

# 질량비 변화에 따른 산사태 모형으로 인해 발생하는 충격파 특성분석

조한울, 이호진\*, 김성덕  
충북대학교 토목공학과

## Analysis of Impulse Characteristics Generated by Landslide Models with Various Mass Ratio

Han Woll Cho, Ho Jin Lee\*, Sung Duk Kim  
School of Civil Engineering, Chungbuk National University

**요약** 산사태로 인해 유발되는 충격파는 일반적으로 산사태 충격파(Landslide-impulse wave)라고 부른다. 산사태 충격파는 댐, 저수지, 호수, 화산섬 및 피오르드(fjord) 등 특정 지역에 국한되지 않고 발생하며, 수역인근에서 발생하는 산사태 충격파의 경우는 주변의 인명과 기반시설에 심각한 피해를 끼칠 수 있다. 특히 산악지대에서는 급경사의 계곡과 상당수의 댐과 같은 수공 구조물 등이 위치하고 있는 경우가 많아 작은 규모의 지진만으로도 위력적인 산사태 충격파가 발생할 수 있다. 한 가지 예시로 산사태 충격파로 인해 1963년 이탈리아 바이온트(Vaiont)에서는 수천 명의 사망자가 발생하였다. 최근에는 전 세계적으로 이상기후의 영향 때문에 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인해 국내에서 발생하는 지진과 산사태의 발생빈도와 발생규모 모두 증가하고 있다. 우리나라도 더 이상 산사태 충격파로부터 안전하지 않고, 산사태 충격파로부터의 위험을 줄이기 위해서는 충격파 특성들에 대한 더 나은 이해능력은 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 산사태 충격파의 특성들을 알아보고자 산사태 모형실험을 수행하였다. 산사태 모형으로는 블록형 태 산사태 모형과 입상형태 산사태 모형을 이용하였으며, 산사태 모형으로부터 유발되는 충격파의 특성 중 진폭을 중점으로 분석하였다.

**Abstract** A impulse wave generated by a landslide is commonly referred to as a landslide-impulse wave. Landslide-impulse waves are not limited to specific areas such as dams, reservoirs, lakes, volcanic islands, and fjords. Landslide-impulse waves generated near water bodies can cause serious damage to human life and infrastructure. Steep valleys and many water structures such as dams are often located in mountainous areas, so even a small-scale earthquake can generate a powerful landslide-impulse wave. One example is a landslide-impulse wave that killed thousands in Vaiont, Italy, in 1963. Recently, due to the influence of abnormal weather around the world, localized torrential rains have frequently occurred, and as a result, both the frequency and scale of earthquakes and landslides occurring in Korea are increasing. Korea is no longer safe from landslide-impulse waves, and a better understanding of their characteristics is essential to reduce the risk. Thus, in this study, an experiment was conducted with a landslide model to find out the characteristics of a landslide-impulse wave. Block-type landslide models and granular-type landslide models were used, and the amplitude was observed and analyzed.

**Keywords** : Landslide Model Experiment, Landslide-impulse Wave, Maximum Amplitude, Impact Velocity, Froude Number

본 연구는 한국연구재단 기초과학연구사업의 지원을 받아 수행되었습니다. (No.2021R111A3054408)

\*Corresponding Author : Ho Jin Lee(Chungbuk Univ.)

email: hojinlee@chungbuk.ac.kr

Received February 1, 2023

Revised March 14, 2023

Accepted May 12, 2023

Published May 31, 2023

## 1. 서론

수면에서 산사태로 유발되는 충격파는 일반적으로 산사태 충격파라고 하며, 댐, 저수지, 호수, 화산섬 및 피오르드(fjord) 등 특정 지역에 국한되지 않고 발생한다 [1,2]. 특히 산악지대에서는 급경사의 계곡, 대규모 사면의 질량운동의 가능성, 상당수의 댐과 같은 수공 구조물 등이 위치하고 있기 때문에 작은 규모의 지진만으로도 위력적인 산사태 충격파가 발생할 수 있으며 [3,4], 알래스카 리투야 만(Lituya Bay)사건 [5], 이탈리아 바이온트(Vaiont)사건 [6] 처럼 재앙적인 결과를 야기할 수 있다. 리투야 만 사건 당시 최대진폭은 524m, 바이온트 사건 당시 250m의 최대진폭을 기록했으며, 인근 식생을 파괴하였고, 수천에 달하는 인명피해를 초래했다. 최근에는 고산지대에서 수자원 공급을 목적으로 하는 시설들이 증가하고 있기 때문에 고산지대에서 발생할 수 있는 눈사태, 산사태의 위험도 평가와 관련된 연구 또한 늘고 있는 추세이다 [7].

