

# 洪水時 實時間 貯水池 運營을 위한 意思決定 支援시스템

## Decision Support System for Real-Time Reservoir Operation during Flood Period

심 순 보\* / 김 선 구\*\* / 박 노 혁\*\*\* / 고 덕 구\*\*\*\*

Shim, Soon Bo / Kim, Sun Koo / Park, Ro Hyuk / Koh, Deuk Koo

---

### Abstract

This paper describes the development of a decision support system (DSS) for the real time reservoir operation that aims to maximize the flood control effect. In the decision support system, model base and real time data processing subsystem are included along with the graphical user interface(GUI) that is able to visualize the forecasted runoff hydrographs at the flood control points and reservoir water levels resulting from the model run as well as the current hydrologic status. The system was verified through the pseudo real time applications to the Taechong reservoir operation with the historical flood events of the Kum river basin occurred in July, 1987 and August, 1995. Decision making processes were performed using the developed system and the results were compared with the real operations at that time. The reservoir operation using the pseudo real time application of DSS were simulated by the flood runoff simulation model, that shows the reservoir operation by DSS were successful in flood control for the lower Kum River.

---

### 요 지

본 연구의 목적은 다목적 저수지의 홍수조절능력을 극대화하기 위한 홍수시 실시간 저수지운영 의사결정 지원 시스템을 개발하는 것이다. 본 연구를 통해 개발된 의사결정 지원시스템은 모델베이스와 실시간 자료처리 부시스템, 사용자 인터페이스로 구성되어 있으며, 사용자 인터페이스는 모형에 의해 예측된 홍수조절지점의 수문곡선과 저수지의 저수위 그래프를 그래픽 형태로 보여줄 수 있도록 개발되었다. 개발된 시스템의 적용성을 검증하기 위하여 금강유역의 1987년 7월 및 1995년 8월의 과거 홍수 사상을 가상 실시간으로 대청댐 저수지 운영에 적용하여 의사결정 과정을 수행하고, 당시의 운영 실적과 비교·검토했다. 개발된 시스템에 의한 저수지 운영은 홍수유출모형에 의해 모의되었으며, 그 결과 본 시스템에 의한 저수지운영은 금강하류의 홍수조절에 기여할 수 있는 것으로 나타났다.

*Keywords:* decision support system, flood control, real-time reservoir operation

- 
- \* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
  - \*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료
  - \*\*\* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
  - \*\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

## 1. 서 론

다목적 저수지를 이용하여 적절한 홍수조절을 수행하기 위해서는 원천적인 댐 저수지의 홍수조절용량을 확보하는 것은 물론, 홍수시 댐유역 상하류 및 저수지내의 수문상황을 신속히 파악하고, 현재의 수문상황과 저수지운영에 따른 수 시간 또는 수 일 후의 상황을 예측하여, 적절한 댐의 수문 조작을 실시하는데 필요한 방법론, 또는 도구가 필요하다.

이를 위해 저수지 유역에 대한 강우-유출 모의 및 하도추적을 통해 저수지유입량을 예측하고, 저수지운영자가 설정한 대안에 따른 댐방류와 댐하류 지류유입에 의한 하류 구간에서의 홍수유출을 모의-예측할 수 있는 홍수시 실시간 저수지 운영을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하는 것을 연구의 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 저수지의 실시간 운영을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하고자 그 구성 요소로써 데이터 부시스템, 모형 부시스템, 그리고 사용자 인터페이스(User Interface) 부시스템을 포함하도록 설계하고, 시스템을 구축하였다. 또한 과거 홍수사상자료를 이용하여 개발된 시스템을 금강유역의 대청댐 저수지 운영에 가상 실시간으로 적용하여 저수지운영 의사결정을 수행하고, 그에 따른 결과를 모의 발생하여 당시의 저수지운영 실적 및 하류상황과 비교 검토하였다.

## 2. 연구 동향

### 2.1 모형

유역의 강우-유출과정에 대해 1930년대 Sherman의 단위유량도법과 Snyder의 합성단위도법(synthetic unit hydrograph method) 연구 이후 유출계를 선형으로 해석하고자 한 많은 연구가 있었으며, 유출계에 대한 비선형 해석의 예로는 Kimura(1961)의 저류함수법과 1967년 발표된 Sugawara의 Tank모형 등이 있다. 한국에서는 1974년 한강홍수예경보시스템을 필두로 각 수계별 홍수예경보시스템을 설치하였는 바, 이에 사용된 홍수예측모형은 저류함수법에 의한 모형이다. 홍수흐름은 부정류의 성격을 가지며 이를 수리학적으로 해석하는 대부분의 하도추적모형은 연속방정식과 운동량방정식을 연립하여 수치적으로 해석하는 기법을 사용하고 있다. 이와 같은 수학적 표현을 수치적으로 해석하는 프로그램 중 대표적인 것으로 미국 Hydrologic Research Laboratory의 DWOPER(Dynamic Wave OPERATION model)를 들 수 있으며, 이외에

1989년 Tompson과 Wesley가 2차원 부정류해석을 통한 흐름추적을 하는 FESWSM(Finite Element Surface Water System Model)을 발표하였다. 우리나라에서는 이환기(1987)가 개수로 network의 부정류를 St. Venant 연속방정식과 운동량방정식으로 나타내고 이를 Preissmann의 음해법에 의한 유한차분법으로 해석하는 LOOPNET 모형을 발표한 바 있으며, 이 모형은 권원영 등(1994)의 "댐방류에 따른 홍수 추적 연구" 등에 적용된 바 있다. 수문학적 하도추적 방법에는 Kimura(1961)의 저류함수법과 1938년에 발표된 McCarthy의 Muskingum방법 등이 있다.

