

出國報告（出國類別：實習）

# 特殊海象離岸風力計畫之規劃、施工 案例實習

服務機關：台灣電力公司 再生能源處  
姓名職稱：蔡明輝 一檢隊第二分隊課長

派赴國家：丹麥  
出國期間：100.08.18 ~ 100.08.29  
報告日期：100.9.27

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：特殊海象離岸風力計畫之規劃、施工案例實習

頁數 34 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：

蔡明輝/台灣電力公司/再生能源處/一檢隊第二分隊課長  
/04-26580151#4120

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：100 年 8 月 18 日~100 年 8 月 29 日 出國地區：丹麥

報告日期：100 年 9 月 27 日

分類號/目

關鍵詞：離岸風場(OWF) Offshore Wind Farm，現場勘查 Site Screen，重力式基礎 Gravity - Based Foundation，單樁 Mono-Pile，三桿樁 Tri-Pod，套筒式基樁 Jacket Pile，連接段 Transition Piece，基樁-土壤介面 Pile-Soil Interaction

內容摘要：(二百至三百字)

本公司「彰化離岸風力發電計畫可行性研究」第一期計畫係採用 Siemens SWT-3.6 MW -107 (30 台) 與 Vestas V90-3MW (36 台) 兩種風力機型式規劃，總裝置容量共 108MW，「彰化離岸風力發電」為國內離岸風力發電廠開發之首例，為了解該風力機於國外實際規劃與施工情形，前往丹麥 Vestas 與 Siemens 公司參訪，以同樣規劃的 Vestas (V90-3.0MW) 及 Siemens (SWT-3.6MW) 風機型式等離岸風場做為實習的案例，蒐集場址實際之規劃期程及施工情形，期能作為本公司發展「彰化離岸風力發電」之重要參考依據。

離岸風力發電廠之規劃期程大致可分為一、規劃作業：現場勘查 (Site Screen)、海象調查 (風、波浪、海流及潮汐)、土壤及海床調查、環境影響評估、風力機場址配置 (WindFarm Layout) 等項目。二、細部設計：地質鑽探、風力機設計、結構分析設計 (上部結構及下部結構)、電力電纜設計 (轉接站)。三、製造、安裝及併聯發電。四、運轉及維護等四個階段。

而離岸風力機組結構系統則包括上部結構（塔架）、連接環及下部結構（基礎）等三個部分，其中塔架為風力機組機艙至連接段頂端之部分，連接段為連接塔架與基礎之轉接結構，而基礎為連接段以下之結構，將整個風力機組荷重傳遞至海床底下堅硬土層。因此離岸風力機基礎的設置需考量外部荷重情況、場址地質狀況、周圍海象環境及經濟性等條件來設計，一般的設計有重力式基礎、單樁、三桿樁及套筒式基樁等型式。

本次實習主要行程，在 Vestas 公司部分為學習並討論其 V90-3.0MW 機型的離岸風力場址的規劃、基礎施工及安裝等過程；而 Siemens 公司部分除學習討論其 SWT-3.6MW 機型的離岸風力場址的規劃、基礎施工及安裝等過程外，並至其機艙製造工廠、組裝碼頭及風場參觀。丹麥國家其海域土壤大部分為承載力良好的砂質土壤，風力機基礎除少部分為重力式基礎外皆為單樁型式，基樁直徑約 4-7 公尺，基樁長度約 60 公尺，貫入深度約 40 公尺，而本公司「彰化離岸風力發電」場址其土壤大都為砂與沉泥互層，屬於較軟弱的土壤，基樁需要打入更深的地層，以獲得足夠的承載力，在可行性報告中所建議的風力機基礎為四支樁的套筒式基樁型式，基樁直徑 85 公分，打入深度 80 公尺，此為最大的不同處，基礎的施工時間亦比丹麥的風場為長，受海象的影響更大，此外，在台灣還需要考慮颱風的因素，這也是丹麥風場所沒有的風險，因此在台灣施工前的海象詳細調查更為重要，而組裝碼頭、施工船隊及其設備容量的選擇亦應該事先審慎評估，否則沒有碼頭及船隊就無法施工，此為離岸風力最大的風險。

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

# 目 錄

頁次

|  |    |
|--|----|
| 壹、出國研習目的與行程 .....                              | 1  |
| 一、目的 .....                                     | 1  |
| 二、行程 .....                                     | 3  |
| 貳、背景資料 .....                                   | 4  |
| 參、研習過程與內容 .....                                | 10 |
| 一、Vestas Offshore A/S參訪 .....                  | 10 |
| 二、Siemens Wind Power A/S參訪 .....               | 17 |
| 三、規劃案例 .....                                   | 21 |
| 肆、心得與感想 .....                                  | 27 |
| 伍、建議事項 .....                                   | 28 |
| 附件 1：Development of an offshore wind farm..... | 30 |

## 壹、 出國研習目的與行程

### 一、 目的

在全球為因應能源短缺、氣候變遷及能源與環境的矛盾問題，再生能源因具有潔淨、減低溫室氣體排放及自產能源的特性，愈來愈多的國家已將再生能源列為能源政策考慮重點，而我國政府自民國87年召開「全國能源會議」時，即積極思考如何發展再生能源。行政院於民國93年7月17日訂定再生能源發電容量配比至2010年提升為10%之目標，其中風力發電佔215.9萬瓩。經濟部又依據民國98年「能源管理法」修正條文之規範，並遵循民國97年6月5日行政院通過之「永續能源政策綱領」，以及參考民國98年4月15日及16日召開之「98年全國能源會議」之會議結論各項政策建議，在考量各部門能源效率提升措施之預期節能效果，在民國99年12月草擬之「能源發展綱領政策評估說明書」指出，2011年至2020年現階段我國十年能源發展規劃中，再生能源發電量佔發電比重由2008年之3.5%升至2020年6.4%以上；全國CO<sub>2</sub>排放減量目標於2020年間能回到2005年排放量，於2025年回到2000年排放量。主要推動策略應在「能源安全確保」前題下，兼顧「經濟發展」與「環境保護」，以創造跨世代能源、環保與經濟三贏。

在各國陸續研究開發的再生能源項目中，因風力發電的技術純熟，且風能屬於自有之潔淨能源，利用風力發電不但可替代傳統化石燃料，減少CO<sub>2</sub>排放量，更有助於能源開發應用的多元化及自主性；此外，全世界風力機之裝機量逐年增加，單機額定輸出量亦增大，風機製造廠商為符合市場所需，無不卯足勁開發性能優越、可用率高之風力機組，以增加市場競爭力，因此，風力發電儼然已成為目前開發再生能源的主流。民國100年3月11日，日本東京電力公司的福島核災事件後，造成發展核能發電的阻礙，更加速國內推動再生能源發展的進度，為積極開發再生能源，經濟部決定補助難度高的離岸風力發電，補助業者設置測風塔與風機，希望在民國104年完成兩案、四座離岸風力示範系統，補助預算估計約新台幣九·五億至十六億元，初期會以限量補助的方式，推動離岸風力發電設置。

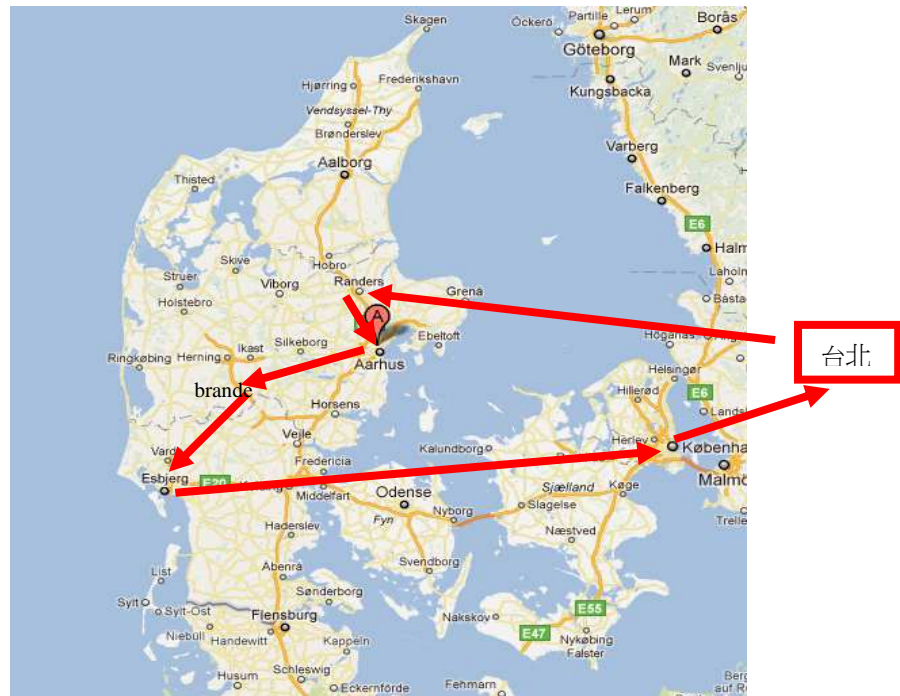
本公司為配合國家再生能源政策，於民國91年研訂「未來十年風力發電發展計畫」，規劃於公司現有電廠廠區內及台灣西部沿海陸域風能資源豐富地區，分期推動陸域風力發電站之興建，於國內設置至少200部風力發電機組，總裝置容

