



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

103年水利人員參加美國佛羅里達大學
中華民國基金「遙測技術人才培訓班」

出國研習成果報告

主辦單位：國際灌溉排水協會中華民國國家委員會

佛羅里達大學農業及生物工程學系

(Department of Agricultural & Biological
Engineering, University of Florida)

研習地點：美國佛羅里達州

出國期間：103年5月5日至103年5月22日

報告人：徐俊雄

中 華 民 國 1 0 3 年 8 月

摘 要

「國際灌溉排水協會中華民國國家委員會」為培訓國內優秀水利人才學習遙測及高科技於水資源管理之應用，爰於民國86年與美國佛羅里達大學正式簽約成立「中華民國基金」，運用基金孳息與配合佛羅里達大學專業師資及設備，培訓我國水利人才應用遙測及其相關技術在水資源管理之能力，以厚植高科技技術在水利上的深耕與發展。

本次研習課程在美國佛羅里達大學遙測中心之室內課程包含遙感探測（Remote Sensing）技術、地理資訊系統（GIS）資料處理等應用實例，例如佛羅里達州之灌溉系統、精準農業、光達（Lidar）等；另現地勘查及各水利與研究機構參訪對象則包含佛羅里達州公部門水管理局、環保局、水資源相關研究機構及佛羅里達大學附屬研究機構等等，藉由專題簡報及現場討論之方式，介紹說明遙測相關科技技術之理論及實務應用經驗，使學員進一步思考並學習，以獲得未來將遙測技術應用於農業、水利工程與水資源管理業務之能力，以達到理論與技術應用並重之目的。

目錄

摘要	II
目錄	III
表目錄	IV
圖目錄	V
誌謝	1
第一章 前言	2
1-1 緣起	2
1-2 研習目的及內容	3
1-3 研習團隊組成	5
第二章 專題研討課程	7
2-1 遙感探測技術及遙測中心介紹	7
2-2 光達 (LiDAR) 遙測技術	8
2-3 精準農業 (Precision Agriculture)	10
2-3-1 精準農業之運作系統	11
2-3-2 精準農業在國內推動情形	13
2-3 生物感測技術 (Biosensor)	14
第三章 現地考察及參訪	15
3-1 佛羅里達特殊地理景觀	15
3-2 GRU 公司溼地復育工程	19
3-3 再生水中心 (Water Conserve II)	22
3-4 柑橘研究教育中心 (CREC)	26
3-5 聖瓊斯河水管理局 (St. Johns River Water Management District, SJRWMD)	27
3-6 南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District, SFWAMD) ...	33
3-6-1 水管理局成立沿革及 CERP 綜合計畫	33
3-6-2 地下水補注井 (Aquifer Storage and Recovery, ASR) 試驗站	37
3-7 佛羅里達州環保局 (Florida Department of Environmental Protection, FLDEP)	39
第四章 結論與建議	41
4-1 結論	41
4-2 建議	43

表目錄

表 1 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）課程內容.....	3
表 1 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）課程內容（續）	4
表 2 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）學員名冊.....	5
表 2 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）學員名冊（續）	6

圖目錄

圖 1 劉邦偉博士介紹遙測技術及遙測中心.....	7
圖 2 應用光達獲取佛羅里達大學建築物 (WEIL HALL) 之三維形貌.....	9
圖 3 光達設備 (左: 空載光達; 右: 地面光達)	10
圖 4 韓裔李元碩教授「精準農業」專題授課.....	12
圖 5 DR. MCLAMORE 「生物感測技術」專題授課.....	14
圖 6 PAYNES PRAIRIE 景色 (現勘時為雨期剛結束, 水位未退去呈現一片湖景)	16
圖 7 DEVIL'S MILLHOPPER 公園內解說沉洞形成之圖示牌.....	17
圖 8 DEVIL'S MILLHOPPER 沉洞與階梯步道之景觀.....	17
圖 9 聖達菲河流 (SANTA FE RIVER) 景觀.....	18
圖 10 為控制植物生長定期以小區域放火方式燒除雜草.....	18
圖 11 GRU 公司工程師介紹 PAYNES PRAIRIE 溼地復育工程計畫.....	19
圖 12 PAYNES PRAIRIE 溼地自然景觀之一	20
圖 13 PAYNES PRAIRIE 溼地自然景觀之二	20
圖 14 濕地放流口控制出水量之閘門.....	21
圖 15 沉砂池出口所設置之垃圾蒐集器.....	21
圖 16 WATER CONSERV II 快濾滲透盆地.....	23
圖 17 快濾滲透盆地水循環示意圖	23
圖 18 再生水利用系統示意圖.....	24
圖 19 全體學員與再生水中心工程師於快濾滲透盆地合照留影.....	25

圖 20 CREC 柑橘生產實驗工場之儀器設備	27
圖 21 佛羅里達州水管理局分布圖	28
圖 22 聖瓊斯河水管理局管轄範圍	30
圖 23 聖瓊斯河水管理局黃清次博士及方疇博士與古有順班長相見歡.....	31
圖 24 聖瓊斯河水管理局方疇博士簡報	32
圖 25 人工溼地 (SURFACE WATER STORAGE RESERVOIRS)	35
圖 26 南佛羅里達水管理局之河川流量監測及閘門控制系統.....	36
圖 27 河川流量監控系統頁面展示	36
圖 28 大型抽水站內以船舶引擎改裝之抽水馬達.....	36
圖 29 抽水站內控制調整及監控之儀器設備	37
圖 30 ASR 地下水補注井抽水及過濾系統	38
圖 31 佛羅里達州環保局業務簡報	38
圖 32 參觀佛羅里達州環保局水質實驗室	40
圖 33 吳天順博士、遙測中心主任 DR. JASMEET JUDGE 及學員於佛羅里達州環保局前合影.....	40

誌謝

今年度美國佛羅里達農田水利遙測人才培訓，堪稱十分順利、圓滿且獲益良多。由衷感謝主辦單位－國際灌溉排水協會中華民國國家委員會之悉心安排，行政院農業委員會、各農田水利會、台灣自來水公司、淡江大學水資源管理與政策研究中心，對於國內水利人員培訓計畫之鼎力支持，讓學員們獲得如此難得且珍貴的出國研習機會。更要感謝農工中心譚智宏博士與許香儀助理研究員，協助所有出國行程安排，此次研習行程方能順利成功。

在美國佛州研習期間，首先感謝前美國佛羅里達大學農業及生物工程系遙測中心主任施孫富教授夫人－施彭文富女士，對每屆研習班學員之關懷與勉勵，以及遙測中心主任潔思米·賈吉博士（Dr. Jasmeet Judge）課前的細心規劃、授課過程的密切互動與課後的意見回饋，更是遙測課程一年比一年精闢且實用的重要推手。此外，佛羅里達大學遙測中心劉邦偉博士在課程、實地參訪與生活上對於學員的協助與無比耐心，更是讓學員們深切感激，而普雷斯頓先生（Mr. Daniel Preston）在受訓期間提供之交通及課程協助，使為期二週研習訓練得以順利完成，並獲致非常豐碩之成果。在此全體研習成員謹向所有曾經協助本次研習課程之專家先進，致上誠摯感謝。

最後，惟有本屆學員互相體恤且一同努力方能順利完成所有研習課程，而在佛羅里達各地的豐富參訪行程亦全賴學員間的相互扶持與無私配合，各學員皆獲致豐碩的受訓成果。

第一章 前言

1-1 緣起

以培訓優秀人才應用遙測技術於水資源管理為目的，民國 85 年美國佛羅里達大學施孫富博士策劃推動中美合作農田水利遙測人才培訓計畫，促成國際灌溉排水協會中華民國國家委員會（International Commission on Irrigation and Drainage, ICID/CTC）與美國佛羅里達大學農糧科學院（University of Florida's Institute of Food and Agricultural Sciences, UF/IFAS）於民國 86 年 2 月 28 日正式簽訂協議書並成立「中華民國基金」，開始中美雙方遙測應用及人才培訓計畫。「中華民國基金」係由經濟部水資源局（現為經濟部水利署）、台灣桃園農田水利會、台灣台中農田水利會、台灣高雄農田水利會及台北市七星農田水利會等機關共同出資壹佰萬零壹美元，並獲得美國佛羅里達州政府信託基金會所提供柒拾伍萬美元之配合款，共同成立壹佰柒拾伍萬零壹美元之永久性基金。

此中美共同之遙測應用及人才培訓計畫，即運用基金孳息與配合美國佛羅里達大學的專業師資及設備，培訓我國水利人才應用遙測及其相關技術在水資源管理之能力，並提升我國遙測高科技技術之後續推廣，以厚植高科技技術在水利上的深耕與發展。遙測人才培訓計畫又分為單位主管、業務負責人與技術人員等類別，每年度由各單位推薦人選，經諮詢委員會議遴選認可後補助課程經費前往美國佛羅里達大學遙測中心（Center for Remote Sensing, University of Florida）進行為期兩週之研習訓練課程。

1-2 研習目的及內容

本次研習目的主要為至美國佛羅里達觀摩取經，實地瞭解美國目前遙測（Remote Sensing）技術及地理資訊系統（Geographic Information System，GIS）應用在農業、水資源管理及環境保育之成果，並助於兩國間技術交流與國民外交之推展。本次研習課程日期為 2014 年 5 月 7 日至 5 月 20 日，為期兩週之課程內容除包含在美國佛羅里達大學遙測中心之室內課程以外，主要為現地勘查及各單位參訪行程安排，現地參訪對象包括佛羅里達州公部門水管理局、環保局、水資源相關研究機構及佛羅里達大學附屬研究機構等等，藉由專題簡報及現場討論之方式，介紹說明遙測相關科技技術之理論及實務應用經驗，使學員進一步思考並學習，以獲得未來將遙測技術應用於農業、水利工程與水資源管理業務之能力。

表 1 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）課程內容

日期	時段	課程內容
5 月 7 日 星期三	上午	1.Introduction to University of Florida and Dept. of Agricultural & Biological Engineering/佛羅里達大學農業及生物工程學系簡介 2.Introduction to Center for Remote Sensing/佛羅里達大學遙測中心簡介
	下午	Campus tour/佛羅里達大學校園巡禮
5 月 8 日 星期四	全天	NCFL Hydrogeologic Trips/佛羅里達特殊地理景觀現勘
5 月 9 日 星期五	全天	Visit SJRWMD/聖瓊斯河水管理局參訪
5 月 12 日 星期一	上午	1.ABE lab tour/佛羅里達大學農業及生物工程學系各實驗室巡禮 2.Lecture: Flood Modeling (Dr. Shen)/遙測技術於洪水預測模式之應用
	下午	Field Trip: 1.CLCE (Dr. Dukes)/庭園灌溉設施試驗現勘 2.GRU Paynes Prairie site/GRU 公司濕地復育工程現勘
5 月 13 日 星期二	上午	Field Trip: Small Farm, NFREC/農場灌溉系統實驗推廣現勘
	下午	Visit FLDEP/佛羅里達環保局參訪

