

出國報告（出國類別：實習）

## 研習超導電力傳輸技術發展現況

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處北區施工處

姓名職稱：簡清山 課長

派赴國家：韓國

出國期間：101 年 11 月 25 日至 101 年 11 月 30 日

報告日期：102 年 01 月 14 日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習超導電力傳輸技術發展現況

頁數 29 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

簡清山	台灣電力公司	輸變電工程處 北區施工處	課長	02-23229918
-----	--------	-----------------	----	-------------

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：101 年 11 月 25 日至 101 年 11 月 30 日 出國地區：韓國

報告日期：102 年 1 月 14 日

分類號/目

關鍵詞：高溫超導電纜、HTS Cable、HTS Power Cable、Icheon Substation

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、高溫超導電纜具有輸送大電力容量、低電力損耗及電纜量體小等特性，非常適合用於人口稠密且地下管線密佈的大都會區，以傳輸大量電力至負載中心。目前世界主要電力成長國家(包括美國、歐洲國家、日本及韓國)之政府機關、電力公司及電線電纜公司已非常重視高溫超導電纜的未來發展性，並積極投入研發及系統試運轉。本次藉由參訪國外電力公司機會，學習超導電力傳輸技術之推動過程，並蒐集其輸經濟效益等相關資料。
- 二、韓國電力公社(KEPCO)目前已完成一回線 22.9kV、50MVA 配電級超導電纜線路，並實際運轉於電網上。該超導電纜由 LS Cable & System 公司製造及安裝，超導電纜總長 410 公尺，是迄今世界上最長的配電用超導電纜，其研發過程、施工技術及運轉維護經驗等，值得借鏡參考。

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

# 目 錄

頁次

壹、出國目的	1
貳、高溫超導電纜系統	3
一、高溫超導電纜發展過程及特性	3
二、高溫超導電纜系統構成要件簡介	6
三、低溫製冷系統	9
參、韓國高溫超導電纜實際應用情況	11
一、韓電利川變電所(Icheon Substation)參訪	11
二、韓電高昌電力試驗中心(Cochang Power Testing Center)參訪	16
三、LS Cable & Systems Ltd.龜尾工廠參訪	17
肆、韓國高溫超導電纜未來發展計畫	19
一、交流 154kV 高溫超導電力電纜發展計畫	20
二、直流±80kV 高溫超導電力電纜發展計畫	21
三、濟州島及利川變電所預定運用高溫超導電纜系統計畫	22
伍、心得與建議	24
一、心得	24
二、建議	25

## 壹、出國目的

高溫超導電纜優異的傳輸大容量電力及低線路耗損的特性，目前已經受到世界主要電力成長國家之政府機關、電力公司及電線電纜公司高度重視其未來發展性，並積極投入研發各級電壓的超導電纜及相關附屬設備，並應用於實際電網進行系統試運轉。在亞洲地區鄰近的國家，例如日本、韓國及中國大陸等，對此新世代的超導電力傳輸技術，皆已經進行研發工作超過十年以上，並獲得令人滿意的成果。本次獲得公司同意赴日本或韓國見習最新的超導電力傳輸技術，藉由參訪國外電力公司機會，實地瞭解高溫超導電纜的最新發展現況，研討電業在發展高溫超導電纜系統的歷經過程及關鍵核心技術，並蒐集其輸經濟效益等相關資料，俾以做為本公司及政府機關參考。

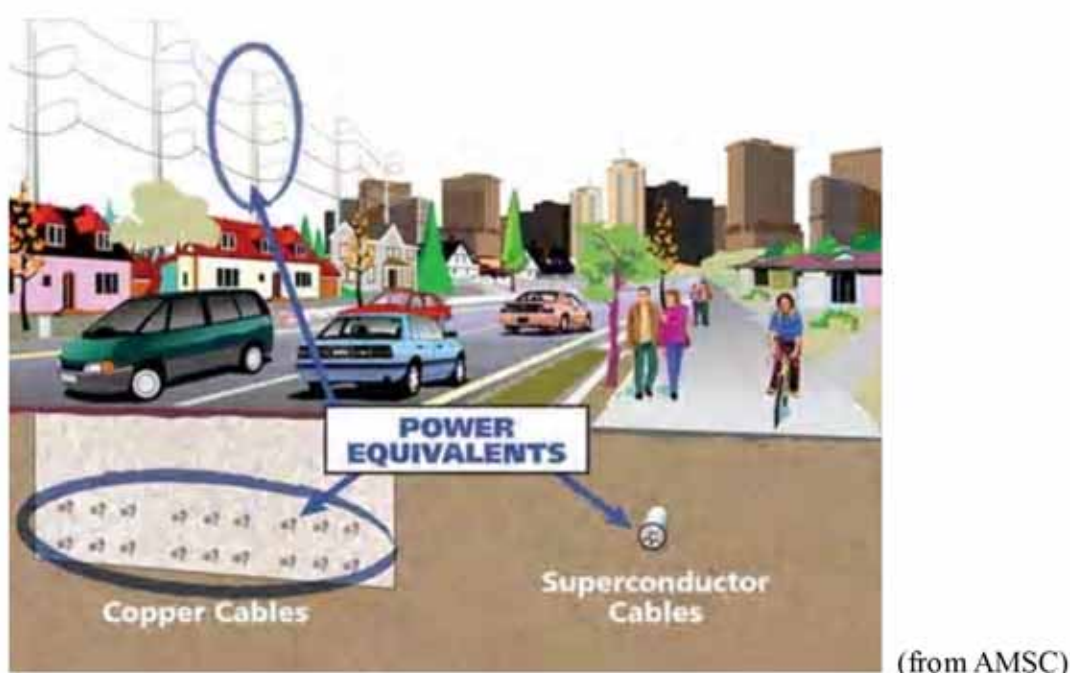


圖 2-1 高溫超導電纜小量體、大容量之特性適合用於擁塞的大都會地區

近年台灣各都會區工商發展快速，用電量都在持續成長，民眾對於用電品質之要求日趨嚴格，再加上民眾對於生活環境、環保觀念的提升，新建及擴建輸電系統受限於現有道路環境及空間，興建工程日益困難，在韓國目前亦面臨同樣的問題，尤其是在首爾地區更

為嚴重。韓國政府為解決因經濟迅速成長呈現出輸電系統基礎建設不足問題，韓國的科技部(MOST)與知識經濟部(MKE)於 2001 年開始推動超導電力傳輸技術研發計畫，並由韓國電力公社(KEPCO)及韓裔 LS Cable & System 公司等機構共同開發完成超導電纜系統。

