

地表水與地下水灌區水資源聯合運用之研究 —以屏東隘寮圳灌區為例

Conjunctive Use of Surface and Ground Water in Irrigation Area

—A Case Study for Ailiao Irrigation Area, Pingtung—

國立成功大學
資源工程學系
博士班研究生

鄭 遠

Yum Cheng

國立成功大學
資源工程學系
碩士班研究生

陳美惠

Mei-Hui Chen

國立屏東科技大學
土木工程學系
教授

王裕民

Yu-Min Wang

國立成功大學
資源工程學系
教授

李振誥

Cheng-Haw Lee

摘 要

爲了探討如何有效利用現有的水資源，本研究選擇屏東農田水利會隘寮圳灌溉區爲研究區域，以線性規劃理論爲基礎，研究在滿足灌溉需水條件下之最佳地表水與地下水的水量分配。研究中並分析最佳分水率、計畫分水率及實際分水率情況下，枯豐水期抽水量與剩餘地表水量，進而探討可移用水量與其價值。

本研究以隘寮圳十年旬平均取水量爲依據進行最佳化模擬。由模擬結果顯示最佳分水率與實際分水率比較於枯水期有明顯的差異，以最佳分水率分水時的最小抽水量爲每年 19.558 百萬立方公尺且其剩餘水量爲每年 35.747 百萬立方公尺。若將取水量增至接近水權量並與實際分水率比較，於枯水期約可節省 60% 的電力費，若將減抽之地下水量與剩餘水量合併，則在枯水期可移用水資源爲每年 26.081 百萬立方公尺。若考慮氣候異常將取水量降低至 0.7 倍十年旬平均取水量，模擬結果亦均較實際分水率的現況良好，顯示最佳分水率在灌溉管理的重要性。

關鍵詞：地下水/地面水聯合運用，灌溉，線性規劃，最佳化。

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate how to effectively utilize the available water resources. The service area of Ailiao irrigation canal of the Farm Irrigation Association of Pingtung was chosen as the study area of this research. Linear programming is applied for the optimization on conjunctive use of surface and ground

water. Besides, this research also analyzes the amount of water to be pumped and excess surface water under the condition of optimized, planned, and existing water allocation rate during the period of dry and wet season. Furthermore, the amount of transferable water and its value are also discussed in the study.

Last ten years' average intake water records from Ailiao irrigation canal were used as input data for simulation. The results show that the optimized water allocation rate is significantly different from the existing one in dry season. The minimized volume of ground water required in the study area is 19.558 million M^3 yearly and under the condition of optimized water allocation rate, the excess surface water is 35.747 million M^3 per year.

From the results of this study, approximately about 60% of electricity cost for water pumping will be saved and there are 26.081 million M^3 of water could be transferred to domestic or industrial water use when surface intake water is close to the volume of water right during dry season.

Keywords: Surface/ground water conjunctive use, Irrigation, Linear programming, Optimization model.

一、前言

隘寮圳引水之歷史，始於民國二十七年，在現有堰址上游約 350 公尺處左岸建造第一進水口一座，並導水進入洞道圳長約 1.5 公里後，於水門橋接續隘寮圳幹線，惟因隘寮溪流心逐漸北移而無法發揮正常取水功能，復於民國三十年在第一進水口上游開鑿隧道導引河水入進水口，但因地形關係，每遇洪水砂石堵塞隧道入口，無法取水。於民國三十二年又於右岸設丁壩乙座，期望挑水引流心入第一進水口，惟翌年丁壩即遭洪水沖毀，致無法發揮挑水功能。為提供正常的灌溉給水，民國三十七年復於第一進水口下游約 350 公尺處建一輔助進水口，即目前使用中的第二進水口，並完成洞道圳長大約 500 公尺，以與原洞道圳相接合。隘寮堰係由前台灣省水利局第十一工程處（現更名為水利處第七河川局），於民國四十七年興建完成，交由屏東農田水利會營運管理。當時其計畫引水量 24cms，計畫灌溉面積 5,372 公頃，堰體完成近卅年以來，確已發揮抬高水位，截取溪流，引入水量並嘉惠灌區，解決農作需水之宏效。

