

目次

頁次

壹、出國目的	2
貳、實習行程	3
參、實習內容	4
肆、心得與建議	21

壹、出國目的

因應我國最新能源政策及未來能源結構目標，2025 年預期達到燃天然氣、燃煤及再生能源發電之占比各為 50%、30%及 20%，顯示再生能源發電於我國能源發展基礎之重要性。本公司已配合國家能源及環保政策陸續啟動離岸風力一、二期計畫，協助達成 2025 年佔總發電量 8%以上，進而逐漸取代部分高污染性能源，並提高國內能源供應之自主性，減少能源進口量。惟近年來環保意識高漲，主管機關逐步加嚴環評審查過程，且離岸風機施工期間造成之環境衝擊日漸成為環評審查重點，為使未來環評審查過程及施工期間降低各界疑慮，實有必要了解國外最新發展離岸風機施工期間環境保護對策之發展趨勢。

未來離岸風力發電將對本公司日漸重要，惟離岸風力機組計畫推動工程項目有基礎施工、塔架組立、葉片機艙組立、機電設備安裝、變電站工程、輸電線路工程等，施工過程將產生空氣污染、陸域噪音震動、水下噪音、廢棄物及海域生態等影響，致環評審查過程遭遇阻力，本次實習希望藉由參訪丹麥之離岸風機，檢視上述環境衝擊之減輕對策及相關技術，列入後續辦理環評書件之參考，俾利本公司環評過程推動順利，減少推動新興離岸風力發電計畫之阻力。

本次赴沃旭能源 (Ørsted) 哥本哈根總公司瞭解最新離岸風機之施工技術及如何直(間)接減輕施工期間所造成之各項環境衝擊，另再赴其所轄風場之離岸風機工程瞭解實際施工情形，透過實質討論及經驗交流回饋，對於本公司未來離岸風機之施工期間環境減輕對策規劃助益良多，所得亦將回饋於未來離岸風機計畫之環評報告內容，將有助於環評審查流程。

貳、實習行程

前往國家：丹麥

出國日期：107年8月25日至107年9月2日

起迄日	行程	工作內容
107.8.25、26	台北→法蘭克福→哥本哈根	往 程
107.8.27、28	哥本哈根	沃旭能源討論離岸風機施工期間環境減輕對策
107.8.29、30	哥本哈根	參訪哥本哈根周邊沃旭能源所轄風場及離岸機組
107.8.31	哥本哈根	沃旭能源總結會議
107.9.1、2	哥本哈根→法蘭克福→台北	返 程

參、實習內容

一、前言

本次實習行程共分為三部分，本處先赴沃旭能源總部進行訪談，再由沃旭能源公司帶領下，前往 Avedøre 離岸風場，最後返回沃旭能源總部進行總結會議。

沃旭能源總部位於丹麥（詳圖 1），前身為 DONG Energy(丹麥石油與天然氣公司)，2017 年出售了石油及天然氣上游業務，並改名為「沃旭」(Ørsted)，以彰顯完成黑能到綠能的策略轉型，及 2023 年達到零燃煤使用之目標。而沃旭能源於 1991 年在丹麥興建全球第一座離岸風場以來，沃旭興建的離岸風機已超過 1,000 架，離岸風場總裝置容量，已經超過全球四分之一，1991 年最早之離岸風機於丹麥 Vindeby 風場之風機直徑 35 公尺、總高度 52.5 公尺，至 2017 年最大之離岸風機於英國 Burbo Bank Extension 風場之風機直徑 164 公尺、總高度 195 公尺，亦可看出離岸風機技術規模之演進。

