

小型風力機之國際應用趨勢及其國內研發技術現況

鄭景木^{1*} 林彥廷² 蘇煒年³ 黃金城⁴

摘要

在全球發展分散式電力系統的趨勢下，小型風力發電機近年來的需求成長相當迅速，各國也競相投入相關的技術發展，以提升其效率及可靠度，並降低成本。本文主要探討小型風力發電機之國際應用趨勢及其國內研發技術現況，分析各國小型風力發電機於偏遠地區以及與建築整合城市型小型風力發電機的相關應用發展方向。此外，本文亦說明我國近年來小型風力發電機的全球出貨量以及兩岸之小型垂直軸風力機共通標準制定過程。臺灣小型風力機產業主要為出口導向，出貨量目前位居全球第四且具備完整的產業鏈，小型風力發電機產業極具發展潛能。因此，國內須積極集中產官學研各界之研發能量，培養風力發電專業的機電整合人才，並吸引國內大型企業以較佳的核心技術，擴展小型風力發電機之應用與開發。

關鍵詞：小型風力機、風力發電、國際標準

1. 前言

在能源及環保議題日益重要的現今，發展石化燃料的替代能源已經成為非產油國家的重要能源政策之一。根據我國能源局能源統計，2013年國內能源高達97.90%仰賴進口(經濟部能源局，2013)，在這樣的情況下，再生能源的發展與應用逐漸受到重視，其中風力發電更是再生能源重要的選項之一。

風力發電機依據單機容量可分為大型風力機與中小型風力機。大型風力機主要應用在集中式發電，以替代大型發電廠；受到各國大規模興建風場所致，大型風力機市場在近十年內快速成長，目前國際大廠已具備量產單機容量5MW以上之能力。由於大型風力機是以電廠規

模進行建置，必須選擇風場良好之空曠地區，但大型風力發電機組體積十分地龐大，受限於陸域可開發土地面積有限，因此離岸風場的開發已成為近年大型風力機的主要趨勢，但其缺點為能源均化成本(Levelized Cost of Energy, LCOE)過於昂貴。

中小型風力機早期的應用以地幅遼闊的地區為主，提供偏遠地區自給自足的供電模式。而隨著近年來分散式電力系統的發展，其應用也從離網邁向併網，逐漸走入人口較為密集的都市中。我國的城市型小型風力機主要以結合風電及太陽電之風光互補型路燈應用較多，而由於近年來綠建築的概念興起，與建築物整合的城市型小型風力機亦成為未來的重點發展方向之一(台灣經濟研究院，2013)。

¹核能研究所 助理研發師

²核能研究所 副研究員

³核能研究所 副工程師

⁴核能研究所 研究員

*通訊作者, 電話: 03-4711400-3351, E-mail: hardyjim@hotmail.com

收到日期: 2015年05月29日

修正日期: 2015年11月03日

接受日期: 2016年02月04日

2. 國際小型風力發電機現況

根據世界風能協會(World Wind Energy Association, WWEA) 2014年的技術報告指出，截至2012年底，全球約新增806,000架的小型風力發電機，和2011年相比約成長了10%左右。目前累積裝置架數前三高的國家為中國、美國及英國(如圖1所示)，其中歐美地區仍以較高的技術能量和獎勵政策吸引廠商投入其市場。而在累積裝置容量方面，2012年全球小型風力發電機的累積裝置容量約達到678 MW，比2011年的576 MW成長了約18%，其中中國佔了39%、

美國佔了31%、英國佔了9.4% (如圖2所示)。此外，小型風力發電機的製造廠商方面，在2011年底全球已有超過330家小型風力發電機廠商，其中大多集中在加拿大、中國、美國、英國及德國5個國家中(如圖3所示)。

(1) 中國之小型風力發電機現況

由於中國政府的大力協助，中國為近年來全球小型風力發電機成長最為快速的市場，但過快的市場增長速度卻也造成了電網和系統運轉管理能力不足的問題。故中國能源局(National Energy Administration, NEA)與中國

