

出國報告（出國類別：洽公）

## 冷凍槽工程及監造執行與減碳技術研討

服務機關：台灣中油股份有限公司興建工程處

姓名職稱：陳保嘉工程師、林進龍工程師

派赴國家/地區：日本/神戶、東京

出國期間：113年8月29日至113年9月4日

報告日期：113年10月7日

# 摘要

本報告重點介紹了 IHI Plant Services Corporation (IPC)及其在液化天然氣 (LNG) 儲槽工程中的貢獻。IPC 是日本 IHI 集團的全資子公司，成立於 1969 年，專注於 LNG 接收站及儲槽建設，具有業界領導地位。LNG 儲槽分為地上型和地下型，槽頂設計有懸吊板式和雙拱頂式，現正於大林石化油品儲運中心第三區興建的冷凍槽採地上型全覆式雙層拱頂式冷凍槽(Aboveground PC double dome Steel Full Containment Tank)。報告還涵蓋了二氧化碳捕捉技術及氨燃燒技術的最新進展，強調這些技術在減少溫室氣體排放中的潛力。此外，IPC 的冷能發電單元利用 LNG 冷能發電，一個功率為 4,000kW 的液化天然氣冷能發電單元，每年可減少最多 10,000 噸 CO<sub>2</sub> 排放，未來的洲際液化天然氣接收站也可以考慮引進此設施單元。整體而言，減碳已成為全球各國政府和企業的重要政策，公司應致力於推動環保及社會責任，積極響應全球碳中和為目標。

# 目次

一、	目的 .....	4
二、	過程及工作內容.....	5
三、	具體成效及參訪重點 .....	6
四、	心得及建議 .....	15

## 一、 目的

為配合行政院「高雄海空經貿城整體發展綱要計畫」調整舊港區使用機能，本公司須配合遷移前鎮儲運所，因此，本公司與交通部高雄港務局（現更名為台灣港務公司高雄港務分公司）協商於高雄港洲際貨櫃二期填海造地新生地建置大林石化油品儲運中心，於第一區及第三區興建包含 103 座各式儲槽，銜接大林廠、林園廠 36 條區域外長途管線及相關附屬建物與設備。

其中位於大林石化油品儲運中心第三區的 2 座 3 萬公秉乙烯/丙烯冷凍槽為本次參訪之 IHI Plant Services Corporation(IPC)與中鼎公司共同承攬之統包工程案，本次除前往 IHI 集團東京總部討論冷凍槽工程執行情形，更實地走訪相生工場(AIOI WORK)及橫濱工場(YOKOHAMA WORK)，冷凍槽之 9%鎳鋼板即於相生工場加工製造。

減碳為現今國內外政府及公司的重要政策，台灣在 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，其中 CCUS（Carbon Capture, Utilization, and Storage）技術應用是重要一環，日本也同樣訂定 2050 碳中和的減碳目標，中期目標於 2030 年將溫室氣體排放量減少 46%（相較於 2013 年），減排幅度更勝台灣，因此 IHI 集團積極推動碳排放解決方案，如：氨氣燃燒技術、CCUS 等，此次參訪吸取技術新知，以利未來推動減碳工程。

## 二、 過程及工作內容

預定起迄日期	天數	到 達 地 點	詳細工作內容
113/08/29	1	高雄~神戶	● 啟程
113/08/30	1	神戶	● 前往相生工場(AIOI WORK) 實地參訪與討論壓力件製造及脫碳技術。
113/08/31- 113/09/03	4	東京	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 橫濱工場(YOKOHAMA WORK)參訪 Tsunagu Lab.及 CO<sub>2</sub>捕捉設施。</li> <li>● 前往 IPC 總部討論冷凍槽工程執行。</li> </ul>
113/09/04	1	東京~高雄	● 返程

