

## 개방형 물관리 프로그램을 이용한 관개용 저수지의 거동 분석

### Behaviour Analysis of Irrigation Reservoir Using Open Water Management Program

김 선 주\* · 김 필 식\*\* · 임 창 영\*\*\*

Kim, Sun Joo · Kim, Phil Shik · Lim, Chang Young

#### Abstract

For optimal irrigation reservoir operation during flood and normal period, a general and systematic policy is suggested to make balance of the conflicting purposes between water conservation and flood control.

We developed Open Water Management Program (OWMP) with an open architecture to deal with newly arising upgrade problems for optimal management of irrigation reservoir. And we evaluated the applicability of OWMP to estimate daily runoff from an agricultural watershed including irrigation reservoirs, and analyzed behaviour of irrigation reservoirs as irrigation water requirements considering frequency analysis of reservoir storage and frequency analysis water requirements for effective management of reservoir.

When we executed OWMP with data produced from an experimental field, IHP basins, the mean relative errors of application of daily runoff and irrigation water requirement were less than 5%. We also applied OWMP to a Seongju irrigation reservoir to simulate daily runoff, storage and water requirement from 1998 to 2002, and the mean model efficiency between measured and simulated value was 0.76.

Our results based on the magnitude of relative errors and model efficiency of the model simulation indicate that the OWMP can be a tool nicely adapted to the effective water management of irrigation reservoir for beneficial water use and flood disaster management.

*Keywords : Daily runoff, Irrigation water requirement, Analysis of reservoir behaviour*

#### I. 서 론

저수지의 운영은 장기적으로 비홍수기의 용수공급을 위한 이수대책과 단기적으로 홍수기의 홍수피해경감을 위한 치수대책을 각각 수립하여야 한다. 특히 홍수기에는 홍수기에 집중하는 우리 나라의 강우특성상 한정된 저수지의 저수공간을 최대한 활

\* 건국대학교 생명환경과학대학  
\*\* 건국대학교 대학원  
\*\*\* 농업기반공사 농어촌연구원  
\* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3753  
Fax: +82-2-444-0223  
E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

용하여 홍수조절을 우선 순위로 하며 홍수기의 진행에 따라 비홍수기를 위한 용수확보에도 전념하여야 한다. 따라서 홍수기를 통해 용수도 확보하고 홍수피해도 최소화할 수 있는 한정된 저수공간의 탄력적인 운영을 필요로 한다. 그러나 각종 자연현상의 불확실성과 현실적인 제약조건들은 효율적인 저수지의 운영을 어렵게 하고, 특히 유입량의 불확실성은 한정된 저수공간의 효율적인 이용을 근본적으로 어렵게 만든다.<sup>13)</sup>

특히 관개용수를 공급하는 저수지는 필요한 시기에 필요한 수량을 공급할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 저수지로 유입하는 수량과 유출하는 수량이 시간이 경과함에 따라 어떻게 변화할 것인가를 추정 또는 예측할 수 있어야 한다. 이와 함께 저수지의 유입·유출 수량에 따라 저수지 수위나 저수량의 변화를 가능한 정확히 추적할 필요가 있다.<sup>9)</sup>

이러한 관개용 저수지의 효율적인 관리를 위해 유역의 유출에서부터 유역의 용수수요량을 고려하여 저수지를 운용할 수 있는 유역개념의 종합적이고, 과학적인 물관리가 필요하며 관개용 저수지 시스템의 효율적인 운영방법을 모색하기 위해서는 운영방법에 따른 저수지의 거동분석에 대한 연구가 필요하겠다.

따라서 본 연구에서는 농촌유역의 종합적인 물관리자동화시스템과 함께 운영될 수 있는 개방형 물관리 프로그램(Open Water Management Program; OWMP)을 객체지향기법에 의해 개발하여 프로그램의 확장과 수정이 용이하고, 컴퓨터의 전문지식이 없는 사용자도 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 하였다. 개방형 물관리 프로그램은 수문자료를 사용하여 일단위와 월단위에 대한 유역의 용수 수요상태와 공급상태를 예측할 수 있고, 기존 자료들의 통계적 분석을 통해 모의 결과와 비교 분석이 가능하도록 하였다. 그러므로 본 프로그램을 사용하여 관개용 저수지 유입량의 불확실성을 최소화하고 관개지구의 필요수량을 산정하여 농촌유역의 장기물수지 분석에 대한 적용성을 검증하고, 한정된

저수지의 저수공간을 탄력적으로 운영하는 방안을 검토해 보고자 저수지의 거동분석을 실시하였다.

## II. Open Water Management Program의 기본 이론

### 1. Open Water Management Program

관개용 저수지 유역의 농업용수 자동화 관리를 위한 물관리자동화시스템은 Tele-Monitoring /Tele-Control 기술에 기초한 하드웨어적 구성과 과학적 용수수급 결정을 기반으로 하는 소프트웨어적 구성으로 이루어진다.<sup>6)</sup>

물관리자동화시스템의 소프트웨어는 사용자에게 수리시설물의 조작을 결정하는데 편의를 제공할 수 있도록 개발되어야 하며, 하드웨어시스템에 적합하도록 프로그램의 확장과 호환이 용이하도록 개발되어야 한다.

