

사면붕괴에 따른 피해도 추정을 위한 토사 충격력 평가

Soil Impact Force for Damage Estimation by Slope Failure and Debris Flow

김현기* †, 배호석**, 박승희**

Hyun-Ki Kim*, Ho-Seok Bae**, Seung-hee Park***

Abstract Global climate change leads to natural disasters. Especially slope failure and debris flow etc. are main factors to make bad effects to railroad or highway. In design stage, impact energy by fallen rocks is calculated for fence and retaining wall but, no specification is existed for soil impact force by slope failure and debris flow. In this study, real scale tests are executed to evaluate soil impact force and compare to formal empirical equation. New equation for soil impact force with variation of distance between a slope and fence, variation of a slope angle is suggested and it is possible to consider impact force in fence and retaining wall design.

Keywords : Impact force, Slope Failure, Soil disaster, Soil Protection Structure

초 록 세계적인 이상기후로 재난 발생이 증가하는 추세이며, 철도 및 도로에서 발생하는 토사재해는 국가 기반시설물의 기능정지를 유발하여 막대한 피해 발생으로 이어지게 된다. 토사붕괴피해 최소화를 위해 낙석방지울타리와 낙석방지옹벽 등의 시설이 설치되고 있으나, 국내 설계기준에서는 낙석에너지만을 대상으로 평가하게 되어 있어 사면붕괴 및 토석류 등에 의한 토사충격력을 설계에 반영하고 있지 못하는 실정이다. 본 연구에서는 사면붕괴에 따라 방호시설과 철도 및 도로에서 발생하는 2차 피해도 추정을 위하여, 실험을 통하여 붕괴 토사의 충격력을 평가하였으며, 기존 제안식과 비교 검토를 통하여 방호시설과 비탈면과의 이격거리 변화, 비탈면 경사변화에 따른 토사 충격력 산정식을 제시하였다. 이를 통하여 토사충격력을 고려한 설계가 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 토사 충격력, 사면붕괴, 토사재해, 토사방호시설

1. 서 론

국토의 70%가 산악지형인 국내 지형 특성상 낙석이 철도 또는 도로로 유입되는 경우가 발생한다. 또한 매년 5월부터 10월까지 태풍, 집중호우 등으로 토사재해가 매년 발생하고 있으며, 이에 대한 대책으로 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽 등의 낙석방시설을 설치하여 피해를 최소화하고 있다. 하지만 설계단계에서 낙석에너지만을 설계에 반영하고 있어, 사면붕괴, 토석류 등 토사재해 발생에 따른 충격력의 영향을 검토하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 사면붕괴에 따라 방호시설과 철도 및 도로에서 발생하는 2차 피해도 추정을 위하여, 실험을 통하여 붕괴 토사의 충격력을 산정하였으며, 기존에 제안된 식과 비교 검토하였다. 그 결과, 방호시설과 비탈면과의 이격거리 변화, 비탈면 경사변화에 따른 토사 충격력 산정식을 제시하였다.

* † 교신저자 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(hkkim@krrri.re.kr)

** 성균관대학교 건설환경시스템공학과

2. 이론적 배경

일본 국토교통성에서 제안한 붕괴 토사에 의한 충격력 산정식은 다음과 같다.

$$F = \alpha' \times F_{sm} \quad (1)$$

여기서,

$$\alpha' : \text{완화계수} \quad F_{sm} : \text{토사충격력 (kN/m}^2\text{)}$$

$$F_{sm} = \rho_m \times g \times h_{sm} \times \left[\left\{ \frac{bu}{a} \left(1 - \exp \left(\frac{-2 \times a \times H}{h_{sm} \times \sin \theta_u} \right) \right) \cos^2(\theta_u - \theta_d) \right\} \exp \left(\frac{-2 \times \alpha \times Xb}{h_{sm}} \right) + \frac{bd}{a} \left(1 - \exp \left(\frac{-2 \times a \times Xb}{h_{sm}} \right) \right) \right] \quad (2)$$

여기서,

ρ_m : 토사의 단위중량 (t/m^3)	h : 사면높이 (m)
g : 중력가속도 ($9.81m/s^2$)	h_{sm} : 유하 토사 높이 (m)
σ : 토사의 비중 (t/m^3)	θ_u : 사면 경사 ($^\circ$)
C : 토사의 농도	θ_d : 사면 하단 경사 ($^\circ$)
φ_d : 내부마찰각 ($^\circ$)	Xb : 이격거리 (m)
fb : 유체저항계수	

3. 토사충격력 평가를 위한 실험 및 수치해석

붕괴 토사에 의한 충격력을 평가하기 위해 사면붕괴 재현장비를 제작하였다(Fig. 1). 시험기는 10,100×2,000×5,500mm 크기로 지지프레임, 조정프레임, 방호구조물 지지프레임 등으로 구성되어 있다.

