

出國報告（出國類別：實習）

研習台中電廠中五~中十機新設非洩漏 室熱交換器(MGGH)及濕式靜電集塵器 (WESP)運轉、維護訓練

服務機關：台灣電力公司核能火力發電工程處
台灣電力公司核能火力發電工程處
台灣電力公司核能火力發電工程處中部施工處
台灣電力公司台中發電廠
台灣電力公司台中發電廠

姓名職稱：陳月玉 環境保護課長
李直穎 電控設計專員
陳怡傑 環境保護課長
黎岱瑾 脫硫設備維護專員
張益隆 土木維護專員

派赴國家/地區：韓國

出國期間：113年09月22日至113年10月05日

報告日期：113年12月3日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習台中電廠中五~中十機新設非洩漏式熱交換器(MGGH)及濕式靜電集塵器(WESP)之運轉、維護訓練。

頁數 57 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) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

姓名	服務機關	單位	職稱	電話
陳月玉	台灣電力公司	核能火力發電工程處	課長	(02)2391-0241 #29439
李直穎	台灣電力公司	核能火力發電工程處	專員	(02)2391-0241 #29656
陳怡傑	台灣電力公司	核能火力發電工程處 中部施工處	課長	(04)2639-6002 #6940
黎岱瑾	台灣電力公司	台中發電廠	專員	(04)2630-2123 #3411
張益隆	台灣電力公司	台中發電廠	專員	(04)2630-2123 #3251

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(開會)

出國期間：113/9/22-113/10/5

派赴國家/地區：韓國

報告日期：113/12/3

分類號/目

關鍵詞：濕式靜電集塵器、WESP、放電極、集塵極、TR-Set、非洩漏式熱交換器、MGGH

內容摘要：(二百至三百字)

台中發電廠既有燃煤機組因應「臺中市電力設施空氣汙染物排放標準」加嚴法規生效，本公司爰此辦理「台中電廠第 5-10 號機空污改善工程計畫」以更新煙氣處理系統以提升空污防制設備效能。本改善計畫針對脫硝、脫硫與除塵系統進行改善，其中，既有洩漏式熱交換器升級為非洩漏式熱交換器(MGGH)，以及增設濕式靜電集塵器(WESP)。非洩漏式熱交換器可提升煙囪出口之煙氣溫度並防止煙氣洩漏，亦增強擴散效應，避免白煙生成，減少視覺衝擊；濕式靜電集塵器則可吸附細顆粒如 PM2.5 粉塵、SO3 酸霧、氣溶膠、重金屬及有機汙染物等，進一步減少煙氣排放之汙染物。

本計畫採購之設備由韓國 KC Cottrell 公司供應並負責施工安裝與測試，以及規劃 MGGH 與 WESP 教育訓練。授課內容包含原理說明、設備製程介紹、運轉控制、檢修維護等，期透過本次研習，落實技術交流與提升參訓人員對系統之了解，增進未來運轉維護知識，確保機組穩定運轉。

本次海外研習除了學習濕式靜電集塵器與非洩漏式熱交換器之原理、本計畫相關系統設計、運維操作之外，亦參訪各設備製造廠，包含 BHI(本案熱交換器製造廠)、Dong-A(風機製造廠)、NWL(變壓整流器製造廠)與 KC Cottrell 製造工廠等。本實習報告將進一步介紹濕式靜電集塵器與非洩漏式熱交換設備，以及工廠參訪製程過程，最後分享整體研習心得。

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

目錄

一、 出國目的	4
二、 過程	5
三、 實習內容	6
(一) 非洩漏式熱交換器 MGGH	6
1. 原理、系統介紹.....	6
2. 廠家(KC)對台中電廠第 5~10 號機之設計說明.....	9
3. 參訪製造廠 BHI 及本計畫設備(Cooler & Reheater Bundles)製程	18
4. 操作、控制、維護、可能問題處理.....	24
(二) 濕式靜電集塵器 WESP	28
1. 原理、系統介紹.....	28
2. 廠家(KC)對台中電廠第 5~10 號機之設計說明.....	36
3. 參訪製造廠 KC Cottrell & NWL 及本計畫設備(WESP 極板、TR Set)製程....	39
4. 參訪製造廠 Dong-A 介紹及本計畫設備(Blower)製程	45
5. 操作、控制、維護、可能問題處理.....	47
四、 實習心得與建議.....	54

一、 出國目的

目標：

研習本空污改善計畫更新之設備：煙氣處理系統(濕式靜電集塵器(WESP)及非洩漏式熱交換器(MGGH)，了解最新技術及廠商未來研究方向，與本案規劃之設計理念及材料選用基準，提升參訓人員對設計規劃之認知，有助未來新設備之運維穩定，亦俾利未來其他電廠改善工程之規劃與執行，分述如下：

- (一) 了解目前煙氣處理系統最新技術及未來趨勢，熟悉廠家規劃之設計理念及材料選用基準，提升參訓人員對設計規劃之認知。
- (二) 提供操作及維護人員學習日後所使用設備之構造、日常維護及大修或檢修之必備知能，以培養維修能力應付長期運轉需求。
- (三) 參訪廠商安排之製造廠，深刻理解製造過程，建立整體系統規劃概念作為後續引進或修改之參考。
- (四) 現地觀摩，由技師或講師指導講解各項設備運轉流程，驗證設計理念及原理，並反饋至技術規範，提供後續改善內容規劃之參考並強化規範內容編訂。

緣由：

本空污改善計畫係因應台中市電力設施空污排放標準加嚴，為使既有台中發電廠既有燃煤機組得以持續營運並減少污染物排放，爰規劃提升煙氣處理設施之效能；另外，相關作業人員充分理解煙流處理過程及熟悉新設施處理系統之操作亦屬必要，故於合約中納入海外教育訓練課程安排，得以一窺原製造廠相關實績，掌握最新技術。

二、 過程

前往國家：韓國

出國期間：113 年 9 月 22 日至 113 年 10 月 5 日

研習人員：陳月玉(核火工處)、李直穎(核火工處)、陳怡傑(中施處)、黎岱瑾(台中電廠)、張益隆(台中電廠)，共計 5 員。

行程表：

起始日	迄止日	行程	工作內容
113.9.22	113.9.22	台北→釜山	往程：(台北－釜山)
113.9.23	113.9.25	釜山	研習非洩漏式熱交換器 MGGH 原理、本案系統設計、操作與維護說明；BHI 工廠介紹與實地參訪，觀摩他案製程。
113.9.26	113.10.4	首爾	研習濕式靜電集塵器(WESP)原理、本案系統設計、操作與維護說明，風機、TR-Set、極板工廠介紹(Dong-A、NWL、KC Cottrell)與實地參訪，觀摩他案製程。
113.10.5	113.10.5	首爾→台北	返程：(首爾－台北)

本次海外訓練行程安排(扣除出返國日)係先於韓國釜山停留三日研習非洩漏式熱交換器及參訪製造廠後，北上至首爾研習濕式靜電集塵器並參訪首爾近郊之製造工廠，再於 KC Cottrell 首爾總部領取授業證書，完成「台中發電廠第 5-10 號機空污改善工程計畫」今(113)年度兩案(094、095)海外訓練計畫。

三、 實習內容

(一)非洩漏式熱交換器 MGGH

1. 原理、系統介紹

在燃煤機組的煙氣處理過程中，當煙氣經過濕式石灰石石膏法在吸收塔脫硫反應完成後，在吸收塔出口的煙氣溫度降至 45-55°C (海水法則在 28-40°C)。若未經過煙氣熱交換器(GGH)直接排放，將因煙氣溫度較低而煙升高度小，造成擴散不佳，也會因水蒸氣凝結產生白煙造成視覺負面觀感；此外，冷凝水可能造成煙囪下風下降水，影響局部區域氣候，故許多電廠於排煙脫硫系統後會加裝熱交換器。

熱交換器(GGH)在燃煤電廠的煙氣處理過程中，雖然沒有直接去除煙氣中污染物的功能，但是透過熱能交換，移除未處理煙氣的熱量，並將此熱量輸送至處理後煙氣，使煙氣溫度提升至 90 度以上後從煙囪排放，可提升煙氣在大氣中擴散效率，避免形成可見的白煙造成視覺負面觀感，以及避免造成煙氣在煙道與煙囪壁上凝結液滴，造成腐蝕。

非洩漏式熱交換器(MGGH，或稱水媒式熱交換器)由兩個獨立多管式熱交換器組成，分別為熱回收端(Heat Recovery，或稱冷卻端 Cooler)與再熱端(Reheater)。此外，尚有吹灰器、熱媒加熱器、熱媒槽、熱媒加熱器排水泵、熱媒加熱器排水槽及相關配件等。

MGGH 的熱交換流程如圖 1 所示。當熱煙氣自鍋爐產生，經過選擇性觸媒反應器及空氣預熱器，沿著煙道進入 MGGH 冷卻器後，煙氣之熱量透過冷卻器管排傳導至循環水(Recirculating Water)中，被加熱後的循環水流至再熱段後，透過管排加熱從濕式靜電集塵器出口之煙氣。透過熱媒管路系統內部再循環水在兩端間流動，移除冷卻端自鍋爐排出之未處理煙氣的熱量，並將此熱量輸送至

再熱端加熱從濕式靜電集塵氣 WESP 排出的煙氣，使煙氣溫度提升至 90 度以上後從煙囪排放至大氣，降低產生白煙的機率。

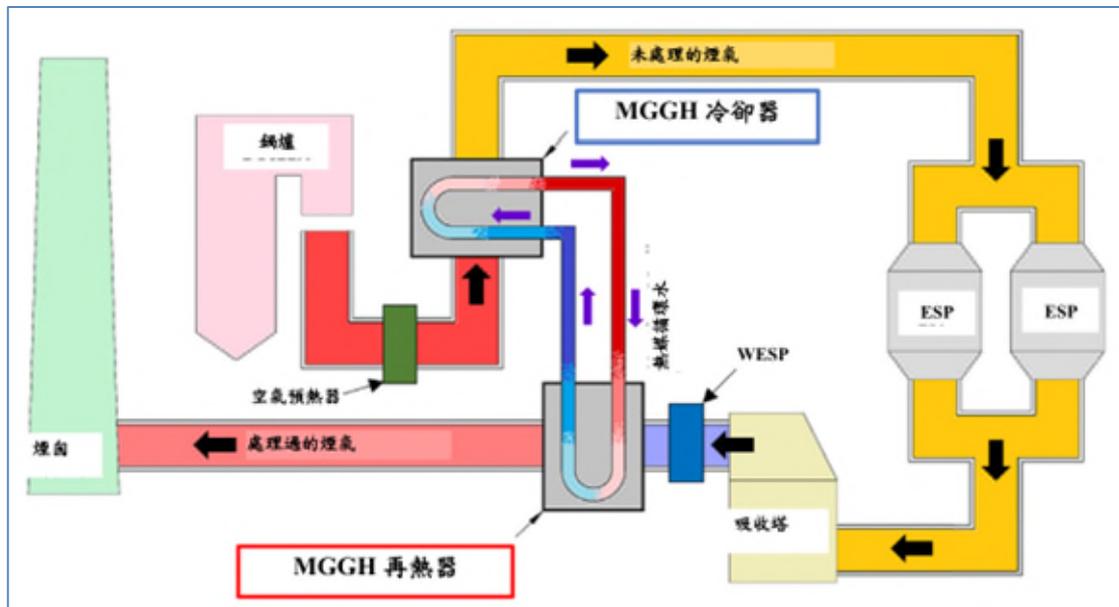


圖 1. 燃煤電廠煙氣處理流程

若熱媒水無法從冷卻端的煙氣中吸收足夠的熱量至再熱端，例如機組配合降載時，可透過熱媒加熱器加熱熱媒水後再送至再熱端，調整再熱器的操作溫度，以提升煙氣出口溫度，如圖 2 所示。至於熱媒加熱器的熱量來源，則是額外的輔助蒸氣。此外，在流入冷卻端的熱媒水管配置旁通管路以控制熱媒水的流率，並藉由控制流率調節通過冷卻端的煙氣溫度，亦降低後端靜電集塵器 ESP 或 FAN 等設備腐蝕機率。

