

# 댐 붕괴시 BREACH와 DAMBRK 모형의 유출특성 비교 연구

## A Comparative Study on Dam Break Outflows using BREACH and DAMBRK Models

원진영\*, 임창수\*\*, 윤세의\*\*\*, 이종태\*\*\*\*

Jin Young Won, Chang-Soo Rim, Sei Eui Yoon, Jong Tae Lee

### 요 지

현재 EAP(Emergency Action Plan) 수립 시 가장 많이 사용되는 DAMBRK 모형은 붕괴유출수문곡선 유도 시 댐 재료 특성을 고려하지 않지만, BREACH 모형은 댐 축조재료 특성과 유사이송능력을 고려하여 붕괴유출수문곡선을 산정하기 때문에 물리적으로 BREACH 모형이 흙댐의 붕괴특성을 실제와 더욱 유사하게 추적할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 두 모형을 안동댐(흙댐)에 적용하여 침투유출량, 침투유출 발생시간, 붕괴 시작, 붕괴 완료 시간 등의 댐 붕괴시 유출특성을 비교하였다. 적용 결과 BREACH 모형은 붕괴가 매우 서서히 진행되다가 일정수위에 도달하게 되면 급격하게 붕괴유출량의 증가폭이 커지는 데 비하여 DAMBRK 모형은 붕괴 시작과 동시에 붕괴유출량이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 또한 최대총유출량은 BREACH 모형이 DAMBRK 모형에 비해 약 5% 작게 산정되었지만, 34시간까지의 유출 총량은 DAMBRK 모형에 비하여 BREACH 모형이 약 16% 크게 나타났다. 두 모형의 붕괴유출수문곡선 비교를 통하여 댐 제체의 재료특성이 유출특성에 미치는 영향을 파악할 수 있었지만, 더 정확한 영향성을 파악하기 위하여 지속적인 비교연구가 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 침투유출량, BREACH 모형, DAMBRK 모형, 유출특성, 댐 붕괴**

### 1. 서론

오늘날의 대규모 관개 및 배수 시설과 댐 구조물은 과거의 기상데이터를 토대로 극한 상황을 예측하여 설계되어졌다. 그러나 최근 기후변화의 결과로 잦은 국지성 집중호우의 발생빈도가 크게 증가하여 수리구조물의 안전성이 더욱 중요시되고 있다. 특히 댐 붕괴로 인한 홍수피해는 다른 어떤 경우 유출에 의한 홍수보다 그 규모가 크고 댐 하류지역의 피해가 크므로, 댐 붕괴로 인한 유출수문곡선의 형태, 침투유출량 및 침투유출 발생시간 등을 예측하여 댐 안전계획을 수립하는 것이 매우 중요하다. 우리나라 댐의 대부분은 월류시 붕괴 가능성이 큰 흙댐(Earthfill Dam)으로 구조학상 제체에 가해지는 수압에는 강하지만 물이 월류하게 되면 침식이 진행되어 붕괴되기 쉬운 특성을 가지고 있기 때문에, 흙댐의 붕괴 규모와 유출특성을 예측할 때에는 이러한 댐 제체의 재료특성이 고려되어야 할 필요가 있다.

국내의 댐 붕괴에 관한 연구로는 한건연 등(1985)이 흙댐의 붕괴유출모형 개발연구를 수행하였고, 강태호(1991)는 BREACH 모형을 Teton 댐 및 효기댐에 적용하여 댐의 물리적 특성치의 영향을 검토하였다. 최병규 등(2008)은 DAMBRK 모형과 HEC RAS 모형을 양양양수발전소 하부댐에 적용한 결과를 비교하여 댐 붕괴 홍수류를 해석하였고, 이정규 등(2003)은 FLDWAV 모형을 팔당댐에 적용하여 유출특성을 파악하였다.

\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : wjy30228@nate.com

\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 E-mail : csrim@kgu.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 E-mail : syoon@kyonggi.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 E-mail : jilee@kyonggi.ac.kr

현재 EAP 수립 시 가장 많이 사용되는 DAMBRK 모형은 붕괴유출수문곡선 유도 시 댐 재료 특성을 고려하지 않지만, BREACH 모형은 댐 축조재료 특성(D<sub>50</sub> 직경, 점착력, 전단마찰각, 단위중량 등)과 유사이송능력을 고려하여 붕괴유출수문곡선을 산정한다. 따라서 물리적으로 BREACH 모형이 흙댐의 붕괴특성을 실제와 비슷하게 추적할 수 있을 것으로 판단하여, 본 연구에서는 DAMBRK 와 BREACH 모형을 국내 흙댐에 적용하여 붕괴유출 특성을 비교하였다.