韓國於 2011 年 8 月在京畿道的韓電 154kV 利川變電所 22.9kV 配電系統採用超導電纜，該超導電纜由 LS Cable & System 公司負責設計、製造及安裝，韓電負責運轉及維護，竣工後的超導電纜總長 410 公尺，是迄今世界上最長的配電級超導電纜，目前在電網上的實際運轉狀況十分良好。韓國正式啟動了超導電纜的實際工程應用，其推動經驗值得本公司借鏡參考。

此次計劃研習內容重點包含下列三點：

- 1.韓國電力公司及電線電纜製造廠家對高溫超導電纜系統研發歷程。
- 2.韓電 22.9kV、50MVA 高溫超導電纜系統的實際電網運轉情形。
- 3.韓國對於高溫超導電纜系統之新發展技術及未來趨勢。

## 貳、高溫超導電纜系統

### 一、高溫超導電纜發展過程及特性

1986 年瑞士科學家 Müller 及 Bednorz 從金屬氧化物中發現第一個高溫超導體 (High Temperature Superconductor, HTS) LaBaCuO (臨界溫度 35K) 之後，在短短幾年內科學家們陸續發現了 YBaCuO (臨界溫度 90K)、BiSrCaCuO (臨界溫度 110K)、TlBaCaCuO (臨界溫度 125K) 及 HgBaCaCuO (臨界溫度 134K) 等高溫超導體材料，如圖 3-1 所示，這些材料都可使用液態氮(沸點 77K)做為冷卻劑使其達到超導狀態，因此高溫超導體的實際應用性就備受期待。

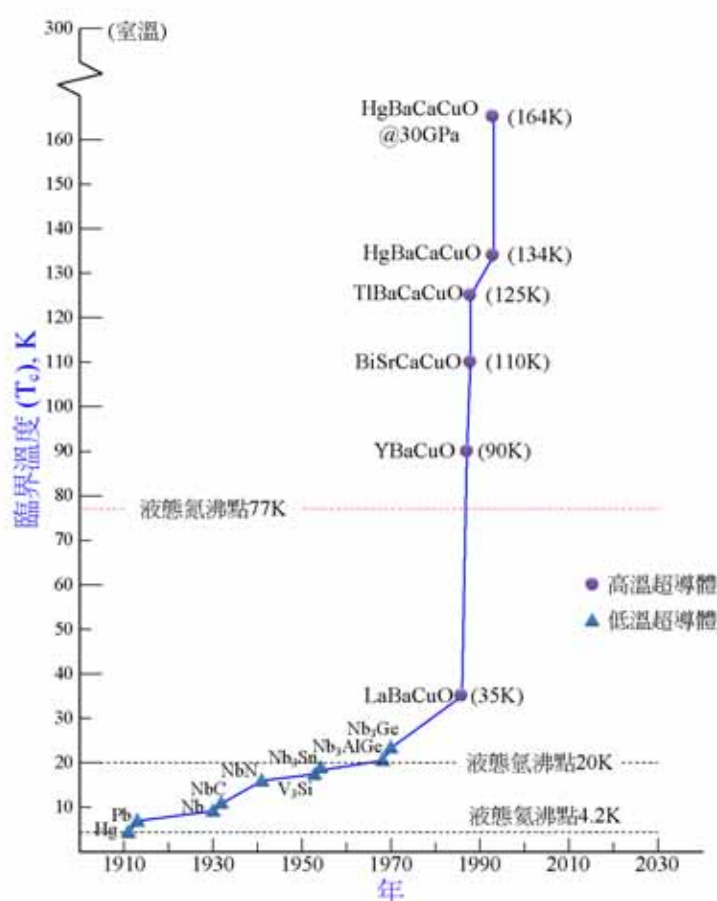


圖 3-1 超導體的發展歷程

當特定的金屬或化合物冷卻至一定溫度(臨界溫度  $T_c$ )以下時，其電阻會突然消失，並產生完全抗磁的物理現象，稱為超導現象。高溫超導體必須要同時滿足臨界溫度( $T_c$ )、臨界電流( $J_c$ )及臨界磁場( $H_c$ )的領域內才具有超導特性，稱為超導條件，如圖 3-2 所示。由於高溫超導體之電阻為零的完全導電特性，若應用於電力傳輸方面，在輸電過程中就不再有電力損失，可大幅提升輸電效能並節省能源耗損，符合追求環保的時代潮流，因此電業對於高溫超導電纜的研發非常關注。

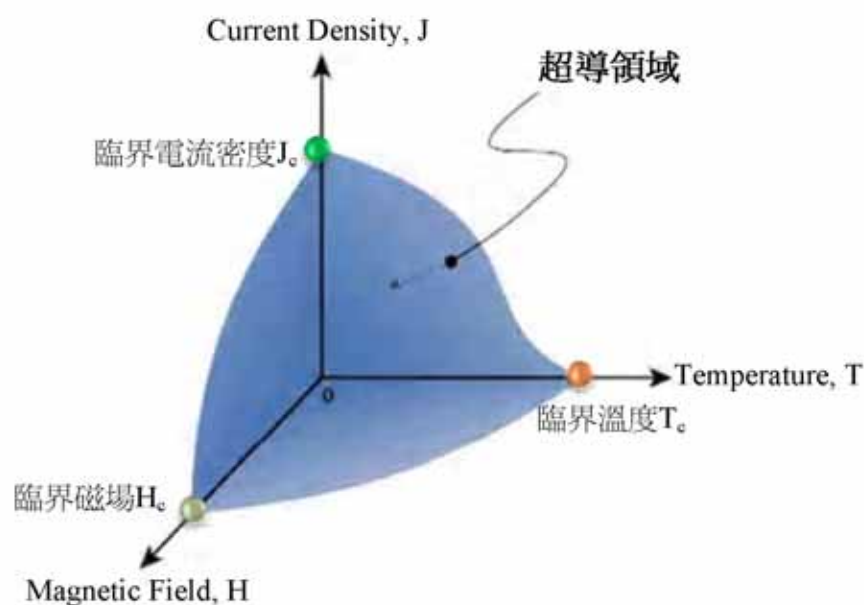


圖 3-2 超導領域的限制條件

由於各國研究人員積極研發新高溫超導體材料，不斷創新技術挑戰更高的臨界溫度，許多新材料多能在液態氮溫度下處於超導狀態，使高溫超導電纜得以液態氮構成的低溫冷卻系統下運轉，低溫冷卻系統的成本已大幅降低，相信很快 HTS Cable 就可邁入商業化的階段。因此，日本、美國、義大利、丹麥、法國和德國等國家從 1988 年起便積極投入高溫超導電纜的研究及開發，例如日本經濟產業省的 Super-ACE 專案、美國能源部的 SPI/SPE 專案、歐洲的 Super 3C 專案、中國大陸的 863 計畫及韓國科技部的 DAPAS 專案等。

