

# 댐붕괴시 홍수가 하천하류에 미치는 영향

## The Effect of Flood Discharge due to Dam Breach on Downstream Channel

안상진\*, 이준근\*\*, 연인성\*\*\*, 유형규\*\*\*\*

Sang Jin Ahn, Jun Geun Lee, In Sung Yeon, Hyung Gyu You

---

### Abstract

The purpose of this study is to analyze how a downstream channel is affected in case of hypothetical dam failure. The object of it is Hwacheon dam basin within the basin of North Han river. This study has analyzed the influence on Pyeonghwa(Peace) dam and Hwacheon dam supposing that the Imnam dam in North Korea on the upper stream of North Han river is failed hypothetically at the MFWL(maximum flood water level) by a deluge of rain.

The model applied at the main study is NWS(National Weather Service) FLDWAV(Flood Wave Routing Model). Dam breach characteristics data are analyzed by making nine hypothetical scenarios on the basis of other studies on the shape and size of dam breach, time of failure and so on. Expected peak discharge through the breach is verified to have the propriety in comparison with empirical function which is developed on the basis of the case of dam breach in the foreign countries and it is observed that peak discharge is more increasing, as the time of breach gets shorter and the breach width gets bigger. As a result of main study, even though the Imnam dam is hypothetically failed down, there has no influence on the Hwacheon dam of the downstream as the extended Pyeonghwa dam on the downstream controls the volume of discharge properly.

*Key words* : dam failure, FLDWAV, Peak discharge, Imnam dam, Pyeonghwa dam

---

## 1. 서론

최근의 이상기후에 따른 빈번한 집중호우로 인해 막대한 홍수피해가 발생하고 있다. 이러한 이상기후는 최근 준공된 일부 댐을 제외하고 대부분의 댐들에 대해 월류 또는 여유고 부족의 수문학적 불안정성을 발생시켜 댐이 붕괴되는 등의 비상상황에 대한 발생 가능성을 증가시키고 있다. 특히 우리나라와 같이 하천연안에 밀집되어 생활하고 있는 경우에 그 피해는 막대할 것으로 판단된다.

실제로 우리나라에서는 1961년 전남 남원군 효기리댐, 1999년 연천소수력댐이 붕괴되어 많은 인명 및 재산피해를 입은바 있으며, 특히 과거에 건설된 농업용저수지의 경우 노후화로 인한 저수지 위험성이 커져 1998년의 경우 전국적으로 40개, 1999년은 5개의 소규모 저수지가 붕괴된 적이 있다.

본 연구에서는 임남댐의 가상붕괴상황 발생시 붕괴 유출수문곡선과 하류 홍수추적을 모의하기 위해 일반

---

\* 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수, E-mail : Hydrosys@chungbuk.ac.kr

\*\* 정회원, 한국수자원공사 과장, E-mail : ljg@kowaco.or.kr

\*\*\* 정회원, 충북대학교 토목공학과 공학박사 : hifivee@netian.com

\*\*\*\* 정회원, 충북대학교 토목공학과 석사과정 : demian0502@naver.com

화된 홍수추적모형(Generalized flood routing model)인 미기상청(National Weather Service : NWS)의 FLDWAV(Flood Wave Routing Model)모형을 사용하였으며, 산정된 첨두홍수량을 댐붕괴시 첨두홍수량 추정경험식 결과와 비교하여 매개변수 설정의 적정성을 검토하였으며, 임남댐의 붕괴 홍수가 북한강을 유하하면서 평화의댐과 화천댐에 미치는 영향을 예측하였다.

FLDWAV모형의 댐 붕괴모의는 댐 붕괴 깊이, 폭, 측벽경사, 붕괴원인(월류, 파이핑)등 붕괴형상자료와 최종 붕괴시간등 붕괴특성 자료를 이용하여 댐 붕괴 홍수량을 모의한다.

