

## 최적화기법에 의한 농업용 저수지의 관개면적별 최적용수관리

차 상 화

안동과학대학 토목과

(2002년 11월 19일 접수; 2003년 4월 14일 채택)

### Optimal Water Management for Classified Irrigation Area of Agricultural Reservoir by using Optimization Programming

Sang-Hwa Cha

Dept. of Civil Engineering, Andong Science College, Gyeongbuk 760-822, Korea

(Manuscript received 19 November, 2002; accepted 14 April, 2003)

In this paper, the study area is selected Sungju Reservoir which was constructed with an agricultural purpose and determined the optimal water management plan among the five cases of classified irrigation area by using Linear Programming. As a results of reservoir operation, the additional water quantity of classified irrigation area showed  $16.036 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $19.404 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $18.864 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $4.032 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  and  $0.672 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  and the total water supply quantity showed  $69.628 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $70.048 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $67.979 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ,  $67.979 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ , and  $69.939 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  respectively. Therefore, the case-II was adopted with water management plan of optimum. It is also known that the maximum irrigation area augmentation effect appears in the case which will use the additional water quantity in field irrigation of the case-II which was adopted.

Key words : Optimal water management, Linear Programming, Irrigation area

#### 1. 서 론

우리나라는 계절별, 연도별, 지역별 강수량의 편차가 매우 심하다. 또한 국토의 65%가 산악지대이고, 하천의 경사도 급한데다 여름철에 비가 많이 오는 아시아 몬순 기후적 특성 때문에 홍수로 강물이 한꺼번에 바다로 흘러가 버리므로 봄철의 갈수기에는 수량이 지극히 적어 효율적인 수자원의 관리가 상당히 어려운 실정이다. 물론, 이러한 물 부족문제를 해결하기 위해서 지금까지 행해져 왔던 대규모의 저수지 건설과 같은 시설물에 의한 수자원의 관리 및 개발은 저수지 개발적지의 감소, 건설비의 증가, 수몰보상비의 증가 및 여러 가지 환경적인 측면 때문에 한계를 드러내고 있는 것이 현실이다. 그러므로 장래의 수자원개발계획은 기 개발된 시설물 즉, 중소 규모의 저수지나 대규모 다

목적댐을 최대한 효율적이고 경제적으로 운영할 수 있는 여러 가지 방법을 마련해야 될 것으로 판단된다.

이러한 저수지 최적운영기법으로는 프로그램이 일반화되어 있어 가장 널리 사용되어지고 있는 선형계획법(Linear Programming)과 다단계의사결정법의 하나인 동적계획법(Dynamic Programming)으로 크게 나눌 수 있으며 이들 최적운영기법들의 수자원분야에 적용된 예를 살펴보면, Revelle<sup>1)</sup>, Loucks<sup>2)</sup>, Becker<sup>3)</sup>, Yeh 등<sup>4)</sup>이 최적화 기법을 저수지계열에 대하여 적용한 바가 있으며, David Stephenson<sup>5)</sup>, Masakazu Seki 등<sup>6)</sup>이 수자원시스템에 선형계획법의 응용형태인 수송계획법을 적용한 연구가 있다. 그리고 동적계획법은 Bulas<sup>7)</sup>에 의한 수자원개발에 동적계획법의 적용 및 Butcher 등<sup>8)</sup>의 동적계획법에 의한 최적화에 관한 연구가 있으며, 국내에서는 이순탁 및 이진우<sup>9)</sup>, 안승섭<sup>10)</sup> 등에 의하여 하천유역에서의 수자원시스템 최적화에 관한 연구가 수행된 바가 있다.

Corresponding Author : Sang-Hwa Cha, Dept. of Civil Engineering, Andong Science College, Gyeongbuk 760-822, Korea

Phone : +82-054-851-3604

E-mail : tnwkdjns@yumail.ac.kr

본 연구에서는 설계당시 논관개를 주목적으로 저수지를 계획하였으나 영농방식의 변화 및 발작물 재배면적이 상당히 늘어남으로서 용수수요량이 감소하게 된 성주댐 유역을 대상으로 현재 프로그램이 일반화되어 있으며 가장 쉽고 단순한 선형계획법을 이용하여 저수지의 관개면적변화에 따른 용수수요 증감에 대한 경제적이고 합리적인 저수지 최적운영 방안을 결정함은 물론, 이에 따른 잉여용수량을 이용한 관개면적 확대 및 기타 효율적인 이용계획을 제시코자 한다.

## 2. 선형계획법의 이론적 개요

수자원의 개발과 이용은 각기 다른 시스템 요소들의 위치와 크기를 결정하고 계획하는 단계, 목적에 맞는 수자원을 적절하게 배분하는 단계 및 특정한 시간에 수요를 만족시킬 수 있도록 운영하는 단계로 크게 나누어지고 있다. 이러한 시스템 문제에서 최적 대안을 수립하기 위해서는 계획과 배분의 단계에서 적절한 제약조건이 마련되어야 하며, 각 단계들이 독립된 상태가 아니라 서로 적절히 조화된 상태로 전체적인 관점에서 다루어져야 한다.

그러므로 최적화(Optimization)란 여러 개의 제약조건 아래에서 목적함수를 최적화(극대화 또는 극소화)하는 결정변수들을 선정하는 것이고, 이러한 시스템 최적화 문제를 해석하는 일반적인 과정은 Fig. 1과 같다.

또한, 최적화 문제를 해석하는 방법에는 목적함수와 제약조건의 성질에 따라 그 분석기법이 다르며,

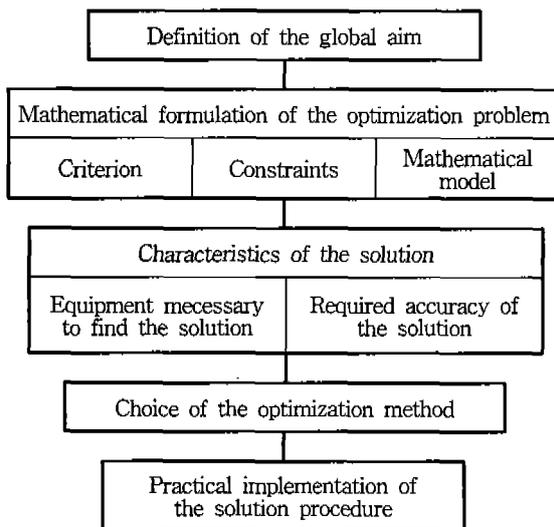


Fig. 1. Flow Chart for optimization problems.

특히 주어진 조건들을 어떤 형태로 수식화하고 목적함수를 어떻게 설정하느냐에 따라 시스템의 최적화는 상당한 차이가 발생된다.

본 연구에서는 이들 관계식들을 선형으로 가정하고 최적화 기법 중 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 선형계획법을 이용하여 저수지 최적운영을 실시하고자 한다. 이러한 선형계획법이 최적화 수리계획법으로서 갖는 특징은 선형함수, 즉 1차함수로 표시되는 목적함수와 선형방정식으로 표현되는 제약조건을 가지고 용수배분의 최적치를 찾는 데 있으며, 보통 m개의 제약조건식과 n개의 결정변수로 설정되는 선형문제의 목표는 결정변수  $X_j$ 의 선형식으로 성립되는 목적함수 Z를 최적화하는 것이고 여기에 사용되는 선형계획법의 일반식은 다음 식 (1) 및 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

목적함수 :  

$$Z = \text{Optimization}(C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_n X_n) \quad (1)$$

제약조건 :  

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n} X_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n} X_n \leq b_2$$

.....  

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn} X_n \leq b_m$$

여기서,  $a_{ij}$ ,  $b_i$ ,  $c_j$ 는 상수( $i=1, \dots, m$ ,  $j=1, \dots, n$ ),  $X_j$ 는 결정변수, m은 제약조건식의 수, n은 결정변수의 수를 나타낸다.

## 3. 관개면적별 농업용 저수지의 최적 운영분석

### 3.1. 분석대상 유역의 개황 및 용수수요량 추정

본 연구대상 유역인 성주댐은 행정구역상 경상북도 성주군 가천면 중산리에 위치하고 있으며 성주군 성주읍 외 8개면으로 구성되어있고, 동경 128° 02' 10" ~ 128° 24' 10" 와 북위 35° 46' 10" ~ 36° 03' 12" 사이에 위치한 낙동강 제1지류인 대가천 상류부에 건설되어 있으며, 유역면적은 149.60km<sup>2</sup>에 달한다. 분석대상 유역의 유역도는 Fig. 2와 같다.

분석대상 저수지인 성주댐의 형식은 석피댐으로서 댐최대높이는 60m이고 마루표고는 EL. 191.0m이며 댐의 자세한 제원은 Table 1과 같다.

