

OE5) 댐 붕괴형상에 따른 댐붕괴 모의

박기범*, 지흥기¹, 이순탁¹

안동과학대학 건설정보과, ¹영남대학교 건설환경공학과

1. 서 론

최근들어 지구온난화와 엘니뇨등 기상이변이 발생하는 예가 점점 증가함에 따라 지역적으로 이상호우의 발생이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 이상홍수는 침투유량의 급증과 도달시간이 단축됨에 따라 피해를 증가시킬 수 있는 위험을 가지고 있다. 이상홍수에 의한 극한 상황에 댐이 붕괴할 수 있는 위험을 내포하고 있으며 이에 따른 댐의 붕괴에 따른 해석이 필요하다.

댐의 붕괴는 하류지역에 큰 피해를 줄 수 있으며 여러 가지 가상시나리오에 침투유량을 해석하여 이에 대한 대처가 필요하다. 댐의 붕괴를 유발할 수 있는 상황은 크게 댐 정부로 월류가 일어나는 경우와 댐 본체에 직접적으로 물리력이 작용하여 안전에 심각한 문제를 초래하는 경우로 구분할 수 있다.

MacDonald(1984)등은 기왕에 관측된 댐 붕괴 특성을 분석한 바 있다. 여기서 모든 댐의 결괴부 형상은 2 : 1의 측면경사(V : H)를 가지는 초기 삼각형 형태의 붕괴부가 발달하여 그 저부가 댐의 바닥까지 도달한 후 연직방향의 확대가 중지되고 횡방향으로 침식이 발달하게 되며, 이로 인하여 2 : 1의 측면경사를 가지는 사다리꼴 형태가 되는 것으로 결론을 내리고 있다. 물론 이 경우에는 붕괴부의 크기가 댐의 크기보다는 작아야 한다. Houston(1985)은 MacDonald(1984)등의 자료를 사용하여 양질의 재료로 적절하게 건설된 흙 댐의 붕괴 형상은 초기 붕괴부의 저부 폭과 깊이가 동일한 1 : 1의 측면경사를 가지는 사다리꼴로 가정하였으며, 침식이 발생할 수 있는 댐 저부의 기초부까지 확장된다고 결론지었다. 댐이 건설된 지 오랜 시간이 경과되고 공학적인 이해가 부족한 상태에서 설계된 댐 또는 불량한 축조재료를 사용하여 건설된 댐은 더 큰 붕괴 규모를 나타낼 수도 있다.

본 연구에서는 극한홍수에 의해 댐 붕괴형상과 붕괴시간에 따른 침투홍수량을 DAMBRK모형을 이용하여 침투유량을 산정하였다.

2. 재료 및 실험 방법

댐의 붕괴는 파괴 형상(사각형, 삼각형, 사다리꼴형)에 따른 파괴시간(τ), 파괴 저부 최종 폭(b), 기타 형상변수(z) 같은 매개변수들을 이용하여 수학적으로 설명할 수 있다. 매개변수에 의한 접근방법은 댐 붕괴에 의한 홍수의 예측에 대해 대표성, 광범위한 적용성, 실제 파괴 상황의 역학적인 불확실성 등의 이유로 인한 어려움을 간편하게 극복할 수 있어 편리하다.

형상계수(z)는 파괴단면의 경사이다. 즉, 연직거리에 대한 수평거리의 비(1 : z)를 나타낸

다. z 값은 0에서 일정한 크기로 변화하며, 그 값은 댐을 구성하고 있는 다져지거나 젖은 재료나 파괴가 발달하게 되는 부분의 재료의 안식각에 의해 결정된다. 사각형이나 삼각형 또는 사다리꼴 등의 형태는 z 값이나 b 값의 다양한 조합으로 규정할 수 있다. 예를 들어 $z=0$ 이고 $b>0$ 인 경우에는 사각형태의 파괴가 일어나고 $z>0$ 이고 $b=0$ 라면 삼각형태의 파괴가 일어난다. 파괴저부 최종 폭(b)은 파괴 평균 폭(\bar{b})와 연관이 있으며, 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$b = \bar{b} - zH_d \quad (1)$$

