

## 토석류 방재를 위한 사방댐에서의 충격력 해석\*

### Analysis of Impact Force at the Check Dam for Debris Flow Disaster

Sung Duk Kim\*\*, Kun Woo Chun\*\*\*, Suk Woo Kim\*\*\*\*, Kye Won Jun\*\*\*\*\*

\*\*School of Civil Engineering, Chungbuk National University,

1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

\*\*\*,\*\*\*\*College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University,

1 Kangwondaehakgil, Chuncheon-si, Gangwon-do, Korea

\*\*\*\*\*Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joogang-ro,

Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

#### Abstract

This study is to analyze the characteristics of impact force by debris flow based on the Finite Difference Method (FDM), according to the variance of supplying water discharge and channel slope angle. The more supplying water discharges, the earlier fluctuation of debris flow is occurred with a longer duration and a higher amplitude of impact force. The debris flow velocity is speedier at the fluctuation points than on the downstream channel and maintains for a few seconds. The impact force of debris flow at the fluctuation points is stronger than at the early occurrence points. This finding indicates that the supplying water discharge, which is the energy source for debris flow, interacts with the particles of the flowing debris flow and thus the energy of debris flow increases. Such rising impact force of debris flow contains great energy and

---

\* 본 연구는 2015년 산림청 연구용역(과제명: 불투과형 사방댐 안정성 검토기법 개발)의 지원에 의해 수행된 연구임

\*\* Tel. +82-43-261-2403. Fax. +82-43-275-2377. E-mail. [soungdoug@hanmail.net](mailto:soungdoug@hanmail.net)

\*\*\* Tel. +82-33-250-8313. E-mail. [kwchun@kangwon.ac.kr](mailto:kwchun@kangwon.ac.kr)

\*\*\*\* Tel. +82-33-250-8313. E-mail. [secontrol@naver.com](mailto:secontrol@naver.com)

\*\*\*\*\* Corresponding author. Tel. +82-33-570-6816. E-mail. [kwjun@kangwon.ac.kr](mailto:kwjun@kangwon.ac.kr)

Submission & Publication Process

Received: Aug. 6, 2015 / Revised: Aug. 26, 2015 / Accepted: Sep. 1, 2015

---

keeps attacking the check dam.

**Key words:** impact force of debris flow, fluctuation, check dam, Finite Difference Method

#### 국문초록

본 연구에서는 유한차분법을 기초로 하여 공급유량 변화 및 수로경사에 따른 토석류의 충격력 특성에 대해서 분석하였다. 공급유량이 많을수록 토석류의 fluctuation이 빠른 시간에서 발생하며, 그 지속시간도 길고, 크기의 진폭도 훨씬 크게 나타난다. 또한, 토석류의 유속은 fluctuation이 발생하는 지점에서의 크기가 토석류 발생 초기 보다 빠르게 수 초간 지속되는 것을 보여준다. 토석류의 충격력은 발생 초기의 첨두(Peak) 값보다 fluctuation이 발생하는 지점에서의 첨두(Peak) 값이 더 크게 되며, 이는 토석류의 에너지 공급원인 공급 유량과 유사하는 토석류의 입자와의 충돌로 인해 에너지가 상승하게 되고, 크기가 커진 토석류의 충격력이 지속적으로 사방댐에 충격을 가함으로써 사방댐 안전에 위협이 되고 있음을 나타낸다.

**주제어:** 토석류의 충격력, Fluctuation, 사방댐, 유한차분법

## 1. 서론

최근 기후변화에 의해 빈번하게 발생하는 슈퍼태풍과 국지성 집중호우는 국토의 64%가 산지로 되어 있는 우리나라에서 토석류 재해의 위험성을 증가시키고 있고, 대규모의 인명 및 재산피해를 야기하고 있다. 토석류 재해는 시공간적으로 불균일하고 불규칙적이어서 정확한 예측을 하기에는 여러 가지 어려움이 존재한다. 우리나라에서는 이러한 토석류에 의한 재해를 방지하기 위하여 주로 사방댐이 설치되어 왔다.

토석류 방제를 위한 사방댐에 관한 연구로서 Chun(2011) & Korean Forest Service (2014)은 중력식 콘크리트 사방댐 설계시의 전도, 활동, 제체파괴 등에 대한 안전조건을 제시하고 있고, Kwon(2011)은 기 시공된 사방댐을 대상으로 토사유출량을 산정하고 신뢰성 함수를 구축하여 용량초과확률을 산정한 후 토사유출에 따른 안정성을 해석하였다. Lee, et. al.(2012a)은 20년 이상 경과된 노후 콘크리트 사방댐을 대상으로 SASW 표면파 기법을 활용하여 콘크리트 압축강도를 평가하였고, Park et. al.(2013)은 1990년대 시공된 콘크리트 사방댐을 대상으로 콘크리트 테스트 해머를 활용하여 반발경도를 측정하고 사방댐 안정성을 평가하였다. Lee, et. al.(2012b)과 Lee, et. al.(2013)은 기 시공된 사방댐에 대한 현장 육안점검 결과를 토대로 안전성을 진단하였다. Lin, et. al.(2014)은 토석류 내의 진흙의 높이가 댐고 이상일 경우와 미만인 경우로 구분하여 외력 영향에 따른 활동방지계수와 전도방지계수에 대하여 수치적으로 검토하였다.

