

소규모 농업용 저수지의 저류량-용수공급능력 결정에 관한 연구

안 승 섭 · 정 순 돌 · 이 증 석 · 윤 경 덕^{**} · 장 인 수^{***}
경일대학교 도시정보지적공학과 · 경일대학교 토목공학과 ·
^{**}대구공업대학 토목환경과 · ^{***}충주대학교 환경공학과
(2002년 7월 4일 접수; 2002년 11월 12일 채택)

A Study on the Determination of Water Storage-Supply Capacity of Agricultural Reservoir

Seung-Seop Ahn, Soon-Dol Jeong, Jeung-Seok Lee^{*},
Kyung-Duck Yoon^{**} and In-Soo Chang^{***}

Dept. of Urban Information & Cadastral Engi., Kyungil University, Daegu 712-701, Korea

^{}Dept. of Civil Engineering, Kyungil University, Daegu 712-701, Korea*

*^{**}Dept. of Civil & Environmental Engi., Taegu Technical College, Daegu 704-721, Korea*

*^{***}Dept. of Environmental Engi., Chungju National University, Chungju 380-702, Korea*

(Manuscript received 4 July, 2002; accepted 12 November, 2002)

This study aims at the effective estimation of water supply capacity of small scale reservoir and the proposal of the data which is necessary to establish the water resources management plan of down stream area of the reservoir in the future by comparison and examination about reservoir operation technique for the security of agricultural water in small scale reservoir. The result of flow calculation by Tank model is used for the input data as the inflow data which is needed for the analysis of water supply capacity. Stochastic method, simulation method, and optimization method are used to examine the water supply capacity, and water security amount is compared with each method.

From the analyses of water supply capacities by each method, slightly different results are shown in spite of the effort to compare them equally using input data such as inflow data under equal conditions, and the comparison of water supply capacities by each method are as follows; linear planning method, simulation method, and transition probability matrix method in the order of amount from the largest.

It is thought that the simulation method in which comparatively reasonable application of the inflow data is possible and is simulated in successive time series dam operation of the three methods used in this study thus, simulation model is proper to estimate the water supply capacity of agricultural small scale reservoir. And it is judged that the heightening of efficiency of water resources utilization according to the development of downstream area of dam may be possible using the upward readjusted water supply amount of 55.18×10^6 ton and 63.7×10^6 ton at 95% and 90% supply reliability respectively which are above the planning water supply amount of 50.0×10^6 ton when the simulation method is introduced as the standard.

Key words : Water supply capacity, Small scale reservoir

Corresponding Author : Seung-Seop Ahn, Dept. of Urban Information & Cadastral Engi., Kyungil University, Daegu 712-701, Korea
Phone : +82-53-850-7314
E-mail : ahnsso@bear.kyungil.ac.kr

1. 서 론

일반적으로 농촌 용수개발 사업을 위한 저수지의 주목적은 갈수시 안정적인 관개용수 공급과 담하류의 생활용수를 공급함에 있다. 특히, 수자원 이용의 효율성 측면에서 볼 때 수자원의 시간적·공간적인

편중을 극복하는 방법으로 홍수기의 풍부한 수량을 일단 저류했다가 관개기 혹은 갈수기에 이용하는 수단으로서 저수지의 역할은 매우 크다.

또한, 농촌 용수개발사업을 목적으로 하는 저수지는 농어촌 지역내의 다양한 생활의 변화가 이루어짐에 따라 용수확보의 개념이 다양해지고 있는 실정이다. 특히 관개용 저수지인 경우에는 농번기에 물을 충족하게 공급함과 동시에 생활용수 및 유지용수의 공급이 동시에 이루어 질 수 있도록 고려하여야 하며, 농번기에 특히 관개용수공급이 원활히 이루어지도록 하여야 한다. 또한, 소규모 농업용 관개저수지의 경우에는 지속적인 가뭄을 극복할 수 있을 만큼 충분한 저수용량을 갖는 것이 아니라 대략 10년 빈도의 가뭄기간 즉, 신뢰도 90% 정도의 적절한 물 관리가 이루어진 경우에 관개용수의 공급이 가능하도록 계획되어진다.

국내외의 저수지 저류용량과 용수공급능력 결정에 관한 최초의 연구는 과거의 유입량기록이 장래에도 반복되어 발생한다는 가정하에 과거의 유입량기록이나 추정치를 근거로한 Rippl, W.¹⁾의 누가곡선법(mass curve analysis)인 것으로 알려져 있다²⁾. 그러나, Ripple의 누가곡선법은 유입량 자료의 기록기간이 계획기간에 비해 단기간에 불과한 경우에는 사용에 위험성을 내포하고 있다는 전제하에 Waitt, F.W.F.³⁾는 유입량기록으로부터 지속기간에 따른 최저유입량을 추출하여 지속기간별 유입량을 누가곡선분석의 기록유입량 대신에 사용하는 시도가 있었으며, Alexander, G.N.⁴⁾, Hardison, C.H.⁵⁾ 등은 각각 유입량 자료의 확률분포형을 가정하여 지속기간에 따른 빈도별 유입량의 누가곡선을 작성하여 이 곡선을 대상으로 누가곡선법과 동일한 절차를 수행하므로써 빈도개념을 도입한 저수지 규모의 결정방법을 제안한 바 있다. 또한 Moran, P.A.P.⁶⁾과 Gould, B.W.⁷⁾ 등은 임의의 유입량을 가진 저수지의 저수용량분석을 위하여 Markov Chain을 광범위하게 이용한바 있으며, 이 방법은 댐의 최종설계와 운영계획수립에서 적용가능성이 높은 방법으로 알려지고 있다.