본 연구에서는 하드웨어시스템에 적합하도록 개방형 프로그램 개발을 위해 객체지향기법(Object-Oriented Programming Method)을 사용하였다. 개방형 구조는 원칙적으로 일반 사용자를 대상으로 외부 시스템을 수용할 수 있는 환경을 제공하는 것이며, 더불어 내부의 기능을 수정, 교체, 추가할 수 있는 개방 기능을 포함하여야 한다. 즉, 표준인터페이스를 사용하고, 기존의 응용 프로그램의 지원이 가능하며, 사용자에 의한 내부의 기능이 추가, 삭제될 수 있는 가변성이 보장되어야 한다.

OWMP는 자료관리시스템과 모형시스템으로 구성되어 있고 자료관리시스템에서는 유역의 실시간 자료를 취득하여 DataBase를 구축하고, 기존의 자료들을 통해 월평균 유입량, 월평균 강우량, 순별 필요수량 등의 통계분석 및 검색이 가능하도록 하였다.

모형시스템은 취득된 Data를 이용하여 유역의 유입량과 관개지구의 필요수량을 모의하여 저수지 운영 결정을 하는데 편의를 제공한다.

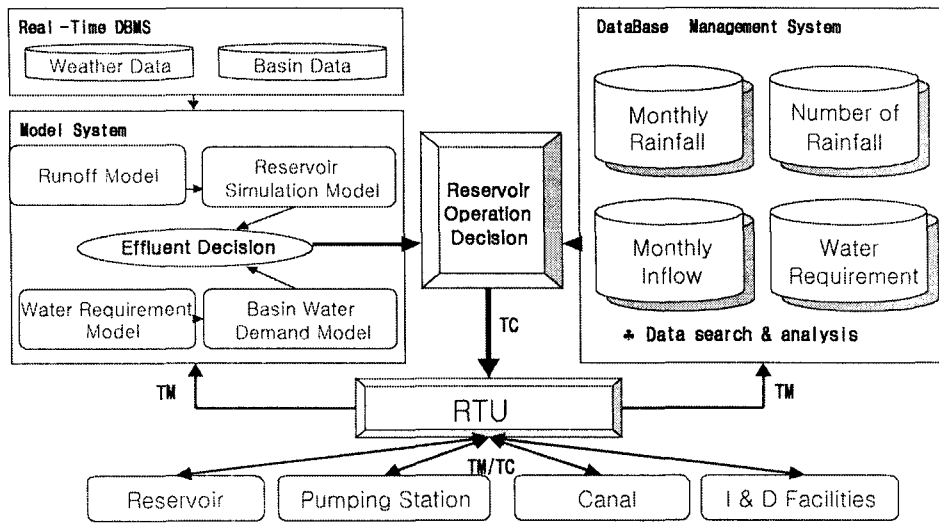


Fig. 1 Schematic of automation water management system with OWMP

물관리자동화시스템은 Remote Terminal Unit (RTU)을 통해 OWMP에 수집된 자료를 전송하고, Simulation 결과에 따라 수리구조물의 제어를 실행한다(Fig. 1).

## 2. 유입량 산정 모델

수정 TANK 모형은 관개용 저수지의 일별 유입량을 모의발생하기 위하여 Sugawara<sup>4)</sup>의 TANK 모형을 한국 관개용 저수지의 유역특성에 맞게 수정한 것으로서 관개용 저수지의 일별 유입량을 모의발생하는 모형이다.

본 연구에서는 3단 TANK, 4개의 유출공을 갖는 것으로 정하고 유역에 따라 TANK의 수나 유출공의 수는 조정하지 않는 것으로 하였으며 증발산 성분을 상수로 처리하여 유출해석에서 증발산 성분의 변화와 오차는 매개변수항으로 처리하였다.<sup>10)</sup>

유출량을 모의발생하기 위해서는 매개변수 추정 이 문제가 된다. 그러므로 IHP 유역 16개소, 기타 지역 8개소, 총 24개소의 실측된 유출량자료와 해당 유역의 수문특성 인자로부터 선형 회귀식을 재

개발하여 일반화된 회귀방정식을 제안하였다. 수정 TANK 모형의 회귀방정식을 산정하는데 있어 6-9월을 홍수기로 하고, 홍수기를 제외한 기간을 평수기로 하여 회귀방정식을 산정하였다.

각 유역의 실제 유출량 자료를 7~10년 정도 확보하여 매개변수를 Rosenbrock법에 의해 최적화 시켰고, 유역별 지상인자와 유역별 년단위 최적 매개변수와의 상관관계를 분석하였다.<sup>7)</sup> 상관관계분석에 근거하여 후진제거법(Backward Elimination Method)과 단계적 선택법(Stepwise Selection Method)에 의한 다중회귀분석을 실시하였다.<sup>11)</sup>

## 3. 논농수 필요수량 산정 모델

논에서 필요수량은 벼의 증발산량, 침투량, 유효수량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려하여 산정한다. 침투량은 논토양의 토성, 지하수위 등에 영향을 받으며, 증발산량은 작물의 종류, 기상여건 등에 따라 변화하고, 유효수량은 포장조건 등의 제반인자와 강우량에 따라 결정된다.<sup>11),12)</sup>

본 연구에서는 작물의 생육시기에 따른 필요수량을 산정하기 위해 이양재배기간을 묘대기간, 이양

일수, 분담기간으로 분류하여, 각 생육기간별 필요 수량을 산정한다.

