

摘要

依據水資源經理基本計畫揭示臺灣南部地區水資源供需關係呈現供給小於需求狀態，屬高風險缺水區。另近年觀測資料顯示氣候變遷導致之極端氣候發生頻率呈增加趨勢，常態性枯水期水量不足或極端性嚴重乾旱問題加重臺灣南部地區之水資源經營調度壓力。為避免水資源缺少時影響經濟發展，政府單位建構具備物聯網技術之監測設備以蒐集田間水文、氣候資料，即時將觀測資料傳輸至雲端管理平台，透過智慧運算將資料轉化為有用資訊及提供決策參據。以利降低氣候變遷衝擊下，維持系統供水穩定度。

上述建構之軟硬體設備統稱為智慧灌溉系統，本計畫成果可供做智慧灌溉系統建立之重要依據，並成為協助現行灌溉系統運作及提高農業水量利用效率的方法之一。本計畫成果包含智慧灌溉願景內涵如下：

一、提高現行農業灌溉系統運作效率

現行灌溉系統監控極度依賴人力，需有充裕且精實之人力方得使系統維持原規劃方式運作，在農業生產稻米為主要目標時，投入足夠人力，目前農業人力式微因此造成用水效率不彰之情形。本計畫精進灌溉系統監控設備建構完整後，將可 24 小時不間斷運作，用以監測操作灌溉水路水量及田坵用水實況，系統智慧管理可提高農業灌溉用水效率。

二、可增加農民、掌水工、水利會工作站第一線人員現地操作安全

現行灌溉系統控制設備操作多數倚賴人力操作，既使電動操作亦需親臨現場，水利會灌溉渠道幅員遼闊，颶風下雨期間操作人員出入安全更形險峻，精進灌溉系統控制設備，以網路現地或遠端遙控操作及得知水田用水情況，亦可透過系統智慧給予危險故障及啟閉開度水量調整之資訊告知，進一步確保人員操作安全。

三、可全面且連續蒐集資料轉化為有用數據資訊

現行灌溉系統作物需水量、田間用水量、水門灌溉用水量等均依賴歷史資料統計結果及人員經驗研判進行操作，用水效率不佳。本計畫精進灌溉系統逐時段利用氣象站感測資料估算之作物需水量、田間需水量，及利用水位流量站感測資料估算需增減之放水量等，即時決策本時段或次時段之灌溉用水量，以調整水門開度及渠道流量，提供管理者智慧決策用水量之有用數據

資訊。

四、利用廣佈感測器可完整記錄灌溉期間大數據及過程狀況

現行灌溉系統僅掌握至中小給水門逐旬(或逐日)之供灌過程，中小給水門以下單區引入水量、小給直接流出水量、坵塊取水量等均無掌握，精進灌溉系統完整感測器規劃佈置下，可掌握上述現行灌溉系統未掌握之資訊，以利管理單位研判未來階段供灌策略。

本計畫以 106 年「精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例」計畫研發之傳輸設備、感測元件等成果為基礎，持續蒐集渠道流量、田間水位、氣候等資料，再透過物聯網技術將感測資料上傳雲端資料庫，供中央智慧管理平台即時提供監測資訊，並利用灌溉管理模式建議坵塊取水、給水路分水、中小給水門調控策略等供操作人員參考。各工作項目成果摘錄如下：

一、案例回顧評析成果

彙整國內外有關灌溉系統精進案例之試驗作物類型、感測器類型、感測項目、設備傳輸方式、資料儲存方式、智慧系統名稱、決策建議內容、資訊展示方式、智慧系統成效、建置廠商等資料。

二、嘉南水利會現行灌溉制度調查成果

試驗田區屬隆田工作站五甲小組範疇，本計畫調查水利會整體調度原則及加強灌溉管理作為。並對隆田工作站估算五甲小組 107 年一、二期作灌溉計畫用水量之流程及使用參數，工作站人員、掌水工、農民現地實務分配引取水量運作方式進行調查。

三、試驗田區範圍及監控設備佈置規劃成果

本計畫除前期五甲小組試驗田區範圍，向北擴大試驗範圍，試驗範圍面積約 88 公頃，舊有田坵蝶閥及水位計 5 組，新設田坵閘門水位計組 10 組。

為提升田間小型滑動閘門整體機構效率及研發低耗能設備規範，本計畫已降低馬達出力為 5W 以內，(前期使用電動蝶閥其驅動馬達出力為 100W)，且同時保有手、電動可自然切換的功能，方便農民可隨時依作物需求自行操控調整田間水量。

