버트리스댐의 최적 스크린 간격에 대한 연구

Study on Optimum Screen Spacing of Buttress Dam

김성태* · 김정주** · 견태수*** · 유한규****

Kim, Sungtae*, Kim, Jungjoo**, Kyeon, Taesu***, and Yoo, Hankyu****

Abstract

Recently, the damage caused by debris flow has increases rapidly in Korea. The research on the protection system for debris flow has been actively studied. In particular, the debris dam has a tendency to be installed much because environmental damage is small. In case of a debris dam, the arrangement and size of screen spacing are an important factor in designing the debris dam. Accordingly, purpose of this study is determining optimum screen spacing based on impact load and capture ratio. And in this study, six debris samples of various particle size distribution were used. The scaled physical modeling experiments reduced to 1/30 were performed considering five different screen spacing. Base on the results, impact load acting on the dam as the screen spacing of the buttress dam increases was reduced by 46%, and capture ratio was affected by that. Accordingly, optimum screen spacing is proposed considering two influencing factors.

Key words : Debris Flow, Buttress Dam, Screen Spacing, Capture Ratio, Particle Size Distribution, Impact Load

요 지

최근 우리나라에서 토석류에 의한 피해가 급증하여 이에 대한 토석류 방호시설에 대한 연구가 활발해지고 있다. 그 중 투과형 사방댐이 환경훼손이 적어 많이 시공되는 경향을 보이고 있다. 투과형 사방댐의 경우 토석류의 형태와 스크린의 간격이 투과형 사방댐을 설계함에 있어서 중요한 인자가 될 것이다. 따라서, 충격하중과 차집률을 고려하여 최적의 스크린 간격을 도출하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다. 이에 본 연구에서는 6가지 다양한 토석류의 입도분포를 사용하고, 5가지의 다양한 스크린 간격을 고려하여 1/30으로 축소된 실내모형을 제작 및 수행하였다. 실험의 결과, 버트리스댐의 스크린 간격이 증가함에 따라 댐에 가해지는 충격하중이 크게 46%까지 감소하였고, 차집률에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 이에 2가지 영향인자를 고려하여 최적의 스크린 간격을 제안하였다.

핵심용어 : 토석류, 버트리스댐, 스크린 간격, 차집률, 입도분포, 충격하중

1. 서 론

우리나라 지형의 70% 이상이 산지로 구성되어 있으며, 이상기후로 인한 슈퍼 태풍과 강우 집중 현상으로 비탈면에 서의 토석류(Debris flow)발생의 빈도가 높아지고 그 규모

또한 커지고 있다. 토석류는 급경사의 계곡에서 발생되는 암석, 모래, 물 등의 혼합물 흐름현상으로 정의되며, 토석류 특성상 빠른 속도로 계곡 하부 지역을 향해 발생하므로 피해를 막을 수 없는 현실이다. 따라서, 이와 같은 토석류 발생 시 토석류 흐름을 제어하는 사방댐의 역할이 대두되고

*교신저자, 정회원, ¹한양대학교 건설환경공학과 박사과정

²대흥미래기술 대표(Tel: +82-31-608-9596, Fax: +82-31-624-9599, E-mail: kst@dhft.co.kr)

Corresponding Author, Member, ¹Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

²President, Daeheung Future Technology

**정회원, 한양대학교 건설환경공학과 박사 후 연구원(E-mail: lineup011@hanyang.ac.kr)

Member, Ph.D., Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

***한양대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail: rusxotn703@naver.com)

Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

****한양대학교 건설환경공학과 교수(E-mail: hankyu@hanyang.ac.kr)

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

있으며 사방댐의 종류와 토석류 제어 효율에 대한 연구가 진행되고 있다.

