

出國報告（出國類別：實習）

濕式靜電集塵器(WESP)及非洩漏式熱交換器(MGGH)研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：張怡然（主管）

派赴國家：韓國

出國期間：112年10月15日至112年10月28日

報告日期：112年11月16日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：濕式靜電集塵器(WESP)及非洩漏式熱交換器(MGGH)研習

頁數 31 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司人力資源處/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張怡然/台灣電力股份有限公司/環境保護處/主管/02-23667206

出國類別：1 考察2 進修3 研究 4 實習5 其他

出國期間：112 年 10 月 15 日至 112 年 10 月 28 日

出國地區：韓國

報告日期：112 年 11 月 16 日

分類號/目

關鍵詞：濕式靜電集塵器(WESP)、非洩漏式熱交換器(MGGH)、空污改善

內容摘要：

- 一、為利本公司台中二期燃氣計畫、興達二期燃氣計畫及興達電廠一號機改裝生質能機組計畫等之環境影響說明書審查，特與台中發電廠及核能火力發電工程處中部施工處職務相關人員組團前往學習，以瞭解廠商濕式靜電集塵器(WESP)及非洩漏式熱交換器(MGGH)之規劃設計概念、操作流程、維護運轉注意事項、環境保護措施等相關知識，以利環評工作之推動。
- 二、本次赴凱希公司 KC Cottrell 首爾總公司瞭解濕式靜電集塵器(WESP)之收集機制、應用條件、廢水處理與事項與非洩漏式熱交換器(MGGH)之應用條件、與洩漏式 GGH 之優劣比較等，並赴 BHI 公司總部、BHI 公司昌原廠、Duk Ji 公司等地瞭解設備製造過程及注意事項與實際施工情形，透過實質討論及經驗交流回饋，對於本公司未來既有電廠燃煤機組環境減輕對策規劃助益良多，所得亦將回饋於未來環評書件內容，將有助於環評審查流程。

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

目次

頁次

壹、出國目的	2
貳、實習行程	3
參、實習內容	4
肆、心得與建議	29

壹、出國目的

為利本公司台中二期燃氣計畫、興達二期燃氣計畫及興達電廠一號機改裝生質能機組計畫等之環境影響說明書審查，特與台中發電廠及核能火力發電工程處中部施工處職務相關人員組團前往學習，以瞭解廠商濕式靜電集塵器(WESP)及非洩漏式熱交換器(MGGH)之規劃設計概念、操作流程、維護運轉注意事項、環境保護措施等相關知識，以利環評工作之推動。

本次赴凱希公司 KC Cottrell 首爾總公司瞭解濕式靜電集塵器(WESP)之收集機制、應用條件、廢水處理與事項與非洩漏式熱交換器(MGGH)之應用條件、與洩漏式 GGH 之優劣比較等，並赴 BHI 公司總部、BHI 公司昌原廠、Duk-Ji 公司等地瞭解設備製造過程及注意事項與實際施工情形，透過實質討論及經驗交流回饋，對於本公司未來既有電廠燃煤機組環境減輕對策規劃助益良多，所得亦將回饋於未來環評書件內容，將有助於環評審查流程。

貳、實習行程

前往國家：韓國

出國日期：112年10月15日至112年10月28日

起迄日	行程	工作內容
112.10.15	台北→釜山	往 程
112.10.16-19	釜山	參與室內外課程，學習非洩漏式熱交換器(MGGH)之應用條件、與洩漏式GGH之優劣比較、操作營運應注意事項、以及參觀重要設備等
112.10.20-27	首爾	一、參與室內外課程，學習濕式靜電集塵器(WESP)之收集機制、應用條件、廢水處理與事項、操作營運應注意事項、以及參觀重要設備。 二、於 KC Cottrell 公司進行總結會議及核發結業證書。
112.10.28	首爾→台北	返 程

參、實習內容

一、前言

本次實習行程共分為三部分，台電公司由環境保護處張怡然、核能火力發電工程處中部施工處許閎堯及台中發電廠張兆程組成之團隊赴韓國，全程由 KC Cottrell 公司陪同，先赴慶尚南道的 BHI 公司總部進行訪談，參訪其工廠瞭解 MGGH 的原理、特性及製造與品保品管過程，隨後北上赴京畿道的 Duk Ji 公司及工廠參訪 WESP 內之泵浦製造及測試過程，最後返回首爾市參訪 KC Cottrell 總部及其近郊之安城工廠與實驗室，瞭解 WSEP 之原理、特性及製造與品保品管過程，團隊成員於 KC Cottrell 總部完成所有實習考察內容，全員通過測驗，取得結業證書（詳圖 1），最終進行總結會議。



圖 1 於 KC Cottrell 總部核發結業證書

二、公司簡介

BHI 公司位於韓國慶尚南道，於 1998 年成立，業務跨及六大領域（詳圖 2），分別於 2008、2010、2012 年開始其粉煤鍋爐、油氣鍋爐及流體化床鍋爐，

並稱於 2014 及 2021 年達到世界第一廢熱回收鍋爐供應商成就。

Business Products



圖 2 BHI 公司主要業務



圖 3 本團隊參訪 BHI 公司總部

Duk Ji 公司位於韓國京畿道，於 1988 年成立，為一泵浦製造公司，長期

與浦項鋼鐵(POSCO)等公司合作。



圖 4 本團隊參訪 Duk Ji 公司總部

KC Cottrell 公司位於韓國京畿道，總部位於首爾市，並有一工廠位於安城市，成立於 1973 年，原為凱希工業株式會社，主要生產環保設備，2008 年更名為凱希環保株式會社，並收購最早開發靜電集塵器之英國 Lodge Cottrell 公司，於 1990 年成立台灣分公司，凱希公司於本公司電廠之工程實績如下表。

表1 KC Cottrell 於本公司電廠之工程實績

1992	大林、興達及深澳電廠之靜電除塵系統(ESP)及出灰系統改善工程
2001	台中發電廠第九、十號機組靜電除塵系統(ESP)興建工程
2008	興達電廠第一、二號機組靜電除塵器(ESP)和濕法煙氣脫硫(FGD)工程
2019	興達電廠第三、四號機煙氣脫硫藥劑製備系統改善工程
2021	台中電廠五~十號機更新改善工程



圖5 本團隊參訪 KC Cottrell 公司總部



圖6 本團隊參訪 KC Cottrell 安城工廠

三、溼式靜電集塵器

傳統乾式靜電集塵器技術

靜電集塵器(ESP)的主要工作原理是在電暈極和收塵極之間通上高壓直流電，所產生的強電場使氣體電離、粉塵荷電，帶有正、負離子的粉塵顆粒分別向電暈極和收塵極運動而沉積在極板上，使積灰通過振打裝置落進灰斗。

由於靜電集塵器基於荷電收塵機理，靜電集塵器對飛灰性質(成分、粒徑、密度、比電阻、黏附性等)十分敏感，特別對高比電阻粉塵、細微煙塵捕集困難，運行工況變化對除塵效率也有較大影響。另外其不能捕集有害氣體，對製造、安裝和操作水平要求較高。

靜電集塵器是藉由變壓整流組(Transformer/Rectifier Sets)施以外加的高電壓，使放電極線(Discharge Electrodes)與集塵板(Collecting Plate)之間形成一強大電場，並使極線釋放電暈電流(Corona Current)，當煙氣流經過極線與極板間的通道時，其粒狀物將因電暈電流而帶電，帶電的粒狀物在電場作用下移向集塵板，最後附著於集塵板上而達到淨化煙氣的目的。首先是使煙氣中的粒狀物聚積在集塵板上，再藉由敲擊系統將集塵板上的積灰敲落至集塵下方的灰斗，完成集塵機制。如圖 7 及 8 說明。

