

出國報告（出國類別：參訪）

風能發電科技發展之現況與趨勢 德國、丹麥參訪報告



服務機關：行政院國家科學委員會

姓名職稱：陳宗權 副處長

派赴國家：德國、丹麥

出國期間：中華民國 96 年 10 月 6 日至 10 月 14 日

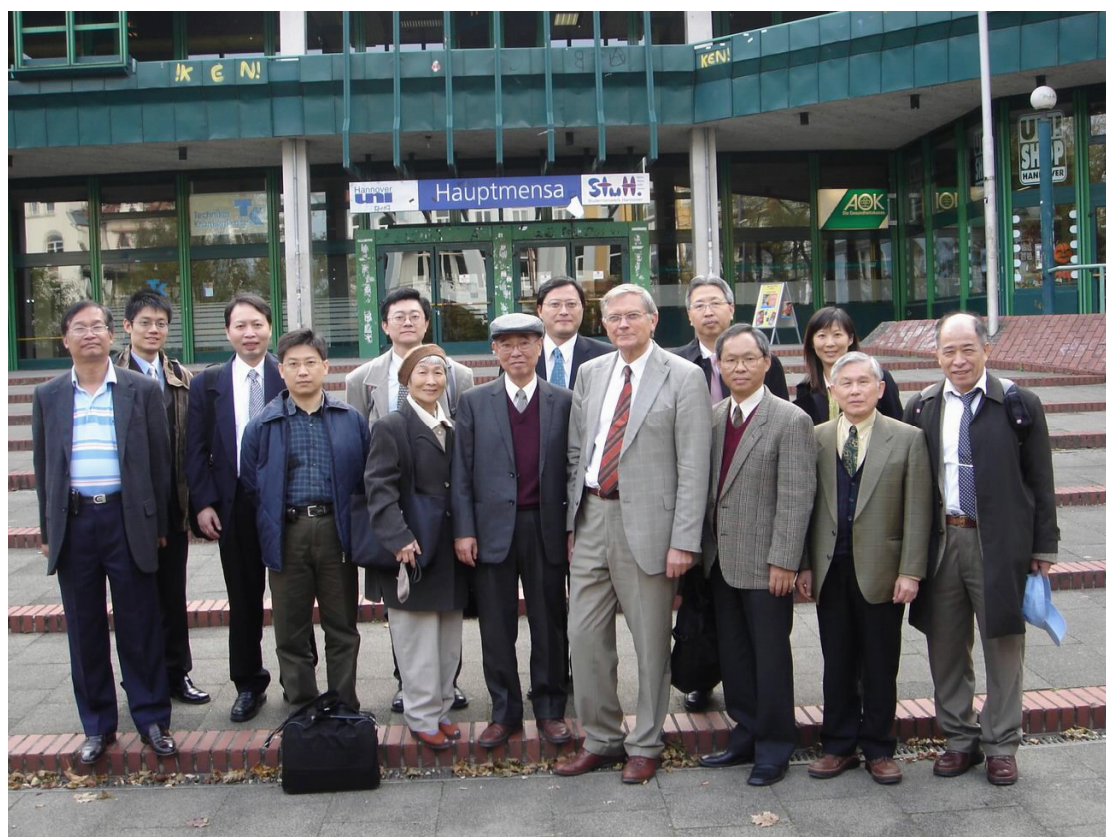
報告日期：中華民國 96 年 12 月 28 日

目次

摘要	2
目的	3
過程	6
2007 年 10 月 8 日 – 德國風能研究機構 (DEWI)	6
2007 年 10 月 9 日 – 漢諾威大學流體力學與土木工程電腦應用研究所 (ISEB)	8
2007 年 10 月 11 日 – 丹麥 Risø 國家實驗室	12
2007 年 10 月 12 日 – 哥本哈根 Middelgrunden 離岸風力發電場.....	13
心得	15
建議.....	17

