

屏東沿海地區地層下陷防制對策之研究

毛冠貴*

摘要

近二、三十年來屏東沿海地區的農業用地大量轉為養殖用地，這種轉變雖然對於農村所得水準之提升，具有正面的影響，但亦因為農地利用型態的改變及用水量的增加，造成地層下陷、水質污染、海水倒灌等問題。故本研究擬探討屏東沿海地區地層下陷的原因，並針對地層下陷的原因，研擬地層下陷防制對策。本文經由相關文獻回顧、實地調查訪問所搜集的資料及分析，從河川上中下游的整體觀點，提出防治地層下陷的對策包括集水區經營與保育、興建攔河堰、河道整治自然化、興建養殖區公共供排水系統、發展循環水養殖、推動下陷區土地復育、推動事業用水循環使用、提高自來水普及率、發展水產種苗中心、推動休耕農田補注地下水等。

【關鍵詞】：地層下陷、防制對策、土地永續使用、地層下陷區復育、地下水補注、循環水養殖系統、水產種苗、養殖生產區

* 毛冠貴為國立屏東科技大學農村規劃系副教授。本文承蒙行政院經建會及國科會分別提供「西部沿海養殖地區轉型使用機制之研究」、「高屏沿海地區地層下陷地區防制對策及土地永續使用之研究」計畫經費補助，及匿名審查委員的悉心審查，謹致謝忱。

屏東沿海地層下陷防制對策之研究

毛冠貴

壹、前言

台灣近年來經濟快速成長，雲林、彰化、屏東、嘉義以及宜蘭等地之沿海地區，由於位於灌溉尾閘及土地鹽化等因素，發展農業受到極多限制，使民眾往獲利較豐之養殖業發展。此外地下水成本低廉、水溫穩定、水量固定且污染較少。因此民眾大量開鑿水井抽取地下水，進而造成地下水超抽及地層下陷（經濟部、農委會，民國 84 年，第 2 頁）。

高屏沿海養殖地區部分地層壓縮沈陷之潛力極高，屬於地層下陷敏感區，加上這些地區長期以來因下列五項人為的因素，導致地層下陷嚴重，造成龐大社會成本與國土保安問題¹：(1)河川上游林木的過度砍伐及近年來山坡地的超限利用，以致在豐水期時，雨量往往夾帶山區大量泥沙流入大海，減弱高山地區涵養水源的功能；(2)河川中游地區隨意採取砂石，河床遭到破壞，致使伏流水依自然重力流向河道，而減少地下水的涵養補注；(3)河川整治後的河道縮小，河床地逐漸轉變為農田，而縮小河床的地下水補注區；(4)部分河川整治以水泥渠道代替自然河道，阻斷地下水的滲透功能；(5)民國 70 年代沿海地區的養殖業興起，持續性大量超抽地下水，使地下水位急遽下降，形成地層下陷之嚴重現象。屏東縣的地下水管制區的鄉鎮計有：佳冬、林邊、枋寮、新埤、新園、東港、滿州、枋山、車城、恒春等鄉鎮，其中東港、林邊、佳冬及枋寮沿海鄉鎮之累積下陷量大於 100 公分，被劃定為嚴重地層下陷區，總面積計有 6,857 公頃，是屬高下陷量區（內政部，民國 86 年）。茲以屏東縣林邊鄉林邊溪口塭豐村為例，民國 61 年至民國 88 年最大累積下陷總量達 3.12 公尺，而目前屏東縣持續下陷的面積為 175 平方公里。

地層下陷後所導致之環境災害為海水入浸、土壤鹽化、排水不良等，嚴重影響當地居民的生活環境品質，政府為改善高屏沿海地層下陷地區的水患，已經投入大量的經費於興建排水及防洪設施，但是近年來每當豪雨來臨，居住在高屏沿海地層下陷地區的住戶，淹水不退的現象仍然可見，每當雨季來臨，經常遭遇水患、農地土壤鹽化、建築牆龜裂、樑柱扭曲，甚至有倒塌之危險，亟需研擬水土資源永續利用的改善對策。因此，本研究首先進行文獻收集與回顧、實地調查、個案分析等，介紹屏東平原水系、地下水分布狀況、並輔以圖形說明屏東沿海地區養殖概況，其次從開發新水源及減少使用地下

¹ 本段係劉恩得先生與本研究小組的成員一齊前往潮州、萬巒、來義及新埤等鄉鎮，進行現場勘查與討論後的結果。

水及針對河川流域的上游、中游及下游的整體觀點，提出地層下陷的防治對策。

貳、理論基礎與相關文獻

一、理論基礎

本文相關的理論基礎與文獻回顧，計分地層下陷永續發展相關政策及計畫等三方面分述如下：

(一)地層下陷

有關地層下陷，計分地層下陷原因、地層下陷引起的不良後果、地層下陷概況三方面予以說明。

1.地層下陷的原因

所謂的地層下陷係指外力造成地表面的下沉，其發生的原因有自然作用引起的，如地下岩層被溶解、新進沈積物的自然壓密、地殼表面運動及海平面上升等；由人為造成的有在地下礦產中開採煤礦、黃金、硫磺及其他固體物，開採石油、瓦斯及地層內的液態物，在地下興建隧道等構造物等；其他混合的原因有鬆弛沈積物的氧化壓密作用，有機物的氧化與耗損，及石灰岩地形陷穴的形成。其中以地下水超抽所引起的影響最大，為目前國內及世界上大多數地層下陷發生事例的最主要原因（經濟部水資源局，民國 86 年，第 1 頁至第 7 頁；A. I. Johnson, 1995, pp. XI~XII）。地盤下陷地區會呈碗狀凹面，而成為四週逕流會流處及地上物也會傾斜海堤高程下降，使海岸地帶受海水倒灌的威脅；若海岸低至地平面以下，將會使得海岸線往內移，造成國土流失；地盤下陷地區因張力作用使地表龜裂，影響建築物結構的安全。在環境方面有土壤鹽化、水質惡化、缺氧災害、工程方面的災害等。例如台北盆地於民國四十年代因大量抽取地下水，導致地下水位劇降及地層下陷嚴重。民國 57 年政府劃定台北地區為地下水管制區，並積極擴充地面水源，遂使地下水數量及抽水量遞減，地層下陷逐年減緩後，下陷範圍縮小，下陷量不大，下陷區位分散並無連續性（經濟部水資源局，民國 86 年，第 1 頁至第 7 頁）。

2.地層下陷引起的不良後果

地層下陷引起的不良後果，可分為下列十項：1.地盤下陷地區會呈碗狀凹面，成為四週逕流會合處；2.地表下面含水層承載及保水機能破壞；3.堤防隨著地層下陷而下降，堤頂必須加高，以及興建新的堤防，需要一筆鉅額的經費；4.橋樑設施損壞或河川通水斷面變小；5. 地下自來水管破裂，浪費水資源及污染物質從裂縫中滲入管內，或者污水下水道管線破裂，污染地下水的水質；6.原有排水坡度改變，排水困難度提高；7.建築基地滑動，造成建築物的牆壁龜裂及樑柱扭曲，影響建築物的安全；8.海水入侵含水層，污染地下水，水井無法使用而廢棄；9.地面高程降低，海水倒灌，導致土壤鹽化，鄰近農地無法耕作，只好開築魚塢，結果造成更嚴重之災害；10.地下水的水位降低，抽水機的抽水揚程相對加大，馬力和級數必須加大，電力更多的耗費（行政院經建會，民國 78

年，第 42 頁；塗惇義，民國 80 年，第 12 頁至第 15 頁；經濟部水資源局地層下陷防護團，民國 89 年)。而地層下陷所衍生的社會成本，包括公共工程支出之增加、地價稅收減少之損失及私人土地價格之下降三項，以非市場價值評估法中的條件評估法綜合特徵價格法的概念，推算屏東縣東港鎮至枋寮鄉沿海四鄉鎮因地層下陷，所產生每年平均的社會成本介於 270 億元與 1,019 億元間(曾憲郎，民國 87 年，第 63 頁至第 67 頁)。

3.地層下陷概況

目前全世界較為有名的地層下陷地區超過 150 個以上，其中下陷量達 10 公尺的有墨西哥、日本和美國等國。許多地區在人口增加和產業發展的需要，而加速開發自然資源，地層下陷也因而發生。從二次世界大戰以來，地層下陷的速率加快是由於一直持續快速超抽地下水、開採石油及天然氣。大部分地層下陷的地區是沿著海岸線或湖泊向陸地擴張，在上述部分地區，為了保護人民的生命財產，通常在人口和產業密集地區，於海岸邊興建堤防、防水牆及抽水站等。一般常見的地層下陷是因為抽取地下液體，剛開始不易察覺，直到測量到新的海平面或者地下水管破裂、水井抽不到地下水、地表的排水型態改變、水流不再依原來設計的方向流動，才發現地層下陷情形嚴重。所以，開發者、工程師、科學家及規劃師，在規劃產業發展結構、區域發展、水資源供排系統及自然資源的開發等，需要瞭解地層下陷所帶來的潛在危險、成本及社會環境的衝擊 (A. I. Johnson, 1995, pp. XI~XII)。