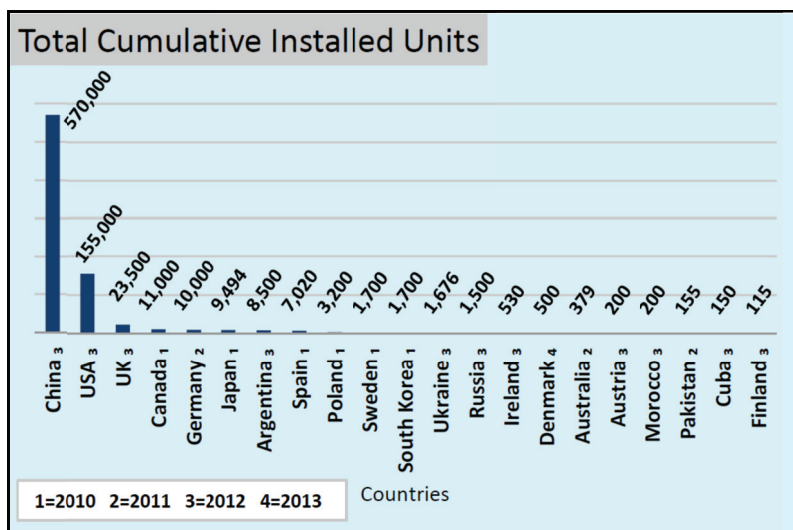


圖1 各國小型風力發電機累積裝置架數(WWEA, 2014)

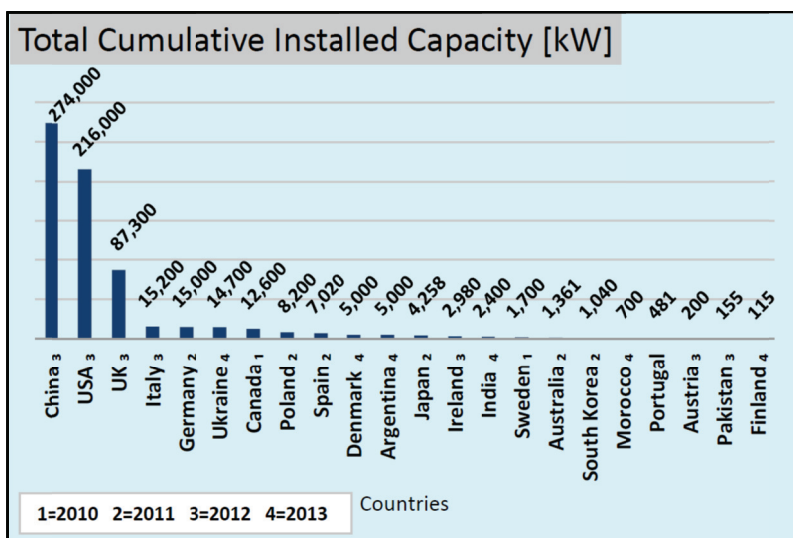


圖2 各國小型風力發電機累積裝置容量(WWEA, 2014)

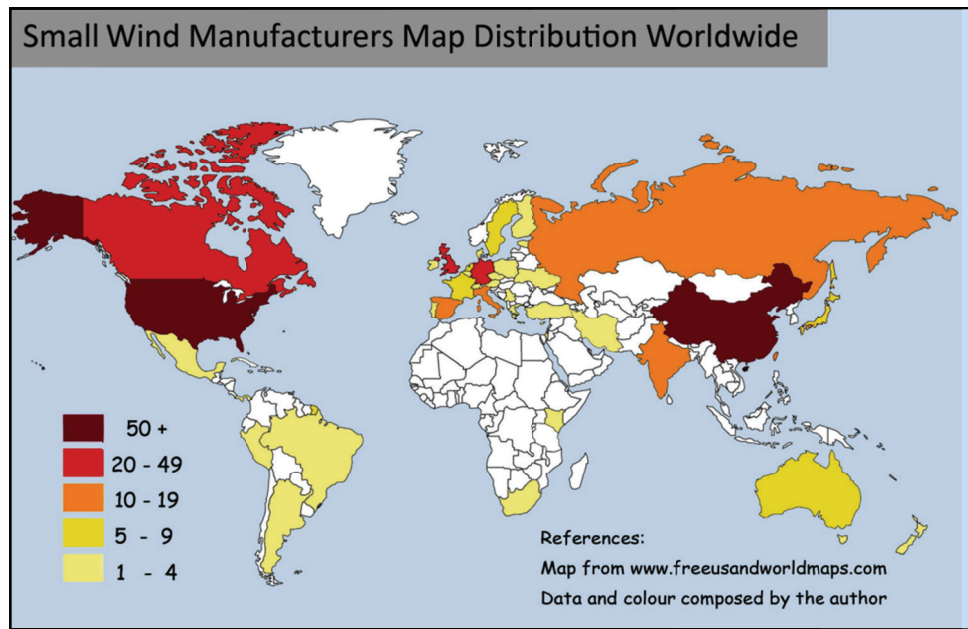


圖3 全球小型風力發電機廠商分布(WWEA, 2014)