다목적 저수지의 최적운영 일정을 도출하기 위해 사용되어 온 방법론은 시스템분석기법을 이용한 최적화기법과 시뮬레이션기법이다. 최적화기법 중 선형계획법(linear programming)은 목적함수와 제약조건이 선형인 경우에만 적용할 수 있는 한계성이 있으나 1960년대 Dorfman의 연구를 시초로 Locks 등, Houck, Grygier와 Stedinger, Simonovic과 Burn 등에 의해 저수지운영에 이 기법을 적용하는 연구들이 수행된 바 있으며, 비선형계획법(nonlinear programming)은 저수지운영 문제에 보다 일반적인 수학적 해법을 제공한다. 측면에서는 바람직하나, 이해 부족 및 컴퓨터 계산용량과 소요시간이 많다는 단점 등으로 수자원 분야에 많이 적용되지는 않았다. 목적함수나 제약조건이 비선형인 경우에도 처리가 가능한 동적계획법(dynamic programming)을 저수지 운영에 적용한 연구로서 1960년대 Buras, Young, Hall과 Buras 등에 의한 초기 연구사례가 있으며, 그 이후에도 Dudley와 Burt, Bogle과 O'Sullivan, Yakowitz, Fofoula-Georgiou와 Kitanidis 등은 추계학적 동적계획법에 의한 저수지 운영 관련 연구를 수행한 바 있다. 최적제어이론(optimal control theory)에 의한 저수지 운영 연구 사례는 확정론적 접근 방법으로 1980년 Papageorgiou의 연구가 있으며, 추계학적 기법은 Wasimi와 Kitanidis, Georgakakos와 Marks, McLaughlin과 Velasco 등에 의해 연구되었다.

시뮬레이션(simulation)방법은 저수지의 물수지를 엄밀하게 수학적으로 구현하여 많은 가상의 유입-방류 시나리오에 따라 어떠한 결과가 야기되는가를 검토한 후, 그 경험을 토대로 운영 일정을 결정하는 방법을 말한다. 지금까지 최적화와 시뮬레이션은 서로 독립적으로 사용되어 왔으나, 최근에는 서로 보완적으로 사용되는 추세에 있다.

본 연구에서는 유역 및 하도에서의 홍수유출을 예측하고 모의하는 모형으로 저류함수모형을 이용하고 있으며, 저수지 운영은 시물레이션 기법을 적용하고 있다. 이와 같은 구성은 기존의 한국수자원공사 방재시스템과 같으나, 기존 시스템은 효율적인 의사결정을 지원하기 위한 운영체계 및 보조적인 모듈의 구성이 미흡했던 것으로 생각되었다.

## 2.2 의사결정지원시스템

의사결정 지원시스템(DSS, Decision Support System)은 관리자 또는 의사결정권자(decision maker)로 하여금 여러 가지 대안을 선정하고, 그 대안들을 평가하여 적절한 의사결정을 수행할 수 있게 해주는 통합된 컴퓨터 S/W시스템이다. Labadie와 Sullivan(1986)은 DSS의 구성요소로서 모형 부시스템(Model subsystem)과 데이터 부시스템(Data subsystem), 대화 부시스템(Dialogue subsystem) 등을 제시하였다. 수자원 관련 DSS에 대한 초창기 연구로 Johnson(1985)과 Labadie와 Sullivan(1986), Koch와 Allen(1986), Courtney와 Whitlock(1988), Arnold와 Sammons(1988), Fredericks(1993)의 연구가 있으며, 1990년대에 들어서는 미국토

목학회(ASCE, American Society of Civil Engineers) 등 학술단체들을 중심으로 수자원 개발 및 관리에 관한 의사결정지원시스템 분과를 개설하고 전문 학술행사를 개최하는 등 활발한 연구와 개발이 이루어지고 있다. 국내에서는 고석구 등(1992), 한국수자원공사와 충북대학교(1992), 심순보 등(1993)이 충주댐 다목적 저수지 운영을 위한 DSS연구를 수행한 바 있다.

