

Using Numerical Model to Analyze Reduction of Debris Flows by the Installation Location of Check Dams

Won Jun Tak[#], Kye Won Jun⁺, Byung Sik Kim, Yong Ho Yoon

Disaster Prevention, Kangwon National University Graduate School, 346 Joongang-ro, Samcheok-si, Korea

Abstract

Recently, South Korea has been facing a range of disasters caused by localized heavy rainfalls, tropical typhoon, and torrential downpours. In particular, debris flows disasters usually occurring in the mountains have rapidly increased during the past few years. However, debris flows are also observed in mountainous areas near cities, bringing significant damages to city centers, highways, bridges, etc. Thereby, debris flows can lead to high risk in both mountainous areas and city centers. In addition, difficulties in debris-flow forecasting increase the need for numerical studies on debris flows. Although various researches have widely been conducted on run-off control facilities for debris flows, it is necessary to focus more on research that would identify an ideal location for debris flow runoff reduction facilities based on basin characteristics or site conditions for the debris flow areas. In this regard, this research used a debris flow numerical model to identify the transfer mechanism of debris flows and analyzed the debris flow reduction effect of runoff control facilities by the installation location.

Key words: debris flow, mountainous disaster, Check Dam, location appropriate

1. 서론

기후변화로 인해 일강우 50mm의 호우 일수는 1790년대 7.4일에서 2000년대 14.4일로 두 배 이상 증가하였으며 강우량의 증가는 홍수의 발생뿐만 아니라 토석류 등에 의한 토사유출의 문제로 연결되고 있다. 토석류는 우리나라에서 뿐만 아니라 다른 나라에서도 큰 피해를 주고 있다. 강우, 지진, 폭설, 빙하의 해빙 등 원인에 의해 발생되는데, 우리나라의 경우 대부분 집중 강

우에 의해서 발생되고 있으며 대부분 자연적으로 형성된 자연사면에서 발생하기 때문에 예측이 매우 어렵고 발생할 경우 이동속도가 매우 빨라 피해 예방이 어렵다. 또 산지뿐만 아니라 도심지에서도 토석류의 피해사례가 늘어나 국민들에게 큰 불안감을 조성하고 있다. 이처럼 도심지까지 발생하는 토석류를 제어하고 인명 피해 및 재산을 보호하기 위해서 사용하는 적극적 피해저감방법으로는 토석류 유출저감시설을 설치하는 방법이 있다. 토석류 유출저감시설의 연구도 활발히 이루어

[#] The 1st author: Won Jun Tak, Tel. +82-33-570-6447, Fax. +82-33-570-6447, e-mail. wjta@kangwon.ac.kr

⁺ Corresponding author: Kye Won Jun, Tel. +82-33-570-6816, e-mail. kwjun@kangwon.ac.kr

지고 있다. 국내에서는 크게 두 분야에서 연구가 이루어지고 있다. 실험을 통한 토석류 유출저감시설의 위치별 적용성과 수치모형을 이용한 토석류 유출저감시설의 위치별 적용성으로 크게 나누어 연구가 진행되고 있다. Jun, *et. al.*(2013)은 토석류 수로를 이용하여 토석류 유출저감시설의 위치별 유출량을 비교하여 유역내의 계류에서 유출저감시설의 최적위치에 대한 실험을 진행하였으며 Kim(2011)은 실내토석류 실험을 통해 함수비에 따른 확산특성을 분석하여 제어시설 저감효과에 대한 실험을 실시하고 결과를 토대로 토석류 모형을 제시하였다. 또 Lim(2017), Kim(2017)은 KANAKO 2D라는 토석류 모형을 이용하여 토석류 피해지 분석을 실시하였으며 토석류의 침투유출량을 감소시키고 유출저감시설의 적정위치를 파악하기 위한 수치모델링을 실시하였다. 국외에서도 토석류 연구 선진국인 일본의 국토교통성에서는 사방시설 설치 기준에 대해서는 토사생산의 억제를 목적으로 한 유출저감시설의 설치 위치는 각 유출저감시설의 종류에 맞게 효과, 지형, 지질 등을 감안하여 붕괴 등의 우려가 있는 부분의 직하부, 하상이 침식될 가능성이 있는 부분의 직하부, 불안정한 하상 퇴적물의 직하부에 설치하도록 명시되어 있다.

본 연구에서는 토석류 수치모형인 RAMMS 모형을 이용하여 토석류 피해지 분석을 실시하였으며 토석류 유출저감시설의 위치에 따른 토석류 저감효과를 분석

하여 유출저감시설 적정위치를 선정하였다.