國家電網合作，希望能解決電力傳輸及其他電網相關問題，並加強對低風速風力發電機的開發。而中國對於其小型風力發電機的定義為100 kW以下的級距，與國內定義10 kW之級距不同。根據WWEA的統計，中國在2012年共計新增了70,000架的小型風力發電機，使其累積安裝總數來到570,000架。而根據中國農機工業協會風能設備分會(CWEEA)在2012年的統計，在中國34家主要小型風力發電機生產廠商於2011年的出貨量約達到了16.55萬架，較2010年成長了約29%。其中以1 kW以下級距的產品銷售數量比例最高，約占銷售總數的93.3%。目前中國小型風力發電機廠商以北京的希翼新興能源、浙江的華鷹風電、廣州的紅鷹能源科技及青島的安華為出口量前四大的廠商。產品結構部份，kW級以上風力發電機組，大多出口至歐美地區，kW級以下風力發電機組則以中國本土的風光互補型路燈居多。

(2) 美國之小型風力發電機現況

由於美國地域遼闊，對於小規模偏遠地區電力系統、社區和住宅分散式電力系統以及小型風力發電機未來的多重應用發展等有

很大的需求，因此美國能源部(United States Department of Energy, USDOE)對於小型風力發電機的發展一直保持正面與積極的推動態度。但美國政府對於風力發電產業政策的不確定性，再加上2011年總體經濟表現疲弱，導致美國本土家用小型風力發電機的安裝件數明顯減少，使得市場呈現衰退的趨勢。所幸在2013年美國整體經濟逐漸好轉，美國小型風力發電機的市場開始出現回溫的現象，美國小型風力發電機的廠商普遍樂觀地認為，只要政府政策能夠穩定支持，小型風力發電機產業的未來仍舊是相當有發展性。其中，根據美國能源部2014年的技術報告指出(如圖4所示)，美國小型風力發電機在2013年的銷售量約為17.9 MW，其中內銷容量約為4.3 MW，外銷容量約為13.6 MW。出口地區以中國和歐洲市場為主，其中主要以10 kW以下的小型風力發電機為大宗，目前Northern Power、Southwest Windpower、Bergey Windpower及Polaris為美國銷售量前四大的主要小型風力發電機製造廠商。