그러나, 기존의 사방댐 설계에 있어서 체체의 안정성을 평가하기 위하여 댐의 자중, 정수압, 퇴사압 및 간극 수압 등의 인자를 고려하고 있으나 토석류의 충격력에 대한 검토는 고려되고 있지 않고 있다. 뿐만 아니라, 투과형 사방댐의 설계 시의 수압, 수중토압, 토압 및 퇴사압 등의 검토에 대한 명확한

기준 부재가 문제점으로 지적되고 있다(Kim, *et. al.*, 2009; Jung, *et. al.*, 2010).

본 연구에서는 토석류의 충격력 특성을 분석하기 위해서 수정된 침식 퇴적 결합모델 (Kim and Lee, 2014)의 방법을 적용하여 수치모의를 수행하였다. 상류부의 공급유량 변화에 따른 충격력 변화와 상류부의 공급유량을 일정하게 한 후 비탈면 경사를 변화시켜가며 비탈면 경사변화에 따른 충격력 특성을 분석하였다.

## II. 지배방정식

토석류에 의한 충격력은 운동학적(Kinematic) 성질의 유체입자와 소류하는 토사 결합체의 상호 운동성의 효과로 기인되는 유체동역학적 성질을 갖는다. 토사와 유체 혼합물의 충격은 유하하는 속도의 제곱에 비례하며, 특히 유하하는 유체의 유동심의 침두(Peak) 점이 발생될 때 침두(Peak) 유량이 발생하게 되어 사방댐에 충격을 가중시킨다. 이러한 토석류의 충격력은 실제적으로 순간적인 한 번의 충돌로 사방댐에 작용하는 것이 아니라 유체 연속적 성질로서 일정시간 동안 지속적으로 사방댐에 충격을 가함으로써 사방댐의 안전에 상당한 영향을 미친다. 따라서, 유체 연속성의 관계를 고려하여 지배방정식을 설정한다. 식 (1)에서 (4)는 토사와 물 혼합물에서의 연속식과 역학적 관계를 나타낸다 Takahashi, *et. al.*(1992).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\nabla \phi h) = \lambda_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(c \nabla \phi h) = c_* \lambda_i \quad (2)$$

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

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

여기서,  $h$ 는 수심,  $\phi$ 는 속도포텐셜,  $\lambda_i$ 는 침식 및 퇴적속도,  $c$ 는 퇴사입자의 체적농도,  $c_*$ 는 하상에서 최대 토사입자농도,  $g$ 는 중력가속도,  $\theta$ 는 하상경사,  $z_b$ 는 기준수평면으로부터의 토사층의 두께,  $\rho_m$ 은 물과 토사 혼합물의 밀도( $\rho_m = (\sigma - \rho)c + \rho$ ),  $\sigma$ 는 토사의 밀도,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $\tau_b$ 는 저면전단력을 나타내며, 식 (3)에서  $\eta$ 의 값으로 Takahashi 등(1992)은 1.25를 제안하였다.

토석류의 흐름은 Stony debris flow, Immature debris flow, Turbulent flow의 세 가지 유형으로서 분류될 수 있으며, 이러한 분류는 토석류 농도에 따라 구분되어진다 (Kim, *et. al.*, 2012). 토석류의 충격력에 영향을 미치는 흐름은 Stony debris flow로서 식 (5)와 같다.

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

여기서,  $c_d$ 는 토석류 농도이고,  $0.3 \leq c_d \leq 0.9c_*$ 의 범위에 있어야 한다.  $\theta_h$ 는 수면경사,  $\psi$ 는 토사의 내부마찰각,  $c_*$ 는 퇴적토사농도를 나타낸다.

위의 토사와 물 혼합물 식과 Stony debris flow 흐름 식을 결합하여 충격력에 관한 식을 설정할 수 있다. 식 (6)은 토석류의 단위체적 중량을 나타낸다.

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

위의 식 (5)와 (6)에서 얻어진 토석류 농도와 토석류의 단위체적 중량을 가지고 식 (7)의 토석류에서의 충격력을 구할 수 있다.

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

여기서,  $K$ 는 토석류의 충격력 계수,  $U$ 는 토석류의 유속을 나타낸다. 본 연구에서는  $K$ 값을 1로 나타냈으나,  $K$  값은 많은 연구자들에 의해서 다양한 조건에 따라 여러 값으로 나타내어진다. 추후 다양한 변수를 갖는 토석류의 충격력에 대해서 연구를 진행할 계획이다.