II. 모형의 기본이론

1. RAMMS 모형

산지재해 및 토석류를 해석하는 모형 중 RAMMS 모형은 Landslide/erosion mode에 분류되며 스위스 눈사태 관련 기관인 SLF인 WSL팀에서 개발하였다. RAMMS 모형은 Dynamics Modeling으로 토석(debris flow), 낙석(fall of rocks), 눈사태(avalanches)의 세 가지 모듈을 3차원 지형에서 시뮬레이션이 가능하다. 산지재해 및 토석류 피해 현장 문제를 해결해야 하는 공학자가 실제로 쉽게 이용할 수 있도록 개발되었으며 모의결과를 공학적 해석으로 가시화할 수 있는 툴과 결합되어 있다. RAMMS모형은 Voellmy-fluid friction 모델을 사용하며, 이것은 Voellmy-Salm의 접근 방법에 기초한다. 식 (1)과 같다.

$$S = \mu N + (1 - \mu) C - (1 - \mu) C \exp\left(-\frac{N}{C}\right) + \frac{\rho g U^2}{\xi} \quad (1)$$

식 (1)의 S=마찰력, H=유동심, C=유동물질에 대한 응집력, μ =dry-Coulomb type friction coefficient, g=중력가속도, ρ =밀도, U=유속, N=활동면에 대한 수직응력을 의미한다. C는 응집력을 가지고 있는 흐름물질로 N=0, U=0의 조건 일 때 마찰력 S는 0이 된다. C의

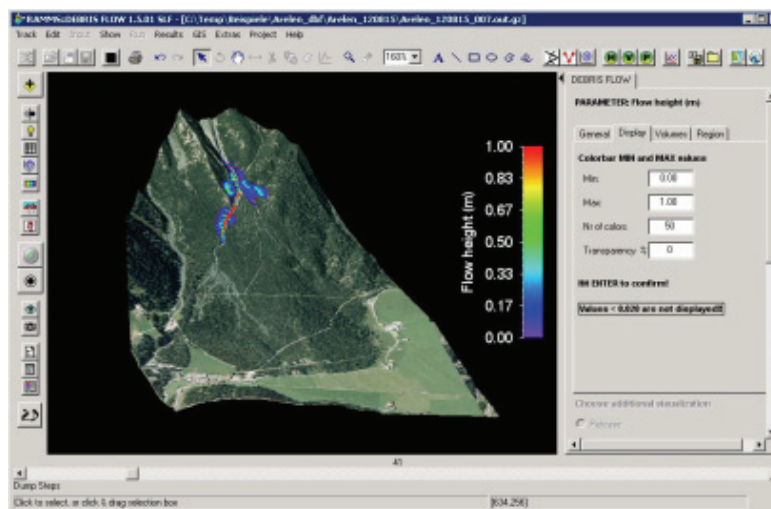


Figure 1. RAMMS of debris flow module

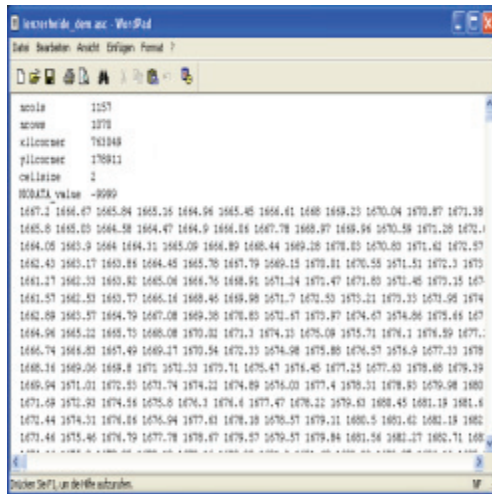


Figure 2. Text file in ASCII format

값이 증가하면 마찰력은 증가하게 되고 이에 전단응력이 증가하게 되며 모형에서 토석류나 눈사태의 시뮬레이션을 수행할 때 흐름이 약해지는 현상이 일어난다. 본 연구에서 사용되는 RAMMS 모형에서는 지형데이터를 불러온 후 사방구조물, 장애물 등 토석류 유출방지시설을 입력할 수 있으며, 연구자가 현장과 유사한 환경으로 유출방지 시설의 높이나 면적 등을 설정할 수 있다.

1) RAMMS 모형의 지형자료

RAMMS 모형의 입력 자료로는 지형자료, 유출면적 또는 유출수문곡선, 유출량, 마찰계수의 값이 입력되며 수치모의를 성공적으로 수행하기 위해서 정밀한 입력자료 값이 필요하다. RAMMS 모형에서의 입력자료 값이 필요하다. RAMMS 모형에서의 지형자료는 ASCII형식의 grid파일로 입력이 가능하다. 일반적으로 ASCII

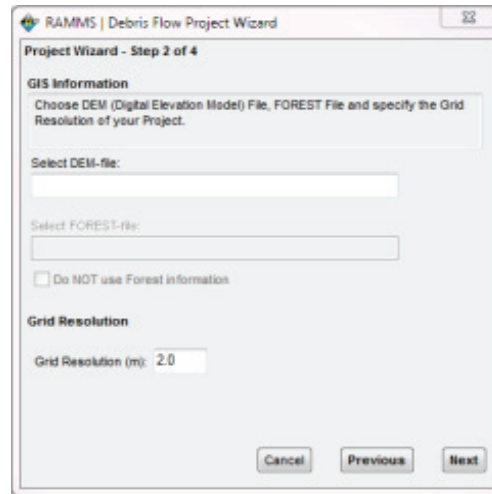


Figure 3. Topographic data input pop-up

형식의 grid파일은 ARC GIS에서 ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to ASCII에서 변환이 가능하다. <Figure 2>은 ASCII형식의 텍스트 파일을 보여주고 있는 것이며, <Figure 3>은 RAMMS 모형에서 지형데이터 입력 화면으로 ASCII로 변환된 DEM 파일을 불러온 후 grid 사이즈 설정이 가능해서 모형을 다루는 연구자가 필요로 하는 DEM size로 적용 후 모형 시뮬레이션이 가능하다.