증발산량산정은 적용성이 국내에서 입증되었으며 일단위 잠재증발산량 산정이 가능한 FAO 수정 Penman식<sup>3)</sup>을 이용한다.

침투량산정은 우리나라의 경우 지역적인 편차가 대단히 큰편으로 약 3~7 mm/d로 볼 수 있고 전 관개기 동안 약 500~800 mm 정도로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이<sup>2)</sup>가 사용한 전국의 도별 평균 침투량 현황을 사용하였다.

#### 4. 저수지 조작 모듈

관개용 저수지의 방류량은 당일의 기상조건(작물의 증발산량 및 유효우량), 용수로 조건(최저 방류량, 수로손실), 포장조건(침투량, 관리손실, 담수심, 관개면적, 물꼬높이) 및 작물의 생장단계등의 용수에 지배를 받는 것으로 볼 수 있다.<sup>11),12)</sup> 본 연구에서는 저수지 수혜지역에 해당하는 관개지구에서 작물의 생육시기를 고려한 일별, 월별 소비수량 즉, 관개지구에서 필요로 하는 필요수량을 방류량으로 결정한다. 방류량과 현재 저수량을 고려하여 조작자는 방류량을 결정하고, 결정된 방류량은 저수지 물수지를 통해 다음날의 저수량을 산정하도록 한다. 소수력발전 용수나 양수장 펌핑 수량 등 기타 수량을 조작할 수 있도록 하여 다양한 방법의 저수지 조작이 가능하도록 하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. OWMP의 보정 및 검증

유입량 산정모형은 IHP 유역 보성, 도척, 상안미, 기대유역에 적용하였다. 검증에 사용한 매개변수는 해당유역의 지상인자를 회귀식의 매개변수로 사용하여 일별 유출량을 모의하였다. 필요수량 산정 모형은 경기진흥원 포장용수량 시험포장에서 실측한

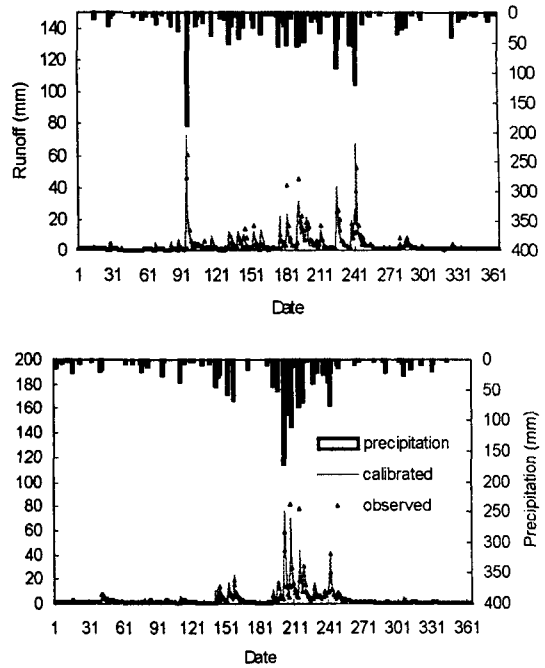


Fig. 2 Case of Bosung watershed (1980) and Dochuck watershed (1987)

Table 1 Comparison of observed and simulated runoff (Unit: mm/d)

Watershed	Bosung (1980)	Dochuck (1987)	Sanganmi (1991)	Gidae (1986)
Precipitation	1879.4	1726.6	1476.6	1253.8
Observed runoff	1225.9	1260.8	993.4	601.6
Estimated runoff	1227.1	1192.4	1003.2	615.5
Relative error (%)	0.1	5.4	0.9	2.3

관개수량, 담수심 및 유효우량 관측치를 비교하여 보정 및 검증을 실시하였다.

유입량 산정 모형을 적용해 본 결과 침투유출량 뿐만 아니라 일 유출량의 경향이 유사하게 나왔다 (Fig. 2). 보성의 경우는 실측과 모의의 상대오차가 0.1%로 나타났고, 도척은 5.4%, 상안미는 0.9%, 기대는 2.3%로 나타났다. 4개의 유역에 적용해 본 결과 도척유역을 제외하고 5% 이내의 상대오차를 나타내고 있다 (Table 1).

