

우리나라 37개 땅밀림지의 지질 및 토양 특성

박재현^{1*} · 서정일² · 마호섭³ · 김동엽⁴ · 강민정⁴ · 김기대⁴

¹경남과학기술대학교 산림자원학과, ²공주대학교 산림자원학과,
³경상대학교 환경산림과학부(농업생명과학연구원), ⁴국립산림과학원 산림방재연구과

Topography and Soil Characteristics Related to Land Creep in 37 Areas in South Korea

Jae-Hyeon Park^{1*}, Jung Il Seo², Ho-Seop Ma³, Dongyeob Kim⁴,
Minjeng Kang⁴ and Kidae Kim⁴

¹Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

²Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

³Division of Environmental Forest Science, Gyeongsang National University
(Institute of Agriculture of Life Science), Jinju 52828, Korea

⁴Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약: 이 연구는 우리나라에서 발생된 전국 37개소의 땅밀림지의 지질 및 토양특성을 분석하여 땅밀림지에 대한 유형을 구분하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 실시하였다. 땅밀림지의 지질 시대는 백악기가 가장 많았으며, 경상누층군에서 가장 많이 발생하였다. 주된 구성암석은 퇴적암이 가장 많았다. 또한 땅밀림지 중 활락애가 명확하게 구분된 지역은 20개소(약 54.0%), 활락애가 모호하고 인장균열(균열)이 발생한 지역은 17개소(약 46.0%)이었다. 땅밀림지의 발생 형태(붕괴면의 형상)는 주저형 붕괴면이 20개소(약 54.0%)로 가장 많았다. 땅밀림 발생유형은 붕적토 땅밀림지가 25개소(약 68.0%)로 가장 많았다. 땅밀림의 직접적인 원인은 지질적인 원인에 더해 산각절취, 토석 및 토사채취, 산지개간 및 절취, 광산개발, 묘지조성 등 인위적인 개발사업에 근거하는 것으로 나타났다. 전국 37개소의 땅밀림지 중 인위적인 원인에 의한 땅밀림지는 27개소(약 73.0%)이었으며, 지진, 집중호우, 하천포락 등 자연적인 원인은 10개소(약 27.0%)이었다.

Abstract: This study was conducted to provide basic data for classifying patterns of land creep in 37 areas in South Korea using geological and soil property analyses. Geological time, as it relates to land creep areas in South Korea, had been most impactful for the Gyeongsang Supergroup and its sedimentary bedrock during the Cretaceous period. In this area, perfect ridge cliffs in land creeping areas included 20 plots (approximately 54.0%), while tension cracking areas with ambiguous ridge cliff characteristics included 17 plots (approximately 46.0%). Hesitant slide slope types included 20 plots (approximately 54.0%) within the slide slope of an incident pattern (slide slope figure) in land creeping areas. Colluvial debris types among land creep patterns were the most frequent and included 25 plots (approximately 68.0%). The direct causes of land creep were cutting of foothills, quarrying, land-clearing in mountains, mining exploration, and the creation of burial grounds, all of which added to geological impacts. Among land creeping areas, 27 plots (approximately 73.0%) were the result of man-made activities, and 10 plots (approximately 27.0%) were derived via natural causes such as earthquakes, heavy rainfall, and caving.

Key words: Land creeping, Sedimentary bedrocks, Colluvial debris types

서론

땅밀림은 지질특성에 민감하게 반응하는데, 땅밀림은

토층이 변하지 않고 중력방향으로 천천히 미끄러져 이동하는 현상으로(Woo et al., 1996), 땅밀림 현상을 연구하는 많은 연구자(Woo et al., 1996; Takaya, 2017; Park, 2016)들은 이러한 현상에 대하여 다양한 사례를 보고하였다. 그 대표적인 분류로는 ① 땅밀림지의 지질, ② 땅밀림지의 지형, ③ 땅밀림지의 이동양식, ④ 땅밀림지의 재료로 구분하는데, Davis(1899)는 땅밀림은 지질, 지형

* Corresponding author
E-mail: pjh@gntech.ac.kr
ORCID

Jae-Hyeon Park  https://orcid.org/0000-0002-1446-7547

의 발달에 있어 일련의 과정에 의해 발생한다고 하였다. Culling(1963)과 Jau et al.(2000)은 토양 중에 포함되어 있는 모래, 미사와는 다르게 점토입자의 변형이 땅밀림에 영향한다고 하였으며, 토질적 측면에서의 불연속면과 단층파쇄대의 붕괴에 대해서는 Tomio et al.(1990), Park et al.(2003; 2005), Kim(2004)이 보고하였고, 용설이나 토양온도의 영향에 대해서는 Shuji(1978), Auzet and Ambroise(1996)가, 지하수위의 증가 및 간극수압의 급격한 상승으로 인한 토양의 전단력 감소에 대해서는 Matukura et al.(1983), Anderson and Richards(1987), Montgomery et al.(1998)이, 각종 개발행로 인한 원인으로는 Park et al.(2003), National Institute of Forest Science(2017) 등이 보고하였다.