量達30萬瓩以上為目標，總共規劃四期風力發電計畫，目前第一期及第二期計畫已完成，第三期計畫亦接近竣工，而第四期計畫正在進行中。考量陸域風力場址不易尋覓，合適的風場業已漸漸開發怠盡，本公司遂於民國93年辦理「台灣西部海域離岸式風力發電廠址初步評選研究」，評選彰化及雲林離岸為優選場址，並於民國98年優先辦理「彰化離岸風力發電計畫可行性研究」，作為本公司設置離岸風力之重要參考依據，而本處則於民國100年8月1日改為再生能源處，專司本公司再生能源的規劃、監造及運維等工作。

「彰化離岸風力發電計畫」為本公司第一次大規模設置離岸風力之計畫，第一期計畫採用Siemens SWT-3.6 MW -107（30台）與Vestas V90-3MW（36台）兩種風力機型式規劃，總裝置容量共108MW，本計畫為國內離岸風力發電廠開發之首例，由再生能源處負責各項離岸風力工程之規劃及施工監造等工作。離岸風力為新興之發電技術，而Vestas及Siemens公司在離岸風力發電技術及系統設置容量皆為全球領先之公司，本次再生能源處1人奉派赴丹麥實習，即為觀摩研習其離岸風力發電工程之期程規劃、施工案例、基礎型式及碼頭規劃，期能作為本公司離岸風力發電之借鏡與參考，並提升本處辦理離岸風力發電工程規劃設計、施工監造等能力與經驗。

## 二、行程

| 起始日       | 迄止日       | 停留城市              | 工作內容                                   |
|-----------|-----------|-------------------|--|
| 100.08.18 | 100.08.19 | Randers           | 往程（台北－蘭德斯）                             |
| 100.08.20 | 100.08.23 | Randers<br>Aarhus | VESTAS 公司：離岸風力場址規劃、<br>施工案例實習及討論       |
| 100.08.24 | 100.08.25 | Brande<br>Esbjerg | SIEMENS 公司：離岸風力場址規劃討<br>論，製造工廠及碼頭組裝場參觀 |
| 100.08.26 | 100.08.27 | Copenhagen        | SIEMENS 公司離岸風力場址參觀                     |
| 100.08.28 | 100.08.28 | Amsterdam         | 返程（哥本哈根－阿姆斯特丹）                         |
| 100.08.29 | 100.08.30 |                   | 返程（阿姆斯特丹－台北）                           |



## 貳、背景資料

從1970年代起，丹麥一直是發展風力發電的先驅，在2008年的統計資料中顯示，丹麥風力發電提供18.9%的電力和24.1%的發電容量，而至今幾乎全世界一半以上的風力機來自丹麥的Vestas和Siemens風力發電公司所生產製造的。在丹麥陸域上10公尺高之年平均風速為4.9-5.6m/sec，而海域50公尺高之年平均風速為8.5-9.0m/sec，在離岸水深5-15公尺處很適合發展離岸風力發電，於是丹麥於1991年即開始興建Vindeby離岸風力（11部 x 450kW）總裝置容量4.95MW，這是做為引導Horns Rev 1和Rødsand 1兩個大型離岸風力的驗證計畫，隨著單機容量的增大，後續興建的離岸風力場址，總容量更加大，丹麥例年來興建的離岸風力場址詳表1。

| 風場名稱          | 裝置容量 (MW) | 風力機  | 完成 (年) |
|---------------|-----------|--|--------|
| Rødsand II    | 207       | 90 × Siemens SWP2.3-93                         | 2010   |
| Horns Rev II  | 209       | 91 × Siemens SWP2.3-93                         | 2009   |
| Sprogø        | 21        | 7 × Vestas V90-3MW                             | 2009   |
| Avedøre Holme | 7.2       | 2 × Siemens SWP3.6-120                         | 2009   |
| Rødsand I     | 166       | 72 × Siemens SWP 2.3-82                        | 2003   |
| Samsø         | 23        | 10 × Bonus/Siemens 2.3-82                      | 2003   |
| Rønland 1     | 17.2      | 4 × Vestas V80-2MW<br>4 × Bonus/Siemens 2.3-93 | 2003   |
| Frederikshavn | 7.6       | 2 × Nordex N90 2.3 MW,<br>1 × Vestas V90-3MW   | 2003   |
| Horns Rev I   | 160       | 80 × Vestas V80-2MW                            | 2002   |
| Middelgrunden | 40        | 20 × Bonus/Siemens 2MW                         | 2000   |
| Tunø Knob     | 5         | 10 × Vestas V39 500kW                          | 1995   |
| Vindeby       | 4.95      | 11 × Bonus 450kW                               | 1991   |

表1 丹麥興建的離岸風力場址

資料來源：List of offshore wind farms in Denmark - Wikipedia

同樣位於歐洲的海島國家英國，其海岸線更長，非常適合發展離岸風力發電，1991年，英國第1座風力發電廠興建於康瓦爾郡戴拉博的海岸上，由10部發



電機組成，每部發電量400kW，總發電量達4MW。如今英國有250家以上的風力發電廠，擁有2700多部風機，其中大部分的發電機發電量為2到3MW—比戴拉博原來的風機高出7倍之多，地理位置的優勢使英國成為歐洲最適合離岸風力發電機運轉的地方，離岸風力發電產業目前正迅速擴展。英國自2003年以後，每年離岸風場裝置容量皆有穩定成長，英國皇家財產局（Crown Estate）所規劃的Round 3離岸風力場址共有25GW，而2010年實際上投標結果總發電量達40GW，比預期的還多出26%，加上先前規劃的Round 1&2場址，英國的離岸風力發展愈來愈蓬勃，英國自2000年以來已興建完成的離岸風力場址詳表2，在建中的離岸風力場址詳表3。

| 風場名稱               | 裝置容量 (MW) | 風力機                     | 完成 (年) |
|--------------------|-----------|-------------------------|--------|
| Thanet             | 300       | 100 × Vestas V90-3MW    | 2010   |
| Robin Rigg         | 180       | 100 × Vestas V90-3MW    | 2010   |
| Gunfleet Sands 2   | 64.8      | 18 × Siemens SWP3.6-107 | 2010   |
| Gunfleet Sands 1   | 108       | 30 × Siemens SWP3.6-107 | 2010   |
| Rhyl Flats         | 90        | 25 × Siemens SWP3.6-107 | 2009   |
| Lynn&Inner Dowsing | 194.4     | 54 × Siemens SWP3.6-107 | 2009   |
| Burbo Bank         | 90        | 25 × Siemens SWP3.6-107 | 2007   |
| Beatrice           | 10        | 2 × REpower 5MW         | 2007   |
| Barrow             | 90        | 30 × Vestas V90-3MW     | 2006   |
| Kentish Flats      | 90        | 30 × Vestas V90-3MW     | 2005   |
| Scroby Sands       | 60        | 30 × Vestas V80-2MW     | 2004   |
| North Hoyle        | 60        | 30 × Vestas V80-2MW     | 2003   |
| Blyth              | 4         | 2 × Vestas V66-2MW      | 2000   |

