

3D 列印應用於發電廠之趨勢探討

作者：許志義、范文軒

出處：國立中興大學資訊管理學系

壹、3D 列印應用於發電廠的意義

3D 列印使用電腦軟體設計產品模型並以增量製造方法（Additive Manufacturing）製造出原型（Prototype）與成品，適合生產少量多樣與高複雜度結構的產品，並且有效縮短商品進入市場時間。有別於傳統的減成法（Subtractive manufacturing）製造方式，減少製造過程中材料的浪費，降低研發成本與風險，是一種環保、可靠與彈性的製造方式。

在 2015 年，3D 列印應用尚在起步階段，僅佔全球製造業市場的 0.04%，產值約 52 億美元，3D 列印技術大部分使用在原型生產與功能性零部件。知名快遞公司 UPS 指出 3D 列印在 2020 年將可占全球相當約 210 億美元的產值，具有相當大的市場成長空間與發展潛力。

台灣正值綠能轉型期，強調非核家園，台灣化石能源幾乎全部依賴進口，如能利用 3D 列印發展節能減碳、創新應用與技術突破、減少向國外進口化石燃料成本，減低發電過程中化石燃料造成的環境污染。這些都是 3D 列印顛覆式創新過程當中，很有價值與意義的發展意涵。

貳、3D 列印在發電廠的創新應用

首先發展 3D 列印應用於發電廠之先鋒，應屬 2014 年 12 月，美國能源部（Department of Energy, DOE）、橡樹嶺國家實驗室（Oak Ridge National Laboratory, ORNL）、SOM 建築公司(Skidmore, Owings & Merrill LLP, SOM)和田納西大學(University of Tennessee)「產官學研合作」等 22 個合作夥伴實施之增量製造能源整合（Additive Manufacturing Integrated Energy, AMIE）示範計劃。計畫的主要目標是「使用車輛結合不同的能源與儲能方式(生質能源、氫燃料電池、液態電池等)，實現更多能源整合應用」。此為美國能源部（DOE）於 2014 年 4 月在美國田納西州實施，為期五年 250 萬美元的「Governor's Chair for Energy and Urbanism」計畫之子計畫。通過利用科學、設計和學術界合作優化能源與城市間的關係，強調環保設計、新興技術和社區潔淨能源技術以及城市與自然的融合（Oak Ridge National Laboratory, 2016）。

增量製造能源整合（AMIE）示範計畫召集各領域專家緊密合作，利用 3D 列印熔融沉積成型（Fused Deposition Modeling, FDM）技術、雙向無線能源技術

和高性能材料，打造出輕薄、強韌與模組化的建築與車輛。3D 列印的綠能建築與電動車利用 6.6 瓩的綜合能源系統，應用再生能源（太陽能）與儲能設備（複合燃料電池）互相補充。房屋和電動車之間的雙向無線能源傳輸系統

（Bidirectional wireless power transfer, BWPT）轉換效率在 85%到 98%。因此，這種方式解決了陰天無法靠太陽能產生電力的問題，就算房屋與車輛都無法生產能源，房屋也可以直接透過電網供電解決電力問題，藉由無線能源網路雙向補充。這樣的汽車與房屋一體、並互為補充的節能概念（二級無線能源充電），是全球首創，實現在用電高峰期不依賴電網。示範計畫從概念產生到完成計畫僅花費九個月便完成，證實利用 3D 列印整合能源打造綠能城市的發展潛力（見表 1 與圖片 1）。

表 1 AMIE 示範計畫里程碑

年份日期	里程碑	內容
2014 年 12 月	開始規劃	邀請建築和設計領域的專家。
2015 年 2 月	能源整合	研究團隊將印刷建築概念朝向整合能源系統，包括交通工具和能源研究。
2015 年 4 月	先期製造	利用 3D 列印實現整合先進技術
2015 年 5 月	動力總成控制原型整合	新型混合動力總成開發，為車輛和建築物提供動力。
2015 年 7 月	建築面板設定與天然氣技術	Tru-Design 完成印刷房屋組件的設計。安裝燃燒天然氣的增量型內燃機（range-extender internal combustion engine）。
2015 年 8 月	組裝建築以及車輛與建築可雙向供電	SOM 與 Clayton Homes 公司合作組裝房屋，新的建築與電動車能夠利用雙向無線能源傳輸

