

# 수문학적 가뭄지수와 기상가뭄훈련에 의한 저수지의 최적 물 공급 방안 연구

## A Study on the Optimal Water Supply using Virtual Drought Exercise with Hydrological Drought Index

서형덕\* / 정상만\*\* / 김성준\*\*\* / 이주현\*\*\*\*

Seo, Hyeong Deok / Jeong, Sang Man / Kim, Seong Joon / Lee, Joo Heon

### Abstract

Drought is a natural phenomena caused by long time lack of precipitation causing varying damages in several regions which increases yearly. Specifically, in 1994~1995 and 2001 severe drought occurred in almost every region of Korea. Small and medium sized water supply reservoirs exposed their bottoms and also raised considerable economic losses. In spite of this fact, damages and impacts from the drought can still be minimized by well defined drought management plans with optimal management of water supply facilities. Throughout this research, integrated drought information system is proposed to used in monitoring the drought of Korea in real time. And the expert system for the management of water supply facilities has developed using Shared Vision Model (SVM) to enable the Virtual Drought Exercise (VDE). To find a better way to manage water during drought and to develop the enhanced abilities to respond to drought, virtual drought exercise is the most effective approach and process. The proposed process of virtual drought exercise using integrated drought information system can be used as an effective tool to prepare the optimal water supply plans during the drought.

**keywords** : MSWSI, Optimal water supply management, Drought severity, Virtual drought exercise

### 요 지

가뭄은 장시간동안 강수의 부족으로 발생하는 자연현상이며, 지역에 따라 해마다 여러 가지 피해를 발생시키고 있

\* 국립공주대학교 건설환경공학과 석사과정  
Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Budae-dong, Cheonan-si, Chungnam-do, 330-717, Korea  
(e-mail: hdseo@kongju.ac.kr)

\*\* 국립공주대학교 건설환경공학부 교수  
Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Budae-dong, Cheonan-si, Chungnam-do, 330-717, Korea  
(e-mail: smjeong@kongju.ac.kr)

\*\*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 부교수  
Associate Professor, Department of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea  
(e-mail: kimsj@konkuk.ac.kr)

\*\*\*\* 교신저자, 중부대학교 토목공학과 부교수  
Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Chubu-myeon, Kumsan-si, Chungnam-do, 312-702, Korea  
(e-mail: leejh@joongbu.ac.kr)

다. 특히 1994~1995년과 2001년에 발생한 가뭄은 피해가 매우 심각하였으며 중·소규모의 저수지가 바닥을 드러냈을 뿐 아니라 상당한 경제적인 손실도 발생하였다. 하지만 가뭄관리계획에 의해 저수지를 통한 최적의 물 공급방안을 제시함으로써 이러한 피해들을 최소화 시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서는 최적의 저수지 운영을 위한 전문가시스템을 개발하여 수문학적 가뭄지수인(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI) 값과 저수지 유입량과의 연계를 통한 가상가뭄모의운영(Virtual Drought Exercise, VDE)을 실시한 후 도출된 결과를 바탕으로 가뭄단계에 따른 댐 운영대안을 제시하였다. 가상가뭄모의운영으로 여러 가지 가뭄사상에 대한 효과적인 장·단기 대안을 도출할 수 있었으며 가뭄기간동안 최적의 물 공급방안을 준비하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것이라고 판단된다.

**핵심용어** : 수문학적 가뭄지수, 가상가뭄모의운영, 가뭄단계, 최적의 물 공급 방안

## 1. 서 론

우리나라는 가뭄으로 인한 심각한 물 부족을 자주 경험하고 있다. 특히 1994~1995년과 2001년에 발생한 가뭄으로 대부분의 중·소규모 저수지가 바닥을 드러냈을 뿐 아니라 다목적댐의 저수지도 최악의 저수율을 기록함으로써 국가전역에 걸쳐서 원활한 물 공급이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 따라서 가뭄발생시 저수지운영 전문가시스템에 의한 가뭄단계별 효과적인 저수지 운영의 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다.

효율적인 용수공급을 위한 저수지운영 전문가시스템으로는 미육군 공병단(U.S. Army Corp of Engineers)에서 개발된 HEC-3 및 HEC-5 등의 모형을 비롯하여 저수지 운영을 위한 최적화 모형이 주로 사용되어 왔다. 이와 관련된 연구로써 신용노 등(2000)은 예측 강우량에 의한 저수지의 유출상황을 고려하여 홍수기 저수지를 운영 할 수 있는 모의기법에 의한 모형을 개발하여 제시하였다. 박명기 등(2001)은 금강수계 대형 다목적댐에 대한 물 공급의 부족심도(Vulnerability)를 줄여줄 수 있는 헤징(Hedging) 효과를 고려한 운영을 개발하고 이를 이용 갈수대용 저수지 상황을 판단할 수 있는 트리거 용량(Trigger Volume)을 산정하였다. 또한 이용대 등(2002)이 UML(Unified Modeling Language)을 이용한 객체지향기법을 이용하여 수자원 시스템을 분석하고, 이를 바탕으로 여러 수자원 시스템 분석 모형과 통합을 통해 종합 의사결정 지원시스템으로 확장 가능한 댐 군(群) 최적 연계운영 모형의 설계 및 개발 방법론을 제시하였다.

수자원 시스템 해석 및 물관리를 위한 최적화 모형의 사용과 더불어 최근 공영시각모형(Shared Vision Model, SVM)이 소개되면서 많은 수자원관리 분야와 수질 분야에 활용되고 있으며 이에 따른 최근의 연구동향을 분석하여 보면 Palmer *et al.*(2001)은 미국 워싱턴(Washington)주 타코마(Tacoma)지역의 가뭄관리 계획

의 수립을 위해서 공영시각모형 중 하나인 STELLA (System Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation, High Performance Systems)를 활용하여 가뭄관리 시스템을 구축하였다. Kim *et al.*(2002)은 표본 추계학적 동적계획법(SSDP, Sampling Stochastic Dynamic Programming) 모형을 낙동강수계 댐군의 최적 방류량 결정에 적용하고 과거 유입량 자료를 이용하여 SSDP/ESP(Ensemble Streamflow Prediction)등 두가지 모형을 구축한 후, 최적 연계운영 시스템의 모의운영은 실무자가 실제로 댐 군(群)을 운영하기 위해 STELLA를 적용하였다. 정상만 등(2003, 2004)은 용담댐과 대청댐의 연계운영에 있어서 금강수계의 수자원 장기계획과 관련한 전주지역의 장래인구추정과, 대전과 전주지역간의 물 분쟁을 해결하기 위하여 용담댐과 대청댐 사이의 하천유지유량 및 대청댐 하류의 생태계를 고려한 적정유량 산정에 대해 STELLA를 이용하여 전문가 시스템을 개발한 바 있으며 이를 통한 용수수급의 안정성을 분석하였다.

STELLA모형은 이미 미국 및 선진국에서 다양하게 이용되고 있는 모형으로 수자원 시스템공학 분야, 최적화기법 분야, 저수지 운영 분야 등에 널리 활용되고 있으며, 본 연구에서는 금강유역에 위치한 두 개의 댐을 이용하여 가뭄발생시 가뭄지수를 활용한 효과적인 댐 운영을 통하여 피해를 최소화시킬 수 있도록 최적의 물 공급방안을 제시하기 위해 STELLA를 이용하여 개발한 저수지운영 전문가시스템인 물 공급 모형과 수문학적 가뭄지수와 연계운영이 가능하도록 하였다. 또한 수문학적 가뭄지수의 모니터링 결과를 바탕으로 공영시각모형에 의한 가상가뭄모의운영을 통하여 가뭄강도에 따른 향후 저수지 운영방안을 제시하였다.

## 2. 연구대상유역

본 연구의 대상유역은 금강유역으로 금강은 유역면적 9,810.4km<sup>2</sup>이고 유로연장은 399.79km로써 우리나라

를 대표하는 5대강 중의 하나이다. 금강유역의 주요 시설물로는 상류부터 용담댐, 대청댐, 조정지댐, 금강하구둑이 위치하고 있다. 금강 하구로부터 150km에 높이 72m, 길이 495m, 체적 123만 4,000m<sup>3</sup>의 콘크리트 중력식댐과 석괴식댐으로 구성된 복합형 댐인 대청다목적댐이 위치하고 있다. 대청댐의 주요시설로는 저수용량 14억 9,000만m<sup>3</sup>의 본댐과 조정지댐이 있으며, 본댐 주변에는 저수지의 물이 다른지역으로 넘치지 않게 해주는 3개의 보조댐이 있다. 대청다목적은 홍수기의 홍수 조절과 함께 대전과 충남·북 지역에 중요한 용수공급을 담당하고 있다.

금강의 상류의 전라북도 진안군 용담면 월계리에는 댐 높이 70m, 길이 498m의 용담댐이 위치하고 있으며 저수량으로 볼 때 소양강댐, 충주댐, 대청댐, 안동댐에 이어 국내 5번째 규모이다. 특히 용담댐은 2001년 전주 시 지역을 중심으로 전북지역의 물 부족을 해결하기 위하여 건설되었다. 금강하류에는 금강하구둑이 위치하고 있어 바닷물의 역류를 막아 농경지의 염해 피해를 막을 수 있게 되어 있다.