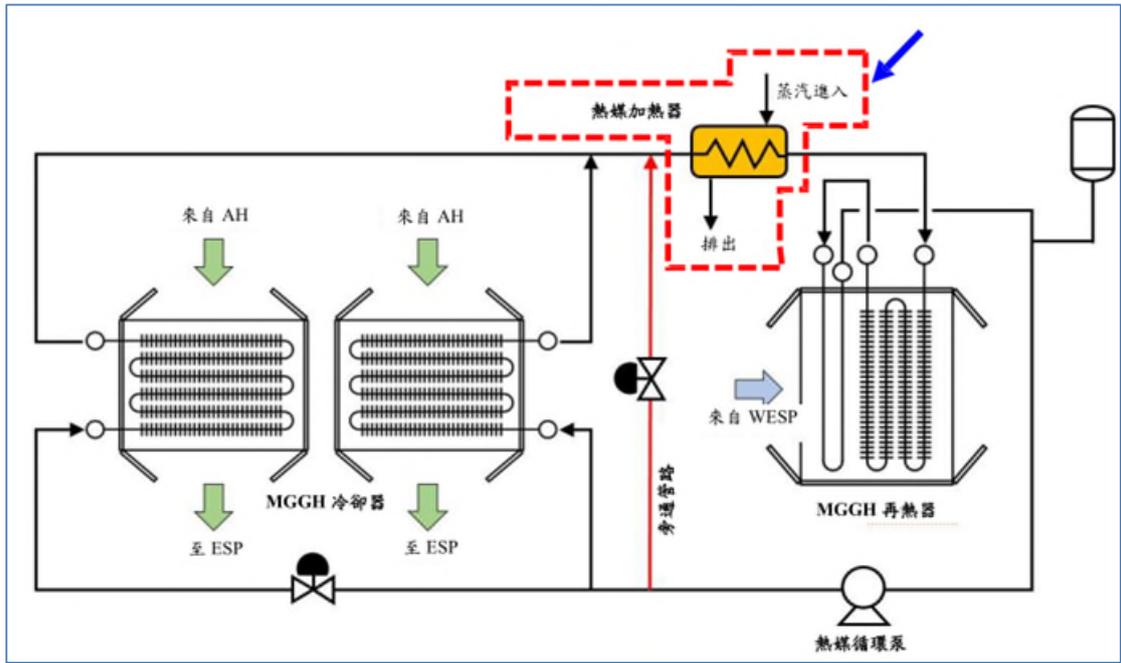


圖 2.熱媒水循環流程

2. 廠家(KC)對台中電廠第 5~10 號機之設計說明

台中電廠中五~十機現有熱交換器為洩漏式 GGH (Leakage Type)，裝在脫硫塔與煙囪之間，利用未經脫硫的煙氣(約 130~150°C)加熱脫硫後的煙氣，加熱至 90°C 以上後排放，如圖 3、4 所示。此迴轉式加熱系統易有粉塵黏附及堵塞，以及熱煙氣會冷凝部分硫酸在蓄熱板上並帶到煙氣中，因此需配有密封裝置與清洗裝置，如圖 5。

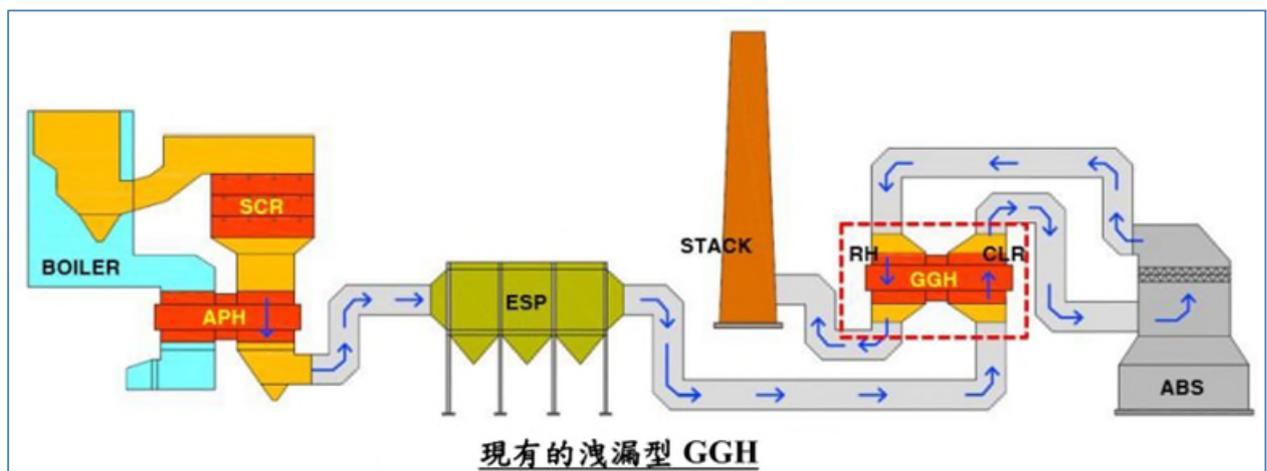
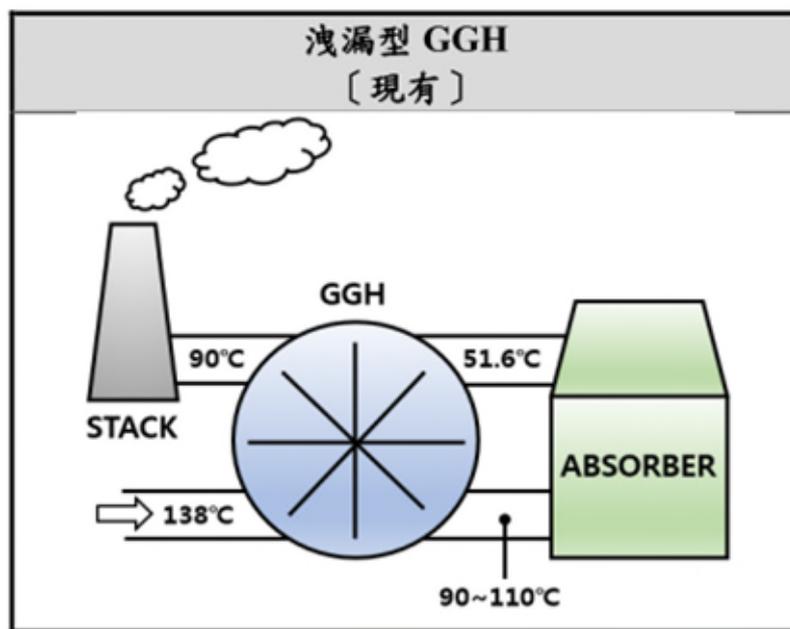


圖 3、4. 台中電廠現有洩漏式熱交換器配置

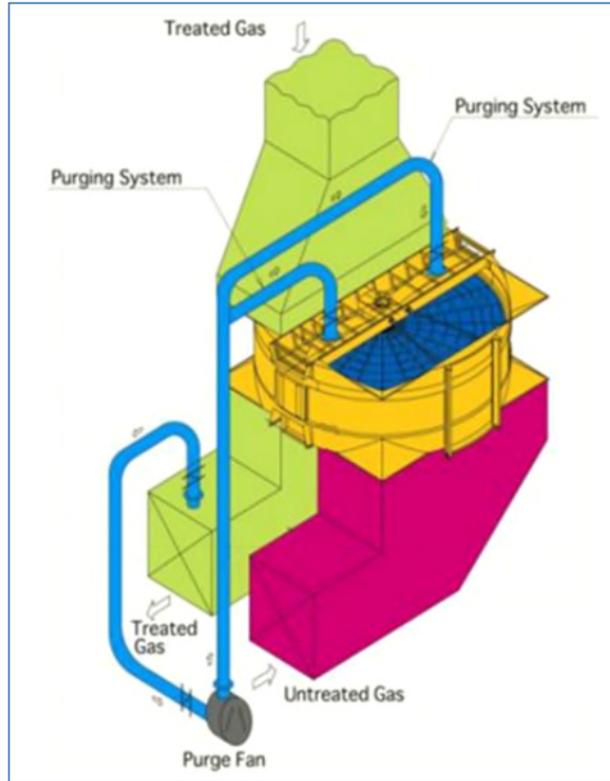


圖 5. 洩漏式熱交換器清洗管路配置

為了改善既有熱交換器煙氣洩漏之缺點，避免煙氣洩漏以及蓄熱板上冷凝硫酸跑回煙氣中的問題，除了更新台中電廠既有煙氣處理系統，本計畫一併將熱交換器改為非洩漏式 MGGH。此型式熱交換器採用密閉式結構設計。

本計畫之 MGGH 需在既有煙氣條件下進行設計，必須考量煙氣流率、出入口溫度與壓力等，設計條件如表 1 所示，廠商設計概要如圖 6。

表 1. 本計畫設計條件

設計條件	MGGH Cooler	MGGH Reheater
設計煙氣流率	2,736,527 kg/hr	2,766,794 kg/hr
煙氣入口溫度	138°C	51.6°C
煙氣入口壓力	-440 mmH ₂ O	135 mmH ₂ O
煙氣出口溫度	90~110°C	≥90°C (stack Inlet)

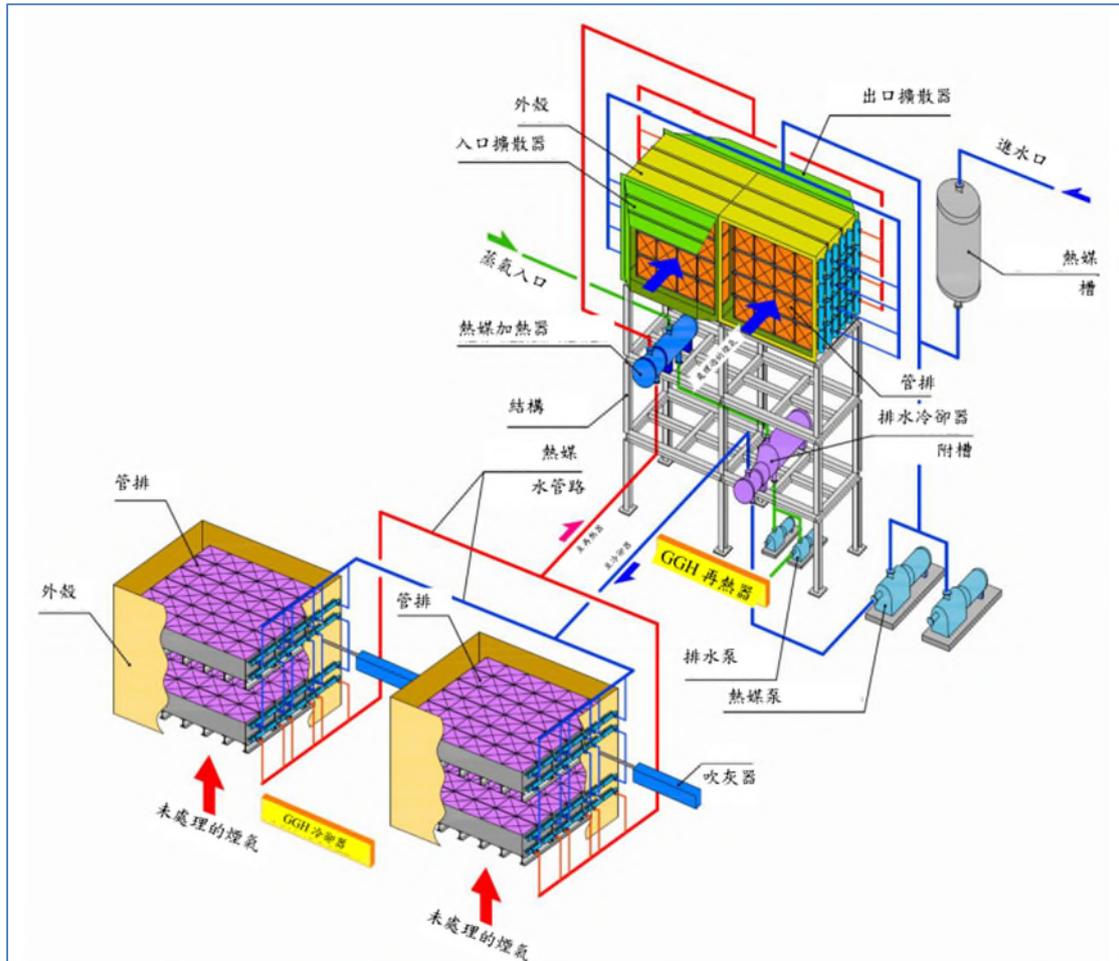


圖 6. 非洩漏式熱交換器設計

本計畫所採購的 MGGH，包含（以 1 部機組而言）兩台冷卻器、一台再熱器、兩台熱媒循環泵、一台熱媒加熱器、一個熱媒槽、兩台熱媒加熱器排水泵、一個配備冷卻器的熱媒加熱器排水槽，以及全套配件，分述如下：