表 1 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）課程內容（續）

日期	時段	課程內容
5 月 14 日 星期三	上午	Lecture: 1.Precision Agriculture (Dr. Lee)/精準農業 2.LiDAR RS (Dr. Liu)/光達遙測技術
	下午	Lecture: Application of RS I (Dr. Liu)/遙測應用介紹 I
5 月 15 日 星期四	上午	Visit Water Conserve II/再生水中心參訪
	下午	Visit CREC, Lake Alfred/柑橘研究教育中心參訪
5 月 16 日 星期五	上午	Visit SFWMD/南佛羅里達水管理局參訪
	下午	Field Trip: 1.Visit S4 Pump station/抽水站現勘 2.Visit ground water storage site/地下水庫蓄水系統現勘
5 月 19 日 星期一	上午	Lecture: Biosensor (Dr. McLamore)/生物感測技術
	下午	Lecture: Application of RS II (Dr. Liu)/遙測應用介紹 II
5 月 20 日 星期二	全天	Ceremony Evaluation & Discussion session/成果報告研討暨結業典禮

1-3 研習團隊組成

本年度之技術人員研習班，分別由桃園、新竹、台中、嘉南、瑠公農田水利會、自來水公司及淡江大學水資源管理與政策研究中心等單位，選派具有遙感探測、地理資訊系統等相關軟體操作專業與實務需求之人員，經國際灌溉排水協會中華民國國家委員會諮詢委員會議核定後，於5月5日至5月22日派赴美國佛羅里達大學農業及生物工程學系之遙測中心參加研習課程，共計8名人員。本研習團隊成員組成詳如表2。

表 2 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）學員名冊


姓名	服務機關	職稱	照片
古有順 (班長)	桃園 農田水利會	助理工程師 兼事務股長	
徐俊雄	台灣自來水公司	第三區管理處 工務課長	
李彥賢	桃園 農田水利會	二等助理管理師	
褚淑慧	新竹 農田水利會	副管理師	

表 1 103 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）學員名冊（續）

姓名	服務機關	職稱	照片
黃群岳	台中 農田水利會	三等組員	
陳加玲	瑠公 農田水利會	助理管理員	
顧可欣	嘉南 農田水利會	三等助理工程師	
楊馥寧	淡江大學水資源管 理與政策研究中心	研究專員	

第二章 專題研討課程

2-1 遙感探測技術及遙測中心介紹

遙感探測 (Remote Sensing, RS) 是一種遠離目標，通過非直接接觸以判定、測量並分析目標性質的技術。遙感探測對目標進行信息採集主要是利用其從目標反射或輻射的電磁波，接收從目標中反射或輻射的電磁波之裝置叫做遙感器 (Remote sensor)，如照相機及掃瞄儀等，而搭載這些遙感探測器的移動物體稱為遙感平台 (platform)，如現在使用的飛機及人造衛星等。

遙感探測應用領域非常廣泛，如大範圍的陸地，海洋信息的採集，以至全球環境變化的監測，土地開發的進展及綠地植被監測。在海洋研究中，可以搜集海面水位，海水混濁狀況，植物性浮游生物的分佈狀況，海面溫度等信息，同時從遙感探測得到波浪信息還可以測定海面上其風向及風速。另在大氣研究中，可應用在二氧化碳及臭氧等微量成分的組成以及從雲圖中分析氣象現象等。近年感測器製作大幅進步，可觀察的電磁波譜從可見光擴展到紅外光及微波，增加了資訊的來源；此外，由於電腦及資訊科技的普及，為資料量龐大的遙測影像提供快速處理平臺，將遙測技術推向實用化及商業化的層面。



圖 1 劉邦偉博士介紹遙測技術及遙測中心

臺灣之遙測應用在近年來也有長足的發展，1999 年第一枚衛星福爾摩沙一號發射，主要酬載為海洋水色照相儀，目的在提供海洋相關領域之實驗資料，以作為環境、漁業、工商業及學術界研究用。2004 年發射的福爾摩沙二號，配備遙測影像儀，每天對臺灣及附近海域取像，提供解析度 2 公尺的黑白影像及解析度 8 公尺的彩色影像，已廣泛應用於土地利用、農林規劃、環境監控、災害評估、科學研究、科學教育等相關之民生與科學用途。

本研習課程主要上課地點美國佛羅里達大學遙測中心，由國際灌溉排水協會中華民國國家委員會和佛羅里達大學共同成立，其宗旨在透過遙測及相關技術之研究與應用，促進佛州農產與自然資源保存。該中心研究領域包括先進遙測技術（RS）、地理資訊系統（GIS）及全球定位系統（GPS）於水資源、農業及自然資源方面之運用，以地表觀測、航空觀測、微波觀測及衛星觀測方式，並透過田間實驗進行相關研究驗證，藉以建置相當完整之土壤資源資料庫。

2-2 光達（LiDAR）遙測技術

光達（Light Detection And Ranging，簡稱 LiDAR）或稱雷射掃描儀（Laser Scanner），為使用雷射光束進行掃描式測距之系統，亦即利用雷射光束對目標物進行高密度的掃描，以獲取目標物三維形貌的技術。光達改進傳統雷達（radar）之處，在於將原使用的無線電波改以波長更短之近紅外光波段，例如一般常使用之紅外線雷射光、或以綠光、藍光等進行深海觀測，由於波長較短能量更為集中，故可得更佳解析度之影像。

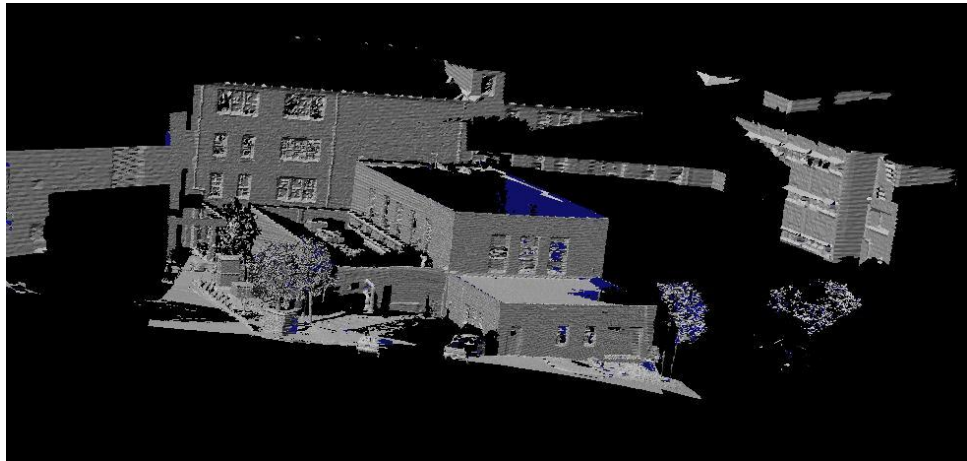


圖 2 應用光達獲取佛羅里達大學建築物 (Weil Hall) 之三維形貌

光達之種類大致可分為空載光達(Airborne LiDAR)、地面光達(Ground-Based LiDAR)及衛載光達(或稱太空光達)(Space LiDAR)等三種。其中地面光達可偵測範圍較小，且僅限於水平方向之觀測，常用作補強航照受障礙物遮蔽無法取得影像之區域觀測；衛載雷達用於全球大範圍之監控，因發射之近紅外光波段易受雲層遮蔽，使用上較不普及；而空載光達具高精度、高解析度、高度自動化且高效率之優勢，其多重反射回波之特性，可同時獲取地面及其覆蓋物(植被、電力線等)之精確三維座標，已成為世界各國進行大面積數值地表資料測製的主流。



圖 3 光達設備（左：空載光達；右：地面光達）

空載光達掃描獲取之大量坐標點，由於分布密集而稱為點雲（Point Cloud），如圖 2 為獲取佛羅里達大學 Weil Hall 點雲之成果。點雲資料除具備精確之三維坐標外，並同時紀錄原始雷射脈衝之反射強度（intensity），部分機種甚至可記錄類似數位影像的 RGB 三波段灰度值，因此隨著地表之不同反射特性得以呈現類似航空照片之影像特徵；經過軟體與人工之處理，可將各雷射點進行過濾（filter），將屬於地面點的數據分離，並產製數值高程模型（DEM, Digital Elevation Model），即面狀之地表起伏資訊，可應用於地圖測繪、房屋模型建置、地質分析、災害模擬、災害調查等用途。

2-3 精準農業（Precision Agriculture）

本專題講師係韓裔助理教授李元碩博士，李博士開場以精準農業定義說明，是一種以資訊及技術為基礎的農業經營管理系統，針對農田及植栽環境的變異給予最適當的耕作決策與處理，以減少資材之耗費，增加收益及減輕環境衝擊的經營管理手段。為一項基於農田網格間之差異所衍生而出的農耕概念與方式，精準農業使用了新興科技如 GPS 定位系統、探測器、衛星或航拍影像、地理資訊系

統 (GIS)，來處理收集到的田間各項資訊。這些資訊有助於精確評估田間網格間如作物密度與分布、土壤肥沃、養分、水分之差異，以精確計算作物生長所需之各項要素，給予作物或農地相匹配之投入、處理，達到減少浪費、增加利潤、保護環境之目標。

2-3-1 精準農業之運作系統

精密農業為一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物經營體系，掌握時空即時資訊，藉著完整詳善的相關資料庫模擬及決策，連結自動化管理操作系統的作業配合，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。為符合體系的各項要求，理想的精準農業作業系統必須包括六大要素：

1. 農耕資料庫

建立作物栽培、逆境生理、植物營養、病蟲害及雜草管理、試驗統計及農業微氣象知識之各種資料庫，提供農場經營人員做出管理決策之依據。

2. 土壤資料庫

每次耕作前後土壤性質產生變化，必須建立經營農場歷年土壤變異，加以整理分析找出其規律或變異，俾利於往後農作物的栽培。

3. 地理資訊系統

農地與作物有關資訊必須空間對位，以便精準的在座標方位上標示正確的土壤、農耕資料、地理與地形，形成多層次資料檔，此一工作可藉由地理資訊系統 (GIS) 完成。

4. 全球定位系統 (GPS)

利用衛星定位與地理資訊系統結合，可迅速定位遙測影像或其它農田主題圖層中發生問題農地的位置；同時可配合農業機械之使用，引導至待處理之問題農地位置。

5. 遙測技術 (RS)

在精準農業體系應用上，初期以遙測技術建立農作物植被光譜與植被生長之關係、監測土壤環境、作物的生育狀態、病蟲害感染、雜草干擾、災害損害及產量預測等為研究範疇。當完整的植被光譜與作物生育特性模式建立後，即能利用即時遙測資訊，輸入資料庫進行研判與決策。

