

台灣風力能源產業人力資源需求估計：以調查法、 裝置量估計法及工程經費法三種方法估計

Human Resource Demand Estimation of Taiwan Wind Power Industry: Estimating by Survey Method, I-O Method, and Construction Cost Method

嚴佳代¹

Chia-Dai Yen

國立中央大學人力資源管理研究所
博士候選人

hamrater@msn.com

黃同圳²

Tung-Chun Huang

健行科技大學企業管理學系
教授

林仲廉³

Jonq-Lan Lin

健行科技大學機械工程學系
教授

摘 要

由於能源大量消耗以及全球環保意識的抬頭，各國從21世紀開始競相發展再生能源以替代傳統消耗性能源，其中風力發電更是各國發展的重要政策之一。尤其是2011年日本核災之後，也讓各國風力發電的重視度更加提升。而在整體全球風電市場快速發展的同時，整個供應鏈也需要相對的人力才得以因應。

台灣風電雖然發展較慢，但能源局也規劃了2030年3000MW的裝置量計畫，希望未來風力發電可以成為台灣重要的能源來源之一，雖然台灣具有完整的風電供應鏈，但未來需要多少人才配合，以及那些人才是未來需求的重點仍然資訊缺乏。因此，為了提早培育相關人才以及擬定產業發展方向，本研究透過調查及模式推估，計算未來風電產業所需的人力需求及相關人才類型。

研究結果顯示，透過裝置量及工程經費法估計就業人口，在2020年海上風電裝置前約有900至3,000名人力需求，其中運維人力約400至800人；到2030年，台灣將有約10,500至17,258的風電產業人才需求，而運維人才則超過1,041人。至於在人力需求類型部分，工程研發人員、品管檢測人員及機械工程師則是未來主要的人才需求類型。

關鍵詞：風力發電、人力需求、投入產出估計法、工程經費法估計

謝詞：感謝國科會經費補助(NSC 99-3113-S-231-002)，也感謝曾經參與本研究的專家學者所提供的寶貴意見，讓本研究能夠順利完成。



Abstract

According to the energy depletion and rise of environmental consciousness, many countries devoted to develop the renew energy to replace the traditional consumptive energy. Wind power industry development is one of the most important policies. Especially after the nuclear disaster in Japan on March 11th 2011, every country attaches more importance to the wind power development. Accompanying with the rapid development of the wind power industry, it also needs a relative human resource to support the whole supply chain.

Although the development of wind power in Taiwan is later than other developed countries, Bureau of Energy still planned a 3000MW installed capability before 2030 and expected that the wind power could be one of the main sources of Taiwan energy supply. However, even Taiwan has a comprehensive supply chain in the global wind power market, it still lacks of integrity information about what is the number of human resource demands and what types of labor are the most important in the further wind power market. Therefore, to advance develop the core employees and plan the industry development direction, this research estimated the human resource demand by survey and model appraise.

According to the results, there will be about 900 to 3,000 human resource demands in off-shore wind power industry. Among them, 400 to 800 belong to the operation and maintenance (O&M) employees. Until 2030, there will be about 10,500 to 17,258 labor demand to support the whole wind power industry, and the labor demand of operation and maintenance would be over 1,041. The types of critical human labor demand are R&D engineers, quality control and test engineers, and mechanical engineers.

Keywords: Wind Power, Human Resource Demand, I-O Method, Construction Cost Method



壹、導論

面對全球環境保護及節能減碳議題大量的發酵，綠色能源產業的發展已是各國經濟發展上的一大重點，2009年重要領袖聚集哥本哈根舉辦前所未有的氣候變遷高峰會議，延續屆滿的「京都協議書」，訂定全球暖化的議題，世界各國也依據這個共識積極發展綠色能源的產業，以控制全球暖化的發展，因此使得綠色產業的人力需求快速的增加，也讓綠色能源產業成為全球發展最快速的產業之一。根據工研院產業經濟與趨勢研究中心研究報告，台灣目前有97%以上能源仰賴進口，為因應國際性協議對人為溫室氣體排放之全球性管制之具體行動，以及在國家整體經濟發展與社會環境保護的前提下，整合性推動國內綠色能源技術與其產業技術發展成為政府部門的重大政策(馬利豔，2010)。

另外，經建會在全球綠色能源投資與就業趨勢新聞稿中提到，2008年以來，全球經濟雖遭受金融海嘯嚴重衝擊，但綠色能源產業卻在這一波經濟蕭條中逆勢成長，為了掌握這全球的共識，各國也紛紛提出綠色能源發展計畫。能源局更具體擬定綠能產業的發展策略，大幅提升我國綠能投資及擴大綠能就業，其中「綠色能源產業旭升方案」，預估2015年可創造產值達1兆1,580億元，創造綠色就業超過11萬人(行政院經濟建設委員會，2009a)。此外，經建會推動的「服務業發展方案」中，亦已將節能技術服務業(ESCOs)列為發展新興服務業的項目之一，推展「低碳化、高值化」之創新增值服務，期於2012年達成產值40億元，就業人數2,200人的目標(行政院經濟建設委員會，2009b)。因此在全球發展趨勢及政府的積極鼓勵下，綠色能源就業勢必會快速的發展，對於未來整體綠色產業發展、人力需求特性及未來潛在需求等有迫切需要積極進行研究，以提供產官學各界建構完整的發展政策，並提供公立服務機構在就業輔導上的參考及建議，並讓求職者未來綠色產業就業訊息或及早規劃職涯發展，以達成就業市場供給與需求面均衡的目標，因此在針對綠色能源產業高端人力資源的需求刻不容緩。

2010年4月20日墨西哥灣油汙事件不僅影響美國能源科技的發展，也給全球一大警惕，原本全球主要的能源石油，因為鑽油平台的爆炸意外，造成每天平均有12,000到100,000桶原油漏到墨西哥灣，導致至少2,500平方公里的海水被石油覆蓋著。對環境生態造成極大的威脅(楊磊，2010)；加上原油並非循環性資源，會有枯竭的一天，因此在這事件後全球對於綠色能源的發展更加重視。美國更耗資數十億美元，在靠近麻州東北部的大西洋推行美國首項海上風力計畫，顯示風力發電在未來的發展重要性(大紀元，2010)；2011年3月11日日本東北大地震所引起的核能危機，也再度提醒社會大眾對於現行主力能源核能安全性的重視，之後也引發一連串對於永續能源發展的可行性。

風力發電2008年在歐盟的27個國家中總發電數達到64,935 MW，新建立的能源總發電數為19,651 MW，風力發電占了43%(8,484 MW)；瓦斯發電35%(6,932 MW)；石油發電13%(2,495 MW)；煤礦發電4%(762 MW)；水力發電2%(473 MW)，而風力發電所產生的直接工作機會更高達108,600人(European Wind Energy Association，2009)。歐洲風力能源協會(EWEA)更預測2020年風力發電可以創造328,690個工作機會，顯示風力發電在歐洲發展的重要性。其中丹麥的風力發電電量已約為其全國發電總量的20%至25%。主要原因是風力發電電價每度(kwh)約為4美分，與其他能源比較極具競爭，且丹麥政府預估到2030年時風力發電可提供丹麥一半電力。另外，在亞洲的日本政府綜合海洋政策本部正在探討的《海洋可再生能源戰略》草案於2010年5月8日正式成立，計畫在海上建

設風力發電設備，爭取在2020年前發電量超過1000萬千瓦，相當於10座核電站的發電量 (European Wind Energy Association, 2009)。

世界風能協會 (World Wind Energy Association) 指出，2010 年全球風力機組總裝置容量業為 196.6GW (百萬瓩)，可提供 4,300 億度電力，約滿足全球 2.5% 的電力需求，成就全球 67 萬人從事風能與風能相關產業，也創造 550 億美元產值。2010 年新增裝置 37.6GW，較 2009 年總裝置容量增加 23.6%。該協會推估 2020 年全球風力機組累計裝置容量將上看 1,500GW，約為 2010 年總裝置容量之 7.6 倍。(World Wind Energy Report, 2010)

在台灣，依據經濟部能源局統計，2009年台灣共設有196座風機，累計裝置容量372MW，全年風力發電達8.48億度(馬利豔，2010)。而到2013年8月則有30個風場，304部風力機，累計裝置容量為607.7MW，年發電量約15億度電，約可供36萬戶使用(來源：綠色能源產業資訊網)，年裝置成長量超過50%。未來台電及民間投資之風機如全部完工商轉，全國將有328座風機，總裝置容量達65.6萬瓩(馬公勉，2011)。而2011年行政院提出「陽光屋頂百萬座、千架海陸風力機」計畫，擬計畫再生能源增量在2025年時，達到推廣650~1,000萬瓩目標(工商時報，2011)，其中陸上預計裝600支風機，裝置容量120萬瓩，於海上將裝800支風機，容量約400萬瓩，合計520萬瓩，可見政府在風電產業發展的投入的期待。