붕괴부의 측벽경사( $z$ )는 댐축조재료 및 다짐등에 영향을 받으며,  $z$ 와  $b$ 를 조정함으로써 붕괴단면을 삼각, 사각, 사다리꼴등으로 모의 할 수 있다.

댐의 붕괴요인은 댐체계의 노후화, 극심한 강우와 홍수, 지진, 불균등 침하, 압반 활동, 분사, 침투, 월류, 과장 활동 등과 같은 자연적인 요인과 전쟁으로 인한 폭격, 파괴 행위, 부실 공사, 불완전한 설계, 부적절한 구조물의 위치 등의 인위적인 요인으로 분류할 수 있으며 주요 붕괴요인은 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Principal causes of dam failures (Johnson & Illes, 1976)

Type of dam	Cause of failure
Earth	Overtopping, Piping, Foundation, Wave action
Gravity	Sliding, Overturning, Foundation
Arch	Rocksides, Saturation, Shear, Excessive loading from extream floods, Overtopping causes washing out of the foundation

## 2. FLDWAV 모형

FLDWAV 모형은 1차원 부정류(unsteady flow)에 대한 Saint-Venant 방정식을 음해법(Implicit Method)에 의한 유한차분법(finite-difference Method)으로 해를 구하며, 내부경계조건을 이용하여 다양한 수리구조물에 의한 부정류 흐름변화를 모의하도록 개발되었다

FLDWAV 모형은 상류경계조건으로 유량 또는 수위-수문곡선이 사용되며, 하류 경계조건은 단일값, 유량-수위곡선, 유량/수위 시계열 자료 등이 사용된다. 또한, 모형상에서 댐, 교량, 폭포, 갑문등의 내부경계조건을 입력하여 모의한다.

댐붕괴시의 댐붕괴 홍수량은 식(1)과 같은 월류에 의한 홍수량과 식(2)와 같은 파이핑에 의한 홍수량으로 구분하여 계산된다.

$$Q_b = c_v k_s [c_{rec} b_i (h - h_b)^{1.5} + c_{tri} z (h - h_b)^{2.5}] \quad (1)$$

여기서,  $c_v$ 는 접근유속 보정 계수  $k_s$ 는 댐하류수위 ( $h_{tw}$ )에 따른 잠수보정계수,  $c_{rec}$ 는 광정 직사각형 위어 유량계수  $c_{tri}$ 는 광정 삼각형 위어 유량계수  $b_i$ 는 계산되어진 댐 붕괴부의 순간적인 폭  $h_b$ 는 계산되어진 댐 붕괴부의 순간적인 붕괴바닥 표고,  $z$ 는 붕괴부의 측벽경사

$$Q_b = c_{orifice} A_p (h - \bar{h})^{1/2}, \quad A_p = 2b_i (h_p - h_b) \quad (2)$$

여기서,  $c_{orifice}$ 는 오리피스(파이핑) 유량계수,  $h_p$ 는 파이핑의 중심표고,  $h_{tw}$ 는 방수위(하류수위),  $\bar{h}$ 는  $h_p > h_{tw}$  경우  $h_p$ ,  $h_p < h_{tw}$  경우  $h_{tw}$

FLDWAV모형의 실행을 위해서는 Fig. 1과 같이 수문자료와 함께 연구대상 유역내의 댐·하도 특성과 댐 붕괴특성 자료가 필요하므로 유역내 댐 제원 및 하도자료와 임남댐의 가상 붕괴 시나리오를 작성하고, 모형을 통해 임남댐의 가상 붕괴시 붕괴홍수량과 붕괴홍수량이 하류 하천에 미치는 영향을 분석하게 된다.