高溫超導電纜與傳統的高壓電力電纜相比較，具有下列幾項優勢：

#### (一)經濟優勢

高溫超導電纜以小型尺寸來完成大容量的電力傳輸和低的電力損耗，有效減少輸電系統的建設和運轉成本。高溫超導電纜能以低電壓、大電流方式，達到與傳統高壓電力電纜相同的送電容量，也因為以較低電壓輸送電力，線路經過地區居民較不會反對，因此對取得新輸電線路的路權較具有優勢，如圖 3-3 所示。

#### (二)環境優勢

高溫超導電纜的零電阻特性，可藉由減少電力傳輸損失也達到降低能源消耗，以及有效地重覆使用既有傳統電力電纜的管路設施來敷設新的高溫超導電纜，有效摺節資源，因此高溫超導電纜的應用是有效減少 CO<sub>2</sub> 排放量，符合未來的環保規範。高溫超導電纜係採用 PPLP 及液態氮做為絕緣材料，不使用傳統充油電纜的絕緣油或是 XLPE 電纜的交連聚乙烯為絕緣體，使得高溫超導電纜的性質基本上是非易燃和非爆炸性的。此外，高溫超導電纜也是抗電磁干擾，意指它並不會洩漏磁場和電場，由於它的電纜結構設計也是採用超導體做為遮蔽層，可以有效抵消輸電電流所產生的磁場與電場，所以在電纜外部是零磁場或極低磁場值。因此，高溫超導電纜對環境而言是更友善的。

#### (三)使用壽命和可靠度的優勢

造成傳統電纜退化的主要因素，是由於常年每日的溫度變化，使得電纜重複地膨脹及收縮，使得電纜的熱化學和電氣特性退化。而高溫超導電纜的溫度是藉由液態氮保持固定在極低溫度大約-200°C (73K)，所以不管過了多久都沒有熱化學或熱機械老化的問題，因此電纜的使用壽命較長。



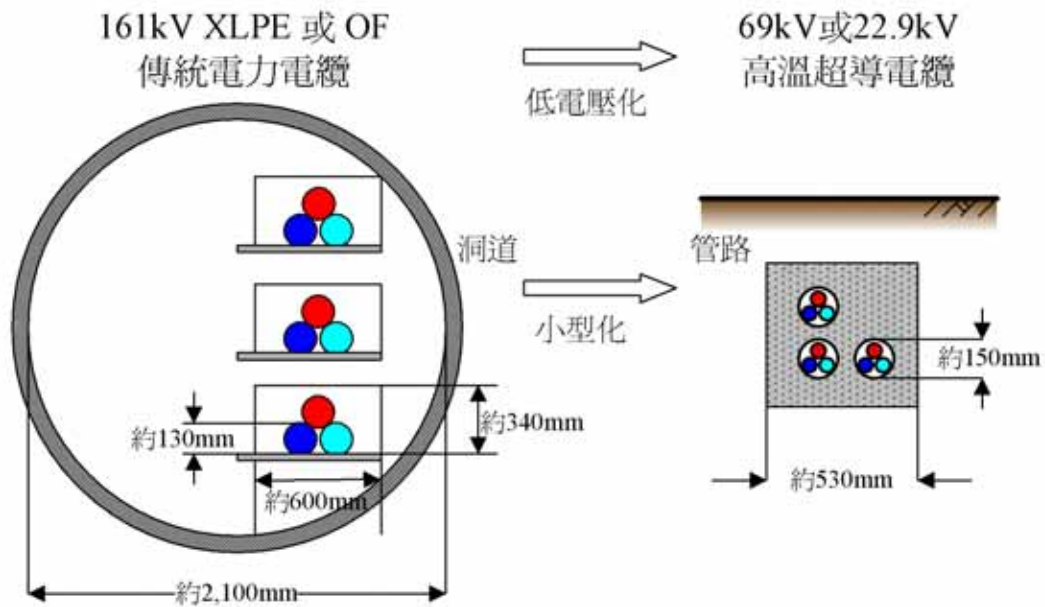


圖 3-3 傳統電力電纜與高溫超導電纜的比較

## 二、高溫超導電纜系統構成要件簡介

高溫超導電纜系統主要是由高溫超導電纜(HTS Cable)、電纜終端匣(EB-A 或 EB-G)、接續匣(Joint Box)、冷卻系統及監控系統等所組成，如圖 3-4 所示，表 3-1 列出系統主要構件功能概要。

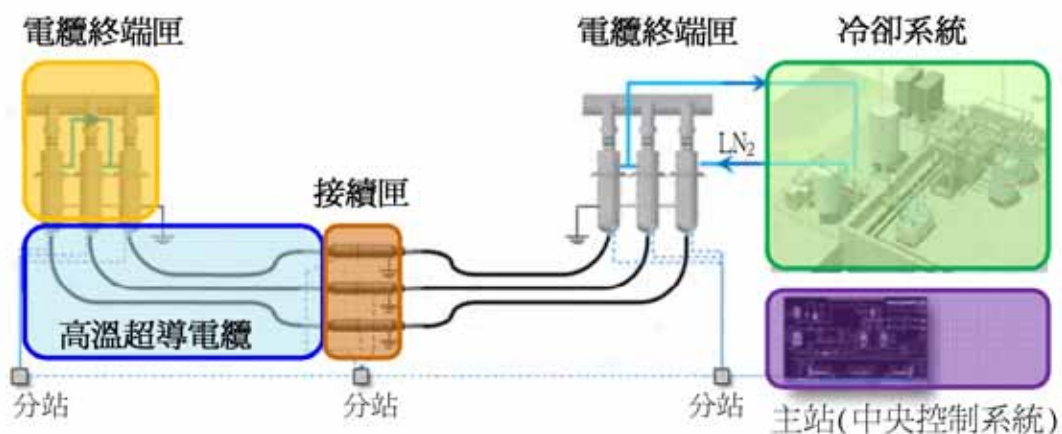


圖 3-4 高溫超導電纜系統

表 3-1 高溫超導電纜系統主要構件概要表

系統組成要件	功能	備註
超導電纜	傳輸電力	3 相一體型(配電用) 或 單相型(輸電用)
電纜終端匣	將超導電纜與其他電纜終端設備連接	
接續匣	超導電纜之相互連接	
冷卻系統	電纜系統內液態氮的溫度維持約-200°C (73K)	開/閉類型
控制系統	冷卻系統及電纜系統的監控	包括各種感測器