(3) 英國之小型風力發電機現況

英國為了發展風力發電產業，除了在2008

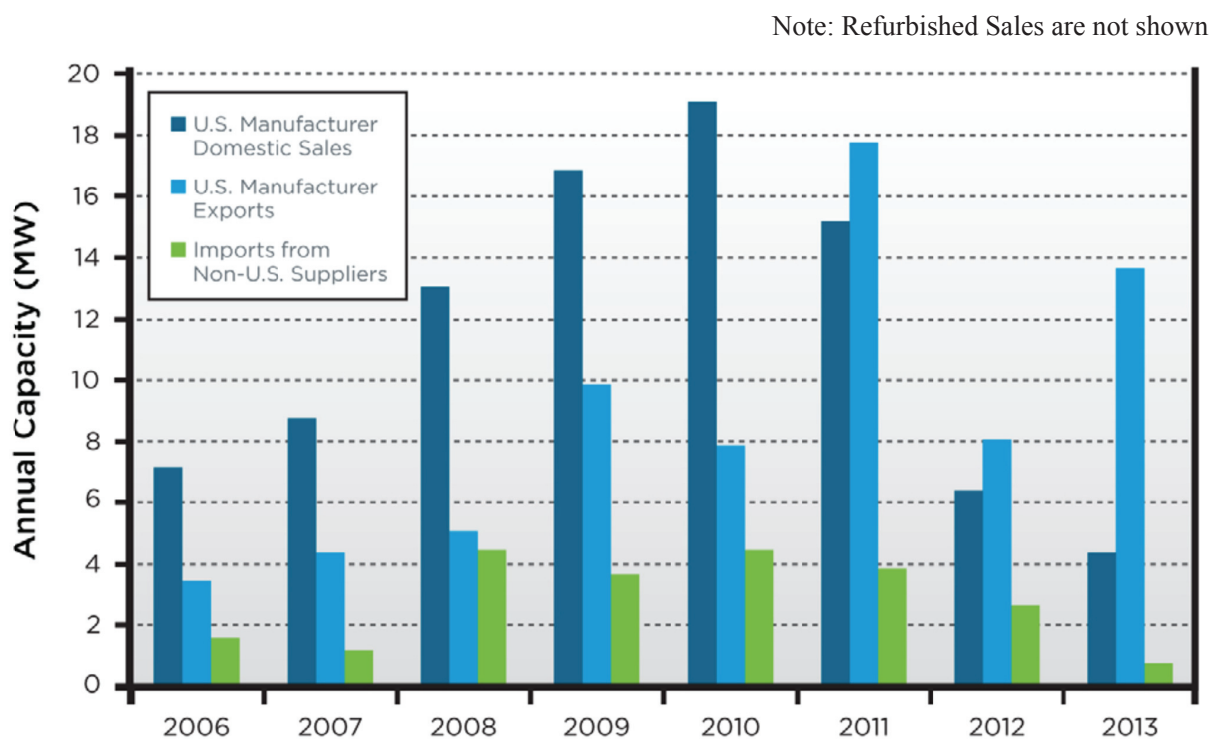


圖4 美國小型風力發電機銷售容量(USDOE, 2014)

年大力推動「微型發電認證計畫」(Microgeneration Certification Scheme)之外並在2010年開始實施的「電力收購制度」(Feed-in tariffs, FIT)，經由產品規格的驗證與發電的補貼誘因，吸引消費者使用及廠商的投入；此外，並於2013年與愛爾蘭簽署有關再生能源的合作備忘錄，英國將協助愛爾蘭開發包含陸上及海上離岸的風場，間接刺激本土市場的發展及外銷市場的開發，帶動整體風力發電市場的發展。

(4) 國際小型風力發電機技術發展現況

根據WWEA統計，截至2011年底全球共有327家小型風力發電機廠商(如圖5所示)，其中研發水平軸的小型風力發電機242家，約佔了總數的74%；研發垂直軸的小型風力發電機有60家，約佔了總數的18%。而兩種不同的類型相比，水平軸風力機的優點在於起動性能佳、運轉效率高及振動較小；垂直軸風力機的優點則在於風向沒有受限。

小型風力發電機在過去主要應用於電網無

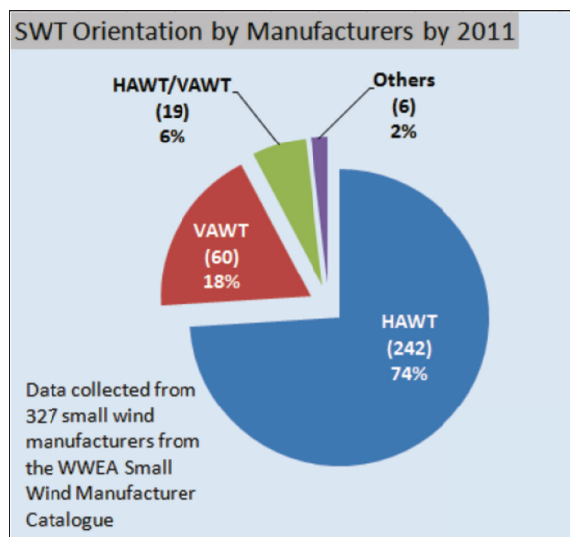


圖5 全球小型風力發電機廠商機型分布(WWEA, 2014)

法到達之偏遠地區，作為住家或農場等自主發電的來源。而近年來小型風力發電機也逐漸由偏遠地區邁入都市，除了常見的風光互補型路燈裝置外，與建築物本體搭配設計的多功能綠建築更是未來重點發展的趨勢之一。因此，各國政府也陸續開始推動城市型小型風力發電機的發展，常見的做法是利用風電應用示範區的