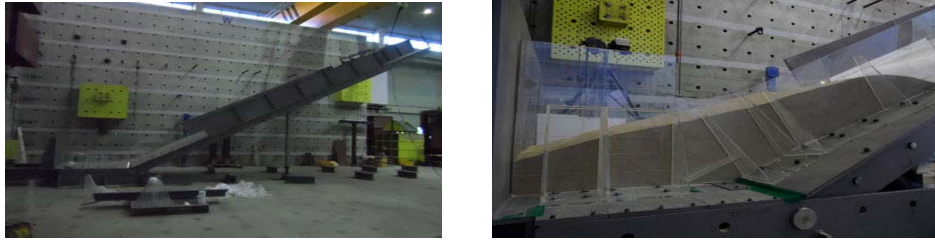


Fig. 1 Slope Failure Simulator

토사 충격력 산정 시험은 표준사 1m³을 사면 상단에서 유하하여 방호책과 충돌시의 하중을 방호책 배면에 설치한 토압을 통해 계측하였다. 사면 끝단부터 옹벽까지의 이격거리(L)와 사면경사(D)를 변수로 시험 케이스를 산정하였으며, 고속 카메라를 설치하여 획득한 이미지 분석을 통하여 붕괴 토사의 유하속도 및 유하높이를 계측하였다.

한편, PFC3D(ver.3.10)프로그램을 이용하여 모형실험과 동일한 조건으로 수치해석을 진행하였다. 토사 조건의 경우 수치해석의 용이성을 위해 5cm의 덩어리를 입경 기준으로 하여 509개의 입자를 생성하여 약 5.64배 부피를 축소하여 수치해석을 진행하였다. Table 1은 수치해석에 사용된 변수를 나타내었다.

Table 1 Input data

Type	Slope Angle (°)	Parameter	Input data
Protection structure	30	vertical & shear stiffness (N/m^3)	7e+09
		coefficient of friction	0.55
	40	vertical & shear stiffness (N/m^3)	5e+09
		coefficient of friction	0.3
	50	vertical & shear stiffness (N/m^3)	5e+08
		coefficient of friction	0.1
Soil		particle Number	509
		particle size (Radius, m)	0.1
		Specific Gravity (kg/m^3)	2.621
		vertical & shear stiffness (N/m^3)	5e+05
		coefficient of friction	0.7
Gravitational acceleration (m/s^2)			9.81

4. 결과분석 및 고찰

모형실험 및 이론식 그리고 수치해석의 토사충격력을 비교하였다. 이격거리 증가에 따라 토사충격력이 감소하고, 사면경사 증가에 따라 토사충격력이 증가하고 있다. 사면경사 30°의 경우 충격력이 급격히 감소하는데, 이는 사면경사가 표준사의 내부마찰각인 37.8° 보다 낮은 안식각 상태이기 때문에 토사의 유하속도가 감소하여 충격력이 작게 발생한 것으로 판단된다.

