

# 진동 데이터 중심의 낙석 탐지 합성곱 모델에 관한 연구

홍영우<sup>1</sup>, 유동영<sup>2</sup>  
 홍익대학교 소프트웨어융합학과 <sup>1</sup>석사과정, <sup>2</sup>교수  
 hyw1021@g.hongik.ac.kr, ydy@hongik.ac.kr

## A Study on the Synthetic Model of Rock Fall Detection with Vibration Data

Young-Woo Hong, Dong-Young Yoo  
 Dept. of Software and Communications Engineering, Hongik University

### 요 약

낙석에 대한 시뮬레이션과 낙석 발생 예측 연구들이 상당히 진행되었으며 낙성 피해 방지를 위한 낙석방지시설들을 꾸준히 설치되고 있으나 2023년 4월에도 자동차 전용 도로에서 낙석에 의한 피해가 발생하고 있다. 따라서 본 논문을 통해 운전자들에게 낙석 발생 사실을 미리 알릴 수 있도록 자동차 전용 도로에서 발생하는 진동 데이터들을 중심으로 낙석이 발생하면 탐지할 수 있는 합성곱 모델을 연구한다.

### 1. 서론

자동차 전용 도로에서의 낙석은 교통 체증, 주변 구조물 및 재산 손상, 인명 피해들을 야기하기에 낙석에 대한 연구들이 진행되고 있다. 국토교통부 지침[1]에 의하면 이러한 낙석 피해를 막기 위해 낙석 방지 울타리나 옹벽, 피암 터널등의 낙석 피해 방지 공법을 시공해야 한다고 제시하고 있다.

하지만 낙석 피해 방지 공법은 현장의 지형, 사면과 암반 내 불연속면에 대한 조사가 사전에 이루어져야 하지만 전국에 있는 모든 낙석위험지역에 대해 이러한 조사와 시설 설치가 어렵기에 여전히 낙석으로 인한 피해사례가 발생하고 있다. 대표적으로 김준겸 외 1인[2]에 따르면 2023년 4월 7일에 2차선 도로 내 낙석이 발생해 운전자들이 낙석을 피해 중앙선을 넘나드는 위험한 운전을 했던 사례가 있었다. 따라서 본 논문에서는 운전자들에게 낙석을 경고할 수 있도록 도로상 낙석 발생을 탐지할 수 있는 합성곱 모델을 연구한다.

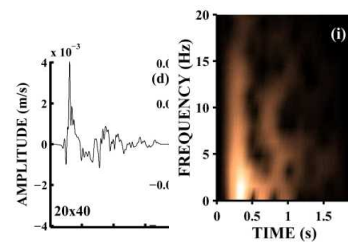
### 2. 관련 연구

#### 2.1 진동 데이터를 통한 낙석 사례 분석

J. Deparis의 5인[3]은 1992년~2001년의 거리별 진동 데이터를 통해 프랑스 알프스 산맥에서의 낙석과 눈사태를 분석 연구를 통해 <표1>과 같은 조건의 데이터 조건을 통해 수치 모델링 하여 돌의 분리, 낙하에 대한 수치를 (그림 1)과 같이 수치 시뮬레이션을 하였다.

<표 1>

Case #	Block and cliff characteristics	Ground properties	
		Elastic	Plastic
1	Vp=5820 m/s Vs= 3112 m/s ρ=2.7	Vp=5820 m/s Vs= 3112 m/s ρ=2.7	-
2	Vp=5820 m/s Vs= 3112 m/s ρ=2.7	Vp=1700 m/s Vs= 909 m/s ρ=1.5	-
3	Vp=5820 m/s Vs= 3112 m/s ρ=2.7	Vp=1700 m/s Vs= 909 m/s ρ=1.5	σ <sub>y</sub> = 348.(2.10 <sup>-3</sup> +ε <sup>p</sup> ) <sup>0.03</sup> σ <sub>y(ε<sup>p</sup>=0)</sub> =289 KPa



(그림 1) 프랑스 알프스 산맥에서의 낙석과 눈사태 수치 시뮬레이션 또한, 이러한 결과를 토대로 낙석과 눈사태의 전조

를 탐지해 예측하는 실험도 진행하였으나 데이터의 잡음과 미미한 수치로 불가능하다는 결론을 내렸다.