최근 들어 포항지역에서 발생한 지진 등에 의하여 땅밀림지가 자연재해로 새롭게 부각되면서 관심이 증대하고 있다(Park, 2018). 우리나라는 1980년 중반기 까지 이전에 발생된 많은 산지황폐화로 토양이 침식, 유실되어 산지는 토양깊이가 매우 얇고 척박한 토지로 변모한 상태였다. 이렇게 토심이 얇기 때문에 과거에는 얇은 층의 산사태가 많이 발생하였으나, 현재에는 과거(1960년대 ~ 1980년대)에 대대적인 황폐지 복구사업으로 사면이 안정되고 토심(표토층)이 깊어지고 있어 심층의 땅밀림(deep creep)이 점차 증가하고 있다. 여기에 경상북도 포항, 경주지역과 같이 지진의 강도와 빈도도 증가추세에 있으며, 산지개발로 인한 사면훼손도 급증하고 있는 실정이다. 이로 인해 도심지 또는 가옥 및 주택지와 연결한 산지에서도 땅밀림으로 인한 피해가 발생되고 있어 이에 대한 방지대책이 시급히 요구되고 있다(Choi, 2018). 특히 땅밀림은 오랜 시간 동안 지반이 밀려 내려오면서 지형이 변화하고 미세지형이 변형되는 등 지형도를 가지고 땅밀림지를 찾아내는 연구도 진행되고 있다. 그러나 땅밀림은 지질적인 원인에 기반하여 발생하는 것으로 이와 같은 원인은 산체를 구성하는 지층과 토층에 내재하는 연약부가 상부 압력에 의해 파괴되기 때문이다(Tomio et al., 1990; Kim et al., 2015; Takaya, 2017). Hiroshi(1955)는 일본의 땅밀림을 3가지로 구분하였는데, ① 제3기층 땅밀림, ② 파쇄대땅밀림, ③ 온천지땅밀림으로 분류하였다. 그러나 이러한 분류는 지질학적으로 분류기준의 통일성을 기한 것은 아니다. 또한 Keijourou(1964)는 땅밀림지를 ① 중생대층형땅밀림, ② 고생대층형땅밀림, ③ 변성암땅밀림, ④ 화성암땅밀림으로 구분하였다. 이후 조사가 진행되면서 ① 화강암과 안산암분포지역에서의 땅밀림, ② 퇴적암을 덮은 현무암지역의 땅밀림 등 암종과의 관계에 의한 땅밀림으로 구분하였다. 그러나 이러한 유형은 우리나라의 땅밀림 특성을 비추어 볼 때 적절하지

못하여 암반땅밀림, 풍화암땅밀림, 붕괴토땅밀림, 점질토 땅밀림으로 구분하고 있다(Park, 2015; National Institute of Forest Science, 2017). 구미에서의 땅밀림 분류는 Varnes(1978)가 고위도에 있는 빙하퇴적물의 영향을 많이 받는 지역을 대상으로 하였으며, 사면운동의 형태를 붕락, 전도, 땅밀림, 신축 유동으로 이동형식을 분류하였다. 이 분류의 기본이 되는 현상은 지표면의 형태가 주된 관점으로, 이동형태와 이동물질과의 관계는 이동물질을 함유하는 암석과 토양으로 구분하고, 토양은 조립토와 세립토로 구분하였다. 따라서 이 연구는 우리나라에서 발생된 땅밀림지의 지질 및 토양특성을 분석하여 땅밀림지에 대한 유형을 구분하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 연구방법

본 연구는 전국에서 발생된 37개소의 땅밀림지를 대상으로 하였다. 이들 땅밀림지는 한국지질자원연구원에서 발간한 1:100만 지질도에 표시하였다(Figure 1). 이들 지역에서는 선행연구(Park, 2016; National Institute of Forest Science, 2017)와 같이 대규모 함몰과 인장균열 등이 나타난 지역도 있고, 붕괴된 토석이 중력방향으로 밀려 내려와 대규모 산사태와 같은 형상을 나타내고 있다.

이 연구를 위해 2015년 3월부터 2018년 10월까지 현장 조사를 실시하고 지질도를 기반으로 지질을 구분하였다. 땅밀림지의 특성에 영향을 미치는 인자들에 대해서는 Park et al.(2005), Park(2015), Takaya(2017)에서 나타난 모암, 경사, 주향, 토양형태, 토양물리성, 땅밀림 발생 형태 등 주요 인자를 포함하여 땅밀림에 영향을 미치는 인자라고 판단되는 요인들에 대해 조사하여 땅밀림지의 유형을 암반 땅밀림, 붕괴토 땅밀림, 점질토 땅밀림, 풍화암 땅밀림으로 구분하였다. 땅밀림지의 활락에는 직선형, 원호형과 말굽형으로 구분하여 조사하였으며, 발생 형태(붕괴면의 형상)는 의자형 붕괴면(암반 토괴형, 돌 섞인 토괴 또는 점질토 토괴형)과 주저형 붕괴면(토사형, 암 또는 암에 가까운 형), 층상붕괴면, 계단형 붕괴면으로 구분하여 조사하였다(National Institute of Forest Science, 2017). 또한 땅밀림지의 토양을 채취하여 토양물리성을 임업진흥원에 의뢰하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 땅밀림지의 지질 및 모암

발생한 37개소의 땅밀림지의 규모는, 평균 폭 208.8 m



Figure 1. Location map of the study site (KIGAM, 2018).

