

石門大圳灌區灌溉配水計畫之探討

Investigation on the Irrigation Water Plan in Shihmen Main Canal Area

農業工程研究中心助理研究員

簡傳彬

Chuan-Pin Chien

農業工程研究中心副研究員

黃振昌

Cheng-Chang Huang

摘 要

台灣地區近年來由於社會環境的變遷以及工商業的快速發展，使得影響灌溉用水之渠道輸水損失、補助水源的灌溉水質、秧田用水及有效雨量等，均已異於 40 年前石門大圳完工時之情況。因此本文分別就石門大圳灌區不合格水量、有效雨量與渠道輸水損失等進行探討及分析。最後就各因子對灌溉配水計畫之影響，進行綜合檢討。

石門水庫之石門大圳灌溉配水量在預定灌溉面積為 12,206 公頃之基準下，原計畫石門大圳灌溉配水量 17,214 萬立方公尺；經依民國 69 年至 89 年日雨量資料，進行有效雨量之修正後，配水量為 19,635 萬立方公尺，約增加 2,421 萬立方公尺（約為原計畫灌溉配水量的 14%）。經以修正有效雨量並採用民國 90 年至 91 之輸水損失實測建議值，配水量為 20,327 萬立方公尺，較僅修正有效雨量之灌溉配水量增加約 692 萬立方公尺（約為僅修正有效雨量之灌溉配水量的 3.5%）；而不考慮秧田用水將減少灌溉配水量約 695 萬立方公尺（約為原計畫灌溉配水量的 4.0%）；如將不符合灌溉水質標準之補助水源改由水庫供給，灌溉配水量需增加約 758 萬立方公尺（約為原計畫之灌溉配水量的 4.4%）。經修正有效雨量、採用民國 90 年至 91 之輸水損失實測建議值、不計秧田用水及將不符合灌溉水質標準之補助水源改由水庫供給之條件，在灌溉面積 12,206 公頃之基準下，建議水庫配水量為 20,390 萬立方公尺；此外，近年來由於水稻田之休耕轉作等各項因素，將造成預定灌溉面積與實際灌溉面積有相當大的差異；建議有關單位應隨時追蹤調查實際種植（灌溉）面積以修正灌溉計畫用水量。

關鍵詞：灌溉配水量，有效雨量，灌溉水質。

ABSTRACT

Due to recent social environment changes and rapid development in industry and

commerce in Taiwan, water conveyance losses, water quality of supplement sources, seeding water requirement and effective rainfall have been different from those in 40 years ago when the Shihmen main canal was just constructed. Therefore, this study conducts investigation and analyses on substandard irrigation water, effective rainfall and water conveyance losses of the Shihmen main canal. A comprehensive review is proposed which is on various factors of the influence on irrigation water plan.

With originally designed irrigation area of 12,206 hectares, the water from the Shihmen Reservoir for the Shihmen main canal was planned to be $172.14 \times 10^6 \text{m}^3$. It is corrected that the water distributed is $196.35 \times 10^6 \text{m}^3$ according to the daily rainfall records (1980 - 2000). The increase amount is about $24.21 \times 10^6 \text{m}^3$ which is 14% of the originally planned distribution water. With corrected effective rainfall and suggested water conveyance losses in field investigation in 2001 and 2002, distribution water is $203.27 \times 10^6 \text{m}^3$, which is of $6.92 \times 10^6 \text{m}^3$ more than corrected effective rainfall and is about 3.5% of distribution water with corrected effective rainfall. In case there is no need of water for seedling, the amount of $6.95 \times 10^6 \text{m}^3$ will be cut from distribution water and this is about 4.0% of original planned distribution water. If the supplementary water which fails to pass the criteria is supplied by the reservoir, the distribution water will be increased by an amount of $7.58 \times 10^6 \text{m}^3$ which is about 4.4% of original planned distribution water. With corrected effective rainfall, suggested water conveyance losses in field investigation in 2001 and 2002, no need of water for seedling, and supplementary water supplied by the reservoir, the suggested distribution water is $203.90 \times 10^6 \text{m}^3$ to an irrigation area of 12,206 hectares. In addition, due to the factors of recession and transferring for paddy field recently, there is a big difference between planned irrigation area and actual irrigation area. It is suggested that related government agencies keep tracing about actual irrigation area so as to modify the water distribution for the irrigation plans.

Keywords: Water distribution, Effective rainfall, Irrigation water quality.

一、前言

台灣地區近年來各標的用水受到枯旱之威脅有逐漸加劇之趨勢，以桃園及石門農田水利會灌區而言，民國 91 年及 92 年一期作，均有部分農田因枯旱而停灌休耕。92 年二期作亦因枯旱而減供灌溉用水。此缺水之原因，除氣候條件外，民生與工業等標的用水需求之大幅成長，使得總用水量增加亦是主要原因。當供水量不足，各標的用水為爭取有限的水資源，而進行各標的用水量調配之討論時，由於水利會灌溉計畫表中之部分數據，仍採用四十年前之試驗或計算所得之數據（例如：石門大圳幹渠、支分渠及小給水路之輸水損失），而頻遭質疑。以石門大圳灌區為

例，由於石門大圳幹渠除自石門水庫輸送灌溉用水外，尚需輸送自來水之原水，致無法長時間斷水，以辦理更新改善工程；因此必需在灌溉停水期間爭取有限時間，分年分期辦理石門大圳灌溉渠道之更新改善工程；且因時代變遷，渠道更新改善工程使用之材料已與當年石門大圳施工時之材料有所差異，致渠道之滲漏等性質與當年（民國 51 年）有所差異；另外，部份區段之渠道因未能適時配合停水進行更新維護工作而有龜裂滲漏之情形。綜合以上因素，顯示：渠道輸水損失與 40 年前之數據已有所差異，實有必要重新加以釐定，以符合現狀。

在石門水庫完成後的十年間，石門大圳灌區不論水庫或河川補助水源，其水質均符合灌溉水

質標準。但近年來由於工商業的發展，石門大圳灌區鄰近之工業區及社區等，所排放之廢水，使得石門大圳灌區部份補助水源（如老街溪、新街溪及社子溪等）之灌溉水質污染越來越嚴重（桃園縣環境保護局，1998；農業工程研究中心，2002）。有關單位為早日挽救灌區水質惡化現象，除建請有關單位重視污水排放問題、加強取締並積極進行灌排分離等各項工程外；在未完成污染整治及各項灌排分離工程前，灌區攔河堰水源（補助水源）之水質有加以探討之必要（張大偉等，1999；黃振昌與張大偉，1999；農業工程研究中心，1998，2002）。此外，由於育苗中心之設立，對於秧田用水，是否仍有必要繼續供給；有效雨量等諸項因子，亦因時空之變化而有所改變，均有必要加以檢討或修正，以為灌溉計畫用水釐訂之參考。因此本研究以石門大圳灌區為例，就前述輸水損失、灌溉水質、秧田用水與有效雨量等因子對灌溉配水之影響，進行分析探討，以提供有關單位進行灌溉配水計畫研擬之參考。