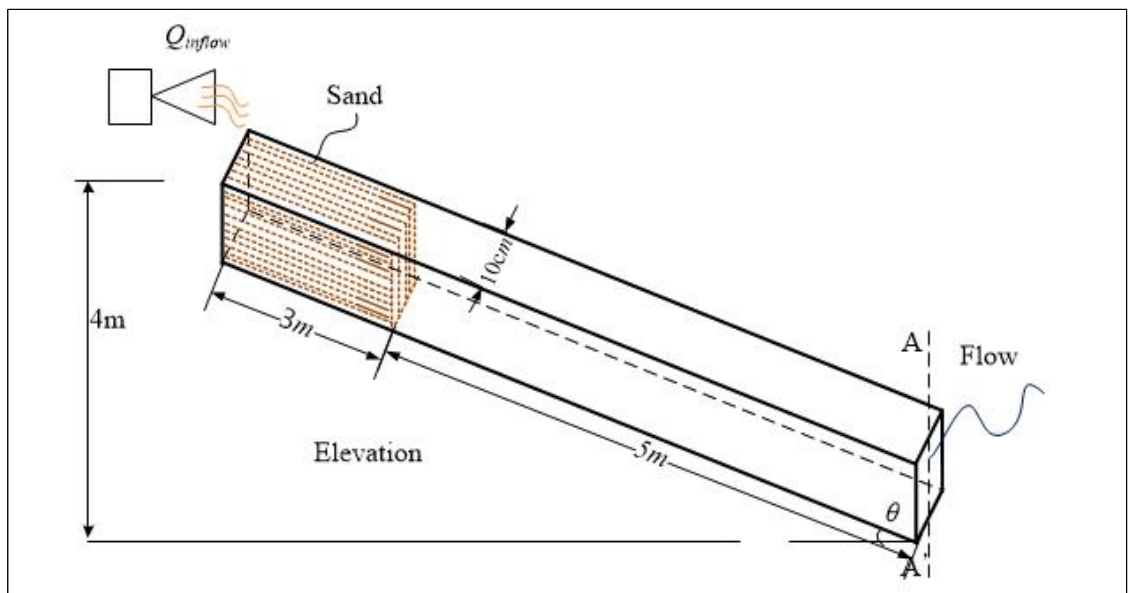
### III. 수치모델링 결과 및 분석

#### 1. 수치모델링조건

토석류 충격력의 특성을 조사하기 위하여 유한차분법을 적용하였으며(Kim & Lee, 2014), 포트란 프로그램을 이용하였다. <Figure 1>은 유한차분법이 적용된 본 연구의 수치 모델링에 사용된 수로 모식도를 나타낸다. 수로의 형태는 직사각형 형태이고, 상류부 수로의 3m구간에는 10cm 두께로 모래를 포설하고, 나머지 5m는 하류부 수로를 갖는다. 수로의 총 길이는 8m이고, 하상경사는 토석류 발생

위험도가  $15^\circ$ 이므로,  $14^\circ$ 와  $18^\circ$ 로 변화시켜가며 수치모델링을 수행하였다. 이 때 모래의 평균입경은  $3.1\text{ mm}$ , 모래입자의 밀도는  $2.65\text{ g/cm}^3$ , 퇴적토사농도  $c_* = 0.65$ , 내부마찰각  $\tan\psi = 0.7$ 인 것으로 설정하였다. 또한, 기후 변화에 따른 공급유량의 변화 특성을 분석하기 위해서  $Q_{inflow} = 600\text{ cm}^3/\text{sec}$ 와  $Q_{inflow} = 800\text{ cm}^3/\text{sec}$ 인 2가지 경우로 수치모델링 조건으로 설정하였으며, 이는 추후 수리모형실험을 위한 공급유량으로 사용하기 위함이다.

시간에 따른 변화를 모의하기 위해서 유량의 공급시간은  $20\text{ sec}$ , 계산수행시간은  $60\text{ sec}$ , 토석류가 수로의 하루단의 위치에 도달한 이후의 계산시간은  $30\text{ sec}$ , 계산간격은  $0.2\text{ sec}$ 로 설정하였다(김성덕 등 (2013)).



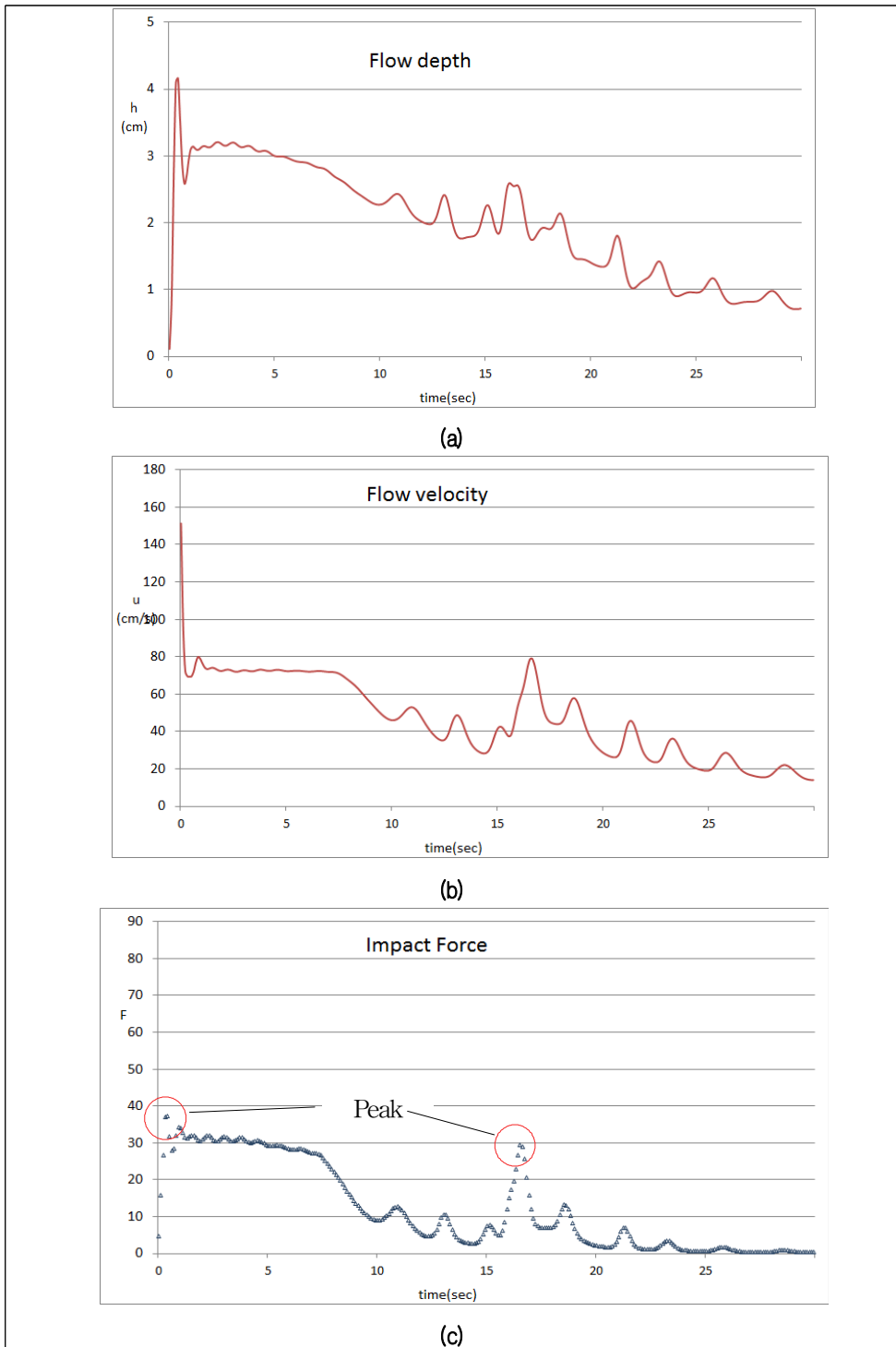
<Figure 1> The Diagram of the Channel by using Numerical Modeling