2) 토석류 발생지점 및 구조물 입력

지형데이터를 불러온 후 모형의 매개변수 값을 입력하기 전에 release area를 이용하여 토석류가 시작하는 지점이나 사방구조물 등을 입력해줄 수 있다. <Figure 4>, <Figure 5>은 흐름이 발생하기 전·후 토석류 발생지점의 영역을 정의해주었다. <Figure 6>은 흐름이 있는 상태



Figure 4. Before setting the debris flow zone

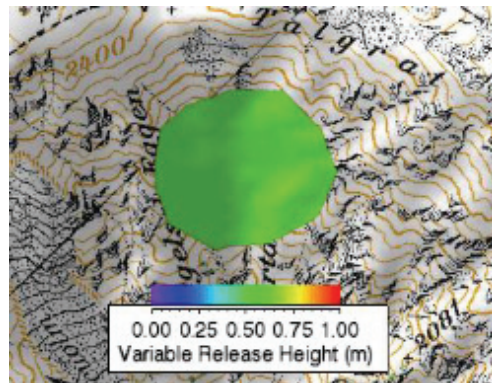


Figure 5. After setting the debris flow zone

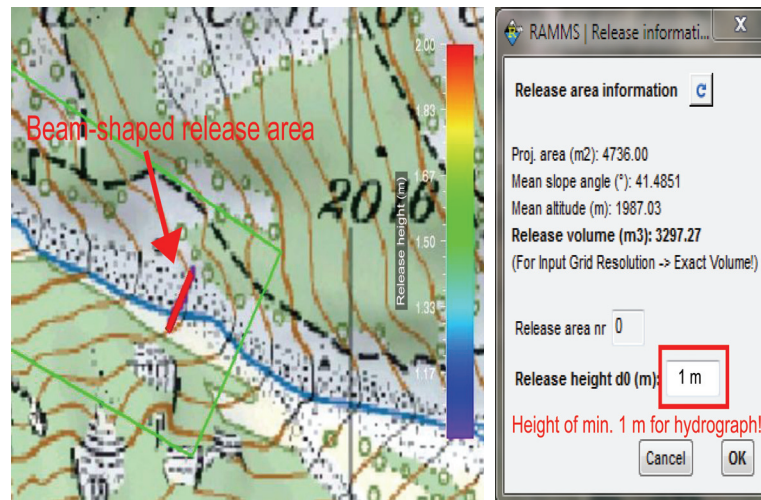


Figure 6. Set up structure and input properties

즉 토석류의 흐름이 예상되는 지점에 구조물을 설치하여 속성 값을 입력하는 그림이다. release height의 속성 값을 입력하여 구조물의 높이, 너비 등 결정이 가능하다.

2. 지상 LiDAR

토석류 피해현장의 정밀한 지형자료를 구축하기 위해 지상 LiDAR 3D 스캐닝을 이용하였다. 지상 LiDAR는 RIEGL사의 LMS-z210i로 반사율 80% 기준에서 최대 측정거리 650m, 수직 $0^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 수평 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 범위로 15mm의 오차수준으로 포인트를 획득할 수 있으며 카메라와 gps를 장착하면 측정 포인트의 RGB값 및 절대좌표를 획득 할 수 있다. 지상 LiDAR 스캐닝 이후

취득한 데이터를 이용하여 샘플링(Sampling) 및 필터링(Filtering)을 거쳐 등고선 추출, 벡터 드로잉, 편차 분석, 거리 및 각도 측정, 레벨 변환, 볼륨, 면적계산, 파노라마 이미지 생성, 데이터 최적화, 고해상도 화면 이미지 생성 등의 작업을 수행할 수 있다.

III. 모형의 적용

1. 대상유역

연구대상지역은 <Figure 8>와 같이 2006년 태풍 에위니아와 집중호우의 영향으로 많은 토석류가 발생한 곳으로 강원도 인제군일대의 설악산 국립공원으로 선