(1) 冷卻器 Cooler

係透過熱媒水從未處理過的高溫煙氣中吸收熱量的熱交換器，因此 Cooler 須採用耐硫酸腐蝕及複合腐蝕的材料，如 A423 與 S-TEN 1。本計畫 MGGH 設計安裝兩台 Cooler 在空氣預熱器 APH 與靜電集塵器 ESP 之間，藉以吸收鍋爐燃燒產生煙氣的熱量並傳送至再熱器。其元件包含高溫管排、低溫管排、外殼、外部支撐鋼構、煙道、吹灰器、沖水管。詳圖 7 說明。

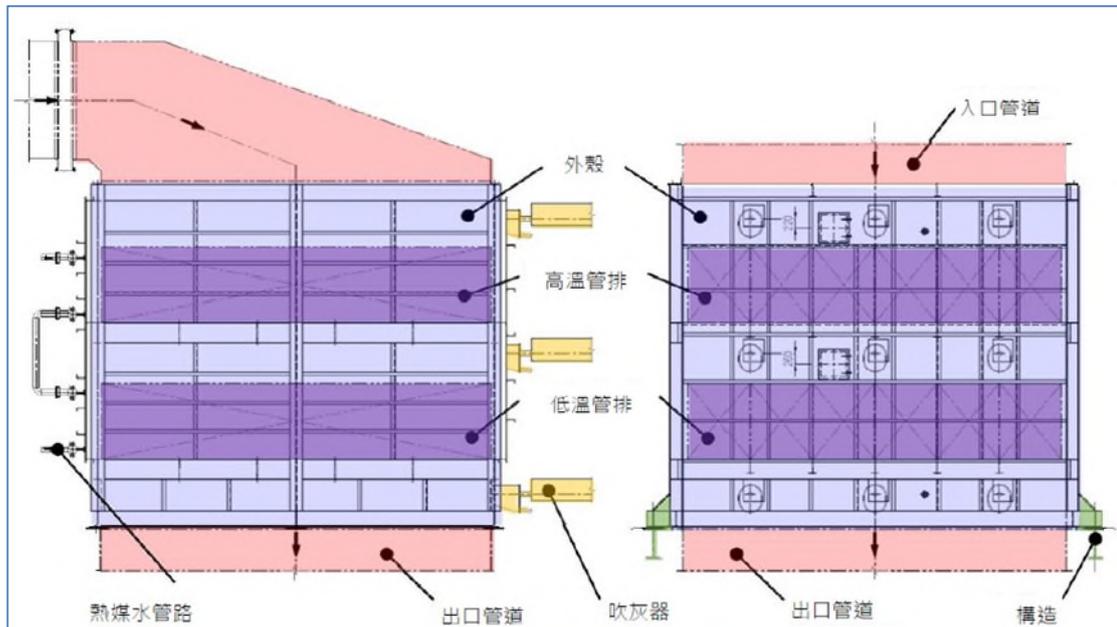


圖 7. 本計畫 Cooler 設計

註：當高溫的鍋爐煙氣進到高、低溫管排區，可將熱量傳導至管排內熱煤水進行熱交換，降低煙氣溫度；外殼則用以固定熱交換管排並形成費氣通過管排之通道；吹灰器用途在於熱傳導區因煤灰堵塞影響傳導效率時，利用蒸氣去除管上附著之煤灰；沖水管安裝於外殼頂部，用以清洗管排。

(2) 再熱器 Reheater

本計劃 MGGH Reheater 設計在 WESP 與煙囪之間，利用從冷卻器吸收到的熱量，供應至經過吸收塔及 WESP 的煙氣，提高煙氣溫度。此時進入 Reheater 的煙氣溫度較低，含水量較高，因此管件規格上須採用耐硫酸腐蝕及複合腐蝕的材料，如 S32205 或 316L。其元件包含低、中、高溫管排、外殼、支撐鋼構、煙道、沖水管等，詳圖 8 說明。

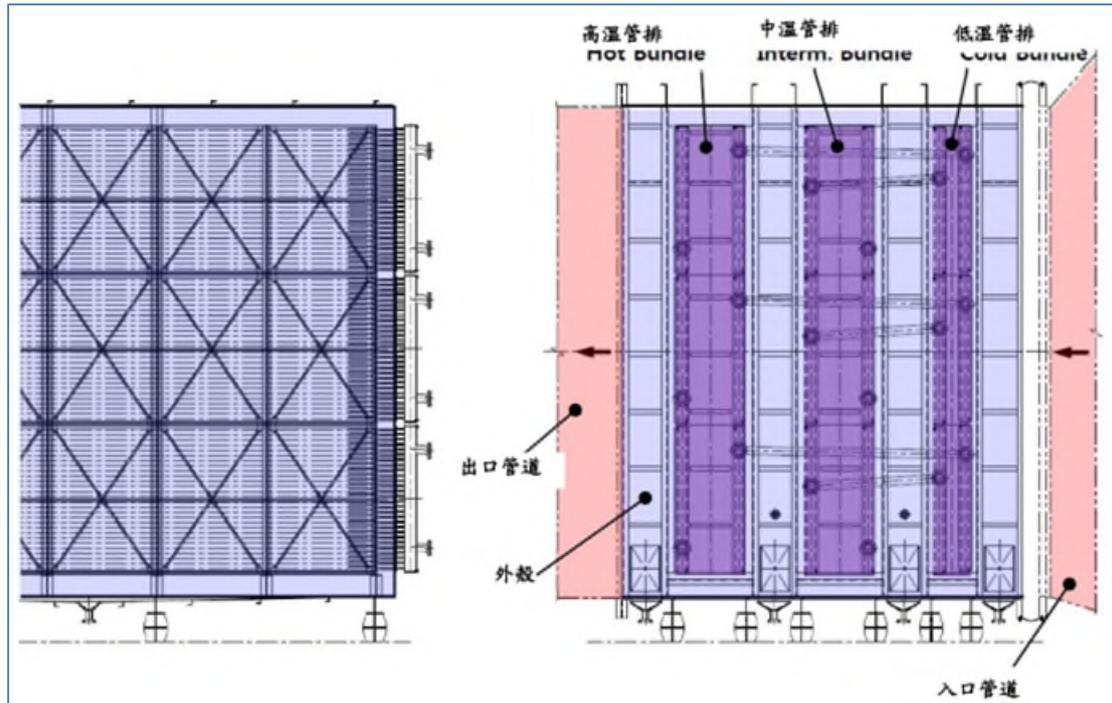


圖 8.本計畫 Reheater 設計

註：當處理過較低溫之煙氣進入 Reheater 後，藉由低溫、中溫、高溫管排與管內熱媒水進行熱交換，以提升煙氣溫度；外殼則用以固定熱交換管排並形成煙氣通過管排之通道；沖水管安裝於外殼頂部，用以清洗管排。

(3) 輔助設備：

➤ 熱媒循環泵

本計畫配置兩台(1 備 1 用)熱媒泵，使熱媒水在冷卻器與再熱器之間管路內持續循環。



圖 9. 安裝於完成改善機組之 MGGH 熱媒循環泵

➤ 熱媒管路

讓熱媒水在 Cooler 與 Reheater 之間流動循環的管路。

➤ 熱媒加熱器

當熱媒水自 Cooler 端無法得到足夠的熱量，則使用熱媒加熱器來供應熱媒水不夠的熱量，以維持熱媒水的溫度，避免熱媒水溫度偏低而造成管路腐蝕。



圖 10. 安裝於完成改善機組之 MGGH 熱媒加熱器

➤ 熱媒槽

當熱媒水溫度升高時吸收熱媒水受熱膨脹的壓力容器。亦可透過在熱媒槽內充填氮氣以增加壓力，檢查熱媒水循環系統是否有洩漏，並避免外部空氣進入熱媒槽，降低熱媒循環系統腐蝕機率。



圖 11. 安裝於完成改善機組之 MGGH 熱媒槽

- 附冷卻器之熱媒加熱器排水槽

收集並冷卻來自熱媒加熱器之冷凝蒸汽，安裝於 Cooler 之前。



圖 12. 安裝於完成改善機組之 MGGH 附冷卻器之熱媒加熱器排水槽

- 熱媒加熱器排水泵

配置於附冷卻器之熱媒加熱器排水槽旁，用途為處理冷卻的冷凝水。

➤ 化學品注入桶

用來注入化學藥劑以進行熱媒水質控制的容器。



圖 13. 安裝於完成改善機組之 MGGH 化學品注入桶

➤ 吹灰器

噴灑乾蒸汽移除附著在熱交換器管（鰓管）上之煤灰，本計畫單機設置 18 組。



圖 14. 安裝於完成改善機組之 MGGH 吹灰器

- 密封風機（用於 MGGH 冷卻器吹灰器）

供應密封空氣以防止 Cooler 內部的煙氣洩漏至外界的風機。



圖 15. 安裝於完成改善機組之 MGGH 密封風機

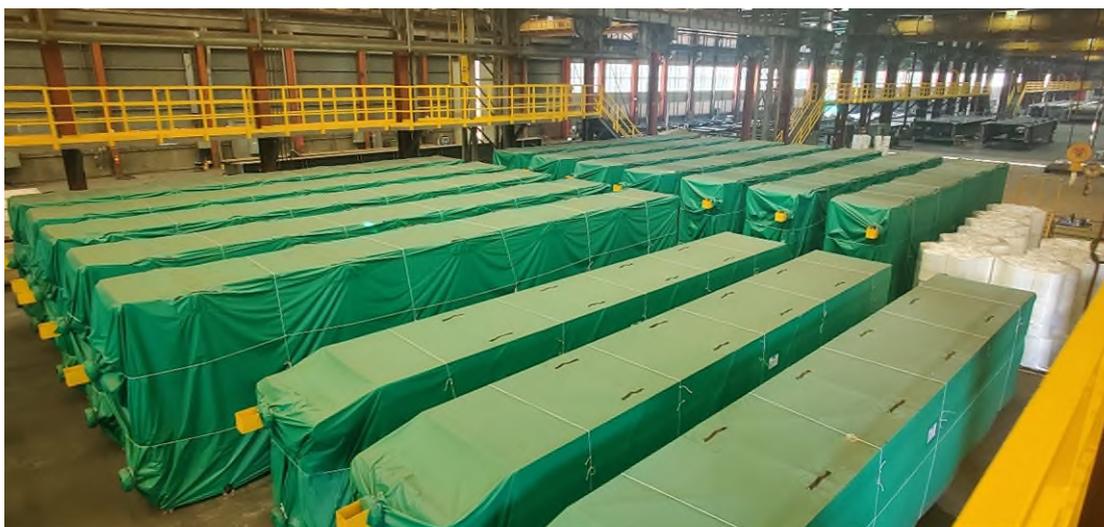
註：本計畫所需風機由 Dong-A 製造，亦為本次參訪工廠之一

3. 參訪製造廠(BHI)介紹及本計畫設備(Cooler & Reheater Bundles)