隨著全球及台灣風能的發展，帶動台灣風力發電相關產業的成長，包括工程顧問公司、重電及機電整合、機電設備、營造、監測、安裝、風機吊裝、運轉維護、測試，電力電纜、電力電子轉換器、升壓變壓器、變速齒輪箱、感測器、塔柱材料、塗裝及塔架基礎等專業工程公司已經有很多公司在世界風能產業供應鏈上佔有一定的重要性，因此台灣風能產業也逐年創造出更多就業空間與人力需求。但綜觀目前台灣風力發電的人力需求相關研究對於風力發電的人力需求估計並無完整學術文章發表，僅有部分文章簡單帶到風能整體人力需求，且內容對於計算及研究過程並無完整描述(Ju, Chen & Liu, 2010)。而在政府相關補助計畫大多透過問卷調查方式進行風能產業人力需求估計(經濟部工業局，2012; 林輝政, 2013; 袁建中, 2013; 陳建文, 2013)，也無專門針對風力發電進行深入的探討。至於吳惠林(2013)計畫團隊參考國外I-O(輸入及產出法)計算法，計算風能產業所需人數，該成果卻與實際人力需求有相當大的認知落差。表示採取單一的估計方法仍然無法提出完整的人力需求報告，加上問卷調查必須透過專家進行主觀估計，缺少政策導向因素，而再生能源政策的方向卻對於再生能源發展有很大的影響(邱佩冠，2004)，因此採用多重估計方法進行比較修正是進行人力估計所必須的過程。本研究除了問卷調查了解產業專家的觀點以外，也以政府風能政策方向為基礎，參考國際間常用的I-O法(輸入及產出法)，以裝置量及工程經費預算來探討台灣風力發電產業人力資源需求情形，透過產業及政策方向進行比較整合，提出一個綜觀的人力需求觀點。估計結果不僅可以提供政府在制定政策時參考，也可以提供政府公共服務機構(就業服務中心)具體針對產業需求進行人才媒介規劃，並提供大學院校及職訓機構針對未來風能產業高端人才需求提早進行科系、課程、授課內容調整。同時亦可提供有志從事風力能源產業工作之求職者及在職者，預先培養所需專業技能並做好職涯規劃。



貳、文獻回顧

2009年美國總統Obama參觀美國俄亥州風力發電廠時提出，在美國身處高失業率及經濟危機的同時，再生能源提供數百萬個額外的工作機會，並發展出一個新興的產業，對美國經濟有很大的幫助 (CBS, 2009)。由此可見風力發電除了可有效減少空氣汙染與溫室效應等環境破壞之外，更可帶動經濟的成長與就業機會的增加。以風力發電最發達的歐洲共同體為例，過去五年風能相關產業創造了60,000個新的工作機會，但有關於我國風力發電與人力資源需求關聯之探討文獻相對闕如。而全球風能產業主要以西班牙、丹麥、德國、美國、英國及中國為主要的發展國家，歐洲地區風能則是全球發展最早的地區，早期規模也最大，產業結構也較為完整，雖然依照國家政策方向不同有不同的發展方向，但歐洲地區擁有全世界最完善的跨國互聯電網，因此綠能相關發展在各國之間也是息息相關；而在美洲方面，主要風能發展國家則為美國以及加拿大，北美洲地區近幾年更是陸域風電新增裝置量最高的地區，加上美加都擁有大量的內陸土地，因此仍然有非常大的潛能大量開發陸域風電；中國大陸則是近幾年風能發展最快速的國家，加上與台灣關係密切，產業類型也類似。因此透過歐洲、美洲以及中國大陸三大風能發展區域人力需求相關文獻回顧，探討國際間風能人才需求狀況，在比較台灣風能發展狀況以估計出未來台灣風能產業人力需求狀況。以下分別針對國內外主要風力能源產業之人力資源相關研究進行探討。

一、國外風力能源產業人才需求

(一) 歐洲

根據歐洲風力能源協會(European Wind Energy Association, 2009)的報導指出，最近幾年來風力能源在歐盟(EU)配置容量大幅攀升，2000 年到 2009 年間增加 339%，總發電量達 560 億瓩(56GW)，佔電力來源之 3.7%。不過，沒有人力資源的投入，風力發電機具將無法生產、建立、設置與營運，亦無法進行規劃，取得設置許可，以及執行風場(Wind farm)的監督與管理，也就因此帶動了風能相關產業近幾年就業機會的大幅成長。以 2007 年來看，歐盟風能部門直接僱用的人力為 108,600 人，若包括間接相關之人力 42,716 人，全部風能之就業人口為 151,316 人。

若進一步依直接就業之公司類型細分，則以風力渦輪(turbine)生產製造僱用人數 40,182 人最高，佔 37.8%，其次為相關零組件製造僱用 23,892 人，佔 22%。僱用人數第三位的為風場開發僱用 17,376 人，佔 16%。歐洲風能協會(EWEA)所做直接僱用人數之分析係將設立、營運及維護合成一個群體，使得在計算每一百萬瓦特(MW)發電量帶動之就業人數產生困難。因為設置之就業人數為每年風力發電設置之人數，至於營運與維護人力則含括所有各種之前已設置之風能發電機組之運轉人力。再者，「風場開發」理應亦包括營運與維護之僱用人力，因此，歐洲風能協會推估每百萬瓦特(MW)風能設置將創造 15.1 個職務；此外，每百萬瓦特累積設置容量(Cumulative installed capacity)的營運與維護將產生 0.4 個職務。依此推估，2020 年歐洲共同體風能發電達 180GW 累積設置容量時，就業人數將增加到 328,690 人；2030 年風能達 300GW 時，人力資源需求將達到 377,244 人。

歐洲風能協會 2009 年的報告指出，許多風力能源公司近年來持續指出若干領域出

現人力短缺情形，例如製造商指出工程師及營運及維護管理人才為最缺的人力資源；風能開發廠商則指出專案經理為最缺乏之人力，尤其是負責取得風場設置許可的專案人員，因為除須具備風能相關知識外，尚應有溝通、協調、解決問題的能力。此外，本份報告亦指出，大學較少開設風能相關客成為較大之困難，亦有受訪者指出剛畢業的學生缺乏一些特殊的專業技能，這些有賴到工作職場中做中學。

西班牙政府為了綠色能源的發展，從 2005 開始實行再生能源計畫(Renewable Energy Plan, REP)，為期五年的 REP 計畫，主要目標是在 2010 年再生能源能夠達到全國 12% 的供電量。同時，在風力發電部分，也規劃能夠建立 20,155MW 的裝置量。另外，西班牙除了 REP 計畫外，西班牙風能委員會也規劃在 2010 年西班牙全國再生能源能夠提供全國 20% 的電力來源，而 2008 年總再生能源已經能提供 19% 的全國電力來源，風能在這之中則提供 10.2% 的供電量。Álvarez et al. (2010) 在研究中整理計算西班牙風電產業就業機會的計算方式，研究中指出，在實地調查的過程中，風能產業業者大多無法提供精確地人力需求資料，因為他們無法穩定的估計其工作契約，因此大多假設維持現有人力來應付未來的需求，因此研究中透過裝置量來估計相關的工作機會，而裝置量的計算則依據 MITRE(西班牙風能委員會在再生能源目標監控及模擬行動專案，Commission's Monitoring and Modeling Initiative on Targets for Renewable Energy)。

2009 年 1 月，實際安裝及估計裝置量分別為 14,836 MW 及 15,617 MW，雖然中間有大約 800MW 的差距，但兩種資料在預估人力需求上都具有個別的意義，在比較 IDEA(能源多樣性與節約院，Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)及 MITRE 的計算方式後，Álvarez et al. (2010) 的研究採用 MITRE 的計算模式，雖然 MITRE 的計算方式在就業人口部分比歐洲委員會還多，但這可能包括直接與間接就業人口，而且這個估計方式也比 IDEA 還低，因此採用 MITRE 的模式是一種誤差風險比較低的計算方式。因此該研究利用 2010 年風能產業發展的情境下，估計風能所產生的就業人口。該年風能裝置量目標為 15,614MW，並產生 37,558 GWh 的電量，代表在這樣的情境下，會產生 15,000 個直接的工作機會。另外，在計算西班牙政府在風電方案的投資成本部分，該研究採用西班牙風電市場整廠輸出計畫的標準成本，並應用到 2000 年到 2008 年裝置量。結果發現，西班牙政府在風能專案上每 MW 投注大約 1.1 百萬歐元，相較於小型水力發電(Mini-hydroelectric)的 1.71 百萬歐元/MW 與太陽能光電(Photovoltaic)的 5.5 百萬歐元/MW 相對小許多。而在 15,000 個工作機會中，西班牙政府對每個風能產業員工投入約一百萬歐元的補助，從投資金額來看，每個工作機會也有將近一百萬歐元的投資。

就業機會的創造是政府投資在再生能源主要目的之一，因此在經濟不景氣時，政府仍然投資許多金額在再生能源上，期許在景氣復甦的時候能創造更多的機會，但問題是當時西班牙政府的投資計劃都立足在現有的經濟體上，因此在計算上必須同時考慮政府的花費以及企業的利用才能夠精確的計算，從裝置量的角度來看，西班牙政府投資到綠能受雇員工身上，每 MW 會影響到 5.28 個工作機會，風能每 MW 的投資計劃更會讓 4.27 個工作機會消失。因此在產業發展的同時，更必須考慮到其他產業的整體發展狀況。

(二) 北美洲

相較於歐洲風電的風電發展，美國風力發電大量發展算是較晚，但 2004 年美國政府提出生產稅返還政策，提供網業者每度電 1 美分的補貼，也造成美國風電在近十年的快速發展，並一度占據全球裝置量第一名的位置，雖然總裝置量在 2011 年被新崛起的