在東京東方的 koto 地區，從西元 1920 年以來，由於抽取地下水導致地層已經下陷 4 公尺，海岸線倒退 60 公尺，超過二百萬的人民每天生活在高潮間帶，為了擋住海水倒灌，以及抽除不退的積水，只好興建抽水站來應付，但每當颱風一來，居民的生命及財產就要受淹水及海水倒灌的威脅。而這種因為抽取地下水導致地層下陷的地區，在日本一共有 40 區域，大部的區域是位在海岸附近，相同地層下陷發生的情形在美國南部的州有 18 個地區，在全球各個地區也有因為超抽地下水引發地層下陷的情形。在世界各個主要城市中，亦有發生地層下陷的情形，而發生地層下陷最主要的原因是超量抽取地下水。目前世界各地最有成效防治地層下陷的方式，是藉著制定法令規範，管制地下水的抽取，並且利用灌注地下水以提高地下水位，而減緩或進而停止地層下陷。例如，東京、大阪等城市因地下抽取管制得宜，地層下陷有顯著的改善 (Waltham A.C., 1989, pp. 116-121)。Furuno (1996, pp. 4-14) 以日本 Kanto 平原為例，提出為了有效防制地層下陷，可藉由模擬系統和監測系統，定期檢查地下水位，以確定地下水的合理抽取量，並做為限制或禁止某些地區過度抽取地下水的參考。

近年來養殖業在熱帶地區迅速擴張，尤其在東南亞和拉丁美洲擴張最快速。大部分的養殖業，於海岸濕地地區養蝦，而高密度的養蝦，導致養殖廢水的污染、地層下陷、海水污染和破壞濕地的自然環境，及影響原生動植物的棲息。況且養殖業使用太多的抗生素，導致細菌產生抗體，蝦因細菌的侵襲，而存活率下降。此外，濕地的破壞不利於魚蝦的生長，且影響原來依賴海岸濕地維生的漁民 (Landesman, L., 1994, pp. 12-17)。

北京經過幾十多年的發展，地下水的抽取量從 1961 年的 5 億立方公尺，至 1980 年增加 25 億立方公尺，郊區的地下水的抽取量平均每年有 1 億立方公尺；因為長時間的超抽地下水，上述地區的地下水水位及地下水層已經下降成漏斗狀區域，而這個漏斗狀區域的中心部分地下水位下降達 40 公尺，造成這地區有 1/3 以上水井的抽水馬達無法抽到地下水。西部近郊區的受壓含水層也因為地下水的超抽，有 70 平方公里以上的地區的地下水已經呈現半枯竭和枯竭的情形。此外超量抽取地下水也引發了東部近郊區的表

面地層下陷，從 1966 年到 1983 年期間的累積下陷量達 5.9 公尺，下陷總面積有 600 平方公里。又廢棄物大量的增加，可是並沒有相對足夠處理廢棄場地，所以每年市郊區產生的廢棄物被棄置在河道、水溝和池塘，滲透到地下水中，污染地下水超過 1 億立方公尺，估計每年約有 5 億元的損失。為了解決北京地層下陷以及地下水的污染，需要嚴格執行水資源法規，提倡節約用水，合理的開發、利用、管理和儲存地面水資源，建立和實行地面水資源的安全防護措施，並開發新的水資源，管制都市廢水及廢棄物產生量 (Zhu, Jicheng, 1996, p.250)。

嚴式清 (民國 86 年，第 12 頁至第 14 頁) 指出台灣西部平原是海成沉積的沖積平原，地下含水層的豐缺決定於其沉積物的來源。粒徑愈大，含水愈豐富，開發抽取的機會愈多，地層下陷的幅度就愈大；而地下水每下陷一公尺，由於地層壓實作用，可能導致地表下陷 16 公分。這種地下水位下降和地層下陷的原因主要是由於養殖及農工業超抽地下水量所致，這種人為現象對自然所造成的變化，很難再回復原先的生態環境。譚義績和張誠信 (民國 86 年，第 7 頁至第 11 頁) 表示，台灣地下水質、水量、水溫穩定且分佈廣大、開發資金少，使得快速發展且有卓越績效的養殖漁業，在淡水供給量不足的情況下，不斷地超抽地下水，造成地層下陷，產生海水入浸、積水不退、土地鹽化等國土災害情事發生。

根據工研院能資所 (民國 87 年) 利用人造衛星遙測，經過比較分析 87 年與十年前高屏溪沿岸 32 萬公頃集水區域的地貌影像發現，高屏溪集水區最近十年來，人為開發如設置工廠、垃圾場、社區開發、農地開墾、砂石場、軍事設施及道路開闢，破壞面積超過 0.5 公頃的變遷區，總計高達 4,632 處；再經現場實勘發現，荖濃溪和旗山溪的中上游及支流兩側，土石崩塌情形嚴重，並出現大型沖積扇，嚴重影響高屏溪集水區水源與水質，沿岸水土保持遭嚴重破壞 (中國時報，民國 87 年 11 月 16 日)。

(二) 永續發展

永續發展可從自然條件的限制、世代間公平、社會正義與生活品質三方面討論之。其中自然條件限制之永續發展，係主張在自然再生能力範圍內利用資源，在自然淨化能力範圍內限制污染產出。世代間公平性之永續發展，則注重世代間資源利用的權利，確保後代福祉不致低於當代水準。社會正義與生活品質之永續發展，則從全球各國均發展之觀點，改善人類的生活品質。從生態經濟學的觀點，永續發展是整合「生態永續」與「經濟發展」之考量，強調自然資源有效利用，自然環境系統容受力、資源回收與再利用。而永續性的土地使用規劃，則可定義為在追求社經永續性以滿足當代人類需求下，由長期觀點制訂及執行土地使用政策的工具，使各種土地使用能有適宜的區位，改善空間及實質環境，以達最適土地使用以及自然資源保護的環境永續性 (黃書禮，民國 89 年，第 327 頁至第 331 頁)。

土地使用變遷管理的有效性，需考慮三種主要的土地價值觀，即社會使用價值觀 (social use values)、市場價值觀 (market values)、生態價值觀 (ecological values)。社會使用價值觀認為，由政府及規劃師引導社區居民、社區團體、利益團體及地方意見領袖一起進行土地使用規劃，並透過公平的參與、權力的分享及責任的分擔，以塑造其想要的生活環境，它包括都市形象 (urban form)、活動系統 (activity system) 及社會鄰里 (neighborhoods) 的理論。都市形象理論考慮的是設計實質環境。活動系統理論關注的是了解居民的行為模式。鄰里理論則在較小的空間範疇下，同時關心實質環境的設計與居

民的行為模式。市場價值觀認為土地為一種商品，而土地使用則為不動產收益的來源。生態價值觀認為人民在使用土地時，應減輕對自然環境的潛在威脅。例如淡水竹圍紅樹林的復育，提供淡水沿岸地區養殖漁業、水鳥、候鳥及水生生物的生存，亦保護當地的海河堤，潮水來時，不致於造成海水倒灌，說明生態平衡對永續發展的重要性（周昌弘，民國 89 年，第 12 頁）。土地使用變遷管理可以視作一張三腳凳子，三隻腳是社會使用價值、市場價值、及生態價值。環繞三隻腳凳的環是永續發展。凳子要能站立，每部分要位在恰當位置，平等的比例與適當的銜接。而每隻腳(價值)是必須的，如果未考慮社會使用價值(例如居民的生活行為模式及關心提升生活品質的需求)，則居民不容易接受計畫內容。如果未考慮市場價值(例如忽視不動產開發商追求利潤的目標)，則規劃地區不可能蓬勃發展。如果不考慮生態價值(例如自然資源維護)，則地區的發展不可能持續。所以，永續發展是連繫環境、經濟、及社會使用價值的概念，其目標是辨認為會嚴重傷害環境而能夠持續發展的程度，同時滿足現在與未來世代的需要。透過公共領導階層提供主要的協調程序，永續發展在三隻腳追求平衡中是非常重要的指導原則（李瑞麟，民國 86 年，第 37 頁至第 47 頁；徐世榮，民國 90 年，第 283 頁；Edward J. Kaiser, David R. Godschalk, and F. Stuart Chapin Jr., 1995, pp.42-53；Smith, David M., 2002, p.16）。

