

出國報告 (出國類別：洽公/實習)

離岸風力之規劃及發包、訓練設施、基礎施工、電纜連接及監控保護等技術洽公與實習



服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳蒼賢/副總經理

林孟德/地上結構課長

陳盈在/主管發電

派赴國家：歐洲(德國、丹麥、挪威)

出國期間：105/5/25 ~ 105/6/8

報告日期：105 年 8 月 1 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：離岸風力之規劃及發包、訓練設施、基礎施工、電纜連接及監控保護等技術洽公與實習

頁數 33 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳蒼賢/台灣電力公司/副總經理/02-23666920

陳盈在/台灣電力公司營建處/電氣組/主管發電/02-23668511

林孟德/台灣電力公司青山施工處/技術組/地上結構課長/04-25951881

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105/5/25~105/6/8 出國地區：歐洲(德國、丹麥、挪威)

報告日期：105年8月1日

分類號/目

關鍵詞：離岸風力發電、浮式基礎

內容摘要：(二百至三百字)

為因應國家再生能源政策及台灣電力公司(以下簡稱本公司)於離岸風力發電之承諾，本公司刻正進行離岸風力發電之相關規劃及發包作業，故須對國際離岸風力發電之發展進行了解及評估，以做為近期離岸風力發電計畫及未來本公司對於離岸風力發電整體佈局之參考。

爰上所述，本次出國任務主要針對離岸風場規劃、發包策略、風機製造與安裝、現場施工及未來發展等項目分別進行考察研習，依次參訪之國外公司及內容包括：1. DNV GL 公司：討論風場規劃、發包策略及

未來發展；2. SENVION 及 SIEMENS 公司：了解風機製造、監控與預組裝場方式；3. NIRAS 公司：討論離岸風場施工管理；4. 赴 MIDDELGRUND 風場實際目睹風機於海上運轉之情況；5. SWAY 公司：了解風機開發及浮式基礎之發展。

藉由參訪國外公司及施工現場，並探討本公司第一期離岸風力發電計畫之重要課題，如發包策略、風機全生命週期成本如何於招標中考量並克服目前資訊不足的狀況下進行招標等，透過本次參訪期能吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，供本公司第一期離岸風力發電計畫及未來離岸風力發電發展策略等之參考。

目 錄

摘要	8
壹、 目的與過程.....	9
一、 緣起.....	9
二、 目的.....	9
三、 過程.....	9
貳、 參訪及研習內容.....	11
一、 DNV GL 公司.....	11
1. 公司簡介.....	11
2. 參訪內容.....	11
二、 SENVION 公司.....	15
1. 公司簡介.....	15
2. 參訪內容.....	15
三、 SIEMENS(組裝工廠、遠端控制診斷中心及訓練中心)	17
1. 公司簡介.....	17
2. 參訪內容.....	17
四、 SIEMENS 組裝工廠及與預組裝碼頭.....	21
五、 NIRAS 公司	22
1. 公司簡介	22
2. 參訪內容.....	22
六、 MIDDELGRUND 風場.....	29
1. 風場簡介.....	29
2. 參訪內容.....	29
七、 SWAY 公司.....	30
1. 公司簡介及參訪內容.....	30
2. 浮式平台基礎之發展.....	31
參、 心得及建議.....	35

圖目錄

- 圖 1 參訪地點一(德國、丹麥)
- 圖 2 參訪地點二(挪威 Sway 公司)
- 圖 3 歐洲離岸風電成長趨勢預估
- 圖 4 歐盟離岸風電新增及累計裝置量
- 圖 5 2015~2025 全球各國離岸風電計畫裝置量
- 圖 6 離岸風力不同的浮式基礎型式
- 圖 7 陳副總經理與 DNV GL Dr. Helmut Klug 合影
- 圖 8 Senvion 公司實績及未來送交之風機數量
- 圖 9 Senvion 公司風機置放場合影
- 圖 10 Senvion 組裝工廠外風機部件儲放場
- 圖 11 Siemens 公司 Brande 基地
- 圖 12 Siemens 6MW 風機組裝工廠
- 圖 13 遠端控制診斷中心
- 圖 14 Siemens 訓練中心
- 圖 15 參觀 Siemens 早期風機
- 圖 16 風機內機電設備故障排除訓練設備
- 圖 17 海纜與風機內電纜接續訓練設備
- 圖 18 風機塔架間螺絲鎖定位訓練台
- 圖 19 開關箱及儀表設備訓練台
- 圖 20 風機內電梯訓練台
- 圖 21 風機內人員受傷搬運訓練
- 圖 22 風機維修人員受傷吊升訓練
- 圖 23 風機維修人員繩索升降訓練
- 圖 24 Siemens D6 風機機艙置放場
- 圖 25 風機部件搬運多輪車
- 圖 26 風機完成預組裝放置場
- 圖 27 碼頭旁風機塔架組立之基礎
- 圖 28 風機預組裝場之輪轂及塔架

- 圖 29 風機內機電設備預組立廠房內部
- 圖 30 海底電纜與陸纜連接介面示意圖
- 圖 31 單芯海底電纜剖面
- 圖 32 單芯陸用交連 PE 電纜剖面
- 圖 33 鏈形佈設
- 圖 34 環形佈設
- 圖 35 單側環形佈設
- 圖 36 雙側環形佈設
- 圖 37 星形佈設
- 圖 38 環形佈設多中繼接線箱
- 圖 39 風力發電設備之低電壓持續運轉能力
- 圖 40 於 NIRAS 公司會議情形
- 圖 41 會議後於 NIRAS 與會人員合影
- 圖 42 MIDDELGRUND 風場景色
- 圖 43 風場工作船隻
- 圖 44 比例 1:6 風機
- 圖 45 通過 100 年回歸週期北海風暴之考驗
- 圖 46 Sway 2 設計概念
- 圖 47 Sway 10MW 風機示意圖
- 圖 48 Sway Turbine 與傳統直驅式風機之成本比較
- 圖 49 不同海域深度與對應基座結構關係
- 圖 50 離岸風機設置之成本分析圖
- 圖 51 離岸風力機之浮式平台基礎種類
- 圖 52 WindFloat 半潛式浮式平台

表 目 錄

- 表 1 Senvion 風機發展情形
- 表 2 近年浮式平台基礎風機發展趨勢
- 表 3 離岸風電浮式平台基礎技術類別比較

摘要

為因應國家再生能源政策及台灣電力公司(以下簡稱本公司)於離岸風力發電之承諾，本公司刻正進行離岸風力發電之相關規劃及發包作業，故須對國際離岸風力發電之發展進行了解及評估，以做為近期離岸風力發電計畫及未來本公司對於離岸風力發電整體佈局之參考。

爰上所述，本次出國任務主要針對離岸風場規劃、發包策略、風機製造與安裝、現場施工及未來發展等項目分別進行考察研習，依次參訪之國外公司及內容包括：
1. DNV GL 公司：討論風場規劃、發包策略及未來發展；
2. SENVION 及 SIEMENS 公司：了解風機製造、監控與預組裝場方式；
3. NIRAS 公司：討論離岸風場施工管理；
4. 赴 MIDDELGRUND 風場實際目睹風機於海上運轉之情況；
5. SWAY 公司：了解風機開發及浮式基礎之發展。

藉由參訪國外公司及施工現場，並探討本公司第一期離岸風力發電計畫之重要課題，如發包策略、風機全生命週期成本如何於招標中考量並克服目前資訊不足的狀況下進行招標等，透過本次參訪期能吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，供本公司第一期離岸風力發電計畫及未來離岸風力發電發展策略等之參考。

壹、目的與過程

一、緣起

本公司近期配合政府推動「再生能源極大化」之新能源政策，規劃中的離岸風力發電第一期計畫技術服務標已發包進入規劃設計階段，並規劃於109年竣工商轉，未來15年內風力將是本公司再生能源開發之主力。然對於離岸風力之發包、設計、施工、運維等，本公司並無相關經驗，須積極汲取國外之專業技術能力。

