수리학적 인자를 고려한 투과형 사방댐의 위치결정

Investigation on the Positioning of Open-type Debris Flow Check Dam considering Hydraulic Parameters

전병희* · 전계원**

Jun, Byonghee*, and Jun, Kyewon**

Abstract

In this study, the method for determining the position of open-type debris flow check dam was investigated using numerical models. Numerical experiments were carried out on a moving bed to investigate changes in hydraulic parameters such as flow rate, sediment concentration, water slope, and erosion / deposition velocity coefficient in the bed. It was found that the occurrence of flow peak in debris flow is a characteristic phenomenon, resulting in active erosion due to a rise in debris flow rate. The variation of sediment concentration can be a key factor in distinguishing between active debris flow and traction. A field-based numerical simulation was performed to investigate the proper placement of the check dam. The results of this numerical experiment were applied to the debris flow occurring in the valley in Gangwon-do to assess the appropriate positioning of the check dam. It is considered the hydraulic factors such as flow rate and sediment concentration is an effective method to determine the location of open-type check dams.

Key words : Debris Flow, Numerical Analysis, Hydraulic Parameter, Open-type Check Dam

요 지

수치모델을 이용하여 투과형 사방댐의 적정 설치위치를 결정하기 위한 연구를 진행하였다. 수치실험을 통해 이동상에서 토석류 흐름에 의한 유량, 토사농도, 수면경사, 침식/퇴적 속도계수 등과 같은 수리인자의 변화를 검토하였다. 포화된 토석류 흐름을 보이는 영역에서는 활발한 침식작용과 유량의 증가로 인해 특징적인 피크유량을 나타내고 있었다. 토사농도의 변화를 통해 활발한 토석류 흐름과 소류를 안정적이고 특징적으로 구분하는 것이 가능하다고 판단되었다. 이런 수치실험의 결과를 강원도의 토석류 발생계류에 적용하여 사방댐의 적정 설치위치에 대한 검토를 하였다. 그 결과 계류에서의 유량과 토사농도의 수리적 인자를 이용하여 사방댐의 적정 설치범위를 결정하는 것이 가능하다고 판단되었다.

핵심용어 : 토석류, 수치해석, 수리인자, 투과형 사방댐

1. 서 론

토석류 발생 계류에서 토사이동은 토석류와 소류로 구분할 수 있다. 토석류 구간은 유동상태에 따라 발생구간, 유하구간, 퇴적구간으로 나눌 수 있으며, 하상경사를 기준으로 15°이상에서 토석류 발생구간, 10° - 20°에서 토석류 유하구간, 2° - 15°에서 토석류 퇴적구간으로 볼 수 있으며, 2°이하

에서는 소류구간으로 볼 수 있다(Kim et al., 2012). 하상경사가 큰 토석류 구간에서는 토사입자가 물의 표면까지 도달하여 유동하며, 하상경사가 완만해 지면 토사입자가 상층에서는 나타나지 않고 하층에서만 존재하다가 소류사 흐름으로 전환된다(Takahashi, 2007).

사방댐은 토석류를 포착/차단하거나 유속을 감속시켜 흐름의 강도를 약화시키거나 유목을 포착하기 위해 이용되며

*교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 교수(Tel: +82-33-570-6878, Fax: +82-33-540-3139, E-mail: bhjun@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

**정회원, 강원대학교 방재전문대학원 교수(E-mail: kwjun@kangwon.ac.kr)

Member, Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

크게 투과형과 불투과형으로 나눌 수 있으며 토사의 흐름특성에 따라 사방댐 유형이 결정된다(Kim and Jun, 2018). 중력식 콘크리트사방댐으로 대표되는 불투과형 사방댐은 초기에 주로 건설되었으며, 사방댐의 차단효과가 높고 안정적인 장점이 있으나, 콘크리트 재료를 주로 이용하고 있어 환경성이 떨어지고 구조물이 대형화되어 경관을 해치거나 수변환경을 단절시켜 환경적인 면에서 문제점이 지적되고 있다(Mizuyama, 2008).

