

울주에서 발생한 땅밀림 특성

박재현^{ID*} · 이상현 · 강한별 · 김 현 · 정은석

경상국립대학교 환경산림과학부

Analysis of Land Creep in Ulju, South Korea

Jae Hyeon Park^{ID*}, Sang Hyeon Lee, Han Byeol Kang, Hyun Kim and Eun Seok Jung

Division of Environmental and Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

요약: 본 연구는 한국의 울주군에서 발생한 땅밀림지의 지질, 지형, 유효 토심, 토양경도, 전기비저항탐사, 지반조사를 통해 땅밀림 위험지 특성을 파악하여 땅밀림에 의한 인적, 물적 피해를 완화하기 위한 기초자료를 제공하기 위해 실시하였다. 이 지역은 2022년 도로 확장공사의 영향으로 땅밀림이 발생하였는데, 하층식생이 크게 발달하지 않은 경사지로 상당부는 강우 시 집수가 잘 되는 요형 지형으로 나타났다. 땅밀림지의 주 구성 암석은 셰일, 사암, 역암으로 구성되어 있으며 땅밀림지의 토양은 대조구의 토양보다 점토함량이 약 3.6배 많은 것으로 분석되었으며, 모래와 점토가 많고, 실트가 적은 결과로 전형적인 땅밀림 토양으로 나타났으며, 전기비저항 탐사결과 저비저항이상대가 나타나 지하수대가 형성되는 것으로 나타났다. 토양 경도는 대조구보다 땅밀림지가 낮았으며, 땅밀림지의 평균토심은 30.4 cm로 대조구 24.7 cm보다 깊은 붕괴토 지역이었다. 이러한 땅밀림의 특징을 파악하여 효과적인 선제적 대응 체계와 모니터링 시스템 구축이 필요하다.

Abstract: This study characterized areas at risk of land creep by focusing on a site that has undergone this phenomenon in Ulju-gun, South Korea. Land creep in the area of interest was catalyzed by road expansion work conducted in 2022. The site was examined on the basis of its geological features, topography, effective soil depth, soil hardness, electrical resistivity, and subsurface profile. It consists of a slope covered with sparse vegetation and a concave top that retains rainwater during rainfall. Compositionally, land creep affected the shale, sandstone, and conglomerate formations on the site, which had little silt and more sand and clay compared with areas that were unaffected by land creep. An electrical resistivity survey enabled us to detect a groundwater zone at the site, which explains the softness of the soil. Finally, the effective soil depth at the land creep-affected area was 30.4 cm on average, indicating deep colluvial deposits. In contrast, unaffected sites had an effective soil depth of 24.7 cm on average. These results should facilitate the creation of systems for monitoring and preemptively responding to land creep, significantly mitigating the socioeconomic losses associated with this phenomenon.

Key words: bulk density, colluvial soil, electrical resistivity test, ground water movement, landcreep

서 론

전 세계적 지구온난화로 인해 기후변화가 발생하고 있다. 폭염, 가뭄, 홍수, 강한 태풍 등의 자연재해가 더욱 빈번하고 강렬하며 그로 인해 사면붕괴, 산사태, 땅밀림 등이 발생하여 인명피해와 경제적인 피해가 속출하고 있다. 세계적으로 10명 이상이 사망하고, 영향을 미쳤던 1980~1999년 기록된 산사태는 254건이었으나, 2000~2019년의 경

우 376건으로 40년 동안 산사태 발생 건수가 증가되었다(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2020). 산사태로 인해 유럽의 경제적 손실은 매년 50억 달러 이상으로 추산되고(Haque et al., 2016), 2004년부터 2010년까지 7년 동안 산사태로 인해 전 세계적 사망자는 32,322명의 사망자가 집계되었다(David, 2012). 매년 발생하는 높은 빈도와 다양한 형태, 복잡한 원인으로 산사태 위험에 대한 관심이 높아지고 있다(Wu et al., 2015).

땅밀림 발생 원인은 사면 내부의 지하수로 인해 붕괴층이 천천히 밀리는 형태로 산사태와 같이 급작스러운 붕괴와는 차이가 있다(Woo, 1992; Park, 2018). 산사태의 경우 높은 경사와 집중호우로 인해 표층 붕괴가 주로 발생하지

* Corresponding author
E-mail: sanpjh@gnu.ac.kr

ORCID

Jae Hyeon Park ^{ID} https://orcid.org/0000-0002-1446-7547

만, 땅밀림은 토양이 갈라지는 인장균열 및 단차가 발생하는 등 가시적인 차이가 나타난다(Park et al., 2019a; Park et al., 2021a). 땅밀림은 특정한 지형 및 지질상태에서 발생하고, 5~20°의 완경사면(Woo, 1992)에서 주로 발생하며, 지질적으로는 셰일, 이암, 혈암, 응회암 등 주로 퇴적암 지역에서 발생한다. 이러한 지질 특성은 한국의 경상남도 와 경상북도에 주로 분포하고 있다(National Institute of Forest Science, 2017).

과거에는 땅밀림을 일반적인 산사태로 인식하였으나(National Institute of Forest Science, 2017; Choi, 2018), 최근 연구를 통해 땅밀림은 일반적인 산사태와 징후, 현상, 발생 빈도, 규모 등이 다르다는 것이 확인되면서(Park et al., 2003; Park et al., 2005; Park, 2016; Park et al., 2019b), 한국에서는 산지토사재해를 산사태, 토석류, 땅밀림 3가지로 구분하고 있다(Seo et al., 2021). 최근 예상치 못한 기후변화로 땅밀림의 발생 건수는 급증하고 있으며(Im, 2021), 기존의 산사태지가 땅밀림지로 판정되는 지역이 증가하고 있다. 따라서, 과거 산사태가 발생했던 곳이나 사방지를 대상으로 땅밀림이었을 가능성을 확인하고, 이러한 지역들을 지속적인 정밀조사 수행해야 할 것이다.

땅밀림 선행연구로는 땅밀림 지질 및 토양특성 연구(Park et al., 2019c), 땅밀림 지형에 관한 연구(Seiken, 1972; Jau et al., 2000), 지진계를 활용한 땅밀림 속도 추정 연구(Takahiro, 1939), GIS를 이용한 땅밀림지 특성 연구(Park et al., 2019b), SAR 레이더를 이용한 땅밀림 모니터링 연구(Niethammer et al., 2009; Linhsia et al., 2007) 등 다양한 연구들이 수행되고 있으나 그럼에도 불구하고 산사태 연구에 비해 땅밀림

연구는 부족한 실정이며, 응용화된 연구를 수행하기 위해 더 많은 기초 연구가 필요한 실정이다. 또한, 최근 땅밀림 연구에서는 관입시험기를 활용하여 토양경도에 대해 연구를 실시하였으나(Park et al., 2022a; Park et al., 2022b), 사면의 붕괴된 일부분만 조사함에 따라 토양 외해와 교란으로 인해 결과값이 급격하게 낮아지는 것으로 상이하게 나타났다. 이러한 문제점을 보완하고자 본 연구에서는 사면 전체의 토양경도를 조사하였으며, 분석을 통해 토양경도가 땅밀림 발생 요인인 것을 밝히고자 하였다. 따라서 본 연구는 울산광역시 울주군 청량읍 덕하리 일원에서 발생한 땅밀림 특성을 분석하여 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

1. 임상 및 입지, 지형 특성

울산광역시 울주군 청량읍 덕하리 일원 땅밀림지를 대상으로 20×20 m의 조사구 3개(Figure 1)를 설치하여 산림 환경(임상)을 조사하였다. 또한, 국토정보플랫폼(<http://map.ngii.go.kr/mn/mainPage.do>)을 이용하여 2011, 2017, 2022년의 항공사진(축척 1:5000)을 추출하였으며, 2022년 10월 현장 드론 사진을 촬영하였다. Lee and Kim(2011)은 산사태지에서 항공사진을 활용하여 육안 판독을 통해 산사태 발생지역과 토사유출지역(Soil runoff)을 구분할 수 있으며, Park et al.(2021a)은 항공사진을 활용하여 땅밀림 피해 규모 및 시기 추정의 연구를 실시한 바가 있다. 선행연구의 방법을 활용하여 인장균열 및 단차로 붕괴지가 항공사진

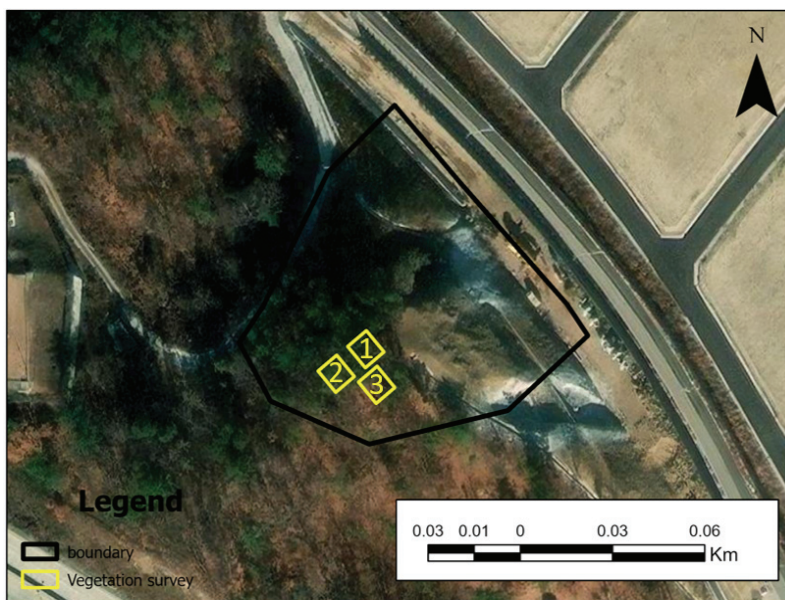


Figure 1. Vegetation survey site.

