

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

「遙測及高科技在水資源管理上之人才培訓-主管班」

出國研習報告書

服務機關：經濟部水利署中區水資源局

研習地點：美國佛羅里達州

研習期間：104年5月2日至103年5月12日

報告人：汪平洋

中華民國 104 年 6 月

摘 要

為培育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，國際灌溉排水協會中華民國國家委員會爰於民國 86 年與美國佛羅里達大學簽約成立「中華民國基金」，規劃運用基金投資收益及孳息，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之能力，厚植高科技在水利上之深耕與發展。培訓計畫實施迄今已有 191 位學員完成相關訓練課程，並將相關知識能力應用至農業、水利工程與水資源管理業務，確實達到理論與技術應用並重之培訓目的。

本次召訓班別為 18 年來首次辦理之單位首長班暨業務主管班，由於研習期間較短，因此著重於遙感探測（Remote Sensing）及地理資訊系統（Geographic Information System）於農業、水資源相關領域之研究與應用介紹，並安排學員至佛羅里達州水資源相關之學校、研究機構及水管理區等進行參訪，配合重點計畫研究區域之實地觀摩，促使學員全盤瞭解遙測及高科技在水資源領域上之應用，同時增進台美兩地水利工作者於科研、工程、技術、行政等方面之合作與交流，以提昇我國水資源科學管理之能力。

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
圖目錄.....	III
表目錄.....	IV
誌 謝.....	V
第一章 前言.....	1
1-1 緣起.....	1
1-2 研習目的及內容.....	1
1-3 研習團隊組成.....	2
第二章 研習與參訪活動.....	5
2-1 佛羅里達州立大學 (Day 1)	5
2-2 佛羅里達大學 (Day 2)	8
2-3 佩恩斯草原恢復計畫 (Day 2)	13
2-4 聖瓊斯河水管理區 (Day 3)	16
2-5 巴克曼船閘與羅德曼水壩 (Day3)	20
2-6 Water Conserv II 水回收再利用計畫 (Day 4)	23
2-7 柑橘研究及教育中心 (Day 4)	28
2-8 南佛羅里達水管理區 (Day 5)	31
2-9 地下水補注及回用計畫試驗站 (Day 5)	34
2-10 暴雨處理區抽水站 (Day 5)	37
2-11 沼澤地野生動物管理區 (Day 6)	41
第三章 結論與建議.....	43
3-1 結論.....	43
3-2 建議.....	44

圖目錄

圖 1 研習及參訪地點總覽.....	2
圖 2 地面塌陷實驗實驗解說.....	6
圖 3 ArcNLET 軟件展示介面.....	7
圖 4 本班學員與佛州大、佛州環保局接待人員合照	7
圖 5 UF/IFAS 相關設施地理位置	8
圖 6 本班學員與佛大工作人員合照.....	10
圖 7 包裝工程實驗室.....	11
圖 8 現場自動化實驗室 - 自動辨識除草機研發介紹	11
圖 9 遙測中心研究成果介紹.....	12
圖 10 環境奈米科技實驗室研究成果介紹.....	12
圖 11 人工濕地及草原恢復區範圍.....	13
圖 12 佩恩斯草原恢復計畫介紹.....	14
圖 13 人工濕地進流口設置之沉砂池及垃圾清除設施	14
圖 14 薄層流分配渠道（近）及阿拉楚阿渠道舊址（遠）	15
圖 15 人工濕地景觀.....	15
圖 16 佛羅里達州水管理區分布情形.....	16
圖 17 聖瓊斯河水管理區業務介紹.....	19
圖 18 聖瓊斯河水管理區供水計畫區域.....	19
圖 19 跨佛羅里達駁船運河計畫.....	20
圖 20 巴克曼船閘管制區.....	22
圖 21 羅德曼水壩溢洪道閘門.....	22
圖 22 Water Conserv II 配水中心介紹	24
圖 23 Water Conserv II 計畫範圍	24
圖 24 Water Conserv II 水回收再利用過程	25
圖 25 回收水經由快速滲透盆地補注地下含水層	26
圖 26 Water Conserv II RIB Site 4 空中鳥瞰情形	27
圖 27 Water Conserv II RIB Site 4 現地觀摩情形	27

圖 28 柑橘加工實驗工廠導覽.....	29
圖 29 柑橘自動採收機.....	29
圖 30 高溫水霧設備研發介紹.....	30
圖 31 空載感測系統研發介紹.....	30
圖 32 南佛羅里達水管理區業務介紹.....	31
圖 33 佛羅里達中南部既有排水及水資源恢復計畫	33
圖 34 ASR 試驗站介紹	35
圖 35 ASR 試驗站原水過濾設備	36
圖 36 ASR 試驗站原水殺菌設備	36
圖 37 奧基喬比湖南方 STA 建置情形	38
圖 38 S-319 抽水站現地觀摩情形	38
圖 39 S-319 抽水站控制室	39
圖 40 S-5A 抽水站柴油引擎機組	39
圖 41 S-5A 抽水站攔汙閘與自動清汙設備	40
圖 42 南佛羅里達水管理區洪水控制中心.....	40
圖 43 沼澤地野生動物管理區自然景觀.....	42
圖 44 沼澤地代表性動物—短吻鱷.....	42

表目錄

表 1 104 年度研習及參訪行程.....	3
表 2 研習班學員名冊.....	4

誌 謝

本次赴美研習能順利完成訓練，首先感謝主辦單位－國際灌溉排水協會中華民國國家委員會之悉心安排，以及行政院農業委員會、經濟部水利署、各農田水利會、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，讓學員們有如此珍貴之機會可至國外學習專業知識並增廣見聞。更感謝農工中心譚智宏博士及許香儀助理研究員，針對本研習班規劃國內課程，使學員於出國前先能瞭解遙測技術之基礎知識及應用，同時協助出國行程之聯繫與安排，使研習班能在非常短促之時間內順利成行。

其次感謝佛羅里達大學農業及生物工程學系遙測中心，尤其是主任賈吉博士（Dr. Jasmeet Judge）對課程規劃之用心，及對台美雙方遙測技術交流與推動所做之努力，是課程一年比一年豐富與充實之推手。而前遙測中心主任施孫富教授夫人－施彭文富女士不改對歷屆研習班學員之關懷與鼓勵，所有學員亦銘感在心。除此之外，更要感謝遙測中心博士後研究員劉邦偉博士全程協助翻譯，並提供當地生活協助與經驗分享，化解異地生活之陌生感，同時感謝佛大農業及生物工程學系普雷斯頓先生（Mr. Daniel Preston）提供之交通及課程協助，使研習得以順利完成。在此全體學員謹向所有協助本次研習課程之專家先進，致上誠摯之謝意。

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台美合作之水利遙測技術人才培訓計畫，並促成國際灌溉排水協會中華民國國家委員會（ICID-Chinese Taipei Committee, CTCID）與佛羅里達大學糧食及農業科學研究所（Institute of Food and Agricultural Sciences, UF/IFAS）於民國 86 年簽訂協議並成立「中華民國基金」，開始台美雙方遙測應用及人才培訓工作。該基金係由經濟部水資源局（現為經濟部水利署）、桃園農田水利會、台中農田水利會、高雄農田水利會及台北市七星農田水利會等出資壹佰萬零壹美元，並獲佛羅里達州政府信託基金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。

水利遙測技術人才培訓計畫係運用基金投資收益及孳息，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之能力，厚植高科技在水利上之深耕與發展。該培訓計畫分為單位首長、業務主管與技術人員等類別，每年由各單位推薦人選，經諮詢委員會議遴選認可後前往佛羅里達大學遙測中心進行研習訓練課程。

1-2 研習目的及內容

本次研習目的在於實地瞭解美國目前遙感探測（Remote Sensing, RS）技術及地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）於農業、水資源管理及環境保育之應用成果，同時增進兩國間之技術交流與國民外交之推展。課程安排為期一週（2015 年

5月4日至5月9日)，研習內容除相關單位之參訪、研究成果及業務介紹外，主要為現場之實務觀摩，其行程詳見表1。主要參訪對象包括佛羅里達州之水資源管理機構、學術單位等，參訪單位與現地觀摩地點之相關地理位置詳見圖1。

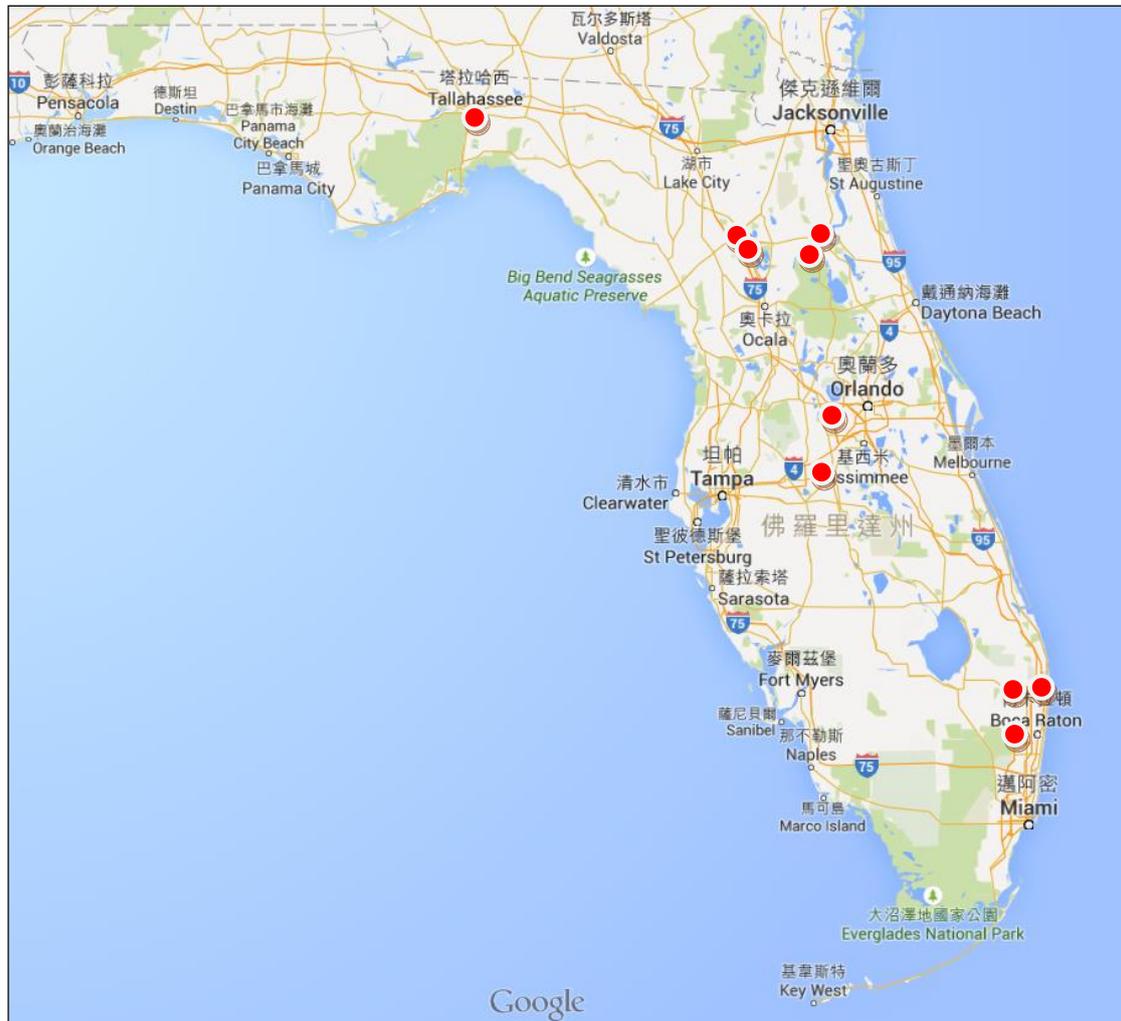


圖 1 研習及參訪地點總覽

1-3 研習團隊組成

本年度首次辦理單位首長班及業務主管班，由經濟部水利署、臺灣桃園農田水利會、臺灣石門農田水利會、臺灣嘉南農田水利會、臺灣屏東農田水利會、台北市七星農田水利會、台北市