6. 自動化農機操作系統

透過遙測技術得到農地及作物即時資訊，以全球定位系統 (GPS) 標出方位及座標，顯示於地理資訊系統上，再由農耕及土壤資料庫組成的鑑別及決策，找出農地及作物的變(差)異性，配合具變異率功能的自動化農機操作系統實施變(差)異性處理，達成精準機械耕作的需求。

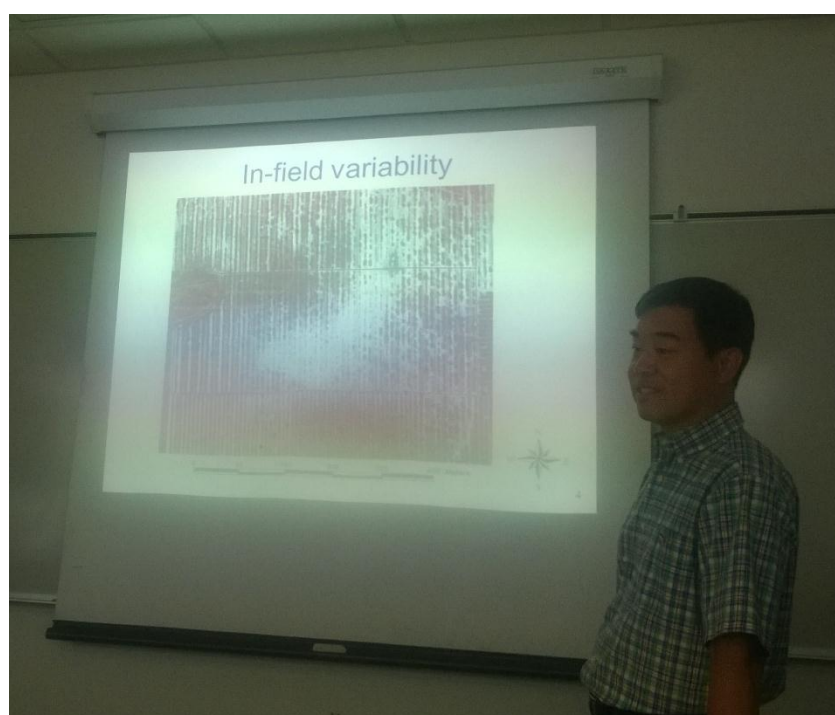


圖 4 韓裔李元碩教授「精準農業」專題授課

精準農業應用自動化之農業機械進行精準之農事控制，機械上之設備通常具有天線、LAPTOP 輕便電腦、GPS 接收器、線圈、噴頭等，利用 GIS 加上 GPS 定位資訊資料，即可達成依據座標所在位置之田間網格資訊，自動執行特定之農事動作。以柑橘採收為應用案例說明：

- 1.設計自動化機械，使機械進入特定地區範圍內，自動從事特定之農事作業，例如噴灑機具接近果樹時，使自動啟動噴灑灌溉系統或自動施肥動作，接近水源區則禁止噴灑農藥。
- 2.柑橘產量估算系統 (Citrus yield mapping system)：利用 GPS 結合攝影設備，對該顆柑橘樹木進行影像分析，包含柑橘樹木及果實之辨別，分析出該產量，獲得分析模式後，藉由自動化方式對整個柑橘園進行分析，即可估算出柑橘之產量。
- 3.GPS 加上攝影之相關應用也可用於從柑橘樹葉顏色分析推估是否有黃龍病之徵兆。

最後李博士分享預先錄製之展示影片，為大家講解相關實驗器材，其儀器包含一輛農用車、噴灌器具、GPS 接收器、筆記型電腦、控制器等。首先由電腦根據航照圖或遙測影像判斷田區裡作物與雜草之位置，並訂定出噴灑肥料(或農藥)之區域，將此區域座標輸入控制器 (如此便可不需要電腦即可操作)。此時當車輛在田間行進時，根據車上的 GPS 接收器及控制器即可判斷車輛是否到達應噴灑之區域，如是，則開始噴灑，當離開該區後即停止噴灑，如此即可對整個灌區做細微之控制，達到精準農業之目的。

2-3-2 精準農業在國內推動情形

近年來國內航遙測技術應用於農作物生產，已積極研發水稻各生長期之光譜特性資料庫、作物種類自動判釋系統、作物受災監測及遙測 (RS)、地理資訊系統 (GIS)、衛星定位技術 (GPS) 之整合應用等。在利用衛星遙測技術判釋稻作面積方面，行政院農委會目前對於水稻種植區位判識之精準度已達 90% 以上，因此未來航遙測技術在農業上的應用仍存在相當大的發展空間。

2-3 生物感測技術 (Biosensor)

本專題由背景為細胞組織生理及儀器儀表之 Dr. McLamore，向我們介紹生物感測器(biosensor)，其為使用一個生物體的某些部分作為特定目的測量或監控信號的一種設備。Dr. McLamore 舉了個典型的例子，即過去有些礦工在採礦時會隨身攜帶金絲雀以探測有毒氣體，因為這種鳥類對有毒氣體非常敏感，一旦受到氣體感染即會死亡等，如此一來可作為礦工偵測有毒氣體的一種預警系統。另一個作為生物感測器的例子為狗，牠們的耳朵及鼻子比人類更為敏感許多，其可用來幫助人類探測及追蹤。目前現代化的生物感測器即利用動物之特性進一步進行較高層次細節的研究，過去金絲雀只能給一個定性的信息—是否存在有毒氣體，而 Dr. McLamore 及其研究團隊則努力創造提供定量信號的生物感測器，以檢測出到底有多少量存在的信息。

生物感測可應用之層面廣泛，Dr. McLamore 亦介紹其在農業領域之應用，可望利用生物感測器監測植物之生理運輸，了解植物之生理狀況，進而研究植物基因改變及病原感染等問題，且 Dr. McLamore 發展之生物感測器，使用非侵入方式測量選定的離子或化學物質，以類似現今醫院使用之生命跡象監視器直接連接至病人身上方式，可在不干擾植物的生理運輸下進行監測。

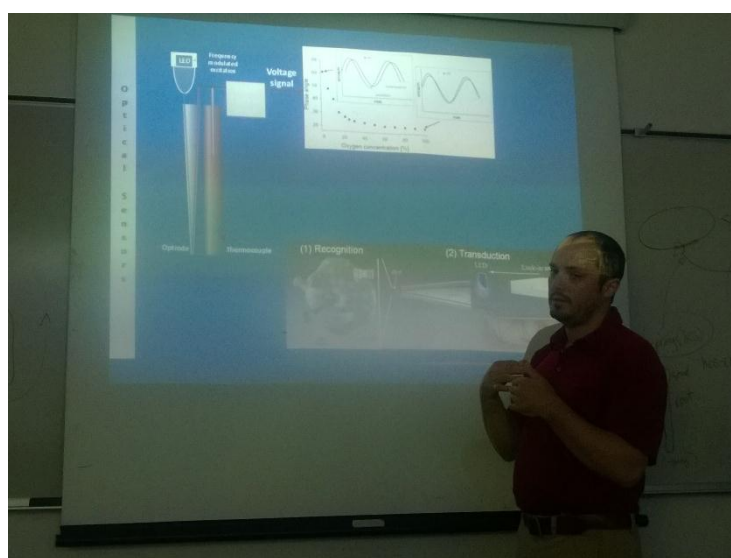


圖 5 Dr. McLamore 「生物感測技術」專題授課

第三章 現地考察及參訪

3-1 佛羅里達特殊地理景觀

佛羅里達州地質主要由石灰岩組成，石灰岩雖然非常硬，但遇酸易遭侵蝕溶解，而雨水接觸空氣中的二氧化碳會形成弱碳酸，當其流至地表與動植物等有機物質接觸，會形成較強的碳酸，故經雨水滲入之石灰石地層，亦受侵蝕形成小洞；此過程持續越長時間，空洞逐漸變大，直到空洞的頂部變薄已無法支撐其上方土層重量時，頂部崩塌便造成沉洞（sink hole）之特殊地質景觀。沉洞為佛羅里達北部常見之地景，為讓學員實地了解佛州特殊之地質及水文條件，本屆課程特安排佛羅里達地景現地勘察之行程（hydrogeologic tour），現勘景點依序介紹如下。

1. Alachua Sink：

位於 Paynes Prairie 最低點之沉洞。Paynes Prairie 為複雜多變之草原地形，Alachua Sink 如同 Paynes Prairie 之排水口，Paynes Prairie 之景觀遂隨排水呈現變化，當水流不及排出時 Paynes Prairie 便聚集成湖。此地區為短吻鱷、候鳥等多種野生動物棲息地，生態相當豐富，在草原北端設有步道（La Chua Trail），為近距離觀察欣賞各種野生動物之最佳觀賞點。



圖 6 Paynes Prairie 景色（現勘時為雨期剛結束，水位未退去呈現一片湖景）

2. Devil's Millhopper：

Devil's Millhopper 為深 120 英尺，長寬皆 500 英尺的沉洞（sink hole），其外觀呈碗狀或漏斗狀，不若一般沉洞高低不一。沉洞邊緣圍繞一條半英里長的天然步道，還有一座 232 階的樓梯可到達沉洞底部，佛羅里達州政府在 1974 年買下這個地區，並於 1976 年完成階梯。沉洞剖面提供了中佛羅里達地理事典的剖視圖，每一沉積層都記錄了相關事件與曾經生存的動物，在較低層所發現的海生動物的殼，指出佛羅里達在過去曾經被海所包覆，陸生動物的骨頭和牙齒在較近代的地層被發現，則表示海水已經消退。



圖 7 Devil's Millhopper 公園內解說沉洞形成之圖示牌

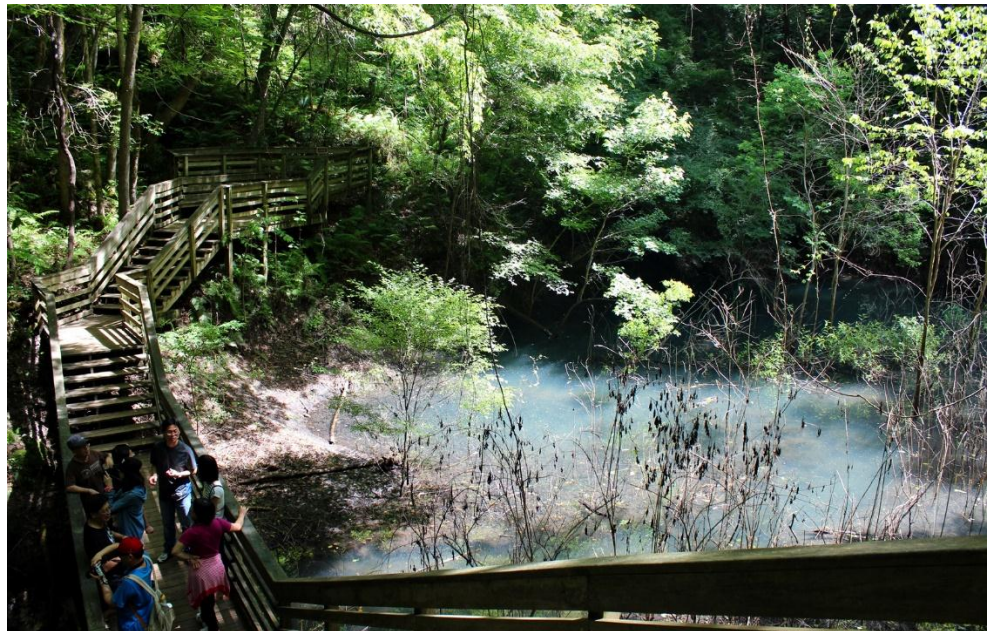


圖 8 Devil's Millhopper 沉洞與階梯步道之景觀

3. O'leno State Park :

佛羅里達州立公園之一，該公園由沉洞、河流、沼澤和沙丘組成，其中最為特殊之景觀為，貫穿園區的聖達菲河（Santa Fe River）因途中流經沉洞，消失沉沒於地表底下，而上方形成天然陸橋之景象，河水於地底伏流約 3 英哩的長度，才又於另一州立公園（River Rise State Park）顯現，此區亦可見許多沉洞景觀。而在到達此州立公園前，亦可見兩旁林木下以控制區域放火方式燒除雜草，以控制植物生長及消除病蟲害。