본 연구의 대상유역에 위치한 용담댐과 대청댐은 가뭄 및 홍수조절, 발전용수, 그리고 생·공·농업용수를 공급하는 기능을 담당하는 다목적댐이다. Fig. 1은 본 연구의 대상유역을 나타내고 있다.

### 3. 수문학적 가뭄지수(MSWSI)

가뭄의 심도를 결정하는 인자로써는 우리나라의 경우 적설이나 용설량의 모니터링 시스템이 없는 관계로 용설인자의 사용이 불가능하며 산지유역이나 해안에 인접한 유역의 경우 SWSI의 입력인자인 강수, 용설, 하천유출, 저수율 인자 중 대부분의 유역에서 강수인자를 제외하고 관측되는 수문인자가 없는 실정이므로 국내실

정에 맞게 수정되어 개발된 지표 및 지표하 수문특성을 반영할 수 있으며 저수지의 유입량 자료를 사용하는 권형중 등(2006)이 기 개발한 수문학적 가뭄지수인 MSWSI를 사용하여 물 공급모형을 연계시키는데 사용하였다.

### 3.1 가뭄지수의 산정

본 연구에서 사용된 수문학적 가뭄지수를 산정하는데 사용되는 수위, 댐 유입량, 지하수 자료는 한국수자원공사에서 관리·운영하고 있는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS), 국가지하수정보센터(GIMS)의 데이터베이스와 연계하여 취득 체계를 구축하였으며, 기상 자료의 경우 기상청에서 제공되는 자료를 다운받아 데이터베이스에 저장될 수 있도록 구축되었다. Fig. 2는 MSWSI의 산정과정(이주현 등, 2006a; 이주현 등, 2006c)을 나타낸다.

Eq. (1)은 MSWSI의 산정을 위해 적용된 식이며 수문학적인 가뭄지수의 산정을 위하여 강수, 하천유출량, 댐 유입량 및 지하수위 등을 이용하였다(권형중 등, 2006).

$$MSWSI = \frac{a \times PN_{pcp} + b \times PN_{sf} + c \times PN_{rs} + d \times PN_{gw} - 50}{12} \quad (1)$$

여기서,

- $PN$  : 비초과확률(probability of non-exceedance)
- $a, b, c, d$  : 각 수문인자의 가중계수( $a+b+c+d=1$ )
- $pcp$  : 강수인자(precipitation component)
- $sf$  : 하천유출인자(streamflow component)
- $rs$  : 댐유입량인자(dam inflow component)
- $gw$  : 지하수위인자(groundwater component)

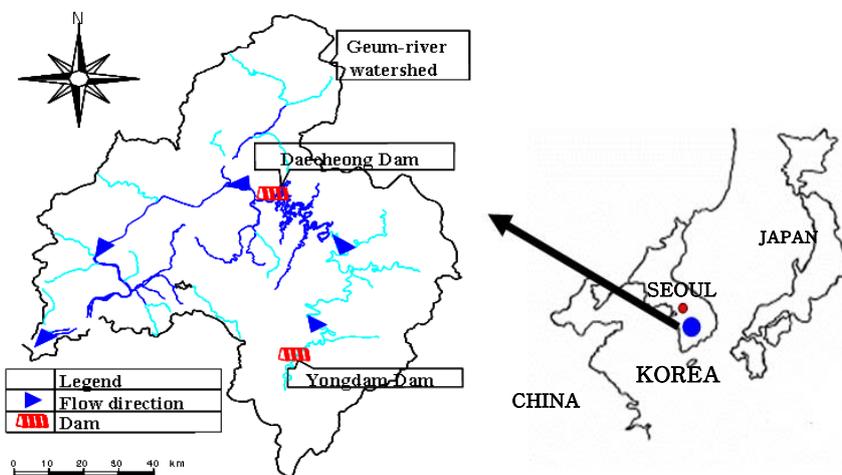


Fig. 1. Geum-river Watershed in Korea

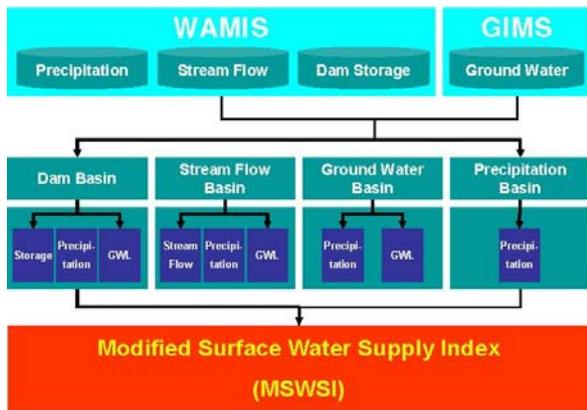


Fig. 2. Concepts of MSWSI Calculation

### 3.2 가뭄지수의 평가

본 연구에 MSWSI를 적용하기 위해서는 해당 유역에서의 모든 수문인자를 고려하고 가뭄기록을 통하여 비교·검증과정을 거쳐 평가하여야 한다. 그러나 관측되는 수문인자의 양·질적인 문제와 하나의 가뭄지수로 대변하기 어려운 다양한 가뭄발생특성 등의 문제로 인하여 한가지의 가뭄지수로 가뭄특성을 정확하게 규명하고 평가하는 것은 현실적으로 불가능한 것으로 판단된다. 따라서 MSWSI 산정에 사용된 수문학적 가뭄평가에 사용되는 수문인자가 유역의 가뭄평가에 미치는 영향을 분석하여 금강유역의 가뭄특성을 제시하였다.

MSWSI를 평가하기 위하여 금강권역을 댐 유역, 하천유역, 지하수유역 그리고 강수유역으로 분류하였으며 댐 유역은 댐 유입량 인자를 포함하여 가뭄을 평가하는 유역이고 하천유역은 댐 유입량인자 없이 하천유량인자가 포함된 유역이고 지하수유역은 댐 유입량, 하천유량인자 없이 강수인자와 지하수위인자를 사용하는 유역이고 마지막으로 강수유역은 강수인자만을 사용하여 가뭄을 평가하는 유역이다.

사용되는 수문인자의 종류와 개수가 많을수록 가뭄특성을 규명하는데 유리하지만 앞서 언급하였듯이 사용 가능한 수문인자의 종류와 개수에는 한계가 있으므로 본 연구에서 가뭄을 평가하기 위하여 금강권역을 위 4가지 유역으로 구분하였으며 대상유역은 댐 유역에 해당한다. Fig. 3은 가뭄평가를 위한 금강권역의 유역구분을 나타낸다.

금강권역은 대청댐 상류지역으로 위치한 8개의 댐 유역과 3개의 하천유역, 1개의 지하수유역, 9개의 강수 유역으로 구성되어 있다. 대상유역인 댐 유역은 대청댐 유입량 자료와 금산 기상관측소의 강수량 자료, 양강교 하천수위관측소의 하천유량 자료를 사용하여 가뭄을 평가하는 유역으로써 각 수문인자가 가뭄평가에 미치는 영향을 분석하였다.

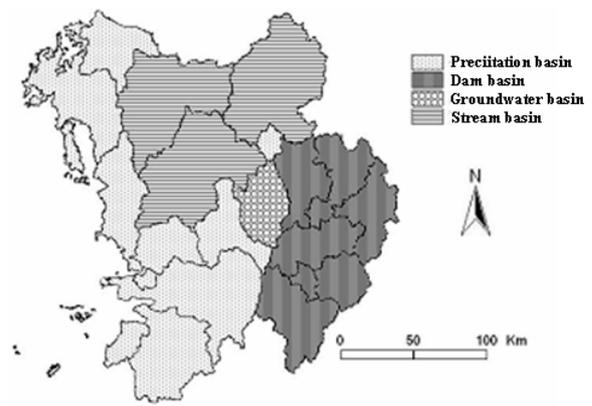


Fig. 3. Geum-river Basin Division for the Drought Evaluation

수문인자별 가뭄에 미치는 영향을 분석하여 각각의 수문인자들의 유역의 특성에 미치는 기여도를 알아보고자 최근 2001년 가뭄과 비교·분석하였다. 2001년 가뭄의 경우 중부지방을 중심으로 가뭄이 발생하였으며 다목적 댐의 수혜를 받는 지역과 그렇지 않은 지역의 가뭄편차가 매우 크게 나타나 2001년의 가뭄을 선정하였다. Fig. 4는 댐 유역의 위치와 수문인자 관측소의 현황을 나타내고 있으며 Fig. 5는 댐 유역의 MSWSI 산정결과와 각 수문인자와의 거동경향을 나타내고 있다.