우리나라는 지리적으로 유라시아판 내부에 위치하며, 판 경계로부터 멀리 떨어져 있어서 지진으로부터 안전하다고 알려져 있었다 [8]. 하지만 디지털 관측기기로 지진 기록을 시작한 1999년을 이후로 기상청의 국내지진 발생 현황통계에 따르면 20년 동안 지진의 발생횟수는 약 2배 증가하였으며, 최근에는 기후변화의 영향으로 국지성 집중호우가 자주 발생하면서 [9] 지진으로 유발되는 산사태의 발생빈도 또한 증가하고 있다 [10]. 지진으로 유발되는 산사태 연구의 필요성은 1998년부터 제시되었지만 [11], 2016년 경주지진과 2017년 포항지진 이후에야 비로소 지진으로 인한 산사태 연구의 필요성이 대두되었다 [12]. 국토의 63%가 산악지형인 우리나라도 산사태 충격파로부터 완전히 안전하다고 볼 수 없으며, 지진 등의 자연재해로 인해 유발되는 산사태 충격파로부터 인명과 기반시설에 대한 위험을 줄이기 위해서는 충격파 특성에 대한 더 나은 이해능력은 필수적이다 [13,14].

전 세계의 연구자들로부터 수로실험을 통해 산사태 충격파에 대한 연구가 수행되었다. Heller et al [15]은 충격파가 Froude 수의 유사성을 이용하여 실험적으로 조사될 수 있음을 입증하였으며, Froude 수와 입상형태 산사태 모형의 상대 질량 및 상대 두께를 1차 충격파 진폭의 지배 매개변수라고 보고했다. Heller and Hager [16]은 충격파의 특성을 예측하기 위해 충격파 생성 매개변수  $P$ 를 제안하였고,  $P$ 를 이용하여 1차 충격파의 진폭, 주기 및 파장을 계산하기 위한 경험식을 제안하였다.

Heller and Spinneken [17]은 충격파 생성 매개변수  $P$ 를 이용하여 입상형태의 산사태로 발생한 충격파와 관련한 경험식만 제시되었던 상황에서 블록형태 산사태로 발생한 충격파를 계산하기 위한 경험식을 개발하였으며, 이는 Heller and Hager [16]에서 충격파 생성 매개변수  $P$ 가 충격파의 예측에 유용한 매개변수라고 보고했다. Heller and Spinneken [3]은 충격파 연구를 위해 3차원 실내 수로실험을 수행하였으며, 2차원 실험과 3차원 실험의 결과를 비교하여 블록형태 산사태 모형에 의해서 생성된 충격파에 대한 2차원 예측을 3차원으로 변환하는 방법을 개발하였다. 국내의 경우 김병주와 백종철 [18]은 3차원 다상 난류 흐름 해석을 위한 수치모형과 비뉴턴 유체인 토석류에 대한 유변학적 모형을 적용하여 만의 사면에서 발생한 산사태로 인한 충격파의 거동을 수치모의하였다. 김병주와 백종철 [18]은 수면으로 유입되는 산사태와 토석류의 선단부 두께와 유속이 적절히 모의된다면, 충격파 특성을 매우 우수한 정확도로 예측이 가능하다고 보고하였다. 국내에서의 산사태 충격파 연구는 수치해석을 통한 분석사례가 있지만, 아직 초기단계에 있으며, 해외에 비해서 연구가 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 산사태 충격파의 특성을 알아보고자 산사태 모형이 입상형태와 블록형태의 2가지 경우에 대해서 산사태 모형실험을 수행하였다. 충격파가 갖는 에너지는 대부분 진폭의 크기 [5]에서 오기 때문에 산사태 충격파의 특성 중 최대진폭을 중점으로 관측 및 분석하였다. 본 연구에서의 결과는 추후 수역 인근에서 발생하는 산사태 충격파를 고려하여 댐 등의 수공 구조물의 설계시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 수로실험

### 2.1 실험 장치 및 실험 재료

본 연구에서의 산사태 모형실험은 강철(steel) 재질의 길이 25m, 폭 1m, 높이 1m의 수로에서 수행하였다. 실험장치는 시료통, 경사로 지지대, 경사로로 구성되며 Fig. 1과 같이 나타난다. 본 실험을 수행하기 전 여러 수심에서 예비실험을 수행한 결과, 수심  $h = 0.2m$ 에서 생성되는 충격파의 최대진폭이 관측되었기 때문에 본 실험에서는 수심  $h = 0.2m$ 에서 실험을 수행하였다. 낙하높이  $H = 0.5m$ , 산사태 모형의 총 질량  $M_s = 15kg$ , 수

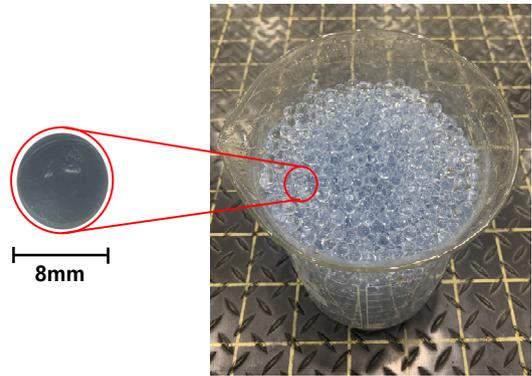


Fig. 1. Experiment channel

심  $h = 0.2m$ 의 3가지 조건을 실험 공통 조건으로 설정하였으며, 수로경사  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  인 경우에서 수행하였다. 낙하높이를 통일시켰기 때문에 수로경사가 증가함에 따라 경사로의 길이는 각각 경사  $20^\circ$  일 때  $1.98m$ , 경사  $40^\circ$  일 때  $1.25m$ , 경사  $60^\circ$  일 때  $1.05m$ 로 짧아졌다.