## 2. 결과분석

### 1) 유량변화에 따른 결과분석

최근 기후 변화로 인한 강우강도의 증대 등에 따른 강우량의 증가는 산악지역에서 막대한 피해를 야기한다. 따라서, 공급유량의 변화에 따른 토석류 충격력 크기를 분석할 필요가 있다. <Figure 2>와 <Figure 3>은 공급유량에 변화에 따른 유동심, 유속, 충격력의 크기를 도시한 것이다. <Figure 2>는 비탈면 경사가  $18^\circ$ 인 경우, 공급유량이  $Q_{inflow} = 600\text{ cm}^3/\text{sec}$ 일 때, 유동심, 유속 및 토석류 충격력의 크기를 시간변화에 따라 도시한 것이고, <Figure 3>은 비탈면 경사가  $18^\circ$ 인 경우, 공급유량이

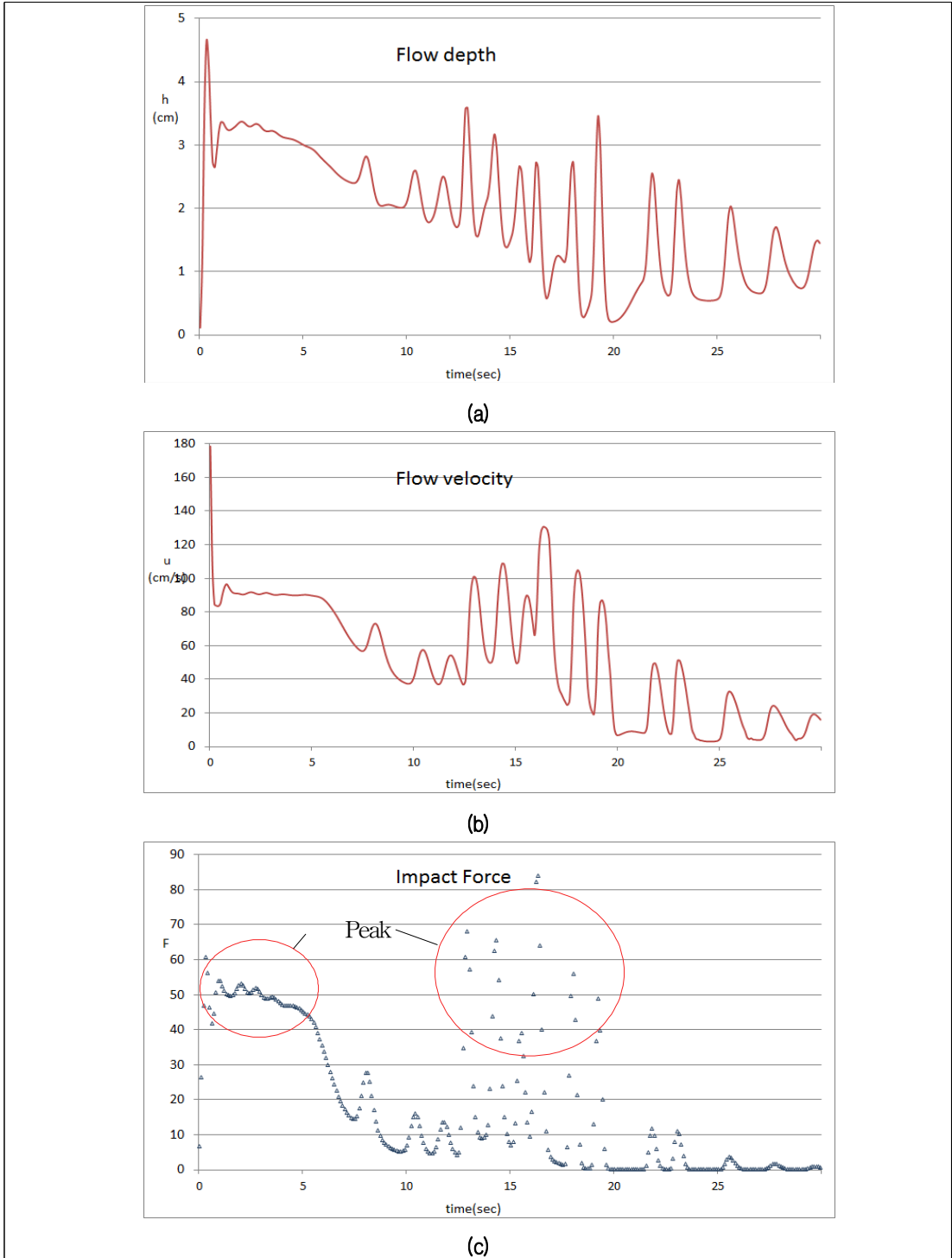
$Q_{inflow} = 800cm^3/sec$ 일 때 유동심, 유속, 토석류 충격력의 크기를 시간변화에 따라 도시한 것이다.