사방댐은 불투과형 댐과 투과형 댐으로 구분되며 불투과형댐의 경우 모든 토석류의 흐름을 제어하는 역할을 하며 주로 중력식 콘크리트 댐이 사용된다. 투과형 댐의 경우 스크린을 이용하여 큰 입도의 암석과 유목을 포착하고 물과 입도가 작은 모래, 자갈은 통과시키는 형식으로 강재스크린 형태의 슬릿형댐과 버트리스댐을 말한다. 토석류에 대한 연구동향으로는 흐름 경사도에 따른 토석류의 흐름 분석(Lee et al., 2016), 토석류 흐름 상태 특성 파악을 위한 모형실험(Kim et al., 2008), 토석류의 충격하중에 대한 모형실험(Kim et al., 2010)이 이루어졌지만 토석류의 흐름과 충격하중에 영향을 줄 수 있는 스크린의 종류와 간격에 따른 연구는 미비한 상황이다. 국외에서는 다양한 토석류 발생 조건을 고려하여 실내 실험뿐만 아니라 실험모형의 규모를 확장하여 현장에서의 비슷한 조건으로 실험환경을 조성하여 토석류 실험을 진행하였다(Iverson, 2015). 특히, 투과형댐은 슬릿형(Slit-type)과 스크린(Screen-type)으로 나뉘며 슬릿형의 경우 슬릿의 배치에 따른 토석류 흐름에 대한 연구(Choi et al., 2015; Johnson and McCuen, 1989; Silva et al., 2016)는 국내·외에서 진행되고 있지만 버트리스댐의 스크린 강재 간격에 따른 충격하중 분포와 차집률에 대한 연구는 미비한 실정이다.

보통 버트리스댐의 슬릿간격은 토석의 직경에 따라 결정되나 토석의 입도분포별로 스크린 크기에 따라 버트리스댐에 작용되는 충격하중과 투과형 사방댐의 목적인 차집률을 분석한 연구는 미비하다. 본 연구에서는 토석의 직경, 스크린 간격, 차집률, 충격하중을 고려하여 최적의 스크린 간격을 제안하고자 한다.

2. 버트리스댐의 설계방법

버트리스댐의 설계 시 원계상물매가 1/20 이상의 계류를

대상으로 하여 토석류가 발생 유하 및 퇴적하는 구간에 토석류를 포착할 목적으로 설치하며 버트리스댐을 배치할 경우 계안의 사면이 안정된 지점을 선택하여 사면으로부터 토석류, 산사태 및 눈사태 등에 의해 사방댐의 안정이 손상되지 않도록 함과 동시에 토석류의 직진성이 높다는 것을 고려하여 투과부 단면을 설정한다(Chun et al., 2005). 버트리스댐은 주벽, 부벽, 기초 판으로 구성되며, 3개의 부재가 일체가 되어 안정되도록 단면을 설계하며 버트리스댐의 각 부재에 작용하는 응력과 단면의 크기는 재료의 특성과 구조에 따라 달라진다(Korea Forest Service, 2014). Osanai et al. (2010)의 투과형 사방댐 설계 시 토석류에 의한 하중을 Fig. 1과 같이 도식화하였다. 버트리스댐의 경우 투과부 단면에 배치되는 스크린 강재의 위치에 따라 다르게 작용되는 토압과 유체력을 산정하여 각 스크린 강재가 받는 응력을 허용응력 설계법을 통해 응력검토를 거친 후 적정 스크린 강재의 두께를 산정한다. 하지만, 버트리스댐의 경우는 스크린 간격에 따라 충격하중이 변화하고, 차집율 또한 달라지기 때문에 잔류토압도 변화하게 된다. 현재 설계방법으로는 합리적인 버트리스댐의 설계가 어려우며, 스크린 간격에 따른 토석류의 충격하중을 고려하여 버트리스댐의 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3. 버트리스댐의 최적 스크린 간격 산정을 위한 실내실험

3.1 실내실험장치 제작 및 실험 계획

버트리스댐의 최적 스크린 간격 산정을 위하여 Figs. 2(a), (b)와 같이 실내실험장치를 구성하였다. 본 실내실험 장치는 수로(Flume), 호퍼(Hopper), 버트리스댐(Buttress dam)으로 구성되어 있다. 수로는 경사에 따라 2가지 부분으로 나누어 제작하였으며, 상부수로와 하부수로의 연결점을 경첩으로 연결하였다. 상부구간의 경우 수로의 경사를 15°에서 30°까지 조절 가능하도록 하였으며, 하부수로의 경사는 15°로

Fig. 1. Acting Positions of Design External Forces for Open-type (Osanai et al., 2010)

