

사방댐 위치변화에 따른 토석류의 충격력 해석에 관한 연구

김성덕, 이호진*, 장형준
충북대학교 토목공학부

The Study for Analysis of Impact Force of Debris Flow According to the Location of Check Dam

Sung-Duk Kim, Ho-Jin Lee*, Hyung-Joon Chang
School of Civil Engineering, Chungbuk National University

요 약 최근 기후 변화에 의한 집중호우는 산지에서 토석류를 발생시켜 많은 피해를 양산하고 있다. 연구의 목적은 토석류 발생 가능성이 높은 산지에 사방댐을 설치하였을 경우, 사방댐의 설치 위치에 따라 공급유량의 변화에 대하여 사방댐이 받는 충격력을 평가한 것이다. 연구방법으로는 수치해석모델을 이용하였고, 수치해석 모델은 침식과 퇴적 모델을 이용하여 유한차분법을 적용하였으며, 사방댐에 영향을 주는 토석류의 충격력은 유체의 연속성을 고려하여, 질량보존법칙과 운동량 보존 법칙을 만족하는 지배 방정식을 이용하였다. 수치모의를 한 결과 토석류는 도달 초기에 충격력의 Peak가 발생하였으며, 16sec~19sec 구간에서도 토석류의 Peak가 발생하였고, 공급유량을 증가시킨 경우 이 구간에서 여러 개의 토석류 충격력의 Peak가 발생하였다. 이는 공급유량의 증대로 인해 토석류의 유하 속도를 증가시키고, 증가된 속도는 물 입자와 토사의 충돌로 인해 에너지가 증대되고 있음을 보여준다. 따라서, 산지에 연속적으로 여러 기의 사방댐을 설치하려고 할 때 각 위치에서 사방댐이 받는 충격력을 조사할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 비탈 경사면에서 토석류 제어를 목적으로 설치되는 구조물이 받는 충격력과 사면에서 사방댐의 적정 위치를 설정하는 데 좋은 정보를 제공할 것이다.

Abstract Debris flows occur in mountainous areas due to heavy rains resulting from climate change and result in disasters in the downstream area. The purpose of this study is to estimate the impact force of a debris flow when a check dam according is installed in various locations in the channel of a highly mountainous area. A Finite Differential Element Method (FDM) model was used to simulate the erosion and deposition based on the equation for the mass conservation and momentum conservation while considering the continuity of the fluid. The peak impact force from the debris flow occurred at 0 to 5 sec and 15 to 20 sec. When the supplied water discharge was increased, greater peak impact force was generated at 16 to 19 sec. This means that when increasing the water supply, the velocity of the debris flow became faster, which results in increased energy of the consolidation between the particles of the water and the sediment made. If a number of check dams were to be set up, it would be necessary to investigate the impact force at each location of the check dam. The results of this study could provide useful information in predicting the impact force of the debris flow and in installing the check dams in appropriate locations.

Keywords : Debris flow, Impact force, Finite Difference Method, Check Dam, Mometum Conservation

1. 서 론

최근 기후 변화로 인하여 집중호우가 자주 발생하고

있으며, 이 집중호우에 의해 발생된 토석류는 많은 재산 피해와 인명피해를 초래하고 있다[1]. 특히 우리나라에 서도 2011년 우면산 토석류의 발생으로 많은 피해가 발

본 논문은 한국연구재단 이공학개인지초연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1D1A3B03035477).

*Corresponding Author : Ho-Jin Lee(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-2403 email: hojinlee@chungbuk.ac.kr

Received November 9, 2018

Revised (1st December 24, 2018, 2nd December 31, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

생하였고, 토석류에 대한 재해 가능성이 점점 증가하고 있는 추세이다. 또한, 2018년 여름, 폭염이 지속된 동안 아시아 지역에서는 여름이 끝나가는 시점에서 대규모의 태풍이 발생하였고, 태풍 짜미는 일본 오사카와 홋카이도 지역에서 대규모 토석류를 발생시켜 많은 피해를 야기하였다. 이와 같이 매년 발생하는 태풍과 집중호우는 산악 지형이 많은 우리나라에서 토석류를 발생시킬 가능성이 많으며, 이에 대한 대비가 필요하다. 토석류는 물에 포화된 굵고 거친 입자들이 중력 작용을 받아 연속체처럼 빠른 속도로 유동하면서 사면과 수로 등으로 유하하여 확산한다[2-4].

토석류에 관한 기존 연구를 살펴보면, Depth Average Model (DAM)을 이용하여 토석류의 퇴적과 침식 메커니즘의 원리를 적용한 연구가 있으며[5-7], 유한차분법을 이용하여 토석류의 침식과 퇴적의 혼합원리를 적용한 연구가 있다[8]. Kim et al.[9]은 Takahashi et al.[8]의 모델을 수정하여 사면에서의 토석류 거동을 조사하여 소단폭과의 관계성을 연구하였다. Paik et al.[10]은 유한차분법을 이용하여 수치모형을 개발하여 토석류의 흐름을 재현하였고, 대규모 토석류 실험장치를 이용하여 토석류 현상을 분석하였고, Luzi et al.[11]은 Geographic Information System (GIS)를 이용하여 지진과 산사태를 결합한 토석류 현상을 분석하였다.

토석류를 제어하기 위해서 다양한 대책이 이용되어지고 있으며, 특별히 구조물적 대책이 전 세계적으로 많이 이용되고 있고, 산악지형이 많은 우리나라에서도 여러 곳에 사방댐과 같은 구조물적 대책을 적용하고 있다. 사방댐은 투과형 구조물과 불투과형 구조물로 나누며, 산지형태와 토석류의 거동 및 토석류의 충격력에 따라 다양한 형식이 적용되고 있다[12-16].

사방댐의 안전성 진단을 위해서 전도, 활동, 제체파괴 등의 안정조건을 제시한 연구가 있고[17], 토사유출량을 산정하여 신뢰성 함수를 설정함으로써 사방댐의 안정성을 해석한 연구가 있다[18]. 이 외에 Spectral Analysis of Surface Wave (SASW)표면파 기법을 활용한 콘크리트 사방댐의 안정성 연구[19]와 외력 영향에 따른 활동방지계수와 전도방지계수에 대하여 수치적으로 연구를 바탕으로 사방댐의 안정성을 평가하였다[20]. 또한, Yoon et al.[21]은 사방댐의 기능으로서 모의 실험을 통해 토석류 유출의 저감효과를 분석하였다.