<Figure 2> Water Depth (a), Water Velocity (b) and Impact Force (c) for  $Q_{inflow} = 600cm^3/sec$

<Figure 2 (a)>에서 보면 토석류의 유동심은 토석류의 하류단 진입 초기에 크기가 큰 규모가 5초가 지속되었고, 발생 후 약 15초 지점에서 약 3초간 fluctuation이 발생하였다. <Figure 2(b)>에서 보면, 토석류의 유속은 토석류 도달 직 후 상당히 빠른 유속이 되며, 이후 유동심의 fluctuation이 발생하는 지점 즉, 16초대 지점에서 첨두(Peak) 형태의 유속이 발생하는 것을 발견할 수 있다. 이는 토석류가 발달하여 하류단에 도달할 때 상당히 빠른 속도로 진행하게 됨을 나타내는 특성을 본 연구의 모의를 통해서 다시 한 번 증명되었다. 이후 토석류의 유속이 fluctuation으로 인해 다시 한 번 첨두(Peak)에 도달하게 되는 것은 토석류가 유하하면서 그 에너지가 소멸되지 않고 계속 유지되다가 어느 시점에서 가중된다는 것을 의미한다고 판단된다. <Figure 2 (c)>에서 보면, 토석류의 충격력은 발생 초기와 fluctuation이 발생하는 지점에서 첨두(Peak)에 도달하게 된다. 즉, 토석류의 충격력은 토석류의 유속과 상당한 연관성이 있음을 그림은 보여주고 있다.

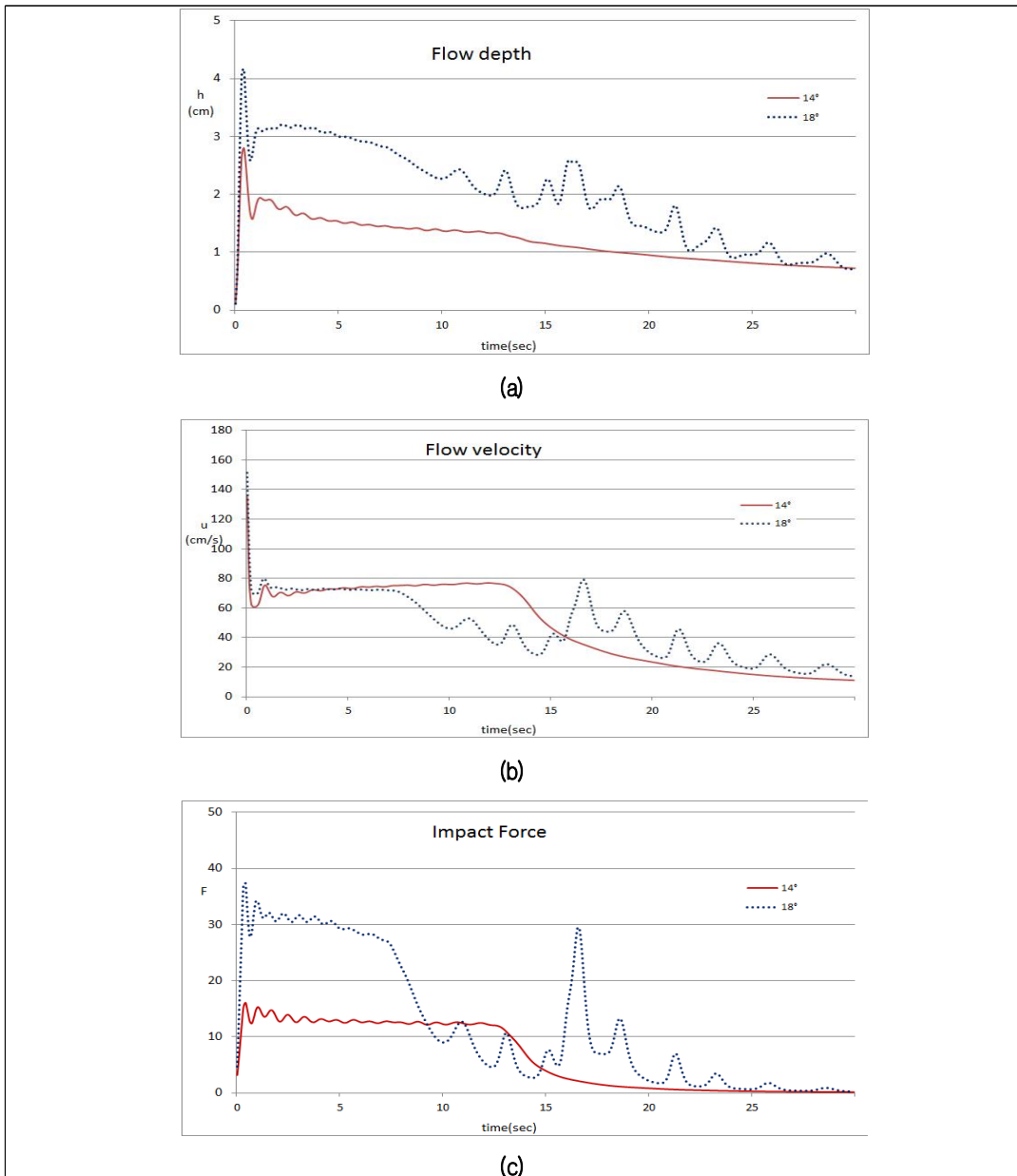
공급유량이 증대된 <Figure 3 >에서 보면 토석류의 양상은 더 위협적으로 변하고 있음을 보여준다. <Figure 3 (a)>에서 유동심은 <Figure 2(a)>의 양상과 비슷한 크기와 지속시간을 갖는다. 그러나, fluctuation이  $Q_{inflow} = 600cm^3/sec$ 에 비해 빠른 시간에서 발생하였고, 그 지속시간도 길었으며, 크기의 진폭도 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. <Figure 3(b)>에서 보면, 토석류의 유속은 fluctuation이 발생하는 지점에서의 크기가 토석류 발생 초기보다 빠르게 수 초간 지속되는 것을 보여준다. 이는 토석류의 유하 속도가 계속해서 공급되는 유량과 이미 하류단으로 흘러가고 있는 물 입자와의 충돌로 에너지가 증대되고 있음을 보여준다. <Figure 3 (c)>에서 토석류의 충격력은 발생 초기의 첨두(Peak) 값보다 fluctuation이 발생하는 지점에서의 첨두(Peak) 값이 더 크게 되고, 첨두(Peak)값의 지속성도 길다는 것을 알 수 있다. 이는 토석류의 에너지 공급원인 공급 유량과 유하하는 토석류 간의 충돌로 인해 에너지가 상승하게 되고, 크기가 커진 토석류의 충격력이 지속적으로 사방댐에 충격을 가함으로써 사방댐 안전에 위협이 되고 있음을 보여준다. 공급유량이  $Q_{inflow} = 800cm^3/sec$ 인 경우의 토석류 충격력 값이 공급유량이  $Q_{inflow} = 600cm^3/sec$ 인 경우의 토석류 충격력 값의 2배에 달할 정도로 큰 크기의 충격력 값을 갖게 되며, 첨두(Peak)점은 거의 3~4배의 지속성을 갖고 있음을 보여준다.



