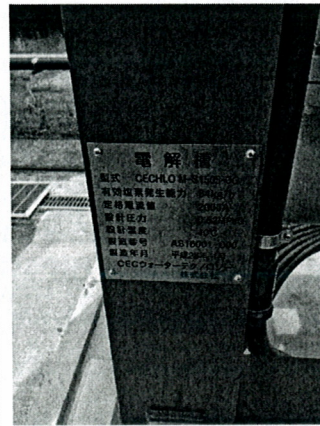
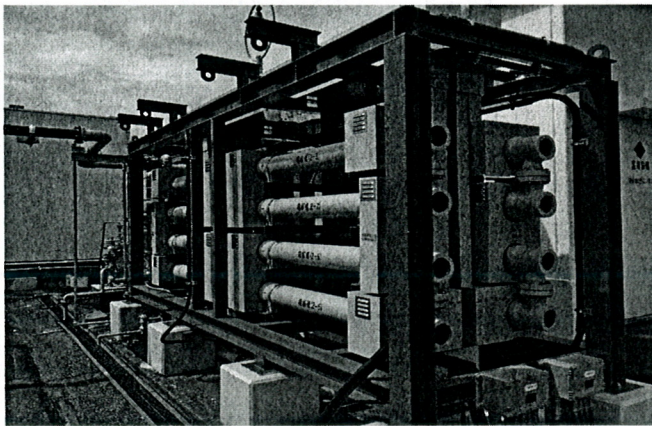
Seaclor[®] 設備電解器是由10個模組組成，電解槽主體係由耐腐蝕和絕緣材料所組成，模組元件設計成雙極，即每一電解

元件陰極能直接連接下一元件陽極。陰極材質為鈦合金，而陽極能保持穩定，電極組件的獨特特徵是易於在電解槽中更換安裝電極，電解槽在恆定海水流量下正常工作，也可手動調整直流負荷以滿足所需的活性氯產量。

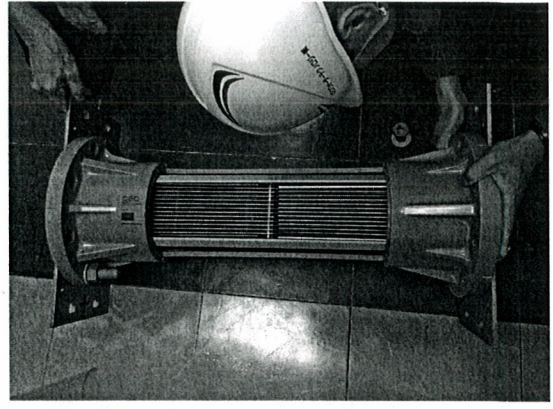
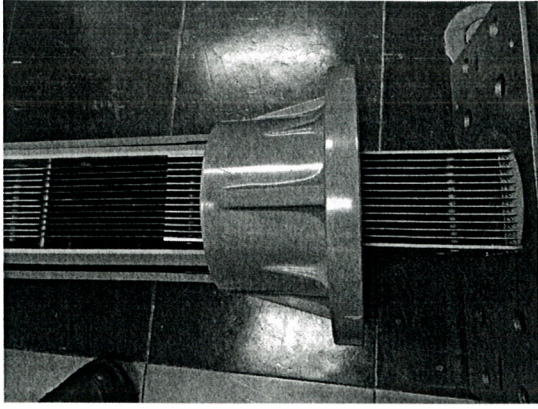
每台產生器所需配備如下：

1. 啟動/停止開關
2. ON/OFF/TRIP指示
3. 酸洗定時器

在正常操作條件下，海水流量建議在 80m³/h 操作該裝置，海水流量低於 72m³/h 不建議繼續使用，產生器出口端若溫度高過 43°C 會發出警報，若高過 45°C 時整流器將立即跳脫以保護電解裝置，自動閥可設定時間延遲(0-5 分鐘)，以使用海水沖洗電解槽以除去氫，本系統亦可利用緊急關閉按鈕(E. S. D)讓所有變壓器和整流器跳開。