製造過程

本計畫之 MGGH 係由 BHI Co.,Ltd(位於韓國慶尚南道)製造。該公司於 1998 年成立迄今，主要製造供應電廠設備，包含複循環機組熱回收鍋爐 HRSG 與模組化之 HRSG、各類鍋爐(如 PC Boiler (Pulverized Coal Fired Boiler)、Industrial Boiler、CFBC (Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler)、Oil & Gas Boiler)、核電廠設施(Containment Liner Plate, Stainless Steel Liner Work, Containment Filtered Venting Sys., Steam Generation Sys., etc.)、以及再生能源發展等，其客戶包含台塑重工、Wood、Siemens、Toshiba、Mitsubishi Power、IHI、GE、Doosan、Hyundai、Lotte、Samsung 等。

本次參訪 BHI 公司時，本案之 Cooler 與 Reheater 皆已完成製造，僅剩中十機(最後一部機) MGGH Cooler 與 Reheater 封裝堆置於廠內等待船運，管內皆已氮封，避免管排氧化，如圖 16、17。BHI 與 KC 公司另以之前紀錄影像說明製造過程，MGGH 管排組裝大致分為集管箱管件組裝、管排框組裝、鰭管組裝，完成後再進行管排組裝、水壓試驗，最後填充氮氣並包裝待運送，如表



2。

圖 16. 中十機 Reheater (已氮封，待船運)



圖 17. 中十機 Cooler (已氮封，待船運)

表 2. 管排組裝程序

程序	工作內容
(1) 集管箱管件組裝	
A 採購物料	採購法蘭 (A105) 、半接頭 (A105) 、管件 (A106-B) 、板材 (A516-70)
B 切削管件並鑽孔	管件 (集管箱) 鑽孔，切削噴嘴
C 切削板材並加工	切削板材 (端蓋) ，加工板材
D 組裝集管箱管件	將端蓋銲接到集管箱上，將噴嘴銲接到法蘭上
(2) 組裝管排框	
A 採購物料	採購鋼捲，切削鋼捲
B 將物料彎折並鑽孔	彎折，鑽孔，工廠內製備
C 部件預組裝	預組裝
D 組裝框架	組裝框架
(3) 組裝鰭管	
A 採購物料	採購管材、鋼捲 (鰭片) 、鋼捲分條
B 鰭片工作	組裝管件與鰭片
(4) 管排組裝	
A 組裝鰭管 (管件) 與管排框	組裝鰭管與管排框
B 銲接末端支撐板	裝配鰭管，銲接末端支撐板
C 將 U 形管銲接到鰭管上	將 U 形管銲接到鰭管上
D 銲接密封板	銲接密封板
E 將集管箱組件銲接到鰭管上	將集管箱組件銲接到鰭管上
(5) 靜水壓試驗	靜水壓試驗，內部排水並乾燥
(6) 充填 N₂ 並包裝	管排包裝，充填 N ₂

集管箱管件組過程包含管件物料採購、管件或板材切削、管件鑽孔、焊接等，成品如圖 18；管排框組裝過程需先將鋼捲壓平並切削成所需尺寸、鑽孔、預組裝後再組成框架，如圖 19。



圖 18. 完成噴嘴焊接之集管箱



圖 19. MGGH 框架

鰭管組裝則將完成加工之散熱鰭片裝至散熱管材上，如圖 20.



圖 20. 組裝管件與鰭片

完成上述集管箱、管排框與鰭管管排，接續進行管排組裝，完成組裝後執行水壓試驗檢視有無洩漏，試驗完成後管內排水並吹氣乾燥，最後填充氮氣並包裝，如圖 21~25。



圖 21. 組裝鰭管與管排框



圖 22. U 型管焊接至鰭管上



圖 23. 將集管箱組件焊接至鰭管上



圖 24. 靜水壓試驗



圖 25. 包裝、填充氮氣

4. 操作、控制、維護、可能問題處理

MGGH 系統初次啟動時或長時間停止後以冷機啟動模式啟動時，須先執行暖機運轉模式程序，才能進入正常運轉模式。(冷機啟動狀態係指 MGGH 長時間停止，沒有加熱蒸汽供應且無熱媒循環；預熱狀態係指 MGGH 短時間停止之狀態且在鍋爐點火前必須保持在該狀態)。在此暖機狀態中，熱媒水應以熱媒加熱器加熱並經由 MGGH 熱媒循環系統循環。

將熱媒水從冷機停止狀態加熱至暖機狀態所需時間因外界溫度而異，預期約需 8-12 小時。故當 MGGH 自冷機停止狀態啟動時，需要進行暖機運轉，應考慮熱媒水的加熱時間。(應在鍋爐點火前將 MGGH 預熱。)

而為防止 MGGH 腐蝕及堵塞，在暖機運轉期間，熱媒水的溫度應保持在 70°C 或以上。此外，即使在鍋爐啟動後低溫廢氣流入 MGGH 時，也盡量不要讓熱媒水的溫度低於 70°C。

若長時間不會啟動 MGGH 系統(如停機期間)，應將熱媒循環系統內水全部排空，並將管路吹乾；若為短期不啟動，仍應啟動循環泵維持循環系統運轉。

MGGH 系統啟動前，應先執行熱媒循環水灌注程序。程序如下：

- (1) 經由熱媒槽上的熱媒水入口將熱媒水注入 MGGH 系統中
- (2) 在灌注過程中，Cooler 與 Reheater 上的通氣閥維持打開，直到溢流即可關閉通氣閥；同時注水至附冷卻器之熱媒加熱器排水槽到槽體高度至少三分之二高後關閉閥門。
- (3) 當熱媒水從熱媒槽通氣口溢流時即可關閉閥門。
- (4) 當熱媒水從 Cooler 管排出口及管箱通氣口溢流時，即可關閉熱媒水入口閥
- (5) 打開氦氣入口閥，以氦氣加壓熱媒槽，直到熱媒水槽水位達到初始水位後關閉氦氣入口閥。
- (6) 關閉 Cooler 管排出口集管箱通氣閥。

MGGH 的啟動操作程序說明如下

- (1) 暖機前操作，應在運轉前 16~20 小時開始預熱，確認每個手動閥正確打開及關閉，檢查熱媒槽是否處於正常液位，確認每個控制閥皆處於「Automatic (自動)」模式。
- (2) 暖機操作，啟動熱媒循環泵一台（另一台備用），確認 MGGH 冷卻器廢氣出口溫度控制閥就緒可操作(於 open 位置)，啟動熱媒加熱器排水泵（另一台備用），打開安裝在熱媒加熱器殼側蒸汽入口管路上的控制閥。操作 MGGH 再熱器廢氣出口溫度控制閥，當蒸汽流入熱媒加熱器殼側，將熱媒水加熱並進入暖機模式。
- (3) 操作控制，當機組的引風系統開始運轉時，運轉模式切換成自動。
- (4) 完整操作，調整 MGGH 冷卻器吹灰器密封空氣閥，使密封空氣處於恆定壓力（5.39 kPa）；調整 MGGH 冷卻器密封空氣加熱器蒸汽入口閥，以維持密封空氣的溫度（120°C）。

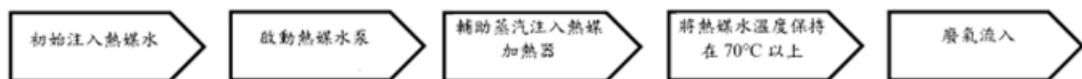


圖 26. 啟動操作程序摘要流程圖

註：啟動 MGGH 熱媒循環泵讓水流入循環系統，並利用熱媒加熱器提供輔助蒸氣將熱媒水加熱至 70 度，當鍋爐煙氣流入後，加熱器仍需維持啟動直到負載正常，維持 Reheater 出口廢氣在 90 度以上

停止操作程序

- (1) 停止前操作，應在 CID 風機停止之前進行開始停止前的操作，包含關閉冷卻器吹灰器密封空氣加熱器的蒸汽入口閥與吹灰器密封空氣閥。
- (2) 停止操作，當機組的引風系統關閉時，MGGH 自動進入暖機模式。
- (3) 暖機停止操作，若為短暫停機，建議持續暖機；若為長期停機，應充分進行暖機直到 MGGH 完全乾燥（24 小時以上）後停止暖機運轉，並關

閉輔助蒸汽入口閥、熱媒加熱器排水泵以及熱媒循環泵。



圖 27. 停止操作程序摘要流程圖

註：由於鍋爐停止時不會有鍋爐廢氣流入，冷卻器及再熱器的鰭管（鰭管）金屬表面溫度下降，易造成冷凝及腐蝕。若為短暫停機，建議啟動熱媒加熱器維持熱媒水、冷卻器及再熱器鰭管（管件）金屬表面之溫度。

MGGH 運轉時溫度控制

(1) 冷卻器溫度控制

冷卻器安裝於 ESP 前，以降低流入 ESP 的廢氣溫度，提高 ESP 的集塵效率。冷卻器的出口溫度應維持在 90°C 至 110°C，以免在後端發生腐蝕。

(Case 1) 若 MGGH 冷卻器出口側的廢氣溫度低於目標溫度 90°C，則發送訊號至控制閥以打開旁通閥，提高鍋爐廢氣出口溫度。在檢查位於冷卻器出口廢氣管中之溫度傳送器的溫度後，藉由熱媒水主管線與熱媒水旁通管線的 TCV 聯鎖，移動旁通閥軌道（track）。

(Case 2) 當低載運轉時，打開旁通閥軌道（track），將熱媒水旁通，並將煙氣出口溫度維持在 90°C 到 110°C 之間。在檢查位於冷卻器出口廢氣管中之溫度傳送器的溫度後，藉由將熱媒水主管線的 TCV 與熱媒水旁通管線的 TCV 聯鎖，移動旁通閥軌道（orbit）。調整流入 MGGH 冷卻器的熱媒水量，以滿足 MGGH 冷卻器出口處的鍋爐廢氣溫度，可透過安裝在冷卻器之前的旁通閥及主管線閥進行調整。

(2) MGGH 再熱器溫度控制

在吸收塔後端的 Reheater，用來提高吸收塔處理過的低溫煙氣至 90°C 以上，有助於預防腐蝕、白煙產生及加強煙氣擴散。

(Case 1)若再熱器出口側廢氣溫度低於目標溫度 90°C，則啟動熱媒加熱器，提高熱媒水的溫度，並將再熱器出口側廢氣溫度提高至 90°C或以上。安裝在再熱器廢氣管上的溫度傳送器發送溫度訊號，接著調節並使用安裝在熱媒加熱器輔助蒸汽入口管線上的閥門，利用蒸汽提高熱媒水溫度。

(Case 2) 當低載運轉時，啟動熱媒加熱器以提高熱媒水的溫度，讓通過再熱器出口且處理過的低溫煙氣至少為 90°C。安裝在再熱器廢氣排出管上的溫度傳送器會發送溫度訊號，連動調節熱媒加熱器輔助蒸汽入口管線上的 TCV 閥，利用蒸汽提高熱媒水溫度。

MGGH 維護

MGGH 與含有 SO₃ 及粉塵之煙氣進行熱交換，在熱交換區域（熱傳管件）及與煙氣接觸之元件容易發生粉塵堵塞及 SO₃ 腐蝕。雖然設計上已考量到此情形，但在停機時仍應進行內部檢查，查看熱傳管件是否有粉塵堵塞，或是否有腐蝕情況及磨耗。

