

사방댐 위치 및 규모 결정을 위한 토석류 토사유출량 예측 알고리즘 개발

Development on Prediction Algorithm of Sediment Discharge by Debris Flow for Decision of Location and Scale of the Check Dam

김기대¹ · 우충식^{2*} · 이창우³ · 서준표⁴ · 강민정⁵Kidae Kim¹, Choongshik Woo^{2*}, Changwoo Lee³, Junpyo Seo⁴, Minjeng Kang⁵¹Assistant Researcher, Department of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea²Researcher, Department of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea³Senior Researcher, Department of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea⁴Researcher, Department of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea⁵Assistant Researcher, Department of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: Choongshik Woo, woocs@korea.kr

ABSTRACT

Purpose: This study aims to develop an algorithm for predicting sediment discharge by debris flow, and develop GIS-based decision support system for optimal arrangement of check dam. **Method:** The average stream width and flow length were used to predict the cumulative sediment discharge by debris flow. At this time, the amount of slope failure on source area and average flow length were utilized as input factors. **Result:** The predicted sediment discharge calculated through the algorithm was 1.1 times different on average compared to the actual sediment discharge by debris flow. In addition, the program is an objective indicator that selects the location and size of the check dam, and it can help practitioners make rational decisions. **Conclusion:** The soil erosion control works are being implemented every year. Therefore, it is expected that the GIS-based decision support system for location and size of the check dam will contribute to the prevention of sediment-related disasters.

Keywords: Debris Flow, Sediment Discharge, Check Dam, Optimal Arrangement

요약

연구목적: 이 연구는 토석류로 발생하는 토사유출량 예측 알고리즘을 개발하고, 이를 활용한 GIS 기반 사방댐 적정배치 의사결정 지원 시스템 구현을 목적으로 하였다. **연구방법:** 평균 계류 폭과 길이를 이용한 누적 토사유출량 예측 방법에 초기 붕괴량과 이에 영향을 주는 침수길이를 입력인자로 활용하여 토석류로 인해 발생하는 누적 토사유출량 예측 알고리즘을 제시하였다. **연구결과:** 알고리즘을 통해 산출된 예측 토사유출량과 실제 토사유출량은 평균 1.1배 차이가 나타나 정확도는 비교적 높았다. 또한 구현된 프로그램은 사방댐의 위치 및 규모를 결정하는 객관적인 지표로서 실무자의 합리적인 의사결정에 도움을 줄 수 있다. **결론:** 사방사업이 매년 시행되고 있는 상황에서 합리적인 사방댐 위치 및 규모 결정을 통해 산지토사재해 방지에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 토석류, 토사유출, 사방댐, 적정배치

Received | 27 August, 2020

Revised | 17 September, 2020

Accepted | 18 September, 2020

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

우리나라의 대표적인 자연재해는 여름철 강우로 인한 풍수해이다. 특히 산사태·토석류와 같은 산지토사재해로 인해 인명 및 재산피해가 매년 발생하고 있는데, 이로 인한 피해를 예방할 수 있는 효과적인 구조물은 사방댐이다. 국내 사방댐은 1986년도에 최초로 시공되었으며, 계상물매 완화에 의한 안정물매 유도, 중횡침식 방지, 산각 고정과 산복붕괴 방지 등의 방재기능을 발휘하는 대표적인 산사태 예방 사업으로 알려져 있다(Chun, 2011). 이러한 사방댐의 토사유출저감 효과는 과거로부터 경험적으로 인식되었으며, 최근에는 실측 또는 다양한 실내실험, 모델을 통해 그 효과를 인정받고 있다(Seo et al., 2016; Banihabib et al., 2017; Kim et al., 2018).

사방댐 시공은 상류유역의 계간 및 산각이 불안정한 곳, 산사태 등의 발생우려가 높은 곳, 하류에 피해가 예상되는 곳, 소규모 구조물로 최대한의 효과를 얻을 수 있는 곳을 대상으로 한다. 하지만 과거 사방댐 시공대상지 선정에 있어 토석류로 발생하는 토사유출량 산정 시 경험적 방법을 활용하거나, 민원 빈발지역에 우선적으로 시공하는 문제점이 있었다. 이는 사방댐의 설계·시공 및 관리방안의 취약점이 될 수 있다(Seo et al., 2016). 따라서 사방댐의 주요기능인 재해방지 효과를 극대화하기 위해서는 설계단계에서 대상유역의 특성을 반영한 사방댐 적정배치가 필요하다.

사방댐 적정배치에 관련된 연구는 사방댐의 위치를 결정하는 연구와 규모를 결정하는 연구로 구분할 수 있다. 사방댐 위치와 관련된 연구는 대부분 사방댐 시공예정지 또는 기시공지의 입지조건을 대상으로 수행되었다(Ryu et al., 1999; Park et al., 2010; Kang et al., 2016). 이러한 연구는 단순히 해당지점에 대한 현황을 조사한 것으로서 사방댐 적지선정을 위한 토사유출량의 경험적 또는 물리적 규모를 고려한 것은 아니다. 반면에 Jeong et al.(2008)은 수량화 I 류 분석을 통하여 기상 및 하천형태학적 인자가 사방댐 퇴적량에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 토대로 사방댐 시공위치를 결정하는 연구를 수행하였다. Kang et al.(2017)은 산사태위험도, 토사유출량, 자연휴양이용등급을 지표로 활용, Kang et al.(2010)은 SATEEC (Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control), USPED (Unit Stream Power-based Erosion Deposition), SHALSTAB (Shallow Landsliding Stability Model)을 이용하여 유역간의 사방댐 시공 우선순위를 검토하는 등 시공위치의 중요성을 강조하였다. 이외에도 국외에서는 AHP기법을 기반으로 다양한 수문 지형인자에 가중치를 부여하여 계류 내에서 사방댐 시공 위치를 선정하기도 했다(Rahmati et al., 2019).

사방댐 규모에 관련된 연구는 Kim et al.(1996)이 사방댐 단면에 따른 수용 가능한 토사유출량을 산정한 연구가 있지만, 단순히 사방댐의 높이와 폭, 하상경사만을 이용하여 유역면적이 작은 산지소유역에서의 적용은 힘든 것으로 나타났다. Chun(2004)은 불투과형 사방댐의 위치와 높이, 댐 간의 간격, 퇴사량 산정, 방수로 면적 등 관련 식을 제시하였고, Song et al.(2013)은 무한사면안정해석을 이용해 GIS 기반의 토석류 산사태 대응공법의 위치와 규모를 산정할 수 있는 프로그램을 개발한 바 있다. 이와 같이 사방댐의 적정배치를 위해서는 토사유출량 예측이 매우 중요하다. 국내에서도 토사유출량 예측을 위해 외국에서 개발된 RUSLE (Revised Soil Loss Equation), WEPP (Water Erosion Prediction Project) 등의 모델이 사용된 바 있지만, 다양한 입력자료를 요구할 뿐만 아니라 평상시의 토사유출량 예측을 위한 목적으로 토석류로 발생하는 돌발성 토사유출량 산정에는 적합하지 않다.

따라서 이 연구에서는 토석류로 발생하는 토사유출량 예측 알고리즘을 개발하고, 이를 활용한 GIS 기반 사방댐 적정배치 의사결정 지원 시스템 구현을 목적으로 하였다.

GIS 기반 돌발성 토사유출량 예측

돌발성 토사유출량 예측

사방댐은 유역에서 발생하는 토사를 충분히 저사시킬 수 있는 규모(저사량)를 확보해야 한다. 동시에 토사를 저사할 수 있는 최적의 위치를 결정해야 하기 때문에 유역에서 발생할 수 있는 토사유출량을 우선적으로 고려해야 한다. 특히 국내에서 발생하는 대부분의 토석류는 수로형 토석류로서 계류를 따라 유하하면서 침식과 퇴적을 반복하는 연행과정을 거친다. 이러한 특성을 반영하기 위해 다수의 연구자들이 토석류 발생규모와 유역, 유로특성과의 관계를 분석한 바 있다(Ma et al., 2013; Choi et al., 2017; Cha et al., 2018). 그러나 사방댐은 무조건 최하류에 시공하는 것도 아니고, 특정지점에 누적되는 토사유출량이 다르기 때문에 시공위치에 따라 사방댐 규모가 달라져야 한다. 따라서 사방댐의 위치 및 규모를 선정하기 위해서는 유역 출구 및 계류 내 특정지점에서의 누적 토사유출량을 예측하는 것이 중요하다.

이에 Seo et al.(2018)은 계류길이와 누적 토사유출량의 선형관계식을 제시하였으며, 계류길이와 누적 토사유출량이 높은 상관관계를 나타낸다고 하였다($R^2 = 0.84$ 이상). 그러나 계류길이가 동일하다고 해서 누적되는 토사유출량이 같지 않았기 때문에 Table 1과 같이 평균 계류 폭에 따라 4가지의 관계식을 제시하였다. 이 관계식들은 모든 유역을 대표할 수는 없지만, 단일 매개변수로도 토사유출량을 산정할 수 있는 간편성을 가진다. 따라서 이 연구에서는 전술한 평균 계류 폭에 따라 분류된 계류길이와 누적 토사유출량간의 관계식을 이용하여 토사유출량을 예측하고자 하였다.

Table 1. Regression equation between stream length and sediment discharge classified by average stream width(Seo et al., 2018)

Average stream width (m)	Regression equation	R^2
< 10	$V = -0.8306x - 12.672$	0.84
10 - 20	$V = -3.5655x - 3.539$	0.96
20 - 30	$V = -7.8506x + 226.08$	0.96
40 <	$V = -8.0066x - 1662.7$	0.94

선행연구(Seo et al., 2018)에서 토석류 발생원의 체적, 계류 총길이, 계류 본류길이와 토사유출량의 관계를 분석한 결과, 토석류 발생 시 발생원의 체적이 토사유출량에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. Huang et al.(2007)의 연구에서 토석류로 발생하는 유송물질 중 선단부의 에너지가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 발생원의 토사가 계류를 따라 유하하면서 계상과 양안의 침식 및 퇴적을 반복하는 연행작용을 유발하기 때문으로 판단된다. 따라서 이 연구에서는 초기 붕괴량(발생원 체적)을 입력인자로 활용하고자 하였다. 먼저, 초기 붕괴량을 산정하기 위한 인자로 집수길이를 선정하였다. 집수길이란 토석류 발생원으로부터 가장 가까운 능선까지의 길이로써, 집수면적과 같이 값이 클수록 집수되는 유수량도 증가하므로 토사유출량이 증가하게 된다(Woo et al., 2008; Kwon et al., 2015).

선행연구(Seo et al., 2018)에서 수집된 16개 유역의 지형정보를 토대로 집수길이와 초기 붕괴량의 관계를 분석하였다. 그 결과, Fig. 1(a)와 같이 집수길이와 초기 붕괴량의 관계식을 도출하였으며, 결정계수는 0.23으로 나타났다. 이는 집수길이 외에도 지형, 지질, 토양, 식생 등 다양한 인자가 초기 붕괴량에 영향을 미치기 때문으로(Jang, 2014), 결정계수는 다소 낮지만 복잡한 자연현상의 관계를 나타내기에는 적합하다고 판단된다. 이후 초기 붕괴량과 평균 계류 폭간의 관계를 분석하였다. 그

결과, Fig. 1(b)와 같이 초기 붕괴량과 평균 계류 폭간의 관계식을 도출하였으며, 결정계수는 0.92로 나타났다. 즉, 토석류로 발생하는 토사유출량에 영향을 미치는 인자는 다양하지만, 초기 붕괴량에 대한 기여도가 가장 높다고 보고한 선행연구 (Huang et al., 2007)와 유사한 결과로써 토사유출량 예측에 있어 초기 붕괴량을 대표적인 입력인자로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

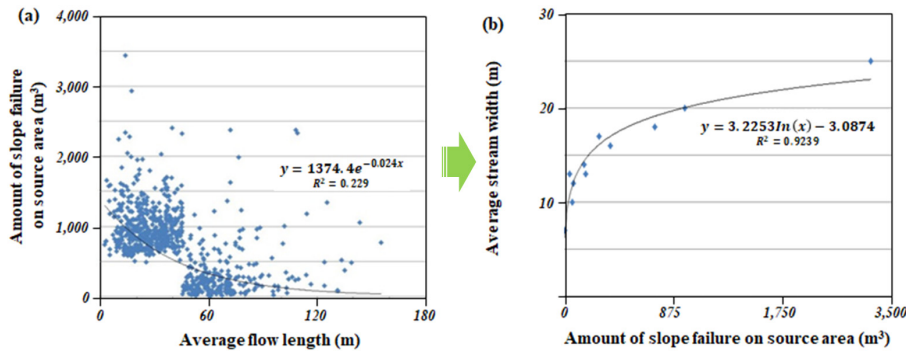


Fig. 1. Relationship of between average flow length and amount of slope failure on source area and between slope failure on source area and average stream width

돌발성 토사유출량 예측 알고리즘 개발 및 검증

도출된 집수길이와 초기 붕괴량, 초기 붕괴량과 평균 계류 폭, 평균 계류 폭에 따라 분류된 계류길이와 누적 토사유출량간의 관계식을 이용하여 토사유출량 예측 알고리즘을 제시하였으며, Fig. 2(a)와 같다. 이 알고리즘을 통해 토사유출량을 예측하기 위해서는 수치표고모델(DEM; Digital Elevation Model)이 필요하며, 국토정보플랫폼(<http://map.ngii.go.kr>)에서 제공하는 수치지형도를 활용하여 구축할 수 있다. 구축된 수치표고모델은 일반적인 수문학적 계류 생성과정을 통해 계류망을 추출한다. 추출된 각 지류의 계류길이는 초기붕괴량을, 초기 붕괴량은 평균 계류 폭을 산출하고, 평균 계류 폭에 따라 분류된 계류길이와 누적 토사유출량간의 관계식을 이용하여 각 지류의 누적 토사유출량을 산출한다. 최종적으로 각 지류의 토사유출량은 본류의 토사유출량과 합산하여 유역 출구에서의 최종 토사유출량을 산출하며, Fig. 2(b)와 같다.

개발된 알고리즘의 정확도를 검증하기 위해서는 알고리즘을 통해 산출된 토사유출량(예측)과 실제로 발생한 토사유출량(실측)의 비교가 이루어져야 한다. 이 연구에서는 2012년 거창 및 산청에 발생한 토석류 발생지 6개소를 대상으로 알고리즘의 정확도를 검토하였다. 토석류로 발생한 실제 토사유출량을 산출하는 대표적인 방법은 토석류 발생 전·후의 고도차를 비교하는 것이다. 하지만 토석류 발생시점 및 장소의 불확실성으로 발생 전의 지형정보를 취득하기에는 어려움이 있다. 따라서 항공 LiDAR로 촬영된 토석류 발생 후의 수치표고모델과 Woo et al.(2011)의 지형복원기법을 이용하여 토석류 발생 전의 지형을 추정하였다. 이는 토석류 발생 후의 수치표고모델에서 일정한 간격으로 횡단면과 중심점을 추정한 후 가우시안 혼합모델을 이용하여 토석류 발생 전의 지형을 추정하는 방법이다(Woo et al., 2011). 최종적으로 구축된 토석류 발생 전·후의 수치표고모델과 식(1)을 이용하여 토석류 발생지의 공간변위량을 계산하였다.

$$\Delta z_{ij} = z_{ij}(1) - z_{ij}(2) \tag{1}$$

여기서, Δz_{ij} : 개별 격자의 변위량, $z_{ij}(1)$: 변위 후 개별 격자의 높이, $z_{ij}(2)$: 변위 전 개별 격자의 높이, i : 라인 수, j : 행 수를 의미한다. 산출된 값 중 (-)는 침식, (+)는 퇴적 지점으로 토석류가 유하하면서 침식과 퇴적이 반복되는 것은 알 수 없지만, 토석류 발생 후의 침식량과 퇴적량 분석에는 활용이 가능하다(Seo et al., 2018).

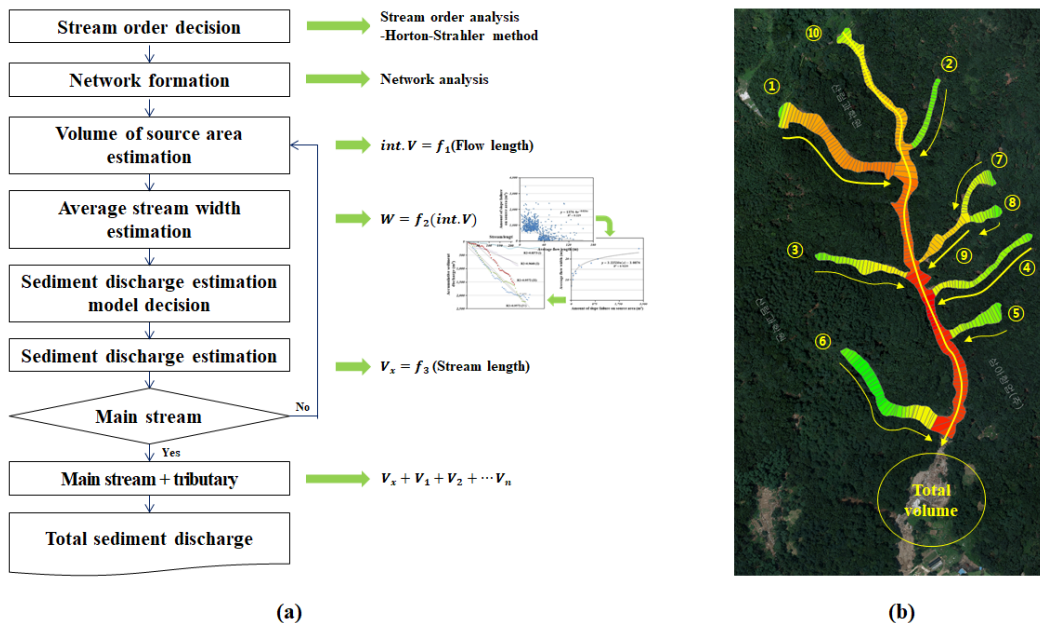


Fig. 2. Estimation algorithm and example of estimation on the sediment discharge by debris flow

이 과정을 통해 산출된 실제 토사유출량과 제시된 알고리즘을 통해 산출된 예측 토사유출량의 비교 결과는 Table 2와 같다. 알고리즘을 통해 산출된 예측 토사유출량은 실제 토사유출량에 비해 최소 0.6배, 최대 1.8배로, 이는 유역에서 발생할 수 있는 잠재 토사유출량을 모두 산출한 값으로서 실제로 발생한 토사유출량에 비해 다소 차이가 나타난 것으로 사료된다. 그러나 평균적인 차이는 1.1배로 나타나 전반적인 활용성 측면에서는 합리적인 결과로 판단되며, 붕괴가 시작되는 발생원 인근에서의 정확도는 높을 것으로 추측된다.

Table 2. Results of comparison between measurement value and predict value on sediment discharge by debris flow

Site		Sediment discharge(m ³)		y/z
		Measurement value ^z	Predict value ^y	
Geochang	1	1,298.3	2,398.2	1.8
	2	4,468.3	3,585.0	0.8
	3	14,546.9	8,835.3	0.6
Sancheong	4	31,853.2	50,150.7	1.6
	5	76,468.5	62,009.4	0.8
	6	24,195.7	20,635.8	0.9
Mean		25,471.8	24,602.4	1.1

사방댐 위치 및 규모 결정

사방댐 위치 및 규모 결정 방안

토사유출량 예측 알고리즘을 토대로 사방댐의 위치와 규모를 결정하는 두 가지 방안을 제시하였다. 첫 번째, 사방댐을 시공하고자 하는 규모에 따라 위치를 결정하는 방안으로 사방댐의 규모에 대응하는 누적 토사유출량이 산출된 지점을 사방댐 위치로 결정한다. 두 번째, 시공하고자 하는 위치에 따라 규모를 결정하는 방안으로 해당지점에서 산출된 누적 토사유출량에 따라 사방댐 규모를 결정한다.

사방댐 위치 및 규모 결정 프로그램 개발

토석류로 발생하는 토사유출량 산정 알고리즘과 사방댐 위치 및 규모 결정 방안을 활용하여 GIS 기반 프로그램을 개발하였고, 이를 ‘사방댐 적정배치 의사결정 지원 시스템’으로 명명하였다. 프로그램의 개발환경은 Microsoft사의 Visual Studio. Net 2005를 사용하고, ESRI사의 ArcMap 10.0이상에서 운용되도록 하였다. 개발된 프로그램은 Fig. 3(a)와 같이 계류길이에 따른 누적 토사유출량을 산출할 수 있는 모델부, 전체계류 및 지류(특정지점)의 누적 토사유출량 분석부, 사방댐 규모 및 위치선정부 등 4개 부분으로 구성된다.

사방댐의 위치 및 규모를 결정하기 위해서 Fig. 3(b)와 같이 가장 먼저 대상계류의 누적 토사유출량을 산정한다. 이때, 사용자가 원하는 전체계류 및 지류(특정지점)의 누적 토사유출량을 산정할 수 있으며, 누적 토사유출량 산출 모델식은 변경이 가능하므로 대상지역에 적합한 모델식이 있을 경우 적용이 가능하다. 산출된 토사유출량은 Fig. 3(c)와 같이 누적량에 따라

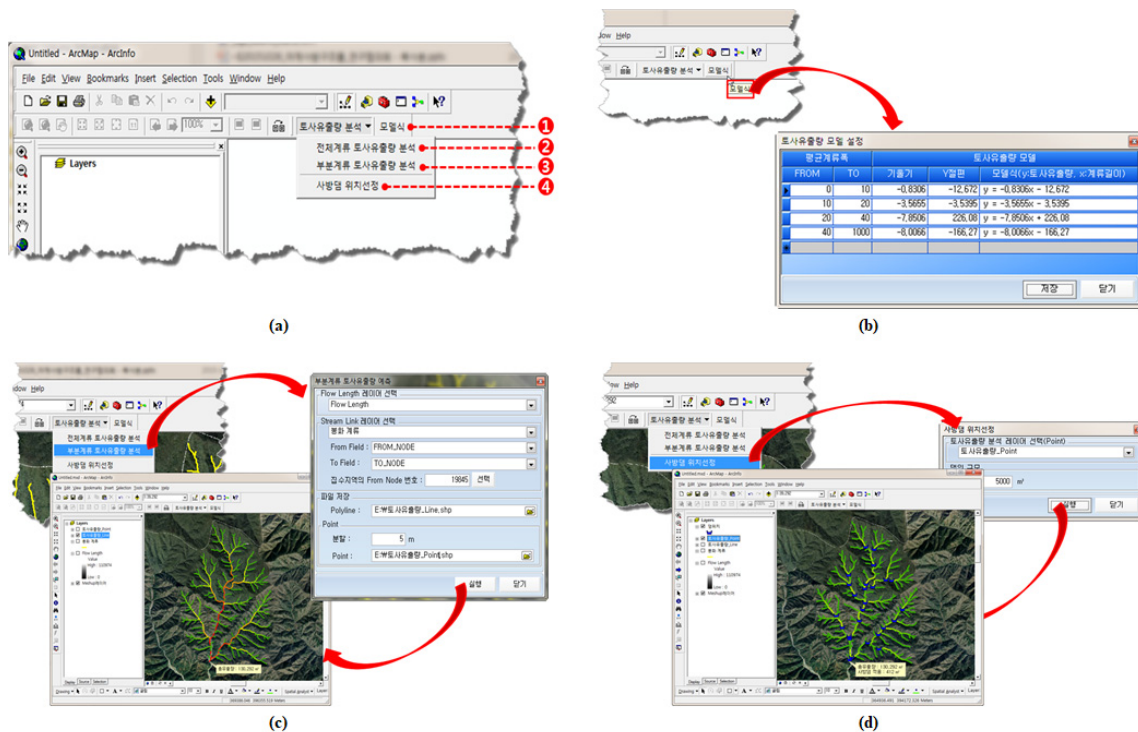


Fig. 3. Example of composition on the developed program in this study

다른 색으로 표출되며, 구간별 또는 최종 출구에서의 토사유출량을 누적량으로 확인할 수 있다. 이후 Fig. 3(d)와 같이 사용자가 원하는 댐의 저수량을 입력하면 누적 토사유출량 대비 저수량에 따라 사방댐 위치가 결정되며, 반대로 사용자가 원하는 지점을 선택하면 해당지점의 누적 토사유출량이 사방댐 규모로 결정된다. 아울러 유역 출구에는 총 토사유출량과 함께 시공하고자 하는 사방댐을 통해 저감된 최종 토사유출량이 함께 표시되므로, 이에 근거한 계통적 사방댐 규모를 결정할 수 있다.

결론

이 연구에서는 산지토사재해로 인한 피해를 저감하고자 토석류로 발생하는 토사유출량을 예측하는 알고리즘과 이를 활용한 사방댐 적정배치 의사결정 지원 시스템을 구현하였다. 특히 선행연구(Seo et al., 2018)에서 제시된 평균 계류 폭과 길이를 이용한 누적 토사유출량 예측 방법에 초기 붕괴량과 이에 영향을 주는 집수길이를 입력인자로 활용하여 토석류로 인해 발생하는 누적 토사유출량 예측 알고리즘을 제시하였다.

이 연구결과는 사방댐의 위치 및 규모를 결정하는 객관적인 지표로서 사방사업을 담당하는 실무자의 합리적인 의사결정에 도움을 줄 수 있다는 점에 의의가 있다. 또한 유역 내 기시공된 사방댐의 위치와 규모를 이 프로그램에 입력한다면 기시공된 사방댐의 토사유출량 저감 효과를 분석할 수 있다. 이를 통해 누적 토사유출량에 비해 비교적 작은 규모의 사방댐이 시공되어있는 경우 상·하류에 추가로 시공할 사방댐의 위치 및 규모를 결정할 수 있어 사방댐의 기능을 극대화할 수 있다는 장점이 있다.

하지만 이 프로그램은 기시공된 사방댐의 위치와 규모에 대한 정보가 반영되어있지 않고, 대상유역에 적합한 사방댐 유형을 제시하기 어렵다는 한계점을 가지고 있다. 또한 사방댐 시공 장소는 계류 양안에 견고한 암반이 존재하여 정적·동적 외력에 충분히 저항할 수 있는 곳, 토사를 충분히 저사시킬 수 있는 곳을 대상으로 해야 한다. 따라서 사방댐 위치 및 규모를 결정할 때 프로그램의 결과물을 토대로 반드시 현장조사가 병행되어야 하며, 추후 산림환경 특성 및 기시공된 사방댐 특성 반영 등의 기능 개선을 통해 현장 활용도를 높일 필요가 있다.

이 연구는 사방사업이 매년 시행되고 있는 상황에서 합리적인 사방댐 위치 및 규모 결정을 통해 산지토사재해 방재에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Banihabib, M.-E., Forghani, A. (2017) "An assessment framework for the mitigation effects of check dams on debris flow." *Catena*, Vol. 152, pp. 277-284.
- [2] Cha, D.-S., Hwang, J.-S., Choi, B.-K. (2018). "Landslides detection and volume estimation in Jinbu area of Korea." *Forest Science and Technology*, Vol. 14, No. 2, pp. 61-65.
- [3] Choi, S.-K., Kwon, T.-H. (2017). "Effect of barrier location on debris flow behaviors: a numerical study." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 6, pp. 383-388.
- [4] Chun, K.-W. (2004). "Construction and erosion control dam to decrease disaster - in closed-type erosion control dam -." *Journal of the Korean Society of Forest Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-12.
- [5] Chun, K.-W. (2011). *Erosion Control Engineering*. Hyangmoon press, Seoul, Republic of Korea.
- [6] Huang, C.J., Yin, H.Y., Chen, C.Y., Yeh, C.H., Wang, C.L. (2007). "Ground vibrations produced by rock motions and debris flows." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, pp. 1-20.

- [7] Jang, C.-B. (2014). A Study on Characteristics and Scale of Debris Flow in Korea. M.S. Dissertation, Kangwon National University, Korea.
- [8] Jeong, W.-K., Ma, H.-S. (2008). "Influences of meteorological and river morphological factors on the sedimentation of debris control dams in forest watershed." *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 42, No. 3, pp. 17-22.
- [9] Kang, K.-K., Jee, Y.-K., Choi, J.-R., Kim, B.-S. (2017). "A study on the type determination methodology for the construction of multipurpose debris flow mitigation module(MudM2)." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 4, pp. 143-152.
- [10] Kang, M.-J., Kim, K.-D., Oh, K.-S., Park, J.-W., Park, J.-H.. (2016). "Analysis of forest environmental factors on torrent erosion control work area in Gyeongsangnam-do - focus on erosion control dam and stream conservation -." *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 50, No. 5, pp. 111-120.
- [11] Kang, W.-S., Ryu, J.-C., Kang, K.-S., Lee, C., Kim, Y.-S., Lim, K.J. (2010). "Application of the technique for determining the most appropriate spot for a check-dam in Chunju-dam watershed." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 5, pp. 97-102.
- [12] Kim, H.-J., Yang, S.-J. (1996) "Estimation of sediment discharge and size decision of soil erosion control dam in forest watershed." *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineerings in 1996*, Seoul, Republic of Korea, pp. 211-214.
- [13] Kim, K.-D., Kim, D.-Y., Seo, J.-P., Lee, C.-W., Woo, C.-S., Kang, M.-J., Jeong, S.-S., Lee, D.-K. (2018). "Evaluating stability and functionality of hybrid erosion control dam for reducing debris flow damage in forested catchment nearby urban area." *Journal of Korean Society of Forest Science*, Vol. 107, No. 1, pp. 59-70.
- [14] Kwon, H.-J., Lee, C.-W., Woo, C.-S., Kim, D.-Y., Yoon, H.-Y., Park, S.-J. (2015). "A status of landslide damage in mountainous national park of Korea using temporal spatial images." *Journal of the Environment*, Vol. 15, No. 5, pp. 97-102.
- [15] Ma, C., Hu, K., Tain, M. (2013). "Comparison of debris-flow volume and activity under different formation conditions. *Natural Hazards*. Vol. 67. No. 99. pp. 261-273.
- [16] Park, S.-J., Lee, J.-W., Choi, Y.-H., Kim, M.-J., Kwon, H.-K., Jeon, Y.-J. (2010). "A study on location condition for erosion control dam- focus on Chungcheong region and Kyeongsangbuk-do -." *Journal of Agricultural Science*, Vol. 37, No. 2, pp. 223-229.
- [17] Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaa, E., Moghaddam, D.-D., Nalivan, O.-A., Destouni, G., Bui, D.-T. (2019). "GIS-based site selection for check dams in watersheds: considering geomorphometric and topo-hydrological factors." *sustainability*, Vol. 11. pp. 1-20.
- [18] Ryu, T.-K., Jang, K.-K. (1999). "Decision of the dam site for the soil erosion control and the water resource management." *Journal of Life Science & Natural Resources Research*, Vol. 21, pp. 94-103.
- [19] Seo, J.-I., Chun, K.-W., Song, D.-G. (2016). "Estimation of sediment discharge controlled by sediment-filled check-dam in a forested catchment." *Journal of Korean Society of Forest Science*, Vol. 105, No. 3, pp. 321-329.
- [20] Seo, J.-P., Woo, C.-S., Kim, D.-Y., Lee, C.-W. (2018). "Characteristics of sediment discharge based on GIS spatial analysis of area damaged by debris flow." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 5, pp. 89-96.
- [21] Song, Y.-S., Chae, B.-G. (2013). "Development of a GIS-based computer program to design countermeasures against debris flows." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 23, No. 1, pp. 57-65.
- [22] Woo, C.-S., Yoon, H.-J., Lee, C.-W., Jeong, Y.-H. (2008). "Analysis of influence factors of forest soil sediment disaster using aerial photographs." *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology*, Vol. 11, No. 1, pp. 14-22.
- [23] Woo, C.-S., Yoon, H.-J., Lee, C.-W., Lee, K.-S. (2011). "Development of the topography restoration method for debris flow area using airborne LiDAR data." *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 3, pp. 174-187.