表2 英國興建完成的離岸風力場址

資料來源：List of offshore wind farms in the United Kingdom - Wikipedia

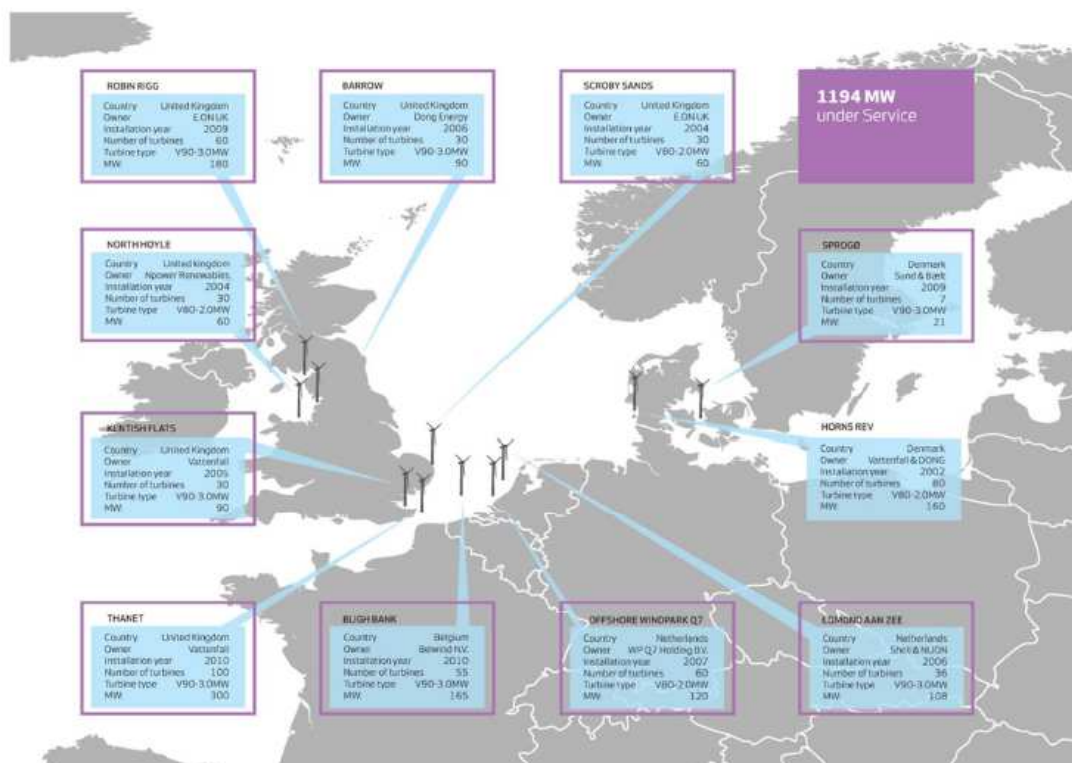
| 風場名稱                                 | 單機容量<br>(MW) | 風力機 | 裝置容量<br>(MW) | 日期       |
|--------------------------------------|--------------|-----|--------------|----------|
| Hellrigg Re-submission               | 2.3          | 4   | 9.2          | Jun-2011 |
| Drone Hill                           | 1.3          | 22  | 28.6         | May-2011 |
| FMC Technologies                     | 1.5          | 1   | 1.5          | May-2011 |
| Dagenham II                          | 2.3          | 1   | 2.3          | May-2011 |
| Kernick Farm                         | 0.5          | 1   | 0.5          | Apr-2011 |
| Marr                                 | 2            | 4   | 8            | Apr-2011 |
| Hazlehead                            | 2            | 3   | 6            | Apr-2011 |
| Slieve Kirk                          | 2.3          | 12  | 27.6         | Mar-2011 |
| Fallago Rig                          | 3            | 48  | 144          | Mar-2011 |
| Methlick Farmers Wind Energy Project | 2            | 6   | 12           | Mar-2011 |
| Herscha Hill                         | 1.3          | 1   | 1.3          | Mar-2011 |
| Walney II                            | 3.6          | 51  | 183.6        | Feb-2011 |
| London Array I                       | 3.6          | 175 | 630          | Feb-2011 |
| Lairg                                | 2.3          | 3   | 6.9          | Jan-2011 |
| Millour Hill                         | 3            | 6   | 18           | Jan-2011 |
| Kilbraur extension                   |              | 8   | 20           | Dec-2010 |
| Whitelee Phase II extension          |              | 39  | 109.02       | Dec-2010 |
| Whitelee Phase I extension           | 3            | 36  | 108          | Dec-2010 |
| Fullabrook Down                      | 3            | 22  | 66           | Oct-2010 |
| Low Spinney                          | 2            | 4   | 8            | Oct-2010 |
| Lynemouth                            | 2.3          | 13  | 30           | Oct-2010 |
| Griffin Forrest                      | 2.3          | 68  | 156.4        | Aug-2010 |
| Novar Extension                      | 2.3          | 16  | 36.8         | Aug-2010 |
| Curryfree                            | 2.5          | 6   | 15           | Aug-2010 |
| Gordonbush                           | 2.05         | 35  | 71.75        | Jul-2010 |
| Ormonde                              | 5            | 30  | 150          | May-2010 |
| Walney I                             | 3.6          | 51  | 183.6        | Apr-2010 |
| Glenkerie Wind Farm                  | 2            | 11  | 22           | Apr-2010 |
| Lincs                                | 3.6          | 75  | 270          | Apr-2010 |
| Sheringham Shoal                     | 3.6          | 88  | 316.8        | Mar-2010 |
| Clyde Wind Farm                      | 2.3          | 152 | 349.6        | Jan-2010 |
| Torrs Hill                           | 2            | 2   | 4            | Juy-2009 |
| Greater Gabbard                      | 3.6          | 140 | 504          | May-2009 |
| Beinn an Tuirc Extension             | 2.3          | 19  | 38           | Sep-2009 |

表3 英國在建中的離岸風力場址

資料來源：List of offshore wind farms in the United Kingdom - Wikipedia

依據「彰化離岸風力發電計畫可行性研究」指出，丹麥的Vestas風力機廠商發展很早，自1979年成立至今，已於全球50餘國安裝超過30,000部機組，為風力發電的先驅者，其對風力工業的發展具有極大的影響力。自2003年底併入NEG Micro後，Vestas成為最大的風力機組製造商市佔率達35%，其V80-2.0MW機種為目前採用最多的離岸風力機組，而V90-3.0MW則為目前英國及荷蘭開發中之離岸風場廣為採用者，V112-3.0MW亦為現在離岸風場將採用的最新機種，另其V120機種則由NEG Micon NM110 4.2MW改良而來，專為離岸風力發電廠所設計，2011年3月Vestas和DONG Energy公司更公佈新的V164-7.0MW機組將開始測試，預料將來離岸風力機組單機容量更往前邁進一大步。Vestas歷年來設置的離岸風力場址詳圖1所示。

## Vestas Offshore - track record in MW – 1407 MW



5 Thanet Offshore Wind Farm - September 2010

Wind. It means the world to us.™

圖1 Vestas歷年來設置的離岸風力場址 資料來源：VESTAS公司提供

此外，Siemens於2003年10月併購當時全球第五大風力機組製造商Bonus，透過併購使Siemens能與Vestas抗衡，並藉由Siemens建立的網路拓展市場，而丹麥Siemens Wind Power目前則致力於離岸大型風場的開發，在丹麥及英國的離岸

風場亦佔有一席之地，所生產的離岸風力機有SWT-2.3MW-93、SWT- 3.6MW-107及 SWT- 3.6MW-120等機組。Siemens歷年來設置的離岸風力場址詳圖2所示。

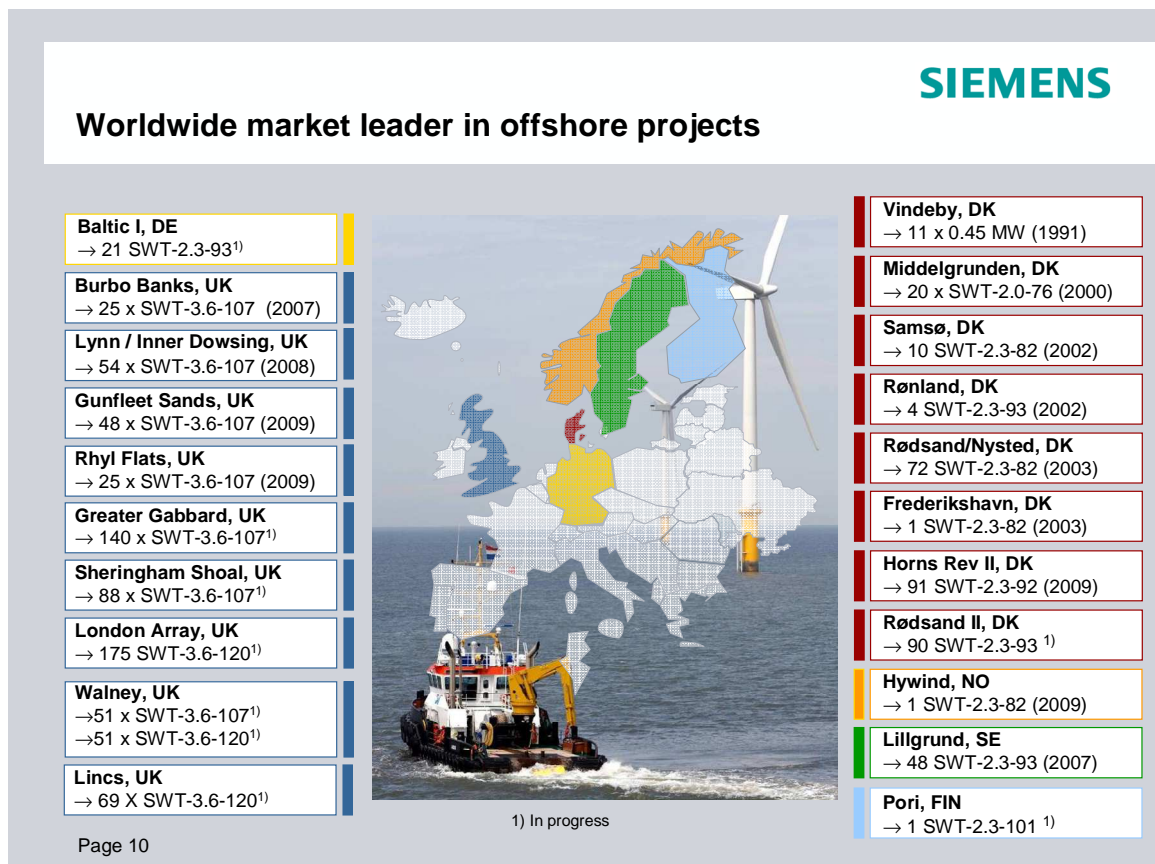


圖2 Siemens歷年來設置的離岸風力場址 資料來源：SIEMENS公司提供

而本公司在「彰化離岸風力發電計畫可行性研究」第一期離岸風力機組設置所規劃的離岸風力機其一係採Siemens SWT-3.6 MW -107（30台）機組模擬，另一採Vestas V90-3MW（36台）機組模擬，總裝置容量108 MW，佈設水深為15~20公尺，離岸最近距離約2公里，本計畫為公司第一個離岸風力發電計畫。彰化第一期離岸風力機組設置所規劃的範圍如附圖3所示。