OWMP의 필요수량 산정 모형의 검증결과 담수

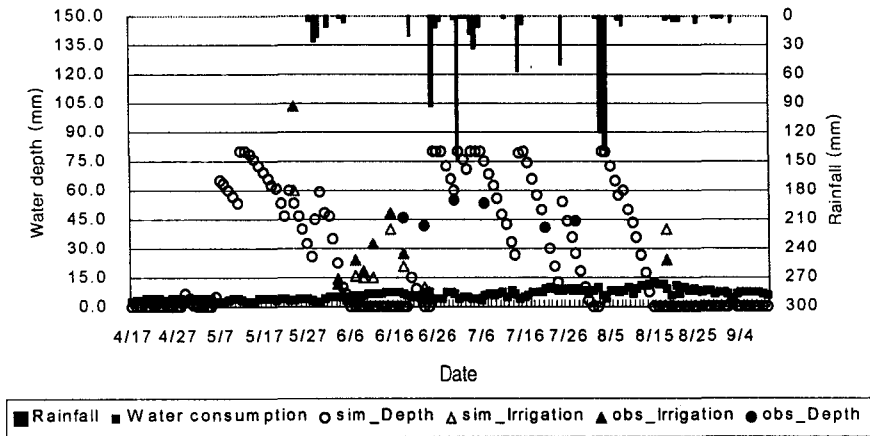


Fig. 3 Comparison of irrigation requirement in irrigation area

Table 2 Comparison of water requirement in irrigation area

	Water consumption	Irrigation requirement	Effective rainfall
Observed (mm)	900.3	300.8	579.6
OWMP (mm)	886.3	313.7	566.0
Relative error (%)	1.5	4.2	2.3

심과 유효우량의 경우 실측결과와 경향이 유사하게 나타났다(Fig. 3). 이양재배를 기준으로 886.3 mm, 강우량 840.1 mm에 대한 유효우량은 566.0 mm이고, 유효우량을 제외한 관개량은 313.7 mm로 나타났다(Table 2). 실측결과와 비교하면 12.9 mm~14.0 mm의 차이로 상대오차는 모두 5% 미만으로 나타났다.

## 2. OWMP 적용

### 가. 대상지구

OWMP의 적용 및 관개용 저수지의 거동분석을 위해 물관리자동화시스템 설치 구역으로 선정된 성주댐 유역을 대상으로 1998년부터 2002년까지 조사된 자료를 사용하였다.

성주댐은 경상북도 성주군 가천면 중삼리에 위치하며 저수지로 유입되는 유역의 면적은 14,960 ha

이며 유역의 지형은 가파른 산지가 대부분이다. 저수지의 설계홍수량은 200년 빈도 홍수량인 981 m/s이다. 저수지의 관개면적은 3,160 ha이며 저수지 면적에 대한 유역면적의 비율은 약 5배이다. 총 저수량은 3,824 ha·m이며 이중 농업과 생활용수 및 하천유지용 필요저수량은 2,815 ha·m, 홍수조절량은 636 ha·m, 사수량은 373 ha·m이다. 성주댐의 적용을 위한 수문자료는 대구측후소와 성주댐 자체의 자료를 사용하였으며 저수지 모의 조사를 위한 유출량, 필요수량 및 용수사용현황을 분석하였다. 유출량자료는 유역내 수문관측소가 전무한 실정으로 저수위 변화 자료를 사용하였고, 방류량은 성주댐 관리소 조작일지를 통해 취득하였다.

### 나. 유입량 적용

성주댐 설계당시에 사용하였던 강우자료는 대구측후소의 자료로 성주댐에서 직접 실측되기 전의 자료를 사용하였다. 그러므로 1998년부터 성주댐 관측소 강우자료와 대구측후소의 강우자료를 비교한 결과, 많게는 448 mm로 성주댐 관측소에서 조사된 강우량이 대구측후소의 강우보다 10~20% 큰 것으로 나타났다. 따라서 유입량 모의는 성주댐에서 실측이 가능한 1998년부터 2002년까지의 강우자료를 사용하였고, Table 3과 같이 2001년

