

Original Article

# RAMMS 모형을 이용한 경북 소규모 산지 유역의 토석류 모의

장형준<sup>1</sup> · 이호진<sup>2\*</sup> · 김성구<sup>3</sup>

<sup>1</sup>협성 대표, <sup>2</sup>충북대학교 토목공학부 교수, <sup>3</sup>강원대학교 방재전문대학원 재난안전관리전공 박사과정

## A Simulation of a Small Mountainous Catchment in Gyeongbuk Using the RAMMS Model

Hyung-Joon Chang<sup>1</sup>, Ho-Jin Lee<sup>2\*</sup>, and Seong-Goo Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Representative, Hyeopseong Company

<sup>2</sup>Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University

<sup>3</sup>Ph.D. Candidate, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

### 요약

산지가 국토의 60%를 차지하는 우리나라는 집중호우, 태풍 등의 토석류가 발생 할 수 있는 요인들이 증가하여, 산사태, 토석류와 같은 재해의 위험성이 크에도 불구하고 대부분의 지역에서 피해를 예방하기 보다 피해 후 복구에 편중되어왔으며, 토석류 발생지역에 대한 현장조사 및 토석류 수치해석에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 토석류 위험구간 분석을 위해서 실제 토석류가 발생한 지역을 대상으로 현장조사 및 드론측량을 실시하여 정밀도 높은 지형 데이터를 구축하고 수치해석 프로그램 RAMMS 모형을 활용하여 토석류 발생 유역을 대상으로 토석류 흐름 분석을 수행하고 실제 발생한 토석류 분포를 비교 분석하여 모형의 적용성을 평가하였다. 그 결과 RAMMS 모형으로 산정된 토석류 발생면적은 실제 면적보다 18% 크게, 이동거리는 10% 작게 산정되었으나, 모형으로 계산된 토석류 발생 형상과 발생 이동경로가 실제자료와 유사하게 모의되어 모형을 통한 토석류 이동의 경향성을 파악할 수 있다고 판단하였다. 향후, 국내에 적합한 모형 검증 및 미계측 유역에 대한 토석류 해석을 통한 피해 예상 지역의 선정 등의 추가 연구를 수행하고자 한다.

핵심용어: RAMMS, 토석류, 소규모 산지 유역, 집중호우, 태풍

### ABSTRACT

In Korea, mountainous areas cover 60% of the land, leading to increased factors such as concentrated heavy rainfall and typhoons, which can result in debris flow and landslide. Despite the high risk of disasters like landslides and debris flow, there has been a tendency in most regions to focus more on post-damage recovery rather than preventing damage. Therefore, in this study, precise topographic data was constructed by conducting on-site surveys and drone measurements in areas where debris flow actually occurred, to analyze the risk zones for such events. The numerical analysis program RAMMS model was utilized to perform debris flow analysis on the areas prone to debris flow, and the actual distribution of debris flow was compared and analyzed to evaluate the applicability of the model. As a result, the debris flow generation area calculated by the RAMMS model was found to be 18% larger than the actual area, and the travel distance was estimated to be 10% smaller. However, the simulated shape of debris flow generation and the path of movement calculated by the model closely resembled the actual data. In the future, we aim to conduct additional research, including model verification suitable for domestic conditions and the selection of areas for damage prediction through debris flow analysis in unmeasured watersheds.

**Keywords:** RAMMS, Debris flow, Small mountainous catchment, Heavy rainfall, Typhoon

\*Corresponding author: Ho-Jin Lee, hojinlee@chungbuk.ac.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6771-5690>

Received: 5 March 2024, Revised: 21 March 2024, Accepted: 23 March 2024



## 1. 서론

토석류는 산지 또는 계곡에서 토석 및 나무 등이 물과 섞여 빠른 속도로 유출되는 것을 말한다. 자연적 또는 인위적인 원인으로 산지가 일시에 붕괴되는 산사태와는 그 양상이 다르다고 할 수 있다(KFS, 2023b). 산림면적이 전체면적의 62.6%를 차지하는(KFS, 2023a) 국토의 대부분을 차지하는 우리나라는 기후변화에 의한 집중호우, 태풍 및 장마 강우일수가 증가되는 등의 토석류가 발생 할 수 있는 요인들이 증가하는 실정이며, 산사태, 토석류와 같은 지반재해의 위험성이 크다고 할 수 있다.