建立，讓民眾能更加了解城市型小型風力機的優點。

以美國為例，美國能源部(USDOE)為了發展城市型小型風力發電機，自2003年開始資助佛蒙特州之公眾服務部(Department of Public Service, DPS)執行佛蒙特州的小型風能示範計畫(The Vermont Small-scale Wind Energy Demonstration Program)，至2011年為止累計共建立了18個示範場址並進行風能數據相關量測。為了讓民眾了解小型風力發電機系統在不同環境下的性能，DPS要求廠商安裝性能監控設備在所有的示範系統中，監測並分析其量測結果。由於參與示範計畫之小型風力發電機運轉資料必須公開，從小型風力發電機示範系統收集到的數據，每月都會定期發布至網站，民眾可直接上網擷取各示範系統即時或歷史統計運轉數據，以做為自己在鄰近地區投資類似小型風力發電機系統的參考資料。

由歐盟智慧能源計畫資助的都市型整合風能計畫(Wind Energy Integration in the Urban Environment, WINEUR)也進行了城市型小型風力發電機的應用及效能研究。此計畫的目標在於了解小型風力機架設於都市環境的條件，使其成為城市供電來源的選項之一，以應付未來可能的缺電狀況，並評估目前城市型風力機的實際操作情況、技術上的瓶頸以及規劃城市型風力機併網的技術與策略等。此計畫已經在荷蘭、英國、法國等許多城市安裝城市型小型風力發電機，並將所監測的資料紀錄於資料庫中。而WINEUR也根據資料庫提出了城市型小型風力發電機在都市中安裝的經驗法則如下：

1. 架設地點之平均風速須高於5.5 m/s。
2. 架設在屋頂上的小型風力發電機，其高度應高於附近障礙物50%以上。
3. 盡可能地將風機安裝於斜面，該地形有利於風速的提升。
4. 轉子最低的位置應該要高於屋頂
5. 架設位置應該在靠近屋頂的中間

對於小型風力機的技術準則與安全規

範要求，以往各國大多採用國際電工協會(International Electrotechnical Commission, IEC)公告之IEC 61400-2，作為小型風力機設計要求基礎。但由於該標準之制定乃沿襲大型風力發電機之設計概念，對於小型風力發電機而言過於繁複，因此大多國家均自行另訂標準，其小型風力發電機之定義如表1所示。

3. 臺灣小型風力發電機現況

根據WWEA指出，全球小型風力發電機產業持續穩定成長(如圖6所示)。由於臺灣在輕機械、小型發電機及UPS(不斷電系統)上有良好的基礎以及相關組件發展成熟(複合材料葉片、電控系統與基座等)，且產業鏈完整(如表2所示)，因此臺灣的小型風力發電機廠商已具備100%自製能力，發展潛力相當大。根據臺灣中小型風力機發展協會的調查顯示，雖然國內小型風力機裝置量較低，但若以出貨量來看，臺灣僅次於中國、美國與英國，位居全球第四位，其中以中國大陸與鄰近亞洲國家為主要之外銷對象(如表3所示)。而根據訪談臺灣中小型風力機發展協會會員的結果，說明臺灣小型風力發電機與鄰近的亞太國家相比具有很高的競爭力，但不利於低價的競爭，故目前的行銷策略應著眼於有需要通過產品驗證體系之銷售管道，以免陷入產品削價的惡性競爭。

若以小型風力發電機的機型來分析，2011年臺灣水平軸風力發電機的出貨量為4,496台，約佔總出貨量之84.3%，然而2012年垂直軸風力發電機出貨量大幅提升至1,671機平均單價較水平軸為高，故2011年水平軸台，約佔總出貨量之37%；而以營業額來看，由於垂直軸風力發電機之營業額僅佔整個風力發電機產業之46.7%；而在2012年垂直軸整體出貨提升之緣故，水平軸營業額下修至31%(如表4所示)。

小型風力發電機目前在國內市場的應用主要為風光互補型路燈及高樓大廈，以及學校、偏遠聚落、招牌及交通等。為配合政府提倡綠

表1 各國之小型風力發電機定義(WWEA, 2014)