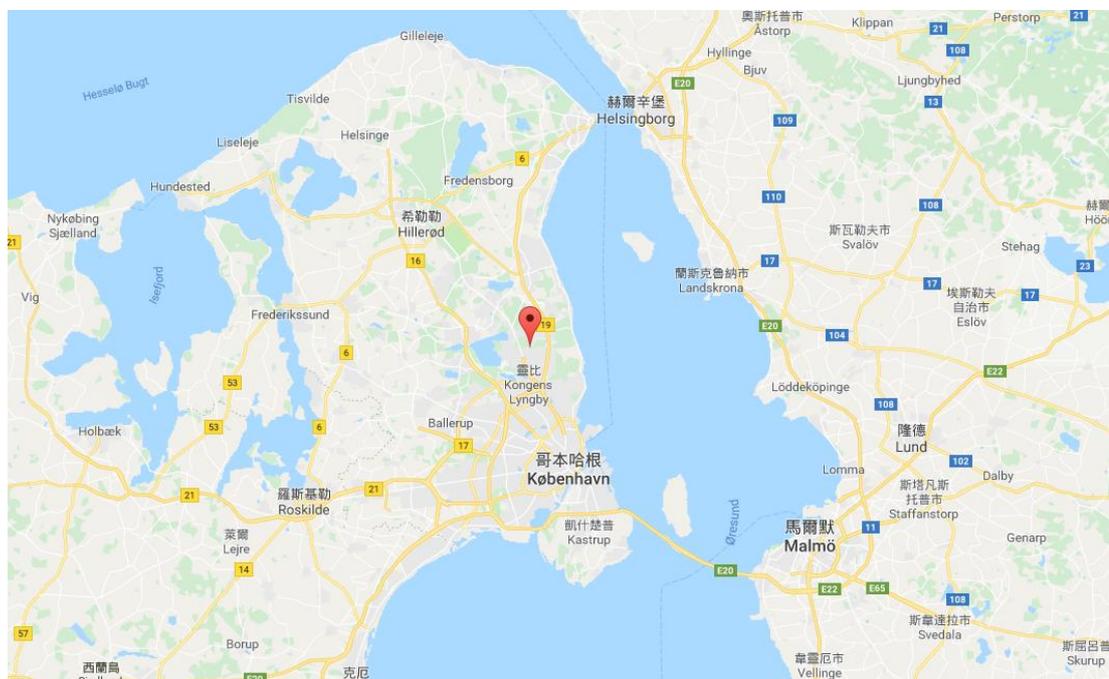


圖 1 沃旭能源公司 Customer Service Center 位置

之後由沃旭能源帶領下，造訪 Avedøre 離岸風場(詳圖 2)，該公司於丹麥共有 5 座離岸風場，分別為 Anholt 風場、Middelgrunden 風場、Avedøre 風場、Nysted 風場及已機組已除役之 Vindeby 風場，由該公司介紹現場之作業環境。