에서 하얗게 나타나는 특징을 이용하여 훼손된 면적을 계상하였고, 산림훼손 정도를 비교하였다. 2022년 10월 땅밀림 발생 후, 줄자를 이용하여 인장균열 및 단차가 발생한 지점의 폭, 깊이, 길이를 조사하였다.

땅밀림지의 지형분석을 위해 국토지리정보원에서 발간한 지형도(1:25,000)를 사용하였다. 미세지형은 땅밀림지에서 중요한 역할을 하며 땅밀림은 오랜 시간 동안 지반이 천천히 밀리면서 지형이 변화하고, 미세지형이 변화되어 등고선 이상 현상 및 등고선이 벌어지는 현상이 지형도에서 나타난다고 하였다(Park et al., 2019a). 이러한 연구를 참고하여 지형도(1:25,000)와 현장조사를 통해 미세지형(철상미근형, 요상대지상지형, 철상대지상, 요상완사면지형) (Park, 2018)을 파악하였다.

2. 지질 및 토양특성

지질환경은 한국지질자원연구원(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)에서 발간한 1:250,000 지질도를 기반으로 조사하였다. 땅밀림으로 발생한 인장균열 및 단차의 상·하단부와 대조구 토양 500 g을 채취하여 입도분석(모래 : 미사 : 점토의 함량(%))과 토양 pH를 한국임업진흥원(Korea Forestry Promotion Institute)에 의뢰하여 분석하였다.

지하수나 강우 및 침투수에 의하여 암반 사이의 점토와 지하수가 용출되는 지점 토양의 유실 가능성을 확인하기 위하여, 이들 토양의 분산도를 확인하는 Crumb Test (ASTM D 6572-06)를 수행하였다. 분산도는 토양 응집체가 물에 의하여 입자가 분해되는 정도를 나타낸다(McCook, 1991; Figure 2). 이를 확인하기 위해 토양 채토기(Soil sampler)를 이용하여 땅밀림 발생지 토양 상단부로부터 표토, 20 cm, 50 cm, 100 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm 깊이의 토양을 채취하였으며, 스포이드를 이용하여 토양위에 10 mL 물을 스포이트를 이용하여 토양 위에 10 mL 물을 떨어뜨려 30분, 1시간 간격의 분산도를 측정하였다.

3. GIS분석 및 전기비저항탐사

연구 대상지의 붕괴가 발생한 지역을 대상으로 GPS (Garmin 64s)를 활용하여 경계부를 측량하였다. 측량된 경계부를 대상으로 GIS 소프트웨어(Arc map Ver. 10.8)와 연동하여 경계부를 포함한 땅밀림 위험지역에 대하여 산사태위험등급, 표고분포, 사면향분포 분석을 실시하였다.

산사태 위험등급 지도는 산림청에서 만든 지도로써, 지형 인자(사면 경사, 방위, 길이, 곡률, 지형습윤지수), 임상, 경급, 토심, 모암 등에 가중치를 부여하여 산사태 위험등급 1~5등급을 부여하고 있다. 산사태 위험등급을 분석하는 이유는 땅밀림과 산사태는 다른 개념이라는 것을 파악하기 위해서이다. 산사태 위험 등급지와 땅밀림지는 일치하지 않은 결과치를 가지며, 이에 따라 땅밀림 재해를 미연에 예방하기 위해서는 땅밀림 위험지 등급을 결정하기 위한 연구가 필요하다(Park et al, 2019b). 또한, 땅밀림지는 산사태 위험 3 ~ 5 등급과 등급 외 대다수 지역이 포함되어 일반적인 산사태와는 차이가 있는 것을 밝혔다(National Institute of Forest Science, 2017).

땅밀림 발생에 영향을 주는 지하수 분포 및 유동 현황을 파악하기 위해 전기비저항 탐사를 실시하였다. 일반적으로 지구물리탐사를 수행하는데 전기비저항 탐사가 많이 사용된다. 초기의 전기비저항 탐사는 수직탐사를 통한 지하수 탐사를 목적으로 수행되었고, 현재도 전기비저항 탐사를 활용하여 지하수의 자원 탐사 및 수리 상수 산출 목적으로 수행되고 있다(Cho, 2020). 전기비저항 탐사는 인공적으로 발생시킨 전류를 지하로 흘려보낸 뒤 발생하는 전위분포로부터 전기비저항 값을 구하여 내부 구조를 해석하는 원리이다. 기반암을 형성하는 화강암, 변성암은 모두 고비저항 영역으로 빨간색으로 나타나며, 풍화대 및 지하수층은 저비저항 영역으로 파란색으로 나타난다. 땅밀림 발생지 중심을 기준으로 수직거리 100 m(R-1 in Figure 3), 수평거리 100 m(R-2 in Figure 3) 총 2개의 라인으로 탐사 연장 200 m를 수행하였다.

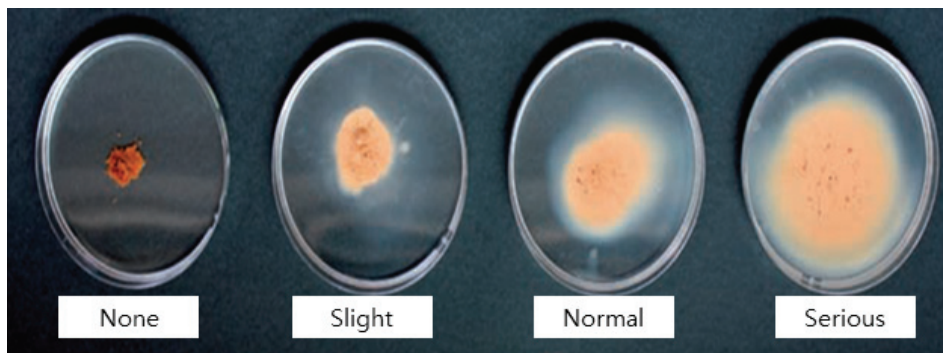


Figure 2. Dispersion soil (McCook, 1991).

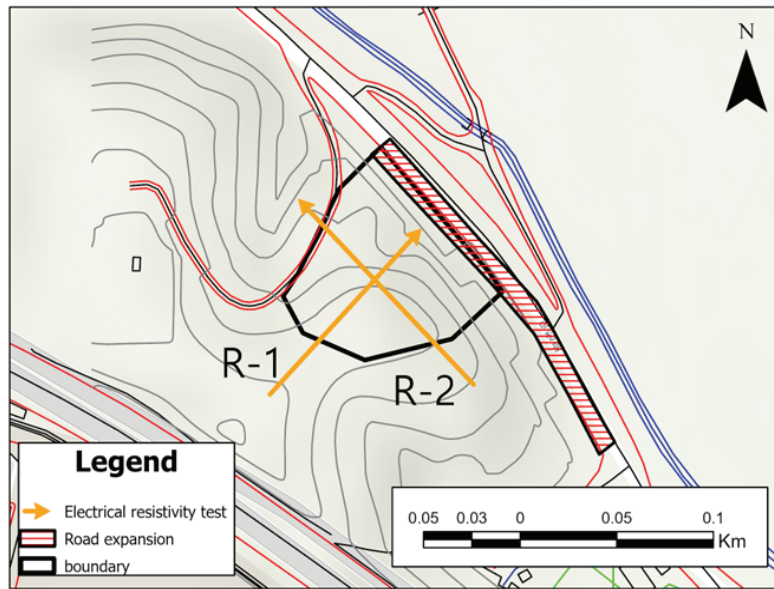


Figure 3. Electrical resistivity test line.

4. 유효토심 및 토양 경도

2023년 3월 복구를 위한 실시설계를 수행하기 전, 관입 시험기(Penetration Tester; Daiki DIK-5532)를 활용하여 토양깊이 100 cm까지의 유효 토심과 토양경도를 3반복 측정하였다. 유효 토심은 작물이 뿌리를 뺀어 땅속에서 호흡, 물, 양분 흡수 등을 할 수 있는 깊이를 의미하며 지피식물, 관목에 대한 연구에 많이 사용되었으나, 최근에는 산사태 취약성 분석 연구에 사용되고 있다(Gong et al., 2022, Nam et al., 2016). 한편, 토양경도는 토양의 단단함이나 강도를 나타내며 토양입자 사이의 응집력과 입자 간의 마찰력에 의해서 생기는 것으로 토양 수분, 공극량과 관련이 있다. 즉, 토양경도는 토양용적밀도와 연관성을 가진다(Kim et al., 2010).

토양경도와 토양용적밀도는 높을수록 토양입자의 간격이 밀집되어 공극량이 줄어들어 배수성 및 투수성이 나빠진다. 반대로, 분석값이 낮을수록 토양입자의 간격이 넓어지며 배수성 및 투수성이 높아진다. 토양경도는 토양의 훼손이나 경화로 인하여 발생하는 산림훼손을 판단하는 지표가 되며 (Nakamura, 1981; Krag et al., 1986), 땅밀림에 의한 토양교란이 토양 경도에 영향을 미친다(Park and Park, 2019).