국내에서는 장인수⁸⁾, 윤용남⁹⁾, 최한규¹⁰⁾ 등에 의해서 저수지용량결정에 관해 연구된 바 있고, 최근에는 안승섭 등¹¹⁻¹³⁾에 의해 소규모 저수지의 최적용수공급능력 결정에 관한 연구, 정상만¹⁴⁾ 및 한국수자원공사¹⁵⁾ 등에 의해서 이수안전도를 기준으로 한 다목적댐의 용수공급능력 평가 방법의 검토 및 소규모저수지의 최적용수공급능력 결정에 관한 연구가 진행된 바 있다.

2. 용수공급능력 결정기법의 기본이론

과거에 댐의 용수공급능력을 평가하는데 적용된 방법들은 댐마다 또는 조사단계에 따라서 상이하며, 평가기준과 방법에 있어서 일관성이 없으므로 각 댐에 대하여 제시되어 있는 용수공급 측면의 제원에 대한 상대적인 비교가 어렵다. 즉, 과거 다목적댐의 용수공급능력을 평가하는데 적용된 평가기준은 기록상 나타난 최악의 갈수시에도 공급이 가능한 보장공급량 기준과, 전체 계획기간 중에서 일정기간 동안은 용수공급의 제한을 수용하여 평가하는 신뢰도 기준으로 대별할 수 있으며, 기존의 댐들은 대부분 전자인 보장공급량 또는 이와 유사한 기준에 의해 평가되어 있으며, 현재 고려중인 댐 계획에서는 후자인 일정기간의 물부족 사태의 발생을 수용하는 신뢰도 기준에 의해 평가하는 추세에 있다.

따라서, 본 연구에서는 소규모 저수지의 저류량과 용수공급능력 결정을 위하여 천이확률행렬기법, 모의발생방법, 선형계획법들을 적용하여 각 방법에 따른 용수공급량을 비교 검토하여 합리적인 용수공급량을 결정하는 데에 중점을 두었다. 그리고, 저수지의 소요용량결정이나 저수지 운영조작분석 등을 위해서 필요한 월별유출입 특성분석은 여러 가지 방법을 이용하고 있으나 본 연구에서는 우리나라의 수문 실무분석에 널리 이용되고 있는 Tank모형을 이용하였다.

2.1. 천이확률행렬법(TPM : Transition Probability Matrix)

댐 건설 이후의 저수지 운영에서는 유효저류량이 이미 결정된 상태이므로 용수공급량을 유효저류량 범위내에서 조절할 수 있으나 유입량은 불확실성을 가지므로 확률적인 개념으로 접근할 수가 있다.

추계학적 분석기법 중 하나인 천이확률행렬기법은 Moran이 제안한 이론을 기초로 하여 Gould가 발전시켰다. TPM 모델은 저류량 상태해석을 통하여 확률 혹은 재현기간에 따른 최적저수용량 및 방류량을 산정하는 기법으로서 기본이론은 다음과 같다.

Moran은 이산된 시간단위를 사용하여 식 (1)과 같은 저수지의 간단한 물수지 방정식을 세웠다.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - O_t \quad (1)$$

여기서, S_t 와 S_{t+1} 은 t월과 t+1월초에 있어서 저류량을 나타내고 I_t 와 O_t 는 각각 t월의 유입량과 유출량을 나타낸다. 저수지의 용량을 M units인 k개의 zone으로 나누면 저수지상태(S)는 $S=0, 0 < S \leq M, M < S \leq 2M, \dots, (k-1)M < S < kM, S = kM$ 으로 생각할 수 있으며, 저수지의 각 Zone으로

나누어서 Moran은 저수지 용량의 누가확률로 표시된 방정식을 얻을 수 있었다.

따라서, 방류량이 일정하고 M unit라면 한 unit기간 끝에서 0(zero) Zone에 존재하는 저류량의 확률은 식 (2)와 같다.

$$P_0 = P_0 \sum_{i=0}^M q_i + P_1 \sum_{i=0}^{M-1} q_i + \dots + P_M q_0 \quad (2)$$

여기서, q_i 는 i unit 유입량의 확률, P_i ($i=0 \sim M$)는 t 번째 기간의 시점에서 저류량이 i unit 일 때 확률이며, P_j ($j=0 \sim (K-1)$)는 t 번째 기간의 종점에서 저류량이 j unit 일 때 확률을 나타낸다.

식 (2)를 식 (1)로 부터 얻어지며, 식 (2)와 유사한 식이 저수지의 각 Zone에 대해서 유도될 수 있다. 즉 저수지를 k개의 Zone으로 나누었을 때 식 (3)과 같은 행렬상태의 식을 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{k-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^M q_i & \sum_{i=0}^{M-1} q_i & \dots & q_0 & 0 & \dots & 0 \\ q_{M+1} & q_M & \dots & q_1 & q_0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=0}^M q_i & \sum_{i=0}^{M-1} q_i & \dots & \dots & \dots & \sum_{i=0}^{M-1} q_i & \sum_{i=0}^M q_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{k-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

즉, 각 Zone에 대하여 1년에 한 번이라도 월공급량의 부족이 발생할 조건확률과 연립방정식의 해를 순차적으로 곱하여 나온 값을 더함으로써 구할 수 있다. 천이확률행렬모델에 의한 Storage-Yield곡선은 위에서와 같은 방법으로 다양한 방류량과 저수용량에 대한 확률을 구함으로써 설계에 필요한 재현기간에 대한 Storage-Yield곡선을 작성할 수 있다.

2.2. 모의모형(Simulation Model)

용수공급능력 평가에 사용한 HEC-5모델은 저수지의 홍수조절과 이수목적 사이에서 상대적인 저수용량을 평가하고 홍수시의 하류상황을 고려한 저수지의 최적방류를 위해 널리 이용되고 있으며, HEC-5모델은 미 육군 공병단에 의해서 단일 수문 사상 홍수조절을 위하여 1973년 5월에 처음 개발되었으며, 다목적 저수지군의 홍수조절과 이수목적을 위한 운영과 최종 주요방류를 포함하도록 확장되고 발전되어 왔다. 각 저수지는 시점 저류량과 각 목표수위에 대한 저류량을 가지고 활용목적에 대한 할당을 세분하는 목표수위와 하류하천의 조절점에 따라 운영된다.