| | 部門/協會 | 機型分類 | 額定功率(kW) | 補充說明 |
|-----|---|----------|----------|--|
| 國際 | International Electrotechnical Commission | 小型風力機 | ≈ 50 | IEC 61400-2定義小型風力機的轉子掃掠面積要小於200 m ² ，發電功率在50 kW以下，電壓在1000 V AC或是1500 V DC以下 |
| 加拿大 | Natural Resources Canada (NRCan) Canadian Wind Energy Association (CanWEA) | 迷你型風力機 | 0.3 - 1 | 根據Marbek Resource Consultants公司調查結果 |
| | | 小型風力機 | 1 - 30 | |
| 中國 | Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership (REEEP) | 小型風力機 | < 100 | 依據近年中國小型風力發電機的國家政策及研究方向 |
| 德國 | Bundesverband WindEnergie (BWE) | 小型風力機 | < 75 | 依據BWE-Marktübersicht spezial-Kleinwindanlagen資料 |
| 英國 | RenewableUK | 微型風力機 | 0 - 1.5 | 高度在0.5 ~ 5 m間 / 年產電力最多至1000 kWh |
| | | 小型風力機 | 1.5 - 15 | 高度在2 ~ 50 m間 / 年產電力最多至50000 kWh |
| | | 中小型風力機 | 15 - 100 | 高度在50 ~ 250m間 / 年產電力最多至200000 kWh |
| | Microgeneration Certification Scheme (MCS) | 微型及小型風力機 | < 50 | 額定功率小於50 kW的風力發電機 |
| 美國 | American Wind Energy Association (AWEA) | 小型風力機 | < 100 | 根據AWEA的報告[Small Wind Report 2010]及其近年在全球小型風力發電機市場的研究 |

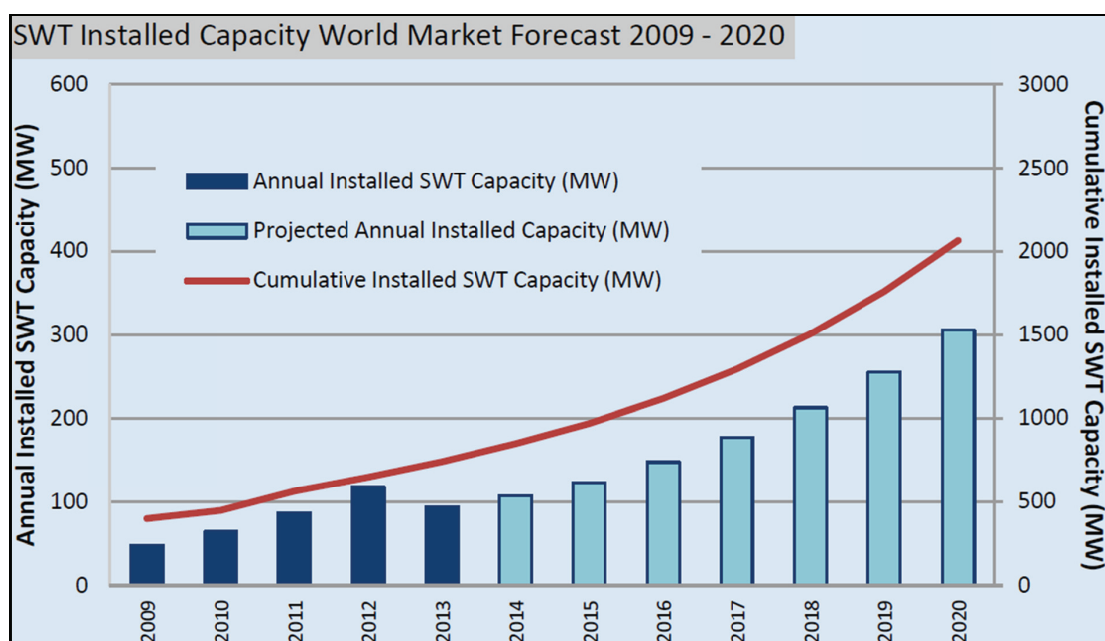


圖6 全球小型風力發電機裝置容量市場預測(WWEA, 2014)

表2 我國風力發電產業結構(本研究彙整，2015)

| | | | |
|-------|-------|-------------------------|--|
| 風電設備 | 原材料 | 鋼材 | 中鋼 |
| | | 玻纖/碳纖 | 台塑、台玻、重億、駐龍 |
| | | 樹脂 | 上緯、長興 |
| | 零組件 | 電力系統 | 東元、大同、華城、士電、中興電工、亞力 |
| | | 齒輪箱 | 台塑重工 |
| | | 控制系統 | 東元、漢翔、研華、宏銳 |
| | | 葉片 | 先進複材、華陽 |
| | | 塔架 | 中鋼機械、力鋼、玄鐘 |
| | | 鑄件/鍛件 | 源潤豐、永冠、益光、臺灣正昇、穎杰、承鋒、南隆、恆耀、三英、春雨、大詠成、芳生、泓達 |
| 風電服務業 | 風力機系統 | 大型風力機 | 東元 |
| | | 中小型風力機 | 新高、耀能、上銀、富田等 |
| | 風場規劃 | 台電、英華威、永傳、中興工程、怡興、環興、世曦 | |
| 風電服務業 | 風場營造 | 中興電工、華城、樂士、星能、漢翔、佳音、穩晉 | |
| | 風力機維護 | 德商風電、梅翠、寬利、平安集成 | |
| 風電發電業 | 風場營運 | 台電、英華威、福海、海洋、永傳 | |