고정하여 제작하였다. 상부수로의 높이를 1.2 m에서 2 m까지 조절 가능하도록 높이조절이 가능한 지지대를 상부수로 받침으로 사용하여 제작하였다. 각 수로의 길이는 Fig. 2(c)에 서와 같이 상부수로는 3 m, 하부수로는 1.5 m로 제작하였다. 토석류가 투하되는 수로내부의 폭과 수로 양옆 벽체의 높이는 국내 토석류 발생 유역 폭(10 m-15 m)에 대해 상사비를 1/30(Choi et al., 2015)로 적용하여 상부수로의 경우 각각 0.4 m와 0.5 m로 제작하였고, 하부수로의 경우 각각 0.5 m와 0.5 m로 제작하였다. 토석류가 발생하는 수로바닥은 강재로 제작 하였으며, 수로 벽면은 토석류의 흐름 및 차집 관찰이 가능하도록 투명한 아크릴 판으로 제작하였다. 하부 수로에는 토석류 충격하중을 버트리스댐이 견딜 수 있도록 바닥강재에 두 개의 구멍을 30 cm마다 뚫어 버트리스댐의 양 어깨 부를 구멍에 고정시킴과 동시에 하부수로에서 버트리스댐의 위치를 변경 가능하도록 제작하였다.

호퍼는 Fig. 2(b)에서와 같이 상부수로의 각도 조절에 따라 상이해지는 토석류의 투하높이에 대응하며, 토석류 시료의 제작편의성을 위해 프레임 틀과 호이스트를 설치하였다. 프레임 틀은 2.5×2.5×4.5 m³(가로×세로×높이)로 제작하여 상부수로의 최저높이인 1.2 m에서 최대높이인

2 m까지 호퍼에 담긴 토석류 시료를 투하 가능하도록 하였다. 호퍼의 크기는 시료의 양 60 kg를 고려하여 용량 1 m³으로 호퍼상단의 시료 투입 부는 1×0.8 m²(가로×세로)로 하고, 호퍼하단의 시료 배출구 부분은 0.4×0.36 m²(가로×세로)로 하여 수로에 시료투하 시 모든 시료를 너비 0.4 m의 상부수로에 투하하기 위해 사각뿔형의 모양으로 제작하였다(Fig. 2(b)). 시료를 일시에 투하하기 위해 호퍼의 하부에 수동으로 개폐가 가능한 개폐문을 제작하였으며, 개폐문의 닫힘 상태에서 호퍼사이에서의 시료의 유출을 막기 위해 실리콘으로 접합 점을 처리하였다.

해당 실험은 한양대학교 에리카 캠퍼스 수리실험동에서 실시되었다. 실험실은 시료의 제작 및 투하, 차집된 토석류의 관찰에 문제가 없는 곳으로 선정하였으며, 호이스트를 통한 고중량 시료의 상승과 투하에 관련된 안전문제가 발생하지 않도록 평탄한 장소에서 진행되었다. 실험은 토석류 시료를 호퍼에서 투하시켜 수로를 통해 낙하되어 하부수로 끝에 위치한 버트리스댐에 도달하였을 때의 충격하중과 버트리스댐을 투과한 후 남은 시료의 잔류하중을 측정하여 각 스크린 간격별 실험결과를 비교 후 최적 스크린 간격을 산정하는 실험을 계획하였다.

(a) Front view of flume structure

(b) Frame with hopper

(c) Lateral view of flume structure

Fig. 2. Illustration of Buttress Dam Structure and Flume, Hopper

3.2 버트리스댐 설계

버트리스댐은 Fig. 3과 같이 5가지의 스크린 간격으로 재현하였으며, 버트리스댐의 실제규격에 상사비를 적용하여 제작하였다. 댐의 어깨 부를 수로 하단부에 고정시킨 후 버트리스댐 스크린을 간격에 맞추어 조립하였다. 버트리스댐 스크린은 수로바닥재와 동일한 강재를 사용하여 제작하였으며, 버트리스댐과 로드셀(Load cell)이 연결되도록 제작하였다.

스크린의 전체 크기는 폭 25 cm와 높이 30 cm로 제작하였으며, 15 mm의 스크린 간격을 가지는 버트리스댐에는 8개의 스크린이 설치되며, 25 mm에는 7개의 스크린, 35 mm에는 6개의 스크린, 45 mm에는 5개의 스크린이 각각 설치되었다.