**2.2 콜로라도 낙석 통계 분석을 통한 위험등급 연구**  
 Paul M. Santi와 3인[4]은 콜로라도 낙석 위험 등급 시스템(RHRS)를 수정하기 위해 낙석의 원인이 되는 기후적 요인들과 지질학적 요소들을 연구하였는데 총 355개의 경사도의 통계 분석을 위해 단변량 회귀 분석, 선형 로지스틱 회귀 분석, stepwise regression을 수행해 각 경사 유형에 따라 총 위험 점수를 추정하기 위한 방정식의 매개 변수들을 구해 결정질 암반의 절단 및 총 경사에 대한 방정식을 (그림 2)에서 (그림 3)과 같이 간략하게 만들었다.

$$PS = 248.4 + 0.90(SH) + 1.10(RF) + 1.04(AN) + 1.08(LF) + 0.97(AS) + 1.61(RC) + 1.51(OH) + 1.11(PO) + 1.28(AP) \\ n=224 \quad R^2=92\% \quad (4)$$

(그림 2) 결정질 암반의 절단 및 총 경사에 대한 9항 방정식

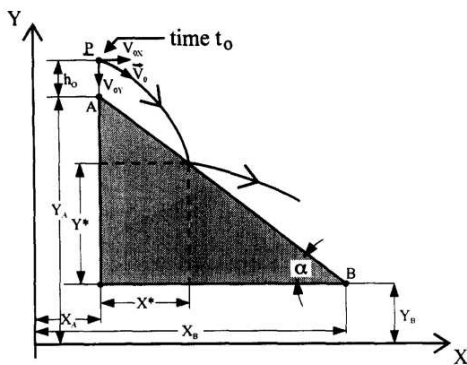
4-term equation, valid for both cut and total slopes

$$PS = 408.6 + 1.44(SH) + 1.41(AS) + 2.50(OH) + 1.27(PO) \\ n=224 \quad R^2=71\%$$

(그림 3) 결정질 암반의 절단 및 총 경사에 대한 4항 방정식

**2.3 Mathematical Model을 활용한 낙석 분석과 예측**

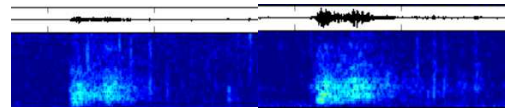
A. Azzoni와 2인[5]은 (그림 4)에 따라 낙석의 낙하 속도, 에너지, 종단 속도, 정지거리, 낙하 거리, 낙석이 튀는 높이를 예측하기 위해 현장 테스트를



(그림 4) 자유 낙하 운동 분석을 위한 OXY Reference 프레임

**2.4 낙석 스펙트로그램에 대한 데이터 분석**

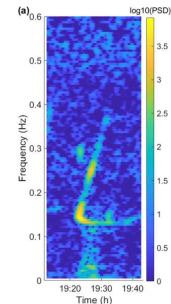
PNSN(Pacific Northwest Seismic Network)[6]의 분석에 의하면 세인트헬렌스 산의 지진계와 스펙트로그램 데이터(그림 1)를 통해 낙석과 눈사태는 파형이 축 형태의 파형을 통해 점진적인 징후와 침식의 특징을 확인하였다.



(그림 5) 세인트헬렌스 산의 지진계 데이터(상)와 스펙트로그램(하)

**2.5 스펙트로그램 이미지를 활용한 선박 탐지 연구**

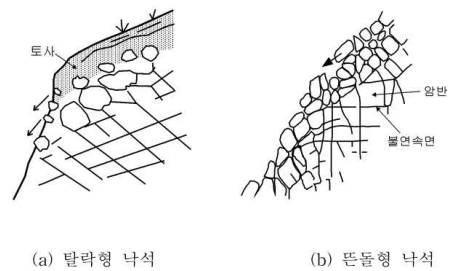
Rätsep, M.와 5인[7]에 따르면 해안에 수중 압력 센서를 통해 생성한 스펙트로그램 데이터를 통해 2km 거리의 움직이는 선박의 고유한 wake wave 구조를 해저로부터 0.2m 높이에서 수집한 100Hz의 진동 데이터를 시계열 분석을 통해 확인하였다.



(그림 6) 2009년 6월 25일 탈린 항구에 접근하는 여객선 ‘탈링크 스타’호 탐지 결과

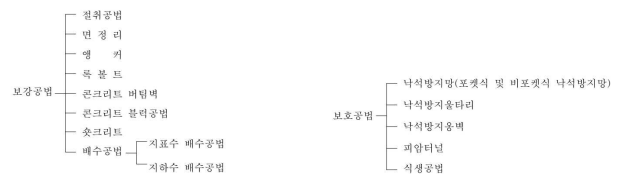
**2.6 낙석의 발생 유형과 방지대책 연구**

국내 낙석에 의한 피해를 막기 위한 국토교통부 지침[1]에 의하면 다음과 같이 낙석의 발생 유형을 각각 탈락형 낙석, 뜬돌형 낙석으로 정의하였다.



