

低碳城市與再生能源

顧 洋

國立台灣科技大學化學工程系講座教授

一、前 言

由於近年來全球暖化及其對氣候的影響愈來愈顯著，氣候變化已被認定為未來數十年間國家、政府、企業及民眾所要面臨的最大挑戰之一。雖然目前還無法精準預測溫室氣體排放可能造成未來氣候的變化及其衝擊，但已發生的現象似乎比過去預估的更早、更激烈，尤其是對於居住在環境脆弱或貧窮地區民眾的生命財產影響更為顯著。

溫室氣體排放所造成的全球氣候變化亦將導致導致資源使用、生產與經濟活動的重大改變。城市是人類經濟活動和社會發展的中心，也是資源消耗和環境污染的主體，所以在全球經濟社會快速發展的過程中，城市的環境和能源問題一直非常突顯。近 50 年來全球城市居住人口已增加超過兩倍，目前城市聚集全球約 50% 的人口，消耗約 80% 的能源，且全球城市化仍有持續擴張的趨勢，預測在 2030 年，全球將會有 2/3 人口居住在城市。全球氣候變化及能資源耗竭議題將對於未來的城市建設和空間發展帶來新的限制與挑戰，而這些限制與挑戰必須要在建築、社區、以及城市層面分別予以解決。因此推動節能減碳，建構低碳永續家園，首先應在城市進行落實。

二、綠色城市與再生能源

綠色城市的概念自 1970 年代開始形成，進入 21 世紀後，由於全球氣候變化及能資源耗竭議題日趨嚴重，各國從中央到地方紛紛提出建設綠色城市的呼聲，城市的發展朝向綠色生態的方向進行轉變，綠色城市應該是生態的、低碳的、宜居的。綠色城市意味著污染完全控制、資源高效利用、人與自然和諧相處。推動綠色生態城市建設需要合理的規劃佈局，從開展綠色城市的理論研究，規劃設計



施工管理等技術的研發，經過城市公共政策的形成，建置制定相關法規，並積極的國內外廣泛交流相關經驗，充分利用政府引導和市場調節手段，以提高綠色城市規劃建設管理能力。

依據國內外低碳城市相關計畫推動的經驗來看，綠色城市建置之面向相當多元廣泛，其中重點之一即為城市之能源供應。目前城市所使用的能源，有將近 90% 來自化石燃料的燃燒；是故溫室氣體不斷大量排放，與城市發展難以脫鉤。根據國際能源署(IEA)的預測，未來全球能源需求仍將持續增加，全球初級能源需求在 2006 年到 2030 年期間將增長 45%，龐大的能源需求與相關污染排放，將對自然資源和環境帶來無法承受的巨大壓力。

未來國際能源供應匱乏情況，將可能因為化石能源枯竭、國際政經局勢不穩定等因素持續惡化，而能源使用標的間(包括國家、城市、產業等)之競爭與衝突，未來也勢必將會更嚴重，而能源使用引發環境品質的劣化情況也將會更受關切。為因應節能減碳的世紀風潮，開發與應用具有高自主、低碳特性的再生能源，已成為世界各國能源政策積極推動的重要目標之一。

根據 IEA 對於再生能源的定義是指「從持續不斷地補充的自然過程中得到的能量來源」。可再生能源泛指多種來自大自然、取之不竭的能源，例如太陽能、風力、水力、地熱等。惟現今人類實際使用之再生能源遠遠低於其可被開發的潛力，2008 年全球能源需求約有 19% 來自再生能源，其中約 13% 為傳統生質能(主要為木柴、廢棄物等)，約 3.2% 是來自水力，來自創新再生能源(小水力、生質燃料、風能、太陽、地熱等)則只約有 2.7%。儘管開發再生能源的成本已不斷下降，但目前多數創新再生能源的開發成本仍高於傳統能源，因此要推廣再生能源，在經濟和技術上都將是艱巨的任務。但如果考慮到使用傳統能源對於環境的破壞，進行再生能源開發仍具有長遠廣泛效益，因此各國政府近年來對於潔淨能源的推廣上不遺餘力，根據 IEA 統計，目前全球至少超過 40 個國家訂定再生能源發展目標，許多國家是以再生能源占能源供應的 10~30% 作為中期努力發展目標(2020 至 2030 年間)，預估再生能源發電占全球總發電量比例將由 2005 年的 18% 提升至 2050 年的 46%。有些專家更樂觀的表示，如果得到足夠的政策支持，再生能源的發展，到本世紀中葉(2050 年)有望滿足全球近 50% 的能源需求。

三、國際間綠色城市與再生能源應用案例

位於瑞典南部的馬爾默(Malmö)市是瑞典第一個“零排放”的城市，不可思議的是馬爾默曾經是瑞典污染最嚴重的城市，就在最近 10 年才蛻變成環保城，成為國際間城市再造的成功典範之一。馬爾默從 2001 年到 2020 年，城市的非再生能源之需求將降低一半，期望在 2030 年達成能源百分之百自給自足的目標。馬爾默市能源需求是由各種再生能源提供，其中包括太陽能、風能、沼氣和水能等。以水能來說，利用熱幫浦(heat pump)從海洋及地下含水層藉由溫差提取水能。於建築物屋頂裝置太陽能板，藉由熱幫浦供應地區所需熱能。風力發電廠所產生之電力用於供應地區內之公寓、熱幫浦、螺旋槳與其他幫浦等之運作。馬爾默市能源概念最獨特之處，在於積極推動城市與廠房的暖氣、冷氣及電網等能源系統之區域連結，使能源總和利用效率大幅提昇。