본 연구는 토석류 발생 가능성이 높은 산지에 사방댐

을 설치하였을 경우 공급유량의 변화에 대하여 사방댐의 충격력을 평가한 것이다. 수치해석 모델은 침식과 퇴적 모델을 이용하여 유한차분법을 적용하였으며, 이 이론을 적용하여 토석류의 거동을 분석하였고, 토석류의 거동이 산지에 설치된 사방댐과의 연관성을 조사하기 위하여 산지에 사방댐의 위치를 다양하게 변화하여 사방댐이 받는 충격력의 변화 및 토석류의 유속을 분석하였다. 본 연구의 결과는 비탈 경사면에서 토석류 제어를 목적으로 설치되는 구조물이 받는 충격력과 사면에서 사방댐의 적정 위치를 설정하는 데 좋은 정보를 제공할 것이다.

2. 이 론

2.1 지배방정식

Lagrangian 토석류의 유동층을 고려하면, 토석류의 질량, 체적, 밀도 등이 시간적으로 급격히 변화하는 유동 시스템을 갖는 것을 알 수 있다. 토석류의 유동층은 토석류 운동성의 레이어를 나타내는 층으로서 토석류의 거동을 이해하는 데 중요하다. 급격하게 변화하는 토석류의 유동층은 토사와 유체의 혼합물로 이루어져 있으며, 이 유동층은 빠른 속도로 사면에서 하류로 이동한다. 이 때 토사와 유체의 혼합물이 구조물에 미치게 될 때 큰 충격이 발생하며, 이 때의 충격은 토석류의 유속의 제곱에 비례한다. 특히 빠른 속도로 유하하는 유동층의 침투가 발생하거나 토석류 유량의 침투가 발생할 때 사방댐과 같은 구조물에 큰 충격을 가함으로써 안전에 영향을 미치게 된다. 또한, 이렇게 사방댐에 영향을 주는 토석류의 충격력은 유체의 연속성을 고려할 때, 일시적 또는 일회적이 아닌 지속성을 갖게 되고 일정시간 충격이 가중됨으로써 사방댐의 안전에 큰 영향을 준다. 따라서 유체의 Lagrangian 연속성을 고려하면, 다음과 같은 토석류 지배방정식을 설정할 수 있으며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (1)은 질량보존법칙을 만족하게 되며, 토석류의 질량을 검사체적으로 취급해서 레이놀즈 수송이론이 적용되었고, Lagrangian 접근과 Newtonian 접근을 확인할 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(v)}{\partial x} = m \tag{1}$$

여기서, h 는 수심(m), v 는 유속(m/s), m 은 침식 및 퇴

적속도이다. 토석류의 토사 입자에 대한 연속방정식을 적용하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t} + \frac{\partial(cv)}{\partial x} = c_*m \quad (2)$$

여기서, c 는 토석류에 있는 토사의 체적농도이고, c_* 는 하상에서의 최대토사농도이다. 토석류의 유동특성, 운동성 및 충격력을 이해하기 위해서는 역시 검사체적 내에서의 운동량을 적용하는 운동량 방정식을 적용해야 하며, 식 (3)은 토석류 유체 흐름의 운동량 보존식을 나타낸다.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x} (v) \right) + 1.25 \frac{\partial}{\partial x} (v^2 h) = gh \left(\sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\tau_b}{\rho_m} \quad (3)$$

여기서, g 는 중력가속도(m/s^2), θ 는 하상경사, ρ_m 은 물과 토사 혼합물의 밀도($\rho_m = (\sigma - \rho)c + \rho$), σ 는 토사의 밀도(kg/m^3), ρ 는 물의 밀도(kg/m^3), τ_b 는 저면 전단력(pa)을 나타낸다.

사면 바닥에서 토석류에 있는 토사의 침식 또는 퇴적에 의해 퇴적 또는 침식토층의 두께가 변하게 되며, 퇴적토층 두께의 변화식은 식 (4)와 같다.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + m = 0 \quad (4)$$

여기서, z_b 는 기준수평면으로부터의 토석류에 있는 토사층의 두께(cm)를 나타낸다.

토석류의 농도는 토석류의 충격력 형성에 크게 영향을 미치기 때문에 토석류 농도를 구하는 것이 중요하다. 토석류의 농도에 따라 토석류의 흐름은 3가지로 분류되며, 토석류의 충격력에 영향을 미치는 것은 **Stony debris flow**로 나타낼 수 있고, **Stony debris flow**의 식은 식 (5)와 같다.

$$c_d = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \psi - \tan \theta_h)} \quad (5)$$

여기서, c_d 는 토석류 농도이고, $0.3 \leq c_d \leq 0.9c_*$ 의 범위에 있어야 한다. 이 때, c_d 는 0.54를 넘을 수 없다. θ_h 는 수면경사, ψ 는 토사의 내부마찰각을 나타낸다.

토석류에서 토사와 유체의 혼합물에 의한 충격력을 구하기 위해서는 토석류의 단위체적 중량이 필요하며, 식 (5)의 토석류 농도를 적용하여 식 (6)의 토석류 단위체적 중량을 구할 수 있다.

$$\gamma_d = \{ \sigma \cdot c_d + \rho \cdot (1 - c_d) \} \cdot g \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)의 토석류 농도와 토석류 단위체적 중량을 가지고 토석류의 충격력을 구할 수 있다. 토석류의 충격력은 각 나라와 장소에 따라 약간의 식이 다르고, 조건에 따라 토석류의 충격력 계수값이 다르며, 토석류 충격력의 대표식은 식 (7)이며, 식 (8)은 오스트리아에서 제안한 식이다[22].

$$F_d = K \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot h \cdot U^2 \quad (7)$$

$$F_d = K \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot (g \cdot h)^{0.6} U^{0.8} \quad (8)$$