本年度計畫數據傳輸設備改採用 NB-IoT 通訊模組傳送現地感測資料至雲

端資料中心，資料收集器具備斷線資料回補機制，可待通訊恢復再上傳監測資料，另資料傳輸採用 2048 bits TLSv1.1 RSA 加密方式，以確保大數據資訊安全。

四、智慧灌溉決策系統及行動裝置應用軟體精進成果

智慧決策平台網頁展示介面，今年除整合設備狀態、圖控頁面以呈現友善視覺化之網頁展示介面外，另可配合決策系統精進成果，將現地感測資料轉化為有用數據，利用大數據資訊經由智慧灌溉系統分析擬定用水控制策略。配合針對水路、水田細緻化之告警精進功能，分項個別通知各設備管理階層人員，供掌水工或工作站人員快速掌握渠路及田間狀況並適時排除告警狀況。資安方面本年度針對系統平台進行黑箱及白箱兩項檢測，另為確保資料庫安全，持續執行資料定期備份確保安全。

智慧型手機應用軟體整體規劃精進部分，包含新增決策告警之功能，並可配合新增設備進行設備列表與空間資訊更新與擴充。整體系統架構包含田間管理列表、地圖展示管理、圖形化監控介面、監控紀錄看板及告警列表等功能界面。

五、智慧灌溉系統試驗成效及推廣規劃建議

(一) 智慧灌溉系統成效

107 年一期作試驗結果顯示，配合節水農法及智慧灌溉系統監控策略，試驗區灌溉用水量約 0.7 至 0.73 萬立方公尺/公頃，相較一期作嘉南水利會灌區平均灌溉用水量為 0.87 萬立方公尺/公頃，顯見節水農法配合智慧灌溉系統確實可協助水利會再提升灌溉用水效率，惟需注意本試驗區處於烏山頭別線上游，烏山頭別線灌區亦處與整體灌溉系統之最上游，依此試驗結果相對樂觀。

1. 水田灌溉管理

106 年二期作水稻試驗結果顯示，節水農法可節水效益約 14.5%~18.0%，稻作產量及農藝性狀無顯著差異。

107 一期作水稻生長期間適逢乾早期，僅於 4 月中旬及 5 月上旬有少量降雨，大量降雨則發生在 6 月中旬，惟此期間水稻已完成收割，故有效雨量偏低致節水效能亦相對降低，因乾早期間實際之狀況顯示利用大

數據監控管理有助於提高用水效率，依據現場實驗組及對照組之操作成果仍有 2.9%~7.2%之節水效能，且試驗區產量、農藝性狀相較對照組無顯著影響，107 二期作水稻試驗因生長期間有效雨量較高，故其節水率為 13.8%~19.3%較一期作為高，且試驗區產量、農藝性狀相較對照組亦無顯著影響。

2.水路配水管理

106 年二期作本計畫前期評估智慧灌溉系統配合水利會現行灌溉制度，在水路水量分配上可協助水利會節餘水量約二期作實際供水量之 5%~10%。

107 年一期作自 1 月 29 日至 6 月 4 日止，因水情不佳，水利會積極動員加強灌溉管理，一期作期間供灌 77 日，停灌 49 日。該期作於掌水工與水利會工作站人員加強巡邏，依據輪灌配水計畫分配時間落實坵塊取水，配合精進智慧灌溉系統即時觀測資訊及告警提示，確實可有效即時調整水量分配，減少給水路末端直接流出水量，107 年一期作在嚴格水量總量管控及加強灌溉管理下，田間實驗組仍較對照組可再節餘水量為實際供水量 2%~5%。

107 年二期作自 7 月 26 日至 11 月 18 日止，本期作水利會執行加強灌溉管理，期作期間供灌 78 日，停灌 38 日。可節餘水量約實際供水量 8%~13%，日夜利用效率相近。