### 三、 具體成效及參訪重點

#### 1. IHI Plant Services Corporation(IPC)公司簡介

IPC 公司是日本 IHI 集團 100%出資的子公司，IHI 集團始於 1853 年創立石川島造船所，將造船事業的技術累積應用於工業機械、設備製造及工程建設等領域，可謂日本重工業的歷史縮影，IHI 集團橫跨四大業務領域：「資源、能源、環境業務領域」、「社會基礎設施和海上設施業務領域」、「工業系統及通用機械業務領域」、「航空航天業務領域」，1969 年成立 IPC 公司隸屬於「資源、能源、環境業務領域」，主要業務為興建 LNG 接收站、儲槽 (LNG、LPG、氬氣)及石化廠等，工程成就有「建造日本首個 LNG 接收站」，「完成世界最大容量(250,000m<sup>3</sup>) LNG 地下式儲槽工程」，「LNG 儲槽市佔第一」，在此領域具有領導地位。



圖 1. 250,000m<sup>3</sup>地下式儲槽(膜結構)

#### 2. 冷凍槽工程

LNG 儲槽主要分為地上型和地下型兩類，目前，國內的地上型儲槽有台中廠和正在建設的觀塘工業區，永安廠則為地下型儲槽，大林石化油品儲運中心第三區興建的乙烯冷凍槽(T-3101)與丙烯冷凍槽(T-3103)為地上型全覆式雙層拱頂式儲槽(Aboveground PC double dome Steel Full Containment Tank)。

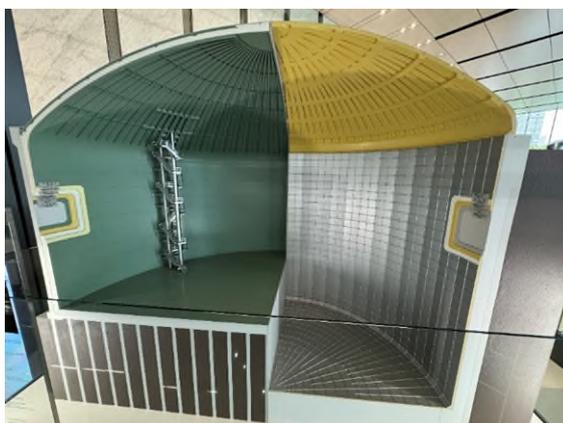


圖 2. 地上式儲槽與地下式儲槽模型差異

全覆式預力混凝土儲槽由內外兩層構成，乙炔內槽由 9%鎳鋼板製作，丙炔內槽由低溫碳鋼板製作，主要功能是密封儲存槽內的液體，外槽則是內壁襯有鋼板的預力混凝土槽牆，與底板結合形成防溢堤，內襯鋼板用於密封內外槽的氬氣並防止濕氣滲入隔熱層，內外槽之間填充絕熱材料，底板下由基樁支撐。內槽側壁與槽頂相接處使用較厚的鋼板，稱為膝板（Knuckle Plate）。在附屬設施方面，日本設計的地上型儲槽旁設有小型氬氣呼吸槽，能夠保持夾層空間充滿氬氣並保持微正壓，確保外部空氣無法進入外槽，降低內槽洩漏時內容物與氧氣接觸而引發爆炸的風險。同時，無氧環境有助於減少內外槽的銹蝕，延長儲槽的壽命和安全性。此外，還有無呼吸槽的地上型儲槽，其氬氣可由 PSA(Pressure Swing Adsorption)氬氣製造機或由空氣分離廠的液氮直接提供。

雙層拱頂式，類似半球或半橢圓形的拱頂在與側壁的连接處設置膝板（Knuckle Plate），以防止直線和曲線銲接處的應力集中。在夾層內需安裝偵測器，以監測內容物是否溢出至夾層。採用雙拱頂設計能降低因週期性地震而引起的浮溢（Sloshing）衝擊，同時能實現整體銲接的密封和耐壓效果，從而減少儲槽洩漏的風險。