토석류로 인한 피해가 많이 발생함에도 불구하고 이전에는 대부분의 지역에서 피해를 예방하기 보다 피해 후 복구에 편중되어왔으며, 토석류 발생지역에 대한 다양한 현장조사, 토석류 수치해석에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

국내 연구 동향으로는 Kim(2011)은 토석류가 발생한 지역에 LiDAR 활용하여 정밀한 DEM을 구축하고 FLO-2D 모형을 사용하여 토석류의 이동과 확산범위를 산정하였다. Oh et al.(2013)은 FLO-2D와 SINMAP을 우면산 지역에 적용하여 집중호우로 인해 토석류 및 산사태가 발생할 수 있는 위험지역 분석방법을 제안함으로써 방재계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 판단하였다. Kim et al.(2013)은 우면산에서 발생한 토석류를 FLO-2D 모형을 사용하여 분석한 결과 모형의 적합성을 평가하고 모형적용 시 매개변수 선정의 중요성을 강조하였다. Tak(2015)은 지상 LiDAR를 통해 정밀한 지형자료를 구축하고, RAMMS 모형을 활용해 토석류의 발생지점부터 대피지역까지의 시간을 산정하여 토석류의 사전 예·경보 시스템이 구축되어야 한다고 판단하였다.

국외 연구 동향으로는 Calligaris et al.(2008)은 이탈리아의 Julian Alps에서 발생한 토석류에 대해 FLO-2D를 사용하여 토석류를 모의하였다. Hussin et al.(2012)은 프랑스 남부 알프스 지역에서 2003년에 발생한 토석류를 RAMMS를 사용하여 토석류 유출, 유동심, 유속에 관해 연구하였다. Cesca and D'Agostino(2008)는 이탈리아 Dolomites에서 발생한 토석류에 대해 FLO-2D와 RAMMS 두 가지 수치모형을 활용하여 분석하였다.

본 연구에서는 토석류 확산 분석을 위해서 실제 토석류가 발생한 지역을 대상으로 현장 조사 및 드론측량을 시행하여 정밀도 높은 지형 데이터를 구축하였다. 이를 바탕으로 수치해석 프로그램 RAMMS(Rapid Mass Movement Simulation) 모형을 활용하여 토석류 발생 유역을 대상으로 토석류 흐름 분석을 수행하고 실제 발생한 토석류 분포를 비교 분석하여 모형의 적용성을 평가하였다.