中國大陸超越，但 2012 年又以 60GW 超越中國大陸成為全球裝置量最多的國家，所產生的發電量則相當於全美國核能發電的 1/4 發電量，而相關產業也帶動了美國將近十萬個工作機會(IEEE Spectrum, 2012)。

美國風能協會指出，2012 年美國風能發電所產生的發電量可以提供美國 1500 多萬戶家庭使用，佔美國全國發電總量的 3.5%，更是新增發電能力中 42%，位居新能源的首位(AWEA, 2012)。從 2002 年開始，在美國 44 個州當中，已經有超過 550 家風電設備廠商因為風能的發展而設立，也帶動了 7 萬 5 千個直接以及間接的工作職缺(Master Resource, 2012)。這還不包括租賃土地給風塔使用的農民與地主，根據美國風能協會估計，美作風塔可以帶給當地農戶或農場主人 12 萬美金的土地租賃收益，2030 單單土地租賃收益每年就可達到 6 億美元(AWEA, 2012)，可見風能帶來的就業商機不僅是在設備生產以及運營上，還有其他許多周邊的人力需求。

在加拿大，風力能源的開發受到京都協議書簽定及石油價格高漲的影響，2004 年新設置的風能容量為 122MW，累積容量達 444MW(Industry Canada, 2005)，2012 年設置容量達 5,645MW，提供大約 13,000 人之就業機會。Industry Canada 2005 年的研究報告指出屆時所需之專業技術人力包括：風力渦輪發電機組(Wind turbine generators, WTGs)之零組件生產與組裝技術人力、WTGs 裝置與服務技術人力，以及研發工程師與科學家等。若將這些工作依類型加以分類，則 2010 年所需之人力配置情形如表 3 所示，其中需求最多的為技術勞動力 4,680 人，佔 36.0%，其次為非技術勞工 3,887 人，佔 29.9%。另外加拿大風能協會(CanWEA)對 2015 年大型風機就業人口預測，每一 MW 產生 12 個就業機會計算，2015 年總就業人口達到 10,600 人。

(三) 中國大陸

在中國，2011 年一度取代美國成為全球風電裝置量最高的國家，而且每年新增裝置量曾多年高居全球第一，相關產業也漸趨成熟，中國風電廠商華銳、金風及東方電器在全球市佔率也都進入前十名，可見中國風電產業市場的規模。中國風能協會(CWEA)估計 2008 年風力發電在中國創造了 20,000 個就業機會，但隨著市場擴張，職缺也會大幅的增加。中國最大的風力發電公司金風就預計在兩年內增加 40%的聘僱人數，而職缺主要在風機製造、維修、操作以及風場運營人員成長比例最多 (CWPC, 2011)。

從 BMU 的計算方式，每 MW 裝置量可以增加 0.71 個 O&M 員工職缺，這樣中國到 2020 年風力發電 O&M 員工人數將達到 86,000 人左右。如果採用 EWEA(每 MW 增加 0.4O&M 員工)或 GWEC(每 MW 增加 0.33O&M 員工)，2020 年 O&M 聘僱人數分別是 41,000 及 36,000 人左右，但中國風電中心(CWPC)卻認為，實際的聘僱人數可能會比模式計算的多，因為中國勞動生產力與其他國家相較之下相對較低，如果計算所有風力發電聘僱人數，根據全球風能委員會 GWEC 的計算方式(每 MW 創造 15 個工作職缺)，2020 年將達到 135,000 人(不含 O&M 員工)，而 GWEC 計算的職缺包括直接員工(風機生產、元件生產、風場設計、系統安裝)以及間接員工(包含提供相關服務、短期專案工作)，但相關領域專家以及倉儲人員並未被計算進模式內，因此扣除掉這兩項，每 MW 的風能發電能夠產生 12.5 個工作職缺(不含 O&M 員工)。

綜合國外相關風能人力需求研究報告發現，從 2000 年全球風能產業開始快速發展，到 2011 年底全球已經有超過 240GW 的裝置量，2020 年也將滿足全球 6%的供電量(Global Wind Energy Outlook, 2012)，因此也衍伸出許多的風能人才需求，雖然各國因為產業類型以及能源政策的不同，對於人才的需求也有所差異，但由於風能產業屬於

一種跨國產業模式，許多零組件都需要各國企業提供相關技術及設備，因此在人力需求上也需許多不同類型的人才，再加上隨著技術的改變，產業對於人才需求類型也持續的在改變，以及風能產業周邊服務所帶來的就業機會，估計全球有超過 30 萬個工作相關工作機會，在全球就業市場中佔非常重要的角色。也由於台灣風能產業處於起步階段，相關技術及關鍵零組件均由國外提供相關資源，產業發展也依賴國外相關技術及知識的注入，因此相關就業類型也必須參考國外發展的狀況。與大陸不同的是，台灣人力成本相對較高，以及台灣許多企業總部在台灣，生產卻在大陸，因此風能產業人力需求相較於歐美及大陸也有些不同，以下就台灣風能產業人力需求相關研究進行探討。

二、台灣風力能源產業之人力資源需求

在台灣，經濟部能源局(2010)所發表的「2010 年能源產業技術白皮書」評估指出我國在風機研發及產業推動方面，由於過去多年在工具機、機電控制及材料等方面累積了豐富經驗，具備精密機械、機電整合、複材加工成型、流體機械設計、C FD 及大容量發電機組製造等相關技術。此外，我國零組件廠商在葉片、齒輪箱、發電機、控制系統、電力轉換與輪轂鑄件等風力機零組件也已具有一般產業技術能力，較欠缺的是風力機市場切入與產品實績測試機會。該報告評估國內有實力切入風力機設備產業的代表性業者有(經濟部能源局，2010)。

除上述具有大型風力機零組件製造潛力之廠商之外，「2010 年能源產業技術白皮書」指出目前國內亦有相當多業者開始投入風力機的開發製造(經濟部能源局，2010)。李清吟(2009)指出在發展風力發電的再生能源應該讓台灣本地的工程顧問公司、重電及機電整合廠商、機電設備製造廠、營造廠、保險公司或一些評估、監測、機電安裝、風機吊裝、運轉維護、測試等專業工程公司納入其中。另外，風機內部相關之電力電纜、電力電子轉換器、升壓變壓器、變速齒輪箱、感測器、塔身材料、塗裝和塔架基礎等製造部分若可由台灣的公司執行代工製造，如此將可造就更多就業空間與人力需求。

至於所需之職務方面，風力能源產業可分成複合材料、風力發電機、塔架、複合材料葉片、大電力傳輸系統等幾個次系統。所需之職務包括機電整合工程師、自動控制工程師、電機工程師與機械工程師。另一方面，為了建立台灣自有風力發電機技術，「台灣風電系統研發聯盟」也計畫培育來自電機、電子、大氣、物理、輪機、機械、土木科系的人才，以培育台灣風力發電所需人力。

再生能源是一項快速發展的產業，雖然大多數的企業都已從傳統產業轉投資，但所創造的就業人數卻是隨著需求增加而快速擴大。德國自 1999 年開始實施補貼獎勵以來，再生能源的就業人口相較於 1998 年即大幅成長一倍，而依照德國再生能源協會(Bundesverband Erneuerbare Energie, 簡稱 BEE)2005 年 6 月的統計資料顯示，德國再生能源產業已經創造出超過 14 萬的就業人口，而未來 20 年將出現倍數成長。

在台灣，雖然風能投資直到 2016 年才看的到具體成果，但核心技術在本地的發展，會快速的帶動綠能的商機。整體商機也從 2009 年的 1 億九千六百萬美元到 2016 年的七億兩千一百萬美元，在 2016 年裝機容量達到 1600MW，台灣經濟研究院也預估風能能為台灣提供 1,250 個就業機會(Ju, Chen & Liu, 2010)。

雖然有關國內風能產業人才需求有若干之報導，但多屬於零星之介紹，至於國內目前從事風能產業直接與間接人力有多少，尚乏具體之資料與數據；再者，隨著政府能源國家型科技計畫之推展，我國投資在風能產業之力道將會再加強，未來風力發電之上、

中、下游對於高端之技術人力需求亦將增加，究竟未來需求哪些職種？需求人數多少？需何種專業？須具備哪些技術與職能？這些人力資源需求問題若無法釐清，將影響學術界及訓練機構之人才培訓方向無法確認，進而延宕風能產業之發展，因此本研究將探討風能產業之高端人力需求，作為未來風電產業人才培訓與人力規劃之基礎。

參、研究方法

歐洲風能協會(EWEA, 2009)提出兩種就業人口估計之研究方式：(一)進行問卷調查及文件資料蒐集(含公司年報、官方統計等)；(二)依據產業相關部門、職務、活動之間之理論關係及其投入及產出資料推論估計，稱為投入產出分析法(I-O approach)。兩種研究方法各有其優缺點，但兩種方法單獨使用的話，是不足的。而投入產出表雖然能提供勞力、營收、成本等之量化數據，但投入產出模型之設計是非常複雜且困難的，分析師都必須取得足夠詳細的資訊。為了達到此目的，可運用問卷調查法及專家調查法以收集相關資訊(Mattas et al, 1984; Millet and Blair, 1985)。

由於國內有關風能產業所需之職種、人力需求數量、人才之專長類型、及所需之技術能力水平等之相關研究甚少；因此，本研究聘請風力發電產業專家及相關領域學者，擔任本計畫諮詢委員，透過個別訪談及焦點團體座談，邀請諮詢委員參與座談，以了解國內目前風能產業整體人力需求狀況及計畫執行進度建議，並透過蒐集國內風能相關廠商資訊，並協助評估風力發電產業高端人力需求問卷內容。