(三)相關政策及計畫

行政院經建會都住處（民國 78 年，第 42 頁）提出為解決台灣沿海養殖漁業破壞珍貴海岸地形資源，引起海水入侵、土壤鹽化、地下水位下降和地盤下陷、違法、脫序使用自然資源、污染等問題，今後沿海養殖漁業區之發展方向應為實施海水養殖，提升養殖技術，使用循環用水及設立緩衝帶。行政院農委會在「農業政策白皮書」（行政院農業委員會，民國 84 年），提出陸上養殖之重點策略為「促進陸上養殖與環境之和諧」，包括：設置養殖漁業區，建立養殖魚塭登記制度，取締違規養殖及非法地下水井；配合水土資源之管理，建立並推廣循環水養殖設施及管理自動化，以促進養殖產業環境和諧。該文提出養殖漁業全面實施登記管理，調整以海水養殖為產業主體，可降低對環境之不良影響。

「雲嘉地區海岸地層下陷土地利用之規劃(一)：環境法政分析與土地使用構想」(胡念祖，民國 86 年，第 2-1 頁至第 2-23 頁)指出地層下陷所牽涉的政策層面，包括從最高層次之「國土綜合開發計畫」(行政院經濟建設委員會，民國 85 年)、各縣(市)「綜合發展計畫」、問題發生所在之特殊地理區位的「海岸地區管理與規劃政策」(內政部，民國 86 年)、問題發生癥結點的「水資源政策」(經濟部水資源局，民國 85 年，第 37 頁至第 38 頁、第 40 頁)、問題形成主因的產業「漁業」，故需重點推動「養殖漁業輔導方案」(行政院農業委員會，民國 80 年，第 4-1 頁至第 4-2 頁)。此外，地層下陷地區土地被視為農業用地釋出政策規劃目標之一，而由經濟部及農委會所共同研提之「地層下陷防制執行方案」(經濟部、農委會，民國 84 年，第 2 頁)是中央部會對地層下陷防制最直接、具體的政策揭示，其自 85 年度至 89 年度之執行狀況，則由實地查訪情形綜合檢討資料顯示，期可紓緩台灣地區之地層下陷問題，進而合理有效利用地層下陷區之土地，改善生活環境品質。在解決地層下陷問題之相關法規方面，以管制取締下陷土地變更使用等為主。

依據國土綜合開發計畫（行政院經建會，民國 86 年，第 101 頁至第 102 頁）規劃之漁業發展方向，未來由於漁業發展受資源條件限制甚大，因此現有用地面積已足夠未來需要。今後漁業發展方向宜加強遠洋漁業公共投資，鼓勵企業組織赴海外投資或技術合作，配合海域特性辦理海洋養殖規劃；在 200 海浬經濟海域內，配合漁業權規定，實施資源培育，改良魚礁，於淺海及內陸水面地區發展定棲性魚種栽培漁業及休閒漁業；強化漁業運銷，開發地區性鄉土魚食產品，整體發展魚食文化。加強修建及改善漁港設施，改善及增強漁港附近關連之岸上公共設施，增強防災及安全設施。為因應未來需要，亦宜適當規劃海岸遊憩地點及水面，發展休閒漁業和漁業觀光。並應加強集水區整體治理系統，以減輕沿海水域水質污染程度，俾利漁業發展。

行政院農委會提出陸上養殖發展之重點策略為「促進陸上養殖與環境之和諧」，包括：設置養殖漁業區，建立養殖魚塭登記制度，取締違規養殖及非法地下水井；配合水土資源之管理，建立並推廣循環水養殖設施及管理自動化，以促進養殖產業環境和諧。該政策指出：「養殖漁業全面實施登記管理，調整以海水養殖為產業主體，可降低對環境之不良影響」（行政院農業委員會，民國 84 年）。

地層下陷防治整體政策—地層下陷防治執行方案（經濟部、農委會，民國 84 年，第 2 頁），所提出之防治策略有四個方向：

1. 適地輔導養殖漁業生產區：養殖魚塭為沿海地區重要產業之一，對現有魚塭集中地區應進行評估，將仍適合作為養殖使用地區，規劃為養殖漁業生產區，作整體規劃、設計供水系統及其他公共設施與設備。
2. 配合農地釋出政策，採發展許可制變更地層下陷地區土地使用：對於不適合繼續作養殖漁業使用之地區，配合社會經濟發展需要，依據農地釋出方案採發展許可制變更土地使用，減少抽用地下水，並採取適當防護措施。
3. 加強清理、取締及經濟與財稅手段：對於未能轉用之地層下陷地區，加強清理、取締工作並懲處違法行為。同時加強輔導養殖漁業外移並考量以降低關稅、保障回銷國內市場等措施，降低在國內發展養殖漁業的社會成本。
4. 強化基本資料：加速監測網系統之建立等，以為日後執行本方案及擬訂相關政策之依據，並加強宣導、推動愛護水、土資源等的社會教育。

而在防治對策上，亦有四個部份：(1)通盤規劃地層下陷區土地利用；(2)加強地層下陷地區產業輔導工作；(3)加強地下水管制及水資源規劃；(4)教育宣導之配合。對策一：旨在藉由對土地利用作通盤規畫，以合理地使用地層下陷區的土地資源。規劃將以適合環境生態、經濟發展及地方與國家需求為考量的原則；對策二：旨在補助或輔導地層下陷區的產業發展，如循環水養殖的補助及工業節約用水的推動等；而對策三：將積極地減少地下水超抽之問題，此外也積極配合重大水利工程以增加水源的供應；對策四：乃在利用教育宣導的方法，凝聚民眾對地層下陷災害防治之共識，以利防治工作的推動。此四大對策包含十五個工作項目，如表 1 所示。

表 1：地層下陷防治對策及工作項目

防治策略	工作項目
一、通盤規劃地層下陷區土地利用	1. 整體規劃地層下陷地區土地利用方式。
	2. 推動地層下陷地區土地整復利用與保育。
二、加強地層下陷區產業輔導工作	1. 漁業： (1) 調整產業結構。 (2) 設置養殖漁業生產區。 (3) 提高養殖漁業用水效率。
	2. 工業： (1) 提高工廠用水效率。 (2) 規劃工業專用供水系統。
三、加強地下水管制及水資源規劃	1. 進行水井清查。
	2. 加速建立台灣地區地下水觀測站網。
	3. 修訂相關法令，以落實公權力執行之法源依據。
	4. 加強懲處與取締違規與違法行為。
	5. 開徵地下水水權費。
	6. 加強規劃開發地面水資源。
	7. 推動地下水補注及地表水與地下水聯合運用。
四、教育宣導之配合	加強政令宣導及推動保護水資源教育。

資料來源：經濟部、農委會，1997，地層下陷防治執行方案 86 年度執行情形與辦理成效檢討，第 23 頁至第 48 頁。

廖一久（民國 80 年，第 37 頁）估計，每年用於水產養殖的淡水大約佔台灣淡水消耗量的 12%。在淡水資源有限的情況下，釐定整體規劃與有效的利用，並避免地層下陷問題繼續惡化，是為當務之急。此可從政策與技術兩方面著手。在政策上，應儘速擬定養殖用水管理方法，建立公共供排水系統，對於淡水需求大的魚種予以適當的管制，並大力輔導漁民從事純海水魚蝦種之養殖。在技術方面，則應加速各海水養殖種類之生理、生態等基礎研究，確立種苗大量生產技術，並積極開發養殖用水循環再利用技術及進行有關設備的研發，以降低產業對淡水的依賴程度。

Yew-Hu Chien (Chien, Yew-Hu., 1993, pp. 31~50) 指出台灣養殖漁業的發展限制包括水資源與供電二方面：(1) 當水資源有使用競爭時，以國家經濟利益為前提，水資源分配的優先權通常是工業大於養殖業，這種作法可能影響養殖漁業的發展；(2) 如果單位養殖生產用電較單位工業生產用電之效率為低，則在能源（供電）危機時，養殖用電將被限制為較低的優先順序或施以高價促使其節約用電。

政府對養殖魚塢之轉營輔導（陳獻等，民國 82 年；象形設計工程顧問股份有限公司，民國 82 年）方面亦列為重點策略，其中屏東縣養殖魚塢轉營計劃（陳正修等，民國 82 年，第 2-8 頁），提出為達水資源合理的使用，提高漁產品品質衛生及產業秩序化發展，在適地適作的原則下，選擇適合水產養殖發展的魚塢集中區，規劃為養殖漁業生產區，並配合輔導非養殖漁業生產之魚塢轉營，期能儘早完成養殖漁業生產區之公共設施整建及進行產銷的輔導。