(一)高溫超導電纜

韓商 LS Cable & System 公司所研發的配電級 22.9kV 三相一體型及輸電級 154kV 單相型之高溫超導電力電纜構造如圖 3-5 所示。該電纜之導體材料係使用美國超導公司(AMSC)所研發的第 2 代高溫超導線材(YBCO Wire)，電氣絕緣是採用 PPLP (Polypropylene Laminated Paper)並與液態氮浸漬組成之絕緣材料作為複合絕緣層，在絕緣層的上再用超導線材組成遮蔽層，此超導電力電纜遮蔽層將會感應與導體電流反方向之電流，而達到電場與磁場之屏蔽效果。隔熱管是則採用雙層的波浪鋁管隔熱材所組成，隔熱層維持在高真空狀態以達阻隔高熱之傳導，隔熱管外層再施以 PVC 被套保護。

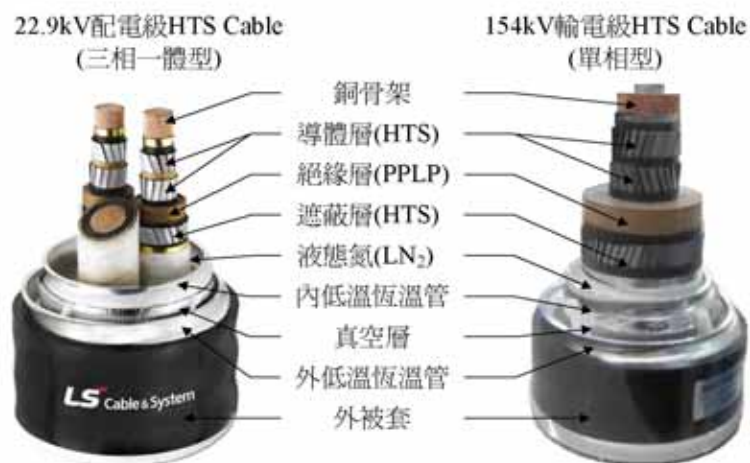


圖 3.5 LS Cable & System 開發之高溫超導電纜結構

## (二) 高溫超導電纜終端設備

高溫超導電纜系統的終端設備(EB-A 及 EB-G)有二個重要功能,一是要將高溫超導電纜與傳統電力設施相銜接,另一是將低溫製冷系統的液態氮注入電纜系統內循環冷卻超導體,如圖 3-6 所示。



圖 3-6 高溫超導電纜終端之構造

## (三) 高溫超導電纜接續匣

電纜接續匣主要的目的是連接兩條高溫超導電纜,在超低溫環境下,確保與超導電纜同等以上絕緣性能及送電容量,如圖 3-7 所示。



圖 3-7 高溫超導電纜接續匣之構造

### 三、低溫製冷系統

高溫超導體只有在特定低溫之下才會呈現超導特性，爲了維持高溫超導電纜的超導狀態，需要低溫製冷系統穩定地提供低溫冷卻劑以維持系統正常運轉，所以低溫製冷系統的設計對高溫超導電纜系統而言是非常重要的。高溫超導電纜的低溫製冷系統係採用開路式冷卻設計，其主要設備包括低溫冷卻器、循環泵裝置、氣體/液體分離裝置、壓力控制裝置、閥箱及液態氮儲存槽等，如圖 3-8 所示。

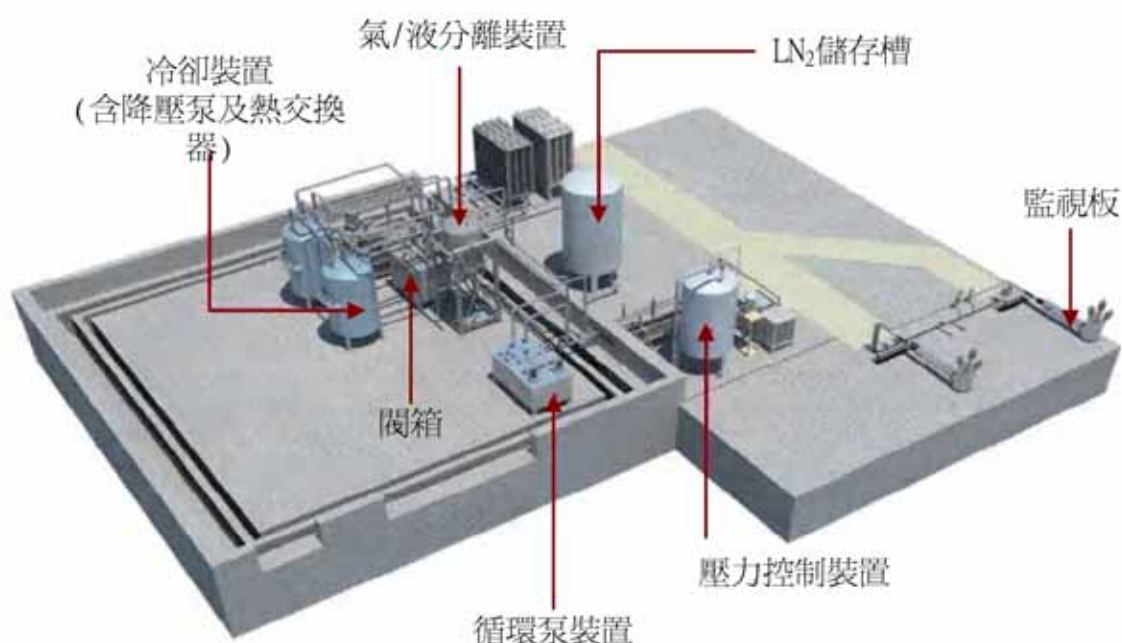


圖 3-8 低溫製冷系統配置

冷卻器是由降壓泵、緩衝槽及熱交換器所組成，主要功能是使液態氮維持在 64K 至 77K 之間的工作溫度，其冷卻系統設計容量需要考量到整個超導電纜系統的熱負載及備用裕度而決定。

低溫製冷系統的優劣關係著超導電纜運轉的成敗，在實驗場使用的冷卻系統並不符合實際電網的需求，尙需考量電網故障電流等突發狀況，且高溫超導電纜的長度愈來愈長尺化，惟有透過不斷的模擬實驗才能發展出滿足電網需求的低溫製冷系統。LS Cable & System 設於水原市的冷卻系統實驗室，正在開發試驗新型的低溫製