Heller and Hager[16]는  $2\sim 8mm$ 의 작은 직경으로 구성된 재료들은 생성되는 최대진폭에 영향을 적게 끼치고, 직경이 커질수록 생성되는 진폭의 크기가 커진다고 보고한 점을 참고하여, 입상형태 산사태 모형은 직경  $d_g = 8mm$ 의 글라스 비즈를 사용하였다. 글라스 비즈 한 개의 질량  $m_g$ 는  $0.7g$ , 부피  $V_g = 2.14 \times 10^{-6} m^3$ , 밀도  $\rho_g = 2.61 \times 10^3 kg/m^3$  이다. 바위를 모사하기 위한 블록형태 산사태 모형은 콘크리트로 직접 제작하였다. 본 연구의 주 목적 중 하나는 생성되는 충격파의 3차원 효과가 아닌 충격파의 초기 특성 중 진폭에 중점을 두었기 때문에 2차원의 실험으로 설정하였다. Heller and Spinneken[3]은 경사로 폭  $b$ 와 블록형태 산사태 모형의 폭  $b_s$ 의 비율인 차단비  $B$ 가  $0.88 < B < 0.98$  일 때, 그 실험은 3차원 효과를 최대한 배제하면서 2차원 실험임을 보장한다고 하였다. 이를 참고하여 본 연구에서는 차단비  $B = 0.88$ 로 설정하였고, 그에 따른 경사로의 폭과 블록형태 산사태 모형의 폭은 각각  $b = 0.4m$ ,  $b_s = 0.352m$ 이었다. 블록형태 산사태 모형의 부피  $V_b$ 는  $8.36 \times 10^{-3} m^3$ 이고, 밀도  $\rho_b$ 는  $1796.41 kg/m^3$  이다. 입상형태 산사태 모형과 블록형태 산사태 모형은 Fig. 2와 같이 나타나며, Table 1의 제원을 갖는다. 산사태 모

형에 의해서 생성되는 충격파는 60fps와 240fps로 촬영된 영상과 10Hz 성능의 수면변위센서를 이용하여 관측 및 분석하였다. 3개의 수로경사에 대해 5번 반복실험을 하여 총 30회의 실험을 수행하였다.



(a) Granular type



(b) Block type

Fig. 2. Landslide Models (a) Granular type and (b) Block type

Table 1. Specifications of landslidge model

	Granular type	Block type
Length(m)	-	0.33
Thickness(m)	-	0.08
Mass(kg)	$0.7 \times 10^{-3}$	15
Volume(m <sup>3</sup> )	$2.14 \times 10^{-6}$	$8.36 \times 10^{-3}$
Densirty (kg/m <sup>3</sup> )	$2.61 \times 10^3$	1796.41

## 2.2 실험 결과

산사태가 수역 인근에서 발생하게 되면 수역 인근의 인명과 인공구조물 등에 심각한 피해를 끼친다. 본 연구

에서는 산사태 모형의 구성이 입상형태인 경우와 블록형태인 경우에서 수로경사의 변화에 따라 유발되는 산사태 충격파를 관측 및 분석하였다. 산사태 모형으로 유발되는 충격파는 Fig. 4에 나타난다.

Fig. 4에서 보면 입상형태 산사태 모형에 의해서 유발되는 충격파의 최대진폭의 크기는 경사가 40° 일 때가 가장 크게 관측되었고, 경사가 60°로 증가하면서 유발되는 최대진폭의 크기는 감소하였다. 선행 연구에 따르면[19,20] 입상형태 산사태 모형의 경우 수면과 충돌할 때 산사태 모형의 선단부에서는 속도의감소가 발생하지만, 후미 쪽에서는 오히려 속도가 증가하면서 내려오게 되고, 결국 앞쪽의 속도가 감소한 산사태 모형을 밀어주