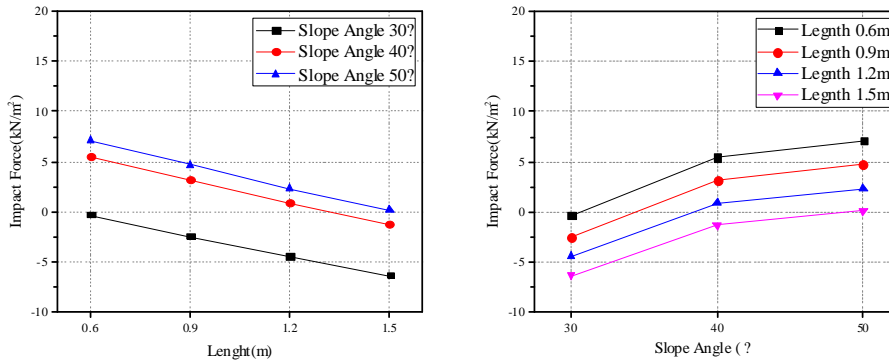


Fig. 2 Result of theoretical formula by Japan

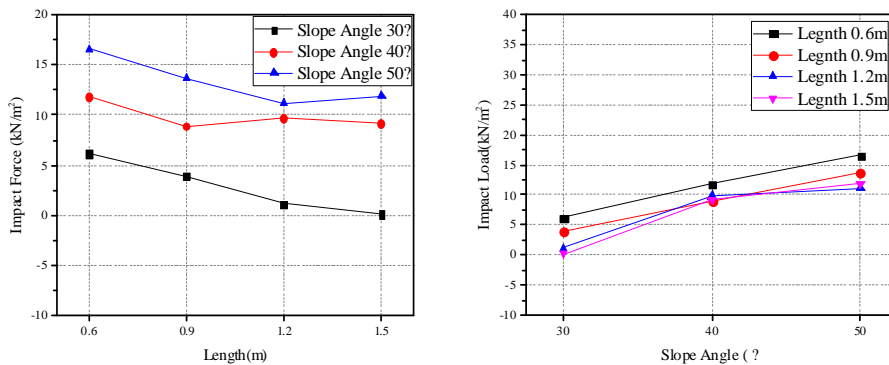


Fig. 3 Result of real scale model test

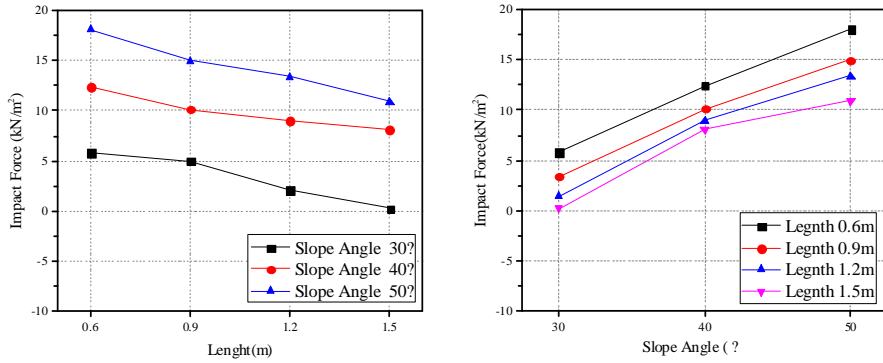


Fig. 4 Result of numerical analysis

실대형 시험과 이론식을 통해 산정한 토사충격력을 토대로 선형회귀분석을 적용하여 비탈면과의 이격거리 변화, 비탈면 경사변화에 따른 토사 충격력 산정식을 도출하였다.

$$F = 0.459D - 5.531L - 8.029 \quad (3)$$

여기서

φ_d : 내부마찰각 (°)

Xb : 이격거리 (m)

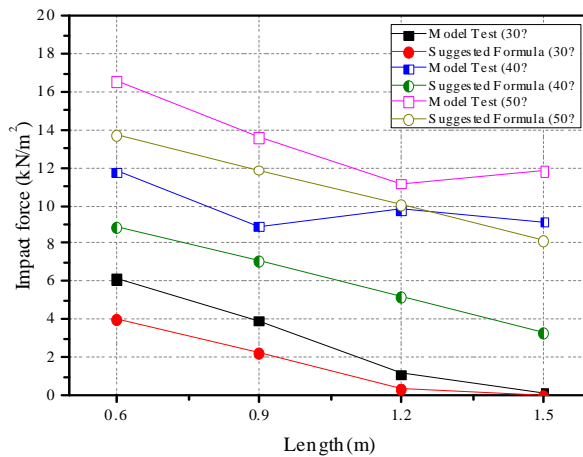


Fig. 5 Comparison of suggested equation with each test

5. 결론

사면붕괴에 따른 방호시설과 철도 및 도로에서 발생하는 2차피해 추정을 위한 토사충격력 산정식을 제시하고자 실대형 시험을 통하여 토사의 충격력을 산정하였으며, 기존 제안된 식과 수치해석을 통해 산정된 토사충격력과 비교 검토 하였다. 이를 토대로 비탈면과의 이격거리 변화, 비탈면 경사변화에 따른 토사 충격력 산정식을 제시할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Jin-Wan Kim, Yong-Soo Lee, Kenu-Bo Park (2010), A Study on Model Experiment for Evaluation of Debris Flow's Impact Force Characteristics, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol.26 No.11 pp5-15
- (2) Sang-Hun Ryu, Yong-Soo Lee, Jae-Hyeung Jeoung (2011), Result of Comparison between Debris Flow Model Experiment and Numerical Model, Journal of Korea Geo-Environmental Society, Vol.2011 No.9 pp77-81
- (3) Guidelines of road safety facility installation and management (2012), Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- (4) Ho-Bon Koo, Hyuck-Jin Park, Young-Sik Paik (2001) **Characteristics and Energy Absorbing Capacity for Rockfall Protection Fence from In-Situ Rockfall Tests**, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol.17 No.6 pp.111-121
- (5) 土砂災害防止に関する基礎調査マニュアル(2015), Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism