

댐 파괴형상에 따른 수문곡선 해석

박 기 범

안동과학대학 건설정보과

(2006년 12월 9일 접수; 2007년 3월 13일 채택)

Analysis of Hydrograph by Dam Breach Shapes

Ki-Bum Park

Department of Construction Information Andong Science College, Gyeongbuk 760-820, Korea

(Manuscript received 9 December, 2006; accepted 13 March, 2006)

In this study is analysis which dams breach shapes are effect on peak discharge of dam-failure. The dam breach shapes and failure time are important peak discharge when dam failure. When dam failure times are 1hr, 2hr and 3hr condition for the ECRD and 0.1hr and 0.2hr for the CG and CFRD that breach shapes changed base length $B_b=1Hd$, $B_b=2Hd$ and $B_b=3Hd$. As the results from DAMBRK(Dam Break model) peak discharge are increase base widths lengthen. As failure time is longer then peak discharge is decrease. So peak discharge is increase more short of dam failure time. Also peak discharge is increase become larger dam breach shapes.

Key Words : Dam breach, Dam break model, Failure time, Simulation

1. 서 론

최근 들어 지구온난화와 엘니뇨등 기상이변이 발생하는 예가 점점 증가함에 따라 지역적으로 이상호우의 발생이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 이상호수는 침투유량의 급증과 도달시간이 단축됨에 따라 피해를 증가시킬 수 있는 위험을 가지고 있다. 이상호수에 의한 극한 상황이 댐을 붕괴할 수 있는 위험을 내포하고 있으며 이에 따른 댐의 붕괴현상에 대한 수문곡선의 해석이 필요하다. 댐의 붕괴는 하류지역에 큰 피해를 줄 수 있으며 여러 가지 가상 시나리오에 침투유량을 해석하여 범람도 작성 및 대피경로 작성등과 같은 대처가 필요하다.

댐 붕괴에 따른 국내외로 연구성과는 미국기상청(National Weather Service, NWS)의 Fread¹⁾은 implicit 수치모형을 이용한 해석을 실시하였으며, Wetmore 등²⁾은 댐 파괴시의 실측자료에 대한 통계 해석을 실시하여 침투유량계산을 위한 근사식을 제안하였다. Hunt³⁾는 Kinematic-Wave approximation에 의하여 순간적인 댐의 파괴형상을 수학적으로

해석하였으며, MacDonald 등⁴⁾은 Fill dam 파괴의 실측자료를 이용하여 기왕에 관측된 댐 붕괴 특성을 분석하여 침투유출량 계산방법을 제시한 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.

Houston⁵⁾은 MacDonald와 Jennifer⁸⁾의 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.

국내에서는 현⁶⁾은 Fill dam의 파괴에 따른 홍수파 해석을 Preissmann implicit scheme에 의하여 효거리 댐의 붕괴시 홍수파 해석을 모의 하였으며, 오 등⁷⁾은 흙댐의 점진적 파괴에 대하여 Breach모형을 사용하여 해석하였다. 또한, 한⁸⁾은 FLDWAV모형과 SMPDBK모형을 이용하여 댐붕괴 수치모형에 대한

Corresponding Author : Ki-Bum Park, Department of Construction Information Andong Science College, Gyeongbuk 760-820, Korea
Phone: +82-53-321-1517
E-mail: pkb5032@naver.com

적용성을 평가하였다.

최근의 이상호우 등이 증가하여 방재개념이 중요한 이슈가 되고 댐이 건설되고 그 사용연한이 오래 되면서 댐의 안정성에 대한 검토와 비상시 대피계획 수립등이 국가정책적으로 추진되고 있는 상황에서 댐의 붕괴에 따른 침투유량과 수문곡선의 산정은 매우 중요한 자료가 된다. 따라서, 본 연구에서는 낙동강 유역에 위치한 댐들에 대하여 댐의 붕괴형상과 붕괴시간에 따른 침투홍수량을 DAMBRK모형을 이용하여 침투유량과 수문곡선을 산정하여 범람도나 재해대책을 수립하기 위한 수문자료로서 제공될 수 있도록 하는 데에 그 목적이 있다.

2. 기본이론

2.1. 댐 붕괴형상과 붕괴시간

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.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 형상계수(z)는 파괴 단면의 경사이다. 즉, 연직거리에 대한 수평거리의 비(1: z)를 나타낸다. 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_t)은 다음과 같이 주어진다.