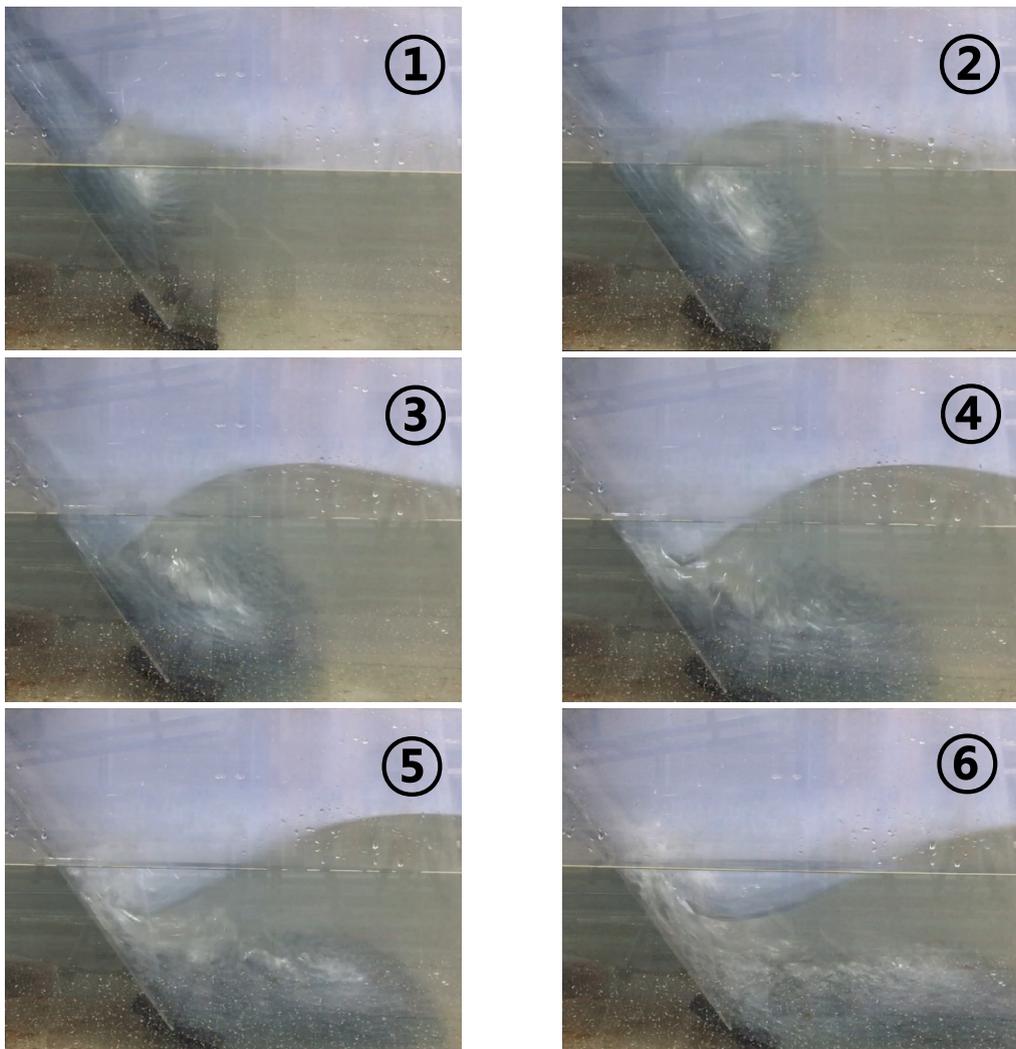


Fig. 3. Experimental pictures of granular landslide model

게 되어 수중에서는 산사태 모형이 회전하며 수면과 함께 위쪽으로 들어 올려진다고 하였다. 수로경사  $40^\circ$  일 때가 수로경사  $60^\circ$  일 때보다 산사태 모형의 길이가 길게 형성되기 때문에 이러한 속도의 차이는 더욱 증가하게 되고, 수중에서 산사태 모형이 회전하는 현상이 더 커져 유발되는 최대진폭의 크기가 Fig. 4과 같이 측정된 것으로 분석된다. 입상형태 산사태 모형이 수중에서 회전하는 현상은 Fig. 3에 나타난다.