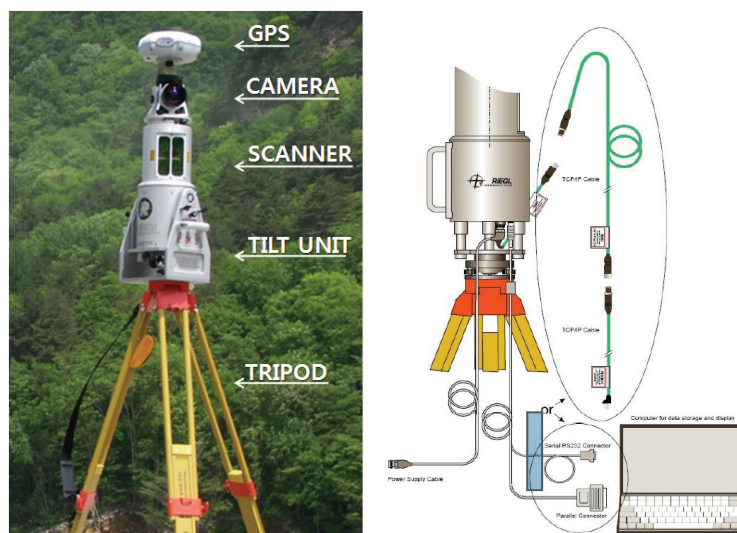


Figure 7. Configuration of terrestrial LiDAR

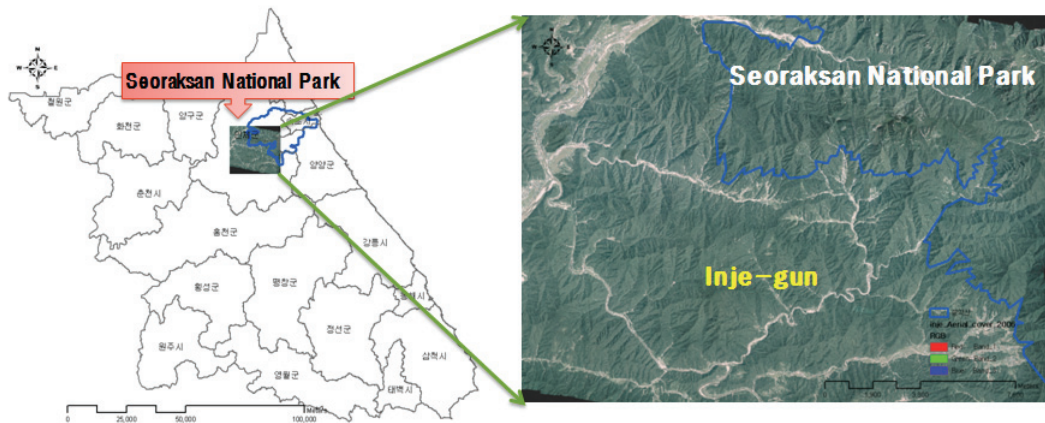


Figure 8. Study area(A)



Figure 8. Study area(B)

정하였다. 특히 인제군의 피해는 고산지대인 한계령 유역에는 최대 시우량 114mm, 3시간 지속강우량 241mm가 집중되어 발생하여 급한 유역경사와 하천경사를 이루고 있는 지역에 피해를 가중시켰다. 대상유역을 선정하기 위하여 일부지역 현장모니터링을 실시하고 현장 접근이 불가능한 지역은 토석류 발생 전·후 영상을 분석하여 디지털타이징을 실시하였다.

2. 현장조사 및 지형자료 구축

토석류의 유발요인 중 하나인 지형조건은 향후 토석류 발생 가능 지역인지를 대략적으로 가늠하는데 매우 유용한 자료이며, 현지점에서 토석류 발생위험성이 내

포된 지역인지를 판단할 수 있는 중요한 자료이다. 본 연구에서는 지형자료에 대한 정밀한 측량이 필요하다고 판단되어 토석류 피해가 일어난 대상유역에서 현장 조사 및 지상 LiDAR 3D 측량을 실시하였다. <Figure 9>은 설악산 국립공원 장수5교 부근에 토석류 피해가 일어난 지역의 현장조사를 실시한 사진이다. 토석류가 발생하여 퇴적부까지의 유하거리는 약 2km이며 피해 지역을 지상 LiDAR를 이용하여 지형 측량 작업을 실시하였다. 본 연구지역은 토석류의 발생부, 유하부, 퇴적부로 나누어 살펴보았을 때 구간별 특징 및 위험성을 확인할수 있었다. 토석류의 발생부는 경사가 가파르며 입자의 크기가 크고 작은 토석들로 이루어져 있었고 토