摘要

本參訪團為國立台灣大學土木工程學系葉超雄教授召集之「台灣離岸風能國家級計畫」先期規劃計畫團隊所籌組，旨在藉由參訪德國與丹麥各類型風能研究機構與離岸風場，了解全球最新風能發展趨勢與研究經驗，作為隨後提出台灣離岸風能國家級計畫總體規劃報告書之重要依據。本次行程共包含四處參訪點：德國風能研究機構 (DEWI GmbH, Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven)，漢諾威大學流體力學與土木工程電腦應用研究所 (ISEB, Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen, Leibniz Universität Hannover)，丹麥 Risø 國家實驗室，以及哥本哈根港外已實際運轉的 Middelgrunden 離岸風力發電場。(封面照片：參訪團成員攝於德國風能研究機構)



參訪團成員攝於漢諾威大學，(前排右起) 楊德良教授 (台大土木系)、林銘崇教授 (台大工科及海工系)、陳慧慈教授 (中央土木系)、Prof. Zielke (Leibniz University of Hannover)、葉超雄教授賢伉儷 (台大土木系)、陳宗權副處長 (本文作者，國科會企劃處)、張揚展秘書 (國科會駐德科技組)；(後排右起) 蘇美惠副研究員 (台經院研究一所)、左峻德所長 (台經院研究一所)、彭雙俊組長 (國科會駐德科技組)、柴駿甫研究員 (國研院國家地震工程研究中心)、劉志文教授 (台大電機系)、林佑俊研究助理 (國科會企劃處能源計畫辦公室)

目的

風力發電是世界上發展最快的綠色能源技術，在陸地風力發電場建設快速發展的同時，人們已經注意到陸地風能利用所受到的一些限制，例如佔地面積大、噪音與視覺污染等問題。由於海上豐富的風能資源和當今技術的可行性，海洋將成為一個迅速發展的風力發電場。海上風力發電場是國際風力發電發展的新領域，其最大的優勢在於海上風速更高且更易預測。此外，海上沒有障礙物，風力資源可得到充分利用。在風力發電應用比較成熟的歐洲，北部海域 60m 高度之平均風速超過 8 m/s，預計比沿海優良的陸地風力發電場的發電量高 20%~40%。海上風能的利用，對於陸地面積狹小且能源匱乏但卻擁有良好海洋條件的台灣而言，是非常合適的。迄今為止，歐洲已經建立了 14 個海上風力發電場，主要在丹麥、荷蘭、瑞典、英國和德國，並且這些國家都制定了不同階段的海上風力發電發展計畫，例如丹麥計劃到 2030 年達到 4500 MW 的海上風力發電裝機容量，瑞典計劃到 2008 年在南部及中部海岸建設 560 MW 的海上風力發電場，德國計劃到 2020 年在北海及波羅的海實現 20400 MW 海上風力發電裝機，英國也制定了開發 7200 MW 海上風力發電的計畫。

海上風力發電場的風速雖然高於陸地風力發電場的風速，但海上風力發電場與電力網連接的成本比陸地風力發電場要高。海上風力發電場的發電成本與經濟規模有關，包括海上風力機的單機容量和每個風力發電場機組的數量。鋪設 150 MW 海上風力發電場所需的海底電纜與 100 MW 的差不多，因此機組的大規模生產和採用鋼結構基礎可以有效降低成本，目前海上風力發電場的最佳規模為 120~150 MW。在海上風力發電場的總投資當中，風力機組占 51%、基礎占 16%、電力接入系統占 19%、其他占 14%。丹麥電力公司用國際能源局 (IEA) 標準方法，按目前的技術水準和 20 年設計壽命計算，對海上風力發電場的發電成本估測為 0.05 美元/kWh (度)，如果壽命按 25 年計算還可減少 9%。