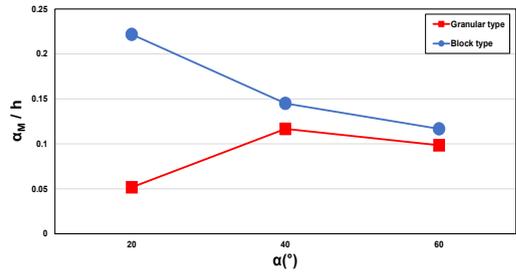


Fig. 4. Maximum amplitude by landslide models

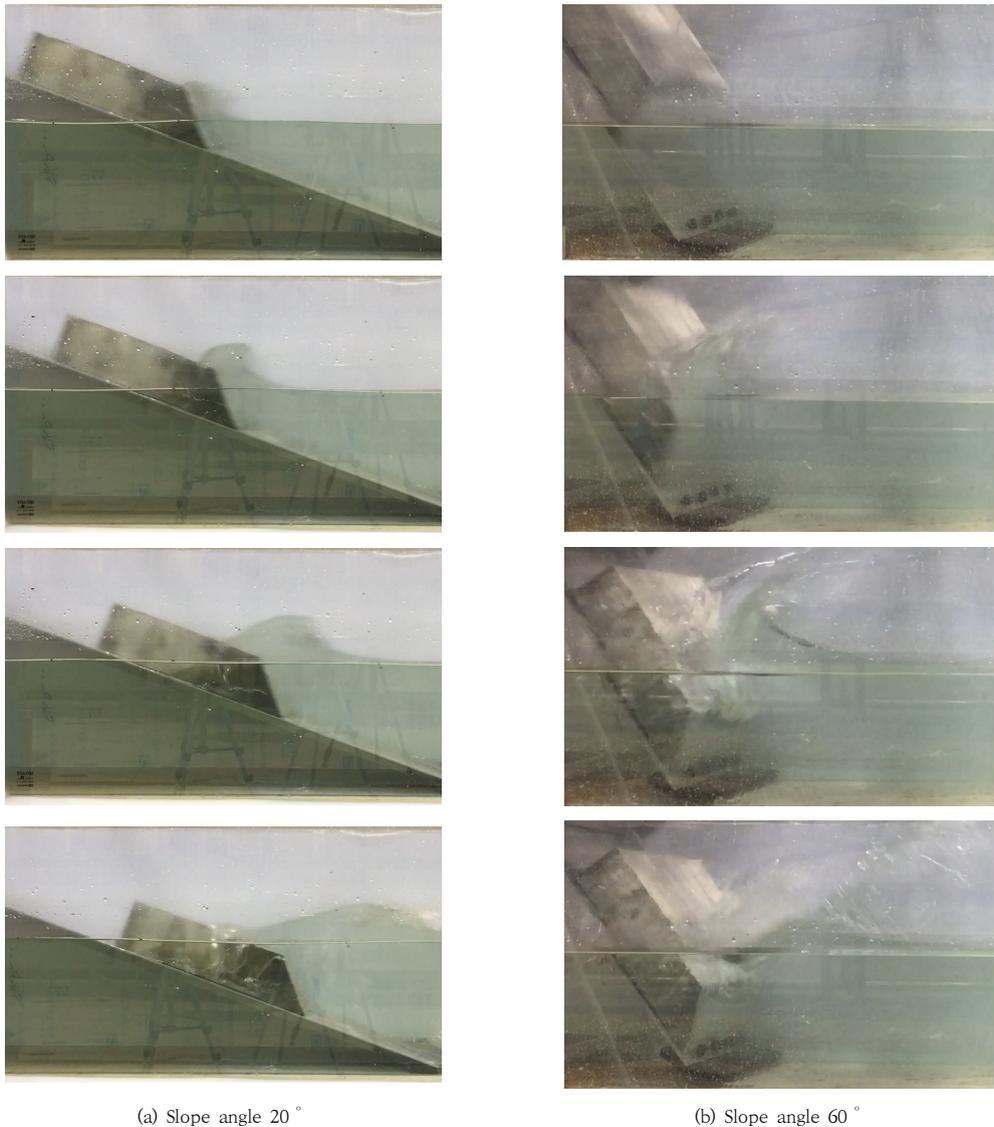


Fig. 5. Experimental pictures of block type landslide model at slope angle (a)  $20^\circ$  and (b)  $60^\circ$

Fig. 4에서 블록형태 산사태 모형의 경우는 수로경사가 증가할수록 유발되는 충격파의 최대진폭의 크기는 감소하였다. 이는 블록형태 산사태 모형이 수면과 충돌할 때 물 튀김 현상이 발생 되었기 때문으로 분석된다. 수로경사가 증가할수록 충돌속도와 충격력은 증가하고, 발생하는 물 튀김 현상의 규모가 증가하였다. 물 튀김 현상이 발생하면 수면 중 일부가 공중으로 튀어 오르면서 물의 총 질량은 튀어 오르는 물의 질량만큼 감소하게 된다. 이러한 과정으로 인해 에너지가 소산하게 되고 유발되는 충격파의 최대진폭의 크기가 감소한 것이다. 즉, 진폭의

생성을 위한 블록형태 산사태 모형으로부터 수면에 전달되는 운동 에너지 중 일부가 물 튀김 현상의 발생 때문에 소산되고, 결국 소산된 에너지만큼 작은 진폭이 발생된 것으로 분석된다. 블록형태 산사태 모형에 의해서 생성되는 물 튀김 현상은 Fig. 5에 나타난다.

Fig. 4에서 보면 모든 경사조건에서 블록형태 산사태 모형에 의해서 유발되는 최대진폭의 크기가 입상형태 산사태 모형에 의해서 유발되는 최대진폭의 크기보다 크게 관측되었다. 이는 산사태 모형의 두께  $s$ 의 영향으로 분석된다. Fig. 6은 수로경사  $20^\circ$ 인 경우에서 입상형태

