

太陽能水產養殖智慧節源系統之整合開發與建置

撰文/林志遠·張致銜·楊順德

利用無線資通訊科技，進行太陽能發電與養殖用電、地下水用水量及多參數水質、氣象等之監測與自動回饋機制，建構一智慧監控系統，可達到養殖池節電、省水之目的，以符合節能減碳之政策目標，並可協助減緩臺灣中南部地層下陷之危機。

本智慧監控系統包含綠能發電、養殖監測與智慧控制等三項子系統，各項設備與監控裝置使用 RS-485/Modbus 通訊界面與協定，由資料收集控制器進行各項監控資料收集彙整，然後採用 Zigbee 無線傳輸方式將資料傳送至監控中心。前項子系統主要採用太陽能光電發電系統，包括 5KW 太陽能電板、轉換器、數位電錶等。後二項子系統包含數位水表、比例式蝶閥、鼓風機、投餵機、水質感測器、氣象儀、數位電錶、圖控軟體等進行監測與多參數混和閥值與邏輯運算，以進行自動回饋控制。

資料初步分析電力效益部份，每養殖池（16m 長 x 11m 寬，268 噸水量）的太陽能全年累計總發電量至少應可達 7,000KWH（度），預估單一養殖池每年可節省電費約 2 萬元。節水效益部份，透過水質數據來調節水閥水量，若水質正常可以不用持續換水，以每日五分之一換水量、目前省水比例 60% 為條件，則估算每養殖池每月可節省用水約 965 噸。

前言

依據我國 101 年漁業統計年報，淡水養殖魚塭面積雖小於鹹水養殖，但仍達 14,679 公頃，且以中南部為主要產區。養殖漁業是地層下陷區（多集中

彰化縣、雲林縣、嘉義縣及屏東縣）主要之土地利用型態之一。養殖業者為維持水質多大量抽取地下水，造成臺灣西南沿海地區地層下陷而衍生海水入侵、土地鹽化等不良後果，對整體社會經濟發展及環境生態構成負面之影響與衝擊，為有效降低淡水使用量，應推廣節水養殖。

另外，電費約占水產養殖總生產成本 2-4 成，平均每月用電 2,000 多度。有鑑於此，行政院農業委員會漁業署為因應高價能源時代的來臨，及節能減碳的趨勢，鼓勵養殖業者使用高效能的電器，另一方面也鼓勵農漁牧善用太陽能、風力發電等自力發電的方式，亦可減少 CO₂ 之排放量。2010 年起獎勵補助設置太陽光電發電系統，但目前僅限制補助莫拉克事件災區受創漁民共 14 戶 86.14 峰瓦¹。臺灣地處亞熱帶地理位置，日照時間長、日光偏斜角度小，估算平均單位面積日照量是 129W/m²，非常適合發展太陽能，而太陽能發電材料成本有下降趨勢。

基於以上，部分學者已提出以綠能方式降低對傳統能源之依賴，例如應用太陽能與風力發電於石斑魚含氧監控系統之設計，亦有設計太陽能光電模組、循環水系統、雙效節能熱泵和 LED 照明設備與節能節水裝置，來進一步改良設計水產養殖型式，改善以往戶外養殖方式，有效增加養殖面積並提升使用彈性。而本智慧監控系統整合 WSN 無線感測、太陽能發電設施、數位電表、數位水表及水質監測等儀器或模組，同時在實際常時穩定運轉下，進行

¹為太陽光電發電系統設置容量計算單位，指裝設之太陽光電模組於標準狀況（模組溫度 25°C，AM1.5 1,000W/m² 太陽光照射）下最大輸出功率。

太陽能發電，養殖周邊供電、地下水用水及多參數水質等之監測，自動回饋控制與太陽能加熱裝置等，來探討養殖池同時節電、省水、越冬禦寒之成本效益分析。

材料與方法

實驗魚池（16m 長、11m 寬、池水容量 268 噸、放養體長 5.49cm 吳郭魚 *Tilapia* 400 尾）之主要系統包含三項子系統：(1) 綠能發電及池水加溫子系統、(2) 觀測及養殖子系統、(3) 智慧監控子系統。全系統流程詳如圖一。前兩者在設計上皆採用模組化應用，養殖業者可視其需求選擇性安裝，增加業者導入之彈性。