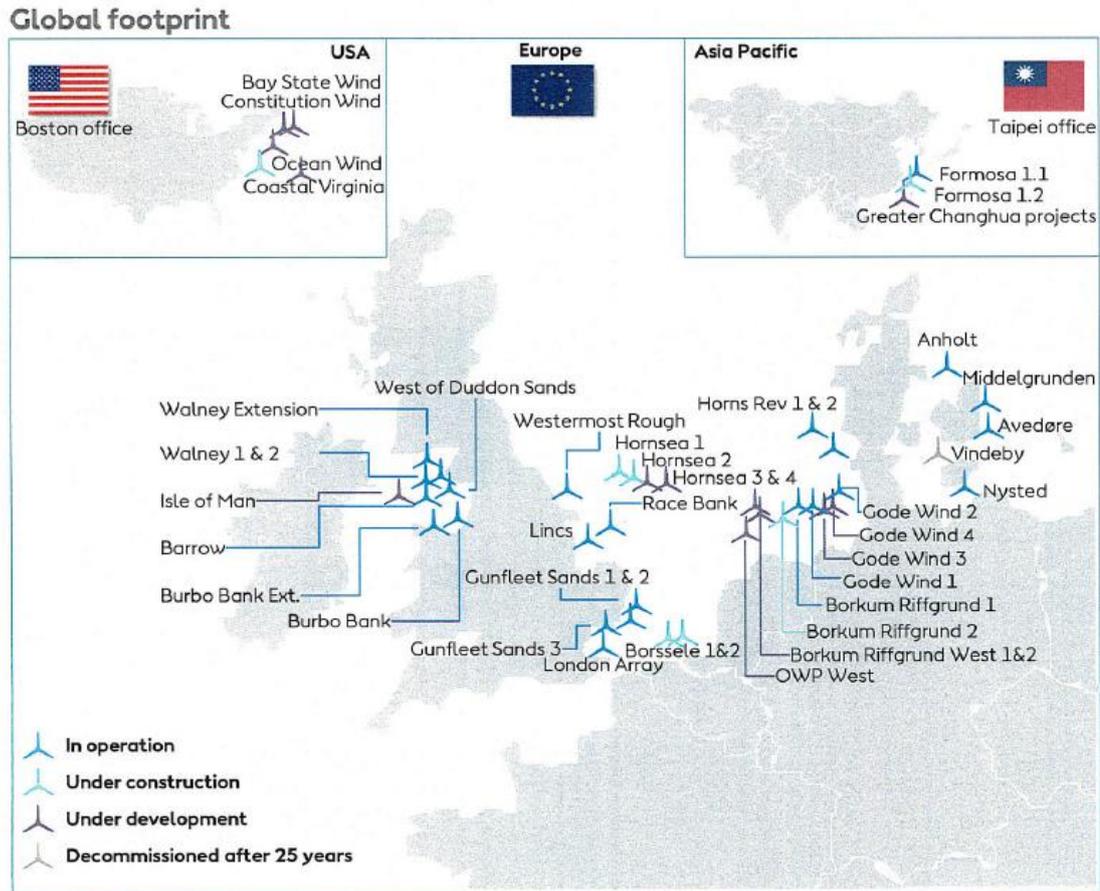


圖 2 沃旭能源所轄風場之位置圖

二、Avedøre 風場

Avedøre 風場（如圖 3）為沃旭能源公司前身東能源公司（Dong Energy）設計施工，於 2009 年 12 月開始營運迄今，屬近岸式之試驗風場，距陸地僅約 5 公尺，設置 3 架風機，裝置容量各 3.6MW，共計 10.8MW，風機高度 153 公尺、轉子直徑 120 公尺、工程經費約 1 億丹麥克朗。近岸式試驗風機除可蒐集離岸風機之實際運轉數據，累積經驗，亦可設置維修通道(如圖 4)，方便人員維修及更改參數。



圖 3 Avedøre 風場風機實景圖



圖 4 近岸式試驗風場之維修通道

三、沃旭能源訪談過程

本次與沃旭能源進行交流，主要議題為離岸風力機組海上施工環境影響減輕對策，該公司環保部門參與討論出席人員有處長 Hans Lyhne Borg、資深計畫經理 Martin Guldhammer、Tobias Moller Ruby、經理 Soren Enghoff、Vivian Tai 等人，並於會中交流討論。

(一) 水下噪音對哺乳類動物（鯨豚等）影響：

據研究調查指出，離岸風機基礎打樁施工過程，產生之水下噪音將對

鯨豚等哺乳類動物將造成永久性之傷害，輕者會讓鯨豚遷徙離開其原棲地，躲到一個噪音較小，卻未必適合其生存之環境；重則會損傷鯨豚的聽力（目前研究指出水下噪音超過 160 分貝即有可能發生，而離岸風機基礎打樁產生之噪音確實可達 160 分貝），在混濁的海中，鯨豚只能靠聽力回聲定位辨認環境，一旦聽力損傷，將完全失去野外生存的能力。