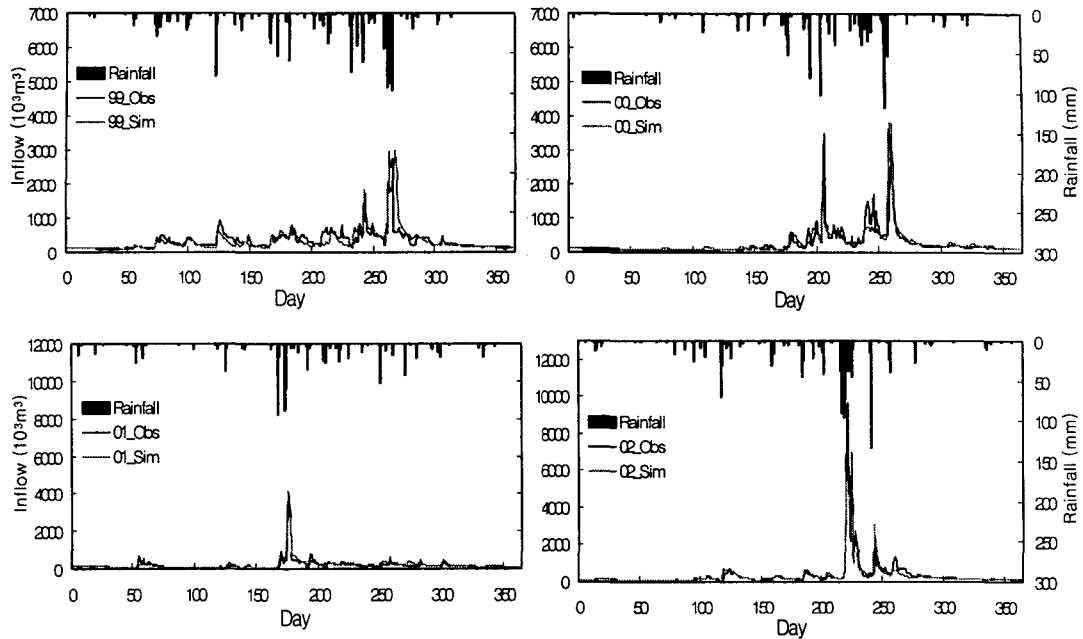


Fig. 4 Comparison of simulated and observed runoff of Seongju reservoir(1998-2002)

Table 3 Comparison of simulated and observed runoff in Seongju reservoir

Year		1998	1999	2000	2001	2002
Precipitation (mm)		1,281.8	1,377.4	1,087.3	878.3	1,341.5
Total runoff ( $10^3 m^3$ )	Obs.	113,695.2	115,934.6	89,807.3	67,092.6	139,447.4
	Sim.	115,608.4	112,661.9	92,086.9	74,083.6	121,849.8
Relative error	Day	0.21	0.26	0.31	0.26	0.22
	Month	0.11	0.13	0.20	0.13	0.12
	Year	0.05				
Model efficiency		0.72	0.71	0.81	0.85	0.79
$R^2$		0.81	0.74	0.88	0.89	0.85
Irrigation requirement ( $10^3 m^3$ )		28,062.5	27,364.7	23,541.5	33,297.7	30,663.3

을 제외하고 평균 1,272 mm의 연강우량을 나타냈다. 성주저지의 실측 유입량 자료는 수문관측소가 없는 관개로 저수위 변화 자료를 통해 얻었다.

적용 결과 홍수기에 다소 오차가 발생하였으나 장기유출의 경향이 비슷하게 나타났다(Fig. 4). 성주댐으로의 연유입량은 전국적인 가뭄이 발생한 2001년을 제외하고 평균 114,720천 $m^3$ 을 나타내

60.3%의 유출율을 나타냈다. 상대오차의 경우 일별 평균은 25%, 월별, 년별 평균은 13%, 5%로 각각 나타났고, 결정계수는 1999년을 제외하고 모두 0.8보다 크게 나왔으며, 평균 0.83을 나타냈다. 모형의 효율성(model efficiency)은 평균 0.78을 나타냈다(Table 3). 일별 상대오차가 크게 나타난 이유는 저수위 자료를 사용하므로 방류시점에 따른

유입시기의 차이로 인해 발생한 것으로 판단된다. 상대오차, 결정계수 및 모형의 효율성 결과에 따라 본 프로그램이 성주지역의 유입량 산정에 적용이 가능하다고 판단된다.

다. 일별 물수지 적용

관개저수지에서 일별물수지분석을 거동분석방법으로 실시하였다. 이 방법은 저수량의 실제거동을 보이므로 계산이 간단하고 유출기록으로 분석하기 때문에 어떤 시간에도 적용이 가능하며 급수량의 계절성을 고려할 뿐 아니라, 기후와 저류량에 따라 저수지 이수관리를 실시할 수 있다.<sup>14)</sup>

성주댐에서 5년간의 관측된 저수위로부터 관개용

수공급을 분석하였다. 물수지에 필요한 실측값은 성주댐의 수위 변화 자료를 사용하였고, 유입량과 관개 용수량은 OWMP의 모의값을 사용하고, 생활 용수와 하천유지용수는 성주댐 계획용수량인 8,800 m<sup>3</sup>/d, 0.54 m<sup>3</sup>/s를 각각 사용하였다.

성주댐의 적용 결과는 관개기인 4월 20일부터 9월 30일까지 분석하였고, 성주댐의 저수위 관리 계획에 따라 하계만수위인 184.7 EL.m가 되면 방류하는 것으로 모의하였다. 적용 결과 Fig. 5와 같이 관개기 동안의 저류량 경향은 비슷하게 나타났고, 상대오차의 평균은 다소 큰 9.3%, 결정계수는 평균 0.78, 모형 효율성은 평균 0.73으로 나타났다 (Table 4). 분석 결과 저수위를 하계 만수위에 따

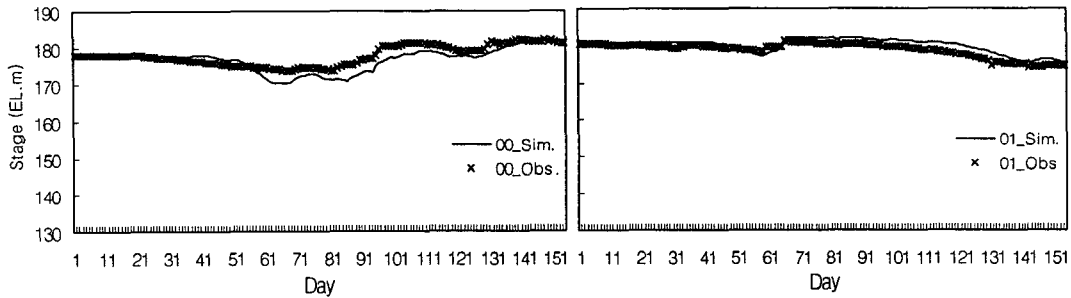


Fig. 5 Comparison of simulated and observed stage of Seongju reservoir (2000, 2001)