參、現況說明

一、屏東平原水系、地下水分佈與漁塭分佈

高屏河流域是屏東平原的主要流域，其上游的支流包括旗山溪、美濃溪、荖濃溪、濁口溪、隘寮溪。高雄縣其他的水系有與台南交界的二仁溪、阿公店溪、後勁溪及仁愛河。屏東縣主要的河川由北至南有高屏溪、東港溪、林邊溪、率芒溪及枋山溪。根據中央地質調查所之水文地質調查研究報告，屏東平原含水層較合理之受壓層與自由層界線分佈，界限以東顯示隘寮河流域之鹽埔、九如及海豐站一帶為淺層受壓區，但根據抽水試驗成果，該區屬自由含水層，其地質柱狀圖亦顯示為良好之礫石層，故可稱之為聯合沖積扇扇頂厚層自由含水層。而在界限以西為扇央與扇尾之區域受壓含水層。根據地質調查所之地質分層架構，屏東平原深約 220 公尺內之地層由上而下可劃分為含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三之一、阻水層三及含水層三之二等七層，即四個含水層間夾三個阻水層的結構。再就各觀測井觀測之含水層水位及試驗而得之水力參數等，而得到屏東平原含水層特性參數，以含水層一最佳，以透水係數 $K(m/sec)$ 及導水係數 $T(m^2/min)$ 之區域性平均值而言，含水層一與含水層二均以扇頂區最高，而含水層三之一扇頂區卻比扇央區低，特別是 $K(m/sec)$ 值扇頂區比扇尾區低。而以單位洩降抽水量 $q/s(cmh/m)$ 觀之，含水層一、二均以扇頂區最高，在扇尾區之值偏低，較無開發價值；含水層三之一在平原中部之扇央及部分扇頂地區較佳。總體觀之，以算數平均法來計算，含水層特性參數平均值以扇頂 $>$ 扇央 $>$ 扇尾區，以含水層一最佳。含水層的功能在輸水、儲水、供水與穩定地表，若有足夠的透水性而能讓地下水易於流動即為良好之含水層，又若能承受地下水補注之反應速率佳，則可使其水位保持彈性。故以地下水補注之觀點探討水位分析，則由各含水層最大水位發生次數於時間上的分佈，顯示淺層承受地下水補注的反應速率較快，故最大水位在豐水期所佔之比例較大，由各含水層最小水位發生次數於時間上的分佈顯示屏東平原抽取地下水大多取自含水層一及含水層二。扇頂區水位隨降雨而上升，變動幅度相當大，且各層水位相近。扇央區深層水位高於淺層，隨降雨上升趨勢明顯。扇尾區崎峰及新庄站水位變動劇烈，其餘變動範圍不大，但變動相當頻繁（潘禎哲、張炎明，民國 87 年，第 165 頁至第 175 頁）。

由屏東縣沿海漁塭分佈，大致以沿海公路到海岸間的東港、林邊、佳冬及枋寮四個鄉鎮的漁塭密度為最高，也可看出沿海的土地利用是以養殖為主要，而依經濟部水資源局所推估民國八十九年屏東平原各鄉鎮地下水抽取量，約為 13.5 億立方公尺，其中東港、林邊、佳冬、枋寮，因為地層下陷嚴重而劃為地層下陷防護區，此與漁塭分布情形有高度的相關（如圖 1 所示）。



資料來源：行政院農委會提供，中華民國航空測量及遙感探測學會及本研究共同整理。

圖 1：屏東縣東港. 林邊. 佳冬. 枋寮漁塭分佈圖

二、下陷量及累積最大下陷量

由屏東鋼索式地陷監測井之監測資料，自民國 81 年 3 月至民國 86 年 6 月之沉陷量約 7 至 13 公分，而每年沉陷量介於 1 至 7 公分間不等。屏東研究區分層式地陷監測井之分析資料中，以栗國小自民國 84 年 8 月至民國 86 年 6 月間的累計沉陷量約 3 公分，較易受壓縮之深度為地表至 21 公尺及 109 至 126 公尺間。林邊國中自民國 84 年 5 月至民國 86 年 5 月間，其累計沉陷量約 13 公分，壓縮量發生的地層為地表至 170 公尺間，地層性質以粘土或粉砂土層為主，單位公尺壓縮量約 0.5 至 1.0 公釐，以深度 24 至 37 公尺之粘土層，單位公尺壓縮量最大達 2.0 公釐。佳冬國小自民國 86 年 1 月至民國 86 年 5 月，分層觀測值累計沉陷量約 3 公分，單位公尺壓縮量未達 1 公釐。枋寮國中自民國 85 年 12 月至民國 86 年 5 月，其累計沉陷量約 3.5 公分，單位公尺壓縮量未達 1 公釐。上述四口分層式地陷觀測井現階段之資料，顯示屏東地區之地陷主要是發生在具壓縮性之細顆粒土壤，如粘質土或粉質土（歐陽湘等，民國 86 年，第 5-2 頁）。在等下陷量圖中，可看出目前累積下陷量以林邊溪左側的塹子閘門為最大有 3.12 公尺，以此為中心點向周圍以將下陷量相同的點連接成為等下陷量線，這些等下陷量線集合構成等下陷量圖。

肆、地層下陷的防治措施

由於地層下陷地區每年抽水量遠超過其天然補注量，使得地層失去支撐力，而導致地層下陷。防制地層下陷的方法，則必須從管制地下水抽取與補注地下水兩方面著手，同時配合土地利用強度之管制及加強集水區的經營與保育，以使地下水源能得到適當的補注，從而能穩定地表，抑制地層持續下陷之問題。而下陷地區的土地，由於其利用型態的改變及地下水使用量的增加，造成地層下陷、水質污染、海水倒灌等生活環境與生產環境惡化問題。解決下陷地區地利用型態的方法，則要以生態永續及經濟發展兼顧，並考慮土地使用、社會使用及市場使用等三個主要價值的平衡，達到下陷地區土地永續使用的目的。因此，本文經相關文獻的探討及實地的調查訪問，歸納出造成高屏沿海地層下陷的主要原因有二：1. 地下水的超抽；與 2. 地下水補注量的減少。本文針對這二項原因，從河川流域的上游、中游及下游的整體整治及減少使用地下水的觀點，提出地層下陷的防治措施。

一、集水區經營與保育

河川集水區的保育整治措施需要加強，如減少樹木砍伐、避免森林火災（李錦育，

民國 85 年，第 63 頁)、取締土地超限利用及不鼓勵種植淺根系植物如檳榔樹，以防止豪雨來臨時，肥沃表土流失、貧瘠的心土裸露、連心土也漸漸地被沖走、岩石露出表面、雨水夾雜大量泥砂，造成泥流或土石流，而危及下游居民生命財產的安全。因應對策為鼓勵集水區的居民踴躍造林，增加水源涵養及地下水的補注，以發揮國土保安及森林公益效能。目前造林獎勵金標準分為前六年新植撫育每公頃 25 萬元(第 1 年 10 萬元，第 2 年至第 6 年每年各 3 萬元)；自第 7 年起至第 20 年止，造林管理費每年給予 2 萬元，20 年合計 53 萬元(獎勵金分年核發)。河川行水區域線邊緣水平距離 150 公尺範圍內林地，如地上林木之林齡六年以上且成活率在 70%以上者，經切結禁伐後，每年每公頃發給禁伐補償金 2 萬元。為使造林成效更良好，政府在廣推造林時，宜繼續鼓勵土地所有權人或使用權人參酌當地的自然環境，種植適當的樹種，且其存活率超過 90%，可考慮再酌予提高獎勵金或補償金，以加強利用林木及綠地的截流、地面的逕流水，及儲存豐水期的水，及增加水資源涵養功能及地下水補注量，以應枯水期之用。

二、興建攔河堰

攔河堰係橫跨於河道中的水工構造物(如鐵絲蛇籠或混凝土)，其堰體規模通常較水庫為小，具有投資小、興建簡便及對環境衝擊小等優點。它主要是利用堰體本身的高度攔住溪水，將河道水位加以抬升，擴大溪水的覆蓋面積，及增加河水的停留時間，俾得以引水利用，同時兼具調節河川水量和由天然河道入滲補注地下水的功能。

高屏溪高樹攔河堰於 88 年 6 月完工，它係於河道深槽設置橡皮壩和固定堰，經抬高水位，堰址以上形成面積約 140 公頃之水域，取水位高程 16m，取水量 35m³/sec。下游水權量及河川稀釋流量則保留有 37m³/sec。目前與南化水庫聯合運用，豐水期攔水引用，增加水庫之水量和地下水的補注，於枯水期則以引用水庫蓄儲之水量以及地下水，調節區域供水、有效改善高屏溪兩岸現有灌溉引水設施、穩定水源、穩定河川深槽，約可增加年供水量 1.8 億噸(徐享崑，民國 89 年)，降低用水成本、減少高屏沿海地區抽取地下水、地層下陷(經濟部水資源局地層下陷防護團，民國 89 年)。