冷系統，如圖 3-9 所示。

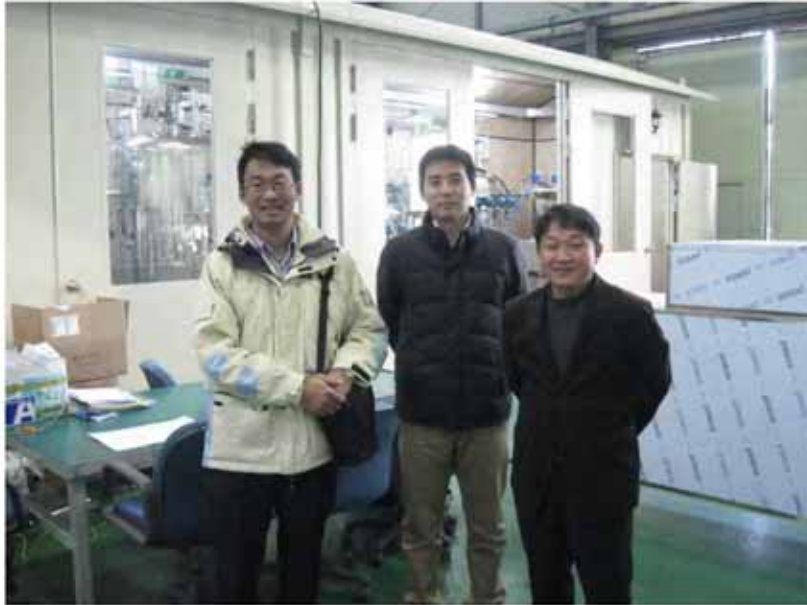


圖 3-9 參訪 LS Cable & System 的低溫製冷系統實驗室

## 參、韓國高溫超導電纜實際應用情況

### 一、韓電利川變電所(Icheon Substation)參訪

154kV 利川變電所位於韓國京畿道的利川市，距離首爾市大約 100 公里，是韓國的陶瓷重鎮，號稱“韓國的景德鎮”，交通便利且工業發達，同時利川市也是溫泉之鄉，擁有豐富的旅遊資源。韓電(KEPCO)評估其國內將近 700 所的 154kV 變電所，考量變電所內需要有足夠寬敞空間來配置設戶外型 GIS 與低溫製冷系統，以及系統斷路器 CB 的可靠度，而且地點還要選在具有象徵意義的大都會區--首爾附近，最後選定利川變電所設置首條 22.9kV、50MVA 高溫超導電纜的實際電網運轉示範場地，這條電纜竣工後的長度為 410 公尺，是目前世界上在電網實際運轉中最長的高溫超導電纜，如圖 4-1 所示。



圖 4-1 韓電 154kV 利川變電所配置圖

利川變電所 22.9kV 配電級高溫超導電纜系統的實際電網運轉計畫被稱為 GENI (Green Superconducting Electric Power Network at the Icheon Substation)專案，係由韓國知識經濟部(MKE)支助資金推動，韓電及 LS Cable & System 公司共同合作參與

這項計畫。韓電提供最理想的場所來安裝高溫超導電纜、場地建置、電力系統的線路保護及電纜運轉；LS Cable & System 執行硬體設計和製造，包括電纜、終端匣、接續匣和冷卻系統，以及現場安裝。這項為期 5 年的計畫專案共分為二階段執行，在第一階段期間，22.9 kV/50 MVA 規格的高溫超導電纜被安裝在實際電網，以驗證電纜的性能與附屬設備的發展。在第二階段，將發展 150 MVA 高溫超導電纜，並也在實際電網中驗證，以實例驗證高溫超導電纜能達成電力系統需求以低電壓方式傳輸更高容量的目標。

第一階段計畫於 2008 年正式展開，在利川變電所進行高溫超導電纜安裝工作，電纜係由 LS Cable & System 設計及製造，採用美國超導公司生產的第 2 代 344B 高溫超導線材(YBCO)做為導體與遮蔽線，電纜規格如圖 4-2 所示，該電纜於 2010 年末被安裝在韓電的電網上，線路系統單線圖如圖 4-3 所示，安裝後的高溫超導電纜總長度為 410 公尺，包括二組電纜終端及一組中間接續匣。在完成高溫超導電纜系統之後，根據韓國工業標準及自訂規範實施包括直流耐壓測試、直流臨界電流測試及熱損失測量等竣工試驗項目，2011 年 8 月 19 日高溫超導電纜在利川變電所正式加入系統送電。



圖 4-2 利川變電所 22.9kV/50MVA 高溫超導電纜

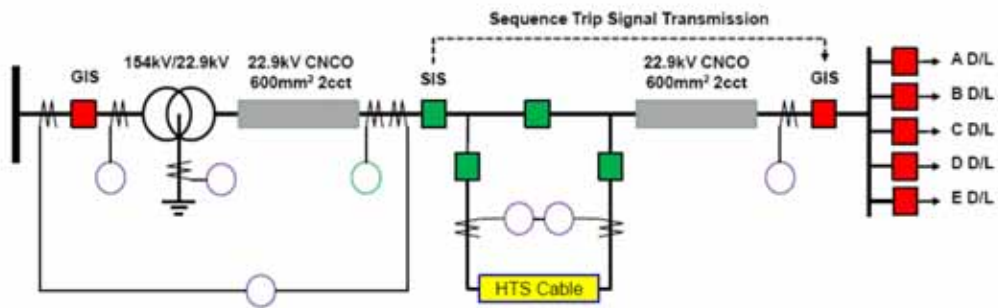


圖 4-3 利川變電所 22.9kV/50MVA 高溫超導電纜系統單線圖

#### (一)利川變電所之高溫超導電纜系統及附屬設備

本專案係首次韓電實際電網應用高溫超導電纜的示範運轉，將以本線路的實際運轉經驗做為日後發展高溫超導電網的重要參考依據，現場配置包括 2 組電纜終端匣、1 組接續匣、低溫製冷系統及監控設等，電纜採用直埋、管路及洞道等配置，部分區間進行 OFFSET 佈設，以模擬各種傳統電力電纜碰到的現場狀況，俾以驗證高溫超導電纜在電網上的實際性能，相關電纜設備之配置情形如圖 4-4 所示。



(a)高溫超導電纜終端匣



(b)高溫超導電纜在直線佈設

圖 4-4 高溫超導電纜系統及其附屬設備之實際配置情形



## (二)低溫製冷系統實際安裝及運作情形

先前在韓電高昌試驗場所進行 100 公尺高溫超導電纜試驗計畫中，低溫製冷系統係由 2 台製冷機和 1 個開路系統的混合系統來組成，但該系統使用於電網上運轉明顯冷卻能力不足夠，為確保高溫超導電纜能非常穩定的運轉，因此低溫系統設計成一個開路系統和備用系統交替使用，所以根據先前韓電和 LS Cable & System 研究的基礎上，選擇經過驗證過效能較高可靠的構件來設計和整合成系統。所安裝的正式低溫系統包括冷卻裝置、減壓泵、閥、液態氮泵、貯存槽及氣體/液體分離裝置等，考量在系統運轉後停機維修可動元件的困難度及無法預期的故障原因，所以為保持低溫製冷系統連續運轉，減壓泵、冷卻裝置及液態氮泵都備有二套設備，低溫系統配置如圖 4-5 所示。