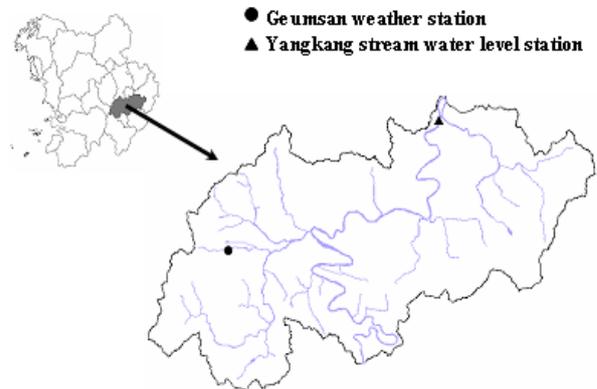
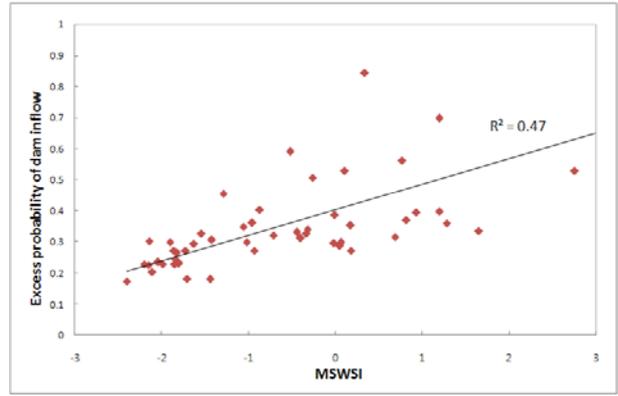
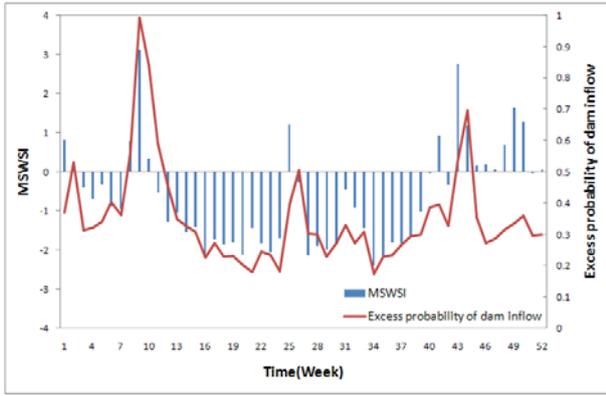


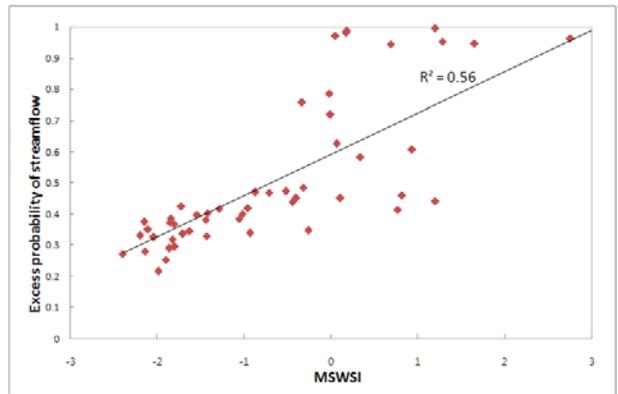
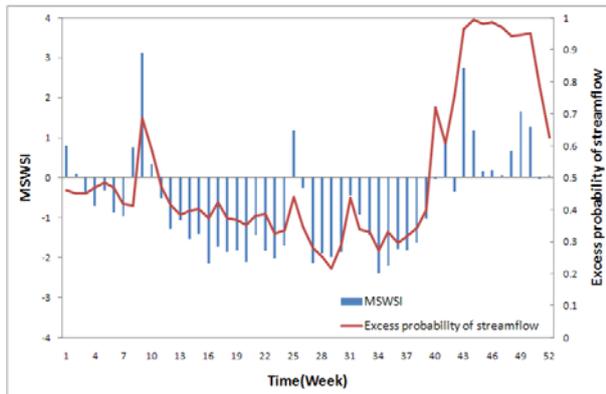
Fig. 4. Present Condition of the Dam Basin

댐 유역의 MSWSI와 댐 유입량 인자와의  $R^2$ 는 0.47, 하천유량 인자와는 0.56, 강수량 인자와는 0.50을 나타내어 가뭄은 하천유량인자와 가장 밀접하게 반응하는 것으로 나타났다. 이는 하천유량이 적어지면 그에 따라 가뭄이 발생하며 반대로 하천유량이 많아지면 가뭄이 해결되는 것을 의미한다. 댐 유역은 대청댐 상류에 금강분류가 흐르며 용담댐과 대청댐 사이에 위치한 유역이다.

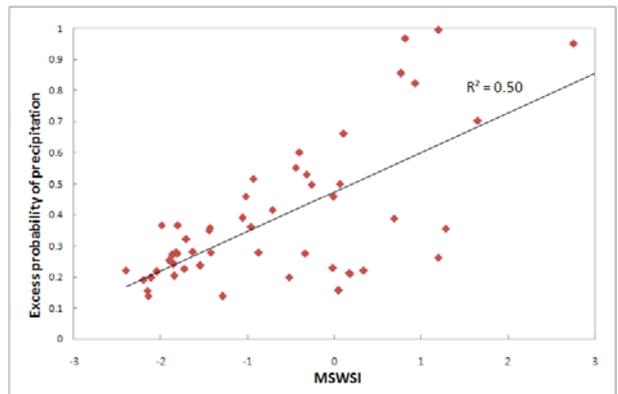
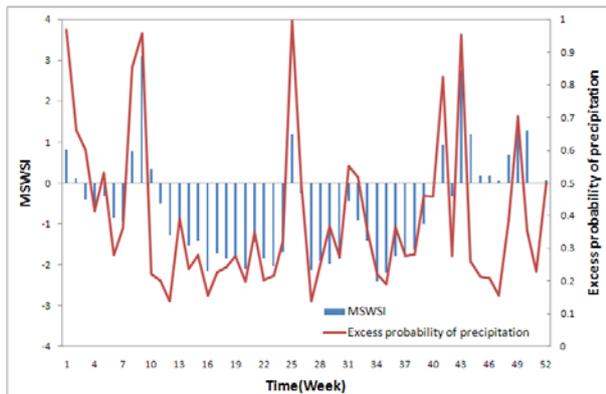
1월부터 9월까지의 댐 유입량, 하천유량, 강수량과 가뭄상황의 거동경향은 매우 비슷하나 44번째 주부터



< Inflow of Daecheong Dam >



< Streamflow of the dam basin >



< Precipitation of the dam basin >

Fig. 5. Relation Analysis of the Dam Basin MSWSI and Hydrological Factor(2001)

강수량과 댐 유입량이 급격하게 저하하는데 반하여 하천유량은 지속적으로 평년값 이상을 유지하고 있다. 이는 상류의 용담댐에서의 방류나 기타 하천으로 유입되는 양에 의한 것으로 판단되며 댐 유입량과 강수량이 저하되더라도 불구하고 하천유량에 의하여 가뭄이 정상상태로 표현되는 것으로 나타났다.

MSWSI를 산정함에 있어 가중계수를 결정하게 되는데 이는 유역의 특성에 따라 용수공급 수문인자가 달라지므로 가뭄을 평가할 때 고려되어야 하는 수문인자가 유역에 따라 달라지기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 각 수문인자들을 유역에 대한 기여도에 따라 달리 산정

하여 적용하였다.

## 4. 물 공급 모형

### 4.1 공영시각모형(Shared Vision Model, SVM)

수자원 관리를 위한 모의(Simulation)운영 기법은 복잡한 수자원 시스템을 표현하고 분석하기 위해 오랜기간 동안 널리 활용되어 왔다. 수자원 모의모형은 시스템의 물순환과 수자원시스템의 운영방식 등을 수학적으로 나타낸 후 자료를 입력하여 보여지는 시스템 상에서의 결과를 가지고 물관련 당사자들이 모여 운영에 관한

가능한 많은 대안에 대한 결과를 고려함으로써 최선의 대안을 채택하는 기법이다.

이러한 수자원 모의운영 모형은 일반적으로 고급 프로그래밍 언어인 포트란(Fortran)을 통하여 1950년대 이후 개발되어 왔으며, 수자원 분야에 개발되어 널리 알려진 모형으로는 HEC-3, HEC-5 그리고 SIMLYD-II 등이 있다.

포트란 언어로 구성된 모형은 복잡하고 방대한 계산을 효과적으로 처리할 수 있는 장점이 있으나 모형을 개발하는데 많은 노력과 시간이 필요하고, 개발자 이외의 사람이 모형을 사용하고자 하는 경우 프로그램의 수정 또는 보완이 용이하지 않으며, 모형의 수행결과를 일반인에게 효과적으로 전달하기 어려운 단점이 있다. 그러므로, 지금까지 개발된 수자원 모의모형들은 실용화되지 못하고 대부분이 연계개발에만 그치게 되었다 (Palmer *et al.*, 1993).