高屏溪高樹攔河堰的抽水站，隸屬經濟部水利處第七河川局，目前是抽取高屏溪的溪水，經過管線輸送到小坪頂南區供水站及越域引水到南化水庫。預估每日抽取的水量是 100 萬立方公尺，惟目前尚處於試車階段，無法提供實際每日抽水量的數據。

本文針對高屏溪高樹攔河堰試車階段，提出下列的問題²：

1. 直接抽取高屏溪溪水引入渠道後，水質沉澱效果不佳，溪水的含沙量及夾雜各種雜質，會對於抽水馬達造成磨損，減短馬達的使用壽命，而豐水期時，大量沖刷各種物質，中上游的溪水挾帶更多的雜質(垃圾、樹枝、泥土、沙石等)，其濁度及濃度太高，

² 本段係劉恩得先生與本研究小組的成員一齊前往高屏溪高樹攔河堰，進行現場勘查與討論後的結果。

抽水站在這個期間本來應該大量抽取溪水到小坪頂、南化水庫及附近的水廠儲存起來，卻要停止抽水，以保護馬達。

2. 攔河堰在河道上形成高低落差的阻隔，迴游性魚類不易逆流而上。
3. 上游的養殖用水(養殖魚蝦貝類的淡水養殖、豬鴨的養殖)及民生用水直接排入高屏，所以目前堰體上方所攔的水質普遍不佳，呈現深色混濁，無法直接抽取使用，需要多次淨化處理，才可供作使用。
4. 枯水期加上未來上游養殖漁業停養後，攔河堰水供水量來源將會不足的情形。

為解決改善溪水夾帶雜質的問題，本文提出於高屏溪大樹攔河堰上游 100m 處，興建一至三座蛇籠加石頭興建簡易型的攔河堰，一則可以攔截沙石、丟棄物、樹枝，二則有簡易的過濾作用，三則形成小型的攔河湖泊並具有沉沙池的功用，四則形成河階，對溪水產生曝氣作用，增加水的溶氧量及分解水中的一些物質，五則可提供民眾親水空間作垂釣。

月眉攔河堰是在高屏溪(楠梓仙溪)上，位於高雄縣三民鄉以及旗山鎮月眉橋附近，建於日據時代(昭和 11 年)，一共有 6 座攔河堰，期間至今經過維護及加強，本身是利用河床高度的落差供作農業用水，完全沒有用到動力，灌溉面積為 5860 公頃。

三、河道整治自然化

台灣河川整治若採用截彎取直或水泥河道代替自然河道，將加速雨水流入大海，阻斷地下水補注，所以整治河道時，儘量利用天然河道方式，不要輕意將河道縮小，讓河道保有透水性和水的循環(郭勝豐等，民國 89 年，第 89 頁)。例如，林邊溪在經過整治後，將河川中游經過新埤鄉萬隆的河道縮小，河床地逐漸轉變為農田，致使下游林邊鄉的地下水補注區隨之縮小。此外，部分河川整治係以水泥渠道代替自然河道，而阻斷地下水的滲透功能。

四、興建養殖區公共供排水系統

建立整體公共供排水系統包括公共供水系統、排水系統與養殖用水循環再利用系統，其規劃與設計之主旨為減少養殖業私自超量抽用地下水，並可降低成本與節省用水(萬騰州等，民國 87 年)，在沿海地層下陷嚴重地區推廣有其必要性，惟須配合地下水井之查封、水權費、水汙染防治費之徵收、運作管理體制、地方漁業相關單位之輔導，以及漁民之參與意願等，方可提高其推廣之可行性(侯文祥等，民國 86 年，第 3-2 頁；萬騰州等，民國 87 年)。

台灣有 42 個養殖漁業生產區(成功大學水工試驗所，民國 89 年，附 1-12、附 1-31、附 9-28)，配合生產區養殖用水的管理體系，對於用水的調配與管理，則封閉私設的水

井，以公井抽取後分配使用，減少地下水的抽取量。

目前屏東已經向政府申請核准的養殖漁業生產專區共有 7 個，分別為塭豐區、里港區、大庄區、番子崙區、北勢寮區、鹽埔區、下埔頭區。而屏東沿海有塭豐、北勢寮等養殖地區要進行生產區海水統籌供應，以解決目前業者自行在海堤內外鑿井抽水而影響水堤安全，以及大量輸水管線跟越海堤、涵洞、排水渠道等產生計畫區內管線雜亂無章，嚴重影響景觀且危害排水的功能。

塭豐區位於屏東佳冬鄉南端海濱，以燄豐村塭子社區為大部份。西北以林邊溪和林邊鄉為界；東南以港口埤排水和上埔頭生產區為界；東北邊則以沿海公路(佳冬鄉佳和路)為界，總面積約為 470 頃，地原為低溼低產的農地，民國 69 年養殖業興起而發展至今日的大面積養殖漁業專業區。而北勢寮位於屏東西南隅，北從小份子排水，南以率芒溪沿岸為界，東鄰屏鵝公路(台一線)，屬於枋寮鄉枋寮段北勢寮小段，總面積約 100 頃(天一工程顧問社，民國 89 年 a，第壹-1 頁；天一工程顧問社，民國 89 年 b，第壹-1 頁)。塭豐區和北勢寮區的海岸是屬於侵蝕性海岸，而近岸地形坡度較大，加上水利處已築離岸堤，所以群井式、濾水管式、幅射井式已列入考慮，但是如果以地形坡度、穩定、大量的用水及近岸海水易遭受污染等因素為考量，可行的取水方式為海底埋管式。

(1)發展養殖漁業生產專業區的優點

- ①針對養殖區的口業特色，發展各種具有特色的體驗性和知識性口業觀光活動，並安排適宜的遊程，以創造多樣性與特殊性的遊憩活動。
- ②發展養殖生口專業區，不但可提供養殖的安全用水量及優質海水源以取代現有抽用水模式，避免地層下陷日益惡化，使得養殖事業及水土環境保護都能兼顧。
- ③改善大量且雜亂輸水管線密佈之情形，並解決排水溝涵遭受堵塞所造成的淹水問題(天一工程顧問社，民國 89 年 a，第壹-5 頁；天一工程顧問社，民國 89 年 b，第壹-7 頁)。

(2)發展養殖漁業生產專業區所面臨的問題

①管線淤積

民國八十二年由農委會所補助設立的宜蘭縣礁溪鄉大塭養殖生產區的海水供應站，其採用放射式穿孔濾水管取水，以 500mm 的集水鐵管埋設在海灘下，並藉著砂層的滲透過濾作用來獲取較清潔的水，並送到抽水站再送至沉澱池沉澱，之後利用重力方式輸送到各個業者的魚塭，可提供生產區內 245 公頃鹹水養殖的全年所需要的 73.9 萬噸海水，但是因為進水管遭海沙淤積，導致抽水效率不佳，海水的供水量不足，現在已經不再使用了，目前重新利用數支小口徑的放射狀抽水管取代使用(成功大學水工試驗所，民國 89 年，附 1-12、附 1-31、附 9-28)。

- ②海岸海水水質因碎波區水質混濁、廢水口染，其水質不佳，以抽水口直接抽取近岸海水不能獲得穩定且優良之海水，同時養殖生產區面積廣大，其輸水系統末端用戶因水壓不足，將無法獲得足夠用水。
- ③發展生口專業區，其間涉及政府預算的補助額度、設施的細部規劃設計及施工所需時程、用地的協商價購、及既有私設養殖用管路的拆遷等諸多問題（天一工程顧問社，民國 89 年 a，第參-26 頁、第肆-1 頁、第陸-8 頁；天一工程顧問社，民國 89 年 b，第肆-21 頁、第伍-1 頁、第陸-11 頁）。
- ④政府輔導養殖業者於養殖生口區從事養殖，目的在於透過公共供排水系統，減少養殖業者各自從沿海接管線引用海水或者在沿海養殖地區私自抽取地下水，以減少養殖業因抽取地下水，造成地層下陷所增加的社會成本。天一工程顧問社（民國 89 年 b，第壹-7 頁至第壹-8 頁、第陸-5 頁）估算塹豐養殖漁業生產區的原有抽水方式每公噸每年的用水成本為 32.8 萬元，而統籌供水方式每公噸每年的用水成本為 8.6 萬元（不含政府補助養殖生產區的工程費 5.28 億元），上述成本估算若正確無誤，政府於養殖漁業生產區興建公共供排水系統，養殖業者使用統籌供水方式的用水成本，低於自行抽取海水或地下水的成本，養殖業於養殖生產區生產的意願將可提高，惟政府需要負擔一筆巨額的工程費。