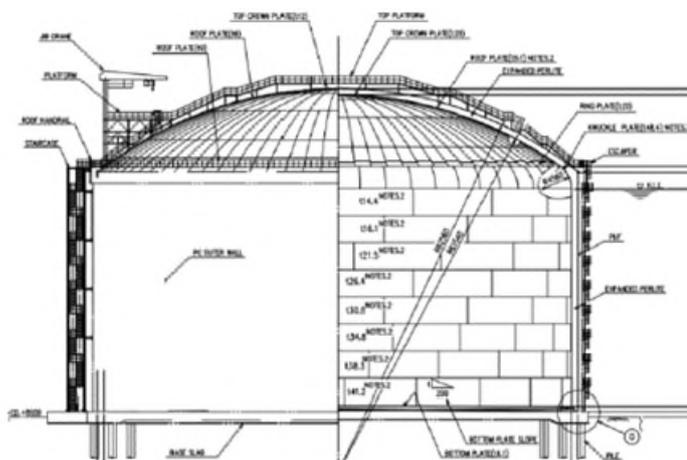


圖 3. 雙拱頂式儲槽

### 2.1 冷凍槽基礎

冷凍槽基礎採用剛性筏式基礎版加上樁基礎，設計樁長為 27M，穿越液化土層至優良承載層，好處是可以大幅減少基礎整體沉陷量及有效防止差異沉陷的產生，確保發生地震時萬一內槽洩漏時，外槽的結構完整可以充當承接乙炔/丙炔的容器。冷凍槽基礎同時設有地錨帶(Anchor Strap)將內槽固

定在基礎上，當地震時增加內槽的穩定度。

冷凍槽的外槽底部配置電熱系統，為預埋在基礎裡的碳鋼管內配置發熱導線所組成。電熱系統可避免冷凍槽內的低溫乙烯或丙烯透過熱傳效應，將冷能傳遞至儲槽基礎底下的土壤，造成土壤裡的水結冰隆起(Frost Heave)而造成基礎結構破壞。

## 2.2 冷凍槽混凝土外牆

預力混凝土儲槽結構量體龐大，但儲槽本身結構形狀相對單純，故採用系統模板進行施工，能大幅減少施工工期，提升工作安全性外，高度重複性的作業能有效提升作業的熟練度，進而提升施工品質。

系統模板組裝及吊裝同時，於現場加工區將牆面使用的鋼筋組立成鋼筋牆單元，並安裝水平及垂直預力套管，待系統模板組裝完成後，將鋼筋牆單元以吊車吊掛至安裝位置並固定預埋件，預力混凝土外牆作為內襯與外界銜接的部分，在外牆內部會有許多不同的施工介面，必須妥善協調避免造成銜接困難，後續需花費更多時間改善。

## 2.3 儲槽升頂吹浮工法

升頂工程是儲槽裝建的成敗關鍵所在，本工程採用之吹浮工法是利用儲槽內部的氣壓差將槽頂升起，當儲槽的外槽施工完成及槽頂板在儲槽底部組立完成後，介於槽頂及預力混凝土牆間以密封材固定，然後，施工人員會使用鼓風機向槽內注入壓縮空氣，使得內部氣壓逐漸升高，使重達約 600 噸儲槽的雙層屋頂沿著預力混凝土牆內側因為氣壓而浮起，緩慢上升到設計的高度(頂部高程約 23 公尺)，升頂過程需精確控制氣壓，避免上升過程中出現槽頂不穩或傾斜的情況，自槽底浮升至槽頂的永久位置，再將該槽頂固定鉗接於槽頂預力混凝土牆預埋鋼板上。

冷凍槽升頂吹浮過程是一種不可逆性程序，也就是正式啟動吹浮施工，必須於當日內完成，絕不容許升頂至一半再往下降重來，將造成密封材金屬網折損破裂氣壓外洩，導致冷凍槽屋頂不平衡傾斜而卡在預力混凝土牆上動彈不得，在吹浮前的規劃、準備與檢查必須相當嚴謹。