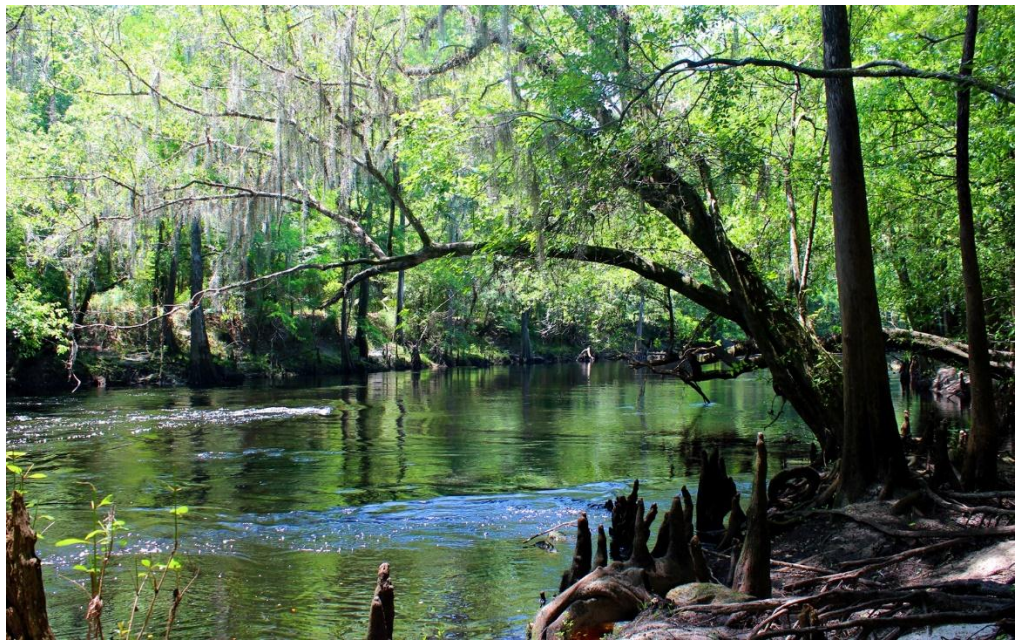


圖 9 聖達菲河流 (Santa Fe River) 景觀



圖 10 為控制植物生長定期以小區域放火方式燒除雜草

3-2 GRU 公司溼地復育工程

GRU (Gainesville Regional Utilities) 是在佛州蓋恩斯維爾 (Gainesville) 地區提供當地電力、天然氣、水及廢水處理的公司。GRU 於 2005 年提出 Paynes Prairie 溼地復育計畫之構想設計，於 2007 年州政府准予動工，預定於 2014 年可完工。此工程計畫以回復原本之溼地為目標，雖耗費 2,600 萬美金並費時八年施工，但完工後可提供 500 萬加侖用水，其利用溼地自然淨化水質之功能，一方面可減少污水處理費用以降低供水成本，一方面可提供乾淨的地下水補助以涵養水源，亦可回復自然生態景觀並提供生物棲息地，其效益影響深遠且意義重大。

溼地內設置有大小水池數處 (深度為 1 英尺至 5 英尺深)，目的為使水流入後滯留於此，並控制水自溼地流入至流出時間約為三日，讓水能夠盡量入滲以補充地下水。溼地復育以人工種植水草等植物，讓受污染之水源可藉由通過水草植物進行第一次的水質淨化過濾，其盡量選擇採用原生物種作為栽種品種，亦考慮栽種多類物種植物，讓溼地能成為更多種類野生動物之棲息地，以增加其生物多樣性。目前藻類蔓生情況嚴重，水質尚未穩定，尚待溼地出入流達到平衡後可慢慢改善。

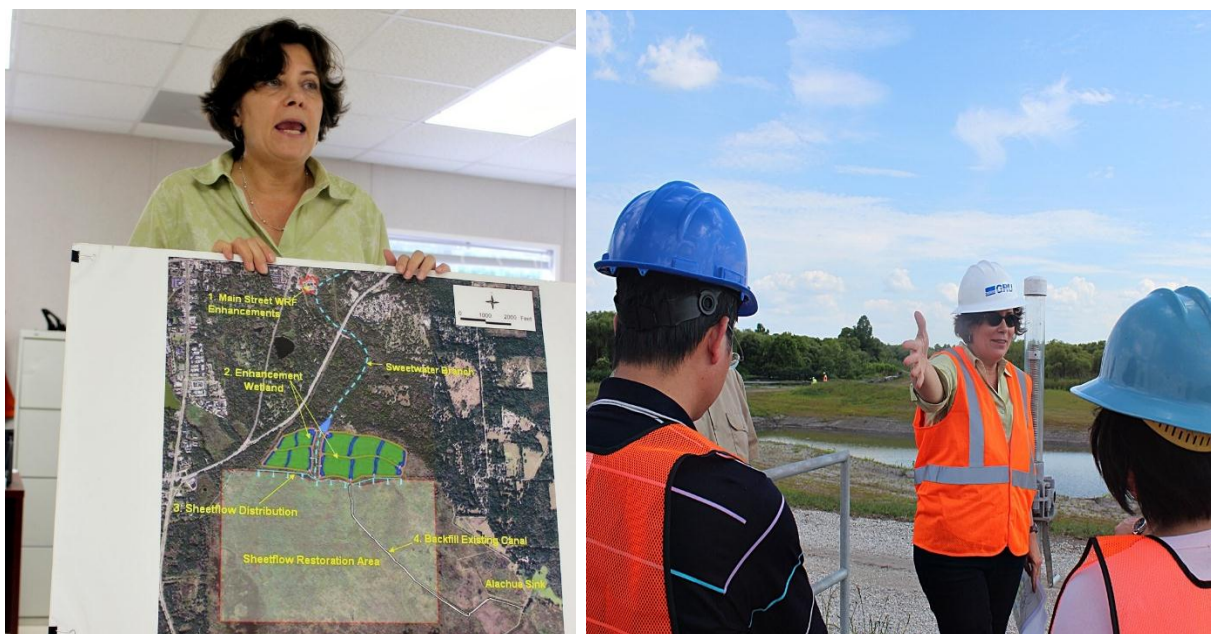


圖 11 GRU 公司工程師介紹 Paynes Prairie 溼地復育工程計畫

溼地劃分為3區，每一區末端均設有2處放流口，以水閘門控制其出水量(圖14)，並在暴雨時期可利用閘門達到洪流控制之功能；上游端設有沉沙池，但於工程完工後發現其效益不如預期，可能為容量不足，目前已重新討論改進設計型式。



圖 12 Paynes Prairie 溼地自然景觀之一



圖 13 Paynes Prairie 溼地自然景觀之二



圖 14 濕地放流口控制出水量之閘門



圖 15 沉砂池出口所設置之垃圾蒐集器

3-3 再生水中心 (Water Conserve II)

Water Conserve II 再生水中心位於奧蘭多(Orlando)市西邊約 100 公里, Water Conserve II 亦為一個世界知名的快濾滲透盆地 (Rapid Infiltration Basin, RIB) 之水資源再利用計畫, 其為世界上相同類型再生水利用計畫中最大的一個, 也是佛羅里達州第一個由佛羅里達環境保護局 (Florida Department of Environmental Protection, FDEP) 所允許, 利用回收水 (Reclaim Water) 來灌溉人類消費型農作物的水資源再利用計畫。Water Conserve II 計畫由奧蘭多市與橘郡 (Orange County) 共同出資成立, 委由 Woodard & Curran, Inc. 代為營運管理, 類似台灣引用 BOT 模式。這個計畫從西元 1989 年起, 至今已獲得多項工程應用、環境保護、水資源再利用、健康與安全、社區服務、維護管理之傑出成就獎項。

Water Conserve II 計畫最著名為「快濾滲透盆地技術」(Rapid Infiltration Basin, RIB) — 將處理過之回收水引入盆地 (圖 16), 以盆地砂質層及石灰層地質結構過濾淨化回收水, 目前處理過後之再生水約六成提供使用, 主要作為農田灌溉及家庭園藝用水之用, 剩下四成則由快濾滲透盆地補助到佛羅里達地下含水層。快濾滲透盆地係建構於自然砂脊土上, 砂脊土深度從 30 英尺至 300 英尺, 砂層底下為霍桑形成層 (Hawthorne Formation) 之半滲透粘土 (Eemi-Permeable), 霍桑形成層作用有如一道阻水牆, 分隔砂質層之地下水流與深層底下石灰層之受壓含水層 (Floridan Aquifer)。