(二) 智慧灌溉未來監控設備佈設規劃建議

1.水路監控設備佈設規劃

依據本計畫今年以輪區佈設水路監控設備之試驗結果可知，此監控設備佈置規劃適合全面種植水稻及無外來排水水源區域，其優點為可於降低監控設備數量下仍可掌握整體進出水量，缺點為無法精準掌握各單區配水，且當有其他不正常利用水源(例如：菱角田排水)會干擾智慧灌溉系統建議策略。依此，本計畫建議未來推廣時，除於輪區總進出端設置監控設備外，另須於各單區給水路分水端設置分水設備以利系統或操作人員即時調整分配水量，及須於小給水路末端設置水位流量站以即時監控水量分配成效。

2.水田灌溉管理節水農法建議

依據去年及今年試驗結果可知，節水農法可有效節餘水量，且對稻作產量及農藝性狀影響並不顯著，未來推廣時，可先依照水利會目前估算田間需水量方式，推算節水農法灌溉方式下，各旬計畫用水量估算須採用之整田水深及本田灌溉率等參數。其次，可評估保價收購、加價收購、成立代耕公司等配套方式，增加農民參與意願以加速推動。

六、智慧灌溉系統推廣規劃成果

(一) 說明會、技術講習會及現地觀摩

辦理二場次農民溝通說明會，與農民面對面溝通，解決農民對監控設施影響灌溉之疑慮。辦理技術講習會及現地觀摩，與參加講習人員進行當面溝通，針對當天課程等相關事項進行意見交流。參加人員包含水利會管理人員及農戶，達到推廣之目的。

(二) 節水技術短片製作成果

為了加強宣導精進灌溉智慧系統，完成 1 部微電影(阿爸，咱來去巡田水)與 1 部 30 秒 CF 短片，從傳統與創新的比較切入腳本，讓觀眾可以很容易地了解政府的政策重點與推動的用心。其中微電影從「傳統守舊」、「佈新改變」、「傳承希望」到「放眼未來」來企劃，結局具有傳承也是希望的願景。

關鍵字：LoRa、NB-IoT、雲端平台、物聯網、作物需水量、田間配水量、水文監測、田間氣象站、智慧灌溉、水資源

第十一章、結論與建議

11-1 結論

- 一、智慧灌溉目標非全面自動化，非取代人力，而是透過智慧灌溉系統即時監測資訊及決策建議，簡化水利會工作站人員、掌水工繁瑣的例行操作，協助其更有效率、更精確的分配水量。本計畫認為水利會實務運作若可配合智慧灌溉系統之即時監測資訊及操作策略建議調整，在常態運轉下(一般加強灌溉管理)可增加灌溉水量分配效率，在乾早期間可協助水利會掌握水量進出資訊，有助積極加強灌溉管理作為落實。此外，節水農法相較慣行農法，可於維持稻米質量下以較少水量完成供灌，惟農民耕作習慣已定型，導入新技術需給予農民時間與空間轉換習慣作為。
- 二、107 年一期作試驗結果顯示，配合節水農法及智慧灌溉系統監控策略，試驗區灌溉用水量約 0.7 至 0.73 萬立方公尺/公頃，相較一期作嘉南水利會灌區平均灌溉用水量為 0.87 萬立方公尺/公頃，顯見節水農法配合智慧灌溉系統確實可協助水利會再提升灌溉用水效率，惟需注意本試驗區處於烏山頭別線上游，烏山頭別線灌區亦處與整體灌溉系統之最上游，依此試驗結果相對樂觀。
- 三、107 年一期作期間適逢乾旱，有效雨量偏低下，節水農法試驗結果顯示節水成效約 2.9 % ~ 7.2 %，即慣行農法每公頃灌溉用水量約 0.74 萬立方公尺，節水農法每公頃灌溉用水量約 0.69 ~ 0.72 萬立方公尺。二期作水稻生長期間有效雨量豐沛，試驗結果顯示節水農法節水成效約為 13.8% ~ 19.3%，即慣行農法每公頃灌溉用水量約 0.62 萬立方公尺，節水農法每公頃灌溉用水量約 0.50 ~ 0.53 萬立方公尺。107 年一、二期作試驗區採用節水農法之水稻產量、品質(農藝性狀)相較對照組無顯著影響。
- 四、107 年一期作水情不佳水利會大幅動員執行積極加強灌溉管理下，水路水量分配效率極高，依據試驗結果可知，智慧灌溉水路水量分配可再節餘