땅밀림 발생지의 경우 도로확장공사방향의 수직방향(Line 1 in Figure 4), 도로확장공사방향(Line 2 in Figure 4), 지하수대 방향(Groundwater line in Figure 4)의 토양경도(kgf/cm²)를 5 m 간격으로 총 45 m(9회)를 실시하였다. 대조구의 경우 땅밀림 발생지 반대편 사면(Normal site line in Figure 4)으로 붕괴 전의 원형상태를 가장 유사하게 유지하고 있는 사면이다. 과거 임도 진입로 및 다용도 공

간 활용으로 산지 절취가 시행된 곳이며, 땅밀림지와 동일한 지질을 구성하고 있는 사면으로 5 m 간격으로 총 30 m(6회)를 실시하였다. 또한, 얻어진 결과를 통계적 차이의 검정을 위해 SPSS 25(IBM, 2019)를 활용하여 ANOVA 분석을 통해 유의성 검증을 실시하였으며, 이후 사후 검정(Scheffe)을 통해 조사구 간의 유의성이 있는지 분석하였다($p < .05$).

5. 사면경사 분석

2023년 3월 복구를 위한 실시설계를 수행하기 전, 클리노미터를 이용하여 땅밀림 발생지 도로확장공사방향의 수직방향(Line 1 in Figure 4), 도로확장공사방향(Line 2 in Figure 4), 지하수대방향(Groundwater Line in Figure 4)을 대상으로 5 m 간격으로 총 45 m(9회) 사면 경사를 측정하여 평균값을 분석하였다. 정상 사면에 해당하는 대조구의 경우 5 m 간격으로 총 30 m(6회) 사면 경사를 측정하여 평균값 분석을 통해 땅밀림지와 대조구의 경사 차이를 파악하고자 하였다.

얻어진 결과를 통계적 차이의 검정을 위해 T-Test를 실시하였다. 땅밀림지(Line 1, Line 2, Groundwater line in Figure 4)의 27개 데이터와 대조구의 6개 데이터를 대상으로 두 개의 집단으로 나누어 유의성 검증을 실시하였다.

6. 지반조사

땅밀림지의 지형을 고려하여 지반조사 위치 2곳을 선정하였으며(Figure 5), 유압 수세식(Power-4000S)을 활용하여 시추조사를 실시하였다. 시추조사를 통해 토양 내부의

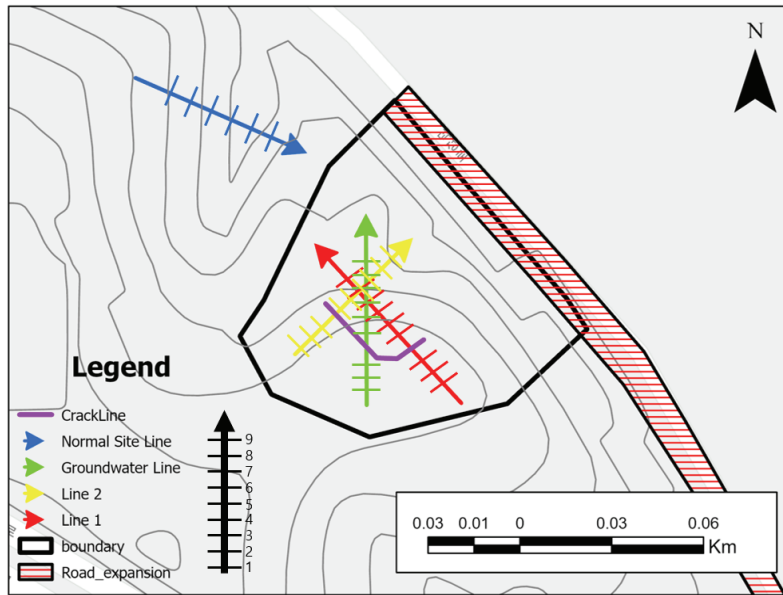


Figure 4. Measurement locations of soil bulk density.

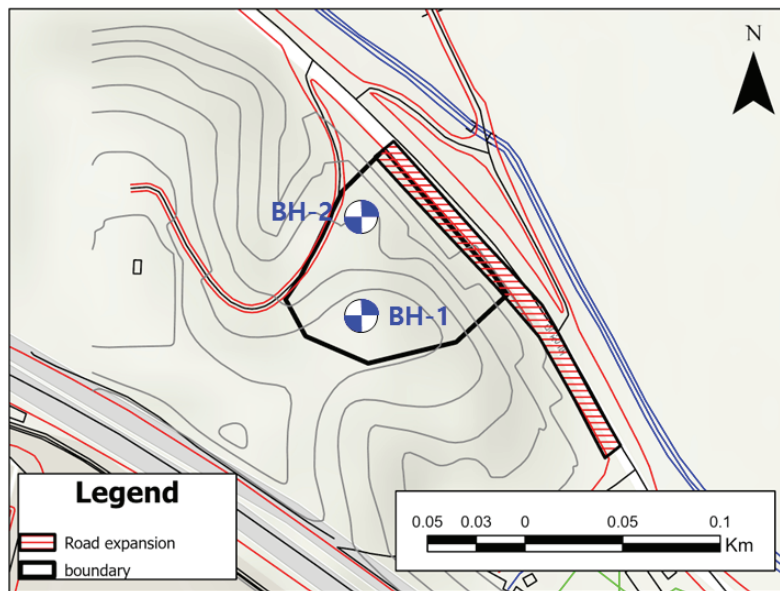


Figure 5. Ground investigation site.

지층 분포상태 확인, 연약층 유무, 투수층의 유무, 공내지 하수위측정, 지하수 흐름 방향 측정을 분석하여 땅밀림이 발생한 사면의 지반의 상황을 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 임상, 입지 및 지형 특성 분석 결과

땅밀림지에 분포하는 식생은 조사구 1에서는 사면 상단부에 밤나무와 소나무가 우점하고 있으며, 평균 경급은 밤

나무는 6~20 cm, 평균 수고는 17~24 m, 본수는 5본, 단재적은 0.62 m³, 재적은 0.67 m³이었으며, 소나무는 경급이 6~24 cm, 수고는 17~20 m, 본수는 9본, 단재적은 0.66 m³, 재적은 0.87 m³이었으며, ha당 임목축적은 195.66 m³이었다.

조사구 2에서는 사면 상단부에 밤나무와 소나무가 우점하고 있으며, 평균 경급은, 밤나무는 6~36 cm, 평균 수고는 16~21 m, 본수는 5본, 단재적은 1.73 m³, 재적은 1.76 m³이었으며, 소나무는 경급이 6~4 cm, 수고는 9~11 m, 본수는 17본, 단재적은 0.83 m³, 재적은 1.35 m³이었으며, ha

당 임목축적은 312.32 m³이었다.

조사구 3에서는 사면 상단부에 상수리나무와 소나무가 우점하고 있으며, 평균 경급은 상수리나무는 8~24 cm, 평균 수고는 8~24 m, 본수는 10본, 단재적은 1.47 m³, 재적은 2.36 m³이었으며, 소나무는 경급이 20~22 cm, 수고는 18~22 m, 본수는 2본, 단재적은 0.32 m³, 재적은 0.64 m³이었으며, ha당 임목축적은 300.64 m³이었다. 즉, 땅밀림이 발생한 산지 사면의 상단부 능선에는 소나무가 주를 이루고, 밤나무, 상수리나무가 자라고 있으며, 하층 식생이 크게 발달하지 않은 경사지로 강우 시 집수가 잘 되는 지형을 이루고 있었다. 산지 중단부에는 관목림과 모지가 있으며, 지피상태는 양호한 상태로 나타났다. 아울러 땅밀림으로 붕괴된 지역의 하단부에는 도로 확장 공사 중이었으며, 이 산지 사면의 땅밀림 붕괴로 영향받을 수 있는 범위에 해당하는 것으로 나타났다.

땅밀림은 도로 확장공사 중 산지 비탈면 상단부에서 발생하였으며, 면적은 1.3 ha로 나타났다. 하단부로 땅밀림

이 지속해서 진행된다면, 도로에 피해를 발생시킬 수 있는 상황이다. 조사 대상지를 Lee and Kim(2011)에 따라 51 m급 국토정보 플랫폼 고해상 항공사진을 분석한 결과, 연구 대상 지역은 도로 확장공사를 실시 전 2011년도 항공사진[Figure 6(a)]에서 342.54 m²로 나타났고 2017년 항공사진[Figure 6(b)]에서는 258.84 m²로 나타났다. 2017년 훼손 면적이 감소하여 자연 복구를 통해 생태계 회복이 되고 있었으나, 2022년 도로 확장공사를 실시 후 항공사진[Figure 6(c)] 훼손면적은 814.99 m²로 나타났다. 2022년 도로 확장공사 이후 훼손 면적이 크게 늘어났으며, 그로 인해 땅밀림이 발생된 것으로 판단된다. 드론 사진[Figure 6(d)]의 경우 면적 측정이 불가하였다.

대상지의 상단부는 평평한 지형으로[Figure 7(a)] 강우 시 빗물의 집수가 용이한 오목한 지형으로 NE 방향[Figure 7(b)]을 나타내고 있었다. 이 지역은 강우 시 계곡으로 계류수가 흐르지만, 명확한 계곡은 형성되지 않은 철상미근 형으로 나타났다. 즉 땅밀림지의 지하수 용출 지점은 명확



Figure 6. Aerial photographs (a = 2011, b = 2017, and c = 2022) and drone photograph (d = 2022) of the research site (1:5,000).