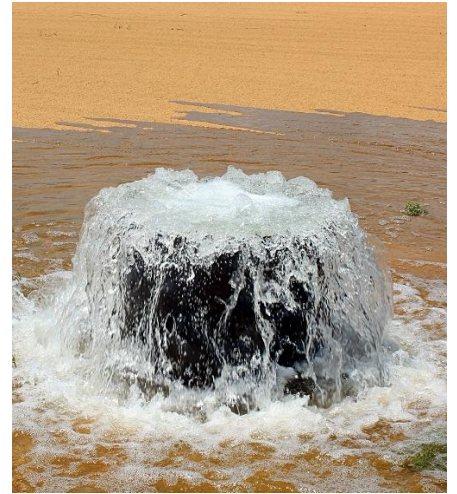


圖 16 Water Conserve II 快濾滲透盆地

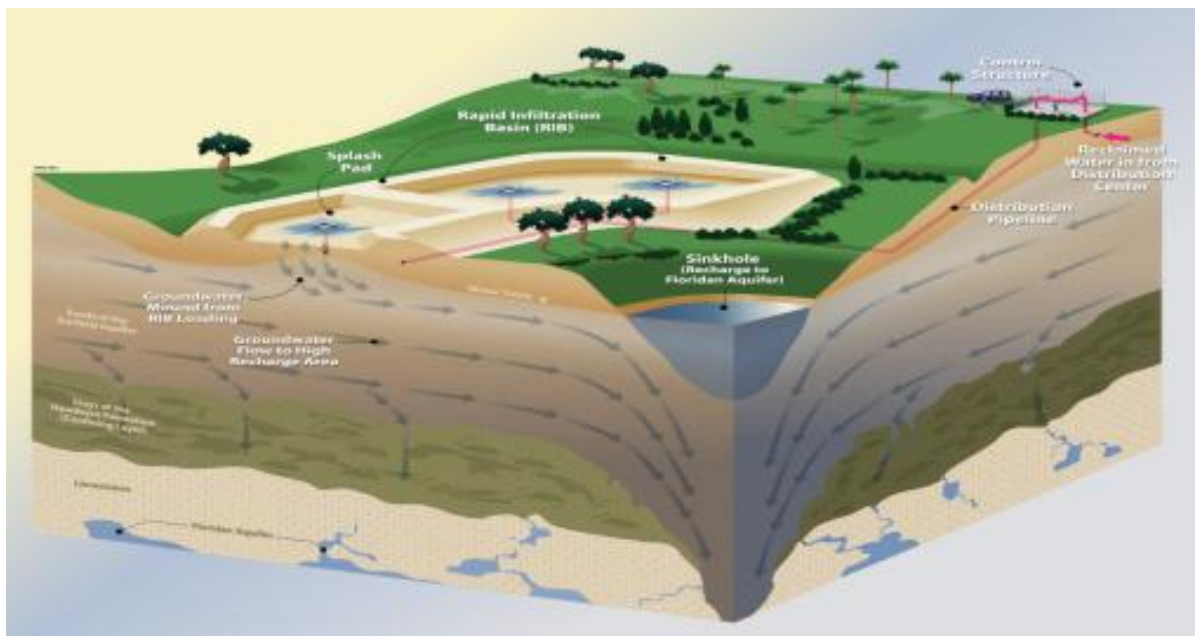


圖 17 快濾滲透盆地水循環示意圖

回收水為經由再生水系統配送至快濾滲透盆地，而再生水利用系統由二個回收水工廠，聯結約長 34 公里管路至配水中心組成，回收水工廠包括 100MGD 配水加壓站、4 個 5 百萬加侖之貯水池、SCADA 電腦、操作機房、維護機房等設備；從配水中心管路輸送再生水供灌溉、工業、商業及社區使用，整個配水管網之管線壓力約 60 PSI 到 120 PSI，另有 25 個補充用的水井配置於整個配水管網中，每個水井的容量約從 1,500 GPM 到 3,200 GPM，尖峰時可提供約 56,000 GPM 的補充水，當回收水無法滿足用戶需求時，則抽取儲蓄於地下含水層水量，用來提供防凍與防旱所需用水。

再生水利用系統示意圖如下：

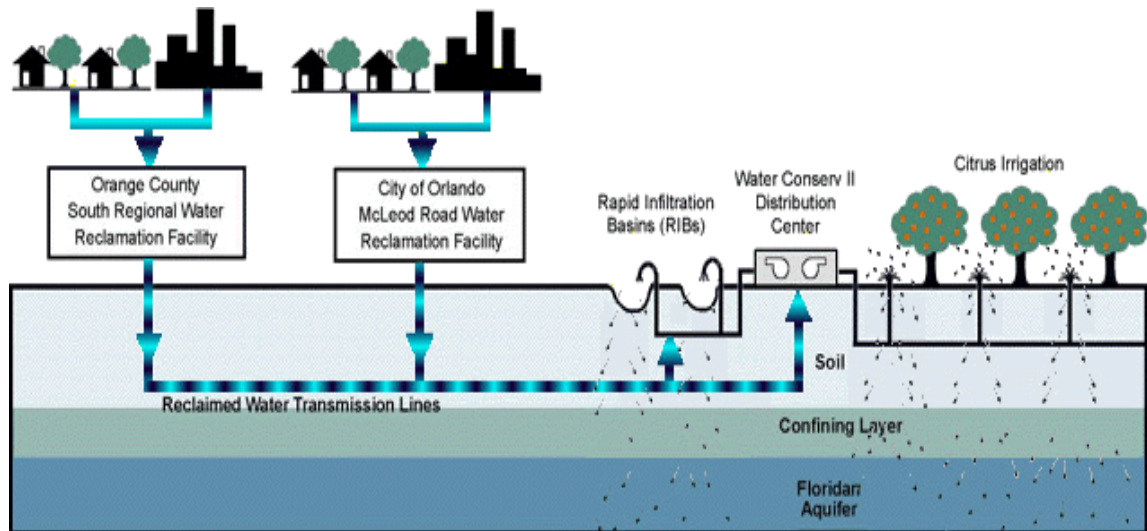


圖 18 再生水利用系統示意圖

Water Conserve II 計畫之效益在環境保育方面，不僅可降低排放廢水之環境負擔，亦能減少地表及地下水資源之消耗，並能補助涵養地下水源；在經濟效益方面，經計算計畫之淨現值均為正值，可見其運轉及維護成本控制合宜，並證實回收水再利用具有其實質效益，將消耗性資源（廢水）轉變為資產（再生水）為可實現之理想。另該中心相當重視周遭社區環境與鄰居互動關係之維護，在每一個快濾滲透盆地周遭均設置防風林，以維持環境安全整潔，並每年提撥盈餘回饋社區，也為瀕臨絕種及遭受威脅之動植物物種設立禁獵區，並保育有成。

目前 Water Conserve II 包括 8 處聯絡網路，每處有 71 個 RIBs，每一快濾滲透盆地面積約 0.5 公頃，總計面積有 3,725 公頃。快濾滲透盆地表面為砂質層，現場周遭有完整防風林設置，盆地周圍並覆蓋橡膠層防止揚砂，而從出水到滲透入砂層之過程非常迅速，證明快濾滲透盆地可確實且快速達到補注地下水之目的；在再生水滲透完成後，隨即由刮土機翻動砂層曝曬，以防含水砂粒易生苔菌類而影響水質，現場操作過程讓學員留下深刻印象。



圖 19 全體學員與再生水中心工程師於快濾滲透盆地合照留影

3-4 柑橘研究教育中心 (CREC)

佛羅里達州的柑橘產業一直是該州最重要的經濟農業之一，其產量佔美國柑橘生產量之 80%。柑橘類水果，包括柑橘、柚子、橘欖果、酸橙，均是最大宗的農業商品。柑橘研究及教育中心 (Citrus Research and Education Center, CREC) 成立於 1917 年，隸屬佛羅里達大學糧食及農業科學學院 (University of Florida/Institute of Food and Agricultural Sciences, UF/IFAS) 之下，早期稱為柑橘試驗站，現為歷史悠久、規模最大的校外實驗研究單位，研究範圍涵蓋佛羅里達大學 8 個學科之研究所，包括園藝科學、土壤與水科學、植物病理學、昆蟲學與線蟲學、微生物與細胞科學、農業與生物工程、食品科學與人類營養、食品與資源經濟等，另擁有世界最大的柑橘圖書館，藏書超過 15,000 冊，如今有超過 250 人受僱於 CREC，且研究機構設施包括超過 600 畝的樹林、溫室、1 個柑橘包裝廠、1 個柑橘加工試驗工廠和 40 多個實驗室。

柑橘研究教育中心之研究人員帶領學員參觀了柑橘果汁生產實驗工場，並詳細解說生產、殺菌、包裝及最後品質檢驗之各項程序，及介紹該中心自行研發的柑橘自動採收車，其係應用光學判識技術與自動化技術整合之智慧型設備，可大幅節省人工採收柑橘之成本；另亦安排專題研討方式，讓學員了解其在作物收成產量計算、作物疾病偵測等方面應用遙測技術之研究發展，如小型農場運用無人飛行載具 (UAV) 搭載多頻譜感測器 (multi-spectral sensors) 之農業管理技術。



圖 20 CREC 柑橘生產實驗工場之儀器設備

3-5 聖瓊斯河水管理局 (St. Johns River Water Management District, SJRWMD)

依據 1972 年美國聯邦授權水資源法案 (Water Resource Act)，將佛羅里達州全州總面積 152,560 平方公里劃分為 5 個水利區，其依水域界線 (Hydrological Boundary) 而非依行政區域 (Political Boundary) 劃分 (圖 21)，在每一水利區設立水管理局 (Water Management District)，計有聖瓊斯河水管理局 (St. Johns River Water Management District)、南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District)、西南佛羅里達水管理局 (Southwest Florida Water Management District)、西北佛羅里達水管理局 (Northwest Florida Water Management District)、史旺尼河水管理局 (Suwannee River Water Management District)。

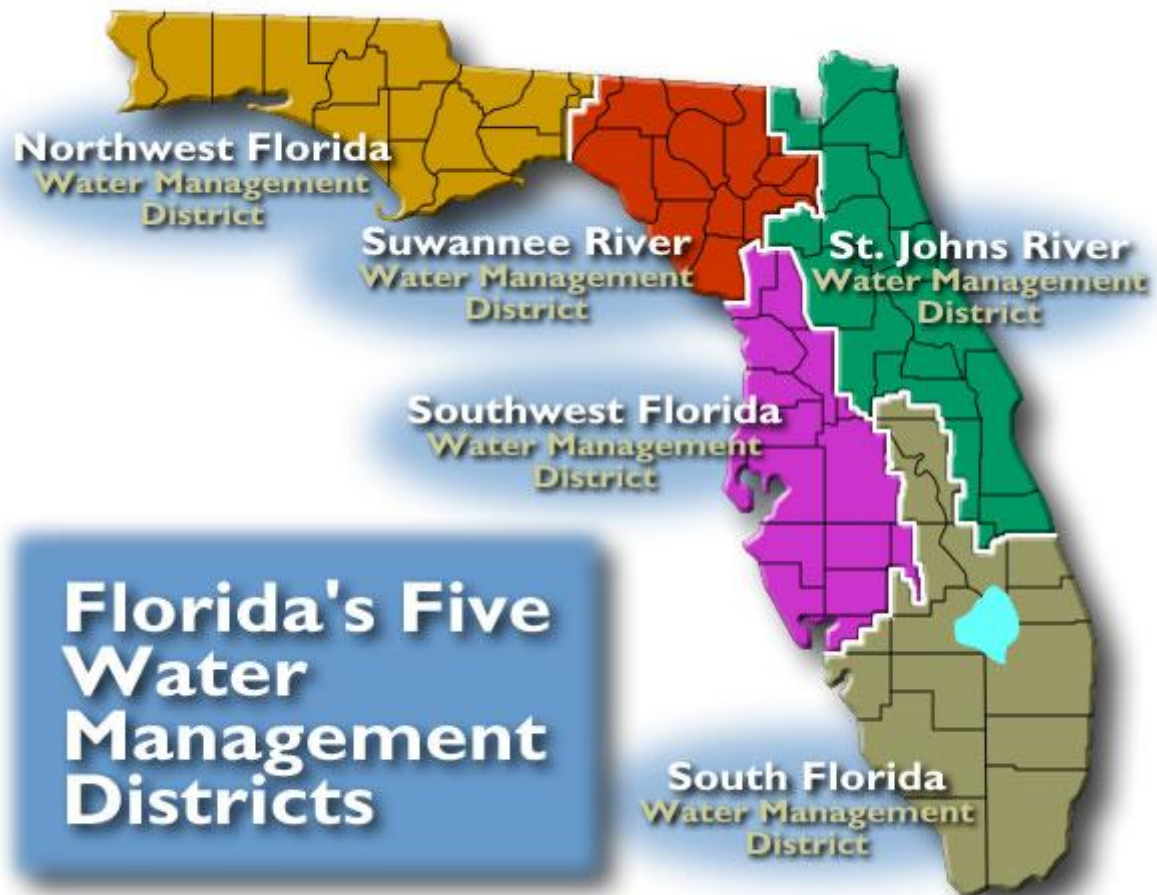


圖 21 佛羅里達州水管理局分布圖

各水資源管理局主管機關是州政府，每一管理局係以九人組成之管理委員會為首，委員由州長提名，經州議會附議通過，以四年為一任，無給職，並得連任一次。委員會須聘請一位執行長負責執行該委員會訂立之政策 (Policies) 與規章 (Rules)。各地區水管理局之主要任務概述如下，