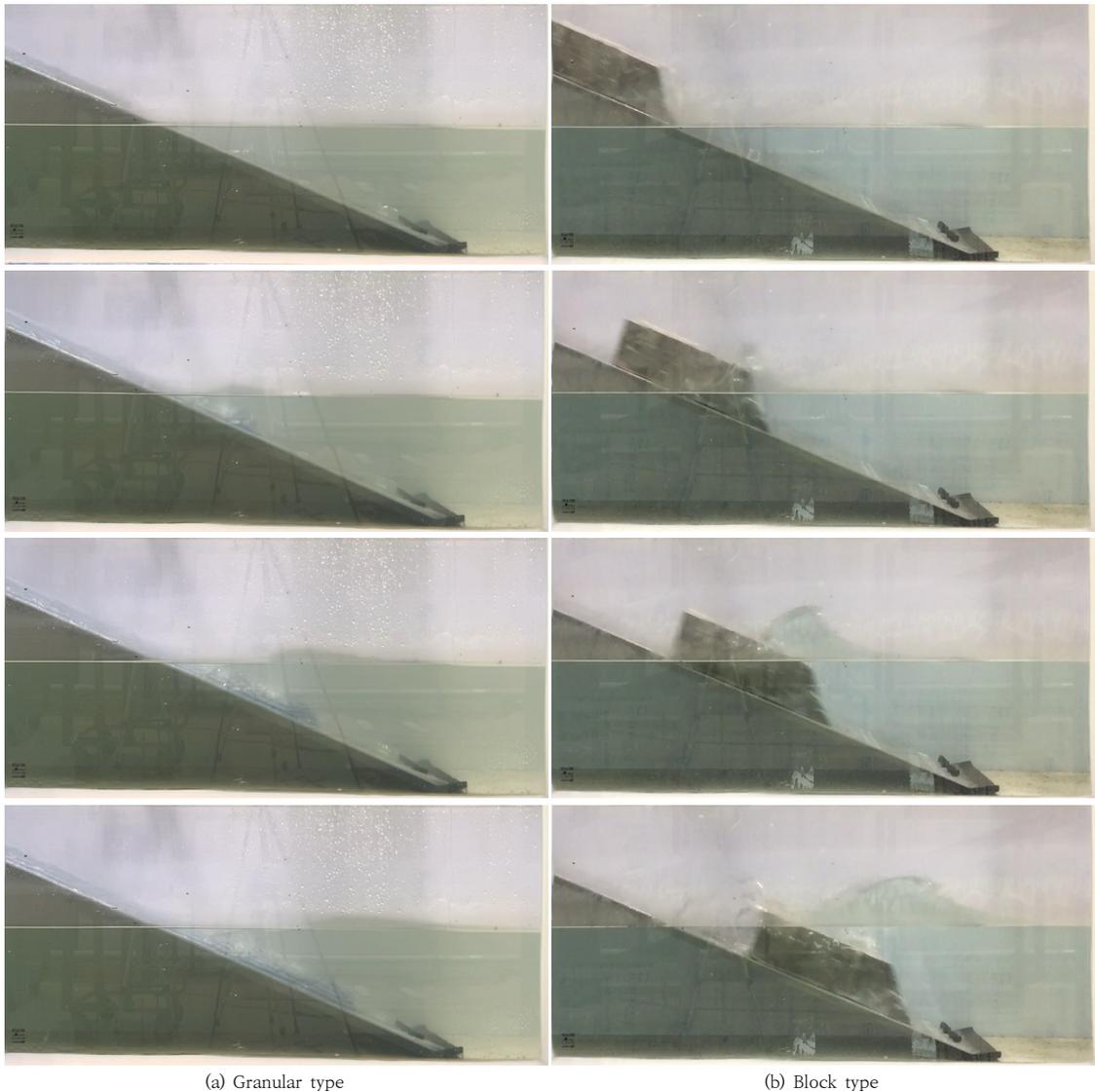


Fig. 6. Experimental pictures of landslide model (a) Granular type and (b) Block type

Table 2. Impact velocity  $V_s$  and Froude number  $F_r$  in present study and prior study

Parameterer	Present study		Prior study	
	Granular type	Block type	Granular type	Block type
			Fritz and Moser[21]	Saelebi et al[22]
Impact velocity $V_s$	1.56 - 1.81	0.82 - 0.88	2.06 - 8.77	2.45 - .3.56
Froude number $F_r$	0.49 - 0.90	1.12 - 1.30	0.86 - 6.83	1.0 - 1.5

산사태 모형과 블록형태 산사태 모형의 실험 장면이다. Fig. 6에서 보면 블록형태 산사태 모형이 수면과 충돌할 때 수면이 블록형태 산사태 모형을 타고 올라오면서 충격파가 생성되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 입상형태 산사태 모형의 경우는 수면이 타고 올라갈 만한 산사태 모형의 두께  $s$ 가 충분하지 않다. 생성되는 충격파의 최대 진폭의 크기차이는 수로경사  $20^\circ$  에서 329.03%,  $40^\circ$  에서 24.29%,  $60^\circ$  에서 18.65% 만큼의 차이가 났으며, 수로경사가 증가할수록 진폭의 크기차이는 감소하였다. 이러한 결과는 산사태 모형의 두께  $s$ 의 영향력은 급경사에서보다 완만한 경사에서 더 크게 작용하는 것으로 분석된다.

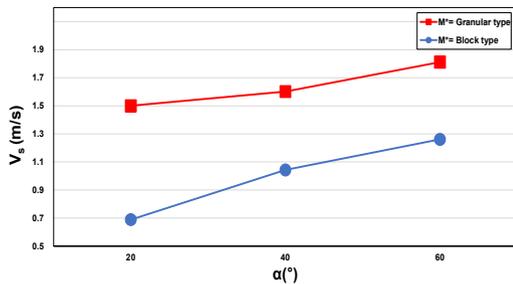


Fig. 7. Impact velocity of landslide models

Fig. 7은 입상형태 산사태 모형과 블록형태 산사태 모형의 수로경사에 따른 충돌속도 그래프이다. Fig. 7에서 보면 생성되는 최대진폭과는 반대로 모든 경사조건에서 입상형태 산사태 모형에서의 충돌속도가 블록형태 산사태 모형의 충돌속도보다 크게 측정되었다. Lindstorm[23]은 글라스 비즈는 매우 균질한 재료이고 글라스 비즈로 구성된 입상형태 산사태 모형의 마찰력은 거의 0에 가깝다고 보고하였다. 하지만 블록형태 산사태 모형은 그렇지 않으며, 결국 이러한 재료적인 차이에서 오는 마찰력의 차이는 충돌속도에 영향을 미치게 되어 모든 경사조건에서 입상형태 산사태 모형이 블록형태 산사태 모형의 충돌속도보다 크게 측정된 것으로 분석된다.