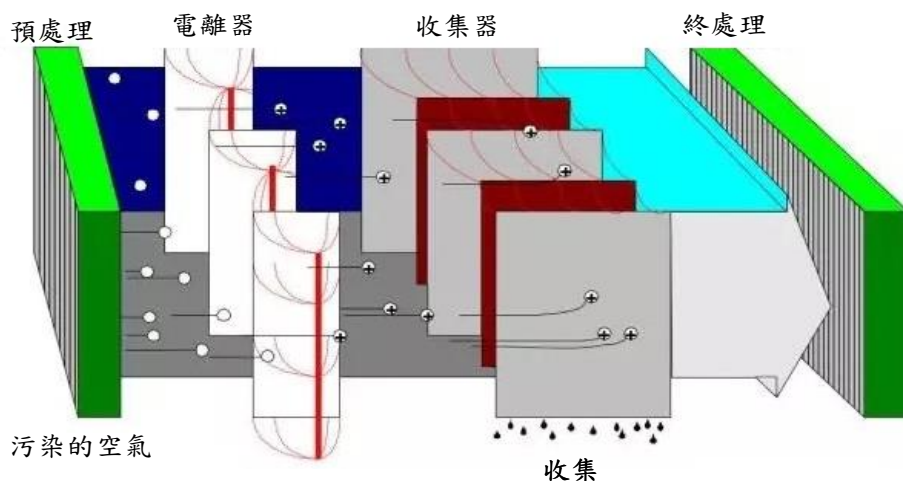


圖 7 靜電集塵器原理示意圖

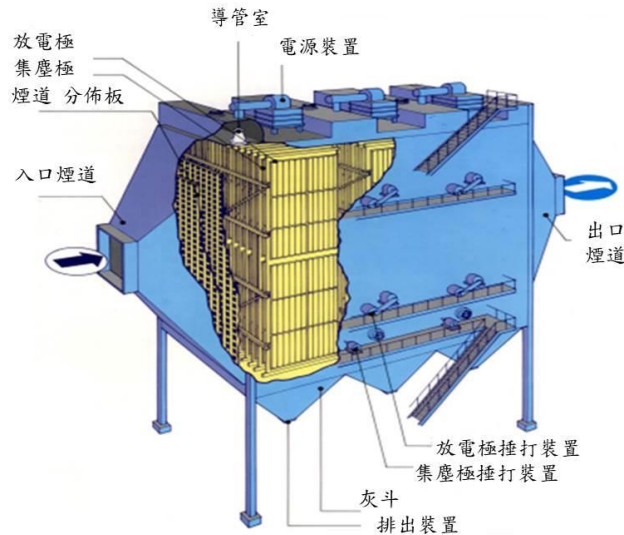


圖 8 乾式靜電集塵器組成示意圖

近年來傳統 ESP 為提升去除效率，發展出高頻率 T/R 靜電集塵器，高頻率 T/R 靜電集塵器與傳統 ESP 主要不同在於電源控制的方法不同。傳統 ESP 採用 SCR(矽控整流器)控制產生線性 T/R 供給 ESP 電源。高頻率 T/R 靜電集塵器則主要是利用絕緣閘雙載子電晶體轉換 DC bus 為高頻率 AC 波形，供給 ESP 高電壓 DC。兩者比較如表 2。

表2 高頻率T/R ESP與傳統ESP比較

	高頻率 T/R ESP	傳統 ESP
控制器名稱	integrated HF T/R-Controller	Si T/R T/R Controller
控制器	SMPS (Switching Mode Power Supply) DSP (Digital Signal Processor)	SCR phase control (60 Hz) μ -processor
頻率	iGBT current control (25kHz)	SCR phase control (60 Hz)
輸入	3 phase 60Hz 480V	Single phase 60 Hz 480 V
功率因數	0.94	0.63
Arc Shutdown time	0.03 ms	8.33 ms
排放值(mg/Nm ³)	10.9	20

資料來源：KC Cottrell 及台電月刊「台中電廠六號機靜電集塵器效率提升工程」

除了上述所提高頻系統。近年逐漸發展出脈衝式高頻系統，其供電時的陰極具有非常均勻的電暈分佈和很強的電暈放電能力，從而提高了粉塵荷電概率，對粉塵性質的變化有良好的適應性，有利於克服反電暈現象，詳如圖 9 示意圖。例如，丹麥 FLSmidth 大氣治理公司生產的第四代 COROMAX 電除塵用脈衝電源，其典型參數是額定脈衝寬度為 $75 \mu s$ ，脈衝重複頻率為 $2\sim 100 \text{ Hz}$ ，基礎直流電壓為 60 kV ，脈衝幅值為 80 kV ，電流峰值為 9 kA ，其電壓變化詳如圖 10。脈衝式電壓相較於高頻變壓最大優點為當灰阻值大於 $10^{-12} \text{ ohm}\cdot\text{cm}$ 以上(示意圖詳如圖 11)，其去除效率明顯較高頻電壓及直流電壓高，但脈衝式電源用於火力發電廠實績相當少。



傳統直流電(背電暈現象)

Coromax Pulse(無背電暈現象)

圖 9 電極放電示意圖

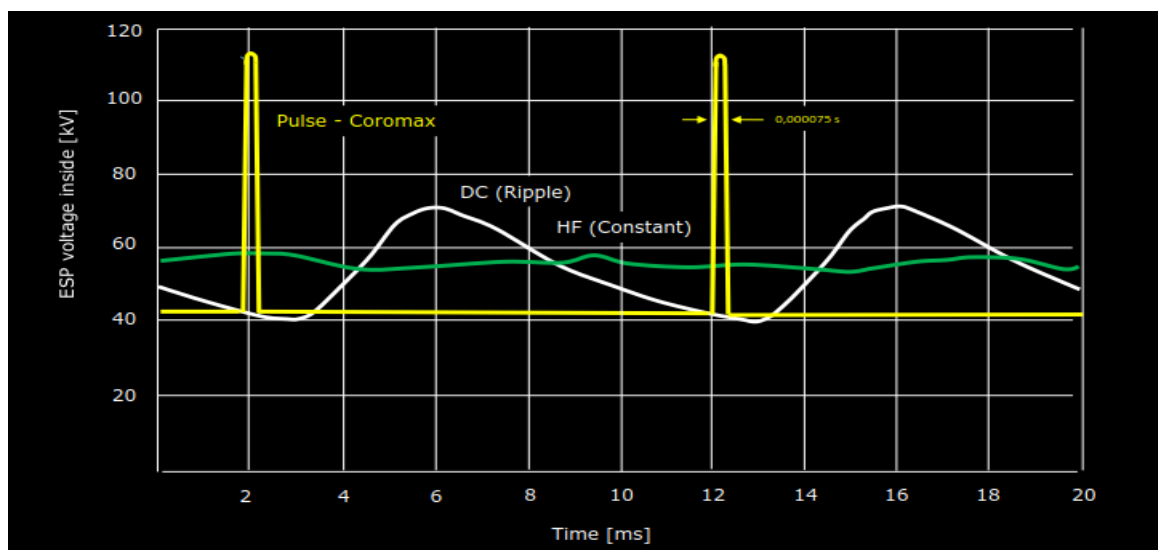


圖 10 脈衝電壓、高頻電壓及直流電壓比較示意圖

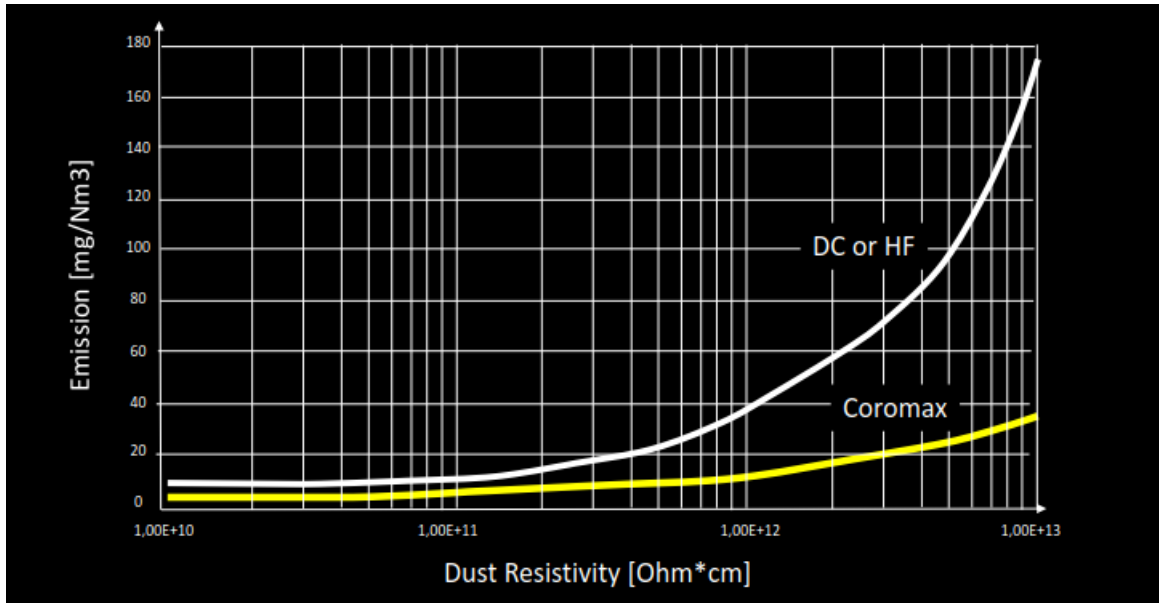


圖 11 脈衝電壓、高頻電壓及灰阻值示意圖

ESP除塵效果除了與灰電阻息息相關，亦會受到SO₃濃度及ESP進口溫度影響，參考圖12，當ESP入口溫度於300°F時，SO₃濃度越高則灰電阻越低，此時將可提升ESP收集效率；SO₃濃度越低則灰電阻越高，此時則降低ESP收集效率，因此SO₃濃度或於SCR的轉化率將扮演粒狀物去除的重要角色。