瑠公農田水利會、農業工程研究中心、淡江大學水資源管理與政策研究中心等單位，加上施彭文富女士捐贈學術交流獎學金資助學生，共薦派十二名人員參與訓練，經國際灌溉排水協會中華民國國家委員會遙測諮詢委員會議核定，並於國內研習遙感探測與地理資訊系統基本觀念後，於5月2日至5月12日派赴美國進行為期一週之研習觀摩與參訪，本研習團隊成員詳如表2。

表 1 104 年度研習及參訪行程

日期	研習及參訪行程
5月4日 星期一	<ul style="list-style-type: none"> ● 佛羅里達州立大學校園巡禮 ● 參訪地球物理流體力學研究所 <ul style="list-style-type: none"> － 地面塌陷實驗及地下水流觀測實驗介紹 ● 參訪科學計算學系 <ul style="list-style-type: none"> － 氮負荷推估工具 (ArcNLET) 介紹
5月5日 星期二	<ul style="list-style-type: none"> ● 參訪佛羅里達大學農業及生物工程學系、遙測中心 <ul style="list-style-type: none"> － 農業及生物工程學系介紹 － 遙測中心介紹 － 農業及生物工程學系相關實驗室參觀 ● 佛羅里達大學校園巡禮 ● 佩恩斯草原復育計畫 (Paynes Prairie Restoration) 現地觀摩
5月6日 星期三	<ul style="list-style-type: none"> ● 參訪聖瓊斯河水管理區 (SJRWMD) <ul style="list-style-type: none"> － 聖瓊斯河水管理區介紹 － 巴克曼船閘現地觀摩 － 羅德曼水壩現地觀摩
5月7日 星期四	<ul style="list-style-type: none"> ● 水回收再利用計畫現地觀摩 <ul style="list-style-type: none"> － Water Conserv II 計畫介紹 － 快速滲漏盆地現地觀摩 ● 參訪柑橘研究及教育中心 <ul style="list-style-type: none"> － 高光譜檢測介紹 － 柑橘加工實驗工廠及實驗室參觀
5月8日 星期五	<ul style="list-style-type: none"> ● 參訪南佛羅里達水管理區 (SFWMD) <ul style="list-style-type: none"> － 南佛羅里達水管理區介紹 － 地下水補注及回用試驗計畫現地觀摩 － 暴雨處理區抽水站現地觀摩
5月9日 星期六	<ul style="list-style-type: none"> ● 沼澤地野生動物管理區導覽

表 2 研習班學員名冊

姓 名	服務機關	職 稱	照 片
黃建旺 (班長)	屏東農田水利會	總幹事	
林昆賢 (副班長)	石門農田水利會	總幹事	
汪平洋	經濟部水利署 中區水資源局	正工程司 兼課長	
周朝枝	七星農田水利會	管理組長	
陳秀雄	瑠公農田水利會	管理組長	
黃華煌	桃園農田水利會	財務組長	
曾憲明	桃園農田水利會	輔導室主任	
許育榮	嘉南農田水利會	二等 助理管理師	
譚智宏	農業工程研究中心	研究員	
何琮裕	淡江大學水資源管理 與政策研究中心	高級 研究專員	
沈佳慧	臺灣大學生物環境 系統工程學系	學生	
陳依蓮	臺灣大學生物環境 系統工程學系	學生	

第二章 研習與參訪活動

2-1 佛羅里達州立大學 (Day 1)

佛羅里達州立大學 (Florida State University, FSU) 創設於 1851 年，為美國著名大學之一，主要校區位於佛州北部的塔拉哈西 (Tallahassee) 市，為一所授予博士學位並有醫學專業的研究型大學。該校擁有 16 個學院及 39 所研究中心，其藝術學程之舞蹈、電影、音樂及戲劇於全球排名數一數二。由政府資助之實驗室及研究中心，亦使佛羅里達州立大學於研究及其產業應用位於頂尖地位。

本班學員於 5 月 4 日上午抵達佛羅里達州立大學地球物理流體力學研究所 (Geophysical Fluid Dynamics Institute, GFDI)，由所長史匹爾 (Kevin Speer) 博士及葉明博士等人負責接待，史匹爾博士簡短介紹該所歷史和現有研究發展情形。GFDI 設立於 1967 年，以佛州大藝術及科學學院為基礎，為一跨學科之研究所，其成員主要來自學校 6 個科系及 3 個中心，以共同參與合作計畫之研究，例如海洋大氣交換、地下水流反應運移模擬、南極洲環流的海洋混合等研究領域。

隨後葉明博士及前佛州環保局 (Florida Department of Environmental Protection, FDEP) 李子方博士為學員介紹地面塌陷實驗，並進一步解說佛羅里達州沉洞 (Sinkhole) 形成原因 (圖 2)。佛羅里達州大部分地區屬於喀斯特地形，其地下岩層主要由石灰岩組成，由於石灰岩遇酸易遭侵蝕溶解，當弱酸性的雨水從地表滲進地下，植被及地表中的有機物質會令這些弱酸變成強酸，逐漸將石灰岩層侵蝕成小洞。當空洞逐漸擴大，其頂部無法支撐上方土層重量時，塌陷後便形成沉洞之特殊地理景觀。葉明博士的學生卡斯卓 (Roger Benito Pacheco Castro) 並展示地下水

流量觀測實驗，及透過實驗－建模－現地驗證等方式所進行之地下水流相關調查與研究，學員並就地面沉降和地下水污染問題進行提問及討論。

隨後學員訪問科學計算學系（Department of Scientific Computing），由葉明博士介紹他與李子方博士合作開發的電腦軟體 ArcNLET（ArcGIS-based Nitrogen Load Estimation Toolkit），及其應用於化糞池系統至地表水體之氮負荷模擬情形，在維持一定精度及減少運算耗時之要求下，利用簡化模式所獲致之推估成果，可提供環保單位作為汙染防治計畫推動時之參考依據（圖 3）。目前該軟體亦可於網路上免費下載作為教學使用（<http://people.sc.fsu.edu/~mye/ArcNLET>）。最後李子方博士提到人類對待自然界「水資源」的歷史關係，從「開發、利用」到「調度、保量」，到近 50 年的「生態、環保、保質」為重點的普遍轉化規律，其觀點深獲與會者認同，亦值得台灣未來水資源管理工作之借鏡（圖 4）。



圖 2 地面塌陷實驗實驗解說

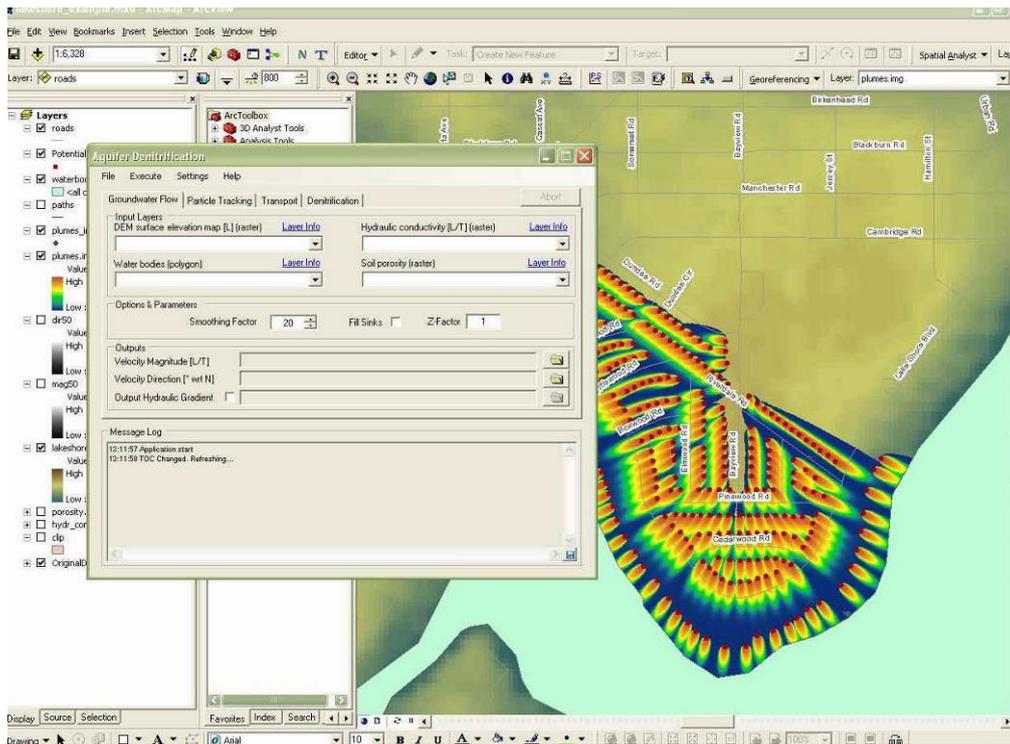


圖 3 ArcNLET 軟件展示介面



圖 4 本班學員與佛州大、佛州環保局接待人員合照

2-2 佛羅里達大學 (Day 2)

佛羅里達大學 (University of Florida, UF) 位於佛州中北部蓋恩斯維爾 (Gainesville) 市，為佛羅里達州最具盛名與規模最大之綜合、研究型大學，其建校最早可追溯至 1853 年，目前共有 16 個學院及超過 150 個研究機構，該校在國際教育、研究及推廣服務的既定方案上具有悠久歷史，特別是農業研究領域上相當知名，其與政府合作成立之糧食及農業科學研究所 (Institute of Food and Agricultural Sciences, IFAS) 擁有遍布佛州的設施 (圖 5)，提供支持佛州農業、自然資源及相關食品行業的研發工作，對美國農業發展貢獻良多。