1. san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon 2. san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do 3. san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do 4. Nogok 1ri, Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do 5. san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do 6. 176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do 7. san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do 8. 154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do 9. san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do 10. san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do 11. san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do 12. san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do 13. 143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do 14. 44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do 15. san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do 16. san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do 17. san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do 18. san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do 19. san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do 20. san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do 21. san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do 22. 72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do 23. 96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do 24. 90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do 25. san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do 26. san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do 27. 1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do 28. san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do 29. san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do 30. 1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do 31. san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do 32. san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do 33. san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do 34. san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do 35. 88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan 36. san96-9 Janggrinm-dong, Saha-gu, Busan 37. 929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan.

(77.8 m~1,001.3 m), 평균길이 310.6 m (83.3 m~920.6 m), 평균깊이 3.2 m (0.4 m~20.4 m)이었다. 즉, 일본에서 전국적으로 대표적인 땅밀림지 100개소를 선정하여 산출한 자료에 의하면(Takaya, 2017), 땅밀림지의 평균 폭은 200~270 m, 길이는 300~360 m, 깊이는 18.3~18.6 m로 일본에 비해 작게 나타났다. 이와 같이 우리나라는 경상북도 울진군 매화면 금매리 땅밀림지의 경우가 대단히

규모가 큰데 따른 결과로 이를 제외하면 우리나라의 땅밀림이 일본에 비해 규모가 작으며, 우리나라의 땅밀림지는 일본과 같이 종방향이 길고 횡방향이 짧은 종장형을 이루고 있는 것으로 나타났다.

땅밀림지의 지층 및 주된 구성암석을 조사한 결과, 지질 시대는 백악기 15개소(약 41.0%), 선캄브리아기 11개소(약 30.0%), 제3기 2개소(약 5.0%), 석탄기 2개소(약 5.0%),

오도비스기, 폐름기와 주라기가 각각 1개소(약 3.0%), 시대미상지가 4개소로 나타났다. 누층군은 경상누층군 14개소(약 38.0%), 지리산편마암복합체가 4개소(약 11.0%), 평안층군과 옥천층군이 각각 3개소(약 8.0%), 연일층군 2개소(약 5.0%), 소백산편마암복합체와 경기편마암복합체, 서산층군이 각각 2개소(약 6.0%), 대보화강암과 양평화성복합체, 울리층군, 조선누층군이 각각 1개소(약 3.0%)이었다. 즉, 땅밀림은 경상누층군에서 가장 많이 발생하고 있어 경상도 일대(경상북도, 경상남도, 부산광역시 포함 21개소, 약 57.0%)에서 많이 발생함을 알 수 있다. 이들은 모두 퇴적암류에 해당된다. 그 다음으로 많이 나타나는 지층으로는 지리산편마암 복합체와 옥천누층군 등으로 모두 변성암류에 해당된다. 이와 같은 결과로 볼 때 땅밀림 지역의 모암은 선캄브리아기와 고생대의 변성암체로 대부분은 편암이나 편마암, 점판암, 천매암 등이 주 구성암석으로, 이들 암석이 풍화되면 Takaya(2017)의 연구결과처럼 점질토가 많이 생성된다. 편암이나 편마암으로 이루어진 지역은 점성이 적은 화강암 토양에 비하여 침식에 강하고 토심도 비교적 깊게 유지되고 있어 땅밀림 발생 조건에 유리하다(Choi, 2018). 화성암은 7개소(약 19.0%)로 주 구성암석은 반상섬장암, 우백질화강암, 화강암, 함각력 안산암, 안산암이었다. 변성암은 12개소(약 32.0%)로 나타났는데, 이들의 주 구성암석은 석영편암, 흑운모편암, 천매암, 혼성편마암, 반상변정질편마암, 회장암이었다. 퇴적암은 18개소(약 49.0%)로 가장 많았다. 이러한 퇴적암을 이루는 주 구성암석은 석회암, 사암 및 shale, 사암, 이암, 역암 등이었다. 이와 같은 결과로 볼 때 우리나라에서 발생한 땅밀림은 퇴적암 지대에서 많이 발생하였는데, 이는 중생대, 신생대의 퇴적암류들은 대체적으로 사암, 이암, shale, 석회암 등이 상호 혼재되거나 교호하여 나타나며, 이들 암석 중 이암이나 shale은 풍화되면 점질토양이 되므로 땅밀림 발생이 용이하기 때문이다(Takaya, 2017; Choi, 2018). 즉, 사암과 이암, shale 등이 호층으로 나타나는 지역에서는 불연속면(주로 층리)이 사면의 경사방향과 동일하고 풍화가 깊게 진전된 지역은 땅밀림 현상이 용이하게 발생될 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

2. 땅밀림지의 활락에

일반적으로 땅밀림면의 종단면은 원호가 많으며, 직선에 가까운 부분이 주체가 된다(Takaya, 2017; Choi, 2018). 땅밀림현상이 나타난 붕괴지대를 보면 지표면은 원호상인 경우가 많고 붕괴 및 땅밀림이 일어난 후 주변에는 붕괴로 발생된 석력과 토사가 흘러 낭떠러지 모양으로 이루어진 완만한 경사면이 생겨난다. 땅밀림지에서 보이는

마제형 활락에는 공중사진으로 볼 때 땅밀림지를 관측하는 유력한 지표가 된다(Takaya, 2017). 충청북도 단양군 휴석동 및 경상남도 하동군 옥종면 청룡리에서 발생한 땅밀림지가 이러한 형태에 유사하나 활락이라고 볼 수 없는 국소적인 인장균열이 발생되어 있는 상태로 이러한 지역에 대해서는 점진적으로 다시 인장균열이 확대되어 땅밀림이 진행될 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다. 우리나라에서 발생한 37개소의 땅밀림지에 대하여 활락에 유무를 분석한 결과, 활락애가 명확하게 구분된 지역은 20개소(약 54.0%)로 나타났고, 활락애가 모호하고 인장균열(균열)이 발생한 지역은 17개소(약 46.0%)로 분석되었다.