성주댐의 설계당시 용수공급 계획은 49,960천톤<sup>3</sup>/년으로서 농업용수가 29,520천톤<sup>3</sup>/년이며 하천유지용수가 17,030천톤/년이며 생활용수가 3,212천톤<sup>3</sup>/년을 공급계획하고 있으며, 주 용수공급은 농업용수와 하천유지용수로 각각 59.1%, 34.1%를 나타내고 있다.<sup>12)</sup>

성주군 농경지 중 논이 차지하는 비율이 높아 중

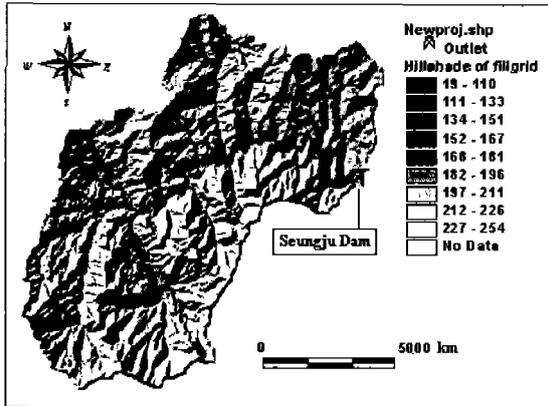


Fig. 2. Basin area of Sungju reservoir.

래에는 벼중심 농업 지역이었으나 수리답율이 55.3%로 전국 평균 74%에 미치지 못하며 성주댐이 완료되어 수리답율이 63%로 높아졌다. 그러나 논에 벼를 재배하는 면적이 1991년 8,870ha에서 1995년에는 5,285ha로 약 3,585ha가 줄어들고, 참외 및 수박 등의 지역특산물의 재배면적이 증가하는 추세를 보이고 있으며 특히, 참외는 성주지역의 특산물로 개발·육성되어 이 지역을 고소득 농업지역으로 변화하고 있다<sup>13)</sup>.

또한, 성주댐의 경우 성주댐 계획수립시 성주댐의 용수공급계획은 전체 수혜면적 3,160ha가 논관개면적이었으나 성주댐 완공후 경지이용의 변화가 논관개면적이 2,160ha, 밭관개면적이 1,000ha로서 논관개면적이 1,000가 줄고 밭관개면적이 1,000ha가 늘어났다. 이는 1,000ha의 농지면적이 상대적으로 용수의 사용량이 적은 밭관개면적으로 전환됨으로써 용수의 이용가능한 양이 증가된 것을 의미한다.

농업용수 수요량은 지역적인 기상현상, 작물의 종류, 토양 및 영농방식, 경지면적의 변화 추이 등 많은 요소들을 고려하여 산정해야 한다. 그러나 이들 요소들은 시간과 지역환경에 따른 많은 차이가 있기 때문에 지역 여건과 작물 및 토양특성을 고려하여 수요량을 합리적으로 산정하기가 쉽지 않다. 물론 농업용수의 수요량을 계산할 때 환경변화에 적절히 대비하여 한정된 수자원을 효율적으로 이용하고 배분하는 것은 수자원 관리 측면에서 매우 중요하나 정책적인 대안을 마련하기 위한 합리적인 농업용수 수요량 산정기법과 이론적 근거가 현재 체계적으로 정립되어 있지 않은 형편이다. 본 연구에서 논용수 수요량 산정을 위한 염수면 증발산량은 우리나라 하절기 기상변화를 잘 반영할 수 있으며 그 동안 많은 연구를 통하여 자료가 축적된 수정 Penman식을, 밭용수 수요량 산정을 위한 증발

Table 1. Details of Sungju reservoir

Classification		Factors
Catchment Area (km <sup>2</sup> )		149.6
Dam	Type	RF(Rock-fill Dam)
	Height (m)	60.0
	Length (m)	430
Top conservation water level (EL. m)		187.9
Normal water level (EL. m)		184.7
Dead water level (EL. m)		162.2
Gross capacity (MCM)		38.2
Active storage (MCM)		28.2
Water supply (MCM)		50