HEC-5모델에서 저수지로의 입력에는 유입량과 강수량 등이 있으며, 출력에는 방류량, 수면증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 일반적으로 저수지 수면의 강수량과 기타 손실량은 무시하며, 다음과 같

은 저수지의 상태를 나타내는 일반적인 물수지 방정식으로 저수지 상태의 변화를 모의한다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - O_t - E_t \quad (4)$$

여기서, S_t 와 S_{t-1} 는 각각 t 및 t-1 시점에서의 저류량이고, I_t , O_t 및 E_t 는 t 및 t-1 시점 사이의 유입량, 방류량, 증발량이다

또한, 계산시간 단위로는 월 또는 순단위를 사용하는 것이 일반적이며, 저류량 S는 유효저류량과 최저저류량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 함께 저수지의 운영률을 고려하여 저류량에 따른 방류량의 제한을 반영할 수 있다.

HEC-5 모델에서의 운영기준은 각 저수지에 대한 제한조건을 만족시키고 하류 조절점에서의 지정유량을 유지시키며, 시스템을 조화롭게 유지시키기 위해 운영된다.

2.3. 선형계획법(LP : Linear Programming)

선형계획법은 주어진 제약조건아래서 목적함수를 최적화하는 수리계획법의 하나로서 1948년 G. Danzig가 선형계획법 문제를 효율적으로 풀 수 있는 해법인 Simplex method를 제안한 이래 다른 분야에도 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 유역의 한정된 수자원을 최적으로 이용하는 방법중의 하나인 수리 계획법에 의해서 최적 용수배분 시스템을 구축하기 위하여 본 선형 계획법을 이용하였으며, 정형화된 수학적인 해석 과정은 Fig. 1과 같다.

수자원시스템의 최적화란 여러 개의 제약조건하에서 목적함수를 최적화(극대화 또는 극소화)하는 결정변수를 선정하는 과정으로서, 이러한 시스템조건에서 최적화 문제를 해결하기 위한 일반적인 과정은 다음 Fig. 2와 같다.

선형계획법을 모형화하는데 있어서 목적함수와 제약조건들간의 관계를 수식화하는 일반적인 형태는 다음과 같다.

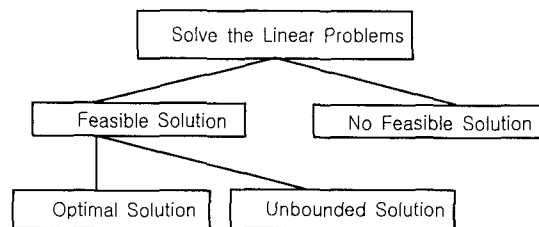


Fig. 1. Conceptual Diagram of Optimal Solution by LP(1986, Linus Schrage).

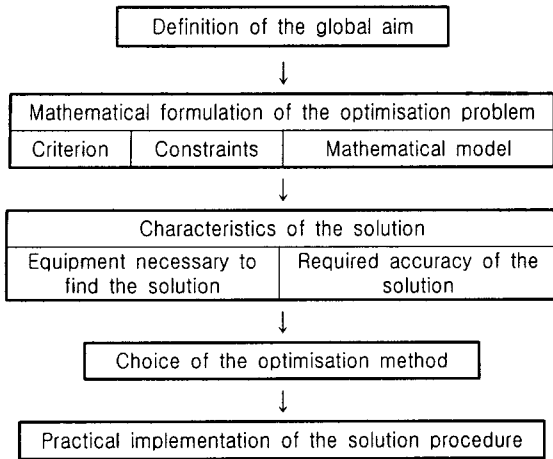


Fig. 2. Flow Chart for the Optimal Solution by LP (1986, Linus Schrage).

Objective Function

$$Z = \min(\max) \sum_{i=0}^n c_i x_i \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (6)$$

$$(x_i \geq 0)$$

여기서, $a_{ij}, b_i, c_i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$ 는 상수이며, x_j 는 결정변수, m 은 제약조건식의 수, n 은 결정변수의 수이다.

3. 적용유역과 사용자료

3.1. 연구대상유역의 선정 및 자료의 수집

본 연구의 대상유역은 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 낙동강지류의 대가천 상류부에 위치한 성주댐로서 경상북도 성주군 가천면 중산리에 위치하고 있다.

성주댐의 계획용수공급량은 50.041백만 m^3 /년으로서 이중에서 생·공용수 3.212백만 m^3 /년, 농업용수 29.800백만 m^3 /년, 하천유지용수 17.029백만 m^3 /년을 공급 목표로 하고 있으며, 주 용수공급은 농업용수와 하천유지용수로 각각 59.8%, 34%를 공급하고 있고, 댐의 제원은 Table 1과 같다.

댐 계획시의 용수공급 능력은 대기기상대에서 관측된 1953년부터 1985년까지 33개년간의 기상자료로부터 Kajiyama의 월유출고 공식을 이용하여 유출량 계산을 계산하였으며, 작물의 필요수량계산은 Blaney-Criddle공식을 이용하였고, 생활용수량은 목표연도를 2000년도로 하여 계획급수량 200l/day/인,

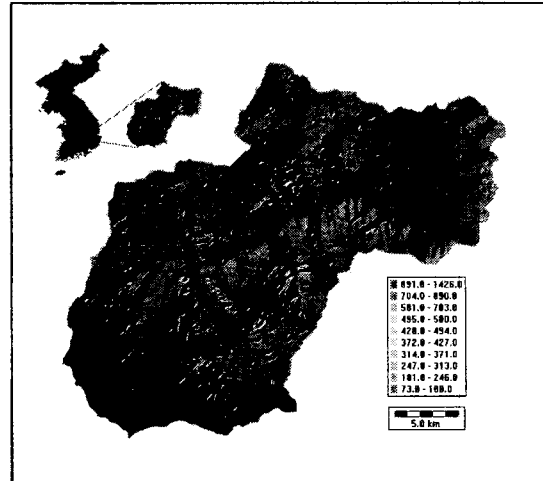


Fig. 3. Location Map of Study Area.