## 2. 적용모형

### 2.1 BREACH 모형

BREACH 모형은 흙댐 제체 구성재료의 물리적 특성을 고려하여 댐 붕괴유출수문곡선을 산정하기 위하여 Fread에 의해 개발되었다. DAMBRK 모형은 붕괴부 폭이 시간에 따라 선형적으로 변화한다고 가정한 반면, BREACH 모형에서는 시간에 따라 토사침식을 고려한 붕괴단면을 계산하여 점진적인 형태로 나타낸다. 초기 붕괴 폭을 붕괴폭에 대한 수심의 비( $B_r$ )와 붕괴부 수심( $y$ )의 곱으로 나타낼 수 있는데, 월류로 인한 붕괴일 경우에는  $B_r$ 을 2,  $y$ 를 한계수심으로 가정한다. 붕괴가 지속됨에 따라 초기 직사각형 붕괴부의 측면이 사면 경사도를 따라 무너져 사다리꼴 형태로 변하게 되고, 붕괴부 깊이가 한계깊이  $H'$ 에 도달할 때 바닥을 따라 침식이 발생하게 되는데 이때 한계깊이는 (식 1)과 같이 구한다.

$$H'_k = \frac{4C \cdot \cos\phi \cdot \sin\theta'_{k-1}}{\gamma[1 - \cos(\theta'_{k-1} - \phi)]} \quad (1)$$

여기서,  $C$ 는 댐 제체의 점착력,  $\phi$ 는 마찰각,  $\gamma$ 는 단위중량이다.

붕괴부에서의 흐름을 quasi-steady uniform 흐름으로 가정하여 붕괴부 형태가 직사각형인 경우 <식 2>를 이용하여 붕괴부 수심을 산정하고, 사다리꼴인 경우 (식 3)과 (식 4)를 이용하여 Newton-Raphson 반복법에 의해 붕괴부 수심을 산정한다.

$$y_n = \left( \frac{Q_b \cdot n}{1.49B_o \cdot S^{0.5}} \right)^{0.6} \quad (2)$$

$$y_n^{k+1} = y_n^k - \frac{f(y_n^k)}{f'(y_n^k)} \quad (3)$$

$$f(y_n^k) = Q_b \cdot P^{0.67} - 1.49S^{0.5} \cdot A^{1.67} \quad (4)$$

여기서,  $Q_b$ 는 붕괴부 유출량,  $n$ 은 Manning의 조도계수,  $B_o$ 는 붕괴부 폭,  $S$ 는 댐 측면경사,  $P$ 는 윤변,  $A$ 는 붕괴부 하도의 단면적을 의미한다.

Smart(1984)에 의해서 수정된 Meyer-Peter and Muller 식을 이용하여 토사 침식량을 산정한다. 산정된 토사 침식량을 고려하여 붕괴부 바닥 위치를 재산정하고 (식 5)를 통하여 붕괴 유출량을 산정한다.

$$Q_b = 3B_o(H - H_c)^{1.5} \quad (5)$$

여기서,  $H_c$ 는 붕괴부 바닥표고,  $H$ 는 수위를 의미한다.

## 2.2 DAMBRK 모형

DAMBRK 모형은 댐의 붕괴유출수문곡선의 유도과 댐 하류부의 홍수추적을 수리학적으로 해석하기 위하여 개발되었다. 저류방정식을 통하여 붕괴유출수문곡선을 유도하고, 대상 하도구간의 상류 및 하류단에서의 경계조건들을 도입하여 부정류에 관한 1차원 Saint-Venant 방정식들을 가중 4점 음해법에 의하여 그 해를 구한다.

