

模擬技法에 의한 洪水期 貯水池 運營 模型 開發 (I) Development of Reservoir Operation Model using Simulation Technique in Flood Season (I)

신 용 노* / 맹 승 진** / 고 익 환*** / 이 환 기****

Shin, Yong Lo / Maeng, Sung Jin / Ko, Ick Hwan / Lee, Hwan Kee

Abstract

The dam operation system of KOWACO for flood control doesn't have capability to account for the downstream hydrologic conditions and any feasible index to decide the pre-release from the forecasted rainfall and inflow. In this study, a dam operation model for flood control was developed to account for the flood flow condition of its downstream to give users the dam release schedules. Application test of EV ROM to Keum River showed that EV ROM is superior to the Rigid ROM and Technical ROM which are currently used by KOWACO

EV ROM developed in this study provides a release schedule accounting for the cumulative lateral flow hydrograph at the downstream control points where the discharge does not depend only on the dam operation, but also on lateral inflow from the tributaries. In order to reduce the peak discharge at the control points, it suggests the preliminary release during the early rising phase of the predicted hydrograph, holding the flood flow inside the dam during a peak phase, and afterward resuming the release. Three case studies of flood control by the operation of Daechung Multipurpose Dam in Geum River Basin show that the EV ROM is superior to the Rigid ROM and Technical ROM. This must be due to its nature to account for the downstream flow condition as well as the inflow and water level of the dam. It was also conceived that further case studies of EV ROM and more accurate rainfall prediction would improve the dam operation for flood control.

keyword : Flood control, Dam operation, Simulation, EV ROM

요 지

현재 우리나라에서 홍수조절 업무에 활용하고 있는 홍수관리시스템은 댐에서 조절이 불가능한 댐하류부 수문현상들을 고려하여 방류계획을 수립할 수 없으며, 예측 강우량에 의한 댐으로의 유입량을 고려한 예비방류에 관한 지침이 마련되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 댐의 제약조건과 댐 상·하류의 유출상황을 고려하여 홍수기 댐을 운영 할 수 있는 모의기법에 의한 모형을 개발하였다.

개발된 모형(EV ROM이라 명명)은 댐에서 조절이 불가능한 댐하류 지류에 의한 하류 홍수제어 지점의 Cumulative Lateral Flow Hydrograph를 고려하여 방류계획을 수립한다. EV ROM에서는 댐하류 지역의 침투홍수량 경감을 위하여 홍수제어지점의 수문곡선 상승부에서 예비방류를, 침투부에서는 댐에 저류를 하였다가 수문곡선 하강부에 다시 방류를 수행하는 특징이 있다. EV ROM을 강우-유출모형에 결합하여 금강수계 대청댐을 중심으로 3개 홍수사상에 적용해 본 결과, 기존의 Rigid ROM이나 Technical ROM 보다 우수한 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 개발한 EV ROM이 댐 유역뿐만 아니라 댐하류 홍수제어지점의 수문상황을 동시에 고려하여 댐의 방류계열을 결정하기 때문이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 EV ROM을 다양한 홍수사상에 적용, 예측강우량의 정확도 개선 및 프로그램의 보완이 이루어진다면, 현재보다 한차원 높아진 저수지운영을 기대 할 수 있을 것이다.

핵심어 : 홍수 조절, 댐 운영, 시뮬레이션 기법, EV ROM

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원
Senior Researcher, Water Resources Research Institute, Korea Water Research Corporation, 305-390, Korea (E-mail : shinyl@kowaco.or.kr)
** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
Researcher, Water Resources Research Institute, Korea Water Research Corporation, 305-390, Korea
*** 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부장
Dept. Chief, Water Resources Research Institute, Korea Water Research Corporation, 305-390, Korea
**** 한국수자원공사 수도권운영센터 실장
Office Chief, Seoul Metropolitan Area Operation Center, Korea Water Research Corporation, 449-840, Korea

1. 서 론

저수지 운영은 용수공급과 발전 등 이수가 중시되는 비홍수기(10월~6월)의 장기적 운영방안과 홍수조절 등 치수가 중시되는 홍수기(7월~9월)의 단기적 운영방안으로 대별되며, 단기적 저수지 운영은 댐의 홍수조절 용량을 최대한 이용하여 댐하류 홍수피해를 최소화하는 최적의 홍수조절을 목표로 이루어져야 할 것이다. 일반적으로 많이 알려진 댐의 홍수조절 방법에는 모의기법(simulation)에 의한 방법과 최적화 기법에 의한 방법으로 대별할 수 있다. 모의기법은 해를 구하기는 어려우나 상세하고 복잡한 문제 및 불확실성이나 가변성을 포함한 문제를 다루기에 편리하여 홍수기 실시간 저수지 운영방안으로 채택하고 있는 반면 최적화기법은 저수지의 최적운영방안을 얻을 수 있으나 시간별 운영에 따른 상태변수의 다원화로 많은 컴퓨터 기억용량과 계산과정이 필요하며, 실무적 접근이 어려워 홍수조절을 위한 단기적인 실시간 저수지 운영에는 채택되지 않고 있다. 또한, 최적화 기법은 비선형계획법(nonlinear programming), 선형계획법(linear programming) 및 동적계획법(dynamic programming)으로 대별된다. 비선형계획법은 최적화 과정이 다른 기법에 비해 느리고 유입량의 추계학적 특성을 고려하기 어려우나 다른 기법들에 대한 수학적 해석의 근간을 제공하는데 그 의의를 갖고 있다. 선형계획법은 가장 널리 사용되는 최적화 기법으로서 목적함수 및 제약조건의 변수들이 선형관계일 때 효과적으로 적용될 수 있는 장점이 있다. 댐의 장기운영을 위해 이 기법을 적용한 연구는 다수 있으나 홍수조절 목적의 단기 운영에 관한 연구는 드문 실정이다. 그러나 미국 공병단의 HEC-5 모형(1982)에서는 지침수위(index level)를 도입하여 매시간 댐의 지침수위가 동일하도록 각 댐의 방류량을 배분하여 홍수기 연계운영 프로그램을 개발하였다. Windsor(1973)는 주요 피해지역에서의 손실을 최소화시키는 목적함수를 사용하여 복잡 댐을 조작하는 recursive LP 모형을 개발하였으며 목적함수와 제약 조건식을 선형화 시키는 piecewise linearization technique를 이용하였다. Needham(2000)은 Iowa의 Des Moines 강을 대상으로 mixed integer LP 모형을 적용하여 저수지 운영을 통한 홍수조절을 하였다. 동적 계획법은 댐의 장기운영에 대한 연구에 집중되어졌고, 단기운영에 관한 연구는 김선구(1998), 김치홍(1972), 오영민과 이길성(1986),

이재형(1992), Jamieson과 Wilkinson(1972), Shultz와 Plate(1976) 등에 의해 이루어졌다.

본 연구에서는 홍수기 댐의 수문량과 제약조건은 물론 댐하류에 위치한 지류의 영향을 받는 주요 홍수제어지점(control point)의 홍수수문곡선을 함께 고려하여 댐의 방류계획을 결정하는 홍수기 저수지 운영모형을 모의기법으로 개발하였다. 본 연구에서 개발한 모의기법인 EV(equivalence) ROM의 적용 가능성을 가늠하고자 현재 한국수자원공사에서 홍수기 저수지 운영에 주로 사용하는 Technical ROM과 Rigid ROM 등을 실제의 과거 홍수사상을 대상으로 대칭댐에 적용하여 비교하였다.

2. 기존의 저수지 운영 모형의 이론

평상시 다목적댐은 수자원의 확보를 위하여 운영되지만 홍수기에는 유입되는 홍수량을 효율적으로 조절하기 위해 다음의 댐운영 원칙들이 고려되며, 홍수기(6월 21일~9월 20일)가 끝날 무렵에는 최대한의 유효저수공간을 채움으로써 갈수기의 용수수요에 대비한다.

첫째, 홍수기에는 홍수조절이 주목적이므로 홍수기 제한수위를 넘지 않도록 저수위를 유지하며 홍수발생기 홍수조절용량을 최대한 이용한다.

둘째, 댐의 저수위는 구조물의 안전을 위해 계획홍수위를 넘지 않도록하며, 댐의 방류량은 여수로의 계획방류량을 넘지 않도록 운영하고 있다.

위와 같은 사항을 고려하여 현재 실무에서 사용하고 있는 홍수조절 방안은 SRC(spillway rule curve), Rigid ROM(reservoir operation method), Technical ROM, LDR(linear decision rule), Automatic ROM, SRD(scheduled release discharge) ROM 등이 있다. 이중, 실제 강우-유출모형의 모의결과를 토대로 실시간으로 댐운영 업무에 많이 활용되는 Technical 및 Rigid ROM의 이론을 요약하면 다음과 같다.

2.1 Technical ROM

Technical ROM은 예측 유입량곡선에 의하여 방류량을 결정하는 방법으로서 홍수예측모형과 결합된 홍수조절모형에서 사용이 가능하다. 즉, 예측시점 T_0 의 댐 수위와 홍수위 사이의 저수량 S_g 가 홍수에 의하여 저류되도록 다음 식에서 구한 O_c 로 일정량 방류를 행한다.

$$S = \int_{T_0}^{T_e} [I(t) - O_c] dt \quad (1)$$

여기서,

$$I(t) = \text{예측 유입량} (m^3/s)$$

$$T_e = I(t) \text{가 하강하여 일정 방류량과 같아지는}$$

시간(hr)

$$T_0 = \text{홍수예측시점}(hr)$$

$$O_c = \text{일정 방류량} (m^3/s)$$

2.2 Rigid ROM

Rigid ROM은 일정률, 일정량 방류에 의한 단일담 저수지운영 방안으로서 수문조작 당시의 유입량 관측치, 예측유입량, 수문곡선, 저수위를 근거로 방류량을 결정하는 방법이다. 홍수조절을 위한 조작의 경우, 유입수문곡선을 예측하여 유입량이 최대에 도달할 때까지는 일정률에 의한 방류를 하고 최대유입량에 도달한 이후에는 그때의 방류량으로 일정량 방류를 행하여 계산된 총저류량이 홍수조절용량과 일치되도록 운영한다. 따라서 유입량이 예측된 최대유입량에 도달할 때까지는 방류량의 유입량에 대한 비율 R 이 되도록 방류하면 이 비율 R 은 다음 식에서 산출된다.

$$V(t) = (1-R) \int_{T_0}^{T_r} I(t)dt + \int_{T_0}^{T_r} I(t)dt - I(T_e)(T_e - T_p) \quad (2)$$

여기서,

$$V(t) = \text{홍수예측 시점에서의}$$

홍수조절용량 ($10^6 m^3/s$)

$$R = Q(t)/I(t)$$

$$T_0 = \text{홍수예측시점}(hr)$$

$$T_p = \text{최대 홍수량 유입시점}(hr)$$

$$T_e = \text{홍수유입량과 방류량이 일치되는}$$

시점으로 R 의 함수

$$I(t) = \text{예측 유입량}(hr)$$

$$I(T_e) = R \times I(T_p)$$

3. 홍수시 댐 운영기법 정립 및 모형 개발

본 연구의 최종 목표는 홍수기 댐 하류의 홍수피해

를 최소화 할 수 있는 저수지 운영기법을 개발하는데 있다. 따라서, 본 연구에서는 홍수기 저수지 운영기법을 개발하기 위해 홍수유출 모형인 저류함수법에 기초하여 홍수기 저수지 운영기법을 검토하였다. 그 결과 Technical, Rigid ROM 등과 같은 기존의 저수지 운영방법과는 다른 저수지 운영기법을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 홍수기 저수지 운영기법에 관한 운영절차 및 이론에 대하여 정리하면 다음과 같다.