(a)韓電李課長介紹 HTS Cable 發展歷程



(b)低溫製冷系統之監控系統



(c)冷卻裝置及氣/液分離裝置



(d)壓力控制裝置及 LN<sub>2</sub> 儲存槽

圖 4-5 實際安裝於高溫超導系統上之低溫製冷系統

### (三)高溫超導電纜系統實際運轉情形

根據韓電方面表示，22.9kV 高溫超導電纜系統從 2011 年 8 月 19 日正式加入系統運轉至今，運轉情形良好並無發生任何故事，最大負載電流為 1,100A (約 44MVA)，低溫系統在隨時變動的負載條件下，其壓力及溫度狀態表現良好，參訪情形如圖 4-6 所示。



圖 4-6 參訪利川變電所，與韓國電力公社及 LS Cable & System 人員合影留念

## 二、韓電高昌電力試驗中心(Cochang Power Testing Center)參訪

韓國電力公社(KEPCO)於 1961 年成立韓國電力研究院(KEPRI)，專門在為電業研發與試驗新電力設備。剛進入到 KEPRI 的高昌電力試驗中心，映入眼簾的盡是各式各樣的超高壓試驗線路，包括雙回線及單回線的 765kV 試驗線路、 $\pm 500\text{kV}$  高壓直流輸電試驗線路等。此外，還有許多大型試驗場所，例如最大的地下電纜試驗場、減磁試驗線路、154kV 智慧型變電所、超導試驗場、電磁場教育中心、配電試驗場、電力品質裝置測試場等。韓電 KEPRI 人員表示，該中心目前一直在擴充新的電力試驗裝備，並不斷在爭取國際級的認證(例如 KEMA)，目標設定是要將高昌中心發展成爲一個世界級電力試驗中心，圖 4-7 爲高昌試驗中心之試驗場配置圖。



圖 4-7 KEPRI 高昌試驗中心之試驗場配置

此次安排參訪高昌試驗中心的主要目的，是要實地見習 LS Cable & System 目前新開發的 $\pm 80\text{kV}$  高壓直流高溫超導電纜的試驗情形，俾以瞭解整個高溫超導電纜的試驗作業流程與試驗項目，試驗場如圖 4-8 所示。



圖 4-8 高昌試驗中心的高溫超導電纜試驗場

依據韓電的濟州島智慧電網計畫，預定 2014 年在濟州島進行安裝交流 154kV 高溫超導電纜及直流 $\pm 80$ kV 高溫超導電纜示範線路，高溫超導電纜長度分別為 1 公里及 0.5 公里。LS Cable & System 現已開發完成電纜，目前在高昌試驗中心進行 100 公尺的 $\pm 80$ kV HVDC HTS cable 試驗線路的安裝工作，當日現場正進行高溫超導電纜接續匝組立施工作業，在高昌中心將進行包括冷卻系統、臨界電流測量、耐壓試驗、熱負載試驗及電纜性能等試驗。

### 三、LS Cable & System 公司龜尾工廠參訪

LS Cable & System 位於韓國慶尙北道龜尾(Gumi)市的工廠，主要是生產輸電級電力電纜(含 XLPE cable、OF cable)、電力電纜關鍵性器材、配電級電纜、架空線鋁導線、OPGW 及通訊線等產品。廠區有一棟顯目 14 層樓高塔，主要為製造超高壓 XLPE 電力電纜之三層押出設備使用，採用先進的垂直式連續擠壓系統 (VCV, Vertical Continuous Vulcanizing) 製造技術，VCV 設備因其不受重力的影響，可保持同心圓形態，因此具有生產效率高、品質穩定及生產條件易於控制等優點，參訪照片如圖 4-9 所示。



圖 4-9 參訪 LS Cable & System 龜尾工廠照片

高溫超導電纜的設計結構與充油電纜(OF cable)相似，而龜尾工廠是 LS 公司生產充油電纜的基地，所以 LS Cable & System 利用此套生產充油電纜的機械設備來製造高溫超導電纜，其相關機械設備如圖 4-10 所示。



圖 4-10 LS Cable & System 高溫超導電纜的生產設備



## 一、交流 154kV 高溫超導電力電纜發展計畫

在韓國的 DAPAS 專案中，包括開發 154kV 輸電等級的高溫超導體電纜計畫在內，目前 LS Cable & System 也開發完成 154kV/1GVA 高溫超導電纜，如圖 5-2 所示，並於 2010 年成功開發出 154kV 電纜終端匣，其係利用在特定溫度(-194℃以下)電阻變為 0 的特性，能更有效連接大容量輸電的超導電纜和傳統電纜之間輸送電流作用，這是構築超導電纜輸電網當中必要核心裝置。LS Cable & System 於 2011 年在韓電高昌電力試驗中心已完成一條長度 100 公尺的 154kV/1GVA 高溫超導電纜的各項試驗工作，如圖 5-3 所示，並預定 2015 年安裝於濟州島的綠能智慧電網計畫中。



### (1)電氣特性

額定電壓：154kV

額定電流：3750A

BIL：750kV

故障電流：50kA/1.7秒@60Hz

### (2)物理特性

絕緣：冷絕緣方式

單相無縫鋁低溫恆溫管

圖 5-2 LS Cable & System 開發之 154kV 高溫超導電纜



圖 5-3 左為 154kV HTS 終端匣試驗情形，右為實驗線路之佈設情形

## 二、直流±80kV 高溫超導電力電纜發展計畫

由於高溫超導‘零’電阻的特性，直流輸電超導電纜系統比傳統電纜多達 10 倍以上的輸送容量，或超過 2.5 倍交流超導電纜系統的傳輸容量。因此，直流高溫超導電纜更適合用於傳輸大電流的線路，許多國家爭相投入研發直流高溫超導電纜輸電系統。韓國政府目前也資助相關研發計畫，積極著手部局直流高溫超導電纜系統的全球市場，由韓電 LS Cable & System 共同合作發展直流高溫超導電纜系統。

韓電擬在濟州智慧電網示範場使用直流±80kV 高溫超導電纜做為輸電線計畫，LS Cable & System 負責開發±80kV 到±200kV 等級的直流高溫超導電纜與關鍵性器材等，目前已成功開發出直流±80kV/3250A 高溫超導電纜，目前正在高昌電力試驗中心正行試驗中，如圖 5-4 所示。