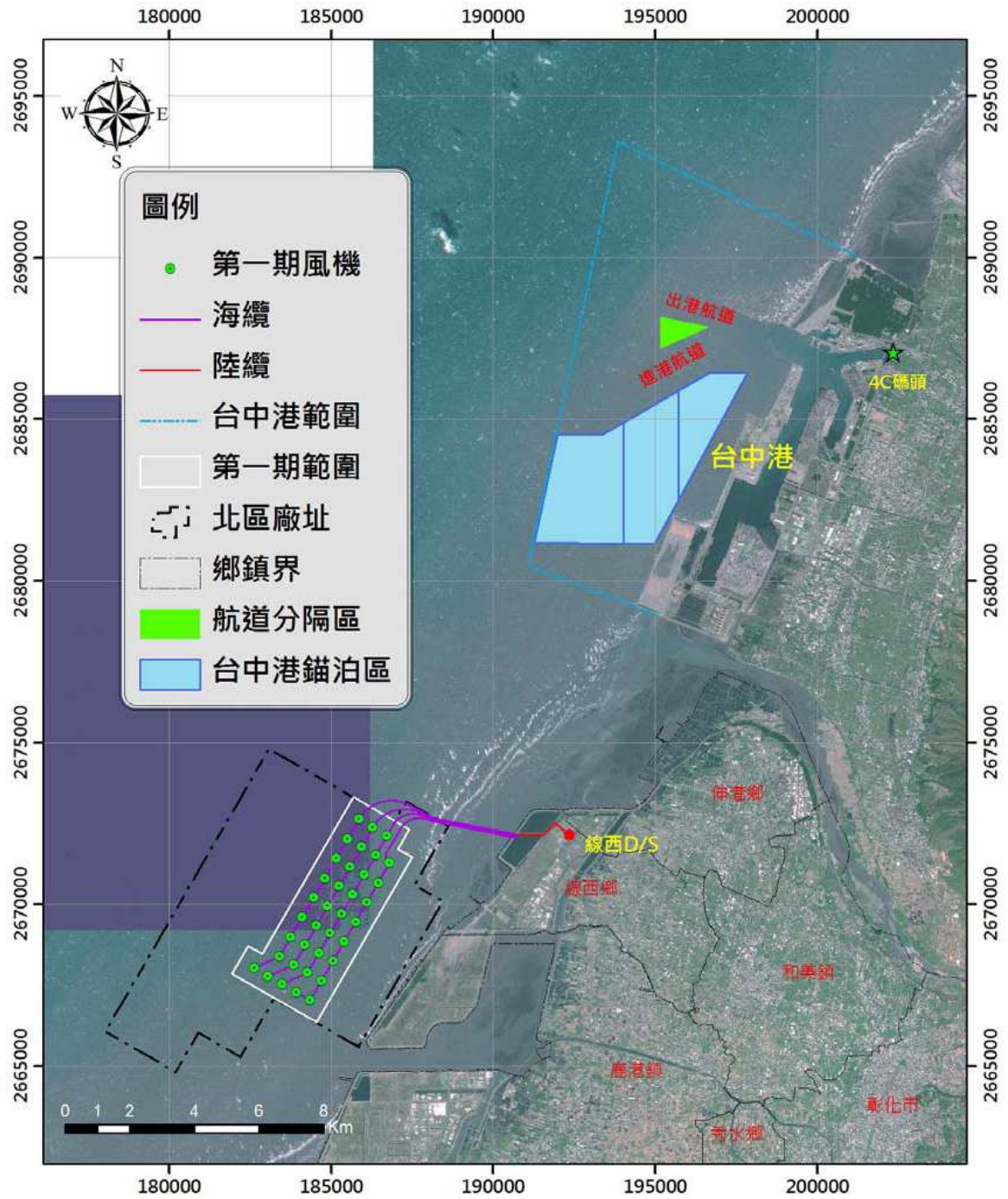


圖3 彰化第一期離岸風力場址 資料來源：可行性報告

## 參、研習過程與內容

### 一、Vestas Offshore A/S 參訪

Vestas Offshore A/S 位於 Randers 近郊，距 Aarhus 約 35km，該部門設置於 Vestas Wind Power A/S 內，而其 Technology R&D Centre 則位於 Aarhus 市區北側。

Vestas Offshore 全球總部設於 Randers，從 1990 年起開始發展離岸風力的業務，2006 年獨立自己的業務，包括離岸風力場址規劃、風機銷售、施工及運維等工作，海外公司已遍佈英國、德國、比利時、荷蘭、加拿大及中國大陸等國家，員工超過 400 人以上，目前市場的焦點主要放在英國的 Round 3 和德國的離岸風場。

至 Vestas Offshore 參訪最主要目的是討論及蒐集其離岸風力的規劃、施工及安裝的過程，並參觀控制中心及 VE112-3.0MW 風機機艙 3D 虛擬實境，在會議中（圖 4）所討論的議題包括離岸風力場址規劃、施工及安裝探討、顧問公司的管理方式介紹及 Thanet 風場的施工案例分析，會議議程詳表 4。

| Duration: | Action:          | Agenda:   |
|-----------|------------------|---|
|           |                  |   |
|           |                  | 1. Designation of chairperson/note taker                |
|           |                  | 2. Review and approval of agenda                        |
|           |                  | 3. Health and Safety                                    |
| 08:30     | Kim Hougaard     | 4. Welcome to Mr. Tsai in the meeting room              |
| 08:45     | Mr. Tsai         | 5. Mr. Tsai to present Taipower offshore plans          |
| 09:15     | Technology       | 6. 3D Virtual Nacelle Tour                              |
| 09:45     | Technology       | 7. Tour of Performance and Diagnostics Centre           |
| 10:15     | Kim Hougaard     | 8. General presentation of Offshore                     |
| 10:45     | Bo Bjerregaard   | 9. Construction & Installation of an offshore wind farm |
| 11:30     | Henriette R.     | 10. Operations & Maintenance                            |
| 12:00     | ALL              | 11. Lunch   |
| 12:30     | Per Meldgaard    | 12. Project Management/Engineer                         |
| 13:15     | Kim Steen Jensen | 13. Offshore foundations                                |

| Duration: | Action:         | Agenda:   |
|-----------|-----------------|---|
| 14:00     | Flemming Larsen | 14. Offshore cables                                     |
| 14:45     | John F. Løndahl | 15. Sub soil  |
| 15:30     | Technology      | 16. Presentation of the V112 3MW turbine                |
|           |                 | 17. Miscellaneous                                       |
|           |                 | 18. Agreements/conclusions to be reviewed by note taker |
|           |                 | 19. Evaluation  |
| 16:15     |                 | 20. Meeting ends  |

表 4 Vestas Offshore Wind Farm 研討會議程

首先由 Vestas Offshore 的銷售經理 Mr. Kim(圖 4 中間者)介紹該公司如何興建離岸風力發電風場，其選擇發展離岸風力主要是因為離岸風場有更多的風力資源，風能相對比較穩定，而海面上受阻饒的地形地物少，因此亂流也比較少，在風機的尺寸及 Layout 空間較不受限制，可以規劃大規模的風場。



圖 4 離岸風力研討會

但是主要的不利情況包括場址條件比較複雜，需考量波浪、海流等海象環境，海底地質亦是重要考量因素，在安裝及運轉的過程中需要更多的經驗，而且費用比陸域的風場高。另外，主要的瓶頸包括安裝船的供應、可用的風機選擇、合適的碼頭組裝工廠、電纜線的施工及經濟性等問題。而在離岸風力的費用方面，風力機約佔 44%、基礎佔 22%、安裝船舶佔 15%。

#### (一) 規劃階段

接著由 Mr.Bo 介紹離岸風場在規劃階段的準備工作，Vestas 公司宣稱已擁有 20 年的離岸風力經驗，20 年的經驗教會他們「數據的品質」是最關鍵的，輸入的數

據關乎整個計畫的成敗，所以事前妥善的規劃工作是非常重要的，所面臨的挑戰包括前期資料必須是廣泛全面性的、海床條件是變動性的、海底的流砂會移動、海象影響及鹽漬環境及更複雜的安裝及維護工作，在前期資料的蒐集必須注意到風、海、距離及碼頭等重要風險因子，茲分別說明如下：

### 1. 風

首先要做的是海上測風，藉由蒐集的資料評估風能以及發電量，風的資料決定計畫的一切，其獲得的資訊包括風的分佈、風玫瑰圖、擾流、風剪力及極端風速等項目，如果風速變異過大，一年的資料可能不足，得視需要增加測風的時間，以獲得足夠的資料。

### 2. 海

海的因子包括海床情況、波浪、海流及載重條件，海床的數據決定了如何發展海上風力發電的項目，需要做地形調查，根據海底的障礙物降低風險，藉以決定海底的佈線圖，並且要滿足電纜的鋪設深度，及確定海床物質是否會移動，另外還須要做地質鑽探，鑽孔取樣，以瞭解土壤的性質及承載力，所需要蒐集的數據包括土壤力學性質、土壤的剖面圖；海象情況包括海浪分佈、海浪玫瑰圖、極端海浪、水深、潮差、洋流、洋流玫瑰圖及極端洋流等資料，如果數據不正確，所造成的損害是非常嚴重的。

### 3. 距離

場址到岸上的距離會影響到船運的時間以及服務的反應速度，亦即距離就是時間，就是金錢，施工的成本會隨著距離的增加而增加，短的距離意味著更快的反應時間及更短的停機時間，可以節省成本。

### 4. 碼頭

要確定碼頭是否合適，能不能全天候運作，要瞭解工作區域的面積、碼頭長度及水深，更要瞭解碼頭的承載能力，所需要的資料包括碼頭的土壤承載力、能夠優先使用的吊車、能夠優先使用的船位及現場的工作是否會與其他承包商衝突。