여기서, K 는 토석류의 충격력 계수, U 는 토석류의 유속(cm/s)을 나타낸다. 충격력 계수의 값으로 캐나다(**British Columbia**), 일본(**NILIM**), 대만에서는 1로 설정하여 토석류의 충격력 값으로 산정하였다. 이 외에 홍콩에서는 K 값을 3으로, 중국에서는 원형 구조물에서는 $K=1$, 직사각형 구조물에서는 $K=1.33$, 정사각형 구조물에서는 $K=1.47$ 나타냈으며, 식 (7)의 경우 오스트리아에서는 $K=4.5$ 으로 적용하였다. 본 연구는 현재 가장 많이 사용하고 있는 충격력 식으로 식 (6) 및 K 값은 1로 선정하여 수치모의를 하였다. 특히 K 값은 많은 연구자들에 의해서 다양한 조건에 따라 여러 값으로 나타내어지기 때문에, 다양한 변수를 갖는 토석류의 충격력에 대해서 추후 연구를 진행할 계획이다.

3. 수치 모델링 결과 및 분석

3.1 수치 모의 조건

본 연구는 300cm의 모래가 포설된 수로에 일정시간 유량을 공급하였을 때 수로 하류단에서의 토석류의 거동을 분석한 것이다. 이 때 공급유량은 600cm³/sec, 700cm³/sec, 800cm³/sec으로 변화시켰다. 토석류의 거동은 유한 차분법을 적용하였고, 계산영역은 직교 격자계를 기본으로 구성하였다. 유한차분법은 시간변화에 따

른 토석류의 분석에 있어서 효율적이며, 이에 따른 격자 간격은 10cm이다. 수치계산을 수행하는 데 있어 유량의 공급시간은 20sec, 수치모델의 계산시간은 60sec, 토석류가 수로의 하류 끝단에 도달한 이후의 수치모의 계산시간은 30sec, 각각의 계산 간격은 0.2sec로 설정하였다. Fig. 1은 수로상에서의 사방댐의 위치 변화에 대한 본 연구의 수치실험 모식도를 나타낸다. 수로의 형태는 직사각형 형태이고, 전체 길이는 6m이다. 상류부 수로는 300cm 구간, 폭 10cm 두께로 모래를 포설하고, 수로 경사각도 θ 는 18°로 설정하여 수치모의를 수행한다. 이때 수치모의를 위한 사방댐의 위치는 상류로부터 6m, 5.5m, 5m, 4.5m로 변화시키면서 사방댐에 영향을 주는 충격력을 계산하였다. 기준면으로부터 상류부까지 높이는 4m로 하고, A-A' 라인은 하류부 끝단에서의 조사지점을 나타낸다. 조립토의 평균입경 d 는 3.08mm, 모래입자 밀도는 2.65g/cm³, 정지하상에서의 조립토사의 농도 c_{ps} 는 65%, 내부마찰각 $\tan\psi$ 는 0.7이다.

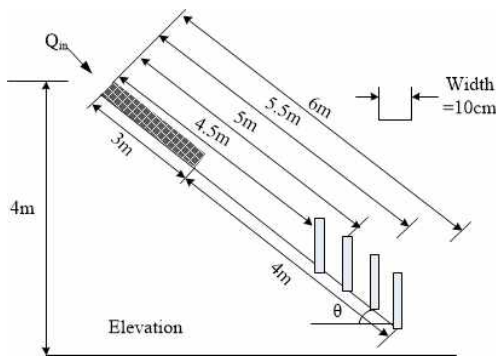


Fig. 1. Schematic design for numerical experiment of debris flow

3.2 결과분석

Fig. 2와 3은 공급유량이 600cm³/sec로 일정시간 수로에 공급될 때, 수로 하단 끝에서의 토석류의 거동을 도시한 것이다. Fig. 2는 사방댐이 상류로부터 6m, 5.5m의 위치에 설치되었을 때, 사방댐이 받는 충격력, 토석류의 유동심, 유속의 크기를 도시한 것이고, Fig. 3은 사방댐이 상류로부터 5m, 4.5m의 위치에 설치됐을 때의 충격력, 유동심, 유속의 크기를 도시한 것이다. 이 때 수로의 경사는 18°이다. 그림에서 가로축은 토석류가 수로 하단 끝에 도착한 이후 약 30초간의 시간변화를 나타내고, 세

로축은 충격력, 유동심, 유속을 각각 나타낸다.

Fig. 2와 3에서 보는 바와 같이 토석류가 하류 끝단에 도달 초기에 충격력의 Peak가 발생하였으며, 이는 공히 토석류의 유속과 유동심에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 그리고 여전히 토석류 충격력이 높은 구간을 발견할 수 있는 데, 토석류 도달 초기 시간 0~9sec 사이의 구간에서는 토석류 충격력이 유속 보다는 유동심에 더 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이 후 토석류 도달 시간 16sec~19sec 구간에서 한 번 더 토석류 충격력의 Peak가 발생하는 것을 알 수 있는 데, 이 경우 토석류 충격력은 토석류의 유속에 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2의 0sec~5sec 구간에서 토석류 충격력의 fluctuation 진폭 크기는 6m 위치에 설치된 사방댐에서 더 크게 나타났지만, 이 구간에서 5.5m 위치에 설치된 사방댐의 경우 충격력 fluctuation 진폭의 crest 부분은 6m에 설치된 것보다 더 높게 나타났다. 이는 5.5m에 설치된 사방댐의 경우 지속적인 충격의 관점에서 볼 때 6m에 설치된 사방댐보다 짧은 시간 동안 연속적으로 약간 더 큰 충격을 더 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이는 0 sec~3 sec 구간을 확대해서 분석한 Fig. 4에서도 발견할 수 있다.

Fig. 3 (a)에서 보면, 5m 위치에 설치된 사방댐이 받는 토석류 충격력의 fluctuation은 1sec 구간에서 fluctuation의 진폭의 크기가 6m 위치에 설치된 사방댐이 받는 토석류 충격력의 fluctuation 진폭 크기보다 더 크게 발생하였다. 따라서 토석류 방재를 위한 사방댐을 설치할 때, 설치 위치에 따른 충격력의 범위를 설정한 후에 적정 설치위치를 찾는 것이 중요하다고 판단된다.