海上風力發電場的風力機與相應的陸地風力發電場的風力機基本上是相同的，它們的壽命都大約是 20 年，兩者的主要區別在於它們的尺寸。現在已經安裝的典型陸地風力機高度一般為 100~120 m，塔架的高度一般為 60~80 m，風力機葉片的長度一般為 30~40 m。海上風力機的尺寸一般都大於此一尺寸，而選擇大型風力機的原因主要是從經濟角度考慮。首先，降低風力機因離岸所產生的額外成本是海上風能技術發展所面臨的主要挑戰，其中海底電纜和風力機基座成本占主要部分，它受水深和離岸距離之影響較大，因此對額定功率的風場而言，應採用大功率風力機以減少風機個數，從而減少海底電纜和風機基座的成本。其次，對於海上風力發電場而言，不論風力機的大小，其安裝費用是非常一致的。安裝海上風力發電場風力機並沒有太高的技術要求，但是要把大型物體運輸到指定的地點，並且組裝如此大的機械設備需要在港口準備專門的設備、設施與精確計畫的進度表，並確保盡可能在比較溫和的天氣條件下施工。

根據工研院的分析指出,台灣地區陸地上風場年平均風速達 5~6 m/s 以上的強風區域超過 2000 平方公里,風力潛能約 3000 MW,因此保守估計台灣地區至少有 1000 MW 以上的陸上風力潛能可供開發。至於海上方面,估計台灣西部海岸約有 2000 MW 以上的發展潛力,因此台灣地區陸上與海上合計約有 3000 MW 的裝設容量。目前經濟部能源局已完成台灣地區風力潛能分佈圖,並在陸域評選規劃出共 250 MW 的風力發電場址,供民間規劃開發風力發電參考,另外考慮台灣有限的陸域場址,也著手進行海域環境資料蒐集分析,並完成 200 MW 離岸式場址評選及可行性研究,為開發台灣海峽海域風能準備。

由於京都議定書生效,經濟部積極推動再生能源,其中風力發電所占的比例最大。目前政府宣示,預計至西元 2010 年,台灣再生能源發電總裝置的配比,將由 5.45% 提升至 12%,經濟部能源局規劃風力發電占其中的 80%,所以台灣在 2010 年時必須增設風力發電量達 2160 MW。2160 MW 的裝置容量約等於目前開始的 5 年內每年須興建 200 座 2 MW 風力機。若按照陸地與海上風力潛能為 1:2 之比例計算,預計在 2010 年時,海上風力發電至少要有 1440 MW 的裝機容量,此不失為一大商機。

另一方面,國內較有發展潛力的風力機產業在國內有金豐機械、東元電機、力鋼工業以及磁震科技所發起成立的「台灣風力發電產業研發聯盟」。此研發聯盟之初期作法為先尋找技術合作夥伴。

事實上,即使上述的產業研發聯盟得以繼續研發,雖然其產業分工整合度很高,然而其出發點比較著重於風力機設備的關鍵元件技術開發,故其同質性較高。同時,參與計畫的官、學單位也較偏向於工業界,而和天然災害與海洋科學研究較無關聯。事實上,以台灣產業界的實力而言,研發大型風力機系統設備或許不是十分困難的關鍵所在;真正的瓶頸,恐怕在於一旦我們想把大型風力機組群從陸地移至台灣西部海上運轉時,這些海上大型風力機將面臨台灣海峽本土海域特有的環境如高溫、颱風、地震、波浪、洋流、海上較大的風速、雷擊以及海底下砂土層液化等天然災害,無時不刻的嚴苛威脅,再加上相關的觀測數據卻是相當稀少,而使得設置風險大幅增加。因此,相關風力機、塔架與基礎的設計條件,顯然是與陸上迥然不同,而是與這些天然條件的極端情況息息相關(例如:某場址 50 年回歸期的 10 min 平均風速與 100 年回歸期的 3 hr 平均浪高等參數),但此等資料需要相當數目的觀測方可訂定。同時,這些天然災害的危害度均與場址相關(意即其危害隨場址位置之不同而相異)。目前,除了金屬中心於 2006 年 8 月所籌組的「風力發電 CNS 國家標準草案審查委員會」(主要以翻譯 IEC 61400 系列為主)之外,國內與海上風力機安全相關的本土性設計與測試規範,目前可以說是付諸闕如。若在天然災害難以估計的情況下,再加上海上施工與維修困難,使得設置風力機於台灣西部海上的風險變得難以預測,一旦發生災