在先進國家中，歐洲北海鄰近各國離岸風力發展方興未艾，其不僅是發展商業風力發電的先驅，也是世界上風力發電最為普及的地區，對於離岸風力的開發及施工已發展相當成熟，可供借鏡學習。因此，實有必要至發展離岸風力經驗豐富的歐洲各國考察研習離岸風力之發包、規劃及施工等相關做法及技術，對於將來本公司離岸風力發電開發及海事施工技術將有極大之助益。

二、目的

藉由對國際離岸風力發電之發展進行了解及評估，作為近期本公司離岸風力發電計畫及未來對於離岸風力發電布局之參考。並針對風場規劃、發包策略、風機製造與安裝、現場施工及未來發展等項目透過本次參訪期能吸取先進國家之技術與經驗及未來發展趨勢，供本公司第一期離岸風力發電計畫及未來離岸風力發電發展等策略之參考。

三、過程

本次出國任務主要針對離岸風場規劃、發包策略、風機製造與安裝、現場施工及未來發展等項目分別進行考察研習，行程由位於德國不來梅的 DNV GL 公司開始，再一路北上依序至風機製造商 SENVION 公司及丹麥 SIEMENS 公司、NIRAS 公司，最後至挪威 SWAY 公司，主要之行程紀要如下：(路線地點詳圖 1、圖 2)

105 年 5 月 25 日(三)	去程(台北-法蘭克福)
105 年 5 月 26 日(四)	抵達德國布萊梅
105 年 5 月 27 日(五)	參訪 DNV GL 及 SENVION
105 年 5 月 30 日(一)	參訪 SIEMENS 訓練設施
105 年 5 月 31 日(二)	參訪 SIEMENS 組裝工地

- 105 年 6 月 1 日(三) 參訪 NIRAS
- 105 年 6 月 2 日(四) 現勘 MIDDELGRUND 風場
- 105 年 6 月 3 日(五) 抵達挪威 BERGEN
- 105 年 6 月 6 日(一) 參訪 SWAY
- 105 年 6 月 7 日(二) 返程(阿姆斯特丹-台北)



圖 1 參訪地點一(德國、丹麥)

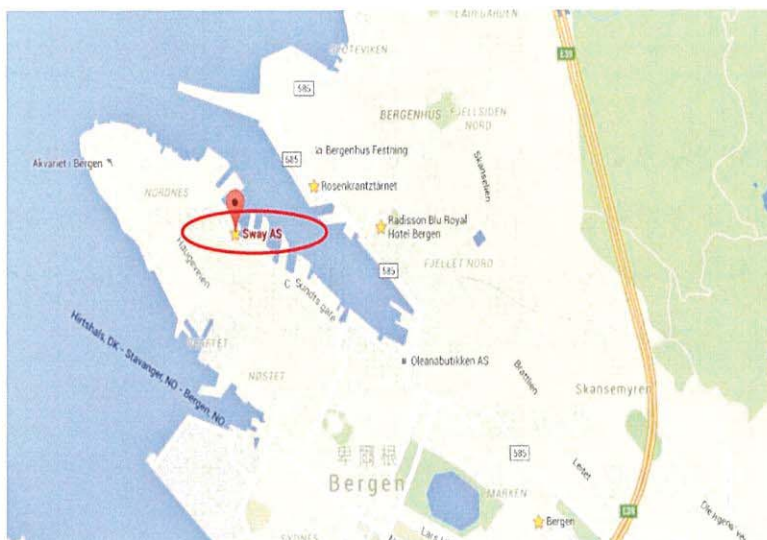


圖 2 參訪地點二(挪威 Sway 公司)

貳、參訪及研習內容

一、DNV GL 公司

1. 公司簡介

DNV GL 的歷史可上溯至 1864 年，當年 DNV 為一家在奧斯陸成立之會員制組織。挪威的海事保險協會聯合起來建立一套統一的規範和程式用於評估船舶保險的風險，目的是為挪威籍商船提供可靠並統一的評級和課稅。

GL 於 2008 年購買了英國公司 Advantica，於 2009 年購買了馬來西亞公司 Trident 拓展在石油天然氣領域的諮詢服務範疇。且 GL 於 2009 年與 Noble Denton 公司的合併進一步拓展在海工技術服務領域的業務。而 2012 年，DNV 聯手 KEMA 建立了世界上領先的全球能源領域的諮詢、測試和認證公司。DNV 與 GL 於隔年最終合併成功，DNV GL 集團於 2013 年 9 月開始營運。DNV GL 集團在 100 個國家擁有 15,000 名員工，在海事、石油天然氣、能源以及食品和保健領域奠定了全球領先地位。

在能源領域 DNV GL 為再生能源和能源效率等能源價值鏈提供測試和諮詢服務，其範圍涵蓋陸上和海上風能、太陽能、傳統發電、輸電和配電、智慧電網、可持續能源利用以及能源市場和法規。其中對於離岸風力發電領域於全球處於領先地位，尤其在離岸風力開發之規劃、設計、驗證及顧問等服務預備豐富經驗。

2. 參訪內容

此次參訪係因本公司第一期離岸風力發電之發包作業在即，藉由此次參訪針對招標之發包策略，與該公司進行討論。會議首先聽取該公司之簡報，說明歐洲離岸風力之發展過程和現況，本公司參訪人員並提出(1)台灣與歐洲的海上風機設置條件不同(例如台灣較多地震及颱風)，在設計上及維護上要注意事項(2)海上風機的經常性及重要備品清單有哪些，以及備品更換的頻率為何(3)在海上裝設風機安全作業有哪些注意事項做交流討論。此外，亦就該集團對於未來能源佈局及未來趨勢進行討論，以作為未來台電公司電力事業規畫之參考。

(1)歐洲離岸風力之發展過程

- 歐盟於 2009 年 6 月通過 Directive 2009/28/EC，期望在 2020 年前將再生能源比例增加至電力需求的 20%，因此各國必須在 10 年內大幅增加再生能源使

用比例。

- 歐盟各國所提交的 National Renewable Energy Action Plans (NREAP)，其中有 25 國之再生能源目標達 20.7%，超越歐盟 2020 年原訂目標 20%，按此目標估計 2020 年歐盟電力供應約 34% 來自於低碳能源及再生能源，其中風力將占 14%。
- 據 EWEA 報告預估，歐洲離岸風電呈現持續成長趨勢，至 2020 年累計裝置容量可達 40 GW(詳圖 3)，預估到 2030 年累計裝置容量將達到 150 GW，將可滿足歐盟約 13.9% 電力需求。

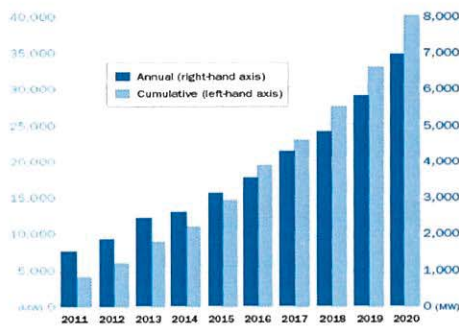


圖 3 歐洲離岸風電成長趨勢預估
(資料來源：DNV GL)

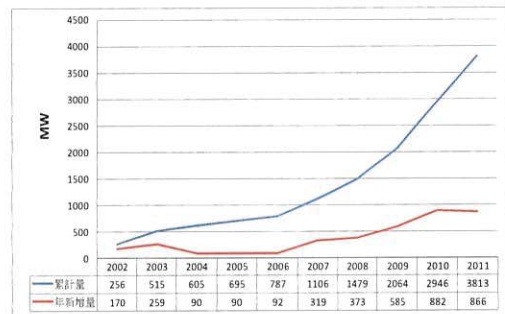


圖 4 歐盟離岸風電新增及累計裝置量
(資料來源：GWEC)

- 離岸風電設置量方面，依據 GWEC 統計歐盟至 2011 年累計設置達 3,813 MW (詳圖 4)，約占全球風力發電總設置的 1.6%；而歐盟於 2011 年度離岸風電新增設置量約為 866 MW，且離岸風電年成長率自 2007 年起平均保持 37.2%，預估至 2020 年全球離岸風電新增設成長量將占風電新增設置總量的 10% 以上，可見歐盟對於離岸風電開發的積極進展與成果。
- 2015 年全球離岸風力裝置容量共 12.1GW，其中歐洲占 11.0GW，亞太地區為 1.1GW。裝置容量前 5 名依序為英國(5,061MW)、德國(3,295MW)、丹麥(1,271MW)、中國(1,018MW)及比利時(712MW)，詳見圖 5。