二、研究區域概述

石門大圳灌區位於桃園縣南部與新竹縣北部台地，南面倚山，標高約 240 公尺，北界桃園大圳，東臨大漢溪，地勢由南向北傾斜，形成一扇形沖積丘陵，灌區內有南坎溪、茄荖溪、新街溪、老街溪、大堀溪、社子溪等溪流，形成自然之排水系統（石門農田水利會，1988）。

石門大圳於民國 51 年由石門水庫建設委員會渠管工程處負責興建完成；民國 53 年石門農田水利會成立後，即負責接管石門大圳幹渠及其附屬設施(包括幹渠 27 公里、支渠 18 條約 101 公里、分渠 43 條 176 公里及小給水路 1,700 公里)。灌溉區域之計畫灌溉面積，依據民國 44 年 5 月之「石門水庫工程定案計劃報告書」為 20,600 公頃，其後經精確計量灌溉區域內之總面積並扣除軍事基地、房屋建築、池塘、墓地、道路及溝渠等，計畫區域之灌溉面積為 21,926 公頃（石門農田水利會，1988）；依據前述計畫灌溉面積（21,926 公頃）為基準，二個期作之總需水量約

為 39,634 萬立方公尺（需水深約 1,808 公厘），扣除有效雨量 13,352 萬立方公尺（水深約 609 公厘），並採用田間小給水路之輸水損失 13%，則水門總用水量約為 30,223 萬立方公尺；而依水庫之定案計畫，水庫可供給石門大圳灌區之水量約為 22,187 萬立方公尺（如含幹支線輸水損失，則水庫配水量為 23,328 萬立方公尺），約為水門總用水量（30,223 萬立方公尺）之 73.4%，不足約 8,000 萬立方公尺之水量；此不足之水量，則由攔河堰取水、回歸水與池塘集水補充之（水利局石門大圳輪灌工程處，1963）。

水利局石門大圳輪灌工程處（1963）根據石門水庫之 M5 配水率、平均分配法及最佳化分配法等三種方法，計算得石門大圳池塘容積分別為 6,003 萬立方公尺、3,648 萬立方公尺與 2,520 萬立方公尺，而當時石門大圳灌區之池塘共 3,179 口，佔地面積 3,115 公頃，總蓄水量約為 2,700 萬立方公尺。依當時之池塘面積，配合水庫之放水操作，尚可供應石門大圳之灌溉用水。近年來由於都市計畫、道路等公共設施之開發，及高低揚灌溉區域劃出石門水利會事業區域，目前灌溉面積已減為 12,206 公頃，計畫水門總用水量（二個期作）為 20,891 萬立方公尺，而水庫水門配水量(不含幹渠輸水損失)為 16,353 萬立方公尺(如含幹支線輸水損失，則水庫配水量為 17,214 萬立方公尺)，約為水門總用水量之 78.3%，其餘約 4,538 萬立方公尺之水量，則由攔河堰取水、回歸水與池塘集水補充之。

三、材料與方法

石門大圳灌區灌溉配水計畫之擬定及演算方式如圖 1 所示，圖 1 中共有 11 個工作項目，將輪區灌溉地清冊校對、降雨量資料蒐集、池塘集水及河水取入量資料蒐集合併為基本資料蒐集與校對，而農作時期與渠道輸水損失率之查定亦合併為乙項，則共分為 8 個項目簡述如下(石門農田水利會，2001；農業工程研究中心，2002)：

1. 基本資料蒐集與校對（包括輪區灌溉地、降雨量、池塘集水及河水取入量等資料蒐集）：由於灌溉地清冊為灌溉配水計畫擬定之基本資

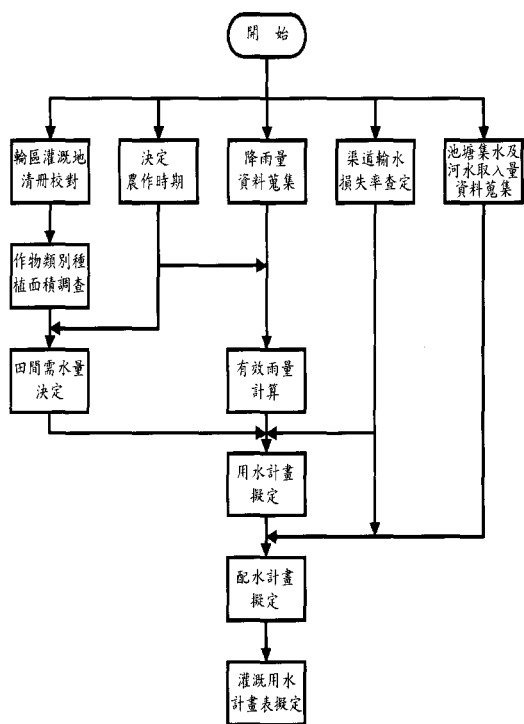


圖 1 灌溉計畫表擬定流程圖

料，因此在灌溉計畫擬定前，需先進行輸區灌溉地清冊校對（含清查）；同時應蒐集降雨量、池塘集水及河水取入量等資料，以作為計畫灌溉用水量計算之基本資料。

2. 農作時期與渠道輸水損失率之查定：由於水稻品種與本田生長日數及灌溉日數有密切之關係；因此配合水稻品種以決定農作時期，並依據渠道現況進行各級渠道輸水損失率之查定。
3. 作物類別與種植面積調查：灌區預定種植面積與灌溉水量計算結果之正確性有密切之關係；因此每期作灌溉開始前，水利會將配合輸區灌溉地清冊進行作物類別與種植面積之調查，作為計畫灌溉用水量計算之基本資料。
4. 田間需水量決定：田間需水量包括作物蒸發散量及田間滲漏量，係依照灌區之土壤種類、農作時期及區域氣候條件而決定（Allen 等，1998；Mooremann 與 Breemen，1978）或進行現地觀測試驗獲得。
5. 有效雨量之計算：依據「石門水庫多目標運轉

規則」，石門大圳之有效雨量，採臺灣省輪流灌溉推進委員會之計算方法，以一百公釐減農田湛水深為日雨量一次水深利用量為原則，累積該年日雨量之利用量為年有效雨量，並依歷年之年有效雨量進行統計分析，以頻率百分之十為有效雨量之基準年。

