

前瞻全球離岸風力發電技術 與台灣產業機會分析

陳芙靜、李孟諺

委託單位：經濟部技術處

執行單位：金屬中心

文目錄

第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究範圍與架構.....	2
第三節 研究方法與流程.....	4
第四節 研究時程及限制.....	5
第二章 離岸風力發電產業概述.....	7
第一節 離岸風力發電場之設置與運作.....	8
第二節 離岸風力發電關聯產業概述.....	11
第三節 離岸風力發電成本分析.....	17
第三章 全球離岸風能市場環境分析.....	27
第一節 2000-2010 年全球離岸風能市場發展.....	28
第二節 歐洲地區.....	30
第三節 北美地區.....	38
第四節 亞洲地區.....	39
第五節 2010 年-2020 年全球離岸風能市場預測.....	46
第六節 先進國家離岸風能政策分析.....	54
第四章 全球離岸風力發電技術發展趨勢.....	63
第一節 離岸風力發電設備技術範疇.....	64
第二節 全球離岸風力發電技術發展趨勢.....	68

第三節 全球離岸風力機設備零組件產品技術發展趨勢	96
第四節 全球離岸海事工程技術發展趨勢	109
第五章 全球離岸風力發電設備產業供應鏈分析	119
第一節 各國風力發電設備產業供應鏈分析	119
第二節 全球離岸風力機系統商供應現況	125
第三節 全球離岸風力發電設備零組件供應現況	129
第六章 我國離岸風力發電設備產業機會分析	135
第一節 台灣離岸風力發電研究實驗場之維運與經濟效益分析	135
第二節 我國離岸風力發電設備產業發展機會分析	139
第七章 結論與建議	157
第一節 結論	157
第二節 建議	158
參考資料	161

圖目錄

圖 1-1	本專題報告之研究範圍與架構.....	3
圖 1-2	本專題報告之研究方法及流程.....	4
圖 1-3	本專題報告之研究時程.....	5
圖 2-1	離岸風力發電關聯產業.....	12
圖 2-2	風場開發顧問公司業務內容.....	14
圖 2-3	淺水區離岸風場建設成本.....	18
圖 2-4	離岸風場生命週期成本.....	19
圖 2-5	離岸風場建設成本(物價波動水準轉換).....	20
圖 2-6	風場離岸距離和建設成本關係.....	22
圖 2-7	離岸風場水深和建設成本關係.....	23
圖 2-8	風場離岸規模和建設成本關係.....	24
圖 2-9	風力發電成本模擬分析.....	25
圖 3-1	2000-2010 年上半年全球離岸風能裝置概況.....	28
圖 3-2	2001-2010 年上半年歐洲離岸風能裝置統計.....	30
圖 3-3	2009-2020 年英國離岸風能裝置統計與預估.....	35
圖 3-4	2009-2020 年德國離岸風能裝置統計與預估.....	37
圖 3-5	中國大陸離岸風資源分佈.....	40
圖 3-6	中國大陸海上風力發電設置範圍.....	41
圖 3-7	中國大陸離岸風力發電發展規劃.....	42

圖 3-8	台電及永傳彰化離岸風力風力發電預定廠址	43
圖 3-9	日本離岸型風力風力發電系統先導研究	45
圖 3-10	2009-2020 年全球每年新增離岸風能裝置預估	46
圖 3-11	2009-2020 年全球離岸風能產值預估	47
圖 3-12	歐洲施工中離岸風能裝置統計	48
圖 3-13	2009-2020 年歐洲離岸風能裝置統計與預估	49
圖 3-14	2009-2020 年歐洲離岸風能產業市場規模與發電量預估	49
圖 3-15	美國之離岸風場計畫	51
圖 3-16	韓國新萬金風力發電示範園區規劃	54
圖 4-1	離岸風力發電技術發展範疇	64
圖 4-2	離岸風力發電場架構圖	69
圖 4-3	離岸風力發電塔下基礎	74
圖 4-4	離岸風力發電場成本分析	75
圖 4-5	離岸風力發電變電站	76
圖 4-6	全球商業化離岸風場裝置容量、水深及岸上距離分析圖	78
圖 4-7	歐盟 Upwind 離岸風力發電技術發展架構	79
圖 4-8	歐盟離岸風力發電技術藍圖 TPwind	80
圖 4-9	離岸風力機大型化具成本效益 TPwind	86
圖 4-10	離岸風力機塔下基礎分類	88
圖 4-11	離岸風力機塔下基礎成本分析	88
圖 4-12	漂浮式風力發電基礎概念圖	91

圖 4-13	海神 37 混合式漂浮發電平台	91
圖 4-14	DeepWind 風力機組構想圖	92
圖 4-15	漂浮式垂直軸風力機組概念圖	93
圖 4-16	離岸式風力機組系統構造圖	97
圖 4-17	西門子風力機外觀	101
圖 4-18	美國超導 Seatitan 10MW 風力機	102
圖 4-19	離岸風力機底座基礎型式	103
圖 4-20	中國上海東大橋離岸風力機底座基礎	104
圖 4-21	重力式(Gravity)底座	105
圖 4-22	單樁式(monopile)底座	105
圖 4-23	三樁式(tripod)底座	106
圖 4-24	套筒式(jacket)底座	106
圖 4-25	挪威 Hywind 漂浮式底座	107
圖 4-26	挪威 SWAY 漂浮式底座	108
圖 4-27	2000 年、2005 年、2009 年底座類型的占有率	109
圖 4-28	2009 年新增設置的風力機底座類型	109
圖 4-29	離岸風場建造過程	110
圖 4-30	重力基礎之岸上製作	112
圖 4-31	中國大陸上海東大橋採雙重起重機船吊裝	114
圖 4-32	離岸風力輸電系統	115
圖 4-33	Nysted 風力發電場之離岸變壓平台	116

圖 4-34	風場海底纜線安裝.....	117
圖 5-1	英國離岸風力發電產業規劃.....	120
圖 5-2	南韓風力發電設備產業推動政策與方針.....	122
圖 5-3	南韓風力發電設備產品實施差異化策略.....	124
圖 5-4	南韓風力發電設備產業技術發展藍圖.....	125
圖 5-5	全球離岸風力機系統商分類.....	126
圖 5-6	全球離岸風力發電設備產業主要供應商.....	130
圖 6-1	台灣大型風力發電設備產業鏈.....	139
圖 6-2	國科會台灣離岸風力發電主軸計畫.....	145
圖 6-3	亞洲主要國家發展離岸風力發電產業能量分析.....	152
圖 6-4	兩岸離岸風力發電產業合作契機.....	155

表目錄

表 2-1	全球知名離岸風力發電顧問公司.....	15
表 2-2	2000-2015 年全球離岸風場興建計畫興建成本.....	21
表 3-1	2009 全球各國離岸風能累計裝置容量統計.....	29
表 3-2	全球主要離岸風場開發商統計.....	29
表 3-3	2009 年歐洲離岸風場累計裝置容量統計.....	31
表 3-4	丹麥主要離岸風場.....	32
表 3-5	英國主要離岸風場.....	33
表 3-6	英國第二階段風場開發計畫.....	34
表 3-7	英國第三階段風場開發計畫.....	35
表 3-8	德國主要離岸風場.....	36
表 3-9	美國獲開發許可離岸風場.....	39
表 3-10	台電離岸風場規劃.....	44
表 3-11	歐洲已獲開發許可之離岸風場容量.....	48
表 3-12	美國申請許可中之離岸風場計畫.....	50
表 3-13	加拿大主要規畫中的離岸風場.....	52
表 3-14	中國大陸首輪海上風力發電特許權開標結果.....	52
表 3-15	歐洲各國 2020 年再生能源發展目標.....	55
表 3-16	德國再生能源相關法案.....	59
表 3-17	英國 ROC 分類表.....	61

表 4-1	至 2009 年全球主要離岸風力機系統業者實績	70
表 4-2	主要商轉離岸風力機規格	71
表 4-3	全球主要離岸型風力機供應商	72
表 4-4	新型風力機設計與材料開發	81
表 4-5	風力發電測試工廠	82
表 4-6	塔下基礎的研發與測試	83
表 4-7	主要業者離岸風力機葉片規格	98
表 4-8	主要業者離岸風力機齒輪箱設計	100
表 4-9	離岸風力機相關工程規範之比較	111
表 5-1	英國風力發電設備零組件供應能力分析	121
表 5-2	南韓風力發電設備產業鏈	122
表 5-3	商業化離岸風力機系統商發展策略	126
表 5-4	離岸風力機新進入者分析	128
表 5-5	商業化離岸風力機之供應鏈	129
表 5-6	離岸風力機葉片供應商	131
表 5-7	離岸風力機齒輪箱供應商	132
表 5-8	離岸風力機發電機供應商	132
表 5-9	離岸風力機軸承供應商	133
表 6-1	離岸距離與額外增加的投資費用	135
表 6-2	國外離岸風場試驗階段	137
表 6-3	Thornton Bank 的經濟數據	138