資料來源：ORNL(2016)



資料來源：ORNL(2016)

圖片 1 AMIE 示範計畫展示說明

另一個成功案例，在 2016 年美國能源部 (DOE) 偕同民間企業 (TPI Composites, Wetzel Engineering) 使用 3D 列印熔融沉積成型 (FDM) 技術來製造風機葉片的模具。根據美國國家桑迪亞實驗室 (Sandia National Laboratories, SNL) 的研究，葉片規模越大發電越具有經濟效益。由於結構精密與規模龐大，因此葉片生產是一個勞動密集程度很高、進度緩慢的過程。製造風力發電機葉片模具，需要進行為期 12 周的「Plug」製程，「Plug」是一種生產複合材料模組製造過程的其中一個步驟，需要大量人工打磨、塗膠與層疊玻璃纖維層、碳纖維層及黏著劑在葉片模具上等勞動密集步驟，確保生產的葉片平滑均勻沒有弱點，傳統葉片生產時間需要花費 300 個小時，葉片生產使用的模具 (mold) 每個成本即高達 1,000 萬美元 (見圖 1)。每個「Plug」約可以生產 6 到 10 個模具，每個模具可以生產一千個葉片，但風力產業發展迅速，模具常需要重新訂製，通常在達到生產目標前模具設計就已經過時，因此增加製造成本 (Brian Eckhouse, 2016)。

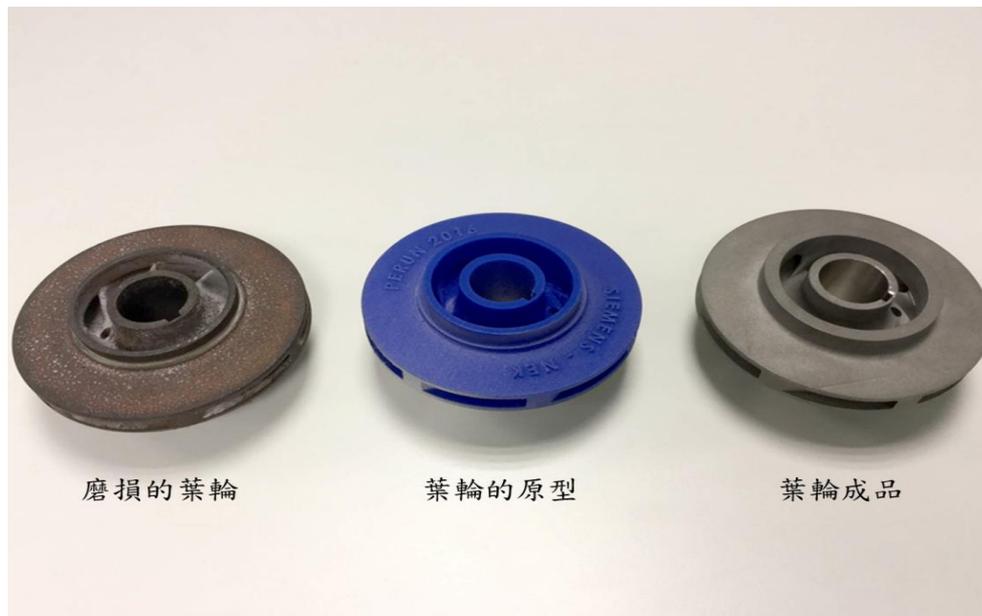
美國能源部 (DOE) 利用 3D 列印製造方法，省卻傳統製程勞力密集的製造步驟，有效縮短 25% 的葉片製造時間 (見表 2)。生產的葉片用來投入美國德克薩斯州的 Swift 測試場域，研究風力發電技術，降低風力發電因物理特性等交互作用影響造成的能源流失等研究，讓風力發電機產生能源更有經濟效益，預計為美國的風能產業每年節省 5% 的製造成本，約新台幣 225 億元。(Sandia National Laboratories, 2016)