6. 用水計畫擬定：根據預定種植面積、田間需水量、有效雨量及小給水路輸水損失等資料，以計算水門用水量。
7. 配水計畫擬定：再依據池塘集水及河水取入量、幹支渠及調度損失率等資料，將水門用水量扣除池塘集水及河水取入量，再加上幹支渠及調度損失量即可獲得石門大圳配水量。
8. 灌溉用水計畫表擬定：將前述配水計畫，依據錯開日數等時間因素，計算各旬之配水量，並就池塘集水及河水取入量、石門大圳配水量及池塘蓄水容量，進行池塘水平衡分析（簡傳彬與方文村，2000），以擬定灌溉用水計畫表。

在前述各項工作中，輸區灌溉地、降雨量、池塘集水及河水取入量等基本資料蒐集、作物類別與種植面積調查及田間需水量決定等工作，係屬例行性工作，本文將不再詳細說明外，其餘之工作項目，本研究將用水計畫、配水計畫與灌溉用水計畫表擬定等工作合併，再考慮灌溉水質因素，共區分為 5 個子題進行探討，分別為 1. 農作時期與秧田用水；2. 渠道輸水損失率；3. 有效雨量；4. 灌溉水質；5. 灌溉配水量的計算。

3.1 農作時期與秧田用水

石門大圳灌區農作時期，在民國 69 年之前，係依「石門水庫多目標運轉規則」農作時期之規定，詳如表 1 所示。惟石門農田水利會於民國 70 年擬定灌溉計畫時，為配合高低揚抽水灌區劃出石門農田水利會事業區域及部份灌溉地變更為公共設施、工廠及建地等，致預定灌溉面積由 13,488 公頃減為 11,517 公頃，而進行灌溉用水計畫檢討後，將本田灌溉計畫之作物生長日數，第一期作由 115 天修正為 130 天，第二期作由 105 天修正為 120 天；而本田灌溉日數，第一期作亦由 105 天修正為 120 天，第二期作由 95

表 1 農作時期與灌溉日數比較表

年期	期作	播種灌溉計畫				插秧灌溉計畫					本田灌溉計畫					
		播種時期				整田時期		插秧時期			起	停水			灌溉日數	生長日數
		起	迄	育秧日期	灌溉日數	起	迄	起	迄	錯開日數		起	起	迄		
		時間	時間	天	天	時間	時間	時間	時間	天	時間	時間	時間	天	天	
民國 69 年	一期作	1月 21日	2月 19日	40	40	2月 29日	3月 30日	3月 1日	3月 31日	30	3月 1日	6月 15日	7月 14日	105	115	
	二期作	7月 9日	7月 23日	15	15	7月 23日	8月 11日	7月 24日	8月 12日	20	7月 24日	10月 27日	11月 15日	95	105	
民國 92 年	一期作	2月 1日	2月 28日	28	40	3月 1日	3月 30日	3月 2日	3月 31日	30	3月 2日	6月 30日	7月 29日	120	130	
	二期作	7月 7日	7月 21日	15	15	7月 22日	8月 10日	7月 23日	8月 11日	20	7月 23日	11月 10日	11月 30日	110	120	
本研究	一期作	2月 1日	2月 28日	28	30	3月 1日	3月 30日	3月 2日	3月 31日	30	3月 2日	6月 30日	7月 29日	120	130	
	二期作	7月 7日	7月 21日	15	20	7月 22日	8月 10日	7月 23日	8月 11日	20	7月 23日	11月 10日	11月 30日	110	120	

天修正為 110 天；並沿用至今，如表 1。而播種灌溉計畫之灌溉日數雖未修正，但在民國 69 年（含 69 年之前）之灌溉計畫中，育秧日期（數）因秧田錯開日數與秧田灌溉日數相同，故該灌溉計畫表中之育秧日期（數）既為秧田錯開日數亦為秧田灌溉日數。而由民國 92 年（含民國 70 年至民國 91 年）之灌溉計畫顯示：秧田灌溉日數為第一期作四十天，第二期作十五天；秧田育秧日期（指秧田錯開日數）為第一期作二十八天，第二期作十五天。前述（民國 92 年）秧田錯開日數、秧田灌溉日數與插秧灌溉計畫之錯開日數，經由農業工程研究中心（2002）進行探討後，發現目前石門大圳用水計畫之第一、二期作之秧田灌溉日數與插秧時期並無法充分配合，建議石門大圳灌溉計畫之秧田灌溉日數修正為第一期作三十天，第二期作二十天；而秧田錯開日數仍維持為第一期作二十八天，第二期作十五天計算，如表 1 所示（農業工程研究中心，2002）；本研究並依據此建議之農作時期進行灌溉計畫表之演算。此外，為了解灌區秧田用水情形，本研究經赴灌區現場勘查結果，仍有部分農民自行播種插秧，惟數量不多；但有部分育苗中心係利用現有農田進行大規模之育苗，其用水仍為灌溉

用水；因此本研究在分析上，將區分考慮秧田用水與不考慮秧田用水兩部分進行灌溉配水量之計算並加以比較。

3.2 各級渠道輸水損失率之查定

輸水損失係指灌溉水源自水門取水後，經渠道輸送至田間灌溉過程中所減少之灌溉水量，在農田水利會灌溉管理上，常以輸水損失率來表示。輸水損失可分為兩大類，一為管理必要水量，即水門操作損失、渠岸溢流等；二為渠道之蒸發與滲漏損失，包括渠道水面蒸發量、渠岸之蒸發散量、渠道滲漏、水門及渠首裂縫漏水（中國農業工程學會，1983；先進工程顧問有限公司，1988；農業工程研究中心，1984，1995，1996，2002；簡傳彬與黃雲和，1997）。目前石門農田水利會之石門大圳灌溉用水計畫中之各級渠道輸水損失率，仍使用石門大圳完工時之建議值，分別為幹支渠及調度損失率 5%與小給水路輸水損失率 14.5%。由於石門大圳通水迄今已四十年，四十年來各項渠道內面工材料與周圍環境均已異於當年；因此農業工程研究中心接受石門農田水利會之委託，針對石門大圳、各支分渠及小給水路於民國 90 至 91 年進行輸水損失之調查，