Vestas 公司內部建立一套手冊及程序「海上風電設計基礎」做為規劃階段，



包括測風塔的施作、調查項目、基礎的設計以及塔架的結構設計，都有一套標準程序。

## (二) 設計階段

由 RAMBOLL 公司介紹設計階段的工作項目，RAMBOLL 公司是丹麥的大學教授在 1945 年創立的設計及顧問公司，總部位於哥本哈根，公司遍及 20 個國家 200 個辦公室，員工近 10,000 人，是一個規模很大的顧問公司，陸域的風力是從 1986 年開始接觸，而海域的風力發電則從 1989 年開始，參與約有 95% 的離岸風力工程，遍及 21 個場址，1200 個獨立基礎的設計，其設計經驗非常豐富，在離岸風機基礎的市場佔有率約 52%，並擴及海上變壓器站基礎的設計，業務包括可行性調查、海象調查、地質鑽探、EIA 環境影響評估、基礎與塔架結構設計及水工模型試驗，在結構設計方面，RAMBOLL 公司能提供詳細的結構分析與設計，並可以電腦模擬顯示分析結果，在基礎的設計分別以重力式基礎、單樁 (Monopile) 及套筒式基樁 (JACKET PILE) 說明如下：

### 1. 重力式基礎

重力式基礎主要用地質良好的地層，水深較淺，屬於淺基礎型式，製造及施工時間短，但是重量大，安裝時，受天氣的影響較大，詳圖5所示。

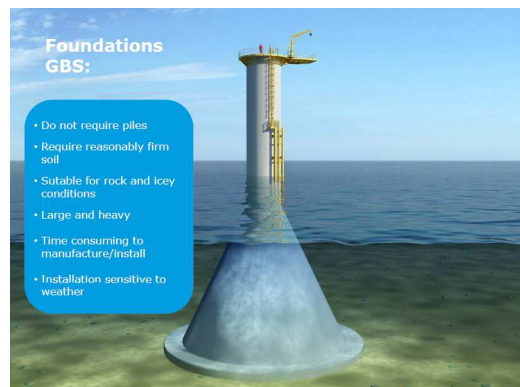


圖 5 重力式基礎 資料來源：RAMBOLL 公司提供

### 2. 單樁

單樁主要用於砂質地層到軟弱岩盤等土壤條件，適合的水深 20-35m，貫入海床深度約 20-50m，基礎重量相對較輕，製造及安裝快速，詳圖6所示。

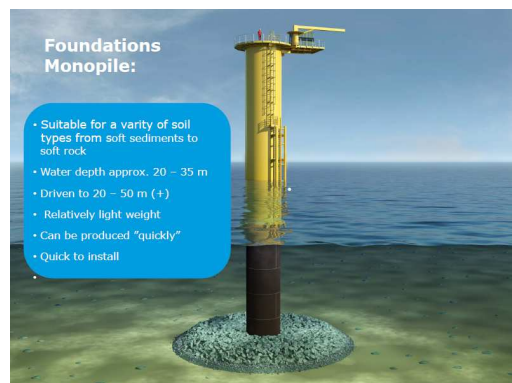


圖 6 單樁 資料來源：RAMBOLL 公司提供

### 3. 套筒式基樁

套筒式基樁主要用於軟弱土壤，深度較深的海床，所能承載的風機較大，挑戰的海象條件更加嚴格，詳圖7所示。

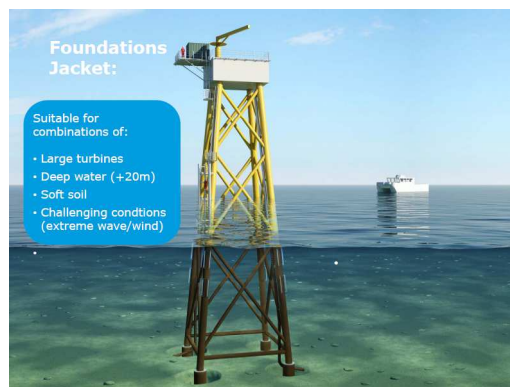


圖 7 套筒式基樁 資料來源：RAMBOLL 公司提供

#### (三) 製造及安裝階段

##### 1. 重力式基礎

重力式基礎的施工方式，主要是在陸域上將混凝土基礎施作完成後，在拖至風機場址，並完成整地後，沉放至預定位置，需要潛水人員協助，基本上，與沉箱的施工方法類似。

##### 2. 單樁

單樁在工廠製造完成後，船運至風機場址，再以打樁機械將基樁打入海床中，以30m左右的貫入深度而言，施工進度每天可完成一支Monopile，接著再安裝連接段（Transition Piece）。

##### 3. 套筒式基樁

RAMBOLL公司所提供的施工方法仍屬於意象階段，主要的想法是利用船運將基樁運至風機場址，藉由上下的定位板定位，再將四支基樁打入土層中，基樁打設完成後，再將套筒（JACKET）底部安裝在基樁上，最後再將連接段安裝在套筒頂端上。

##### 4. 海纜敷設

海纜敷設前必須先妥善規劃路線，並且要先調查清楚路線，在工作船作業的附近，要考慮施工船JACK UP的位置，路線不一定會是直線，與風機的連接係採J型管方式設計，須注意埋設深度，施工完成後，仍需要再調查一次路線，施工前後詳細的調查可以降低施工風險。

#### (四) 運轉及維護階段

在訪問的過程中，參觀Vestas的運轉控制中心，全世界所有Vestas的風機資

訊皆連至此控制中心，工程人員可以藉由電腦螢幕瞭解目前風機的狀況，停機、維修及發電量一目了然，非常的方便，而且作業也非常忙碌辛苦，必須隨時注意各風機的狀況。

#### (五) 施工案例-Thanet Offshore Wind Farm

在這次的訪問中，事先已告知Vestas公司想瞭解Thanet Offshore Wind Farm的施工案例，也很高興的能順利的蒐集到此場址的資料，雖然所能提供的資料不是很多，但是，仍然再一次感謝Vestas公司的協助。

##### 1. 基本資料

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 風場名稱Wind Farm Name      | Thanet，附圖8         |
| 國家County                | United Kingdon     |
| 區域Region                | Thames             |
| 海名SeaName               | North Sea          |
| Round (UK Only)         | 2                  |
| 裝置容量Capacity            | 300MW              |
| 風力機數量Number of Turbines | 100                |
| 風力機型式Turbine Model      | Vestas V90-3.0 MW  |
| 葉片直徑Rotor Diameter      | 90 m               |
| 機組高度Hub Heigh           | 70 m               |
| 基礎型式Foundation          | Monopile           |
| 面積Area                  | 44 km <sup>2</sup> |
| 水深Water Deep            | 20-25 m            |
| 離岸距離Distance From Shore | 12 km              |

##### 2. 場址概述

Thanet 風場位於英國肯特郡的 Thanet 海岸，距離岸邊約12公里，場址面積約44km<sup>2</sup>，相當於4100個120m X 90m的足球場大，平均水深20-25m，風機的行間距為925m，每行間距為625m，本場址設置 Vestas V90-3.0MW型水平軸式風力機100部，單機容量3MW，總裝置容量300MW，2006年12月容許開發，2010年9月商轉，風力機塔架基礎為單樁型式，到港口的航行距離為65km，約航行6小時，業主為 Vattenfall 公司，年發電量超過1,000GW。

Vestas 公司在這個施工案例所扮演的角色為提供100台的V90-3.0MW風機之船運、安裝及測試，包括風機的監視控制及數據的蒐集，並包含5年的運轉維護工作。主要的交貨流程如下：

- (1) 從預安裝碼頭裝船。
- (2) 海上安裝。
- (3) 完成機械系統與電氣系統的安裝。
- (4) 調試 (Commissioning)。
- (5) 120-小時測試 (風機移交手續)。
- (6) 接受業主檢驗。

實際安裝100台風機所需的時間為83天，實際調試100台風機所需的時間為104天，施工期間創下很多施工紀錄，敘述如下：

- (1) 8天最快的往返速度 (從施工碼頭出發，完成9台風機的安裝，然後返回準備裝船)。
- (2) 最快速安裝一台風機：5小時44分 (no.99)。
- (3) 34小時完成9台風機裝船 (9個塔架，9個機艙和輪殼，27個葉片堆疊)。

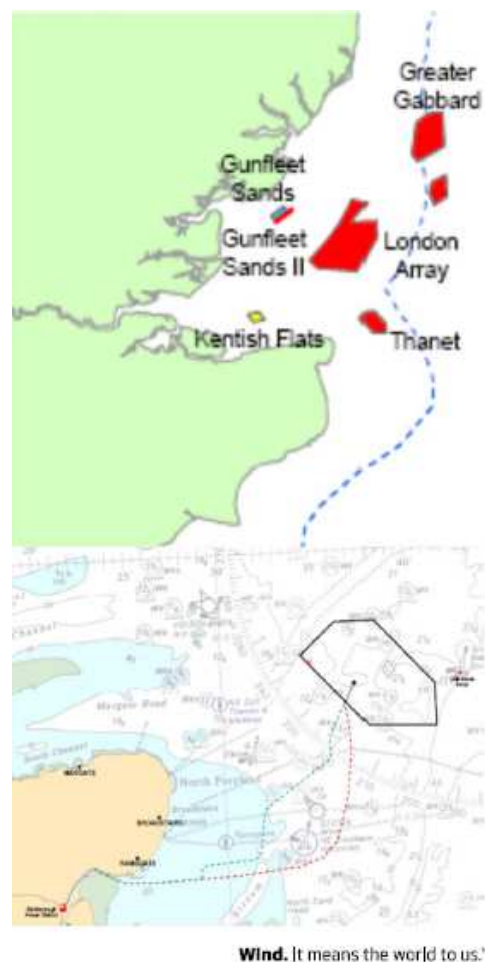


圖 8 Thanet Site 資料來源：Vestas 公司提供

(4) 安裝船一次海運9台風機創下世界紀錄。

(5) 在83天完成100台風機創下世界紀錄。

(6) 全球最大的海上風場（當時）。

Vestas公司強調大就是美，對風機安裝船來講，尺寸關係很大，而且要儘量減少海上施工的項目，能在岸上做好的部分，一定要在岸上完成，而且必須毫不質疑的決定由誰來發號司令，在第一次吊裝前，所有的吊裝程序必須由所有參加施工的單位一起共同制定及批准。在施工過程中藉由信任、溝通及知識分享來一起完成工作。