(二) 針對施工期間造成之水下噪音，沃旭能源公司提出之減輕對策如下，其中部分對策與本公司現行於離岸風場開發之減輕對策相近：

1. 打樁期間，規劃設置即時聲學系統並搭配觀察員進行目視作業之雙重監測，確認沒有鯨豚在施工區域週遭活動，說明如下：

(1) 即時聲學系統

於距離打樁位置 750 公尺處放置即時聲學系統（如圖 5）並分布於 4 個方位，持續偵測有無鯨豚在附近活動。

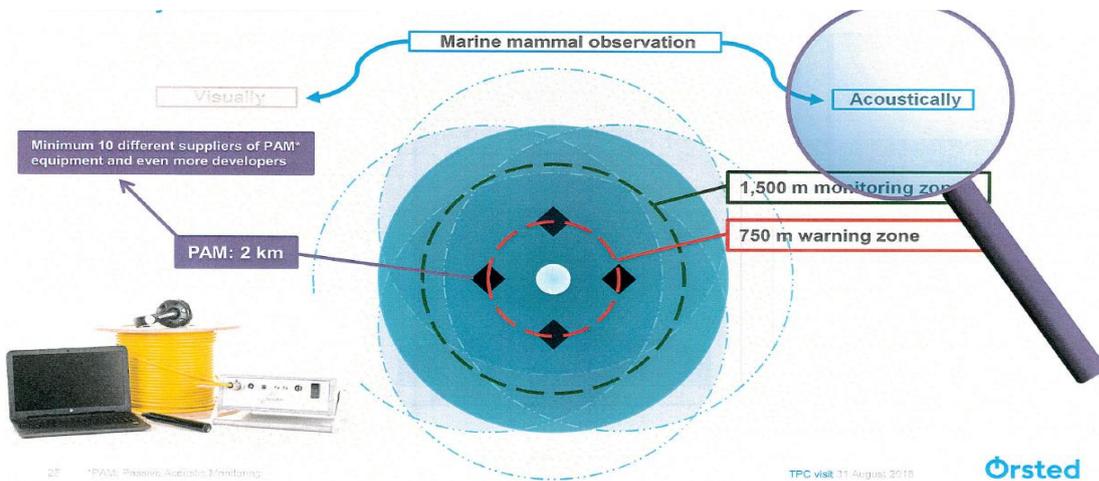


圖 5 即時聲學系統佈置圖及影響範圍

(2) 鯨豚觀察員目視作業

規劃以打樁風機為中心，其半徑 750 公尺內為警戒區，半徑 750~1,500 公尺間為預警區，詳請見如圖 6 所示。依總

監測面積及觀察員視線範圍約 1 公里計算設置觀察船數量，於打樁半徑距離 750 公尺處，設置 4 艘船以順時鐘或逆時鐘方式巡航。施工營運期間 4 艘觀測船各船配置至少 2 名以上鯨豚觀測員，於基礎打樁過程同時目視觀察（如圖 7）。每船除船長外，一人觀察警戒區，一人觀察預警區。

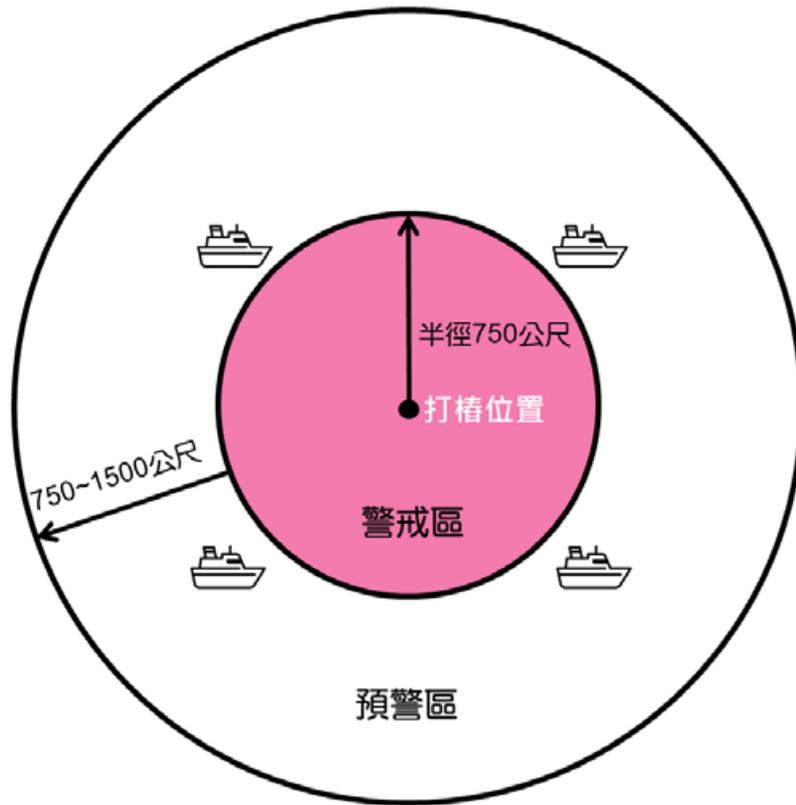


圖 6 鯨豚目視示意圖

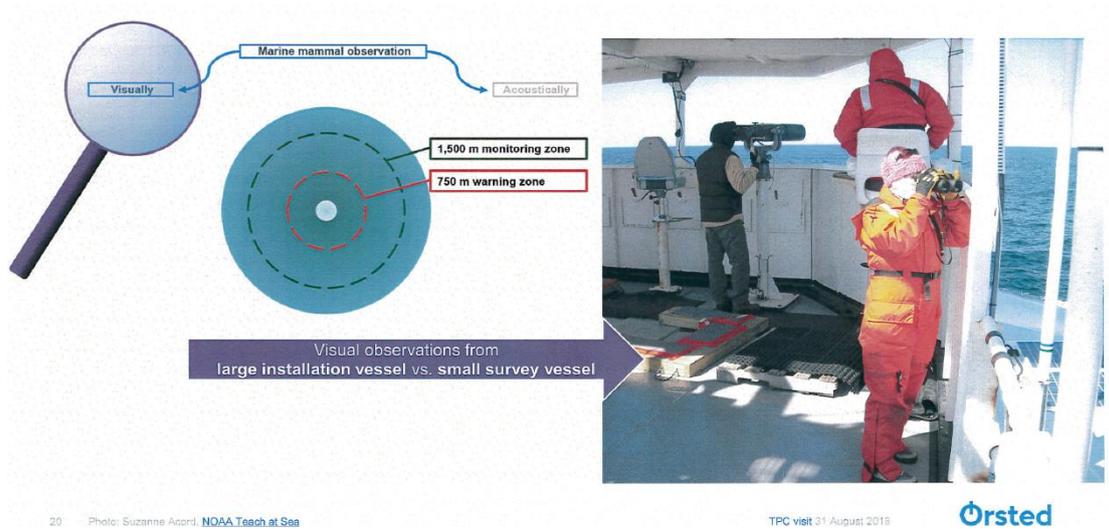


圖 7 鯨豚目視實際操作圖

2. 當雙重監測方式(即時聲學系統及目視作業)均確認警戒區(750公尺)內至少連續 30 分鐘無鯨豚活動後，方可開始打樁。
3. 打樁時採漸進式工法，由低力道的打樁慢慢漸進到全力道的打樁，緩打樁時段至少 30 分鐘，讓鯨豚類有更充裕時間離開打樁噪音源。
4. 打樁期間，若發現有鯨豚活動：
 - (1) 即時聲學系統或鯨豚觀察員於警戒區內發現有鯨豚活動，即應在無工程安全疑慮情況下(確保在不會造成人員傷亡或因其危及人身安全之情況)停止打樁。等待鯨豚離開警戒區 30 分鐘後，再採取漸進式打樁慢慢回復到正常打樁力道繼續工程。
 - (2) 若發現鯨豚進入預警區(750~1500 公尺內)，則觀察記錄其移動方向，並確認海豚是否有往警戒區移動。
5. 於打樁半徑 750 公尺處進行即時水下噪音監測，且承諾在距離打樁聲源半徑 750 公尺處，水下噪音曝露位準(Sound Exposure

Level, SEL)不得超過 160 分貝〔(dB)re.1 μ Pa2s〕。

6. 打樁期間設置且全程使用減噪設施如水下氣泡幕、水下帷幕等水下噪音防制工法（如圖 8）等。
7. 所有打樁作業（包含施工現場的吊樁及翻樁作業）必須在施工船上全程錄影，錄影畫面應顯示拍攝的日期與時間，錄影資料應保存備查。



圖 8 水下噪音防制工法

8. 在鯨豚等野生動物棲息環境(含預告)及邊界以外 1500 公尺半徑內，施工船隻船速應管制在 6 節以下。並盡可能避免在鯨豚活動高峰時間進入已知之鯨豚活動密集位置，航道劃設也應避開敏感區位。
9. 不使用聲音驅趕裝置暫時驅趕鯨豚族群等保育類野生動物。
10. 離岸風力發電機組施工期水下噪音評估方法及閾值採用德國 StUK4(2013)的環境影響評估標準（附件_ref.[1]），測量方式參照附件技術指引（附件_ref.[2]），模擬方法參考附件技術指引（附件_ref.[3]），量測方法及閾值如下：
 - （1）在距離打樁位置外 750 公尺處選擇合理方位設置 4 座水下

聲學監測設施並分布於 4 個方位（如圖 9），持續監測打樁水下噪音值。

(2) 於 750 公尺監測處，水下噪音聲曝值(SEL)不得超過 160dB re.1 μ Pa2s，作為影響評估閾值。

(3) 在計算水下噪音聲曝值(SEL)時，採用單次打樁事件為基準，每次以 30 秒為資料分析長度，計算出打樁次數 N 及平均聲曝值（equivalent SEL 或 average level，簡稱 Leq30s），再換算成「單次（30 秒內平均每次）打樁事件的 SEL」，作為判斷是否超過閾值的數據。

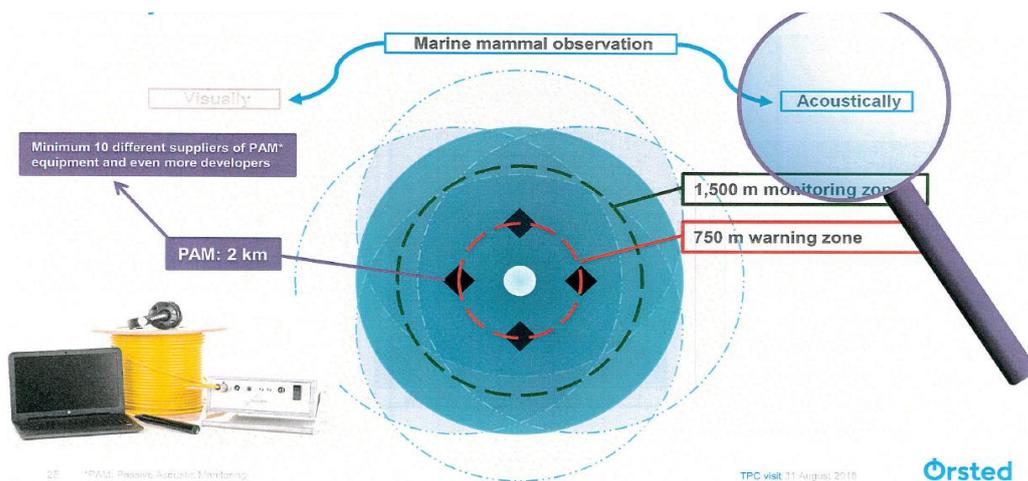


圖 9 水下聲學監測設施佈置

11. 選擇適合之基礎形式：

目前所蒐集之國外風機結構基礎設計資料，主要之基礎型式有以下數種：

(1) 單樁式(Monopile)：

目前世界上約有 2/3 之風機採用此基礎形式(如圖 10)，因其簡單之外型，不僅設計及製造簡單，組裝及運輸亦便捷。然

為滿足勁度之需求，須採用較大之樁徑，也導致單樁承受較大之流體力，並須施作防淘刷之基礎保護工。而亞洲地區無大樁徑打樁機，勢必採用歐洲施工船隊。單樁與連接段間之砂漿也因長時承受動態載重而容易碎裂。此外，因樁徑大小受限於製作及打樁設備，單樁僅適用於水深 0~25 公尺，且屬砂質海床之情形。



圖 10 單樁式基礎

(2) 三桿式(Tripod)：

此基礎型式由三支斜桿以放射狀方式於主節點支撐主柱，基樁則通過斜桿底部之樁套筒將斜桿固定於海床上(如圖 11)，藉達到較大之承載面積以提升結構整體勁度及抵抗傾倒彎矩之能力，與單樁式相比可有效縮小桿件斷面，並減少流體之衝擊，此基礎型式適用於 20~50 公尺之水深。



圖 11 三桿式基礎

(3) 套筒式(Jacket)：

此基礎型式由四根主要套筒(管)所構成，彼此間以多根交錯之細長連桿相連接(如圖 12)，可減少須承受之流體力，並因承載面積大及靜不定度高，可大幅增加側向勁度及整體穩定性，適用於環境載重較大或水深較深(>20 公尺)之情形，海上平台結構多以此型式作為基礎提高安全性，並確保人員安全。因其較穩定及管徑較細，打樁時產生之噪音較小，故施工時對鯨豚之影響較低。



圖 12 套筒式基礎

(4) 三樁式(Tripile)：

三樁式之構想，用三支樁替代一支樁，以換取較佳之勁度並減少須承受之流體力，其構架簡單，僅含三支樁及一連接段(如圖 13)。儘管連接段難以製造，但可藉由大量生產降低成本，加上樁之單價較低且尺寸可視工址之水深進行調整，此基礎型式於大型風場開發中仍具良好競爭力。



圖 13 三樁式基礎

(5) 插筒式(Suction bucket)：

屬於一種比較新之基礎型式(圖 14)，分成底部之插座(suction)及上部之套筒(bucket)，當裝設完成後，其整體行為兼具傳統基樁及重力式基礎二者之特性，而結構於極端動態荷重下可能形成之拉拔力可由其所形成之吸引效應加以抵抗。一般採用鋼材經焊接後形成，並運送至現場吊放，而為了形成穩定之重力式結構，其突出之基座上須堆置巨石或澆灌混凝土以增加自重；此基礎型式類似於重力式基礎，適用於軟弱土層較淺，基礎沉降插入土層後，下方之堅硬岩盤或礫石沉積可提供底部良好之承載力，且一般適用於水深較淺(<20m)之海床。



圖 14 插筒式基礎

(6) 重力式(Gravity-based)：

此基礎型式由底部巨大座落於海床面上之混凝土結構所形成(如圖 15)，藉著混凝土結構本身之龐大重量抵抗外在荷重造

成之側向力及彎矩，使整體風力機組結構維持穩定。此基礎型式可明顯減少整體結構懸臂的部分，因此受水平力作用下之變形與安全性比較高。

由上部結構傳下之彎矩透過這種基礎型式轉換為連接段鋼管與混凝土間之水平接觸壓力，在連接段與混凝土基座連接處因為牽涉到二種不同材料之接合，行為比較複雜，在設計與施工時需特別之注意，另外，因完全靠基座自重維持穩定，沒有基樁設置，故這類基礎設計時需確保於外在荷重作用下，基座底部均處於受壓狀態，以免發生張開現象影響結構整體穩定。此基礎型式因屬重力式結構，需要有良好的底部承載能力，所以適用於堅硬岩盤或礫石沉積，且平均水深較淺(小於 10 公尺)之海床。



圖 15 重力式基礎

(7) 懸浮式(Floating)：

在平均海床深度較大之區域，基本上採用基樁或重力式基礎之方案就成本及施工而言較不可行，此時可採用懸浮之結構型式，以數條繫索將懸浮之結構錨定於底部海床上，利用結構之上浮力拉緊繫索，維持整體結構之穩定(圖 16)，目前挪威、葡萄牙已完成此型式風機基礎，而日本預定於 2013 年 10 月完成此型基礎安裝工作。此基礎型式因其懸浮特性，容易產生扭轉行為，因此下部結構之扭轉勁度須特別注重，同時於繫索內容易產生瞬間鬆-張之行為，引起高度之局部應力產生，易造成繫索的損壞，而繫索與錨定基座接合區域之應力與旋轉行為也須特別考量。此基礎型式一般適用於平均海床深度大於 50 m 之海域。

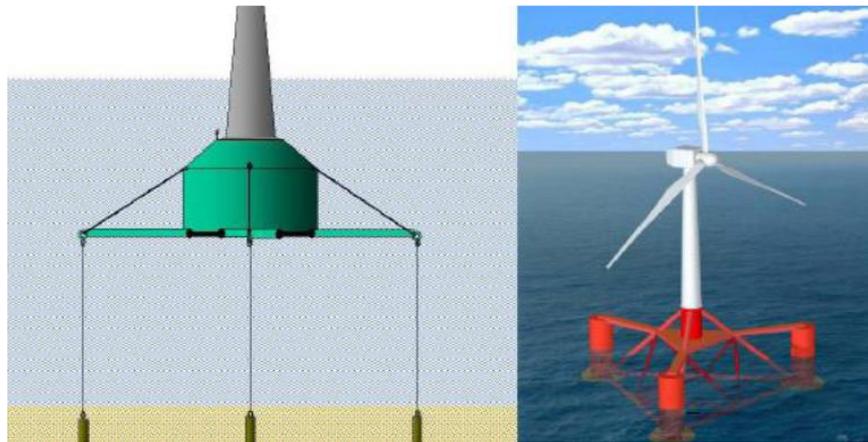


圖 16 懸浮式基礎

(三) 沃旭能源公司對台電公司之建議：

沃旭能源公司身為離岸風力發電之先行者，且本公司為我國規模最大之電力公司，針對近期至我國申請大彰化「大彰化離岸風力發電計畫」環評審查提出若干看法及建議，作為本公司未來類似案件環境影響說明書編擬之參考。

1. 「日落前 2 小時後至日出前，不得啟動新設風機打樁作業」：此項承諾亦為本公司於離岸風力發電計畫之承諾，惟目前尚無文獻資料顯示夜晚為鯨豚之休息時間，故上述承諾未必有其實質意義，或許以施工過程每隔一段時間休息固定時間較為適合，亦有助於開發商之成本節省。
2. 「離岸風力發電機組施工期水下噪音評估方法在距離打樁位置外 750 公尺處選擇合理方位設置 4 座水下聲學監測設施並分布於 4 個方位，持續監測打樁水下噪音值」：沃旭能源認為若佈設位置適當，2 座水下聲學監測設施即可涵蓋大部分所需監測之區域（如圖 17）。

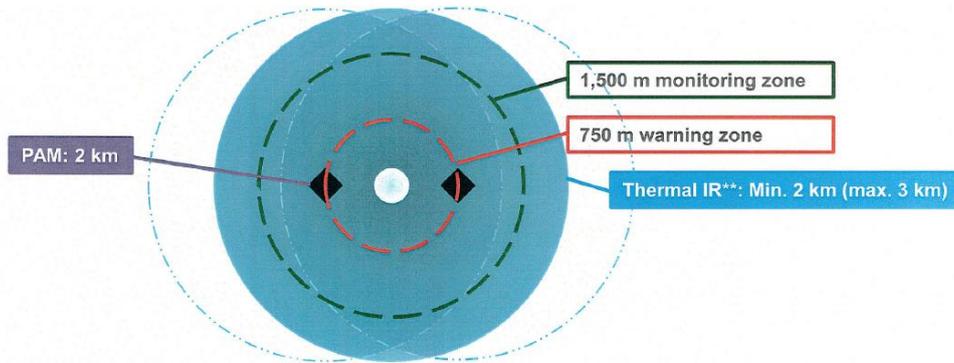


圖 17 2 座水下聲學監測設施監測範圍

(四) 施工方式

為避免水下噪音對鯨豚等哺乳類動物之影響，雙方交流經瞭解可行之施工方式如下：

1. 設置水下氣泡幕

當機組基樁施工使用敲擊式基樁應設置水下氣泡幕以降低水下噪音音量，減少噪音傳至鄰近地區，並縮小影響範圍，減少對鯨豚等哺乳類動物之衝擊。

2. 以漸進式力道打樁

使用 soft start (ramping up) 方式打樁，由低力道的打樁慢慢漸

進到全力道的打樁，讓鯨豚有機會在剛開始打樁時得到警告而遠離噪音源，以避免受到直接的傷害。

3. 規劃監測區及警戒區

於施工期間規劃於施工期間設置監測區及警戒區，設置觀察船數量需依照總監看範圍面積及訓練有素的海上鯨豚觀察員視線範圍約 1 公里計算，假設於深水海域打樁其噪音可四處傳遞，警戒區於打樁半徑距離 750 公尺設置 2 艘船以順時鐘或逆時鐘方式巡航；監測區於打樁半徑距離 1.5 公里外圈共設置 4 艘船，總共需要 6 艘觀察船。開始打樁前，觀察員需先確認警戒區內至少 30 分鐘無鯨豚活動，打樁時一旦發現鯨豚進入警戒區，施工單位應立即停止打樁，等待鯨豚離開警戒區 30 分鐘後，再採取漸進式打樁慢慢回復到正常打樁力道繼續工程。若發現鯨豚進入監測區則觀察記錄其目擊資料與移動方向，確認鯨豚無再往警戒區移動。

4. 船速管制

蒐集文獻及調查報告，以瞭解鯨豚等哺乳類動物出現之熱區，限制熱區之船速，已知香港海岸保護區將船速設定於 10 節以下，另參考周蓮香教授於 2011 年之報告指出，若船隻航行方向與中華白海豚之活動路線重疊時，為降低對其影響，應將船速降低於 6 節左右，並避開白海豚群體之游動方向。

5. 水下聲學監測白海豚活動與生物性噪音：

施工期間應於風場範圍內外設置若干水下聲學監測站，利用被動式聲學錄音機偵測鯨豚等哺乳類動物之聲音以及當地之顯著性生物噪音，以掌握重要物種之活動週期特性，並瞭解施工對其可能造成之影響。

肆、心得與建議

- 一、未來離岸風機若有更新之技術，本公司可考慮參考沃旭能源於適合之地點設置近岸試驗場，以利數據及經驗蒐集、節省成本，甚至依此確認是否作為未來大規模之投資。
- 二、沃旭能源 2 項建議可進行研究，若不影響鯨豚作息未來提送環說書可考慮修正現行之減輕對策。
- 三、本次實習主要係以水下大型哺乳類之保護對策為主，因時間關係不及詢問離岸風機對鳥類之影響及減輕保護對策，惟台灣近海部分區域為候鳥遷徙之路徑，建議未來可派員交流有關鳥類之減輕保護對策。
- 四、因本次參訪之時程較為緊湊，然利用此機會認識沃旭能源之環境保護相關人員，並涉取相關知識，實可助於本公司未來規劃離岸風機環境影響說明書之施工期間減輕對策。未來建議本公司派員赴沃旭能源交流，可更進一步了解如何離岸風機設計規劃、施工、環境監測、環評方面等知識。