<Figure 3> Water Depth (a), Water Velocity (b) and Impact Force (c) for  $Q_{inflow} = 800cm^3/sec$

## 2) 비탈 경사면변화에 따른 결과분석

다양한 비탈 경사면을 갖는 우리나라에서는 급경사지에서 토석류가 발생했을 때 많은 피해를 입어왔다. 따라서, 비탈면 경사 변화에 따른 토석류 충격력 크기를 분석할 필요가 있다. <Figure 4>는 공급유량을  $Q_{inflow} = 600\text{cm}^3/\text{sec}$ 으로 일정하게 하고 비탈면 경사가  $14^\circ$ 와  $18^\circ$ 인 경우 유동심, 유속, 토석류 충격력의 크기를 시간변화에 따라 도시한 것이다.



<Figure 4> Water Depth (a), Water Velocity (b) and Impact Force (c) for Varing Slope Angle ( $Q_{inflow} = 600\text{cm}^3/\text{sec}$ )

<Figure 4 >에서 실선은 비탈면 경사가 14°인 경우이고, 점선은 비탈면 경사가 18°인 경우이다. 토석류의 발생위험도가 15°인 경우를 감안하면, 토석류의 충격력과 유동심이 상당한 격차를 보이고 있다. <Figure 4 (a) >에서 보면, 비탈면 경사가 14°인 경우 토석류 발생초기에 유동심의 첨두(Peak)점이 짧은 시간 존재하다가 이후 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 더 이상의 토석류 에너지 증대가 없이 완만하게 감소하는 것을 나타낸다. 반면에 비탈면 경사가 18°인 경우 고 유동심이 상당시간 지속되고, fluctuation이 발생함으로써 지속적인 유동심의 첨두(Peak)가 나타남을 볼 수 있다. <Figure 4 (b) >의 토석류의 유속변화에서 비탈면 경사가 14°인 경우 토석류 발생직후 13초까지 일정한 속도로 유지하여 유하하다가 14초를 기점으로 급격한 유속 감소를 나타냄을 볼 수 있다. 이는 에너지 원이 더 이상 공급되지 못하기 때문이라고 판단된다. 반면에 비탈면 경사가 18°인 경우 지속적인 토석류의 에너지 증대로 인해 유속의 fluctuation이 발생하고 있다. <Figure 4 (a) >와 <Figure 4 (b) >의 결과를 바탕으로 <Figure 4 (c) >의 토석류 충격력을 비교해 보면, 비탈면 경사 변화에 따라 상당한 크기의 차이가 있음을 발견할 수 있다. 이는 급경사지에서 발생하는 토석류의 충격력은 토석류 발생 초기에 첨두(Peak) 도달하는 크기의 토석류가 상당시간 지속되고, 이 후 에너지의 가속화로 인해 fluctuation이 발생함으로써 다시 한 번 토석류의 충격력의 첨두(Peak)에 도달하게 된다. 따라서, 사방댐의 설계에 있어서 이러한 토석류의 충격력의 크기에 대한 안전율을 검토해야 한다고 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 토석류의 충격력 특성을 분석하기 위해서 유한차분법을 사용하여 수치모의를 수행하였다. 상류부의 공급유량 변화에 따른 충격력 변화와 상류부의 공급유량을 일정하게 한 후 비탈면 경사를 경사 변화에 따른 충격력 특성을 분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