五、發展循環水養殖

屏東沿海地區的養殖業需要大量用水，而地面水又供應不足，所以業者便抽取地下水使用，而造成嚴重的地層下陷，為防止下陷的情況日益惡化，可考慮推廣循環水養殖。循環水養殖係利用過的養殖用水，經過循環用水處理池過濾，再使用的一種水產養殖技術。（張文重，民國 89 年，第 102 頁至第 122 頁）。推廣循環水養殖的目的，是為了提升水資源的有效利用，節省養殖用水，以降低地下水的抽取量，防止排放水之水質污染，並降低養殖業者的生產成本，讓養殖業者了解採用純鹽（海）水養殖或淡水之回收循環使用養殖技術，不必大量使用淡水，仍然有很好之收益。比較日本的溫型循環水養鰻及台灣露天式養鰻兩種類型，在台灣中部地區露天止水式養鰻池每生產 1 公斤的鰻魚約耗用 6.148m³ 水源。而日本的簡易式循環水養鰻方法，其單位生產用水量可減至 0.685~2.161m³/kg，故台灣耗水量約為日本露天式的 5~11 倍。由此可知日本發展溫室型循環水養鰻在節水及減少土地空間使用方面均已產生效益（侯文祥，民國 86 年，第 3-2 頁）。

（一）循環水養殖案例介紹

從 1993 年由水試所引進丹麥的自動化超集約循環水歐洲鰻養殖系統後，再經過水試所、學術單位及業者本身，針對所要養殖的魚種及地點進行研發改良出不同的循環水

養殖系統。以下舉三個有關循環水養殖的例子來說明：

①台灣省水口試驗所室內超集約循環水養殖系統

一般傳統式室外養鰻池其放養密度約為 2~3 公斤/噸水，生產每公斤鰻魚的用水量為 20~30 噸，而這套超集約循環水養殖系統的放養密度為 100 公斤/噸水，而生產每公斤鰻魚的用水量為 0.7 噸。兩者相互比較結果，在養殖密度及用水效率上，鰻魚的超集約循環水養殖，其養殖密度是傳統養殖的 20~30 倍，單位用水量是 1/30~1/40，以 300 尾/公斤的歐洲鰻苗 212 公斤，在飼養 7 個月之後，可達到 2,412 公斤，其飼料轉換效率(FRC)平均約為 1.5，活存率可達 95%以上（農漁牧產業自動化技術服務團，民國 90 年）。

②雲林水井漁業生口專業區的室外生物處理循環水養殖系統

雲林縣水井漁業生產專業區，有業者引進「生物處理法」循環水系統，利用水車等工具於養殖池內形成環繞式低流速水流，將污水集中到水池的中央，而魚池中央埋設抽取管路，將污水抽到池旁的淨水系統中，淨水系統除包含過濾、沈殿池等設備外，另有培菌箱，利用培養的菌類來降低污水中之氨氣，以淨化後的水質再直接排入養殖池中循環使用，自 88 年 10 月開始養殖白蝦至今成果還不錯，也安然度過 88 年底的寒害，換水量也相當低，填補因入滲或蒸發所損失的水分，這套設備每公頃約需要新台幣 200 萬元，因初期的投資成本高，所以只能用於高經濟水產品（成功大學水工試驗所，民國 89 年，附 1-12、附 1-31、附 9-28）。

③業者自行研發的循環水養殖系統

枋寮鄉某一水產養殖公司，是水產養殖用水循環使用的實踐者，對於海(淡)水循環養殖投入相當的心力、時間及金錢，從國外進口自動化海(淡)水循環機器設備，自行進行分解研究，研發的循環水設備的省電及節水效果，比進口循環水設備更佳，可依照目前養殖或育苗的種類做調整，而且機器設備的生產成本比進口設備價格還低。

(二)循環水養殖的優點

雖然不同的魚種所需要的水體(淡水、混合及純海水)要求也不同，但是前面所列舉的幾個實例，可歸納出循環水養殖的優點有：

- ①減少土地的使用，單位面積的口量大增。
- ②容易進行水質監控。
- ③投餌及收穫分級處理的自動化。
- ④大幅減少養殖廢水量及處理成本。

⑤減少抽用地下水。

(三)循環水養殖所面臨的問題

目前循環水養殖系統仍然有下列問題有待克服：

①投資成本高

不管是國外進口整套或國內研發的室外或室內的循環水養殖系統，初期的設備成本及使用期間、保養維修等，養殖設備成本高的費用，並非一般養殖戶都能負擔。

②簡易式循環水系統的貯水池水質不易控制，容易優養化。

③機械式過濾機有造價高、維修不易、耗電力高等問題。

④業者因為心態保守及養殖習慣而不敢嘗試循環水養殖。

為解決以上所提循環水養殖所面臨的問題，仍需繼續研發更省水，成本更低的循環水養殖系統。茲以枋寮鄉某水產養殖公司為例，其研發的室內超集約循環水養殖系統，是以半循環的方式進行，每 1 噸的水可以養 50kg 的鰻魚，利用 60 噸的水所養出來的鰻魚，每個月的電費及打氧機約 4 萬，估算養殖鰻魚的成本是 145 元/kg，如此以 90 年 7 月歐洲鰻平均價格 160 至 180 元/kg 來計算，每公斤的利潤約 15 元至 35 元。

從表 2 得知，就蝦而言，淡水半集約養殖每公斤的利潤為 183 元，佔第一位，其次分別為純海水半集約養殖為 173 元，淡海水超集約養殖為 140 元，純海水超集約為 120 元，淡水傳統養殖為 26 元；就鰻魚來說，淡水超集約養殖方式每公斤利潤有 35 元，淡水半集約養殖和淡水傳統養殖則呈現虧損的情形；以石斑魚來說，淡海水半集約養殖利潤為 104 元最高，其次純海水半集約養殖為 70 元，純海水超集約養殖為 65 元，淡海水超集約養殖為 39 元，因此可看出使用水循環設備養殖方式比傳統養殖方式所得的利潤還要高。

另就耗水量而言，傳統養殖的耗水量最高，其次分別是半集約養殖，超集約養殖，故以獲利率及節約水資源而言，使用循環水養殖的效益高於傳統養殖。

六、推動下陷區土地復育

推動屏東沿海地層下陷地區的土地復育工作，可分為土地復育工程及復育區的劃設兩項說明之。

表 2：傳統養殖與循環水養殖利潤統計表 調查時間：九十年七月；單位：元/公斤

養殖方式	淡水傳統養殖			淡水半集約養殖		淡水超集約養殖	淡海水半集約養殖		淡海水超集約養殖		純海水半集約養殖		純海水超集約養殖	
	泰國蝦	白蝦	鰻魚	鰻魚	泰國蝦	鰻魚	石斑	泰國蝦	石斑	泰國蝦	石斑	泰國蝦	石斑	
收入	333	200	160	170	300	180	250	300	180	300	250	300	250	
會計成本	307	180	192	210	117	145	146	160	141	127	180	180	185	
利潤	26	20	-32	-40	183	35	104	140	39	173	70	120	65	

資料來源：本研究調查整理

(一) 土地復育工程

地層下陷區的土地復育工程包括：填土工程、防排水工程及局部加高工程。填土工程項目包括興建堤坊、建築物、鋪設道路、修築土壩壩體的基礎等；防排水工程包括：排水渠道、調洪池、閘門、抽水站及抽水設備等。局部加高工程最常見的方式是建築物加高，係利用工程機械將建築物地基架高，以材料填入昇高的間隙中，再予以撤除架高機械。進行復育工程需考慮：1. 土層壓密沉陷量；2. 土層排水邊界；3. 土壤壓密性質等三項。惟復育工程所需經費龐大，大大降低了民眾的參與意願，故必須設法找出最經濟有效的復育再利用方法，使民眾樂於參加復育整治的工作（吳瑞賢等，民國 86 年，第 4-1 頁至第 4-2 頁）。

屏東縣佳冬鄉塭豐村有的建築物因為地層下陷而樓層高度下降，本區就利用托底工法，將建築物原地抬高約一個人的高度，而新建房子也預留了淹水的高度，將底層預先提高。這也是在一些嚴重地層下陷區建築物的一種補救與預防家中遭淹水的方法。