## 二、 Siemens Wind Power A/S 參訪

本次出國研習之另一行程為參訪位於Brandes的Siemens Wind Power A/S，並至其機艙（Nacelle）製造工廠、風機控制中心、教育訓練中心、Esbjerg的組裝碼頭及Middelgrund風場參觀。

### （一）Siemens Offshore 業務介紹

首先由銷售副總Mr. Michael介紹Siemens Offshore的業務，其離岸風力隸屬於Siemens 15大部門的Renewable Energy部門，員工約7,600人，至2010年為止，風力機已經交付了2,900MW，目標在2012年成為第3大的風機供應商，志在成為全球第1的離岸風機廠商，Siemens的離岸風力已經有20年的經驗，已經完成超過1.4GW的容量，已簽約的計畫有11個，目前興建中的風場大部分位於英國及德國，詳圖9所示，離岸風力機產品為2.3MW、3.6MW及未來的DD（直接驅動，no gearbox）等3種型式。

Siemens可以提供包括規劃、施工、運轉、維護及教育訓練等服務，在風力機的監控方面，具備先進的連續監控技術，在主要的元件裝有sensor可以量測振動，能預



圖 9 Siemens 風場 資料來源：Siemens 公司提供

測風機故障的因子，可提早排除，避免風機停止運轉而增加維修成本。

Siemens對於工安特別重視，在各個階段皆非常重視安全，安全為其企業的首要任務，這與本公司的工安文化一致，但Siemens在執行面上非常澈底，即使要參觀工廠，亦要換裝，參觀路線標示在地面上，簽署文件後由專人引導，活動範圍就只能在標示的路線上。

2009年Siemens在挪威的外海設置一座浮動式基礎的風力機，這是一個新的創新觀念，適合使用在更深的海域中，未來更要朝向做為離岸風力的佼佼者而努力。

## （二）機艙製造工廠、風機控制中心及教育訓練中心參觀

在參觀的過程中，先從備品倉庫開始，只要一下訂單，其貨品在24小時內即可到達，所以備品倉庫必須建立倉儲系統，由電腦來掌握存貨的狀況，確保備品充足，倉儲中心與本公司材料處的倉儲很類似，但是搬運還是採用人工方式運作。

接著參觀機艙製造工廠，現場可以看到工人正為著London Array Site的案子全力趕工，裝配場就像是一條生產線，每個人只負責他自己的部分，而且採時間控制，必須在規定的時間內完成自己的工作，現場可以感受到那種緊張的壓力，牆壁上的倒數計時器，持續的push每個人move再move，這時領班就非常重要，他必須掌握流程的節奏順暢，並且必須保證所有的物件供給充足。

參觀完工廠後，轉到另一個部門，參觀風機控制中心，全世界的Siemens風力機都連至此中心，所有的風機狀況及資訊都可以看到，Siemens最自豪的維修預測系統也是在此，分析人員藉由接收的資料，轉換成圖型曲線，再從經驗中判讀，提早發現問題，現場並展示一個案例，當分析人員發現齒輪箱的sensor有不正常的振動訊號出現時，可以找出原因是因為有一點點磨損所致，因此可以事先發現而修復，避免風機持續運轉到損壞而停機，能夠節省停機及維護成本。

最後參觀的地點為教育訓練中心，基本上其設備及訓練的項目與Vestas公司很像，現場也展示一些逃生及救難的影片，例如單人如何把受傷人員從塔架上垂落到船上，雙人如何把受傷人員從機艙垂落下來，在在都顯示Siemens公司對安全及教育訓練的要求，在介紹的過程中，彼此互動非常友善，一切就在「多謝」中圓滿的結束這一整天的行程，由於全程都禁止錄音、照相

及攝影，儘管可以看的設備、設施及作業活動，但是當天的參觀活動都無法留下一張照片，實在可惜。

### (三) Esbjerg 組裝碼頭參觀

Esbjerg位於丹麥的西南部，西元1868年建立，早期是一個漁港，後來變成石油及離岸鑽油的基地，而丹麥大部分的風機設備也是從這港口船運至國外，現階段碼頭區域約有3百5十萬平方公尺，水深10公尺左右，預定西元2013年再擴充6百5十萬平方公尺，Siemens公司在此租用約3萬平方公尺的土地做為風機預組裝場用地，目前現場準備出貨到英國的London Array離岸風力場址，每一船次預計航行的時間為3天，London Array場址位於Vestas之Thanet場址北側，裝置容量為630MW，採用175台的SWT-3.6MW-120風力機，是Siemens公司目前緊鑼密鼓出貨的案子，到達現場後，由現場經理先做簡報介紹周遭的環境，如圖10所示，接受安全訓練並簽署文件後，由經理引導遵循地面上所劃定的路線參觀，現場可以看到已經裝載至船上的葉片，如圖11所示，塔架及機艙仍堆置在碼頭等待船運，如圖12-13所示。

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 風場名稱Wind Farm Name      | London Array Phase 1  |
| 國家County                | United Kingdom        |
| 區域Region                | Thames                |
| 海名SeaName               | North Sea             |
| Round (UK Only)         | 2                     |
| 裝置容量Capacity            | 630 MW                |
| 風力機數量Number of Turbines | 175                   |
| 風力機型式Turbine Model      | Siemens SWT-3.6MW-120 |
| 葉片直徑Rotor Diameter      | 120 m                 |
| 機組高度Hub Height          | 87 m                  |
| 基礎型式Foundation          | Monopile              |
| 面積Area                  | 121 km <sup>2</sup>   |
| 水深Water Deep            | 23 m                  |
| 離岸距離Distance From Shore | 20 km                 |



圖 10 Siemens 工務所



圖 11 葉片裝船情形



圖 12 塔架及機艙



圖 13 拖船

(四) Middelgrunden 風場參觀

1. 基本資料

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 風場名稱Wind Farm Name      | Middelgrunden    |
| 國家County                | Denmark          |
| 區域Region                | Kobenhavn        |
| 海名SeaName               | Kattegat         |
| Round (UK Only)         |                  |
| 裝置容量Capacity            | 40MW             |
| 風力機數量Number of Turbines | 20               |
| 風力機型式Turbine Model      | Bonus B76-2.0 MW |
| 葉片直徑Rotor Diameter      | 76 m             |



|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| 機組高度Hub Heigh           | 64 m         |
| 基礎型式Foundation          | Gravity Base |
| 面積Area                  |              |
| 水深Water Deep            | 8 m          |
| 離岸距離Distance From Shore | 3.5km        |

## 2. 場址概述

Middelgrunden場址位於距離哥本哈根港口3.5 km外的天然礁石上，其排列形狀為漂亮的曲線，如圖14所示，本場址設置Bouns B76-2.0MW型水平軸式風力機20部，單機容量2MW，總裝置容量40MW，1999年12月容許開發，2001年3月商轉，風力機塔架基礎為預鑄混凝土重力式。



圖 14 Middelgrunden 風場

本案於1996年開始規劃，經過3次的公聽會及環境影響評估，機組從原來的27台變為20台，至1999年12月才同意興建，2000年4月才開始預鑄混凝土沉箱基礎，原來規劃的基礎型式有中混凝土重力式基礎、鋼結構沉箱及單樁，後來依經濟考量選擇造價最便宜的混凝土沉箱基礎，基礎高度8-11.3m，如圖15所示。

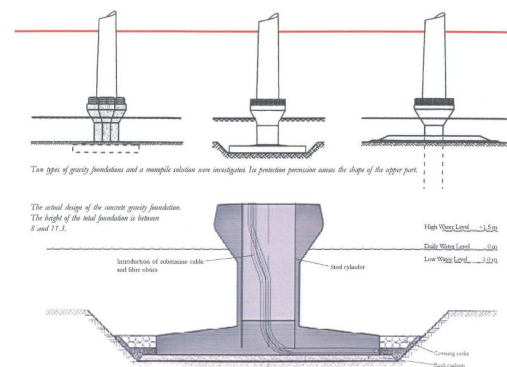


圖 15 基礎型式資料來源：Siemens 公司提供

Middelgrunden場址是第一次採用2.0MW風力機，原本可以採用高於2.0MW的機組，但是開發單位要求限制在2.0MW內的運轉紀錄，製造商最後才選擇有一年運轉經驗的Bouns機組，為了避免高額的維護費用，風機內設置吊車，可以將風機的元件分離吊出，另外為了減低視覺衝擊，風機則漆成中性灰色