3. 땅밀림지의 발생 형태

붕괴면의 형상은 땅밀림 형태에 따라 각기 다르지만 일반적으로 신선한 암반에서 발생한 땅밀림 붕괴면의 단면은 직선에서 거의 꺾이는 모양이라 불러도 될 만한 명확한 모양이 되고, 이에 비해 풍화암이 되면 거의 굴곡부에서 곡선상을 띠고 돌 섞임 토괴와 점토가 되면 곡선상 또는 호상(弧狀)을 띠는 것이 많다(Choi, 2018). 우리나라에서 발생한 땅밀림지 37개소에 대하여 발생 형태(붕괴면의 형상)로 구분한 결과, 의자형 붕괴면(암반 토괴)은 11개소(약 30.0%)이었으며, 이 가운데 암반토괴형은 4개소(약 16.0%), 돌 섞인 토괴 또는 점질토 토괴는 7개소(약 64.0%)이었다. 주저형 붕괴면은 전체 37개소의 땅밀림지 중 20개소(약 54.0%)이었으며, 이 가운데 토사형은 17개소(약 85.0%), 암 또는 암에 가까운 경우형은 3개소(약 15.0%)이었다. 즉, 우리나라에서 발생한 땅밀림지는 주저형 붕괴면이 가장 많은 것으로 나타났다. 층상붕괴면은 전체 37개소의 땅밀림지 중 2개소(약 5.0%)이었으며, 이는 모두 함몰형이었다. 계단형 붕괴면은 전체 땅밀림지 37개소 가운데 4개소(약 11.0%)로 나타났다.

4. 땅밀림지의 토양물리성

땅밀림지에서 점토는 매우 중요한데, 땅밀림지에서 나타나는 회백색의 점토를 땅밀림 점토라 부른다(Hiroshi, 1955). 점토광물은 표면적을 증대하게 하는데, 강우 시 점토입자 사이의 공극에 물이 더 많이 들어가게 하고 점토가 이들 물을 잡고 있음으로 인해 토양의 무게가 훨씬 증가하게 되어 땅밀림이 발생하는 것이다(Park et al., 2005; Park, 2015). 특히 점토는 건조하게 되면 고결되고, 물은 점성을 강화시키는 작용을 하여 땅밀림 발생에 영향한다(Tomio et al., 1990; Kim et al., 2015; Takaya, 2017). 우리나라에서 발생한 땅밀림지 37개소에 대한 모래, 미사, 점토의 함량비를 분석한 결과, 점토함량이 20.0% 이상인

Table 1. Scale and geological characteristics of land creep area.

No.	Land creep location	Survey size(m)			Soil layer and main composition rocks		
		Width	Length	Depth	Geological Time	Geological unite	Main composition rock
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	94.59	165.20	4.50	Precambrian	Kyoenggi gneiss complex	Metamorphic rock(quartzo schist)
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	114.24	104.37	1.20	Precambrian	Kyoenggi gneiss complex	Metamorphic rock(biotite gneiss)
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	263.01	211.06	3.60	Age unknown	Yangpyeong igneous complex	Igneous rock(porphyrific syenite)
4	Nogok Iri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	84.17	131.52	2.80	Precambrian	Sobeagsan gneiss complex	Metamorphic rock(migmatite)
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	87.04	109.28	1.70	Precambrian	Sobeagsan gneiss complex	Metamorphic rock(migmatite)
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	77.77	133.56	2.30	Precambrian	Yulri serious	Metamorphic rock(biotite gneiss)
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	141.45	203.11	2.50	Precambrian	Sobeagsan gneiss complex	Igneous rock(leucocratic granite)
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	322.91	467.24	4.50	Permian	Pyeongang Group	Sedimentary rock(sandstone, shale)
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	188.16	330.60	20.40	Carboniferous	Pyeongang Group	Sedimentary rock(sandstone, shale)
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	219.37	243.11	5.70	Jurassic	Daebo granite	Igneous rock(granite)
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	446.88	297.93	4.60	Age unknown	Okcheon Group	Metamorphic rock(phyllite)
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	107.56	160.59	2.50	Age unknown	Okcheon Group	Metamorphic rock(phyllite)
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	165.99	252.09	1.60	Carboniferous	Pyeongang Group	Sedimentary rock(sandstone, shale)
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	178.98	108.87	1.50	Precambrian	Seosan Group	Metamorphic rock(migmatite)
14	44-7, Sinjindaeyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	190.75	254.50	1.30	Precambrian t	Seosan Group	Sedimentary rock(limestone)
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	113.80	125.70	1.60	Age unknown	Okcheon Group	Metamorphic rock(phyllite)
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	575.04	378.40	2.60	Precambrian	Jirisan gneiss complex	Metamorphic rock(quartzo schist)
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	155.26	108.16	1.70	Tertiary	Yeonil Group	Sedimentary rock(mudstone)
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	174.72	114.58	1.20	Tertiary	Yeonil Group	Sedimentary rock(mudstone)
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	1001.26	920.55	15.60	Ordovician	Joseon Supergroup	Sedimentary rock(limestone)
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	60.23	106.65	0.80	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(mudstone)
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	117.24	156.11	1.20	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	119.79	174.57	2.50	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	126.77	119.24	1.30	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	310.09	113.27	1.80	Precambrian	Jirisan gneiss complex	Metamorphic rock(migmatite)
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	270.95	149.21	7.20	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone)
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	84.00	97.80	2.30	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	299.82	365.61	5.80	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Igneous rock(brecciated andesite)
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	346.20	271.62	1.20	Cretaceous	Bulgksa granite	Igneous rock(granite)
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	159.41	104.33	1.80	Cretaceous	Bulgksa granite	Igneous rock(biotite granite)
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	233.50	160.84	0.80	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
31	san80-1, Pyeonsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	126.34	270.71	2.50	Precambrian	Jirisan gneiss complex	Metamorphic rock(porphroblastie gneiss)
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	367.46	529.17	2.50	Precambrian	Jirisan gneiss complex	Metamorphic rock(anorthosite)
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	109.67	153.84	2.40	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	116.66	98.05	2.60	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	220.62	143.03	1.30	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
36	san96-9 Jangrim-dong, Saha-gu, Busan	94.30	83.34	0.50	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Sedimentary rock(sandstone, shale)
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	67.54	97.79	0.40	Cretaceous	Gyeongsang Supergroup	Igneous rock(andesite)