가. 강우시작 시기부터 현재까지의 관측 수문량에 의한 강우-유출 모형의 매개변수 설정

나. 기상예보에 근거한 댐 및 하류 홍수제어지점의 강우량 예측에 의한 유출량 예측

다. 예측된 유량수문곡선에 따른 댐의 제약조건과 하류 홍수제어지점의 예측된 유량 수문곡선을 고려한 저수지 운영

상기의 '가' 및 '나' 항의 과정을 거치면서 댐운영자는 댐 및 주요 홍수제어지점의 현재 및 미래의 수문량 변동을 저류함수법에 기초한 강우-유출 모형의 모의결과에 의해 파악할 수 있다. 따라서 댐운영자는 댐에서 조절이 불가능한 댐하류 지류에 의한 하류 홍수제어지점의 Cumulative Lateral Flow Hydrograph를 고려하여 방류계획을 수립하는 것이 바람직 할 것이다. 즉, 댐방류량이 0인 상태에서 댐하류 지류에 의한 Cumulative Lateral Flow Hydrograph를 참조하여 수문곡선의 상승부에서는 최대한 예비방류를, 침투부에서는 댐에 저류를 하였다가 수문곡선의 하강부에서 다시 방류를 수행한다면 효율적일 것이다. 또한 전술한 일련의 과정을 도시하면 그림 1과 같다.

그림 1과 같이 개발된 홍수조절 기법을 EV (equivalence) ROM이라 명하였고 FORTRAN Power Station 4.0으로 프로그래밍하였다. 본 연구에서 개발된 EV ROM의 댐방류량 결정 절차는 다음과 같다.

① 댐방류량이 0인 상태에서 댐하류 지류에 의한 유량수문곡선(그림 1의 c)을 참조하여 홍수제어지점의 목표유량을 설정한다.

② 댐하류 지류에 의한 유량수문곡선의 상승부(그림 1의 c)에서는 최대한 예비방류를 한다.

③ 댐하류 홍수제어지점의 침투홍수량(그림 1의 c의 최대값)을 줄여 주기 위하여 유량수문곡선 침투부에서는 댐에 저류를 한다.

④ 수문곡선의 하강부(그림 1의 c)에서 다시 방류를 수행하면 댐의 유입량과 방류량 곡선은 그림 1의 (a)

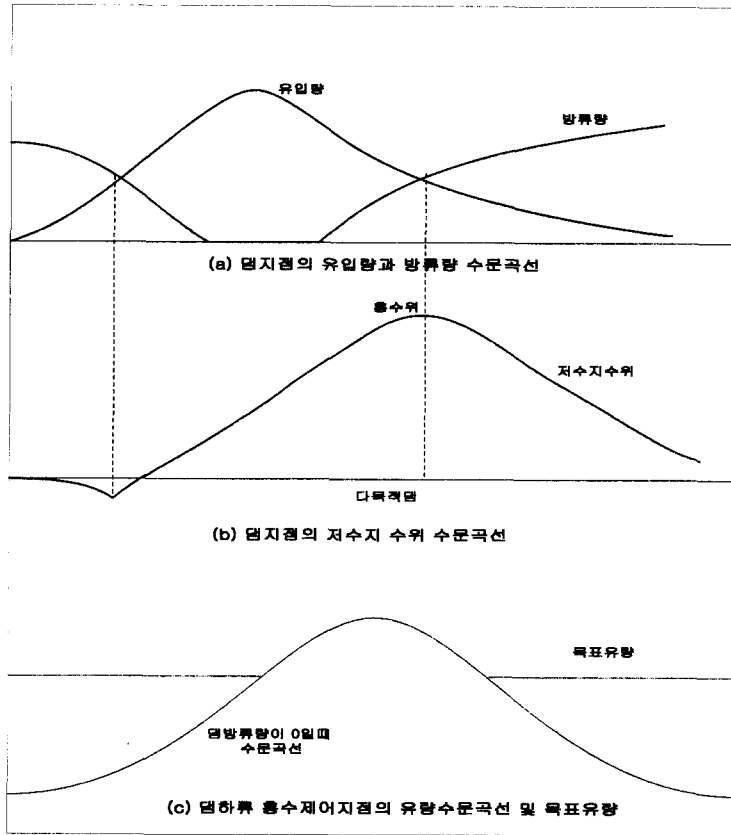


그림 1. 개발된 홍수조절 기법의 개념도

와 같고, 이에 따른 댐의 저수위 곡선은 그림1의 (b)와 같다.

본 연구에서 개발된 EV ROM에서 사용된 목표유량은 댐 하류 본류의 제어지점에서 시간별로 조절하고자 하는 유량을 의미한다. 이 목표유량은 적용 홍수에 따라 일정한 값일 수도 있고 시간별로 다를 수도 있다. 즉 홍수제어지점에서 목표유량이 댐방류량 0일 때 유량수문곡선의 첨두유량보다 크면 목표유량은 각 시간별로 일정한 값을 갖는다. 그러나 반대의 경우에는 시간별로 다른 목표유량을 갖는데, 이를 요약하면 다음과 같다.

- 댐방류량이 0일 때 유량수문곡선의 종거값(A) ≤ 목표유량(B) 일 때 목표유량은 B이다.
- 댐방류량이 0일 때 유량수문곡선의 종거값(A) > 목표유량(B) 일 때 목표유량은 A이다.