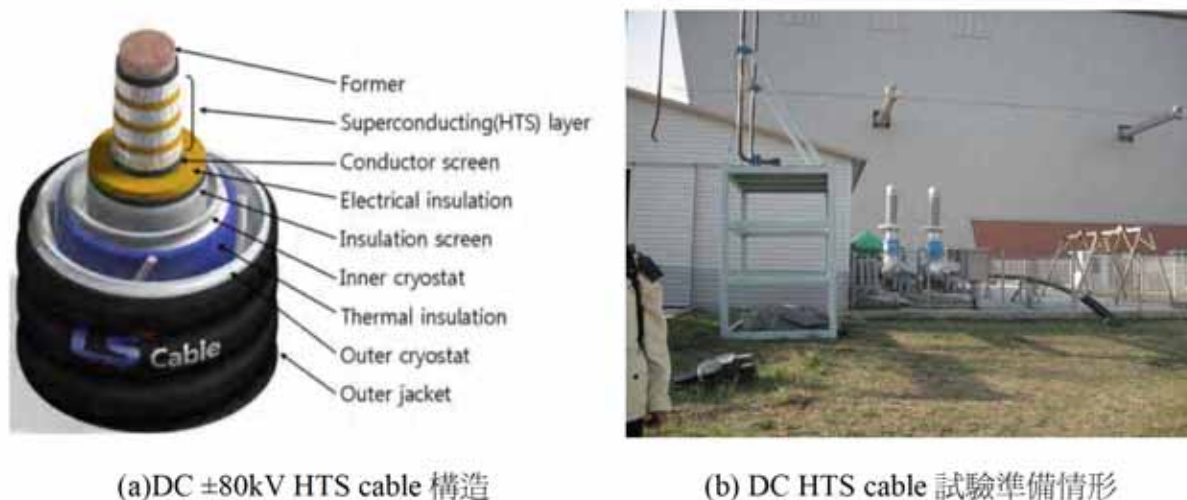


圖 5-4 直流±80kV 高溫超導電纜發展現況



### 三、濟州島及利川變電所預定運用高溫超導電纜系統計畫

#### (一)輸電級高溫超導電纜系統應用於實際電網—濟州島專案

韓國政府 2011 年 4 月通過「智慧電網促進法案」，使智慧電網(Smart Power Grid)為南韓政府正式支持發展的產業，並選定在濟州島推動示範與測試計畫。智慧電網是整合發電、輸電、配電及用戶端的現代化電力網路，韓電規劃於濟州島鋪設二條輸電級的高溫超導電纜於電網上做為示範運轉，分別為直流±80kV 高溫超導電纜，長度為 0.5 公里，預定 2014 年完成，以及交流 154kV 高溫超導電纜，長度為 1 公里，預定 2015 年完成。目前直流±80kV 高溫超導電纜示範基地已經開始動工興建中，如圖 5-5 所示，有關韓電規劃應用線路系統如圖 5-6 所示，本案的研究開發費用約 7 仟萬美金(由政府、韓電及 LS Cable & System 共同出資)，韓電將藉由這專案來評估輸電級高溫超導電纜應用在實際電網上的經濟效益及工程技術，以實績做為佈局全球超導電纜市場的基石。

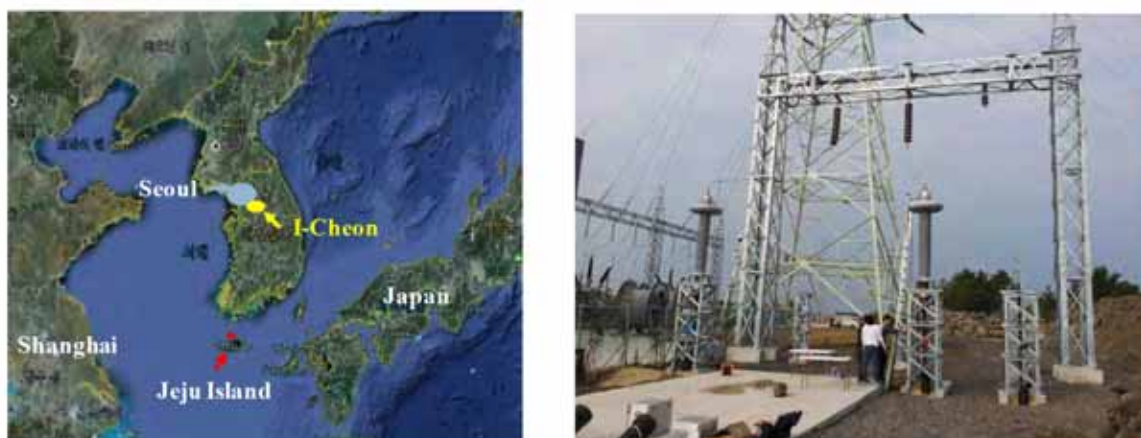


圖 5-5 濟州島地理位置及直流±80kV 高溫超導電纜示範基地整備中情形

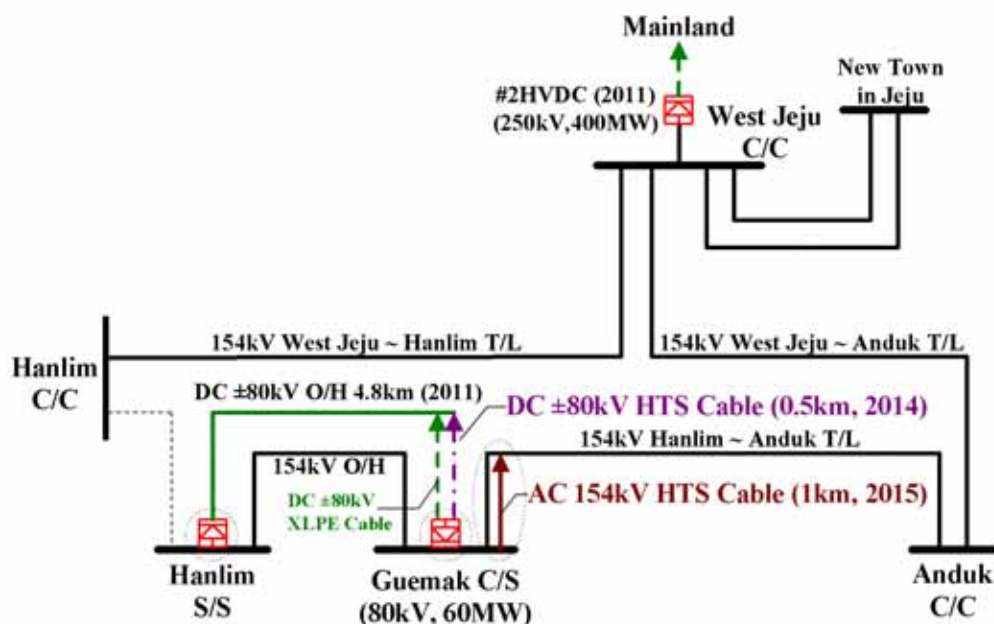


圖5-5 韓電濟州島電網應用高溫超導電纜之線路圖

(二)配電級高溫超導電纜系統應用於實際電網—立川變電所專案(GENI)

韓國知識經濟部推動 GENI 專案，第一期 22.9kV、50MVA 的高溫超導纜(長度 410 公尺)，以及 22.9kV、630A 的超導故障限流器，於 2011 年 8 月 19 日在立川變電所加入系統運轉，迄今已運轉超過 1 年，目前運轉情形良好。

韓電於立川變電所進行 GENI 專案第二期計畫，將 22.9kV、150MVA 的高溫超導纜，長度為 100 公尺，預定 2013 年安裝於實際電網上運轉，以實例驗證高溫超導電纜能達成電力系統需求，以低電壓方式傳輸更高容量的目標，並做為未來配電級高溫超導電纜系統商業化的規範。韓電目前也規畫 2 條長距離的 22.9kV 高溫超導電纜系統，分別為立川變電所(Icheon S/S)到市區配電中心(Icheon D/S)長度約 3.1 公里，以及安陽變電所(Anyang S/S)市區長度約 6 公里。

## 伍、心得與建議

### 一、心得

本次承蒙長官的厚愛，得以有機會前往韓國研習「超導電力傳輸技術發展現況」，藉由此機會對所收集高溫超導電纜資料加以實地見識。首先感謝 LS Cable & System 公司的協助安排這次的參訪行程，讓我從中可以見習到高溫超導電纜從設計與製造、低溫製冷設備與附屬設備研發、電纜試驗項目、電網運轉狀況及未來研發規劃整套流程，在短短六天行程中繞了韓國一圈，雖然非常緊湊但卻獲益良多。

在參訪立川變電所過程，經由韓電李課長對發展高溫超導電纜系統的歷程解說及意見交流後，韓電與本公司同樣面臨輸變電新建困難的處境，而高溫超導電纜具有大容量傳輸能力、低線路損耗及佔地面積小等優點，可有效解決都會區供電問題。由於韓國政府看好高溫超導電纜系統未來的發展性及市場潛力大，10年前在政府主導下結合韓電及 LS Cable & System 共同研發，目前韓國對於高溫超導電纜的研發及運轉實績已交出漂亮成績單，LS Cable & System 所開發的直流±80kV 高溫超導電纜也將應用於美國 Tres Amigas 專案中。韓國政府、韓電及產業界對於高溫超導電纜的重視及積極研發態度是非常值得我們學習的。

參訪韓電 KEPRI 高昌電力試驗中心，經由韓電人員介紹中心內各項世界級輸電系統的研究和檢測設施，瞭解 KEPRI 藉由開發輸電系統領域的新技術來努力自己成為全球研發中心，並藉由 KEMA 認證來招攬國內外的電業檢測工作，積極為公司創造盈餘利潤，這也是值得我們公司學習的。

「他山之石、可以攻錯」，由本次實習所獲取見聞，來思考目前我們國內輸變電工程所遭遇的窘境，地下電纜輸電線路因為電磁場議題通常被視為「鄰避設施」，高溫超導電纜外部僅有極低電磁場且並無熱排放問題，符合 21 世紀綠色環保的潮流，可讓輸電設備轉型為「友善設施」。經由此次的韓國實習，讓我對高溫超導電

纜的未來發展更具信心，我將持續關注這項技術的動態。

在此次實習過程中，感謝 LS Cable & System 的安排本人之赴韓參訪實習行程，特別感謝超導部門柳博士全程陪同參訪並精學解說各項高溫超導電纜系統設備以及提供相關資料，也感謝韓電人員的招待與解說，在此趟行程中每位接待人員均表現出對電力電纜技術的專業執著與研究精神，值得自我成長與學習的地方，最後也感謝本處第四段黃建明君提供有關電纜施工實務的寶貴經驗，與韓方研討關於高溫超導電纜在施工方面的技術交流。



圖 6-1 在 LS Cable & System 公司總部大樓合影留念

## 二、建議

高溫超導電纜輸電技術在美國、日本、韓國及歐洲國家相繼投入研發行列後，歷經十年多的產品開發與試驗，已經陸續安裝於電網上進行系統可靠度的長期驗證及評估整體的經濟效益，相信高溫超導電纜在未來大量商業化製造後，其生產成本將會大幅降低。以高溫超導電纜所具有經濟、環境、壽命長及可靠性的特點及優勢，隨著全球銅礦蘊藏量愈來愈少使得銅價持續攀升，高溫超導電纜將來有機會取代用銅量較多的傳統電纜，成為在 21 世紀電力傳輸的主流產品。

在本次參訪韓國高溫超導電力傳輸技術發展現況的見習，本人就政府、電業、

電線電纜製造公司及輸電技術從業人員的層面，提出以下建議：

(一)政府儘早推動發展高溫超導電力傳輸技術相關產業：

韓國政府於 2001 年起由科技部主導推動高溫超導電力傳輸技術的研發計畫，結合產、官、學界共同投入，並設定明確的目標與完成時間，造就韓國產業界在短短幾年內在擁有高溫超導電纜系統的研發製造、安裝施工與實際運轉的關鍵技術，與美國及日本在高溫超導電纜領域上並駕齊驅。我國政府可參考韓國模式推動高溫超導電纜相關產業，不僅可強化及更新老舊電力基礎建設，還可以促進國內產業升級，佈局未來新世紀輸電網路的全球市場，提升國內長期的經濟發展。

(二)電業規劃應用高溫超導電纜系統建置示範線路：

高溫超導電纜以低電壓大容量供電的傳輸技術改變了電力系統規劃思維，加上高溫超導電纜的電磁場趨近於零且施工方便，不僅可大幅減少輸電線路土建成本，也因低電壓零電磁場的特點可以降低民眾的抗爭。目前國外許多電力公司已開始規劃應用高溫超導電纜於實際電網，建議本公司可審慎評估建置超導電纜系統建置示範線路的可行性，以培養本公司在超導電纜系統運轉的經驗與技術。

(三)國內電線電纜製造公司要積極創新研發新電力傳輸技術：

韓國發展高溫超導的歷程中，LS Cable & System 一直採取積極的態度，發展出從電纜的開發設計、製造試驗、施工安裝及竣工試驗等一貫的整合技術，2010 年 3 月 LS Cable & System 與美國超導公司締結協定提供未來商業化的高溫超導電纜，積極推動進入這些市場。韓國電線電纜公司對於未來全球的高溫超導電纜市場佈局展現出非常強烈的企圖心，其企業精神值得國內電線電纜製造公司關注。