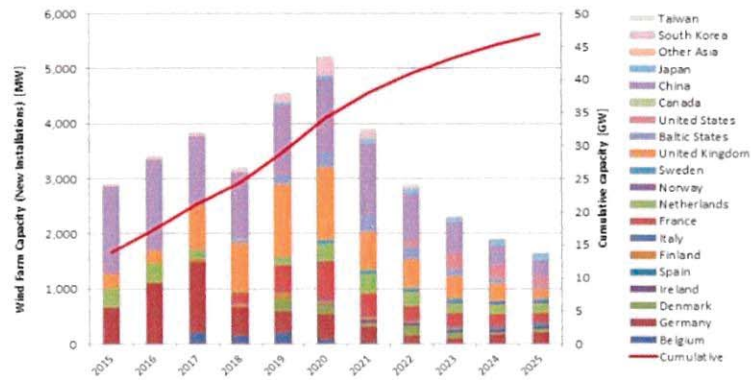


圖 5 2015~2025 全球各國離岸風電計畫裝置量(資料來源：DNV GL)

- 歐洲離岸風力開發技術發展之比較，從早期 1991 年丹麥的 Vindeby 風場，離岸約 1~3 公里、水深約 2~4 公尺、輪轂高 35 公尺、葉片 17 公尺、11 部 450kW 的風機，到 2015 年德國的 Global Tech 風場，離岸最遠已達 115 公里、水深 38~41 公尺、輪轂高 90 公尺、葉片 58 公尺、80 部 5MW 的風機，其技術發展已不可同日而語。除了近年風機已由 450kW 發展至 7~10MW，另未來亦將朝離案更遠與水深更深的地區開發。當離岸風電場址愈接近高深水區及海床更複雜的區域時，其風機基礎也不斷依需求演變，在技術及成本的考量下，適用於高深水區的浮式基礎(Floating foundation，如圖 6)預期未來將取代固定式基礎成為技術的發展方向。



圖 6 離岸風力不同的浮式基礎型式(資料來源：DNV GL)

- 歐洲離岸風電設備主要供應商有德國 Siemens、丹麥 Vestas、印度 RE power、德國 BARD、芬蘭 Winwind、美國 GE 及法國 Areva 等，以德國 Siemens 及丹麥 Vestas 兩家企業市占率最高。而歐洲離岸風電市場亦已形成產業鏈結構，分別為風機製造業、塔架及基座製造業、電力設備製造業、海事工程承包業、

電纜製造業、電纜鋪設承攬業、EPCI (Engineer-Procure-Construct-Install) 承攬業、港口營運業等項。在推動未來台灣的離岸風電發展時，政府相關單位亦希望能藉此帶動國內離岸風電相關產業鏈，增加工作機會，改善經濟情況。甚至考慮建置專門從事海事工程技術與專業開發之離岸風電國家團隊，培訓離岸風電技術專業人才，協助國內產業需求，進而發展至亞洲各國的離岸風電市場，惟面對歐洲成熟技術市場的競爭，恐仍有諸多變數。

- 依據目前整個風力發電市場趨勢，陸域部分的發展已逐漸減少，相對的離岸部分則呈持續成長之趨勢。惟在看好全球離岸風電發展的同時，DNV GL 特別提出警示，即目前有部分離岸風力計畫案發生延遲情形，開發速度較預期走緩，其主要影響因素包括技術及政治方面等之問題等，而此部份之問題在台灣亦可能存在，值得有關單位留意。

(2)發包策略部分：因涉及近期招標內容，因此僅概略說明。DNV GL 對於發包方式建議本公司必須考量風險及能力，再決定發包方式採用 EPCI 或分包方式 (multi-contracts)。對於本公司為因應承包商可能因為備標時間短促，而來不及備標作業，故擬先於公開閱覽前先公開招標文件提供廠商陳述意見之作法表示可行，但仍建議需要謹慎評估計畫期程，避免因為計畫期程過短而趕工，導致風險提升。另對於合約中可否保證發電量，及海上風能資料來不及提供廠商，而導致發包風險提升等事項亦進行廣泛討論，聽取該公司之建議。

(3)未來能源佈局及趨勢 DNV GL 公司建議：大型風力發電、燃料電池、能源使用預測、智慧電網、及能源儲存等服務為未來能源之趨勢，本公司應及早整合、並進行可行性研究、提供未來能源佈局及帶動新型能源經濟。對於此項意見本公司參訪人員已提出抽蓄發電等構想，可做為未來本公司能源儲存之參考。



圖 7 陳副總經理與 DNV GL Dr. Helmut Klug 合影

二、SENVION 公司

1. 公司簡介

Senvion 為德國風機公司，其前身為於 2001 年成立之 Repower 公司，於 2005 年成為 Senvion 公司，從事風機開發及製造，目前風機單機容量由 2MW 至 6.2MW，銷售陸上及離岸風機，如表 1 所示。

目前該公司已銷售之風機累計容量已達 1.37GW，至全球 11 個國家，已安裝 156 部風機，共計 900MW。Senvion 目前於離岸風機市場主要銷售 5MW 及 6MW 等級之風機，目前最大風機為 6.2M152(詳圖 8)。

2. 參訪內容

本次訪問除聽取該公司風機之發展外，亦探詢該公司對於亞洲市場、尤其是台灣市場之興趣。惟目前該公司之風機並未銷售 60Hz 風機，不符合台灣電力系統之規格，因此暫時無法進入台灣市場。但該公司目前對歐洲以外之市場極具興趣進行了解，而該公司亦正進行更大型風機之開發，未來本公司於下一階段之風場開發可行性研究時對該公司值得持續關注。

該公司人員帶領本公司參訪人員參觀該公司位於 Bremenhaven 港區內之組裝工廠，惟受限於 Senvion 公司保密政策，不得進行拍照、錄音及攝錄影。圖 9 為該公司組裝廠外所存放之 6.2MW 風機，風機上方紅色圍籬係提供直升機運輸人員升降之平台。該臨時存放之風機將於稍後由旁邊碼頭裝載至安裝船上，運輸至 Nordergrunde 風場進行安裝作業。此外，該公司於參觀工廠前須進行工安注意事項之說明，並且必須穿著反光衣並戴安全帽。

圖 10 為 Senvion 組裝工廠外風機部件存放場，可見照片右側有葉片存放，照片左側可見機艙及輪轂存放。據了解，Senvion 公司之葉片工廠亦位於 bremenhaven 港區內，因此可見其葉片存放情形。

表 1 Senvion 風機發展情形

Business model	Shareholder information	Financial performance
<ul style="list-style-type: none"> Wide ranged product portfolio with wind turbines ranging from 2 MW to 6.2 MW Senvion develops, produces and markets on- and offshore turbines Other customer-specific solutions (e.g. transport, installations, foundation layout, operations & maintenance, SCADA control & monitoring systems) 	<ul style="list-style-type: none"> 2001 foundation of REpower Systems AG 2015 acquisition by Centerbridge Partners 2015 Senvion has changed its company form and operates as Senvion GmbH 	<ul style="list-style-type: none"> Revenue €bn 1,683 (FY 2015*) Adjusted EBIT €m 136.3 (FY 2015*) €bn 2,508 order backlog (firm orders, end of December 2015)



圖 8 Senvion 公司實績及未來風機數量



圖 9 Senvion 公司風機置放場合影



圖 10 Senvion 風機組件儲放場

三、SIEMENS (組裝工廠、遠端控制診斷中心及訓練中心)

1. 公司簡介

Siemens 公司為國際知名之能源設備生產廠商，離岸風力發電系統目前之市場佔有率居首要地位，其發電系統之主要基地位於丹麥，其中機艙之組裝工廠則位於 Brande。