3.3 토석류의 입도분포

Table 1은 실내실험에서 투하 될 토석류의 입도분포를 나타내었다. 토석류는 상류부터 발생하여 다양한 입자의 흙, 암석과 유목들과 함께 발생하는 경우가 일반적이다. 따라서, 본 실험에서는 시료 60 kg을 기준으로 다양한 크기의 입도분포를 가지는 시료를 구성하여 6가지 경우로 나누어 실험하였다. Case 1의 경우 전체 시료의 입경을 모두 3 mm의 모래로 구성하였고, Case 2의 경우 3 mm의 입경을 가지는 시료의 무게 중 20%를 감소 시켜 10-15 mm, 20-25 mm, 30-35 mm, 40-45 mm의 입경을 가지는 자갈시료에 동등하게 3 kg씩 분배하였다. 실험 Case의 번호가 증가할수록 3 mm의 입경을 가지는 시료의 비율을 20% 단위로 감소시키며, 감소된 무게를 4가지의 크기로 분류된 시료들로 동등하게 분배하였다. 전체 시료의 무게를 일정하게 유지하고, 입경별 무게를 배분하여

다양한 입자로 구성된 실제 토석류의 구성을 재현하여 스크린 간격에 따라 다양한 입도분포를 가진 토석류에 대한 충격하중을 측정할 수 있도록 계획하였다.

3.4 계측계획

본 실험의 입도분포에 따라 하부수로 끝에 위치한 버트리스댐이 토석류를 저지함과 동시에 구조물에 작용하는 충격력을 측정하고, 버트리스댐에 의하여 차집된 잔류 토석류에 의한 하중을 측정하기 위해 로드셀을 Fig. 4와 같이 설치하였다. 로드셀은 XS-628Z-200K제품을 사용하였고 크기는 직경 5 cm, 두께 2.5 cm이며 최대 2 kN의 충격하중이 측정가능하며, 데이터의 측정은 1,000 회/sec(Hz)를 사용하였다. 버트리스댐과 로드셀을 Fig. 4와 같이 배치하여 토석류의 충격하중을 집중적으로 계측하고, 투과된 토석류에 영향을 받도록 하지 않기 위해 버트리스댐의 양쪽 어깨 부분에 2개의 로드셀을 배치하였다. 전체 충격력과 잔류 토석류의 하중은 2개의 로드셀의 측정값의 합으로 산정하였다. 총 5가지 스크린 간격과 총 6가지 토석류 입도분포에 따라 30가지의 실험변수가 도출되었고, 각 실험별 3번씩 수행하여 총 90번의 실험을 수행하였다.

4. 버트리스댐의 최적 스크린 간격제안

4.1 토석류 입도분포와 버트리스댐 스크린 간격에 따른 충격하중 분석

버트리스댐의 스크린 간격에 따른 최대 충격하중 및 잔류 토석류에 의한 하중(토압)은 Fig. 5와 같다. 제시된 충격

Fig. 3. Butress Structure According to Screen Spacing

Table 1. Particle Size Distributions for this Study

Cases	Weight of sample(kg)					Content of 3 mm (%)
	3 mm	10-15 mm	20-25 mm	30-35 mm	40-45 mm	
1	60	-	-	-	-	100
2	48	3	3	3	3	80
3	36	6	6	6	6	60
4	30	7.5	7.5	7.5	7.5	50
5	24	9	9	9	9	40
6	12	12	12	12	12	20

(a) Picture of road cell

Model	XS-628Z-200K
Rated Output	2mV/V $\pm$ 0.5%
Input Resistance	390 Ω $\pm$ 10 Ω
Output Resistance	350 Ω $\pm$ 5 Ω
Allowable Overload	150%

(b) specification

Fig. 4. View of Position of Load Cells with Buttress Screen Structure

(a) Case 1

(b) Case2

(c) Case 3

(d) Case 4

(e) Case 5

(f) Case 6

Fig. 5. Impact Load Acting on Screen Structure According to Cases

하중은 각 스크린 간격인 0 mm, 15 mm, 25 mm, 35 mm, 45 mm에서 Case별로 3번의 실험을 통해 구한 값의 평균값을 사용하였다. 각 실험의 경우 2개의 로드셀에서 구해진 데이터 값의 변화를 시간에 따라 나타내었다. Fig. 5(a)는 버트리스댐에 Case 1을 투하 하였을 때 스크린 간격에 따른 충격하중을 나타내었다. Y축은 버트리스댐에 작용하는 하중의 크기(N)를 나타내었으며, X축은 토석류 투하 시부터 버트리스댐에 충돌한 후 토석류와 구조물의 모든 거동이 종료될 때까지의 시간 흐름을 나타내었다.