可能問題

Q1：MGGH 冷卻器出口煙氣溫度「低」，可能原因為溫度計異常、熱媒旁通量控制異常、冷卻器入口氣體溫度「低」、熱媒水洩漏或熱媒水循環量異常。

A1：檢查溫度計，檢查熱媒流量調節閥、旁通流量調節閥及控制電路，確認 MGGH 冷卻器入口氣體溫度、確認熱媒槽液位，並修復熱媒洩漏之處，確認熱媒循環量等。

Q2：冷卻器管排差壓「高」可能原因為差壓計異常、冷卻器進氣過量、粉塵附著在熱傳管件上。

A2：檢查差壓計，確認連接管件是否堵塞；確認 MGGH 冷卻器進氣量；增加吹灰器的蒸汽，當無法藉由提高蒸汽壓力加以改善時，用水清洗熱傳表面。

(二)濕式靜電集塵器 WESP

1. 原理、系統介紹

台中電廠既有除塵設備為(乾式)靜電集塵器(Electrostatic Precipitator, ESP)，其主要工作原理是在放電極線(Discharge Electrodes)和收集板(Collecting Plate)之間通上高壓直流電，產生強電場使氣體電離、粉塵荷電，使帶有正、負離子的粉塵顆粒分別向放電極板和收集板移動而堆積在極板上，並透過敲擊震動裝置使積灰落進灰斗內。因 ESP 操作時需有高壓直流電源使粒狀物帶電，需要變壓器將電壓提升到千伏之範圍，再利用整流器將交流電轉變為單向直流電，利用此高壓直流電使放電極線與集塵板之間形成強大電場，並使極線釋放電暈電流，當煙氣流經極線與極板間通道時，其粒狀物將因電暈電流而帶電，帶電之粒狀物在電場作用下移向集塵板並附著其上，進而達到去除煙氣粒狀物之目的。最後透過敲擊振動方式將被吸附之粒狀物清除，使其落至集灰斗，完成集塵機制。如圖 28。

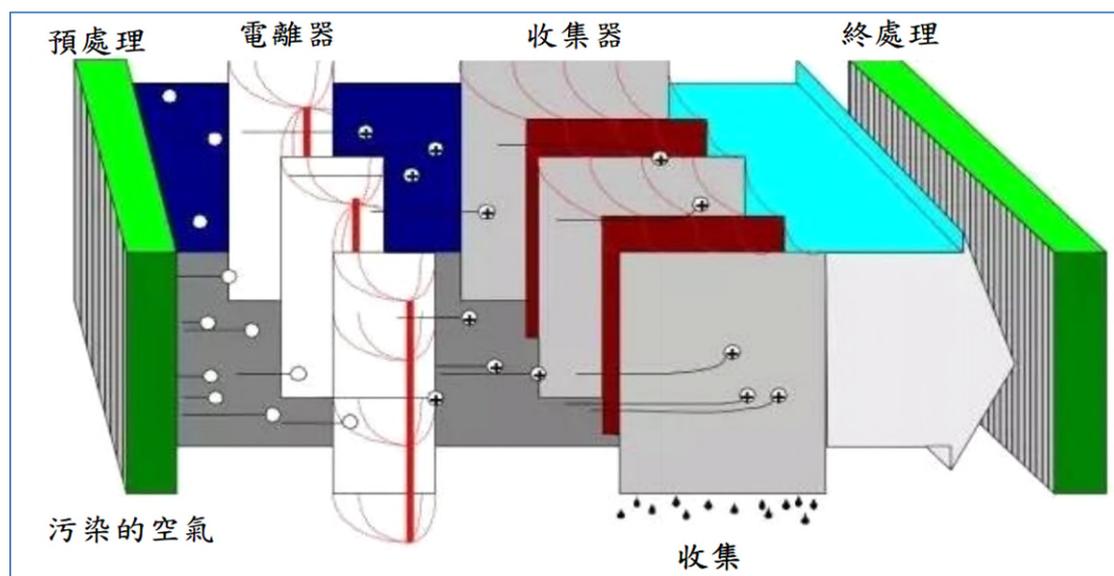


圖 28. 靜電集塵器集塵機制

ESP 為市場成熟之技術，其壓損也較小，惟此設備佔地面積大，除塵效率易受飛灰電阻影響，即使提升效能也只增加粗微粒之去除率，無法有效去除

PM2.5，故本計畫考量加裝濕式靜電集塵器，作為煙囪出口前最後一道把關設備。

濕式靜電集塵器（Wet Electrostatic Precipitator，WESP）原理與乾式 ESP 相同，透過給粒狀物帶電來收集和去除煙氣中的粒狀物。相較於乾式 ESP，WESP 可持續用水沖洗，故不會有微粒在集塵電極上堆積，也因此可設計較大的電流密度，將電場強度極大化，確保最大的顆粒都能帶電，以及更好的次微米顆粒與煙霧的去除效率。並利用自動電壓控制器來維持盡可能高的電場強度，以確保最大顆粒的帶電與收集，同時防止放電與集塵電極之間的氣體電氣擊穿與火花，而導致電場消失。這些控制器會偵測火花的發生，並將電壓維持在正好低於火花發生的等級。

上述極板沖洗後的水會由沖洗排水管收集到循環槽中重新循環後再置換到 FGD 吸收塔中。藉由連續沖洗極板來防止堆積，能有效收集通過上游乾式靜電集塵器和 FGD 的亞微米粒狀物、酸霧和汞。

濕式靜電集塵器的運作可歸納為三個階段，如圖 29：

- (1) 放電：高壓放電電極以負離子對煙氣中的顆粒進行充電。
- (2) 集塵：將帶負電的顆粒收集到接地的收集板表面上。
- (3) 清潔：透過水膜清除收集板表面的附著顆粒。

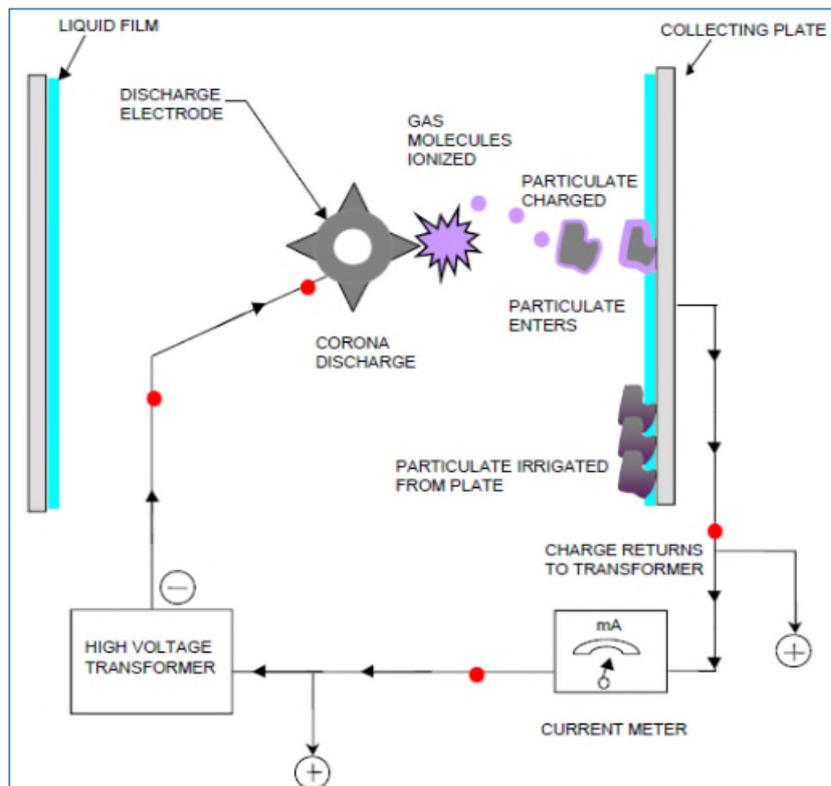


圖 29. 濕式靜電集塵器原理示意

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、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如 PM2.5 粉塵、SO₃ 酸霧、氣溶膠、重金屬及有機污染物等。

濕式靜電除塵器之元件包含：

(1) Overall 本體

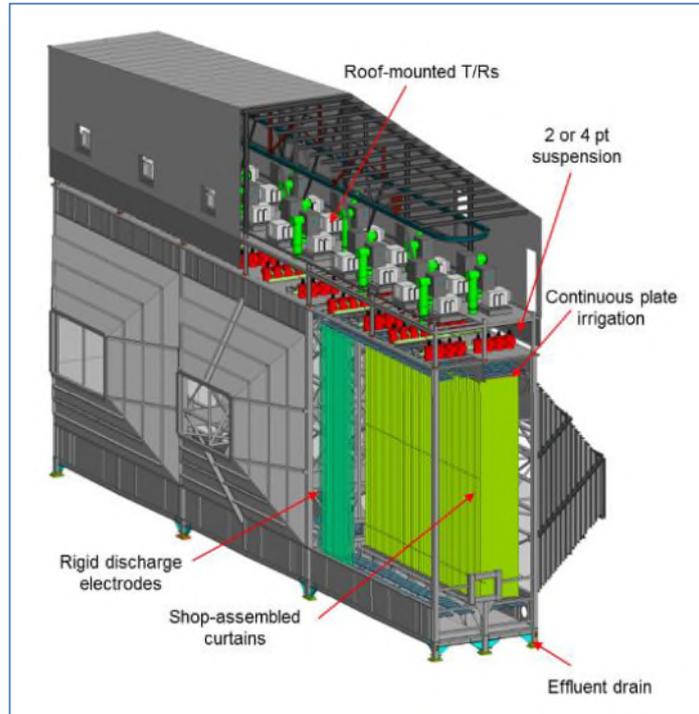


圖 30. WESP 整體外觀

(2) Hot Roof 絕緣礙子室：位在集塵器上方一個不受天氣影響的密閉結構，用於容納高壓絕緣礙子。



圖 31. Hot Roof 絕緣礙子室

- (3) Collecting Electrode 收集板：表面凹槽設計，能使循環水完全均勻覆蓋清洗極板。



圖 32. 收集板表面

- (4) Discharge Electrode 放電極板：尖端結構設計的電暈產生器，使電流固定釋放，避免過於高壓而產生火花造成危險。



圖 33. 放電極板

- (5) **Perforated Plate** 均流板：安裝於集塵器入口，使煙氣在進入時可以平均且一致的通過，依照風量的平均吹散度及風向等設計。



圖 34. 均流板

- (6) **Insulator** 絕緣礙子：用於支撐高壓系統並將其與電器地面隔離的裝置。



圖 35. 絕緣礙子

- (7) **Rectifier Transformer** 變壓整流器：將正常電壓升壓至千幅範圍內的電壓(從 480 伏特至 83000 伏特)，整流器在高壓下將交流電轉為直流電，可確保最大的顆粒都能帶電，以及更好的次微米顆粒與煙霧的去除效率。控制器會偵測火花的發生，並將電壓維持在正好低於火花發生的強度。



圖 36. 變壓整流器組

- (8) Purge Air Blower & Heater 鼓風機及加熱器系統：安裝鼓風機以及加熱器系統是為了使支撐絕緣礙子內部的乾燥以及清吹，同時密封絕緣礙子室以防止髒空氣流入。



圖 37. 鼓風機及加熱系統

- (9) **Key Interlock System** 鑰匙安全連鎖系統：此系統設計為除非所有通氣系統均已斷電並接地，否則無法開鎖進入除塵器或者 T/R 外殼。連鎖系統由一系列鑰匙和鎖組成，其位置可防止人員直接接觸任何通電的高壓元件。高壓配電系統與集塵器內部的蓋板及門將使用螺栓或鑰匙連鎖。旨在確保人員的安全，但亦有助於防止設備受損。