1. 建立各水利區內之最低流量和水位。
2. 以維持均衡性為原則管理水資源與相關土地資源。
3. 適當利用地表水與地下水資源。
4. 管制蓄水池、集水區水工構造物及其他構造物。
5. 防制洪水、土壤沖蝕及過份排水所造成之災害。
6. 負責缺水時期之各種緊急措施，維持可航行河川和港口之安全，以增進州民福利。

- 7.參與旱澇災應變措施，包括旱災時之水源調配、澇災後之復建及保育維護常淹水或缺水地區。
- 8.協助地方政府擬定綜合性之管理規畫，尤其是提供有關水資源方面之資料；地方政府賦予水管理局至現場收集資料及研究之權利，以達成增進水資源開發管理之目標。

各水管理局之營運經費有五項來源如下，

- 1.聯邦政府撥發指定用途之經費。
- 2.州政府撥發指定用途之經費。
- 3.水權費（permit fees）。
- 4.債券（bonds）。
- 5.房地產稅（Ad Valorem Taxes）：

依據水資源法之規定，由房地產稅撥付一定比例之經費作為水管理局專用預算，其為水管理局最大經費來源。

聖瓊斯河水管理局管轄範圍如圖 22 所示，轄區內最主要河川即為聖瓊斯河（St. Johns River），全長約 499 公里（約 310 英哩），以發展商業和休閒娛樂產業為重，其為佛羅里達州最長之河流，由南往北流入大西洋，為全美少數幾條南北流向河川之一。因為地勢平坦，其河床坡降約 9.1 公尺（30 英呎），平均河道坡降約 1：54,000，該河水流速平均約每小時 0.2 公里（1/3 英哩），被當地人稱為「懶惰河」，由於流速緩慢，自淨能力低，導致水質不佳。

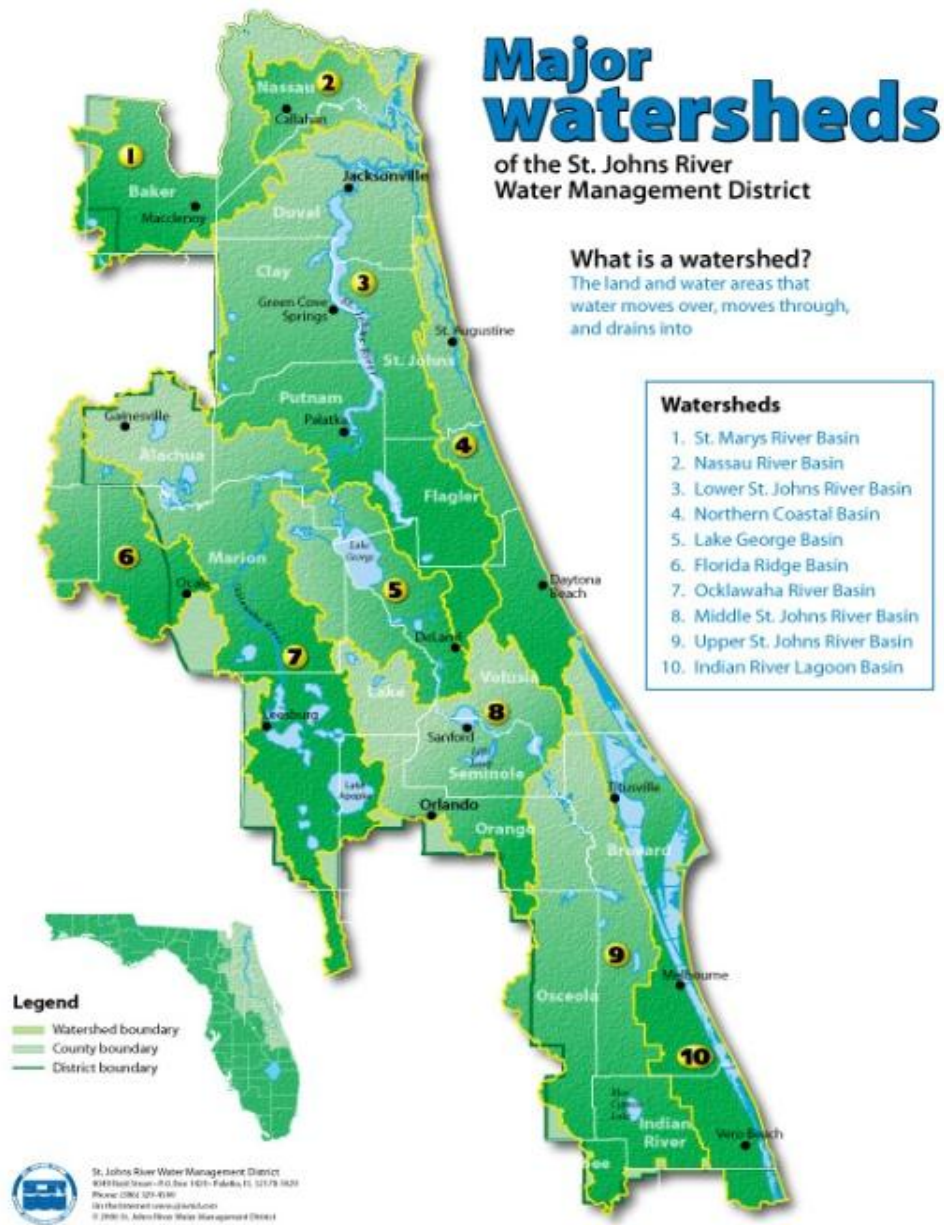


圖 22 聖瓊斯河水管理局管轄範圍

聖瓊斯河水管理局由台灣籍黃清次博士及大陸籍方疇博士負責接待，首先由黃博士介紹水管理局內之主要業務，並與學員交流許多可提供我國水資源管理實務借鏡之經驗與構想。

根據黃博士表示，佛羅里達州年平均降雨量約 50 英吋（1,270 毫米），約有 13 英吋（330 毫米）補充於地下含水層，民生飲用、灌溉及工業用水水源大部分取自地下水，每日地下水抽取量約 3,100 萬加侖（11,800 萬立方公尺）。佛羅里達

州特殊地理景觀為湖泊多、溼地多，這些數量龐大之湖泊、溼地具有補注地下水、污水處理及防洪之功能，因此湖泊、溼地保育及生態維護在佛羅里達州為相當重要之工作。聖瓊斯河水管理局主要職責包括：

- 1.核發抽取地下水水權、管制及規範對水資源有衝擊之開發建設案。
- 2.徵收具保育與保存水資源用途之土地。
- 3.地表水與地下水水質與水量之研究。
- 4.適當利用地表水與地下水。
- 5.水資源教育宣導。



圖 23 聖瓊斯河水管理局黃清次博士及方疇博士與古有順班長相見歡

方疇博士則就水管理局之核心工作核發水權加以介紹說明。核發之水權依其屬性內容可分為兩種，其一為 Consumptive Use Permit (CUPs)，CUPs 是保障地下水抽取或地表水引用量（包括公共用水、灌溉、畜牧、商業及發電用水申請量）必須合理且符合大眾利益，不得對既有合法用水者權利造成影響，及損害水資源環境；每一地區皆有限制地下水含水層之抽取量及地面水引用量，而 CUPs 申請

亦必須說明水平衡之相關計畫，例如使用再生水、使用經處理後之事業廢水或引用蓄洪池之水，以避免全數使用乾淨地下水，造成水資源不當浪費使用。

另一種水權為考量新開發對水資源環境造成影響所核發之許可水權，稱為 Environmental Resource Permit (ERPs)，係指開發行為須在不影響水源、水質、防洪安全及溼地湖泊保育等條件下，並符合相關規定後，始允許其開發，例如開發基地不得位於地下水源、溼地、湖泊保育區範圍之規定；有關基地開發所造成逕流量之增加，必須另外設置滯洪池，以確保防洪安全；開發申請許可書內亦載明包括施工期間應遵循之相關規定及檢核事項，許可期間為 5 年，超過期限必需重新申請。



圖 24 聖瓊斯河水管理局方疇博士簡報

3-6 南佛羅里達水管理局(South Florida Water Management District, SFWAMD)

南佛羅里達水管理局為佛州五大個水管局中轄管面積最大者，轄區面積計 4 萬 6,440 平方公里，約等於荷蘭面積，略大於台灣，其主管佛州南部水資源業務，轄區內包括 16 個縣 (County)，從奧蘭多市 (Orlando) 到南方島鏈 (Key West)，並包括全美第七大湖 Lake Okeechobee，以及著名國家溼地公園 Everglades、Big Cypress Basin 等地區。

南佛羅里達水管理局之參訪行程主要由台灣籍金康仁博士接待學員，以及 Susan Sylvester 女士、大陸籍陳智康博士等人向學員說明南佛羅里達水管理局之歷史沿革、業務工作內容及重要研究計畫，並安排參觀其河川流量監測及閘門控制系統中心，與現地勘查大型抽水站及地下水補注井 (ASR) 計畫之系統設施。