이러한 목표유량과 댐의 방류량 계열은 댐 상·하류

의 홍수규모, 댐의 홍수조절용량과 방류설비 등의 제약 조건에 영향을 받으며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &LWL \leq RWL \leq FWL \\
 &LST \leq RST \leq FST \\
 &ROUT \leq ROUTMAX \\
 ®FLOW \leq TARGETFLOW
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서,

LWL : 저수위(El. m)

RWL : 현재 수위(El. m)

FWL : 홍수위(El. m)

LST : 저수위(El. m)에서 저수용량(백만 m³)

RST : 현재 저수용량(백만 m³)

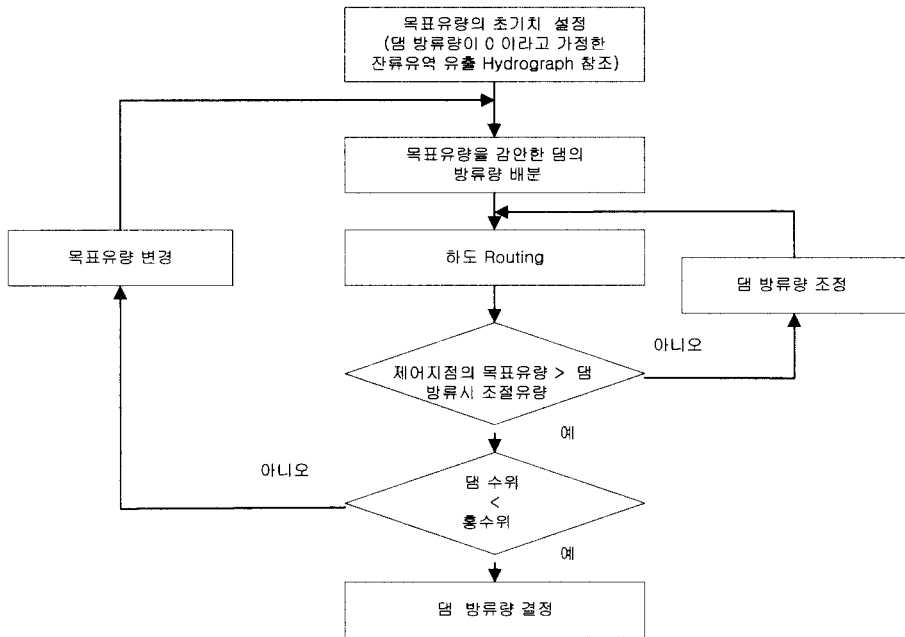


그림 2 EV ROM의 방류량 결정 흐름도

FST : 홍수위에서 저수용량(백만 m³)

ROUT : 담의 방류량(m³/s)

ROUTMAX : 현재 저수지 수위에서 여수로의
최대방류량(m³/s)

REGFLOW : 홍수제어지점의 조절유량(m³/s)

TARGETFLOW : 홍수제어지점의 목표유량(m³/s)

최종적인 방류계열과 목표유량 결정은 담의 최대 저수위가 홍수위에 도달할 때까지 시행착오법으로 구하였다. 즉, 결정된 임의의 유량인 목표유량을 유지하다 보면 담에서 저수위가 계획홍수위를 초과할 수 있다. 이런 경우에는 목표유량을 증가시켜 담의 방류량을 재조정하게 되며, 이와 반대의 경우는 목표유량을 줄여 담의 방류량을 재조정하게 되며 담방류량 결정을 위한 상세한 흐름도는 그림 2와 같다.

4. 홍수기 담 운영 모형 적용

4.1 소유역 및 하도 구분

금강 수계의 강우-유출체계는 현재 대청담 유역을 포함하여 39개 소유역과 31개 하도로 구성되었다. 대청담 하류는 18개 소유역과 18개 하도구간으로 분할되

었으며, 대청담 상류는 소유역 21개와 하도구간 13개로 분할되었다(한국수자원공사, 1997). 금강 수계의 소유역 구분은 현재 한국수자원공사 댐관리처 물관리 종합상황실에서 운영중인 금강 수계 홍수관리 시스템의 기본 모형을 근간으로 구성하였다.

4.2 수문자료 분석 및 홍수제어지점 선정

금강 수계의 홍수예정보 등 물관리를 위한 텔레메터링(telemetry : TM) 수문관측소는 1997년을 기준으로 우량국 38개소, 수위국 23개소 및 수위·우량국 4개소가 설치되어 있으며, 이들 수문관측소로부터 측정된 우량과 수위자료는 매 시간 무선으로 금강홍수통제소와 한국수자원공사의 주전산기에 실시간으로 입력되고 있다.

한편 홍수범람 등의 문제가 상습적으로 발생하여 방재의 대상으로 주목되고 있는 대청담 하류의 홍수제어지점은 공주, 규암, 강경 등이다. 그러나 규암 및 강경지점은 하류의 금강하구인 저수지로부터의 배수영향을 받는 것으로 알려져 있어 저류합수모형과 같은 수문학 적 방법에 의한 유량 및 수위 예측은 그 정확도가 낮아 개선이 요구되는 상황이다.

따라서 본 연구에서 홍수기 저수지 운영시 대청담

표 1. 대청댐의 수문상황 및 공주지점의 관측 및 계산된 침투유량

구분	기 간	댐상류 평균강우량 (mm)	대청댐 최대 유입량(m ³ /sec)		공주 최대 유량(m ³ /sec)	
			관측	계산	관측	계산
홍수 1	1987. 7. 21 ~ 7. 29	259.4	5,008.6	5,130.4	8,128.9	7,701.9
홍수 2	1995. 8. 30 ~ 9. 2	204.0	5,845.6	6,377.0	3,883.1	3,904.7
홍수 3	1997. 8. 3 ~ 8. 10	212.0	4,498.0	3,971.5	-	4,240.9

하류의 홍수제어 지점으로는 공주지점을 선정하였다. 또한 수위-유량 곡선 검토는 본류의 주요 지점인 배포, 급남, 공주, 규암 및 강경의 5개소와 지류 주요지점인 석화에 대해서도 이루어졌다.