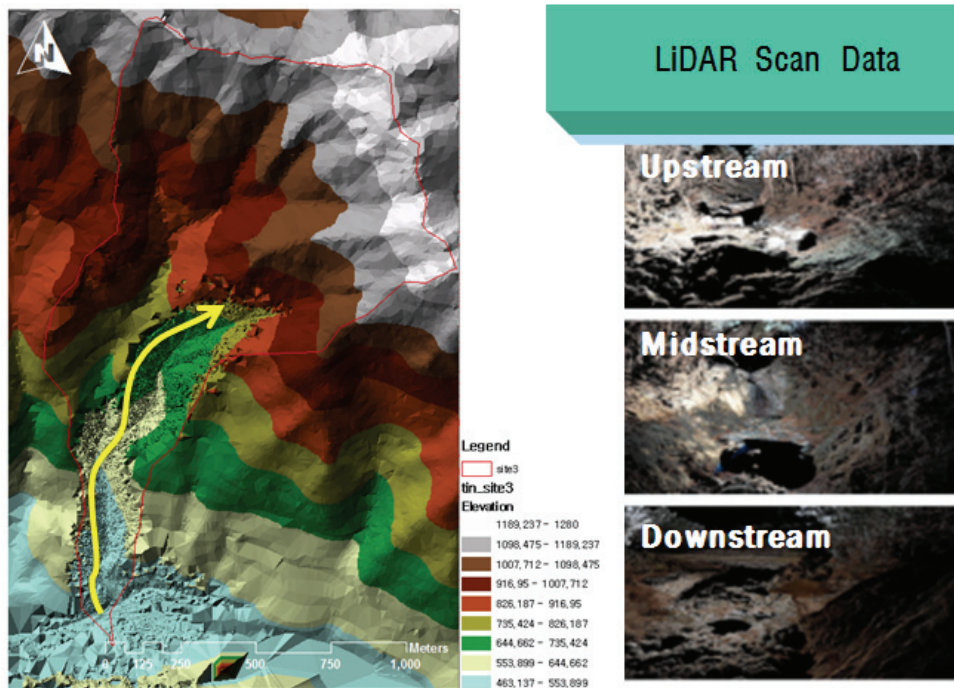


Figure 9. High-precision terrain map & field investigation

석류 발생부를 기준으로 약 1.5km의 지점에 장수대-대승폭포의 탐방로와 인접하고 있어 탐방객들에 대한 위험성도 감지되었다. 현장조사 결과 주로 계류를 따라 토석류의 이동이 이루어졌으며 유하부에서는 토석류 피해지역을 중심으로 계곡의 양쪽이 약 2m가 넘는 침식이 일어난 것으로 확인되었다. 퇴적부 부근에는 사방구조물인 링네트가 설치되어 있었으며 과거의 토석류 피해로 인해 토석으로 가득 차 지형이 수평상태로 형태가 이루어져 있었다. 링네트는 토석류 제어기능을 상실하여 토석류가 재차 일어난다면 퇴적부 부근의 교량 및 소하천에까지 피해가 가해질 것으로 확인되었다. <Figure 9>은 지상 LiDAR 스캐닝을 통해 추출된 자료로 DEM을 구축하였다. LiDAR로 촬영된 자료는 나무, 바위, 가옥 등 각종 지형지물에 의해서 지형자료에 오류가 생기는 부분이 있어 지형지물을 필터링 한 자료를 연구자가 사용하여야 한다. 필터링된 자료를 가지고 표고값을 가지고 있는 포인트 자료를 추출하여 제작된 DEM은 밀도가 높은 TIN을 구성할 수 있고 계곡이나 골짜기 등의 자료의 밀도를 높임으로써 지표면의 형태를 비교적 정확하게 기록할 수 있는 장점이 있다. 구축

된 고정밀도 지형자료는 토석류 유출저감시설의 위치 선정의 기초자료에 사용되었다.

3. RAMMS모형의 적용 및 분석

토석류 피해가 일어난 설악산 국립공원 인제군 한계리 지역인 본 연구지역에 RAMMS모형을 적용하여 토석류 피해지 분석 및 토석류 유출저감시설의 적지분석을 실시하였다. 토석류 유출저감시설의 적지분석을 실시하기 전에 현장조사를 통하여 실제 유출저감시설의 설치에 적합한 곳을 찾아 주었으며, 토석류 피해지역을 상, 중, 하류 구간으로 나누어 조사를 실시하였다. <Figure 10>은 RAMMS모형 모의 흐름으로 먼저 1:5000 수치지도와 고정밀도 지형자료를 구축하고, RAMMS모형의 매개변수를 선정해주었다. 먼저 <Figure 11>과 같이 유출저감시설의 위치를 상, 중, 하류에 각각 선정하여 모의를 하였으며, 유출저감시설이 설치되지 않은 경우에 대한 모의도 실시하여 유출저감시설의 위치에 따른 토석류 저감량 및 소하천에 영향이 미치는 토석류 확산범위를 분석하였다. <Table 1>은 RAMMS모형 모의에 사용된 매개변수이다.

Table 1. RAMMS model parameters

Grid size	volume (m ³)	Q (m ³ /s)	Simulation time(s)	mu	Xi (m/s ²)	velocity(m/s)	density (kg/m ³)
4×4	10000	150	1000	0.08	200	14	2000

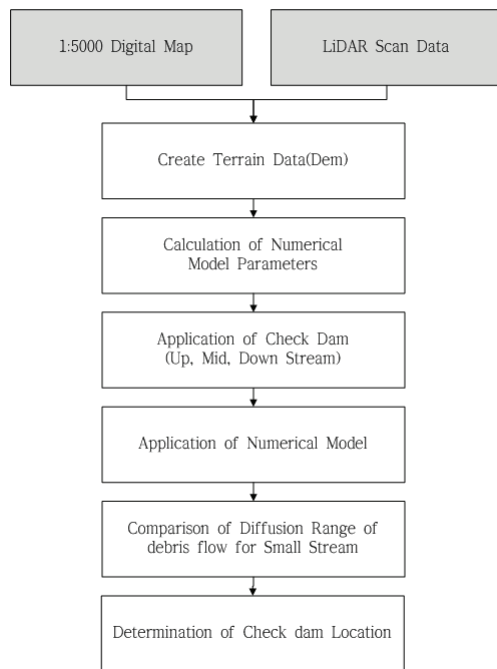


Figure 10. Flowchart of study

1:5000 수치지도를 이용한 결과와 고정밀도 지형자료를 이용해 RAMMS모형을 모의하였다. 토석류의 확

산면적과 유출저감시설의 위치별 저감량을 분석하여 유출저감시설의 적정위치를 선정하였다. 유출저감시설이 설치되지 않았을 때, 토석류 저감시설이 상류구간, 중류구간, 하류구간에 각각 설치되었을 경우 토석류 확산범위를 분석하였다. <Figure 12>는 동일지역에서 1:5000 수치지도를 이용하여 토석류 확산범위를 수치모형으로 모의한 것이고, <Figure 13>은 동일지역에서 지상LiDAR 측정자료를 이용하여 토석류 확산범위를 수치모형으로 모의한 것이다. 그림에 표시된 (A), (B), (C), (D)는 토석류 저감시설이 설치되지 않은 경우, 상류, 중류, 하류구간에 유출저감시설이 설치된 순으로 나열한 것이다. 분석결과 1:5000 수치지도와 지상LiDAR 측정자료를 이용한 수치해석 모형 모의시 토석류 유출저감시설이 하류구간에 설치되었을 경우 토석류 확산범위가 소하천에 가장 적은 영향을 주는 것으로 나타났다. 확산면적은 토석류 피해지역의 전체 확산면적과, 하류구간의 소하천에 확산된 토석류 확산면적을 기준으로 산정하였다. 1:5000 수치지도를 이용한 결과