表 6-4	我國發展離岸風力發電產業技術能量分析	140
表 6-5	台灣離岸風力發電聯盟	151
表 7-1	我國離岸風力發電設備產業發展之策略建議	159

SAMPLE

第一章 緒論

第一節 研究動機

2009 年 4 月全球 20 國領袖聯合高峰會議(G20)在英國倫敦落幕，會中所提『以能源革命創造綠色經濟』的訴求，已成為 20 大經濟體的共識。而 APEC 把原先的成長策略之永續成長定位為綠色成長(Green Growth)，並強調確保亞太區域經濟成長是一種對環境友好的成長，同時也將建構一個區域綠色經濟體。美國節能聯盟代表報告「能源效率成就繁榮及永續成長之機會」，其所強調「實施能源計畫可創造所謂的綠色就業」，建議 APEC 經濟體可採相關措施促進永續型綠色成長。顯見綠色能源經濟已是個無法被忽視的聲浪。

目前全球超過 60%以上的溫室氣體排放來自能源供需，因此減少對石化能源的依賴，被視為全球抗暖大計的關鍵。加上近年來金融海嘯重創，全球綠色再生能源產業吸引越來越多資金挹注。根據最新 2010 Bloomberg New Energy Fiance 報告指出，2010 年全球投入再生能源金額為 2,430 億美元，風力發電投資金額逾 900 億美元，佔比高達 39.5%，穩座第一大再生能源寶座。然隨著全球陸域風力發電場址逐漸飽合，各國積極規劃離岸風場，並藉以帶動本土產業發展，全面促進經濟成長。

我國具有 2GW 離岸風電開發容量，為免於過去陸域風力機長期依賴國外技術能量，造成維運困難，尤其離岸風力發電技術門檻更高，設備零件耗費更為鉅大，因此培育本土離岸風力發電產業鏈刻不容緩。我國自 2009 年起已啟動綠色能源旭升計畫，將以台灣的 IT、半導體、平面顯示器、機電、金屬、複合材料等產業基礎，切入具有潛力的綠能產業，以帶動低碳產業發展，創造就業機會。經濟部於 2010 年 4 月召開綠色能源產業發展會報，將全力支持本土風力發電設備產業的推動。未來透過離岸風力發電政策及研發資源之投入，協助國內業者建置自主開發離岸風力機關鍵零組件與系統整合能量。

第二章 離岸風力發電產業概述

為緩解全球金融海嘯衝擊，英國自 2009 年起針對離岸風力發電規劃一系列產業發展策略，希望藉由內需市場開發扶植當地風力發電產業，進而創造就業機會和拓展國內外市場。同時英國積極建立產業發展基盤，包括耗資 1,500 萬英鎊(約 7 億台幣)設置國家級葉片測試廠，目前已吸引美國 Clipper 及日本三菱重工至當地投資設立離岸風力發電設備工廠，2010 年新任政府耗資 6,000 萬英鎊進行港口腹地改善以利業者進駐及便於運送。而中國大陸在世博會開幕前，完成上海東大橋共 34 台離岸風力機安裝工程，向全世界展示其離岸風場自主開發能力，並將提升風力發電設備製造能力列為十二五規劃重點推動項目。

除了歐洲及中國大陸外，與我國產業實力最接近的韓國亦積極建構離岸風場。韓國將於 2012 年設置先導型離岸風場，2010 年知識經濟部韓國知識經濟部召開了海上風力促進合作會議，並發佈了《海上風力促進計畫書》，計畫至 2019 年累計投入 9.2 兆韓元在韓國西南海域建設發電能力達 2,500MW 的海上風力發電產業基地，以期進入全球三大海上風力發電強國之列。該風力發電基地建設計畫分為 3 期工程。一期示範先導工程為 2011 年至 2013 年，擬投資 6 兆韓元建設 100MW(20 台 5MW)規模的國產海上風力發電機組測試基地，用以累積風力發電組運行的相關經驗。二期工程至 2016 年，擬投資 3 兆韓元將測試基地的發電能力擴大至 900MW，三期工程至 2019 年投資安裝 300 台 5MW 級風力發電機，進而使總發電能力達到 2,500MW。雖然韓國的離岸風力發電產業還處於起步階段，但在造船、海上平台、建築、電器等關聯產業均具有較強競爭力，因此南韓政府推動當地成立離岸風電產業群聚、政策基盤建置及產業化支援系統。