Fig. 1 Flow chart of this study

### 3. 대상유역 및 확률홍수량 계산

본 연구대상인 북한강수계의 유역면적은 북한지역을 포함하여 10,761km<sup>2</sup>이며, 한강 전체유역 26,219km<sup>2</sup>(DMZ 이북지역 포함시 34,647km<sup>2</sup>)의 약 41.3%로서 유로연장은 291.3km, 유역평균폭 36.94km, 유역형상계수는 0.127이다. 그 중 화천댐의 유역면적은 4,092km<sup>2</sup>로 북한강 유역의 약 35%에 해당하며 유로연장은 195km, 평균하상경사는 0.36% 정도이다.

확률강우량 분석은 FARD2002를 이용하였으며 확률홍수량 계산에는 HEC-1을 이용하였다. 계산된 확률강우량의 시간적 분포 및 확률홍수량은 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었다.

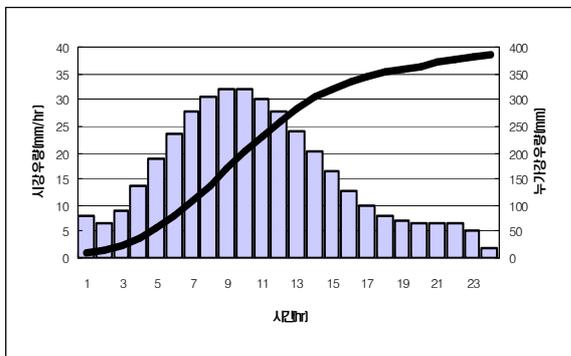


Fig. 2 Time distribution of probable rainfall(200-yr)

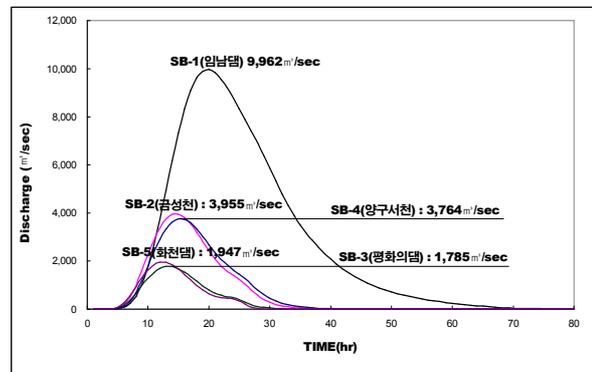


Fig. 3 Flood hydrograph (200-yr)

### 4. 모형의 적용

#### 4.1 모형의 적용 및 분석

댐 붕괴홍수량에 영향을 미치는 특성인자는 붕괴부의 형태 및 크기, 붕괴 지속시간등이 있으며 이 인자들은 붕괴 홍수량에 크게 영향을 미침으로 채택에 상당한 주의가 필요하다.

임남댐의 가상붕괴 시나리오는 연구대상유역에 200년빈도의 홍수가 발생하여 임남댐이 최고수위에 붕괴된다고 가정하였다. 임남댐은 200년빈도 홍수발생시 최고수위는 EL.310.3m로 분석되었다. 임남댐의 평균붕괴

폭에 따른 침투홍수량은 Table 2과 같으며, 침투홍수량의 적정성 평가를 위해 댐붕괴시 침투홍수량 추정 경험식과 비교를 하여 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Breach peak discharge from hypothetical Imnam dam failure

구 분	평균붕괴폭( $\bar{b}$ )	붕괴시간( $\tau$ )	월류에 의한 붕괴		파이핑에 의한 붕괴	
			침투홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	발생시간 (hr)	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	발생시간 (hr)
BR - 1 - 1	160m	90분	210,839	32.7	203,037	32.7
BR - 1 - 2		120분	203,154	33.2	193,263	33.2
BR - 1 - 3		180분	189,094	34.2	176,612	34.2
BR - 2 - 1	200m	90분	254,429	32.7	243,442	32.7
BR - 2 - 2		120분	243,146	33.2	230,779	33.2
BR - 2 - 3		180분	224,319	34.2	207,273	34.2
BR - 3 - 1	240m	90분	292,799	32.7	280,348	32.7
BR - 3 - 2		120분	279,591	33.2	263,879	33.2
BR - 3 - 3		180분	255,010	34.2	233,468	34.2