Fig. 4는 공급유량이 600cm³/sec로 일정시간 수로에 공급될 때, 수로 하단 끝에서의 사방댐의 설치위치에 따른 토석류의 충격력을 도시한 것이다.

이 때, 토석류 충격력이 가장 크게 연속적으로 받는 구간인 0sec~3sec 구간을 확대하여 도시한 것이다(Fig. 2와 3). Fig. 4에서 보면, 1sec 미만 구간에서는 사방댐이 6m 위치에 설치된 경우 충격력이 가장 크게 나타났으며, 위의 절에서 서술하였듯이 1sec 구간에서는 사방댐 위치가 5m에서 토석류의 충격력이 가장 크게 나타났으며, 2sec 구간에서는 5m와 4.5m에 설치된 사방댐이 받는 충격력이 크게 나타났다.

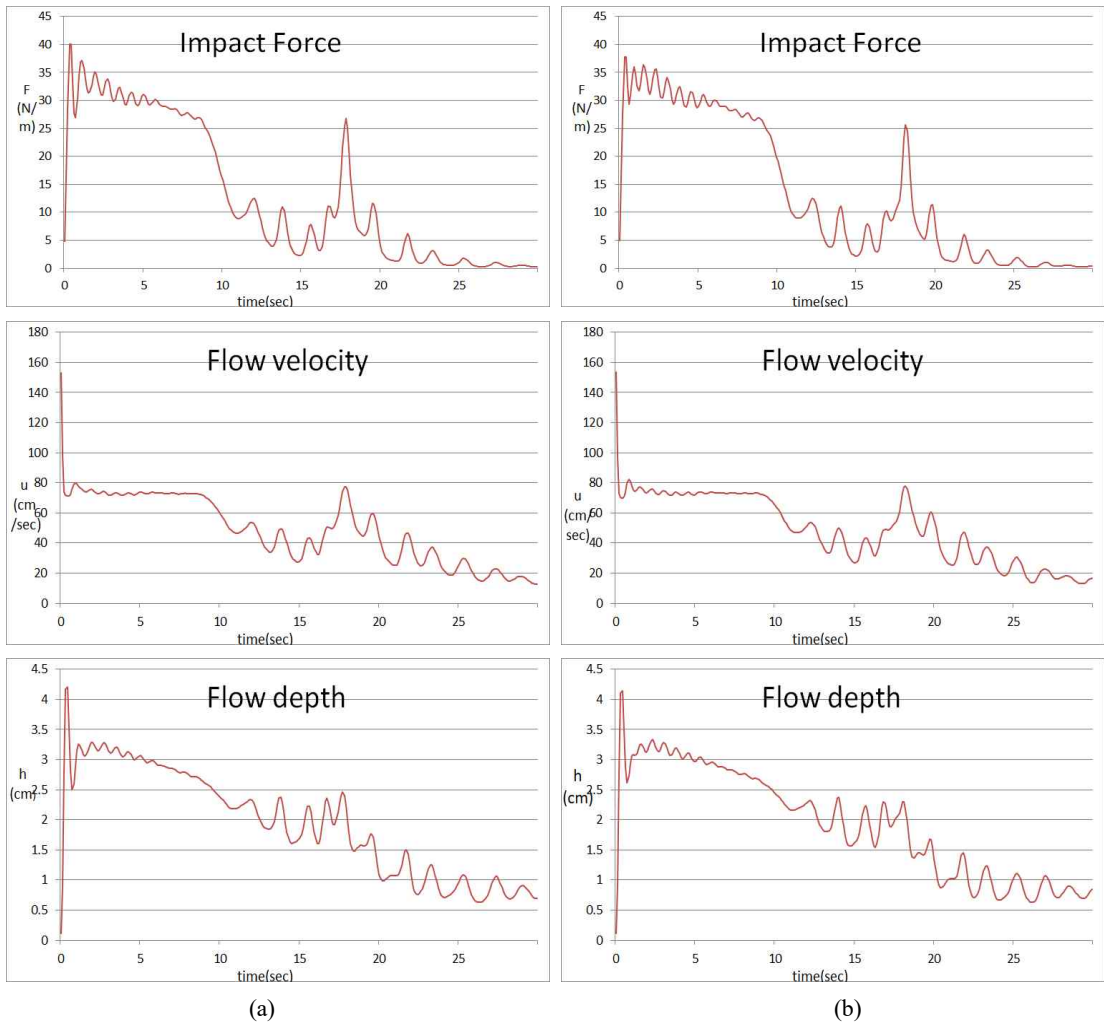
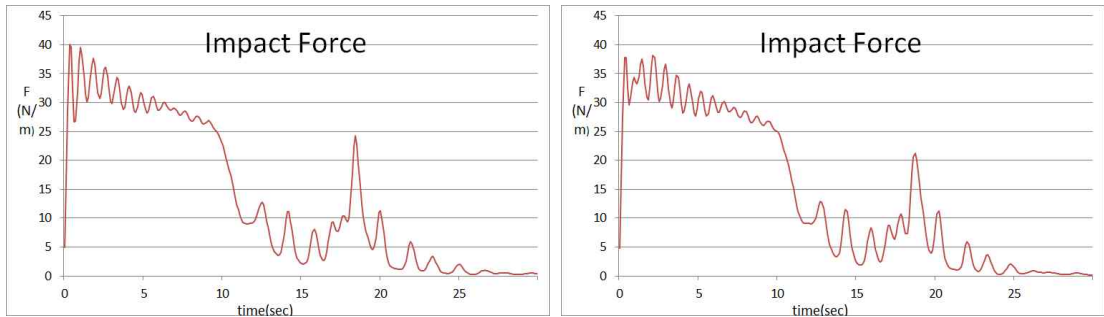


Fig. 2. Impact Force, Water Velocity, and Water Depth at (a) 6m-location of and (b) 5.5m-location of check dam for $Q_{inflow}=600\text{cm}^3/\text{sec}$