산량의 추정은 FAO에서 추천하는 Penman-Monteith 식을 적용하여 산정하였으며, 단위용수량은 DIROM 모형을 이용하여 산정한 결과 0.00243m<sup>3</sup>/s/ha로 나타나 이를 분석에 이용하였다. 또한, 관개면적별 크기는 Table 2와 같이 구분하였으며 이를 자세히 살펴보면, I안의 경우는 성주댐 설계당시 계획으로서 논 3,160ha에 관개, 생활용수 8.8천톤/일 및 하천유지유량 0.54톤/초, II안의 경우는 1995년 당시 성주지구 집중용수관리 시스템 타당성 조사시 용수 이용현황으로서 논 2,160ha 및 밭 1,000ha에 관개, 생활용수 8.8천톤/일 및 하천유지유량 0.54톤/초, III안의 경우는 논 1,160ha 및 밭 2,000ha에 관개, 생활용수 8.8천톤/일 및 하천유지유량 0.54톤/초, IV안의 경우는 논 1,160ha 및 밭 2,000ha에 관개, 생활용수 50천톤/일 및 하천유지유량 0.54톤/초, V안의 경우는 관개면적을 500ha 확대하여 논 1,660ha 및 밭 2,000ha에 관개, 생활용수 50천톤/일 및 하천유지유량 0.54톤/초의 용수량을 공급량으로 가정하였다. 각 5가지 경우에 대하여 각각 필요한 용수량을 산정한 결과는 Table 3과 같다.

### 3.2. 선형계획법의 적용

본 분석에서는 최적화기법의 하나인 선형계획법을 이용하여 성주댐의 최적 운영을 실시하였으며,

Table 2. Irrigation area for case (I ~ V)

Case	Irrigation area	Paddy fields (ha)	Dry fields (ha)	Domestic (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day)	Conservation flow (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day)
I		3,160	-	8.8	46.7
II		2,160	1,000	8.8	46.7
III		1,160	2000	8.8	46.7
IV		1,160	2000	50	46.7
V		1,660	2000	50	46.7

차 상 화

물론 본 댐의 주목적이 농업용인 것을 고려하여 농업용 저수지가 가지고 있는 반적인 특성을 저수지 최적 운영시 제약조건으로 고려토록 하였다. 먼저, 농업용 저수지는 농업용수의 공급이 최우선의 목적이므로 저수지 운영이 농번기가 시작되는 매년 4월은 반드시 상시만수량을 유지하도록 하였다. 또한, 각 대안별 I ~ V의 월별 용수수요량을 충족시키면서 동시에 각 대안별로 추가로 안정적으로 항상 공급이 가능한 용수공급량을 설정하였다.

그리고 본 분석에 사용된 선형계획 프로그램은 Linus Schrage에 의해 개발된 LINDO<sup>12)</sup> (Linear, Inter-active and Discrete Optimizer, 1986)이며, 여기에 사용된 모형식은 목적함수는 식 (3), 제약조건은 식 (4)로 구성하였다.

$$\text{Maximize } \sum_{i=0}^T O_i \quad (3)$$

$$\text{Subject to : } XS_{t+1} = XS_t + I_t - WS_t - O_t, \quad t=1, \dots, T \quad (4)$$

Table 3. Estimated water demand in study area (unit:10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>)

Case	Water use				
	Total	Paddy fields	Dry fields	Dome- stic	Conserva- tion flow
I	53,626.5	33,624.5	-	3,212	16,790
II	47,189.6	22,983.8	4,203.8	3,212	16,790
III	40,752.9	12,343.2	8,407.7	3,212	16,790
IV	55,790.9	12,343.2	8,407.7	18,250	16,790
V	61,111.2	17,663.5	8,407.7	18,250	16,790

$$XS_{\min} \leq XS_t \leq XS_{\max}, \quad t=1, \dots, T$$

$$WS_t \leq \text{용수요구량}, \quad t=1, \dots, T$$

$$XS_1 = XS_{\text{begin}}$$

$$XS_{T+1} = XS_{\text{end}}$$

여기서  $W_t$ 는 용수공급량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month),  $T$ 는 조 작기간의 수( $t = 1, \dots, T$ ),  $O_t$ 는 추가 용수공급량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month),  $WS_t$ 는 댐하류 용수공급량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month),  $I_t$ 는 댐의 유입량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month),  $XS_{\max}$ 는 댐의 홍수위(HWL) 저수용량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>),  $XS_{\min}$ 는 댐의 저수위(LWL) 저수용량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>),  $XS_{\text{begin}}$ 는 댐의 초기 저수용량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>),  $XS_{\text{end}}$ 는 댐의 조작기간 말의 저수 용량(10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)를 나타낸다.