註：工研院IEK資料顯示到2012年，本研究在2015年根據現有供應商資料整理更新

表3 臺灣小型風力發電機內外銷出貨情況(洽詢臺灣中小型風力機發展協會，2016)

| 機型 | 水平軸 | | | | 垂直軸 | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 |
| 出貨量(台) | 5,696 | 4,496 | 2,826 | 4,119 | 1,894 | 835 | 1,671 | 1,434 |
| 營業額(百萬元新臺幣) | 42 | 98 | 93 | 102 | 142 | 112 | 207 | 168 |

表4 臺灣小型風力發電機水平軸和垂直軸機種之營運概況(洽詢臺灣中小型風力機發展協會，2016)

| | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 風力發電機出貨量(台) | 7,589 | 5,331 | 4,497 | 5,553 |
| 內銷數量(台) | 409 | 320 | 278 | 326 |
| 外銷數量(台) | 7,180 | 5,011 | 4,219 | 5,227 |
| 內銷比重 | 5% | 6% | 6% | 6% |
| 外銷比重 | 94% | 94% | 94% | 94% |
| 中國大陸 | 67% | 35% | 67% | 34% |
| 亞洲其他地區 | 14% | 17% | 13% | 11% |
| 美國 | 1% | 2% | 2% | 40% |
| 歐洲 | 4% | 3% | 3% | 8% |
| 非洲及中南美洲 | 14% | 43% | 16% | 7% |

色能源政策，縣市政府及各級鄉鎮市區單位皆有不少與國內廠商合作，設置風光互補型路燈

的案例。例如：新竹市二二八紀念公園，彰化伸港等。而小型風力機運用在建築上則是依靠

綠建築的概念興起所致，部分新建大樓已將小型風力發電機整合於建築設計中。

在小型風力發電之研究能量方面，國內廠商 1 kW 以下小型風力發電機有九家業者研發共二十二款產品，1~10 kW 風力發電機有十一家以上業者投入二十二款機型系統開發，10 kW 以上則有核能研究所投入 25 kW 及 150 kW 小型風力發電機開發。在垂直軸小型風力發電機部分，全球技術尚未完全成熟，而我國現有均豪(群錄)、富田、新高、鴻金達與耀能等系統廠已有開發商業化產品銷售，且具備國際之競爭能量。

核能研究所(Institute of Nuclear Energy Research, INER)持續研究小型風力發電機技術並順利完成垂直軸簡易負載計算模式的建置[NEP-II_15]，並以國內新高能源公司 3kW 垂直軸風力發電機進行負載計算與驗證，並且協助該項產品通過日本海事協會(ClassNK)的認證，為日本推行收購電價制度後首家取得垂直軸風機驗證資格的國外廠商。除此之外，美國小型風力發電機驗證委員會(Small Wind Certification Council, SWCC)並已將核能研究所列入其 Small Wind Design Consultants 的名單中。

國內為了拓展小型風力發電機的大陸市場，自 2010 年開始推動「兩岸垂直軸小型風力機共通標準」。並於「海峽兩岸標準計量檢驗認證合作」立項後，召開了多場兩岸工作小組會議，進行相關標準技術內容的研議。而依據「兩岸垂直軸小型風力機共通標準」草案內容，兩岸各自經國家標準審議程序，分別公告 CNS15176-2-1 與 GB/T29494 標準，並在 2013 年 5 月完成標準內容比對後，共同發布「兩岸垂直軸小型風力機共通標準」。此標準為全球首創垂直軸風力發電機技術標準，未來希望能推廣至亞太地區，進一步擴大垂直軸小型風力發電機的外銷市場。