Figure 7. a, concave type of the top part; b and c, tensile crack; d, concave type of groundwater inflow point; e, soil displacement caused by landcreep; f, water catchment in the lower road.

하게 나타나지 않지만, 우측부 농로를 따라[Figure 7(f)] 강우 시 빗물의 유입과 흐름이 나타나며, 땅밀림으로 인한 인장균열 및 단차 발생지 하방의 오목한 지형으로 지하수가 모이면서[Figure 7(b), Figure 7(c)] 하단부에 농로 측구 쪽으로 지하수 유출되어 이 지역에 집수정을 설치할 필요가 있거나[Figure 7(e)], 깊은 중배수로의 설치로 지하수의 배출을 원활히 하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 땅밀림 발생지에서 자주 관측되는 특성인 너털(Park, 2016; National Institute of Forest Science, 2017)은 해당 연구지역에 분포하지 않았으며, 인장균열 및 단차가 발생한 지역에 등고선 방향으로 수목이 휘어져 자라는 현

상(Park and Park, 2020)이 부분적으로 나타나는데, 그 수목의 수는 많지 않아 땅밀림의 영향이라고 판단하기 어려웠다.

사면 절취에 따른 사면의 안정성이 파괴됨으로써 산지구릉지 상단부가 N52°E 방향으로 길이 13.4 m 폭 1.8 m 깊이 7.5 m의 단차가 발생하였으며(Figure 8), 이러한 단차는 산지 상단부 즉, 8/10부 능선에서 발생하여 하단부로 붕적토가 밀려 내려간 길이는 약 35.9 m에 이른다. National Institute of Forest Science(2017)의 연구 결과에 따르면, 땅밀림지는 산지의 5부 이하 능선부에서 가장 많이 발생한다는 결과와 상이한 결과를 나타냈는데 이 지역은 도로



Figure 8. Tension crack caused by landcreep.

확장공사로 인해 하단부를 절취하였고, 무게중심을 잃은 상단부의 토양 및 암석이 붕괴되어 상단부에 단차가 생긴 결과로 추정된다. 특히 땅밀림 발생지의 단차 및 인장균열은 마치 동굴처럼 깊게 나타났으며, 땅밀림으로 무너지는 방향은 도로 확폭 구간 방향으로 발생하고 있어(Figure 9), 복구가 조속히 이루어지지 않으면, 도로에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

2. 지질 및 토양특성 분석 결과

연구 대상지의 지질도(1:250,000) 분석 결과, 암상은 셰일, 사암, 역암이며, 지층은 경상계 신라층군 울산층으로

나타났고, 시대는 중생대 백악기로 이 지역은 풍화가 매우 깊게 진행된 지역으로 봉적토 땅밀림 특징을 나타냈다. 취약한 지질을 구성(Takaya, 2017)하고 있는 지역이다. 또한, 지반 조사결과, 조사지역 인근의 지질은 중생대 백악기의 울산층으로 분포하고 있으며, 혼펠스, 자색셰일, 회록색셰일, 사암, 역암으로 구성되며, 최상부는 신생대 제4기의 충적층으로 조사 지역 인근에 위치한 하천을 따라 분포하고 있으며, 점토, 모래, 자갈로 구성되며, 상기의 모든 지층을 부정합으로 피복하고 있다(Table 1).

조사 지역은 활락애가 명확하고, 타 지층 및 관입암은 없는 것으로 나타났다. 단층과 습곡은 나타나지 않았고,

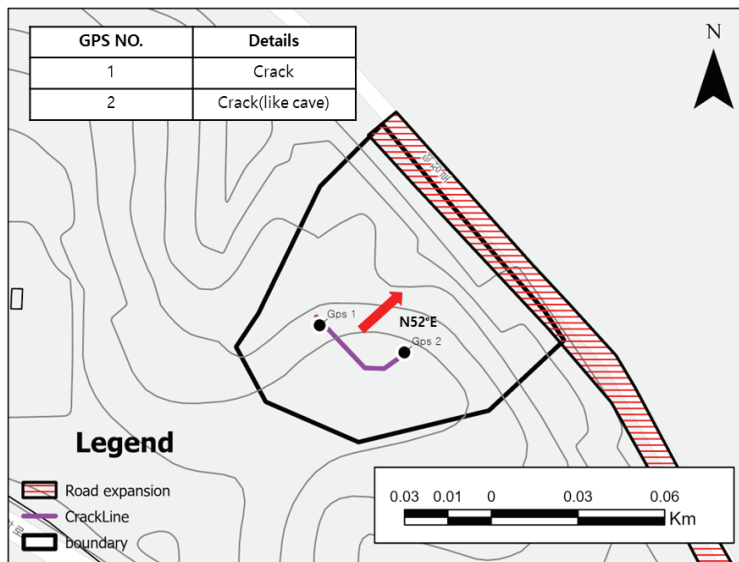


Figure 9. Detailed situation of landcreep site.

Table 1. Geology of the research area.

Location	Geologic age		Stratigraphy	Mark	Geological features
Topsoil	Cenozoic Era	4th	Alluvium	Qa	Clay, Sand, Gravel
Unconformity					
Under 30 m	Mesozoic era Cretaceous Period		Ulsan Formation	Kul	Purpleshale, Grayshale, Sandstone, Conglomerate
				Kuho	

Table 2. Soil analysis results of the research area.

Location	Grain size analysis(%)			Soil texture	pH
	Sand	Silt	Clay		
Crack Topsoil	64.4	32.3	3.2	Sandy Loam	5.12
Soil below crack	72.9	16.7	10.4	Sandy Loam	5.00
Normal site	53.6	43.5	2.9	Sandy Loam	5.29

불연속면은 사면 경사와 동일한 방향으로 땅밀림 발생에 유리한 조건(Park et al., 2019a)이었다. 절리 수는 3개 이상으로 나타났으며, 절리 간격은 조밀(6~20 mm)하게 나타나 외적 요인(National Institute of Forest Science, 2017; Park, 2018)에 민감한 것으로 분석되었다.

입도분석 결과(Table 2), 땅밀림지 단차 위의 모래 : 미사 : 점토의 함량(%)은 64.4 : 32.3 : 3.2로 사질양토이었으며, 땅밀림지 단차 아래의 모래 : 미사 : 점토의 함량(%)은 72.9 : 16.7 : 10.4로 사질양토이었다. 또한, 대조구의 모래 : 미사 : 점토의 함량(%)은 53.6 : 43.5 : 2.9로 사질양토로 분석되었다. 땅밀림지 평균 모래함량은 68.6%로 나타났고, 대조구의 모래함량은 53.6%로 땅밀림지의 모래함량이 15% 더 높게 나타났다. 땅밀림지의 평균 점토함량은 6.8%로 나타났고, 대조구의 점토함량은 2.9%로 땅밀림지의 점토함량이 3.9% 더 높게 나타났다. 미사함량의 경우 땅밀림지의 평균 미사함량은 24.5%로 나타났고, 대조구의 미사함량은 43.5%로 땅밀림지의 미사함량이 19% 더 낮게 나타났다. 이 결과는 Park et al.(2019c)이 밝힌 우리나라의 산림토양에서 땅밀림지가 비 땅밀림지(대조구) 보다 모래와 점토는 많고, 실트는 적은 결과와 유사하게 나타나, 땅밀림에 취약한 토양임을 파악된다.

땅밀림으로 붕괴된 지역의 평균 pH는 약 5.06(5.00~5.12)으로 산성을 나타내었다. 즉, 땅밀림지에서 지하수로 인한 지하의 깊은 곳에서 암석 압쇄 및 토양 풍화가 되면 지하의 토양은 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등의 염기와 함께 알루미늄을 갖게 되고, 그 알루미늄의 일부가 물 분자와 반응하여 H⁺를 발생하게 되면 산성을 나타내게 된다(Takaya, 2017). 즉, 산성을 나타내는 토양에 지하수가 침투하게 되면 중력 또는 모세관수에 의해 지하수는 토양 밖으로 빠져

땅밀림지의 토양 pH는 산성을 나타내는 것이다. 그러나 이러한 토양 pH에 관해서는 땅밀림지와 비땅밀림지에서 지속적인 pH 변화를 연구하여 그 메커니즘을 밝히는 것이 필요할 것으로 사료된다.

토양의 분산도를 측정된 결과 실험 30분 경과 후(Figure 10) 표토와 토양깊이 20 cm, 100 cm에서 경미~심각한 것으로 나타났다. 이후 1시간 경과 후(Figure 11)와 비교한 결과, 결과는 지속적으로 나타났으며, 토양깊이 표토, 50 cm, 200 cm 250 cm, 300 cm에서는 시간의 경과에도 경미한 것으로 나타났다. 즉, 20 cm, 100 cm 토양은 붕괴토양으로 점토질이 가장 많고, 쉽게 붕괴될 수 있는 토질로 나타났다.

3. GIS분석 및 전기비저항탐사 결과

GIS를 통해 산사태 위험등급을 분석한 결과, 1등급지는 나타나지 않았으며, 2등급지는 30.8%, 3등급지는 61.5%, 4등급지는 7.7%, 5등급지는 0%를 나타내었다. 즉, 연구대상 지역의 땅밀림지는 산사태 위험등급 3등급과 4등급지가 전체의 약 69.2%를 차지하였는데, 이와 같은 결과는 National Institute of Forest Science(2017)이 발표한 땅밀림지는 산사태 위험 3~5등급과 등급 외 지역이 대다수 포함되어 일반적인 산사태와는 차이가 있음을 밝힌 결과와 유사한 결과이었다.