Table 4 Comparison of simulated and observed stage of Seongju reservoir

Year		1998	1999	2000	2001	2002
Period		April 20 - Sept. 30				
Ave. storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Obs.	28,612.3	29,609.7	22,670.2	23,909.1	26,465.3
	Sim.	30,933.1	30,063.7	20,865.4	26,465.7	28,767.7
Obs. stage (EL.m)	Max.	184.5	185.4	182.3	181.3	190.2
	Min.	180.1	180.5	173.9	174.5	176.7
	Ave.	181.9	181.5	177.9	178.9	180.2
Sim. stage (EL.m)	Max.	184.7	184.7	182.2	182.2	184.7
	Min.	180.2	179.2	170.4	175.2	176.9
	Ave.	181.2	181.6	176.8	180.1	181.1
Model efficiency		0.69	0.72	0.75	0.80	0.71
R <sup>2</sup>		0.71	0.78	0.84	0.89	0.72
Relative error(%)		9.2	9.1	9.7	9.4	9.3

라 조작하므로 사전에 방류를 실시하게 되고, 따라서 최대 저류량 부분에서 실측값과 차이가 발생하여 오차가 다소 큰 것으로 판단된다. 전년에 대하여 하계만수위를 초과하는 저수량이 많이 발생할수록 오차가 크게 나타났고, 2001년과 같이 저수량이 전반적으로 적을 경우에는 적용 결과가 양호하게 나타났다.

### 3. 저수위와 필요저수량의 분석

성주댐의 관개기 저수지의 일별물수지 분석 결과 2001년 전국적인 가뭄에도 불구하고 물 부족현상은 나타나지 않았고, 강우 경년변화를 분석한 결과 성주댐의 설계 당시와 1998년 이후의 연평균 강우량을 비교할 경우 1119.5 mm와 1381.6 mm로 큰 차이를 보이고 있다. 그리고 최근 2002년 태풍 '루사'나 2003년 태풍 '매미' 등 설계홍수량과 물넘이 설계홍수배제량을 초과하는 강우에 의해 홍수해가 발생하였다. 태풍 '루사'의 경우 강우량이 383 mm로 약 1000년 빈도에 해당하는 강우가 발생하였고, 설계홍수량도 1,399 m<sup>3</sup>/s로 설계당시 200년 빈도의 설계홍수량 981 m<sup>3</sup>/s보다 크게 나타났다.<sup>15)</sup>

관개용 저수지인 점을 감안하여 관개수량의 확보도 중요하나 홍수량 배제를 위한 대책이 필요하다고 생각한다. 설계 당시 200년 빈도 홍수가 발생할 경우의 설계홍수배제량은 800 m<sup>3</sup>/s로 저수율이 85.8%인 여수토 물넘이 높이 182.4 m 이르렀을

경우 가능한 배제량이 된다. 그러므로 2002년 태풍에 의해 1,233 m<sup>3</sup>/s의 홍수배제량이 발생하였을 때 성주댐의 홍수조절이 이루어지지 못하였고, 평야부의 경우 제방에 피해가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 OWMP를 사용하여 성주댐의 효율적인 이·치수관리를 위해 방류량을 모의 발생하여 저수위의 거동 분석을 실시하였다.

성주댐의 홍수조절 수위를 물넘이 표고인 EL. 182.4 m라 가정하고, 2001년 성주 통계연보를 바탕으로 관개면적은 500 ha가 증가된 3,560 ha, 생활용수는 인구가 감소하였음에도 불구하고 설계 당시의 8.8천m<sup>3</sup>/d, 수로손실은 설계당시보다 15% 증가한 20%, 하천유지용수는 0.54 m<sup>3</sup>/s를 적용하였다. 5년 연속 Simulation 결과 최저저수량은 전국적인 가뭄이 발생한 2001년에 7,967.9천m<sup>3</sup>으로 나타났으나 사수량인 3,730천m<sup>3</sup>에 이르는 경우나 용수부족은 발생하지 않았다(Table 5).

저수지 내용적은 일정 규모의 한발기간 동안 자연유하량 이상의 용수 필요량을 충족시킬 수 있는 양으로 정의할 수 있으며, 이를 필요저수량이라고 한다.<sup>16)</sup>

따라서, Table 5와 같은 결과를 바탕으로 성주댐 실측자료를 사용하여 연단위와 관개기간에 대한 필요저수량 빈도분석을 Gumbel-Chow법으로 실시하였다(Fig. 6).