2. 參訪內容

本次參觀西門子 4MW 組裝工廠及 6MW 組裝工廠、遠端控制診斷中心及訓練中心。到訪當天，該公司特別升起中華民國國旗表示歡迎(圖 11)。惟受限於 Siemens 公司保密政策，不得進行拍照、錄音及攝錄影，因此僅部分參訪位置獲得該公司同意供台電公司內部參考，不得公開或使用於其他用途。因本公司第一期離岸風力發電之發包作業在即，藉由此次參訪針對招標之發包策略，與該公司進行討論，經雙方討論結果：有關運轉維護方面因本案屬國內第一次離岸風力發電工程，為降低台電公司初期對離岸風場運維壓力及進行技術轉移，建議得由得標廠商運維 5 年方式招標，且因國內廠商缺乏離岸風機工程實績，建議得採共同投標(JV)方式招標，俾國內廠商有機會參與投標及扶植國內風電產業目的，討論中亦詢問該公司參與本公司離岸一期計畫是否扮演主投標廠商之意願，該公司亞太地區負責人 Ole 表示因本案主投標廠商將面對碼頭、後線場地、上岸點及漁業權等問題，是否扮演主標商或僅為風機供應商必須審慎評估。



圖 11 Siemens 公司 Brande 基地

由於 D4 及 D6 組裝工廠不得攝錄影，因此僅以網路照片供參考。根據帶領人員表示，D4 組裝工廠之生產能量可根據需求進行調整，必要時可調用已經過組裝訓練之臨時聘僱人員增加產能。此外，由於 D6 風機已經停止販售，因此當消化完目前 D6 訂單後，D7 風機將使用現有生產線接續生產。且 D4 風機亦同，未來將作為 D7 風機輪轂組裝之用。亦即 D6 目前不再銷售，D4 風機未來亦將停止在 Brande 生產。圖 12 中風機組裝廠人員動線如白線所示，風機鋁梯僅可供兩人同時進行進出作業。機電設備之吊放則使用照片上方之天車進行安放作業。右側之通道則供一邊人員及參訪人員使用，可避免影響風機安裝作業。通道下方之工作區域則為機電設備組配及檢驗區域。



圖 12 Siemens 6MW 風機組裝工廠

資料來源：

<http://www.sierraclub.org/sierra/2015-1-january-february/feature/leading-edge#7>

圖 13 為遠端控制診斷中心，圖中風機影像為全球風機資訊，提供該公司隨時監視所有風機動態及操作，以進行風機故障診斷、故障排除及維修聯繫協調事宜。

圖 14 為 Siemens 訓練中心，圖 15 後方之風機為 BONUS(Siemens 風機前身)早期 30 kW 級風機，目前用於解說用途。圖 16 至圖 23 為訓練中心之各項設施照片。包括機電設備故障排除訓練設備(圖 16)、海纜與風機內電纜接續訓練設備(圖 17)、風機塔架間螺絲鎖定訓練台(圖 18)、開關箱及儀表設備訓練台(圖 19)及風機內電梯

訓練台(圖 20)等皆為人員於風機內進行組裝、安裝及維修等之訓練設備。此外，對於維修人員之基本技能、安全及急救等訓練亦於該中心進行訓練，如圖 21~23 所示。本公司未來亦須針對施工及維修人員進行相關詳實的訓練，以提升風機妥善率及人員作業安全。



圖 13 遠端控制診斷中心

資料來源：

http://www.siemens.com/press/pool/de/pressebilder/2014/energy/energy-service/300dpi/ESE201409071-01_300dpi.jpg



圖 14 Siemens 訓練中心



圖 15 參觀 Siemens 早期風機



圖 16 風機內機電設備故障排除訓練設備



圖 17 海纜與風機內電纜接續訓練設備



圖 18 風機塔架間螺絲鎖定訓練台



圖 19 開關箱及儀表設備訓練台



圖 20 風機內電梯訓練台



圖 21 風機內人員受傷搬運訓練



圖 22 風機維修人員受傷吊升訓練



圖 23 風機維修人員繩索升降訓練

四、SIEMENS 組裝工廠及與預組裝碼頭

本次參觀西門子於 Esbjerg 港區內，6MW 後組裝工廠及預組裝港口，實際了解西門子公司 6MW 風機之機艙與直驅式發電機之後組裝，及 4MW 風機於碼頭前之預組裝過程，現場實況詳圖 24~圖 29，機艙與輪轂預先於陸上工作站進行組裝，屆時此場區亦可作為機艙與輪轂之組裝場地。而關於場內運輸部分，考量兩元件之荷重，一般採 SPMT(Self-propelled modular transporter)進行運輸；而一般塔架分 2~3 節進口，平時儲放採水平放置，為減少施工時海上吊運作業時間，通常於施工前會預先運送至碼頭邊之組裝區垂直組裝，再裝載於船機並運輸至工址施工，因塔架垂直立放時承載面積較小，故須額外考量組裝區之地盤承載力。



圖 24 Siemens D6 風機機艙置放場



圖 25 風機組件搬運多輪車



圖 26 風機完成預組裝放置場



圖 27 碼頭旁風機塔架組立之基礎



圖 28 風機預組裝場之輪轂及塔架



圖 29 風機內機電設備預組立廠房內部

五、NIRAS 公司

1. 公司簡介

NIRAS 是一國際性、綜合型工程顧問公司，業務位於歐洲、亞洲和非洲，全球超過 1400 名員工。主要業務是建築和基礎設施、公共事業、環境和自然資源、氣候變化和能源、規劃和開發諮詢等服務。歐洲地區業務主要在丹麥、芬蘭、德國、挪威、波蘭、瑞典和英國等地設有辦公室。另於東歐、中東、亞洲和非洲等開發中國家成立當地辦事處，支援其國際業務。

NIRAS 公司自 1989 年起參與歐洲第一個離岸風力發電開發計畫 Vindeby 後，已擁有 25 年作經驗及超過 50 個離岸風力發電開發計畫(總容量約 20GW)之工程實績。單就離岸風力發電開發這一領域，NIRAS 公司即擁有 5 位博士及 17 位碩士共約 100 名核心專業團隊，從事包含海事、地工、港口、環工、流力、結構、土壤、電機、機械等服務工作。

NIRAS 公司最近正協助比利時 Northwind Offshore Wind Farm 之基礎詳細設計服務，也曾參與英國於 2006 年商轉之第一個離岸風力發電開發計畫(Barrow)。並自 2011 年起在台灣參加多項相關離岸風力發電開發計畫，包括(1) 經濟部工業局之工業合作計畫，(2) 工研院之離岸風力發電開發政策、法規、技術及工業經驗建議，(3) 永傳公司之福海風場示範機組規劃及基礎詳細設計。

NIRAS 目前為本公司離岸風力第一期計畫設計技術服務標共同投標團隊之一員，其擁有豐富之離岸風力發電開發經驗，將負責離岸風力發電工程風險最高之海域工程之技術服務，施工期間亦將派遣具有豐富離岸風力電工程經驗之各領域專業外國顧問進駐工地辦理施工監造諮詢並提供相關訓練課程等。

2. 參訪內容

本次參訪除聽取 NIRAS 對於離岸風力發電服務相關內容之介紹外，因該公司亦為技術服務標共同投標團隊之一員，將以 HOME-SUPPORT 方式審查廠商送審之施工及文件圖說，亦針對本公司離岸風場開發之監造策略進行廣泛性的討論，其中並討論臺中港 5A 與 5B 碼頭摘要如下：

臺中港 5A 與 5B 碼頭距工址約 28 海浬，使用上 5A 碼頭規劃原作為散雜貨裝卸

碼頭，碼頭船席設計水深為-11公尺，碼頭長度為220公尺，碼頭寬度為23.5公尺，碼頭設計承载力為3T/M3，碼頭採棧橋式結構設計，以每排8支直樁支撐面版，並於後線打設混凝土錨碇版及設置拉桿來抵抗水平方向作用力；緊鄰5B碼頭位置靠近臺中港北泊渠底，原作為儲木池使用，目前儲木池相關設施已拆除，碼頭岸壁現況為方塊式直立護岸，另於5A碼頭交界處設有一方塊式突堤(約39.5公尺×24.7公尺)，目前碼頭尚未興建，依據臺中港物分公司規劃，5B碼頭船席設計水深為-10公尺，碼頭長度為180公尺。因本區域位於港區費，相關水域靜穩度良好，經評估碼頭設計長度與設計水深均能夠符合多數離岸風電作業船機使用需求，在陸上工作站部份，因5A、5B碼頭後線及鄰近4C碼頭後線場地面積約12.8公頃，皆為素地，亦可符合本計畫陸上工作站之場地需求。