並配合灌溉用水計畫，以支線別為單元計算輸水損失率，該輸水損失率與原計畫之輸水損失率如表 2 所示。由表中顯示幹支渠及調度損失率之實測建議值介於 4.9%~12.8%之間，除平鎮支渠外，均較原計畫之輸水損失率增加；小給水路輸水損失率之實測建議值介於 4.5%~20.7%之間，除員樹林與繞嶺支渠低於原計畫，埔頂、過嶺及環頂支渠高於原計畫外，其餘各支渠與原計畫大致相同；整體而言，石門大圳灌區現況之輸水損失率較原計畫增加。因此本研究將依原計畫與民國 90 年至 91 年農業工程研究中心於石門大圳灌區進行輸水損失調查之實測建議值進行灌溉配水量之計算並加以比較。

3.3 有效雨量計算

石門大圳灌區有效雨量之計算步驟，首先蒐集歷年之日雨量資料，再將每一場連續降雨中之各日日雨量進行累加，如式(1)所示。

$$\bar{R}_j = \sum_{i=1}^{N_d} R_{j,i} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中， \bar{R}_j 為第 j 場降雨之總降雨量， N_d 為第 j 場降雨之降雨日數， $R_{j,i}$ 為第 j 場降雨之第 i 日降雨量。第 j 場降雨之總有效雨量 ER_j 可依式(2)計算；對於第 j 場降雨中之各日日有效雨量 $ER(t)$ ，則以式(3)加以計算；再將每年本田期間之每日有效雨量予以累加，以計算年有效雨量；由統計期間之年有效雨量，求取十年發生一次旱年頻率之年有效雨量，並以該年為有效雨量之代表年。

$$ER_j = \begin{cases} 0 & \bar{R}_j \leq 5mm \\ \bar{R}_j & 5mm < \bar{R}_j \leq 30 + 6N_d mm \\ 30 + 6N_d & \bar{R}_j > 30 + 6N_d mm \end{cases} \quad (2)$$

$$ER(t) = \frac{ER_j}{N_d} \quad \dots\dots\dots(3)$$

石門大圳原計畫之有效雨量係以民國 16 年至 52 年，共 37 年之雨量紀錄，以 10 年發生一次旱年為基準，推估計畫年有效雨量，其結果顯示：民國 23 年之年有效雨量 618 mm，相當於十年發生一次旱年之頻率年。故採用該年之各月份

表 2 各支渠原計畫輸水損失率與民國 90 年至 91 年實測建議值比較表

支渠別	小給水路輸水損失率		幹支渠及調度損失率	
	民國 90 年至 91 年實測建議值	原計畫	民國 90 年至 91 年實測建議值	原計畫
員樹林支渠	4.5%	14.5%	10.0%	5.0%
社子支渠	14.5%	14.5%	7.6%	5.0%
埔頂支渠	20.7%	14.5%	10.6%	5.0%
南勢支渠	14.5%	14.5%	6.2%	5.0%
東勢支渠	14.5%	14.5%	5.8%	5.0%
中壠支渠	14.5%	14.5%	5.6%	5.0%
平鎮支渠	14.5%	14.5%	4.9%	5.0%
過嶺支渠	20.4%	14.5%	11.7%	5.0%
山溪支渠	14.5%	14.5%	8.3%	5.0%
環頂支渠	15.5%	14.5%	12.8%	5.0%
高山頂支渠	14.5%	14.5%	5.4%	5.0%
山麓支渠	14.5%	14.5%	9.4%	5.0%
大金山支渠	14.5%	14.5%	5.0%	5.0%
繞嶺支渠	9.3%	14.5%	11.3%	5.0%
長岡嶺支渠	14.5%	14.5%	6.0%	5.0%
湖口支渠	14.5%	14.5%	6.6%	5.0%

有效雨量為計畫有效雨量，其中一期作本田有效雨量 378.93 mm，二期作本田有效雨量 239.07 mm，詳如表 3。在表 3 之資料中，區分為有效雨量與本田有效雨量兩個欄位，兩者之不同點在於計算之期間，有效雨量之計算涵蓋整個期作之秧田、整田、本田及收穫等期間之降雨；本田有效雨量之計算僅為本田灌溉期間之降雨，不計秧田、整田及收穫等期間之有效雨量。前述之收穫時間係包含水稻在收割前 10 天（由表 1 中可顯示生長日數較灌溉日數增加 10 天）之停灌日數。

在有效雨量的各種計算方法（曹以松，1973；陳獻，1992；王心怡，1999）中，由於水門操作與機率分佈法為一兼顧學理計算與田間實際操作之模式，較符合農田灌溉之現況（陳豐文等，2002；農業工程研究中心，2002），因此，本文亦採用水門操作與機率分佈法之有效雨量推估值，進行灌溉配水量之計算。水門操作與機率分佈法之計算方式，首先依式 1 計算各場降雨

表 3 各方法有效雨量計算結果比較表

月份	有效雨量 (mm)			本田有效雨量 (mm)		
	水門操作與機率 分佈法	石門農田水 利會推估法	石門農田水 利會原計畫	水門操作與機率 分佈法	石門農田水 利會推估法	石門農田水 利會原計畫
2月	63.3	40.9	90.02	0.0	0.0	0.00
3月	86.5	98.3	111.31	83.7	95.1	74.20
4月	76.5	98.1	103.18	76.5	98.1	103.18
5月	82.8	125.9	106.47	82.8	125.9	106.47
6月	62.7	75.6	126.78	62.7	75.6	95.08
7月	43.4	61.7	92.23	12.6	17.9	46.11
8月	53.6	66.7	93.04	53.6	66.7	93.04
9月	54.0	97.8	66.66	54.0	97.8	66.66
10月	21.1	65.7	43.26	21.1	65.7	33.26
11月	21.9	29.1	--	7.3	9.7	--
總計	565.8	759.8	823.95	454.3	652.5	618.00
一期作總計	371.8	438.8	--	305.7	394.7	378.93
二期作總計	194.0	321.0	--	148.6	257.8	239.07

之總降雨量，如降雨日數為 1 天，則依式(4)進行每場降雨之有效雨量之計算；如降雨日數在 2 天（含）以上時，則以式(5)計算每場降雨之有效雨量，而降雨期間每日之有效雨量則以式(3)計算獲得（陳豐文等，2002；農業工程研究中心，2002）。由日有效雨量累計得月有效雨量。由歷年月有效雨量，再以機率分佈法尋求各月份有效雨量發生機率 75% 機率之最適分布模式，以推求各月份計畫有效雨量（王如意與易任，1983；程大器，2001；陳豐文等，2002）。

$$ER_j = \begin{cases} 0 & \bar{R}_j \leq 5mm \\ 6 & 5mm < \bar{R}_j \leq 9mm \\ \left(\frac{\bar{R}_j}{6} - 0.5\right)D_{id} \leq \bar{R}_j & 9mm < \bar{R}_j \leq 30mm \\ 4.5D_{id} \leq \bar{R}_j & 30mm < \bar{R}_j \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