Table 2. Act of result ridge cliff in land creep.

No.	Land creep location	Perfect ridge cliff	Ambiguous ridge cliff
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	■	
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do		■
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do		■
4	Nogok Iri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do		■
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do		■
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	■	
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	■	
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do		■
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	■	
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	■	
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	■	
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	■	
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	■	
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do		■
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do		■
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do		■
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	■	
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	■	
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	■	
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	■	
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do		■
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do		■
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	■	
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do		■
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do		■
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	■	
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	■	
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	■	
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do		■
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do		■
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do		■
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do		■
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	■	
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	■	
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	■	
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	■	
36	san96-9 Jangrinm-dong, Saha-gu, Busan		■
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan		■

땅밀림지는 전체 37개소 중 13개소(약 35.0%)이었으며, 점토함량의 범위는 20.9%-48.0%를 나타내었다. 특히 경상북도 포항시 북구 용흥동 산110-1 땅밀림지는 점토함량이 48.0%로 가장 높게 나타났는데, 이 지역의 모양이 이암으로 점토화가 상당히 진행되었음을 의미하는 것으로 특히 이 지역은 2017년에 지진으로 인한 땅밀림이 발생하였으므로 집중호우 시 지진 이외의 땅밀림 우려가 높으므로 이에 대한 주의와 관찰이 필요하다. 모래 함량이 60.0%를 넘는 땅밀림지는 전체 37개소 중 8개소(약 22.0%)로 모래의 분포범위는 61.2%-85.4%의 범위로 경상북도 영덕군 축산면 칠성리 산 18-2 땅밀림지는 모래함량이 85.4%로 나타나 집중호우시 땅밀림 피해가 발생

될 우려가 높은 지역으로 판단된다. 우리나라에서 발생된 땅밀림지 37개소에 대한 평균모래함량은 47.4(4.2-85.4)%이었고, 미사함량은 33.6(9.0-59.7)%이었으며, 점토함량은 17.9(3.9-29.4)%로 토성을 나타내는 삼각좌표분류법으로 판단하면 L (Loam, 양토)에 해당하여 우리나라 땅밀림지에서 가장 많이 나타난 토성지역에 해당한다.

Jeong et al.(2002)이 분석한 915개(A층 810개, B층 915개)의 토양단면조사결과를 중심으로 우리나라 산림토양의 지역별 물리적 특성을 표준화한 자료를 땅밀림지의 토성과 비교 분석한 결과, 전국적인 땅밀림지에서 평균 모래함량은 47.4(4.2-85.4)%이었는데, 우리나라의 비땅밀림지에서의 평균모래함량은 36.2(14.6-48.8)%로 땅밀림

Table 3. Types of collapse plane of land creep.

No.	Land creep location	Types of collapse plane
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	Hesitate type(earth and sand)
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	Chair type(rock)
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	Chair type(compound rock or clay soil)
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	Hesitate type(earth and sand) Hesitate type(earth and sand)
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Chair type(rock)
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Chair type(compound rock or clay soil)
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	Chair type(compound rock or clay soil)
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	Stratiform type(depression)
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	Chair type(compound rock or clay soil)
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Chair type(compound rock or clay soil)
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Hesitate type(earth and sand)
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	Hesitate type(earth and sand)
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	Hesitate type(earth and sand)
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	Hesitate type(earth and sand)
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	Chair type(rock)
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	Collapse type(rock or near rock)
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Hesitate type(earth and sand)
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Collapse type(rock or near rock)
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	Stratiform type(depression)
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	Staircase type
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	Hesitate type(earth and sand)
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	Staircase type
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Chair type(compound rock or clay soil)
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Collapse type(soil)
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Staircase type
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Chair type(compound rock or clay soil)
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Hesitate type(earth and sand)
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Staircase type
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	Hesitate type(rock or near rock)
36	san96-9 Jangrinm-dong, Saha-gu, Busan	Chair type(rock)
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	Hesitate type(earth and sand)