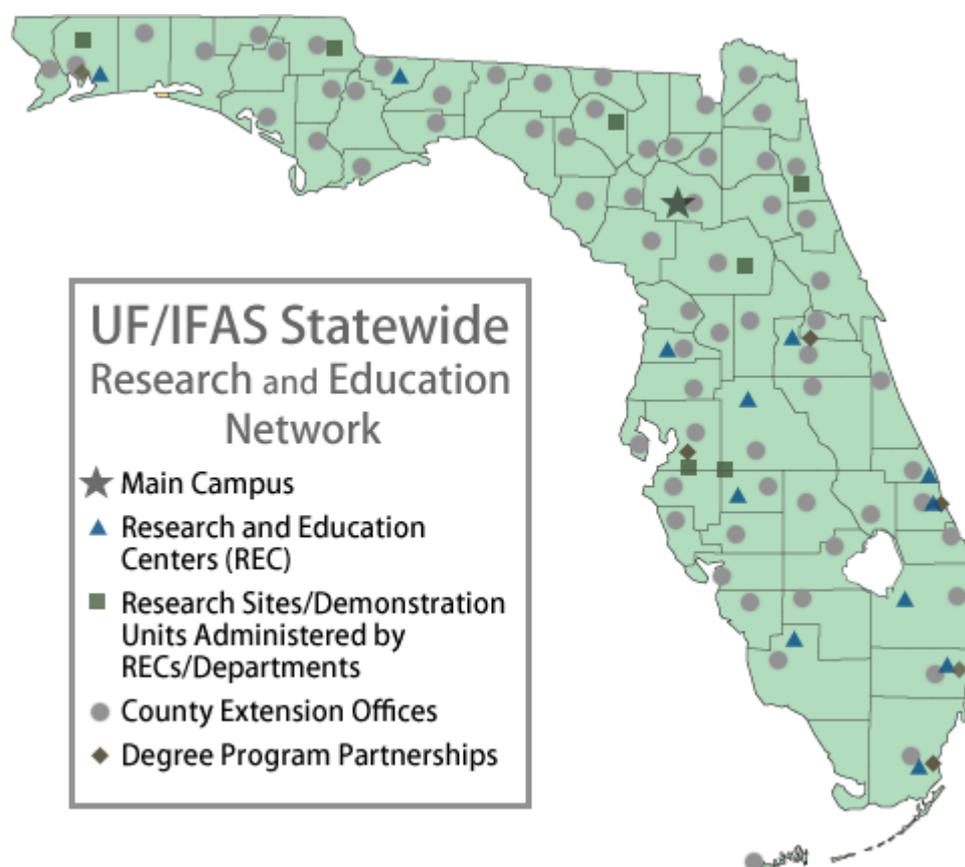


圖 5 UF/IFAS 相關設施地理位置

本班學員於 5 月 5 日上午抵達佛羅里達大學農業及生物工程學系 (Department of Agricultural and Biological Engineering)，與系主任哈曼 (Dorota Haman) 博士、遙測中心 (Center for Remote Sensing) 主任賈吉 (Jasmeet Judge) 博士及施彭文富女士會面後 (圖 6)，由哈曼博士及賈吉博士分別介紹該系教學研究發展情形及遙測中心概況：

- (1) 農業及生物工程學系：成立於 1923 年，其教職員工約有 60 人，旨在培養農業、生物、土地及水資源相關之工程應用、科學及管理專業人才。主修學程為生物工程及農業管理，副修為精密農業及包裝等。近年來配合佛州農業需求，在農產包裝、生質燃料、精密農業及生物探測等研究領域均有傑出之成就。
- (2) 遙測中心：其前身為佛大農業及生物工程學系遙測應用實驗室 (Remote Sensing Applications Laboratory)，1998 年在已故教授施孫富博士的奔走下，作為 IFAS 機構而設立了遙測中心，其營運經費主要來自國際灌溉排水協會中華民國國家委員會 (Chinese Taipei Committee, International Commission on Irrigation and Drainage, ICID/CTC) 提供之中華民國基金 (Taiwan R.O.C. Fund) 及州政府配合款。由於中心具有教學與研究雙重任務，包括應用現有遙測、地理資訊系統及全球定位系統技術於水資源、農業及自然資源方面，亟需跨學科領域合作，因此近年來亦積極建立與校內其他科系遙測相關教授、業界、政府機構及遙測領域專家等之溝通與諮詢管道。目前該中心已完成 191 位台灣學員之培訓，並將相關知識能力應用至農業、水利工程與水資源管理業務，確實達到理論與技術應用並重之培訓目的。

簡報結束後，系主任及遙測中心劉邦偉博士亦陪同參觀系上之包裝工程實驗室、灌溉效率及節水實驗室、現場自動化實驗室、環境奈米科技實驗室及遙測中心（圖 7~圖 10）。

此次參訪過程中，賈吉博士亦針對台灣農業及水資源發展課題安排與學員們做較深入之對談，包含我國無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）應用情形及休耕田區查核方式等，並表示除每年短期密集課程外，希望能與台灣學生及科學家建立更強的交流計畫，同時拓展水資源有效管理之合作研究項目。

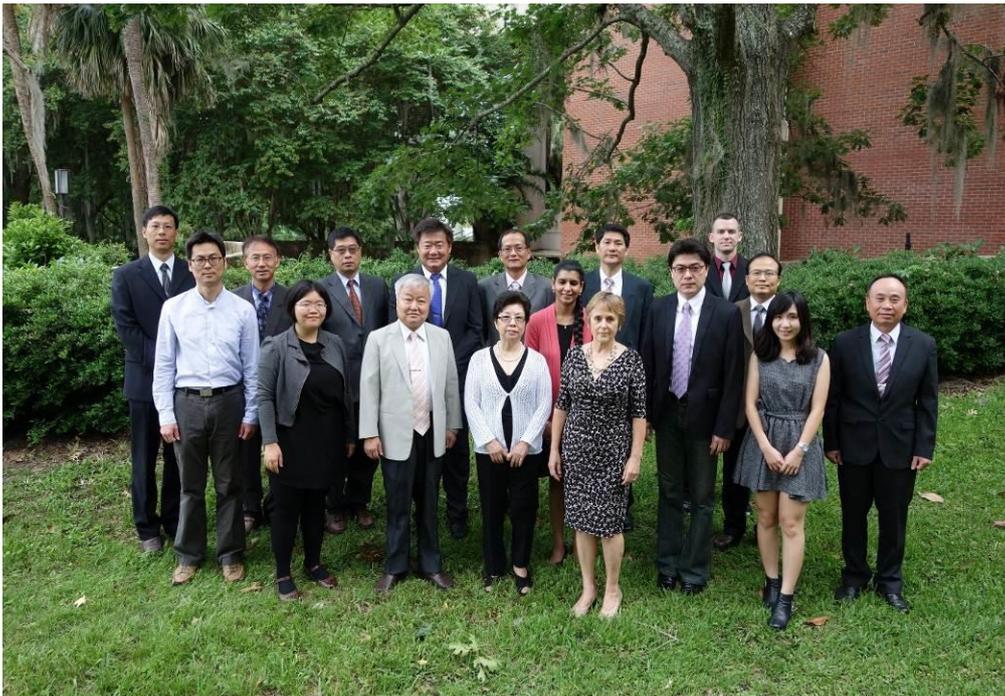


圖 6 本班學員與佛大工作人員合照



圖 7 包裝工程實驗室研究項目介紹

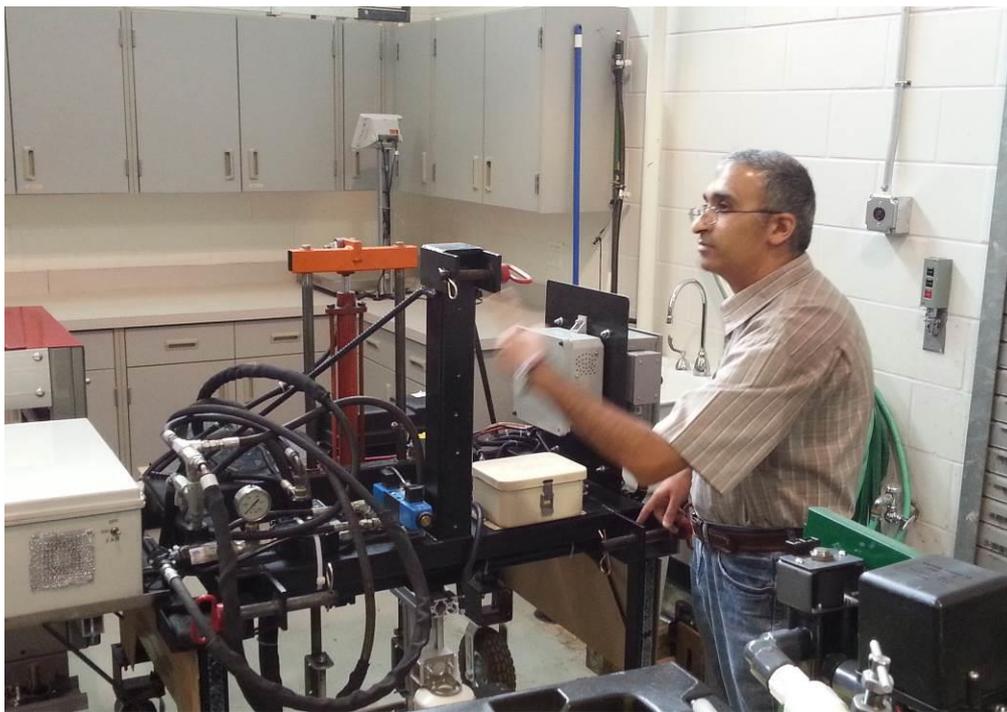


圖 8 現場自動化實驗室 - 自動辨識除草機研發介紹



圖 9 遙測中心研究成果介紹

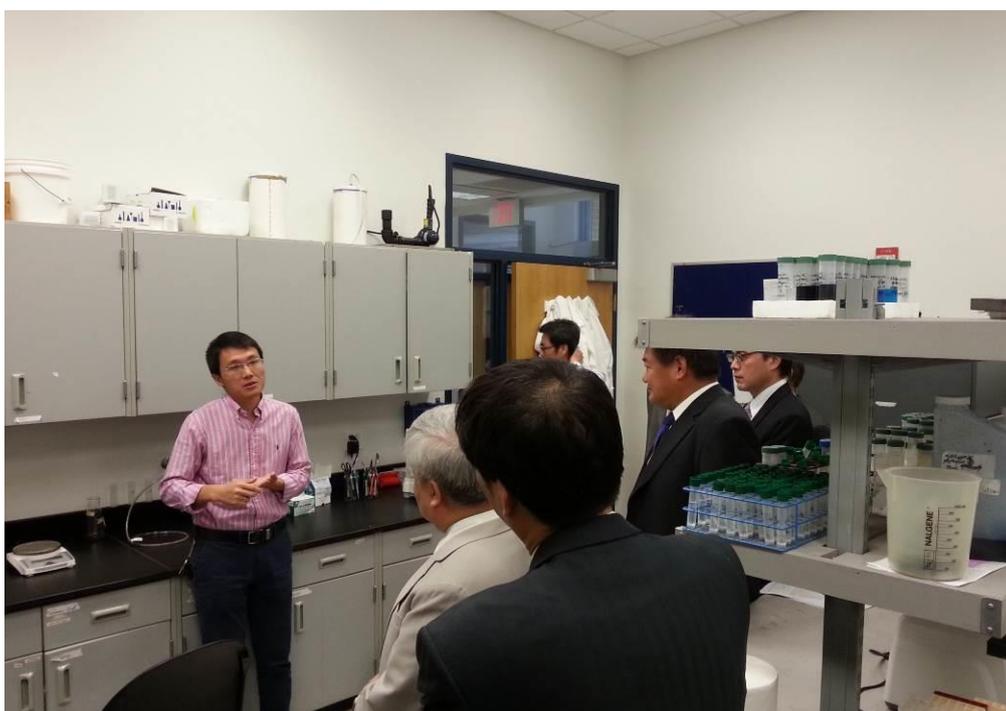


圖 10 環境奈米科技實驗室研究成果介紹

2-3 佩恩斯草原恢復計畫 (Day 2)