계획급수인구 13,000명으로 하였다. 계획당시 저수지 규모 결정을 위한 조건은 유역면적 149.60 km^2 (금회 수치지형도 이용시 150.682 km^2 로 검토되었음), 풍리면적 31.60 km^2 , 수로손실 10%, 삼투량 6.4mm/day, 만수면 증발면적 1.77 km^2 (금회 수치지형도 이용시 2.055 km^2 로 검토되었음)로 하여, 사수량 3.73백만 m^3 , 생활용수 8,800 m^3 /day, 하천유지용수 46,635 m^3 /day로 계획하였으며, 유효저류량은 과거 33년간의 월별 유출입량 자료로부터 carry over system(이월저류량 시스템)에 의해 불수지 분석을 실시하여 결정된 값이다.

다음으로, 성주댐의 저수지 저류량 특성을 검토하기 위하여 저수지 저수위별 저류량-수표면적 관계를 조사한 결과 Fig. 4와 같았으며, 월평균 관측 강수량 및 증발량은 대구관측소의 1966~1995년 수문자료를 이용하여 조사한 결과 Table 2에서 나타낸 바와 같이 연평균 강수량 및 증발량은 각각 1,123.1mm 및 1,356.4mm로 나타났다. Table 2에서 나타낸 증발량은 잠재증발량이므로 이 값에 실제 증발량비를 곱하여 실제 증발량 환산한 후 분석에 이용하였다.

3.2. 연구대상유역의 지형학적 특성

하천유역의 수문학적 유출현상은 유역의 지형학적 인자와 기후학적 인자의 영향으로 대별할 수 있으며, 지형학적 인자로는 유역특성과 유로특성 등이 있다. 댐 유역의 수문특성 분석에 필요한 공간자료의 구축을 위하여 환경부에서 구축된 성주댐 유역의 1/50,000 수치지도로 제작된 구축자료를 이용하여 하천유역의 지형특성 해석 프로그램인 Intersys에서 개발된 RiverTools Software를 이용하였다.

Table 1. Characteristics Data of Seongju Reservoir

Item	Parameter	Item	Parameter
Basin Area(km ²)	150.682	Irrigation Area(km ²)	31.6
Project Supply Capacity(MCM)	50.041	Reservoir	
Domestic & Industrial(MCM)	3.212	Type	RF(Rock-fill)
Agricultural(MCM)	29.800	Crest Elevation(EL. m)	191.0
Stream Maintenance(MCM)	17.029	Project Flood Level(EL. m)	187.9
Spillway		Full Reservoir Level(EL. m)	184.7
Design Flood Discharge(m ³ /s)	800	Low Water Level(EL. m)	162.2
Type	Radial Gates	Dam Height(m)	60.0
Gate Size(B×H×N, m)	8×6.5×4	Dam Length(m)	430.0
Outlet Channel(B×L, m)	32.2×361	Full Water Surface Area(km ²)	2.055
Intake Facilities		Gross Reservoir Capacity(MCM)	38.24
Intake Tower(H×D, m)	37×5	Effective Reservoir Capacity(MCM)	28.15
Intake Sluice Type	Double Chamber	Flood Control Storage(MCM)	6.36
Intake Tunnel(L×D, m)	70×5	Dead Storage(MCM)	3.73

Table 2. Monthly Mean Rainfall and Evaporation

Monthly	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
Precipitation(mm)	22.9	33.1	50.8	83.5	87.8	142.9	253.6	234.7	125.1	43.4	32.2	13.0	1,123.1
Potential Evaporation(mm)	59.9	65.3	105.1	134.2	172.7	165.0	153.4	164.8	114.9	96.9	66.1	58.0	1,356.4

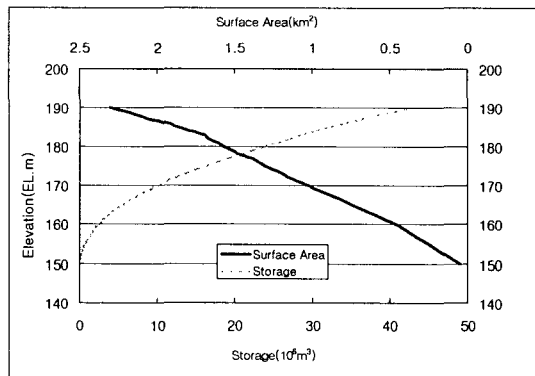


Fig. 4. Reservoir Elevation-Surface Area-Storage.

성주댐 유역의 유입특성 분석을 위한 특성인자로 는 유역의 면적과 고도에 관련된 자료 및 하천차수와 같은 수계에 관한 자료 등으로 구분하여 유역면적, 하도(주하도 및 하천차수별)의 연장, 하천차수, 유로중심장, 경사(하도 및 지표면경사) 등의 자료를 대상으로 하여 유역 특성분석을 실시한 결과 Table 3과 같았다.