與陸域型相較，離岸風力發電產業能帶動更多的就業機會，其除了風力機外，尚包括場址之佈局與空間規劃、塔下基礎、海事工程等，相關的服務業商機亦孕蘊而生，這正是各國將離岸風力發電產業視為重要施政之故。

第三章 全球離岸風能市場環境分析

風能發展之初，離岸風場開發早已存在於風能產業業者心中。但是由於當時離岸風力機技術不成熟，加上裝設成本過於高昂，使得早期離岸風力機裝設僅以示範、試驗性質為主。早在 1991 年，丹麥即在 Lolland 地區裝設 11 支風力機，總裝置量為 4.95MW，單機容量僅有 450kW。爾後的十年之間，1991 年至 2000 年，全球離岸風場總裝置量也僅有 35.5MW，且均在歐洲地區，成長幅度相當緩慢。進入 2000 年後，陸域型風力機產業逐漸步入成長期，風力機系統業者忙於擴充產能與應付全球需求，使得離岸風場的發展速度減緩下來，但走向離岸的規畫仍然緩步進行中。其中又以丹麥、英國，和德國最為積極，依據各國計劃逐步推展示範性計劃，獲得相關風場建置、海事工程、運轉維修等相關數據與經驗，並成為全球各國發展離岸風能的範本。

此外，美國、中國大陸、韓國、日本，和我國亦有發展離岸風能的相關計畫。美國第一個離岸風場 Cape Wind 計劃已獲准興建。中國大陸東海大橋離岸風場亦配合 2010 年上海世界博覽會，已經架設完成且併網發電。韓國於 2010 年 8 月公布完整的離岸風場開發計劃。2010 年 5 月日本政府綜合海洋政策本部研議中的「海洋可再生能源戰略」草案，將爭取 2020 年時，日本離岸風場發電量能超過 10GW。我國經濟部也著手規畫示範性離岸風場方案。顯示風能產業焦點已經逐漸轉移至離岸風場開發。

與陸域型風場相比較，離岸風場缺點在於建置成本高，風力機面臨之環境挑戰大，運轉維修亦較陸域風場困難。然而離岸風場可使用面積大且全整區塊進行規畫、地形平坦、風速高、低擾流，且電力產生較大等有利因素，仍讓離岸風場具有經濟可行性，被各國政府視為可提供低價再生能源的選擇，並且可以創造就業人口與貢獻經濟成長的重要產業。

從系統業者角度而言，位居風力機領導地位的歐洲業者近年來不斷受到中國大陸業者挾國內市場優勢快速興起的挑戰。歐洲業者無不希望能在離岸

第四章 全球離岸風力發電技術發展趨勢

上世紀 80 至 90 年代，歐洲即開始進行大範圍的海上風能資源評估及相關技術研究。全球離岸風力發電技術發展歷程主要分為三個階段：第一個階段是從 1990 年到 2000 年，離岸風力發電處於小規模研究和開發階段；第二個階段是從 2000 年至 2008 年，離岸風力發電進入大規模商業化開發階段；第三個階段是 2008 年至今，全球風力發電產業掀起了新一輪的投資熱潮。

自 1990 年瑞典設置第一座離岸式風力機後，20 年間相關技術便不斷的進行研發與改良，然而卻仍存在許多困難。此乃因早期離岸式風力發電並未受到矚目，許多企業並未投資開發設備，造成技術研發上的緩慢，並間接影響了離岸式風力發電的發展，尤其德國近年的離岸式風力發電計畫，多屬離岸 50 公里遠的「遠岸式」風力發電場。在大型風力機尚未開發前，業者僅能利用現有陸上 2-3 MW 之風力機進行試驗，然而海上因為鹽霧、海浪、遠大於陸地的強風等嚴苛的條件，往往造成發電機、齒輪箱或變電器的損害，因此目前有多家風力機製造業者開始投入研發超大型風力機，其中 Repower、Multibrid、Bard 公司已成功開發 5 MW 機型，並陸續進入量產期。

由於離岸式建造成本較高，所以選擇單機容量較大機組較符合經濟效益，但當風力機組數多時，分佈範圍較廣，且由於風力機的尾流效應(Wake effect)，故須考慮兩部機組左右距離 2 倍至 2.5 倍以上葉片直徑，前後距離 5 倍以上葉片直徑，例如葉片直徑 80m，則左右機組至少距離 160m，前後機組至少距離 400m，實際執行規劃時宜有足夠的長期風速資料，使用風能推演軟體如 WaSP 等，計算最佳佈置及發電量，或協請專家顧問公司評估。