表 2 傳統製程與 3D 列印風力發電葉片模具製程比較

傳統模具製程	時間 (周)	3D 列印模具製程	時間 (周)
1. fabricate plug(12 周)	12	No plugs are needed. Direct CAD to part	
2. setup and inspect	3	1. print mold sections	12
3. layup shell, attach frame demold	6	2. glass and finish sections	4
4. electrical connections, QA, ship	6	3. Attach frame, install heaters, QA.	4
總計	27		20

資料來源：Sandia National Laboratories (2016)

3D 列印技術也可以應用在製造核電廠部件 (Parts)，在 2017 年 3 月，德國工業巨擘西門子 (Siemens AG) 公司為斯洛維尼亞 (Slovenia) 的克爾什科 (Krško) 核能發電廠成功安裝全世界首個利用 3D 列印製造的部件，此部件為核電廠防火系統的水泵之金屬製的葉輪 (impeller)。克爾什科 (Krško) 核電廠自 1981 年運轉至今，因「氣蝕現象 (Cavitation)」產生金屬疲勞造成葉輪磨損；再者，葉輪的原始製造廠商已經不再提供核電廠維護；以及客製化的部件，核電廠也幾乎不可能獲得相同的設計，而核電廠面臨於 2023 年 1 月 4 日退休，尚還有超過六年的時間。



資料來源：Sarah Saunders (2017)

圖片 2 西門子公司為克爾什科 (Krško) 核電廠製造之 3D 列印葉輪成品

西門子公司利用電腦逆向工程製造數位部件，使用 3D 列印技術「選擇性雷射熔化法（Selective laser melting）」製造的 108mm 金屬製的葉輪讓防火系統繼續正常運轉。能夠安裝在高安全標準的核電廠，代表 3D 列印部件足夠安全可靠的運行。在第三方研究所進行的進一步的材料強度測試以及電腦斷層掃描顯示，3D 列印部件的材料性能比原始部件還要安全。同時也幫助核能發電廠能夠持續運營至目標年限。西門子公司能夠完成這項任務，主要的原因是因為西門子公司 2009 年以來就一直廣泛使用增量製造技術進行發電廠部件的快速成型（rapid prototyping），技術應用於快速製造小型燃料混合器（small fuel mixers）與製造燃燒器噴嘴（burner tips）來修復中型燃氣渦輪機（gas turbines，見圖片 3）。2016 年 6 月起，西門子的第一個 3D 列印燃燒器部件在捷克（Czech Republic）布爾諾（Brno）發電廠的一個大型燃氣渦輪機上成功商業化運行，正常運作了長達 1600 個小時，沒有任何中斷運作時間，擁有相當豐富的 3D 列印應用於發電廠部件之製造經驗（Sarah Saunders, 2017）。



圖片來源：SIEMENS AG(2017)

圖片 3 西門子公司透過 3D 列印技術製造之渦輪葉片

參、3D 列印的生產製造彈性適合應用在分散式的發電廠

增量製造技術相較傳統「減成法」製造更節能減碳與具有製造彈性，透過電腦軟體建模與快速原型技術讓科學家能夠擁有多次檢驗與「試誤」的機會。軟體設計能夠通過網際網路共享，相較傳統製造方法更容易實現創新應用與技術突破，應用在各個領域都有相當不錯的效果，目前適用在特殊情況下的製造方式。