3.3. 월별 유출특성 분석

본 연구의 연구대상 댐이 위치한 낙동강 수계의 제 1지류로서 유역내에는 1개의 강우관측소(대가 관

Table 3. Results of Basin Characteristics Data

Area (km ²)	Length (km)	Length of Watershed Centroid(km)	Main Channel Slope(m/m)	Stream order
150.682	27.582	14.024	0.0413	8

측소, 건설교통부 T/M우량관측소)가 설치되어 수문 관측에 이용되고 있으며, 이 중에서 댐개발 예정지역에 대한 수문분석의 정도를 높이기 위하여 성주댐유역 유출에 영향을 미치는 인근 대구 강우관측소에서 관측된 1966년부터 1995년까지 30개년간의 관측자료를 이용하여 댐유역별 과거년별 강우량을 조사하여 댐 유역의 년별 월별 유출특성을 직렬 4단 Tank Model을 이용하여 분석하였다. 분석에 필요한 모델 매개변수는 “낙동강·금강유역 기존댐 용수공급능력평가¹⁵⁾”에서 제안된 값을 사용하였으며, 분석결과 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 년 평균 유출량은 2.74m³/s로서 수자원총량은 86.4×10⁶m³이며, 유출심으로 환산하면 약 573.5mm로서 유출율은 약 52%로 검토되었다. 특히 총 수자원량 중에서 하절기인 6~9월에 전체 유출량의 약 74%인 64.09×10⁶m³가 발생하고 있어서 계절적 편차가 극심함을 알 수 있었다.

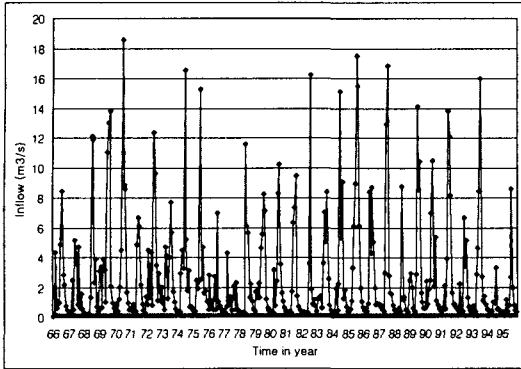


Fig. 5. Results of Monthly Runoff Discharge Simulation.

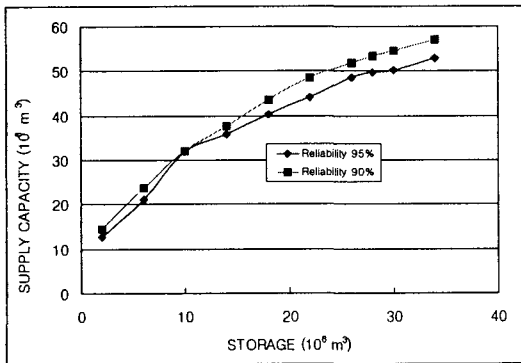


Fig. 6. Comparison of Water Supply Capacity by each Reliability (TPM Method).

Table 4. Results of Water Supply Capacity by each Reservoir Capacity (TPM Method)

Supply (10 ⁶ m ³)	Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)								
	2	6	10	14	18	22	26	30	34
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.1667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	0.4933	0.0711	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5	0.7833	0.2111	0.0167	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	0.8789	0.4633	0.1544	0.0184	0.0013	0.0	0.0	0.0	0.0
3.5	0.9889	0.7356	0.3333	0.1825	0.0274	0.0109	0.0054	0.0009	0.0004
4.0	0.9944	0.8167	0.6111	0.3067	0.1412	0.0412	0.0231	0.0109	0.0053
4.5	1.0	0.8633	0.7489	0.4942	0.3167	0.1514	0.0833	0.0434	0.0296
5.0	1.0	0.9467	0.8400	0.6778	0.4640	0.2987	0.1850	0.1184	0.0704

Table 5. Results of Water Supply Capacity by TPM Method

Reservoir Capacity (10 ⁶ m ³)	Monthly Mean Water Supply Capacity (10 ⁶ m ³)		Annual Mean Water Supply Capacity (10 ⁶ m ³)	
	95%	90%	95%	90%
	2.0	1.05	1.20	12.60
6.0	2.10	1.98	21.00	23.76
10.0	2.65	2.67	31.80	32.04
14.0	2.98	3.13	35.76	37.56
18.0	3.35	3.63	40.20	43.56
22.0	3.68	4.05	44.16	48.60
26.0	4.05	4.33	48.60	51.96
28.0	4.15	4.45	49.80	53.40
30.0	4.18	4.55	50.16	54.60
34.0	4.40	4.75	52.80	57.00

Table 6. Summary of Analyzed Results by each Reliability (HEC-5 Model)

		Reliability	
		95%	90%
Storage (10 ⁹ m ³)	Maximum	30,632	30,623
	Minimum	3,600	3,600
	Mean	22,101.43	19,255.26
Water Level (EL. m)	Maximum	184.86	184.86
	Minimum	162.20	162.20
	Mean	179.13	176.71
Inflow (m ³ /s)	Maximum	18.59	18.59
	Minimum	0.07	0.07
	Mean	2.77	2.77
Outflow (m ³ /s)	Maximum	17.51	17.51
	Minimum	0.28	0.28
	Mean	2.79	2.80

4. 분석 결과 및 고찰

4.1. 저류량-용수공급능력 분석

4.1.1. 천이확률행렬법 (TPM Method)

천이확률행렬법에 의한 용수공급 능력 분석 결과는 Table 4에서 분석된 바와 같이 저류량이 34백만 톤일 경우 용수공급량이 월 5백만톤을 공급할 때 저수지에서 물이 부족할 확률은 0.0704이다.

각 영역별로 95%신뢰도의 용수공급량을 산정한 결과 Table 5 및 Fig. 6과 같았다. 분석결과 성주댐의 유효 저수용량은 28백만톤이므로 유효저류량일 때의 95%신뢰도의 용수공급량은 49.80백만톤으로 나타났으며, 90%신뢰도의 용수공급능력을 분석하였을 경우 53.40백만톤으로 나타났다.

따라서 천이확률 행렬법으로 용수공급능력을 분석한 결과 성주댐의 계획 용수공급량 50백만톤과 비교할 때 95%신뢰도에서 0.4% 감소하였고, 90%신뢰도에서는 6.8% 증가하는 것으로 검토되었다.