式中， D_{id} 為每日灌溉水深。

$$ER_j = \begin{cases} 0 & \bar{R}_j \leq 5mm \\ 6 & 5mm < \bar{R}_j \leq 9mm \\ \left(\frac{\bar{R}_j}{6} - 0.5\right)D_{id} \leq \bar{R}_j & 9mm < \bar{R}_j \leq 30mm \\ (4.5 + N_d)D_{id} \leq \bar{R}_j & 30mm < \bar{R}_j \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

近年來由於受全球氣候變遷之影響，石門大圳灌區之降雨量已與民國 16 年至 52 年間之氣象條件不同，因此本研究採用石門大圳灌區灌溉計畫之有效雨量（民國 16 年至 52 年之雨量紀錄）及民國 69 年至 89 年雨量資料以石門農田水利會推估法及水門操作與機率分佈法所推估獲得之有效雨量（三種方法之有效雨量詳如表 3）進行灌溉配水量之計算並加以比較。

3.4 灌溉水質的探討

石門農田水利會於民國 83 年至 89 年在石門大圳灌區各支分渠監測點，進行電導度檢測結果顯示：過嶺工作站各支分渠 88 年二期作的三次檢測值及 89 年 10 月之檢測值均不符合灌溉水質標準（農業工程研究中心，2002）；於 88 年下半年及 89 年之石門大圳灌區支分渠水質檢測資料顯示：中壩、過嶺等部份支分渠之電導度不符合灌溉水質標準（石門農田水利會，2000）。農業工程研究中心（2002）於民國 90 年二期作及 91 年一、二期作，在石門大圳灌區進行每期作三次之水質檢測，檢測結果顯示：湖口工作站員山分渠於 91 年二期作之三次檢測值中，有一次不符合灌溉水質標準；而過嶺工作站各支分渠大

表 4 灌區計畫用水量與不合格水量

單位：萬立方公尺

支渠別	一期作					二期作				
	水門 用水量	池塘集水及河水取入量			不合格 水量	水門 用水量	池塘集水及河水取入量			不合格 水量
		池塘 集水量	河水 取入量	計			池塘 集水量	河水 取入量	計	
員樹林支渠	1914	162	246	408	82	2150	162	246	408	8
社子支渠	103	22	26	48	9	117	22	26	48	7
埔頂支渠	452	56	162	218	54	511	56	162	218	43
南勢支渠	116	4	26	30	9	131	4	26	30	7
東勢支渠	127	4	33	37	11	144	4	33	37	9
中壠支渠	493	18	45	63	15	557	18	45	63	12
平鎮支渠	119	5	39	44	13	134	5	39	44	10
過嶺支渠	1685	237	292	529	97	1886	237	292	529	185
山溪支渠	70	5	0	5	0	77	5	0	5	0
環頂支渠	1031	128	51	179	17	1158	128	51	179	3
高山頂支渠	105	8	0	8	0	118	8	0	8	0
山麓支渠	191	8	33	41	11	216	8	33	41	2
大金山支渠	133	0	7	7	2	151	0	7	7	0
繞嶺支渠	1968	370	84	454	28	2215	370	84	454	3
長岡嶺支渠	194	4	0	4	0	219	4	0	4	0
湖口支渠	1146	116	78	194	26	1262	116	78	194	18
合 計	9846	1147	1122	2269	374	11045	1147	1122	2269	308

部份均不符合灌溉水質標準；此外，在石門大圳補助水源之檢測結果顯示：電導度介於 103~2,554 μ mhos/cm 之間，約有 1/4 的檢測值不符合灌溉水質標準。農業工程研究中心（2002）經以電導度為灌溉水質之參數，計算各支渠別之不合格水量如表 4；由表 4 中顯示：石門大圳灌區第一、二期作之不合格水量分別為 374 及 308 萬立方公尺，各約佔河水取入量之 33%及 27%。本研究在考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源改以水庫供水，以進行灌溉配水量之計算，並與原計畫配水量進行比較。

3.5 灌溉配水量的計算

本文參照石門水利會之灌溉計畫擬定之演算流程，考慮 3.1 至 3.4 節之各項因素，進行石門大圳灌區灌溉配水量之計算。一般而言，在滿足田間需水量之情況下，田間灌溉用水量為田間需水量減去有效雨量；而田間需水量依農作時期

可區分為秧田整田、秧田補給、第一次浸田、第二次浸田、整田與本田補給等六部分，對於一個輪區而言，輪區 t 時刻之田間需水量可以式(6)加以計算。假設無田間溢流與水量不足之情形，則田間用水量等於田間需水量，即該式亦為田間用水量之計算式。

$$D_{f,k}(t) = D_{sp}(t) + D_{ss}(t) + D_{p1}(t) + D_{p2}(t) + D_{p3}(t) + D_s(t) - ER(t) \dots \dots \dots (6)$$

式中， $D_{f,k}(t)$ 為第 k 個輪區之田間用（需）水量， $D_{sp}(t)$ 為秧田整田田間用水量， $D_{ss}(t)$ 為秧田補給田間用水量， $D_{p1}(t)$ 為第一次浸田田間用水量， $D_{p2}(t)$ 為第二次浸田田間用水量， $D_{p3}(t)$ 為整田田間用水量， $D_s(t)$ 為本田補給田間用水量， $ER(t)$ 為有效雨量。有關秧田整田、秧田補給、第一次浸田、第二次浸田、整田、本田補給與有效雨量之計算式如式(7)至式 17 所示（農業工程研究中心，1993），分列如下：

1. 秧田整田田間用水量：

秧田整田田間用水量之計算式如下：

$$D_{sp}(t) = d_{sp}(t) \frac{A_s(t)}{25} S(t, t_s, t_p) \dots\dots\dots(7)$$

式中， $d_{sp}(t)$ 為 t 時刻秧田整田供水深，而 $A_s(t)$ 為考慮錯開日數下之虛擬灌溉面積，其計算式如式(8)所示，式(7)中將虛擬灌溉面積除以 25，係因秧田折合本田間之比例為 1/25； $S(t, t_s, t_p)$ 為錯開時間函數，其方程式如式(9)所示。

$$A_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^M A_i}{t_p} \dots\dots\dots(8)$$

式中， A_i 為第 i 單區之灌溉面積， M 為輪區內之單區數。

$$S(t, t_s, t_p) = U(t - t_s) - U[t - (t_s + t_p)] \\ = \begin{cases} 0 & t < t_s \\ 1 & t_s \leq t < t_s + t_p \\ 0 & t_s + t_p \leq t \end{cases} \dots\dots\dots(9)$$