충격력 분포를 보면 수로로부터 강하를 통해 만들어진 운동에너지로 일정시간 동안 스크린에 충격력을 가해 운동에너지가 전달되는 메커니즘을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 Yamamoto et al. (1998)의 토석류 모형실험에 의한 충격력 패턴의 그래프를 통해 비교할 수 있다(Fig. 6). 패턴 1의 경우 느린 속도의 토석류가 차단시설에 충격하중을 가하는 경우이며, 서서히 증가하는 그래프 형태를 관찰할 수 있다. 패턴 2의 경우 토석류가 비교적 빠른 속도로 짧은 시간에 차단 구조물에 도달 했을 때를 나타낸다. 패턴 3의 경우 빠른 속도의 토석류가 차단 시설에 도달 후 월류하였을 경우의 충격력 분포 패턴을 보여준다. 본 연구의 수로의 크기나 시료의 입도분포, 환경조건들은 Yamamoto et al. (1998)의 실험 조건과 상이 하지만 토석류 차단시설물에 작용한 충격하중의 분포는 Fig. 6의 패턴 2와 비슷한 형태임을 알 수 있다.

Fig. 6. Pattern of Impact Force (Yamamoto et al., 1998)

버트리스댐에 작용하는 최대 충격하중은 시료의 구성요소(토석류의 입도분포별)에 따라 크게 변화하는 것을 Fig. 7을 통해 알 수 있다. Fig. 7은 스크린 간격에 따른 시료별 최대 충격력을 나타내었다. 모래로만 구성된 Case 1의 경우, 스크린 간격이 0 mm인 경우에 41.85 N의 최대 충격하중이 발생하였고, 버트리스댐의 스크린 간격이 증가함에 따라 최대 충격하중이 감소하는 경향을 나타냈다. 특히, 스크린 간격이 25 mm에서 35 mm로 증가할 때 약 65% 수준으로 크게 감소하는 것으로 나타났다.

Case 2, 3, 그리고 4의 경우는 스크린 간격이 0 mm에서 45 mm로 증가함에 따라 최대 충격하중이 66.74-81.42 N의 범위까지 나타났으며, 스크린 간격이 증가함에 따라 51.55-72.13 N의 범위로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 토석류의 입도분포의 구성에 따라 버트리스댐에 작용하는 충격하중이 증감함과 동시에 스크린의 간격에 따라 구조물에 작용하는 충격하중 또한 변화 한다는 것으로 판단된다.

Fig. 7. Maximum Impact Load According to Screen Space

3 mm 시료의 함유량이 50% 미만인 Case 5, 6의 경우 최대 충격하중이 기존 Case들에 비해서 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. Case 5의 경우 스크린 간격이 0 mm에서 45 mm로 증가함에 따라 최대 충격하중 105.8 N에서 78.89 N으로 약 25% 감소한 것으로 판단된다. Case 6의 경우 또한 최대 충격 하중 119.3 N에서 97.8 N으로 약 18% 감소한 것으로 판단된다. 단, Case 5, 6의 경우 버트리스댐의 스크린 간격이 증가함에 따라 구조물이 받는 충격하중이 감소하는 경향을 띄는 다른 경우와 달리 15 mm의 스크린 간격에서 최대하중 대비 약 21%의 충격하중이 작용한 것으로 관찰 되었지만 전체적으로 스크린의 간격이 넓어질수록 버트리스댐이 받는 최대 충격하중이 점차 감소하는 것으로 나타났다.

즉, 동일 60 kg의 토석류일지라도 각 시료의 함유량에 따라 버트리스댐에 작용하는 충격 하중이 변화 하는 것을 알 수 있으며, 버트리스댐의 스크린 간격 증가에 따라 충격하중이 감소하는 것으로 판단된다. 버트리스댐에 작용하는 충격하중만을 고려하였을 때 Case 1의 스크린 간격이 35 mm 이상에서 충격하중이 급격하게 감소하였고, 다른 경우들도 지속적으로 충격하중이 감소하는 경향을 나타냈기 때문에 스크린 간격이 35 mm 이상으로 스크린 간격을 설계 하는 것이 보다 합리적이라 판단된다.