4.1.2. 모의모형

모의모형인 HEC-5모델에 의한 성주댐의 신뢰도

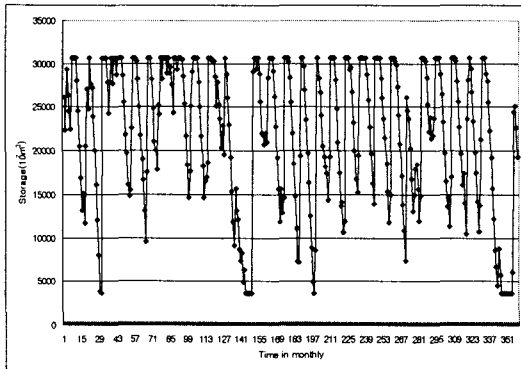
수준을 각각 90%와 95%로 하여 월별로 1966년부터 1995년까지 30개년간의 자료를 이용하여 운영·분석하였으며, 그 결과 Table 6 및 Fig. 7~9에서 나타낸 바와 같았다.

소규모 농업용 저수지의 저류량-용수공급능력 결정에 관한 연구

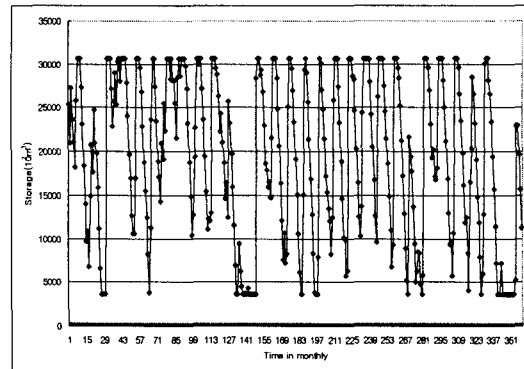
즉, 성주저수지의 저류량의 변화를 살펴보면 용수 공급신뢰도 95%, 90%에서 최소 3,600천 m^3 , 3,600천 m^3 으로 나타났으며, 최대값은 30,632천 m^3 , 30,632천 m^3 로 나타났다. 수위변화는 각각 최저수위가 162.20m, 162.20m 최고 수위는 184.86m, 184.86m로 나타났다. 유입량은 최소 0.07cms, 최대 18.59cms로 나타났다. 또한 평균 저류량은 22,101.43천 m^3 , 19,255.26천 m^3 로

서 90%일 경우 2846.17천 m^3 적게 나타났고, 평균 수위는 179.13m, 176.71m로 90%일 경우가 2.42m 낮게 나타났으며, 평균 방류량은 2.79 m^3/s , 2.80 m^3/s 로 나타났다.

그리고 용수의 안정공급 신뢰도를 95%(총 360개월 중 물부족월수 18개월 해당)와 90%(총 360개월 중 물부족월수 36개월 해당)로 할 경우 용수공급능

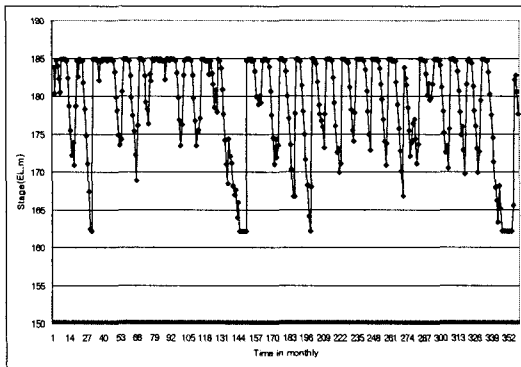


(a) Reliability 95%

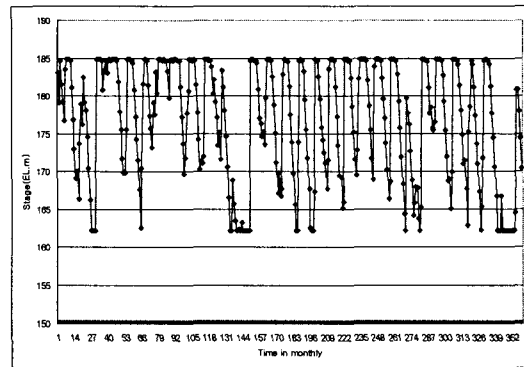


(b) Reliability 90%

Fig. 7. Results of Storage Variation.

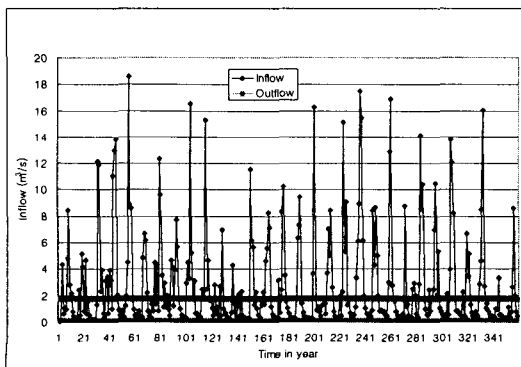


(a) Reliability 95%

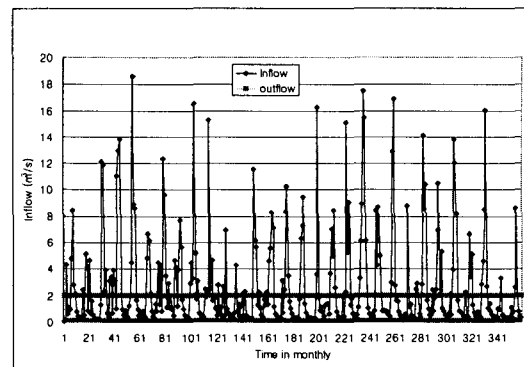


(b) Reliability 90%

Fig. 8. Results of Water Level Variation.



(a) Reliability 95%



(b) Reliability 90%

Fig. 9. Results of Water Level Variation.

력을 검토한 결과 Fig. 10과 같이 각각 2.02CMS, 1.75CMS로 나타났으며, 연간 용수공급량은 90%일 경우 63.7백만톤/년, 95%일 경우 55.18백만톤으로 나타났다. 즉, 성주댐의 계획 용수공급량인 50백만톤과 비교할 때 신뢰도 95% 및 90%에서 각각 10.36% 및 27.4%정도 증가되는 것으로 분석되었다.