Figure 11. Model simulation method

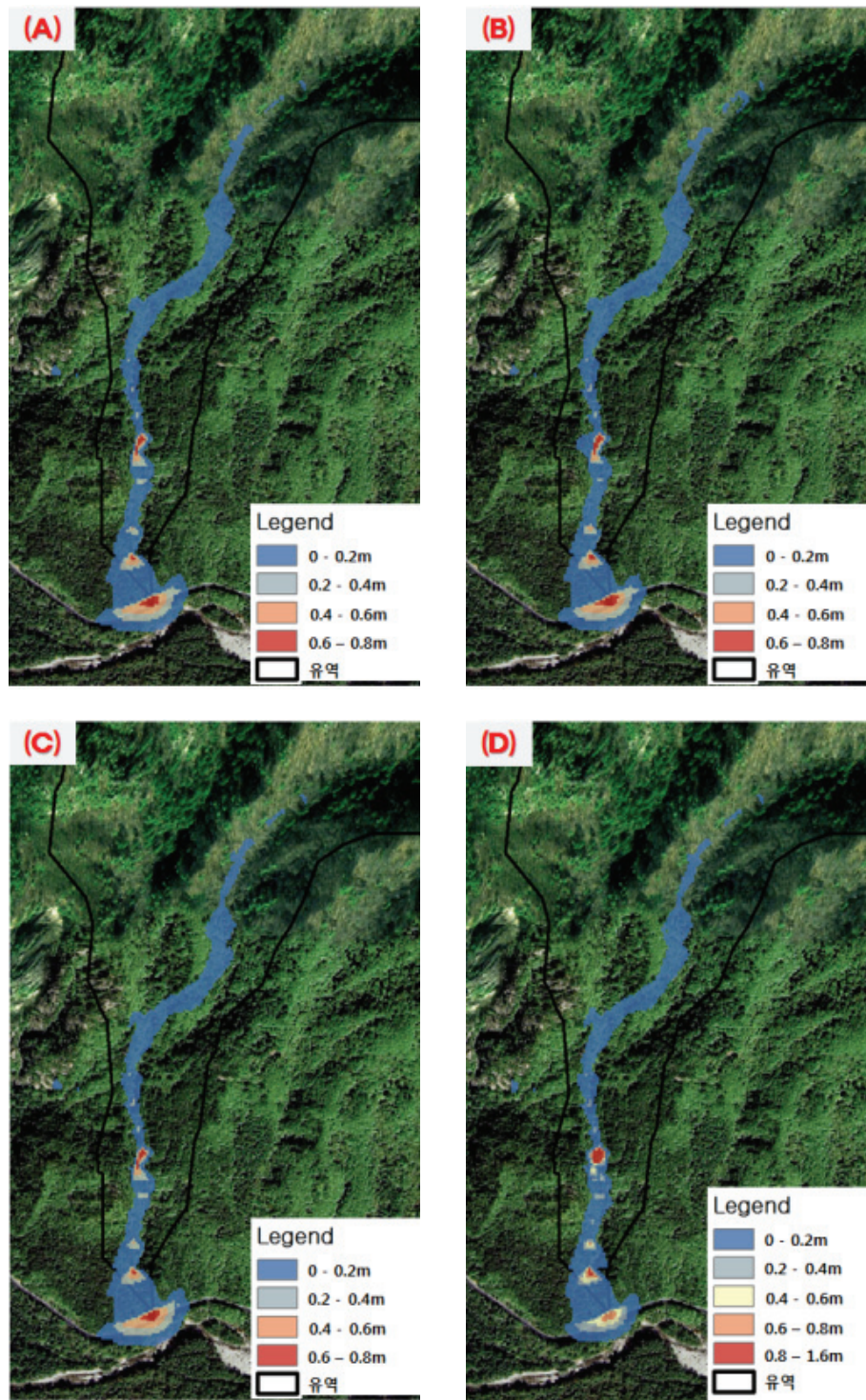


Figure 12. Run-out area(general digital map)

4.0%, 지상 LiDAR 측정자료를 이용한 결과 7.7% 감소하였고, 유출저감시설이 위치한 곳부터 소하천까지의 확산면적은 1:5000 수치지도를 이용한 결과 11.8%, 지

상 LiDAR 측정자료를 이용한 결과 16.7%의 면적이 감소하여 하류부 구간에 설치된 유출저감시설의 토석류 제어효과가 가장 큰 것으로 분석되었다.