성주댐의 물수지 분석과 필요저수량의 빈도분석 결과에 의하면 계획된 관개용수, 생활용수, 하천유지용수를 확보하기 위해 연평균 유입량의 42.3%의

Table 5 Comparison of observed and simulated reservoir storage by simulated release

Year		1998	1999	2000	2001	2002
Simulated storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Max.	33,343.4	27,838.4	27,838.4	25,867.1	32,001.3
	Min.	20,940.3	18,211.6	13,668.8	7,967.9	16,463.4
	Ave.	25,778.9	24,324.1	21,141.5	20,343.2	22,418.4
Observed storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Max.	35,069.1	37,868.9	32,565.8	30,887.3	43,136.7
	Min.	25,280.2	25,280.2	14,724.8	16,688.6	19,940.2
	Ave.	30,124.7	29,776.7	24,085.8	23,650.9	26,241.3



수자원이 필요하며, 10년 빈도 가뭄에 대한 필요저수량은 17,137.9 천 $m^3$ 으로 연 평균유입량의 약 15%에 해당하는 수량이다(Table. 6). 빈도 분석이

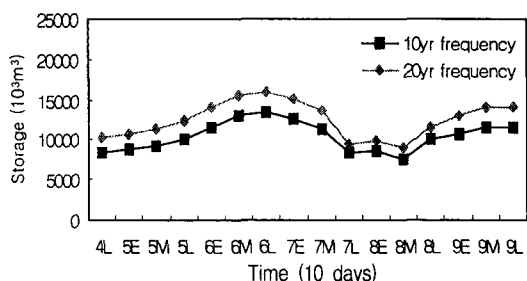


Fig. 6 Frequency analysis of reservoir storage requirement in irrigation period

Table 6 Frequency analysis of reservoir storage requirement

Period (1998-2002)	Year round	Irrigation period		
	1/1-12/31	4/20-9/30		
requirement Storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Max.	Max.	Min.	Ave.
10 yr frequency	17,137.9	13,449.3	7,636.6	10,456.9
20 yr frequency	19,570.3	16,025.7	8,962.9	12,515.9

한정된 실측 자료를 사용하였으므로 비교적 적게 나온 경향이 있으나 최근 홍수 피해를 고려한다면 저수지 조작에 있어 이상의 결과에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

성주댐의 물수지 분석 결과 성주댐은 유입량에 비해 용수 이용량이 50% 이하로 저수위를 낮추기 위한 무효 방류량이 많이 발생하고, 평소 저류량이 많아 홍수피해의 위험이 있다고 판단된다.

성주댐은 취수탑을 통해 발전용수로 활용된 후 각각의 용수로 사용되고 있다. 이에 홍수피해의 경감과 발전용수의 확보를 위해 관개기간에 대해 하계만수위인 184.7 EL.m를 기준으로 저수지 모의 조작을 실시하였다. 방류량은 성주댐 조작일지(1998-2002)의 일평균 취수량인 250천 $m^3$ /day부터 양을 증가하며 저수위의 거동을 분석하였다(Table 7).

10년 빈도 가뭄의 필요저수량을 기준으로 할 경우 400천 $m^3$ /d의 방류까지 평균저수위는 2000년에만 필요저수량 이하로 나타났고, 사수위를 기준으로 할 경우에는 400천 $m^3$ /d의 방류까지 사수위 이하가 발생하지 않았다. 2000년의 경우 초기 저수

Table 7 Reservoir storage analysis by simulated release

Storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )		1998	1999	2000	2001	2002	
Initial storage		31,627.8	29,974.1	21,906.9	27,144.1	29,612.6	
Intake water (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)	250	Min.	30,124.6	28,518.1	12,327.6	18,969.6	26,990.3
		Ave.	31,603.8	31,041.5	19,736.8	27,818.8	30,148.8
	270	Min.	29,026.5	27,777.6	11,007.6	17,829.6	25,537.4
		Ave.	31,319.8	30,658.9	18,349.5	27,204.8	29,399.2
	300	Min.	27,106.5	26,097.6	9,027.6	16,119.6	23,297.7
		Ave.	30,734.6	29,484.8	16,238.3	24,909.8	28,234.9
	350	Min.	23,906.5	23,092.2	5,367.6	13,269.6	17,977.7
		Ave.	28,952.8	26,416.5	12,586.5	21,084.8	26,271.1
	400	Min.	20,706.5	16,992.2	1,117.6	9,852.3	12,627.7
		Ave.	26,667.7	22,620.3	8,761.5	17,259.8	24,262.7
	Dead storage		3,730				
	10 yr frequency requirement storage		13,449.3				

량이 비교적 적은 관계로 필요저수량보다 부족한 경우가 발생하였으나, 그 밖의 해에 대해서는 400천m<sup>3</sup>/d의 방류까지 용수 부족은 없는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

관개용 저수지의 운영 목적에 따라 관개기 이수 관리와 홍수기 치수관리의 효율성을 높이기 위해 개방형 물관리 프로그램(Open Water Management Program ; OWMP)를 개발하여, 적용성을 검증하였고 성주유역을 대상으로 효율적인 용수 관리를 위한 저수지 거동분석을 실시하였다.