4.2 토석류 입도분포와 버트리스댐 스크린 간격에 따른 차집률

Figs. 8(a)-(f)는 버트리스댐 스크린 간격이 15 mm일 때의 Case별 실험 결과를 보여준다. 각 Case별로 투과된 시료의 양과 스크린에 차집된 토사의 무게를 비교하여 차집률을 산정하였다. 버트리스댐 스크린 간격이 15 mm인 경우 약 97%의 최소 차집률은 Case 1에서 나타났으며, Case 3의 경우 가장 높은 차집률로 약 99%의 차집률을 보였다. 버트리스댐의 스크

린 간격이 25 mm인 경우 Case 1은 약 96.5%의 차집률을 Case 3의 경우 98.5%의 최대 차집률을 보였다. 버트리스댐 스크린 간격 35 mm와 45 mm의 경우 Case 6의 경우가 최소 차집률로 약 95%와 91%를, 최대 차집률은 Case 3의 경우로 각각 96.5%와 96%로 산정되었다. 이는 토석류의 입도분포와 스크린 간격에 따라 차집률에 영향을 주는 것으로 판단된다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 Case별로 토석류의 퇴적형태가 다른 것을 볼 수 있으며 이는 토석류의 투과율뿐만 아니라 버트리스댐에 작용하는 충격하중에도 영향을 줄 수 있다고 판단된다. Case 6의 경우 80%가 자갈로 구성되어 큰 입자직경을 가진다. 따라서 토석류 투하 시 수로바닥과의 마찰 및 벽면과의 마찰 표면적이 감소하여 발생하는 운동에너지가 가장 클 것으로 판단된다. 그에 따른 최대 충격하중 측정값을 나타냈고, 운동에너지의 영향으로 시료의 투하 속도가 가장 커 차집률의 감소에 영향을 준 것으로 보인다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 Case 1, 2, 3의 경우 스크린 간격 증가에 따라 비교적 선형적 감소형태를 보여주나 Case 4, 5, 6의 경우 스크린 간격 증가에 따라 급격하게 감소하는 형태를 볼 수 있다. 이는 Case 4, 5, 6의 경우 토석류의 투하 시 자갈의 마찰표면적 감소에 따른 높은 운동에너지 발생과 스크린 간격의 영향으로 버트리스댐 스크린 투과율의 증가를 가져오는 것으로 판단된다.

즉, 스크린 간격별 시료의 차집률은 35 mm에서 45 mm로 증가할 경우 Case 4, 5, 6의 차집률의 감소량이 급격하게 증가되므로 35 mm까지의 스크린 간격을 최적의 버트리스댐 실내모형의 스크린 간격으로 산정할 수 있다고 판단되며 이는 스크린 강재 20 mm 두께를 사용 하여 도출된 결과로 실제 버트리스댐의 스크린 간격에 적용한다면 스크린 강재의 두께의 1.5배를 설계에 적용할 수 있을 것이라 판단된다.

Fig. 8. Capture of Sample from Screen of Butress (15mm)

Fig. 9. Capture Ratio According to Screen Space

5. 결 론

본 연구는 버트리스댐의 스크린 간격을 모형화한 실내실험을 통해 스크린 간격에 따라 버트리스댐에 작용하는 충격하중을 분석하여 최적의 스크린 간격을 도출하기 위해 수행되었다. 토석류의 다양한 입도분포 특성과 버트리스댐의 스크린 간격에 따른 충격하중과 토석류의 차집률을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 스크린 간격에 따라 버트리스댐에 작용하는 충격하중을 비교한 결과 스크린 간격이 증가함에 따라 버트리스댐에 작용하는 최대 충격하중이 감소하는 경향을 나타내었다. Case 1의 경우 충격하중이 35 mm일 때 급격히 감소하는 경향을 보이며, 나머지 입도분포에서도 뚜렷한 감소하는 경향을 나타내었기 때문에 35 mm 이상의 스크린 간격이 적합하다고 판단하였다.
- (2) 투과형 사방댐은 토석류를 차집 하는 것을 주된 설치 목적으로 하기 때문에 토석류 투하 후 버트리스댐의 스크린 간격에 따른 투과율과 차집률을 비교를 하였다. 스크린 간격이 증가할수록 차집률을 감소하는 경향을 볼 수 있으며 스크린 간격이 15 mm에서 35 mm의 범위에서는 차집률이 소량 감소 하지만 35 mm에서 45 mm의 구간에서 3 mm의 모래 시료의 함유율이 50%이하인 Case 4, 5 6의 경우 급격히 감소하는 형태를 볼 수 있다. 따라서, 버트리스댐에 가해지는 충격하중과 토석류의 차집률을 고려하였을 때 충격하중을 감소시켜주는 스크린 간격인 35 mm와 45 mm가 적절