各項設備與監控裝置使用 RS-485 通訊界面，支援 Modbus 標準通訊協定，由資料收集控制器進行各項監控資料收集彙整，然後採用 Zigbee 無線傳輸方式將資料傳送至監控中心。監控中心配備資料伺服器進行資料接收與存取，另開發圖控軟體，進行各項設備與監控裝置之資料呈現及控制設定。另外，在同面積及同放養量之對照池部份，僅安裝定

時投餌機、常時鼓風機及定流量之數位流量計。

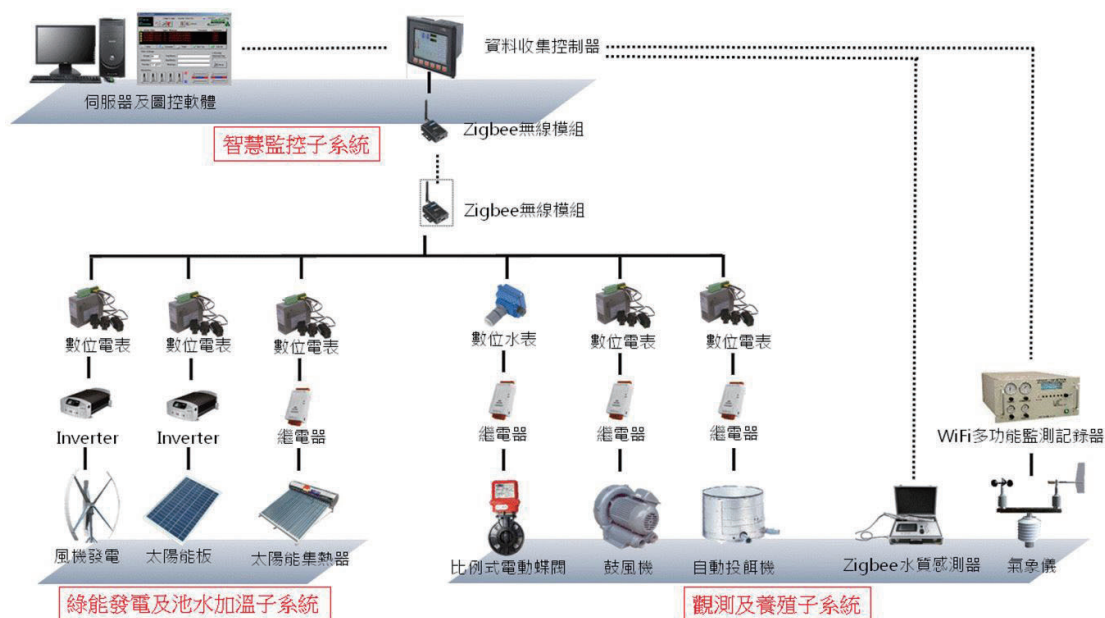
(一) 綠能發電及池水加溫子系統

本子系統發電部份採用太陽能光電發電裝置。太陽能光電發電系統部份共安裝太陽能電板數量 20 片，每片裝置容量 250W，並含監控系統設備，及直流電力轉換器 (inverter)。詳如圖二 (A) 現場實體建置照片。

另外，為避免魚群受到寒害侵襲而大量死亡及平時加速其成長，同時建置封閉循環式池水加溫裝置，其包含真空管式太陽能集熱器、儲水設備 500 公升、深入池內之熱導管，詳如圖二 (B) 現場實體建置照片。同時考量熱導管需長期置放水底及傳熱效果，所以材質採用不鏽鋼。集熱器產生之熱水於導管內流動循環，並以熱交換之方式對池水進行加溫。