隘寮圳所轄灌區跨越屏東縣北端之長治、內埔及鹽埔等三個鄉鎮，由於社會的變遷及耕作制

度的改變，目前灌溉面積計為 3464 公頃。其中水田約佔 23 公頃，旱田約佔 3441 公頃大部分為果樹。隘寮圳所轄灌區佈置除在隘寮溪設置攔河堰取地表水灌溉外尚有諸多水井取地下水以補地表水因時間及空間分配不均勻所致之不足。長久以來隘寮圳分水率皆承襲先人所訂未作過調整，目前各圳之灌溉計劃分水率如表 1-1。

但由於近年來經濟結構之改變、工商業快速成長，農業與非農業各方面對各項資源之需求日益俱增，隘寮圳所轄灌區由於農地之大量被移作他用，以及耕作之物種改變，昔日之配水公式實有檢討之必要。

1.1 研究動機

屏東為農業縣，而水是農業之母，在目前新水源開發困難且地表水水源缺乏下，每年雨量又分佈不均，雨季時，河川短流水急，很快入海，無法滯留陸地，所幸屏東地下水豐富，大部分農田均可鑿井灌溉，但成本較高；因隘寮堰是惟一地表水源，且水質良好清澈，如該灌區採用地表水與地下水聯合運用，加強用水管理，實行節水措施，在不影響農業用水情形下，如仍有剩餘水量，可移作他標的使用。此外，在洞道出口有九公尺落差處，計畫開發小型水力發電，提供電

表 1-1 隘寮圳灌區之灌溉計劃分水率

(資料來源：屏東農田水利會提供，2001) 單位：%

圳 別	大番水	后期作期間	小番水
	11月15日 至12月24日	6月1日 至11月14日	12月25日 至5月31日
新東勢圳 (一、二、三號、老埤支線)	30	30	35.8
德協圳 (四號支線)	40	40	56.7
鹽埔圳 (五、六、七、八、九號支線)	30	30	7.5



圖 1-1 研究區域地理位置圖

量，在目前水利會財源拮据之際，水利會應自行來開發財源，增加營運資金收入，減少依賴政府補助，是刻不容緩之舉，遂引起研究本題之動機，期研究成果供水利會永續經營發展之參考。

1.2 研究目的

本研究以屏東農田水利會隘寮圳灌區（包括長治、內埔及鹽埔等鄉鎮）為研究區域其地理位置如圖 1-1 所示。研究中依現有農地耕作面積、土壤類別、不同作物之需水量以及地表水量等為限制條件，應用水資源系統分析中之線性規劃方法，以 LINGO 軟體工具建立數學模式，其主要目的如下：

1. 建立研究區域內灌區地表水及地下水聯合運用之數學模式。
2. 建立研究區域內地表水之最佳分水率。
3. 檢討研究區域內地下水最小抽用量。
4. 檢討本灌區可能之釋水條件。

1.3 研究方法

本研究以隘寮圳灌區為研究區域，依灌區內各主給之需水量、地表水量及地下水量在時間與空間的差異進行最佳化分配，再依據最佳化結果進行灌區多角化經營之可行性。研究方法是依本研究之特性探討作物需水量、田間滲漏量、有效雨量、整地用水量、耕作制度、輸水損失、最佳化模式及多角化經營等七大部份描述之。

二、文獻回顧

在國內方面，張斐章(1995)提出以三種模糊線性規劃之原理與應用。藉由簡單之線性化從屬函數，即能夠合宜地描述口語化之目標函數與模糊限制式；柯海生(1997)提出一個分析灌溉用水記錄的方法，強調灌溉水量在時間與空間上具變異性；甘俊二(1998)利用最小成本之觀點，建立最佳化之輔助水源調配方式。結果顯示以該研究發展之模式的調配方式其所需之成本較實際開支減少 35%；

在國外方面，Jiracheewee 等人(1996)利用電腦化資料庫結合商業資料庫管理系統與最佳線性規劃，可得到種植模式及灌溉水分配的最佳化模式；Singh(2001)利用線性規劃模式，可在不同供水條件下，規劃出最佳種植模式，以產生最大的淨利潤；Azaiez(2002)利用機會成本的觀念，對於擁有人工補注之地面水和地下水聯合運用情形下，發展出一個多階段判斷模式；Doppler(2002)等人利用線性規劃探討灌溉分配水及種植模式的最佳化。在考慮農業產物和水價上升的條件下，求其最大毛利及最小毛利變化潛能。結果指出，在最佳化的種植模式及灌溉分配水的情形下，農業仍有著增加經濟利潤的重要潛能。