而位於黑森林地區附近人口約 20 萬的弗萊堡(Freiburg)是德國最溫暖、陽光最燦爛的城市，為另一座具國際典範特色之綠色城市。其在使用再生能源方面之主要特色，則為積極推動太陽能發電技術之研發，1981 年德國在弗萊堡成立太陽能系統研究中心，太陽能相關研發生產機構陸續跟進。弗萊堡並於市區廣泛開發太陽能發電；無論市中心的車站、醫院、足球場、以及城市花園和當地釀酒廠屋頂或頂篷，都盡量安裝太陽能電池板，以將太陽能轉換成電能，提供城市居民使用。1992 年及 2004 年，弗萊堡兩度獲選為德國環保及永續城市，弗萊堡被暱稱為太陽能之都應當之無愧。

冰島的獨特地質使其擁有極為豐富的再生能源，大約 81% 的冰島初級能源供應來自國產的再生能源。其中地熱能約占 66%，水電能占 15%，化石燃料(主要是石油)僅佔 19%。地熱能的主要用途是經由供熱系統供給地區建築暖氣，大約 85% 的冰島房屋由地熱能供暖。電力生產全部來自於可再生能源，其中 70% 來自於水力發電，30% 來自於地熱發電，由於地熱資源不易受天候影響，輸出穩定，可開發為基載電源。惟現階段地熱發電成本仍較水力發電方式略高，故發電後的溫泉熱水多進行遊憩、溫室植栽、空調等多目標利用，以提高經濟效益。其首都雷克雅未克積極推行使用地熱和水力等再生能源，作為居民取暖和電力能源的措施，預計到 2050 年，雷克雅未克將完全不需使用化石燃料，成為歐洲最潔淨的城市。



四、我國再生能源之發展情形

我國能源供給的先天條件極為脆弱，自有能源缺乏，目前有 99% 以上的能源仰賴進口；而我國目前的能源供給結構以高碳化石燃料(包括煤、原油、天然氣)為主，集中度過高，再生能源所貢獻之比例尚低；我國為海島國家，能源供給體系相對規模小而獨立，欠缺有效的能源備援系統，因此每當國際間發生能源危機，對我國能源供給的衝擊影響都極為顯著。而我國多年來化石能源的大量使用、耗能產業的持續發展、核能發電的未來定位等挑戰，也一直是國內各界長期以來爭議極大的議題。因此對我國而言，目前的關鍵能源議題在於確保目前既有能源穩定而充分的供應，促使能源的利用能更有效率及更符合環保期望，並推動能源的節約回收及再利用及替代性新能源技術的開發，但是以上各項能源議題之解決，都牽涉到相當廣泛的跨領域甚至跨國的努力合作，對於政府而言，能源議題確實是極為複雜的挑戰。

行政院於 2008 年發佈「永續能源政策綱領」，提出「二氧化碳排放量於 2016 年至 2020 年間回到 2008 年，於 2025 年回到 2000 年水準」、「未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上」及「2025 年發電系統中低碳能源占比達 55% 以上」等積極性具體目標，並規劃「淨源」的能源供應系統與「節流」的能源消費型態等具體策略，為我國未來節能減碳的願景，擘劃出明確且具挑戰性的藍圖。

為加強推動再生能源之發展，政府於 2009 年公布施行「再生能源發展條例」，依該條例規定再生能源之定義為太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、水力(不含抽蓄水力)、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。預計至 119 年(2030 年)我國再生能源發電總裝置容量占比約可達 12 至 15%，總發電量占比則約達 8 至 10% 目標。各類再生能源技術較為成熟且在我國較具發展潛力的項目包括風力、太陽光電、生質能等，以下謹就這些項目略作說明。

(一)風力

我國為海島地形，中西部沿海、淺海及離島地區受台灣海峽海風隧道效應，許多地區之年平均風速超過每秒 4 公尺，風能潛力相當優越，但我國風力發電因受地理條件影響，發電出力情況並不穩定，且用地取得困難、又不易配合負載變動調整發電，因此在目前發展條件下，風力發電僅能扮演輔助能源的角色。

(二)太陽能

在各國政策帶動下，太陽光電產業在全球市場曾快速成長；但近年來因全球經濟衰退，歐洲受創尤深，又重創太陽光電產業之市場。太陽光電的發電出力與我國系統用電的負載型態相當吻合，但因太陽能光電設備投資費用仍相當昂貴，且我國地狹人稠，夏秋期間颱風頻仍，加上氣候條件影響，日照時間不如同緯度其他地區多，因此目前我國有關太陽能發電之應用仍相當有限，但仍然不失為深具發展潛力之再生能源。

(三)生質能

生質能係指擷取生物性有機物之能量，例如各種生物性有機廢棄物，像牲畜糞便、農作物殘渣、城市垃圾、及下水道污水等，皆可經由直接燃燒應用，或由微生物的厭氧消化反應而產生沼氣後再行應用；或種植能源作物，如甘蔗、玉米、大豆等，經化學轉化後可製為生質酒精或生質柴油，我國地狹人稠，無法大量種植能源作物，因此目前我國生質能之來源，仍是以生物性有機廢棄物為主要對象。

五、結 論

國家發展及人民福祉都有賴於潔淨而安全的能源，為因應未來國際及國內能源供需發展新趨勢，考量在能源安全、經濟發展、及環境永續之間取得均衡，政府應以主動前瞻的態度面對各項複雜的能源議題，重新檢討國家整體能源策略之規劃及管理，以前瞻思考及周延策略，積極發展低碳能源及淨潔能源技術，建立合理的低碳化能源結構，並提高自主能源比例及能源效率。我國人口稠密、資源缺乏，環境脆弱度高，因此更需要細緻有效的能源策略規劃，以緩和社會發展與環境保育之間的矛盾與衝突，開創我國未來低碳節能的社會與經濟新局。