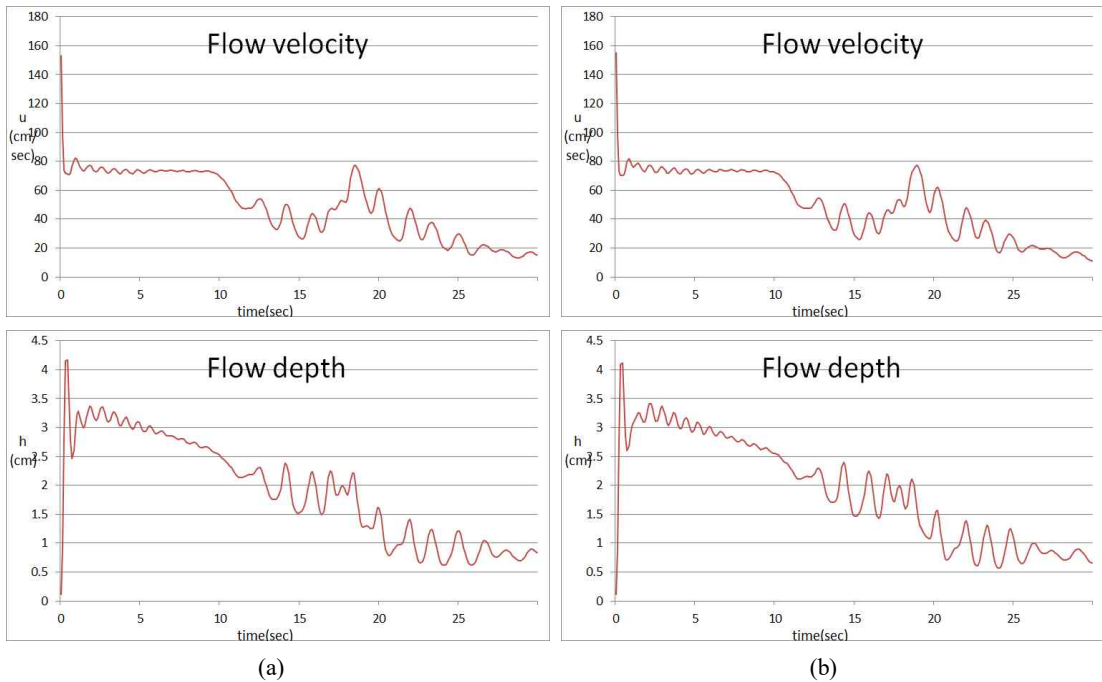


Fig. 3. Impact Force, Water Velocity, and Water Depth at (a) 5m-location of and (b) 4.5m-location of check dam for $Q_{inflow}=600\text{cm}^3/\text{sec}$

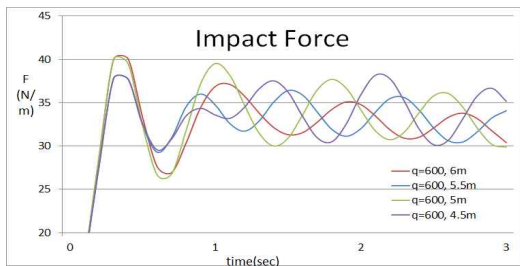


Fig. 4. Impact Force according the location of check dam for $Q_{inflow}=600\text{cm}^3/\text{sec}$

따라서 사방댐의 위치 선정 시 각 위치별로 사방댐이 받는 충격력을 계산한 후에 사방댐의 적정위치를 선정할 필요가 있다고 판단된다.

최근의 기후 변화는 예상하기 어려운 형태의 집중호우를 야기하여 막대한 피해를 유발한다. 따라서 강우량 증가로 인한 토석류의 충격력을 조사할 필요가 있다. Fig. 5와 6은 공급유량이 $700\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 일정시간 수로에 공급될 때, 그리고, 사방댐의 위치가 6m 지점, 5.5m, 5m, 4.5m 지점에 설치되었을 때의 수로 하단 끝에서 토석류의 거동을 도시한 것이다. 사방댐의 위치와 그림에서의 가로축, 세로축은 Fig. 2와 3의 설명과 같다.

Fig. 5와 6에서 보면, 토석류의 충격력은 토석류의 유속과 유동심에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있고, 0~5sec 사이의 구간에서 토석류의 충격력이 높게 나타났다. 또한, 공급유량이 $600\text{cm}^3/\text{sec}$ 인 경우와는 다르게 15sec ~ 20sec 구간에서 여러 개의 토석류 충격력의 Peak가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 공급유량의 증대로 인해 토석류의 유하 속도를 증가시키고, 증가된 속도는 물 입자와 토사의 충돌로 인해 에너지가 증대되고 있음을 보여준다.

Fig. 5(a)에서 보면, 토석류가 하류단에 처음 도달했을 때 보다 약 17sec 후에 도달하는 토석류에서 충격력 Peak값이 가장 높게 나타났다. 이는 위에서 설명했듯이, 계속해서 증가하는 강우로 인해 유하속도의 증가 때문이라고 판단된다.

Fig. 6에서 보면, 6m와 5.5m 위치에 설치된 사방댐이 받는 토석류 충격력 보다는 적게 받지만, 상당히 큰 충격을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 산지에 사방댐을 설치하려고 할 때, 1기의 사방댐을 설치하는 경우도 있지만, 여러 기의 사방댐을 설치하는 경우도 많이 있다.