(二) 觀測及養殖子系統

本子系統對各項養殖設備包含數位水表、比例式蝶閥、鼓風機、投餌機、多點水質監測系統、氣



圖一 水產養殖智慧節源管理與監控系統之全流程架構圖



註：(A)全系統建置後之實體照，(B)池水加溫裝置之實體照片，(C)用水監控裝置照片。

圖二 現場實體建置照片

象監測記錄通訊器、圖控軟體等進行監測與自動回饋控制。用水監控裝置部份詳如圖二 (C) 現場實體建置照片，另參閱圖一。

(三) 智慧監控子系統

本子系統包含無線傳輸器、資料收集器、資料伺服器及圖控軟體。其中，InduSoft Web Studio 圖控軟體設計最高 300 監測點數 (tag) 之監控，可進行主機資料自動比對、示警功能、遠端資料查詢功能、邏輯運算及設備控制等功能。參閱圖一。

結果與討論

(一) 資料收集與圖控軟體開發

InduSoft 圖控監測系統能藉由資料收集器及 Zigbee 無線傳送器接收及處理所有監測設備所傳送回來的水質監測資料與氣象資料與主機之邏輯與閾

值設定自動運算比對，若有異常的參數值，含綠能發電參數、用水參數、加溫器參數、氣象與水質多參數等，圖控軟體可以透過監測與自動回饋控制機制，自動示警同時啟動相關的設備，如數位水表、鼓風機、投餌機等以調整地下水之進水量、鼓風機打氣及自動投餌頻率與投餌量等，如圖三、四所示。

系統可設定各項控制參數閾值，包含水溫、pH、NH₄、ORP 等，當水質達到某參數設定值時，圖控軟體會自動控制閥門角度調整，達到控制調整進水流量與省水之目的。

加溫設施可透過圖控軟體設定各項控制參數，如魚體重量、水溫、太陽能功率、風速等，當非冬季中午時段且太陽發電足夠，或者冬季水溫太低時，依魚體體重及水溫，以決定加溫器之加溫時間長短，可達到促進攝餌、提高魚體成長率及冬季禦寒之目的。



圖三 InduSoft圖控軟體各子系統參數即時監測畫面



圖四 InduSoft圖控軟體邏輯掣動設定畫面

投餌機亦可透過圖控軟體設定各項控制參數，包含魚體重量、水溫、NH₄、照度、雨量等，當氣象或水質達到某參數之加權設定值時，圖控軟體會自動控制啟動投餌機一段時間，可達到智慧投餌，節省飼料浪費及提高魚體成長率之目的。

鼓風機則可透過 DO 控制參數閥值及體重與投餌前等加權邏輯判定，來自動控制啟動與關閉鼓風機打氣動作，以同時達到增氧與節電之目的。全系統各項設備邏輯控制之詳細邏輯 I/O 自動化參數判定與控制流程如圖五所示。