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

댐 붕괴 상황에서 실제 댐 파괴는 저수지의 수위(h)가 지정된 수위(h_f)를 초과할 경우에만 발생하게 되므로 댐 월류 상황에 대한 모의에서 상당한 양의 물이 댐 정부를 월류하여 댐 하류단 표면에 침식을 일으키기 전에는 댐 파괴가 시작되지 않는다는 것을 고려해야 할 필요가 있다. 또한 댐 붕괴 모의에서는 지정된 붕괴 시작시간(t_f)에 도달했을 때 파괴가 시작되게 할 수도 있다. 관공작용에 의한 댐 붕괴에 관해서는 관공 중심선의 초기 높이를 지정함으로써 식(2) 또는 식(3)을 이용하여 모의할 수 있다.

Table 1은 댐붕괴시 파괴부의 붕괴 특성치에 대

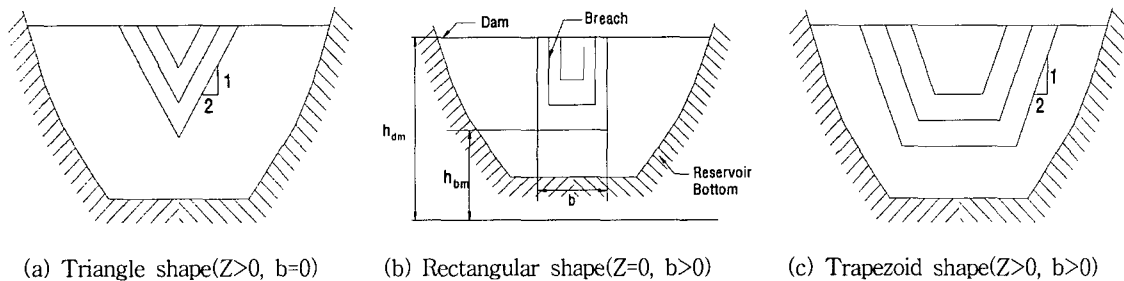


Fig. 1. Fill dam breach shapes.

하여 정리한 것으로 댐의 유형에 따라서 댐의 붕괴 저폭과 붕괴시간을 지금까지의 자료에 대하여 조사한 것을 정리하였다.

여기서, W 는 댐 체체의 길이, H_d 는 댐의 높이이며 \bar{b} 는 붕괴부 평균폭이다.

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.

2.2. DAMBRK 모형의 댐붕괴 유출량 산정이론

DAMBRK 모형을 이용하여 붕괴부의 유출수문곡선을 구하기 위하여 초기조건으로 댐붕괴부의 파괴 시간, 붕괴부의 최종바닥 폭, 붕괴부 측면경사, 붕괴부 바닥의 최종 높이, 초기 저수지수위, 댐붕괴부가 형성되기 시작할 때의 수위, 수위-저류량 관계등이 필요하다.

댐 붕괴로 인한 붕괴 유출량은 임의의 시간 t 에서의 총유출량 Q 로 표시하고 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$Q = Q_s + Q_b \quad (4)$$

여기서, Q_s : 비붕괴부를 통한 유출량
 Q_b : 붕괴부를 통한 유출량

비 붕괴부를 통한 유출량 Q_s 는 식(5)로부터 구할 수 있다.

$$Q_s = K_{sp} C_s L_s (h - h_s)^{1.5} + \sqrt{2g} C_g A_g (h - h_g)^{0.5} + K_d C_d L_d (h - h_d)^{1.5} + Q_t \quad (5)$$

여기서, K_{sp} : 하류부 수위에 대한 잠수보정계수
 C_s : 조절되지 않은 여수로의 유량계수
 h_s : 조절되지 않은 여수로 정부의 수위
 C_g : 고정된 수문을 가진 여수로의 유량계수
 h_g : 수문개구부 중심부의 수위
 K_d : 하류부 수위에 대한 잠수계수
 C_d : 댐 정부를 월류하는 흐름에 대한 유량계수
 L_s : 여수로의 길이
 A_g : 수문을 통과하는 유량에 대한 면적
 L_d : 댐 정부의 길이
 Q_t : 수두와 상수 또는 시간에 대한 변수인 유출량

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)	$\bar{b} \geq 0.5 W$	$T \leq 0.2$
Concrete (Arch)	$\bar{b} \geq 0.8 W$	$T \leq 0.1$

Table 2. Principal causes of failure of dams

Type of dam	Cause of failure
Earth dam	Overtopping
	Piping
	Foundation
	Wave action
Gravity dam	Sliding
	Overtopping
	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. 29⁹⁾

한편 붕괴부를 통한 유출량, Q_b 는 월류과괴인 경우 넓은 마루 웨어식을 이용하여 식(6)에서 계산된다.