지에서 평균모래함량이 약 11.2(10.4-43.4)% 높게 나타났다. 땅밀림지에서 평균 실트함량은 33.6(9.0-59.7)%이었는데, 우리나라의 비땅밀림지에서의 평균실트함량은 45.3(31.7-73.4)%로 땅밀림지에서 평균실트함량이 약 11.7(13.7-22.7)% 낮게 나타났다. 땅밀림지에서 평균점토함량은 17.9(3.9-29.4)%이었는데, 우리나라의 비땅밀림지에서의 평

균점토함량은 17.0(15.4-24.8)%로 땅밀림지에서 평균점토함량이 약 0.9(4.6-11.5)% 높게 나타났다. 즉, 우리나라의 산림토양에서 땅밀림지가 비땅밀림지보다 모래와 점토는 많았고, 실트는 적은 것으로 나타났다. 평균적인 토성은 땅밀림지와 비땅밀림지 모두 L (Loam, 양토)에 해당하는 것으로 나타났다.

Table 4. Soil properties of land creep area.

No.	Land creep location	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil property
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	30.8	43.2	26.0	L
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	78.6	11.3	10.1	SL
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	31.8	41.7	26.5	L
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	69.8	13.3	16.9	SL
4	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	79.2	9.7	11.1	SL
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	67.4	22.9	9.6	SL
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	49.5	31.7	18.8	L
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	62.7	27.1	10.3	SL
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	37.4	45.1	17.5	L
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	61.2	23.8	15.1	SL
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	57.0	33.1	10.0	SL
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	34.6	50.5	14.9	SiL
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	56.0	27.1	16.9	SL
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	33.1	45.2	21.7	L
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	44.7	34.5	20.9	L
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	53.8	38.0	8.2	SL
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	45.5	32.5	22.0	L
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	40.2	35.3	24.6	L
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	26.4	25.6	48.0	C
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	37.7	49.8	12.5	L
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	85.4	9.0	5.6	LS
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	81.3	11.1	7.5	LS
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	45.5	38.7	15.7	L
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	40.5	45.3	14.1	L
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	59.1	19.2	21.7	SCL
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	52.3	26.0	21.7	SCL
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	54.9	27.9	17.2	SL
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	11.2	59.7	29.1	SiCL
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	24.5	56.0	19.6	SiL
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	82.5	13.6	3.9	LS
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Hama-gun, Gyeongsangnam-do	29.9	49.2	20.9	L
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	53.8	31.1	15.1	SL
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	16.2	56.0	27.8	SiCL
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	53.8	27.2	19.0	SL
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	43.7	39.8	16.5	L
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	4.2	36.5	16.2	L
36	san96-9 Jangrinm-dong, Saha-gu, Busan	41.7	39.5	18.8	L
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	22.7	48.0	29.4	CL
	Mean	47.4 (4.2-85.4)	33.6 (9.0-59.7)	17.9 (3.9-29.4)	L

땅밀림지의 토양 pH를 분석한 결과, pH 7.3 이상의 약 알칼리성을 나타내는 땅밀림지는 4개소(약 11.0%)를 나타내었고, 산림토양의 평균 pH를 나타내는 pH 5.6 이하를 나타내는 땅밀림지는 26개소(약 70.0%)로 가장 낮은 땅밀림지는 pH 4.4인 경상북도 칠곡군 지천면 금호리 산

8-2 땅밀림지로 나타났다. 자연환경에서 pH를 보면, pH 9와 10은 알칼리토양이고, pH 8은 바닷물, pH 7은 하천수, pH 5와 6은 하천수와 토양, pH 4는 점토가 들어있는 이탄수, pH 3은 광수, 강산성토양이고, pH 2는 산성온천수이다. 따라서 암석을 인위적으로 연마하여 물에 넣으

Table 5. Soil pH of land creep area.

No.	Land creep location	Soil pH
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	4.8
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	5.1
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	4.8
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	4.9
4	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	5.1
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	5.0
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	5.3
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	5.7
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	8.2
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	5.4
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	5.4
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	4.8
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	5.4
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	4.6
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	5.3
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	7.3
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	5.0
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	4.8
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	4.8
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	8.2
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	5.7
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	4.4
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	6.1
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	5.9
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	4.8
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	4.9
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	4.6
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	4.6
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	5.1
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	5.5
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	6.1
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	8.2
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	4.8
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	5.4
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	5.4
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	7.0
36	san96-9 Jangrinm-dong, Saha-gu, Busan	6.6
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	5.0
	Mean	5.5(4.6-8.2)

면 풍화의 정도를 전체적으로 볼 수 있는데, 이때 암석 중에 있는 염기가 용출되어 용액의 pH는 상승하고, 신선한 녹니편암의 경우에는 pH 8-9가 되고, 풍화가 진행된 적갈색화 되면 pH는 4-가 된다(Kim et al., 2015; Takaya, 2017). 따라서 우리나라에서 발생한 땅밀림지는 약 70% 정도가 풍화가 심화되어 있는 범위에 있고, 땅밀림에 취

약한 특성을 지닌다고 판단된다.