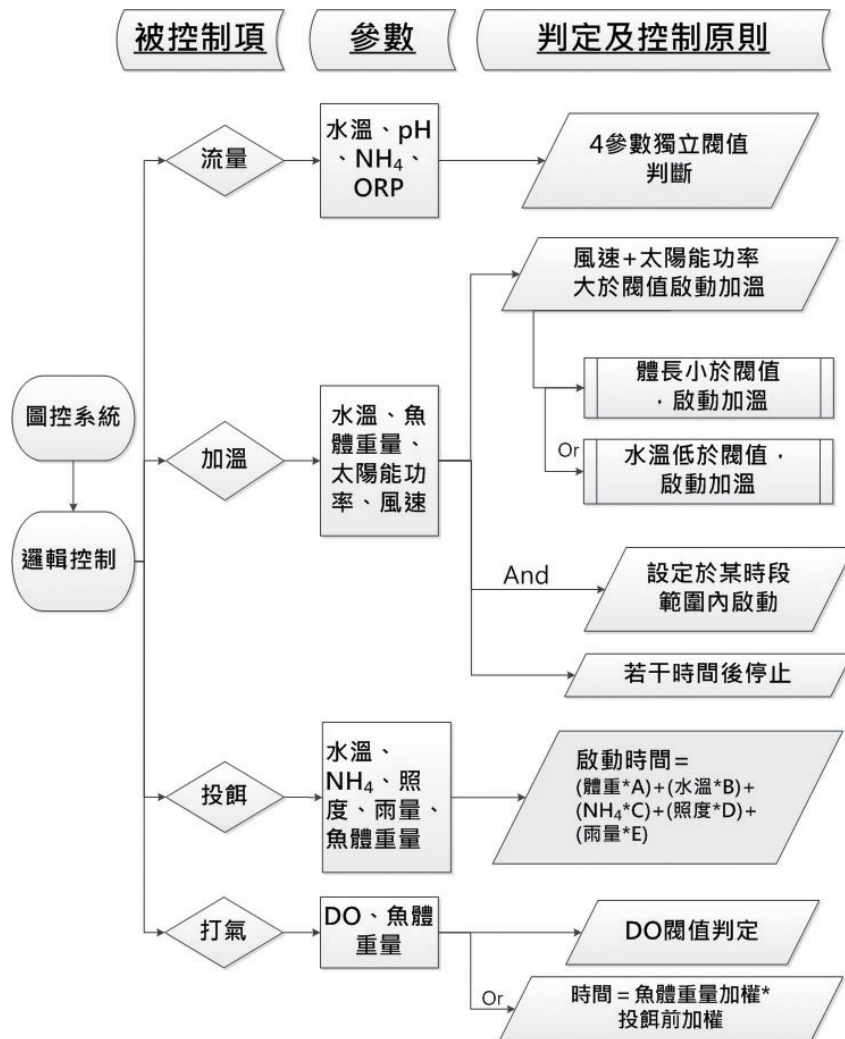
(二) 初步資料分析

太陽能發電系統與日照時數有密不可分的關係。而日照時數依氣候狀況而定，每月不一定相同。以 105 年 2 月 1 日為例，當日發電量約從早上 7 點開始變化，此時的太陽能發電量，亦逐步上昇，到早上 8 點後維持穩定的發電量，但是發電量仍維持平穩輸出變化不大，當日日照從早上 7 點開始增加，在中午 12 點 19 分達到最高峰，到了下午 16 點 19 分以後，日照開始減少（圖六）。而照度與發電量的相關分析

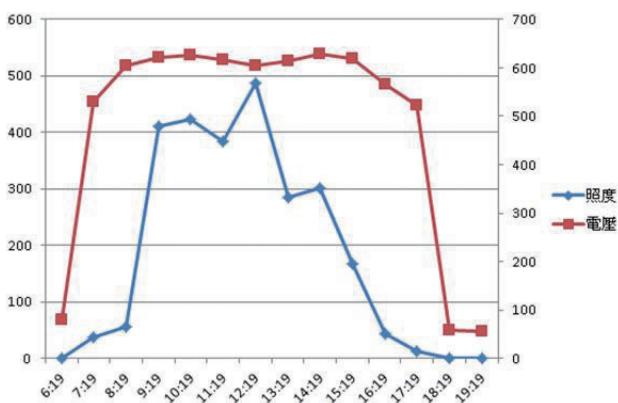
結果 $R^2=0.541$ 、 $t=-2.881$ 、 $p<0.05$ ，顯示照度越高時發電量也越高的趨勢。另分析 105 年 2 月 5 日至 105 年 2 月 13 日之日照與太陽能發電資料，其相關性亦高 ($R^2=0.806$)。

在節能效益上，本系統於 2016 年 1 月份安裝完成正式運轉至今，至 2 月 14 日止計算，累計總發電量高達 594KWH (度)。一月份太陽能累計總發電量為 303KWH (度)。依臺灣經濟部電價審議委員會 2015/9/8 公布 10 月起的新電價，進一步可推估全年運轉，單一養殖池的 5KW 裝置容量之太陽能累計總發電量至少應可達 7,000KWH (度)，預估單一養殖池每年可節省電費約 2 萬元臺幣。

此外，圖七 (A) 為 2016 年 1 月 29 日之水質觀察結果，水溫、EC、NH₄、DO 及 pH 等水質數據穩定，適合魚體成長，可減抽地下水，甚至不需再抽取地下水。另依圖七 (B)，可知當時之實驗池用水量 (800m³/H) 約為對照池用水量 (2,600m³/H) 之 30%。因此，本系統在節水效益部份，可依圖五邏輯設定，透過水溫、NH₄、DO 及 pH 等水質數據