計畫地點位於蓋恩斯維爾南方的佩恩斯草原保護區州立公園內(圖 11),係由蓋恩斯維爾地區公用事業(Gainesville Regional Utilities, GRU)與市政府工務部門共同推動。現地觀摩行程安排參觀計畫內之人工濕地,學員抵達甜水濕地公園(Sweetwater Wetlands Park)後,由皮爾森(Stewart Pearson)先生簡介計畫內容並帶領參觀園區內重要設施(圖 12~圖 15)。

皮爾森先生指出,由於過去富含養分的水自蓋恩斯維爾市直接由人工渠道排至阿拉楚阿沉洞,而自然草原沼澤大部分區域也因渠道排水而乾涸,為改善阿拉楚阿沉洞(Alachua Sink)水質並恢復州立公園內超過 1,300 英畝的濕地環境,整體計畫內容包括改善 GRU 的主要街道水回收設施及建設 125 英畝的人工濕地。這些改善將重新建立濕地自然淨化機制,透過進出流量的控制及薄層流(Sheetflow)形式增加水流滯留時間,一方面降低污水處理費用,另一方面恢復已排乾之濕地,自然淨化後的水最後流至佩恩斯草原(Paynes Prairie)及阿拉楚阿沉洞,可保護佛羅里達含水層及野生動物棲息地,並提供公眾休憩及野外學習之機會。

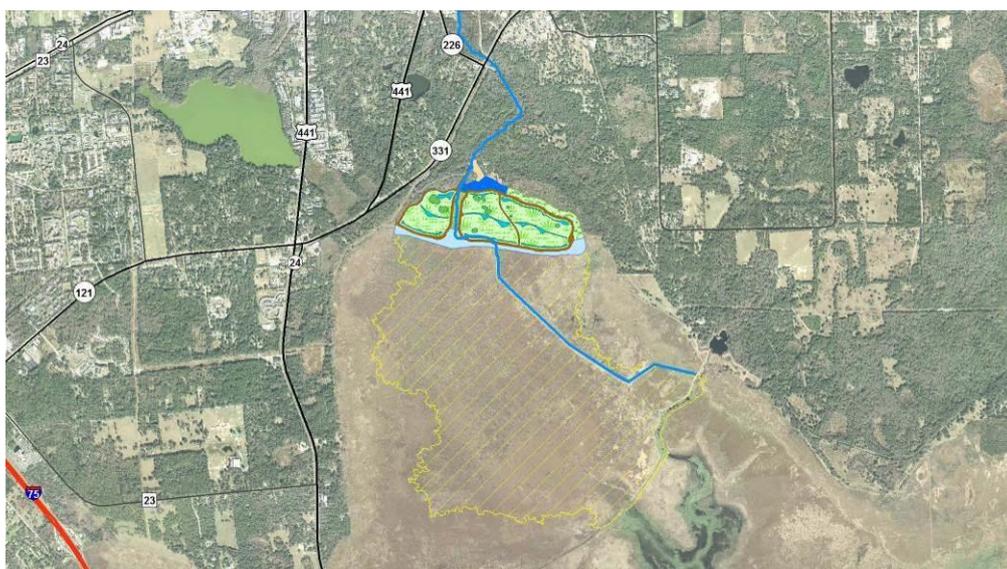


圖 11 人工濕地及草原恢復區範圍



圖 12 佩恩斯草原恢復計畫介紹



圖 13 人工濕地進流口設置之沉砂池及垃圾清除設施



圖 14 薄層流分配渠道（近）及阿拉楚阿渠道舊址（遠）



圖 15 人工濕地景觀

2-4 聖瓊斯河水管理區 (Day 3)

經由 1972 年佛州水資源法案，佛羅里達州共被劃分為 5 個水管理區 (圖 16)，用以保護及管理寶貴之水資源，其核心任務包括供水、防洪、水質及自然系統的改善等，雖為獨立機構，但其必須接受州政府及議會之監督。其中聖瓊斯河水管理區 (St. Johns River Water Management District, SJRWMD) 負責管理佛州東北部及中部偏東 18 個縣內所有或部分地區之地下水及地表水資源，管轄面積 12,283 平方英哩約佔佛州總面積的 23%。

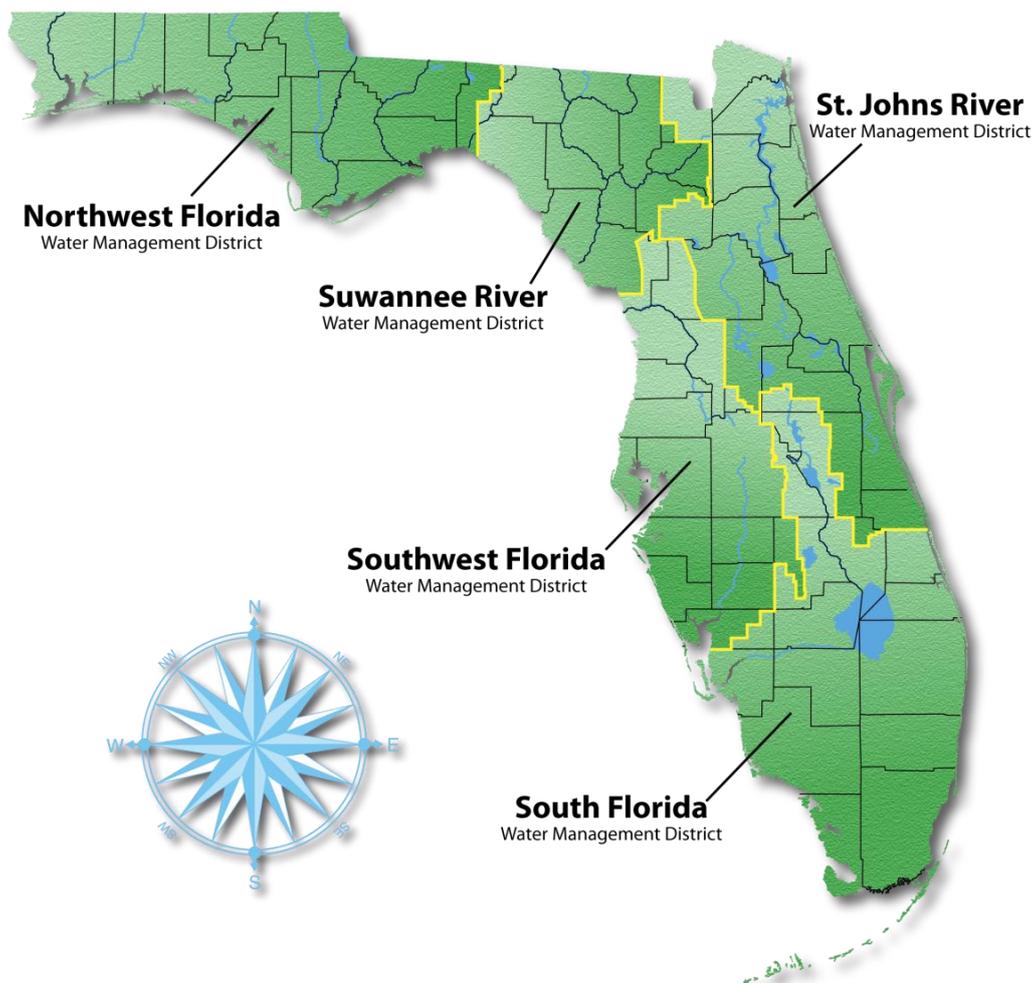


圖 16 佛羅里達州水管理區分布情形

本班學員於 5 月 6 日抵達聖瓊斯河水管理區位於佛州東北部帕拉特卡 (Palatka) 市的總部，由公共工程局局長華特 (David Watt) 先生、黃清次博士及已退休的戴嘉雄博士負責接待，首先由華特局長簡單介紹公共工程局業務概況，該局任務為滿足廣大客戶需求，提供優良的工程執行、運營和維護服務，目前主要負責防洪、水質提升及環境保護等相關工程計畫之執行。隨後由黃博士介紹水管理區地理位置、任務及供水計畫等 (圖 17)，使學員對於該局之運作方式能有更進一步之瞭解，提供我國水資源管理之實務經驗參考。

聖瓊斯河水管理區轄區內最主要之河川即為聖瓊斯河，全長約 310 英哩，為佛羅里達州最長之河川，其由南往北流入大西洋，是美國少數南北流向的河川之一。該河流經區域地勢平坦，河源與入海口高程差約 30 英尺，平均河道坡降約 1:54,000，因此流速甚緩，被當地人稱為「懶惰河」。由於河川自淨能力低導致水質不佳，故該區供水超過 90% 來自佛羅里達含水層系統，而佛州龐大的湖泊與濕地具有地下水補注、汙水處理及防洪功能，因此湖泊與濕地保育亦為區域管理之重要工作。值得注意的是，水管理區亦透過購買、租賃及管理土地的方式來達成保存與保護水資源之目標，取得這些土地可以保護植物與野生動物的棲息地，並成為市民休閒、環境教育的場所。多年來大部分購買土地的資金來自立法機關所制定的方案。自 2000 年開始，土地的購買透過佛羅里達永續方案 (Florida Forever Program)，該方案還資助環境恢復及水資源開發。

在保護環境的同時，確保充足與持續的供水以滿足未來需求亦為水管理區之主要任務。目前聖瓊斯河水管理區內可劃分為 5 個供水計畫區域 (圖 18)，且部分區域正與其他水管理區及政府部門進行合作，以佛羅里達州中部用水計畫 (Central Florida Water Initiative, CFWI) 為例，為該州最大的三個水管理區、環保部門、

農業及消費者服務部門、水利公用事業、環保團體、商業機構、農業社區及其他利益相關者共同供水規劃之成果。其指導原則包括：

- (1) 在不引起水資源及相關自然系統產生不可接受危害之使用情況下，確認傳統地下水源可持續供給之水量。
- (2) 制定策略以滿足超過傳統地下水源可持續供給之用水需求。
- (3) 為三個水管理區建立一致的規則及章程，滿足其共同目標，貫徹佛羅里達中部用水計畫的結果。

目前該地區平均用水量為每日 8 億加侖，預估 2035 年每日大約需要 3 億加侖的額外用水，針對未來用水可能形成之缺口，除了由傳統地下水源供應外，黃博士指出將透過節約用水計畫要求用水許可持有人盡可能有效地使用水源，而供水事業則需實施節約費率結構，執行用水稽查確保系統效率，並發展再生水使用計畫。另一方面則由節約用水教育計畫提高住宅及商業開發區之用水效率，同時推動青少年之教育計畫，由子女影響父母，促進家戶節約用水。除此之外，開發地表水及雨水貯留等亦為未來增加替代水源供應之計畫選項。