4.1.3. 선형계획법

선형계획법에 의해 성주댐의 용수공급능력을 분석하기에 앞서 제약조건은 먼저 유입량은 월별 평균 유입량과 생활용수, 농업용수, 및 하천유지용수의 양을 각 12개월로 나누어 재분배하였다. 계산결과 각 월의 필요수량과 비율(%)은 각 월의 필요수량을 구한 값에서 성주댐의 용수공급 총량 50백만톤에서 각 월의 비율로 분배한 결과 Table 7과 같이 분석되었다. 성주댐의 목적함수는 용수공급량의 Max W (W : 용수공급량)으로 하였으며, 제약조건은 각 월별 저수지의 저류량의 상한선 38.2백만톤과 하한선 10.0백만톤으로 하였으며 분석기간 t의 초기저류량과 말기 저류량은 상시만수위에 해당하는 저류량 28.2백만톤으로 하였다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Objective Function} \quad \text{Max } W \\
 &\text{Subject to} \quad X(t+1) - X(t) + C(t)W = I(t) \\
 &\quad \quad \quad X(t) < 38.2 \\
 &\quad \quad \quad X(t+1) < 38.2 \\
 &\quad \quad \quad X(t) > 10.0 \\
 &\quad \quad \quad X(t+1) > 10.0 \\
 &\quad \quad \quad X(0) = 28.2 \\
 &\quad \quad \quad X(t_{\text{end}}) = 28.2
 \end{aligned}$$

여기서 X(t), X(t+1)은 각 월별 저류량이며, I(t)는

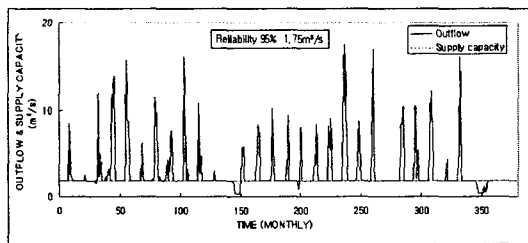
월평균 유입량, C(t)는 Table 7에서 최대 용수요구량을 나타내는 8월을 1로 하였을 경우 각 월의 요구수량 비 값이다. 또한 X(0), X(t_{end})는 초기 조건과 말기 저류량 조건으로 하여 용수공급량 W를 최대화하였다.

이상과 같은 목적함수의 최적화 과정을 선형계획법에 의한 최적분석 결과 총량 62.4백만톤을 공급할 수 있는 것으로 나타났으며, 총량 대비 계획공급량 50백만톤과 비교할 때 약 24.8% 정도 증가되는 것으로 나타났다.

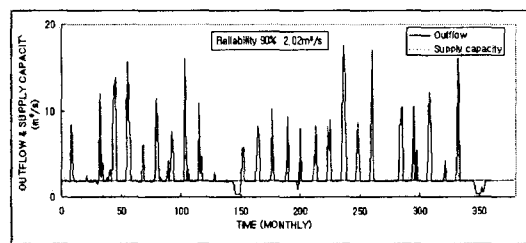
4.2. 분석결과의 비교검토

본 연구에서는, 소규모 농업용댐인 성주댐을 대상으로 천이확률행렬법(TPM Method), 모의모형(HEC-5 Model) 및 선형계획법을 이용하여 최적 용수공급능력을 분석하였으며, 분석결과를 비교 검토한 결과 Table 8 및 Fig. 11과 같았다. 분석방법에 있어서 성주댐의 최적용수공급능력 결정시에 천이확률행렬법과 모의발생방법에 의한 용수공급 신뢰도는 각각 90% 및 95%로 하였으나 선형계획법에 의한 추정치는 월별 필요수량에 따라서 최적화 개념을 이용하여 최적 용수공급능력을 검토하기 때문에 신뢰도가 고려되지 않았다.

검토결과 천이확률행렬법에 의한 경우 용수공급 신뢰도 95%수준에서 49.8백만톤, 90%수준에서 53.4백만톤으로 분석되어 기존의 계획 용수공급량 50백만톤과 비교할 때 용수공급신뢰도 95% 및 90%수준에서 각각 0.4% 감소 및 6.8% 증가되는 것으로 검토되었다. 이 방법에 의한 최적 용수공급능력은 매월 동일량의 용수확보개념이 적용된 것으로서 기존의 계획 용수공급량은 신뢰도 95%과 거의 일치하



(a) Reliability 95%



(b) Reliability 90%

Fig. 10. Results of Outflow and Water Supply Capacity.

Table 7. Monthly Water Requirement by Linear Method

Monthly	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Water Requirement(10 ⁶ m ³)	1.69	1.69	1.69	3.99	6.33	6.61	8.05	8.90	6.06	1.69	1.69	1.69
Ratio	0.0338	0.0338	0.0338	0.0798	0.1266	0.1322	0.1610	0.1780	0.1212	0.0338	0.0338	0.0338

Table 8. Comparison of Optimal Water Supply Capacity

Reliability (%)	Water Supply Capacity(10 ⁶ m ³ /year)			
	Project	TPM	Simulation	Linear
95	50	49.80	55.18	62.40
90	50	53.40	63.70	62.40

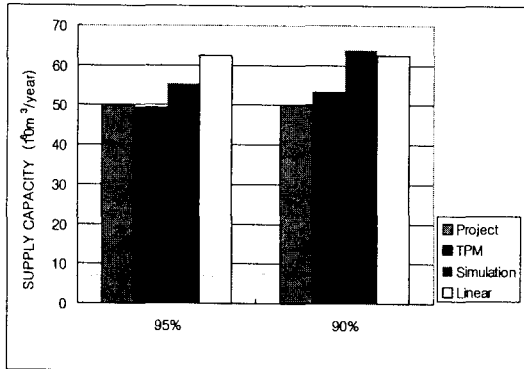


Fig. 11. Comparison of Optimal Water Supply Capacity.