표고 분포를 분석한 결과, 0~100 m가 100%로 분석되었으며, 완구릉지의 형태로 나타났다. 이 결과는 Park et al.(2015)가 밝힌 땅밀림은 표고 101~200 m에서 가장 많이 발생하는 결과와는 달리, Kim et al.(1998)의 대부분 산사태가 100 m 보다 크게 높지 않은 곳에서 발생한다는 결과와 유사하게 나타났다. 이러한 결과로 보았을 때, 땅밀림

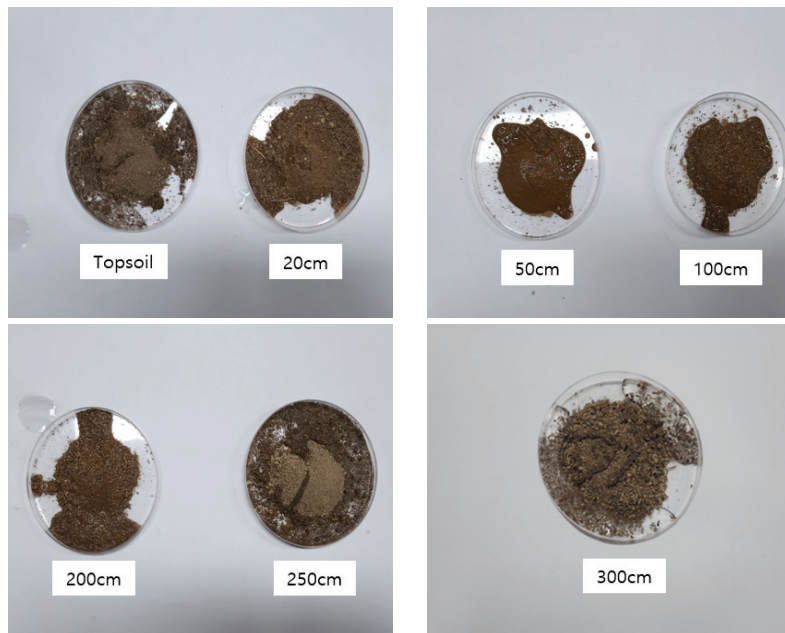


Figure 10. After 30 minutes of the soil dispersion experiment.

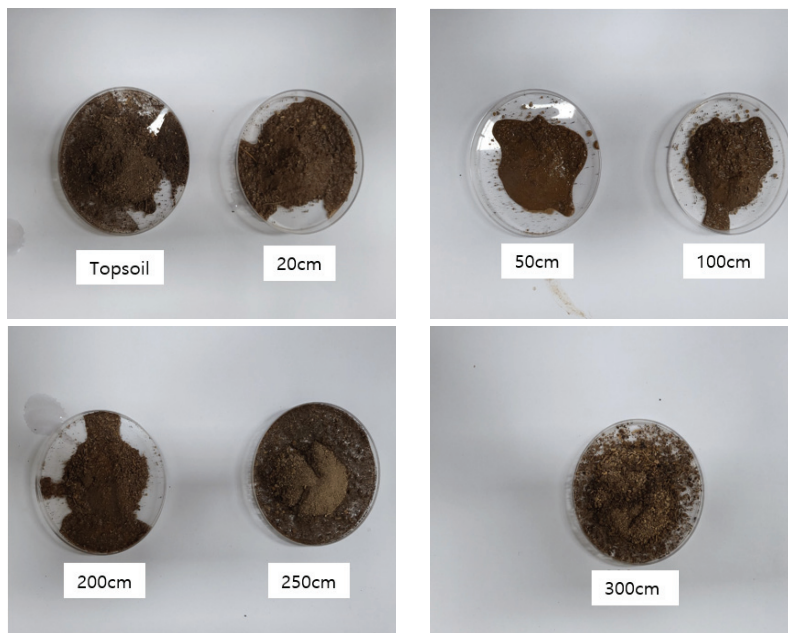


Figure 11. After 1 hour of the soil dispersion experiment.

과 산사태는 다른 재해이지만 일부의 특징은 공유되며 이에 대해 많은 땅밀림지의 표고 데이터 분석을 통해 심도 있는 표고 분포의 특징 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사면향분포를 분석한 결과, 북쪽방향은 약 33.3%, 북동방향은 약 43.8%, 동쪽방향은 약 4.2%, 남동방향은 약 2.1%, 남쪽방향은 약 8.3%, 서쪽방향은 약 2.1%, 북서방향은 약 6.3%로 나타났다. 즉, 땅밀림의 방향은 북쪽과 북동방향

으로 향하는 것으로 나타났다. 이 결과는 상단부는 요형으로 오른쪽과 왼쪽의 토양 및 지하수가 중앙으로 모이게 되고, 중앙으로 집수된 토양 및 지하수가 중앙 사면에 하중이 가중화되어, N52°E 방향으로 밀리는 것으로 나타났다(Figure 12).

전기비저항탐사 결과(Figure 13) 파란색으로 표시된 지역이 N52°E 방향과 일치하는 지역으로 인장균열 및 단차가

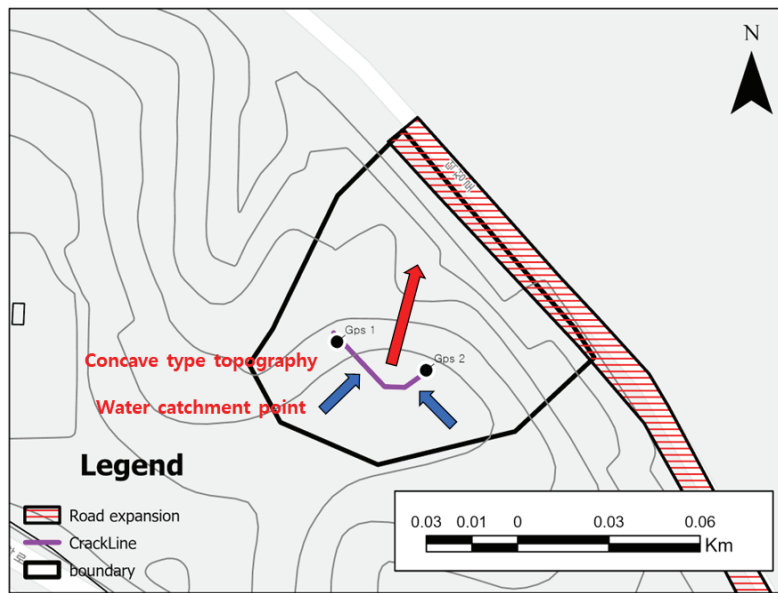


Figure 12. Map of distribution of directions.

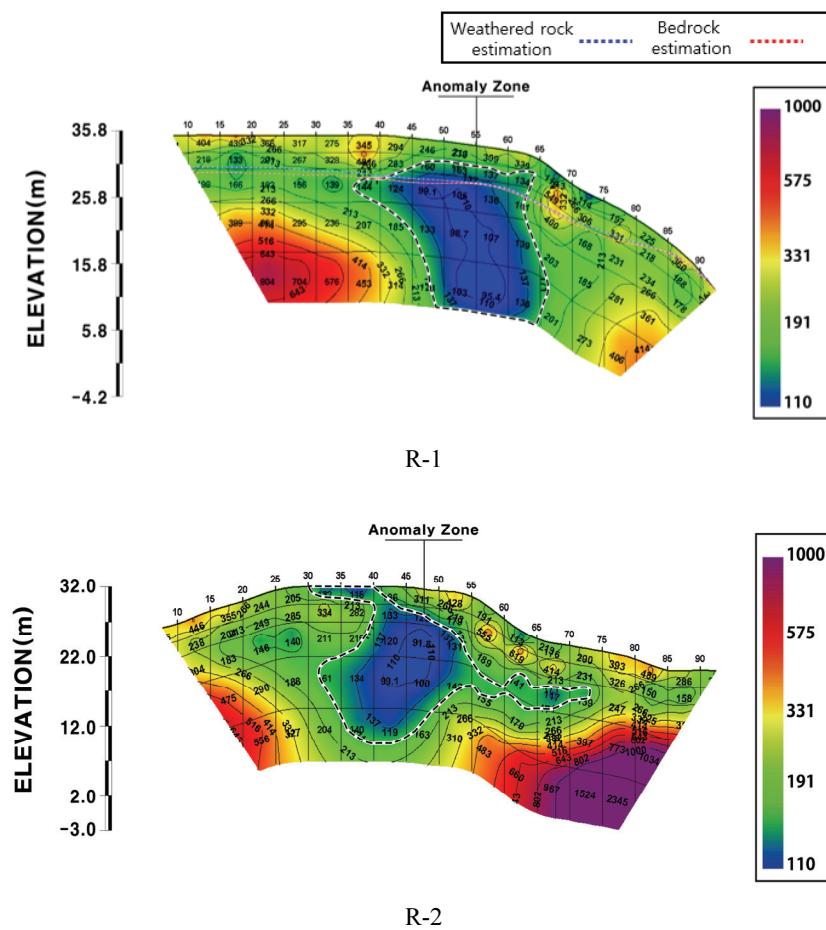


Figure 13. Results of electrical resistivity survey.

발생한 것으로 나타났다. 즉, 전기비저항 탐사결과 R1은 측선 거리 37~66 m 구간에 전기비저항 값 171 Ohm-m 이하의 저 비저항 이상대가 나타나는 것으로 보인다. 저 비저항 이상대는 깊은 토사층의 습윤 및 느슨한 지반상태의 영향에 의한 저 비저항 이상대로 판단되며, R2는 측선거리 32 ~ 72 mm 구간에 전기비저항값 171 Ohm-m 이하의 저 비저항 이상대가 나타나는 것으로 보인다. 즉, 땅밀림이 발생한 지역으로 지하수대가 형성되는 것으로 나타났다.

4. 유효토심 및 토양경도 분석 결과

관입시험기를 활용하여 유효토심과 토양경도를 분석한 결과, 평균 유효토심은 Line 1(Figure 14)의 경우 25.4 cm, Line 2(Figure 15)는 32.8 cm, 지하수대 방향(Figure 16)은 33.2 cm, 대조구(Figure 17)는 24.7 cm로 나타났다. 유효토심은 지하수대 가장 깊게 나타났고, 대조구가 가장 얇은 것으로 분석되었다. 이 결과는 Lee et al.(2012)가 밝힌 유효토심이 얕을수록(20~50 cm) 강우에 의한 사면 포화 현상이 빠르게 진행되어 산사태 발생 가능성이 높아진다는 결과와 유사한 결과로 나타났으며, Ko et al.(2013)가 밝힌

얕은 토층보다는 1 m 이내의 적당한 토층을 가지는 지역이 토석류가 발생한다는 결과와는 부합되는 결과였다. 하지만, 이 결과는 본 대상지의 특정된 결과이므로 다른 지역에서 발생한 땅밀림 유효토심의 데이터를 축적시켜 정량화된 유효토심을 선정하는 연구가 필요하다.

평균 토양경도는 Line 1은 21.4 kgf/cm²로 나타났으며, Line 2는 20.2 kgf/cm², 지하수대방향의 경우 22.9 kgf/cm²로 나타났다. 정상적인 사면에 해당하는 대조구의 경우 26.2 kgf/cm²로 나타났다. 대조구의 토양경도가 가장 높고, Line 2가 가장 낮게 나타났다. 이 결과는 땅밀림지의 붕적토가 교란된 토양으로 비교적 토양경도가 낮은 상태로 나타났고, 인장균열 및 단차로 붕괴되어 토양의 결집도가 와해된 결과로 대조구에 비해 토양경도가 낮은 것으로 판단된다. 특히 인장균열 및 단차가 발생한 지역(Figure 14, Figure 15, Figure 16의 노란색 선)은 경도가 낮은 결과값에 비해 유효 토심이 깊게 측정되어 땅밀림에 취약한 결과를 나타내 단차가 발생한 지역에 대해서는 방수포를 덮는 등 적절한 대처가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 유의성 검증을 위해 SPSS 25(IBM, 2019)를 활용

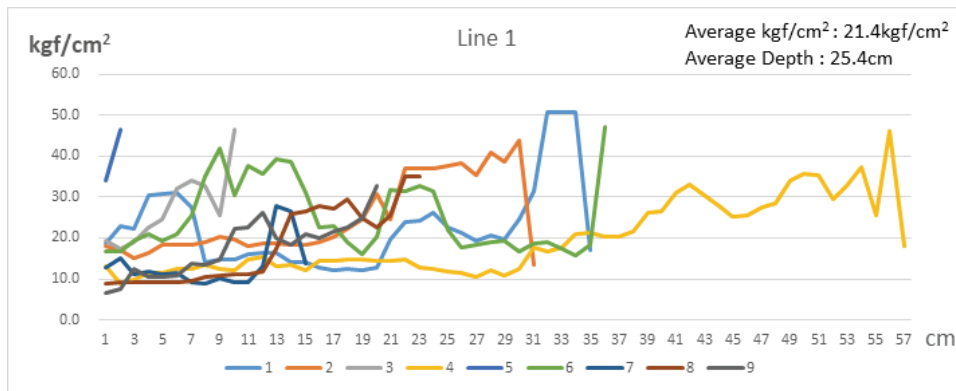


Figure 14. Result of line 1.

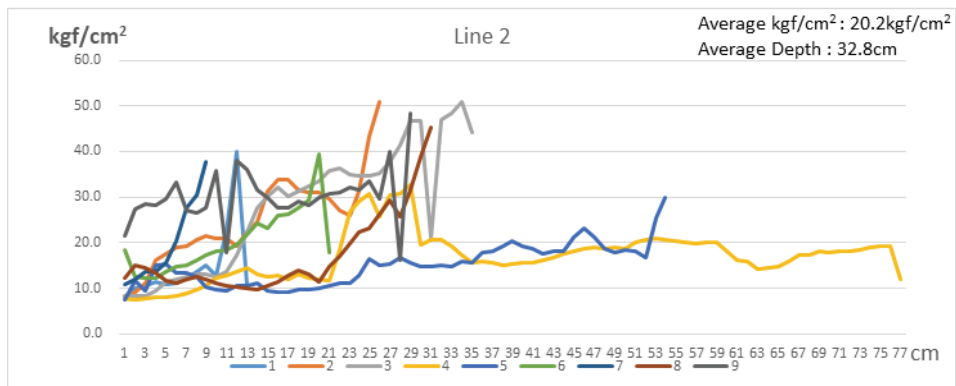


Figure 15. Result of line 2.

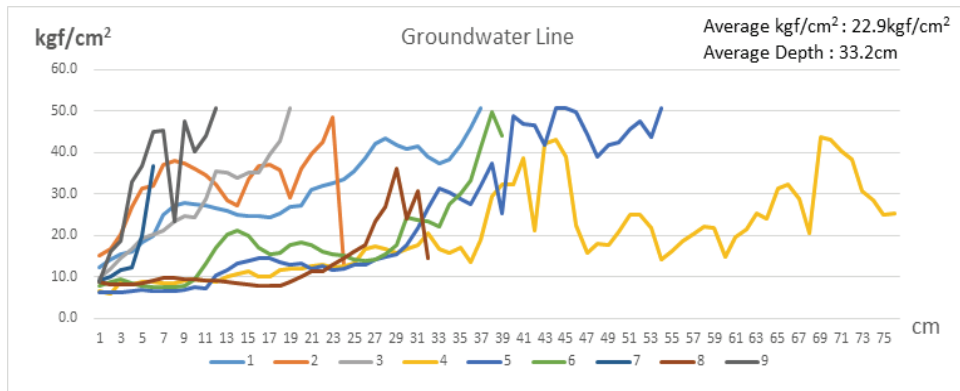


Figure 16. Result of groundwater Line.

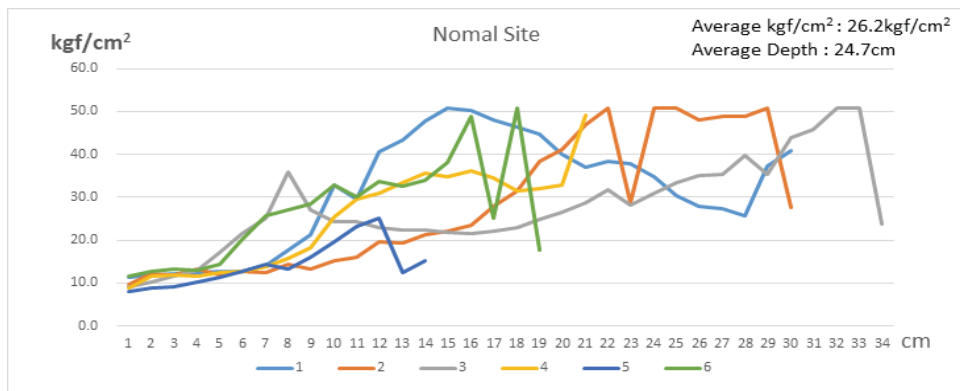


Figure 17. Result of normal site.

Table 3. Analysis of variance.

Classification	Soil hardness				
	N	Avg ^z (kgf/cm ²)	SD	F	p
Line 1	229	21.44 ^b	9.64	12.07	<0.001
Line 2	295	20.20 ^a	9.51		
Groundwater line	299	22.90 ^c	12.60		
Normal site	148	26.23 ^d	12.76		

^z Scheffe test, a < b < c < d

하여 조사구마다 토양경도의 평균이 차이가 있는지 알아보기 위해 일원 배치 분산분석(One-way Anova)을 실시하였다. 그 결과 F=12.07, p=0.000으로 유의수준 0.001을 기준으로 토양경도에 있어서는 평균의 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다(Table 3). 따라서, 조사구에 따라 적어도 두 집단 간에는 토양경도의 평균 차이가 확인할 수 있는 결과였다.

일원 배치 분석으로만 어떠한 조사구 간의 유의성을 관측하기는 어렵기 때문에, 사후 검정 다중비교(Scheffe)의 방법을 이용하여 각 조사구 간 평균 차이를 모든 경우의

수로 분석하고 유의 확률로 각 집단 간의 유의성이 있는지 알아보기 위해 사후 검정을 실시하였다. 사후검정 분석 결과(Table 3), 땅밀림지의 해당하는 Line 1의 경우 땅밀림지인 Line 2, Groundwater Line과 유의한 평균 차이가 관측되지 않았으며, 정상 사면인 대조구와 0.001을 기준으로 우세한 유의미한 평균 차이가 나타났다. Line 2의 경우, 땅밀림지인 Line 1과는 유의한 평균 차이가 관측되지 않았는데, Groundwater Line과 0.05 기준으로 유의미한 평균 차이가 나타났으며, 정상 사면인 대조구와는 0.001을 기준으로 우세한 유의미한 평균 차이가 나타났다.