이러한 문제점에 대한 대안 중 하나로서 투과형 사방댐이 최근에 많이 적용되고 있다. 투과형 사방댐은 토사/유목의 차단효과가 크며 방재적 효과를 유지하면서도 유수를 적절하게 배제하고 상하류간에 유사가 단절되지 않고 연속적으로 유지되어 생태계의 차단도 줄일 수 있으며, 하류로의 유사공급도 가능하다는 점에서 환경적으로 우수하다고 할 수 있다. 투과형 사방댐은 버트리스형, 슬릿형, 네트형 등 여러 가지 형태가 있으나 그 효과는 유사하다고 할 수 있다(Takahashi et al., 2001). 특히 투과형 사방댐은 입경이 큰 석류를 저지하고 소입경의 토사를 유하시키는 분류기능을 가지는 질적 조절과 홍수시 유송토사를 일시적으로 저류하고 토사유출의 피크를 차단하여 적당한 양의 토사를 유하시키는 배분기능을 가지는 양적 조절이 가능하다(Oh and Jun, 2016).

이렇게 다양한 장점을 가지는 투과형 사방댐의 적용을 위해서는 적절한 위치를 선정할 필요가 있다. 토석류 형식 선정기준에서 투과형 또는 불투과형의 결정은 토석류 유하 구간과 퇴적구간에서 유목이 토사의 30% 이상을 차지할 때 투과형 사방댐을 적용한다고 되어 있다(NILIM, 2007). 다시 말해 하상경사가 아닌 유목의 발생량을 기준으로 하고 있다. 따라서 유목의 발생이 예상되어 투과형 사방댐을 설치한다면 계류의 어디에 설치하는 것이 유목뿐만 아니라 토석류의 차단에 효과적일 것인가에 대해 검토해야 한다. 그러나 이 기준에 의하면 하상경사는 2° - 20°의 범위가 되어 전체 토석류 구간이 포함되어 선정의 기준으로서 역할을 할 수 없을 뿐만 아니라 유목의 비율도 매우 임의적으로 판단할 수밖에 없다.

사방댐 위치선정 관련된 연구사례로서 산림청의 사방기술교본에는 슬릿형 사방댐의 경우 유목이나 일부 석류를 저지하기 위해 상류로부터 유목의 발생이 예상되거나 거대 석류가 많고 유수에 의해 쉽게 유하할 수 있는 계류라고 되어 있다. 버트리스 사방댐도 유목이나 토석 등의 이동이 예상되는 계류에 설치한다고 기술되어 있다(Korea Forest Service, 2014). 토석류 포착용 투과형 사방댐은 하상경사가 1/20 이상의 계류에서 적용한다며 토석류가 발생, 유하 및 퇴적하는 구간에 토석류를 포착할 목적으로 설치한다는 기준을 제시하고 있다(Chun et al., 2005).

Takahashi (2007)는 Grid-type dam의 최적 설치 위치와 Grid size의 크기 설정을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

이 연구에서 충분히 발달하지 않은 토석류 구간에 투과형 사방댐을 설치하면 토사가 사방댐을 통과해버려 차단효과가 낮았으며, 투과형 사방댐의 최적 위치는 토석류가 충분히 발달한, 즉 피크 유사량이 시작되는 지점에 설치하였을 경우 그 효과가 가장 좋다고 할 수 있다고 하였다. Osti와 Egashira는 1999년 베네수엘라(San Julian river basin)에서 발생한 토석류를 기준으로 연속사방댐의 설치 기준을 제시하였다(Osti and Egashira, 2008).

기존 연구에서 제시된 투과형 사방댐의 설치기준은 주로 경사도를 중심으로 한 것이나, 이런 경사도는 수치지도상의 경사도를 기초로 작성된 것이므로 실제 산지의 지형을 반영하는데 한계가 있다. 특히 토석류 유동에 의해 침식과 퇴적현상으로 지형이 급격하게 변화되고, 이렇게 변화된 환경에서 발생하는 유동현상은 초기 지형에서의 현상과 다르게 변화한다. 따라서 이러한 변화를 수치계산을 통해 모의하여 유동특성을 반영하여 위치를 선정할 필요가 있다.

본 연구에서는 토사유출의 피크를 차단하기 위해 투과형 사방댐이 매우 유효하다는 점에서 산지계류에서 토석류 유동특성을 분석하여 수리학적 인자를 반영한 투과형 사방댐의 설치위치를 결정기법을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 수치해석

토석류 해석을 위한 지배방정식은 흐름의 질량보존법칙, 운동량보존법칙 및 퇴적층의 질량보존법칙으로 구성된 유한차분법을 이용하였다.