水量空間甚微，至多再節約實際供水量之 2% ~ 5%。107 年一期作試驗區計畫供水量為 54.3 萬立方公尺，實際供水量為 32.3 萬立方公尺，配合智慧灌溉系統水路水量分配效率可再提升，實際供水量可降至 30.7~31.6 萬立方公尺。二期作期間水情正常，依據試驗結果可知，智慧灌溉系統可協助水路水量分配再節約實際供水量之 8% ~ 13%，107 年二期作試驗區計畫供水量為 40.6 萬立方公尺，實際供水量為 34.4 萬立方公尺，配合智慧灌溉系統水路水量分配效率可再提升，實際供水量可降至 31.1~31.6 萬立方公尺。

- 五、智慧灌溉系統監控設備整合精進下，完整監控設備佈置規劃下，每年每公頃需投資費用已自 7.6 萬降至 5.5 萬元，45 公頃試驗田依據「二期作節餘水量約實際供水量 15%、一期作節餘水量約實際供水量 5%」試驗成果歸納全年可節餘水量約 6 萬立方公尺，依此節餘水量單位原水成本仍達 41 元/立方公尺，仍高於傳統水源(10~20 元/立方公尺)與多元水源(25~35 元/立方公尺)。未來可朝下述二方向降低系統建置費用，一為持續研發精進設備(價廉質優)或透過量產(以量制價)等方式降低監控設備成本，另一為維持可接受節水成效下，僅設置必要監控設備，透過降低設備佈置數量，達到降低系統建置費用，惟此有賴試驗驗證確保節水效率仍可接受。
- 六、綜合二年試驗經驗，本計畫建議未來推廣智慧灌溉系統時，水路監控設備僅需優先於輪區進出二端及小給水路末端等處設置水位流量監測站，另改建輪區水門使其電動化及於各小給水路入口處設置單區分水設備，上述設備可即時提供整體水量進出資訊及省時省力操作設備，有助水利會執行現地水量管理。其次，若欲落實現地時間控制之精密輪灌配水計畫或是水位控制之節水農法灌溉策略，則需增設給水路自動阻水設備及田間水位坵塊閘閥整合設備。
- 七、為能有效取得試驗區之田間灌溉平均水位，本研究在不影響農民操作原則下，於各試驗區各取 10 點水位，並以灌溉均勻度(Coefficient of Uniform)

作為田間灌溉平均水深可靠性之評估指標，107 年一、二期作水稻實測田間平均水深之均勻度平均值均可達 80%~92%。另本研究於各試驗區於不同時間點實施定期及不定期水田超音波水尺水位值與雲端值水位之重複量測，並以誤差率作為評估指標，以確保超音波水位計之可靠度，107 年一、二期作水超音波水尺水位值與雲端值水位之誤差率約在 5% 以內。

八、由短、長期氣象因子預測一、二期作水稻生長期間所需之灌溉用水量成果可知，低溫多雨樂觀情境下，對照組與試驗組之旬別灌溉用水量皆低於水利會設定之灌溉用水量；期望溫度雨量情境下，對照組及試驗組之期望旬別灌溉用水量，與水利會設定之旬別灌溉水量趨勢相似；高溫少雨嚴苛情境下，對照組與試驗組之旬別灌溉用水量皆高於水利會設定之灌溉用水量，分析成果水利管理灌溉用水量時可應用參考，有助提升灌溉用水調配效能。

九、智慧管理平台及行動裝置軟體美化網頁提供視覺化之圖控展示介面，另細分不同類型之告警條件，並同時提供處理作為建議，精進告警管理。資安方面增加黑箱及白箱兩項檢測，並提供程式原始碼弱點掃描、Web 應用程式弱點掃描、弱點分類圖表、弱點說明、修補建議等，另為確保資料庫安全，系統提供定期備份功能。

十、2018 年 4 月及 6 月辦理農民溝通說明會，內容包含水田及灌排水路流量監測設備、坵塊取水設備、水田節水農法灌溉概念等，直接與農民面對面溝通，提倡節水農法及解決農民對監控設施影響灌溉疑慮。2018 年 9 月辦理技術講習會及現地觀摩，對象為嘉南農田水利會工作人員及掌水工代表，內容包括：水路水田監控設備、坵塊取水策略、水路供水策略、智慧灌溉決策系統現地配合運用方式等說明，會後至五甲試驗田區現地觀摩及設備操作示範，並就實務面運用進行意見交流。此外，本計畫亦完成 5 分鐘微電影「阿爸，咱來去巡田水！」與 30 秒 CF 短片，可為未來推廣宣傳之用。