以發展再生能源為例說明，再生能源等獨立的發電設備常設立於一般電網無法觸及之偏遠地區，運送與維修困難。不同的再生能源使用，以及各種應用情境之差異，具有少量多樣客製化程度高之設備需求。因此 3D 列印的及時修改設計之製造彈性、模組化、材料方便運輸、少量多樣的製造特性相當適合應用在發電廠，特別是需要量身訂製與快速佈署的小型、微型的分散式發電廠。製造者能夠

自行選擇合適的設計，卻不需要高額的開模成本，降低研發成本與製造風險。例如在鳥類聚集的地方，可製造無葉片風力發電機，減少對鳥類的侵害；在風力充足但場域受限的區域，可設置不受地形風影響的垂直軸式風機；在建築上，可製造符合建築外觀設計的發電裝置，避免破壞市容觀瞻，影響居住品質。此外，可以利用 3D 列印科技發展節能減碳、顛覆式創新技術，應用在逐年增加的再生能源等發電廠設施。

肆、結語

對於生產大量標準化的產品之製造需求，現階段傳統製造方法還是最佳選擇。3D 列印創造引進之技術要能做彈性的應用在發電廠設施與能源間之整合，並且能夠因地制宜、量身訂製與符合經濟規模。換言之，即是可自動化減少額外人力加工介入的複合功能 3D 列印機器，例如美國能源部（DOE）為製造出一體成形的風機葉片，而專門開發的超大型 3D 列印機，不只具有列印，還具有銑削、纖維鋪層等複合功能，可滿足自動化製造風力發電機葉片之需求。除此之外，高可用性不受環境條件影響的光電技術（3D 列印常需要保持一定溫度與在特定環境下操作），將賦予 3D 列印機器可應用在極端與偏遠地區。最後還有合適的新材料，例如石墨烯（Graphene），既輕薄且強韌，擁有絕佳的導熱及導電性，如能妥善且廣泛地應用於發電廠與儲能設備，將使分散式發電廠達到穩定的能源供應。

綜合上述，可歸結為新興的科技與產業經濟環境，將會促使 3D 列印越發成為製造發電廠的合適選擇。其相關產業發展宜透過產官學研彼此合作「相互鏈結」，可藉由靈活且聚焦前瞻科技的研發服務公司（Research Service Corporation, RSC），發展理論基礎與實務應用研究，推動研發符合「成本效益」之發電廠 3D 列印技術。同時利用 3D 列印技術特性與優勢，結合傳統製造經驗與創新應用，加速產品開發與商業化、活絡中下游相關產業，充分發揮臺灣擁有許多中小企業之分散式群聚製造特色，提升國際市場競爭力。3D 列印科技與全球產值呈指數型的快速增長，具有高風險與高報酬特性，值得創客與怪傑們密切關注。

參考文獻

1. UPS. (2016). *3D Printing: The Next Revolution in Industrial Manufacturing*. Retrieved April 6, 2017, from https://www.ups.com/media/en/3D_Printing_executive_summary.pdf
2. Oak Ridge National Laboratory, ORNL. (2016). Additive Manufacturing Integrated Energy Demonstration Project. Retrieved April 8, 2017, from <http://web.ornl.gov/sci/eere/amie/>
3. Sandia National Laboratories. (2016). Additively Manufactured Blade Mold

Demonstration Project. Retrieved April 14, 2017, from <https://www.slideshare.net/sandiaecis/additively-manufactured-blade-mold-demonstration-project>

4. Brian Eckhouse. (2016). U.S. Backing 3D Printing to Develop Cheaper Wind-Turbine Blades. Bloomberg Technology. Retrieved April 14, 2017, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-29/u-s-backing-3d-printing-to-develop-cheaper-wind-turbine-blades>
5. Sarah Saunders. (2017). Siemens Completes First Successful Installation of 3D Printed Part in Nuclear Power Plant, retrieved from <https://goo.gl/DrvCpd>
6. SIEMENS AG. (2017). Breakthrough with 3D printed Gas Turbine Blades. Retrieved August 28, 2017, from <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html>