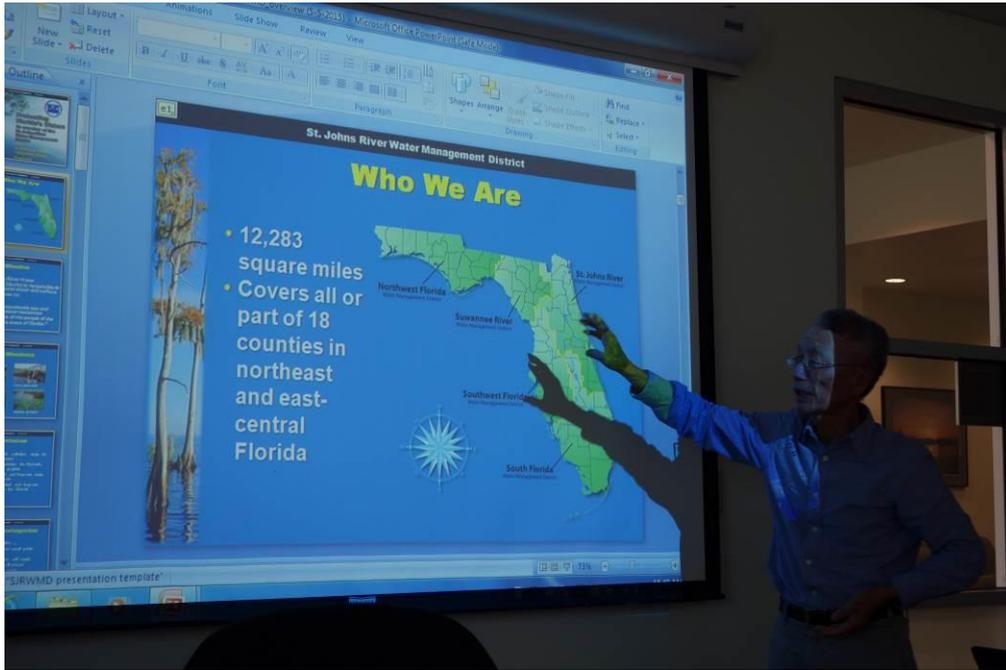


圖 17 聖瓊斯河水管理區業務介紹

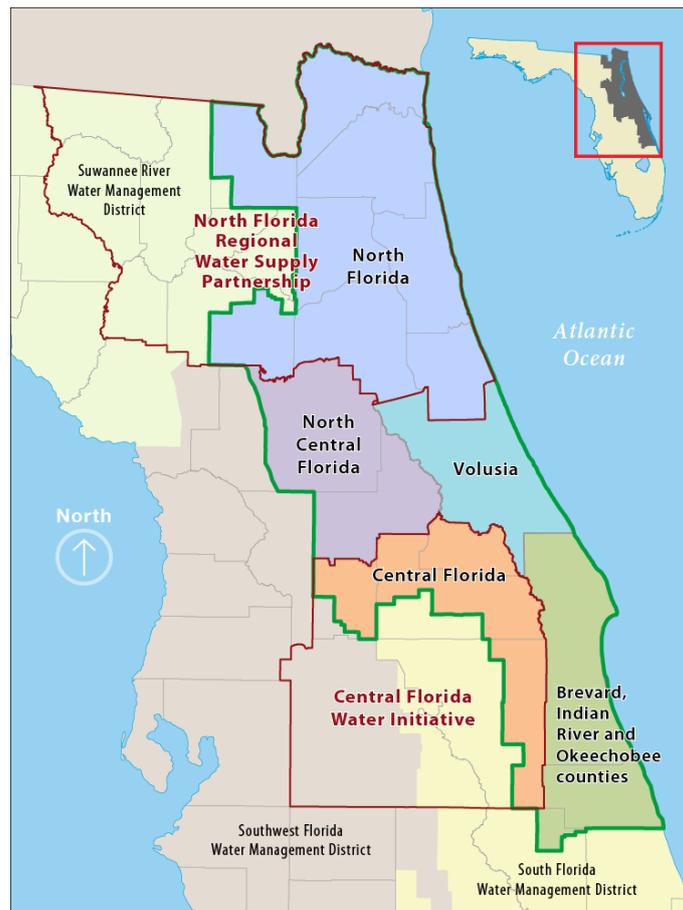


圖 18 聖瓊斯河水管理區供水計畫區域

2-5 巴克曼船閘與羅德曼水壩 (Day3)

5月6日下午由戴嘉雄博士帶領全體學員至聖瓊斯河水管理區轄內之巴克曼船閘 (Buckman Lock) 及羅德曼水壩 (Rodman Dam) 參觀，二處工程皆屬跨佛羅里達駁船運河計畫之一部分(圖19)，該計畫原規劃連接墨西哥灣及大西洋，作為橫跨佛羅里達駁船運輸之用，基於環保考量計畫目前已被中止，完工段並轉變為綠道並作為休閒及保育用途。

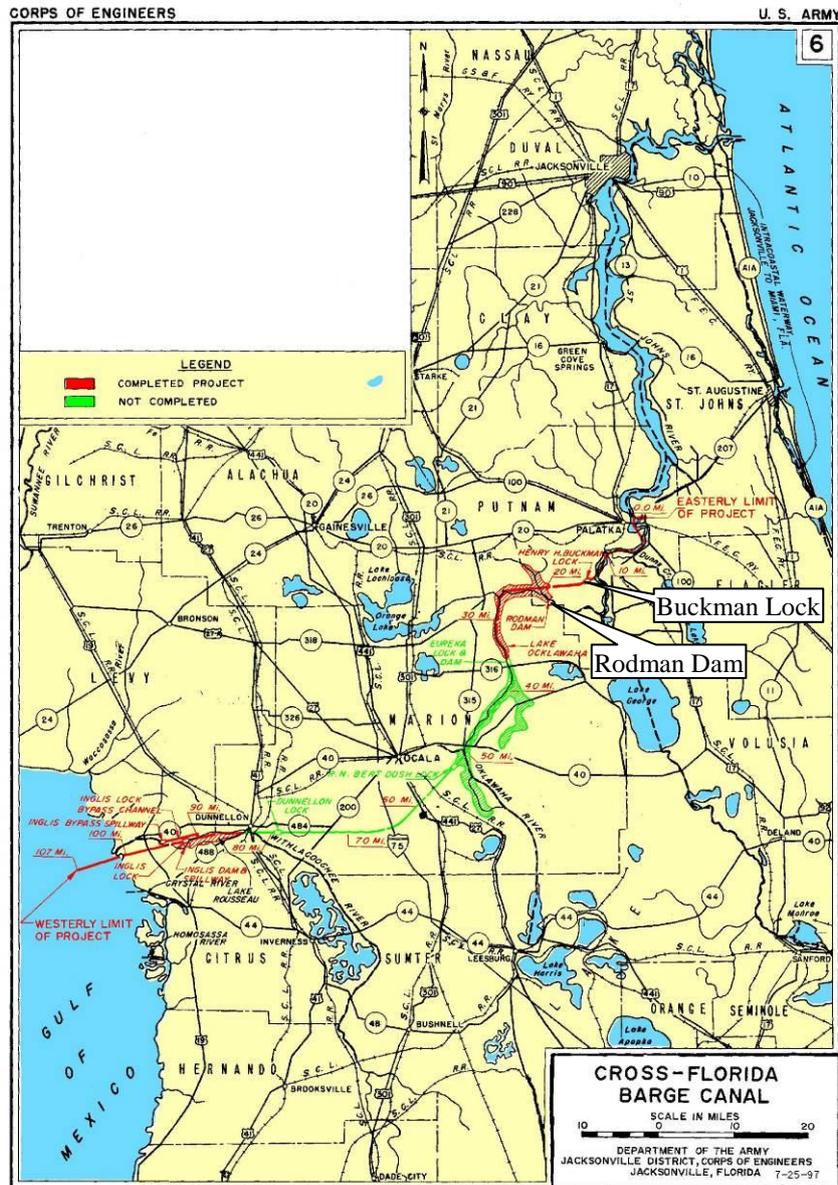


圖 19 跨佛羅里達駁船運河計畫

巴克曼船閘（圖 20）長度 600 英尺、寬度 84 英尺、高度 14 英尺，上游側混凝土底床上緣的海拔高度為 6 英尺，其兩側並與 7 英尺長、12 英尺深的渠道銜接。自聖瓊斯河至羅德曼水庫，駁船抬升至約海拔高度 18 英尺，目前仍有少數船隻會利用該設施，設施的操作及維護工作係在佛州環保局綠道及步道辦公室的指導下，由州政府僱員執行。

羅德曼水庫蓄水範圍約為 9,600 英畝，水位維持在 18 英尺左右，係由 7,200 英尺的土石壩跨越攔蓄聖瓊斯河支流 Ocklawaha 河，溢洪道具有 4 個閘門（圖 21）。該水壩雖屬低矮之水利建造物，但仍引起環保生態上之爭議，在反對運動長期抗爭下的結果，興建完成後僅保留作為防洪操作之用。由於聖瓊斯河水管理區之妥善維護，水庫已形成一複雜的生態系統，提供多種原生植物及野生動物棲息繁殖，其中包含許多瀕危物種，被佛州魚類及野生動物委員會認定為佛羅里達州最富生態的湖泊，對水管理區的復育努力給予相當的肯定。

上述計畫爭議為美國在經濟開發利用與生態環境保育上之典型案例，由於公民意識的抬頭與環保團體的努力，迫使開發計畫終止，政府對於國土利用觀點也從過去的鼓勵開發，到目前對環境保護及復育的重視，許多環境復育的成功案例，相當值得國內參考。



圖 20 巴克曼船閘管制區



圖 21 羅德曼水壩溢洪道閘門

2-6 Water Conserv II 水回收再利用計畫 (Day 4)

Water Conserv II 為世界上相同類型的水回收再利用計畫中規模最大的一個，鑒於擴大汗水處理服務的需求及州政府規定消減排放至地表水體的流量，奧蘭多 (Orlando) 市及橘 (Orange) 縣建立長期的合作關係並發展創新的水回收再利用計畫。經過漫長及詳細的檢討後，選擇結合兩個最具前景的計畫，Water Conserv II 因應而生。該計畫工程雖由奧蘭多市及橘縣共同出資建設，但後續營運係委由 Woodard & Curran 公司代為操作。

本班學員於 5 月 7 日上午抵達位於奧蘭多市西邊約 20 英哩處之配水中心 (Water Conserv II Distribution Center)，由操作及管理部門的副總裁克勞斯 (Phillip Cross) 先生負責接待及介紹 (圖 22)，克勞斯先生指出該計畫為世界知名的灌溉及快速滲透盆地 (Rapid Infiltration Basins, RIBs) 水再利用計畫，結合農業灌溉及地下含水層補注功能，為佛州第一個被允許利用回收水 (Reclaimed Water) 灌溉作物生產供人類消費的計畫 (圖 23)。主要重點在於農業灌溉，然而當日流量超過灌溉需求或於潮濕天氣期間，則利用 RIBs 補注佛州主要飲用水源 - 佛羅里達含水層。計畫的回收水滿足 FDEP 公眾取水再利用標準，並允許於所有公眾取水點使用，包含住宅及高爾夫球場、糧食作物、樹木及景觀苗圃、林場、牧場、土壤水泥生產，亦可提供消防使用。