여기서, H_d 는 댐의 높이이다. 매개변수를 이용한 댐 파괴모의에서 파괴저부 폭은 댐의 정부에 위치한 어느 한 지점에서 시작하여 선형이나 비선형 비율로 최종 저부 폭(b)에 도달할 때까지의 시간이나 파괴저부가 서서히 침식하여 최소높이 h_{bm} 에 도달할 때까지의 시간인 파괴시간(τ)에 걸쳐 점차 성장한다. 파괴부의 즉각적인 저부 높이는 다음 식 (2)와 같이 시간(t_b)의 함수로 나타낼 수 있다.

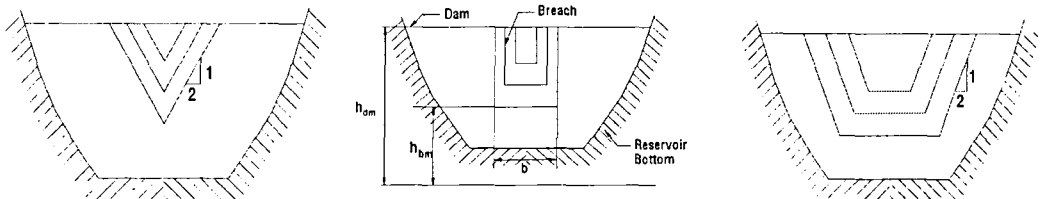
$$h_b = h_d - (h_d - h_{bm})(t_b/\tau)^\rho, \quad 0 \leq t_b \leq \tau \quad (2)$$

여기서, h_d 는 댐 정부의 높이, h_{bm} 은 일반적으로 파괴 저부의 최종 높이를 나타내지만, 필요에 따라 저수지 저부 높이나 방류수로 저부의 높이를 사용할 수도 있다. t_b 는 파괴형상 발생 이후의 경과시간, ρ 는 비선형 정도를 나타내는 매개변수이다. 즉, $\rho=1$ 이면 선형을 나타내고 그 이상이면 비선형을 나타낸다. ρ 의 범위는 $1 \leq \rho \leq 4$ 이며, 일반적으로 선형을 따른다고 가정한다. 파괴부의 즉각적인 저부 폭(b_i)은 다음과 같이 주어진다.

$$b_i = b(t_b/\tau)^\rho, \quad 0 \leq t_b \leq \tau \quad (3)$$

Table 1. Characteristics of dam failure section

Type of dam	Breach ave. width(\bar{b})	Breach time(hrs)
Fill(well constructed)	$H_d \leq \bar{b} \leq 3H_d$	$0.5 \leq T \leq 3.0$
Fill	$H_d \leq \bar{b} \leq 3H_d$	$0.1 \leq T \leq 0.5$
Concrete(Gravity)	$\bar{b} \geq 0.5W$	$T \leq 0.2$
Concrete(Arch)	$\bar{b} \geq 0.8W$	$T \leq 0.1$



(a) Triangle shape($Z>0, b=0$) (b) Rectangular shape($Z=0, b>0$) (c) Trapezoid shape($Z>0, b>0$)

Fig. 1 Fill dam breach shapes

댐 형식에 따른 댐 붕괴의 주요 원인은 Table 2와 같으며, 댐의 파괴시 고려해야 할 중요한 변수로는 계산에 사용되는 시간간격(τ)의 설정과 콘크리트 아치 댐 이외의 댐에 대한 적용성의 한계 등이 있다.

Table 2. Principal causes of failure of dams

Type of dam	Cause of failure
Earth dam	Overtopping Piping Foundation Wave action
Gravity dam	Sliding Overturning Foundation
Arch dam	Rockslides Saturation Excessive loading from extreme floods Shear Overtopping cause washing out of the foundation

*Dam Breach Modeling Technology(VJ. P. Singh)pp. 29

3. 분석결과

본 연구에서는 낙동강 유역의 7개 댐의 붕괴 모의를 수행하기 위해 각 댐의 제원에 대한 기초 자료를 수집하였으며 댐 붕괴 모의를 수행하기 위한 주요 제원은 다음 Table 3.과 같다.