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

여기서, C_v : 접근유속에 대한 보정계수

b_i : 순간적인 붕괴부의 저면폭

h : 댐 직상류부의 수위

h_b : 붕괴부의 최저면 수위

K_s : 하류부 수위에 의한 잠수보정계수

3. 댐 붕괴형상과 시간에 따른 침투유출량 산정

3.1. 분석대상댐의 개요

본 연구에서는 낙동강 유역의 7개 댐의 붕괴 모의를 수행하기 위해 각 댐의 제원에 대한 기초 자료를 수집하였으며 안동댐, 입하댐, 영천댐, 운문댐은 ECRD댐의 형식이며, 합천댐은 CG댐, 남강댐, 합천댐은 CFRD댐으로 조사되었다. 댐의 높이는 합천댐이 가장 높았으며 영천댐이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 남강댐은 총저수용량에 비해 PMF유입량이 가장 큰 것으로 조사되었으며, 댐의 기초폭은 밀양댐이 가장 큰 것으로 조사되었다. 대부분이 다목적

댐으로 붕괴 모의를 수행하기 위한 주요 제원은 다음 Table 3과 같다.

DAMBRK모형을 이용하여 댐의 붕괴 모의를 하기 위해 초기조건으로 상시만수위 조건에서 각 댐으로 가능최대홍수량(PMF)이 유입되고 댐에서 방류가 가능한 모든 경로를 통해 최대방류가 이루어지는 상황을 채택하였다. 댐 붕괴모의시 사용된 변수들은 Table 4와 같으며 비붕괴부 방류에 대한 계수들의 값은 별도로 유량계수등에 의한 월류량이 계산되는 조건으로 분석하지 않고 최대방류량을 입력하여 분석하였다.

댐 붕괴 모의에서 침투유량은 붕괴시간과 붕괴부 평균폭에 가장 민감하게 반응하므로 붕괴부 형성시간과 붕괴부 평균폭을 변화시키면서 각각의 경우에 대해 댐 붕괴모의를 수행하였다.

붕괴부 형성시간은 콘크리트 중력식댐인 합천댐과 표면차수벽형 댐인 남강댐, 밀양댐의 경우 콘크리트 댐의 붕괴부 형성시간이 0.2시간 이내가 되는 점을 감안하여 0.1시간, 0.2시간으로 구성하였으며, 그 외 모든 댐이 토석댐인 것을 감안하여 붕괴부 형성시간을 1.0시간, 2.0시간, 3.0시간으로 구성하였다. 붕괴부 평균 폭(B)은 댐 높이(H_d)를 기준으로 $1 \times H_d$, $2 \times H_d$, $3 \times H_d$ 로 가정하여 각각의 경우에 대한 붕

Table 3. Characteristics of dams

Characteristics \ dam	Andong	Imha	Hapchun	Namgang	Milyang	Youngchun	Unmun
Type of dam	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($10^6 m^3$)	1,248.0	595.0	790.0	309.2	73.6	96.4	135.3
PMF Inflow(m^3/s)	9,913.0	9,362.0	8,984.0	14,892.0	3,054.0	2,959.0	7,594.0
Surface area(km^2)	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

Table 4. Dam breach parameters

Parameters \ dam	Andong	Imha	Hapchun	Namgang	Milyang	Youngchun	Unmun
Elevation of water surface (EL.m)	165.99	168.00	181.00	51.00	212.50	162.00	511.81
Elevation of bottom of breach(EL.m)	82.99	95.00	88.00	27.00	123.50	120.00	345.80
Elevation of water when breached(EL.m)	166.59	168.60	181.60	51.60	213.10	162.60	513.70
Uncontrolled weir flow(m^3/s)	1,774.0	830.0	760.0	1,814.0	861.9	483.3	700.0
Turbine discharge(m^3/s)	82.0	122.0	119.0	102.0	2.98	100.0	-

댐 파괴형상에 따른 수문곡선 해석

피모의가 이루어지도록 하였으며, 붕괴부 측면경사는 기존의 여러 연구에서 적용한 바 있는 기준을 참고하여 콘크리트 중력식 댐인 합천댐의 경우 1:0의 붕괴부 측면경사를 가지며 나머지 모든 댐에서 1:1의 붕괴부 측면경사를 가지는 것으로 가정하였다. 분석대상 댐의 붕괴부와 최대 유량일 때의 수문곡

선을 Fig. 2~Fig. 15에 나타내었다.