땅밀림지의 토성을 임업진흥원에 의뢰하여 분석한 결과 L (Loam, 양토)이 전체 땅밀림지 중 15개소(약 41.0%)로 가장 많았으며, 다음으로는 SL (Sandy Loam, 사양토)이 11개소(약 30.0%), LS (Loamy Sand, 양질사토)가 3개소(약 8.0%), SCL (Sandy Clay Loam, 사질식양토, SiCL

Table 6. Type and cause of land creep.

No.	Land creep location	Type	Acting cause	
			Direct	Indirect
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	Boron soil land creep types	Mountain cutting	Rainfall
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	Rock land creep types	Soil harvesting	Geology
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	Clay soil land creep types	Mountain cutting	Rainfall
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Weathered rock land creep types	Mountain cutting	Heavy rain
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Clay soil land creep types	Mountain cutting	Heavy rain
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	Weathered rock land creep types	Coal mining development	Heavy rain
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	Boron soil land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Clay soil land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	Boron soil land creep types	Caving	Caving
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	Boron soil land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	Boron soil land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Boron soil land creep types	Earthquake	Earthquake
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	Weathered rock land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	Weathered rock land creep types	Heavy rain	Heavy rain
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	Weathered rock land creep types	Heavy rain	Heavy rain
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Mountain cutting	Heavy rain
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Cemetery development	Heavy rain
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Heavy rain	Heavy rain
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Land clearing	Heavy rain
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	Weathered rock land creep types	Mountain cutting	Heavy rain
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
31	san80-1, Pyeongsari, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Soil harvesting	Heavy rain
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
36	san96-9 Jangrim-dong, Saha-gu, Busan	Rock land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	Boron soil land creep types	Hilly district cutting	Heavy rain

(Silty Clay Loam, 미사질식양토), SiL (Silty Loam, 미사질양토)이 각각 2개소(약 5.0%), C Clay, 점토), CL (Clay Loam, 식양토)이 1개소(약 3.0%)로 나타났다. 즉, 우리나라에서 발생한 팜밀립지의 약 70% 이상이 양토와 사양토 지역으로 이러한 지역에서는 모래 성분이 많아 강우 시 물의 침투가 빨라 지하수로의 물 이동이 쉽고 지하부에 점토성분이 집적화됨으로써(Jeong et al., 2002) 지하

수 유출 및 팜밀립의 원인이 되는 것으로 사료된다. 팜밀립지 중에서 퇴적암 지역이 많은 것은 이러한 층리 등 벗겨지거나 풍화가 잘 진행되어 외부의 충격에 약한 상태와 함께 점토성분을 다량 포함하고 있기 때문(Jeong et al., 2002)으로 사료된다.

팜밀립지에서 평균 pH는 5.5(4.6-8.2)이었는데, 비팜밀립지(Jeong et al., 2002)에서의 평균 pH는 5.4(5.1-5.8)로

땅밀림지가 비땅밀림지보다 평균 pH는 0.1(0.5-2.4) 높게 나타났다. 그러나 이 차이는 비교적 산림토양의 평균 pH와 유사한 값으로 평균 pH만으로 판단할 때 우리나라 어느 산림지역에서도 땅밀림은 발생될 수 있음을 의미하는 것이다.

5. 땅밀림지 유형

땅밀림지 37개소 중 암반땅밀림산사태지 2개소(약 5.0%), 풍화암 땅밀림산사태지 7개소(약 19.0%), 봉적토 땅밀림산사태지가 25개소(약 68.0%), 점질토 땅밀림산사태지가 3개소(약 8.0%)로 봉적토 땅밀림지가 가장 많았다. 즉, 오랜 세월동안의 침식과 풍화로 인하여 상부로부터 밀려 내려와 봉적된 토양 및 풍화암대가 집중호우 등으로 땅밀림 현상으로 실체가 드러난 것이다. 땅밀림의 발생원인을 분석한 결과, 직접적인 원인은 지질적 원인에 더해 산각절취, 토석 및 토사채취, 산지개간 및 절취, 광산개발, 묘지조성 등 인위적인 개발사업에 근거하는 것으로 인위적인 원인에 의한 땅밀림지는 27개소(약 73.0%)이었으며, 지진, 집중호우, 하천포락 등 자연적인 원인은 10개소(약 27.0%)로 나타났다. 따라서 땅밀림이 발생되고 있고, 또 땅밀림이 우려되는 지질적인 요인을 가진 지역에 대해서는 인위적인 개발행위 시 각별한 주의가 필요하며, 복구대책 수립 후 개발계획에 신중한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

결론 및 제언

이 연구는 우리나라에서 발생된 37개 땅밀림지의 지질 및 토양특성을 분석하여 땅밀림지에 대한 유형을 구분하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 실시하였다.

1. 우리나라에서 발생한 땅밀림은 경상누층군에서 가장 많이 발생하고 있어 경상남북도 일대에서 많이 발생함을 알 수 있다. 이들은 모두 퇴적암류에 해당된다. 땅밀림지 중 주된 구성암석을 분석한 결과, 화성암은 7개소(약 19.0%)로 주된 구성암석은 반상섬장암, 우백질화강암, 화강암, 함각력 안산암, 안산암이었다. 변성암은 12개소(약 32.0%)로, 이들의 주된 구성암석은 석영편암, 흑운모편암, 천매암, 혼성편마암, 반상변정질편마암, 회장암이었다. 퇴적암은 18개소(약 49.0%)로 가장 많았다. 이러한 퇴적암을 이루는 주된 구성암석은 석회암, 사암 및 shale, 사암, 이암, 역암이었다.