(그림 7) 낙석의 발생 유형

때문에 낙석에 의한 피해를 막기 위해 공법을 (표 3)과 같이 분류하였다.



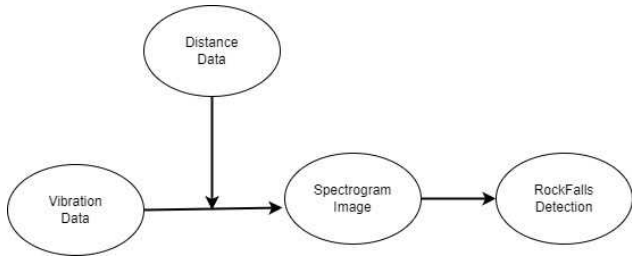
(그림 8) 낙석 피해 방지 공법

하지만 각 공법별로 낙석 피해를 막기 위한 방식이 낙석의 도로 유입 방지, 낙석 가능성 있는 암편 제거, 낙석의 에너지 완충, 낙석의 진행 방향 바꾸기등

과 같이 모두 다르기에 현장의 지형, 사면, 암반등을 세밀하게 조사해야한다.

**3. 연구 방법**

본 연구는 낙석이 발생할 때와 평상시 진동 데이터를 단시간 푸리에 변환(STFT)를 통해 스펙트로그램 이미지를 생성하고 이를 CNN(Convolutional Neural Network) 모델을 통해 학습시켜 낙석 발생을 탐지하고 운전자들에게 경고하는 모델을 연구하였다.



(그림 9) 연구 모형

본 연구와 기존 관련 제품들과의 차이는 <표 1>과 같다.

<표 2> 기능 비교

	붕괴위험 경보기	낙석 방지 경보벨	Ours
낙석 탐지	X	O	O
작동 대상	가설 건물	센서 장착 오브젝트 별	자동차 도로
사용 데이터	6축 가속도, 자이로 데이터	마그네틱 데이터	거리별 진동 데이터
작동 방식	기울기 측정	각 센서 간 거리 측정	스펙트로그 램 기반 탐지
사용 모델	Macro	Macro	CNN

**4. 결론**

본 연구에서는 낙석의 전조를 탐지하거나 낙석을 예측하기보다 자동차 전용 도로에서의 낙석의 발생을 진동데이터 분석을 위한 합성곱 모델을 통해 탐지할 수 있는 근거를 제시하였다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 모델을 활용하여 낙석이 발생한 구간의 운전자들을 대상으로 경고하여 인명피해와 통행 장애를 줄이고 이러한 연구 결과를 화물차 적재물 낙하 사고 등에도 적용해 안전한 도로 주행 환경에 기여할 수 있을 것을 기대한다.

**참고문헌**

[1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “도로안전시설설치및관리지침”, 2008

[2] Jun-Kyeom Kim, Sang-won Cho, “돌덩이 피해 곡예운전...해빙기 ‘낙석주의보’ ”, 강원일보, [ I n t e r n e t ] , <http://www.kwnews.co.kr/page/view/2023040616185207765>, 2023.Apr.7

[3] J. Deparis, D. Jongmans, F. Cotton, L. Baillet, F. Thouvenot, D. Hantz, "Analysis of rock-fall and rock-fall avalanche seismograms in the French Alps, Bulletin of the Seismological Society of America", Aug2008, Vol. 98 Issue 4, p1781-1796, 16p, 4 Charts, 10 Graphs, 1 Map

[4] Paul M. Santi, Christopher P. Russell, Jerry D. Higgins, Jessica I. Spriet, "Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System", In Engineering Geology 104(1):55-65, 2009

[5] A. Azzoni, G. LaBarbera, A. Zaninetti, "Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model", International Journal Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstracts, Vol.32, No.7, pp.709~724, 1995

[6] PNSN, "Spectrograms - Landslides, Rock-falls and Avalanches", [Internet], <https://pnsn.org/spectrograms/spec-landslides>, 2013

[7] Maarja Kruusmaa, Asko Ristolainen, Jeffrey A. Tuhtan, Margus Ratsep, Kevin E. Parnell, Tarmo Soomere, "Using Spectrograms from Underwater Total Pressure Sensors to Detect Passing Vessels in a Coastal Environment", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2020, 37(8):1353-1363