3-6-1 水管理局成立沿革及 CERP 綜合計畫

佛羅里達州在 1926 年和 1928 年三年內南部 Lake Okeechobee 附近連續遭到颶風侵襲，湖堤發生潰堤事件，導致鄰湖地區民眾死亡達三千人以上；該區域不幸在 1947 年又遭到洪水侵襲，數以萬計人民無家可歸，造成經濟、環境上損失慘重，且又因東部海岸大量抽取地下水造成海水入侵土地鹽化，當時州政府向聯邦請求援助，在 1948 年國會授權佛州政府成立 Central & South Florida Flood 計畫 (C&SF Project)，由美國陸軍兵工團 (US Army Corps of Engineers, USACE) 執行，使得佛羅里達州中南部水患與海水入侵問題得到初步控制，該計畫亦為當時世界上最大、最複雜之水資源計畫之一。

1972 年美國國會通過水資源法案 (Water Resource Act)，南佛羅里達水管理局正式成立，主要任務包括水資源供給、水質保護、防洪控制及環境管理等。目前南佛羅里達水管理局完成之水利建設系統包含渠道 2,600 英哩、1,300 個水控制設施及 64 處抽水站，用來維持區域用水供應與洪水控制。

由於佛羅里達州人口不斷成長 (佛州為美國大陸最偏南之州，溫暖無冬，故退休後之老年人喜歡來此地居住，導致人口增長率為全美最高)、城市向周邊擴張及農業開發 (Everglades 沼澤地帶面積已流失一半以上) 等問題，造成當地水

資源缺乏及生態環境受到擾動破壞。因此該局在 1992 年起重新檢討 C&SF Project，並提出一個回復 (Restore)、保護 (Protect) 及保存 (Preserve) 佛羅里達中部及南部水資源之計畫，並以品質 (Quality)、數量 (Quantity)、分布 (Distribution) 及時機 (Timing) 為計畫四大原則，其目的係為造就南佛羅里達，成為一個乾淨、無虞及免於淹水之害的水資源環境，參與單位包括州政府、聯邦政府、地方政府及印地安原住民。當時透過政府與當地居民不斷溝通與遊說，成功整合計畫內容，並將最後計畫名稱訂為 CERP 綜合計畫 (Comprehensive Everglades Restoration Plan)。

於 1999 年 6 月 1 日由佛羅里達州政府及美國陸軍兵工團向國會提交 CERP 計畫。於 2000 年 9 月獲得國會通過及美國總統柯林頓簽署，執行期間 35 年，總經費達 78 億美元，2010 年經費再調整為 170 億美元，目前執行已約 80% 經費，由佛羅里達州政府及聯邦政府各負擔 50% 經費。該計畫被譽為世界最大之生態系統復育計畫，包括 68 個子計畫，主要目標為：

1. 增加提供乾淨水量，由每年 15 億噸提高至 30 億噸水量。
2. 湖泊溼地保育，保育面積 75,000 公頃。
3. 設置 Surface Water Storage Reservoirs (圖 25) 人工溼地，主要用來涵養水源，雨季可兼作防洪功能使用，計有 15 處，計畫儲存水量約 18 億立方公尺。
4. 地下水補注，設置 330 個地下水補注井 (Aquifer Storage and Recovery, ASR)，以在雨季時儲存多餘之乾淨水源來補注地下水，作為缺水時之備用水源，預定每日注水量 600 萬立方公尺。
5. 暴雨處理區 (Storm Water Treatment Areas) 為一大面積溼地，主要用於沉澱移除污染物如氮、磷等化學物，作為補注地下水水源，計有 22 處，總面積 18,000 公頃。
6. 拆除影響水流動之障礙物，並妥適引流達到地下水涵養及防洪功能。



圖 25 人工溼地蓄水庫（Surface Water Storage Reservoirs）

由於復育計畫面積廣大，因此計畫內預算大部分之用途是購買儲存水源及保護水源所需之土地。另外有關 ASR 先期工程，為引自暴雨處理區之乾淨水源，進行灌注地下水層及抽水之試驗，依據水質檢驗報告及觀測地下水化學物含量之資料數據，發現水質中氮、磷、砷之含量均遠低於標準值，證明地下水之補注有利用地下水層淨化、過濾水質之成效。

而現行計畫執行所遭遇之困難，為因全球氣候變遷、外來物種侵入及公共利益公平性之辯論等問題，以致必須調整計畫執行之優先順序，但民眾均認同該綜合復育計畫建立永續（Sustainable）環境、提供平衡水資源供給及提昇區域土地價值之目標，故普遍獲得全民共識。



圖 26 南佛羅里達水管理局之河川流量監測及閘門控制系統

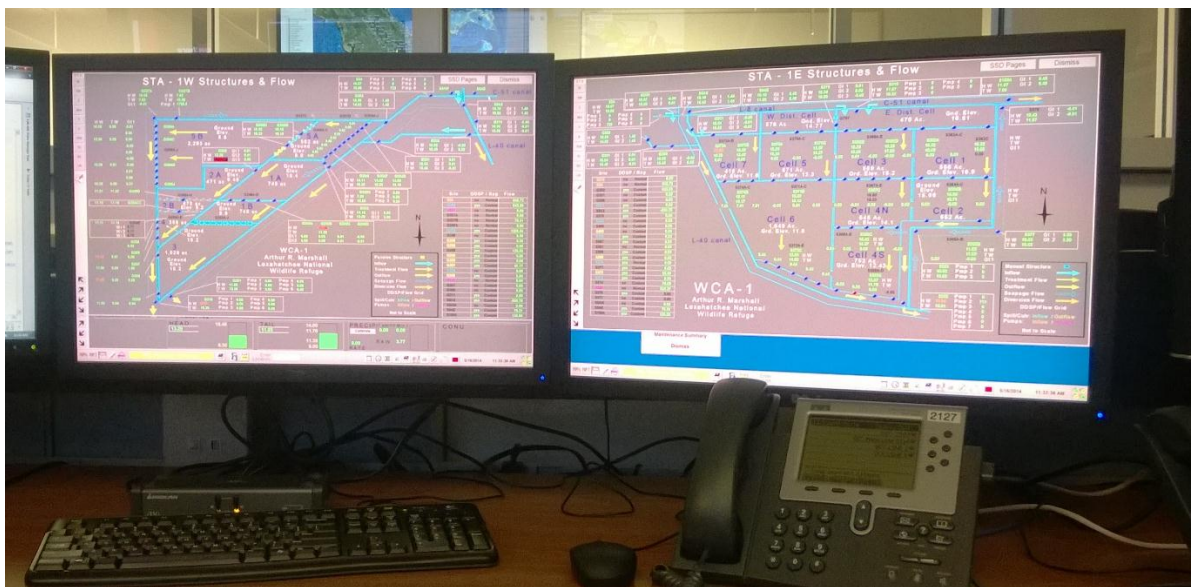


圖 27 河川流量監控系統頁面展示



圖 28 大型抽水站內以船舶引擎改裝之抽水馬達



圖 29 抽水站內控制調整及監控之儀器設備

3-6-2 地下水補注井（Aquifer Storage and Recovery, ASR）試驗站

地下水補注井（Aquifer Storage and Recovery, ASR）為南佛羅里達水管理局所進行之一重大試驗計畫，其利用當地石灰岩地質層之環境特性，經過完整之清洗地下水層程序，將佛羅里達地下含水層作為一儲蓄水源之地下水庫，於豐水時期抽取地面水來補助地下水源，而枯水季時則可從地下水庫取水引用。所參訪之試驗站為利用 300 呎深井作地下水之補助及抽取，在補助前會先經由過濾器及紫外線光進行過濾殺菌程序，確保水質良好不影響汙染地下水層，並且定期進行地下含水層之清洗及水質檢驗工作。ASR 之儲蓄水源方式相較地上水庫設施，不僅蓄存水量多且穩定，並具有節省地面土地利用之優勢，並兼具涵養地下水資源之重要功能。



圖 30 ASR 地下水補注井抽水及過濾系統

3-7 佛羅里達州環保局 (Florida Department of Environmental Protection, FLDEP)

佛羅里達州環保局之參訪行程主要由台灣籍吳天順博士接待學員，局內人員向學員說明佛羅里達環保局對於 Clean Water Act 執行之內容以控制水污染，水污染來源包含點源(point pollution sources)及非點源污染(nonpoint pollution sources)，以預防性之手段防止或減緩污染之發生，提供公共技術協助，以改善廢水處理設施，維護及完善溼地之功能。另針對 TMDL(Total Maximum Daily Loads)廢水排放監測標準說明，精確計算水體可接受且仍然可符合水質標準最大污染量，以作為審查及監督相關開發之依據。簡報後隨即參訪該局水質實驗室，該實驗室為全美第二大，各項精細之水污染物質等均可由實驗室精密儀器檢測獲得。