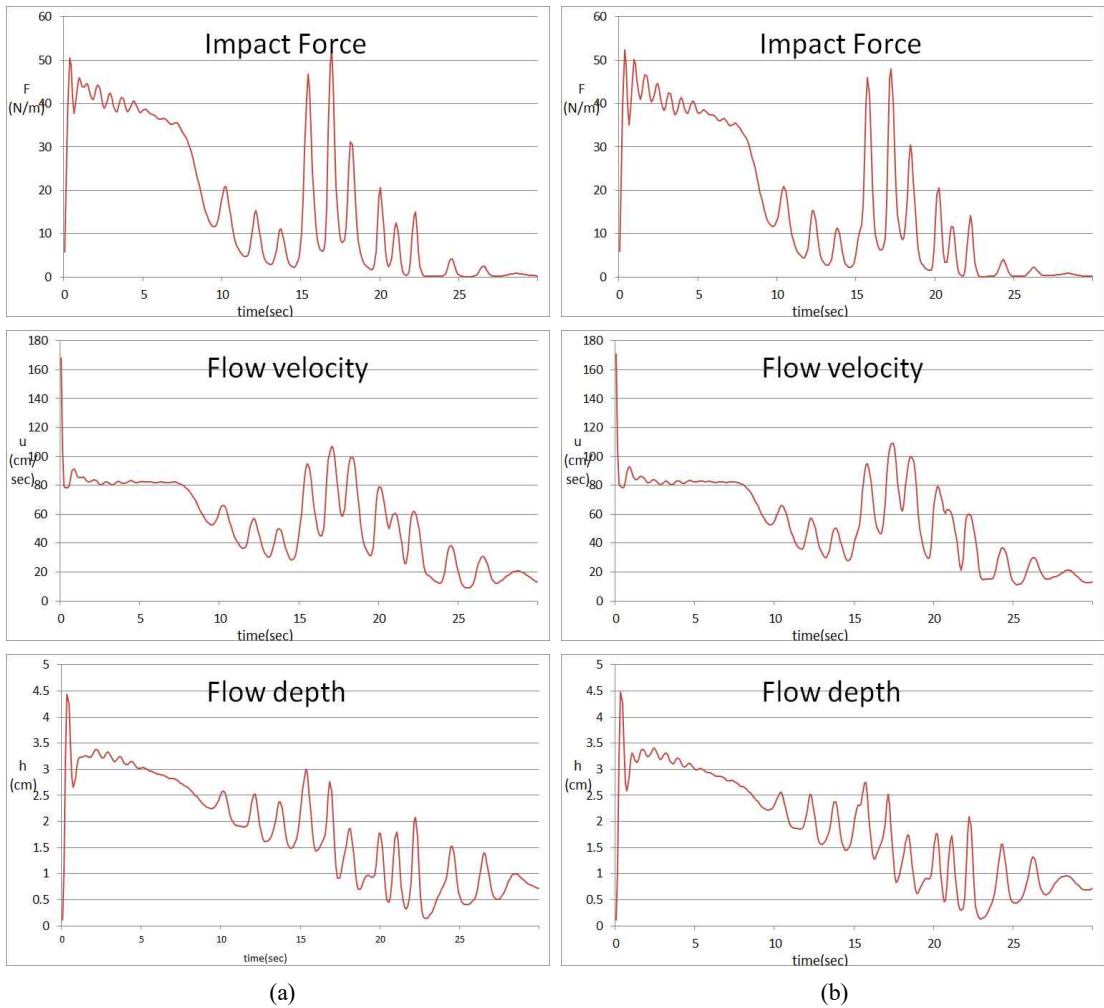
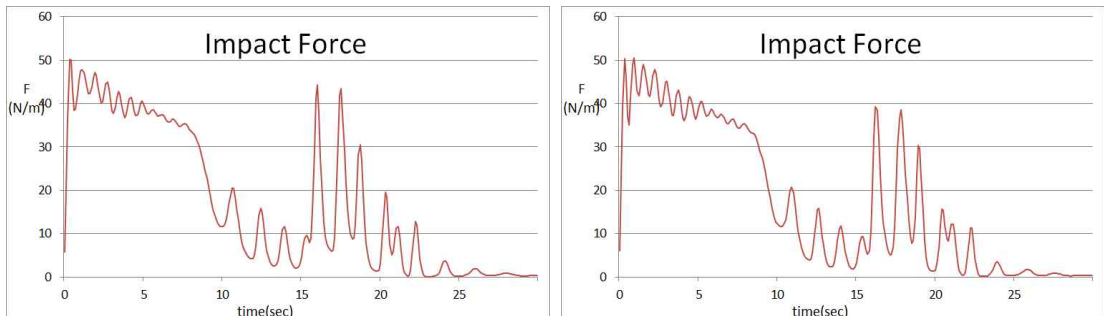


Fig. 5. Impact Force, Water Velocity, and Water Depth at (a) 6m-location of and (b) 5.5m-location of check dam for $Q_{inflow}=700cm^3/sec$



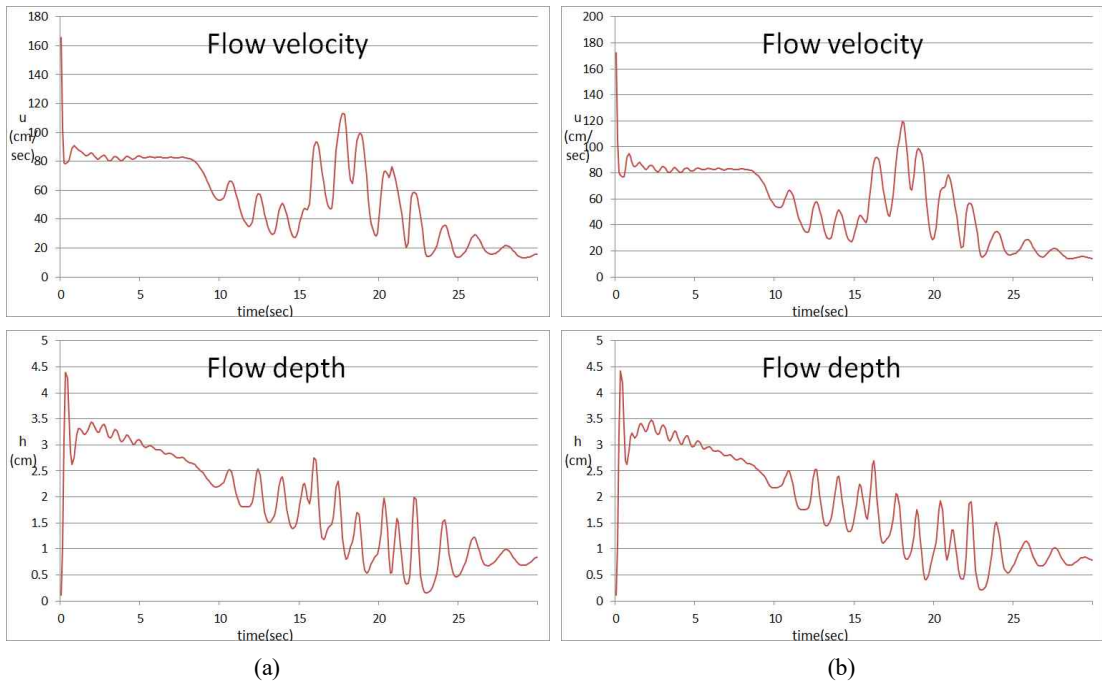


Fig. 6. Impact Force, Water Velocity, and Water Depth at (a) 5m-location of and (b) 4.5m-location of check dam for $Q_{inflow}=700\text{cm}^3/\text{sec}$