害其經濟損失與時間延宕，必定不堪設想。因此，即使是擁有豐富的海上風力資源潛能（約 2000 MW），但在危害度無法釐清之前，這些豐富的風能還是無法加以開發利用。

另一方面，國家科學委員會自然處、永續會與工程處長期資助海洋科學、天然災害的研究與防治。同時，國內與天然災害以及海洋科學相關的研究機構相當多，除了各大學及其附屬研究中心外，尚包括國研院之國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心與颱風研究中心，遙感探測中心、港灣研究所以及國家海洋科學研究中心等單位。因此，「台灣離岸風能發電國家級研究計畫」的最主要規劃目標，在於如何有效規劃整合這些研究單位豐富的人力、設備、經驗與研發能力，利用現有各種觀測資料或用數值模擬的方式，儘速針對台灣西部海域天然災害的危害程度進行詳細分析與評估，並將其適當微區劃分；藉此分析結果，可進一步草擬適用於台灣海域之風力機安全設計標準，作為產業界在設計時之依循參考依據。

計畫初期，將以海上無人監測平台及測風塔之規劃與設置為目標，並將依相關規定辦理規劃、設計與施工之招標程序。目前暫以彰濱外海（離岸約 5-10 km，水深 20 m）為離岸風力電場預定地，將於此場址設立兩座無人平台，其中一座無人平台將興建測風塔，針對台灣西部海域之風速、風向、氣象、波浪、地震、生態、腐蝕與沖蝕等自然條件，進行至少一年以上的觀測與調查；藉由台灣西部海域天然災害之危害分析與評估，草擬適用於台灣海域之基礎與風機安全設計標準，作為產業界在設計離岸風機系統時之依循參考依據；同時，將利用此監測平台調查中華白海豚、候鳥及其他底棲生物的生態行為，做為開發彰濱外海為離岸風能電場之評估依據。另一座無人平台將興建離岸風機（含塔架），設置海底電纜與機電設施，將產生之電力輸送至陸地，進行系統穩定測試後接地形成迴路（註：若電力未達 5MW 之電業規定下限，不得與現有電力系統併網），此可供作系統整合測試以及海上作業示範工程之用。

此外，本計畫擬統合各研究單位以加強研發能量，結合國內產官學研等單位之資源形成團隊，分別就風場調查、基礎資料調查與分析、風機研發、生態與環境、經濟與政策法規等進行研究，並建立國內離岸風力基礎資料庫；並透過國家級計畫之執行或是運用國際技術合作與技術引進之方式培育人才。

再者，期能透過與國際大廠技術交流與合作，建立我國離岸風能研發能量。國內市場雖不足以維持我國風機產業，但可先行發展零組件產製能量，配合內需市場之發展並透過工業合作機制，提供廠商成為國外系統廠 ODM 或 OEM 機會。藉由次系統之開發，建立後勤與維修能量外，更可就近進入中國大陸及東南亞市場，進而進入國際系統廠之全球供應鏈，發展成一可出口之新興能源產業。

本計畫係一為期六個月 (2007/7/1 - 2007/12/31) 的先期規劃作業計畫，預計將依照既定進度，於本 (96) 年度 11 月底之前提出「台灣離岸風能發電國家級研究計畫」之總體規劃報告書草案送審，並於 12 月底之前依照審查意見，修訂完成「台灣離岸風能發電國家級研究計畫」之總體規劃報告書，以利後續研究計畫之申請以及研究工作之展開。主要工作項目包括籌組相關規劃小組，且規劃小組的成員需涵蓋各個研究領域。此外，本先期規劃作業計畫將籌組參訪團 (以規劃小組成員為主)，前往歐美進行相關項目之參訪。本次赴德國及丹麥，即為歐洲部份行程。

過程

2007 年 10 月 8 日 – 德國風能研究機構 (DEWI)