Table 3 Comparison of peak discharge with variable formula

Unit : m<sup>3</sup>/sec

구 분	FLDWAV	Hagen	Fread	Costa	Molinaro	Dai Rongrao
BR - 1 - 1	210,839	250,372	179,695	56,363	227,850	225,960
BR - 1 - 2	203,154		174,682			
BR - 1 - 3	189,094		165,202			
BR - 2 - 1	254,429		219,897			
BR - 2 - 2	243,146		212,317			
BR - 2 - 3	224,319		198,171			
BR - 3 - 1	292,799		258,368			
BR - 3 - 2	279,591		247,803			
BR - 3 - 3	255,010		228,339			

#### 4.2 하도추적

임남댐 붕괴시 하류댐의 영향은 붕괴폭별(160m, 200m, 240m)로 그림 4에 나타내었으며, 분석결과 붕괴폭 160m의 경우 임남댐에서 210,839m<sup>3</sup>/sec의 침투홍수 발생으로 평화의댐은 최고수위 EL.264.9m, 최대방류량 8,383m<sup>3</sup>/sec, 화천댐은 최고수위 EL.180.7m, 최대방류량 7,977m<sup>3</sup>/sec가 발생하였다.

붕괴폭 200m의 경우에는 임남댐에서 254,429m<sup>3</sup>/sec의 침투홍수 발생으로 평화의댐은 최고수위 EL.265.7m, 최대방류량 8,436m<sup>3</sup>/sec, 화천댐은 최고수위 EL.180.6m, 최대방류량 7,877m<sup>3</sup>/sec으로 분석되었다.

붕괴폭 240m의 경우에는 침투홍수량 292,799m<sup>3</sup>/sec로써 하류에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 평화의댐은 최고수위 EL.266.1m, 최대방류량 8,459m<sup>3</sup>/sec, 화천댐은 최고수위 EL. 180.6m, 최대방류량 7,877m<sup>3</sup>/sec로써, 평화의댐(정고 EL.270m)은 3.9m, 화천댐(정고 EL.184.5m)은 3.9m의 여유가 있어 댐을 월류하지 않는 것으로 분석되었다.

붕괴시 하류에 영향을 미치는 홍수량은 임남댐 평균붕괴폭에 의한 영향을 받으나, 동일 평균붕괴폭일 경우 붕괴시간은 거의 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 이는 하류 평화의댐이 상시 비워져 있어 저류효과가 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

평화의댐에서 임남댐의 붕괴홍수량을 전량 조절방류하고 화천댐은 비상방류구에 수문을 설치하여 홍수조절능력을 증대시켰을 때에 화천댐의 수위 및 방류량 변동은 적은 것으로 분석되었다.