이러한 단점들을 보완하기 위하여 최근에는 객체지향시뮬레이션(Object Oriented Simulation, OOS) 소프트웨어의 사용이 증가하고 있는데, 이 모형은 기본 객체들을 컴퓨터 화면상에서 선택하고 연결하여 만들어지기 때문에 모형을 개발하는데 필요한 시간을 현저히 줄일 수 있고, 프로그램에 대한 전문지식 없이도 원하는 대로 적절히 모형을 사용하고 수정·보완이 가능하며, 시스템의 구성과 모형의 수행결과 등을 쉽게 표현할 수 있다(김영오, 1998).

특히, 수자원 관리와 같이 한정된 자원의 효율적 이용에 대한 집단의 이해관계가 얽혀있는 경우 객체지향시뮬레이션 모형을 이용하면 물관련 당사자들이 초기단계에서부터 그들의 폭 넓은 의견을 모형에 반영함으로써 보다 현실성 있고 많은 대상에게 신뢰를 줄 수 있는 모형을 만들 수 있는 장점이 있다. 이러한 공영시각모형은 개발자와 사용자가 비주얼(Visual)적인 사용자 인터페이스(User Interface)의 활용으로 다양한 이익단체들의 참여를 도모할 뿐 아니라 여러 가지 선택적 대안을 직접 보여줌으로써 관련 당사자들의 불이익을 최소화하는 의사결정지원 시스템이다(정상만, 2004).

저수지운영 전문가시스템구축을 위한 컴퓨터 환경의 공영시각모형에는 STELLA를 비롯한 익스텐드심(ExtendSim, Imagine That 1992), 파워심(PowerSim, MicroWorlds 1995), 시뮬랩(SIMULAB, The Math Works 1991) 그리고 디에스랩프로(DS LabPro, DS Group 1993) 등이 있다. 특히 STELLA모형은 미국을 비롯한 선진국에서 다양하게 이용되고 있는 모형으로써, 많은 사람들이 의견을 교환하고 대책을 수립할 수 있는 동적상호의견교환(Interactive Communication)이

가능하고 정책적인 대안까지 제시할 수 있는 장점이 있다. 가뭄관리를 위한 물 공급 모형에 사용되는 STELLA 모형은 직접 실행데이터와 동적인 링크로 연결이 가능해서 마이크로소프트의 엑셀이나 기타 윈도우 프로그램의 스프레드 시트(spread sheet)에 있는 자료를 그대로 이용하여 사용자와 개발자가 자유롭게 자료의 수정 및 갱신할 수 있도록 허용한다. 또한 STELLA는 자료처리속도가 빠르며 모형자체의 속도가 어렵지 않아 누구나 쉽게 모형을 운용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 STELLA 모형을 이용하여 금강유역 가뭄의 향후 진행 상황에 따른 최적의 물 공급 방안(water supply management)을 수립할 수 있도록 가뭄관리를 위한 물 공급 모형을 구축하였다. 물 공급 모형은 여러 가지의 가뭄시나리오를 가상으로 설정하여 모의운영을 함으로써 상황에 따른 대안의 도출이 가능하고 궁극적으로 가뭄발생시에 미리 설정된 대안을 활용하여 상황별 가뭄대책수립이 가능하다는 장점이 있다. 또한 수문학적 가뭄지수인 MSWSI값의 주요인자로 사용되는 저수지유입량과 MSWSI의 가뭄심도와와의 관계를 이용하여 물 공급 모형과 연계가 가능하도록 구축하였다.

## 4.2 모형입력자료

### 4.2.1 댐 유입량

모형에 사용된 댐 유입량 자료는 1981년부터 2005년까지 25년간의 용담댐 유역의 자연하천유량과 대청댐의 유입량 자료를 사용하였다. 가뭄으로 인한 댐의 반응을 분석하기 위해서 시스템의 시간 프레임을 2년으로 설정하였으며 유입량 자료는 25년간의 과거 실측 유입량을 주별로 평균하여 사용하였다. 또한 실제 가뭄기간이었던 1994~1995년의 주별 실측 유입량을 모형에 별도로 입력하여 물 공급 모형 시스템을 검증하는데 사용하였다.

### 4.2.2 유역내 용수수요

유역의 용수수요는 용담댐과 대청댐의 용수공급 계획량 및 기득수리권 현황(한국수자원공사, 2005b)을 조사하여 사용하였는데 용담댐에서는 365,805m<sup>3</sup>/day의 용수공급이 계획되어있고 대청댐에서는 1,150,685 m<sup>3</sup>/day의 용수공급이 계획되어있는 것으로 나타났다. 이와 같은 용수공급 계획량을 주당 용수공급량으로 환산하여 용담댐에서는 2,560,635 m<sup>3</sup>/week, 대청댐에서는 8,054,809 m<sup>3</sup>/week를 입력하였다.

### 4.2.3 댐 운영곡선 및 발전방류곡선

댐 운영곡선(Dam rule curve)은 하류 하천유지유량,

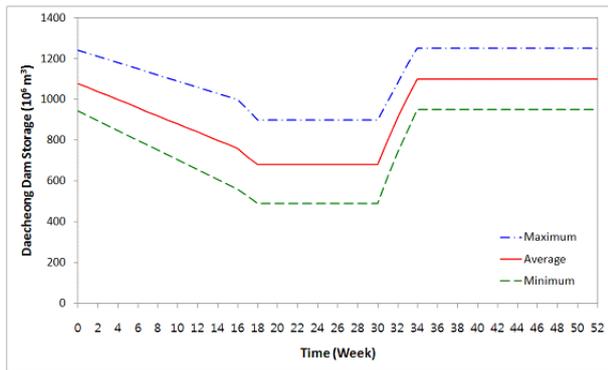


Fig. 6. Rule-curve of the Daecheong Dam

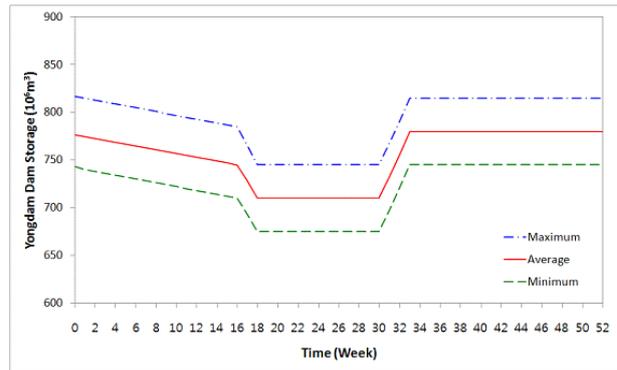


Fig. 7. Rule-curve of the Yongdam Dam

발전방류량을 비롯한 농업용수를 포함한 가뭄 및 홍수 조절기능을 하는 댐의 역할을 고려하여 계절적 인자, 즉 장마철을 대비한 댐의 여유량 확보와 가뭄을 대비한 저수지의 수량 확보를 기반으로 하여 작성하였다.

Fig. 6은 2001~2005년의 주별 대청댐 운영을 바탕으로 한 운영곡선이며 Fig. 7은 용담댐 운영곡선을 나타내는데 용담댐의 경우는 건설이후 최초운영기록 자료의 부족으로 실제 댐 운영을 바탕으로 운영곡선을 설정하는 것이 불가능하였으므로 대청댐의 연계운영을 바탕으로 홍수기의 홍수조절과 유효저수량을 바탕으로 최대값, 중간값, 그리고 최소값을 설정하였다.

발전방류곡선(Hydropower generation curve)은 댐 운영곡선과 비슷한 개념으로 정의될 수 있으나 농업용수나 하천유지유량과는 상관없이 순수 발전방류량을 결정짓는 곡선으로서 댐 운영곡선과 같이 매년 일정한 경향을 나타내지는 않는다(정상만 등, 2003). 물 공급 모형에 입력된 대청댐의 발전 방류곡선은 댐 운영곡선과 마찬가지로 최대값, 중간값 그리고 최소값을 선택적으로 이용할 수 있도록 구축하였다. 한편 용담댐의 경우에는 2001년에 완공되어 저수지 운영실적이 없으므로 댐 운영지침 및 저수지의 크기와 계획 발전방류량을 바탕으로 본 연구에서 개발된 평균값을 적용하였다.

### 4.3 물 공급모형의 구축

본 연구에서 개발한 물 공급 모형은 금강유역의 향후 가뭄의 진행상황에 따른 물 공급 대책을 수립할 수 있는 물 관리 모형개발에 초점을 맞춰 수행하였다. 또한 저수지의 유입량, 하천유지유량, 발전방류량, 용수공급량 등에 따른 저수지의 반응을 살펴볼 수 있도록 다양한 목적함수의 계산이 이루어졌다.

금강유역 물 공급 모형에 이용되는 STELLA모형은 3가지의 레벨(Level)로 구성되어 있다. 첫 번째는 모형 개발자가 직접 모형을 이해하고 개발하는 개발자

(Map/Model) 레벨이 있으며 다음으로 컴퓨터가 스스로 모형을 해석하여 개발자의 요구에 맞는 연산을 수행하는 방정식(Equation)레벨, 마지막으로 모형개발자와 사용자가 직접 상호의견교환이 가능할 수 있고 사용자의 요구와 필요에 따라 언제든지 변경과 수정이 가능한 사용자 레벨이 있다.