본 연구에서 산사태 모형의 충돌속도  $V_s$ 와 Froude 수  $F_r$ 를 산정하여 선행연구의 것과 비교하였으며, 이는 Table 2에 나타난다. Table 2에서 보면 본 연구에서의 충돌속도  $V_s$ 와 Froude 수  $F_r$ 가 선행 연구에서의 것보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 마찰력의 차이 때문으로 분석된다. 선행 연구에서는 입상형태 산사태 모형실험의 경우 공압용 산사태 발생기(pneumatic landslide generator)을 사용하여 실험을 수행하였고[5], 블록형태 산사태 모형 실험의 경우 산사태 모형 바닥면에 바퀴의 역할을 해주는 장치를 장착하거나[23], 경사로나 산사태 모형에 직접 윤활 처리를 해주어서[24] 마찰력을 0으로 설정하고 실험을 수행하였다. 하지만 실제 현상에 있어서 마찰력이 0인 상황은 실제하지 않는다고 판단하여 본 연구에서는 마찰력이 있는 실험조건에서 실험을 수행하였다. Froude 수는  $F_r = V_s / (gh)^{1/2}$ 로 계산되며,  $V_s$ 는 충돌속도,  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 수심이다. 이러한 마찰력의 차이는 Froude 수에 가장 큰 요인으로 작용하는 충돌속도  $V_s$ 에 영향을 미치게 되어 본 연구에서의 충돌속도와 Froude 수가 선행연구에 비해서 작게 측정된 것으로 분석된다.

### 3. 결론

수역 인근에서 산사태로 유발되는 충격파는 인근의 인명과 인공구조물에 심각한 피해를 끼칠 수 있다. 산사태 충격파로부터의 피해를 줄이기 위해서는 충격파 특성에 대한 더 나은 이해와 예측능력은 필수적이다. 이에 본 연구에서는 산사태 충격파의 특성을 알아보고자 입상형태와 블록형태로 구성된 산사태 모형실험을 수행하였으며, 생성되는 충격파의 특성 중 최대진폭을 중점으로 관측 및 분석하였다. 본 연구에서의 결론은 다음과 같다.

- [1] 입상형태 산사태 모형은 수중에서 회전하는 현상이 관측되었다. 이는 입상형태 산사태 모형의 선

단부와 후미쪽에서의 속도차이로 분석되었으며, 이러한 현상은 완만한 경사에서보다 급경사에서 더 크게 발생한다.

- [2] 블록형태 산사태 모형은 수로경사가 증가함에 따라 생성되는 최대진폭의 크기는 오히려 감소하였다. 이는 물 튀김 현상이 발생하면서 에너지가 소산되었기 때문으로 분석된다.
- [3] 모든 경사조건에서 입상형태 산사태 모형에 의해서 유발되는 충격파의 최대진폭의 크기보다 블록형태 산사태 모형에 의해서 유발되는 충격파의 최대진폭의 크기가 컸다. 이는 산사태 모형의 두께  $s$ 의 영향이었으며, 최대진폭의 형성에는 충돌속도  $V_s$ 보다 산사태 모형의 두께  $s$ 가 더 큰 요인으로 작용된다고 분석된다. 또한, 산사태 모형의 두께  $s$ 의 영향력은 급경사에서보다 완만한 경사에서 더 크게 작용된다.

본 연구에서 입상형태 산사태 모형으로 사용한 글라스비즈는 실제 흙에 비해서 매우 균질한 재료이며, 초기 충격파의 특성만을 분석하였기 때문에 실험결과가 실제 현상과 완전히 일치하지 않을 수 있다. 본 연구에서의 결과는 추후 수역 인근에서 발생하는 산사태 충격파를 고려하여 댐 등의 수공 구조물의 설계시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2021R111A3054408).

### References

- [1] B. G. Chae, J. Choi, H. K. Jeong, "A feasibility study of a rainfall trigger index model to warn landslides in Korea", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.26, No.2, pp.235-250, June 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9720/kseg.2016.2.235>
- [2] C. Ma, Y. Wang, K. Hu, C. Du, W. Yang, "Rainfall intensity-duration threshold and erosion competence of debris flows in four areas affected by the 2008 Wenchuan earthquake", *Geomorphology*, Vol.282, pp. 85-95, April 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.012>
- [3] V. Heller, J. Spinneken, "On the effect of the water body geometry on landslide-tsunamis: Physical insight from laboratory tests and 2D to 3D wave parameter transformation", *Coastal Engineering*, Vol.104, pp. 113-134, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.06.006>
- [4] F. Løvholt, G. Pedersen, G. Gisler, "Oceanic propagation of a potential tsunami from the La Palma Island", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol.113, C09026, Sep. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007JC004603>
- [5] H. M. Fritz, F. Mohammed, J. Yoo, "Lituya Bay landslide impact generated mega-tsunami 50th Anniversary", *Pure and Applied Geophysics*, Vol.166, pp. 153-175, Jan. 2009. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-0346-0064-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-0346-0064-4_9)
- [6] E. Semenza, M. Ghirelli, "History of the 1963 Vaiont slide: the importance of geological factors", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.59, No.2, pp. 87-97, Oct. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100640000067>
- [7] G. Zitti, C. Ancey, M. Postacchini, M. Brocchini, "Impulse waves generated by snow avalanches: momentum and energy transfer to a water body", *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, Vol.121, No.12, pp. 2399-2423, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JF003891>
- [8] K. M. Shim, Y. S. Kim, M. P. Jung, J. W. Kim, M. S. Park, S. H. Hong, K. K. Kang, "Recent Changes in the Frequency of Occurrence of Extreme Weather Events in South Korea" *Journal of Climate Change Research*, Vol.9, No.4, pp. 461-470, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15531/ksccr.2018.9.4.461>
- [9] H. N. Jang, Y. L. Jong, "Case Study of Earthquake Damage in Korea and Other Countries", *Journal of Civil Engineers*, Vol.55, No.4, pp.133-139, April 2007. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01232784>
- [10] J. P. Seo, E. Song, K. H. Lee, C. W. Lee, C. S. Woo, "A Study on Risk Assessment Methods for Earthquake-Induced Landslides", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.17, No.4, pp.697-709, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2012.12.31.694>
- [11] M. J. Kang, K. D. Kim, J. P. Seo, C. S. Woo, C. W. Lee, "Analysis of the Occurrence Characteristic of Earthquake-Induced Landslide through a Media Report : Focus on International Cases Reported in Domestic Media During the 10 years (2009-2018)", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.16, No. 3, pp. 440-448, Sep. 2020. DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2020.09.30.440>
- [12] J. L. Seo, S. I. Lee, H. K. Kweon, C. W. Jun, S. W. Kim, K. W. Jun, J. H. Kim, C. W. Lee, "Future research direction in response to mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in South Korea"