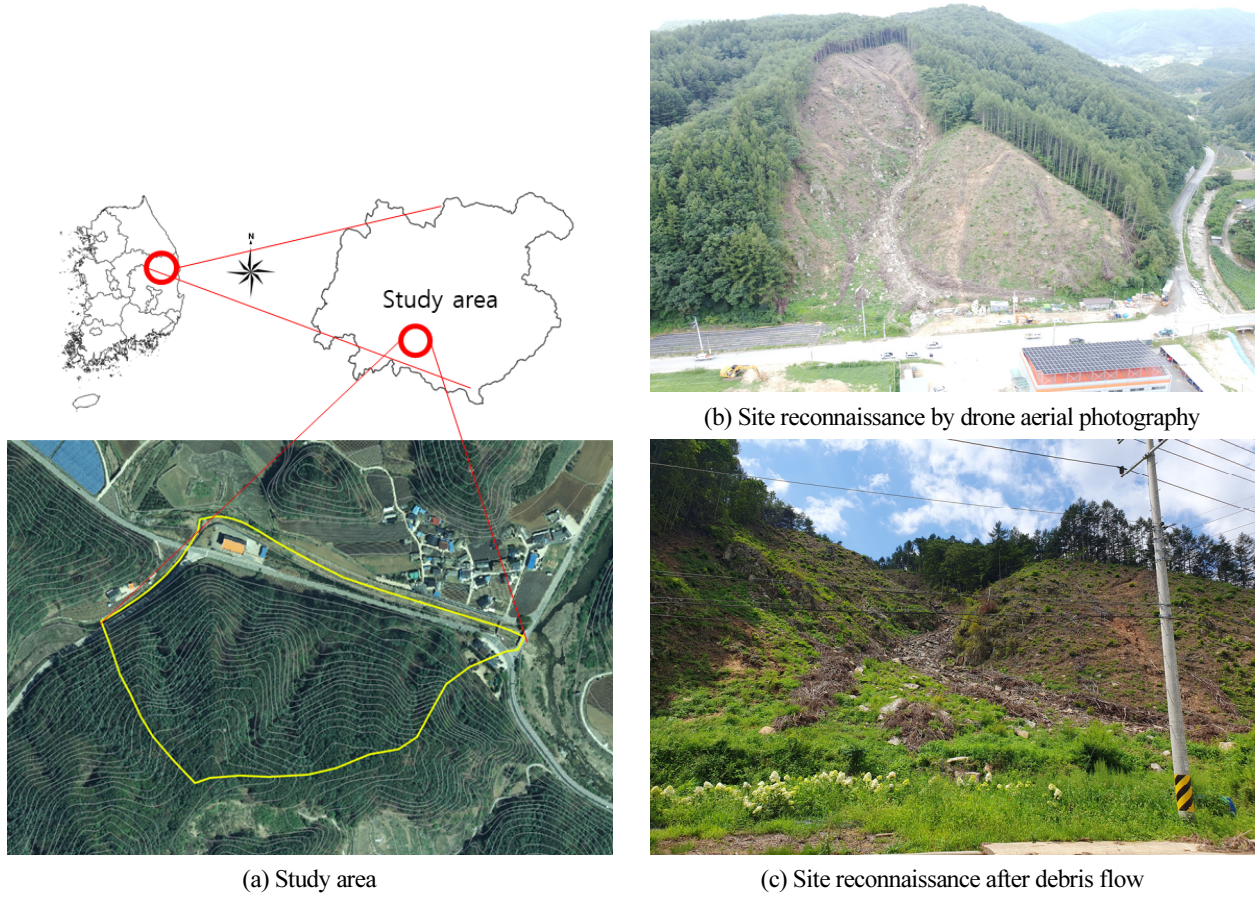
## 2. 연구 방법

### 2.1 연구유역

연구 대상 지역인 경상북도는 산림 면적이 전체면적의 71.2%로 전국 시도 중에서 강원도(81.6%) 다음으로 산지 비율이 높은 지역이다(KFS, 2022). 또한, 최근 2023년 7월 호우 시 많은 지역에서 토석류가 발생하였기 때문에 발생 흔적이 뚜렷하게 남아 있어 모형 결과와 비교 분석을 수행하기에 용이한 지역으로서 최근 2023년 7월에 발생한 토석류로 인한 피해가 높은(사망 25명, 실종 2명, 부상 17명) 지역인 경북 봉화군을 연구유역으로 선정하였다. 봉화군 현장답사 중 유역면적이 작고 분수계 사이로 발생한 토석류의 흔적이 명확하여 토석류 모형적용 시 비교가 용이한 지점을 선정하였다.

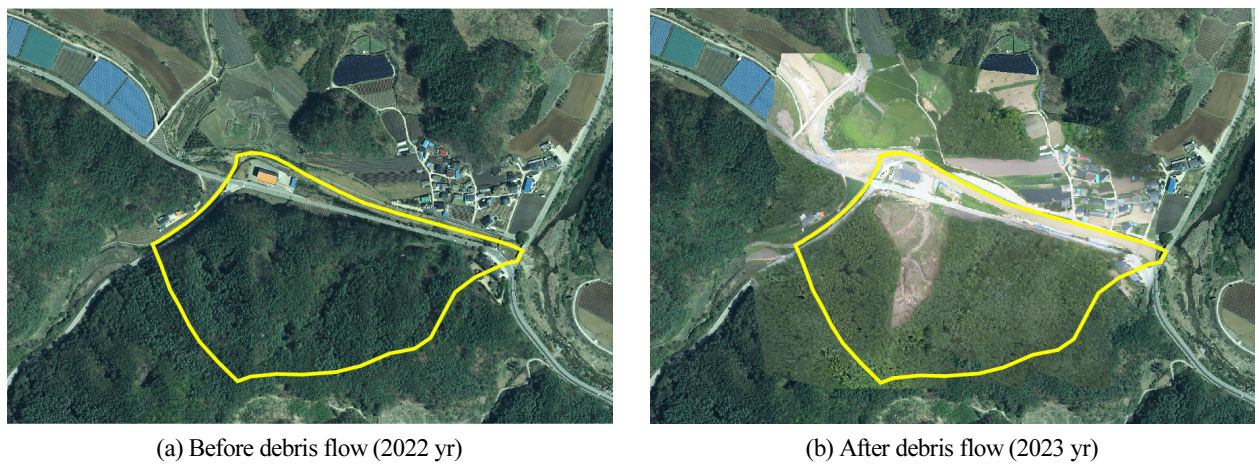
Fig. 1은 연구유역의 위치도(a), 현장답사 시 드론을 사용하여 토석류가 발생한 전경을 촬영한 사진(b), 토석류가 퇴적된 하류부에서 토석류가 발생한 상류부를 바라보고 촬영한 사진(c)이다.





**Fig. 1.** Study area and site reconnaissance in Dochon-ri, Bonghwa-gun

봉화군 명호면 도천리 유역은 유역면적  $0.14 \text{ km}^2$ , 토석류 유로연장 365 m, 유역 최고 표고 334.4 m, 유역 최저표고 215.0 m, 유역 평균경사  $18.09^\circ$ 로 이루어져 있다. Fig. 2는 토석류가 발생하기 전인 2022년 정사영상과 2023년 토석류 발생 후 드론으로 촬영한 사진을 비교한 것이다. 토석류로 인해 식재되어있던 나무가 쓸려 내려간 것을 사진에서 확인할 수 있다.