는 것으로 나타났다. 다음으로, 모의발생방법인 HEC-5모델에 의한 분석 결과 용수공급신뢰도 95%인 경우 55.18백만톤(1.75m³/s), 90%수준에서 63.7백만톤(2.02m³/s)으로 검토되어 기존의 계획 용수공급량 50백만톤과 비교할 때 용수공급신뢰도 95% 및 90% 수준에서 각각 10.36% 및 27.4%가 증가되는 것으로 검토되었다. 이 방법에 의한 추정은 저수지 유입량 시계열자료의 연속적인 모의가 이루어지므로 유입량의 변화에도 안정적으로 용수공급이 이루어질 수 있도록 운영됨을 알 수 있었다.

최적화기법인 선형계획법으로 분석한 결과 62.4백만톤으로 분석되어 기존의 계획 용수공급량 50백만톤과 비교할 때 용수공급신뢰도 약 24.8%가 증가되는 것으로 검토되었다.

이상의 연구 검토결과를 고려할 때, 동일한 조건의 유입량과 입력자료의 사용으로 최대한 동일 비교가 가능하도록 하였음에도 각기 운영방법에 따라 조금씩 다른 결과치를 보여주고 있으며, 용수공급능력은 선형계획법> 모의발생방법> 천이확률행렬법의 순으로 검토되었으며, 모의발생방법이 농업용 소규모 저수지의 용수공급능력을 계획함에 있어 연속적인 유입량 방류량의 관계를 가지고 있어 합리적으로 적용가능하므로 모의발생방법을 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구의 대상 저수지는 농어촌진흥공사에서 농촌용수개발사업 목적으로 건설되어 운영중인 낙동

강 지류 대가천 상류에 위치한 성주댐을 대상으로 하였으며, 용수공급능력 해석에 필요한 유입량 자료는 Tank모델을 이용하여 유출 계산을 한 결과를 입력자료로서 사용하였다. 용수공급능력에 대한 연구·검토를 위하여 천이확률행렬법, 모의발생방법(HEC-5모델) 및 최적화기법(선형계획법)을 이용하여 각 방법에 의한 용수확보량을 비교 검토하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저, 각 분석기법별로 용수공급능력을 분석한 결과, 용수공급능력은 선형계획법> 모의발생방법> 천이확률행렬법의 순으로 검토되었으며, 모의발생방법이 농업용 소규모 저수지의 용수공급능력을 계획함에 있어 연속적인 유입량 방류량의 관계를 가지고 있어 합리적으로 적용가능하므로 모의발생방법을 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

다음으로, 모의발생방법을 기준으로 할 경우 성주댐의 용수공급능력은 기존의 계획 용수공급량 50백만톤을 상향조정하여 공급신뢰도 95%와 90%일 때 각각 약 55.18백만톤 및 63.7백만톤으로 조정하여 이용함으로써, 댐 하류지역의 개발에 따른수자원 이용의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 연구결과에서 나타낸 바와 같이 농업용 저수지에도 각 월별 운영기법과 효율적인 저수지 관리를 통하여 수자원의 확보가 가능할 것으로 판단되며, 안정적인 용수공급으로 인하여 농촌지역의 경제 발전에 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Rippl, W., 1983, The Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply, Proc. Tnst. Civil Eng., 71, 270-278.
- 2) Srikanthan, R., 1978, Sequential Generation of Monthly Stream Flows, Jour. of Hydrology, 38, 78-80.
- 3) Waitt, F.W.F., 1945, Studies of Droughts in the Sydney Catchment Areas, Jour. I.E. Aust., 17(5), 90-97.
- 4) Alexander, G.N., 1962, The Use of the Gamma Distribution in Estimating Regulated Output from Storages, Civ. Eng. Tr. I.E. AUT., 29-34.
- 5) Hardison, C.H., 1965, Storage to Augment Low Flows, Proc. Reservoir Yield Symposium, St. Hilda's College, Oxford, part I.
- 6) Moran, P.A.P., 1955, A Probability Theory of Dams Storage System, Modification of the Release Rule, Aust. J. Appl. Sci., 5, 117-130.
- 7) Gould, B.W., 1964, Statistical Methods for

- Reservoir Yield Estimation, Water Research Foundation Australia, Report No. 8.
- 8) 장인수, 이순탁, 1985, 저수지의 Storage-Yield에 관한 연구, 한국수자원학회지, 18(3), 253-264.
 - 9) 윤용남, 윤강훈, 1986, 월 유하량의 추계학적 모의발생 자료를 사용한 저수지활용 저수 용량의 확률론적 결정, 대한토목학회 논문집, 6(3), 63-74.
 - 10) 최한규, 최영박, 김치홍, 1986, 추계학적 저수용량결정에 관한연구, 한국수자원학회지, 19(2), 149-155.
 - 11) 안승섭, 장인수, 이수식, 1997, 소규모 저수지의 최적용수공급능력 결정에 관한 연구, 한국농공학회지, 39(5), 109-122.
 - 12) 안승섭, 정순들, 김대형, 이증석, 장인수, 2002, 소규모 저수지의 저류용량 결정에 관한 연구, 한국환경과학회 봄 학술발표회 발표논문집, 11(1), 235-238.
 - 13) 정순들, 신성일, 김승균, 이증석, 안승섭, 2001, 신뢰도를 고려한 소규모 저수지 공급 능력결정, 한국산업응용학회 춘계학술발표회 논문집, 58-65.
 - 14) 정상만, 신현민, 1994, 다목적댐 용수공급능력 평가방법의 개선, 한국건설기술연구원 연구보고 94-WR-111.
 - 15) 한국수자원공사/건설교통부, 1998, 기존댐 용수 공급능력조사(낙동강, 금강수계) 보고서.