本研究主要在估計未來風力發電產業就業市場人數(提供政府制定風能政策的參考)及調查風力發電產業高端人力需求類型(提供教育單位培育人才的方向)，因此除了透過相關文獻回顧外，並透過風電產業調查分析，了解風電相關產業業者對未來人力的需求及發展概況，從從業人員的角度進行人力需求推估。本研究共聘請諮詢委員 9 位，其中大型風機領域四名，主要產品包括整機、齒輪箱、測風塔、複合材料等主要大型風機產業廠商；小型風機則邀請國內指標性廠商擔任，共三名，其主要產品包括葉片設計、電控系統及發電機。另外，另外兩名則為長期在風能相關研究的學術專家。

一、產業調查分析

透過文獻探討及焦點團體座談後，本研究將風能廠商高階人力需求做初步的探討，並且發展出各問卷題項。問卷大致共分為四大部分，第一部分為「公司基本資料」；第二部分為「公司人力配置狀況」；第三部分則是「公司未來部門需求」；最後第四部分是「公司未來職位需求」。

本研究透過經濟部商業司公司基本資料查詢及台灣風力發電協會、台灣風力發電設備產業發展聯誼會及台灣中小型風力機發展協會三大風電產業廠商會員名錄進行調查，透過郵寄及網路問卷方式總計發放 144 家問卷，紙本問卷以掛號寄至各風力發電相關公司，再透過電話催收的方式請公司(單位)協助填寫問卷。網路問卷方式則以電子郵件邀請風力發電相關公司在網路上填寫的方式施測，問卷刊登於 my3q 專業問卷網站 (<http://www.my3p.com>)。

二、投入產出法人力需求估計

風能發電的人力需求預測在各國都有不同的看法，也因為各國的市場機制及外部市



場均有很大的差異，因此預測出來的結果也有很大的不同。最早提出人力需求計算的是在 1999 年成立的 Windforce10 計畫，當初 Windforce10 提出的計畫中，認為每年每增加 1MW 裝置量，將增加 17 個元件設備生產人員，包含營運與其他相關工作，每百萬瓦每年也可以增加 22 個工作，但隨著技術進步及風機裝置量增加，每百萬瓦所需的人力也會漸漸減少，因此推估在 2010 年風能需求每年增加 15.5 人/MW，到 2020 年則減少為 12.3 人/MW。因此風能聘僱人數從 2001 年的 100,000 人增加到 2020 年的 2 百萬人，是全球聘僱人數增加速度最快的產業之一(Renner, 2001)。

投入產出分析法原本是用以估計經濟體之間的直接與間接關係及相互之影響。此研究方法是由 Wassily Leontief 於 30 年代提出(Leontief, 1986)，其最原始的模型是以一系列的線性方程式來形容一個部門投入的原料與產出的成品之間的關係。投入產出表能追蹤部門內每項投入的資源是來自同一個經濟體的(從其他公司購入)或是進口的，進而透過銷量及需求量來分析部門之產出(Kulicic et al, 2007)。而風力發電為一個複雜的產業，一個風機包含許多的零組件，也由各種不同的產業提供相關零組件整合及製作，因此屬於一個複雜的產業結構，要計算原物料可能產生很大的落差，因此本計畫即從風力發電裝置量，以及其建設所需的工程經費兩部分進行計算及比較。

(一)裝置量估計

根據能源局公布的風力發電裝置量，2013 年全台總裝置量已經超過達到 696MW，未來 20 年內將著重在離岸型風電發電上，陸域風力發電則穩定成長，估計到 2030 年全台灣裝置量超過 3000MW，其中離岸型風力發電將占 60%以上的比例。另外，工研院提供的資料也顯示，政府現階段風電發展目標將在 3GW 為目標，期望能夠提升再生能源的發電比例。因此，本研究即從 3GW 的裝置量，推算個年度估計裝置量並參考國外相關資料進行風電產業就業人數估計。

表 1 能源局發力發電裝置量估計

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025	2030
經濟部能源局	陸域	576	636	696	756	806	856	956	1056	1156
	離岸	0	0	0	0	150	300	900	1400	2000
	總計	576	636	696	756	956	1156	1856	2456	3156
工研院 IEK	總計	560	620	730	840	950	1170	2050	3000	3050

資料來源：本研究整理自能源局(2011)

(二) 工程經費法估計

在投入產出模型中，除了透過裝置量估計就業人口外，本研究也透過工程總經費計算未來相關就業人口，根據行政院公共工程委員會公布的工程經費法(如以下公式)，透過專家意見訪談，修改人力費率比率至25%，平均工資1700，平均工期200天。以100MW風場計算，所需工程總經費約30億台幣，工程經費比率85%，人力費率25%，平均工資1700元/日，工期200天，核配比例30%，計算過後人員配置為563人。

$$\text{核配上限人數} = \frac{\text{工程總金額(NT\$)} \times \text{工程建設經費比率(\%)} \times \text{人力費率(\%)}}{\text{平均工資(NT\$ / 人日)} \times \text{工期(日曆天)}} \times \text{核配比例(\%)}$$

表2 工程經費法計算人力需求模擬

類型	核配上限 人數	工程總 金額	工程經費 比率	人力費率	平均工資	工期	核配比例
1.5MW 風機	37.5	1 億	85%	25%	1700	100 天	30%
100MW 風場	562.5	30 億	85%	25%	1700	200 天	30%

在進行人力需求推估前，必須先估計風電工程預算，根據 Wind Power Monthly(2010)所提出的報告，目前廠建設成本落差很大，也與規模經濟有很大的關係，其中陸域型的建構成本每千瓦約介於 1,200 到 1,800 歐元間，而離岸成本則須兩倍以上的價錢，每千瓦需要 2,800 至 4,000 歐元間，至於運維的成本陸域則介在 24 至 42 歐元間，離岸則必須負擔 62 至 100 歐元的運維成本(詳見下表 3)，本計畫即採用這個觀點，以報告所提的平均成本為基數，計算台灣估計未來裝置量所產生的建構成本，在透過修改後工程經費法推估未來就業人口。

表3 風場建構成本

	陸域	離岸
風場建設成本(歐元/千瓦)	1200~1800	2800~4000
運維(O&M)成本(歐元/千瓦)	24~42	62~100

資料來源:Wind Power Monthly (2010/01)

肆、資料分析結果

一、產業調查分析

問卷以電子郵件寄出邀請函，經過催收作業後，共收回有效樣本76家，有效回收率42.85%。其中大型風機產業43家，中小型風機產業101家，回收樣本包括大型風機產業19分，中小型風機產業57分，有效問卷76份。產業供應鍊包含從事大型元件供應商9家、大型相關零組件22家、大型系統商1家、大型風場運營7家、大型系統代理2家、大型工程顧問2家、大型葉片製造/設計3家、大型系統安裝4家、小型材料10家、小型零組件25家、小型系統32家及小型產品銷售24家。總員工平均人數為537人，而負責風能的員工人數平均為15.5人。在公司總營業額部分，最小值為2百萬，最大值為從事電纜製造的廠商，2010年合併營收1,917億元，樣本平均營收為55億1千3百萬；屬於風能產業的營業額有17家處於研發階段，因此營業額為0，風能營業額最多為主要提供大陸風機鑄件公司，年營業額約15億元。

為瞭解公司的組織架構與負責風能員工之人數，本問卷於第二題詢問有關公司風力發電人員配置，並由填答者勾選所擁有的部門並填寫該部門之員工數。公司組織架構中人數最多的是「製造部門」平均配置人數為13.15人，其餘「研發部門」、「工程部門」和「行政管理部」平均配置人數大多介於2至3人左右，可見目前台灣風力發電產業著重於製造方面的技術。

表 4 風力發電部門人員配置情形

部門名稱	最大人數	平均配置人數	標準差	累積配置人數	配置比例
研發部門	60	3.49	8.78	241	14.62%
工程部門	30	2.62	5.77	178	10.80%
專案開發部門	15	1.39	2.81	96	5.83%
業務銷售部門	60	0.96	2.60	66	4.00%
製造部門	500	13.15	61.76	894	54.25%
行政管理部	88	2.51	10.74	173	10.50%
總計				1648	100%

本研究的目的之一是希望能瞭解台灣風能產業的發展狀況，以便進一步得知人力需求特性及未來潛在需求等重大議題。因此在第三題詢問公司未來三年(2013-2015年)在風能產業的發展狀況，題項包含「快速發展/擴張」、「穩健發展」、「大致維持現況」、「稍微衰退」以及「退出市場」五個選項。32家公司為穩健發展，佔46.4%；其次是大致維持現況有22家，佔31.9%；最後是快速發展/擴張有11家，佔15.9%；稍微衰退和退出市場皆為0家。從問卷結果看來，台灣風能產業正處於蓬勃發展之階段。