**Fig. 2.** Before and after debris flow in Dochon-ri, Bonghwa-gun

### 2.2 강우 자료

봉화군 유역의 토석류는 6월 29일~30일에 내린 강우로 인해 발생하였다. 그 이전에 봉화군(풍호리) 관측소에서 6월 21일에 29 mm, 6월 26일~27일에 89 mm의 사전강우가 있었으며 6월 29일~30일에 내린 시간 최대 강우는 52 mm/hr, 누적 강우량은 232 mm를 기록하였다. 이후, 같은 지점에서 7월 7일에 27 mm, 7월 4일~5일에 85 mm의 강우가 발생하고 7월 14일~15일에 내린 시간 최대 강우는 20 mm/hr이며, 누적 강우량은 234 mm를 기록하였다.

Fig. 3은 23년 6월~8월에 내린 일강우량 및 누적 강우량을 나타낸 그래프이다. 6월 21일~7월 15일 약 3주간 누적 강우량은 730 mm로 이는 봉화군(풍호리) 지점의 최근 5년(2018년~2022년) 연평균강수량 1,066.8 mm의 68%에 해당하는 양이며, 6월~8월까지 내린 총 강우량은 1,091.0 mm로 최근 5년 연평균강수량을 초과함으로 2023년 해당 지역에 매우 많은 양의 비가 내렸음을 알 수 있다.

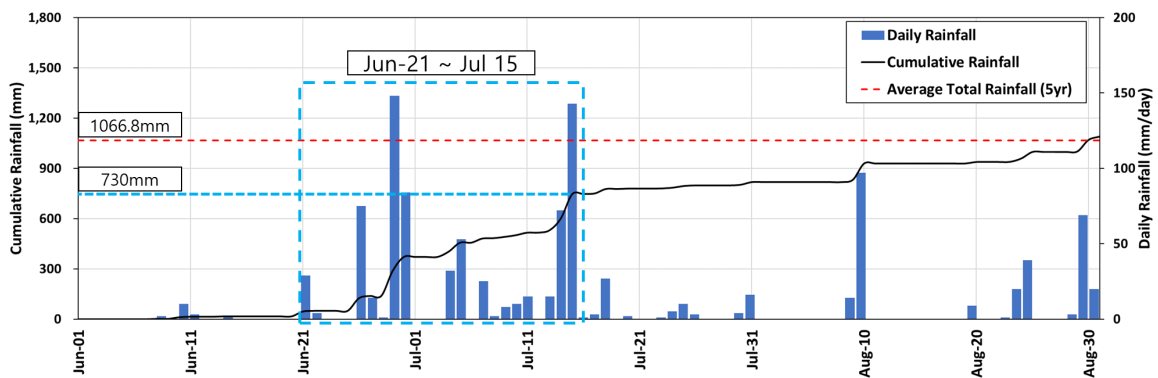


Fig. 3. Bonghwa-gun (Poongho-ri) rainfall (2023. Jun~Aug)

### 2.3 RAMMS 모형

통상적으로 토석류 모의에 사용되는 모형은 RAMMS 모형과 FLO-2D 모형이 사용되고 있다. FLO-2D는 하상침식에 의해 유발된 토석류는 고려하지 않기에 본 연구에서는 RAMMS 모형을 사용하여 토석류를 모의하였다.

RAMMS(Rapid Mass Movement Simulation) 모형은 스위스의 연방 산림, 눈 및 경관 연구소(Wald, Schnee und Landschaft, WSL)의 산하 눈사태 연구소(Schnee- und LawinenForschung, SLF)에서 개발하였다. 눈사태(avalanches), 낙석(rockfall), 토석류(debris flow)의 세 가지 재해에 대해 3차원 지형을 바탕으로 모형구현이 가능하다.

RAMMS 모형은 Voellmy-fluid의 접근방식에 기초하는 Voellmy-fluid 마찰 모델을 사용하며 수식은 다음 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} + (1 - \mu)N_0 - (1 - \mu)N_0 e^{-\frac{N}{N_0}} \tag{1}$$

$$N = \rho h \cos(\phi), u = (u_x, u_y)^T \tag{2}$$

여기서  $S$ 는 마찰저항,  $\mu$ 는 정적(Coulomb) 마찰계수,  $\xi$ 은 난류 마찰계수,  $N$ 은 활동면에 대한 수직응력,  $\rho$ 는 밀도( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$ 는 중력가속도( $\text{m/s}^2$ ),  $\phi$ 는 경사각,  $h$ 는 유량 높이,  $u$ 는 벡터,  $T$ 는 시간,  $N_0$ 는 흐르는 물질의 항복응력으로  $N$ 과  $u$ 가 0일 때  $S$ 는 0이 된다.  $\mu$ 는 흐름이 정지에 가까울 때,  $\xi$ 는 흐름이 빠르게 진행될 때 영향을 미친다.