Table 4. Inflow of Sungju reservoir(unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Classifi- cation Month	Year						
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Jan.	8.33	1.90	1.70	4.40	2.48	2.78	3.65
Feb.	5.39	1.05	1.21	2.99	2.52	1.87	4.39
Mar.	6.44	8.61	2.13	3.00	8.53	2.13	4.27
Apr.	8.27	4.69	4.19	11.73	6.97	2.38	1.91
May	6.33	5.58	7.52	9.94	13.41	3.59	5.24
Jun.	6.33	28.52	15.64	14.96	14.34	9.02	25.62
Jul.	11.00	15.20	36.77	18.93	12.17	24.32	13.24
Aug.	19.31	5.68	24.45	38.31	22.94	20.01	7.83
Sep.	10.65	6.37	4.85	16.72	50.65	37.61	9.76
Oct.	5.03	3.33	3.32	28.07	12.10	6.30	8.83
Nov.	2.66	5.89	11.39	5.03	6.38	6.35	3.58
Dec.	1.82	2.92	8.10	36.58	3.99	3.55	3.58

Table 5. Constraints of reservoir operation system (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)

Classification Condition	Upper limit capacity	Low limit capacity	Water demand				
			Case-I	Case-II	Case-III	Case-IV	Case-V
Initial	28.2						
Jan.	38.2	10.0	1.664	1.664	1.664	2.900	2.900
Feb.	38.2	10.0	1.664	1.664	1.664	2.900	2.900
Mar.	38.2	10.0	1.664	2.451	3.138	4.374	4.374
Apr.	38.2	28.2	1.947	3.247	4.546	5.782	5.827
May	38.2	10.0	2.062	3.588	5.114	6.350	6.413
Jun.	38.2	10.0	10.600	9.299	7.997	9.233	10.647
Jul.	38.2	10.0	10.040	7.887	5.734	6.970	8.295
Aug.	38.2	10.0	11.304	9.128	6.951	8.187	9.712
Sep.	38.2	10.0	7.655	6.724	5.793	7.029	7.977
Oct.	38.2	10.0	1.664	1.664	3.186	4.422	4.422
Nov.	38.2	10.0	1.664	1.664	1.664	2.900	2.900
Dec.	38.2	10.0	1.664	1.664	1.664	2.900	2.900
Terminal	28.2						

최적화기법에 의한 농업용 저수지의 관계면적별 최적용수관리

또한, 본 최적화 프로그램의 운영시 필요한 모형의 제약조건 중 저수지 유입량 자료로는 1995년부터 2001년까지의 유입량을 관계용 저수지의 일별 유입량 모의발생 프로그램인 DIROM<sup>14)</sup>(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)으로 산정하여 이용하였고(Table 4), 초기저수량과 말기저수량은 상시만수량으로 가정하여 저수지의 최적 운영을 실시하였으며 각 경우에 있어서 제약조건들은 요약하면 Table 5와 같다.

3.3. 적용결과의 분석

선형계획법을 이용하여 성주댐의 최적 운영 결과는 Fig. 3과 같이 나타났으며, 그 결과를 요약하면 각 대안별 평균 저류량은 26.683백만톤/년, 26.582백만톤/년, 28.008백만톤/년, 29.075백만톤/년, 26.854백만톤/년으로 분석되었고, 용수공급량은 53.592백만톤/년, 50.644백만톤/년, 49.115백만톤/년, 63.947백만톤/년, 69.267백만톤/년로 나타났다. 또한, 성주댐이 공급해야하는 용수수요량을 100%을 충족하면서 동시에 추가로 확보 가능한 용수량은 각 안별로

1,503백만톤/월, 1,617백만톤/월, 1,572백만톤/월, 0,336백만톤/월, 0,056백만톤/월으로 분석되었다.

최적운영한 결과를 요약하면 Table 6과 같으며, 여기서 I 안은 농업용수의 필요수량이 33.6245백만톤/년 생활용수 3.168백만톤/년, 하천유지용수 16.8

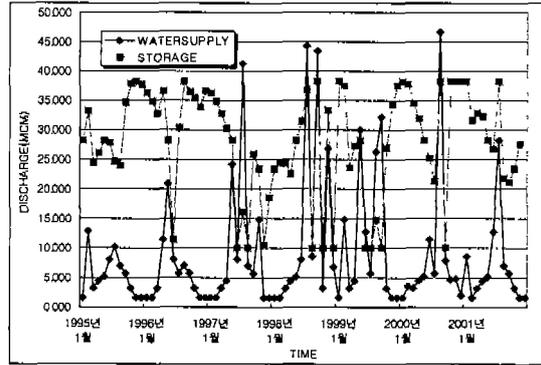


Fig. 3(c). Results of storage-water supply analysis (case-III).