另外，為了解未來台灣風能發電產業人力需求數量、類型，並搭配風電產業高階人才核心職能研究，規劃未來風電產業人才培育的整體性計畫。在第四題與第五題中分別詢問公司未來三年部門人力需求的變化以及未來三年職務人力需求的變化。以部門別來看，其中最多的是工程部門，平均需要再徵員工數1.99人，其次是研發部門1.45人，接著是製造部門1.38人。以職務別來看，需求量最大的是工程研發人員，平均需要再徵員工數0.99人，其次是品管檢測人員0.86人，接著是機械工程師0.8人。可以看出台灣風能發電產業最需要的員工是工程研發人員、品管檢測人員和機械工程師等，累積需求人數皆在50人以上。最後公司未來三年(2013到2015)部門累積增加人數為533人，公司未來三年職務累積需求人數為549人，顯現出台灣風能發電產業未來三年對於人才的需求是正向的。

表 5 台灣風電產業未來三年部門變化情形

部門名稱	增加人數	平均增加人數	標準差	累積增加人數	配置比例
研發部門	20	1.45	3.08	100	18.76%
工程部門	30	1.99	5.30	137	25.70%
專案開發部門	10	1.07	2.16	74	13.88%
業務銷售部門	10	1.07	2.14	77	14.45%
製造部門	50	1.38	9.31	95	17.82%
行政管理部	10	0.72	1.91	50	9.38%
總計				533	100%



表 6 台灣風電產業未來三年職務人力需求的變化

部門名稱	平均需求人數	標準差	累積需求人數	配置比例
工程研發人員	0.99	2.39	68	12.39%
品管檢測人員	0.86	2.08	59	10.75%
機械工程師	0.8	1.92	55	10.02%
規劃工程師	0.58	1.85	40	7.29%
財務分析師	0.58	1.71	40	7.29%
電控研發人員	0.54	1.58	37	6.74%
運輸與安裝	0.52	3.62	36	6.56%
銷售業務人員	0.52	1.54	36	6.56%
專案工程師	0.51	1.46	35	6.38%
行政助理	0.49	1.22	34	6.19%
馬達設計人員	0.44	1.03	30	5.46%
土木工程師	0.26	0.90	18	3.28%
電子工程師	0.20	0.53	14	2.55%
系統安裝技師	0.23	0.57	16	2.91%
氣動力及控制系統人員	0.20	0.76	14	2.55%
社區溝通專家	0.19	0.55	13	2.37%
環境技師	0.06	0.29	4	0.73%
總計			549	100%

二、投入產出法人力需求估計

根據各國發布的研究報告，本計畫整理相關協會組織提出的人力估計，其中又以歐洲風能協會每百萬度 15.1 個就業機會及全球風能委員會每百萬度 15 個工作機會最常被採用，而加拿大風能協會所提出的每百萬度(MW)12 個工作機會則是考量到非當地就業的因素。本計畫計算時為了估計風電產業的整體就業市場，因此採用歐洲風能協會及全球風能委員會兩個組織資料，希望能夠估計出全台灣風電市場的就業規模。

另外，在運維部分，德國聯邦環保署提出每百萬度 0.71 個運維人員，比歐洲風能協會及全球風能委員會所提的 0.4 及 0.33 還高，因此，本研究也將三者一併納入計算比較，期望從不同的觀點提供就業人數估計。

表 7 各單位預測裝置量與員工人數比例

	O&M(人/MW)	總人數(人/MW)
歐洲風能協會(EWEA)	0.4	15.1
全球風能委員會(GWEC)	0.33	15
德國聯邦環保署(BMU)	0.71	無估計
加拿大風能協會(CWPA)	無估計	12.0

在總就業人口部分，本研究採用歐洲風能協會(EWEA)及全球風能委員會(GWEC)的計算方式，計算每年新增裝置量所產生的就業人口，2010 年到 2016 年每年約 50 到 70MW 的陸域新增裝置量，表示每年約有 906 至 1,057 個就業機會，也就是在陸域發展

中，台灣風電產業就業機會大約是 1,000 人左右。而在離岸型發展後，從 2015 年開始，每年將有超過 3,000 名的就業人口，並隨著產業發展成熟，在 2020 年將會有超過 10,000 以上的風電產業就業人口，其中有 90% 為離岸型風電就業人口。

在陸域型風力發電上，整體就業人數成長有限，重心將大幅轉移至離岸風力發電的技術研發上，但到了 2020 年，風電產業較為成熟後，供應鏈也較完整，再加上技術純熟，因此整體裝置量將再度的提升，若單純考慮裝置量與就業人口的關係，陸域型風力發電將在 2020 年後產生超過 1,500 名的就業人口。

而在離岸發電就業人口上，由於目前技術及產業鏈尚未純熟，估計到 2015 年台灣將有第一波的海上風場建構完成，若單純考慮裝置量與就業人口的關係，150MW 的離岸型裝置量將產生約 2,200 個相關的就業機會。到了 2020 年，技術純熟後，將會有超過 9,000 個就業機會因為離岸風電而產生，到了 2030 年，也維持在 9,000 名相關產業員工。

但在整個發電發展來看，大多數公司有重複使用人力，並且在離岸及陸域風機上有許多重複的任務編組，因此從整體風電就業市場來看，2015 年以前，全台風電產業相關就業人口仍未達 1,000 人，但到了 2015 年職缺將到達 3,000，2020 年更會有超過 10,000 名以上的工作職缺，因此將會是未來經濟發展的一大重要產業。

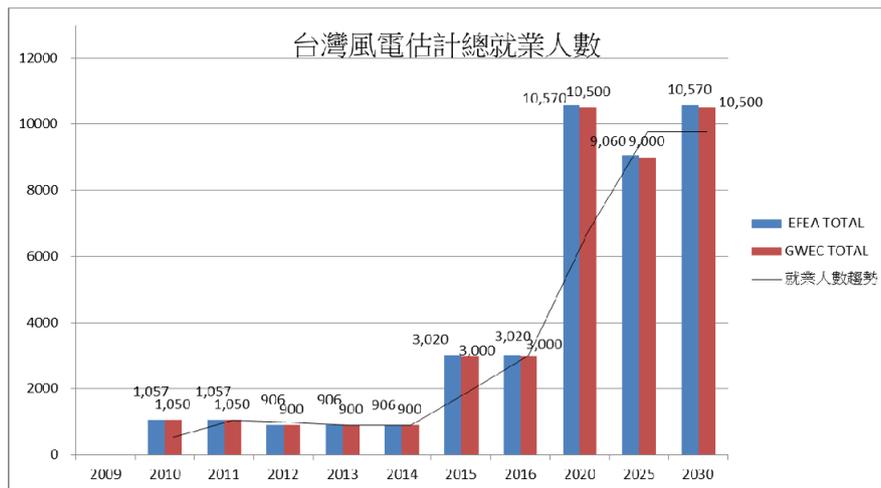


圖 1 風電產業總估計就業人口

從運維(O&M)的就業人口來看，每年累積裝置量將持續產生風電運維就業人口，且隨著設備年分增加，運維就業人口也將增加，本計畫即從每年裝置量計算 O&M 就業職缺。

從整體來看，德國聯邦環保署估計的每百萬度0.71人，在台灣2015年以前將有約500名的運維人員，而2020年將有超過1,000名專技技術人員進行設備維修及運作營運，隨著海上風場的建立，2030將有超過2,000名的運維工作機會。若以歐洲風能協會及全球風能委員會的估計方式，2030年也有超過1,000名以上的就業職缺，但在2016年以前，其相關運維人數仍在500人以下。

三、工程經費法估計

從工程總經費計算，陸域部分在2010年約有950個就業機會，到2020年，陸域將會



增加到將近1,500個人力需求，但隨著陸域風電成熟後，人力需求也在1,500人左右；而在離岸部分，2015年將有超過4,000名員工的需求，到2030年更有超過15,000名人力需求。從整個風電產業來看，2020年有超過17,000名就業職缺。在結論時我們將針對兩種投入產出模型進行比較分析。

表 8 工程經費法估計就業人口數

年份	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025	2030
陸域就業人數	870	885	901	796	809	1423	1449	1475
離岸就業人數	0	0	0	4092	4188	16560	14213	17258
總計就業人數	870	885	901	4889	4997	17983	15661	18733

備註: 1. 工程經費比例 85%；人力費率 25%；平均工資 1700 台幣/日；工期 200 日；核配比例 30%。

從三種估計方式來看，產業調查分析可以了解目前台灣風能產業就業類型以及未來需求類型及其比例，資料結果顯示研發相關部門員工仍然是未來需求量最大的部分，而未來需求人數約為 549 人，若以問卷回收率反推，則整體風能產業就業市場到 2015 年整體需求人數則為 1149 人。至於投入產出法估計需求人數則在 900 至 1050 人之間，加上運維人員約為 1300 人，與問卷調查法差距不大；至於工程經費法則估計到 2014 年以前有約 901 位人力需求，到 2015 年則因為離岸風電開始發展而有超過 4000 個相關就業機會。雖然離岸風場推動與能源局推估的風電裝置量估計有落差，但離岸風電在風力發電離岸系統示範獎勵辦法推動後，由台電、上緯、及永傳 3 家公司取得補助資格，預計在 2015 年完成示範風場，並在 2020 年前完成示範風場開發，總裝置容量將達 300MW 以上，而在示範風場推動後也會有相關職缺開始產生。因此除了設置金額估計的 901 人外，還有規劃離岸風電的人才需求，因此在 2015 年以前大致也有 1000-2000 位的人才需求。從這三種估計方法來看，依目前政策發展方向，風能產業在 2015 年離岸示範風場完成前仍然有約 1500 位的人才需求，等離岸風場需求出現後，則會因為產業發展而各類人才需求量大增。而在政策方面不變的狀況下，不論是裝置量估計或是工程經費法估計，台灣在 2030 年都會有超過一萬名以上的人才需求。