각 붕괴형상과 붕괴시간별로 분석대상 7개 댐에 대하여 DAMBRK모형을 이용하여 모의한 결과 붕괴저쪽에 따라 붕괴시간이 짧을수록 첨두붕괴치가 크게 나타났으며 수문곡선의 형태는 급하게 상승하는 것으로 나타났다. 콘크리트 댐인 합천댐, 남강댐,

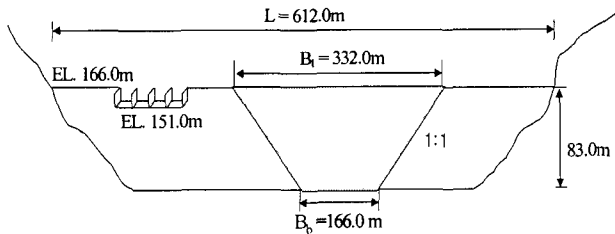


Fig. 2. Breach Shape of Andong dam.

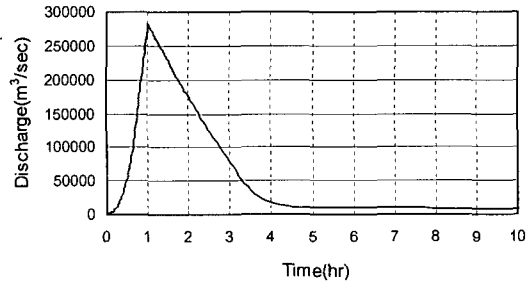


Fig. 3. Andong dam Hydrograph by DAMBRK.

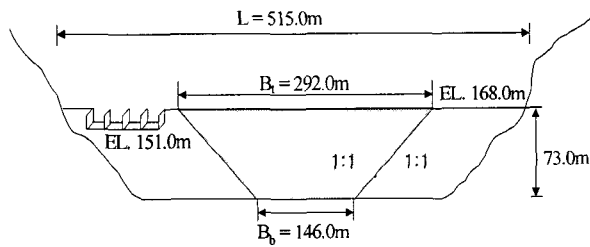


Fig. 4. Breach Shape of Imha dam.

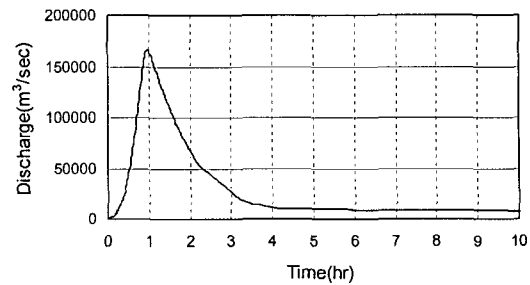


Fig. 5. Imha dam Hydrograph by DAMBRK.

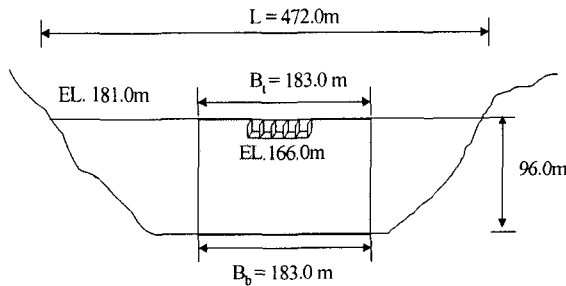


Fig. 6. Breach Shape of Hapchun dam.

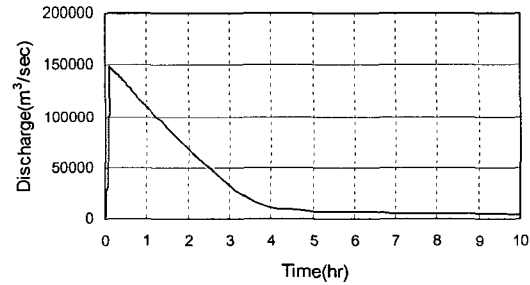


Fig. 7. Hapchun dam Hydrograph by DAMBRK.