이렇게 연속적으로 여러 기의 사방댐을 설치하려고 할 때 각 위치에서 사방댐이 받는 충격력을 조사할 필요가 있다고 판단된다. 본 연구의 결과는 좋은 정보를 제공할 수 있다고 판단된다.

Fig. 7은 공급유량이 $700\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 일정시간 수로에 공급될 때, 수로 하단 끝에서의 사방댐의 설치위치에 따른 토석류의 충격력을 도시한 것이다.

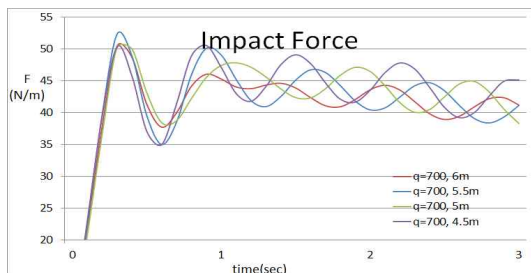


Fig. 7. Impact Force according the location of check dam for $Q_{inflow}=700\text{cm}^3/\text{sec}$

이 때, 토석류 충격력이 가장 크게 연속적으로 받는 구간인 0sec~3sec 구간을 확대하여 도시한 것이다. Fig. 7에서 보면, 1sec 미만 구간에서는 사방댐이 5.5m 위치에 설치된 경우 충격력이 가장 크게 나타났으며, 충격력

crest의 크기가 가장 높게 나타난 곳은 사방댐이 4.5m 위치에 설치된 경우가 높게 나타났다. 공급유량이 $600\text{cm}^3/\text{sec}$ 인 경우와 마찬가지로 공급유량이 증대된 경우에도 사방댐의 위치 선정 시 각 위치별로 사방댐이 받는 충격력을 계산한 후에 사방댐의 적정위치를 선정할 필요가 있다고 판단된다. 공급유량의 증대는 토석류가 하류 끝단에 처음 도달했을 때에만 충격력의 Peak를 발생시키는 것이 아니라, 토석류가 처음 도달 이후 15sec 가 흐른 후에도 여러 번의 충격력 Peak가 발생한다는 것을 발견하였다. 이를 조사하기 위하여 Fig. 8로 토석류의 충격력을 도시하였다.

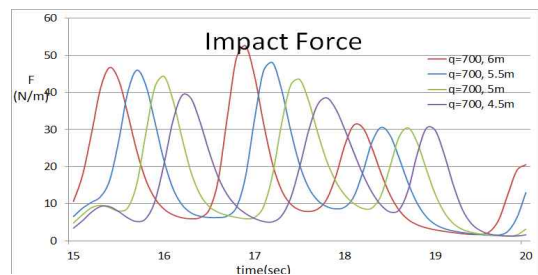


Fig. 8. Impact Force according the location of check dam for $Q_{inflow}=700\text{cm}^3/\text{sec}$ (Between 15sec~20sec)

이 때 공급유량이 700cm³/sec로 일정시간 수로에 공급하고, 토석류 충격력이 가장 크게 연속적으로 받는 구간인 15sec~20sec 구간을 확대하여 도시한 것이다. Fig. 8에서 보면, 사방댐이 6m 위치에 설치된 경우 토석류의 충격력을 가장 크게 받았으며, 전 위치에서 사방댐 충격력 Peak 값이 높게 나타났다.

따라서 산지에서의 집중호우로 인한 강우의 증대는 하류에서 초기 시간에만, 사방댐에 충격을 가하는 것이 아니라, 이후에도 지속적으로 충격을 가하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

최근 기후 변화로 인하여 집중호우가 자주 발생하고 있으며, 이 집중호우에 의해 발생한 토석류는 많은 재산 피해와 인명피해를 초래하고 있다.

본 연구는 토석류 발생 가능성이 높은 산지에 사방댐을 설치하였을 경우, 사방댐의 설치 위치에 따라 공급유량의 변화에 대하여 사방댐이 받는 충격력을 평가한 것이다. 수치해석 모델은 침식과 퇴적 모델을 이용하여 유한차분법을 적용하였으며, 사방댐에 영향을 주는 토석류의 충격력은 유체의 연속성을 고려하여, 질량보존법칙과 운동량 보존 법칙을 만족하는 지배 방정식을 이용하였다.

토석류는 하류 끝단에 도달 초기에 충격력의 Peak가 발생하였으며, 토석류의 유속에 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 이는 빠른 시간 내에 빠른 유속의 토석류가 이른 시간 내에 도달함으로써 하류에 큰 피해를 초래하게 된다.

토석류 충격력의 fluctuation 진폭 크기는 6m 위치에 설치된 사방댐에서 크게 나타났으며, 토석류 방재를 위한 사방댐을 설치할 때, 설치 위치를 6m 지점에 설치할 필요가 있다고 판단된다.

강우량의 증가는 토석류의 유하 속도를 증가시키고, 증가된 속도는 물 입자와 토사의 충돌로 인해 에너지가 증대되고 있음을 보여준다. 따라서 산지에 연속적으로 여러 기의 사방댐을 설치하려고 할 때 각 위치에서 사방댐이 받는 충격력을 조사할 필요가 있다.

공급유량의 증대는 토석류가 하류 끝단에 처음 도달했을 때에만 충격력의 Peak를 발생시키는 것이 아니라, 토석류가 처음 도달 이후에도 여러 번의 충격력 Peak가

발생하였다. 따라서 산지에서의 집중호우로 인한 강우의 증대는 하류에서 초기 시간에만, 사방댐에 충격을 가하는 것이 아니라, 이후에도 지속적으로 충격을 가하는 것을 알 수 있다.