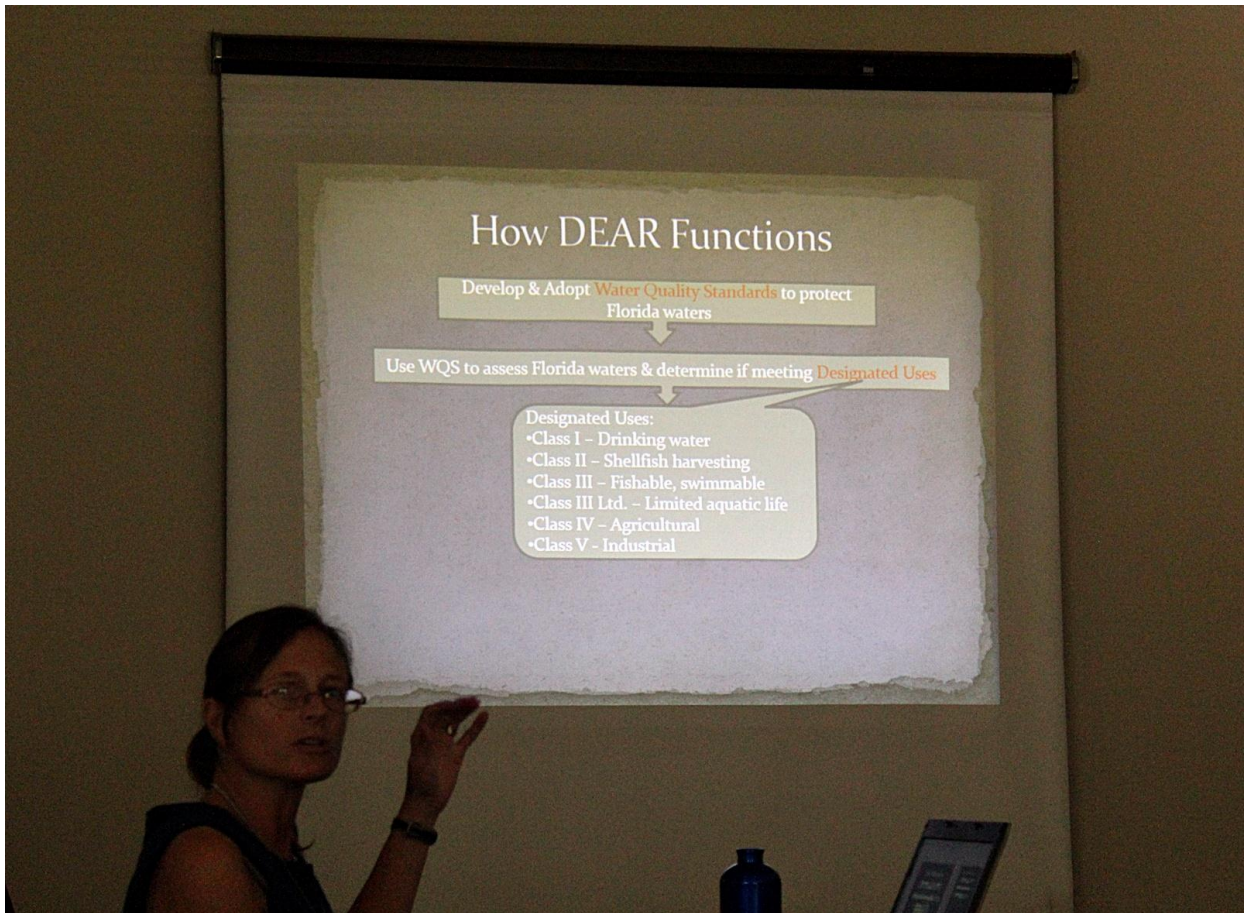


圖 31 佛羅里達州環保局業務簡報



圖 32 參觀佛羅里達州環保局水質實驗室

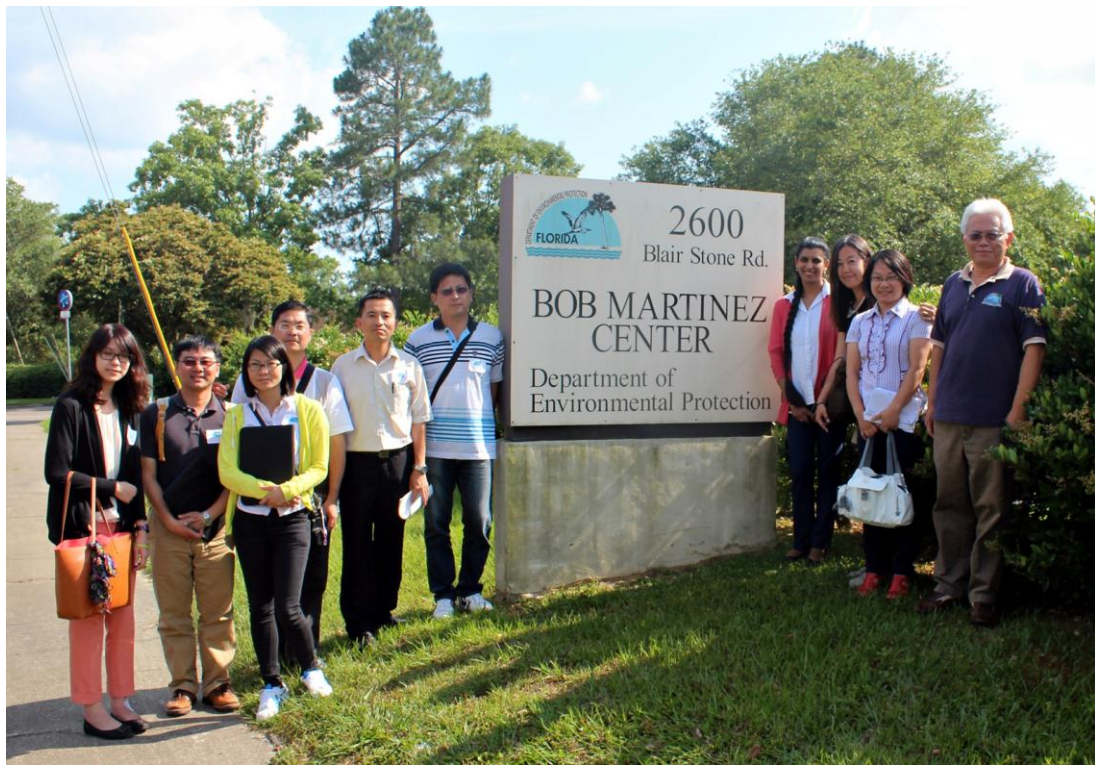


圖 33 吳天順博士、遙測中心主任 Dr. Jasmeet Judge 及學員
於佛羅里達州環保局前合影

第四章 結論與建議

4-1 結論

- 一、本年度遙測培訓國外班課程，概分約三分之一為課堂專題講授，另外三分之二為現地考察與參訪研習。課堂講授內容主要為遙測基本原理與應用，而參訪行程部分則安排多個水資源管理相關佛羅里達州公部門單位及研究機構，介紹佛羅里達水資源計畫之推展與實務經驗，對學員深具意義及啟示作用，相信不管在理論應用或實務方面上，均獲益匪淺。
- 二、佛羅里達地質多屬石灰岩，其石灰岩地形蘊藏豐富地下水，並可大致以佛州最大湖 Lake Okeechobee 作為分界，Lake Okeechobee 以北地區為石灰岩地層，水流入滲快速，而 Lake Okeechobee 以南之地層頂層為黏土層（約 70 英尺），接續才是石灰岩地層（約 30 英尺），其水資源管理係配合南、北佛之地質水利條件特性發展，故佛羅里達南北部地區在水資源利用及水利設施開發建設等方面具些微差異，但皆以地下水為最主要水源。
- 三、佛羅里達是柑橘的故鄉，對於柑橘之栽種與收成製作包裝產銷，一連串過程皆經過研究及高科技技術來分析管理，並發展出專業的科學理論，達到質與量的提升，相當值得國內農業推廣之參考與學習。
- 四、於 GRU 水公司之溼地復育計畫中可見，當地政府及民眾對於自然生態環境保育之高度重視；由於濕地具有淨化水質、補注地下水、緩衝和減除洪患及提昇生態多樣性之多項功能，故其願意不計短期高額成本之耗費，對濕地環境之保育與回復不遺餘力，此以長遠利益思考之決策作為，係現今國內尚缺乏並極須加強者。
- 五、佛羅里達州當地建築法規相當嚴謹，為了避免大型土地開發案對環境與排水系統之衝擊，每個開發計畫進行相當完整之水文分析，設計滯洪池、污水處理設備等相關檢核項目，值得國人學習借鏡。

-
- 六、佛羅里達州與台灣氣象條件類似，以颱風豪雨造成之溢堤淹水等為主要災害，因此，大型防洪抽水站之操作與維護管理，在佛羅里達州防洪安全系統中扮演甚為重要角色，各水資源管理局均訂定相當嚴謹之抽水站運轉維護管理規範，並以視同作戰態度執行，值得國人學習借鏡。
- 七、佛羅里達州妥善利用其自然環境條件，將該州地下含水層作為「地下水庫」使用，於豐水季抽取地面水補注以儲存及保育地下水源，此蓄水方式相較地上水庫，不僅蓄存水量多且穩定，並具有節省地面土地利用之優勢，恰能符合台灣地狹人稠之環境所需求，另外其兼具涵養地下水資源功能，或可作為台灣彰雲、屏東等地區地下水超抽致地層下陷問題之解決方法。

4-2 建議

- 一、本遙測人才培訓計畫以學習遙測技術之操作應用為培訓課程主軸，但考量現行國外研習時程僅兩周時間，應重視各基礎理論及操作課程先行於國內實施之安排，於國內完成遙測課程之理論及可進行實機操作的部分，包括地理資訊系統與衛星影像判識技術工具之運用操作等，並加以說明完整之專案分析內容，以利學員於國外上課時可了解專案分析之過程及目的結果，於國外則可直接進行專案案例分析之實作練習，方能使學員真正獲得遙測相關技術應用之能力，並可大幅提升出國研習時間之運用效益，以達成本遙測科技人才培訓計畫之設立目的。
- 二、於國外研習課程內容之安排上，建議依據學員所屬單位領域，安排相關實務案例操作課程，如學員多來自農田水利會單位，即可安排水利會灌排業務應用遙測技術之範例，並可增加相關講座課程之時數，以提昇學習效率，進一步強化農田水利遙測培訓計畫之成效。
- 三、有關參訪南佛羅里達水管理局之行程安排，其針對水資源、防洪、生態環境保育等方面均有全盤性考量，極具國內學習參考應用價值，建議往後課程之安排可針對該局進行更深入之參訪，以獲得更豐富之知識；且為使學員更多元瞭解遙測科技在各項水資源領域之實際應用，建議後續亦可安排其餘三個水管理局（西北佛羅里達水管理局、史汪尼水管理局、西南佛羅里達水管理局）列入參訪機構，以獲得更多國外之新知供國內參考。
- 四、佛羅里達州在再生水利用方面已相當進步，再生水經二次處理後，以多年時間推廣於柑橘園及家庭澆灌使用，剩餘水量則用於補助地下水。國內應積極規劃及推廣廢水再利用計畫，列入多目標供水之一環，並研擬提供地下水補注用途，將消耗性資源（廢水）轉變為永續資產（再生水），不僅增加水資源之供應以獲得其附加之經濟效益，並可減少廢水排放之環境汙染及涵養蓄存乾淨水源，以實現資源永續利用之理想。

-
- 五、我國現階段水資源開發已面臨瓶頸，復面臨氣候變遷所致水文環境變化之不確定性衝擊，應慎加思考美國佛羅里達州將地下含水層作為「地下水庫」儲蓄水源方式於台灣之適用性，及早規劃發展各地區之地下水庫開發建設，視儲蓄水資源如同儲存戰略石油一樣重要，以因應氣候變遷及未來人口增長與經濟開發所帶來之水資源需求問題。
- 六、地理資訊系統必須做到“資源共享”始能真正發揮其功能效益。此次研習課程深感美國對於研究、觀測資料結果等，皆非常願意公開及分享之態度作法，相對於國內卻常發生如航照圖、衛星影像、DTM 等資訊，因取得不易、耗日費時致資料時效性已過，而造成研究成效不彰之情形，建議台灣各相關單位應相互共享彼此資源，且加以統合各類資料庫系統，並將其基本資料公開上網，俾利推動遙測技術及地理資訊系統之普及應用，以發揮資料之最大效益與價值。
- 七、台灣近年來遙測技術環境已漸成熟，建議台灣水利及農業單位參考佛羅里達州經驗，在既有培訓之遙測人才基礎上，研提台灣區域之土地利用狀況、土壤分類等系統之率定試驗研究相關計畫，建立屬於台灣地區地表覆蓋分類系統，並能相互共享彼此資源，循序漸進發展，使遙測技術結合地理資訊系統、衛星定位系統，發揮其在國內水利及農業領域之應用價值。
- 八、國際灌溉排水協會中華民國國家委員會（ICID/CTC）每年提供各水利單位赴美學習機會，對於遙測人才培訓不遺餘力，各屆遙測培訓班學員更可藉此加強相關業務溝通交流與聯繫，對於國內水利領域業務之推動發展深具意義，建議應重視此類赴美培訓計畫，持續舉辦並提升強化其培訓效益與目標。