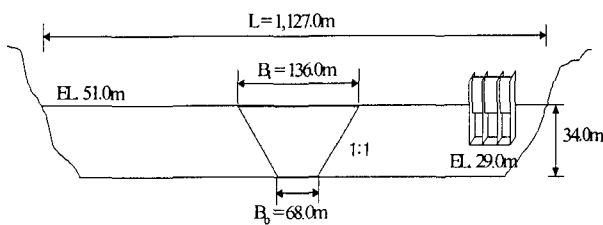


Fig. 8. Breach Shape of Namgang dam.

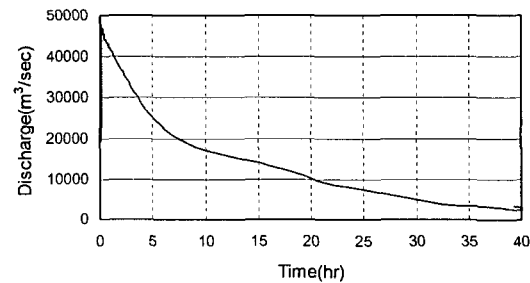


Fig. 9. Namgang dam Hydrograph by DAMBRK.

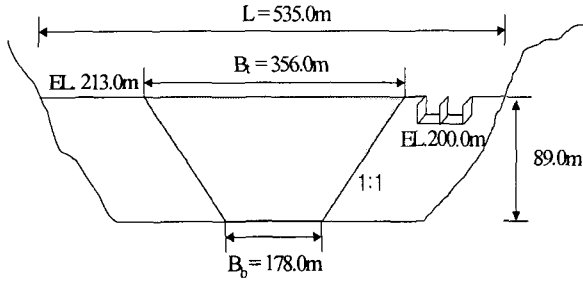


Fig. 10. Breach Shape of Milyang dam.

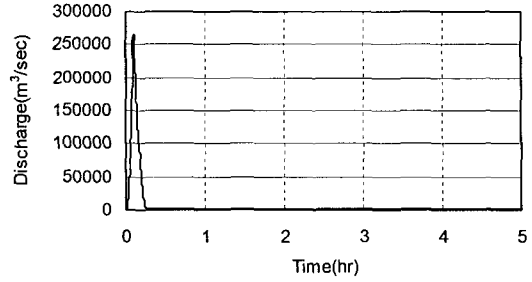


Fig. 11. Milyang dam Hydrograph by DAMBRK.

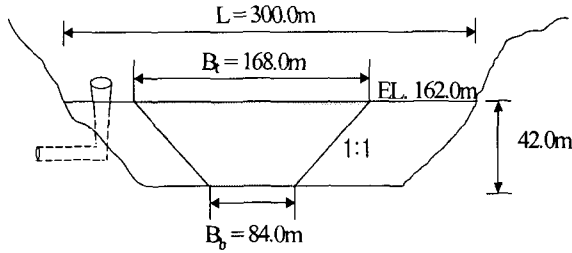


Fig. 12. Breach Shape of Youngchun dam.

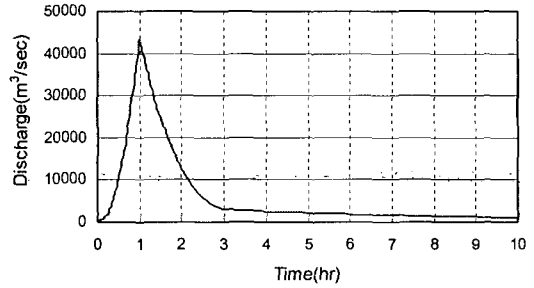


Fig. 13. Youngchun dam Hydrograph by DAMBRK.

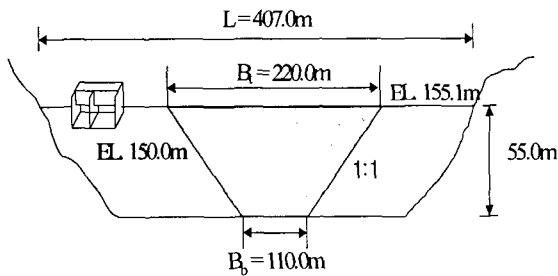


Fig. 14. Breach Shape of Unmun dam.