由不來梅出發至位於威廉港 (Wilhelmshaven) 之德國風能研究機構 (DEWI)。德國風能機構是全球領先的風能研究機構，其在德國的 Cuxhaven 設有離岸項目認證中心，DEWI 還設有風力機認證及研究與服務。其所提供的技術服務諮詢包括：電力廠規劃、經濟性研究、項目認證、風力機動力性能、電力網聯結、噪音、即時監控及負載評估等。上午首先由 DEWI 研究部門主任 Dr. Thomas Neumann 簡介 DEWI 營運概況。DEWI 於 1990 年由德國 Lower Saxony 邦成立，旨在提供風力機產業發展之技術支援。目前 DEWI 為完全私有化之公司，並不接受政府之經費補貼。其最主要之業務項目為提供風力機整機測試與認證，但並不針對風力機零組件做個別認證。隨後由 DEWI 公共關係部門 Mr. Carsten Ender 進行兩篇專題簡報：Wind Energy Use in Germany – Status 30. 06. 2007 及 International Development of Wind Energy Use – Status 31. 12. 2006。該兩篇簡報內容主要針對德國本身及全球的風力發電產業現況做檢視。其中最令人印象深刻的數據是，在德國某些邦 (如 Sachsen-Anhalt，人口超過 240 萬人)，風力發電已足以提供用電需求的三分之一；以全德國而言，目前也已有約 7% 的電力來自風力發電。在國際現況方面，74,325 MW 的風力發電容量已設置完成，其中有超過 60% 安裝在歐洲境內；而目前全球有超過 25% 的風力發電機組，是來自丹麥公司 Vestas。相較之下，德國的三大風力機廠 (Enercon、Nordex、REpower) 於全球市場的合併市佔率約為 20%。



由不來梅前往威廉港 DEWI 沿途所見的風力發電機組 (一)



由不來梅前往威廉港 DEWI 沿途所見的風力發電機組 (二)



(左) 參訪團團長葉超雄教授與 Dr. Thomas Neumann 討論 DEWI 業務
(右) 參訪團團長葉超雄教授致贈 Dr. Neumann 與 Mr. Ender 紀念品

該日下午由 Mr. Carsten Ender 陪同前往 DEWI 設於威廉港近郊之風力機整機測試場，實地了解各式新型風力機於測試認證階段運轉的情形。



DEWI 風力機整機測試場 (一)



(左) Enercon E-112 風力機主體 (無齒輪箱設計, 額定發電功率: 4.5/6 MW)
(右) Enercon E-112 整機 (葉片直徑 113 m; 塔架高度 125m)



(左) Enercon E-112 風力機仰視
(右) 參訪團團員聽取 Mr. Ender 簡介 Enercon E-112 風力機

2007 年 10 月 9 日 - 漢諾威大學流體力學與土木工程電腦應用研究所 (ISEB)

由不來梅出發至漢諾威，前往漢諾威大學。漢諾威大學的學術聲望與排名在德國諸大學院校當中雖非特別突出，但其針對結構工程及海岸工程兩大類型的研究資源進行有系統地整合，使其於發展離岸風力發電研究領域具獨特優勢。ISEB 即屬於一整合性的研究組織，其研究人力的背景包含流體力學、結構分析、建築材料、鋼鐵結構、水泥結構、土壤力學、地基工程、水力工程、海岸研究等專長。該日 ISEB 由專門進行離岸風能發展的 GIGAWIND 研究計畫主持人 Prof. Zielke 親自出面接待，並有其他 8 位教授與碩士級以上研究人員為參訪團進行其研究項目的簡報，內容相當廣泛。唯所有資訊中最令人印象深刻的是，若要將風力機發電技術向海域拓展，最具挑戰性也最昂貴的部份，就是風力機塔架基礎工程與電力網路整合，這或許也是 ISEB 特別著重土木結構工程相關研究的主因。簡報結束之後，Prof. Zielke 即帶領參訪團人員至 ISEB 實驗室作短暫觀摩。