댐 붕괴로 인한 유출수문곡선 유도를 위하여 저수지 내로의 유입량과 유출량에 따른 저수용량의 변화만을 고려하여 붕괴부 수위를 산정한다. 임의시간  $t$ 에서의 총 유출량  $Q$ 는 붕괴부를 통한 유출량  $Q_b$ 와 여수로를 통한 유출량  $Q_o$ 의 합으로 표시되고, 월류에 의한 붕괴의 경우에는 넓은 마루웨어 공식인 (식 6)을 이용하여 붕괴부 유출량을 산정한다.

$$Q_b = c_v k_s [3.1b_i(h - h_b)^{1.5} + 2.45Z(h - h_b)^{2.5}] \quad (6)$$

여기서,  $c_v$ 는 접근유속 보정치,  $k_s$ 는 직하류부 수위와 관계된 잠수 보정치,  $b_i$ 는 순간붕괴 하부 폭,  $h$ 는 저수지 수위,  $h_b$ 는 붕괴부 바닥표고,  $Z$ 는 붕괴부 측벽경사를 의미한다.

## 3. 국내 흙댐에의 적용

### 3.1 붕괴 가상조건

두 모형의 비교를 위하여 안동댐을 적용대상 댐으로 선정하였다. 붕괴조건은 상시만수위로부터 PMF 유입시 저수지 수위가 댐 마루 표고에 도달할 때 붕괴가 발생하는 것으로 하였다.

표 1. 안동댐 제원

유역면적 (km <sup>2</sup> )	댐 마루표고 (m)	계획홍수위 (m)	상시만수위 (m)	최고수위 (m)	200년빈도 홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	가능 최대홍수량 (m <sup>3</sup> /s)
1,584	166.0	161.7	160.0	163.9	6,362	15,094

BREACH 모형의 경우에는 입력자료에 최대유출량 발생까지의 시간( $T_p$ )을 임의로 입력하지 않고 계산과정에 의해 산정하지만 DAMBRK 모형의 경우  $T_p$ 를 가정 값으로 입력한다. 그러므로 본 연구에서는 BREACH 모형을 선행적으로 수행한 후, 산출된  $T_p$ 의 값을 DAMBRK 모형의 입력자료로 사용하였다.

표 2. 붕괴 가상조건

댐유입 유량규모	붕괴 지속시간	댐 붕괴 위치	초기 저수지수위	최종 붕괴부높이	붕괴부 측면경사	
					BREACH	DAMBRK
PMF	2.0hr	댐 마루 표고	상시 만수위	댐 바닥 표고	Sp-amgler(1951) 사면안정식	0.5

### 3.2 모형 적용 결과

BREACH 및 DAMBRK 모형을 이용하여 PMF 시 안동댐의 붕괴유출을 해석한 결과는 (표 3)과 같다. 해석 결과 두 모형의 붕괴시작 시간은 약 27시간, 최대총유출량 발생시간은 약 29시간으로 유사하였지만, (그림 1)에서와 같이 BREACH 모형은 초기붕괴가 매우 서서히 진행되다가 약 29시간 경과 후 붕괴유출량 증가폭이 커지는 데 비하여 DAMBRK 모형은 붕괴 시작과 동시에 붕괴유출량이 급격하게 커지는 경향을 보였다. 또한 BREACH 모형의 최대총유출량은 5,413,756ft<sup>3</sup>/s로 DAMBRK 모형의 최대총유출량 5,689,889ft<sup>3</sup>/s에 비하여 약 5% 작게 산정되었다. 그러나 34시간까지의 유출 총량은 DAMBRK 모형에 비하여 BREACH 모형이 16% 더 크게 나타났다.

표 3. BREACH 및 DAMBRK 모형의 안동댐 붕괴유출 해석결과

정 의	단 위	DAMBRK	BREACH
최대붕괴부유출량	ft <sup>3</sup> /s	5,605,957	5,237,480
최대총유출량(붕괴부+여수로)	ft <sup>3</sup> /s	5,689,889	5,413,756
34시간까지의 유출 총량	ft <sup>3</sup>	56,165,129,199	66,995,562,406
최대유출량 발생시간	hr	29.02	29.64
붕괴시작시간	hr	27.54	27.96