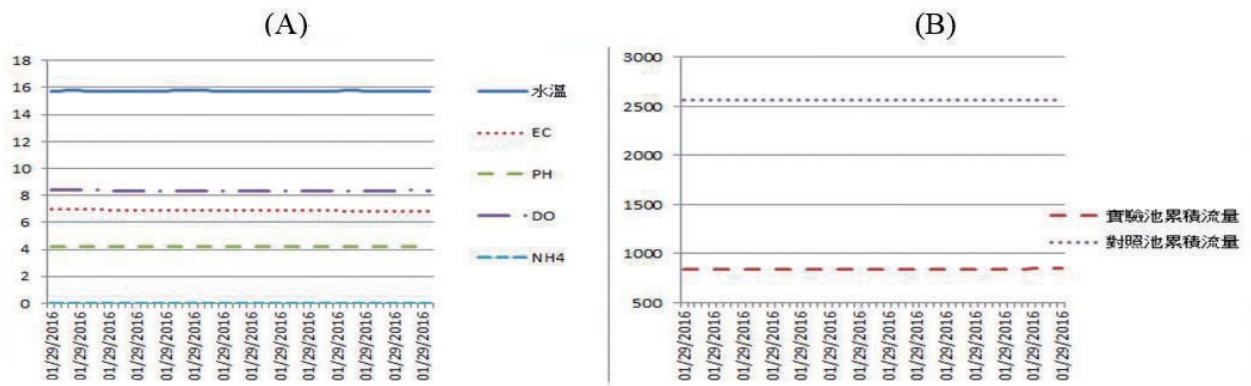
圖五 智慧監控子系統之邏輯I/O控制流程



圖六 日照量與太陽能發電量資料分佈

來判斷水閥開關。若維持正常可以不用持續進水，以一分地面積養殖池水容量 720 噸、每日五分之一換水量為計算基礎，且省水比例以平均 60% 計算，則估算 10 池規模之民間養殖場每月可節省地下水約 25,920 噸。

再者，透過本系統池水水溫自動監控與封閉循環式池水加溫裝置，當水溫下降到一定溫度時，將會自動打開水閥閥門補充水源，形成水溫保護層，同時啟動池水加溫裝置，期能降低寒害造成的災損。但是當水溫升高至一定溫度時，用水恢復減量狀態且池水加溫裝置自動關閉，以節省用水及耗能。