為因應離岸風力發電開發之施工需求，臺中港務分公司目前正在執行「臺中港5A碼頭改建及5B碼頭新建工程」之設計招標作業，並辦理臺中港5A、5B碼頭與後線及4C後線場地之標租，配合標租及設計作業，5A、5B碼頭之改建及新建目前規劃於106年正式施工，預計108年年初完工。若招標順利，該工程時程應可配合本計畫之施工作業期程，屆時5A、5B碼頭將可提供作為離岸風電施工碼頭場地使用，未來施工廠商則需依據碼頭設計條件選擇合適之裝載運輸方式。

此外簡報內容含括工程及管理二大部份；管理包含計畫管理、契約管理、風險管理、介面管理、邏輯計畫、瓶頸管理、建築管理、港口邏輯管理、安裝管理、環境管理、運轉維護及除役；而基礎設計工程簡報部份則包含地質工程(地質資料準備、打樁、液化分析、週期退化等)、水力工程(海床活動性、淘刷估計、海洋氣象研究、基礎上之流體力學載重)、結構工程(疲勞分析、灌漿分析、防蝕、主次要及臨時性結構分析)。光是除役一項就有一專責人員Johan Finsteen做簡報，Johan已有10年以上相關經驗，而近來7年則是負責歐洲幾個即將除役的風場做研究，簡報內容包括除役方法、費用估計、風險評估、環境影響…等，簡報結束後並與台電人員就生命週期及風機除役後其基礎之補強或留用做交流討論。會議中對於本公司監造人員之能力，NIRAS建議宜進行相關長期訓練，以提升監造人員對於離岸風力發電監造之關鍵能力素養。此外，對於本次參訪所提之討論問題，NIRAS亦分別予以答覆，茲擇要說明如下：

- 歐洲北海地區的離岸風力發電建置費用，每 kW 的成本約多少？未來若到台灣及亞洲地區承攬離岸風力工程，預估每 kW 之成本會高或低於歐洲？

答覆：離岸風力建置成本除了與佔比約達 40%之風機製造商有很大之關聯性外，另基礎水深和離岸距離亦對成本有影響。目前在歐洲成本約 4900 歐元/kw-包括設計、管理、基礎、風機、海陸纜、離岸及陸上變電站等，對於台電第一個離岸風力計畫，我們會建議採用經證實品質很好且穩定之風機，因為安裝船隻可能來自歐洲且風機數量亦不多，故預期其施工成本可能較高，但一般構件之成本應與歐洲相近。但在比較每 kW 成本時必須瞭解，工作數量的多寡將會有很大的不同。

- Jacket 基礎基樁打設方式可分預打式(pre-piling)及後打式(post-piling)二種，何者較適合本公司目前第一期離案風力發電計畫。

答覆：一般來說應以預打式工法較佳，因台灣海峽海床上部土壤強度較差，可能造成後打式工法施工上之問題。此外，由於台灣海峽之海床層面傾斜，較適合以預打式工法打樁，成本亦較便宜。另因基樁可以在 Jacket 構件還在進行製造時即先行打設，故可縮短基礎之製造安裝期程。

- 以台灣目前第一期離岸風力計畫之水深約在 25m 以內，依歐洲之經驗會考慮採用 Jacket 或 monopile 基礎？其成本、施工困難度及工期有何差異？

答覆：歐洲主要採重力式(gravity based)及單樁(monopile)二種基礎型式，重力式基礎適合使用在歐洲部分地質條件較堅硬之岩質海床，且其風機安裝並無基樁打設等影響周遭環境及生態之噪音問題，惟台灣因海床地質軟弱及地震可能造成土壤液化問題，並不適合採用重力式基礎；另單樁(monopile)基礎在歐洲非常廣泛的被使用，主要係因其製造及安裝較簡易、成本較低，整個供應鏈在歐洲已非常普遍。而為了儘量避免在較深水區必須採用結構複雜之 Jacket 基礎型式，monopile 之樁徑不斷加大，預期到 2018 年單樁直徑將會超過 9m，而以台灣目前之情形，採用 monopile 並無問題。

- 歐洲地區最早發展之離岸風機已達除役年限，是否均已依規劃除役或再予補強延役，目前歐洲地區實際做法如何？

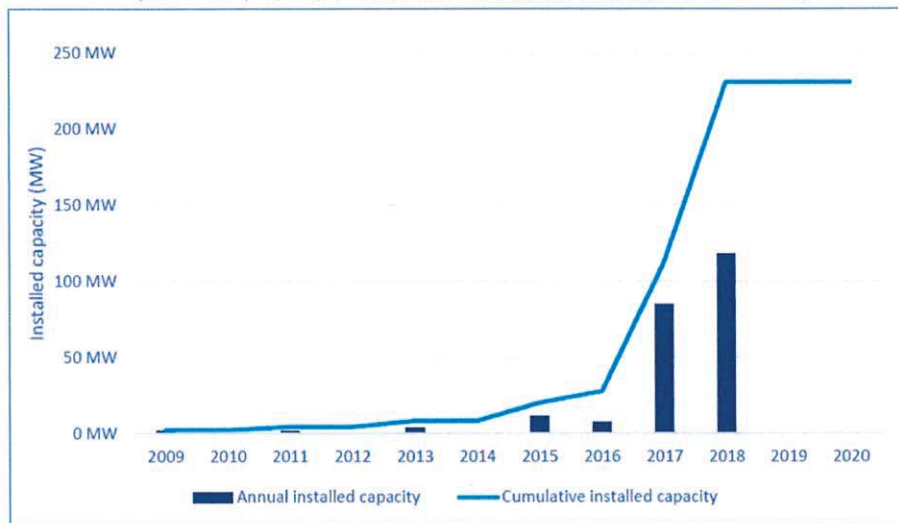
答覆：目前的新技術風機服役年限大多可達 25 年，而已達年限之風機一般依據其實際運轉、腐蝕狀況及營運之效益決定是否除役，NIRAS 現正參與 Vindeby Offshore Wind Farm 的除役規劃作業。在進行評估除役或補強延役時必須注意

一個重點，即一般運轉維護成本最終往往超過建造成本，因此延長舊有風機之服役年限未必能增加風機之效益。

- 浮式平台風力發電機之技術及遠景如何？未來是否有可能取代一般固定式基礎？

答覆：有關浮式平台原型風機已測試多年，近期商業運轉的計畫正在開發中，詳如表 2。

表 2 近年浮式平台基礎風機發展趨勢(資料來源：NIRAS)



當所有離岸較近且具良好地質條件的風場位置皆被開發後，接著勢必須往較深的海域，以浮式平台基礎開發將來之離岸風電。事實上，在較深海域浮式平台基礎較固定式基礎成本相對便宜，且亦已於油氣開發之海上鑽油平台應用多年。

- 因天候風險(如颱風)造成無法施工之工程延期，其衍生之費用應由甲方或乙方負擔，目前歐洲地區的執行方式如何？可否納入保險由乙方統包商負擔。

答覆：天候風險一般是屬於業主的風險，因為業主或開發商是實際且唯一需要推動執行工作並獲得最終產品者。若要求承包商負擔天候風險，則承包商就必須將其所須負擔風險損失的成本費用納入合約中，包括颱風、地震或其他天然災害造成的損失，如此勢必導致合約費用增加。

● 離岸風力併入電網方式說明

(1)離岸風力併入電網主要係使用海底電纜連接，Export Cable 為風場與上岸點間之電纜，而 Inter-array Connection Cable(簡稱 ICC)為風場內各風機間連接之電纜，為了降低發生事故的可能性，纜線通常會埋在海床底下 1~2 米處，來防止船舶拋錨、漁業設備和強大海流引起的破壞。其連接介面如圖 30 所示，其構造與陸用電纜比較差異如下：