Table 3. Characteristics of dams

Characteristics \ dam	Andong	Imha	Hapchun	Namgang	Milyang	Youngchun	Unmun
Type of dan	ECRD	ECRD	CG	CFRD	CFRD	ECRD	ECRD
Dam height(m)	83.0	73.0	96.0	34.0	89.0	42.0	55.0
Total Storage(106m3)	1,248.0	595.0	790.0	309.2	73.6	96.4	135.3
PMF Inflow(m3/s)	9,913.0	9,362.0	8,984.0	14,892.0	3,054.0	2,959.0	7,594.0
Surface area(km2)	60.0	31.0	30.3	53.0	2.5	7.2	7.8
Top of dam length(m)	612.0	515.0	472.0	1,126.5	535.0	300.0	407.0
Top of crest width(m)	8.0	10.0	10.0	7.5	10.0	10.0	10.0
Upper slope of dam(1V:H)	2.0	2.2	0.1	1.5	1.4	2.7	2.2
Lower slope of dam(1V:zH)	1.7	1.8	0.8	1.5	1.4	2.0	1.8
Core slope(1V:zH)	0.18	0.25	-	0.25	0.30	0.20	0.20
Foundation width(m)	200.0	200.0	75.0	135.0	230.0	160.0	138.0

본 연구에서는 월류에 의한 댐의 붕괴 모의를 수행하기 위해 상시만수위 조건에서 각 댐으로 가능최대홍수량(PMF)이 유입되고 댐에서 방류가 가능한 모든 경로를 통해 최대방류가 이루어지는 상황을 채택하였다.

Table 4. Results of Dam failure discharge by DAMBRK (Units : m³/s)

dam		Andong	Imha	Hapchun	Namgang	Milyang	Youngchun	Unmun
Classifications								
Bavr	Bb(m)	55.3	48.3	61.0	17.0	59.3	28.0	36.7
	T(hr)							
1Hd	1.0	154,159	108,423	(0.1hr) 94,686	(0.1hr) 23,667	(0.1hr) 159,000	25,717	42,596
	2.0	145,645	98,959	(0.2hr) 94,206	(0.2hr) 23,716	(0.2hr) 129,723	22,717	37,291
	3.0	137,568	90,088	-	(1.0hr) 24,063	(1.0hr) 40,345	20,094	32,017
Bavr	Bb(m)	110.7	97.7	122.0	34.0	118.7	56.0	73.3
	T(hr)							
2Hd	1.0	221,818	145,400	(0.1hr) 148,682	(0.1hr) 35,690	(0.1hr) 217,403	35,133	58,556
	2.0	204,309	125,153	(0.2hr) 146,321	(0.2hr) 35,653	(0.2hr) 163,388	29,173	47,116
	3.0	187,839	106,580	-	(1.0hr) 35,343	(1.0hr) 43,494	24,027	37,145
Bavr	Bb(m)	166.0	146.0	183.0	68.0	178.0	84.0	110.0
	T(hr)							
3Hd	1.0	283,917	166,193	(0.1hr) 280,616	(0.1hr) 48,907	(0.1hr) 263,248	43,528	72,551
	2.0	254,371	135,274	(0.2hr) 276,699	(0.2hr) 47,660	(0.2hr) 184,169	33,580	53,231
	3.0	226,701	113,929	-	(1.0hr) 46,589	(1.0hr) 45,512	25,808	39,129