#### 4.3.1 개발자 레벨

개발자 레벨에서는 모형개발과 이용에 있어서 모든 매개변수와 목적함수를 비롯한 제약조건, 그리고 시스템의 연계성 등을 구성하는 레벨이다.

Fig. 8은 물 공급 모형의 개요도를 제시한 것으로 사각형(Stock)은 각 댐을 나타내고 있으며, 사각형에서 나오는 화살표(Flow)는 유량의 흐름방향을 나타내고 있고 여러개의 원(Connector)은 매개변수를 표현하고 있는 것으로 여기서 나오는 화살표(Connector)는 각각의 매개변수를 동적으로 연결해 준다.

Fig. 9는 모형의 개발에 있어서 어떻게 목적함수를 구현하고 제약조건 및 상태방정식을 모형에 적용하는가를 보여주며 특히 객체지향(Objective Oriented)적인 도구가 구성되어 있어 모형개발자가 쉽게 모형을 구축할 수 있으며 초보자 역시 이용하기에 편리한 도움말까지 제공하고 있다.

#### 4.3.2 방정식 레벨

개발자 레벨에서 표현되는 매개변수는 Fig. 10의 방정식 레벨에 모형의 운영에 대한 모든 정보가 자동적으로 코딩(Coding)된다. 구축한 모형이 구동할 때 오류가 발생하게 되면 잘못된 연산이 이루어지는 객체(Stock, Flow, Converter)에 물음표(?)가 생성되기 때문에 오류를 쉽게 찾아낼 수 있다.

#### 4.3.3 사용자 레벨

사용자 레벨은 그래프(Graph)나 테이블(Table)을 이용하여 시스템이 반응하는 정도를 직접 확인할 수 있도록

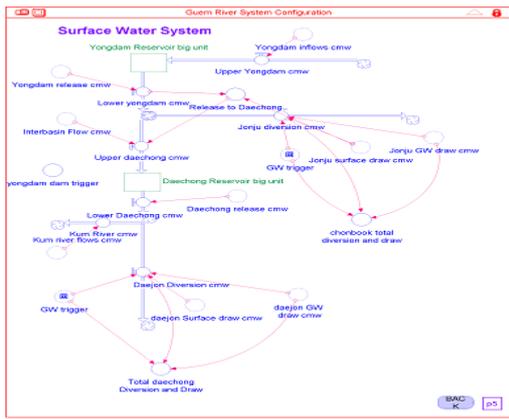


Fig. 8. Map/model Level

Fig. 9. Numerical Analysis of Map/model Level

Fig. 10. Equations Level

록 할 수 있는 레벨로써 사용자의 주 관심사를 표현하고 확인할 수 있도록 화면 구성이 가능하고 자유롭게 수정이 가능한 단계이다.

Fig. 11은 물 공급모형의 사용자레벨의 제어판을 나타내고 있다. 사용자 레벨의 제어판에서는 가상의 가뭄

에 대한 저수지 모의를 시행하기 위해 저수지의 유입량을 사용자가 임의로 조절할 수 있는 기능을 모형에 구축하였다.

제어판의 좌측 상단에는 용담댐 및 대청댐의 유입량 제어를 할 수 있는 조절부를 나타내고 있으며 1994~1995년 유입량과 평균유입량을 선택적으로 적용할 수 있도록 하였다. 이는 용담댐과 대청댐을 구분하여 구축하였다. 또한 유입량의 비율을 조절할 수 있는 제어기능을 삽입하여 가뭄발생시 유입량이 감소되는 현상을 모의할 수 있도록 하였다.

운영의 초기 값으로써 용담댐과 대청댐의 예년 평균 값이 유입량으로 설정되었으며, 제어판을 조정하여 용담 0.5 그리고 대청 0.8로 각각 조정하면 용담댐으로의 유입량이 예년평균유입량의 50%가 유입되고 대청댐의 유입량은 예년평균유입량의 80%가 유입되도록 조정하였고 이 수치가 1.5가 되면 150%의 유입량으로 설정되도록 구축하였다. 이 외에도 과거의 가장 심한 가뭄기

Fig. 11. The User Interface of Water Supply Model for the Drought Management

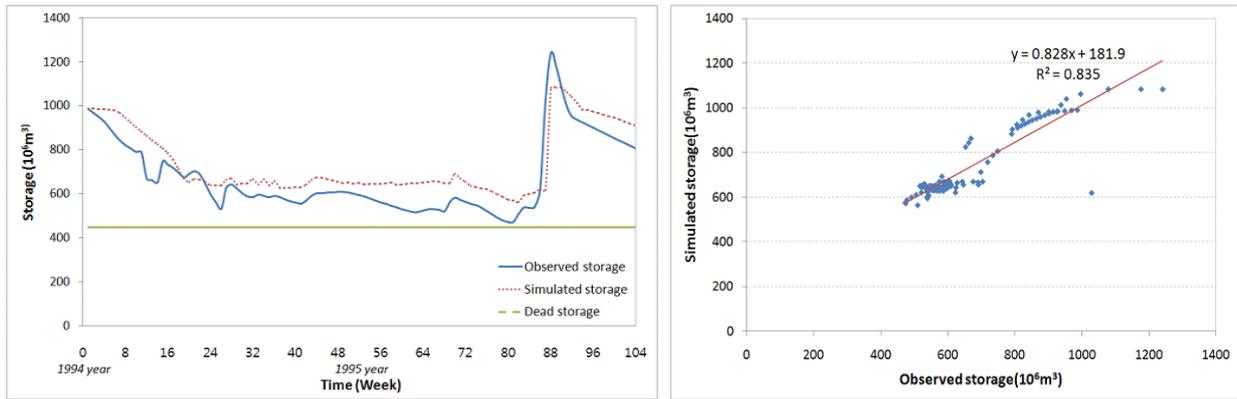


Fig. 12. Observed and Simulated Storage of Daecheong Dam during 1994~1995

간 동안의 유입량(1994~1995년 가뭄시의 유입량)을 쉽게 설정할 수 있는 ‘가뭄 유입량’ 스위치기능이 포함되어 있으며 이 스위치를 켜면 유입량은 자동적으로 1994~1995년의 유입량으로 재설정되고 또한 이때 유입량 비율을 재조정 가능하도록 하였다.

생·공용수의 제어는 중간 윗부분에 위치하고 있으며 이 제어판은 전주와 대전으로 공급되는 생·공용수의 용수량을 제어할 수 있는 장치로써 초기설정은 현재 용수수요를 만족하게 공급되는 것으로 되어있으며, 제어막대를 좌우로 조절하여 주당 용수공급량을 설정할 수 있도록 하였다.

또한 대청댐 상류의 하천유지유량과 대청댐 하류의 하천유지유량을 제어할 수 있는 기능과 댐 운영곡선과 발전방류곡선의 변화에 따른 저수지의 변화량을 알 수 있도록 개발되었다.

#### 4.4 모형의 검증

가뭄관리를 위하여 개발된 물 공급모형을 사용하여 과거의 극심한 가뭄기간이었던 1994년과 1995년 동안의 가뭄상황을 대상으로 대청댐에 대한 모형의 모의운영을 실시하였다. 해당기간의 실제 댐운영자료를 이용하여 모의운영을 실시하는 것이 타당한 방법이나 현존하는 자료가 미비한 실정임으로 해당기간 용담댐의 실측 자연하천유량과 대청댐의 실측 유입량이 유입되는 것으로 설정하였다. 용담댐은 1994년에는 건설전이기 때문에 용담댐건설 후 평균하천유지유량 방류량인 16CMS를 입력하였으며, 대청댐 하류의 하천유지유량은 1994~1995년의 평균 하천유지유량인 12CMS를 입력하였다.

저수지운영곡선과 발전방류곡선을 구축되어있는 물 공급모형의 설정값인 최대값, 중간값, 최소값으로 바꾸어 가며 저수지의 저류량 변화를 검토한 결과, 저수지운영곡선은 중간값, 발전방류곡선을 최소값으로 설정하여 운영하였을 때, Fig. 12와 같은 결과를 얻었으며 관측값

과 모의값과의  $R^2$ 은 0.835를 나타내어 1994년, 1995년 실제 가뭄시의 저류량 변화와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 대청댐이 1994~1995년에 저수지운영곡선을 중간으로, 발전방류는 최소로 운영하였다는 것을 의미하며 모형이 다양한 입력변수에 의한 금강유역의 가뭄을 모의하는데 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

### 5. 수문학적 가뭄지수와 물 공급모형의 연계

본 연구에서는 수문학적 가뭄지수와 공영시각모형과의 연계운영을 실시하기 위하여 모니터링 결과에 의한 가뭄심도에 따라 댐을 동적으로 운영할 수 있는 방안을 제시하였다.