圖 38. 鑰匙安全連鎖系統

2. 廠家(KC)對台中電廠第 5~10 號機之設計說明

台中 5~10 空污改善計畫新增之濕式靜電集塵器與電廠既有的乾式靜電集塵器不同，主要在於粉塵移除方式和維持集塵效率的機制，說明如下：

- 乾式靜電集塵器 (Dry Electrostatic Precipitator)

這種設備通常使用高壓靜電場來吸引和沉降懸浮在空氣中的顆粒物。在這類集塵器中，粉塵會附著在集塵板或電極表面，需要定期敲擊來移除附著的粉塵。然而，這種敲打方式有時會引發兩個主要問題：

- (1) 揚塵效應：敲打集塵板時，粉塵可能會再次被拋起，造成空氣中粉塵濃度短期上升。
- (2) 反電暈現象 (Back Corona)：當敲擊時，可能會打破原本的靜電場，導致集塵效率下降。因為在集塵過程中，產生的高壓靜電場會將顆粒吸附到極板上，而反電暈會降低電場強度，使得粉塵的沉降效率降低。

- 濕式靜電集塵器 (Wet Electrostatic Precipitator)

與乾式靜電集塵器不同，濕式靜電集塵器不需要透過敲擊或震動來移除粉塵。取而代之的是，它利用連續灌水系統在極板上形成水膜，這樣的水膜可以有效地吸附和保持粉塵，並使集塵表面保持濕潤。主要優點有：

- (1) 避免揚塵：由於水膜的存在，粉塵不容易被震動而重新散播到空氣中。
- (2) 減少反電暈現象：水膜不僅可以幫助去除粉塵，還可以維持穩定的靜電場，避免反電暈現象的發生，從而維持較高的集塵效率。

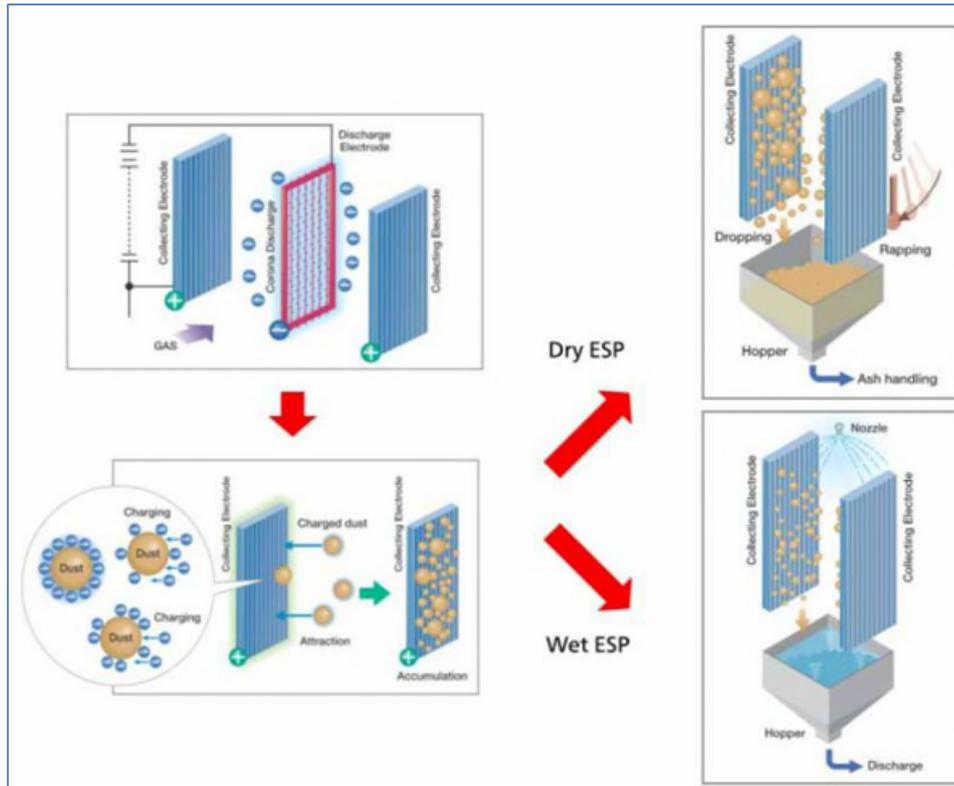


圖 39. 乾式與濕式靜電集塵器原理示意圖

濕式靜電集塵器的尺寸和電場強度是其去除效率的關鍵。集塵面積越大，去除效率越高。集塵面積比(specific collection area, SCA)為極板表面積與氣流的比率，是評估決定極板尺寸的指標。極板的型式可以為板形、圓形、方形或六角形，在選擇配置時，要考慮的因素有現場可用面積、煙氣量、入口負荷、去除率、清洗用水量等。針對台中電廠則是選用板式的極板集塵。

將極線組成一直排的放電極框架後，在極線(放電極)施以高壓，集板(集塵極)予以接地。透過放電極之周圍會產生電暈效應，使灰塵分子分離子化，正電之粒子跑相放電極，帶負電之粒子跑至集塵極，達到集塵的效果。電壓也是決定濕式靜電集塵器收集效率的另一個重要因素。由於連續注水不會讓顆粒在極板上堆積，因此濕式靜電集塵器可以設計更大的電流密度，提高電場強度，使粒狀物帶更多電荷，有效提高收集細顆粒(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)的效率。變壓整流器可保持高電場強度，確保顆粒物的最大充電和收集，同時防止

氣體擊穿和電極之間產生火花。

單一水平流向 WESP 在有 88 個氣體通道，每個氣體通道由兩個平行的 12.m 高 x 2m 長的集塵簾（板）組成，集塵簾（板）的間隔為 27.9cm，組成集塵系統。兩個集塵板之間設置放電電極，利用連接至高壓絕緣礙子系統的高壓支撐架，支撐放電電極。

由於硫酸（ H_2SO_4 ）的腐蝕性質且用水沖洗集塵簾及內部，WESP 暴露於煙氣的所有區域，結構材料皆採用雙相不鏽鋼合金材料 S32205。

煙氣離開吸收塔出口並進入臥式 WESP 入口轉接噴嘴。為確保在整個 WESP 中適當的氣流分佈，提供一套導流系統（GDS），該系統由位於入口噴嘴中的兩個孔板及出口噴嘴中的一系列垂直 U 形通道組成。煙氣在撞到 GDS 系統時速度會降低，並在到達外殼時膨脹以充滿 WESP 的橫截面。煙氣通過 WESP 外殼後，進入 WESP 出口轉接噴嘴，然後通過出口管道進入煙函。

WESP 外殼的功能是形成一個氣密的機殼，用來支撐集塵器的內部及外部元件。外殼的氣密屋頂由框在屋頂大樑上的內部橫樑支撐。由集塵器外殼立柱支撐集塵板及放電電極系統大樑的兩端。

WESP 底架由平行及垂直的大樑組成。集塵器支撐立柱需承受來自平行及垂直之集塵器外殼立柱與大樑的荷重。作為底架的一部分，大樑位於集塵器的入口端及出口端。底框系統將集塵器的荷重轉移至位於下方的支撐結構，支撐點承重板允許集塵器在支撐結構上方每個方向上的熱膨脹，同時能將滑動力降至最低。

集塵板沖洗及 WESP 外殼沖洗為使用同一組清洗灌溉系統，利用 DCS 中的閥門計時設定，自動依序執行每個外殼清洗區域週期。清潔後的廢水用一集塵器底部由斜盤（漏斗）用來收集。這些清洗過後的水會重新使用，漏斗懸掛在集塵器底架上。兩個 WESP 單元中的每一個都有一個排水管，將沖洗水引導至 FGD 吸收塔除霧器洗滌槽再利用。

3. 參訪製造廠 KC Cottrell & NWL 介紹及本計畫設備(WESP 極板、TR Set)製程

參訪製造廠 KC Cottrell

KC Cottrell 自 1973 年成立以來，成功開展過許多項目，成為韓國最值得信賴的環保改善代表企業。此外，KC Cottrell 正逐步朝向發展成為世界市場環境與再生能源設備領域裡的全球企業。本次參訪的工廠位於京畿道安城市，該廠主要為製造及生產極線和極板。

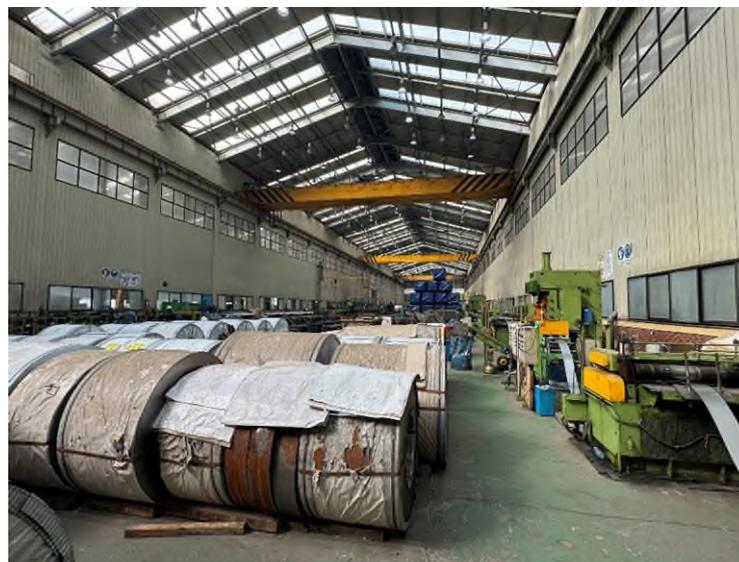


圖 40. 製造極板之不鏽鋼捲原料



圖 41. 極板滾壓成型作業

參訪製造廠 NWL

NWL 公司從事電源轉換業務超過 75 年，該公司為 John Nothelfer 於 1930 年代創立，初始經營變壓器維修–Nothelfer Winding Laboratories，因此得名 NWL。至 1968 年，Nothelfer 先生退休，並將公司出售給當時副總裁 Jim Seitz，由其領導 13 名員工，目前交由其子管理。現今，NWL 公司為石油和天然氣應用到高階醫療和軍事需求提供電源、變壓器和電感器，以及客製化解決方案。

本計畫之 WESP 元件–TR 變壓整流器，為濕式靜電集塵器的核心，由 NWL 公司負責生產，該工廠為靜電除塵器供電的高壓線性 T/R 裝置的領先供應商，擁有 50 多年的經驗。本次參訪也在此學習了解變壓整流器 TR-Set 原理與製程。



圖 42. NWL 各型式 T/R set 與靜電集塵器模型展示

WESP 高壓系統（高壓變壓器整流器）為放電電極提供所需的直流電源，產生氣態離子來充電並收集煙霧中的顆粒。WESP 高壓系統分為多個母線部分，每個部分由變壓器整流器（TR）和 TR 面板組成。TR 通過通訊電纜與系統 DCIS 進行連接，圖 43 及圖 44 為現場師傅仔細檢查變壓器線圈及機台繞圈狀況，確保每一圈線材的排列整齊、緊密且無損傷，避免因接觸不良或短路而影響性能。

圖 43. 專業師傅檢查繞圈狀況



圖 44. 變壓器線圈繞圈作業



完成後的變壓器會放入圖 45.真空注油設備中確保變壓器內部絕緣油的充分滲透，變壓器的絕緣油對變壓器的正常運行至關重要。若變壓器內部存在空氣或水分，這可能會導致油的劣化，甚至發生氧化反應，降低絕緣油的性能，影響變壓器的運行安全和壽命。故 NWL 也對我們特別介紹的此設備的重要性。