4. 결과 및 고찰

댐의 붕괴형상과 붕괴시간에 따른 시나리오를 설정하여 DAMBRK 모형에 의해 댐 붕괴 모의를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 분석 결과에 따르면 모든 댐에 있어 침투유량은 붕괴부 폭의 크기에 비례하고 붕괴부 형성시간에 반비례(남강댐 붕괴부 평균 폭이 $1H_d$ 인 경우 제외)하는 것으로 분석되었다. 남강댐의 분석결과에서 붕괴부 평균 폭이 $1H_d$ 인 경우 붕괴부 형성시간이 커질수록 침투유량이 증가하는 것은 유역면적이 $2,285\text{km}^2$ 로 다른 댐들보다 월등히 커(예 : 안동댐 $1,584\text{km}^2$, 밀양댐 95.4km^2) 유역에 발생한 강우가 댐으로 유입되는 시간이 커지기 때문이다. 또한 전체 댐의 분석결과로 볼 때 DAMBRK 모형에 의해 산정된 침투유량은 댐의 높이에 가장 민감한 것으로 분석되었으며, 이는 댐의 높이가 높아질수록 붕괴부의 면적이 급격히 증가하기 때문이다.

DAMBRK 모형에 의해 댐 붕괴모의를 실시한 결과 붕괴부의 평균 폭이 $3H_d$ 이고 붕괴부 형성시간이 1시간인 경우(콘크리트 댐과 표면차수벽형 댐의 경우 0.1시간) 최대 침투홍

수량이 발생하는 것으로 나타났다. 밀양댐의 경우 안동댐의 경우에 버금가는 침투유량을 나타내는 것으로 분석되었으며, 이는 붕괴 양상의 가정에서 평균 폭이 $3H_d$ 인 경우를 선정한 결과로, 밀양댐의 경우 댐 높이가 89m 로 안동댐의 83m 보다 더 크기 때문에 붕괴부의 규모가 7개 댐 가운데 가장 커지게 되었기 때문이다. 그러나 밀양댐의 경우 저류용량이 작기 때문에 붕괴홍수의 지속시간은 가장 짧은 것으로 분석되었다.

본 연구에서 댐붕괴 수치모의를 한 결과 붕괴시 침투유량에 대하여 하류지역의 대처방안 수립과 침수에 따른 피해방지대책 및 대피경로등을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 요 약

댐 붕괴형상에 따른 시나리오를 설정하여 DAMBRK 모형에 의해 댐 붕괴모의를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

DAMBRK 모형에 의해 댐 붕괴모의를 실시한 결과 붕괴부의 평균 폭이 $3H_d$ 이고 붕괴부 형성시간이 1시간인 경우(콘크리트 댐과 표면차수벽형 댐의 경우 0.1시간) 최대 침투홍수량이 발생하는 것으로 나타났다. 밀양댐의 경우 안동댐의 경우에 버금가는 침투유량을 나타내는 것으로 분석되었으며, 이는 붕괴 양상의 가정에서 평균 폭이 $3H_d$ 인 경우를 선정한 결과로, 밀양댐의 경우 댐 높이가 89m 로 안동댐의 83m 보다 더 크기 때문에 붕괴부의 규모가 7개 댐 가운데 가장 커지게 되었기 때문이다. 그러나 밀양댐의 경우 저류용량이 작기 때문에 붕괴홍수의 지속시간은 가장 짧은 것으로 분석되었다.

본 연구에서 댐붕괴 수치모의를 한 결과 붕괴시 침투유량에 대하여 하류지역의 대처방안 수립과 침수에 따른 피해방지대책 및 대피경로등을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Singh. V.J. 1996, Dam Breach Modeling Technology. Kluwer academic pub. pp. 29
- 건설교통부. 1999, 극한홍수 관리기법 개발 pp. 364~367.
- MacDonald, T.C., and Jennifer, .L.M., 1984, Breaching Characteristics of Dam Failure. J of Hydraulics., Vol. 110. pp. 567~586.
- Houston ,M. 1985, Discussion of Breaching Characteristics of Dam Failures by T.C. MacDonald and J. Langridge-Monopolis. J. of Hydraulics Eng. Vol. 85. pp 588~600.
- 한건연, 1986, Fill dam의 파괴에 따른 홍수파예측모형의 개발, 연세대학교 대학원 박사학위논문, pp. 6~10.