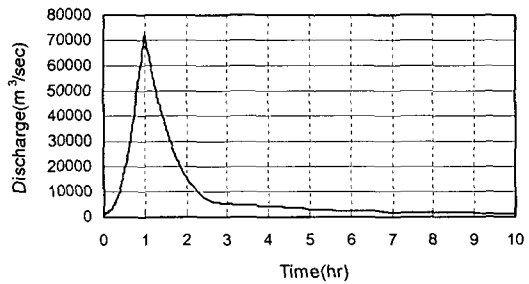


Fig. 15. Unmun dam Hydrograph by DAMBRK.

밀양댐의 경우 붕괴시간이 0.1 시간에서 최대 홍수량이 나타났다. 붕괴시 침투유량을 비교하여 보면 안동댐이 최대 용적을 가지고 있으나 저폭이 $3 \times H_d$ 의 상태에서 붕괴시간이 1 시간일 때 $283,917 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 최대 유량 발생하였으나, 합천댐과 남강댐의 경우 $3 \times H_d$ 이고 붕괴시간이 0.1 시간일 경우 안동댐과 거의 비슷한 유량이 발생하여 붕괴시 위험이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 안동댐과 달리 붕괴시간이 짧기 때문에 위험도는 더욱 커질 것으로 판단된다.

각 댐의 붕괴형상과 시간에 따른 DAMBRK모형에 의한 최대유량은 Table 5와 같다.

4. 결 론

댐의 붕괴형상과 붕괴시간에 따른 시나리오를 설

정하여 DAMBRK 모형에 의해 댐 붕괴모의를 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 95.4 km^2) 유역에 발생한 경우가 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.

Table 5. Results of Dam failure discharge by DAMBRK

(Units : m³/s)

Classifications		dam	Andong	Imha	Hapchun	Namgang	Milyang	Youngchun	Unmun
B _{avr}	T(hr)	B _b (m)	55.3	48.3	61.0	17.0	59.3	28.0	36.7
	1.0		154,159	108,423	(0.1hr) 94,686	(0.1hr) 23,667	(0.1hr) 159,000	25,717	42,596
1Hd	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
B _{avr}	T(hr)	B _b (m)	110.7	97.7	122.0	34.0	118.7	56.0	73.3
	1.0		221,818	145,400	(0.1hr) 148,682	(0.1hr) 35,690	(0.1hr) 217,403	35,133	58,556
2Hd	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
B _{avr}	T(hr)	B _b (m)	166.0	146.0	183.0	68.0	178.0	84.0	110.0
	1.0		283,917	166,193	(0.1hr) 280,616	(0.1hr) 48,907	(0.1hr) 263,248	43,528	72,551
3Hd	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

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 89 m 로 안동댐의 83 m 보다 더 크기 때문에 붕괴부의 규모가 7 개 댐 가운데 가장 커지게 되었기 때문이다. 그러나 밀양댐의 경우 저류용량이 작기 때문에 붕괴홍수의 지속시간은 가장 짧은 것으로 분석되었다.

본 연구에서 댐붕괴 수치모의를 한 결과를 이용하여 하류지역의 대처방안수립과 침수에 따른 피해 방지대책 및 대피경로 등을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Fread D. L., 1980, Capabilities of NWS model to forecast flash floods caused by dam failures, Proc. of 2nd Conference on Flash Floods, American Metero. Soc., 171-178.
- 2) Wetmore J. N., Fread D. L. 1981, The NWS simplified dam break flood forecasting model,

- Proc. of 5th Canadian Hydrotechnical Conference Frederiction, Canada, 1-13.
- 3) Hunt B., 1984, Dam break solution, Journal of Hydraulics ASCE, 110(6), 675-686.
- 4) MacDonald T. C., Jennifer L. M., 1984, Breaching characteristics of dam failure. J. Hydraulics., 110(5), 567-586.
- 5) Houston M. 1985, Discussion of breaching characteristics of dam failures by T. C. MacDonald and J. Langridge-Monopolis. J. Hydraulics Eng., 85. 588-600.
- 6) 한건연, 1986, Fill dam의 파괴에 따른 홍수파에 측모형의 개발, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 6-10.
- 7) 오남선, 선우중호, 1989, 흙댐의 점진적 붕괴에 관한 연구, 한국수문학회지 논문집, 22(2), 213-221.
- 8) 한건연, 이재영, 이을래, 송재우, 1998, 댐 붕괴 수치모형에 대한 적용성 평가, 한국수자원학회 논문집, 31(2), 189-198.
- 9) Singh V. J., 1996, Dam breach modeling technology. Kluwer academic pub. 29.
- 10) 건설교통부, 1999, 극한홍수 관리기법 개발 364-367.