본 연구의 결과는 비탈 경사면에서 토석류 제어를 목적으로 설치되는 구조물이 받는 충격력과 사면에서 사방댐의 적정 위치를 설정하는 데 좋은 정보를 제공할 것이다.

References

- [1] S. Kim, I. Yoon, S. Oh, H. Lee, W. Bae, "Numerical simulation for behavior of debris flow according to the variances of slope angle", *Journal of the Korean Geo-environmental Society*, Vol.13, No.6, pp.59-66, 2012.
- [2] G. B. Crosta, "Failure and Flow Development of a Complex Slide: the 1993 Sesa, landslide", *Engineering Geology*, Vol. 53, pp. 173-199, 2001.
DOI : [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00073-9)
- [3] H. Chen, S. Dadson, Y. G. Chi, "Recent Rainfall-Induced Landslides and Debris Flow in Northern Taiwan", *Geomorphology*, Vol. 77, pp. 112-125, 2006.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.002>
- [4] T. Takahashi. *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. pp.1-448, Taylor & Francis/Balkema, Tokyo, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203946282>
- [5] S. B. Savage, K. Hutter, "The Dynamics of Avalanches of Granular Materials from Initiation to Runout. Part I: Analysis", *Acta Mechanica*, Vol.86, pp.201-223, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01175958>
- [6] J. S. O'Brien, P. Y. Julien, W. T. Fullerton, "Two-dimensional Water Flood and Mudflow Simulation", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.119, No.2, pp.244-266, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1993\)119:2\(244\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1993)119:2(244))
- [7] R. P. Denlinger, R. M. Iverson, "Flow of Variably Fluidized Granular Masses across Three-dimensional Terrain, Numerical Predictions and Experimental Tests", *Journal of Geophysical Research*, Vol.106, No.B1, pp.553-566, 2001.
DOI : <https://doi.org/10.1029/2000jb900330>
- [8] T. Takahashi, H. Nakagawa, T. Harada, Y. Yamashiki, "Routing debris flows with particle segregation", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.118, No.11, pp.1490-1507, 1992.
DOI : [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1992\)118:11\(1490\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1992)118:11(1490))
- [9] S. Kim, S. Oh, H. Lee, "The Study of Relationship between Bern Width and Debris Flow at the Slope", *Korean Geo-environmental Society*, Vol.14, No.11, pp.5-12, 2013.
- [10] J. Paik, S. Park, "Numerical Modeling and Field Measurement of 1D Debris Flows", *Proceeding of the*

Korean Society of Civil Engineers, Vol.2009, No.10 pp.698-701, 2009.

- [11] L. Luzi, F. Pergalani, M. T. J. Terlien, "Slope Vulnerability to Earthquakes at Subregional Scale, using Probabilistic Techniques and Geographic Information Systems", *Engineering Geology*, Vol.58, No.3-4, pp.313-336, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00041-7)
- [12] N. Miyazawa, T. Tanishima, K. Sunada, S. Oishi, "Debris-flow Capturing Effect of a Grid-Type Steel-Made Sabo Dam Using 3D Distinct Element Method", *Debris Flow Hazards Mitigation, Proceedings of the Third Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Switzerland, Rotterdam*, pp.527-538, 2003.
- [13] B. B. Shrestha, "Numerical Modeling on Debris Flows and Its Structural Counter Measure by Sabo Dam", Master's Thesis, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal, 2004.
- [14] Y. Satofuka, T. Mizuyama, "Numerical Simulation on a Debris Flow in a Mountainous River with a Sabo Dam", *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol.58, No.1, pp.14-19, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.11475/sabo1973.58.14>
- [15] H. Gotoh, E. Harada, T. Sakai, K. Goda, "Numerical Simulation of Blocking Process of Grid-Type Dam by Debris Flow", *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.50, pp.739-744, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.2208/prohe.50.739>
- [16] R. Osti, S. Egashira, "Method to Improve the Mitigative Effectiveness of a Series of Check Dams against Debris Flows", *Hydrological Processes*, Wiley InterScience, Vol.22, No.26, pp.4986-4996, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7118>
- [17] K. Chun, *Erosion Control Engineering*, Hyangmunsa, Seoul, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.978.897187/2338>
- [18] H. Kwon, "Safety Analysis of Check Dam according to Sediment Yield in Gangwon Mountain Region", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.11, No.5, pp.247-254, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2011.11.5.247>
- [19] C. Lee, S. Joh, K. Park, M. Kim, H. Yoon, A. R. Raja, "Quality Grading of Concrete Soil Erosion Control Dam in the Aspect of Unconfined Concrete Strength by Surface-Wave Technique", *Journal of Korean Forest Society*, Vol.101, No.3, pp.412-425, 2012.
- [20] X. Lin, Y. You, J. Liu, Y. Zhao, "A Tentative Study on the Stability of a Check Dam". WIT Press on *Advances in Earth and Environmental Sciences*, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.2495/icesep130081>
- [21] B. Yoon, K. Jun, B. Jun, W. Jung, "A Analysis on the Debris Flow Reduction Effect of Debris Barrier Through Simulation", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.18, No.2, pp.167-173, 2018
DOI: <https://doi.org/10.9798/kosham.2018.18.2.167>
- [22] S. Kim, K. Chun, S. Kim, K. Jun, "Analysis of Impact Force at the Check Dam For Debris Flow Disaster", *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. Vol.11, No.9, pp.65-77, 2014.

김 성 덕(Sung-Duk Kim)

[중신회원]



- 2001년 8월 : 중앙대학교 대학원 지구환경 시스템공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 중앙대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 강사

<관심분야>

재난관리, 방재해석

이 호 진(Ho-Jin Lee)

[중신회원]



- 1999년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2009년 10월 ~ 2010년 11월 : 콜라라도주립대 토목환경공학과 박사 후 연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수

<관심분야>

유사현상, 해안세굴

장 형 준(Hyung-Joon Chang)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 강사

<관심분야>

강우유출, 방재안전