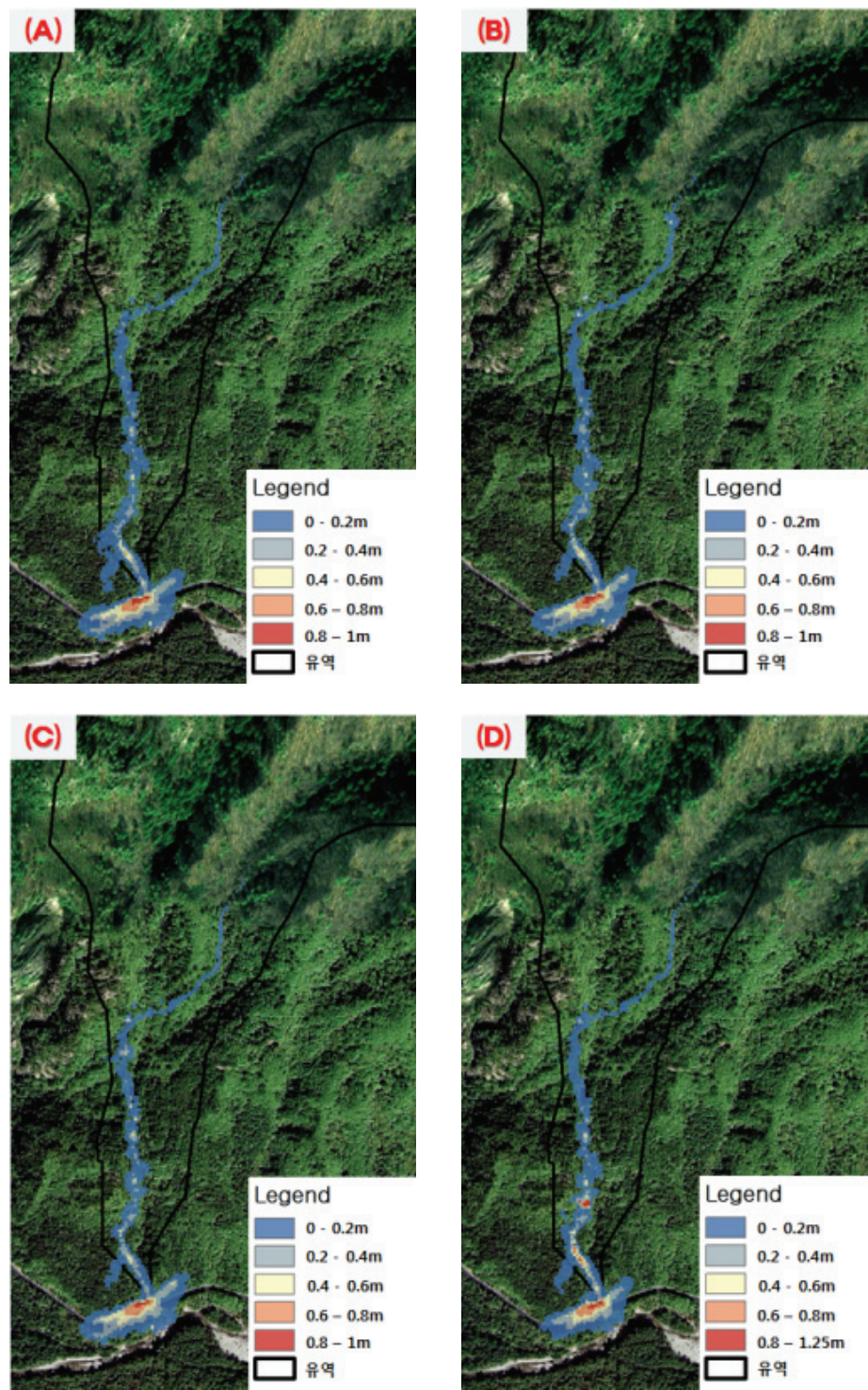


Figure 13. Run-out area(high-precision terrain map)

Table 2. RAMMS model parameters

	Upstream	Midstream	DownStream
Digital map	0.9%	1.4%	4.0%
High-Precision Map	2.7%	4.8%	7.7%

IV. 결 론

본 논문에서는 2006년 태풍 에위니아로 인해 피해가 발생하였던 설악산 국립공원 일대의 지역을 중심으로 지상 LiDAR를 이용한 현장조사를 실시하였다. 그 결과 기존에 지형자료로 사용되던 1:5000의 수치지도보다 정밀도 높은 DEM자료가 구축되었으며 토석류 수치모델링인 RAMMS 모형에 적용이 가능하였다. 토석류 수치모델링은 동일조건하에 유출저감시설의 위치별 저감량 및 확산범위를 산정하여 비교 분석하였다. 1:5000 수치지도를 사용하여 유출저감시설 위치별 토석류 저감량을 산정한 결과는 상류구간 0.9%, 중류구간 1.4%, 하류구간 4.0%로 하류구간에 설치되었을 때 가장 높은 저감량을 보였으며 고정밀도 지형자료를 사용하여 유출저감시설 위치별 토석류 저감량을 분석한 결과는 상류구간 2.7%, 중류구간 4.8% 하류구간 7.7%로 하류구간에 설치되었을 때 가장 높은 저감량이 나타났으며 유출저감 시설의 위치는 하류구간에 설치 시 큰 효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다. 1:5000의 수치지도와 고정밀도 지형자료를 활용한 토석류 저감량 분석결과 비교시 고정밀도 지형자료에서의 저감량이 1:5000의 수치지도에 비해 높게 나타났다. 그 이유는 토석류피해지역 종단면에 대한 침식 및 퇴적에 대한 지형이 반영되면서 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 실제 현장조사를 통해서도 토석류 피해지역은 계류를 따라 많은 침식이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 토석류 저감시설인 유출저감시설 설치시 현장조사와 모델링을 통한 과학적인 위치결정 접근방법을 보완한 추가 연구를 수행코자 한다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비와 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(MPSS-자연-2017-74).