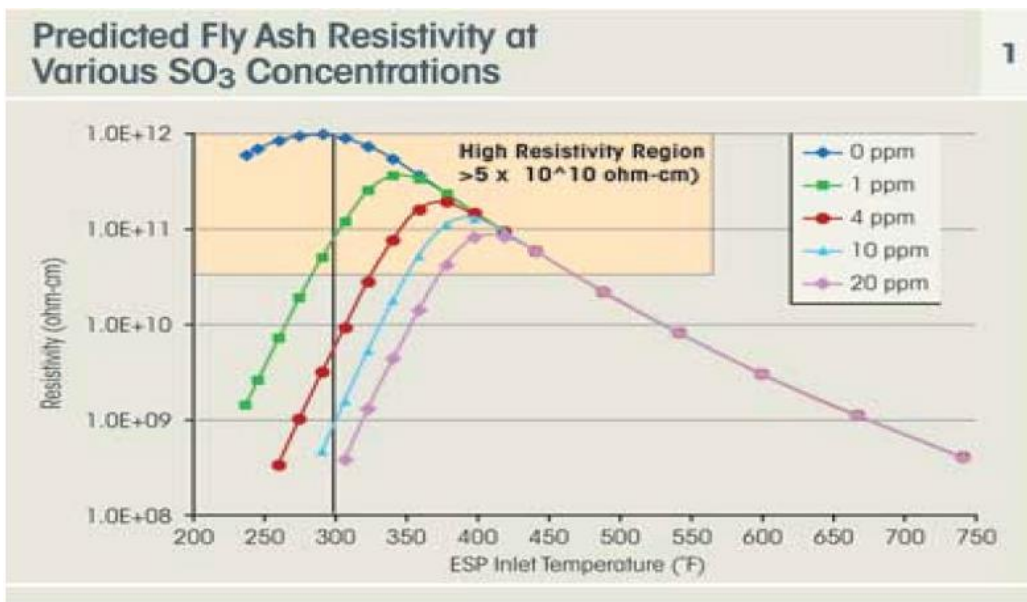


圖 12 灰電阻、SO₃濃度及 ESP 入口溫度變化圖

濕式靜電集塵器(WESP)技術

ESP 效能的提升可明顯增加對粗微粒之去除率，惟無法有效去除 PM_{2.5}，故許多設備選擇增設 WESP，作為煙囪出口前最後一道之把關設備。WESP 的基本原理與乾式 ESP 相同，係以帶高壓電的放電電極對著接地的收集板產生電暈放電，以釋出無數自由電子附著於煙氣中的粒狀物上，再利用放電電極與收集板之間的電場使荷電粒狀物移動至收集板上堆積起來，以去除煙氣中的粒狀物，乾式 ESP 及 WESP 特性比較如表 3 及圖 13。

表3 乾式靜電集塵器與濕式靜電集塵器比較表

	項目	單位	乾式靜電集塵 (ESP)	濕式靜電集塵 (WESP)
收集 機制	粉塵收集機理	-	電暈放電庫侖力	電暈放電庫侖力
	電極上粉塵清除方法	-	機械振打	沖洗
	粉塵處理	-	乾輸灰或水沖灰	水沖灰
應用 條件	煙氣低於飽和溫度	°C	不適用	適用
	煙氣高於飽和溫度	°C	適用	不適用
	粉塵比電阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	$10^4 \sim 10^{12}$	不受限制
	出口粉塵濃度的極限	mg/Nm^3	5~20	實際低於 1.0
	SO ₂ 濃度的極限	mg/L	無限制	100~200
其它 方面	集塵面積	m^2	大	小(佔乾式的 1/2~1/3)
	轉動部件	-	有	無
	密封性能	-	好	較好
	水處理設備	-	不需要	需要
	壽命	-	一般	較長
除去 污染 物	PM _{2.5} 粉塵	-	作用有限	適用
	SO ₃ 微液滴	-	適用	適用
	汞及其氧化物	-	適用	適用

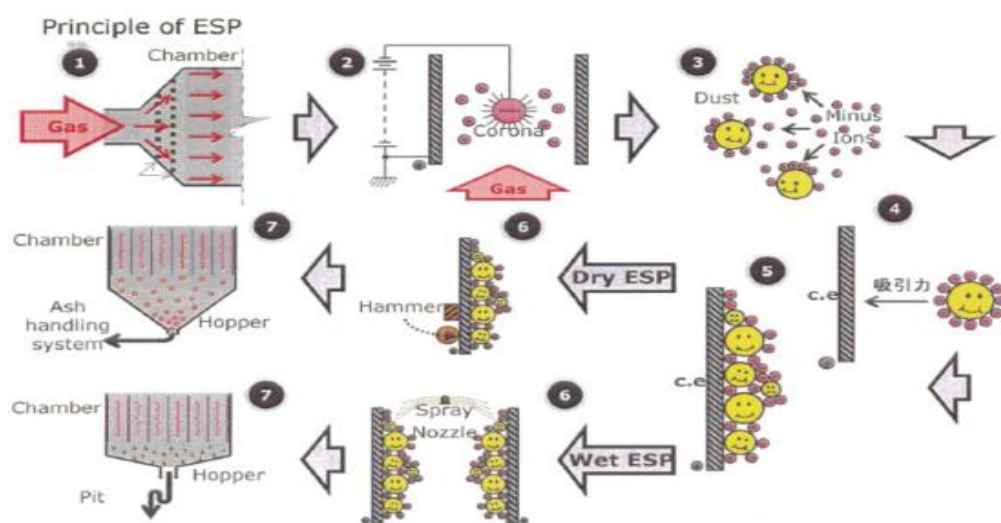


圖 13 乾式 ESP 及溼式 ESP 除塵機制示意圖

WESP 具有高除塵效率、克服高灰電阻產生的反電暈現象、無轉動部件、無二次揚塵、運作穩定、壓損小、操作容易、能耗低、運維費用低、操作溫度低於露點、可與其他設備互相結合、設計形式多樣化等優點。同時，其採用液體沖刷集塵板來進行清灰，可有效收集細顆粒(PM_{2.5} 粉塵、SO₃ 酸霧、氣溶膠)、重金屬(Hg、As、Se、Pb、Cr)及有機污染物(如：多環芳烴)等，擁有全方位的控制能力。依據台塑麥寮改善之狀況，WESP 之 PM 出口濃度保證值為 3 mg/Nm³(入口濃度 15 mg/Nm³)，對於酸霧之控制，SO₃ 經過濕式除塵噴濕後，在靜電凝聚作用下，使得粒徑增大，於極板及水膜間形成稀酸，去除率可達 80%以上；台塑華亞 WESP 之 PM 濃度保證值為 5 mg/Nm³(入口濃度 25 mg/Nm³)，實際運轉值 PM 為 0.46 mg/Nm³，SO₃ 濃度為 0.55 mg/Nm³；日本壁南電廠亦有相同的設備，其 WESP 出口濃度保證值為 3.5 mg/Nm³，實測值僅有 1~2 mg/Nm³，WESP 控制原理及構造詳如圖 14。

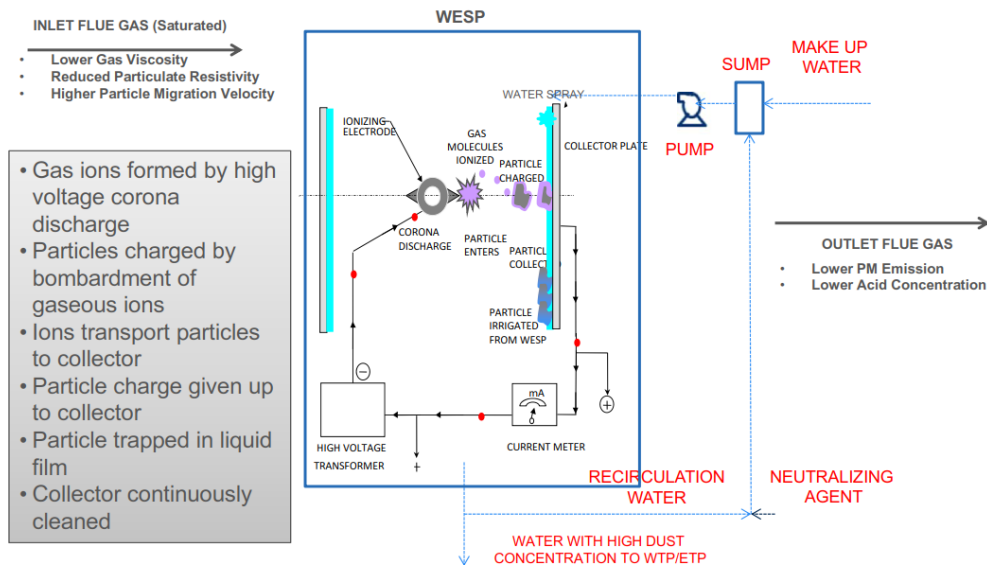


圖 14 WESP 除塵概念示意圖

1. WESP 結構型態

WESP 以煙氣流動的方向來區分，若垂直方向通過收集板與放電電極區域進行粒狀物處理，處理後的煙氣從 WESP 下游出口離開，為垂直式靜電集塵器。若以水平方向通過收集板與放電電極區域進行集塵處理，處理後的煙氣從 WESP 另一側離開，這種配置與乾式 ESP 相同，為「臥式」WESP。