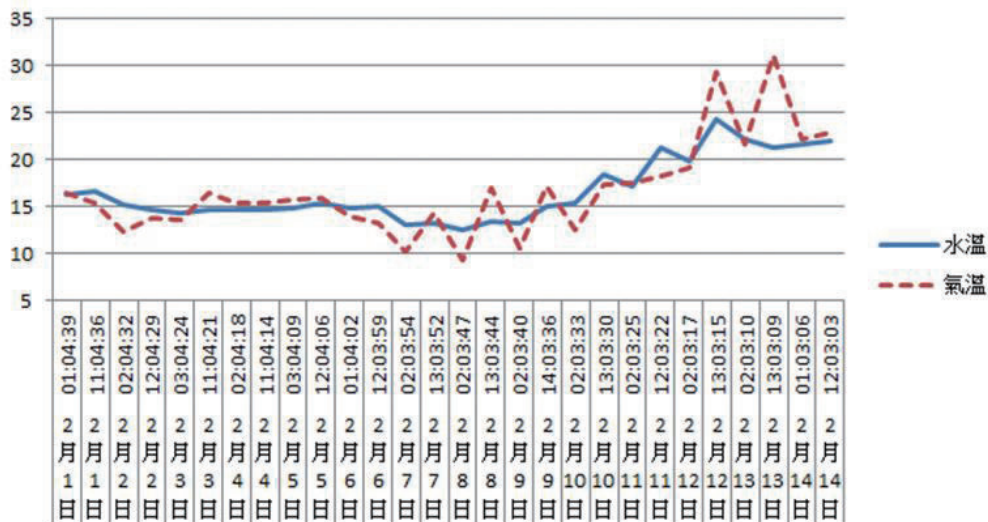
註：(A)多參數水質監測資料，(B)累積流量雙池對照。

圖七 水質及流量觀察結果

觀察 2016 年 2 月 1 日至 2 月 14 日的水溫與氣溫變化分析圖，雖然 2 月 6-9 日臺灣受強烈大陸冷氣團影響，日夜氣溫明顯變化很大，甚至低於 10°C，但是透過池水加溫裝置的輔助，養殖池的水溫，仍能維持穩定的 13°C 以上池水溫度（圖八）。但依其他觀測，低氣溫若同時搭配高風速時，池水溫度下降速度會比預期的速度更快。因此，邏輯控制需要考慮氣溫與風速這兩項氣候因子，如圖五邏輯設定所示。

結論與展望

綜合以上結果分析與討論，本系統在節能省電、省水、預防寒害等綠能節源與自動化控制方面，能夠提供養殖業者降低營運的定期成本支出。雖初期建置成本稍高，但長期使用下，本系統能夠提供的魚群存活率、省電、省水等養殖效益，必定遠高於建置成本支出。且傳統養殖業者在異常氣候時，須耗費人力注意氣候及魚群變化。若能推廣至



圖八 2016年二月份水溫、氣溫變化趨勢

養殖業者，透過系統提供的各項自動化控制參數，養殖業者可依照自身過去養殖經驗，輸入各項控制參數值，系統即可依照需求運作。除可能節省電費、水費等固定支出外，也能節省養殖業者的人事成本支出。

本系統已規劃增加風力發電裝置，若搭配電池儲存電力，可在陰天及晚上無法進行太陽能發電時也有備用電力可用。對於各項水質、氣象監測參數與不同養殖魚苗間的相互作用影響，本系統亦規劃未來增加不一樣的養殖魚苗。希望能夠分析在相同監測參數條件下，對於不同的魚苗是否產生不一樣

的影響。期能建立各種魚苗在不同的水質、氣象監測參數下的養殖參考數據。

本研究的目標為整合太陽能發電設施、數位電表、數位水表及水質監測等儀器或模組，針對目前傳統養殖所遭遇之耗電、耗水及寒害等問題建構一智慧監控系統，可達到養殖池節電、省水、越冬禦寒之目的，期能推動水產養殖智慧化，以提升我國水產養殖效率與產業競爭力。

AgBIO

林志遠	行政院農業委員會 組長	水產試驗所	企劃資訊組
張致銜	行政院農業委員會 助理研究員	水產試驗所	企劃資訊組
楊順德	行政院農業委員會	水產試驗所	淡水繁養殖研究中心 主任

誌謝

本研究為行政院農業委員會補助計畫（編號：104 農科 -7.1.1-水-A3）之部分成果。本計畫受農委會資訊中心支持，另試驗期間承本所企劃資訊組黃奇安先生、淡水繁養殖研究中心白志年副研究員與陳永欣先生協助現場養殖維運，以及農委會資通訊推動辦公室陳炤堅顧問之協助推廣等，均特此申謝。

參考文獻

1. 朱昭銘 (2009) 以技術生命週期分析薄膜太陽能產業趨勢之研究。中央大學碩士論文。
2. 吳銘浚 (2012) 以綠能創新設計水產養殖系統研究。義守大學碩士論文。
3. 呂錫民 (2010) 我國裝置太陽能潛力探討。能源報導，2010年11月期，第31頁。
4. 張英彬、曾俊豪 (2011) 應用太陽能與風力發電於石斑魚含氧監控系統。南開學報，8(2): 7-18。
5. 張福龍 (2004) 台灣臺灣地層下陷區水產養殖政策調整之研究。國立台灣臺灣海洋大學碩士論文。
6. 楊順發 (2013) 廢核後微型風力發電搶救農漁牧大軍。科技人文雜誌，102年5月號，NO.91。
7. 農委會 (2012) 因應電價上漲漁業署引領產業運用綠能推動節電。
8. 漁業統計年報，From www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/。
9. 劉富光 (2013) 因應氣候變遷－水產養殖業調適策略。農政與農情，252:18-20。