計畫中回收水係由奧蘭多市的 McLeod Road 水回收廠及橘縣的南區水回收廠輸送至配水中心，接著通過配水網路分配給客戶用於灌溉或引入 RIBs (圖 24)，整個過程經由配水中心最先進的管理與數據採集計算機進行監控。除回收水系統外，另有 25 個補充用的水井配置於配水網路中，當回收水無法滿足客戶需求時，則抽取儲存於地下含水層之水量，提供防凍及防旱所需用水。



圖 22 Water Conserv II 配水中心業務介紹

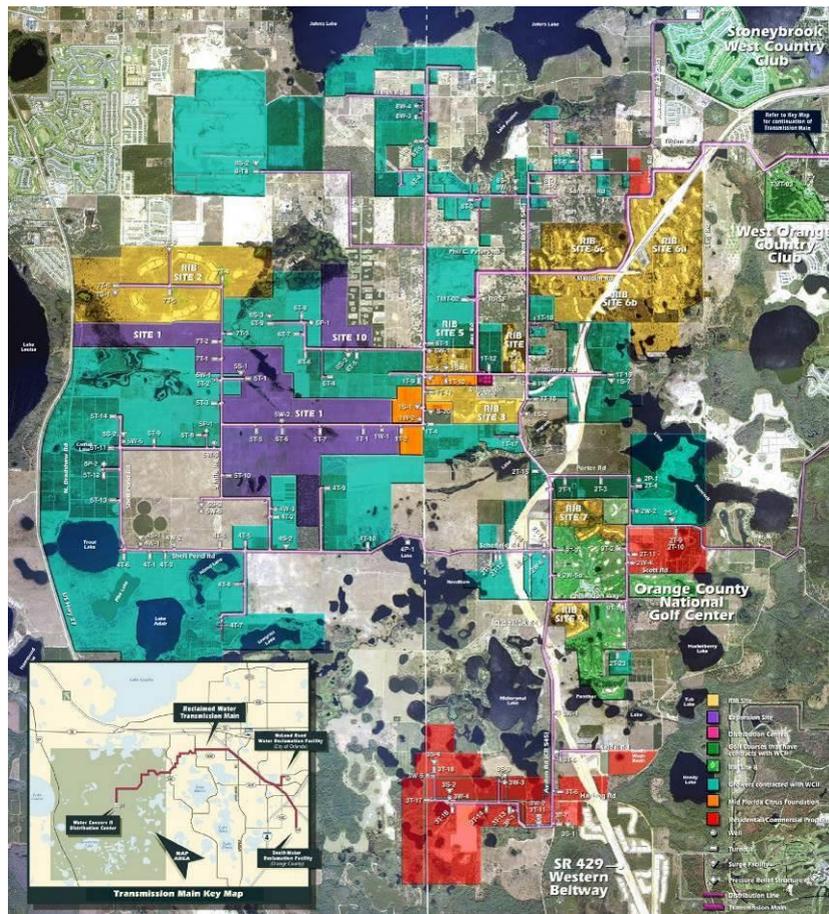


圖 23 Water Conserv II 計畫範圍

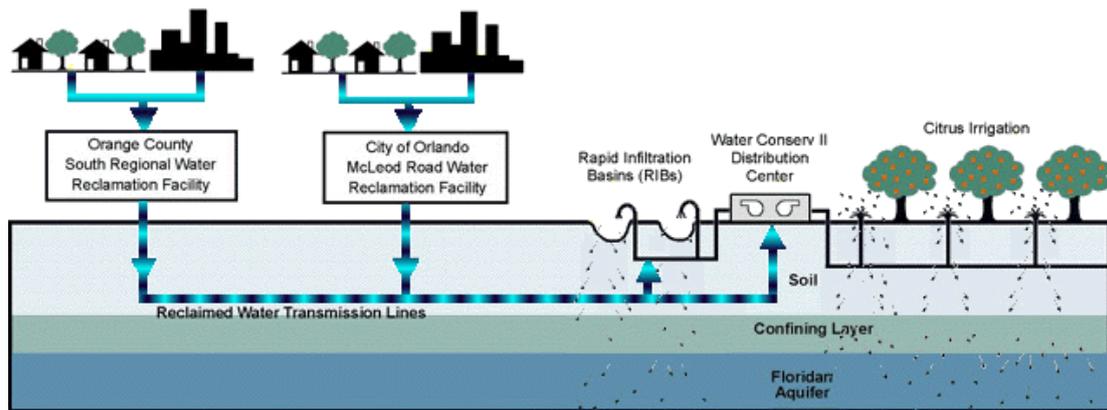


圖 24 Water Conserv II 水回收再利用過程

其中較為特別的是 RIBs 的設施運用，RIBs 由 1~5 個單元所組成，每個單元大約為 350 英尺長、150 英尺寬，它們建立在一個厚度 30~200 英尺的天然砂脊上，這些表層砂的下方是被稱為霍桑形成層（Hawthorn Formation）的半滲透黏土，霍桑形成層作為屏障，將淺層地下水及佛羅里達含水層受壓地下水隔離（圖 25），在橘縣西區到湖縣東南區一帶，表層砂中的淺層地下水在霍桑形成層上主要為橫向流動型態，一直到達允許向下流入佛羅里達含水層的低阻抗區域，進而補充飲用水供應。計畫中經水回收廠處理過的水質已可滿足大多數州與聯邦之一級及二級飲用水標準，當回收水經過表層砂層及較深層的石灰岩時其水質將持續淨化提升。

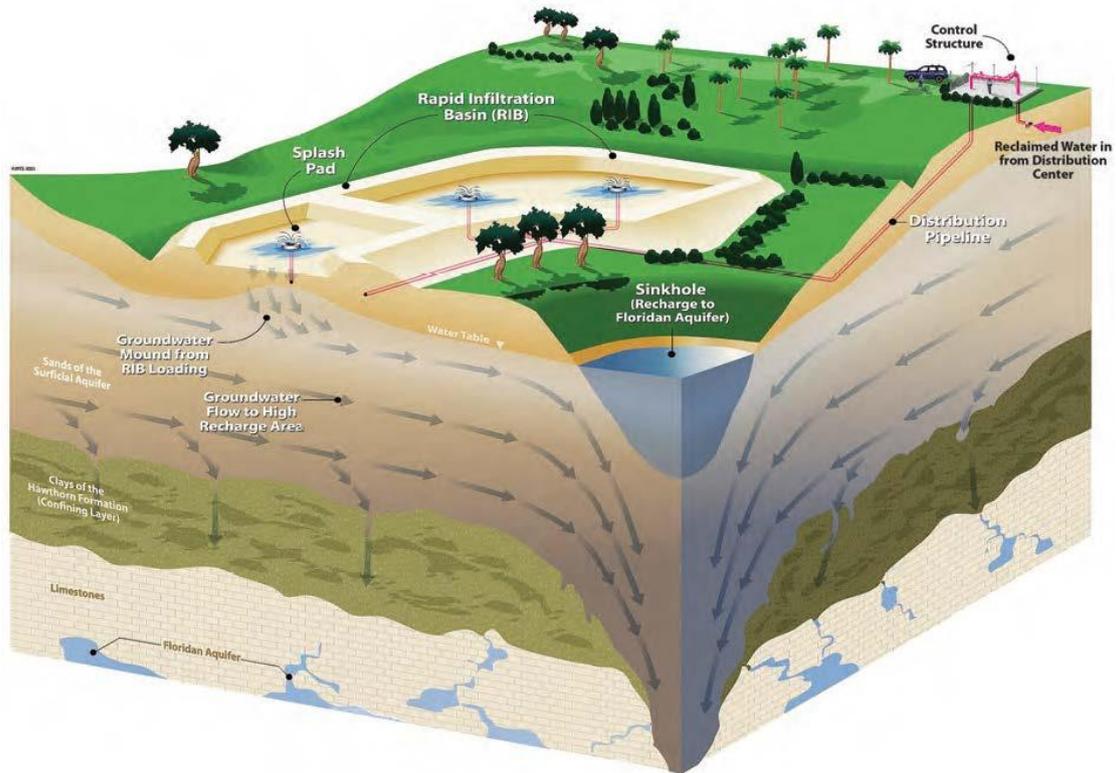


圖 25 回收水經由快速滲透盆地補注地下含水層

整體計畫以平均流量 50MGD，尖峰流量 75MGD 加以設計，現服務近 59 客戶（包含 2,631 英畝的柑橘灌溉），供水之平均流量約 35MGD，快速滲透盆地補助能力約為 43.3MGD。計畫效益包括環境效益，如減少污水排到地表增加環境負擔、減少地表水的流失、將污水變成資產的實益用途、提供灌溉用水降低抽取地下水的需要、回收水排入 RIBs 補注地下含水層；經濟效益方面，運轉及維護成本控制合宜，計畫淨現值均為正值。另該中心相當重視週遭社區環境的維護，在 RIBs 週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，也為瀕臨絕種即遭受威脅的動植物物種設立禁獵區，並保育有成。

簡報後隨即至中心鄰近之 RIB Site 4 進行現地觀摩（圖 26、圖 27），盆地表面砂質層，周圍並覆蓋橡膠層防止揚砂，從管路出水到滲透入砂層之過程相當迅速，顯示 RIBs 可確實達到補注地下水之目的。在回收水滲透完成後，將由刮土機翻動砂層曝

曬，以防含水砂粒表面生成苔菌而影響水質，觀摩過程令學員留下深刻印象。



圖 26 Water Conserv II RIB Site 4 空中鳥瞰情形



圖 27 Water Conserv II RIB Site 4 現地觀摩情形

2-7 柑橘研究及教育中心 (Day 4)

柑橘研究及教育中心 (Citrus Research and Education Center, CREC) 成立於 1917 年，在波爾克 (Polk) 縣一群柑橘種植戶募集近 14,000 美元購買土地並設立研究站後，最初只有少數佛大科學家被分派至阿爾弗雷德湖 (Lake Alfred) 的柑橘實驗站。今天柑橘研究及教育中心已擁有員工 250 人，設施包括超過 200 英畝的果園、溫室、柑橘包裝廠、柑橘加工實驗工廠及超過 40 個實驗室。該中心也是佛州柑橘部門科研成員的總部，為世界上致力於單一商品 - 柑橘最大的研究、教學及推廣場所。柑橘研究及教育中心的科學家及工程師們與柑橘產業密切互動以解決園藝、病蟲害、收穫及加工技術等應用課題。其研究領域涵蓋園藝科學、昆蟲與線蟲、農業及生物工程、食品科學、植物病理學、土壤及水科學、微生物及細胞科學、食品及資源經濟等。

本班學員抵達柑橘研究及教育中心後，首先由埃薩尼 (Reza Ehsani) 博士及博士後研究員施葉音介紹應用高光譜檢測植物病蟲害，以及熱成像檢測植物含水量之遙感技術，成果可提供農業生產管理所需之資訊，其中農業灌溉如能應用檢測結果，配合需求進行局部或變量灌溉，未來將可有效達到節水之目標。