2. 땅밀림지의 활락에 유무를 분석한 결과, 활락애가 명확하게 구분된 지역은 20개소(약 54.0%)로 나타났고, 활락애가 모호하고 인장균열(균열)이 발생한 지역은 17

개소(약 46.0%)이었다.

3. 땅밀림지의 발생 형태(붕괴면의 형상)로 구분한 결과, 의자형 붕괴면(암반 토괴)이 11개소(약 30.0%)이었으며, 이 가운데 암반토괴형은 4개소(약 16.0%), 돌 섞인 토괴 또는 점질토 토괴는 7개소(약 64.0%)이었다. 주저형 붕괴면은 땅밀림지 중 20개소(약 54.0%)이었으며, 이 가운데 토사형은 17개소(약 85.0%), 암 또는 암에 가까운 형은 3개소(약 15.0%)이었다. 층상붕괴면은 땅밀림지 중 2개소(약 5.0%)이었으며, 이는 모두 함몰형이었다. 계단형 붕괴면은 4개소(약 11.0%)이었다.

4. 땅밀림 발생유형은 암반땅밀림지 2개소(약 5.0%), 풍화암 땅밀림지 7개소(약 19.0%), 봉적토 땅밀림지가 25개소(약 68.0%), 점질토 땅밀림지가 3개소(약 8.0%)로 봉적토 땅밀림지가 가장 많았다.

5. 땅밀림의 발생원인을 분석한 결과, 직접적인 원인은 지질적인 원인에 더해 산각절취, 토석 및 토사채취, 산지개간 및 절취, 광산개발, 묘지조성 등 인위적인 개발사업에 근거하는 것으로 나타났다. 전국 37개소의 땅밀림지 중 인위적인 원인에 의한 땅밀림지는 27개소(약 73.0%)이었으며, 지진, 집중호우, 하천포락 등 자연적인 원인은 10개소(약 27.0%)이었다.

따라서 땅밀림이 발생되고 있고, 또 땅밀림이 우려되는 지질적인 요인을 가진 지역에 대해서는 인위적인 개발 시 각별한 주의가 필요하며, 개발계획에 신중한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Anderson, M.G. and Richards, K.S. 1987. Slope stability. Wildly and Sons. pp. 210.
- Auzet, A.V. and Ambroise, B. 1996. Soil creep dynamics, soil moisture and temperature conditions on a forested slope in the granitic Vosges Mountains, France. *Earth Surface Processes and Landforms* 21(6): 531-542.
- Choi, K. 2018. Geological characteristics of land creep in Korea. *Korean Society of Forest Environment Research* 21: 108-117.
- Culling, W.E.H. 1963. Soil creep and the development of hillside slopes. *The Journal of Geology* 71(2): 127-161.
- Davis, W.M. 1899. The geographical cycle. *The Journal of Geology* 14(5): 481-504.
- Hiroshi K. 1955. Land creep of Japan. *Paper of Economic of Asia*. pp. 257.
- 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.
- Jeong, J.H., Koo, K.S., Lee, C.H. and Kim, C.S. 2002. Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. *Journal of Korean Forest Society* 91(6): 694-700.
- Keijourou, N. 1964. Disaster conference, land creep. *Land Creep* 1(1): 5-7.
- Kim, C.S., Park, J.H., Cho, H.S., Ma, H.S. and Lee, G.S. 2015. Physiochemical properties of organic and soil horizon in restoration area following forest landslide by creeping soils. *Journal of Agriculture & Life Science* 49(6): 27-35.
- Kim, H.G. 2004. Slope stability and characteristics of shallow landslide occurred in granite hillslopes. Master. Thesis, KyungHee University, Seoul, Korea. pp. 150.
- Matsukura, Y. and Tanaka, Y. 1983. Stability analysis for soil slips of two grass slope in southern abukuma mountains, Japan. *Transactions, Japanese Geomorphological Union* 4: 229-239.
- Montgomery, D.R., Sullivan, K. and Greenberg, H. M. 1998. Regional test of a model for shallow landslide. *Hydrological Processes* 12: 943-955.
- National Institute of Forest Science. 2017. A precedent investigation of the foreign and in the country status of landslide by land creeping, rehabilitation and management. National Institute of Forest Science Report. pp. 153.
- Park, J.H. 2015. Analysis on the characteristics of the landslide: With a special reference on geo-topographical characteristics. *Journal of Korean Forest Society* 104(4): 588-597.
- 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., 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 characteristic of forest environmental factors on land creeping occurrence. *Journal of Agriculture and Life Science* 49(5): 133-144.
- Park, J.H. 2018. What's land creep. *Korean Society of Forest Environment Research* 21: 96-107.
- Shunji, I. 1978. Soil creep measurements in khumbu. *Journal of the Japanese Society of Snow and Ice* 40: 60-63.
- Takaya, S. 2017. Facts of land creep. Nokdo Publication. 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.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes. *Transportation Research Board Special Report*. pp. 11-33.
- Woo, B.M., Park, J.H., Choi, H.T., Jeon, G.S. and Kim, K.H. 1996. A study on the characteristics of the landslide in hyuseok-dong(I): topographical characteristics and surface displacement. *Journal of Korean Forest Society* 85(4): 565-570.

Manuscript Received : November 19, 2018

First Revision : December 18, 2018

Accepted : December 31, 2018