式中， t_s 為播種開始日期； t_p 為秧田錯開日數，而 $U(t - t_s)$ 為單位步階函數 (unit step function)，如式(10)所示。

$$U(t - t_s) = \begin{cases} 0 & t < t_s \\ 1 & t \geq t_s \end{cases} \dots\dots\dots(10)$$

2. 秧田補給田間用水量：

秧田補給田間用水量之計算式如下：

$$D_{ss}(t) = \sum_{i=1}^{N_s} \left\{ \int_{t+(i-1)l_s}^{t+il_s} d_{ss}(\tau) d\tau \right\} \frac{A_s}{25} S[t, t_s + (i-1)l_s, t_p] \dots\dots\dots(11)$$

式中， N_s 為秧田補給灌溉次數， $d_{ss}(t)$ 為 t 時刻秧田補給日供水深，而 l_s 為秧田補給灌溉期距。

3. 第一次浸田田間用水量：

$$D_{p1}(t) = d_{p1} A_p(t) S(t, t_{p1}, t_{pp}) \dots\dots\dots(12)$$

式中， d_{p1} 為第一次浸田供水深， $A_p(t)$ 為考慮錯開日數下之本田虛擬灌溉面積，其計算式如式(13)所示， t_{p1} 為第一次浸田開始日期； t_{pp} 為本田錯開日數。

$$A_p(t) = \frac{\sum_{i=1}^M A_i}{t_{pp}} \dots\dots\dots(13)$$

4. 第二次浸田田間用水量：

$$D_{p2} = d_{p2} A_p(t) S(t, t_{p2}, t_{pp}) \dots\dots\dots(14)$$

式中， d_{p2} 為第二次浸田供水深， t_{p2} 為第二次浸田開始日期。

5. 整田田間用水量：

$$D_{p3} = d_{p3} A_p(t) S(t, t_{p3}, t_{pp}) \dots\dots\dots(15)$$

式中， d_{p3} 為整田供水深， t_{p3} 為整田開始日期。

6. 本田補給田間用水量：

$$D_s(t) = \sum_{j=1}^{N_h} \left\{ \int_{t+(j-1)l_p}^{t+jl_p-l_g} d_h(\tau) d\tau + d_g l_g \right\} A_p S[t, t_{p3} + 1 + (j-1)l_p, t_{pp}] \dots\dots(16)$$

式中， N_h 為本田補給灌溉次數， l_p 為本田補給灌溉期間之輪灌期距， l_g 為灌溉期距內之乾田日數， d_h 為本田每日減水深， d_g 為本田每日需水深。

7. 有效雨量：

$$ER(t) = \left(\frac{ER_m(M)}{M(t)} \right) \int_0^{t_p} A_p(t - \tau) S(\tau, t_{p3} + 1, l_0 - 1) \dots\dots\dots(17)$$

式中， $ER_m(M)$ 為第 M 月之月有效雨量， $M(t)$ 為第 M 月之該月總日數， l_0 為本田灌溉日數。

依據式(6)所計算獲得之田區灌溉用(需)水量，加上輸水損失為水門用水量，再考慮渠道輸水不少於 0.008 cms 之條件下，則水門用水量之計算式如式(18)所示。

$$D_{g,k}(t) = \frac{D_{f,k}(t)}{1 - L_{s,k}} \geq 0.008 \text{ cms} \dots\dots\dots(18)$$

式中， $D_{g,k}(t)$ 為第 k 個輪區之水門用水量， $L_{s,k}$ 為第 k 個輪區之小給水路之輸水損失率。而各支渠之水門用水量為支渠所轄各輪區水門用水量之總合，如式(19)所示。

$$D_{gc,j}(t) = \sum_{k=1}^{N_r} D_{g,k}(t) \dots\dots\dots(19)$$

表 5 各組合灌溉計畫配水量比較表

單位：萬立方公尺

案 別	有效雨量	輸水損失	秧 田	灌溉水質	一期作	二期作	合 計
原計畫	A	A	A	A	7,976	9,238	17,214
組合 1	B	A	A	A	7,739	8,956	16,695
組合 2	B	B	A	A	7,909	9,315	17,223
組合 3	B	A	B	A	7,652	9,004	16,656
組合 4	B	A	A	B	8,045	9,329	17,374
組合 5	B	B	B	A	7,559	9,014	16,573
組合 6	B	B	A	B	8,324	9,658	17,982
組合 7	B	A	B	B	7,667	9,040	16,707
組合 8	B	B	B	B	7,929	9,358	17,287
組合 9	C	A	A	A	8,989	10,645	19,635
組合 10	C	B	A	A	9,302	11,025	20,327
組合 11	C	A	B	A	8,611	10,357	18,967
組合 12	C	A	A	B	9,383	10,970	20,353
組合 13	C	B	B	A	8,908	10,724	19,632
組合 14	C	B	A	B	9,717	11,368	21,086
組合 15	C	A	B	B	9,004	10,681	19,685
組合 16	C	B	B	B	9,323	11,068	20,390

備註：有效雨量：A 為石門農田水利會原計畫有效雨量；B 為石門農田水利會推估法；C 為水門操作與機率分佈法。

輸水損失：A 為石門農田水利會原計畫輸水損失；B 為農業工程研究中心民國 90 年至 91 年實測建議值。秧田用水：A 為考慮秧田用水；B 為不計秧田用水。

灌溉水質：A 為不考慮灌溉水質問題；B 為考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給。

式中， $D_{gc,j}(t)$ 為第 j 條支渠之水門用水量；此水門用水量扣除池塘集水量($D_{pc,j}$)、河水取入量($D_{wc,j}$)，並考慮幹支渠及調度損失率($L_{mc,j}$)，則幹渠之水庫配水量計算式如式(20)所示。

$$D_{rc,j}(t) = \frac{D_{gc,j} - D_{pc,j} - D_{wc,j}}{1 - L_{mc,j}} \dots\dots\dots(20)$$

四、結果與討論

經依據前述演算流程，本文在有效雨量部份區分為：石門農田水利會原計畫有效雨量、石門農田水利會推估法及水門操作與機率分佈法等三種。輸水損失區分為：石門農田水利會原計畫輸水損失及民國 90 年至 91 年實測建議值兩種。秧田用水區分為：考慮秧田用水及不計秧田用水；灌溉水質區分為：不考慮灌溉水質及考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給等共 17 種組合(原計畫再加 16 種不同之組合)進行計算結果如表 5 所示。依據表 5 之結果，討