#### 5.1 MSWSI와 댐 유입량의 관계분석

MSWSI를 기존의 수문학적 지수인 SWSI와 비교하여 보면 식의 형태에서는 적설인자를 제외하고 저류량 인자를 댐 유입량 인자로 대체하였고 지하수위 인자를 추가하였다. 적용 형태에서는 기존의 전국을 4개의 대 권역으로 가뭄을 평가하는 것이 아닌 유역의 물 공급 체계를 고려하여 크게 댐, 하천, 지하수, 강수유역의 4 종류의 형태로 분류하고 유역을 보다 세분화하여 준분포형 형태로 평가하고 월단위에서 주단위로 평가하여 수문학적 가뭄평가에 대한 신뢰도가 향상되었다.

여러 가지 수문학적인자 중 댐의 유입량인자인  $r_s$ 로 인하여 MSWSI가 댐의 저류량과 어느 정도의 관계가 있는지를 분석하였으며, 그 비율을 정량화시키는데 초점을 맞추었다. 대청댐유역에서는 1981년에서 2001년, 용담댐유역에서는 1987년에서 2001년까지 주별 MSWSI를 산정하였으며 Fig. 13과 Fig. 14는 용담댐유역과 대청댐유역의 주별 MSWSI를 산정하여 도시한 것이다.

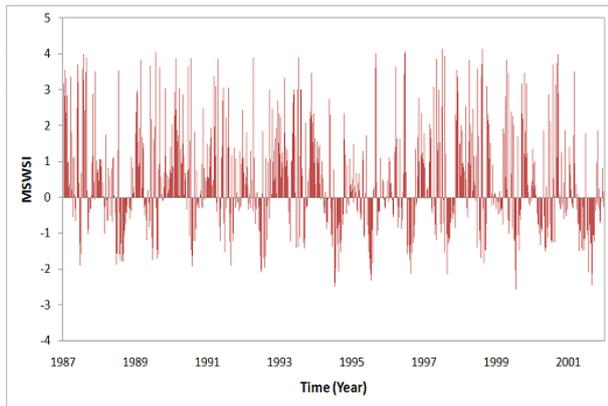


Fig. 13. MSWSI of the Yongdam Dam Basin

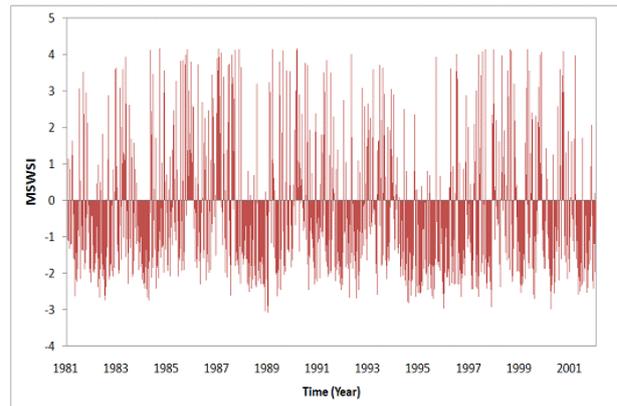


Fig. 14. MSWSI of the Daechong Dam Basin

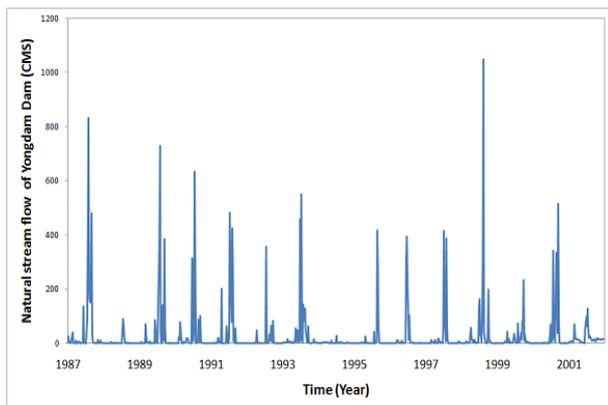


Fig. 15. Natural Stream Flow of the Yongdam Dam

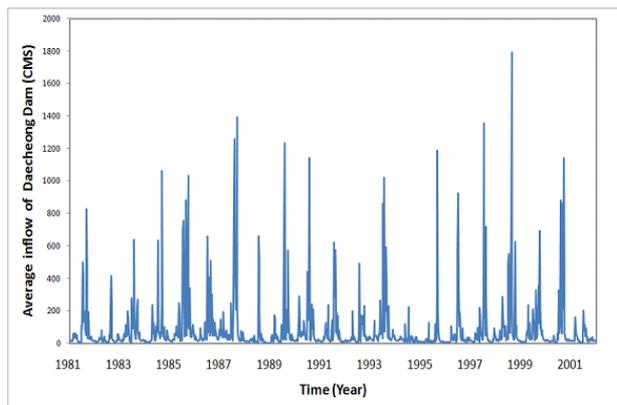


Fig. 16. Average Inflow of the Daechong Dam

한편, MSWSI 산정기간과 같은 기간에 대한 용담댐의 유입량과 대청댐의 자연하천유량을 가뭄심도와 비교하기 위하여 주별로 각 댐별 유입량을 도시한 것이 Figs. 15 and 16이다.

MSWSI와 댐 유입량과의 관계를 분석하기 위하여 MSWSI를 가뭄심도별로 구분하여 가뭄상태를 분류한 후 가뭄심도에 해당하는 유입량의 평균값을 계산하여 예년 평균유입량과의 비율을 산정하였다. MSWSI 산정 결과에 따르면 용담댐유역은 분석기간 동안 심한가뭄 이상의 가뭄이 발생하지 않았으며, 대청댐유역은 극심한 가뭄이 발생하지 않아 가뭄심도에 따른 유입량을 산정하지 못하였다.

용담댐유역의 분석기간 동안 MSWSI 산정결과에 따르면 심한가뭄 이상의 가뭄이 발생하지 않았으며, 대청댐유역은 극심한 가뭄이 발생하지 않아 가뭄심도에 따른 평균유입량을 산정하지 못하였다.

Figs. 17 and 18은 용담댐유역과 대청댐유역의 MSWSI와 그에 해당하는 평균 유입량을 도시한 것이다. Fig. 17의 용담댐유역은 MSWSI값이 -1일 경우 유입량이 -2일 경우보다 유량이 크게 산정된 것을 볼 수

있는데 이는 용담댐유역에 용담댐이 최근에 건설되어 용담댐 유입량 자료의 기간이 짧기 때문에 용담댐의 유입량을 바탕으로 MSWSI를 산정하지 않고 대청댐의 유입량을 바탕으로 MSWSI를 산정하기 때문에 과대산정된 경향이 있는 것으로 보인다. Fig. 18의 대청댐유역에서는 MSWSI와 대청댐의 유입량관계를 적절히 표현하고 있다.

## 5.2 가뭄단계별 물 공급모형 유입량 조정

정상상태일 경우의 댐 유입량을 1로 가정하였을 때 MSWSI의 각각의 가뭄심도에 따른 물 공급모형의 댐 유입량조절부의 조정값을 MSWSI와 예년평균유입량과 비교하여 결정한 후 가상가뭄모의시행에 적용하였다. 이때 용담댐의 D2단계의 유입량은 D1단계보다 크게 산정되었는데 대청댐의 가뭄단계에 따른 유입량 감소비를 고려하여 0.5로 정하였다. 용담댐과 대청댐의 D4단계의 가뭄은 관측이 되지 않아 그에 따른 유입량을 알 수 없으므로 물 공급모형에서 유입량조절부의 최소값인 0.1로 정하였고 대청댐의 D3단계는 MSWSI산정시 1981년부터 2001년까지 1092주 중 2회만 관측되어 유입량이

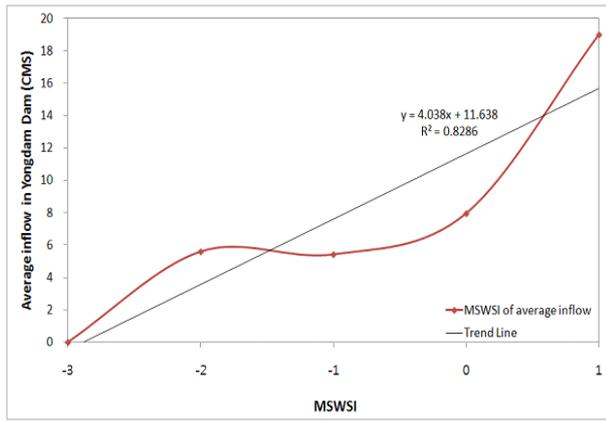


Fig. 17. MSWSI of Yongdam Dam Average Inflow

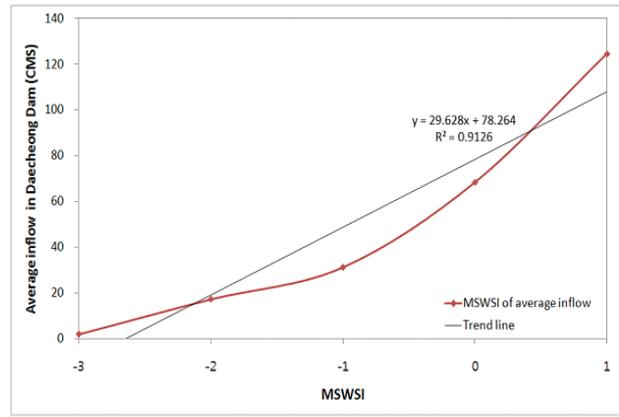


Fig. 18. MSWSI of Daecheong Dam Average Inflow

Table 1. Inflow Control of Shared Vision Model (SVM) According to the Drought Severity