(左) 不來梅近郊設置的風力機

(右) 由不來梅至漢諾威 ISEB 沿途所見的風力機組 (一)



(左) 由不來梅至漢諾威 ISEB 沿途所見的風力機組 (二)

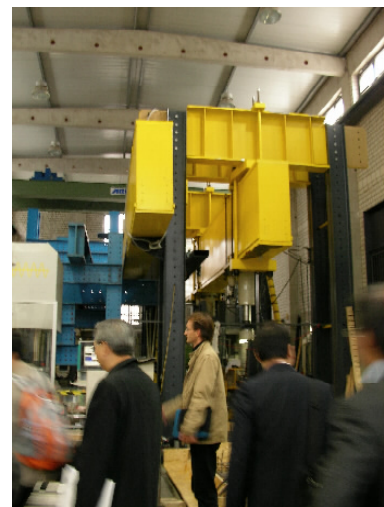
(右) Prof. Zielke (圖左) 簡介漢諾威大學及 ISEB，圖右為參訪團團長葉超雄教授



(左) 參訪團團員聽取簡報
(右) ISEB 參與簡報人員



(左) 參訪團團長葉超雄教授致贈 Prof. Zielke 紀念品
(右) ISEB 門外地標鋼構

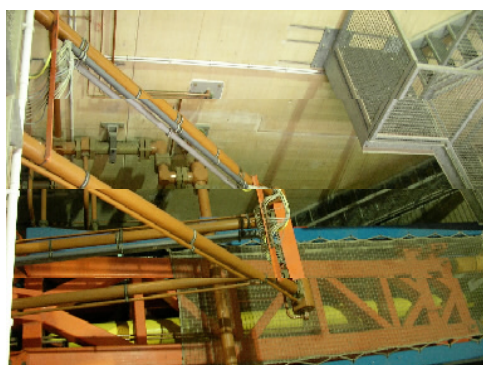


參訪團成員參觀 ISEB 實驗室

該日下午由 Prof. Zielke 帶領參訪團成員前往由漢諾威大學與布朗史威克科技大學 (Technical University of Braunschweig) 共同成立的海岸研究中心 (FZK, Forschungs Zentrum Küste, Coastal Research Center)。該中心的合作伙伴, 包含了漢諾威大學的水力與海岸工程系、流體力學系, 以及布朗史威克科技大學的水力系、土木工程電腦應用系等。FZK 的設立, 主要是針對海岸地區的水力、形貌動力及生態變化過程進行研究, 探討領域包含了海浪狀態模擬、堤防構築、海底沉積物輸送現象、離岸水下結構 (如風力機塔架基礎) 及防波堤設計等。其最為人所知的研究設施, 為長 307 m, 寬 5 m, 深 7 m 之水工模擬斷面槽。該水工斷面槽為全世界類似設施當中最大者, 以其輸出功率達 900 kW 的波浪產生裝置 (wave generator), 可產生浪高達 2 m 之波浪。搭配相對應的控制及測量系統, 此水工模擬斷面槽可用以進行廣泛且大規模的水力相關研究, 尤其在離岸風能正被大量探索開發, 而風力機塔架水下基礎又是關鍵之際, 此類型的研究設施更是具其必要性。參訪團成員均對如此大規模的實驗設施印象深刻。



FZK 內全球最大的水工模擬斷面槽



(左) FZK 水工模擬斷面槽之波浪產生器

(右) 參訪團成員於 FZK 水工模擬斷面槽合影

2007 年 10 月 10 日 - 赴漢堡搭機至哥本哈根

由不來梅出發至漢堡搭機, 前往哥本哈根, 進行丹麥部份的參訪行程。



由不來梅至漢堡搭機沿途所見的風力機組

2007 年 10 月 11 日 – 丹麥 Risø 國家實驗室

今日參訪團由駐丹麥台北代表處經濟組吳怡真商務秘書陪同，前往位於 Roskilde 的丹麥 Risø 國家實驗室風能部門。Risø 目前已與丹麥科技大學 (Denmarks Tekniske Universitet, DTU) 整併，為丹麥首屈一指的研究機構，共有七百位職員與三百五十位研究員，成立宗旨為「永續能源與健康科技的研發」。其研究領域涵括系統分析、風能、燃料電池與氫氣、生物能、新興能源科技、奈米生物科技、診斷與治療科技等。風能部門現有 115 名人員，除同時兼負教育計畫與提供國際顧問諮詢等任務外，其下又可分為氣象學、氣動彈性學、風力機渦輪、風能系統、測試與測量等組。