OWMP의 적용성 검증을 위해 필요수량 산정은 경기진흥원의 시험포장 자료를 사용하였고, 적용 결과 소비수량은 886.3 mm, 강수량 840.1 mm에 대한 유효수량은 566.0 mm, 관개수량은 313.7 mm로 실측치와 비교하여 모두 5%미만의 상대오차가 나타났다. 유입량 산정 모형은 4개의 IHP유역 실측자료를 사용하여 검증하였고, 적용 결과 도척 유역을 제외한 나머지 유역에서 모두 5% 이내의 상대오차를 나타내는 양호한 결과 값을 얻었다.

성주댐의 유입량 산정 적용 결과 전국적인 가뭄이 발생한 2001년을 제외하고 평균 114,720천m<sup>3</sup>으로 60.3%의 유출율을 나타냈으며, 상대오차는 일별 평균 25%, 월별, 년별 평균은 13%, 5%로 각각 나타났다. 결정계수는 평균 0.83, 모형의 효율성(model efficiency)은 평균 0.78을 나타내 성주지역의 유입량 산정에 적용이 가능하다고 판단된다.

성주댐의 일별 물수지 적용 결과 저수위를 하계 만수위인 184.7 EL.m에 따라 조작하므로 사전에 방류를 실시하게 되고, 따라서 최대 저류량 부분에서 실측값과 다소 오차가 발생하였으나, 상대오차 평균은 9.3%가 나타났고, 결정계수는 0.78, 모형 효율성은 0.73으로 적용성 가능하다고 판단된다.

성주댐의 물수지 분석과 필요저수량의 빈도분석

결과 계획된 관개용수, 생활용수, 하천유지용수를 확보하기 위해 연평균 유입량의 42.3%의 수자원이 필요하며, 10년 빈도의 가뭄시 필요저수량은 17,137.9천m<sup>3</sup>으로 연 평균 유입량의 약 15%에 해당하는 수량으로 무효방류량이 많은 상황이다. 따라서 홍수피해의 경감과 발전용수의 확보를 위해 관개기간에 대해 하계만수위인 184.7 EL.m를 기준으로 일 평균 취수량인 250천m<sup>3</sup>/d부터 증가하며 저수위 거동 분석을 실시한 결과 2000년의 경우 초기 저수량이 비교적 적은 관계로 10년 빈도 가뭄에 대한 필요저수량보다 부족한 경우가 발생하였으나, 나머지 적용 년에 대해서는 400천m<sup>3</sup>/d의 방류까지 필요저수량 보다 적은 경우는 나타나지 않았다. 그러므로 현재보다 많은 양의 소수력 발전을 통해 경제적 이익과 홍수피해의 최소화를 위한 저수위 관리가 필요하다고 판단된다.

OWMP는 실시간 자료를 취득 분석하므로 관개용 저수지 관리를 효율적으로 운영하는데 목적이 있다. 그러나 현장에서의 실시간 자료 취득에 아직 미비한 점이 존재하지만 이상의 적용 결과를 분석할 경우 관개용 저수지의 최적관리를 위한 지원이 가능하다고 판단된다.

#### References

1. Kim, S. J., and P. S. Kim, 2001, Water Management Program for Water Management Automation System with Open Architecture, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.43(5): pp.83-92. (in Korean)
2. Lee, K. Y., 2000, Development of Estimation System for Agricultural Water Demand, Ph.D. Korea : Konkuk University.
3. FAO, 1998, Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
4. Sugawara, M., Watanabe, I., Ozaki, E., and Katsuyama, Y., 1984, Tank Model with Snow Component, National Research Center for

- Disaster Prevention, Tchuchuba.
5. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 1996, Seongju Basin TM/TC Work Plan Report.
  6. Ko, G. D., and W. S. Yo, 1999, A New Direction in the Advance of TM/TC System, *Proc. Annual Conference The Korean Society of Agricultural Engineers* pp. 99~104
  7. Kuester, J. L. and J. H. Mize, 1973, Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill, New York.
  8. Park, S. W., 1993, A Tank Model Shell Program for Simulating Daily Streamflow from Small Watersheds, *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol.26(3) : pp.47-61. (in Korean)
  9. Kim, H. Y. and S. W. Park., 1988, Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs (I), *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.30(1) : pp.50-62. (in Korean)
  10. Kim, H. Y. and S. W. Park., 1988, Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs (II), *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.30(2) : pp.95-104. (in Korean)
  11. Kim, S. W. and C. K. Kim., 1984, Agricultural Irrigation and Drainage, Hyangmun Co.
  12. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 1997, A Study on the Water Requirement Variation with the Farming Conditions in the Paddy Field
  13. Shim, M. P. and O. I. Kwon., 1995, Reservoir Operation by Variable Restricted Water Level during Flood Period, *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol 28(6) : pp.217-228. (in Korean)
  14. Kim, T. C. and J. P. Moon., 1998, Optimal Flood Control Volume in the Irrigation Reservoir, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.40(2) : pp. 81-91. (in Korean)
  15. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 2002, Development of Flood Runoff Model and Long Term Hydrologic Model in Seongju Dam
  16. Huh, Y. M. and S. W. Park., 1993, A Streamflow Network Model for Daily Water Supply and Demands on Small Watershed (III), *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.35(3) : pp.23-35. (in Korean)