우선 비탈면 경사면을 일정하게 한 후 공급유량을 변화했을 때 공급유량이 많을수록 fluctuation이 빠른 시간에서 발생하였고, 그 지속시간도 길었으며, 크기의 진폭도 훨씬 크다는 것을 발견하였다. 또한, 토석류의 유속은 fluctuation이 발생하는 지점에서의 크기가 토석류 발생 초기보다 빠르게 수 초간 지속되는 것을 보여주며, 이는 토석류의 유하 속도가 계속해서 공급되는 유량과 이미 하류단으로 흘러가고 있는 물 입자와의 충돌로 에너지가 증대되고 있음을 나타낸다. 토석류의 충격력은 발생 초기의 첨두(Peak) 값보다 fluctuation이 발생하는 지점에서의 첨두(Peak) 값이 더 크게 되고, 그 지속성도 길다는 것을 발견하였다. 이는 토석류의 에너지 공급원인 공급 유량과 유하하는 토석류 간의 충돌로 인해 에너지가 상승하게 되고, 크기가 커진 토석류의 충격력이 지속적으로 사방댐에 충격을 가함으로써 사방댐 안전에 위협이 되고 있음을 나타낸다.

공급유량을 일정하게 한 후 비탈면의 경사변화에 따른 결과에서는 비탈면 경사가 낮을수록 토석류 발생초기에 유동심의 첨두(Peak)점이 짧은 시간 존재하다가 이후 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

반면에 비탈면 경사가 높을수록 고 유동심이 상당시간 지속되고, fluctuation이 발생함으로써 지속적인 유동심의 첨두(Peak)가 나타남을 볼 수 있다. 토석류 충격력을 비교해 보면, 비탈면 경사 변화에 따라 상당한 크기의 차이가 있음을 발견할 수 있다. 이는 급경사지에서 발생하는 토석류의 충격력은 토석류 발생 초기에 첨두(Peak) 도달하는 크기의 토석류가 상당시간 지속되고, 이 후 에너지의 가속화로 인해 fluctuation이 발생함으로써 다시 한 번 토석류의 충격력의 첨두(Peak)에 도달하게 된다. 따라서, 사방댐의 설계에 있어서 이러한 토석류의 충격력의 크기에 대한 안전율을 검토해야 하며, 더 나아가서 토석류 발달 직 후의 충격력 뿐만 아니라, 지속적으로 사방댐에 도달하는 첨두(Peak) 충격력의 크기에 대한 안전율의 검토 및 시간변화에 따른 충격력의 동역학적 성질에 대한 안전율도 검토해야 한다고 판단된다.

## References

- Jung, Jin Young, Don Seok, Bang and Buhm Soo Chang. 2010. Study regarding a system improvement for that Debris Flow disaster reduction. *Proceeding of Korean Society of Civil Engineer*. 2159-2162.
- Kim, Sungduk, and Hojin Lee. 2014. Simulation of Debris Flow Considering Erosion and Sedimentation. *Crisis and Emergency Management: Theory and Praxis*. 10(7): 149-159.
- Kim, Sungduk, Ilro Yoon, Sewook Oh, Hojin Lee, and Wooseok Bae. 2012. Numerical Simulation for Behavior of Debris Flow according to the Variances of Slope Angle. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*. 13(6): 59-66.
- Kim, Sungduk, Sewook Oh, and Hojin Lee. 2013. The Study of Relationship between Berm Width and Debris Flow at the Slope. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*. 14(11): 5-12.
- Kim, Woon-Hyung, Byung-Woong Song, Bum-Suck Kim, Ju-Han Kim and Kyung-Hee Lee. 2009. The Points of Issue and Countermeasure for Sediment Control Dam Designs. *International Symposium on Urban Geotechnics*. 1057-1064.
- Korean Forest Service. 2014. *Erosion Control Facilities*. Seoul: Saem-Moonhwa.
- Kun-Woo Chun. 2011. *Erosion Control Engineering*. Seoul: Haynag-Moon.
- Kwon, Hyuk Jae. 2011. Safety Analysis of Check Dam according to Sediment Yield in Gangwon Mountain Region. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(5): 247-254.