正式浮升後，每升高一公尺需檢查所有裝置之狀況，當所有情況皆正常時，才允許繼續上升，上升時槽頂之斜度需保持在槽頂直徑之 1/500 的範圍內，當槽頂到達距所需高度尚 500 mm 之位置時，上升之速度需緩降至約原來速度約 1/3 左右(以鼓風機做調控)，當槽頂到達所需高度之位置時，鼓風

機尚需保留持壓供氣量繼續運轉，施工人員會使用鋼纜或固定裝置將槽頂穩固在槽體牆壁上，並開始進行槽頂與外槽牆體的銲接作業。

#### 2.4 冷凍槽金屬內槽

內槽的鋼板銲接是施工中的重要工序之一，不僅要求高精度的銲接技術，還需要進行嚴格的品質控制，尤其乙烯為 9% 鎳鋼材質，由於內槽承載低溫液態氣體，銲接接縫的密封性至關重要，銲接主要採用自動化銲接，自動銲接機器能確保銲接的穩定性及精確性，減少人為誤差，同時，銲接過程需配合嚴格的無損檢測，如超聲波檢測或 X 光檢查，以確保接縫的完整性與無裂縫，避免任何潛在的洩漏風險。

內槽安裝完成後，為了防止冷凍液態氣體的外泄和保持低溫，內槽和外槽之間會填充保冷材料，充填質輕且保冷絕熱效能高的膨脹珍珠岩

(Perlite Powder)，內槽外側壁保冷層規畫安裝彈性玻璃棉毯 (Resilient Glass Fiber Blanket)，外槽內側壁保冷層規畫在外槽內面襯板 (Shell Liner Plate) 安裝完成後，於內側壁噴塗一層保冷材 (Thermal Resistance Relief)，其餘空間則需充填膨脹珍珠岩，為了防止膨脹珍珠岩進入彈性毯內層，彈性毯與膨脹珍珠岩之間以玻璃纖維布隔離。



圖 4. 內外壁板與保冷材料

#### 2.5 內槽試壓

由於液態乙烯密度約 0.568，液態丙烯密度約 0.514，均小於水的密度，因此內槽試壓方案不可全部以試水方式完成，否則試壓水量所產生的荷

重將大於冷凍槽基礎等各部位載重值，故應採用試水與試氣(氣壓試驗)兩者併用方式測試。注水試驗檢查罐底密封性、罐壁強度密封性、槽頂固定件的強度及密封性、基礎之沉陷觀測。

水壓試驗各項檢測完成後，冷凍槽上半部包括屋頂、膝板及水壓試驗之水位以上的內槽側板進行氣壓試驗。首先加壓氣體直至設計壓力的 1.25 倍，維持此壓力約 1 小時，此時以目測方式確認無異常變形，檢查水位下的銲縫，然後壓力降至設計壓力為止，在維持設計壓力條件下，以溶液確認屋頂、膝板和水位上的內槽側板無連續氣泡產生則表示無洩漏，後續進行排水與吹乾即完成儲槽試壓作業。

### 3. 二氧化碳捕捉技術

隨著全球氣候變遷問題日趨嚴重，減少二氧化碳(CO<sub>2</sub>)排放已成為各國政府和企業的當務之急，其中將 CO<sub>2</sub> 作為碳源，透過與氫氣(H<sub>2</sub>)反應將其轉化為有價值的碳氫化合物的碳回收，近年來引起了廣泛關注。IHI 開發 CO<sub>2</sub> 回收技術以及透過反應將 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 轉化為有價值原料的技術。