伍、結論

風力發電一直被視為是對環境及生態有巨大的破壞性，但風力發電產業因為去中心化的電能生產，導致人員重複而有較高的就業機會。在每個電廠中，都必須有規劃、安裝、營運、服務、維修人員，尤其是在比較偏僻的地區，因為風場人員進駐，還容易吸引其他廠商而帶來更多商機及就業機會(Yue et al., 2001)。歐洲風能協會就估計，在德國的偏遠地區，因為風力發電所帶來的額外就業機會高達15,000個，顯示妥善的規劃風力發電也能夠帶動地區的發展。(European Wind Energy Association, 2000)。Yue et al. (2001) 針對台灣發展風力發電提出幾項建議，包括讓風力發電進入現有能源市場、立法提案再生能源的優先程度、制定優惠收購價格、提供研發成本的直接補助、提高民眾對再生能源的認知等。而經過2007年石油危機後，政府再度提高對於再生能源的重視，也在2009年通過再生能源發展條例，並在「綠色能源產業旭升方案」預計五年內投入200億元技

術研發資金，將帶動民間投資達2000億元，預計2010年就能產生1,590億產值，2015年更要達到1.158兆產值。可見綠能產業在未來的發展前景。

根據全球風能委員會(GWEC)對各國的資料調查，2008年風力發電提供全球350,000個藍領階級的工作職缺，而隨著風力發電的發展，2020全球更將產生超過2百萬個工作職缺。在西班牙，風力發電產值到到29億歐元，比2007年增加了4億歐元產值，產生超過41,000個直接及間接的工作職缺；在英國，潛在的風能職缺被認為有70,000個，英國目前正朝向離岸風能發電的目標在發展，而且型風電系統也被認為是發展的重點，透過專業及本地化發展，讓英國風能快速發展離岸技術；德國目前是全球風力發電裝置量最大的國家，每年新裝置量能產生29億元產值，包含安裝、專家、營運、維修服務，提供超過100,000個工作機會；在義大利，2008年有15,152個風能相關工作，其中4,430是直接聘僱，2020年預計要裝置16.2GW，相關工作機會也將增加到66,010個，其中直接聘僱有19,000個。

再從GWEC公布的全球聘僱人數來看，2007年全球聘僱人數329,232人，2009年增加到627,927人，依照投資及安裝量的不同，2020年將產生524,027到1,918,530的風能發電相關工作職缺。到2030年更加達到809,006到3,004,081個職缺。可見風能發電在未來就業市場的重要性。

本計畫在整理各國風電人力需求後，透過實地調查及投入輸出推估，計算出未來台灣風電產業的人力需求。本計畫結果敘述如下：

一、2020年相關產業需求將達萬人以上

根據兩種投入產出估計法估計未來就業人口，從裝置量或是估計工程經費總額兩項推估人力需求，在2015年離岸風電開始發展後，所需的人力將大幅增加，並在2020年突破萬人需求，從工程經費法估計，到2030年甚至將有超過17,000名風電產業相關人力需求的產生。

進一步比較Liu(2010)發表的台經院研究報告，由於2015年離岸風電發展計畫，因此本計畫估計在離岸風電發展後，將創造多數的就業機會，但仍需考量到台灣風電市場供應鏈的成熟度，以及相關政策的配合，才能將就業機會留在台灣，否則裝置量增加也只是提供外國廠商更多的就業機會，對台灣風電發展及就業並無直接的助益。

而比較兩種方式的估計人力需求，在陸域風電人力需求上，工程經費法及裝置量估計法兩種推估人力相似，估計誤差均在100人以內，但在離岸風電人力需求上，由於海上風電工程經費變動較大，且整體工程經費遠大於陸域風電，因此在不考量複雜的多重因素下，透過總裝置量估計人力需求，明顯少於離岸發電工程經費估計，人力需求的估計甚至有兩倍的誤差。

二、產業成熟度影響人力需求

本計畫透過調查及投入產出估計法計算出估計未來台灣風電產業的人力需求，但義大利學者Stagnaro(2010)提出，義大利在2020年風力發電聘僱人數將接近70,000人，但隨著系統安裝完畢及海域發電漸趨成熟，專案性工作或塔架相關工作將大幅的縮減，只留下營運及維修人才，因此在人員需求上將大幅的縮減。下圖為Stagnaro (2010)估計的義大利風電人力需求，以Stagnaro(2010)的模型估計，就業人口隨著裝置量增加而等比增加，但到了2020年的時候，人力需求則維持到2萬人。

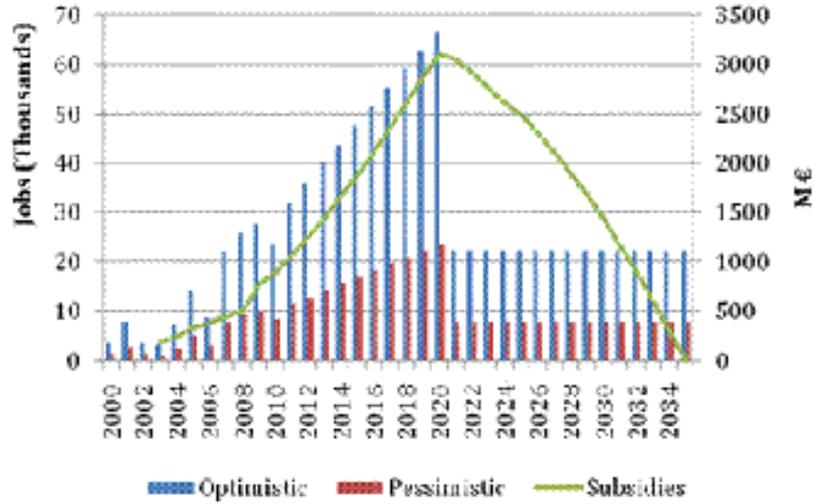


圖 2 義大利風電人力需求估計

資料來源：Stagnaro (2010)

這現象也從每隻風機的裝置量可以看出，早期每隻風機從500KW到800KW之間，直到2003年開始有大規模1MW以上的風機裝置，2005年各國更競相發展2MW以上的風機，到2010年5MW風機更是正式進入商轉階段，國際大廠也在裝置量上競逐，Enercon也在試運轉10MW的海上風機，對照起早期500KW的風機，未來200MW風場只需對要30至40之風機，與早期需要1,000隻風機所形成的成本無法相比，再加上好的風場在2020年就會被開發殆盡，因此Stagnaro (2010)估計的就業人口減少很可能會發生，等到好的風場開發殆盡，再加上再生能源比例達到各國可接受對高限度，未來人力需求將朝向維護及裝置量升級兩個方面發展。

對照回本研究推估結果，本研究推估到2020年台灣風電產業人力需求將突破一萬人，但若以Stagnaro (2010)的估計法，這樣的結果仍然會受到技術成熟及未來台灣近海風場開發狀況影響。

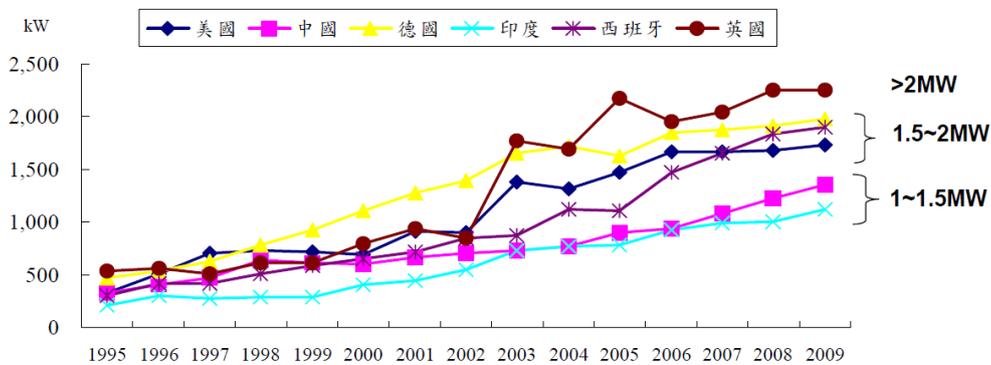


圖 3 各國單機裝置量比較圖

資料來源：工研院IEK(2010)整理自BTM及GH



三、人力需求類型以研發人員為主

風力發電是一個複雜性很高的產業，每台風機就由8,000個以上的零件所組成，在零件生產製造就必須整合許多的產業，包含鋼鐵、材料、電機、機械、商管、建築、土木、地質、環境、物流及品管等產業。根據美國風能協會(AWEA, 2007)提出風能供應鏈的工作機會，包含元件製造、零件製造、原材料生產、運輸與建設、電力設備、營運與維護及電力傳輸七大類型，供應超過100個以上的職缺類型，職缺種類非常多樣化，而就業部分則主要在研發人員，新能源推廣、工程技術人員以及風場運營人員。

Renner(2001)在文章中指出，風力發電相關工作包括，氣象專家及調查員，負責風場風力狀況的評估；結構、電子、機械工程師，負責風機、發動機及其他零組件的設計與生產；組裝工程師，負責零組件安裝及風機設備安裝等；品質監控，負責產品品質監督及制定相關標準等；軟體工程師，負責風機相關軟體設計及操作安裝；O&M，負責風場營運及維護。其他還有包含電力傳輸及電力設備維護等，也都是風能發電主要的工作職缺。