Dam	Drought severity	Average inflow (CMS)	Inflow ratio(%) compared to annual average (89.40CMS)	Inflow control of Shared Vision Model (SVM)
Yongdam Dam	Abnormally dry (D0)	7.96	29.69	1.0
	Moderate drought (D1)	5.43	20.25	0.7
	Severe drought (D2)	5.60	20.88	0.5
	Extreme drought (D3)	-	-	0.2
	Exceptional drought (D4)	-	-	0.1
Daecheong Dam	Abnormally dry (D0)	68.32	76.42	1.0
	Moderate drought (D1)	31.19	34.89	0.5
	Severe drought (D2)	17.22	19.26	0.3
	Extreme drought (D3)	1.93	2.16	0.2
	Exceptional drought (D4)	-	-	0.1

과소산정된 경향이 있으므로 D2단계와 D1단계 가뭄의 중간값인 0.2로 정하였다. Table 1에 가뭄단계에 따른 운영시각모형의 유입량조절부 조정값이 나타나있다.

## 6. 가상가뭄모의시행(Virtual Drought Exercise, VDE)

가상가뭄모의시행(Virtual Drought Exercise, VDE)이란 실제 댐 유역에 가뭄이 발생했을 때 가뭄에 의한 유입량 감소를 고려하여 어떠한 방법으로 용수공급 및 발전을 수행하는 것이 가장 효율적일지에 대한 모의훈련을 수행하는 과정(Keyes, 1995)으로써 본 연구를 통하여 구축된 운영시각모형을 통하여 가상의 가뭄에 대한 모의 훈련을 수행한 후 상황에 따른 대안을 제시하는 일련의 절차를 의미한다. 가상가뭄모의시행시 초기 시스템 운영조건으로는 현재 댐의 저수량 설정, 댐 운영곡선과 발전방류량은 중간값, 하천유지유량은 예년평균 하천유지유량 방류량, 생·공용수공급량은 현재의 용수수요량으로 설정하였다. 또한 댐 운영실패시(모의운

영기간 동안 1회라도 사수량이하로 내려가면 운영실패) 가뭄의 상태에 따라 발전방류량, 하천유지유량, 생·공용수량 등 용수공급량을 줄여야 하는데 용수수요의 중요도 및 용수공급제한에 대한 가뭄극복효과 등을 고려하여 먼저 발전방류량을 제어하고, 다음에 하천유지유량, 마지막으로 생·공용수공급량을 제어하는 것으로 우선순위를 정하였다. 가상가뭄모의운영은 Fig. 19와 같은 순서로 진행한다.

가뭄단계에 따라 여러 가지 댐 운영방안을 설정하여 가상가뭄모의운영을 실시하였다. 1994~1995의 실제가뭄사상에 대해 가뭄단계별로 댐 운영을 중간값과 최대값으로 하였을 때 각각에 대하여 발전방류량을 중간값으로 운영하였을 경우와 최소값으로 하였을 경우에 대하여 총 20가지의 가상의 시나리오를 구성하여 댐에 대한 가상가뭄모의훈련을 실시하였다. 이때 용담댐과 대청댐의 하천유지유량은 예년평균 하천유지유량 방류량은 16CMS와 12CMS로 설정하였으며, 초기저수량은 예년평균 저수량인 7억m<sup>3</sup>와 10억m<sup>3</sup>로 설정하였다.

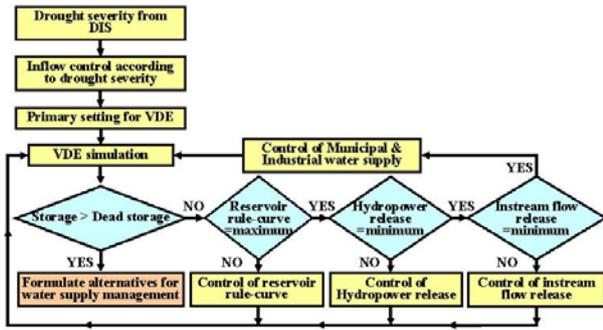


Fig. 19. Procedure of Virtual Drought Exercise (VDE)

Table 2는 가뭄단계별 시나리오 설정 및 운영결과를 나타낸다. 용담댐과 대청댐의 사수량은 각각 70백만<sup>3</sup>, 450백만<sup>3</sup>으로써 초기설정 조건으로 가상가뭄모의훈련을 실시한 결과, D0, D1, D2단계의 가뭄에서는 2년의 모의기간에 사수량 이하로 내려가는 일은 없었으며, 댐

운영곡선을 최대값으로 하거나 발전방류량을 제어함으로써 추가적으로 저수량확보가 가능한 것으로 분석되었다.

가상가뭄모의시행 중 D3 가뭄단계에서 댐 운영을 최대로 하고 발전방류를 최소한 것이 16번째 시나리오인데 댐 운영에 실패하였다. 따라서 D3단계의 가뭄에서는 하천유지유량도 제어하기 시작하였으며 하천유지유량 방류량을 조절해가면서 공영시각모형을 운영하였다. 그 중에 21번 시나리오에서 발전방류량을 최소로하고 용담댐과 대청댐의 저수량을 사수량 이상으로 끌어올릴 수 있었고, 용담댐 하천유지유량을 10CMS, 대청댐 하천유지유량을 10CMS로 방류하였을 경우 하천유지유량 방류량을 최소로 줄이면서 용담댐과 대청댐의 저수량을 사수량 이상으로 끌어올릴 수 있는 것으로 분석되었다. Table 3와 Fig. 20은 시나리오 16과 시나리오 21의 평균저수량과 최소저수량을 비교하고 있다.

Table 2. Scenario According to the Drought Severity and Operating Results

Scenario	Drought severity	Inflow control	Reservoir rule-curve	Hydropower rule-curve	Average storage (million m <sup>3</sup> )		Minimum storage (million m <sup>3</sup> )		Operating results
					Yongdam	Daecheong	Yongdam	Daecheong	
1	Abnormally dry D0	Yongdam	Midium	Midium	642.23	838.12	461.25	636.94	O.K
2		1.0		Minimum	642.23	898.23	461.25	660.82	O.K
3		Daecheong	Maximum	Midium	668.23	990.36	497.55	811.95	O.K
4				1.0	Minimum	668.23	1068.40	497.55	879.73
5	Moderate drought D1	Yongdam	Midium	Midium	601.02	685.31	414.69	609.00	O.K
6		0.7		Minimum	601.02	748.63	414.69	641.11	O.K
7		Daecheong	Maximum	Midium	602.14	686.35	416.43	597.04	O.K
8				0.5	Minimum	602.14	911.79	416.43	746.15
9	Severe drought D2	Yongdam	Midium	Midium	444.34	662.32	224.58	585.50	O.K
10		0.5		Minimum	444.34	688.21	224.58	624.28	O.K
11		Daecheong	Maximum	Midium	444.34	664.14	224.58	597.17	O.K
12				0.3	Minimum	444.34	714.06	224.58	618.04
13	Extreme drought D3	Yongdam	Midium	Midium	270.65	625.59	58.80	443.79	N.G
14		0.2		Minimum	270.65	642.74	58.80	443.31	N.G
15		Daecheong	Maximum	Midium	270.65	626.88	58.80	450.90	N.G
16				0.2	Minimum	270.65	655.32	58.80	457.47
17	Exceptional drought D4	Yongdam	Midium	Midium	244.17	578.97	58.40	435.61	N.G
18		0.1		Minimum	244.17	599.17	58.42	441.95	N.G
19		Daecheong	Maximum	Midium	244.17	578.97	58.42	435.61	N.G
20				0.1	Minimum	244.17	594.88	58.42	434.20

Table 3. Average and Minimum Storage on 16th and 21th Scenarios

Scenario	Drought severity	Reservoir rule-curve	Hydropower rule-curve	Instream flow(CMS)		Average storage (million m <sup>3</sup> )		Minimum storage (million m <sup>3</sup> )	
				Yongdam	Daecheong	Yongdam	Daecheong	Yongdam	Daecheong
16	D3	Maximum	Maximum	12	16	655.32	270.65	457.47	58.80
21				10	10	639.54	404.24	489.89	117.79