該日由風能部門資深科學家 Mr. Jens Carsten Hansen 接待本參訪團，隨即由本參訪團陳慧慈教授先就本次參訪目的作簡報。之後 Risø 風能部門人員分別就其研究主題進行詳盡的解說，包含丹麥離岸風能開發現況 (Dr. Niels-Erik Clausen)、浮動式離岸風力機 (Mr. Torben Larsen)、離岸風力資源勘測繪製 (Ms. Charlotte Hasager)、離岸風力機尾流問題 (Mr. Ole Rathmann)、熱帶氣旋考量 (Mr. Søren Ott)、離岸測量技術 (Dr. Niels-Erik Clausen) 等等。參訪團並於簡報結束後與 Risø 研究人員針對未來可能的國際合作模式進行討論。



(左) 丹麥 Risø 國家實驗室正門
(右) 參訪團陳慧慈教授簡報參訪目的



參訪團團長葉超雄教授致贈紀念品

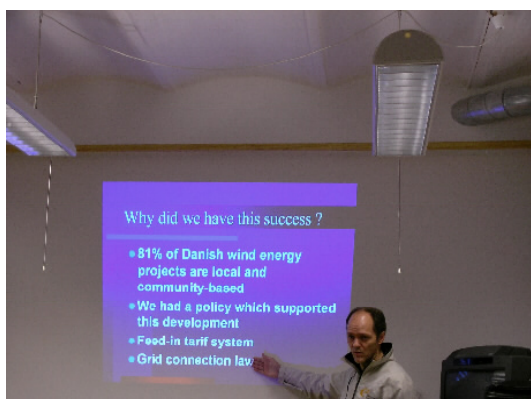
2007 年 10 月 12 日 – 哥本哈根 Middelgrunden 離岸風力發電場

本日參訪團由駐丹麥台北代表處經濟組高振愷組長及吳怡真商務秘書陪同，先行前往哥本哈根環境與能源辦公室，聽取 Mr. Jens H. M. Larsen 簡報關於 Middelgrunden 離岸風力發電場沿革，以及丹麥的能源政策和風力發電發展。

丹麥目前有超過五分之一的電力來自風力發電；除此之外，風力機系統也成為丹麥單一最大的製造業及外匯來源。自 1970 年代石油危機之後，丹麥政府即致力於推動各項能源計畫，以降低對化石能源的依賴，再加上 1980 年至 2000 年國會中佔絕大多數的綠黨支持，使丹麥的風力發電產業得以蓬勃發展。自 1957 年第一套風力機裝置 (200 kW) 於 Gedser møllen 運轉、1982 年起現代化風力機裝置開始投入營運以來，丹麥全境已有超過 3000 MW 的風力發電裝置容量，其中十分之一為離岸風能發電。

Middelgrunden 離岸風力發電場位於哥本哈根東方外海約 2 km 處，耗資 4800 萬歐元，於 2000 年正式營運。全場由 20 座 Bonus (現為 Siemens) 2MW 風力機 (塔架高度 64 m, 葉片直徑 76 m, 風力機總高 102 m) 組成，其 40 MW 的總裝置容量約可供給 20000 戶居民使用，每年共約產生 90 TWh 的電力，約

佔哥本哈根市 3%的電力需求。參訪團於簡報結束之後，隨即由 Mr. Jens H. M. Larsen 陪同，自哥本哈根港搭乘快艇實地瞭解離岸風力發電場運轉情形。