除了推動「兩岸垂直軸小型風力機共通標準」外，為拓展國際合作，我國也積極參與 IEA Wind Task 27 相關標準技術研究會議。

IEA Wind Task 27 是國際能源總署(International Energy Agency, IEA)執行風能系統研究發展合作協定(IEA Wind)下所發展的一個專案研究活動，為目前國際間小型風力發電機標準技術的重要討論平台，其成員多數為 IEC 61400-2 技術委員會的專家，對小型風力機的標準技術發展有絕對性的影響力。臺灣從 2011 年以觀察員身分開始參與 Task 27 的相關會議，在近幾次 Task 27 的會議中，均討論將原有小型風力機技術研究活動進行擴充，目標包含發展既有環境下的小型風力發電機相關的設計導則。其中，既有環境包含人類居住空間已有的環境建築體，包括建築物、建築物群、森林、及其他可能擾動平穩氣流的建築體。而既有環境絕大多數均具有之高紊流特性，亦為未來發展城市型小型風力發電機的關鍵課題之一。(經濟部標準檢驗局，2013)

4. 臺灣小型風力發電機之展望

在國內市場方面，政府可積極推動老舊工業區、低碳社區或各級學校的小型風力發電示範運行。將運行數據公開上網，讓民眾能夠更加了解小型風力發電機的效益。並搭配相關安裝補助優惠，使一般用電能達到自給自足，以達到推廣綠色能源的目的。

另外在研發技術方面，我國已具備完整的小型風力發電機製造產業聚落及國際認可之風機測試驗證能力，將可確保所生產的產品品質優良。惟國內業者大多僅以其專長項目(如葉片或發電機)直接擴大成整機系統，而無法有效整合及分工，因而造成單機成本較高，削弱競爭力，此一現象仍須仰賴政府相關單位出面協調整合。

此外，結合產官學研的研究能量，由學校方面進行先期的技術研究，培養風力發電專業的機電整合人才；政府研究單位結合相關廠商進行新技術的驗證與開發，並由政府行政部門制定相關法令規範，吸引國內大型企業可以較

佳的核心技術，轉進小型風力發電機之應用市場。如此一來，不但可以迅速提升我國小型風力機關鍵組件的研發能量，同時降低整機所需的製造成本，再配合標準測試等驗證程序確認品質，將可藉此打造國際級的小型風力機之自有品牌與品質保證，提升整體產業的競爭力。

參考文獻

台灣經濟研究院，小型風力機城市應用現況與效能分析計畫，2013，共74頁。

經濟部能源局，中華民國102年能源統計手冊，第10-14頁，2013。

經濟部標準檢驗局，中小型風機標準測試與驗證技術發展計畫成果報告，共30頁，2013。

U.S. Department of Energy (USDOE), 2013 Distributed Wind Market Report, pp. 14-54, 2014.

World Wind Energy Association(WWEA), Small Wind World Report, pp.3-14, 2014.

The Global Application of Small Wind Turbine and Its Domestic Technology Development

Ching-Mu Cheng^{1*} Yan-Ting Lin² Wei-Nian Su³ Chin-Cheng Huang⁴

ABSTRACT

Under the trend of global recent development in distributed energy applications, the demand for small wind turbine has grown up rapidly and many countries have also actively involved in the technology development to reduce the energy cost. This paper focuses on an introduction to the international application trend and technology development status of small wind turbines. It also discusses the application of small wind turbine from remote area to city, and the study on the integration with buildings and small wind turbines. Besides, the global marketing of the small wind turbines and the common standards on small vertical axis wind turbine between China and Taiwan are also reviewed. Taiwan's small wind turbine industry is mainly export-oriented and was ranked fourth in the world in 2013. A complete industrial supply chain of small wind turbine components has been established locally. It is believed that there is great potential of developing small wind turbine industry in Taiwan. Through the integration of government, industry and academia, the wind power technology can be stimulated effectively. It will not only be helpful for nurture of professional persons in the area of wind power, but also upgrade the relevant technology of wind power sector in Taiwan.

Keywords: Small wind turbine, wind power, international standard

¹ Assistant Researcher & Design Engineer, Institute of Nuclear Energy Research

² Associate Researcher, INER

³ Associate Engineer, INER

⁴ Researcher, INER

* Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400-3351, E-mail: hardyjim@hotmail.com

Received Date: May 29, 2015

Revised Date: November 3, 2015

Accepted Date: February 4, 2016