Table 4. Average and minimum storage on 20th and 22th scenarios

Scenario	Drought severity	Reservoir rule-curve	Hydropower rule-curve	Instream flow(CMS)		Average storage (million m <sup>3</sup> )		Minimum storage (million m <sup>3</sup> )	
				Yongdam	Daechyeong	Yongdam	Daechyeong	Yongdam	Daechyeong
20	D4	Maximum	Maximum	12	16	594.88	244.17	434.20	58.42
22				6	8	472.95	390.88	615.84	81.52

Table 5. Management plans for the several MSWSI severity

MSWSI	Reservoir operation rule	Hydropower release	Instream flow release	Municipal & Industrial water supply	Note
D0	Medium	Medium	Annual average	Sufficient supply	-
D1	Medium	Medium	Annual average	Sufficient supply	-
D2	Medium	Medium	Annual average	Sufficient supply	Watch for reservoir storage
D3	Maximum	Maximum	Decrease	Sufficient supply	Watch for reservoir storage
D4	Maximum	Maximum	Decrease	Limited supply	Stop the hydropower generation in an emergency

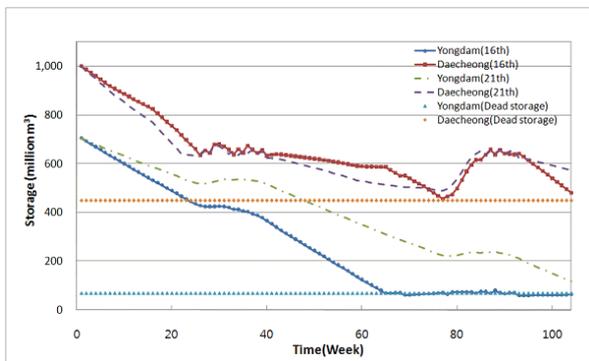


Fig. 20. Storage on 16th and 21th Scenarios

D4 단계의 가뭄에서도 하천유지유량을 제어하여 방류량을 조절해가면서 공영시각모형을 운영하였으며, 용담댐은 8CMS, 대청댐은 6CMS로 방류할 때 하천유지유량을 최소로 줄이면서 용담댐과 대청댐의 저수량을 사수량 이상으로 끌어올릴 수 있었다. 또한 하천유지유량을 최소로 줄이면서 용담댐과 대청댐의 저수량을 사수량 이상으로 끌어올릴 수 있었다. 또한 하천유지유량을 예년평균으로 방류하고 생·공용수공급량을 제어하면서 저수량의 변화를 살펴본 결과 용담댐은 생·공용수공급량을 0으로 하여도 사수량으로 내려가는 시기를 지체시킬 뿐 사수량 이상으로 저수량을 확보하지는 못하였다. Table 4는 20번째와 22번째 시나리오의 평균저수량과 최소저수량을 비교하고 있다.

용담댐의 하천유지유량 8CMS와 대청댐의 하천유지유량 6CMS는 하천의 정상적인 기능을 유지하기 위해서는 부족한 유량(과학기술부, 2003)이므로 용담댐과 대청댐의 하천유지유량을 각각 10CMS로 하고 생·공용수공급량을 제어하여 모의훈련을 실시하였다. 그 결과 용담댐은 용수수요량의 62%, 대청댐은 72%를 공급해야

만 향후 2년간 저수량이 사수량 이하로 떨어지지 않는 것으로 모의되었다. 그러나 생·공용수를 수요량의 62%만 급수한다면 많은 문제점 및 불편이 따를 것이다. 따라서 D4단계의 가뭄이 지속된다면 수력발전을 몇 주간 중단하는 방법 등의 대안을 마련해야 할 것이다. Table 5는 가뭄단계별 댐 운영 대안을 정리한 것이다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 가뭄기간에도 탄력적으로 댐을 운영할 수 있는 방안을 마련하기 위하여 댐 운영을 위한 전문가시스템과 수문학적 가뭄지수와의 연계를 통한 가상가뭄훈련(Virtual Drought Exercise)을 실시하는 개념과 방안을 도출하였으며 실제 금강 유역에 적용하여 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 가상가뭄훈련을 위하여 공영시각모형 기반으로 구축된 금강유역의 물 관리시스템은 과거의 댐 운영상황을 적절하게 재현하는 것으로 나타났으며 수문학적 가뭄지수와 연계되어 가상가뭄에 대한 모의운영에 매우 적절하게 적용되는 것으로 분석되었다.
- 2) D0, D1, D2, 가뭄단계에서는 댐 운영, 발전방류, 하천유지유량방류를 예년평균대로 하고 생·공용수를 수요량대로 공급하여도 2년간은 댐의 저수량이 사수량 이하로 내려가지 않는 것으로 분석되었다. 그러나 D2 단계는 댐 유입량이 감소하여 저수량이 지속적으로 줄어들고 있으므로 용수확보에 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) D3 가뭄단계에서는 댐 운영곡선을 최대로 하고 발전방류량을 최소로 하여도 저수량이 사수량 이하

로 내려가므로 하천유지유량 방류제어를 실시하여 야만 댐 운영에 문제가 없는 것으로 나타났다.

- 4) D4 가뭄단계에서는 하천유지유량 제어와 생·공용수 제한공급을 병행하여 댐을 운영해야만 댐 수위가 사수위 이하로 내려가지 않는 것으로 나타났다으며, 일시적으로 수력발전을 하지 않는 등의 적극적인 무효방류의 제어가 추가된 댐 운영이 필요한 것으로 판단된다.
- 5) 금강유역을 대상으로 대청댐 및 용담댐의 댐 운영 전문가시스템을 구축하고 구축된 전문가시스템을 가상가뭄에 대한 모의운영을 실시하여 가상의 가뭄시나리오별 대안을 제시한 본 연구의 결과는 향후 국가차원의 가뭄관리대책을 수립하는데 있어 크게 기여할 것으로 기대되며 가뭄이 발생하는 경우에 용수공급을 담당하고 있는 다목적 댐의 효율적인 운영을 통하여 가뭄피해를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국수자원공사에서 수행한 가뭄관리정보체계 수립 연구용역의 일환으로 완성되었으며 연구와 관련된 세심한 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

과학기술부 (2003). **용수수급 최적화를 위한 가뭄관리 시스템 개발**, pp. 28-122.

김영오 (1998). “수자원 관리를 위한 Object-Oriented Simulation Software들의 소개.” **한국수자원학회지**, 제31권, 제6호, pp. 21-25.

권형중, 박현진, 홍대의, 김성준 (2006). “SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제8호, pp. 645-658.

박명기, 김재한, 정관수 (2001). “Hedging Rule을 적용한 가뭄대비 다목적댐 운영률 개발.” **한국수자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(I)**, pp. 578-583.

신용노, 맹승진, 고익환, 이환기 (2000). “모의기법에 의한 홍수기 저수지 운영 모형 개발(I).” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제6호, pp. 745-755.

이용대, 김재희, 김승권 (2002). “댐군 연계 운영을 위한 객체 지향적 최적 운영 모형의 개발.” **한국수자원학회 2002년도 학술발표회 논문집(II)**, pp. 673-678.

이주현, 정상만, 김성준, 이명호 (2006a). “가뭄모니터링 시스템 구축 : 1. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 787-800.

이주현, 정상만, 김재한, 고양수 (2006b). “가뭄모니터링 시스템 구축 : 2. 정량적 가뭄모니터링 및 가뭄전망 기법 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 801-812.

이주현, 이길재 (2006c). “국가 가뭄관리 정보시스템 구축.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제39권, 제3호, pp. 29-36

정상만, 류재현, 이주현, Palmer, R.N. (2003). “유역의 최적 물배분을 위한 공영시각모형의 개발.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제3B호, pp. 191-199.

정상만, 이주현, 안중근 (2004). “Shared Vision 모형을 이용한 용수수급의 안정성 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제7호, pp. 569-579.

한국수자원공사 (2004). **가뭄관리모니터링체계 수립 보고서**, 한국수자원공사, pp. 49-80.

한국수자원공사 (2006a). **가뭄관리정보체계 수립 보고서**, 한국수자원공사, pp. 438-473.

한국수자원공사 (2006b). **통계연보(2005)**, 한국수자원공사

Keyes, A.M., Palmer, R.N. and Werick W. (1995). “Practicing for Droughts, Guidelines for Virtual Exercise.” *Proceedings of the 22nd Annual Conference*, ASCE, Cambridge, Massachusetts, pp. 1005-1008.

Kim, Y.O., Eum, H.I., Kim, S.U. and Lee, K.S. (2002). “Development of an integrated operation system for the Nak-dong River basin in Korea.” *2002 Annual Meeting of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, JSHWR, Sendai, Japan. pp. 270-275.

Palmer, R.N., Keyes, A.M., and Fisher, S.M. (1993). “Empowering Stakeholders through Simulation in Water Resources Planning.” *Proceedings of the 20th Annual Water Resources Planning and Management Conference*, ASCE, Seattle, pp. 451-454.

Palmer, R.N., Reese, A.G., and Nelligan-Doran, S.E. (2001). “Tied by water.” *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 71, No. 2, pp. 50-53.

(논문번호:08-53/접수:2008.04.17/심사완료:2008.09.10)