4.3 주요 홍수사상의 선정 및 매개변수 보정

4.3.1 홍수사상 선정

개발된 홍수기 저수지 운영을 위하여 대상홍수를 선정하였다. 선정된 홍수는 1987년 7월 21일부터 7월 29일까지의 홍수, 1995년 8월 30일부터 9월 2일까지의 홍수와 1997년 8월 3일부터 8월 10일까지의 홍수로서, 1981~1997년 사이에 금강수계에서 발생한 홍수 사상들 중 비교적 규모가 큰 홍수들이다. 본 연구에서는 각각의 홍수사상을 홍수 1, 홍수 2, 홍수 3으로 명명하였으며, 선정된 대상홍수 기간의 대청댐 상류 및 하류 수문상황을 요약하면 표 1과 같다.

4.3.2 매개변수 추정 및 보정

강우-유출 모형을 이용하여 홍수기 저수지 운영 계획 수립을 위해서는 먼저, 강우-유출 모형의 매개변수를 보정하여야 한다. 저류함수 모형의 매개변수는 유역 및 하도의 저류 상수인 K , p , 지체시간 $T1$ 과 1차 유출률 $f1$ 및 포화유량 Rsa 등 8개가 있다. 현재 한국수자원공사에서 사용하는 저류함수 모형의 매개변수 보정기법은 유역의 수문기상 및 지형적 특성을 반영해 소유역군별로, 혹은 유역전체를 출구에서 일괄 보정하는 방법 중 하나를 선택적으로 사용할 수 있는데, 본 연구에서 댐의 상류는 후자의 방법으로, 댐의 하류는 전자의 방법을 이용하여 홍수사상별 매개변수를 보정하였다.

본 연구에서 저류함수 모형의 매개변수 보정을 위해 이용한 저류함수 모형의 유역 및 하도저류상수는 한국수자원공사(1997)의 “금강하류 홍수유출을 고려한 대청댐 저수지 운영모형 개발 연구” 보고서에 제시된 값

을 기본으로 하여 각 호우사상별로 관측치와 계산치간의 침투유량 및 침투유량 발생시간의 오차를 최소화할 수 있도록 매개변수의 보정을 실시하였다. 또한, 저류함수 모형의 각 매개변수는 호우사상에 대해 독립적인 변화 양상을 보였으며, 매 계산치 마다 관측치 수문곡선과의 시각적 비교(그래프 이용)를 통해 최적의 매개변수 조합을 찾아가는 과정을 반복하였다.

저류함수 모형의 적용은 먼저 관측유량의 초기값과 선행강우 등을 고려하여 기저유량을 가정하고 기지의 저류함수 계수를 토대로 K , p , $T1$ 을 조정하면서 관측치와 계산치의 시각적 비교를 통해 침투유량의 발생 시간, 침투유량을 일치시키는 방법으로 분석 작업을 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 전 절에서 선정된 3개의 홍수 사상에 대하여, 저류함수모형 프로그램의 각 매개변수를 소유역군별로 보정하였다. 그러나 매개변수 보정시 금강 본류의 일부 수위표지점에서 관측유량과 계산유량간의 차이를 최소화하는데 많은 어려움이 따랐다. 이러한 이유는 일부 수위표 지점에 대한 수위-유량곡선식의 신뢰성이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 문제로 인해, 홍수사상별 유출율을 고려하여 대표 수위관측소를 선정하였다. 즉, 홍수-1과 홍수-2는 공주 수위관측소 지점, 홍수-3은 제 1지류인 석화 수위관측소 지점을 기준으로 저류함수 모형의 매개변수를 보정하였다.

대청댐 상류의 유입량에 대한 매개변수 보정에 의한 결과는 표 1과 같다. 표 1의 관측값은 수위-유량 곡선으로부터 산정된 값이다. 대청댐 하류 공주 수위관측소 지점에 대한 매개변수 보정 결과를 표본 예로서 홍수-1에 대하여 도시하였으며 그 결과는 각각 그림 3 및 그림 4와 같다.

4.4 개발된 홍수기 저수지 운영 모형의 적용

본 연구에서 개발된 홍수기 저수지 운영 기법인 EV

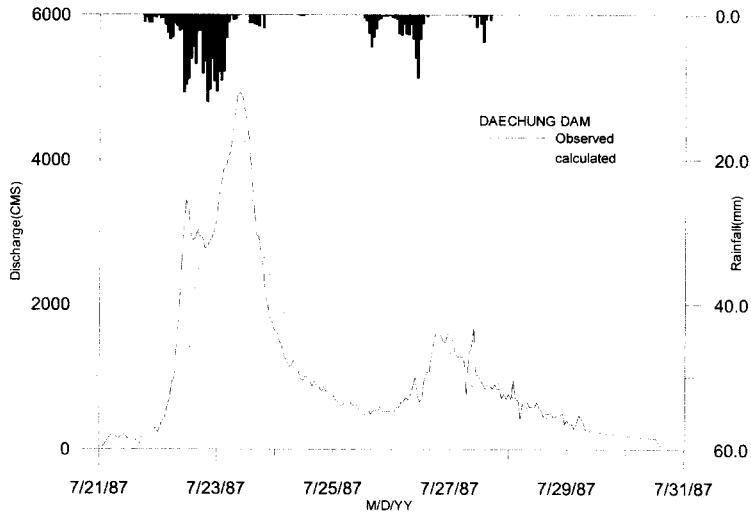


그림 3. 대청댐의 매개변수 보정에 의한 유출수문곡선(홍수-1)