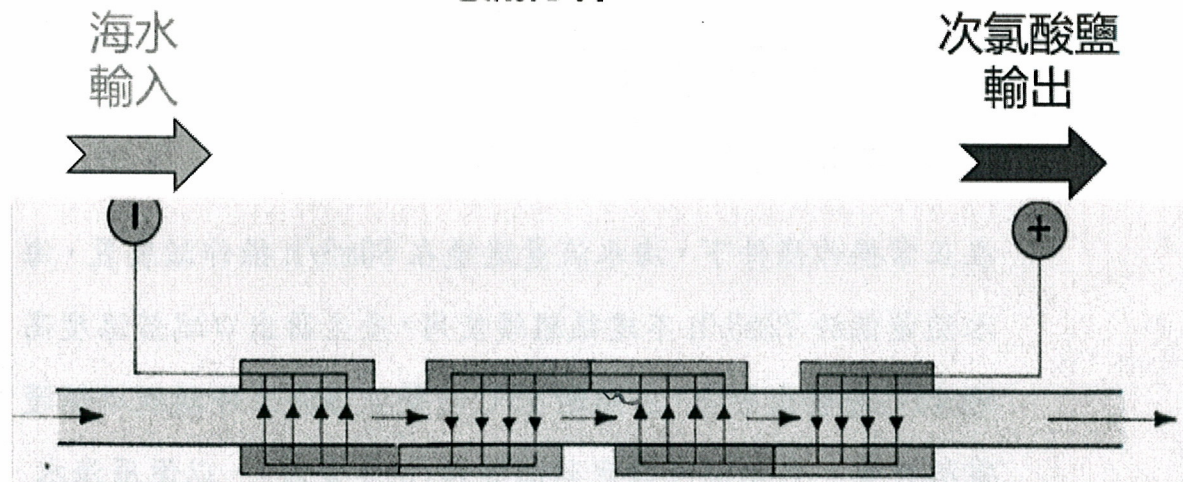


電解設備現場照片(東京ガス)

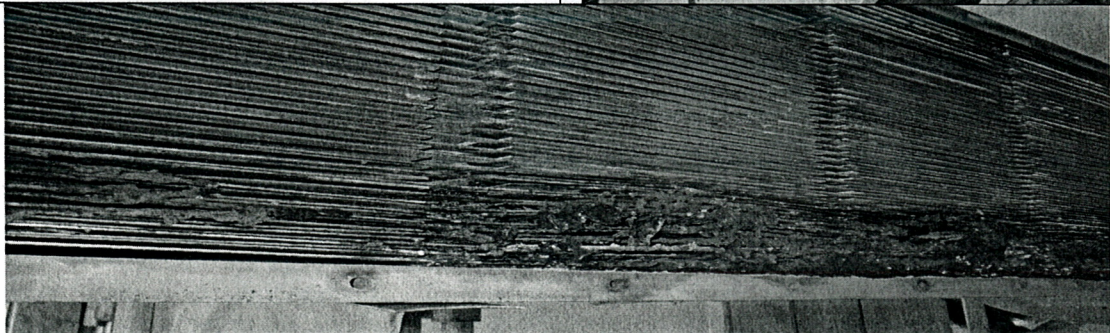
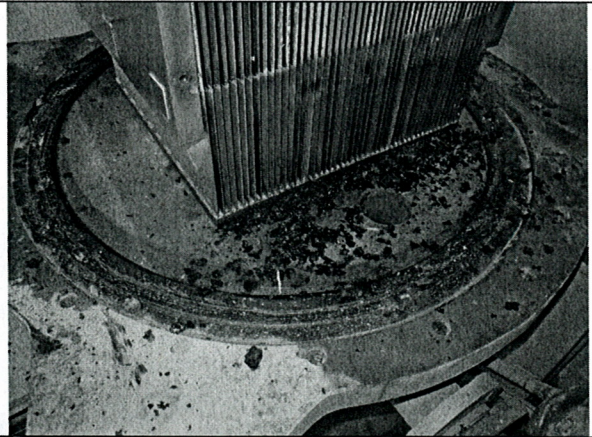
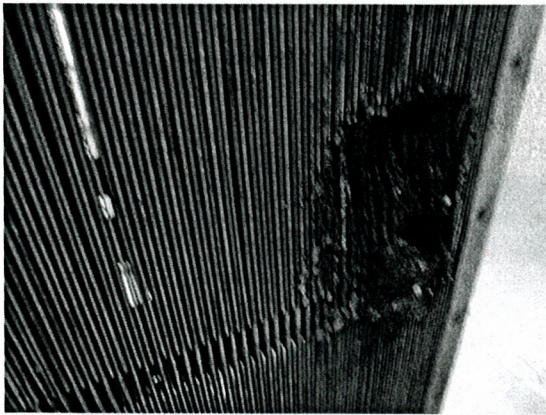


電解元件示範模型

電流分佈



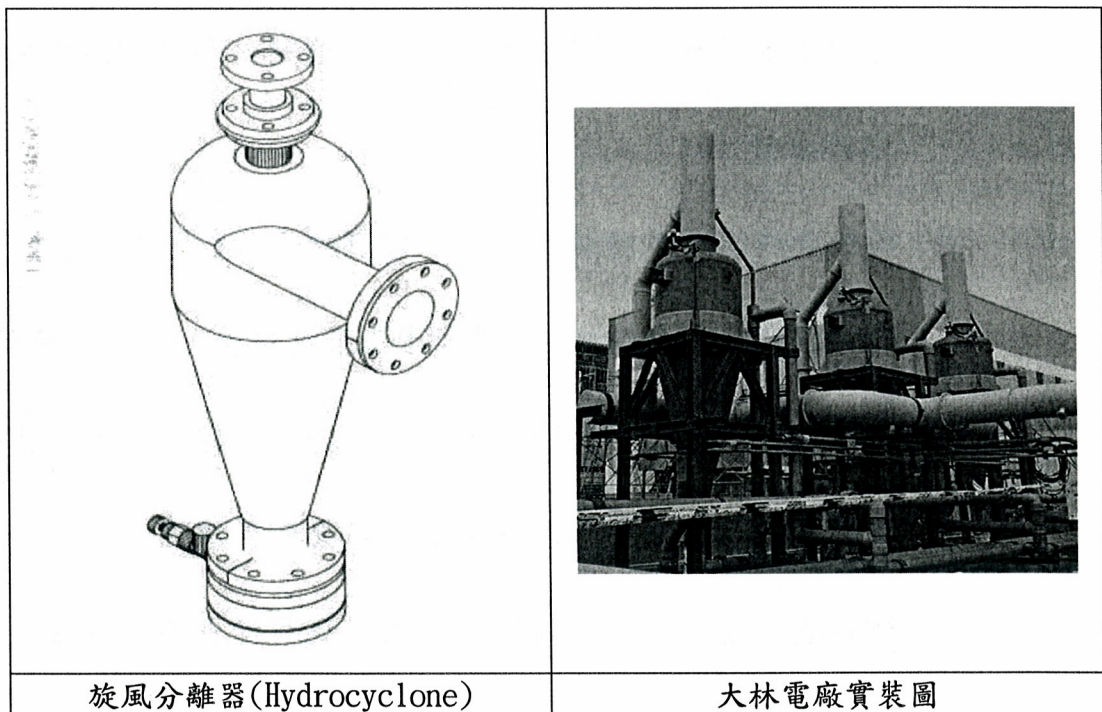
電解電流及電極板正負極示意圖



電解元件受損實例照片

(六) 氫氣移除系統

來自電解器的次氯酸鈉溶液被送入氫氣釋放系統，氫氣在用空氣稀釋後從旋風分離器上部的液態脫離。風扇連續連接到氫氣釋放系統因採用連續性空氣沖刷旋風，對於兩個風扇跳閘或低空氣流量時，產生器也會跳閘，係利用氫氣釋放系統液位控制，在旋風器液位增加的情況下將關閉對應的產生器。當風扇故障時，備用風扇自動啟動，若整流器故障閥門亦可設定延遲時間自動關閉。



(七) 酸洗系統：

電解過程除了會產生次氯酸鈉及氫氣外，海水中的鈉及鈣同樣會產生化學反應產生氫氧化鎂及碳酸鈣等沉積物，電極板上的

沉積物會使極板的電流量不均勻，導致電極板局部受熱產生高鹼性破壞電極板的陽極塗層，並降低次氯酸鈉生成效率。故當流經電解槽的電壓異常上升時或固定時間必須使用6%的鹽酸清洗電解槽並溶解沉澱物，避免上述情況發生。

酸洗流程如下：

- 1、開啟6%鹽酸儲槽的生水閥，注入生水到High Level後，再開啟32%鹽酸桶槽泵及閥門將高濃度的鹽酸打入6%鹽酸儲槽稀釋成6%的鹽酸。
- 2、由中控室將欲酸洗的電解設備迴路關閉，並將迴路中的海水排出後。
- 3、開啟鹽酸循環泵將6%鹽酸注入電解槽中約1.5~2小時後，採樣電解槽中的鹽酸液體判斷其HCL濃度變化，若隔15分鐘後採樣的鹽酸濃度不再降低表示酸洗過程已完成，若是鹽酸濃度低於3%則須添加新的鹽酸液以提升其濃度。
- 4、待酸洗完成後，開啟鹽酸循環泵將電解槽中的鹽酸回收到6%鹽酸槽中，並加入氫氧化鈉中和其酸鹼性後，開啟排水閥將中和過的鹽酸液排出至化學廢水池。
- 5、開啟6%鹽酸槽的生水閥注入生水，並開啟鹽酸循環泵將生水注入電解槽中沖洗約 15 分鐘。
- 6、關閉6%鹽酸桶槽的生水閥並開啟排水閥將生水排出，酸洗