隨後由柑橘研究及教育中心研究人員帶領學員參觀柑橘加工實驗工廠，工廠經理霍納 (Tonya Horner) 女士並詳細介紹柑橘洗選、果汁提取、殺菌、過濾及副產品加工等作業程序 (圖 28)。接著參觀大型之柑橘自動採收機 (圖 29)，由研究人員解說採收方式及操作效率，應用於柑橘採收可大幅節省人工採收成本。最後學員參觀相關實驗場所，並介紹目前研發中的柑橘黃龍病高溫水霧控制設備及 UAV 空載感測系統監測技術 (圖 30、圖 31)，進一步瞭解該中心長期於柑橘產業發展之努力及研究精神，其值得國內農業發展部門學習及參考。



圖 28 柑橘加工實驗工廠導覽



圖 29 柑橘自動採收機



圖 30 高溫水霧設備研發介紹



圖 31 空載感測系統研發介紹

2-8 南佛羅里達水管理區 (Day 5)

本班學員於5月8日上午拜訪南佛羅里達水管理區位於西棕櫚灘 (West Palm Beach) 市的總部，由辦公廳主任德利斯 (Daniel DeLisi) 先生、水文水力局局長沃席納 (Akin Owosina) 先生及金康仁博士負責接待，並由沃席納局長簡單介紹南佛羅里達水管理區概況 (圖 32)。南佛羅里達水管理區轄管面積約 18,000 平方英里，區域內包括 16 個縣及 810 萬居民，與其他水管理區相同，核心任務為水質、洪水控制、自然系統及供水，現管理世界上規模最大的水管理系統之一，包括 2,100 英里長的河渠、超過 2,000 英里長的堤防或護岸、600 座結構物、625 個涵洞及 70 座抽水站，每年調節超過 55,000 億加侖的水量。抽水站容量達 4,500 萬加侖/日，相當於每天注滿史上最大油輪 250 次。



圖 32 南佛羅里達水管理區業務介紹

在 20 世紀初期，佛羅里達州南部為一巨大的沼澤地，由於與日俱增的開發需求，駕馭水鄉澤國的過程經歷許多波折。1926 至 1928 年間數個嚴重損害的颶風侵襲海岸沿岸及奧基喬比湖（Lake Okeechobee）附近的零星分散社區，顯示保障人類生命、生計所需排水及洪水控制之必要性，於是開始有奧基喬比湖週遭圍堤的興建及連接東部及西部海岸的既有水道改善計畫。1947 年，在經過多年的乾旱後，佛州又接連遭遇大雨及颶風侵襲而造成氾濫，因此州政府要求聯邦政府進行總體規劃以馴服惡劣的自然環境。1948 年，國會立法通過佛羅里達州中部及南部治理計畫（Central and Southern Florida Project, C&SF Project），以滿足防洪、供水、防止海水入侵、供水至沼澤地國家公園並保護魚類和野生動物資源之目標。1949 年佛州立法機關設立了佛羅里達州中部及南部防洪區，即南佛羅里達水管理區（South Florida Water Management District, SFWMD）之前身。如今，南佛羅里達水管理區已成為佛州歷史最悠久、規模最大的水管理區。

雖然 C&SF 計畫執行後的成效良好，但由於佛州人口不斷成長，城市擴張及農業開發，沼澤地面積已消失一半以上，造成當地水資源的缺乏以及沼澤地、佛羅里達灣生態環境的破壞，因此水管理區於 1992 年起重新檢討 C&SF 計畫，提出綜合性沼澤地恢復方案（Comprehensive Everglades Restoration Plan, CERP），提供架構及指導原則以恢復、保護及維護佛州中部及南部的的水資源（包括沼澤地），其目標為留住目前排放至大西洋及墨西哥灣的未利用淡水，重新定向至最需要的區域，大部分的水將用於環境恢復、振興瀕死的生態系統（圖 33），而剩餘的水將通過加強供水來造福城市及農民經濟。目前水管理區及美國陸軍工兵團正執行 CERP 下的各項計畫，以協助確保水資源的數量、品質、時間及空間適當地分配於沼澤地及南佛羅里達州。

現行計畫執行時，為因應全球氣候變遷、外來物種入侵及公

共利益公平性等問題，以致必須調整計畫執行之優先順序，但由於民眾普遍認同建立永續環境、平衡水資源供給及提昇區域土地價值帶來之成效，因此透過政府與當地居民不斷地溝通及遊說，使得計畫能夠順利推動。反觀國內的水資源開發計畫，或許必須轉變傳統以經濟發展為先之思維，考量與當地環境、區域特性結合進行規劃，以利達成開發與保育並重之永續發展目標。

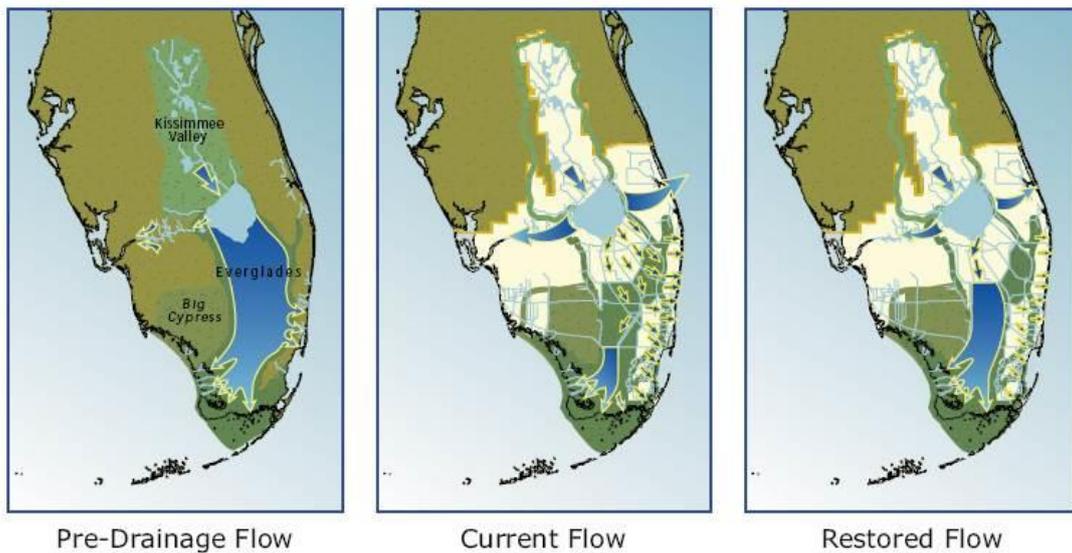


圖 33 佛羅里達中南部既有排水及水資源恢復計畫

2-9 地下水補注及回用計畫試驗站 (Day 5)

5月8日於南佛羅里達水管理區業務簡報後，由金博士帶領學員參觀西棕櫚灘市南方位於洛克斯哈特克黑國家野生動物保護區 (Loxahatchee National Wildlife Refuge, LNWR) 以南、希爾斯伯勒運河以北的希爾斯伯勒地下水補注及回用試驗計畫 (Hillsboro Aquifer Storage and Recovery Pilot Project) 試驗站，並由首席水文地質專家維拉斯特羅 (Bob Verrastro) 先生介紹相關設施及運作方式 (圖 34)。

地下水補注及回用為 CERP 計畫之一環，目的為將降雨來不及入滲的多餘水源用於地下水補注，藉此涵養地下水源以利枯水時期之運用。其具有佔地面積小 (最小限度的土地徵用)、可調整規模大小 (具有彈性)、任何時間點皆可操作、可長期、季節性的補注、可配合水庫或暴雨處理區 (Stormwater Treatment Area, STA) 功能進行最佳化等優點。希爾斯伯勒 ASR 試驗計畫為南佛羅里達水管理區內數個沼澤區 ASR 試驗計畫之一，其包含已完工的原水抽取、處理設備、補注井與數個監測井，以及建設中的地表水庫 (Site 1 Impoundment)，完工後之水庫可與 ASR 補注井串聯操作，用以調蓄洪水並涵養地下水源。該站設置目標包括：

- (1) 確認 ASR 於 Site 1 計畫區之可行性 (規劃報告中預計設置 30 口補注井)。
- (2) 確定高容量 (5MGD) ASR 站井系統之許可、設計、建設及營運成效。
- (3) 將調查結果與 CERP ASR 區域研究及其他成果進行整合。

試驗站系統利用地表下約 1000 英尺的深井作地下水的補注

及抽取，補注前水源先經過濾及殺菌程序（圖 35、圖 36），確保水質安全無虞不致影響地下水層，另外亦配合定期水質檢驗分析，確認水質基本特性（如溫度、pH 值與電導度）及初級及次級飲用水標準與最低門檻參數。目前試驗站可於 90 天內補注 1,350 英畝-英呎體積的水量，相較於水庫設施，地下含水層不僅蓄存水量豐富穩定，並具有減少土地需求之優勢，惟地下含水層邊界範圍及水質反應狀況較難掌握，且站井補注效能取決於特定地點之水文條件，大量監測與高級處理需求可能轉化為高營運及維護成本，必須一併納入考量。



圖 34 ASR 試驗站介紹



圖 35 ASR 試驗站原水過濾設備



圖 36 ASR 試驗站原水殺菌設備

2-10 暴雨處理區抽水站 (Day 5)

佛州的沼澤、濕地、湖泊及河川洪水平原地區，在過去像磷這種營養物質的含量是相當低的，然而隨著住宅及農業的增長，養分及其他微量污染物進入這些自然區域，使其含量開始上昇，結果就是原生生態系統及系統內的動植物開始產生變化。為了保護並恢復這些生態系統，南佛羅里達水管理區正努力去除多餘的養分及其他污染物，或是阻止它們進入自然生態系統，這些項目亦為 CERP 計畫之重要目標。

其中一個解決方案是藉由人工濕地，或稱為暴雨處理區 (Stormwater Treatment Area, STA) 的建設，選擇營養需求較高的非原生植物來幫助去除多餘的養分，讓原生植物可以再次茂盛。STA 可營造濕地環境，透過植物生長及死亡後的殘骸堆積緩慢轉化為泥炭土，藉此去除及儲存養分。目前奧基喬比湖南方有 5 個 STA，總面積為 57,000 英畝，用來去除農業排水及部分都市排水排放至沼澤地及其他自然區域前的過剩養分 (圖 37)。

5 月 8 日下午金博士帶領學員參觀位於 STA-1E 區域內的 S-319 抽水站 (Pumping Station 319) 及 S-5A 抽水站 (Pumping Station 5A)，並由迪伯爾德 (Tom DeBold) 先生及拉克魯瓦 (Shane LaCroix) 先生為學員介紹相關設施。S-319 抽水站為近期新設之抽水站 (圖 38、圖 39)，其設計容量為 3,980cfs，設計目的為將西棕櫚灘運河 (West Palm Beach Canal) 水源引至 STA-1E 進行處理。S-5A 抽水站則完工於 1955 年，所使用的柴油引擎取自二次世界大戰潛水艇，其設計容量為 31 億加侖/24 小時，相當於可移除 230 平方英哩集水區內降水深度 3/4 英吋之洪水量，最初設計目的係用於洪水控制，亦擔負自奧基喬比湖調節水量進行灌溉之用，近年來已轉變為 STA 之進流抽水站 (圖 40、圖 41)。隨後返回位於水管理區總部的洪水控制中心進行參觀，前述 STA 區域之