- Crisisonomy*, Vol.14, No.3, pp.119-138, March 2018.  
<https://www.earticle.net/Article/A326959>
- [13] H. Fuchs, M. Pfister, R. Boes, S. Perzmaier, R. Reindl, "Impulse waves due to avalanche impact into Kuehtai reservoir: Impulswellen infolge Lawineneinstoss in den Speicher Kuehtai" *Wasserwirtschaft*, Vol.101, No.1-2, pp.54-60, Jul. 2011.  
 DOI: <https://doi.org/10.1365/s35147-011-0011-1>
- [14] V. Heller, W. H. Hager, H. E. Minor, "Landslide generated impulse waves in reservoirs: Basics and computation" *VAW-Mitteilungen* 211, 2009.  
 DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000157446>
- [15] V. Heller, W. H. Hager, H. E. Minor, "Scale effects in subaerial landslide generated impulse waves" *Experiments in Fluids*, Vol.44, No.5, pp.691-703, Dec. 2007.  
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00348-007-0427-7>
- [16] V. Heller, W. H. Hager, "Impulse product parameter in landslide generated impulse waves", *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, Vol.136, No.3, pp.145, May 2010.  
 DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)www.1943-5460.0000037](https://doi.org/10.1061/(asce)www.1943-5460.0000037)
- [17] V. Heller, J. Spinneken, 2013, "Improved landslide-tsunami prediction: effects of block model parameters and slide model", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol.118, No.3, pp.1489-1507, Feb. 2013.  
 DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrc.20099>
- [18] B. J. Kim, J. C. Paik, "3D numerical modeling of impact wave induced by landslide using a multiphase flow model" *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol.54, No.11, pp.943-953, Oct. 2021.  
 DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2021.54.11.943>
- [19] F. M. Evers, W. H. Hager, "Impulse wave generation: Comparison of free granular with mesh-packed slides", *Journal of marine science and engineering*, Vol.3, No.1, pp.100-110, March 2015.  
 DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse3010100>
- [20] N. Fukii, M. Matsuyama, H. Mori, "Hydraulic experiments of tsunami generation with plane water tank due to landslide" *Doboku Gakkai Ronbunshu B2. Kaigan Kogaku(Online)*, Vol.74, No.2, pp.1145-1150, March 2018.  
 DOI: [http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.74.1\\_145](http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.74.1_145)
- [21] H. M. Fritz, P. Moser, "Pneumatic landslide generator", *International Journal of Fluid Power*, Vol.4, No.1, pp.49-57, Sep, 2002.  
 DOI: <https://doi.org/10.1080/14399776.2003.10781155>
- [22] G. Sælevik, A. Jensen, G. Pedersen, "Experimental investigation of impact generated tsunamis: related to a potential rock slide, Western Norway", *Coastal Engineering*, Vol.56, No.9, pp.897-906, Sep. 2009.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.04.007>
- [23] E. K. Lindstrøm, "Waves generated by subaerial slides with various porosities", *Coastal Engineering*, Vol.116, pp.170-179, Oct. 2016.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.07.001>
- [24] B. Ataie-Ashtiani, A. Najafi-Jilani, "Laboratory investigations on impulsive waves caused by underwater landslide", *Coastal Engineering*, Vol.55, No.12, pp.989-1004, Dec. 2008.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.03.003>

조 한 울(Han-Wool Cho)

[준회원]



- 2015년 2월 : 충북대학교 토목공학과 (학부)
- 2023년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)

<관심분야>  
 충격파, 진폭

이 호 진(Ho-Jin Lee)

[종신회원]



- 1999년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 10월 ~ 2010년 11월 : Colorado State University 토목환경공학과 박사 후 연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수

<관심분야>  
 유사현상, 해안세굴

김 성 덕(Sung-Duk Kim)

[정회원]



- 2001년 8월 : 중앙대학교 대학원 지구환경 시스템공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 중앙대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 강사

<관심분야>  
 재난관리, 방재해석