流程完畢。

因鹽酸及氫氧化鈉為強酸及強鹼之化學藥劑，含有一定的危險性，故必須注意以下事項：

- 1、32%鹽酸溶液稀釋成 6%鹽酸時不可將水加入高濃度的鹽酸。
- 2、鹽酸及氫氧化鈉溶液不可混合，以免大量放熱導致溶液飛濺。
- 3、稀釋時配戴防護眼鏡及橡膠手套，若接觸到鹽酸部份應立刻用清水清洗。
- 4、每週試用安全淋浴設備及 眼部淋浴點以確保能正常運作。
- 5、32%鹽酸溶液須注意不可含氟化物，避免破壞電極板的陽極塗層及接 地探針，導致電極板的壽命降低。



三、海水電解設備的維護與保養：

(一)迴轉設備維護：

包括海水增壓泵、鹽酸卸載泵、酸洗循環泵、廢水中和/傳送泵、液鹼卸載泵等均應定期(每三個月)更換機油及軸承潤滑油。海水增壓泵因係使用格蘭軸封(GRAND PACKIG SEAL)故需每日進行巡視檢查，漏水量變大時應檢查調整格蘭迫緊(GRANDPACKIG)情形，必要時應更換GRAND PACKING以確保PUMP運轉效率及設備使用壽命。

(二)海水電解槽維護：

海水電解槽運轉過程所產生氫氧化鎂、氫氧化鈣等沈澱物會沈積在電極板上，造成電解效率降低，增加耗電量，故為維持較佳之電解效率必須定期進行酸洗，以去除沈澱物。依據De Nora 公司之建議每月(約720小時)應進行一次酸洗，酸洗係使用8至10%濃度之鹽酸，進行4小時循環清洗，再以清水進行20分鐘循環洗清。

(三)系統量測及監測儀錶：

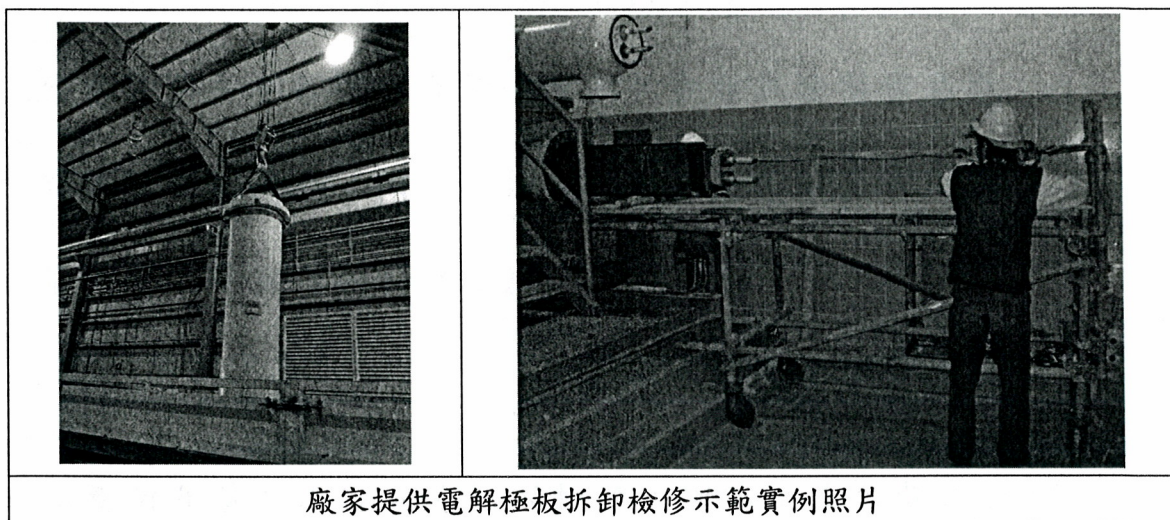
儀錶應定期(每年至少一次)校正檢查以確保機組運轉正常及安全。

(四)海水過濾系統：

海水過濾系統自動過濾槽每三個月應定期檢查濾網一次，以確認濾網有無破損，如有破損應更換或檢修，以避免異物流入電解槽損及電極板(刮傷或導致短路電流)。

(五)次氯酸鈉注入管路：

次氯酸鈉注入管路之散水管(diffuser)應於年度歲修時進行詳細檢查，由於電解過程所產出之沈澱性物質部份會累積於散水管內，逐漸造成散水管阻塞，故應利用每年歲修前間進行檢查清理或更新。