(RAL7035)，設置45m的測風塔於1997年10月開始量測紀錄，直至1999年底，量測資料包括風速、擾流及風向等，平均風速為7.2m/s (380W/m<sup>2</sup>)，考慮遮蔽影響，效率估算為93%，年保證發電量為89GW，預期的年發電量為100GW，2000年12月開始吊裝，2001年3月完成，2001年之年發電量為68GW，2002年之年發電量為則達到100GW。

### 三、 規劃案例

綜合參考Vestas及Siemens公司對離岸風力發電廠之規劃的實例，其規劃的期程大致可分為四個階段，分別敘述如下，

- (一) 規劃作業：包括現場勘查 (Site Screen)、海象調查 (風、波浪、海流及潮汐)、土壤及海床調查、環境影響評估、風力機場址配置 (WindFarm Layout) 等作業項目，此階段的工作主要在調查場址的環境因素，誠如Vestas公司人員所強調的，所調查及蒐集的資料需要廣泛而全面性的，以了解當地的特殊海象，提供詳細的資料做為設計的依據，以減低對施工的衝擊。
- (二) 細部設計：地質鑽探、風力機設計、結構分析設計 (上部結構及下部結構)、電力電纜設計 (轉接站)，此階段的工作主要依據前期所蒐集的海象因子，依規範及當地海象的特殊要求、載重因素，選擇合適的風力機型式，並設計其基礎型式及塔架結構，發展出詳細施工圖，做為現場施工之藍圖。
- (三) 製造、安裝及併聯發電：此階段的工作主要為風力機各個元件的製造、安裝及併聯發電的作業項目。
- (四) 運轉及維護等四個階段：此階段的工作主要為風力機商轉後的運轉及維護等作業項目。

## 施工案例：Lillgrund 場址（附件1）

### 1. 基本資料

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| 風場名稱Wind Farm Name      | Lillgrund            |
| 國家County                | Sweden               |
| 區域Region                | Malmo Kommun         |
| 海名SeaName               | Oresund              |
| Round（UK Only）          |                      |
| 裝置容量Capacity            | 110                  |
| 風力機數量Number of Turbines | 44                   |
| 風力機型式Turbine Model      | Siemens SWT-2.3MW-93 |
| 葉片直徑Rotor Diameter      | 93 m                 |
| 機組高度Hub Heigh           | 68 m                 |
| 基礎型式Foundation          | Gravity Base         |
| 面積Area                  | 6 km <sup>2</sup>    |
| 水深Water Deep            | 13 m                 |
| 離岸距離Distance From Shore | 11.3 km              |

### 2. 場址概述

Lillgrund風場位於丹麥哥本哈根與瑞典間，距離岸邊11.3公里，場址面積約6km<sup>2</sup>，平均水深13m，本場址設置Siemens SWT-2.3MW-93型水平軸式風力機44部，單機容量2.3MW，總裝置容量110MW，風力機塔架基礎為預鑄混凝土重力式。

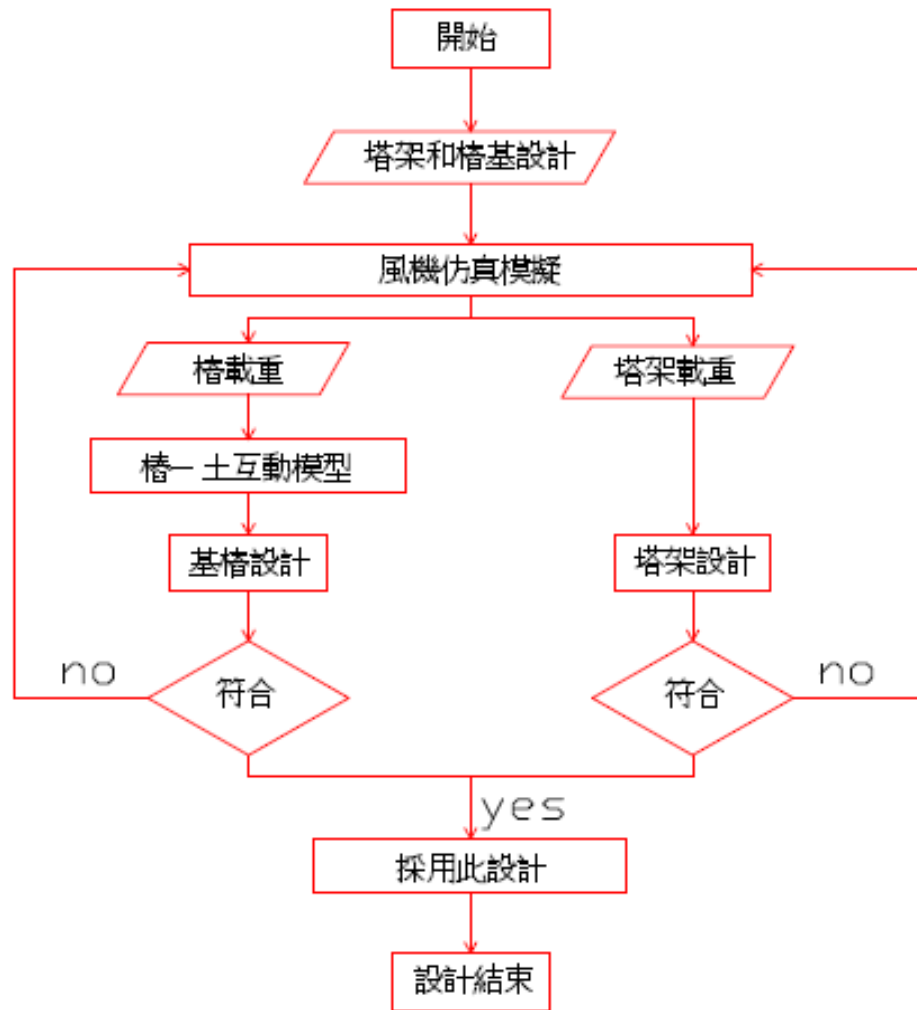
### 3. 作業項目

| ID | 作業項目   |
|----|--------|
| 1  | 一、規劃作業 |

|    |  |
|----|--|
| 2  | <b>1.1 現場勘查 site screening</b>                     |
| 3  | <b>1.2 海象調查</b>                                    |
| 4  | <b>1.2.1 風 wind</b>                                |
| 5  | Met mast design and installation                   |
| 6  | Wind measurement plan                              |
| 7  | Wind measurement                                   |
| 8  | Data processing                                    |
| 9  | <b>1.2.2 波浪 wave</b>                               |
| 10 | Wave buoy design and installation                  |
| 11 | Wave measurement plan                              |
| 12 | Wave measurement                                   |
| 13 | Data processing                                    |
| 14 | <b>1.2.3 海流 current</b>                            |
| 15 | Current buoy design and installation               |
| 16 | Current measurement plan                           |
| 17 | Current measurement                                |
| 18 | Data processing                                    |
| 19 | <b>1.2.4 潮汐 tide</b>                               |
| 20 | Tide buoy design and installation                  |
| 21 | Tide measurement plan                              |
| 22 | Tide measurement                                   |
| 23 | Data processing                                    |
| 24 | <b>1.2.5 土壤及海床調查 soil &amp; seabed</b>             |
| 25 | Seabed screening                                   |
| 26 | Preliminary soil sample drilling                   |
| 27 | Soil sample drilling at all foundation locations   |
| 28 | <b>1.2.6 風力機場址配置 Windfarm Layout</b>               |
| 29 | Power and wake turbulence estimation               |
| 30 | Preliminary layout                                 |
| 31 | Power and wake turbulence final                    |
| 32 | Final layout                                       |
| 33 | <b>二、細部設計</b>                                      |
| 34 | <b>2.1 電氣設備設計 Electrical Infrastructure Design</b> |
| 35 | Grid analysis                                      |
| 36 | Onshore substation design                          |
| 37 | Offshore substation design                         |
| 38 | Export cable design                                |
| 39 | Inter array cable design                           |

|    |  |
|----|--|
| 40 | Grid analysis, check of preconditions              |
| 41 | <b>2.2 風力機設計 Wind Turbine Design</b>               |
| 42 | Project specific turbine design                    |
| 43 | <b>2.3 結構設計 Load Calculation and Certification</b> |
| 44 | Preparing design basis for wind turbines           |
| 45 | Preparing design basis for foundation and site     |
| 46 | Certification of design basis for turbines         |
| 47 | Certification of design basis for foundations      |
| 48 | Load Calculation turbines                          |
| 49 | Load Calculation foundations                       |
| 50 | Foundation certification documentation             |
| 51 | Turbine certification documenttation               |
| 52 | Ordering primary foundation steel(monopile)        |
| 53 | <b>2.4 塔架設計 Tower and Electrical Design</b>        |
| 54 | Tower and Electrical Design                        |
| 55 | Procurement  |
| 56 | <b>2.5 監控系統設計 SCADA Design</b>                     |
| 57 | Project specific SCADA design                      |
| 58 | <b>三、製造、安裝及併聯發電</b>                                |
| 59 | <b>3.1 製造 Manufacturing</b>                        |
| 60 | Substation equipment incl. main transformer        |
| 61 | Export cable design                                |
| 62 | Foundations  |
| 63 | Towers   |
| 64 | Wind turbine incl. blades and tower internals      |
| 65 | <b>3.2 基礎及電纜線安裝 Infrastructure Installation</b>    |
| 66 | Foundations  |
| 67 | Export cable (onshore/offshore)                    |
| 68 | Array cables                                       |
| 69 | Onshore substation                                 |
| 70 | Offshore substation                                |
| 71 | <b>3.3 塔架安裝 Turbine Installation</b>               |
| 72 | Delivery to pre assemble site                      |
| 73 | Pre-assembly                                       |
| 74 | Offshore installtion                               |
| 75 | <b>3.4 併聯發電 Commissioning</b>                      |
| 76 | Take Over  |
| 77 | <b>四、運轉維護</b>                                      |