抽水站皆可自洪水控制中心進行監控（圖 42）。

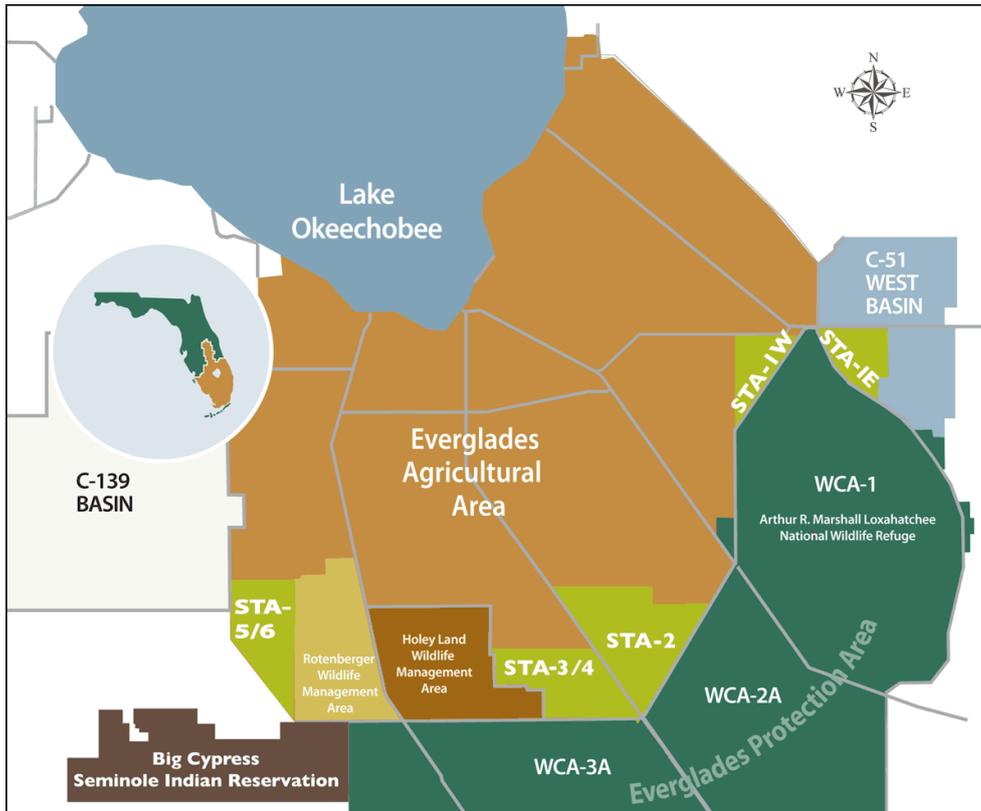


圖 37 奧基喬比湖南方 STA 建置情形



圖 38 S-319 抽水站現地觀摩情形



圖 39 S-319 抽水站控制室



圖 40 S-5A 抽水站柴油引擎機組



圖 41 S-5A 抽水站攔汙閘與自動清汙設備

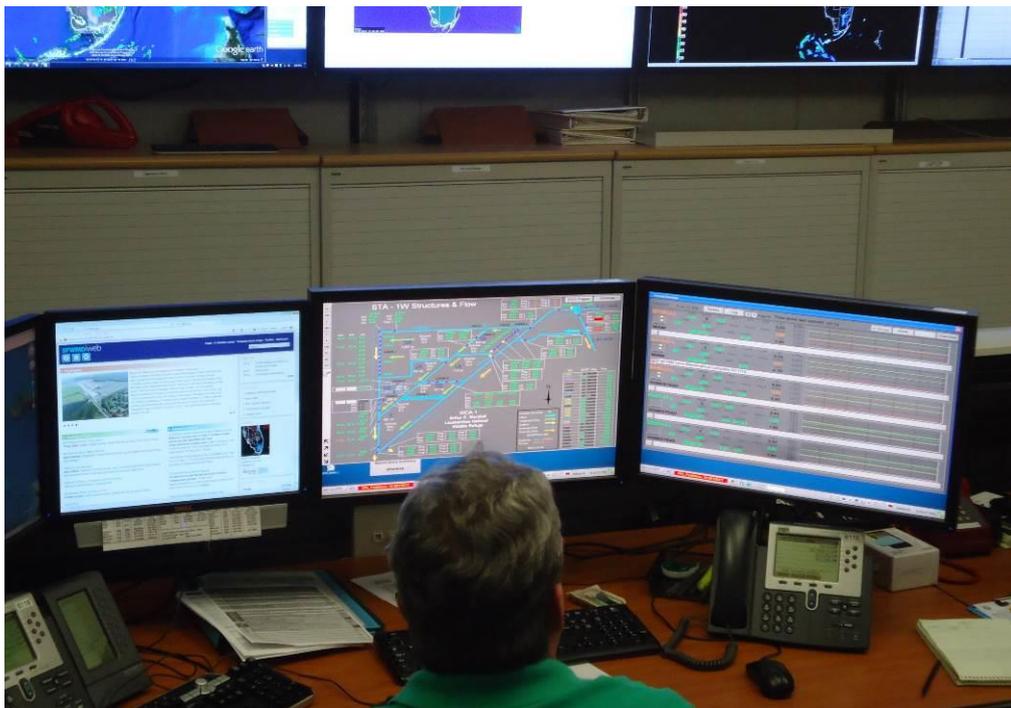


圖 42 南佛羅里達水管理區洪水控制中心

2-11 沼澤地野生動物管理區 (Day 6)

南佛羅里達水管理區金博士於 5 月 9 日上午帶領學員參觀位於西棕櫚灘市西南方的沼澤地野生動物管理區 (Everglades Wildlife Management Area)。佛州的野生動物管理區系統係由佛羅里達魚類及野生動物保護委員會 (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, FWC) 進行管理，並盡可能維持當地野生動物自然棲地的最大範圍，這些土地因為開發較少，其環境與公園相較更為原始，目前約有 580 萬英畝的土地被劃設為野生動物管理區，可作為休閒及保護之用途。

學員們乘坐該地區盛行的氣墊船體驗沼澤地風貌，廣闊的沼澤地內水域面積不小，人工清理出的淺水河道兩側皆為廣大的沼澤樹林及草原，生長茂密的鋸齒草形成特殊景色，各種水鳥、野生動物隨處可見，船行導覽過程中，不時出現烏龜及佛州代表性動物 - 短吻鱷 (Alligator)，為一生命力相當旺盛的動植物自然棲地 (圖 43、圖 44)。近年來，人們對於沼澤地及其水文水質的重要性日漸重視，同時意識到自然環境除提供動植物棲息外，更可用於水源調節、地下水補注、消除或減緩洪患，許多地區的乾旱及水患事件頻傳，就可能是沼澤地被大量開發所致。因此在 CERP 計畫中，無論是 ASR、STA 及 WMA 項目，我們可以看出佛州對於水資源的管理不再僅以開發為目標，更考慮河川、湖泊、濕地等自然環境的回復與動植物保護，此一轉變不僅是台灣，亦值得世界各國參考。



圖 43 沼澤地野生動物管理區自然景觀



圖 44 沼澤地代表性動物 - 短吻鱷

第三章 結論與建議

3-1 結論

1. 本次召訓班別為 18 年來首次辦理之單位首長班暨業務主管班，由於研習時程僅有一週，因此著重於遙感探測及地理資訊系統於農業、水資源相關領域之研究與應用案例介紹，同時安排學員至佛羅里達州水資源相關之學校、研究機構及水管理區等進行參訪，配合重點計畫研究區域之實地觀摩，促使學員全盤瞭解遙測及高科技在水資源領域上之應用，增進台美兩地水利工作者於科研、工程、技術、行政等方面之合作與交流。
2. 佛羅里達州土地遼闊且地勢平坦，地表下 30~70 英呎為黏土層及砂層，其下則為喀斯特地形（Karst）的石灰岩地層，孔隙率大水流入滲快速，蘊含豐富之地下水為當地主要用水來源。於該自然環境條件下，各水管理區妥善利用地表水庫、濕地及暴雨處理區等調節地表水並補注地下水，一方面消除或減緩洪患，另一方面則淨化水質以涵養水源，以期達到水資源永續利用之目標。佛州對於地下水之重視程度及相關水資源政策之研訂，或許可提供台灣彰雲及屏東地區地下水規劃與利用之參考。
3. 配合汙水處理需求及地表排放量規範等，佛州於水回收再利用部分已有推行多年之案例，並實際提供農業灌溉及地下水補注使用。針對未來用水可能形成之缺口，各水管理區除了以傳統地下水源供應並推動節約用水外，發展汙水回收再利用與地表水、雨水貯留等，亦已納入未來替代水源增加供應之選項。

4. 近年來由於佛州城市擴張及農業開發，沼澤地面積大幅減少，造成當地水資源缺乏及生態環境的破壞，因此現階段水資源管理政策已調整為恢復、保護及維護佛州中部及南部的的水資源（包括沼澤地），其目標為留住目前未利用淡水，重新定向至最需要之區域，將大部分的水用於環境及生態恢復，剩餘水源則透過加強供水造福城市及農民經濟。由此可知，水資源利用不再是人類優先，而須考慮河川、湖泊、濕地之動植物與地球生態維護，實值得國人借鏡。

3-2 建議

1. 國際灌溉排水協會中華民國國家委員會每年均提供水利相關單位赴美學習機會，對於遙測人才之培訓工作不遺餘力，建議可於國內增加遙測之基礎、進階及專案應用等課程，藉此推廣並促進遙測技術於水利單位之應用。
2. 本次赴美研習時程僅有一週，故行程安排上相當緊湊，建議未來可適度延長相關單位參訪及現地觀摩時程，或採分年分區參訪方式縮短所需之交通時間，以增加業務之交流機會。技術人員班如需進行專案製作，則建議將現行課程恢復至四週，以利課程內容之學習吸收，提昇學員出國研習之效益。
3. 聖瓊斯河及南佛羅里達水管理區之參訪行程安排，可瞭解佛州對於水資源、防洪、生態環境保育等方面之綜合性考量，相當值得國內各單位之學習與參考。建議未來亦可將佛州環保局及其餘三個水管理區列入參訪機構，一方面增廣學員之見聞，一方面拓展相關業務之學習領域，以獲得更多新知供國內參考。
4. 佛州民眾普遍認同建立永續環境、平衡水資源供給及提昇區域土地價值帶來之成效，故透過政府與當地居民不斷地溝通及遊說，使得現行 CERP 計畫能夠順利推動。反觀國內，水

資源開發計畫之推動時常受阻，因此建議應先轉變傳統上以經濟發展為先之思維，考量與當地環境、區域特性結合進行整體規劃，以達開發與保育並重之永續發展目標。

5. 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州經驗，在遙測人才培訓基礎上針對土地利用狀況、土壤分類等系統之率定試驗進行相關研究，建立台灣地區地表覆蓋分類系統，使遙測技術結合地理資訊系統、衛星定位系統或其他科技領域，在國內水利及農業茁壯發展。
6. 本次研習過程中，佛大遙測中心亦針對台灣農業及水資源發展課題與學員們做較深入之對談，包含國內無人飛行載具應用情形及休耕田區查核方式等，並表示除每年短期密集課程外，希望能與台灣學生及科學家建立更強的交流計畫。故建議主管機關可將其納入考量，或邀請遙測中心人員訪台進行業務交流，以拓展水資源有效管理之合作研究項目。