11-2 建議

- 一、「精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例」配合水利署規劃期程目標建議第三期(108 年)可聚焦官方、農民、企業合作以落實智慧灌溉，工作重點包括：結合農民落實節水農法、現地以輪區或單區為單元建構完整之坵塊及水路監控系統並落實運轉、持續精進開發價廉質優之監控設備(企業)、智慧灌溉與精密輪灌制度及加強灌溉管理作為磨合、節水農法及智慧灌溉教育宣導、擴大智慧灌溉試驗範圍至烏山頭別線五甲小組供灌範圍。
- 二、未來(109 年以後)建議可聚焦智慧灌溉上下游計畫銜接、節餘水量使用之權利義務關係釐清，工作重點包括：擴大節水農法普及程度、持續精進監控設備研發、持續磨合智慧灌溉系統與現行灌溉制度、整合南水局「精進灌溉節水管理技術」與農委會「嘉南大圳幹支線自動控制水位監測站系統」二計畫落實節餘水量蓄至烏山頭水庫、節餘水量利用權責界定及水庫水銀行管理概念落實、擴大智慧灌溉試驗範圍(109 年擴至烏山頭別線整體供灌範圍；110 年擴至隆田工作站管理之水田供灌範圍)。
- 三、依據二年試驗經驗及與工作站第一線人員多次交換意見，水利會工作站人員認為智慧灌溉系統即時監測資訊有助水量分配管理，惟勢必加重現有人員工作負擔，本計畫建議水利會可依據工作站配合智慧灌溉系統操作之實務需要，適時增加工程師級人力，確保智慧灌溉系統節水成效。
- 四、智慧灌溉系統推動需農委會農業節水政策支持，水利會人力投入參與及提高農民參與意願，其中農民參與意願是智慧灌溉系統推動成功與否之重要因素，建議可規劃提高農民參與興趣之誘因，例如納入農業改良場協助農業專業輔導及諮詢等。
- 五、建議未來可增加水稻種植日期調整與稻作強化體系(SRI)等節水農法，並以系統別為主之田間試驗研究，利用修正累積生長日度數(MGDD)理論，建立水稻各生育期之累積生育度數，可更及時準確決定作物係數及設定

監測水位，有助作物需水量之推估及中央智慧灌溉管理決策系統之精進與節水效能之提升。

- 六、智慧平台及 APP 展示方面未來可透過訪談水利會工作人員需求執行客製化開發，提供適當平台監控畫面及方便操控的 APP 予工作站操作人員。
- 七、本計畫每公頃實際維護費用相較預估值高出約 30%，主要差異乃人員巡視清理費用超出原規劃，考量未來此項工作仍需專人處理，建議未來可將維護運轉費用估算原則調整為以建造費用 12% 估算營運維修費用，以直接工程費用 10% 估算年換新準備金。
- 八、智慧灌溉系統建議可逐階段至全國各農田水利會辦理講習會，推廣宣導精進灌溉技術，提升國內農田水利農業用水效率。
- 九、在影音行銷方面，建議累積更多試驗數據與成果之後，可維持微電影方式行銷，主題建議提供下述三個方向：1. 增加初期成果與後續擴大面積的執行過程，並加上明年抗旱期的效益，可從今年拍攝的延續，讓原先的設定人物加入與擴大面積後的農民互動，以及對未來的展望。2. 除了延續人物設定之延伸，加上國內外的參訪團的參訪感受與交流(參訪團人員也可以用臨演，增加趣味性)。可以拍成 2 支 5 分鐘微電影，另外從中剪輯 2 支 1-2 分鐘短片。除了微電影之外，也可以拍攝純粹 1 支的宣導短片 3-4 分鐘，並從中剪輯 1 支 30 秒-1 分鐘的短片。3. 可以從記錄與展望未來的角度拍攝一支以試驗田區推動過程所遭遇到困難、如何解決問題，不僅僅記錄、訪談相關業務與工作人員，也訪談農民及參與相關研習或觀摩活動的人員，讓大家知道政策推行是與民眾站在同一邊，有問題大家共同解決，而節水是全民共同的責任。