本計畫透過調查台灣風電產業相關人員，估計現階段及未來主要職缺，從結果發現，工程部門有25.7%的未來需求，其次是研發部門以及製造部門，這三大部門是未來需求最多的部門，而業務銷售予專案開發也各有14.45%及13.88%的人力需求。若從職位來看，最大的人力需求則是在工程研發人員(12.39%)，其次是品管檢測人員(10.75%)及機械工程師(10.02%)。另外，規劃工程師、電控研發人員、專案工程師、財務分析師、運輸及安裝及銷售業務人員都是超過5%的未來人力需求。對照美國提出的風能職缺類型，工程與製造類型工作為主要的工作職缺，與本計畫調查結果相似，而本計畫結果還發現台灣對於業務銷售及品管的重視，這樣的結果也反映出台灣在中小型風機發展的重視程度。從投入產出估算模式計算，發現離岸風電建設經費落差很大，尤其是受到水深及距離的影響很大，往往有倍數的成本落差，因此要準確的估算未來人力的需求，必須再多加考量離岸風場的條件及狀況。

而在離岸風電人力需求的趨勢部分，Wind Power News(2011a)在2011年3月4日的報導，離岸風力發電建設時可能會同時需要40艘海上作業船隻運作，而每艘船隻則需要高達60名的組員進行設備組裝的工程。由於建設離岸風場與陸域風場有很大的不同，根據Global Marine Energy Inc 執行長Joel Whitman的說法，離岸風場提供許多潛在的工作機會。其中海底電纜的鋪設需要約兩億美金，占總工程金額約7%，而與海底電纜相關的工程則約占總工程的15%。因為美國風能產業則早已瞄準海底電纜的市場，而離岸風能平均一個風場要建立300MW，150隻風機，因此需要兩種類型的電纜，第一種是交互排列的電纜，這種約6-7英尺長，33kv連結發電機，平均每部發電機約0.5-0.75英里遠，但每部風機都需要有一條電纜連結成電網。也就是風場在變化多端的海床上大約會有25平方英里的範圍，因此在安裝時要對於海底地質、潮汐及地層要很了解，因為要準確估算如何放置海底電纜並發揮最佳效應。

安裝150條電纜是主要的工程，這牽涉到專業船隻及良好的天候狀況(四月到十一月)，也因為時效性的問題，所以必須24小時持續施工。在北海最高峰曾經有40艘作業船隻同時進行纜線安裝作業。而操作這些設施的人員全都是海事設備專業人員，一艘作業船隻約需要60位組員，從船長到甲板人員，都必須取的相關的執照及認證，而這其中有12項不同的認證來確保工程工作的專業性，如果沒有取得認證則沒有工程單位

敢用。因 Global Marine Energy Inc 在英國開設一個訓練學校，專門進行這 12 項認證工作，以因應 2012 年離岸風力海事需求的大規模發展，這代表透過電纜安裝學校，將整合不同的組織進行訓練，並引進美國風能專業人員進入這套訓練系統，以提升整體訓練成效。就 Whitman 的觀點，這樣的訓練發展模式是絕對正確的，因為他認為離岸風能海事作業能在英國及德國快速發展的原因是地區政府對這產業的支持，除了政府政策鼓勵外，當地銀行資金當後盾也是相關產業快速發展的主因。

從離岸風機供應鏈來看，雖然在原物料及零組件上與陸域風機有一定程度的落差，但最大的人力及經費差別仍在於單機裝置量以及海上作業的開銷，離岸風電目前已經是各國發展風電的主要方向，從本計畫的訪談及調查發現，雖然大多數業者對於離岸風電的商機相當看好，但對於技術性問題仍存在許多質疑，而且離岸風場投資金額龐大，相對風險也高，所以大多數業者仍處於觀望態度，除了等待風電產品穩定度外，也期待政府能夠提出輔導措施。因此在人力估計上相對較保守，因此在人力需求估計上也需考慮更多的變動因素。

四、中小型風機人才需求大

本計畫在人力推估上，透過裝置量即工程經費的估計人力需求，但這估計單純以大型風機裝置進行估計，完全忽略中小型風機的市場，NREL(2007)預估全球中小型風機至 2020 年累計將達 117GW，EER(2009)推估 2020 年中小型約佔風機市場 11%~33%，而台灣中小型風力機發展協會推估，台灣若結合大陸市場，每年創造至少 87 億美元產值，早期市場也以裝置量 30MW 為方向，而台灣風能產業除了國內發展風力發電外，也以外銷零組件為目標，另外則是中小型風機外銷，表示未來中小型風機產業仍有相當大的就業需求。但在估算中小型風機時必須更進一步根據目前產業人力使用現況，以及未來產業發展方向，依照國內市場、外銷零組件以及中小型風機三類進行進一步的人才需求分析。

五、發展風力發電對其他工作的排擠效應

風力發電產業在全球都是屬於一個新興的綠色能源產業，雖然各國有相關環保政策發展綠色能源，但在經濟發展的同時，綠能產業往往相對較不具經濟效應，再加上綠色能源投資具有相當大的不穩定性，因此各國政府在預算編列上也會有所顧忌。而在綠能產業中，風力發電屬於發電效應較高的類型，但卻有高度的不穩定性，因此各國在發展綠能的同時往往無法同時在各項產業發展都投入相當大的預算金額。西班牙學者 Álvarez et al.(2010)的研究報告指出，西班牙補助綠能產業每位員工的金額，則會損失其他 2.2 個工作機會的產生。而從裝置量的角度來看，西班牙政府投資到綠能個人員工身上，每 MW 會影響到 5.28 個工作機會，風能每 MW 的投資計劃更會讓 4.27 個工作機會消失。因此在產業發展的同時，更必須考慮到其他產業的整體發展狀況。

根據 Álvarez et al. (2010)的推估，若將其模式運用到台灣就業發展，風電的發展在 2015 年以前將會影大約 300 人，之後在會排擠到將近 3000 人的工作機會，雖然這些推算仍需進一步考量更多因素，包括政治、政策、總體預算、國家經濟...等面向，但這結果也給風電發展另一個層面的思考。



表9 風電發展排擠其他產業就業人數

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025
新增裝置量(人)	70	70	60	60	60	200	200	700	600
影響人數(人)	298.9	298.9	256.2	256.2	854	854	2989	2562	2989

陸、未來研究建議

本研究透過三種人力需求估計方法，估計台灣在政策發展下風能產業人力需求的類型以及數量，雖然風能產業近十年快速發展，本文也推估在現行政府風電政策下，2030年台灣風能相關就業人口將突破 1.7 萬人，但根據 Global Wind Energy Outlook (2012) 報告指出，國際能源署估計風電在 2020 年預估將可以達到 587GW，佔全球供電的 6%；若平穩增長則估計有 759GW 的裝置量，佔全球電力供應 7.7-8.3%；至於若有良好的政策發展，則全球可以有高達 1,100GW 的裝置量，佔全球電力供應的 11.7-12.6%。從該估計報告中可以發現，政策的影響可能會影響風電發展將近兩倍的成長，可見政府政策對於整體風能產業發展的重要性，因此在不同狀況需求下，風能產業人力需求仍然需要依賴能源政策的輔助。再加上兩岸相關產業政策發展影響台灣廠商在大陸設廠以及綠能產業發展方向，都會影響風能產業實際人力需求狀況，因此未來相關研究在人力需求估計時，人力需求仍然受到政府政策相當大的影響，因此未來相關研究可以加入相關政策影響因素，或是參考 JEDI (Jobs and Economic Development Impact models) 經濟模式推估，並分別針對陸域、離岸風電以及中小型風機產業分別進行人力需求估計，這樣才能夠更精準的推估未來人力的需求。

本研究人力需求估計雖然用整體政策方向估計人力總需求，並無細分相關產業類型及估計政策變動因素，但研究結果除了提供學術教育訓練單位在人力培養上的方向參考外，也可以提供政府政策制定時的參考，更重要的是能夠提供相關學術研究在人力需求上的參考基礎。