- Lee, Chang-Woo, Sung-Ho Joh, Ki-hyung Park, Min-Sik Kim, Ho-Joong Yoon and Raja A. R. Hassanul. 2012a. Quality Grading of Concrete Soil Erosion Control Dam in the Aspect of Unconfined Concrete Strength by Surface-Wave Technique. *Journal of Forest Science*. 101(3): 412-425.
- Lee, Jin-Ho Lee, Kun-Woo Chun, Sang-Myung Lee, Ju-Hwan Park, Bong-Ki Kim, Suk-Woo Kim and Jung Il Seo. 2013. A Study on the Safety Inspection of Erosion Control Facilities (I): In Case of Check Dams Located in the Gangwon Region. *Journal of Forest Science*. 29(3): 226-236.
- Lee, Sang-Ho, Cha-Sik Jung, Joong-Sig Kim, Ho-Jin Jung and Min-Sik Kim. 2012b. A Study on the Management Guidelines of Erosion Control Facilities in National Forest (I) - The Inspection Results of Erosion Control Facilities from 2009 to 2011. *Journal of Korean Forest Science*. 101(2): 251-258.
- Lin, Xueping, Yong You, Jinfeng Liu, and Yanbo Zhao. 2014. *A Tentative Study on the Stability of a Check Dam*. Advances in Earth and Environmental Sciences, ed. Y. Yang, WIT Press.
- Park, Ki-Hyung, Min-Sik Kim, Sung-Ho Joh, Chang-Woo Lee, Ho-Joong Youn and Kyong-Ha Kim. 2013. Study on the Stability Evaluation of Concrete Erosion Control Dam by using Non-destructive Test for Compressive Strength. *Journal of Korean Forest Science*. 102(1): 90-96.
- Takahashi, T., H. Nakagawa, T. Harada, and Y. Yamashiki. 1992. Routing Debris Flows with Particle Segregation. *Journal of Hydraulic Engineering*. 118(11): 1490-1507.

#### Korean References translated from the English

- 권혁재. 2011. 강원 산간지역의 토사유출에 따른 사방댐의 안정성 해석. 한국방재학회논문집. 11(5): 247-254.
- 김성덕, 오세욱, 이호진. 2013. 사면에서 토석류와 소단폭의 관계성에 관한 연구. 한국지반환경공학회논문집. 14(11): 5-12.
- 김성덕, 윤일로, 오세욱, 이호진, 배우석. 2012. 비탈면 경사 변화에 따른 토석류 거동의 수치모의. 한국지반환경공학회논문집. 13(6): 59-66.
- 김성덕, 이호진. 2014. 침식 및 퇴적을 고려한 토석류 모의. 한국위기관리논문집. 10(7): 149-159.
- 김운형, 송병웅, 김범석, 김주한, 이경희. 2009. 사방댐 설계방법의 문제점과 그 대책. 2009 한국지반공학회 세계 도시지반공학 심포지움 논문집. 1057-1064.
- 박기형, 김민식, 조성호, 이창우, 윤호중, 김경하. 2013. 콘크리트 비파괴시험법을 이용한 사방댐 안

정도 평가에 관한 연구. 한국임학회지. 102(1): 90-96.

산림청. 2014. 개정 사방기술교본. 서울: 샘문화.

이상호, 정차식, 김정식, 정호진, 김민식. 2012. 국유림 내 사방시설 관리방안에 관한 연구(1)-2009년~2011년 국유림 내 사방시설 점검 결과를 중심으로-. 한국임학회지 101(2): 251-258.

이진호, 전근우, 이상명, 박주환, 김봉기, 김석우, 서정일. 2013. 사방시설의 안전점검에 관한 연구 (1)-강원지역의 사방댐 점검결과를 중심으로-. 한국임학회지. 29(3): 226-236.

이창우, 조성호, 박기형, 김민식, 윤호중, 하사눌. 2012. 표면과 기법에 의한 콘크리트 사방댐의 콘크리트 강도 등급 평가. 한국임학회지. 101(3): 412-425.

전근우. 2011. 신고 사방공학. 서울: 향문사.

정진영, 방돈석, 장범수. 2010. 토석류 재해저감을 위한 제도개선에 관한 고찰. 2010 대한토목학회 정기학술대회 논문집. 2159-2162.

**김성덕:** 중앙대학교에서 공학박사(하천 및 해안공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 충북대학교 토목공학부에서 외래교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “Simulation of Seawater Intrusion Range in Coastal Aquifer Using FEMWATER Model for Disaster Information”, “사면에서 토석류와 소단폭의 관계성에 관한 연구(2013)” 등이 있으며, 관심 분야는 토석류, 하천 및 해안 방재 등이다(soungdoug@hamail.net).

**전근우:** 일본 홋카이도대학에서 농학박사 학위를 취득하고(논문: 荒廢溪流の微地形判讀と河道整備に關する砂防學的研究, 1987. 3), 현재 강원대학교 산림환경과학대학 교수로 재직중이다. 관심분야는 사방공학, 산림수문학, 녹화공학 등이며, 신고 사방공학(2011), 강제사방구조물 설계편람(2012), 산림과학개론(공저, 2014) 등의 저서와 주요 논문으로 “Large Wood Export Regulated by the Pattern and Intensity of Precipitation along a Latitudinal Gradient in the Japanese Archipelago(2012)”, “Distribution and Mobilization of Large Woody Debris in a Mountain Stream Network, Gangwon-do, South Korea(2015)” 등이 있다(kwchun@kangwon.ac.kr).

**김석우:** 일본 홋카이도대학에서 농학박사 학위를 취득하고(논문: Sediment Transport and Morphodynamics in a Mountainous Bedrock Stream, 2009. 3), 현재 강원대학교 산림과학연구소 연구교수로 재직중이다. 관심분야는 강우와 산사태 발생간의 관계, 산지계류의 지형변화와 토사이동 등이며, 환경보전사방사례집(공저, 2015) 등의 편역서와 주요 논문으로 “우리나라에 있어서 산사태 유발강우의 강도-지속시간 한계(2013)”, “Heavy Rain Types for Triggering Shallow Landslides in South Korea(2015)” 등이 있다(secontrol@naver.com).

**전계원:** 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원 교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해 방재 및 관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).