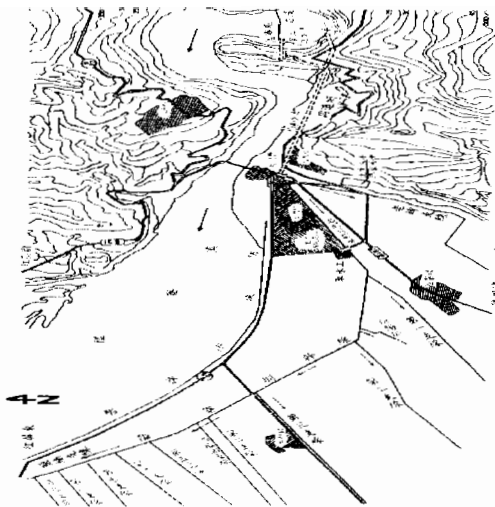


圖 3-1 隘寮圳灌區各支線平面圖

三、研究區域調查

3.1 隘寮圳灌區概況

隘寮工作站為屏東農田水利會唯一之水路工作站，該站之隘寮圳專司農田供水，以屏東縣瑪家、三地及霧台三鄉交界進水取水流經隘寮洞道，導入分配予長治、內埔及鹽埔等三個鄉鎮之農田為灌溉之需。

隘寮圳自隘寮溪取水經隘寮洞道後共分九條支線，其各支線平面如圖 3-1。九條支線分別為老埤支線、第一至第九號支線、西瓜園支線及新興圳支線，其中第五、六、七、八號支線共用一自隘寮圳之分水門，於本研究中視該四支線為四個分線。

隘寮圳灌區之灌溉水源除主要由隘寮溪取地表水供給外，屏東農田水利會另於灌區中施設抽水機抽取地下水以補地表水之不足。隘寮圳灌區當地表水不足時，以抽水機抽用地下水滿足作物需水量。

3.2 隘寮溪流量

3.2.1. 隘寮溪流量

為充份了解隘寮溪流量以為開發新水源及河川管理之依據經濟部水利處於北隘寮溪與南隘寮溪交匯處下方三地門設水位觀測站紀錄，近十年資料如表 3-1 所示。由表中顯示，隘寮溪經

表 3-1 隘寮溪旬平均日流量
(80 年 1 月~89 年 12 月)
(資料來源：經濟部水利處第七河川局)

單位：秒立方公尺

時期	月份	旬	三地門流量紀錄
枯 水 期	元月	第 1 旬	22.30
		第 2 旬	22.26
		第 3 旬	23.70
	二月	第 4 旬	28.90
		第 5 旬	59.50
		第 6 旬	36.30
	三月	第 7 旬	39.89
		第 8 旬	43.46
		第 9 旬	44.44
	四月	第 10 旬	39.44
		第 11 旬	83.21
		第 12 旬	93.00
	五月	第 13 旬	170.88
		第 14 旬	130.40
		第 15 旬	273.57
	六月	第 16 旬	861.36
		第 17 旬	676.93
		第 18 旬	650.31
七月	第 19 旬	428.45	
	第 20 旬	440.87	
	第 21 旬	695.45	
八月	第 22 旬	1522.32	
	第 23 旬	737.49	
	第 24 旬	734.56	
九月	第 25 旬	648.44	
	第 26 旬	314.43	
	第 27 旬	355.83	
十月	第 28 旬	266.14	
	第 29 旬	330.48	
	第 30 旬	267.04	
枯 水 期	十一月	第 31 旬	213.05
		第 32 旬	99.86
		第 33 旬	50.77
	十二月	第 34 旬	34.50
		第 35 旬	27.68
		第 36 旬	30.64

隘寮洞道取水後常年有水，除 12 月及元月之旬流量介於 20 至 30 秒立方公尺外，其餘各月份之旬流量均較高。

3.2.2 隘寮圳各工作站旬平均流量

表 3-2 隘寮圳各工作站旬分水率
(83 年 1 月~89 年 12 月)

時期	月份	旬	內埔	長治	鹽埔	損失
枯水期	元月	第 1 旬	0.38	0.48	0.11	0.03
		第 2 旬	0.33	0.49	0.15	0.03
		第 3 旬	0.39	0.45	0.12	0.03
	二月	第 4 旬	0.29	0.54	0.13	0.04
		第 5 旬	0.37	0.42	0.12	0.09
		第 6 旬	0.33	0.52	0.11	0.04
	三月	第 7 旬	0.38	0.45	0.12	0.05
		第 8 旬	0.31	0.44	0.09	0.16
		第 9 旬	0.35	0.46	0.13	0.07
	四月	第 10 旬	0.35	0.40	0.18	0.07
		第 11 旬	0.30	0.49	0.15	0.06
		第 12 旬	0.33	0.46	0.17	0.03
豐水期	五月	第 13 旬	0.34	0.40	0.22	0.03
		第 14 旬	0.30	0.38	0.28	0.03
		第 15 旬	0.31	0.34	0.30	0.06
	六月	第 16 旬	0.33	0.36	0.29	0.02
		第 17 旬	0.33	0.36	0.29	0.03
		第 18 旬	0.34	0.37	0.27	0.03
	七月	第 19 旬	0.29	0.36	0.27	0.07
		第 20 旬	0.31	0.38	0.28	0.03
		第 21 旬	0.31	0.39	0.28	0.02
	八月	第 22 旬	0.31	0.34	0.28	0.07
		第 23 旬	0.29	0.44	0.26	0.01
		第 24 旬	0.31	0.35	0.27	0.07
九月	第 25 旬	0.31	0.37	0.29	0.03	
	第 26 旬	0.30	0.37	0.29	0.04	
	第 27 旬	0.36	0.36	0.28	0.01	
十月	第 28 旬	0.30	0.38	0.29	0.03	
	第 29 旬	0.32	0.39	0.29	0.01	
	第 30 旬	0.31	0.37	0.28	0.03	
枯水期	十一月	第 31 旬	0.30	0.36	0.29	0.05
		第 32 旬	0.34	0.38	0.23	0.05
		第 33 旬	0.32	0.39	0.25	0.04
	十二月	第 34 旬	0.32	0.37	0.29	0.02
		第 35 旬	0.31	0.40	0.27	0.02
		第 36 旬	0.33	0.32	0.31	0.04

依據屏東農田水利會內埔、長治及鹽埔三個工作站資料。將其現況資料依各工作站做旬分水率百分比如表 3-2 所示。審視表 3-2 與表 1-1 可

得知實際之分水率與計劃分水率之差異雖並不明顯，然而屏東農田水利會灌溉管理單位已做較合理之調整使有限的水量能更經濟且有效的利用水資源。

四、最佳化模式

4.1 模式簡介

隘寮圳灌區以取自隘寮溪之地表水為主要灌溉水源，當地表水量不足時則以抽水機抽取地下水以補其不足，灌區內之分水係依昔日制定之分水率。為有效的利用隘寮圳地表水資源，本研究以線性規劃數學式，在滿足各種天然及人為之限制條件下，求其最大之地表水用水效率亦即以最小抽水量代表最低用電量為模式之日標函數，並求出參與此模式各參素之最佳數量。在此模式中，各限制條件為各主給需水量、抽水機最大抽水量、渠道最大輸水量、平衡方程式、渠道輸水損失與配水等形成一組別之等式或不等式之線性方程式，其目標函數亦為一線性方程式。依灌溉渠道分布之特性及最佳化理論，本研究之模式其流程如圖 4-1 所示。綜上所述，茲將模式之目標函數及限制式敘述如下：

4.1.1 目標函數：（最小抽水量）

$$\text{Min} \sum_{i=1}^9 \sum_{j=k=1}^4 \text{PUMP}_{i,j,k} \quad \text{FOR ALL } i,j,k$$

PUMP ：各主給抽水機的抽水量(旬)；

i ：系統支線數；

j ：各支線之分線數；

k ：各分線主給數

4.1.2 限制式：

4.1.2.1 各主給需水量

$$\text{DEMAND}_{i,j,k} = \sum_{m=1}^2 \text{AREA}_{i,j,k,m} \times U_m$$

FOR ALL i,j,k

DEMAND ：各主給的需水量；

AREA ：各主給的面積；

U ：作物的單位需水量；

m ：作物種類。

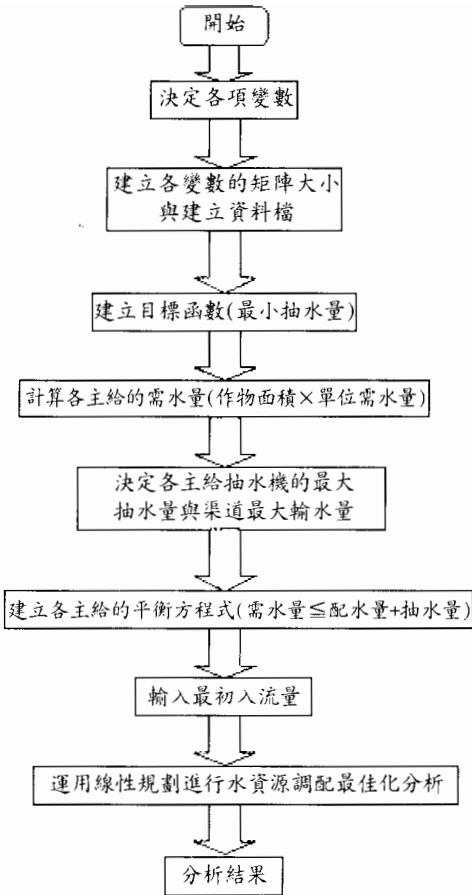


圖 4-1 模式流程圖

4.1.2.2 抽水機最大抽水量

$$PUMP_{i,j,k} \leq 0.075 \times T \times PH_{i,j,k}$$

FOR ALL i,j,k

$PUMP$: 各主給抽水機的抽水量 ;

T : 時間(旬) ;

PH : 抽水機馬力數與揚程的比值。

4.1.2.3 渠道最大輸水量

$$QQ_i \leq D \times T \quad \text{FOR ALL } i$$

QQ : 總水量沿幹線至各支線點時的水量 ;

D : 幹線單位時間的最大輸水量 ;

T : 時間(旬)

4.1.2.4 平衡方程式

$$DEMAND_{i,j,k} = Q3_{i,j,k} + PUMP_{i,j,k}$$

FOR ALL i,j,k

$DEMAND$: 各主給的需水量 ;

$Q3$: 分配至各主給的水量 ;

$PUMP$: 各主給抽水機的抽水量

4.1.2.5 渠道損失與配水

(1) 主渠道

$$QQ_i = QF \times \left(1 - S \times \frac{L_i}{1000} \right) \quad \text{FOR } i=1$$

QQ : 總水量沿幹線至各支線點時的水量 ;

QF : 起始點流量 ;

S : 損失率 ;

L : 各支線間的距離

$$QQ_i = (QQ_{i-1} - Q_{i-1}) \times \left(1 - S \times \frac{L_i}{1000} \right)$$

FOR ALL $i \geq 2$

QQ : 總水量沿幹線至各支線點時的水量 ;

Q : 分配至各支線的水量 ;

S : 損失率 ;

L : 各支線間的距離

(2) 支線

$$\sum_{j=1}^4 Q1_{i,j} = Q_i \times \left(1 - S \times \frac{L1_i}{1000} \right) \quad \text{FOR ALL } i$$

$Q1$: 分配至各分線的水量 ;

Q : 分配至各支線的水量 ;

S : 損失率 ;

$L1$: 幹線至各支線上分流點的距離

(3) 分線

$$Q2_{i,j,k} = Q1_{i,j} \times \left(1 - S \times \frac{L2_{i,j,k}}{1000} \right)$$

FOR ALL i,j and $k=1$

$Q2$: 分配至各分線的水量沿分線至各主給時的水量 ;

$Q1$: 分配至各分線的水量 ;

S : 損失率 ;

$L2$: 主給與主給間的距離

$$Q_{i,j,k} = (Q_{i,j,k-1} - Q_{i,j,k-1}) \times \left(1 - S \times \frac{L2_{i,j,k}}{1000} \right)$$

FOR ALL i,j and $k \geq 2$

表 4-1 假設方案之內容與目的

假設方案	內 容	目 的
零方案	以最近 10 年平均每旬取水量及現行的分水率，求得轄區之地下水抽水量。	本方案為現況，將作為與其他方案的比較之基礎。
甲方案	以最近 10 年平均每旬之取水量，進行最佳分水率之地表水與地下水聯合運用，求得轄區內最小地下水抽水量。	供未來水利會進行分水率調整時之依據，提高用水效率與節省電力費開支。
乙方案	分別將地表水取水量增加 10%、20%、30%...至擁有之水權量，進行最佳分水率之地表水與地下水聯合運用。	經與零及甲方案比較後可知水利會可能節省電力費並探討可釋出水量，使有限之水資源更能有效利用。
丙方案	以最近 10 年平均每旬之取水量，評估當水源枯竭而減少取水量 10%、20%及 30%時可能增加之抽水機抽水量。	於必要時機需配合政府政策，移用隘寮圳水資源時之參考。

Q2：分配至各分線的水量沿分線至各主給時的水量：

Q3：分配至各主給的水量：

S：損失率：

L2：主給與主給間的距離

4.2 假設方案

由隘寮溪、隘寮圳流量紀錄顯示，研究區之水源條件在豐枯水期有極大的差異且水質優良。目前屏東農田水利會之取水情況並未完全達到核准之水權量且引水之洞道於民國八十八年由經濟部水利處南區水資源局改善完成，依當時之設計流量，洞道之最大取水量為 18 秒立方公尺。從水資源開發及有效利用的觀點而言，用水量分水率仍有很大的討論空間。

為探討隘寮圳灌區在目前水權範圍內及不影響灌溉業務及農業生存發展前提下，有效地運用農業用水，促使農田水利會多角化經營水資源相關業務參與多元化供水事業及擴大服務，調整提供部份民生及工業用水需求不足之問題，使水利會朝向自立更生，自給自足之目標邁進，水利會進行本灌區水資源之多角化經營之可能性，本研究擬訂四個假設方案以為供前節發展之模式模擬用，其內容及目的如表 4-1 所示。

五、資料分析

依據第四章發展之最佳化模式及擬訂之假設之方案，經模擬研究所得結果分析如下：

5.1 零方案分析

由表 3-2 隘寮圳各工作站旬分水率資料，經統計結果，依大番水、后期作期間及小番水三個時期整理隘寮灌區之實際分水率如表 5-1。比較表 5-1 與表 1-1 灌溉計畫用之分水率可知，在實際之分水操作上，水利會對於較低分水率之鹽埔圳已作彈性調整以符合較佳之用水效率。

本研究以表 5-1 之分水率及十年旬平均取水量進行抽水機抽水量及剩餘地表水量計算，得知全年之總抽水量為 31562×10^3 立方公尺，其中枯水期佔 27985×10^3 立方公尺，豐水期為 3577×10^3 立方公尺，顯示在枯水期之抽水量佔全年抽水量的 89%。相對的，模擬結果的年總剩餘水量為 14770×10^3 立方公尺，其中約有 96% 發生在豐水期。綜上所述隘寮圳灌區在豐水時期抽水機的使用率應當不高。若為節省抽水機電力費在枯水期當加強灌溉管理的工作，是水利會當前要務，以節省電力費開支。

為檢討實際分水率與灌溉計畫分水率對於抽水量的差異，以表 1-1 之分水率及十年平均旬取水量為模式之輸入資料，進行模擬求得各旬之抽水量及剩餘水量，得知由實際分水率所得之抽水量較低，亦即符合充分利用地表水之管理措施。

5.2 甲方案模擬結果分析

隘寮灌區幅員遼闊，近年來因耕作型態的變遷及農地大量被移用，各支線所轄灌區之需水量

表 5-1 隘寮圳 89 年實際分水率

單位：%

圳 別	大番水	后期作 期間	小番水
	11月15日 至12月24日	6月1日至 11月14日	12月25日 至5月31日
新東勢圳 (一、二、三號 、老埤支線)	33	28	37
德協圳 (四號支線)	38	42	46
鹽埔圳 (五、六、七、 八、九號支線)	29	30	17

已產生變化，隘寮灌區長年實施之分水率有檢討的必要已是不爭的事實。又從前節在零方案的模擬結果中發現，目前之分水率有其不均之處，造成地下水抽水量大而使農田水利會擔負龐大的電力費用。本研究以十年旬平均取水量為基準，並假設圳路輸水損失率每公里 5%，以最佳化理論進行模擬。由最小抽水量中得知，若以最佳化方式分水，豐水期並不需要抽取地下水。枯水期地下水抽水量為 19558×10^3 立方公尺，與零方案同期之抽水量比較其差距為 8427×10^3 立方公尺，約佔零方案抽水量之 30%。此外，抽水量之尖峰期約在元月至三月間，未來水利會應在這三個月份加強灌溉管理且抽水機之年維護工作亦應在元月份前完成，以提高抽水機抽水效率。