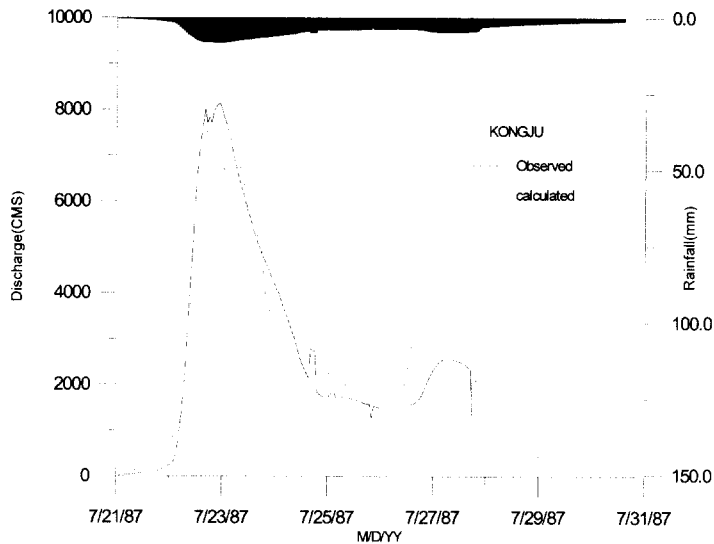


그림 4. 공주지점의 매개변수 보정에 의한 유출수문곡선(홍수-1)

ROM을 선정된 3개 홍수사상에 적용하는 주된 목적은, 과연 본 연구에서 개발된 EV ROM에 의한 하류 주요 조절점인 공주지점에서의 효과가 어느 정도인지를 추정하는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 한국수자원공사에서 단독댐에 대한 홍수기 저수지 운영기법으로 많이 사용되는 Technical ROM 과 Rigid ROM을 선정된 호우사상 별로 대청댐에 적용한 결과와 본 연구에서 개발된 EV

ROM의 적용 결과와 비교 분석하였다.

4.4.1 EV ROM, Technical 및 Rigid ROM의 적용 절차

본 연구에서 개발된 EV ROM과 현재 한국수자원공사에서 사용중인 Technical 및 Rigid ROM을 선정된 3개 홍수사상에 적용하기 위한 절차는 그림 5와 같다.

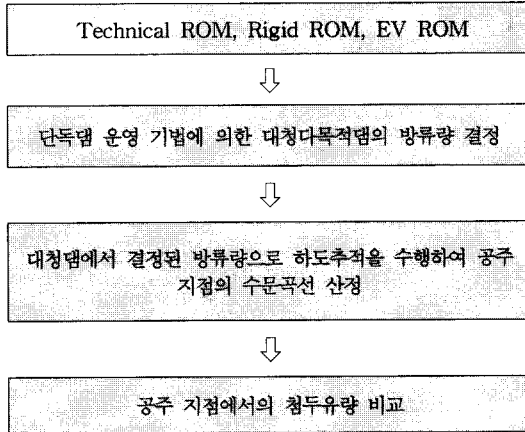


그림 5. EV ROM, Technical 및 Rigid ROM의 비교를 위한 분석 절차

4.4.2 홍수사상별 적용 결과

선정된 3개의 홍수사상에 대하여 Technical ROM,

Rigid ROM 및 EV ROM을 적용하는 각 홍수사상 시작시점에서의 대청댐에 대한 초기수위는 EL. 76.5m 인 댐의 홍수기제한수위로 가정하였다. Technical ROM, Rigid ROM 및 EV ROM에 의한 대청댐의 운영은 저수지 침투수위가 계획홍수위에 도달하도록 운영하였다. 홍수사상별로 각 ROM을 적용한 결과는 표 2와 같다.

또한, 홍수사상-1, 2 및 3에 대한 각 ROM의 적용 결과를 댐의 수문상황과 댐 하류 주요 홍수제어지점인 공주 지점에 대한 수문곡선 중 표본 예로서 홍수사상-2에 대하여 도시한 결과는 그림 6과 같다.

이상의 결과, 3개의 홍수사상 전부에서 각 댐의 방류량은 EV ROM에 의한 것이 Technical ROM과 Rigid ROM에 의한 것보다 크게 산정되었으나 이들 방류량의 영향을 받는 공주 지점의 침투유량은 EV ROM에 의한 침투유량이 Technical ROM과 Rigid ROM에 의한 침투유량보다 작게 산정되었다. 이러한 결과는 본 연구에서 개발된 EV ROM은 하류 홍수제

표 2 홍수사상별 기존 및 개발된 저수지 운영 프로그램 적용 결과

홍수사상	적용 ROM	최대 유입량 (CMS)	최대 방류량 (CMS)	조절율 ¹⁾ (%)	홍수제어지점(공주)			
					댐방류량 조절시 침투유량 (CMS)	조절율 ²⁾ (%)	댐이 없을 때 자연상태 최대유량 (CMS)	댐 방류량이 0일 때 댐~제어 지점간 최대 유량 (CMS)
1987. 7. 21 ~ 7. 29	Tech. ROM	5,129.7	986.0	80.8	8,492.5	26.2	11,516.9	7,500.6
	Rigid ROM		1,709.1	66.7	8,419.1	26.9		
	EV. ROM		3,779.8	26.3	7,501.8 (5,865.4) ³⁾	34.9		
1995. 8. 30 ~ 9. 2	Tech. ROM	6,355.0	1690.1	73.4	5,357.8	35.3	8,283.2	3,650.3
	Rigid ROM		2,462.9	61.2	5,460.7	34.1		
	EV. ROM		3,247.3	48.9	3,664.8 (3,490.2) ³⁾	55.8		
1997. 8. 3 ~ 8. 10	Tech. ROM	3971.1	877.9	77.9	5,166.2	27.7	7,146.9	4,278.7
	Rigid ROM		1,105.5	72.2	5,379.2	24.7		
	EV. ROM		2,898.1	37.0	4,258.8 (3,025.1) ³⁾	40.4		

1) ((최대유입량-최대방류량)/최대유입량)×100
 2) ((자연상태 최대유량-댐방류량 조절시 침투유량)/자연상태 최대유량)×100
 3) 홍수 제어지점에서의 목표유량

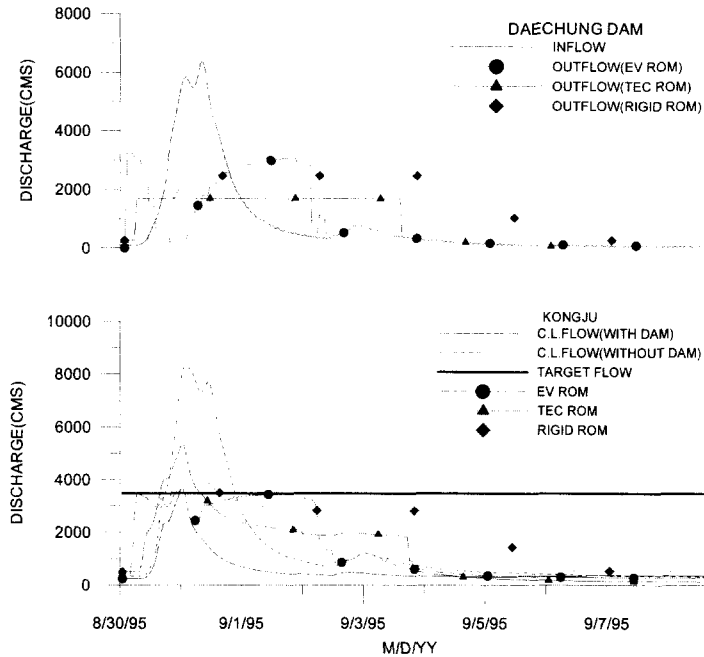


그림 6. 홍수기 저수지 운영 결과('95 8. 30 ~ 9. 2)

어지짐인 공주 지점의 수문상황을 고려하여 댐에서 방류 패턴을 결정하였기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 하루 제어지점인 공주 지점의 홍수로 인한 피해를 줄이기 위해서는 본 연구에서 개발된 EV ROM에 의한 저수지 운영이 Technical ROM과 Rigid ROM에 의한 것보다 우수한 것으로 나타났다.

4.4.3 EV ROM의 운영상 특징

본 연구에서 개발된 EV ROM의 운영상 특징으로 는 크게 2가지로 나타낼 수 있다.

첫째는 대청댐의 침투방류량 결정에 관한 것이다. 대청댐의 침투방류량에 대한 제어는 사용자가 설정 할 수 있도록 하였다. 즉, 대청댐의 침투방류량 설정은 대청댐 상류의 소유역 유출량에 의한 대청댐 침투유입량에 일정비율로 곱한 값을 적용하였다. 즉, 각 댐의 침투방류량=침투유입량×0.85(사용자가 임의로 바꿀 수 있음)이다.

둘째는 EV ROM에 의해 결정된 각 댐의 방류량은 그림 6과 같이 평활한 방류계열로 형성되지 않고 일종의 불규칙한 방류계열을 이루고 있다. 따라서 현업의 댐 운영자의 수문조작을 원활하게 하기 위해 최초 결정된 불규칙한 방류계열에 대한 평활화 과정은 필수적

이라고 할 수 있다. 즉 그림 6에 도시된 각 댐의 방류량은 다음의 절차에 의해 평활화된 방류계열이며, 본 방법을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 현재 검토시간 선정 및 방류량이 연속적으로 3 개가 나타나는 시간 선정
- (2) (현재 검토시간(NP)에 대한 방류량 + ... + (NP+2) 시간에 대한 방류량) / 3 = 댐의 결정 방류량

4.4.4 프로그램의 향후 개선 사항

전 절의 모든 과정을 포함하는 프로그램을 DCOP.FOR라 하였다. 이 프로그램은 앞으로 실무에 적용되는 과정에서 많은 보완과 검토를 거쳐야 할 것이다. 그 중에서도 특히 중점적으로 개선하여야 할 부분을 언급하면 다음과 같다.

첫째, EV ROM 적용시 공주 지점의 수문상황을 고려하여 댐의 운영을 실시 할 때, 본 프로그램에서 선정한 제어지점 이외의 다른 제어지점의 수문상황은 고려되지 않았다. 따라서 향후에는 여러 개의 제어지점의 수문상황을 동시에 고려 할 수 있는 알고리즘의 개발과 최적운영이 이루어 질 수 있도록 하는 최적화 기법 등을 이용하여 본 프로그램을 개선하여야 할 것이

다. 또한, 본 연구 성과를 토대로 수계단위 댐군의 방류량을 결정하기 위한 연계운영 모형의 검토가 필요할 것이다.

둘째, 상기의 방류량 계열의 평활화 과정을 본 연구에서 사용한 방법에만 의존하지 말고, 다른 평활화 방법에 의해 방류량을 결정할 수 있도록 함으로써 보다 실무에 접근할 수 있는 방법을 강구하여야 할 것이다.

셋째, 홍수기 예비방류시 기준을 마련하기 위하여 저수지에서 용수공급을 위해 확보해야할 저수용량의 설정과 하류 홍수제어지점의 무고해 방류량 등의 기초자료가 조사·검토되어야 한다. 더 나아가 수계단위로 최적의 홍수조절 대안을 설정하기 위한 빈도별-홍수위-홍수피해액 등의 경제지표에 대한 조사가 이루어져야 한다.

그 밖의 나머지 사항들은 위에서 언급한 바와 같이 본 프로그램을 많은 홍수사상에 적용하여 실무자의 경험과 이론적인 배경을 바탕으로 지속적인 보완 및 개선을 하여야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 수계전반에 대해 실시간으로 신뢰성 있는 수지원 정보를 취득하여 수문 분석에 활용하고, 이를 근거로 댐의 방류량을 결정하여 우리나라의 홍수기 물관리 기술을 개선하기 위한 주요성과를 요약하면 아래와 같다.

1. 개발된 홍수기 저수지운영 모형은 수계단위의 복잡한 문제 및 가변성을 포함한 문제를 다루기 편리하고 실무적 접근이 손쉬워 홍수기 실시간 저수지 운영 방법으로 많이 채택하는 모의기법을 선택하였다.
2. 댐방류량이 0인 상태에서 댐하류 지류에 의한 Cumulative Lateral Flow Hydrograph를 참조하여 수문곡선의 상승부에서는 최대한 예비방류량, 첨두부에서는 댐에 저류를 하였다가 하강부에서 다시 댐방류량을 수행하는 기본 Logic을 정립하고, 전산프로그램을 개발하여 금강수계의 저류합수법에 의한 강우-유출모형과 결합하여 실제 운영이 가능하도록 하였다.
3. 개발된 홍수기 저수지운영 모형(EV ROM)을 적용하기 위해 3개의 홍수사상을 선정하였고 이들에 대한 강우-유출모형의 매개변수를 보정하였다.
4. 강우-유출모형과의 운영 체계인 EV ROM을 기존의 저수지 운영방법인 Technical ROM 및 Rigid

ROM과에 의한 결과와 비교·검토한 결과, 3개 홍수사상 모두에서, 각각의 저수지 운영 기법의 적용을 통해 선정된 홍수제어지점인 공주지점에서의 첨두유량이 Technical ROM 및 Rigid ROM에 의한 것보다 EV ROM에 의한 첨두유량이 낮은 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 EV ROM이 댐 유역뿐만 아니라 댐 하류 홍수제어지점의 수문상황을 동시에 고려하여 댐의 방류계열을 결정하기 때문이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 EV ROM을 다양한 홍수사상에 적용, 예측 강우량의 정확도 개선 및 프로그램의 보완이 이루어진다면, 현재보다 한차원 높아진 저수지운영을 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 김선구(1998), 유역 홍수조절을 위한 저수지군 실시간 연계운영 시스템 개발, 공학박사학위논문, 충북대학교.
- 건설교통부 (1997). 기존댐 용수공급능력조사(한강수계) 보고서
- 건설교통부 (1998). 기존댐 용수공급능력조사(낙동강, 금강수계) 보고서
- 김치홍 (1972). "Dynamic Programming에 의한 홍수조절". 대한토목학회지, 대한토목학회, 제20권, 2호, pp. 9~21
- 심명필, 박인보, 선우중호, 황만하 (1990). "홍수기중의 실시간 저수지 운영 모형(III)". 한국수문학회지, 한국수문학회, 23권 3호, pp. 499~507
- 오영민, 이길성 (1986). "Min-Max DP에 의한 소양 및 충주호의 홍수조절". 한국수문학회지, 한국수문학회, 제19권 4호, pp. 339~345
- 이길성, 전경수 (1986). "홍수시 소양강댐 및 화천댐의 최적운영을 위한 시뮬레이션". 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제8권 1호, pp. 13~24.
- 이상호 (1993). 한강수계 저수지군의 홍수시 예측 및 제어, 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 이재형, 이길성, 정동국(1992), "Incremental DP에 의한 홍수시 댐군의 연계운영". 한국수문학회지, 한국수문학회 제25권, 제2호, pp. 47~59
- 한국수자원공사 (1989). 금강홍수예경보 프로그램 개발 최종보고서
- 한국수자원공사 (1993). 다목적댐 홍수유출 해석 및 홍수기 저수지 운영 프로그램 해설서
- 한국수자원공사 (1996). 낙동강 수계 실시간 최적

- 저수관리 시스템 개발(분석모델부분), pp. 91~99
한국수자원공사 (1997). 금강하류 홍수유출을 고려한
대청댐 저수지운영모형 개발 연구
- Jamieson, D. J., and J. C. Wilkinson (1972).
“Short-Term Control Strategy for
Multipurpose Reservoir Systems”. *WRR*,
Vol. 8, No. 4, pp. 911~920.
- Needham, J. T., D. W. Watkins, J. R. Lund
(2000). “Linear Programing for Flood
Control in the Iowa and Des Moines Rive
r”. *J. of Water Resources Planning and
Management*, pp. 118~127.
- Shultz, G. A., and E. J. Plate (1976).
“Developing optimal operation rules for
flood protection reservoir”. *J. of
Hydrology*, Vol. 28, pp. 245~265.
- US Army Corps of Engineers (1982). *HEC-5
Simulation of Flood Control and
Conservation Systems Users Manual*. The
Hydrologic Engineering Center, Davis
California.
- US Army Corps of Engineers (1991). *Stream
Flow Synthesis and Reservoir Regulation
Model User's Manual*. North Pacific
Division, Portland.
- Windsor, J. S. (1973). “Optimization model for
the operation of flood control”, *WRR*, Vol.
No. 5, pp. 1219~1226.
- (논문번호:00-037/접수:2000.06.19/심사완료:2000.11.06)