References

- Jun, Kye Won, Byong Hee Jun, and Chang Deok Jang. 2013. Runoff Analysis of Debris-Flow According to the Install of Reduction Facility. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 9(3): 17-26.
- Kim, Ki Hwan. 2011. The Spreading of Debris Flow in Model Test and Effect of Mitigation Facilities. Ph. D. Dissertation. Sangji University.
- Kim, Nam Gyun. 2011. A Study on Transport and Diffusion of Debris Flow with FLO-2D. Master's Thesis. Kangwon National University.
- Kim, Young Hwan. 2017. Sediment Discharge Analysis According to Location Change of Check Dam Using Debris Flow Numerical. Master's Thesis. Kangwon National University.
- KISTI. 2013. *Trends of Reducing Landslide Technologies*.
- Lim, Young Hyup. 2017. A Study on the Application of Numerical Simulation to Erosion Control Facility Using KANAKO 2D. Ph. D. Dissertation. Kangwon University.
- Oh, Kyoung Doo, Chan Hee Lee, Byung Hwa Kang, Jae Young Heo, and Shin Bum Hwang. 2013. A Methodology to Analyse Landslide and Debris-flow Hazards Due to Heavy Rainstorms. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 9(9): 45-66.
- WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 2011. *RAMMS User Manual v1.4 Debris Flow*.

Korean References Translated from the English

- 김기환. 2011. 모형실험을 통한 토석류확산과 제어시설의 저감 효과. 상지대학교 박사학위논문.
- 김남균. 2011. FLO-2D를 이용한 토석류의 이동과 확산에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문.
- 김영환. 2017. 토석류 수치모형을 이용한 사방댐 위치 변화에 따른 토사유출 해석. 강원대학교 석사학위논문.
- 오경두, 이창희, 강병화, 허재영, 황신범. 2013. 집중호우로 인한 산사태 및 토석류 위험도 분석. 한국위기관리논집. 9(9): 45-66.
- 임영협. 2017. KANAKO 2D를 이용한 토석류 수치모의 및 사방

시설에의 적용 방안 연구. 강원대학교 박사학위논문.
전계원, 전병희, 장창덕. 2013. 저감시설의 설치 유무에 따른
토석류 유출량 해석. 한국위기관리논집. 9(3): 17-26.

한국과학기술정보연구원. 2013. 산사태 재해저감 기술동향.

Received: Mar. 29, 2017 / Revised: Apr. 4, 2017 / Accepted: Apr. 24, 2017

수치모형을 이용한 사방댐 설치위치에 따른 토석류 저감량 분석

국문초록 최근 국내에서는 이상기온으로 인한 국지성 폭우와 여름철 태풍 및 집중호우로 인한 다양한 재해가 발생되고 있으며 재해유형중에서도 산지재해에 속하는 토석류가 급증하고 있다. 토석류는 산지에서 일어나는 것으로 한정하기 쉬우나, 도심과 인접한 산지지역에서 토석류가 발생하여 도심지 및 고속도로, 교량 등에 큰 피해를 불러오기도 한다. 이처럼 토석류는 산지와 도심지 모두 발생 위험성이 높고 피해범위 또한 예측이 쉽지 않아 토석류에 대해 여러분야로 연구가 이루어지고 있다. 이 중에서도 토석류를 제어하는 가장 효과적인 구조물로 토석류 유출방지시설에 대한 연구가 많이 이루어지고 있지만 토석류가 발생하거나 또는 토석류 위험지역의 유역특성이나 현장여건을 적용한 토석류 유출저감시설의 위치에 대한 연구는 미비한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 토석류 수치모형을 이용하여 토석류 발생시 이동 메커니즘과 토석류 유출방지시설의 위치별 저감효과를 분석하였다.

주제어 : 토석류, 산지재해, 사방댐, 설치위치

Profiles **Won Jun Tak** : He received his Master of engineering from Kangwon National University, Korea in 2014. He is a Ph.D. course of the Department of Disaster Prevention & Management at Kangwon National University. His interesting subject of research is debris flow and landslide and hydrological analysis(wjtak@kangwon.ac.kr).

Kye Won Jun : He received his Ph.D. degree from Chungbuk National University, Korea in 2004. He is a professor of the Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, in which he has taught since 2004. His interesting subject and area of research and education are flood prevention, mountainous disaster prevention, and natural disaster prevention & management. He has published 74 articles in journals and written 8 books (including co-author books) (kwjun@kangwon.ac.kr).

Byung Sik Kim : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Inha University Korea in 2005. He is a professor of the Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering at Kangwon National University, in which he has taught since 2011. His interesting subject and area of stochastic hydrology and climate change. He has published about 84 articles in journals and written 5 books (hydrokbs@kangwon.ac.kr).

Yong Ho Yoon : He received his Ph.D. degree from Chungbuk National University, Korea in 1998. He is a professor of the Civil Engineering Dept, Kangwon State University, in which he has taught since 2001. His interesting subject and area of research and education are flood prevention(yhyoon@gw.ac.kr).