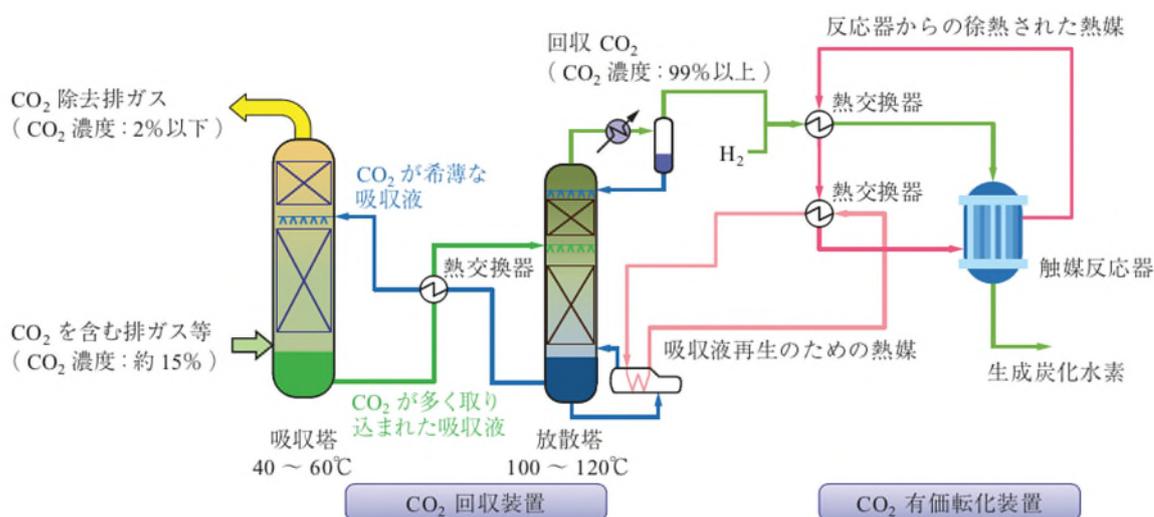


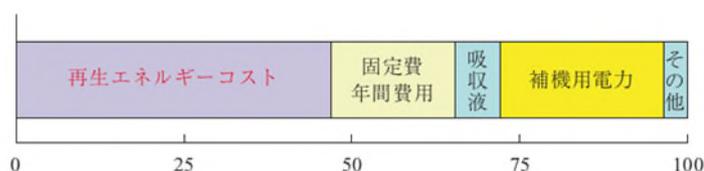
圖 5. CO<sub>2</sub> 回收裝置與有價值轉化裝置流程圖

以下分別就 CO<sub>2</sub> 回收技術及有價值轉化技術說明，CO<sub>2</sub> 回收技術採用化學吸收法，採用胺類的鹼性水溶液作為吸收液，工廠的燃燒廢氣(CO<sub>2</sub> 濃度約 15%) 進入吸收塔中與吸收液接觸，CO<sub>2</sub> 吸收到吸收液中，再將富含 CO<sub>2</sub> 的吸收液送到汽提塔加熱，使 CO<sub>2</sub> 從吸收液中脫附，最終得到 99% 以上的高濃度 CO<sub>2</sub>。

有價值轉化技術 IHI 著重於甲烷化技術開發，CO<sub>2</sub> 在催化劑的作用下與

H<sub>2</sub>反應生成甲烷（CH<sub>4</sub>）氣體，為此 IHI 與新加坡 A\*STAR（科學技術研究局）旗下的化學工程研究所（ICES）共同開發高活性且長壽命的催化劑。

在 CO<sub>2</sub>回收過程中，「汽提塔加熱吸收液脫附 CO<sub>2</sub>所需的能源消耗」約佔總成本的一半，因此 IHI 針對吸收液進行開發，並在試驗工廠中驗證，與傳統流程相比可將能源成本降低約 40%。



（注）国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）平成 14 年度調査報告書「地球温暖化対策技術開発に関する調査 二酸化炭素分離・回収技術に関する調査研究」を基に作成