圖 45. 真空注油設備

TR-Set(變壓整流器組)原理

變壓整流器組(Transformer Rectifier Unit)簡稱 TRU 或 T/R Set。其功能係將單相 480V AC 之電源，透過矽控整流器及電感器控制後之脈動電源，再經過升壓變壓器提高電壓(83000V AC)，並經單相全波整流變成脈動直流，加壓至放電極及集塵極。T/R Set 的容量大小，決定於 WESP 之集塵區的面積大小(平方英尺)與收集的灰塵量，進而提供一特定的電流密度。T/R Set 一次側波形因素與二次側部分傳導(Secondary Fractional Conduction)是一般用於評估濕式靜電集塵器波形形狀的二個測量值。一次側波形因素是代表一個如何接近 T/R Set 一次側電流波形的測量值，近似一個理想的正弦波，一次側波形因素是由測量 T/R Set 一次側電流的均方根值與平均值所決定，亦即一次側電流的均方根值除以平均值。

其表示式如下：

一次側波形因素=一次側電流的均方根值/一次側電流的平均值

對一理想的正弦波其關係式如下：

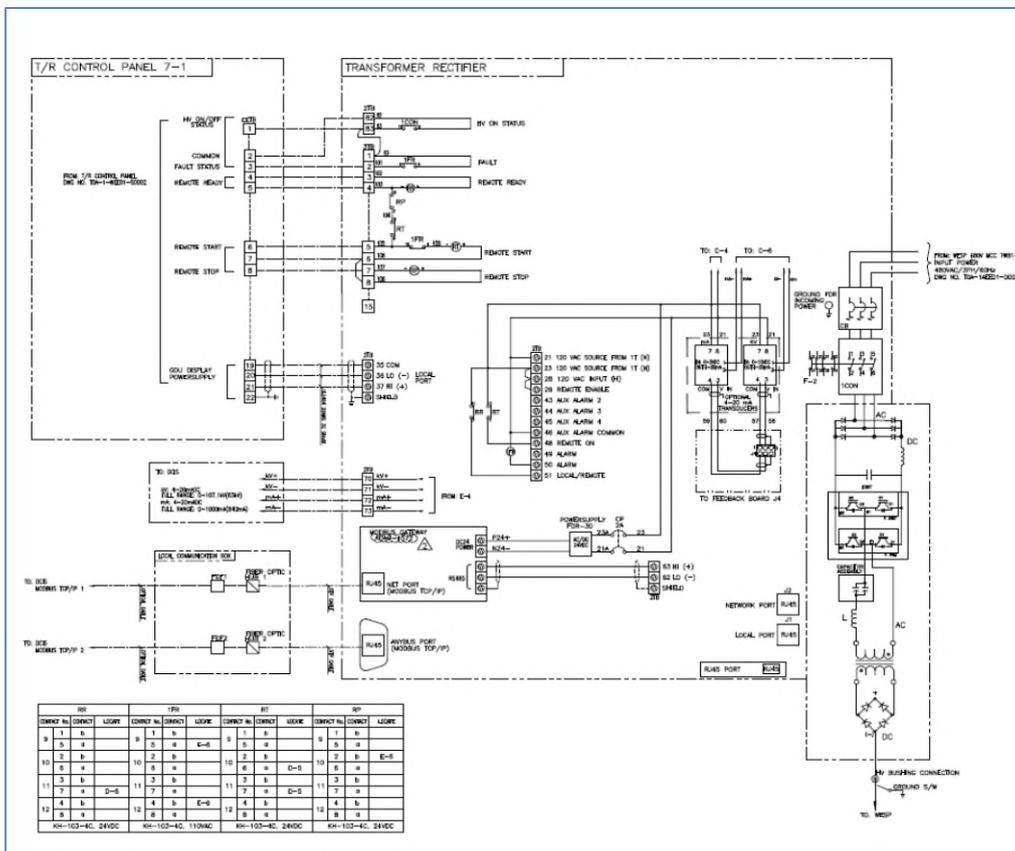
均方根值(RMS)：0.707 正弦波的峰值

平均值：0.637 正弦波的峰值

波形因素：0.707/0.637 = 1.11

因此，一個理想的正弦波的波形因素是 1.11，當濕式靜電集塵器的電力供給運轉再最大的 T/R Set 標示牌額定時，通常設計運轉在 1.2 波形因素下。

在濕式靜電集塵器的電力供給使用矽控整流器來作電力控制時，當電力準位被減少時，其一次側波形因素則增加，而 T/R Set 的一次側電流波形則被扭曲，此乃由於矽控整流器的動作，使其一次側電流波形不像一正弦波。本案台中電廠 5-8 號機 T/R Set 接線圖如圖 46、47，圖中含 T/R Set 控制之簡單線路。



4. 參訪製造廠 Dong-A 介紹及本計畫設備(Blower)製造過程

位於京畿道始華工業區內的 Dong-A 公司為本計畫個設備所需風機之供應商。該公司自 1988 年成立至今，主要生產工業用鼓風機，提供韓國企業於海內外工程所需。



圖 48. Dong-A 公司參訪



圖 49. 鼓風機製造

鼓風機(Blower)在 WESP 之功能為協助高壓系統的正常運作，將經過加壓且加熱的潔淨空氣直接吹送至夾層內每個高壓支撐礙子隔間中。吹氣使絕緣礙子隔間的壓力略微增加，迫使空氣經由絕緣礙子的縫隙進入 WESP 處理區。當吹掃空氣進入處理區時，附近的任何次微米顆粒及酸霧都會從絕緣礙子上被吹出，可防止堆積並降低形成汲取電力之電弧放電的可能性。加熱後的潔淨空氣來自位於夾層外耐候外罩高度上的吹掃鼓風機／加熱器系統。

WESP Blower 系統旨在吸入外部環境空氣，將空氣加熱，再將空氣吹入高壓支撐礙子隔間中，以防止絕緣礙子表面受到污染，因而導致過度的火花或電弧。

利用一台或三台加熱器之組合加熱吹掃空氣，將吹掃溫度保持在 54°C 以上、88°C 以下。提供備援的吹掃空氣鏈 (air train)，每個都能供應全部 64 個絕緣礙子隔間 100%的吹掃空氣需求。一條吹掃空氣鏈需要一直保持運轉，而另一條則為備用。每個滑架式吹掃空氣鏈皆包含進氣過濾器、手動入口流量控制風門、離心鼓風機、三個電阻加熱器及自動出口隔離風門。為方便監測鼓風機入口的吸入壓力及系統排放壓力，裝有電子式儀表可量測進氣過濾器差壓、檢視是否有氣流通過、空氣溫度過高、出口空氣溫度及出口風門位置等。

5. 測試、運作、控制、維護、可能問題處理

WESP 初步檢查及測試

不論是啟動氣體點火或是正常燃煤點火，在濕式靜電集塵器（WESP）系統初次啟動時以及停機後重新啟動之前需檢查多個項目，包含基本電氣檢查、WESP 內部檢查及 WESP 空載測試（air load test）。

● 基本電氣檢查

- (1) 檢查從適當電源到 WESP 控制系統及運轉人員工作站之線路的電壓。該設備的線路電壓應為 120 V、單相、60 Hz。
- (2) 檢查從適當電源到每個變壓器／整流器組（T/R）低壓箱體之線路的電壓。T/R 的線路電壓應為 480 V，三相。低壓箱體內含有 T/R 控制器、控制電力變壓器及其他控制元件。
- (3) 檢查低壓箱體是否有連接鬆動或異物。
- (4) 檢查每個 T/R 槽體是否有任何冷卻劑洩漏或實際受損的跡象。檢查冷卻劑液位計。若發現液位過低，按照製造商的說明補充。切勿過度灌裝槽體。
- (5) 檢查吹掃空氣鼓風機／加熱器系統的馬達旋轉是否正常，以及加熱器及鼓風機的電流消耗。
- (6) 檢查吹掃空氣系統的風門是否正常運作。
- (7) 確認吹掃空氣鼓風機／加熱器系統能產生 WESP 正常運轉所需之空氣量及規定的溫度。

● 內部檢查

- (1) 進入集塵器內部檢查每個高壓部分是否有異物以及集塵板或剛性電極上是否有顆粒堆積。
- (2) 檢查所有底部漏斗盤是否有異物或任何類型的堆積物。

- (3) 檢查集塵板底部溝槽的排水管及底部漏斗的排水管是否有任何異物堵塞或受阻。
- (4) 檢查集塵板集管箱沖洗系統，確認沖洗孔未堵塞，水從集管箱沿著集塵板正常流下且蓋住整個表面。
- (5) 檢查外殼清洗集管箱噴嘴，確認未堵塞且噴水角度為 60 度。
- (6) 檢查入口及出口噴嘴導流裝置是否有任何類型的堆積物。
- (7) 檢查導流擋板是否有任何類型的堆積物。
- (8) 檢查位於夾層的放電系統（DS）支撐礙子是否有裂痕或堆積物。執行絕緣礙子的例行清潔。
- (9) 移除集塵器上所有的臨時照明、工具、膠帶、毛巾或其他異物，並以相反順序。
- (10) 鎖上所有檢修門。
- (11) 在進行集塵器的空載測試或連續運轉之前，讓吹掃鼓風機／加熱器系統運轉至少 120 分鐘。當 WESP 系統運轉時，吹掃鼓風機／加熱器系統必須一直保持在打開（ON）狀態。

- 集塵器空載測試

- (1) 在全部啟動之前，應進行「空載」測試以檢查：沒有電氣接地的情況、電氣間隙足夠、集塵器 T/R 及控制功能正常。此測試將能在啟動前顯示出集塵器中存在的任何電氣問題。
- (2) 「空載」測試為在製程煙氣關閉（OFF）且集塵器內為正常環境空氣正常的情況下，將集塵器內部通電。可在有氣流或沒有氣流（引風機）的情況下進行測試。
- (3) 應注意長時間空載運轉可能會導致 WESP 內產生臭氧，並造成 T/R 功率等級不佳，建議在引風機以低等級運轉的情況下進行測試。

- (4) 若為初次啟動，應參閱 T/R 操作手冊中所述之控制設定。
- (5) 若為其他例行性重新啟動，應在自動控制模式下進行空載測試，且幾乎不需要調整控制。
- (6) 功率讀數應等於或接近 T/R 銘牌所示之數值，若否，則應使用系統風機吹掃外殼並重新測試。
- (7) 電氣讀數會因空氣濕度、氣溫等因素而有所不同。兩次空載測試的讀數可能有所差異，但在同一次「空載」測試期間的讀數應彼此一致。#空載測試期間出現過多的火花或電弧表示 WESP 系統內有太過緊密的間距。必須在煙氣進入 WESP 之前找出此等緊密的間距，並加以改正。
- (8) 只能在取得初始 T/R 讀數之後，才能檢查沖洗水系統，以確保將水導入 WESP 後所出現的任何火花都是供水問題所引起，而非高壓系統的問題。

設備於首次啟動或執行各項檢修工作完成後，須執行以下準備程序：

- (1) 確認各礙子是否乾燥及清潔。(因礙子及礙子軸絕緣不佳時，TR-Set 加壓後，漏電流會流經絕緣設備，易造成絕緣設備發燙而損壞。)
- (2) 確認放電極有無破損及灰塵附著。
- (3) 確認集塵板有無膨脹及彎曲、定位橫樑有無異常、灰塵有無附著、集塵板固定件及固定螺栓之銲接有無剝離、集塵板導桿有無彎曲或銲接剝離、鍊條有無因粉塵或類似原因卡住。
- (4) 確認灰斗上有無粉塵黏附、堆積。
- (5) 確認隔室內無工具、抹布、電線或其他異物。
- (6) 確認人孔是否密封確實。詳細檢查程序及應對措施如表 3，完成檢查程序後方能啟動靜電集塵器。

表 3. 啟動前檢查程序及應對措施

檢查程序	應對措施
(1)各礙子是否乾燥與清潔？	用布確實將礙子擦乾
(2)放電極	
A.電極無破損？	檢查
B.無灰塵附著	去除並清潔
(3)集塵板	
A.無膨脹或彎曲	檢查
B.定位橫樑無異常	檢查
C.無灰塵附著	檢查
D.檢查集塵板固定件及固定螺栓之銲接有無剝離	檢查
E.檢查集塵板導桿有無彎曲或銲接剝離	檢查
F.檢查鍊條有無因粉塵或類似原因卡住	去除並清潔
(4)確認灰斗上有無粉塵黏附、堆積	清洗
(5)確認隔室內無工具、抹布、電線或其他異物	移除
(6)確認人孔是否密封確實	檢查密封條之夾扣狀態，防止氣體洩漏

WESP 運作

集塵器系統操作

在上述集塵器及輔助設備檢查完成，並針對正常運轉做過調整後，才能啟動 WESP 系統。當煙氣有潛在的爆炸危害時，不得將濕式靜電集塵器系統通電。

● 集塵器啟動

- (1) 「開啟 (ON)」正在運轉的吹掃鼓風機／加熱器系統。此應在集塵器系統啟動前至少兩 (2) 小時即處於「開啟 (ON)」狀態。備用系統應置於待機模式，開啟集塵板沖洗系統並在 WESP 系統啟動前至少運轉 30 分鐘，以讓水沿集塵板向下流。
- (2) 在 30 分鐘的集塵板沖洗完成後，執行完整的外殼清洗週期，將整個內部打濕。此步驟有助於讓沖洗水均勻分佈在整個集塵板上。

- (3) 打開主引風機，此時可將 WESP 高壓系統通電。電廠運轉人員應將此功能納入整體系統運轉中。若有可能爆炸的氣體存在，則不得將集塵器通電。
- (4) 以低功率將第一個場域通電，將一次側電流調整至足以使排放保持在煙囪輸出限值範圍內的設定。此可防止集塵器內部有過多的結垢。隨著氣體體積的增加，可將其他的場域通電。
- (5) 一旦鍋爐穩定運轉，即可將集塵器完全通電，並設為全功率及自動模式。

- 關閉集塵器

應按照以下方式關閉 WESP：

- (1) 在鍋爐離線的情況下，關閉引風機。
- (2) 將 WESP 斷電並鎖定電源供應。
- (3) 讓吹掃鼓風機／加熱器系統及沖洗水供應運轉至少一（1）小時。
- (4) 關閉沖洗水供應。
- (5) 關閉吹掃鼓風機／加熱器系統。

WESP 控制

- 安全鑰匙聯鎖系統

集塵器安全鑰匙聯鎖系統旨在防止在設備通電及運轉時進入集塵器的任何危險區域。因此，切勿藉由違反預先決定的順序試圖破壞此安全功能。鑰匙聯鎖系統的依序操作安全鑰匙聯鎖系統由鑰匙轉移系統（key transfer system）中使用的一組特定編號／字母的鑰匙及鎖塊組成，提供一種防止電氣設備意外通電的機械方法。WESP 鑰匙聯鎖系統亦在鑰匙轉移設計納入經由 WESP 外部檢修門安全進入的機制，除非所有 TR 完全隔離且鑰匙已插入並鎖定在鑰匙轉移板上，否則無法打開任何外部檢修門。此為在 WESP 內部進行維護時保護人員所

必需的。WESP 檢修門的鑰匙應由負責內部檢查小組安全離開的守門人保管。因此，切勿藉由違反預先決定的順序試圖破壞此安全功能。

- 集塵器控制櫃

將所有 T/R 控制器斷電，方法為：

- (1) 按下控制器鍵盤上的電源「關閉 (off)」按鈕。
- (2) 按下面板門上的「控制電源關閉 (control power off)」按鈕。
- (3) 將 T/R 控制器輸入主電源開關轉到「關閉 (off)」位置。

在每個 T/R 控制器輸入主電源開關處，將聯鎖鑰匙轉到解除位置並將鑰匙從鎖中取出。斷路器開關現在鎖定在「關閉 (off)」位置，控制器無法通電。現在可利用 T/R 控制器輸入主電源開關將 T/R 輸出接地開關從「已連接 (connected)」位置解鎖。

- 變壓器—整流器組 (T/R)

- (1) 將 T/R 控制器輸入主電源開關鑰匙插入相應 T/R 接地開關上正確的鑰匙聯鎖塊中並轉動。鑰匙及鎖上有編號與字母。
- (2) 將所有 T/R 接地開關轉到「已接地 (grounded)」位置。集塵器控制櫃鑰匙現在已繫留，無法取出。
- (3) 取出 T/R 接地位置鑰匙並將其移到鑰匙轉移盤 (WESP 檢修門鑰匙交換盤) 上。將所有 T/R 接地鑰匙插到鑰匙轉移盤上並轉動。轉動所有這些鑰匙後，即可轉動並取下 WESP 門禁鑰匙。
- (4) 取下檢修門鑰匙。從鑰匙轉移盤上取下一把 WESP 檢修門鑰匙後，所有 T/R 接地開關鑰匙都會鎖定在鑰匙轉移盤中，以防止任何 T/R 通電。
- (5) 將所需要的檢修門鑰匙帶到要進入的檢修門。

WESP 維護

定期維護及檢查計畫對濕式靜電集塵器的正常運轉及長使用壽命而言至關重要。保留所有執行之檢查及維護工作的記錄。依據元件的建議及運轉狀態，制定適當的檢查間隔時間。

對於在正常運轉期間可觸及之元件（泵、過濾器、控制面板等），務必要將維護視為一項持續的任務來執行，若為日常無法進行維護工作的設備，則必須在計畫性及非計畫性停機期間進行維護。檢查的目的是要發現需要維護工作之區域或元件，修復現有的故障或受損之處，或找出在不久的將來可能需要進行此等工作的區域或元件。電廠維護人員應按照以下說明進行 WESP 的檢查：

- (1) 每天或啟動後（外部檢查）。
- (2) 每季或每次停機後（內部檢查）。
- (3) 只有授權的人員才能進入集塵器。
- (4) 每當檢查或維護需要打開集塵器檢修門時，請遵守「鑰匙聯鎖系統」程序

可能問題

Q1：靜電集塵器運轉時，TR-Set under voltage 警報常出現？

A1：當煙氣中粉塵不均勻或塊狀粉塵多的時候，極線與集塵板間會造成電弧現象，為避免電流持續上升，故降低變壓器輸出，因而出示 under voltage 警報，此為正常狀態，用以保護相關電氣設備。

Q2：靜電集塵器之電極板經如何確保其強度不受煙氣溫度影響？

A2：極板本身材質為 UNS S32205 雙相鋼，具有耐硫化物腐蝕的特性，所以材質本身應無問題，在極板兩片接合處，除原本極板之間的電阻焊以外，會在邊緣接合處另補強焊接，避免受熱膨脹影響而變形。

四、實習心得與建議

本次赴韓國研習，除了進一步了解基本原理，亦透過參訪工廠更進一步認識設備製造過程，得以與之前現場施工狀況及運轉測試遇到之問題比對，藉此共同討論尋找解決方式，也順便了解製造廠各項實績與其他訂單製程（如參訪 BHI 工廠所見之熱回收鍋爐製造過程），此為預期參訪之外的收穫。

本計劃更新之非洩漏式熱交換器由凱希公司(KC Cottrell)委請 BHI 公司製造，故針對此項目之研習為前往 BHI 公司進行，於此期間習得非洩漏式熱交換器之設備組成、系統規格、安裝運維等知識，並於 BHI 公司之生產工廠實際瞭解非洩漏式熱交換器製造過程，該公司從熱交換器之流場模擬分析與實際完成設備進行實驗比對，來確認設計參數之正確性。同時，亦對設計參數(管材、管徑、管厚、管間距、佈置型式等)進行最佳化配置，使熱交換器之熱傳性能達到最佳效率。

BHI 公司除了生產熱交換器外，也生產工廠或電廠所使用的鍋爐，若要完善這些設備，除了要有設計規劃能力外，於製造設備之銲接品質的掌控亦是關鍵。該公司於銲接品質管制主要有四大措施：(1)銲工管理：銲工作業時，監工會於現場督導並查核資格。(2)銲材管理：檢驗人員確實管制銲材儲存、發放使用、回收。(3)施銲管理：現場施銲時，圖面、銲材領用文件、銲接程序書 WPS 與程序資格檢定 PQR 應置於現場銲道附近，供監工比對，以防誤用銲材。(4)銲接檢驗管理：完銲後之銲道，詳實紀錄非破壞檢測方式，銲道缺陷，銲道合格率及鏟修率等。此四大作法，施工處於建廠時亦落實管理，確保機組穩定供電。

於 BHI 研習期間，適逢台中 10 號機非洩漏式熱交換器完成交貨期間，於最後出廠船運至台灣前，進行各模組管排氮氣充填，確保管壁不會氧化鏽蝕，爆管堵塞。冷卻器及再熱器之各模組均設有壓力錶，以利確保壓力維持在 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，期間若壓力降低，亦會從壓力錶之旁通管路灌注氮氣。

整體而言，BHI 公司製作非洩漏式熱交換器經驗豐富、實績遍佈全球，其設計規劃、製造安裝、調校運轉能力都值得去學習，相關的現場管理措施亦可作為公司借鏡。

本次也偕同凱希工程師前往凱希生產工廠瞭解各主要元件之實際製造過程。例如集塵電極板從鋼胚素料，先進行整型拉直，再依一定間距進行打洞，以增加煙氣流動效率。而其他相關系統如整流器(T/R set)與匯流排則是向 NWL Pacific 公司採購後在廠內組裝、運轉測試、調校性能，最後才封裝出廠交貨。值得一提，在凱希廠內就擁有大型集塵器整機測試設備，可直接測試設備集塵效率，並透過調校系統，以符合客戶需求。由此可見，凱希公司除了掌握濕式靜電集塵器核心技術，亦對其他公司之相關系統特性有一定程度的瞭解，才能進行設備整合調校。

凱希公司主要業務為燃煤電廠煙氣空氣污染防治設備統包工程，在台灣的實績，除了台電各燃煤電廠外，還有台玻、永豐餘、華夏玻璃等，是非常具有規模的環保設備供應商。但隨環保意識提升，全球燃煤電廠已逐漸除役或汰換，相關空氣污染防制設備之業務需求逐年降低。凱希公司亦意識到危機，並及早因應轉型，已將原核心技術轉移至碳捕捉封存技術(CCS)。未來台中電廠煤場也將規劃執行碳捕捉封存，相信未來是可以互相請益交流。

這次行程讓我們深入了解不同設備領域的專業技術和嚴謹的品質管理，給我們很多學習及經驗。印象最深刻的參訪為變壓器製造商 NWL 工廠，其變壓器的品質非常優良，工廠內現代化生產線和先進檢測設備，都確保了產品高效可靠性。此外工廠內部乾淨明亮，工作安全動線簡單明瞭，所有大大小小的工具皆管理的井然有序，令人印象深刻。

藉由參訪 KC Cottrell 及其相關設備商，讓我們對環保設備技術有更深入的了解，過程中獲得的經驗和啟發對未來提升台電公司技術水平和管理質量具有

重要意義。看到韓國企業在環保設備和製造工藝上的卓越成就外，還有對品質管理和安全防護的重視，這些都值得我們學習和借鑒。未來，我們將運用這些寶貴經驗，促進公司創新和突破。

關於本次參訪所見，與本改善計畫目前遭遇問題，爰提供建議事項如下：
建議 WESP 停止加壓時，邏輯方面建議可修改 WESP PAB 持續運轉，避免因設備內殘存的熱氣冷凝成水倒灌至 PAB 進口處，進而對設備造成損壞，另外也建議 WESP 停機大修前不要邏輯停用 WESP 循環泵，至少使其持續水洗 4 小時以清理極板，避免電極板上有過多的灰渣。