Table 4. Result of slope analysis.

		Classification slope of landcreep site(°)									
		10 m above crack	5 m above crack	Above crack	Under crack	5 m under crack	10 m under crack	15 m under crack	20 m under crack	25 m under crack	Average
Site	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Line 1		7	19	4	40	23	12	32	30	16	20.3
Line 2		3	2	3	42	18	9	20	21	19	15.2
Ground water Line		5	14	11	43	17	15	8	24	18	17.2

		Classification slope of normal site(°)					
		1	2	3	4	5	6
Site	No.	1	2	3	4	5	6
Normal site		28	23	27	32	28	23
							26.8

Groundwater Line의 경우 땅밀림지인 Line 1과는 유의한 평균 차이가 나타나지 않았고, 앞서 설명과 같이 Line 2와는 0.05 기준으로 유의미한 평균 차이가 나타났으며, 정상 사면인 대조구와는 0.01을 기준으로 유의미한 평균 차이가 나타났다. 즉, 땅밀림지에 해당하는 Line 1, Line 2, Groundwater Line과 정상 사면인 대조구 간에는 우세한 유의미한 평균 차이가 관측되었기 때문에, 땅밀림지와 대조구는 다른 사면임을 확인할 수 있는 통계적 결과이며, 사면의 토양경도에 따라 땅밀림에 영향 주는 요인임을 밝혀낸 결과이다.

5. 사면경사 분석 결과

사면 경사 분석 결과(Table 4), Line 1의 경우 20.3° Line 2는 15.2°, Groundwater line은 17.2°로 나타나 땅밀림지의 평균 경사는 17.5°로 나타났다. 반면, 정상 사면인 대조구의 경우 26.8°로 땅밀림지의 경사가 9.3°더 낮게 분석되었다. 이 결과는 Woo(1992)가 보고한 땅밀림의 발생은 급경사에서 발생하는 것이 아닌 특정한 지질과 지형적 구조를 형성하고 있는 5~ 20°의 완경사면에서 많이 발생한다는 결과와 동일한 결과로 나타났다. 산지에 내리는 강우가 완만한 경사를 가진 곳에 내려 침수되면서 일부 급경사지를 이루는 산지 하단부에 영향을 미쳐 토압과 수압을 합쳐 땅밀림을 가중시키는 것으로 나타났다.

조사구에 따라 사면 경사의 차이가 있는지 알아보기 위해 독립 표본 T-Test를 실시하였다(Table 5). 그 결과, $t=-3.476, p=0.002$ 로 유의수준 0.01을 기준으로 통계적으로 유의하게 나타났으므로 귀무가설이 기각되고, 대립가설이 채택되어 통계적으로도 두 집단 간 사면 경사의 차이가 있는 것을 밝혔다.

6. 지반조사 결과

조사 지역 2개 지점에 대한 시추조사 결과(Table 6), BH-1의 표토층은 0.0~1.4 m로 압편 섞인 조밀한 실트질 모래, 풍화토는 1.4~6.5 m로 압편 섞인 실트, 연암은 6.5~11.4 m로 셰일로 구성되어 있었으며, 풍화의 정도는 약함 ~ 보통의 정도를 보였으며, 약간의 균열도 관측되었다. 경암은 11.4~30.4 m로 셰일로 풍화의 정도는 약간 ~ 보통 풍화를 보였으며, 약간의 균열이 있는 것으로 나타났다.

BH-2의 경우 표토층은 0.0~0.5 m로 압편 섞인 실트질 모래, 풍화토는 0.5~1.5 m로 압편 섞인 견고한 실트, 연암은 1.5~9.5 m로 셰일로 풍화의 정도는 보통 ~ 심함의 정도를 나타냈고, 약간의 균열이 있는 상태였다. 경암은 9.5~15.5 m로 셰일로 보통 ~ 심한 풍화로 나타났고 약간의 균열이 있는 상태였다. 즉, 지반조사 결과 땅밀림지 사면 내 풍화토와 풍화암이 존재하고 풍화와 균열이 있는 상태로써, 땅밀림에 취약한 지질임을 파악할 수 있는 결과였다.

Table 5. T-test between the landcreep area and the normal site.

Classification	Statistics			t (p)
	N	Average	SD	
landcreep area	27	17.59	11.74	-3.476(0.002)
Normal site	6	26.83	3.43	

Table 6. Result of borehole investigation.

No.	Stratigraphy	Depth (GL.-m)	Thickness (m)	Composition	N (TCR/RQD)
BH-1	Topsoil layer	0.0 ~ 1.4	1.4	Silty sand with rock fragment, Dense	47/30
	Weathering soil	1.4 ~ 6.5	5.1	Silt with rock fragment, Coagulate	50/25 ~ 50/22
	Soft rock	6.5 ~ 11.4	4.9	Shale, Severe weathering, Severe crack	(64~65/0~5)
	Slickensides	11.4 ~ 30.4	19.0	Shale, little ~ normal weathering, little ~ normal Crack	(96~100~60/95)
BH-2	Topsoil layer	0.0 ~ 0.5	0.5	Silty sand with rock fragment,	-
	Weathering soil	0.5 ~ 1.5	1.0	Silt with rock fragment, Solidity	14/30
	Soft rock	1.5 ~ 9.5	8.0	Shale, little ~ normal weathering, Normal ~ Severe Crack	(83~100/20~37)
	Slickensides	9.5 ~ 15.5	6.0	Shale, normal~severe weathering, Normal ~ Severe Crack	(100/58~63)

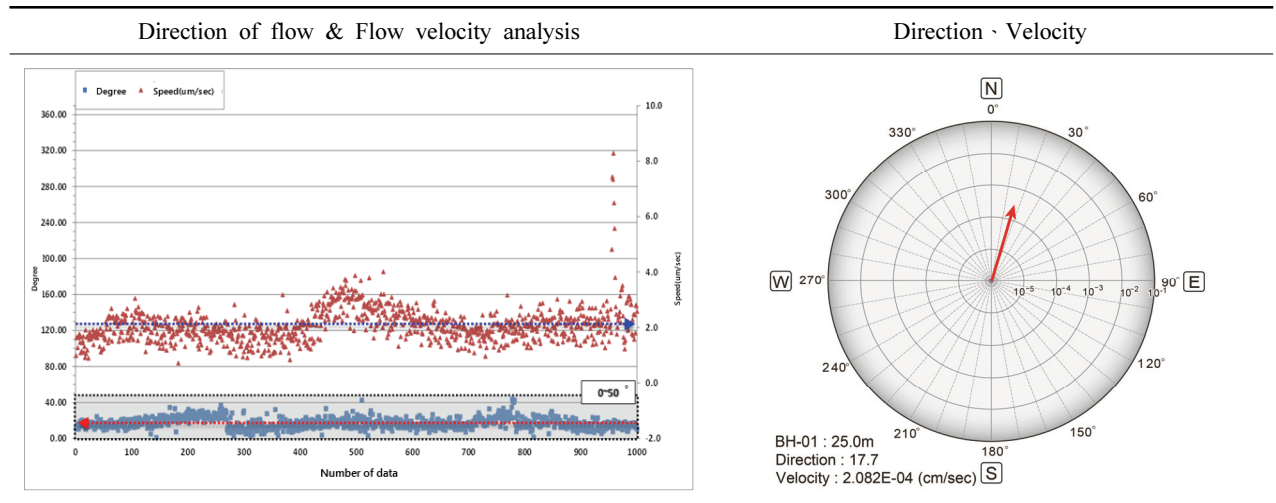


Figure 18. Result of groundwater flow direction analysis.

지하수 유황조사 시험결과(Figure 18) 지하수 평균 흐름 방향은 N50~60°E 방향으로 산출되었으며, 땅밀림이 진행되는 방향(N52°E)과 일치하는 것으로 나타나 땅밀림의 영향(Woo, 1992; Takaya, 2017)인 지하수 방향과 일치하는 것으로 나타났다.

결론

본 연구 대상지는 도로확장공사로 인해 사면 하부의 안정화된 암반을 파괴시켜 상부의 풍화된 암반과 토양이 무게중심을 잃고 붕괴되는 형태로써, 도로확장공사가 땅밀림 붕괴 원인이 되었다. 따라서 토사 절개, 도로 개설, 도로 확장 등 인위적인 목적으로 산지 절취를 진행해야 하는 경우, 전문가를 통해 충분한 안정성 검토를 실시 후, 공사를 진행해야 할 것으로 판단되며 이에 대한 법률적 근거를

마련되어야 할 것이다.

전기비저항탐사 및 지반조사 결과 지하수 평균 흐름 방향은 N50~60°E 방향으로 산출되었으며 현장조사 결과 땅밀림이 진행되는 방향(N52°E)과 일치하는 것으로 나타나 땅밀림은 지하수의 원인으로 발생하는 재해임을 확인할 수 있는 결과였다. 따라서, 땅밀림 발생지의 지하수의 양, 수질, 지형 등에 따라 땅밀림의 발생 영향과 관련이 있는 지에 대한 자세한 연구가 필요하다.