하지만 토석류의 차집률이 급격히 감소하는 45 mm의 간격은 부적절 하다고 판단되어 35 mm의 스크린간격을 최적 스크린 간격으로 도출하였다.

- (3) Case별 토석류의 양은 60 kg으로 일정한 무게로 실험하였다. Case별 토석류의 무게는 일정하나 입도분포에 따라 구조물에 가해지는 충격하중이 약 2.5배에서 최대 5배까지 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 토석류의 양 뿐만 아니라 입도분포에 의한 영향이 크며 추후에 다양한 입도별 실험을 통해 최적의 스크린 간격을 검증할 계획이다.
- (4) 본 연구에서는 스크린 강재의 단면폭 20 mm를 기준으로 실험 하였을 때 최적 스크린 간격이 1.5배인 35 mm로 판단된 결과로 현재 버트리스댐의 스크린 설계시 스크린 구조가 받는 응력의 검토를 통한 설계 법에서 스크린 부재 단면과 배치간격을 설계함에 있어서 중요한 자료로 사용 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 학연산클러스터LINC사업단 기술혁신개발사업으로 이루어진 것으로 한양대학교 ERICA캠퍼스 학연산클러스터LINC사업단에 감사드립니다.

References

- Choi, S.K., Lee, J.M., Jeong, H.B, Kim, J.H., and Kwon, T.H. (2015) Effect of Arrangement of Slit-type

- Barriers on Debris Flow Behavior: Laboratory-scaled Experiment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 3, pp. 223-228.
- Chun, K.W., Yang, D.Y., Kim, S.W., Kim, K.N., and Kim, J.H. (2005) Construction of Erosion Control Dam to Decrease Disaster (II). *Journal of The Korean Society of Forest Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 103-124.
- Iverson, R.M. (2015) Scaling and Design of Landslide and Debris-flow Experiments. *Geomorphology*, Vol. 244, pp. 9-20.
- Johnson, P.A., and McCuen, R.H. (1989) Slit Dam Design for Debris Flow Mitigation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 115, No. 9, pp. 1293-1296.
- Kim, J.H., Lee, Y.S., and Park, K.B. (2010) A Study on Model Experiment for Evaluation of Debris Flow's Impact Force Characteristics. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 26, No. 11, pp. 5-15.
- Kim, K.H., Lee, D.H., Kim, D.H., and Lee, S.H. (2008) A Study on Model Tests for Debris Flow Characteristics. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol. 9, No. 5, pp. 83-89.
- Korea Forest Service (2014) *Technology Textbook of Prevention Debris*. pp. 174, 178.
- Lee, J.S., Song, C.G., and Lee, S.O. (2016) Analysis of Characteristic of Debris Flow with Angle of Slope. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 2, pp. 49-56.
- Osanai, N., Mizuno, H., and Mizuyama, T. (2010) Design Standard of Control Structures Against Debris Flow in Japan. *Journal of Disaster Research*, Vol. 5, No. 3, pp. 307-314.
- Silva, M., Costa, S., Canelas, R.B., Pinheiro, A.N., and Cardoso, A.H. (2016) Experimental and Numerical Study of Slit-check Dams. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 11, No. 2, pp. 107-118.
- Yamamoto, A., Yamamoto, S., Toriihara, M., and Hiram, K. (1998) Impact Load on Sabo Dam due to Debris Flow. *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol. 51, No. 2, pp. 22-30.

Received ■ April 27, 2018

Revised ■ April 30, 2018

Accepted ■ May 2, 2018