(1) 垂直獨立佈置

在化工和冶金行業應用的大型濕式靜電集塵器一般為垂直煙氣流獨立佈置，一般為模組化設計的管式設計，這種設計便於安裝和解列維修，但其需要額外的佈置空間。

(2) 水平獨立佈置

在美國的 AES Deepwater 電廠和日本的火力發電廠中 WESP 採用水平煙氣流獨立佈置。如圖 15 所示

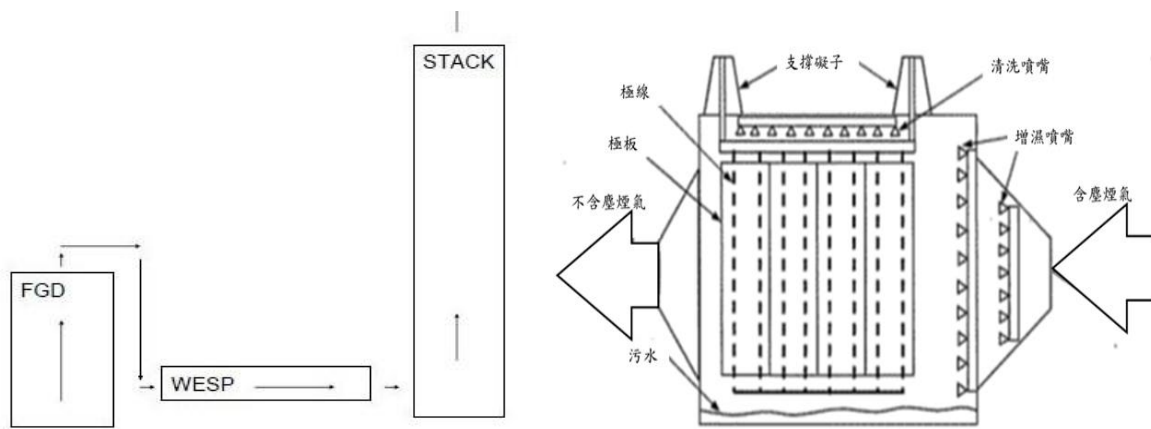


圖 15 水平式 WESP 示意圖

(3) 垂直組合佈置

採用濕式石灰石石膏法脫硫系統的加拿大 New Brunswick 電力公司的 Dalhousie 和 Coleson Cove 電廠(315 MW 機組)，採用的濕式靜電集塵器對吸收塔除霧器進行改造，即將濕式集塵器佈置在吸收塔的上方替代原有的機械除霧器，這種方式可以使成本和運行費用也是最低的，占地面積也很小，其配置方式詳如圖 16。

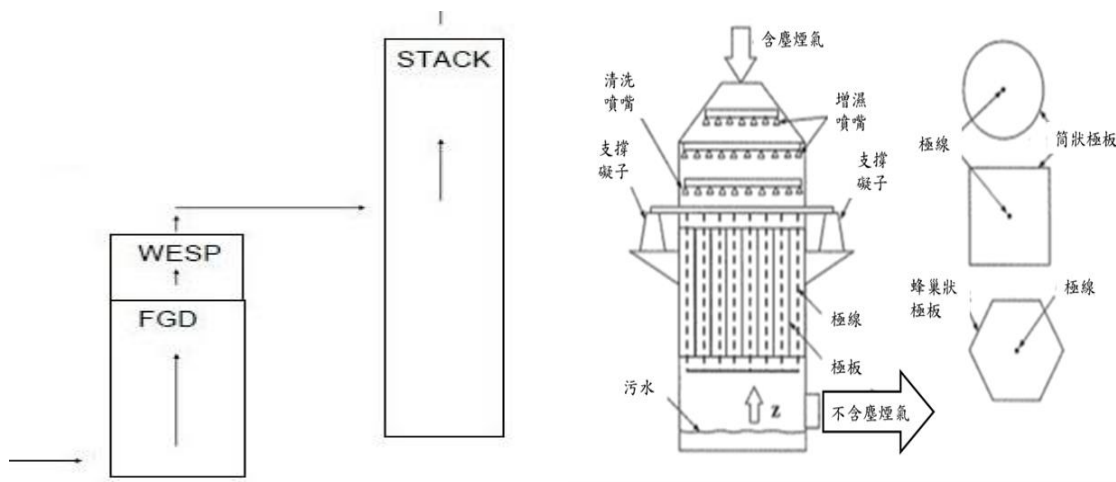


圖 16 臥式 WESP 示意圖

不同型式 WESP 安裝於實廠之相關照片詳如圖 17。



臥式 WESP

垂直式 WESP

圖 17 WESP 實廠配置圖

2. WESP 清洗水系統

WESP 清洗水之水質需預先去除 $40\ \mu\text{m}$ 以上之固體物及總懸浮固體物濃度小於 $200\ \text{mg/L}$ ，一般會設置網式過濾器或 $40\ \mu\text{m}$ 網袋式過濾器作為清洗水前處理系統。清洗水分為兩種系統，分別為循環型系統及非循環系統兩種形式，相關內容茲說明如下：

(1) 循環系統

回收型為在 WESP 內設循環水回收系統，將廢水回收經由沉澱後，上層水回收再清洗極板。回收型水處理系統

為避免累積過大灰量造成系統負荷過大，因此需設置自清式過濾器，無法再利用的水將直接進入 FGD 作為除霧器的補充水，因此間接降低 FGD 生水補水量。運轉過程中也會因煙氣溫度高造成水量蒸發，當水量過低亦需要定期補充水量來平衡系統中的水量，此類型的循環水約 50 CMH，約 6~8 CMH 的廢水經過濾後排入 FGD，可將其視為 FGD 補水，然生水補注量可降低 6~8 CMH，整體的用水量幾乎趨近平衡。由於循環式清洗系統會造成水質酸鹼度改變(pH<5)，必需仰賴加藥系統，避免水質過酸，但對於 FGD 用水或廢水處理廠的酸鹼度影響將大幅降低，其清洗水機制詳如圖 18。

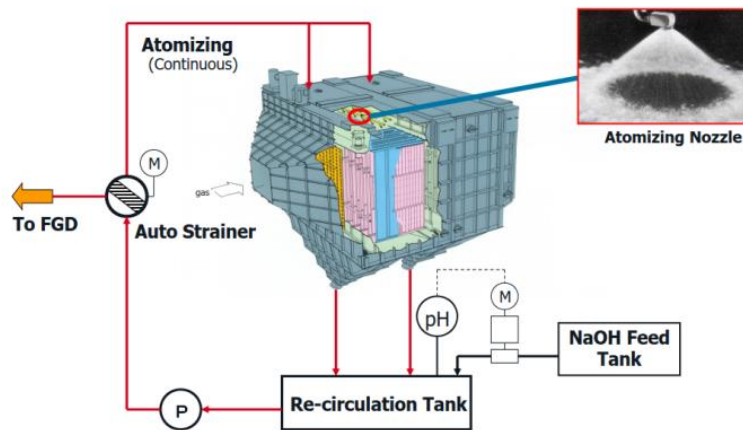


圖 18 WESP 清洗水示意圖

(2) 非循環系統

此類設計 WESP 沖洗水將直接進入 FGD 作為除霧器之補充用水，但必需視除霧器補水量，調整 WESP 清洗頻率及清洗水量，清洗水必需透過簡易的過濾裝置確保水質。其用水量約為 200 CMD (8 小時大量沖洗一次，而平常為微量清洗水流經電極板)，沖洗後的所有廢水均直接進入 FGD，此時 FGD 生水補充量即可減少，故整體水量亦趨於平衡，對於用水量並未增加太大的負擔。由於此類型設計沖洗水停留時間較短，故水質酸鹼度改變較小(偏弱酸)，因此進入 FGD 及廢水處理廠的衝擊相對較小。但由

於廢水直接進入 FGD 必需考量 FGD 的補水量等因素，因此多半應用在小型濕式靜電集塵器及粉塵量負荷較低者，其清洗水機制詳如圖 19。

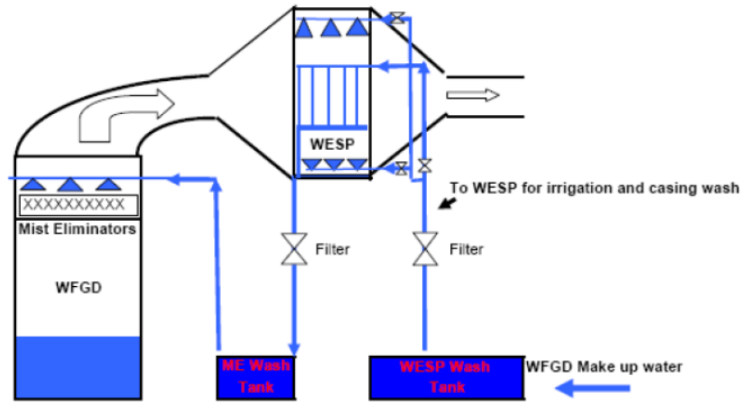


圖 19 WESP 清洗水示意圖

綜上所述，清洗水系統採內循環方式較為省水，但長時間於內部再循環可能導致循環水 pH 值偏酸且過高的粉塵導致 FGD 除霧器阻塞，故須於工程規劃時，明定要求 WESP 循環水不作為除霧器清洗用水，且必需調整廢棄清洗水的 pH 值，降低 FGD 廢水廠的負荷。