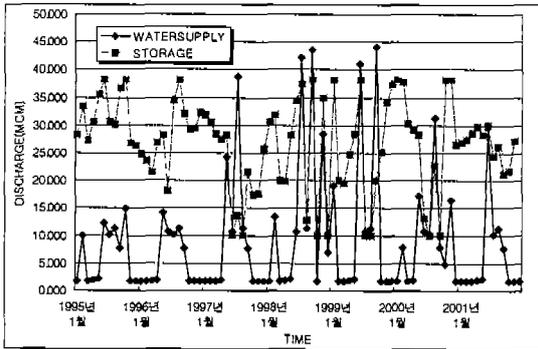


Fig. 3(a). Results of storage-water supply analysis (case-I).

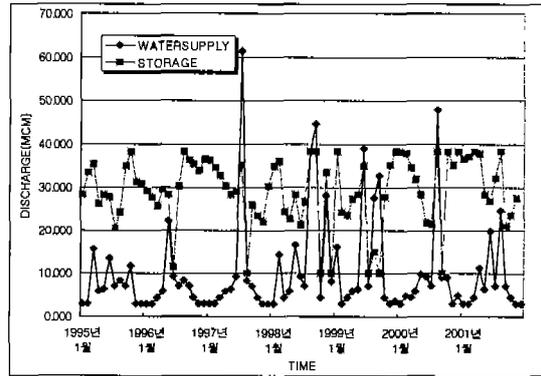


Fig. 3(d). Results of storage-water supply analysis (case-IV).

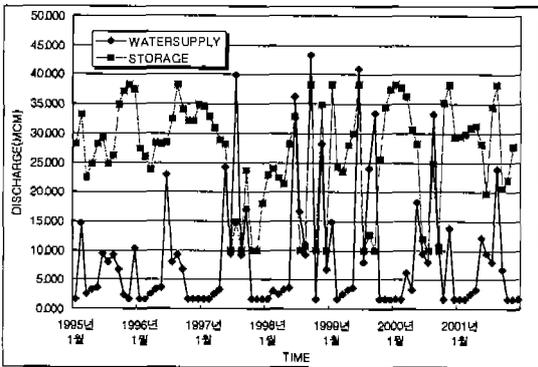


Fig. 3(b). Results of storage-water supply analysis (case-II).

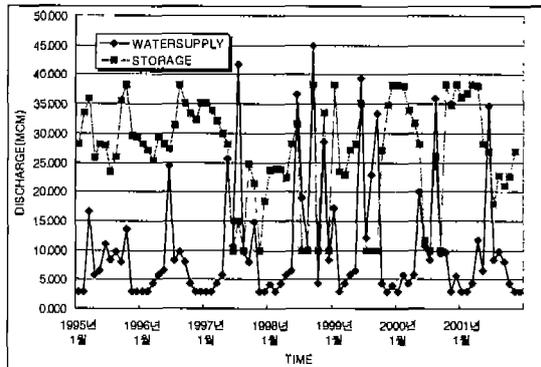


Fig. 3(e). Results of storage-water supply analysis (case-V).

차 상 화

Table 6. Results of water supply by optimal operation (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/year)

Case	I	II	III	IV	V
Plan	53.592	50.644	49.115	63.947	69.267
Additional	18.036	19.404	18.864	4.032	0.672
Total	71.628	70.048	67.979	67.979	69.939

백만톤/년으로서 농업용수의 사용은 면적 3,160ha 전체가 논에 관개를 하는 것으로 총 용수공급 가능량은 71.628백만톤/년으로 분석이 되었다. II안은 농업용수 30.676백만톤/년, 생활용수 3.168백만톤/년, 하천유지용수 16.8백만톤/년으로서 농업용수의 사용은 면적 3,160ha에서 논관개면적이 2,160ha, 밭관개가 1,000ha로서 총 용수공급 가능량은 70.048백만톤/년으로 분석되었고, III안은 농업용수의 필요수량이 29.147백만톤/년 생활용수 3.168백만톤/년, 하천유지용수 16.8백만톤/년으로서 농업용수의 사용은 관개면적 3,160ha에서 논관개가 1,160ha, 밭관개가 2,000ha에 공급하는 것으로 총용수공급 가능량은 67.979백만톤/년으로 분석되었으며, IV안은 농업용수의 수요량이 29.147백만톤/년, 생활용수 18.000백만톤/년, 하천유지용수 16.8백만톤/년으로 농업용수의 사용은 관개면적 3,160ha에서 논관개가 1,160ha, 밭관개가 2,000ha에 공급하는 것으로 생활용수의 용수공급량이 568% 증가하여 공급가능 계획으로 총용수공급 가능량은 67.979백만톤/년으로 분석되었으며, 마지막으로 V안은 농업용수의 필요수량이 34.467백만톤