(二) 復育區的劃設

西部沿海地層下陷養殖用地劃為復育區時，需考慮以下四點：(1) 開發西部沿海地層下陷養殖地區，需以培育土地資源為先。培育土地資源之工作包括中長期綠化、平地造林、原生動植物培育放養，以回復自然生態平衡體系；等 10 至 20 年以後，成為大面積自然生態區，再開放為生態教育與觀光遊憩的場所，當地居民亦因觀光服務業的發展，而增加就業機會。例如美國 Big Sur 海岸地區，既能防止復育區內不當的開發行為，又能發展為親水開放式景觀區，為當地觀光服務業增加每年數百萬美金的收入（鄭昌奇等，民國 87 年，第 52 頁至第 53 頁）；(2) 環境嚴重破壞而不適合開發之養殖用地，及

需進行保育之地區（如附近有紅樹林），需嚴禁繼續從事養殖，並以停養、休耕之方式給予補償；(3) 對於竊佔國有土地，例如在河口行水區灘地、保安林、防風林、自然水域、自然保護區，從事違法養殖行為，可由政府依法收回，並劃為復育區；(4) 復育區所需投入的造林保育等經費，可從河海堤工程因地層下陷減緩所擲節之經費支應，復育區的生態保育成效良好，亦可美化西部沿海地區之自然景觀。

七、推動事業用水循環使用

目前的工業或民生用水，大多是從水庫、河川及地下水源經過自來水廠處理，使用後就直接排放，十分可惜，如果將使用過的民生用水經由污水處理後，提供工業用水，將可以減少原水的需求量。以東京都政府的超高層大樓的辦公室為例，將供人飲用的自來水系統和供馬桶沖洗用的供水系統分開，減輕自來水廠的負擔（莎琳娜，民國 89 年，中國時報 89.08.09）。另外，本研究調查枋寮某水產公司採用循環水養殖，就獲利率及節約水資源而言，亦高於傳統養殖的經營方式。上述例證說明在使用者可節省用水成本或養殖經營者有經濟利潤的前提下，推動事業用水循環使用，將可減少水資源使用量，並減少因地表水供給不足，轉而抽用地下水的情形。

八、自來水供水普及率

89 年底屏東縣自來水普及率只有 41.96%，為全省最低的縣市（屏東縣政府，民國 91 年，第 3-2-7 頁），其原因除了民眾普遍抽用地下水之外，還有自來水設施供給不足。所以興建簡易自來水廠提供家戶民生用水，提高佳冬、枋寮等地層嚴重下陷地區的自來水普及率，並配合水權管制，減少民眾私自抽用地下水，以減緩佳冬、及枋寮的地層下陷。

九、發展水產種苗中心

茲以從事水產種苗業 20 年以上的業者，做為推廣水產種苗中心的案例，該公司位於屏東縣枋寮鄉，從民國 68 年至今，淡水魚類的種苗有紅郭魚品種改良、西施貝(12 粒/cc 的苗體數)、文蛤、七星鱸、黃鰭鯛、黃錫鯛、黑鯛…等，其中以紅郭魚、西施貝、文蛤、七星鱸等在品質與產量受到業界的肯定。而海水產魚苗的黃蠟魚參、星雞魚、銀紋苗鯛、虱目魚、烏魚、石斑魚都已培育成功並供應給海內外的業者。尤其是石斑魚苗培育技術上的瓶頸已經突破，產量已經達到水平；又虱目魚苗已能大量生產，並外銷國外的市場，受到相當的肯定。目前該公司仍繼續研發具經濟價值的魚貝類養殖及龍躉石

斑、波紋鸚鯛、鰻魚、黑鮪、紅甘魚參、大黃魚等魚種的培育。

發展種苗中心的優點有兩點：(1) 室內型育苗所利用的水量較少，若能配合循環水養殖系統，更能節省大量的用水；(2) 研究開發高單價的水產養殖種苗，可增加業者的收入。發展種苗中心所面臨的問題亦有兩點：(1) 不同的種苗有不同的繁殖技術，及不同的養殖環境條件，對大部分養殖業者來說，有進入的門檻，也就是需要學習新技術，而研發新的育苗技術又需投入資本，購買設備、培育研究人員、開發新種苗；(2) 當業者轉而發展種苗時，水產種苗造成供過於求時，種苗市場價格將下跌。

十、推動休耕農田補注地下水

鄒禕等（民國 87 年，第 G173 頁至第 G179 頁）從彰化田中休耕水田示範區所作之現地超量蓄水觀測資料結果說明，示範區之淺層地下水位在蓄水期間上升約 1 至 1.2 公尺，對地下水涵養補注確實有一定之效能。葉一隆等（民國 87 年，第 207 頁至第 215 頁）以屏東崁頂 0.32 公頃的水稻田為試驗區，自 86 年 2 月 13 日至 3 月 19 日試驗期間之結果顯示，於水稻田休耕時，引水儲存於田區，可提高淺層之地下水位，而在未考慮田區植生之蒸散量，該田區之平均每日補注率為 19.7mm/day，全區對累積入滲量為 1,720m³。嘉南地區一般的淺層土質(100mm/hr~200mm/hr)，至少有 60%的田間滲漏量可以穿透 1 公尺深度的地層；對於嘉南地區表層土質滲透性較佳之田區(300mm/hr 以上)，則至少 80%的田間滲漏量可以達到 1 公尺深的地層。以 82 年之滲漏量為例，全嘉南水田區有 2.46 億立方公尺的滲漏水，若以至少 60%可到達淺層的比例計算，即為 1.476 億立方公尺的補注量，其為嘉南地區年地下水補注量之 40%，故嘉南地區水田滲水對於地下水補注的功能不能忽略。但是，休耕農田補注地下水，會因為所謂「牛踏層」或「硬板層」的存在而使得田間的地表水在牛踏層上方形成滯留，而降低往下層滲透到達地下水位的比例，即減低對地下水的補注量（馮秋霞、許榮庭、呂榮一、周昱志、許勝雄，民國 84 年，第 4-1 頁、第 5-9 頁）。所以改進的方法是在休耕時，將水田的牛踏層挖鬆，使蓄積的灌溉水能夠入滲至地下水層（李振誥等，民國 88 年，第 5-14 頁至第 5-15 頁）。

伍、結論

本研究從屏東平原水系、地下水分布的情形、屏東沿海魚塭分布及地層下陷現況等文獻及實地調查所蒐集的資料，從河川上中下游的觀點，將屏東沿海地區地層下陷的原因歸納為，地下水的超抽與地下水補注量的減少，最後並提出地層下陷的防治措施，包括集水區經營與保育，興建攔河堰，河道整治自然化，興建養殖區公共供排系統，發展循環水養殖，推動下陷區土地復育，推動事業用水循環使用，興建簡易自來水廠，發展水產種苗中心，推動休耕農田補助地下水等。

參考文獻

一、中文部分：

- 1.天一工程顧問社。「八十九年度北勢寮養殖漁業生產區海水統籌供應規劃報告書」。屏東縣政府。民國 89 年 a。第壹-1 頁、第壹-5 頁、第參-26 頁、第肆-1 頁、第陸-8 頁。
- 2.天一工程顧問社。「八十九年度塹豐養殖漁業生產區海水統籌供應規劃及檢討報告書」。屏東縣政府。民國 89 年 b。第壹-1 頁、第壹-7 頁至第壹-8 頁、第肆-21 頁、第伍-1 頁、第陸-5 頁、第陸-11 頁。
- 3.內政部。「台灣地區海岸管理計畫草案」。民國 86 年。
- 4.毛冠貴等。「屏東沿海地層下陷地區養殖業轉型經營之探討」。農業經濟論文專集第 38 集。民國 90 年。
- 5.成功大學水工試驗所。「地層下陷防治服務團八十九年度工作推動計畫附錄」。民國 89。年附 1-12、附 1-31、附 9-28。
- 6.行政院經濟建設委員會。「國土綜合開發計畫」。第 101 頁至第 102 頁。民國 86 年。
- 7.行政院農業委員會。「養殖漁業輔導方案」。民國 80 年。
- 8.行政院農業委員會。「農地釋出方案」。民國 84 年。
- 9.行政院農業委員會。「農業政策白皮書」。民國 84 年。
- 10.行政院經濟建設委員會都市及住宅發展處年。「臺灣海岸地區土地管理制度之研究」。民國 78 第 42 頁。
- 11.李振誥等。「地層下陷區土地特性之調查、整復保育利用範疇之界定與技術規範研訂」。國立成功大學資源工程系。經濟部水資源局。民國 88 年。第 5-14 頁至第 5-15 頁。
- 12.吳瑞賢等。「地層下陷防治推動綜合計畫子計畫二-地層下陷區不同土地利用方式之回填土排水及沉陷機制」。經濟部水資源局。民國 86 年。第 4-1 頁至第 4-2 頁。
- 13.李瑞麟譯。「Edward j. Kaiser」, David R. Godschalk, F.Stuart Chapin, Jr. 著。「都市土地使用規劃」。興樺圖書文具有限公司。民國 86 年。
- 14.李錦育。「集水區經營」。睿煜出版社。民國 85 年。第 63 頁。
- 15.周昌弘。「自然保育與永續發展」。政策月刊。民國 89 年。65：12。
- 16.侯文祥等。「地層下陷防治推動綜合計畫子計畫-循環用水系統之評估與推廣-養殖用水(二)」。經濟部水資源局。民國 86 年。第 3-2 頁。
- 17.柳志錫、林明煌、杜富麗。「臺灣雲林沿海地區地盤下陷之特性研究」。礦業技術。民國 89 年。第 30 卷第 3 期。
- 18.胡念祖。「地層下陷防治推動綜合計畫(子計畫三)雲嘉地區海岸地層下陷土地使用之規劃(一):環境法政分析與土地使用構想」。民國 86 年。第 2-1 頁至第 2-23 頁。
- 19.屏東縣政府。「屏東縣綜合發展計畫修訂計畫部門發展計畫暨分區發展綱要計畫」。民