토양경도는 대조구에 비해 땅밀림지가 비교적 토양경도가 낮은 상태로 나타났으며 통계적으로 1% 수준으로 유의미한 평균 차이가 나타나 토양경도는 땅밀림의 관여하는 중요한 요소이며 추후 땅밀림지의 표본 수를 늘려 땅밀림지의 토양경도를 정량화하는 자세한 연구가 필요하다.

땅밀림지 사면 평균 경사는 17.5°로 나타났고, 대조구의 경우 26.8°로 나타나 땅밀림은 대조구보다 비교적 낮은

경사에서 발생하였다. 또한, 사면경사의 독립 표본 T-Test 결과 유의수준 1% 기준으로 통계적으로 유의하게 나타나, 땅밀림지의 경사는 대조구 경사와 달리 나타나 20°아래의 경사지에서 발생하는 특성을 파악하였다.

이 연구를 통해 한국 울주에서 발생하는 땅밀림지의 특성을 파악할 수 있었으나, 이는 한국에서 발생하는 전체 땅밀림의 특성을 대표한다고 할 수는 없을 것이다. 땅밀림은 산사태와는 달리 느리게 발생하는 특징이 있어 충분한 관측시간이 주어진다. 따라서, 땅밀림에 대한 효과적인 선제적 대응체계와 모니터링 시스템 구축이 필요하다. 이를 위해 다양한 지역에서 발생하는 땅밀림의 다양한 특성을 파악하여 적절한 대응 방안을 마련하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 울주군 및 ‘한국임업진흥원(과제번호 : 20213 47B10-2123-CD01)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Choi, K. 2018. Geological characteristics of land creep in Korea. *Korean Society of Forest Environment Research* 21: 108-117.
- Cho, I.K. 2020. Recent trend in electrical resistivity method. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers* 57(5): 506-526.
- Gong, S.H., Baek, W.K. and Jung, H.S. 2022. Landslide Susceptibility Mapping Using Deep Neural Network and Convolutional Neural Network 38(6): 1723-1735.
- Hagiwara, T. 1939. Land Creep at Mt. Tyausu-yama (Determination of Slip Plane by Seismic Prospecting). *Tokyo University Earthquake Research Institute Bulletin* 17: 118-137.
- Haque, U. et al., 2016. Fatal landslides in Europe. *Journal of Landslides* 13: 1545-1554.
- Im, S.S. 2021. Landcreep related initiatives and future plans. <https://www.korea.kr/briefing/policyBriefingView.do?newsId=156463788>. (2021. 07. 28).
- Jau, J.G., Park, S.J., Son, D.S. and Joo, S.H. 2000. The effects of geological and topographical features on landslide and land-creep. *Journal of Korean Forest Society* 89(3): 323-334.
- Krag, P., Higginbotham, K. and Rothwell, R. 1986. Logging and soil disturbance in southeast British Columbia. *Canadian Journal of Forestry Research* 16: 1345-1354.
- Kim, W.Y., Lee, S.R., Kim, K.S. and Chae, B.G. 1998. Landslide types and susceptibilities related to geomorphic characteristics – Yeonchon-Chulwon area. *The Journal of engineering geology* 8(2): 115-132.
- Kim, C.Y., Seo, Y.J., Kwon, T.Y., Park, J.H., Heo, M.S. and Ha, S.K. 2010. Correlation between the Factors of Soil Physical Property in Upland Soil. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 43(6): 793-797.
- Ko, S.M., Lee, S.W., Yune, C.Y. and Kim, G.H. 2013. GIS-based Analysis of Debris-flow Characteristics in Gangwon-do. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 31(1): 57-67.
- Noferini, L. et al. 2007. Using GB-SAR Technique to monitor slow moving landslide. *Engineering Geology* 95(3-4): 88-98.
- Lee, M.K. and Kim, G.W. 2011. A comparison of landslide features using aerial photos. *KSEG Conference April Jeju*. pp. 227-228.
- Lee, S.W., Kim, G.H., Yune, C.Y., Ryu, H.J. and Hong, S.J. 2012. Development of landslide-risk prediction model thorough database construction. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 28(4): 23-33.
- Lee, A.L. and Koo, N.M. 2020. Comparison of soil physicochemical properties according to the sensitivity of forest soil to acidification in the Republic of Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 157-168.
- McCook. 1991. *Soil Mechanics Note No.13 Dispersive Clays*. U.S Department of Agriculture Soil Conservation Service Engineering Division. U.S.A. pp. 1-23.
- Nakamura, J. 1981. A study of forecast landcreep(I). *Society of Forest Erosion Control and Road Engineering* 16: 162-163.
- Niethammer, U., Rothmund, S., Joswig, M. and Malet, J.P. 2009. UAV-based remote sensing of the landcreep Super-Sauze. *Landslide processes* Ed.: CERG Editions Strasbourg 69: 74.
- Nam K.H., Lee, M.J. and Jeong, G.C. 2016. Landslide susceptibility analysis: SVM application of spatial databases considering clay mineral index values extracted from an ASTER satellite image. *Journal of Engineering Geology* 26(1): 23-32.
- National Institute of Forest Science. 2017. A precedent investigation of the foreign and in the country status of landslide by land creeping, rehavilitation and management. *National Institute of Forest Science Report*. pp. 153.
- Ogata, S. 1972. Quantitative Analysis of Landslides in Respect to Terrestrial Features. *Journal of the japan*

- Society of Engineering Geology 13(1): 29-34.
- Park, J.H., Choi, K., Lee, S.G., Ma, H.S., Lee, J.H. and Woo, B.M. 2003. Analysis on the characteristics of the landslide in nasamri(I) - with a special reference on geo-topographical characteristics -. Journal of Korean Forest Society 92(3): 246-253.
- Park, J.H., Choi, K., Bae, J.S., Ma, H.S. and Lee, J.H. 2005. Analysis on the characteristics of the landslide in maeri (I) - with a special reference on geo-topographical characteristics -. Journal of Korean Forest Society 94(3): 129-134.
- Park, J.H., Lee, C.W., Kang, M.J. and Kim, K.D. 2015. Analysis of characteristics of forest environmental factors on land creeping occurrence. Journal of Agriculture & Life Science 49(5): 133-144.
- Park, J.H. 2016. The actual conditions and management of land creep in Korea. Korean Society of Forestry Environment Research 19: 40-50.
- Park, J.H. 2018. What's land creep. Korean Society of Forest Environment Research 21: 96-107.
- Park, J.H. and Park, S.G. 2019. The Geology and variations of soil properties on the slow-moving landslide in Yangbuk-myun, Gyungju-si, Gyeongsangbuk-do. Journal of Korean Society of Forest Science 108(2): 216-223.
- Park, J.H., Seo, J.I. and Lee, C.W. 2019a. The topography characteristics on the land creep in Korea. Journal of Korean Society of Forest Science 108: 50-58.
- Park, J.H., Seo, J.I. and Lee, C.W. 2019b. Analysis of GIS for characteristics on the landcreep: with a special reference on slope and grade of landslide. Journal of Korean Forest Society 108(3): 311-321.
- Park, J.H., Seo, J.I., Ma, H.S., Kim, D.Y., Kang, M.J. and Kim, K.D. 2019c. Topography and Soil Characteristics Related to Land Creep in 37 Areas in South Korea. Journal of Korean Society of Forest Science 108(4): 540-551.
- Park, J.H. and Park, S.G. 2020. Analysis of Tree-rings for Inference of Periods in which landcreeps Occur. Journal of Korean Society of Forest Science 109(1): 62-71.
- Park, J.H., Ma, H.S. and Park, S.G. 2021a. Actual conditions on the Land Creep Areas by the analysis of satellite imagery. Journal of Agriculture and Life Science 55(1): 57-64.
- Park, J.H., Kim, S.Y., Lee, S.H. and Kang, H.B. 2022a. Study on the Characteristics of the landcreep(Landcreep) in the Sanji Valley of Jinju. Journal of Korean Society of Forest Science 111(1): 115-124.
- Park, J.H., Lee, S.H. and Tak, G.M. 2022b. Analysis of the Characteristics of the landcreep(Landcreep) in the Upper Part of the Eogok Tunnel, Yangsan. Journal of Agriculture & Life Science 56(3): 67-76.
- Petley, D. 2012. Global patterns of loss of life from landslides. Journal of Geology 40(10): 927-930.
- Seo, J.P., Lee, C.W., Woo, C.S. and Eu, S. 2021. 15 Knowledge of landcreeps that are easily understood. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 22.
- Takaya, S. 2017. Facts of Slow-moving Landslide(landcreep). Nokdo Publication. Japan. pp. 255.
- Tomio, H.Z., Sohei, A., Takeshi, N. and Tosihiko, S.T. 1990. Landslide disaster in temanggung, indonesia. Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering 42(6): 57-59.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. 2020. The human cost of disasters: an overview of the last 20 years(2000-2019). UNDRR. Geneva, Switzerland. pp. 30.
- Woo, B.M. 1992. Hayngmunsa. Erosion control and conservation. pp. 310.
- Wu, X., Chen, X., Benjamin, F. and Hong, S. 2015. Global research trends in landslides during 1991-2014: a bibliometric analysis. Landslides 12: 1215-1226.

Manuscript Received : July 18, 2023

First Revision : October 4, 2023

Second Revision : November 14, 2023

Third Revision : November 17, 2023

Accepted : November 20, 2023