粒狀物經 WESP 濕化後使得帶電性能增加，因此對於乾式 ESP 無法捕捉之 $PM_{2.5}$ (包含冷凝酸霧)具有較佳之處理效率， $1 \mu m$ 以下的收集率至少 90%以上，不同除塵系統對於不同粒徑之去除效率詳如圖 20，高效率的關鍵在於「增濕」與「清洗」，省去了乾式敲灰的程序。 $PM_{2.5}$ 中包含可過濾性微粒(Particulate Matter, FPM)及可凝結性微粒(Condensable Particulate, CPM)兩大類(粒狀物非類似意圖詳如圖 21)，另 KC Cottrell 公司安城工廠於極板製作時測試清洗狀況圖詳。

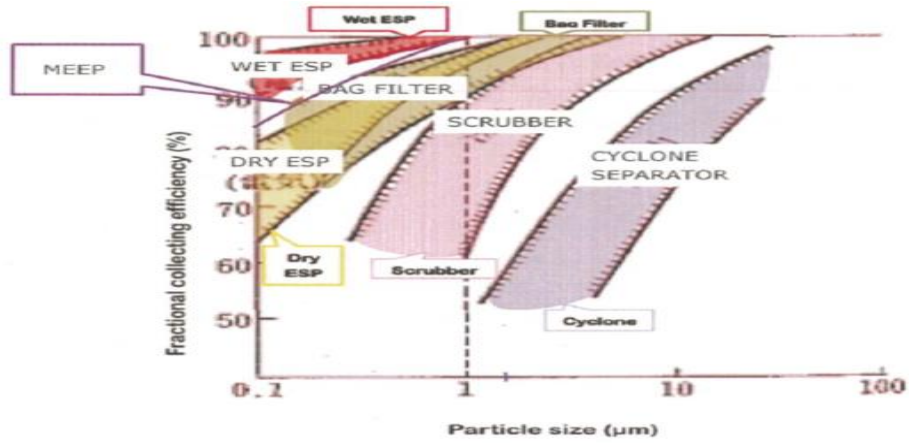


圖 20 不同型式集塵器對於不同粒徑之粒狀污染物去除曲線圖

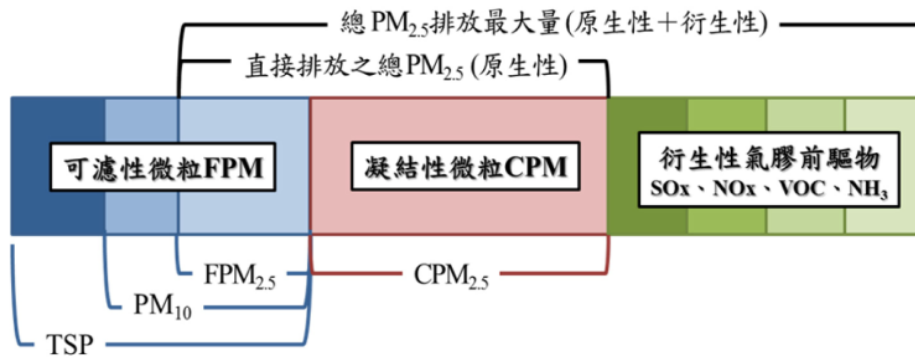


圖 21 粒狀物分類示意圖

WESP 除了對粒狀物有不錯的成效外，對於重金屬也有不錯的效果，Hamon Research-Cottrell 提供過去設計經驗(以汞為例)，發現 WSEP 總汞去除率可達 41%，相關數據詳如表 4。

表4 WESP對汞之去除效率彙整表

	FGD Inlet		FGD Outlet		WESP Outlet		Total
	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Removal %	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Removal %	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Removal %	FGD/WESP Removal %
Ash Hg	4.37	0	0.85	80	0.20	76	95
Hg ²⁺	6.02	0	1.88	69	0.26	86	96
Hg ⁰	2.55	0	2.92	-15	2.39	18	6
Total Hg	12.94	0	4.88	62	2.85	41	78