#### 4. 結構設計作業流程



#### 肆、心得與感想

- 一、感謝公司各級長官給予本次出國實習之機會，尤其能前往離岸風力發電系統設置非常普及的丹麥，雖然出國實習時間非常短暫且緊湊，但透過這次實習仍能對於丹麥在離岸風力發電之設置情形有初步瞭解，並且增加在離岸風力發電規劃、設計及施工方面之見識與經驗。另外，本次出國行程安排承蒙 Vestas 台灣代理商喬集偉斯特公司 Vestech Taiwan Corp. 及 Siemens 台灣分公司等協助、規劃研習行程並派員陪同前往，特別在此表達謝意。
- 二、本次在參訪 Vestas 公司的過程中，與 Vestas 公司主要人員面對面討論規劃、設計、施工、安裝等詳細過程，並蒐集到一些 THANET Offshore Wind Farm V90-3.0MW 施工案例的寶貴資料，對於開發離岸風力發電廠的過程有相當深刻的印象，對於開發程序也有進一步的認識，另外，在觀看 3D 的機艙虛擬行程中，逐一剝開 Nacell 的元件，認識內部的構造，雖然不是我的專業項目，但是觀看 3D 虛擬實境的感覺蠻震撼的，就如同是親自拆開 Nacell 一樣，留下深刻的印象。
- 三、在參訪 Siemens 公司的過程中，參觀 Siemens 3.6MW 機艙組裝工廠，瞭解機艙生產線的作業情形，在訓練中心中悉聽詳細的逃生訓練，瞭解在離岸風機上如何將傷患運至船舶，這是一個相當難得的經驗，而在運轉控制中心看到值班人員在眾多顯示風機資訊的螢幕上，臨危不亂地處理每個問題，感到非常的佩服。另外，在 Esbjerg 碼頭參觀預組裝工廠及船運情形，由現場經理做詳細的解說，對預組裝碼頭的規格要求，也留下深刻的印象，坐船到已經運轉 11 年的 Middelgrunden Offshore Wind Farm Site 參觀，現場十分壯觀，且景色怡人，灰白的顏色對視覺的衝擊亦降低很多，完全融入當地的景色，而成為當地的觀光景點，可見在事前的規劃相當謹慎，本次行程相當的豐富，更加充實離岸風力的經驗。
- 四、Vestas 及 Siemens 公司的監控中心設置的很完善，所有的風力機資訊都連至伺服器中，從電腦螢幕可以很詳細的看到每部風機的狀況，現場的風速及運轉情形都非常清楚，以顏色來管理風機停機、維修及運轉中狀態，讓觀看者可以一目了然，而採電腦化的作業則可以增加工作效率，亦可以透過圖形的轉出，找出異常的圖形，預測風機可能發生的問題，提早因應，降低運轉維護的成本。

## 伍、 建議事項

### 一、離岸風力基樁系統設計

- (1). 在風機基礎的設計上，其結構與海床土壤的介面極為複雜，需以簡單的系統來模擬，如採用單樁設計，其結構系統與懸臂樑類似，如圖 18 所示，懸臂端為承受垂直及側向載重，轉換至與海床土壤之介面為垂直力、側向力與彎矩力，其邊界條件為轉角及變位皆存在，而固定端深入海床，其邊界條件轉角及變位均可假設為零，亦即基樁貫入深度足夠，不會產生變位。若採用套筒式基樁設計，其結構系統則可模擬成轉角受限的懸臂樑，其與海床土壤介面邊界條件轉角之可假設為零，但有變位存在，如圖 19 所示。對於第一期彰化離岸風力計畫基礎設計上建議採用套筒式基樁以減少風機基礎旋轉量，增加系統之穩定性，表示認同，此設計亦可承受較大的風機載重，但對於風機受風力及地震力的動態荷重，應進一步分析其結構與海床土壤間之互制關係，模擬其動態的行為。

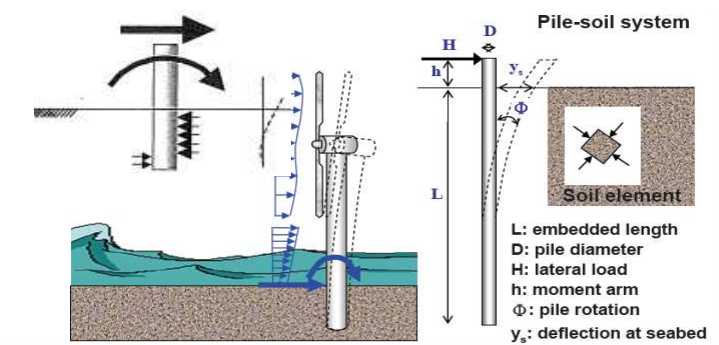


圖 18 單樁系統 資料來源：郭玉樹博士 2008 年 9 月簡報

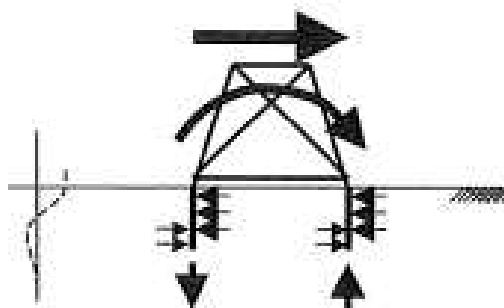


圖 19 套筒式基樁系統



(2). 台灣與丹麥在離岸風力基樁系統設計上有相當大之差異，在丹麥其地質屬於承載力較良好的沙質土壤，風機基礎設計採用重力式或單樁型式設計。採用單樁者，基樁直徑約 4-7 公尺，樁長約 60 公尺，其貫入深度約為 40 公尺。而台灣海域地層大都為沙質及沉泥互層，並夾雜粘土，屬於軟弱之地層，設計載重並需考量颱風與地震等因素，在可行性報告設計中建議採用四支斜樁的套筒式基樁，然而，採用斜樁的方式設計，雖然有套筒引導，但是在施工上其斜度不如垂直基樁來的容易控制，且四支斜樁若同時置放於套筒上，在打樁過程中容易彼此干擾，亦有傾倒的風險，因此建議風機基礎結構系統採基樁—套筒—連接段三個物件設計，每個物件的接合界面建議設計成直角座標系統，取代斜座標系統，以利現場施工作業，亦即基樁採用垂直樁設計，套筒與基樁的界面亦設計為垂直，以利控制其垂直精度，如圖 20 所示。



圖 20 Walney Offshore Windfarm 套筒式基礎 資料來源：

<http://www.foundocean.com/oil-and-gas/news-and-resources/projects-completed-may-2010/>

## 二、全面且詳細的海象調查

海象調查「數據的品質」是開發離岸風力發電最關鍵的因素，輸入的數據關乎整個計畫的成敗，所以妥善的規劃工作是非常重要的，海象調查的資料必須是全面而廣泛性的，舉凡海床條件、海底地質、風、波浪、海流、潮汐、地震之影響、鹽漬環境、更複雜的安裝及維護工作，在前期資料的蒐集必須注意到風、海、距離及碼頭等重要風險因子。

### 三、施工船隊及其設備容量調查

對風機安裝船來講，尺寸的關係很大，船舶越大，一次可以裝載的風機設備越多，可以減少船運次數，能在岸上做好的部分，一定要在岸上完成，儘量減少海上施工的項目，所以在規劃階段必須詳細調查施工船隊及其設備容量，評估國外來台施工之可行性及國內的施工船隊設備容量。

### 四、預組裝碼頭評估調查

預組裝碼頭關係到風機於岸上的施工作業，由於海上作業受天氣的影響較大，大部分的工作儘量能在岸上完成，所以碼頭的調查評估非常重要，要確定碼頭是否合適，能不能全天候運作，要瞭解工作區域的面積、碼頭長度及水深，更要瞭解碼頭的承載能力，所需要的資料包括碼頭的土壤承載力、能夠優先使用的吊車、能夠優先使用的船位及現場的工作是否會與其他承包商衝突。

### 五、建立各項規劃、設計、施工、安裝及運維等程序及手冊

離岸風力的工程是非常複雜的，必須事先建立每項作業的標準程序，做為發展離岸風力的指導手冊，透過教育訓練讓每位參與者都能熟悉其作業流程，由於本公司對離岸風力工程尚於萌芽階段，需請國外有經驗的顧問公司協助，製定一套流程，並建立招標及技術規範，俾能事半功倍，能夠迅速有效的建置離岸風力發電。

六、本次實習所討論的風力機型式其風場大都位於英國，而位於丹麥的 Anholt 風場則仍在做海域土壤調查之中，礙於時間的因素，無法至英國場址參觀，建議下次可以派員至英國的離岸風力場址參訪，而且很多風場皆由 DONG ENERGY 或 E.ON 等能源公司負責開發興建，但由於本公司與這些家公司不熟，亦無業務往來，故未前往該公司參訪，建議未來的參訪行程可以請風機製造廠商代為接洽 DONG ENERGY 及 E.ON 公司，期能學習其規劃、設計、施工、吊裝及運轉維護等階段之作業程序。

**附件1**：Development of an offshore wind farm