依據甲方案模擬結果，本方案之年剩餘水量為 35747×10^3 立方公尺，其中除 737×10^3 立方公尺發生在 11 月上旬外，其餘 35010×10^3 立方公尺均在 5 月至 10 月，將甲方案的年剩餘水量與零方案的 14770×10^3 立方公尺比較得知，實施最佳化的配水管理可提高水資源利用率約 1.4 倍，再次證明科學化配水管理對於有效利用水資源或節約灌溉用水的重要性。

本研究目的之一在於求得隘寮圳灌區所轄各工作站由隘寮圳之分配。經整理模擬結果所得之分配與灌溉計劃分配率列如表 5-2 所示。比較表中數字得知，各區之分水率有明顯的差異，顯示為有效利用水資源屏東農田水利會延用已久的分水率有調整的必要。

表 5-2 隘寮圳灌區最佳與灌溉計劃分水率比較表

單位：%

圳 別	大番水	后期作期間	小番水
	11月15日 至12月24日	6月1日 至11月14日	12月25日 至5月31日
新東勢圳 (一、二、三號、 老埤支線)	59(30)	34(30)	62(35.8)
德協圳 (四號支線)	10(40)	6(40)	15(56.7)
鹽埔圳 (五、六、七、 八、九號支線)	31(30)	60(30)	23(7.5)

註：表中括弧內數字為目前灌溉計劃分水率。

表 5-3 隘寮圳灌區乙方案最小抽水量與剩餘水量統計表

取水量	最小抽水量 ($10^3 m^3$)			剩餘水量($10^3 m^3$)		
	合計	枯水 期	豐水 期	合計	枯水 期	豐水 期
1.2 倍平均 取水量	14571	14571	0	48592	2649	45943
1.4 倍平均 取水量	12749	12749	0	61324	5703	55621
1.6 倍平均 取水量	12559	12559	0	73008	7712	65296
甲方案	19558	19558	0	35747	737	35010
零方案	31562	27985	3577	14770	634	14136

5.3 乙方案模擬結果分析

模擬乙方案之目的在於灌區內地表水取水量增加 20%、40%...至擁有之水權量下，可減少之抽水量及在滿足灌溉需求後之可能釋出水量。將乙方案模擬所得結果摘列豐枯水期之抽水量與剩餘水量如表 5-3，由表 5-3 中得知抽水量隨取水量之增加而減少，惟既使增加至 1.6 倍全年仍有 12559×10^3 立方公尺之抽水量且大部份發生於枯水期中的元月至四月。又依據水權量，此四個月份之水權量較低且與十年平均取水量之差異不大，故在枯水期灌區仍應抽用地下水補灌應可理解。

將零方案 31562×10^3 立方公尺的抽水量與 1.6 倍平均取水量之抽水量作比較，兩者水量的

表 5-4 隘寮圳灌區丙方案最小抽水水量與剩餘水量統計表

取水水量	最小抽水水量(10^3m^3)			剩餘水量(10^3m^3)		
	合計	枯水期	豐水期	合計	枯水期	豐水期
0.7 倍平均取水水量	30715	30715	0	20895	292	20603
0.8 倍平均取水水量	26999	26999	0	26674	39	26635
0.9 倍平均取水水量	22961	22961	0	31945	364	31581
甲方案	19558	19558	0	35747	737	35010
零方案	31562	27985	3577	14770	634	14136

差異為 19003×10^3 立方公尺。顯然的，若農田水利會能在枯水時期取得接近水權量的取水水量則可節省約 60% ($19003/31562$) 之電力費。

由於豐枯水期流量的懸殊，豐水時期提供剩餘水量已非問題，枯水期所能產生的剩餘水量應是吾人較為關切的問題，比較 1.6 倍平均取水量的 7712×10^3 立方公尺與零方案的 634×10^3 立方公尺，兩者水量的差異 7078×10^3 立方公尺，將上述減抽之地下水量 19003×10^3 立方公尺與剩餘水量合併，則在枯水期可資運用之水資源為 25081×10^3 立方公尺。