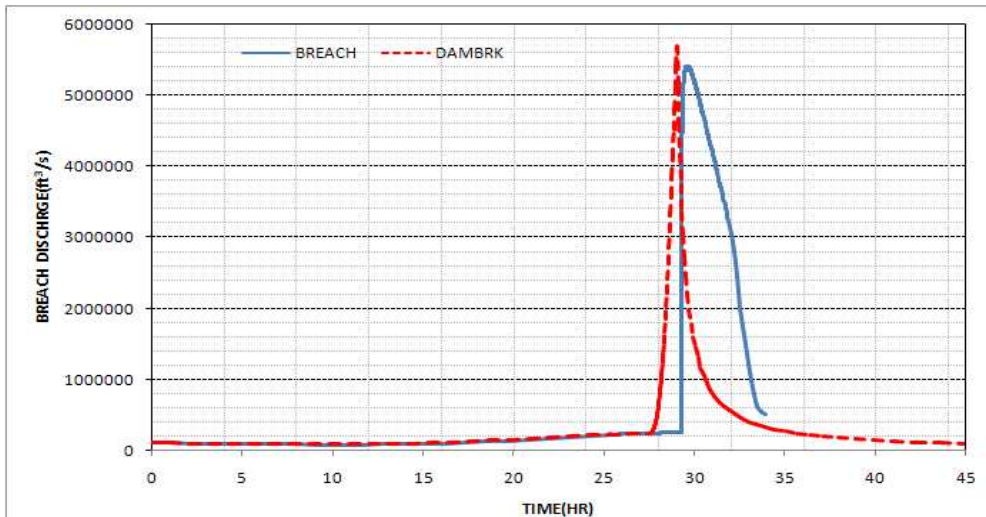


그림 1. 댐 붕괴 유출수문곡선 비교

### 4. 결론

댐 붕괴해석을 위하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 DAMBRK 모형은 토사의 이송을 고려하지 않으므로 댐 축조재료의 물리적 특성을 고려한 BREACH 모형이 더 실제와 유사한 추적을 할 수 있을 것이라 판단된다. 본 연구에서는 BREACH 및 DAMBRK 모형을 국내 흙댐 중 하나인 안동댐에 적용하여 비교해 보았다.

두 모형 모두 저류방정식에 기초하여 저수지 수위를 계산하므로 두 모형의 붕괴 시작 시간은 유사하였다. 그러나 DAMBRK 모형은 붕괴부 폭이 시간에 따라 선형적으로 변화한다고 가정한 반면, BREACH 모형에서는

시간에 따라 토사침식을 고려한 붕괴단면을 계산하여 점진적인 형태로 나타낸다. 따라서 BREACH 모형은 일정 수위까지 붕괴가 매우 서서히 진행되다가 급격하게 붕괴유출량 증가폭이 커지는 데 비하여 DAMBRK 모형은 붕괴 시작과 동시에 붕괴유출량이 급격하게 커지는 경향을 보였다. 또한 최대총유출량은 BREACH 모형이 DAMBRK 모형에 비해 약 5% 작게 산정되었지만, 34시간까지의 유출 총량은 DAMBRK 모형에 비하여 BREACH 모형이 약 16% 더 크게 나타났다.

BREACH 모형과 DAMBRK 모형을 실제 댐에 적용하여 얻어진 두 붕괴유출수문곡선의 비교를 통해서 댐 체체의 재료특성이 유출특성에 미치는 영향을 파악할 수 있었지만, 더 정확한 영향성을 파악하기 위하여 지속적인 비교연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술혁신사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구성과입니다.

## 참 고 문 헌

1. 한건연, 이종태, 이원환(1985). Earth Dam 파괴로 인한 유출 수문곡선의 유도, 대한토목학회 논문집, pp. 41-50.
2. 강태호(1991). 흙댐의 물리적 특성치와 붕괴 유출수문곡선, 석사학위논문, 경기대학교.
3. 이종태, 윤세의, 한건연, 강태호(1991). 흙댐의 물리적 특성치가 붕괴 유출 수문곡선에 미치는 영향, 한국수자원학회 수자원논총, 제 33권, pp. 196-206.
4. 이정규, 전세호(2003). 팔당댐 방류량에 따른 한강변 도로시설물의 침수구역 예측, 한국수자원학회 학술발표논문집, pp. 751-754.
5. 동부엔지니어링(2007). 안동댐 비상여수로 건설공사 댐 가상붕괴시 홍수해석 보고서.
6. 최병규, 강태호, 정요한, 고재형, 김강모(2008). 댐 붕괴 홍수류해석을 위한 1차원 모형의 비교 연구, 한국수자원학회 학술발표논문집, pp. 1765-1769.
7. Fread, D. L. (1984). DAMBRK : The NWS DAM-Break Flood Forecasting Model.
8. Fread, D. L. (1988). BREACH : An erosion model for earthen dam failure.
9. French, R. H. (1985). Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New York.
10. Ponce, V. M., and A. J. Tsivoglou.(1981). Modeling of Gradual Dam-Breaches, ASCE.107(6), pp. 829-838.