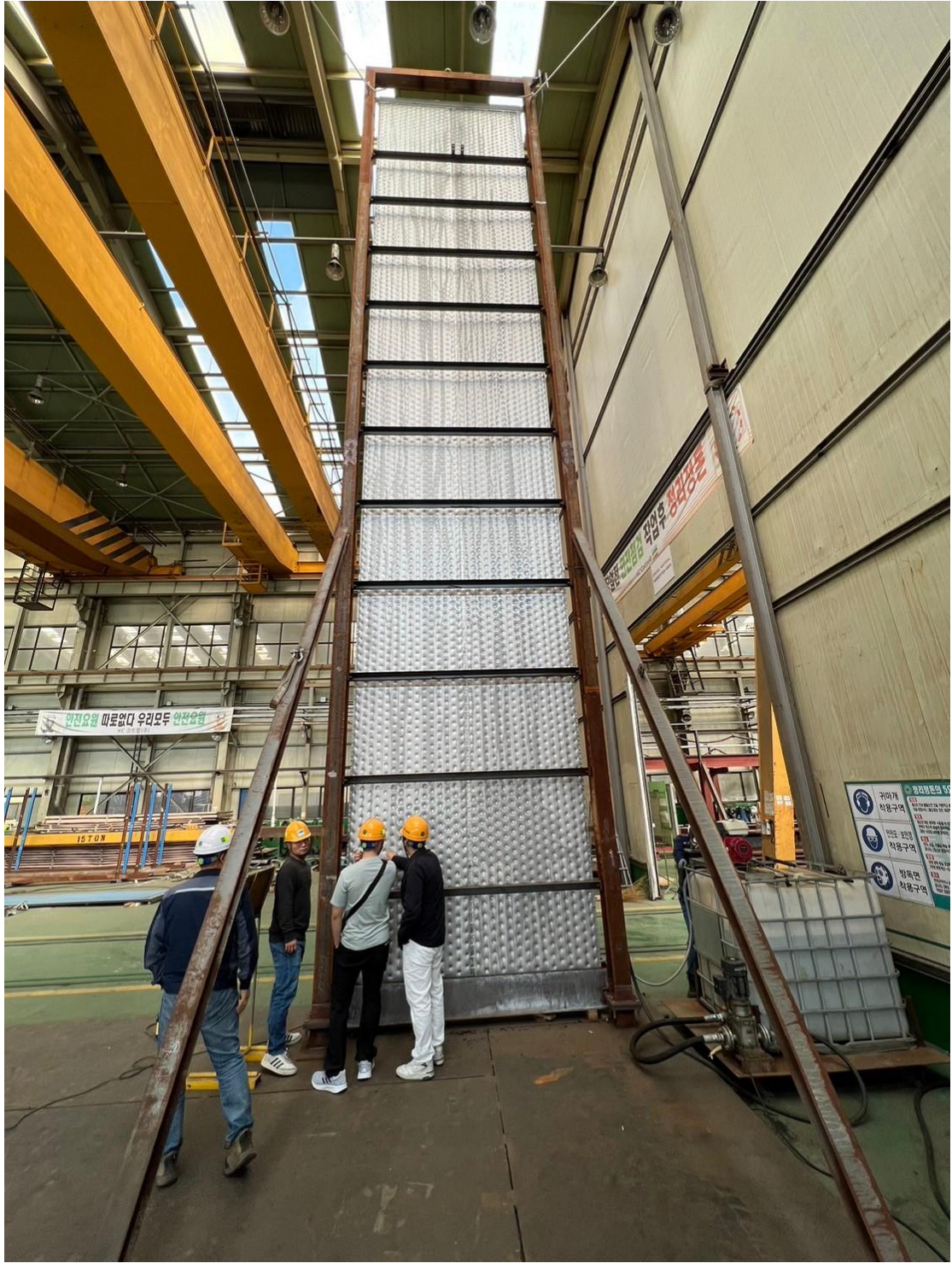


圖 22 本團隊參訪 KC Cottrell 安城工廠極板沖洗測試過程

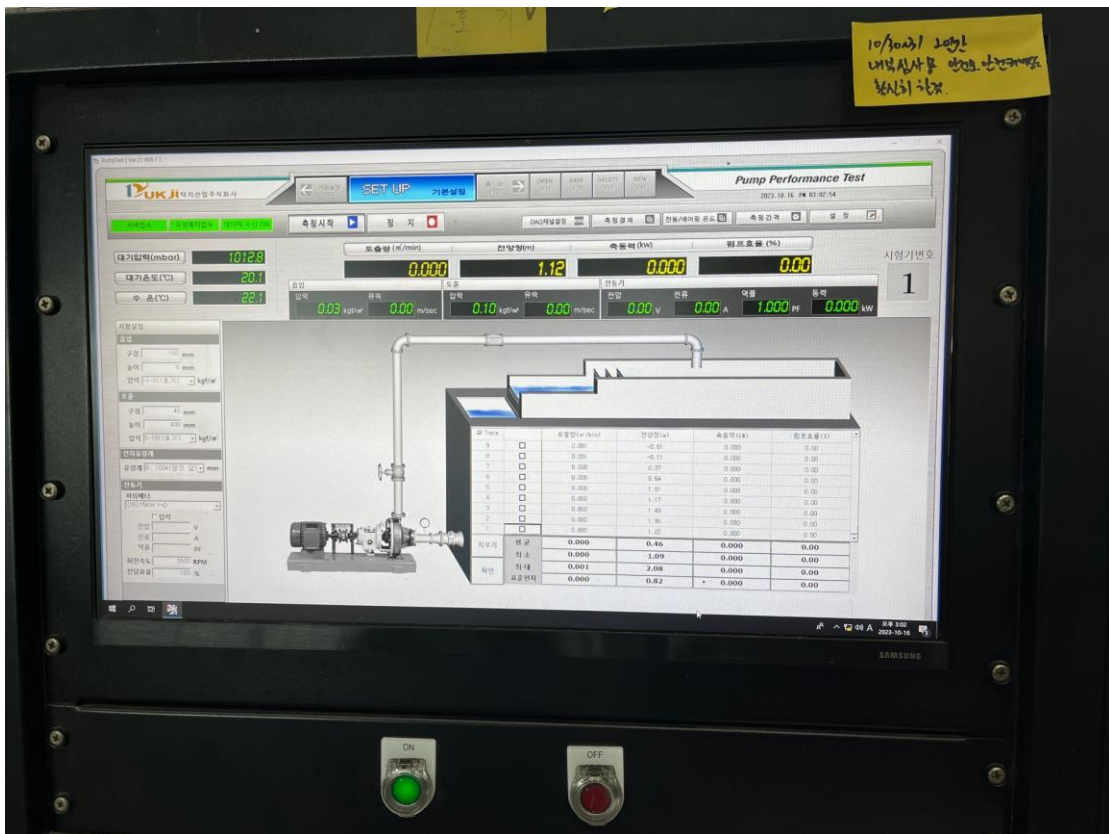


圖 23-25 本團隊參訪 Duk Ji 公司泵浦製造及測試過程

四、非洩漏式氣對氣熱交換器 (MGGH)

氣對氣熱交換器(GGH)

濕式石灰石石膏法在吸收塔脫硫反應完成後，煙氣溫度降至 45~55℃；而海水法一般在 28~40℃。吸收塔出口的含飽和水蒸氣的煙氣主要成分為水蒸氣、二氧化硫、三氧化硫等酸性氣體，低溫下含飽和水蒸氣的煙氣很容易在露點之下產生冷凝酸，冷凝後之硫酸濃度可達 60%，具有很強的腐蝕性。脫硫後的飽和濕煙氣若不經過 GGH 處理而直接排放，在環境上會帶來三個問題：

1. 濕煙氣的溫度較低，使煙升高度較小，使污染物的擴散能力較差。
2. 會因水蒸氣的凝結而產生白煙，影響周圍民眾的觀感。
3. 凝結水可能造成煙囪下風向降水，影響局部地區的氣候。

GGH 的實際出口溫度必須由前端鍋爐及 APH 出口煙氣條件確認後，再依據 GGH 冷熱側溫度需求做確認，一般建議將排放煙氣加熱至 90℃ 以上。

一般 GGH 主要之型式分為洩漏式 GGH 及非洩漏式 GGH，相關內容茲說明如下：

1. 洩漏式 GGH (Leakage Type GGH)

常用 Ljungstrom 式，可配置於吸收塔上以節省空間。將未脫硫煙氣(約 130~150℃)之熱能用來加熱脫硫後之煙氣，一般加熱到 90℃ 以上之後排放。其工作原理與電廠中使用的回轉式空氣預熱器原理相同。由於再熱器熱端煙氣含硫量高、溫度高，冷端溫度低、含水量大，故其進出口需使用耐腐蝕材料，如陶瓷、搪玻璃、塗層鋼等，氣流分佈板可採用塑膠性材質，導熱區一般用搪瓷鋼。此種加熱系統的主要缺點為煙氣之洩漏率高(約 1~3%)、粉塵的黏附及堵塞，及熱煙氣會冷凝部分硫酸在蓄熱板上並帶到煙氣中，因此需配套有密封裝置和清洗裝置。洩漏式 GGH 示意圖如圖 26。

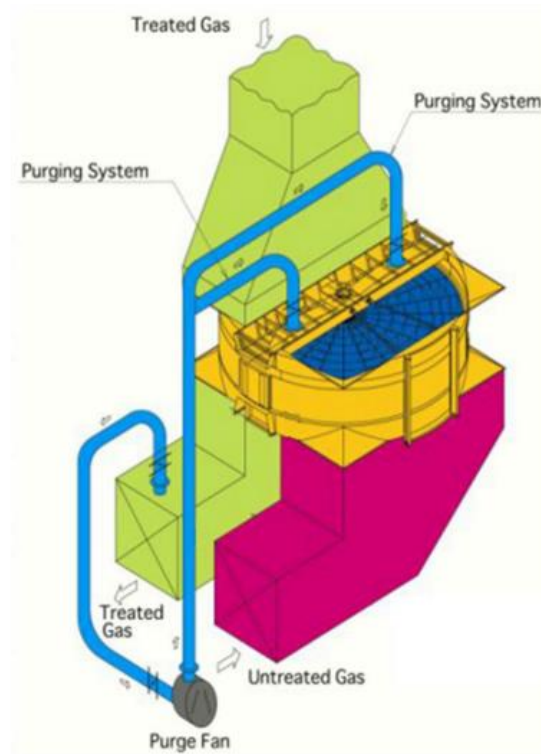
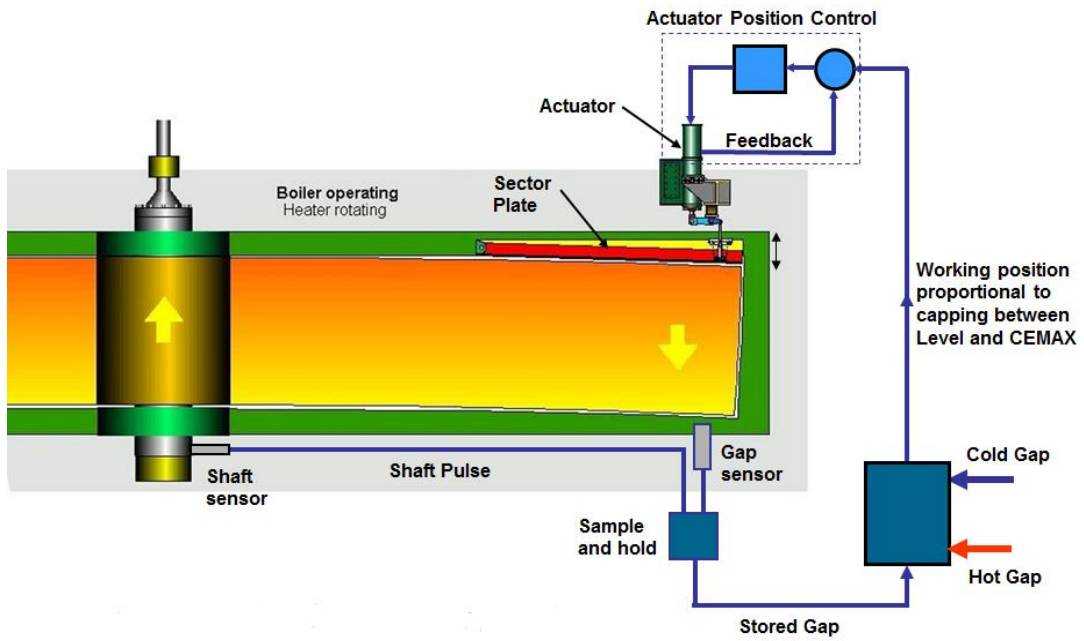


圖 26 洩漏式 GGH 示意圖

因迴轉再生式 GGH 會產生洩漏，其洩漏量一般約在 0.5%~3% 左右。洩漏方式主要分為(1)直接洩漏(Direct Leakage)及(2)帶入洩漏(Entrained Leakage)兩種。直接洩漏係指壓力較高未脫硫煙氣會經由轉子(Rotor)與徑向及軸向氣封(Radial and Axial Seals)處洩漏至壓力較低之脫硫後煙氣；帶入洩漏則為留存於熱元件區未脫硫之煙氣經由 GGH 迴轉後帶入脫硫後之煙氣。

為使轉子由熱變形所引起的氣封間隙變化減至最少，在熱端的徑向氣封片可裝置自動調整間隙的設備，以減少直接洩漏量。圖 27 為具有自動偵測及調整間隙之氣封設備安裝示意圖，該氣封板可配合機組溫升，轉動件因熱膨脹變形而調整氣封板位置，達到控制洩漏量的效果。在轉子與外殼之間隙可經由裝設軸向氣封來減少洩漏量，圖 28 即是透過裝設在轉子上的繞性金屬片與外殼摩擦接觸達到氣封的效果。此外，亦可於透過於未脫硫煙氣區及脫硫煙氣區交接處增加同一時間接觸到的氣封片數量來達到更好的氣封效果，如雙重氣封(Double Sealing)系統，甚至三重氣封(Triple Sealing)系統，如圖 29 所示。

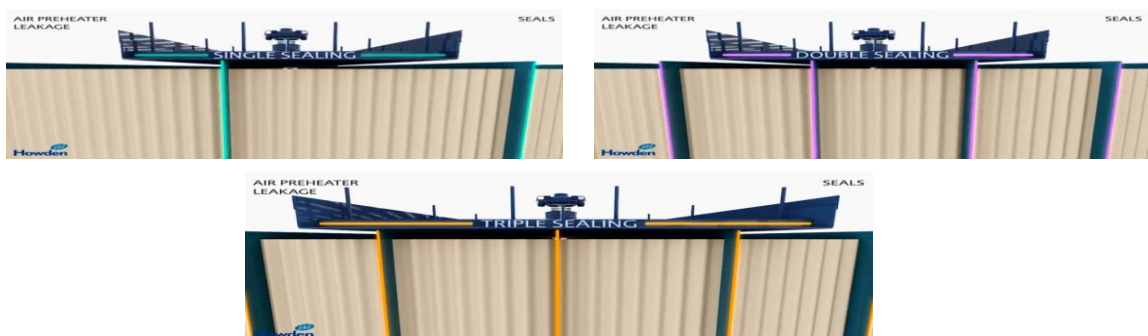


(資料來源：Howden 公司)

圖 27 具自動偵測及調整間隙之氣封設備安裝示意圖



圖 28 軸向氣封示意圖及軸向氣封實際安裝圖



(資料來源：Howden 公司)

圖 29 增加接觸氣封片數量示意圖

若要追求更低的洩漏率，則可藉由抽取已處理之煙氣，加壓後打入 GGH 的扇形板與熱交換元件間，如此一來無論是雙重氣封或是三重氣封，都可以確保此區間處於一較高之氣壓，氣封片就算有微量的洩漏也都是經處理過的煙氣，不會有汙染排放增加的問題。若要更進一步杜絕夾帶於熱交換板間的未處理煙氣洩漏至大氣中，將洩漏率降至 0.5% 以下，則可抽取已處理過的煙氣送至高溫端未處理煙氣側的氣封板內，讓熱交換板被已處理過之煙氣充滿，以替換轉子內所夾帶的未處理煙氣。

由於 GGH 的熱端與冷端溫差較小(參考可行性研究結論表格，熱端未處理煙氣入口溫度約為 138°C，冷端已處理煙氣入口溫度約為 55°C，溫差小於 100°C)，熱交換版的熱漲冷縮情形較 APH 小(APH 的煙氣入口溫度約為 350-400°C，空氣為大氣溫度約 30°C，溫差約 300°C)，因此 GGH 較不需加裝具自動偵測及調整間隙之氣封設備，使用固定式的氣封片及抽氣氣封及煙氣替換設備即可達到洩漏控制。

2. 非洩漏式 GGH (MGGH)

非洩漏式 GGH (MGGH) 分為熱回收段(Heat Recovery)及加熱段(Reheater)，熱煙氣之熱量於熱回收段傳給再循環水(Recirculating Water)，熱再循環水流至加熱段並加熱煙氣。非洩漏式 GGH 有效解決煙氣之洩漏及蓄熱板上冷凝硫酸回煙氣中等問題，故較適合煙氣中 SO₂ 濃度很高或要求脫硫效率非常高的情況下使用，無洩漏式 GGH 示意圖如圖 30。

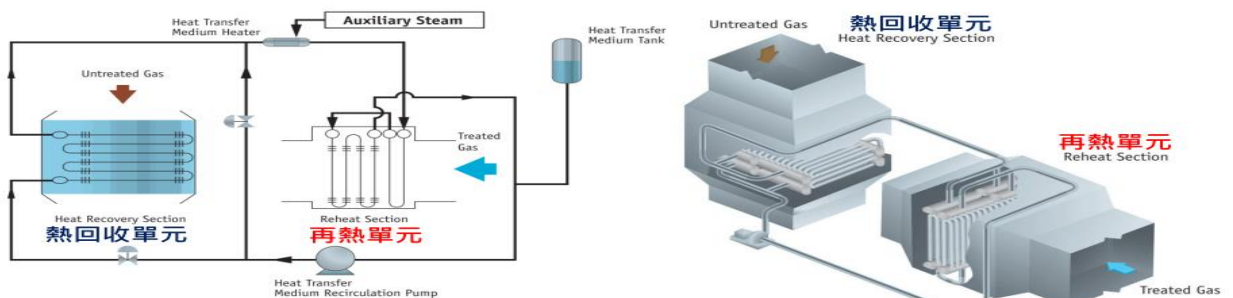


圖 30 無洩漏式 GGH 示意圖

非洩漏型 GGH (MGGH) 系統特性：

- (1) 不同於洩漏 GGH，MGGH 不會洩漏未經處理的煙氣，因此煙囪進口處的粉塵量很少，SO₃ 量也很少。
- (2) 是一種節能系統，從未處理的煙氣中收集熱量來加熱處理過的煙氣，不需要額外的熱源來加熱處理過的煙氣。
- (3) MGGH 具有一個單獨的冷卻器段及再熱器段，連接至管道及管路，簡化管道的設置。
- (4) 若因為冷卻器未能從未處理的煙氣中吸收足夠的熱量而無法供應足夠的熱量至再熱器，則可透過熱媒加熱器提供額外的熱源（輔助蒸汽）給熱媒水，以控制再熱器的操作溫度及煙囪入口處、處理後煙氣的溫度。
- (5) 在流入冷卻器的熱媒水管路中配置旁通管路，控制熱媒水的流率，並藉由控制流率來控制通過冷卻器之未處理煙氣的溫度。若大氣溫度低或在冬天時，可提高旁通流率以免未處理煙氣出口的溫度低於必要的溫度。
- (6) 選擇適當的鰭管規格及排列方式，以免熱傳降低及差壓上升，並使用吹灰器。

以台中電廠為例，其原本係洩漏式 GGH，將改為非洩漏式 GGH (MGGH)，更換後的 MGGH 冷卻器安裝在空氣預熱器與 ESP 之間，再熱器安裝在 WESP 與煙囪之間。示意圖如圖 31。

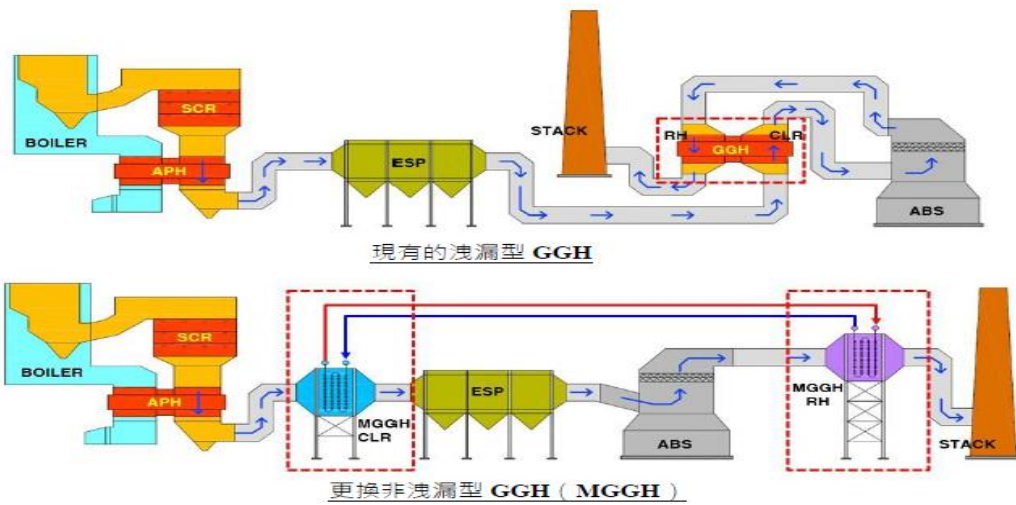


圖 31 洩漏式與非洩漏式 GGH 熱回收段設置位置示意圖

非洩漏式與洩漏式 GGH 之比較說明詳表 5。

表5 非洩漏式與洩漏式GGH比較表

	非洩漏式 GGH	洩漏式 GGH
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無洩漏率，降低煙囪排放。 2. 增進 ESP 效率。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 投資費用較便宜，約 1.5 億元台幣。 2. 定期維護較簡易
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 投資費用昂貴，MHPS 報價約 8 億元台幣。 2. 熱回收段位置緊接鍋爐房與 ESP 進口間，影響 SCR 觸媒吊裝、日後維護工作動線。 3. 熱回收段和加熱段相隔較遠，循環水外管及內管須時常查看，避免破損造成停機。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FGD 出口過帶霧滴具腐蝕性，易致 GGH 熱交換元件腐蝕。 2. 有洩漏率，最高增加 0.5% FGD 之進口污染物濃度。

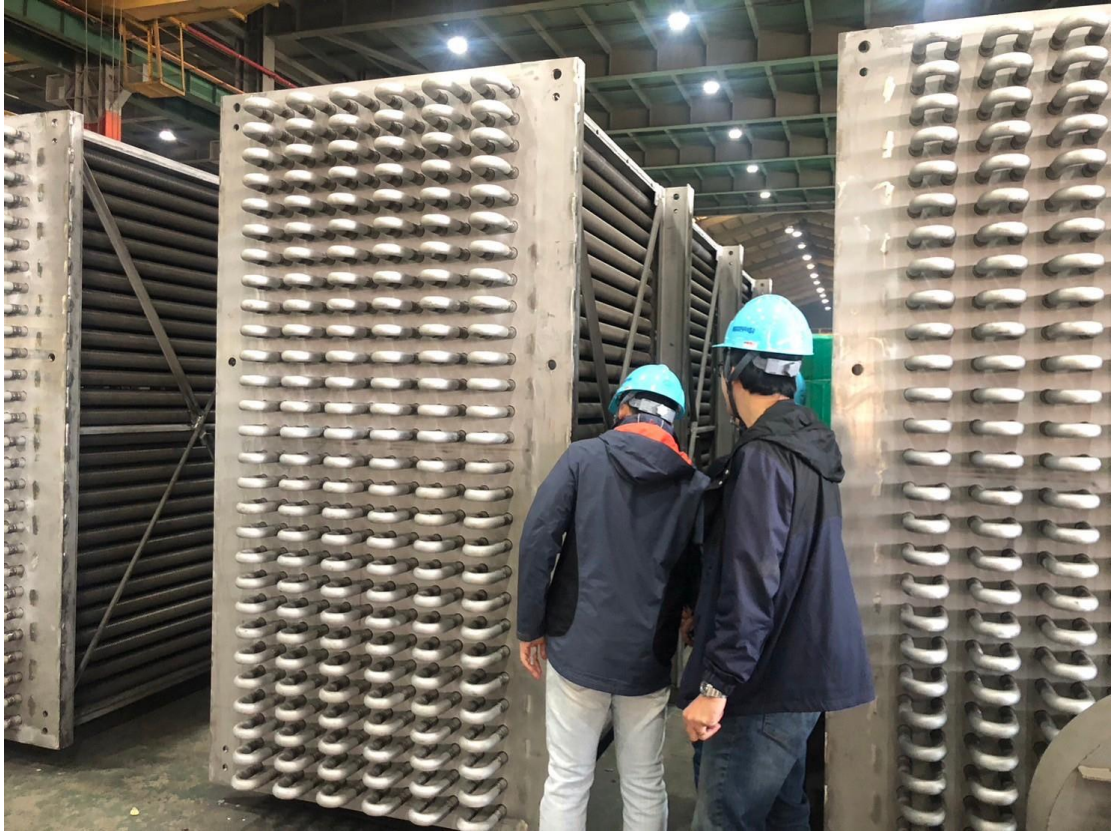


圖 32 本團隊參訪 BHI 昌原廠 MGGH 之管排(鰭管、U 型管)製造及封裝過程

肆、心得與建議

一、本次於 KC Cottrell 安城工廠參訪其實驗室，內有 EP 及 FGD 等設備，可藉由實驗室調整參數，以 EP 為例，如極板間距、電流電壓數值以達成不同情境之最佳除塵效果，建議未來公司若條件允許，可設置類似設施，以取得適用於本公司電廠之最佳設定參數。

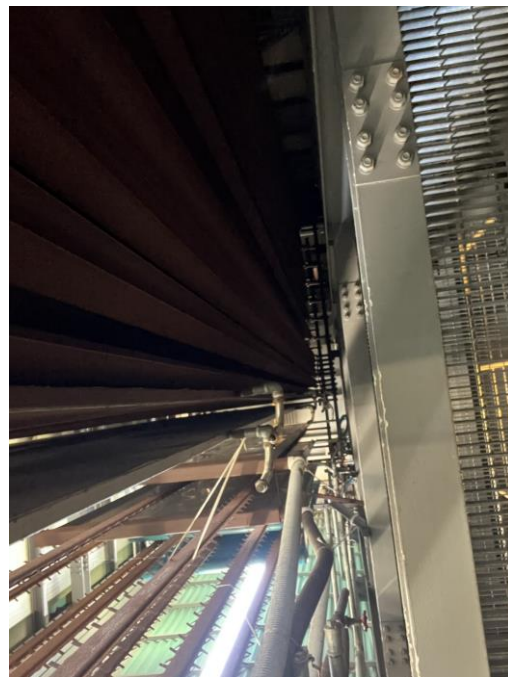
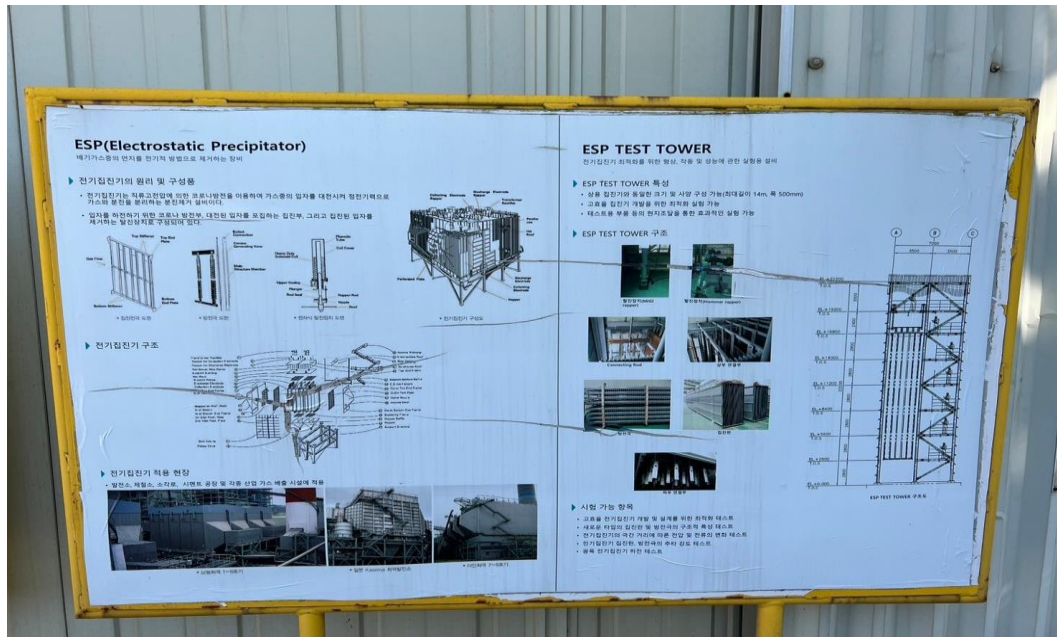


圖 33-35 本團隊參訪 KC Cottrell 公司實驗室過程

二、因本次參訪之時程較為緊湊，然利用此機會認識 KC Cottrell 之環境保護相關人員，並涉取相關知識，實可助於本公司未來規劃既有燃煤機組改善甚至未來新設燃煤機組或生質能機組之環保設備。未來建議本公司持續派員赴凱希公司交流，除可更進一步了解 WESP 及 MGGH 外，亦可向凱希公司實習其專精之其他環保設備知識。惟本次 2 週之行程，深刻體驗韓國大都市塞車問題嚴重，耗費於乘車之時間原比預期長，未來本公司若有類似行程，需將車程問題納入行程安排重點，時間將較為寬裕，效果將更佳。

三、本次於公餘時間，於晚上參訪首爾市著名景點南山 N 首爾塔，N 首爾塔原為電視訊號發射塔，本身約 240 公尺，再加上建於海拔亦約 240 公尺之南山，總高度約 480 公尺，故於市區大多數位置均可直接觀賞，2011 年起，首爾市以 N 首爾塔之燈光告知市民當天之空氣品質狀況，藍色表示良好、綠色表示普通、黃色表示較差，紅色表示極差(示意圖及對應之空氣品質如圖 36)。考量本公司火力廠亦有許多高煙囪，或可考慮參考類似的方式呈現當地空品，以達宣傳效果，甚至傳達本公司對環境保護之重視。

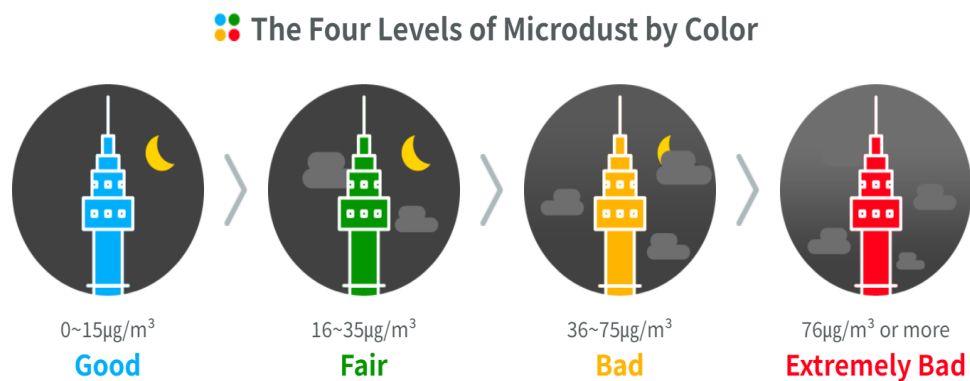


圖 36 N 首爾塔夜間燈光對應空品濃度 (資料來源：N 首爾塔官網)



圖 37 本團隊到訪 N 首爾塔當日照片