5.4 丙方案模擬結果分析

丙方案之假設條件為當氣候異常水源枯竭致使取水水量降低為十年平均取水量的 90%、80% 及 70% 之可能情形。茲將模擬後之結果整理得表 5-4。由表 5-4 得知當取水水量降低為十年平均取水量的 70% 時，其抽水量 30715×10^3 立方公尺仍較零方案的 31562×10^3 立方公尺為低，惟差異不大。由此顯示當氣候異常或因應政府政策之需求，若分水得宜水利會應不致增加抽水機電力費的負擔。簡而言之，以目前水利會支付的抽水電力費為基礎，本灌區在枯水時期應可提供 30% 的十年取水量予其他用水標的，但因最佳化分水及灌溉管理效率所造成之成本應另行計之。

又從剩餘水量的觀點言之，雖然取水水量減為 70% 其豐水期之剩餘水量仍較零方案為大，而枯水期略有減少乃必然的結果。由此又再次顯示最

表 6-1 隘寮圳灌區分水率建議表

圳別	大番水	后期作期間	小番水
	11月15日至12月24日	6月1日至11月14日	12月25日至5月31日
新東勢圳 (一、二、三號、老埤支線)	59	34	62
德協圳 (四號支線)	10	6	15
鹽埔圳 (五、六、七、八、九號支線)	31	60	23

佳分水率在灌溉管理之重要性。

六、結論與建議

由 5.2 節之資料分析中得知，在使用本研究模擬結果所得最佳分水率情形下，可比目前實際之供水狀況減少抽用地下水量 12004×10^3 立方公尺，約佔零方案抽用水量之 38%，以嘉南農田水利會釋水價格約每立方公尺 4.0 元計則該水量約具台幣 4,800 萬之價值，佔每年約新台幣 4 億元預算之屏東農田水利會的 12%，而此價值僅發生於枯水期平均每天約可提供 6.7 萬立方公尺之水量。反之，在豐水期地表水之年剩餘水量為 35747×10^3 立方公尺每天約可釋出 19.9 萬立方公尺水其價值約為枯水期之 3 倍。

由 5.3 節中，若水利會在枯水期能以對隘寮溪以疏濬方式使水量之取得能較接近水權量則在該時可資運用的水資源為 22081×10^3 立方公尺約具新台幣 1 億元之價值每天約可提供 14 萬立方公尺之水量。

由第五章之論述，建議屏東農田水利會隘寮圳灌區之分水率有重新調整之必要，其調整之比率建議參考表 6-1 所列進行之。

參考文獻

1. Azaiez, M. N., 2002, "A model for conjunctive use of ground and surface water with opportunity costs", European Journal Operational Research, Vol. 143, pp. 661-624.

2. Jiracheewee, N., Oron, G., Murty, V.V.N., and Wuwongse, V., 1996," Computerized database for optimal management of community irrigation systems in Thai- land", Agricultural Water Management, Vol. 31, pp. 237-251.
3. Singh; D. K., Jaiswal, C. S., Reddy, K. S., Singh, R. M., and Bhandarkar, D. M., 2001, "Optimal cropping pattern in a canal command area", Agricultural Water Management, Vol.50, pp.1-8.
4. Werner Doppler, Amer Z. Salman, Emad K. Al-Karablieh, and Heinz-Peter Wolff, 2002, "The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water : the case of the Jordan Valley", Agricultural Water Management, Vol.55, pp171-182.
5. 甘俊二、陳焜耀、陳家豪, "因應水源變化之輔助水源調配模式", 農業工程研討會論文集, 1998。
6. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二, "灌溉排水原理", 中央圖書出版社, 1982。
7. 柯海生、俞維昇, "台灣水利會灌溉用水記錄之分析", 農業工程研討會論文集, 1997。
8. "屏東農田水利會隘寮水路工作站業務簡報", 屏東農田水利會隘寮工作站, 2000。
9. 陳清田、陳錦媽、陳鈞華、甘俊二, "台灣區域性參考作物需水量之推估", 農業工程研討會論文, 1997。
10. 張斐章、王文清, "模糊線性規劃於水資源規劃之應用", 台灣水利, 第 43 卷, 第 1 期, 1995。
11. "隘寮分水相關會議記錄手抄本", 屏東農田水利會, 2001。

收稿日期：民國 92 年 9 月 29 日

修正日期：民國 92 年 10 月 13 日

接受日期：民國 92 年 10 月 17 日