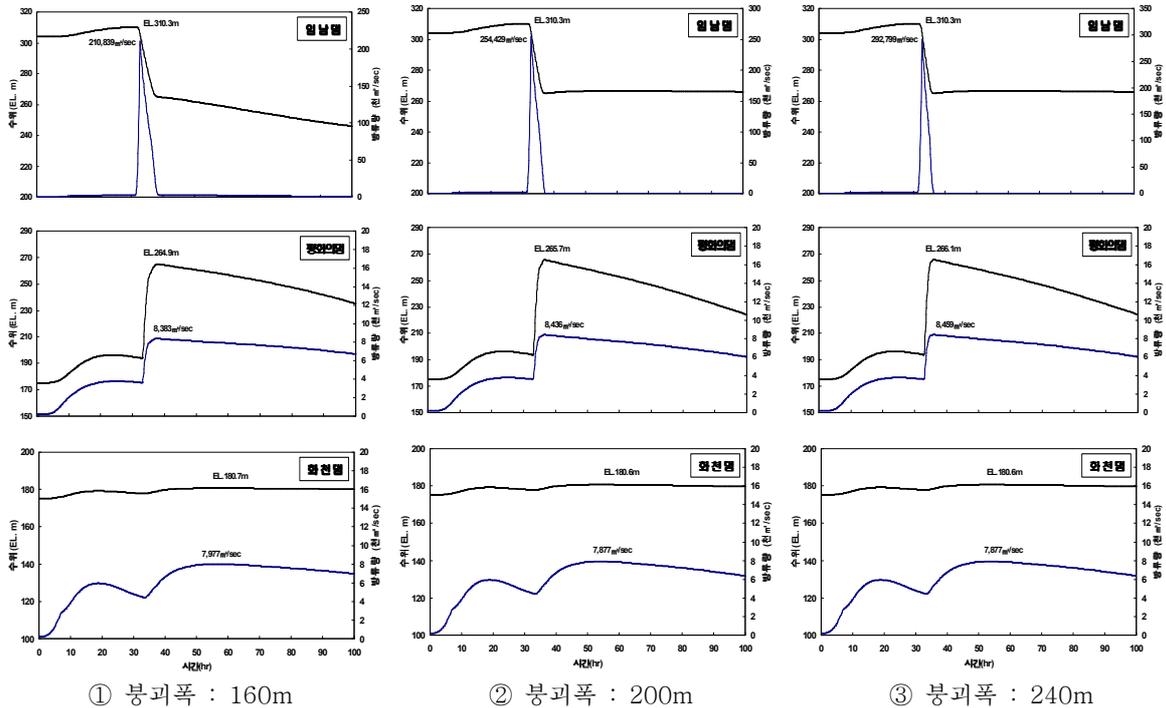


Fig. 4 Peak discharge and maximum water level at downstream dams

## 5. 결론

본 연구는 북한강 상류 화천댐 유역내 위치한 북한 임남댐이 부실시공등의 사유로 인하여 댐 안정성에 문제가 제기된다. 따라서 화천댐 유역에 200년빈도의 홍수가 발생하여 북한 임남댐이 최고수위에서 붕괴된다 가정하여 붕괴시간별, 평균 붕괴폭별로 댐의 붕괴특성별 붕괴홍수량과 이에 따른 하류 평화의댐 및 화천댐에 미치는 영향에 대해 연구를 실시하였다.

임남댐의 가상붕괴시 첨두홍수량은 붕괴시간이 짧아질수록, 평균붕괴폭이 커질수록 증가하는 것으로 분석되었다. 임남댐 붕괴시 하류에 미치는 영향은 임남댐이 평균붕괴폭 240m, 붕괴시간 1.5시간으로 붕괴될 경우 (BR-3-1) 가장 큰 것으로 나타났으며, 평화의댐은 최고수위 EL.266.1m, 최대방류량 8,459m³/sec, 화천댐은 최고수위 EL.180.6m, 최대방류량 7,877m³/sec로써, 평화의댐(정고 EL.270m)은 3.9m, 화천댐(정고 EL.184.5m)은 3.9m의 여유가 있어 댐을 월류하지 않는 것으로 분석되었다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2002), 북한강수계화천정비기본계획(보완) (북한강,소양강,양구서천,섬강)
2. 건설교통부, 한국수자원공사(2003), 평화의댐 증축(2단계)실시설계보고서
3. 이길성(1987) "댐파괴파의 홍수추적에 관한 고찰", 한국수문학회지, 20(3), 191-196.
4. 이상호, 이길성(1992). "소양강댐 가상 파괴파의 수치모의", 대한토목학회논문집, 12(2), 109-122.
5. Fread, D.L. and Lewis, J.M.(1998), NWS FLDWAV MODEL
6. Hagen, V.K.(1982), "Re-Evaluation of Design Floods and Dam Safety", Presented at Fourteenth ICOLD Congress, Rio de Janiero.