/년 생활용수 18.000백만톤/년, 하천유지용수 16.8백만톤/년으로서 농업용수의 사용은 관개면적 3,660ha으로 논관개면적으로 500ha 증가하여 공급가능한 계획으로 논관개가 1,660ha, 밭관개가 2,000ha에 공급하는 것으로 생활용수의 용수공급량이 568% 증가하여 공급가능 계획으로 총 용수공급 가능량은 69.939백만톤/년으로 분석이 되었다.

또한 추가확보 용수량을 최대 효과를 발생시킬 수 있도록 다시 저수지 최적운명을 실시한 결과 Table 7~Table11과 같이 나타났으며, 자세히 살펴보면 I안의 경우 용수량 1.503백만톤/월을 모두 논에 관개할 경우 847ha를 확대할 수 있으며, 밭관개로 할 경우 2,863ha를 확대 공급할 수 있으며, 생활용수의 경우 1.767백만톤/월을 안정적으로 공급할수 있는 양을 추가로 확보 가능한 것으로 분석되었다.

II안의 경우 추가확보된 용수량 1.617백만톤/월을 모두 논에 관개할 경우 912ha를 확대할 수 있으며, 밭관개로 할 경우 3,080ha를 확대 공급할 수 있으며, 생활용수의 경우 1.881백만톤/월을 안정적으로 공급할수 있는 양을 추가로 확보 가능한 것으로 분석되었다.

III안의 경우 추가확보된 용수량 1.572백만톤/월을 모두 논에 관개할 경우 887ha를 확대할 수 있으며, 밭관개로 할 경우 2,994ha를 확대 공급할 수 있으며, 생활용수의 경우 1.836백만톤/월을 안정적으로 공급할수 있는 양을 추가로 확보 가능한 것으로 분석되었다.

IV안의 경우 추가확보된 용수량 0.336백만톤/월을 모두 논에 관개할 경우 190ha를 확대할 수 있으

Table 7. Results of water-supply for month(case-I) (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Total	3.176	3.176	3.176	3.450	3.565	11.653	11.543	12.807	9.158	3.176	3.176	3.176
Conservation flow	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Agricultural				0.283	0.398	8.936	8.376	9.64	5.991			
Domestic	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
Additional	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503	1.503

Table 8. Results of water-supply for month(case-II) (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Total	3.281	3.281	4.068	4.864	5.205	10.916	9.504	10.745	8.341	3.281	3.281	3.281
Conservation flow	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Agricultural			0.787	1.583	1.924	7.635	6.223	7.464	5.06			
Domestic	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
Additional	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617	1.617

최적화기법에 의한 농업용 저수지의 관개면적별 최적용수관리

Table 9. Results of water-supply for month(case-III) (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Classification	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Total	3.236	3.236	4.710	6.028	6.686	9.569	7.306	8.523	7.365	4.758	3.236	3.236
Conservation flow	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Agricultural			1.474	2.882	3.45	6.333	4.07	5.287	4.129	1.522		
Domestic	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
Additional	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572

Table 10. Results of water-supply for month(case-IV) (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Classification	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Total	3.236	3.236	4.710	6.118	6.686	9.569	7.306	8.523	7.365	4.758	3.236	3.236
Conservation flow	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Agricultural			1.474	2.882	3.45	6.333	4.07	5.287	4.129	1.522		
Domestic	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Additional	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336

Table 11. Results of water-supply for month(case-V) (unit:10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)

Classification	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Total	2.956	2.956	4.430	5.883	6.469	10.703	8.354	9.768	8.033	4.478	2.956	2.956
Conservation flow	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Agricultural			1.474	2.927	3.513	7.747	5.395	6.812	5.077	1.522		
Domestic	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Additional	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056

Table 12. Maximum irrigation area for case (unit:ha)

Irrigation Area	Case				
	I	II	III	IV	V
Paddy fields	3,160	2,160	1,160	1,160	1,660
Dry fields	2,863	4,080	4,994	2,640	2,107
Total	6,023	6,240	6,154	3,800	3,767

며, 발관개로 할 경우 640ha를 확대 공급할 수 있으며 생활용수의 경우 1.836백만톤/월을 안정적으로 공급할수 있는 양을 추가로 확보 가능한 것으로 분석되었다.

V안의 경우 추가확보된 용수량 0.056백만톤/월을 모두 논에 관개할 경우 32ha를 확대할 수 있으며, 발관개로 할 경우 107ha를 확대 공급할 수 있으며 생활용수의 경우 1.556백만톤/월을 안정적으로 공급할수 있는 양을 추가로 확보 가능한 것으로 분석되었다.

앞에서 분석된 결과들을 비교검토한 결과, 수혜면적이 논 관개 2,160ha, 발관개 4,080ha, 합계 6,240ha로 나타난 II안이 최적방안으로 분석되었으며

Table 12와 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 잉여용수량이 발생가능한 여건을 지니고 있는 성주댐 유역을 대상으로 최적화기법을 이용한 저수지 최적운영을 실시하고, 여기서 산정된 추가 확보가능한 용수량을 최대의 효과를 가져올 수 있는 여러 가지 방안에 대하여 분석 검토하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 성주댐의 추가 확보 가능한 용수량을 분석한 결과, 분류된 각 대안별로 각각 18.036백만톤/년, 19.404백만톤/년, 18.864백만톤/년, 4.032백만톤/년, 0.672백만톤/년으로 나타났다.
- 2) 추가 확보된 용수량을 가능한 한 수혜면적을 확대시킬 수 있는 방안을 검토한 결과, 각 대안별로 6,023ha, 6,240ha, 6,154ha, 3,800ha, 3,767ha에 해당하는 관개면적에 용수량을 추가로 공급할 수 있을 것으로 분석되었다.
- 3) 각 대안별로 최대수혜면적을 분석한 결과, 제2안이 발관개 2,160ha, 논관개 4,080ha로서 최대의

관개면적 증대효과가 나타나 본 분석유역인 성주댐에 있어서 저수지 최적 운영안으로 나타났다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 사용되어진 선형 계획법 이외의 다양한 최적운영기법들을 이용한 저수지의 최적운영을 실시하여 각 기법들에 대한 적합성 검증 및 장단점에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 1) Revell, C. E. and W. Kirby, 1969, The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, Part I, Development of the Stochastic Model, Water Resources Research, 5(4), 767-777.
- 2) Loucks, D. P., 1967, Management Models for Water Resources Systems, Technical Report 1, Water Resources Center, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- 3) Becker, L. and W. W-G. Yeh, 1974, Optimization of Real Time Operation of Multiple Reservoir Systems, Water Resources Research, 10(6), 1107-1112.
- 4) Yeh, W. W-G., 1982, State of the Art Review : Theories and Applications of the Systems Analysis Technics to the Optimal Management and Operation of a Reservoir Systems, UCLA-ENG-82-52, UCLA School of Engineering and Applied Science.
- 5) David, S., 1982, Optimum Allocation of Water Resources Subject to Quality Constraints, Optimal Allocation of Water Resources, Proceeding of the Exeter Symposium, IAHS Publ., 135pp.
- 6) Masakazu, S., I. J. Miyoshi, K. H. Yoshikawa and B. Eishu, 1978, A Study on Water Budget and Water Resources Allocation in a Basin, J. of the Japan Society of Civil Engineers Reports, 269, 121-133.
- 7) Bulas, N., 1974, Dynamic Programming in Water Resource Development, Advance in Hydro-science, 5, 367-409.
- 8) Butcher, W. S., Y. Y. Hames and W. A. Hall, 1969, Dynamic Programming for the Optimal Sequencing of Water Supply Projects, Water Resources Research, 5(6).
- 9) 이순탁, 이진우, 1985, 동적계획법에 의한 물배분에 관한 연구, 한국수문학회지, 18(2).
- 10) 안승섭, 1985, 하천유역의 최적 물배분을 위한 시스템 모델에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문.
- 11) Linus S., 1986, Linear, Integer and Quadratic Programming with LINDO, University of Chicago, Third Edition, 1-17pp.
- 12) 농어촌진흥공사, 1988, 성주지구 농업용수개발 사업계획서.
- 13) 농어촌진흥공사, 성주농지개량조합, 1995, 성주지구 집중용수관리시스템 타당성 조사보고서.
- 14) 농어촌진흥공사, 1998, 수리시설물 모의조작 시스템 · 홍수분석시스템 사용자설명서, 39pp.