## 2.4 지형자료 구축

토석류 피해가 발생한 현장의 지형자료는 국토정보 플랫폼에서 제공하는 1:5,000 수치지도와 드론 촬영으로 수집된 보다 정밀한 자료를 활용하여 지형자료를 구축하였다.

Fig. 4는 각각 수치지도를 활용하여 구축한 DEM(Fig. 4(a))과 드론 촬영을 통해 수집된 자료를 활용하여 구축한 DEM(Fig. 4(b)) 사진이다. 두 자료의 비교를 통해 토석류가 발생한 부분의 지형 변화가 발생한 것을 확인할 수 있다.

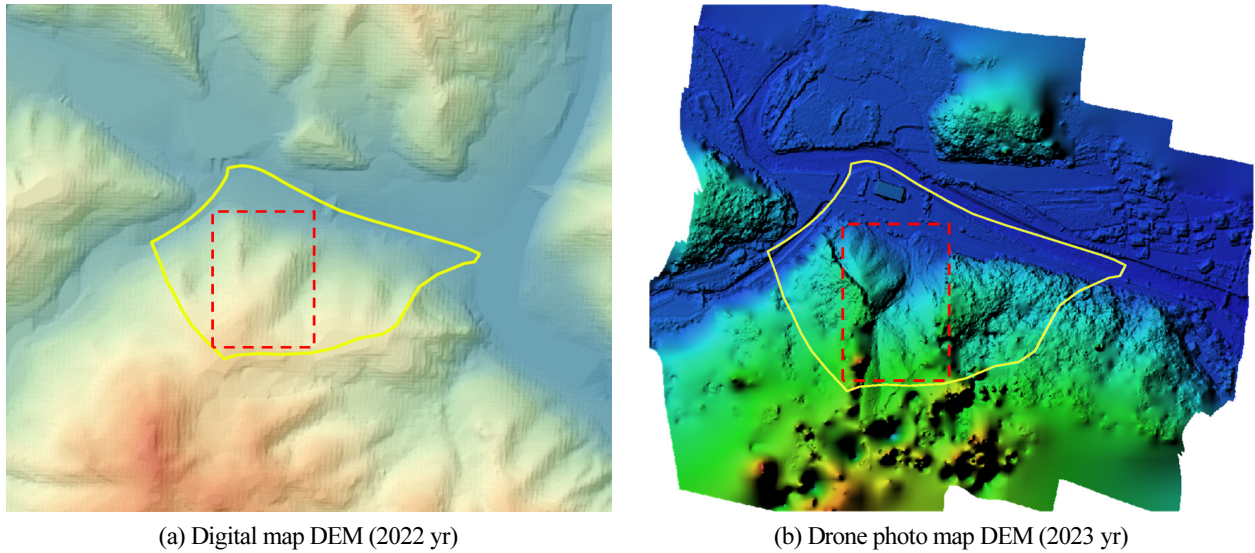


Fig. 4. Example of construction of topographic data

## 2.5 RAMMS 모형 매개변수

RAMMS 모형은 구축된 DEM 자료를 바탕으로 흐름이 시작된 지점을 구축하고 흐름에 영향을 주는 매개변수값을 설정해 주어야 한다. 입력자료에는 토석류 발생 토사량, 토석류의 최고 유량, 토석류 유속, 침투유량 도달시간, 토석류 공급 종료 시각, 토석류의 흐름방향, 토석류의 밀도, 난류 마찰계수, 마찰계수 등이 있다. RAMMS 모형에서는 밀도, 정적(Coulomb) 마찰계수, 난류 마찰계수 매개변수에 대해 초기 설정값을 가지고 있다. 본 연구에서 모형에 적용한 매개변수 다음과 같이 산정하였다. 토석류 유출 토사량은  $5,000 \text{ m}^3$ 으로 토석류 발생지점의 영역을 설정하여 DEM자료를 바탕으로 산정하였으며, 토석류 피크유량은  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 토석류 총 부피의 1%에 안전율 1.3을 적용하여 산정하였다. 토석류 평균유속은  $6 \text{ m/s}$ 로 해당

Table 1. RAMMS model parameter and initial setting value

| Parameters  | Unit                   | Initial setting value | Setting value |
|---|------------------------|-----------------------|---------------|
| Debris flow total volume                            | $\text{m}^3$           | -                     | 5,000         |
| Maximum discharge                                   | $\text{m}^3/\text{s}$  | -                     | 65            |
| Debris flow velocity v                              | $\text{m/s}$           | -                     | 6             |
| Corresponding time at which the maximum occurs (t1) | s                      | -                     | 1             |
| Velocity v. End time (t2)                           | s                      | -                     | 120           |
| Flow direction of the debris flow                   | $^\circ$ (degrees)     | -                     | 75            |
| Density ( $\rho$ , Rho)                             | $\text{kg}/\text{m}^3$ | 2,000                 | 1,793         |
| Coulomb friction ( $\mu$ , Mu)                      | -                      | 0.2                   | 0.327         |
| Viscous-turbulent friction ( $\xi$ , Xi)            | $\text{m}/\text{s}^2$  | 200                   | 200           |

유역의 유로연장(365 m)을 설계홍수량 도달시간 산정공식을 통해 산정한 도달시간(60 s)으로 나눈 값이다. 정적(Coulomb) 마찰계수는 0.327으로 평균경사(18.09°)의  $\tan \theta$ 이며, 난류 마찰계수  $200 \text{ m/s}^2$ 의 초기 설정값을 사용하였다. 토사 밀도는 현장에서 채취한 시료를 바탕으로  $1,793 \text{ kg/m}^3$ 으로 산정하여 적용하였다. 다음 Table 1은 RAMMS 모형 매개변수의 종류, 초기 설정값 및 연구에 사용한 매개변숫값이다.

### 3. 모형적용 결과 및 분석

#### 3.1 확산범위

토석류 확산범위를 현장에서 측정한 범위와 RAMMS 모형을 통해 산정된 확산범위와 비교·분석하였다. Fig. 5(a)는 드론 촬영을 통해 측정한 도천리 유역의 토석류 확산범위, Fig. 5(b)는 RAMMS 모형을 통해 산정된 확산범위, Fig. 5(c)는 위 두 범위를 중첩한 사진이다. 드론 촬영으로 측정한 토석류 확산범위의 면적은  $18,138 \text{ m}^2$ , 토석류 이동거리는 232 m, 모형을 통해 산정된 확산범위 면적은  $21,313 \text{ m}^2$ , 이동거리는 177 m로 토석류 확산면적은 실제 면적보다 모형 면적이  $3,175 \text{ m}^2$  (18%) 더 크게 산정되었고, 토석류 이동거리는 23 m(10%) 적게 산정되었다.

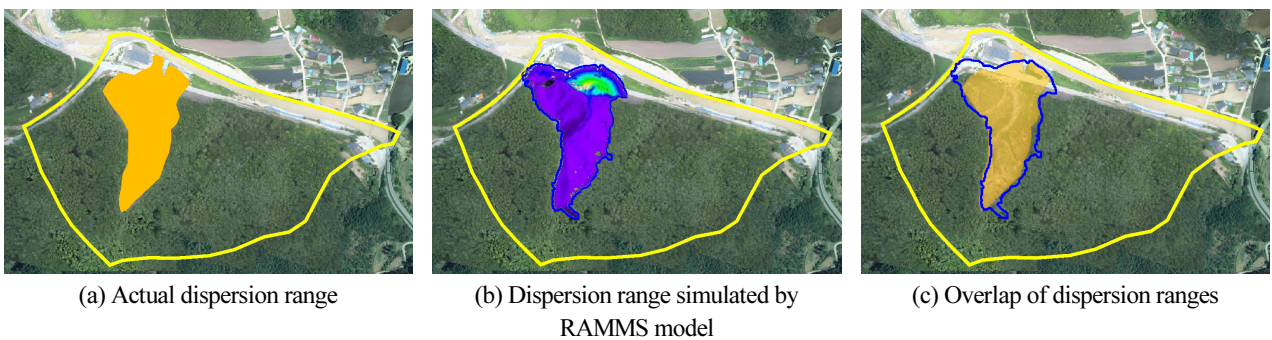


Fig. 5. Comparison of dispersion ranges

#### 3.2 질량이동

RAMMS 모형 모의 결과 토석류 흐름에 따라 구간을 분할 한 사진과 시간에 따른 질량 이동을 나타낸 그래프를 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 토석류가 발생한 0번 지점부터 1번 지점까지를 토석류 발생 구간, 1번 지점부터 2번 지점까지를 토석류 흐름 구간, 2번 지점부터 3번 지점까지를 퇴적구간으로 구분하였다. 발생 구간의 평균경사는  $20^\circ$ , 흐름 구간의 평균경

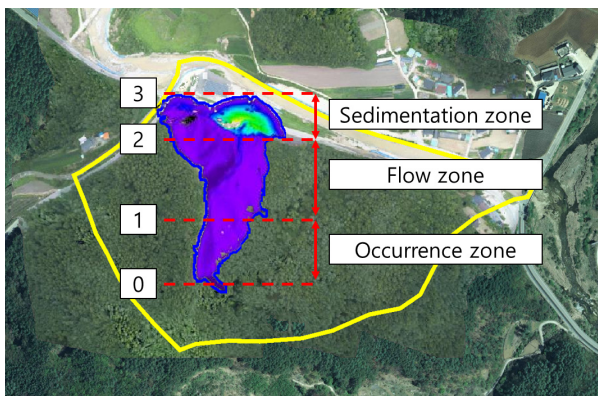


Fig. 6. Debris flow results

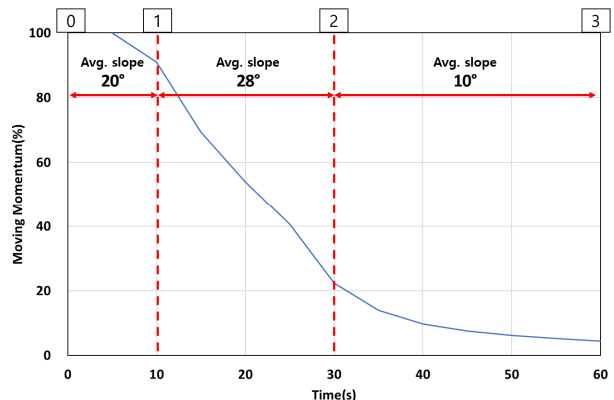


Fig. 7. Moving momentum percent-time graph

사는 28°, 퇴적구간의 평균경사는 10°로 나타났다. 구간별 종점까지 토석류 도달시간은 발생 구간 10초, 흐름 구간 20초(누적 30초), 퇴적구간에서 퇴적이 종료하기까지는 30초(누적 60초)가 소요되는 것으로 산정되었다. 토석류의 이동 거리는 발생 구간 66 m, 흐름 구간 111 m, 퇴적구간 32 m로 발생 구간에서 전체 이동 거리의 32%, 흐름 구간에서 53%를 차지하였다.

토석류의 질량 이동은 발생 구간에서 전체의 약 10%가 이동하는 것을 시작으로 흐름 구간에서 경사가 증가함에 따라 약 70%의 토석류가 퇴적구간의 시점까지 이동하다가 퇴적구간에 도달하고 나서는 흐름이 현저히 느려지는 결과를 나타냈다.

## 4. 결론

본 연구에서는 2023년 집중호우로 많은 피해가 발생한 경상북도 봉화군을 대상으로 현장답사를 통해 연구지점을 선정하고 드론촬영을 통해 지형데이터를 구축한 뒤 RAMMS 모형을 사용하여 토석류 확산범위를 모의하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토석류의 확산 면적은 드론 촬영으로 측정된 실제 토석류 면적은 18,138 m<sup>2</sup>, 모의된 면적은 21,313 m<sup>2</sup>으로 모의 면적이 약 18% 크게 산정되었지만, 형상에서는 큰 차이 없이 실제와 유사하게 모의되었다. 토석류의 이동거리는 실제 232 m 모의 209 m로 모의 거리가 약 10% 작게 산정되었는데 실제 발생한 토석류는 도로 및 나지를 지나 하천까지 이어졌지만 모의에서는 도로 및 나지 구간의 경사가 매우 완만하여 이동하지 못한 것으로 판단된다.
- 2) 토석류의 질량 이동 결과에 따라 발생 구간, 흐름 구간, 퇴적구간, 3구간으로 나누어 구간별 경사, 이동시간 및 이동 거리를 분석하였다. 발생 구간은 평균경사 20°, 이동시간 20초, 이동 거리 66 m(전체 32%)로 이동 거리 대비 이동시간이 짧은 편으로 토석류가 발생하고 상대적으로 빠른 속도로 이동했음을 알 수 있다. 흐름 구간은 평균경사 28°, 이동시간 40초, 이동 거리 111 m(전체 53%)로 대부분의 토사가 흐름 구간에서 이동함을 확인하였고, 계곡으로 모이는 과정에서 계곡의 모양이 직선이 아닌 곡선으로 퇴적과 흐름이 같이 발생하여 경사는 발생 구간보다 크지만, 속도가 느리게 발생한 것으로 판단된다. 퇴적구간은 평균경사 10°, 이동시간 60초, 이동 거리 32 m이며 토사의 속도가 상대적으로 크게 감소하며 발생한 토사가 더 이상 진행하지 않고 퇴적됨을 확인하였다.
- 3) RAMMS 모형으로 모의된 토석류 발생 형상과 발생 이동경로가 실제 토석류 발생 형상 및 이동경로와 유사하게 모의되어 모형을 통해 토석류 이동의 경향성을 파악 할 수 있다고 판단하였다.

본 연구는 토석류 발생 및 확산범위의 기초연구로써, 향후 연구에서는 RAMMS 모형에 입력되는 매개변수를 보완하여 모의 결과의 정밀도를 높이고, 다른 토석류 분석 프로그램인 FLO-2D와의 비교를 통해 국내에 적합한 모형 검증 및 미세측 유역에 대한 토석류 해석을 통한 피해 예상 지역의 선정 등의 추가 연구를 수행하고자 한다.

## Acknowledgments

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021 R111A3054408).

## References

- Calligaris, C., M. A. Boniello, and L. Zini. (2008). Debris Flow Modelling In Julian Alps Using FLO-2D. WIT Transactions on Engineering Sciences. 60: 81-88.
- Cesca, M. and V. D'Agostino. (2008). Comparison Between FLO-2D And RAMMS In Debris-flow Modelling: A Case Study In The Dolomites. WIT Transactions on Engineering Sciences. 60: 197-206.

- Hussin, H. Y., B. Quan Luna, C. J. van Westen, M. Christen, J.-P. Malet, and Th. W. J. van Asch. (2012). Parameterization of a Numerical 2-D Debris Flow Model with Entrainment: A Case Study of the Faucon Catchment, Southern French Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12(10): 3075-3090.
- Kim, Nam-Gyun. (2011). A Study on Transport and Diffusion of Debris Flow with FLO-2D. Master's Thesis. Kangwon National University. 52.
- Kim, Seungeun, Joongcheol Paik, and Kyung Suk Kim. (2013). Run-out Modeling of Debris Flows in Mt. Umyeon using FLO-2D. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 33(3): 965-974.
- Korea Forest Service. (2022b). Mountain Statistics. [www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fli/UI\\_KFS\\_7004\\_010000.html&orgId=fli&mn=KFS\\_02\\_05\\_04\\_01](http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fli/UI_KFS_7004_010000.html&orgId=fli&mn=KFS_02_05_04_01). Daejeon: KFS.
- Korea Forest Service. (2023a). Annual Report on Forestry and Entry Trends in 2022. Daejeon: KFS. 3-4.
- Korea Forest Service. (2023b). Erosion Control Work Act, Article 2. Daejeon: KFS.
- Oh, Gyung-Doo, Byung-Hwa Kang, Jae-Yung Huh, Chang-Hee Lee, and Shin-Bum Hwang. (2013). Landslides and Debris flows risk Analysis using SINMAP and FLO-2D Model, *Journal of Civil Engineering*. 2013(10): 1654-1657.
- Schneeund Lawinen Forschung. [www.slf.ch/en/](http://www.slf.ch/en/). Switzerland Davos: SLF.
- Tak, Won-jun. (2015). A Study on Transport and Diffusion Range Estimate of Debris Flow Using RAMMS. Master's Thesis. Kangwon National University. 62-63.
- Wald, Schnee und Landschaft. [www.wsl.ch/de/](http://www.wsl.ch/de/). Switzerland Birmensdorf: WSL.

#### **Korean References Translated from the English**

- 김남균 (2011). FLO-2D를 이용한 토석류의 이동과 확산에 관한 연구. 석사학위논문. 강원대학교. 52.
- 김승은, 백중철, 김경석 (2013). FLO-2D 모형을 이용한 우면산 토석류 유동 수치모의. *대한토목학회 논문집*. 33(3): 965-974.
- 산림청 (2022). 산지통계. [www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fli/UI\\_KFS\\_7004\\_010000.html&orgId=fli&mn=KFS\\_02\\_05\\_04\\_01](http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fli/UI_KFS_7004_010000.html&orgId=fli&mn=KFS_02_05_04_01). 대전: 산림청.
- 산림청 (2023a). 2022년도 산림과 임업 동향에 관한 연차보고서. 대전: 산림청. 3-4.
- 산림청 (2023b). 사방사업법 제2조. 대전: 산림청.
- 오경두, 강병화, 허재영, 이창희, 황신범 (2013). SINMAP과 FLO-2D를 이용한 산사태 및 토석류 위험지역 분석. *대한토목학회 학술대회*. 2013(10): 1654-1657.
- 탁원준 (2015). RAMMS를 이용한 토석류 이동과 확산범위 산정에 관한 연구. 석사학위논문. 강원대학교. 62-63.