물과 토사 혼합물의 질량보존식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = i \quad (1)$$

토사입자의 질량보존식

$$\frac{\partial (Ch)}{\partial t} + \frac{\partial (CM)}{\partial x} = iC^* \quad (2)$$

물과 토사 혼합물의 운동량 방정식

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (uM)}{\partial x} = gh \sin \theta - gh \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho_T} \quad (3)$$

여기서,

M(uh): x방향의 flux, u: 평균유속, h: 유동심, i: 침식(>0) 또는 퇴적(<0) 속도식, C: 토사농도, C*: 하상에서 최대 토사농도, β: 운동량 보정계수 (암석형 토석류에서는 1.25), g: 중력가속도, τ_b: 바닥의 전단응력, ρ: 물의 밀도, σ: 토사의 밀도, ρ_T: 물과 토사 혼합체의 밀도 (ρ_T = Cσ + (1-C)ρ)

하상의 형태가 직사각형이고 벽면은 고정상이고 바닥은 느슨한 형태로 보았을 때, 침식과 퇴적에 의한 하상의 변동은 아래의 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} + i = 0 \quad (4)$$

여기서, Z_b : 하상에서 침식 또는 퇴적된 깊이

침식, 퇴적 속도식은 Takahashi et al. (1992)에 의해 아래와 같이 제안되었다.

$$\begin{aligned} & \text{침식속도식 } (C < C_{\infty}) \\ i &= \delta \frac{C_{\infty} - C}{C_* - C_{\infty}} \frac{M}{d_m} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{퇴적속도식 } (C \geq C_{\infty}) \\ i &= \delta \frac{C - C_{\infty}}{C_*} \frac{M}{d_m} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, δ : 침식, 퇴적 계수, d_m : 토사의 평균 입경, C_{∞} : 평형토사농도

토사와 유체의 유동특성은 하상경사에 따라 소류, 소류상 집합유동, 토석류 흐름의 3가지로 구분되어 균형농도가 결정되며, 이 균형농도를 기준으로 침식/퇴적속도가 계산된다. 본 연구에서 이용된 구성식에 대한 자세한 내용은 Jun (2015) 과 Jun et al. (2015)의 선행연구에 자세히 서술되어 있다. Fig. 1에 수치실험에 이용된 수로의 모식도를 나타내었다. 수치실험 조건으로서 수로폭은 10 cm, 상류경사 17°, 하류경사 5°이며 길이는 각 5m로 하였다. 하상전체에 평균입경 3mm, 토사밀도는 2.65 g/cm³, 토층에서 유사입자가 차지하는 공간적 비율을 의미하는 부피밀도(Volumetric density)는 0.65, 내부마찰각 0.7인 포화된 토사가 3 cm의 두께로 존재하고 있어 토석류에 의한 이동상의 침식과 퇴적을 모의할 수 있도록 하였다. 상류단 경계조건으로 공급유량 600 cm³/s 으로 30초간 공급하는 것으로 하였다.

Fig. 1. Schematic Design of Numerical Experiment for Debris Flow

2.2 연구지역

Fig. 2는 연구 대상지역인 강원도 화천군 간동면 간척리 일대를 나타내며, 주로 산지와 하천으로 이루어져 있는 지역이다. 대상지역의 출구점 지역은 야영장 개설 공사와 교량설치 등 풍수해 및 토석류의 위험에 크게 노출 되어있으며 과거 토석류에 의한 재해가 발생한 지역으로 현재에도 강우시 토사가 다량 유출되고 있어 토석류 저감을 위한 빠른 대처가 요구되는 지역으로 분류 될 수 있다.

Fig. 2. Location of Study Area and Debris Flow Occuring Basin

3. 결과 및 토의

3.1 수치실험 결과

Fig. 3은 수치실험 수로에서 유량공급시간 20초 후 이동상 수로에서의 침식과 퇴적의 결과를 나타낸다. 그림에서 보조 세로축은 이동상에서 침식과 퇴적깊이를 나타내며 (-)값은 침식, (+)값은 퇴적을 나타낸다. 회색실선은 토석류 발생 이전의 토사층을 나타내며, 굵은 실선은 20초경과 후 토사층을 나타내며 이 두 값의 차이로 침식과 퇴적을 의미한다. 결과를 보면 17°로 급경사지역인 상류부 전반에서 침식이 발생하였다. 이후 경사가 완만해지는 지점인 5 m 지점에서 가장 큰 퇴적이 일어나고 있다. 침식에서 퇴적으로 천이되는 지점은 경사변화점인 5 m지점보다 상류인 4 m지점에서 일어나고 있다. 이 결과로부터 토석류에 의한 하상변화는 초기의 하상

Fig. 3. Erosion and Deposition on Bed

경사에 영향을 받지만 시간에 따라 변화되는 하상의 조건에 의해서도 지속적으로 영향을 받음을 알 수 있다. 본 연구에서는 활발한 침식작용과 함께 포화된 토석류의 흐름을 보이는 지역을 추정하여 투과형 사방댐의 설치위치를 최적화하는 것이 목표이다. 따라서 이 활발한 침식지역을 중심으로 수리학적 인자의 거동을 파악하는 것으로 하였다.

Fig. 4는 전체 수로에서 유량의 변화를 나타내고 있다. 토석류에서는 흐름의 선단부에 특징적인 유량피크가 나타난다. 수치실험 결과를 보면 유량공급 5초 후에는 아직 흐름이 유출부에 도달하고 있지 않으나 상류부에 유량의 급격한 증가가 보인다. 이후 10초 결과에서 상류의 유량피크는 감쇄되고 기울기 변화지점인 5 m지점 이전까지 피크유량이 보이다가 5 m지점 이후에는 피크유량이 소멸되고 안정적인 흐름을 보인다. 이런 결과를 통해 이 유량피크의 발생은 이동상의 토석이 유체로 이동함에 따라 유량이 증가된 결과로서 침식작용이 활발한 토석류의 발생구간에서만 특징적으로 볼 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4. Variation of Discharging Rate

Fig. 5는 수로에서 유사농도의 변화를 나타낸다. 토석류 발생 5초 후 결과에서 유사농도가 약 0.5까지 증가하고 있다. 이것은 활발한 침식작용의 결과이며, 이 과정에서 유사농도의 증가와 함께 피크유량이 나타난다고 볼 수 있다. 이후 10초의 결과를 보면 급경사지에서 증가한 유사농도가 완경사지에 도달하면서 0.1이하로 급격히 감소하고 있다. 15초 이후 상류지역에서 침식작용이 종료됨에 따라 유사농도의 증가도 점차 줄어들고 있으며, 수로 5 m지점부근에서 약간의 유사농도 증가만 관찰된다. 이런 결과를 볼 때 유사농도의 변화를 통해서 활발한 침식작용 구간을 판별할 수 있으며, 나아가 토석류 구간과 소류구간을 판별할 수 있는 주요 인자가 될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 유사농도의 변화는 유량변화에 비해 변동폭이 작아서 판별이 용이하고, 경사변화지점보다 상류에 있는 토석류 흐름의 종료지점을 잘 보여주고 있다고 판단되었다.

Fig. 5. Variation of Sediment Concentration

Fig. 6은 수로에서 수면경사의 변화를 보여준다. 수면경사는 유사농도에 크게 영향을 준다고 알려져 있으며, 충분히 발달된 석력형의 토석류와 소류상 집합유동을 구분하는 인자로서 수면경사가 이용되었다. 수치실험 결과에서 토석류 발생 10초 후에 수면경사는 상류에서 17°내외로 유지되다가 4m지점 이후 완만하게 감소하여 5°로 수렴하고 있다. 이런 결과에서 수면경사는 초기 하상 경사의 영향을 크게 받고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 수면경사를 기준으로 토석류 구간을 판별하는 것은 효과적이지 않다고 판단되었다.

Fig. 6. Variation of Water Surface Slope

Fig. 7은 수로에서 침식/퇴적속도계수의 변화를 나타낸다. 토사와 유체의 혼합체에 대한 보존식은 유동심의 시간적·공간적 변화를 나타내며, 그 차이는 결국 이동상과 유체 사이에서 토사가 이동하는 양이 되며 이것을 나타내는 것이 침식/퇴적속도계수이다. 이 계수는 하상의 연속식에서도 하상고(퇴적심)의 시간적 변화를 나타낸다. 유체의 관점에서 보면 침식현상은 이동상의 토사가 유체로 이동하는 것으로 침식/퇴적속도계수는 양의 값을 가지며, 반대로 퇴적시에

는 음의 값을 가진다. Fig. 7에서 토석류 초기에 상류부에서 양의 값을 보이다가 경사 변화지점에서 음의 값을 나타낸다. 시간이 경과하면서 상류부의 이동상에서 침식이 종료되어 속도계수는 0의 값 부근에서 안정된다. 10초 지점에서 침식과 퇴적이 정확하게 나타나지만 시간적으로 매우 짧은 시간에만 이러한 변화를 볼 수 있고 이후에는 큰 변화가 없었다. 이런 특징을 볼 때, 침식/퇴적속도계수의 변화는 유체에서 하상으로의 토사의 이동을 검토할 때 참고자료로서 이용될 수 있다고 판단되었다.

Fig. 7. Variation of Erosion/deposition Velocity Rate

3.2 현장 적용

현장계류를 대상으로 한 수치해석을 위한 조건은 x방향 격자크기는 40 m, 계류폭은 10 m, 계산 시간간격은 0.1초, 총 계산시간은 200초, 유입유량은 50 m³/sec, 토석류 발생시간은 120초간 공급되는 것으로 하였다.

Fig. 8. Distribution of Bed Altitude and Slope

Fig. 8에 연구대상 유역에서 토석류 발생 예상지점으로부터 하류지역까지의 하상고와 경사도를 나타내었다. 예상되는 토석류 트랙의 길이는 약 2 Km에 달하며, 경사도의 분포는 최상류부에서 약 400 m구간에서는 경사도가 13°이

상을 보이고 그 이후는 3°에서 13°의 분포를 보이고 있다. 선행연구에서 토석류 유하구간은 하상경사가 10°에서 20°인 구간에 해당하며, 이 구간이 사방댐이 설치 가능한 구간이 된다. 이 연구지역에서는 상류로부터 1,300 m 지점보다 상류지역에 해당한다. 이 연구에서는 하상경사뿐만 아니라 수리적 특성을 고려한 사방댐 위치선정을 하고자 하였다.

Fig. 9는 연구 대상지역에서 토석류 유출유량의 모의결과를 나타내고 있다. (A)는 전체 계곡거리에서 유량의 시간적 변화를 나타낸 것이며, (B)는 모의결과 중 20초, 40초, 60초의 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 9. Spatial and Temporal Variation of Discharging Rate

토석류의 특징인 유량피크를 보면 유출 후 20초정도에 상류 200 m에서 400 m사이의 지역에서 유량피크가 관찰된다. 이 유량피크의 발생은 이동상의 토석이 유체로 이동함에 따라 유량이 증가된 결과로서 침식작용이 활발한 토석류의 발생구간에서만 볼 수 있는 특징으로서, 이 구간에서 급격한 침식작용이 일어남을 예상할 수 있으며, 침식지속시간은 40초 이내로 보였다. 500 m이하 하류부에서는 유량피크는 사라지고 소류적인 특성을 보이고 있다. 이런 모의 결과로부터 사방댐의 설치위치는 발생지점에서 500 m 이하의 지점이 대상이 됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 연구 대상지역에서 유사농도의 변화를 나타낸다. 토석류 발생 20초 후에 토석농도를 보면 발생지점에서 250 m구간까지는 토석농도가 0으로 이 구간은 침식작용의 완료되어 하상에 유동층이 더 이상 존재하지 않음을 보여준

다. 이 지점 이후 토석농도는 급격히 증가해서 0.3 정도의 높은 농도를 보이고 있다. 발생 후 40초의 결과에서도 약 300 m지점에서 토석농도가 증가한 이후 완만히 감소하고 있다. 60초에서도 유사한 결과를 보이고 있으며, 1,500 m 이후에서는 유사농도가 0.1이하로 감소하고 있어 격렬한 토석류의 흐름이 사라지고 소류에 가까움을 알 수 있다. 이런 결과를 바탕으로 불투과형 사방댐의 적정 설치위치는 500 m에서 1,500 m사이의 지점이 적절하며, 투과형 사방댐은 포화된 토석류 흐름을 나타내는 500 m에서 1,000 m사이의 구간으로 판단된다.

Fig. 10. Spatial and Temporal Variation of Soil Concentration

이런 결과를 볼 때 유사농도의 변화는 토석류 구간과 소류구간을 판별할 수 있는 주요 인자가 될 수 있음을 알 수 있으며, 특히 유사농도의 변화는 유량변화에 비해 변동폭이 작아 판별이 용이하고, 경사변화지점보다 상류에 있는 토석류 흐름의 종료지점을 잘 보여주고 있다고 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 토석류 수치모형을 이용하여 수리학적 인자를 검토하여 투과형 사방댐의 위치선정기법에 대해 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이동상 수로를 대상으로 수치실험을 수행하여 토석류

발생에 의한 유로에서의 유량, 유사농도, 수면경사, 침식/퇴적속도계수 등 수리적 인자의 변화를 검토하였다. 유량의 변화에서 유량피크의 발생은 이동상의 토석이 유체로 이동함에 따라 유량이 증가된 결과로서 침식작용이 활발한 토석류의 발생구간에서만 특징적으로 볼 수 있음을 알 수 있었다. 유사농도의 변화는 토석류 구간과 소류구간을 판별할 수 있는 주요 인자가 될 수 있음을 알 수 있으며, 특히 유사농도의 변화는 유량변화에 비해 변동폭이 작아 판별이 용이하고, 경사변화지점보다 상류에 있는 토석류 흐름의 종료지점을 잘 보여주고 있다고 판단되었다. 수면경사의 변화나 침식/퇴적속도계수의 변화는 토석류 흐름 특성을 반영하는 인자이지만 사방댐 위치선정에는 적절하지 않다고 판단되었다.

- (2) 강원도 화천군 간동면 간척리 일대를 대상으로 현장에서 토석류 수치해석을 수행하여 투과형 사방댐의 적정 위치선정에 대해 검토하였다. 토석류 발생지점에서 상류 500 m지점까지 유량피크가 발생하고 있으며 이것은 포화된 토석류의 발생구간으로 예상된다. 500 m 지점보다 하류부에서는 유량피크는 사라지고 소류적인 특성을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 사방댐의 설치위치는 발생지점에서 500 m 이하의 지점이 대상이 됨을 알 수 있다. 유사농도의 변화를 보면, 최상류 구간에서는 토석농도가 0으로 이 구간은 침식작용의 완료되어 하상에 유동층이 더 이상 존재하지 않음을 보여준다. 이 지점 이후 약 300 m지점에서 토석농도는 급격히 증가해서 0.3 정도의 높은 농도를 보이고 있다. 1,500 m 이후에서는 유사농도가 0.1이하로 감소하고 있어 격렬한 토석류의 흐름이 사라지고 소류에 가까움을 알 수 있다. 이런 결과를 바탕으로 불투과형 사방댐의 적정 설치위치는 500 m에서 1,500 m사이의 지점이 적절하며, 투과형 사방댐은 포화된 토석류 흐름을 나타내는 500 m에서 1,000 m사이의 구간이 적절하다고 판단된다.
- (3) 토석류 수치모형을 이용하여 수리학적 인자를 검토하여 투과형 사방댐의 위치를 선정할 때 유량변화와 유사농도를 고려하는 것이 적절하다고 판단되며, 보다 정밀한 분석을 위해서는 고해상도의 지형자료가 중요하며 수치지도를 이용하는 것보다 LiDAR 등의 정밀측량을 적용할 필요가 있다고 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2016년 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(과제번호: 620160070)와 2018년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF - 2018R1D1A3B07049326)이었습니다.

References

- 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 Korea Society Forest Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 103-124.
- Jun, B.H. (2015). Two-dimensional numerical analysis for debris flow at Jecheon. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 6, pp. 207-212.
- Jun, K.W., and Oh, C.Y. (2016). Study on the terrestrial LiDAR topographic data construction for mountainous disaster hazard analysis. *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 31, No. 1, pp. 105-110.
- Jun, B.H., Jun, K.W., and Kim, B.S. (2015). Analysis of debris flow propagation on moving bed. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 3, pp. 285-290.
- Kim, S.D., Yun, I.R., Oh, S.W., Lee, H.J., and Bae, W.S. (2012). 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.
- Kim, Y.H., and Jun, K.W. (2018). Analysis of debris flow disaster area according to location change of check dam using Kanako-2D. *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 33, No. 1, pp. 128-134.
- Korea Forest Service. (2014). *Manual of technical standard for Sabo master plan*.
- Mizuyama, T. (2008). Structural countermeasures for debris flow disasters. *Int. J. Erosion Control Eng.*, Vol. 1, No. 2, pp. 38-43.
- NILIM (National Institute for Land and Infrastructure Management). (2007). *Manual of technical standard for establishing Sabo master plan for debris flow and driftwood*. Technical Note of NILIM No. 364. Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Tourism, Japan.
- Osti, R., and Egashira, S. (2008). Method to improve the mitigative effectiveness of a series of check dams against debris flows. *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp. 4986-4996.
- Takahashi, T. (2007). *Debris flow: Mechanics, prediction and countermeasures*. Taylor & Francis/Balkema, Tokyo.
- Takahashi, T., Nakagawa, H., Harada, T., and Yamashiki, Y. (1992). Routing debris flows with particle segregation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, pp. 1490-1507.
- Takahashi, T., Nakagawa, H., Satofuka, Y., and Wang, H. (2001). Simulation of debris flow deposition by open-type Sabo dam. *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, No. 44, B-2, pp. 185-191.

Received	June 28, 2018
Revised	June 28, 2018
Accepted	July 10, 2018