四、心得與建議事項

(一)、海水電解設備在電廠的建廠預算比例不高，但卻是海水處理最重要的防線，假設電廠海水電解設備，沒有善盡維護保護可能海水管路在使用三、五年後因堵塞或管壁破裂而影響海水的汲取，進而降低機組冷卻效率及影響發電效率。這次有機會能到日本去學習有關海水電解設備的製造、安裝、測試、運轉及維護等相關知識，能幫助我在未來規劃新的海水電解設備時能有更完善的思維及考量。

(二)、這次赴日本受訓與講師討論到本計畫海水電解後產生的次氯酸鈉並未設計儲槽儲存，電解後產生的次氯酸鈉是直接注入海水渠道加藥點。若以較為保守的運轉觀點來分析，於電解槽出口端增設儲槽存放次氯酸鈉，當電解系統發生故障、異常或長時間停機期間，系統仍可持續加藥至海水渠道。但依此原則設計，必需另外增設注藥泵及相關注藥子系統設備等，增加現場實體管路設計的複雜度。此外，系統轉動設備增加，將增加系統耗電量，亦會增加維護人員負擔。且海水電解設備安裝現場，因靠近海邊，易因海風夾帶

高濃度氯離子鹽沫，對於電氣設備具有較強的腐蝕現象，對於現場轉動設備的維護及更換頻率勢必增加。故以提高系統運轉效率及降低維護成本考量，大林電廠新設海水電解系統採電解後直接注入渠道有可取之處。另外本系統採用的旋風分離器較傳統電解系統所安裝的分離器來得大上許多，在緊急事件發生時，尚可充當臨時性的次氯酸鈉儲存槽，儲備短時間的加藥供應量。然為排除系統故障或長時停機無法注藥的情形發生，則可將二套電解系統進行連通以為備用支援，經詢電廠人員，目前大林一、二號機也已採此方式設計，提高系統異常時之應變可靠度。

(三)、海水電解系統於設計上較為單純，故於日常維護較不困難，若能確保前端過濾器運作正常，有效隔絕海水中雜物穿透進入電解槽體損壞電極版。以及依保養手冊有定期酸洗極版，避免電解副產物過量沉積於電解極板或是管路中。則系統應可穩定運轉不致有太大的故障情形發生。

(四)、電解槽內的電極版是電解系統的核心單元，本計畫採用 Seacolor[®] 雙極式平板電極板，因為採緊密堆疊整組套裝，故大幅減少電解元件的裝置空間，並增加電極

板與海水非勻相接觸的反應面積，故次氯酸鈉單位時間產量大。採套管式安裝，可以減少防水墊片的安裝數量，因此接點減少，則運轉過程中發生海水及次氯酸鈉洩漏發生機率也會降低。但這種套管式整組安裝的雙極式電極板是大林電廠第一次採用，故現場同仁較缺乏拆裝及檢修維護經驗，雖然原廠家在進行第一次拆卸檢修時，會有技師現場指導，但仍需再多累積相關的維護操作經驗及能力。

(五)、既有大林電廠海水系統採平板式電解槽，電極版可單片更換，但本計畫 Seaclor[®]採雙極式平電解板組，原廠家目前僅提供整組更換，故於日後運轉，若電解極版有發生損壞，只能選擇整組更換，則與舊機組相比較，耗材設備的更換費用會大幅增加。

(六)、本系統使用了許多泵，其流體包含高、低濃度的鹽酸及海水…等具有腐蝕性的流體，故馬達的材料多使用 SS317、Duplex Stainless Steel 等貴金屬，在與廠商討論的過程中發現廠商近來由於材料科學的演進，越來越多泵及管路皆使用堅固耐用且抗腐蝕性強的 FRP 材質製作，包含葉片、Casing…等，故建議未來在可將 FRP 材質列為泵的材質選項之一。