(左) Mr. Jens H. M. Larsen 簡報 Middelgrunden 離岸風力發電場
(右) 參訪團團長葉超雄教授致贈紀念品



參訪團實地參觀離岸風力發電場所搭乘快艇



Middelgrunden 離岸風力發電場 (一)



(左) Bonus 2 MW 風力機主體
(右) Middelgrunden 離岸風力發電場風力機組塔架基礎



Middelgrunden 離岸風力發電場 (二)

2007 年 10 月 13 日 – 搭機返台

2007 年 10 月 14 日 – 賦歸 (14 日抵台)

心得

本次參訪之國家，德國與丹麥，在風力發電領域皆有其代表性。德國目前為全球風力發電裝置量最高之國家，丹麥則是風力發電占總電力供應比例最高的國家，且其風力機產業業已居全球領先地位。欲理解其蓬勃發展背後的推手，可從兩個面向觀察。

首先是風力機本身的特性。以全球風力機單機裝置量越來越大、葉片越來越長、塔架越來越高的趨勢，不可否認地，風力機產業已經是不折不扣的重工業。這對一向以嚴謹工藝自豪且重工業發達的德國來說，相當於開創了一個全新的發展契機。再者，以陸域空間漸趨飽和，海域空間相對發展潛能較大的趨勢而言，風能的開發，尤其是離岸風力發電場的設立，已經是結合機械、電機、土木、海洋等多種領域的整合工程；即便這些產業相對於資訊電子領域而言，是「傳統」

產業，但是以現今全球風能開發的熱烈程度可見，傳統科技的整合仍然有相當多的開發空間與機會。

其次是政策的支持。以丹麥為例，自 1980 年至 2000 年間，國會中佔大多數的綠黨通過了一系列的政策與方案，大力推動風力發電的開發。因此，丹麥目前超過八成的風力發電計畫是奠基於當地居民與社區的直接參與，而不是控制在少數電力公司手中。再者，關於風力發電電價的收購價格，也有明文規範；在某種程度上來說，丹麥人民之所以願意直接參與風力發電計畫，除了環保意識的激勵之外，也同時有投資獲利的誘因。

即便是在風力機產業已居全球領先地位的丹麥，根據 Risø 的研究員表示，丹麥大眾是在不久之前才恍然大悟，風力機已經取代傳統的培根，成為丹麥最大的出口產業；而丹麥教育當局也是在近兩年，才正式開設專精於風力發電領域的高等教育學程。我國在致力發展類似的能源產業時，是否也應考慮配套的人才培育養成計畫？

有關於設置離岸風力發電場對海洋生態及環境觀瞻是否有害，目前仍眾說紛紜。但根據在丹麥參訪所了解，離岸風力機塔架基礎的平台，往往成為海鳥休息的處所；塔架基礎於水下的部份，也成為了另外一種形式的人工魚礁。以哥本哈根外海的 Middelgrunden 離岸風力發電場為例，即便在設立之前引發了諸多的爭議與辯論，但現在已儼然成為哥本哈根的新地標；而風力機設置區禁止使用拖網的規定，事實上也保護了該區域的海底生態。

在即將離開哥本哈根之際，參訪團在機場看到了足以說明丹麥在風力發電領域稱霸的強烈企圖心：以樂高 (LEGO) 搭建的 Vestas 風力機模型及風力發電情境模擬。樂高積木亦為丹麥代表性的產品之一，以積木作為宣傳媒介，確實是令人驚豔的創意！



(左) 以樂高積木搭建的 Vestas 風力機模型
(右) 風力發電情境模擬：城市



(左) 風力發電情境模擬：離岸
(右) 風力發電情境模擬：沙漠



(左) 風力發電情境模擬：山區
(中) 風力發電情境模擬：雪地
(右) 風力發電情境模擬：住家

建議事項：

1. 為提升我國能源自主性與安全性，應積極進行替代化石能源之科技。
2. 新能源利用之科技研發需跨產官學研單位，並涉及數個部會署，因此橫向整合須特別加強。