參考文獻

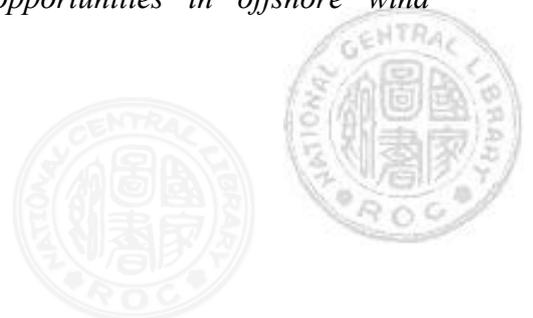
一、中文部份

- [1] 大紀元(2010)。墨西哥灣油汙拉警報，美議員大推風力發電。2010年5月1日報導。
- [2] 李清吟(2009)。風力發電系統人才培訓，課程訓練計畫書。受委託單位:國立台北科技大學，委託單位: 行政院勞工委員會職業訓練局泰山職業訓練中心。
- [3] 林輝政 (2013)。政策導向計劃-低碳能源科技人才培育計畫。國科會能源國家型人才培育政策導向計劃成果報告。國科會科教處。
- [4] 吳惠林(2013)。能源國家型人才培育之前瞻與機制研究。國科會能源國家型人才培育政策導向計劃成果報告。國科會科教處。
- [5] 馬公勉(2011)。我國再生能源發展目標及其影響。能源報導，2011年7月，30-32。
- [6] 馬利艷(2010)。全球離岸風力發電產業發展概況。機械工業，331，4-16。
- [7] 邱佩冠(2004)。再生能源的發展-以美國再生能源發展為例。全球變遷通訊雜誌，第四十四期，第28-32頁
- [8] 財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心(2010)。風力發電提供淨潔能源，每年可供21萬戶家庭全年用電。
- [9] 楊磊(2010)。墨西哥灣漏油事件對生態及人類之衝擊。特殊健康危害專題季刊，99年度第三季，2-10。
- [10] 經濟部(2009)。永續發展與能源安全98年全國能源會議議題報告初稿。經濟部:台北市。
- [11] 經濟部能源局(2010)。2010年能源產業技術白皮書。第一版，經濟部能源局:台北市。
- [12] 經濟部工業局(2012)。經濟部工業局2013-2015風力發電產業專業人才供需調查。經濟部工業局100年度專案計畫執行成果報告，台北。
- [13] 行政院經濟建設委員會(2009a)。全球綠色能源投資與就業趨勢報告新聞稿。
- [14] 行政院經濟建設委員會(2009b)。服務發展方案。
- [15] 袁建中(2013)。低碳能源科技人才培育政策。國科會能源國家型人才培育政策導向計劃成果報告。國科會科教處。
- [16] 陳建文(2013)。台灣能源科技人才需求調與能源素養量表建構。國科會能源國家型人才培育政策導向計劃成果報告。國科會科教處。
- [17] 鄧雅玲(2006)。大發燒行業徵才搶先報。Career News。
- [18] 工商時報(2011)。新能源政策天然氣擔重任。2011年6月7日，記者呂雪慧，台北報導。

二、英文部份

- [1] Álvarez, G. C., Jara, R. M. & Julián, J. R. R., (2010). Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources, *Procesos De Mercado*, 7(1), 13-70.
- [2] AWEA(2012) *American Wind Energy Association AWEA 4th Quarter 2011 Public Market Report* , available at http://awea.org/learnabout/publications/reports/upload/4Q-2011-AWEA-Public-Market-Report_1-31.pdf.

- [3] CanWEA, (2007). Detailed Labour Forecast–2015, *The Delphi Group*, Delphi.
- [4] CBS, (2009). *Obama Hits Ohio*, Reported by Robert Hendin, January 16, 2009.
- [5] CNE, (2008). *Monthly Report on Energy Purchases from Special Regime*.
- [6] CWPC, (2011). *Human Resource Needs and Wind Power Education & Training in China*, <http://www.cwpc.cn/cwpc/en/training>.
- [7] European Wind Energy Association, (2009). *Wind at Work: Wind Energy and Job Creation in the EU*, *European Wind Energy Association*.
- [8] Global Wind Energy Outlook (2012). *Global wind power market could triple by 2020*. <http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2012/>
- [9] IEEE Spectrum. (2012). *Another Very Strong Year for U.S. Wind*. <http://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/wind/another-very-strong-year-for-us-wind>
- [10] Industry Canada, (2005). *Human Resources Needs in the Canadian Wind Energy Industry*, *Published by Industry Canada*.
- [11] Ju, A., Chen, Y. & Liu, E. W., (2010). *The Financial Crisis and the Energy Policy in Taiwan- Modeling and Applications of 3E*.
- [12] Kulisik, B, Loizou, E., Rozakis, S. & Segon, V., (2007). Impacts of biodiesel production on Croatian Economy, *Energy Policy*, 35, 6036-6045.
- [13] Leontief, W., (1986). *Input-Output Economics*, Second Edition, Oxford University Press: New York.
- [14] Liu, W. J., (2010). *An Analysis of Renewable Electricity Production Scheme in Taiwan under NAMAs- The Application of Economy-Energy-Environment (Triple-E) Model*, *Taiwan Institute of Economic Research*.
- [15] Mattas, K., Pagoulatos, A. & Debertin, D. L., (1984). Building input-output models using non-survey techniques”, *Southern Rural Development Centre, Mississippi Series*, 72, 1-191.
- [16] Master Resource (2012). *Wind Energy Jobs: Mysterious Numbers from AWEA (75,000 claim bogus) - See more at: <http://www.masterresource.org/2012/07/wind-energy-jobs-Myth/#sthash.feLoEVx6.dpuf>*.
- [17] Miller, R. E. & Blair, P. D., (1985). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Prentice Hall.
- [18] Stagnaro, C., (2010). *Italian Green Jobs: Where’s the Spaghetti?* *MasterResource*. June 11, 2010.
- [19] Valentine, S. V., (2010). Disputed Wind Directions: Reinvigorating Wind Power Development in Taiwan, *Energy for Sustainable Development*, 14(1), 22-34.
- [20] World Wind Energy, (2011a), *World Wind Energy Report 2010 Report*, World Wind Energy Association, February, 2011. Retrieved 30-April-2011.
- [21] Wind Power News, (2011b). *Hazards and job opportunities in offshore wind construction*, March 4, 2011.



附錄一 風電裝置量估計就業人口

裝置量	類型		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025	2030
經濟部能源局	沿岸	沿岸累積	436	506	576	636	696	756	806	856	956	1056	1156
		沿岸增加	0	70	70	60	60	60	50	50	100	100	100
	離岸	離岸累積	0	0	0	0	0	0	150	300	900	1400	2000
		離岸增加	0	0	0	0	0	0	150	150	600	500	600
	總計	總計累積	436	506	576	636	696	756	956	1156	1856	2456	3156
		總計增加	0	70	70	60	60	60	200	200	700	600	700
就業人數	計算方式		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025	2030
沿岸	EFEA	EFEA O&M	174	202	230	254	278	302	322	342	382	422	462
		EFEA TOTAL	0	1057	1057	906	906	906	755	755	1510	1510	1510
	GWEC	GWEC O&M	144	167	190	210	230	249	266	282	315	348	381
		GWEC TOTAL	0	1050	1050	900	900	900	750	750	1500	1500	1500
	BMU	BMU O&M	310	359	409	452	494	537	572	608	679	750	821
離岸	EFEA	EFEA O&M	0	0	0	0	0	0	60	120	360	560	800
		EFEA TOTAL	0	0	0	0	0	0	2265	2265	9060	7550	9060
	GWEC	GWEC O&M	0	0	0	0	0	0	50	99	297	462	660
		GWEC TOTAL	0	0	0	0	0	0	2250	2250	9000	7500	9000
	BMU	BMU O&M	0	50	50	43	43	43	36	36	71	71	71
總計累積	EFEA	EFEA O&M	174	202	230	254	278	302	382	462	742	982	1262
		EFEA TOTAL	0	1057	1057	906	906	906	3020	3020	10570	9060	10570
	GWEC	GWEC O&M	144	167	190	210	230	249	315	381	612	810	1041
		GWEC TOTAL	0	1050	1050	900	900	900	3000	3000	10500	9000	10500
	BMU	BMU O&M	310	359	409	452	494	537	679	821	1318	1744	2241

數據來源: 經濟部能源局風能發電裝置量估計

附錄二 風力發電工程經費法估計表

裝置量	類型		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2025	2030
裝置量	沿岸	沿岸累積	436	506	576	636	696	756	806	856	956	1056	1156
		沿岸增加	0	70	70	60	60	60	50	50	100	100	100
	離岸	離岸累積	0	0	0	0	0	0	150	300	900	1400	2000
		離岸增加	0	0	0	0	0	0	150	150	600	500	600
	總計	總計累積	436	506	576	636	696	756	956	1156	1856	2456	3156
		總計增加	0	70	70	60	60	60	200	200	700	600	700
建設成本	沿岸建設成本	\$0	\$4,389	\$4,389	\$3,762	\$3,762	\$3,762	\$3,135	\$3,135	\$6,270	\$6,270	\$6,270	
	離岸建設成本	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$21,318	\$21,318	\$85,272	\$71,060	\$85,272	
	總計建設成本	\$0	\$4,389	\$4,389	\$3,762	\$3,762	\$3,762	\$24,453	\$24,453	\$91,542	\$77,330	\$91,542	
O&M成本	沿岸運維成本	\$601	\$698	\$795	\$877	\$960	\$1,043	\$1,112	\$1,181	\$1,319	\$1,457	\$1,595	
	離岸運維成本	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$508	\$1,016	\$3,047	\$4,740	\$6,772	
	總計運維成本	\$601	\$698	\$795	\$877	\$960	\$1,043	\$1,620	\$2,197	\$4,366	\$6,197	\$8,366	
總成本	沿岸總經費	\$601	\$5,087	\$5,184	\$4,639	\$4,722	\$4,805	\$4,247	\$4,316	\$7,589	\$7,727	\$7,865	
	離岸總經費	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$21,826	\$22,334	\$88,319	\$75,800	\$92,044	
	總計總經費	\$601	\$5,087	\$5,184	\$4,639	\$4,722	\$4,805	\$26,073	\$26,650	\$95,908	\$83,527	\$99,908	

1. 台幣、歐元匯率1:41.8 (2011.8.16)
2. 沿岸建設成本1500歐元/KW；O&M成本33歐元/KW
3. 離岸建設成本3400歐元/KW；O&M成本81歐元/KW
4. 裝置量單位為百萬(MW)
5. 金錢單位為百萬新台幣