圖 6. CO<sub>2</sub>回收成本組成費用 (%)

單獨使用 CO<sub>2</sub>回收裝置，需要花費能源用於加熱汽提塔，然而，如結合了有價值轉化的裝置，可以使用反應產生的熱能作為加熱汽提塔的熱能來源。例如，將 CO<sub>2</sub>回收裝置和甲烷化裝置整合下，從 CO<sub>2</sub>回收裝置回收的 CO<sub>2</sub>與 H<sub>2</sub>一起被引入到甲烷化反應器中，在反應器內生成甲烷（CH<sub>4</sub>），該反應會產生 165kJ/mol 的熱量，反應方程式如下所示。



通過結合 CO<sub>2</sub>回收裝置與甲烷化裝置，可以實現不需要外部熱能（如蒸汽），再加上 IHI 開發的 CO<sub>2</sub>回收裝置的能源降低技術，將能夠充分實現熱能自給，從而提高整體過程的效率並大幅降低運行成本。

實證上，CO<sub>2</sub>回收裝置，IHI 在相生工場興建一座試驗工廠，每天可生產 20 噸 CO<sub>2</sub>，此外，於澳洲發電廠進行 5000 小時實測，CO<sub>2</sub>回收效率達 90%。甲烷化裝置，在福島縣相馬市 IHI Green Energy Center 設置一部甲烷化裝置並改裝一輛社區巴士，使其能夠使用合成甲烷作為燃料，裝置正朝向大型化目標進行。



圖 7. 試驗工廠 20 t-CO<sub>2</sub>/d



圖 8. 甲烷化裝置及社區巴士

#### 4. 氨燃燒技術

氨是一種不排放二氧化碳的燃料，因此在全球努力減少溫室氣體排放中，使用氨當燃料受到越來越多的關注，氨具有高氫含量和易於液化的特點，便於儲存和運輸，且在大氣壓力下的沸點為-33.4°C，這使其成為氫的良好載體。然而，氨燃燒的速度較慢，且單位體積的熱值低於甲烷和丙烷等其他可燃氣體。此外，由於氨分子中含有氮，燃燒過程中可能會釋放大量氮氧化物（NO<sub>x</sub>），因此在開發氨燃燒器時，必須特別注意點火穩定性及抑制 NO<sub>x</sub> 排放。

自 2016 年以來，IHI 已經穩步推進氨燃料在電熱鍋爐中的應用技術，並開發出含有 20%氨燃料的燃燒器，當燃燒器使用含氨 20%的燃料時，通過適當調整燃燒空氣的旋轉力(*swirling force*)來控制火焰的形狀、燃燒穩定性以及燃燒效率，避免火焰過早熄滅或燃燒不完全。

2024 年 3 月，IHI 在日本火力發電站進行氨 20%燃燒技術的示範測試，這是全球首次在商業運營的大型電力設備中進行測試，該測試評估了整個鍋爐廠的運行性能並驗證技術的可行性，研究顯示，氨燃燒技術可以在不對鍋爐輔助設備進行升級的情況下使用。為了進一步減少二氧化碳排放，IHI 計劃將氨在燃燒過程中的比例提高到 50%以上。這將對鍋爐的性能、廢氣特性以及輔助設備如引風機等產生更大影響。

此外，IHI 還開始開發一種只使用氨作為燃料的燃燒器，2022 年 5 月在相生工場成功進行了小型氨燃燒測試，並確認了 NO<sub>x</sub> 排放的控制效果。



圖 9.相生工場參訪

氨燃燒技術的應用不僅局限於電力行業，也涵蓋了眾多工業領域，許多公司正加速減少其生產過程中的二氧化碳排放，並將氨燃料視為一種有效的減碳途徑。IHI 已經開始研究在石油化工和金屬加工等行業中應用氨燃料，並計劃進行相關的燃燒測試，例如，在石油煉製過程中，加熱爐使用重油或天然氣作為燃料，如果部分替換為氨燃料或完全使用氨燃燒，將顯著減少二氧化碳的排放。

氨燃燒技術的發展是實現碳中和的一個重要里程碑，IHI 在氨燃燒技術的研究和應用方面取得了重要進展，並已開始進行大規模的示範測試，隨著技術的不斷完善，氨燃燒技術有望在未來被廣泛應用於各種行業，實踐推動全球減碳目標。

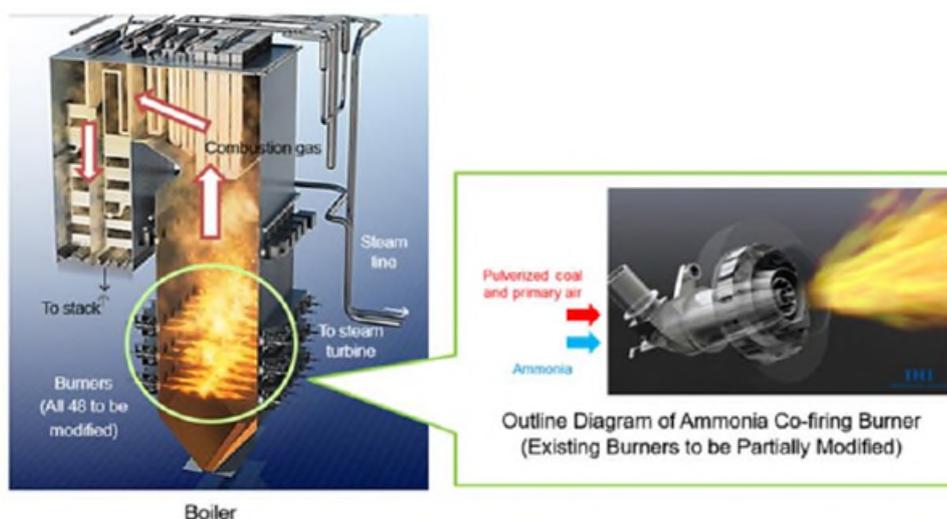


圖 10. 鍋爐和燃燒器示意圖



#### 四、心得及建議

此次參訪 IHI Plant Services Corporation (IPC) 及其相關工廠的經驗，讓我深入了解全球減碳及環保技術的最新發展，尤其是在液化天然氣 (LNG) 及碳捕捉技術方面的應用。參訪中，特別對氨燃燒技術、CO<sub>2</sub> 回收技術及 LNG 冷能發電單元的介紹印象深刻。這些技術不僅展現了在能源轉型中的創新思維，也顯示出企業在推動環保措施上的積極努力。

IHI 集團的背景及其在全球能源市場的影響力，亦可以提供給公司在減碳方面發展的參考方向。透過與傑出企業的合作，台灣能夠吸收先進的技術與經驗，加速實現 2050 淨零排放的目標。

建議公司加強與 IHI 集團及其他國際企業的技術交流，舉辦技術研討及培訓課程，讓相關技術更深入地融入產業發展，提升整體技術水準。另外可考慮在公司設立示範項目，特別是在氨燃燒、LNG 冷能發電單元及 CO<sub>2</sub> 回收技術方面，這樣不僅能實地驗證技術的有效性，還能提供業界對新技術的認知和接受度。

建議政府制定相應的政策，提供資金補助及稅收優惠，以激勵企業投資於碳捕捉及氨燃燒等新興技術，促進產業的持續發展。另外，也應鼓勵能源、化工、運輸等相關行業間的合作，共同開發減碳技術，促進技術的整合與應用，提高整體效率。另外，對於新技術的實施，建議進行持續的環境影響評估與經濟效益分析，以確保技術的可行性及持續改善的空間。

這些建議旨在協助本公司及相關產業在未來的發展中，積極應對全球減碳的挑戰，實現環保與經濟的雙贏。