論如下：

1. 有效雨量區分為石門農田水利會原計畫有效雨量、石門農田水利會推估法及水門操作與機率分佈法等三種。其灌溉配水量計算結果以原計畫、組合 1 及組合 9 說明如下：
 - (1) 有效雨量採用石門農田水利會推估法(組合 1)之灌溉配水量為 16,695 萬立方公尺，較原計畫灌溉配水量(17,214 萬立方公尺)，減少約 519 萬立方公尺(約為原計畫灌溉配水量的 3%)；其原因係因農作時期之延長(一期作灌溉日數由 105 天延長至 120 天，二期作由 95 天延長至 110 天)，與日雨量取用期間之不同，使得本田有效雨量由原計畫的 618.0mm 增加至 652.5mm(詳如表 3)所造成。
 - (2) 有效雨量採用水門操作與機率分佈法(組合 9)之灌溉配水量為 19,635 萬立方公尺，較原計畫灌溉配水量(17,214 萬立方公尺)，增加約 2,421 萬立方公尺(約為原

計畫灌溉配水量的 14%)；其原因為水門操作與機率分佈法係採用月有效雨量進行機率分析，而原計畫則採用年有效雨量進行機率分析；兩者對有效雨量之分析模式不同，造成有效雨量之計算結果有所差異；惟水門操作與機率分佈法除考慮學理計算外並兼顧水門操作，應較符合現況(陳豐文等，2002)；建議採用水門操作與機率分佈法進行有效雨量之推估。

- (3) 採用水門操作與機率分佈法進行有效雨量之計算方式，雖兼顧水門操作法則，惟因台灣地區目前尚未有農田水利會採用此方式進行灌溉配水計畫之演算，建議未來水利會應進行水門操作與實際有效雨量之現地試驗觀測，以獲得試驗數據供水門操作與機率分佈法進行有效雨量計算方式推廣之依據。
2. 輸水損失區分為石門農田水利會原計畫輸水損失及民國 90 年至 91 年實測建議值兩種。其灌溉配水量計算結果可以組合 9 及組合 10 進行比較說明。組合 10 係採用民國 90 年至 91 年輸水損失實測建議值，其計算所得灌溉配水量為 20,327 萬立方公尺，較採用原計畫輸水損失之組合 9 灌溉配水量(19,635 萬立方公尺)，增加約 692 萬立方公尺(約為組合 9 灌溉配水量的 3.5%)。由於石門大圳業已運轉 40 年，渠道輸水損失異於當年，乃屬必然；因此本研究建議渠道輸水損失採用農業工程研究中心於民國 90 年至 91 年實測建議值。此外，近年來由於農業永續經營理念之興起，使得灌排渠道，除原有之輸水功能外，尚須具有節水、淨水與活水之功能(簡傳彬等，2000)。因此，未來渠道進行更新改善後，將因渠道功能之改變，造成輸水損失率之改變，建議應隨時進行渠道輸水損失率之測定及更新。另外，因休耕轉作等因素，使得水稻田面積遞減，相對使得用水量減少；在低流量時將造成渠道高輸水損失率之情形，嚴重時將使下游農田無法取得灌溉用水，建議石門農田水利會建立各支、分渠之最低配水量之基本資料，以利用水調配。

3. 考慮秧田用水及不計秧田用水之灌溉配水量計算結果可以組合 10 及組合 13 進行比較說明。不計秧田用水(組合 13)之灌溉配水量計算結果為 19,632 萬立方公尺，較考慮秧田用水(組合 10)之灌溉配水量(20,327 萬立方公尺)，減少約 695 萬立方公尺(約為原計畫灌溉配水量的 4.0%)。經由灌區現場勘查結果，目前大部分農田係採購育苗中心所生產之秧苗進行插秧，僅少部分農民自行播種插秧；因此，建議灌溉計畫表中之配水計畫不計秧田用水，以符合整體水資源運用之考量。
4. 不考慮灌溉水質及考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給之計算結果可以組合 13 及組合 16 進行比較說明。考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給(組合 16)之灌溉配水量計算結果為 20,390 萬立方公尺，較不考慮灌溉水質(組合 13)之灌溉配水量(19,632 萬立方公尺)，增加約 758 萬立方公尺(約為原計畫灌溉配水量的 4.4%)。此增加之水量係將不符合灌溉水質標準之補助水源量 682 萬立方公尺，改由水庫供給；而增加之灌溉配水量與不合格水量之差值為渠道幹支線之輸水損失。

綜合前述四項討論，在輸水損失採用民國 90 年至 91 年實測建議值、有效雨量使用水門操作與機率分佈法(採用民國 69 年至 89 年之雨量資料)之計算值、不計秧田用水並考慮考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給之條件，及灌溉面積 12,206 公頃之基準下，建議水庫配水量為 20,390 萬立方公尺。

目前石門大圳灌溉計畫灌溉面積之編定，係依據原「石門水庫多目標運轉規則」之規定：「灌溉計畫之灌溉面積，係按照最大可能開發灌溉土地，……，並以地政機關土地登記簿所載面積為準」。此項規定，係因石門水庫之興建，具有防洪、給水、灌溉及發電等四個主要目標；對灌溉而言，石門水庫之興建將可增加可灌溉面積以增加農業產值；因此，灌溉計畫之灌溉面積，係按照最大可能開發灌溉土地為目標。惟因社會環境的變遷，政府為抑制稻米生產過剩，自民國七十

三年起執行兩次之「稻米生產及稻田轉作六年計畫」，及相繼於民國八十五年之旱田調整計畫，以求非永遠性的降低水稻產量，亦即水稻田之休耕與轉作計畫將會在本區繼續推行。由於水稻田之休耕轉作等各項因素，將造成預定灌溉面積與實際灌溉面積有所差異；因此自民國 75 年開始，石門水庫管理單位，對石門大圳灌區之灌溉供水採 11,219 公頃為計算基準，而非以預定灌溉面積為計算基準；有鑑於此，建議石門農田水利會進行灌溉面積普查，並依據普查後之灌溉面積擬定灌溉計畫表；同時每期作亦應追蹤調查實際種植面積以修正灌溉用水量。此外，灌溉計畫表中之池塘集水及河水取入量，將因社會環境之變遷而有所改變，建議石門農田水利會進行現場調查，以了解實際池塘集水及河水取入量。