## 3. 시스템 개발

### 3.1 시스템 개발 개념

본 연구에서는 홍수기 저수지운영을 위한 의사결정지원시스템을 개발함에 있어서 자료의 수집 및 처리 기능은 기존의 이 업무를 담당하고 있는 한국수자원공사의 구성체계를 그대로 사용하는 것을 전제로 하고, 수문예측을 위한 모형도 한국수자원공사는 물론 각 하천유역 홍수통제소에서 기존의 방재업무에 사용하고 있는 저류함수모형을 사용하는 것을 기본 개념으로 하였다.

### 3.2 시스템 분석 및 설계

일반적인 홍수관리업무는 실시간의 댐상하류 수문자료와 기상자료 등의 정보를 취득하여 저수지 유입량과 댐의 홍수조절능력을 분석, 최적방류량을 결정하고, 댐

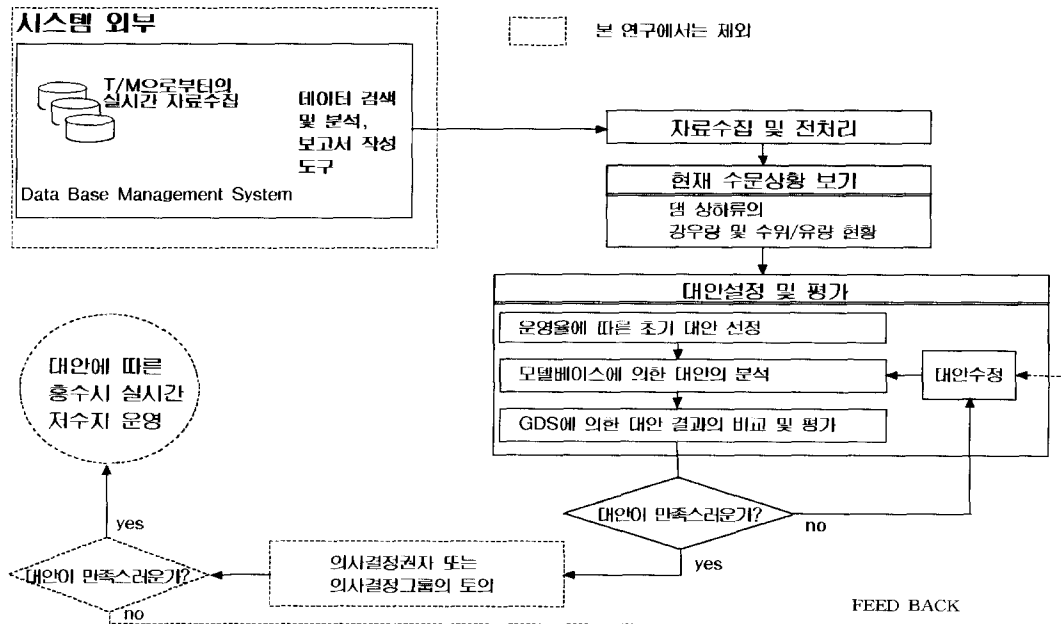


그림 1. 홍수시 저수지의 실시간 운영을 위한 의사결정 지원시스템의 설계

방류량으로 인한 하류의 홍수조절효과를 분석하여 다시 처음으로 feedback하거나 실제 댐 수문방류를 실시하는 일련의 과정이다.

본 연구에서는 홍수시 저수지 실시간 운영을 위한 의사결정지원시스템의 실질적 구성요소로서 실시간 수문 자료는 물론 댐 및 유역 관련 자료를 저장하고 이를 시스템 내에서 활용될 수 있는 형태로 가공하는 기능과 홍수유출과 댐 저수위를 신속, 정확하게 예측하고 그 결과를 그래픽 형태로 사용자에게 이해하기 쉽게 나타내 줌으로써 저수지 운영 대안을 평가할 수 있도록 하는 기능 등을 수행하기 위한 모듈들을 그림 1과 같이 설계하였다. 또한 각 부시스템을 적절한 순서에 의해 실행시키고 전체 업무 흐름의 직관적인 파악이 용이하도록 메뉴시스템도 설계하였다.

### 3.3 DSS 구축

본 연구에서는 개발된 모형프로그램 및 그래픽 출력 응용프로그램 등과의 호환성을 고려하여 스프레드시트 소프트웨어인 Boland사 QuattroPro for Windows의 다중 페이지기능을 이용하여 데이터 베이스를 구축하였으며, 그래픽 사용자 인터페이스(Graphical User Interface, GUI) 및 그래픽 디스플레이 시스템(Graphic Display System, GDS) 역시 스프레드시트 소프트웨어의 GUI 작성 기능과 그래프 자동생성 기능을 이용하여 개발하였다.

모형의 입출력 등 관련 파일들은 GUI에 의해 열림, 닫힘, 복사, 실행 및 저장되며, 이와 같은 처리도 QuattroPro 소프트웨어의 다중페이지 및 매크로 명령 기능, 파일 입출력 기능에 의해 수행되도록 하였다. 한편 데이터베이스의 자료는 기존의 각종 연구 및 용역보고서에 수록된 자료와 홍수통제소 및 한국수자원공사 수문데이터베이스에 저장되어 있는 자료들을 수집 정리하여 입력하였다.

## 4. 시스템의 적용 및 검증

### 4.1 대상 유역 및 홍수 사상의 선정

개발된 시스템의 검증을 위해 선택한 금강유역의 대청댐은 저수용량 대 유역면적의 비 ( $14.9 \times 108 \text{m}^3 / 4.134 \text{km}^2$ )가 작아서 중규모 이상의 호우 발생시 저수지 수위가 급상승되며, 호우의 이동 특성을 볼 때 서해안쪽으로부터 강우전선이 내륙 상류수계방향으로 이동함에 따라 댐 저수지에서의 방류를 개시할 때면 이미 하류지역의 홍수유출이 진행되어 홍수조절업무에 상당

표 1. 금강 하류의 홍수 제어지점 홍수위

수위표지점	지정수위 (m)	경계수위 (m)	위험수위 (m)	영점표고 (EL. m)
강경	5.0	6.0	7.0	-9.30
규암	5.5	7.5	9.0	0.760
공주	4.0	6.5	8.5	9.162

표 2. 대상홍수 기간의 대청댐 상류 수문상황

구분	기간	강우 (mm)	최대유입량 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	저수지 최고수위 (EL.m)	최대방류량 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )
홍수1	1987.7.21-7.29	451.9	5,214	79.17	2,216
홍수2	1995.8.24-8.27	127	1,340	69.64	120
홍수3	1995.8.30-9.2	204	5,890	77.15	1,700

히 곤란한 지형적, 기후적 특성을 내포하고 있다.

금강수계의 수문관측 현황은 1995년 기준 홍수에경보에 직접 이용되는 T/M수문관측소로 우량국 41개소, 수위국 26개소가 설치되어 있다. 한편 홍수범람 등의 문제가 상습적으로 발생하여 방재의 대상으로 주목되고 있는 대청댐 하류의 홍수제어지점은 공주, 규암, 강경 등으로 각각의 수위표가 위치하고 있는 지점의 지정홍수위, 경계홍수위, 위험홍수위 등 기준은 표 1과 같다.

개발된 시스템의 적용을 위해 선정된 홍수는 1987년 7월 21일부터 1987년 7월 29일까지의 홍수와 1995년 8월 24일부터 1995년 9월 2일 사이의 2차례 홍수이다. 각 홍수사상은 홍수 1, 홍수 2, 홍수 3이라 하였으며, 선정된 대상홍수기간의 대청댐 상류 수문상황은 표 2와 같았다.

### 4.2 시스템의 가상 실시간 적용

홍수시 실시간 저수지운영이라함은 최적의 대안을 찾아 이에 따라 댐방류를 실시하는 것이다. 개발된 홍수시 실시간 저수지운영을 위한 의사결정지원시스템에 당시의 수문상황과 기상특보상황에 따라 산정된 예상강우와 대안별 방류조건을 각각 적용하여 저수지 유입량과 수위, 그리고 하류 홍수조절지점인 공주, 규암, 강경의 수위 변화를 예측하고, 그 결과를 비교하여 최상의 대안을 찾는 과정을 저수지운영 의사결정이 요구되는 시간대별로 연속해서 수행하였다. 이를 통해 결정된 운영대안에 따라 저수지를 운영하였을 때 실제 강우에 의한 결과를 모의 발생시켜 홍수 피해 방지에 성공할 수 있는가를 평가하였으며, 당시의 실제 운영 상황과도 비

교하였다. 결정된 운영 대안 및 실제 경우에 의한 결과의 모의발생은 저류함수모형에 의해 수행하였으며, 이때 모형의 매개변수는 당시 실제 수문 상황에 의해 보정된 값을 이용하였다.

홍수 1의 경우 1987년 7월 21일 12:00시 현재 저수지 수위는 EL. 71.04 m, 순간 유입량은 190 m<sup>3</sup>/sec였으며, 방류량은 200 m<sup>3</sup>/sec로 발전방류만 실시하고 있었으나 유입량 전량이 방류되기 때문에 저수지의 수위는 큰 변화가 없는 상황이었다. 그러나 이 시간을 기해 충청도 지역에 예상 총 강우량 80~120 mm의 호우주의보가 발령되어 저수지 운영에 대한 첫 번째 의사결정이 필요한 상태가 되었다.

이 때 대안 1은 200 m<sup>3</sup>/sec의 발전방류만을 계속하는 것으로 하고 대안 2는 발전방류 및 여수로 방류를 포함하여 1,200 m<sup>3</sup>/sec를 방류하는 것으로 가정하였다. 예상강우량은 100 mm가 24시간동안 Increment/Decrement(In/De) Type 즉, 삼각형분포로 내리는 것으로 하여 각각 저류함수모형을 통해 저수지 유입량 및 수위, 하류 조절지점수위의 변화를 예측하였다.

그 결과 대청댐의 최대 유입량은 약 3,000 m<sup>3</sup>/sec 정도로 예측되었으며, 표 3에서 보는 바와 같이 대안 1의 적용 결과 대청댐의 최대 수위는 7월 25일 10시에 EL. 76.09 m, 대안 2의 경우는 7월 23일 10시에 EL. 71.73 m로 최대가 된 후 계속 하강할 것으로 예측되었고 각 대안에 따른 하류 홍수조절지점 공주, 규암, 강경의 최대 수위도 표 3과 같이 예측되었다.

대안 2에 의해 저수지를 운영할 경우 공주의 경우 최대 수위가 지정홍수위를 상회하는 것으로 예측되었으며, 두 대안 모두 저수지 수위나 하류 수위에 대해 위험을 초래하지는 않는 것으로 예측되어 특별한 저수지 운영이 요구되지 않는 대안 1을 선택하는 것이 바람직한 의사결정인 것으로 판단되었다.

두 번째 의사결정을 내려야할 시점은 7월 22일 03:00시로 기상특보에 따르면 7월 22일 02:30시 부로 전북 지역에 총 예상 강우가 60~120 mm인 호우주의보가 발령된 상황이었으며, 세 번째 의사결정시점은 대청댐의 현재 저수지 수위가 EL. 75.36 m, 하류 수위는 공주 7.47 m, 규암 7.55 m, 강경 8.05 m로 강경이 이미 위험수위를 초과한 상태에서 전북 지역에 예상 강우량 80~100 mm의 호우 경보가 발령된 1987년 7월 23일 08:00시였다. 각 상황에 대해 설정된 대안과 그에 의한 예측결과도 표 3에 나타난 바와 같았으며, 이를 비교하여 적절한 대안을 선정하는 의사결정과정을 수행하였다. 의사결정을 지원하기 위해 시스템이 제공하는 GDS 화면 출력은 그림 2에 나타난 예와 같으며, 본 논문에서 제시한 그림은 홍수 1의 두 번째 의사결정 과정에서 출력된 것이다.

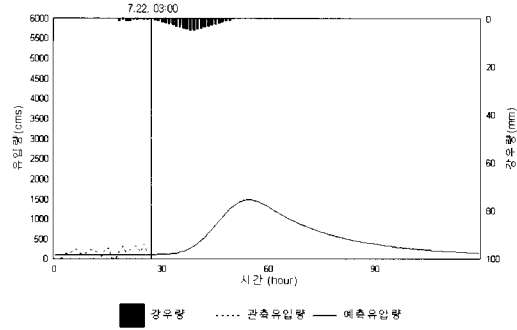
홍수 2와 3에 대해서도 홍수 1과 같은 방법으로 시스템의 가상 실시간 적용을 실시하였으며, 그 결과는 각각 표 4와 표 5에 제시된 바와 같았다. 그러나 홍수 2와 3의 사상은 홍수 1과는 달리 태풍의 직접적인 영향이 아니라, 전형적인 전선형 호우에 의한 것으로서 하류에서의

표 3. 홍수 1의 시점별 수문 상황 및 설정된 대안과 대안별 모의결과

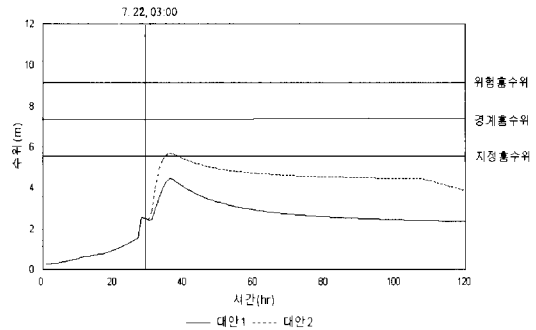
시각	조절 지점	현재 수위	강우량 (mm/24hr)		방류량 대안 (m <sup>3</sup> /sec)			최고수위 (EL. m)			실제강우에 의한 모의결과		
			예상	실제	대안1	대안2	실제	예측		실제	대안1	대안2	
								대안1	대안2				
7.21 12:00	대청댐	71.04	100	33.5	200*	1,200	200	76.09	71.73	71.14	72.70	71.70	
	하류	공주						1.4	2.16	4.21	2.07	2.18	2.18
		규암						0.63	2.36	4.44	1.55	2.33	2.33
		강경						1.80	2.17	3.90	3.0	2.14	2.14
7.22 03:00	대청댐	71.14	60	124.3	200*	1,200	1,200	73.92	71.14	75.36	77.85	73.89	
	하류	공주						2.07	4.22	5.51	7.47	4.22	5.51
		규암						1.55	4.55	5.69	7.55	4.45	5.69
		강경						3.0	3.90	4.96	8.05	3.90	4.96
7.23 08:00	대청댐	75.36	90	9.9	1,200	2,200*	1,200 (3.5hr)	82.22	79.95	78.80	78.84	77.24	
	하류	공주						7.47	8.59	8.74	8.05	8.19	8.34
		규암						7.55	8.31	8.86	7.66	7.71	7.86
		강경						8.05	8.70	**	7.55	7.63	**

\* 선정된 대안

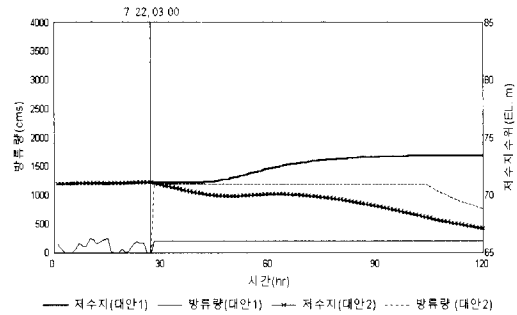
\*\* 해 없음



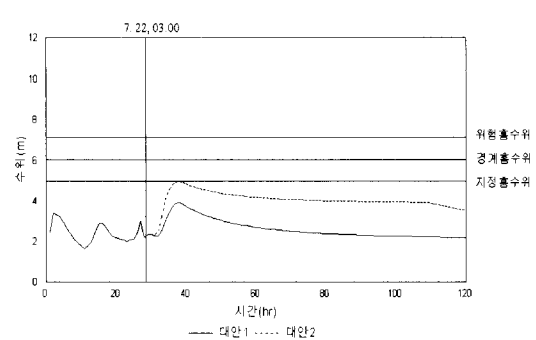
(a) 대안에 따른 우량강도와 대청댐 예측 유입량



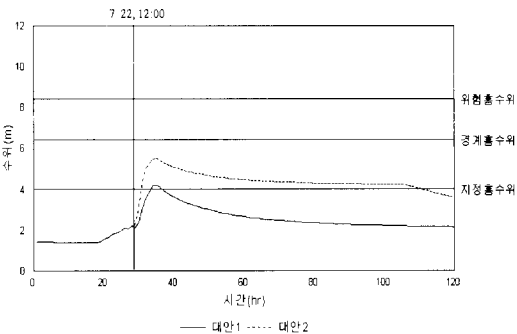
(d) 규암 지점의 대안별 예측 수위수문곡선



(b) 대안별 댐 방류량 및 예측 저수위



(e) 강경 지점의 대안별 예측 수위수문곡선



(c) 공주 지점의 대안별 예측 수위수문곡선

그림 2. 홍수 1 사상에 대해 시스템 GDS가 제공한 의사결정화면 출력 예

홍수가 먼저 진행된 경우이다. 따라서 이 기간 중의 대청댐 저수지 운영은 상류로부터의 홍수 유입량을 얼마나 저수지 내에 저류하여 홍수유출량을 감소시키는데가 따라 홍수조절의 성패가 좌우되는 상황이었다.

### 4.3 대안의 검증 및 고찰

선정된 대안의 타당성을 검증하기 위하여 의사결정지점에서 예측하고자 했던 시간동안에 기록했던 실제 강우량과

대안별 방류 조건에 따라 홍수유출모형에 의한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 표 3, 표 4 및 표 5와 대안별 방류 조건에 따라 홍수유출모형에 의한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 표 3, 표 4 및 표 5와 같이 실제 발생한 수문상황과 비교하였다.

홍수 1에서 첫 번째와 두 번째 의사결정 시점은 심각한 의사결정을 요하는 상황이 아니었으나, 세 번째 의사결정은 유입량의 지속적인 증가로 저수지 수위가 계

표 4. 홍수 2의 시점별 수문 상황 및 설정된 대안과 대안별 모의결과

시간	조절 지점	현재 수위	강우량 (mm/24hr)		방류량 대안 (m/sec)			최고수위 (EL. m)			실제강우에 의한 모의결과		
			예상	실제	대안1	대안2	실제	예측		실제	대안1	대안2	
								대안1	대안2				
8.24 06:00	대청댐	64.27	55	37	0*	200	0	66.80	64.96	65.76	66.26	64.30	
	하류	공주		1.07				114	4.92	5.17	7.08	6.98	7.25
		규암		2.56					4.36	4.64	7.71	7.17	7.85
8.24 21:00	대청댐	64.82	120	40	0*	200	0	72.90	70.84	66.59	67.05	65.09	
	하류	공주		3.50				187	7.6	7.75	10.35	10.03	10.51
		규암		5.71					7.13	7.29	11.13	10.95	11.22
8.25 03:00	대청댐	65.86	115	45	0*	200	0	72.77	70.74	66.71	67.12	65.30	
	하류	공주		3.72				146	8.14	8.27	9.63	9.61	9.75
		규암		6.38					7.69	7.85	10.62	10.03	10.71

\* 선정된 대안

표 5. 홍수 3의 시점별 수문 상황 및 설정된 대안과 대안별 모의결과

시간	조절 지점	현재 수위	강우량 (mm/24hr)		방류량 대안 (m/sec)			최고수위 (EL. m)			실제강우에 의한 모의결과		
			예상	실제	대안1	대안2	실제	예측		실제	대안1	대안2	
								대안1	대안2				
8.30 04:00	대청댐	70.66	100	182	200	1,200*	450	76.71	73.26	70.65	71.47	70.60	
	하류	공주		0.21				158	3.1	4.73	7.20	6.93	7.77
		규암		1.91					3.34	4.95	8.01	7.78	8.45
8.30 15:00	대청댐	71.02	75	104	700	1,200*	1,200	77.47	76.21	73.27	74.12	73.27	
	하류	공주		2.07				27	6.9	7.33	5.48	4.88	5.48
		규암		4.63					7.72	8.07	6.09	5.57	6.09
8.31 01:00	대청댐	73.31	0	16	1,200	2,200*	1,200	77.29	76.03	77.29	77.29	76.03	
	하류	공주		5.79				3	5.79	6.53	5.99	5.99	6.73
		규암		7.86					7.86	6.85	7.13	7.13	7.16
8.31 11:00	대청댐	75.93	0	0	1,200	2,200*	1,700	77.89	77.03	77.89	77.41	77.03	
	하류	공주		4.43				0	5.79	5.87	4.48	5.22	5.65
		규암		7.88					5.95	6.15	4.98	5.12	6.02

\* 선정된 대안

속적으로 상승하고 있으며, 하류의 수위가 이미 각 지점에서 위험수위에 육박하거나 초과하는 상황이었다. 하류의 수위상승 억제를 위한 대안 1은 1,200 m<sup>3</sup>/sec를, 저수지 수위의 저감을 위한 대안 2는 2,200m<sup>3</sup>/sec를 방류하는 것이었으며, 그 예측 결과는 표 3에서와 같았다. 대안 1에 대한 예측 결과는 댐 월류가 되었으나, 대안 2의 경우는 비록 하류 지점의 수위가 대안 1에 비하여 높았지만 저수지 수위가 홍수만수위 EL.80.0m 이내를 유지시킬 수 있었으므로 대안2의 선정이 홍수피해의 최소화를 위해 타당한 것이라고 판단하였다. 그러나 이는 의사결정지점에서의 예상 강우가

24 시간동안 90 mm였는데 반해 실제에 있어서는 상하류 평균 10 mm에 불과하여 실제에 있어서는 곧 바로 방류를 중단할 수 있었으며, 개발된 시스템을 이용한 의사결정도 보다 자주 수행한다면 이와 같은 결과를 얻을 수 있었을 것으로 판단되었다.

홍수 2의 경우 시스템의 적용을 통해 선정된 각 시점별 대안은 실제의 운영 결과와도 잘 일치하였으며, 선정된 대안에 대한 모의발생결과도 저수지 최고 수위의 경우 0.6~0.7 %, 하류 조절지점의 최고수위의 경우 -7.0~0.6 %의 낮은 상대오차를 보였다. 저수지 최고 수위는 65.76~66.71 EL. m로 제한수위

76.5 EL. m에 비해 많은 여유를 갖는데 비해 하류는 집중된 강우로 인해 이미 고수위에 도달한 상태이므로 저수지 운영에 있어서는 대안의 선택 여지가 크지 않은 상황이었으며, 단지 발전방류 200 m<sup>3</sup>/sec를 감소하여 하류수위의 상승을 억제하는 것이 최선이었던 것으로 판단되었다.

홍수 3의 경우는 계속된 저수지 상류의 강우로 인해 저수지의 수위가 상승하는 상황으로서 시스템의 적용을 통해 선정된 대안은 실제 방류량보다 큰 값들이었다. 첫 번째 의사결정시점에서는 후속 강우를 예상하여 저수지의 수위를 제한 수위 미만으로 유지하는 것이 의사결정의 목표였으나 하류의 강우가 예상을 훨씬 초과하여 하류 조절지점이 고수위 상태에 도달하게 되었으며, 두 번째 의사결정 시점에서도 저수지의 수위를 안전한 범위 내에 유지하기 위해 여수로 방류가 불가피했던 시점이었다. 그 결과 실제에 있어서나 모의된 결과가 상하류 모두에 대해 안전한 범위를 초과하지 않았다. 세 번째와 네 번째 의사결정시점에서는 더 이상의 강우가 예상되지는 않았으나 지속되는 유입량에 의한 저수지의 수위가 계속 상승할 것으로 예측되어 저수위를 낮추기 위한 여수로 방류가 불가피한 상황이었으며 가능한 범위 내에서 방류량을 증가시키는 것이 적절한 대안이었던 것으로 판단되었으며, 그 결과로서도 저수지 수위의 상승을 억제하고 하류 조절지점에서의 수위도 위험수위 내에서 유지할 수 있어, 시스템에 의한 의사결정의 타당성을 입증할 수 있었다.

개발된 시스템을 적용하는데 있어서 호우의 발생과 침투 홍수 발생시간과의 차이로 인해 경우에 따라서는 3~10시간 정도의 짧은 기간에 대한 예측 또는 그에 따른 판단과 의사결정이 요구되기도 하지만, 어떤 경우에는 5~10일 후의 예측을 필요로 하기도 한다. 의사결정의 기준을 어느 시점으로 할 것인가 하는 문제와 홍수의 크기와 지속시간 간, 댐 상·하류간의 피해 정도 등에 대한 균형(tradeoff)을 고려하는 문제, 대안을 설정하는 등의 문제는 아직도 실무자의 경험에 많은 부분을 의존하여야 할 것으로 생각되었다. 또한 대안을 설정하는데 있어서도 본 연구에서와 같이 대안간의 차이가 큰 것만을 수행하기보다는 중간 정도의 크기를 갖는 대안을 새롭게 설정하여 분석, 검토하는 과정을 보다 자주 수행하여 그 시점의 수문 상황에 맞는 분석과 검토가 이루어지는 것이 바람직할 것이다. 이를 위해서는 시스템의 사용을 보다 용이하게 하고, 그 실행시간을 단축하는 것이 필요할 것으로 생각되었다.

## 5. 결 론

다목적 저수지의 홍수조절능력을 극대화하기 위한 홍수시 실시간 저수지운영 의사결정지원시스템을 개발하고자 시스템의 분석과 설계, 시스템의 구축, 시스템의 가상적인 실시간 적용을 통한 검증을 실시하였으며, 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 홍수시 실시간 저수지 운영을 위한 의사결정지원 시스템은 모델베이스와 실시간 자료처리 부시스템, 그리고 그래픽 사용자 인터페이스 및 그래픽 디스플레이 시스템으로 구성하였다.

(2) 개발된 시스템의 적용성을 검증하기 위하여 1987년 7월 및 1995년 8월의 2개 홍수 사상 등 총 3개의 홍수사상을 선정하고, 이에 대해 금강수계의 대청댐 운영에 본 시스템을 가상 실시간으로 적용하여 의사결정과정을 수행하고, 당시의 실제 운영 결과 및 수문 상황과 비교 검토하였다. 그 결과 개발된 시스템에 의해 저수지 운영을 위한 의사결정을 수행하였을 때, 대청댐의 안전을 유지하고 하류의 홍수를 조절할 수 있는 대안의 선택이 가능하였다.

(3) 개발된 시스템의 적용을 통해 선택된 저수지 운영 대안과 실제 강우량에 의한 결과를 시뮬레이션하여 저수지의 실제 운영 결과와 비교한 결과 시스템의 적용은 실제 수문 상황에 맞추어 보다 짧은 시간 간격으로 수행하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 시스템의 용이한 사용과 처리속도의 향상을 위한 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

## 감사의 글

한국학술진흥재단의 '94 대학부설연구소지원과제 "하천 및 저수지의 수자원·수질 종합 최적 관리를 위한 의사결정 전문가시스템 개발"의 연구성과중 일부이며, 이에 학술진흥재단의 지원에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 교석구, 이한구, 이희승 (1992). "홍수시 저수지 실시간 운영 의사결정 지원시스템." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제12권, 제1호, pp. 131-140.
- 권원영 등 (1994). 댐 방류에 따른 홍수 추적 연구: 금강 수계를 중심으로(제2차년도). 연구보고서, 한국수자원공사.
- 심순보, Fontane, D.G., 고덕구, 한재석 (1993). 다목적댐 저수지의 실시간 운영을 위한 의사결정지원



- 시스템 개발. 연구보고서, 한국학술진흥재단 '91 대학부설연구소 지원연구과제 보고서, 충북대학교 수자원·수질연구센터.
- 이환기 (1987). "수치모형에 의한 개수로 Network의 부정류 해석." 제8회 한국대담회 학술발표회 발표집, 한국대담회.
- 한국수자원공사, 충북대학교 (1992). 한강수계 총주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정 지원 시스템의 개발. 연구보고서, 수자원-92-3-1.
- Arnold, J.G., and Sammons, N.B. (1988). "Decision support system for selecting inputs to a basin scale model." *Water Resources Bulletin*, Vol. 24, No. 4, pp. 749-759.
- Courtney, B.M., and Whitlock, A.W. (1988). "Computer support for TVA's reservoir system operations: software." *Proc. 3rd Water Resources Operations Management Workshop: Computerized Decision Support Systems for Water Managers*, ASCE, Fort Collins, Colorado, USA, pp. 51-56.
- Fredericks, J.W. (1993). *Decision support system for conjunctive stream-aquifer management under prior appropriation*. Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Johnson, L.E. (1985). "Water resource management decision support systems." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 112, No. 3, pp. 308-325.
- Kimura, T. (1961). "Flood runoff routing by Storage Function Method." Reference Material for River Engineering Course, Japan International Cooperation Agency, Ministry of Construction.
- Koch, R.W., and Allen, R.L. (1986). "Decision support system for local management." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 112, No. 4, pp. 527-541.
- Labadie, J., and Sullivan, C. (1986). "Computerized decision support systems for water managers." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 112, No. 3, pp. 299-307.

〈최종본 접수일 : 1997년 8월 5일〉