- 國 91 年。第 3-2-7 頁。
- 20.徐世榮。「土地政策之政治經濟分析—地政學術之補充論述」。正揚出版社。民國 90 年。
 - 21.徐享崑。「二十一世紀台灣地區水資源永續發展的政策與措施」。經濟部水資源局。民國 89 年。
 - 22.莎琳娜。「利用循環水、雨水節省水資源」。中國時報 89.08.09。民國 89 年。
 - 23.郭勝豐等。「自然河川生態系統之整備研究-中小型河川多自然河川整治」。第 89 頁。民國 89 年。
 - 24.葉一隆等。「水稻田對地下水補注與調洪功能試驗-以屏東崁頂試驗區為例」。國立屏東科技大學學報。第七卷第三期。民國 87 年。第 207 頁至第 215 頁。
 - 25.張文重。「第五期海外華商最新水產養殖暨加工製造研習班講義-循環水養殖」。國立屏東科技大學。民國 89 年。第 102 頁至第 122 頁。
 - 26.陳正修等。「屏東縣輔導養殖魚塭轉型計畫-不適養殖魚塭集中區轉出評估規劃」。行政院農業委員會。民國 82 年。
 - 27.象形設計工程顧問股份有限公司。「彰化縣輔導魚塭轉營計畫評估研究」。彰化縣政府。民國 82 年。
 - 28.馮秋霞、許榮庭、呂榮一、周昱志、許勝雄。「地下水及地盤下陷調查-嘉南地區水田灌溉對地下水補注影響之調查與評估(I)」。國立屏功大學水工試驗所。1995。第 4-1 頁,第 5-9 頁。
 - 29.黃書禮。「生態土地使用規劃」。詹氏書局。民國 89 年。
 - 30.陳獻等。「宜蘭縣規劃輔導不適合發展養殖之魚塭集中區作其他用途」。行政院農業委員會。民國 82 年。第 2 頁至第 8 頁。
 - 31.曾憲郎。「地層下陷的社會成本評估 CVM 與 HPM 結合之應用補助計畫成果報告書」。經濟部水資源局。民國 87 年。
 - 32.萬騰州等。「地層下陷防治推動綜合計畫子計畫二-生物處理技術應用於養殖循環用水淨水系統示範計畫」。經濟部水資源局。民國 87 年。
 - 33.塗惇義。「臺灣沿海土地利用現況與改善措施」。土地行政。民國 80 年。第 61 期。
 - 34.鄒禕、葉一隆、王裕民。「休耕水稻田蓄水對地下水涵養補注之影響-以彰化田中休率示範田為例」。第九屆水利工程研討會論文集下冊。民國 87 年。G173 ~G179。
 - 35.農漁牧產業自動化技術服務團。「<http://agriauto.ame.ntu.edu.tw/>自動化文獻/漁業自動化」。民國 90 年。
 - 36.經濟部。「台灣地區地下水觀測網整體計畫」。經濟部。民國 85 年。
 - 37.經濟部水資源局。「八十八年度「地層下陷防治執行方案」實地查訪」。經濟部。民國 88 年。
 - 38.經濟部水資源局地層下陷防護團。「<http://www.lsc.ncku.edu.tw/>交流天地-問答集」。民國 89 年。
 - 39.經濟部水資源局。「水資源政策白皮書」。民國 85 年。

- 40.經濟部水資源局。「台北盆地八十五年水準網點檢測報告」。民國 86 年。第 1 頁至第 7 頁。
- 41.經濟部、農委會。「地層下陷防治執行方案 86 年度執行情形與辦理成效檢討」。86。第 23 頁至第 48 頁。
- 42.經濟部、農委會。「地層下陷防治執行方案」。民國 84 年。第 2 頁。
- 43.廖一久。「九十年代台灣水產養殖的現況與展望」。民國 80 年。第 37 頁。
- 44.鄭昌奇等。「海岸防護區防護計畫之研擬工作計畫(II)－地層下陷及洪氾溢淹災害防護」。工業技術研究院能源與資源研究所。民國 87 年。第 52 頁至第 53 頁。
- 45.歐陽湘等。「台灣沿海地區之地層下陷監測調查研究(八十六年度)-宜蘭、彰化、雲林、嘉義、屏東地區」。經濟部水資源局。民國 86 年。第 5-2 頁。
- 46.潘禎哲、張炎明。「屏東平原地下水及水文地質研討會論文集-屏東平原之地下水文概況」。民國 87 年。第 165 頁至第 175 頁。
- 47.譚義績、張誠信。「地層下陷防治執行方案之推動」。國土資訊系統通訊。民國 86 年。第 22 期。
- 48.嚴式清。「地層下陷對農業的影響與對策」。蔗報月刊。民國 86 年。第 65 期。

二、外文部分：

- 1.Chien, Yew-Hu. "Aquaculture in the Republic of China". Asian Productivity Organization & Taiwan Fisheries Research Institute, 1993. pp.31~50.
- 2.Furuno, K., A. Kagawa, and H. Nirei "Land subsidence and sustainable groundwater use in Kanto groundwater basin in Japan - The important role of monitoring system". Res. Inst. Environ. Geol., Chiba, (RIEGC), Japan. 30. Int. Geological Congress, Beijing (China) Aug. 1996.
- 3.Johnson, A. I. "A quarter century of IAHS/UNESCO technology transfer regarding land subsidence occurrence and research". Preface of Land Subsidence-Natural Causes Measuring Techniques. The Groningen Gasfields. A. A. Balkema.1995.
- 4.Landesman, L. "Negative impacts of coastal aquaculture development." Biol. Dep., Univ. Southwestern Louisiana, Lafayette, LA 70504, USA. WORLD-AQUACULT. 1994. Vol. 25, No. 2, pp.12~17.
- 5.Smith, David M. "Rural Community Empowerment through Participatory Planning Strategies", Institute of Tropical Agriculture, National Pingtung University of Science and Technology. 2002.
- 6.Waltham, A .C. "Ground Subsidence". USA. Chapman and Hall New York. 1989.
- 7.Zhu, Jicheng. "Problems in the exploration of ground waters and the prevention and cure methods of them in Beijing". Abstracts of papers presented at the 30th international geological congress. Vol.3., Geologic-Engineering Exploration Institute of Beijing, P. R. China. 1996.

A Study on the Preventing Strategies of Aquifer Subsidence at Pingtung Coastal Area

Guan-Guay Mao

Department of Rural Planning and Landscaping,
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

During the past two to three decades, the agricultural land at Pingtung Coastal Area has largely converted to the aquacultural land. This change has contributed to the increase of the rural family income with a positive impact. However, due to the transformation of the agricultural land use pattern as well as the huge increments of the groundwater discharge that has resulted the problems of stratum subsidence, water pollution, and the backward irrigation of seawater. Therefore, there is the need to investigate the reasons that cause the severe stratum subsidence. Further, the preventing strategies of the stratum subsidence area will be also formulated from the literature review, the field investigation and the overview of whole Kaoping river area. The preventing strategies include the management and preservation of watershed, the building-up of river-intercept weir, the dredging of the river channel by nature, the constructing of the public water supply and drainage system in the aquacultural area, the promotion of recirculating aquacultural system, the advocacy of the aquifer subsidence land preservation, the promotion of water recirculation, the promotion of running water supply, the development of fishseed center, and the advocacy of leisurely agricultural land for recharging underground water.

Keywords: Aquifer Subsidence, Preventing Strategies, Sustainable Land Use, Aquifer Subsidence Land Preservation, Groundwater Recharge, Recirculating Aquacultural System, Fishseed, Aquacultural Area