五、結論與建議

石門大圳於民國 51 年完工通水後，迄今已達 40 年，由於需長期供應灌溉用水與部分民生用水，使得石門農田水利會辦理石門大圳灌溉渠道更新改善工程之施工期受到停水時間的限制，需分年分期辦理；部份區段之渠道因未能適時配合停水進行更新維護而有龜裂滲漏之情形；且因時代變遷，渠道更新改善工程使用之材料已與當年石門大圳施工時之材料有所差異，致渠道之滲漏等性質與當年（民國 51 年）有所差異；因此渠道輸水損失有必要重新加以檢討。此外，工商業的發展，石門大圳灌區鄰近之工業區及社區等，所排放之廢水，使得石門大圳灌區之灌溉水質污染越來越嚴重，因此探討灌區攔河堰水源之水質及考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給等因應措施，為當前之要務。其他如有效雨量等諸項因子，亦因時空之改變，實有加以檢討或修正之必要，以為灌溉計畫用水釐訂之參考。

依據農業工程研究中心於民國 90 年至 91 年之灌溉水質檢測結果，補助水源中之老街溪污染嚴重，造成過嶺支渠灌區、平鎮支渠灌區之灌溉用水不符合灌溉水質標準，石門大圳灌區之一、二期作之不合格水量分別為 374、308 萬立方公

尺，各約佔河水取入量之 33%、27%，建議水質不符合灌溉水質標準之補助水源，應長期追蹤並檢測更上游端之水質，俾提供確切資料以管制污染來源。此外，並建議將嚴重污染之補助水源量改由水庫供給。而由於石門大圳灌區之農作時期已有改變，使得灌溉計畫供水之起訖日期與原計畫不同，以及全球氣候變遷等因素，建議有效雨量應重新加以計算。

本文經由渠道輸水損失、有效雨量、灌溉不合格水量等各項因子，在灌溉面積 12,206 公頃之基準下進行探討分析，結果顯示：原計畫配水量為 17,214 萬立方公尺，將輸水損失採用農業工程研究中心之實測建議值、不計秧田用水與有效雨量使用水門操作與機率分佈法（採用民國 69 年至 89 年之雨量資料）之計算值，配水量計算結果為 19,632 萬立方公尺；如再考慮將不符合灌溉水質標準之補助水源量改由水庫供給以計算灌溉配水量，結果為 20,390 萬立方公尺。經就渠道輸水損失與攔河堰水質、有效雨量以及灌溉計畫用水之綜合分析，在灌溉面積 12,206 公頃之基準下，建議水庫配水量為 20,390 萬立方公尺。惟因水稻田之休耕轉作等各項因素，將造成預定灌溉面積與實際插秧（灌溉）面積有所差異，如 92 年一期作石門大圳灌區實際插秧面積為 9,065 公頃，92 年二期作為 7,253 公頃；建議應隨時追蹤調查實際灌溉面積以修正灌溉供水量。

在低流量時將造成渠道高輸水損失率之情形，嚴重時將使下游農田無法取得灌溉用水，建議石門農田水利會建立各支、分渠之最低配水量之基本資料，以利用水調配。

致 謝

本文承蒙台灣省石門農田水利會提供相關資料，農業工程研究中心方文村秘書及陳豐文先生提供寶貴建議與協助，方得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 中國農業工程學會，「石門、桃園大圳輸水能力評估報告書」，1983。

2. 尤瑤川,「水稻整田與渠道容量之研究」,國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文,1981。
3. 水利局石門大圳輸灌工程處,「石門大圳輸灌工程工作報告」,1963。
4. 王心怡,「桃園大圳灌區有效雨量實用模式之研究及其應用」,中原大學土木工程研究所碩士論文,中壢市,1999。
5. 王如意、易任,「應用水文學」,國立編譯館,1983。
6. 石門農田水利會,「石門大圳六十年至六十三年、六十八年九十二年灌溉用水計畫」,1970~1973、1978~2002。
7. 石門農田水利會,「會誌(創立廿五週年紀念)」,1988。
8. 石門農田水利會,「加強灌溉水質管理維護計畫,八十八年下半年及八十九年度成果報告」,2000。
9. 先進工程顧問有限公司,「石門大圳輸水能力改善」,台灣省石門農田水利會研究計畫報告,1988。
10. 桃園縣環境保護局,「桃園縣環境保護白皮書」,1998。
11. 張大偉、俞維昇、黃振昌,「灌溉水質遭受污染所需稀釋水量評估—以彰化農田水利會灌區為例」,農業工程學報,第45卷第3期,第69頁至85頁,1999。
12. 曹以松,「有效雨量模擬與估算之研究及應用於台灣南部之結果」,農工—灌溉第十七號研究報告,1973。
13. 陳豐文、陳獻、蔡西銘、陳靖薇,「水田有效雨量推估模式建立及其應用之研究—以石門大圳灌區為例」,水資源管理2002研討會論文集,第593至608頁,1992。
14. 陳獻,「試論雨量高效率利用方法」,農業用水管理研討會論文集,第395至405頁,1992。
15. 程大器,「統計學理論與應用」,智勝文化事業有限公司,台北市,2001。
16. 黃振昌、張大偉,「從灌溉水質污染所需稀釋水量觀點探討合理灌溉用水量」,八十八年度農業工程研討會論文集,第143頁至150頁,1999。
17. 農業工程研究中心,「石門大圳量水測定報告」,台灣省石門農田水利會研究計畫報告,1984。
18. 農業工程研究中心,「農田水利會輪區配水計畫表電腦製作計畫」,行政院農業委員會研究計畫報告,1993。
19. 農業工程研究中心,「石門水利會給水路輸水損失之量測報告」,台灣省石門農田水利會研究計畫報告,1995。
20. 農業工程研究中心,「石門水庫灌區最合理灌溉需水量研究(二)」,台灣省石門水庫管理局研究計畫報告,1996。
21. 農業工程研究中心,「灌溉水質遭受污染所需稀釋水量評估」,行政院農業委員會研究計畫報告,1998。
22. 農業工程研究中心,「石門大圳用水計畫檢討」,石門農田水利會研究計畫報告,2002。
23. 簡傳彬、方文村,「線性規劃在池塘灌溉系統聯合營運之應用」,農業工程學報,第46卷,第3期,第69頁至82頁,2000。
24. 簡傳彬、方文村、吳瑞賢,「農業永續經營之灌溉排水工程」,2000年環境資源永續論壇論文集,第95頁至104頁,2000。
25. 簡傳彬、黃雲和,「石門水利會灌區輸水損失之前期調查研究」,八十五年度農業工程研討會論文集,第77至83頁,1997。
26. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration", FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1998.
27. Mooremann, F. R. and N. Van Breemen, "Rice: soil, Water, Land", International Rice Research Institute, 1978.

收稿日期：民國 92 年 10 月 22 日

修正日期：民國 92 年 12 月 9 日

接受日期：民國 92 年 12 月 15 日