第五章 全球離岸風力發電設備產業 供應鏈分析

第二節 各國風力發電設備產業供應鏈分析

含離岸風力發電在內之再生能源技術研究已進行多年，但過去很少人會從經濟學的角度分析這個現象。2006 年國際能源總署 IEA 開始發表經濟合作開發組織國家之再生能源技術對其總體經濟效率的影響。而我國中華經濟研究院簡台珍博士與交通大學經營管理研究所授胡均立博士亦深入探討，並在 2007 年的《能源政策》(Energy Policy)期刊發表指出，在其他因素不變下，增加再生能源的使用比率會提高總體經濟效率；反之，增加傳統能源的使用比率會降低總體經濟效率。由於政府可藉由營造有助於再生能源產業發展的環境，搭配相關技術輔導與獎勵措施，以帶動再生能源技術的發展，並促進資本累積及新興產業發展，創造新的就業機會，終會有利於經濟成長。目前全球各國以開發離岸風資源帶動當地經濟成長最為積極者當屬英國及南韓，包括擘劃一系列離岸風力發電產業策略與藍圖，在研發及租稅方面給予優惠，營造適合發展整體產業的環境。

一、英國

歐盟宣誓 2020 年之前 20%能源來自再生能源，身為全歐洲努力對抗氣候變遷威脅的一份子，英國已簽署一份保證，確保在 2020 年前，至少有 15%的能源來自再生來源。英國已根據「氣候變遷法案(Climate Change Act)」，保證溫室效應氣體排放量，至少比 1990 年基準減少 34%。歐盟的目標意味英國在 10 年內，30%以上的電力將來自再生來源，比 2009 年的 5.5%還高。各國政府陸續公佈節能減碳政策，創造綠能經濟，英國身為全球第一大離岸風力發電裝置國家，2009 年前任政府擘劃低碳產業發展策略，離岸風力發電設備產業即為重點行業之一，據此創造新興產業與工作機會，詳如【圖 5-1】

第六章 我國離岸風力發電設備產業 機會分析

第一節 台灣離岸風力發電研究實驗場之維運與經濟效益分析

離岸風力發電場之成本遠高於陸域風力發電場，原因之一是惡劣的海洋作業環境，使得對各種元件可靠度要求提高，而使成本提高。但真正的成本差異主要來自於新增的變壓平台與海底纜線及基礎結構等項目。海底纜線及特殊基礎結構是離岸風力發電的主要投資成本項目，對於風場水深及離岸距離之成本敏感度極高，依據調查，離岸 30 公里的風場建置平均約額外增加了 110% 的投資費用，若離岸距離增加到 70 公里，則投資費用平均約額外增加了 160%，參考【表 6-1】。相對的，離岸風場對於風力機尺寸之敏感度反而較小。換言之，基礎結構及電網聯接的施放海底纜線費用才是關鍵，而非發電容量大小。因此，對於相同容量的離岸風力發電場而言，若裝設數量較少而尺寸較大的風力機，其費用將低於裝設尺寸較小而數量較多的風力機。

表 6-1 離岸距離與額外增加的投資費用

--

註：(以 869 歐元/kW 風力機價格為比較基準)

資料來源：Holger Söker et al./金屬中心 ITIS 計畫整理

第七章 結論與建議

第一節 結論

第二節 建議

SAMPLE

《前瞻全球離岸風力 發電技術與台灣產業機會分析》

紙本定價：3000 點

全本電子檔下載：6000 點;亦可依各章節下載

電話 | 02-27326517

傳真 | 02-27329133

客服信箱 | itismembers@micmail.iii.org.tw

地址 | 10669 台北市敦化南路二段 216 號 19 樓

劃撥資訊 | 帳號：01677112

戶名：財團法人資訊工業策進會

匯款資訊 | 收款銀行：華南銀行—和平分行

(銀行代碼：008)

戶名：財團法人資訊工業策進會

收款帳號：98365050990013 (共 14 碼)

服務時間 | 星期一~星期五

am 09:00-12:30 pm13:30-18:00



經濟部技術處產業技術知識服務計畫

如欲下載此本產業報告電子檔，

請至智網網站搜尋，即可扣點下載享有電子檔。

ITIS 智網：<http://www.itis.org.tw/>

版權所有© 2011 經濟部技術處 產業技術知識服務計畫(ITIS)

經濟部技術處產業技術知識服務計畫專案辦公室 承辦