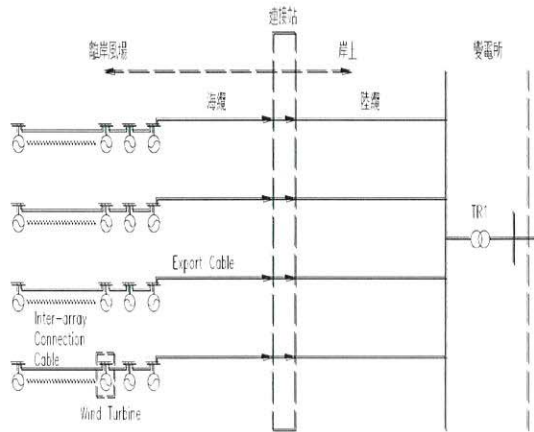


圖 30 海底電纜與陸纜連接介面示意圖

- a、海纜以 PP 線包覆降低磨擦力，提高彎曲性，以瀝青降低電蝕速率(圖 31)。
- b、海纜金屬遮蔽層、裝甲層與被覆層之結構與陸纜差異大(圖 32)。

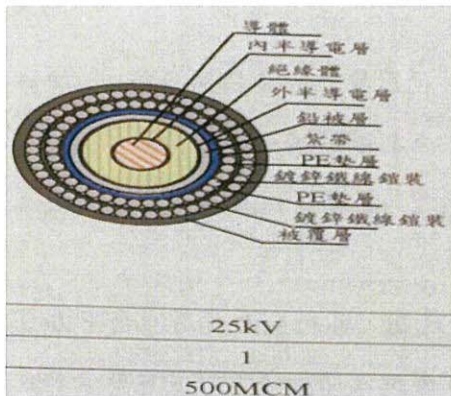


圖 31 單芯海底電纜剖面

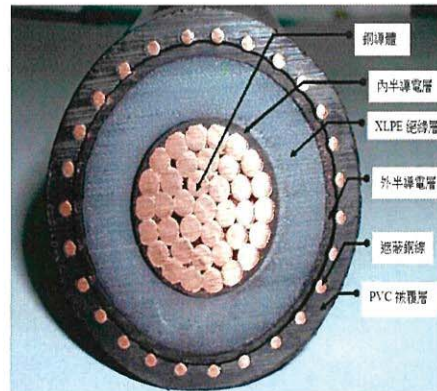


圖 32 單芯陸用交連 PE 電纜剖面

(2)風場內海纜連接方式：

- a、鏈形佈設：最早的大型風場都是採用此佈設方式(圖33)，這種方式的主要優點為：(1)風機之間可以採用不同容量的海底電纜，降低海底電纜採購成本。(2) 鏈形佈設的平均能量損失約為風場年發電量的2%。但主要缺點是可靠度相對較低，因為匯流排上的電纜或是配電設備故障可能會使下游的風機無法傳輸電能。

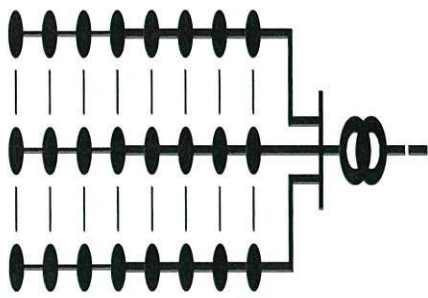


圖33 鏈形佈設

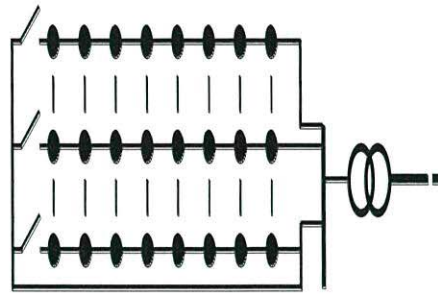


圖34 環形佈設

b、環形佈設：藉由增加一些海底電纜或開關設備，讓纜線在發生故障的情況可以提供輸電的備用路徑，即提高供電的可靠度，如圖34、圖35、圖36。環狀的佈設方式搭配自動切換開關的裝置可讓線路發生故障的時候下游風機經由其它路徑供電，但相對而言也是要花費更多的纜線及開關設備成本，並且所有的纜線都要能夠承受所有風機滿載時候的發電量；然而風機只有在少部分時間是同時滿載運轉，折衷的辦法是設計備用電纜的額定容量低於同時滿載運轉的發電量，而在所有風機都滿載運轉且發生故障的時候就關閉部分的风機，減少電纜的輸電負擔。

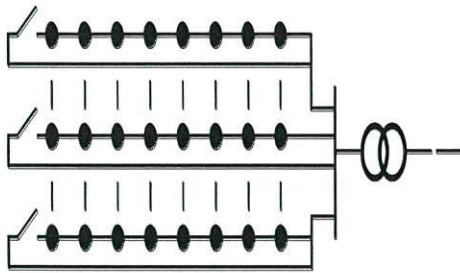


圖35 單側環形佈設

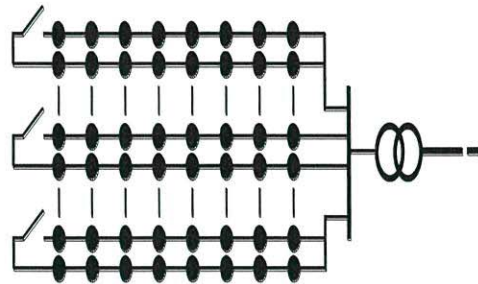


圖36 雙側環形佈設

c、星形佈設：這種佈局方式當一條纜線故障時只影響一台風機（如圖37），所以可以採用較小額定容量的海底電纜並可提高風場的安全性。但缺點是這種佈局需要更長的對角海纜和些許高容量且距離較短的海纜，比起鏈形佈設，成本較高。

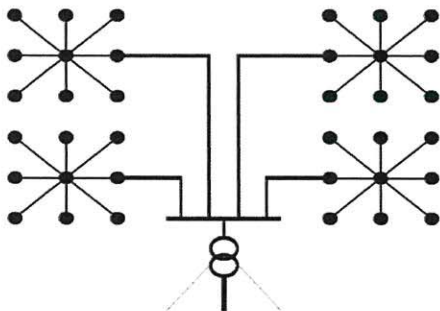


圖37 星形佈設

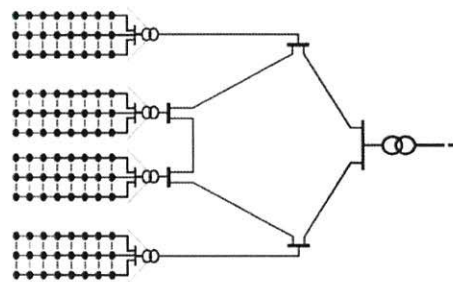


圖38 環形佈設多中繼接線箱

d、環形佈設多中繼接線箱：而對於同一區域內存在數個風場的情況，提高每一組風場發電的可靠度是有好處的，當使用此佈設方式（如圖38）可以提高整體的可靠度，雖然增加許多不同電壓等級的海纜以及開關設備的成本，不過在降低損失和提高供電穩定度的前提下，額外支出的成本有時是必要的。

(3)本公司所頒布之「再生能源發電系統併聯技術要點」中並針對風機運轉擬訂併網規範：規定風力發電設備併接於特高壓系統以上者應具備低電壓穿越(LVRT)能力，並在第七條第四項第一、二款規定：發電設備於責任分界點電壓自低電壓開始時間(0.0 秒)降低至額定電壓 15%時，應持續運轉至少 0.5 秒以上，並且於故障清除後，3 秒內發電設備於責任分界點電壓恢復至額定電壓 90%以上應持續運轉，其低電壓穿越要求如圖 39 所示。

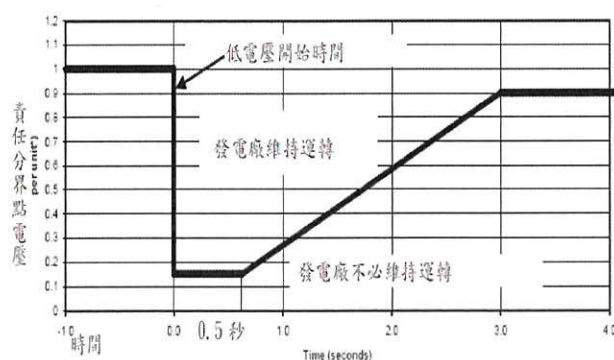


圖 39 風力發電設備之低電壓持續運轉能力

因此電纜線路路徑為整個電纜工程之重要關鍵，尤其海底電纜之路徑選擇與上岸點之位置，對工程影響極大，須審慎思考。



圖 40 與 NIRAS 會議情形



圖 41 會議後於 NIRAS 與會人員合影

六、MIDDELGRUND 風場

1. 風場簡介

丹麥哥本哈根的 Middelgrund 風場位於距丹麥哥本哈根市中心幾公里的海面上，利用海纜連接至 3.5 公里以外的 Amager 電廠之變電站。此風場歷經七年完成，於 2001 年 5 月起為哥本哈根市民供電，計有 20 座風機，輪轂高 64 公尺，直徑達 76 公尺，風機連成一條弧線，每部風機之間隔 180 公尺，總長達 3.4 公里，總面積達 1 公頃，能提供 3.2 萬戶居民供電，相當於整個哥本哈根市 3% 的電力需求量。

2. 參訪內容

該風場為早期丹麥所開發之風場，其特色除了在當時為先驅型的示範計畫外，其規劃設計及投資組成亦包括哥本哈根在內。完成後提升了大型風場開發實作的信心，也使哥本哈根城市朝向低碳綠色節能城市更跨一大步。除此之外，該風場弧線的造型，亦成為當地觀光的地標，提供海上遊憩觀光的新地標(圖 42、圖 43)。

該風機支撐結構為重力式基礎，水深僅 5 米左右，完成興建後形成自然魚礁，對於物種之多樣性及繁衍帶來正面的助益。



圖 42 MIDDELGRUND 風場景色



圖 43 風場工作船隻

七、SWAY 公司

1. 公司簡介及參訪內容

SWAY 公司成立於 2000 年，為再生能源技術研發公司，不斷在風機及基礎上創新設計。2002 年以來推出下風式風機及浮式基礎。該基礎可裝置 2.5~12MW 海上風電機組，佈署於深水海域。SWAY 公司已經開發出將降低風力發電之高成本及視覺衝擊等顯著影響的解決方案，該公司專利的 SWAY®系統可以相對較低成本，將風機裝置於離岸較遠但風力資源(平均風速)豐富的深水海域(55m~330 公尺)，且風機所在的位置也因為離岸較遠，所產生的爭議較少。

Inocean Construction A/S 公司於 2001 年提出深水浮式離岸海上風離發電系統構想。2002 年申請 SWAY 系統的第一個專利。2004 年 Inocean Construction A / S 更名為 SWAY A/S。2006 年進行動態模擬，2007 年全面工程樣機的研製，2011 年成功部署浮動原型(圖 44)，2012 年通過 100 年回歸週期北海風暴之考驗(圖 45)。

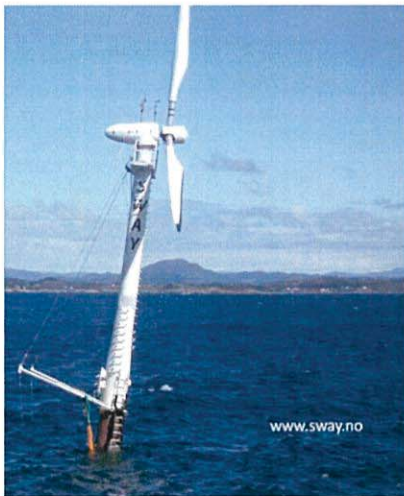


圖 44 比例 1:6 風機
(資料來源：SWAY)



圖 45 通過 100 年回歸週期北海風暴之考驗
(資料來源：SWAY)

隨後該公司進一步發展出第二代風機系統概念-Sway 2(圖 46)，及 10MW 風機概念設計(圖 47)。相關研究顯示 Sway 風機較傳統直驅式風機之成本為低，極具競爭優勢(圖 48)。

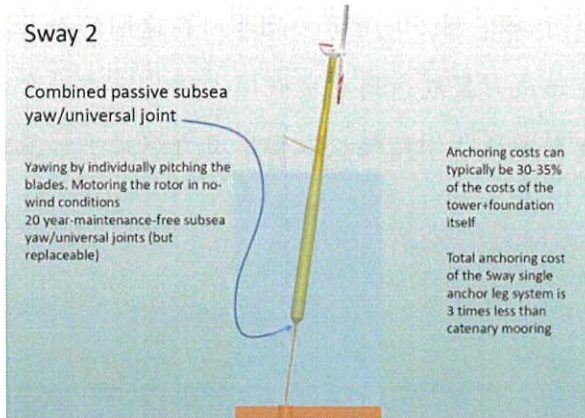


圖 46 Sway 2 設計概念
(資料來源：SWAY)



圖 47 SWAY 10MW 風機示意圖
(資料來源：SWAY)

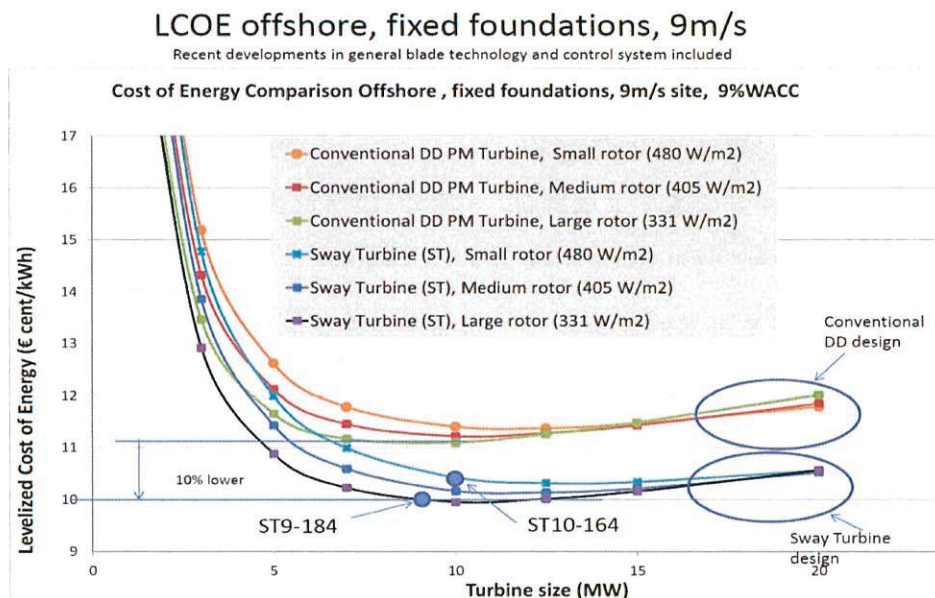


圖 48 Sway Turbine 與傳統直驅式風機之成本比較(資料來源：SWAY)

此外，Sway 創辦人之一 Eystein Borgen 亦發展出新浮式橋梁系統及新風機下部結構，皆可結合海洋養殖，提升結構之附加價值，降低開發成本，具有更友善環境生態結構。

2. 浮式平台基礎之發展

目前歐洲地區的離岸風電發展，由於近岸較佳的風場已逐漸開發殆盡，未來勢必須往更深的海域開發，包括英國及德國均已有離岸超過 100 公尺以上的風場計畫案。惟一般固定式的離岸風機水深通常在 80 公尺以內，面對未來動輒超過 100 公尺水深之離岸風場，其建造成本及工程困難度必將隨著海水深度而增加，傳統固定式

基座的離岸風機將不符成本效益，如圖 49、圖 50 所示。此外，在遼闊的海面上架設風機，除了影響海岸景觀且亦可能造成對整體生態環境破壞，因此浮式平台基礎的概念漸受重視，包括歐美日等先進國家近年均積極投入離岸風力浮式平台基礎的研究開發。

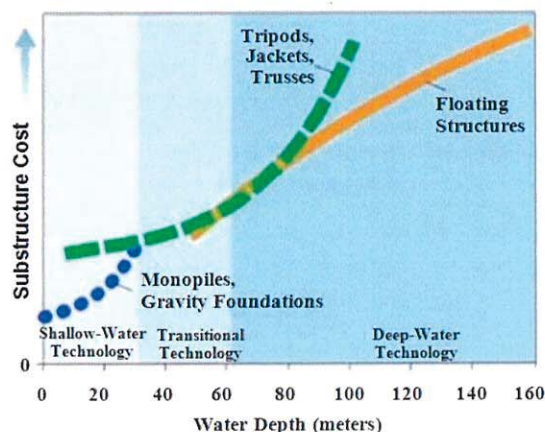
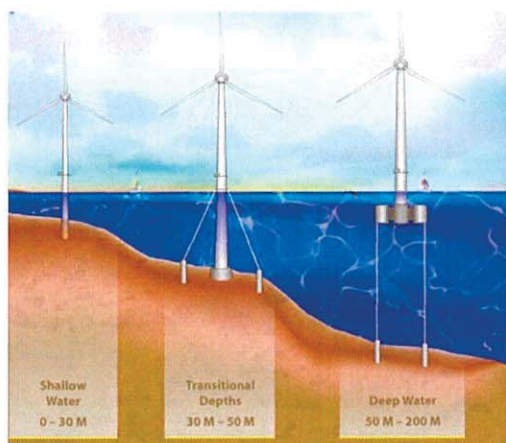


圖49 不同海域深度與對應基座結構關係 圖50 離岸風機設置之成本分析圖

(資料來源：離岸風電之浮動式平台概念設計及風機受力分析，能源知識庫)

事實上浮式平台基礎早已應用於海上鑽油平台及浮式碼頭等設施，技術上並不困難。惟應用於風力發電機時，必須能確保風機在任何海況風浪下的穩定平衡，須以足夠強度的纜線將機體繫固於海床。浮式平台基礎承受之負荷主要為風機運轉產生的推力及波浪的衝擊力，設計上須考慮的因子包括風機推力、風機的偏行穩定性、波浪及其引起的運動等，且必須有足夠浮力支撐風機的重量、抑制傾斜、搖晃及移動。

目前發展中之浮式平台基礎依浮動載台與繫泊系統，主要可分為三種型式：(1)TLP(Tension Leg Platform)，如圖 51(B)；(2)Spar，如圖 51(A)；(3)Semi-Submersible，如圖 52 所示，各類別的特性比較如表所示。TLP 適用於水深 50~80 公尺，用料較少，成本較低，但安裝複雜度較高；Spar 適用於水深 80~300 公尺，建造複雜度低，但用料多，成本較高，安裝複雜度亦高；Semi-Submersible 適用水深範圍較大，約 50~300 公尺，成本介於其他二者之間，建造複雜度較高、技術難度高，但安裝較簡易；其比較表詳如表 3 所示。

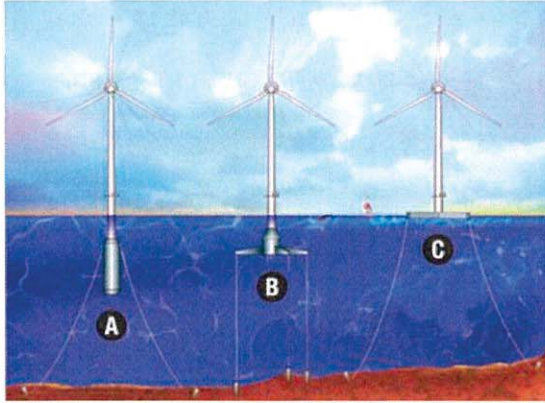


圖 51 離岸風力機之浮式平台基礎種類



圖 52 WindFloat 半潛式浮式平台

(資料來源：離岸風電之浮動式平台概念設計及風機受力分析，能源知識庫)

表 3 離岸風電浮式平台基礎技術類別比較

	TLP	Spar	Semi-Submersible
水深(m)	50~80	80~300	50~300
海床條件	有限制	無限制	無限制
占據海床面積	小	大	大
建造複雜度	中	低	中
安裝複雜度	高	高	低
成本	低	高	中

(資料來源：離岸風電之浮動式平台概念設計及風機受力分析，能源知識庫)

浮式平台基礎結構組成要素主要包括錨索、錨定地點、浮箱或壓載艙。每種要素的不同形式能組合成很多種浮式基礎形式，例如 TLP(Tension Leg Platform)平台結構中可以採用吸力式錨或重力式錨，Spar 平台結構中張力索數目可以根據設計情況而變化等。

依據能源局近期之報導，蘇格蘭政府已批准通過挪威國家石油公司 (Statoil) 提出使用英國海域的 Hywind 浮式離岸風力發電計畫，將於今 (2016) 年在蘇格蘭東北方的彼得黑德 (Peterhead) 外海 25 公里處，安裝 5 座浮式風力發電機，每座機組裝置容量為 6MW，合計 30MW，預計可供近 2 萬戶的家庭用電。蘇格蘭東北部為風力發電提供了絕佳風力條件的風場，且與石油產業重鎮亞伯丁 (Aberdeen) 接近，具備完善的石油和天然氣供應鏈。

Hywind 浮式離岸風力發電計畫將是世界上最大的浮式風力電場，亦代表一種全新的、重要的，且具備競爭力的再生能源，彼得黑德(Peterhead) 外海的這 5 座浮式風力發電機，安裝於超過 100 公尺深的海域，因離岸較遠，除能利用持續且較為強勁的風力外，對於漁業與航運活動的干擾較低。據英國研究機構「碳信託」公司(Carbon Trust) 樂觀估計，浮式風機發電成本可在 10 年內由 112 英鎊/MWh 降至 100 英鎊/MWh 以下，在 Hywind 計畫的帶領之下，甚至可能降至 85 英鎊(約等同發電成本新臺幣 4.3 元/度)。

叁、心得及建議

1. DNV GL 對於發包方式建議本公司必須考量風險及人員能力，再決定發包方式採用 EPCI 或分包方式(multi-contracts)。
2. 雖然有政策目標，但仍建議需要謹慎評估計畫期程，避免因為計畫期程過短而趕工，導致風險提升。
3. 未來能源佈局及趨勢應以大型風力發電、燃料電池、能源使用預測、智慧電網、及能源儲存等服務為未來能源之趨勢，建議本公司應及早整合、並進行可行性研究、提供未來能源佈局及帶動新型能源經濟。例如抽蓄發電等構想，可做為未來台電能源儲存之參考。
4. 風機公司之組裝生產及存放至少需要超過百公頃以上之土地，其相關投資甚鉅。Bremenhaven 港口過去有一貫化生產風機及基礎之廠商，目前已宣告破產，可見其投資風險，台灣產業應引以為鑑。
5. 風機技術發展迅速，目前廠家所生產之 6MW 風機將交付近幾年風場安裝，因此未來將有更大型之風機生產取代現有大型風機。
6. 建議本公司未來應針對監造及維修人員進行詳實且長期的訓練，提升風機妥善率及人員施工作業安全。
7. 本公司所開發之風場可考慮引進丹麥哥本哈根案例，邀集當地政府一同開發，如此可讓當地政府更朝向低碳綠色節能城市邁進，亦可成為當地觀光的地標，提供海上遊憩觀光，短期可降低漁業補償等開發之阻力，長期則有助於多角化經營之效益提升。
8. 台灣四周海洋超過 50 公尺水深地區甚廣，離岸風電固定式基礎技術及市場早已為歐洲國家掌握，浮式平台基礎尚在發展中，未來很可能成為離岸風電發展主流，建議本公司可投資此部分相關技術，帶領國內浮式基礎之發展，有助於本公司對於下一代基礎技術之掌握，可有效控制成本。
9. 未來風機將朝向更大型風機發展，且預期較傳統直驅式風機之成本為低，值得持續關注了解。
10. 新浮式橋梁系統及新風機下部結構，皆可結合海洋養殖，提升結構之附加價值，降低開發成本，具有更友善生態環境結構。

