

땅밀림 산사태의 발생특성에 관한 분석
- 지형 및 지질특성을 중심으로 -

박재현*

경남과학기술대학교 산림자원학과

Analysis on the Characteristics of the Landslide
- With a Special Reference on Geo-Topographical Characteristics -

Jae-Hyeon Park*

Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology,
Jinju 52725, Korea

요약: 이 연구는 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태의 발생원인을 파악하여 이를 방지하기 위한 관리대책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다. 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 총 29개소로 이 중 암반 땅밀림지 2개소(6.9%), 풍화암 땅밀림지 2개소(6.9%), 붕괴토 땅밀림지 22개소(75.9%), 점질토 땅밀림지 3개소(10.3%)로 붕괴토 땅밀림지가 가장 많았다. 땅밀림 산사태지의 암석 성인별 모암은 화성암류에서 화강암, 안산암, 유문암, 안산암류와 마산암 등이 4개소(13.8%), 퇴적암류에서는 석회암, 사암 및 혈암, 이암 등이 12개소(41.4%), 변성암류에서는 편암, 천매암, 미그마사이트질편마암, 석영편암, 반상변정질편마암, 우백질화강암, 운모편암, 호상편마암, 화강암질편마암 등이 13개소(44.8%)로 변성암 지대에서 가장 많이 발생하였다. 발생 원인별로 직접적인 원인으로는 채석 및 토사채취에 의한 산각의 절취, 전원주택, 공장 및 도로건설을 위한 산각의 절취, 산지 상부의 발경작, 저수지 축설을 위한 산지절취 등의 인위적 원인은 전체의 약 71%로 나타났으며, 하천 및 계곡의 포락 등에 의한 벼랑 침식에 의한 지역이 약 7%, 지질적이거나 자연적인 현상에 의한 땅밀림 산사태지는 약 22%로 인위적 원인이 가장 높은 것으로 분석되었다.

Abstract: This study was carried out to identify the reasons of the landslide by land creeping in South Korea in order to provide basic information for establishing the management plan for prevention. Total 29 sites of landslide areas caused by land creeping were observed in South Korea. Among them, the soil-composition of most frequent landslide areas occurred by land creeping was colluvium landslide as 75.9% (22 sites), followed by clay soil landslide as 10.3% (3 sites), bedrock landslide as 6.9% (2 sites), and weathered rock landslide as 6.9% (2 sites). According to the types of parental rocks, the investigated landslide areas were divided into 3 types: 1) metamorphic rocks including schist, phyllite, migmatitic gneiss, quartz schist, popyroblastic gneiss, leucocratic granite, mica schist, banded gneiss and granitic gneiss, 2) sedimentary rocks including limestone, sandstone or shale and mudstone, 3) igneous rocks such as granite, andesite, rhyolite and masanite. As a result, it was noticed that the landslides occurred mostly at the metamorphic rocks areas (13 sites; 44.8%), followed by sedimentary rock areas (12 sites; 41.4%), and igneous rock areas (4 sites; 13.8%). Looking at the direct causes of the landslide, the anthropological activities (71%) such as cut slopes for quarrying, construction of country house, plant, and road, farming of mountain top, and reservoir construction were the biggest causes of the landslides, followed by the land creeping landslides (22%) caused by geological or naturally occurred (22%), and cliff erosions (7%) by caving of rivers and valleys.

Key words: landslide, scar, depression, crack, stone debris, colluvium landslide, clay soil landslide, weathered rock landslide, bedrock landslide

이 연구는 산림청 훼손지복원사업단의 연구지원을 받아 수행한 연구임.

*Corresponding author

E-mail: pjh@gntech.ac.kr

서론

우리나라에서는 1996년 이전에는 땅밀림 산사태에 관한 논의는 전무하였다. 관련 연구도 일반적인 산사태의 발생과 원인 등에 관한 연구가 대부분으로(Woo et al., 1996a; 1996b), 1996년 이후 땅밀림 산사태에 관한 연구는 충청북도 단양군 휴석동(Woo et al., 1996a; 1996b), 경상남도 김해시에서 발생한 땅밀림 산사태(Park et al., 2003a; 2003b; Park et al., 2004), 김해시 상동면 매리에서 발생한 땅밀림 산사태(Park et al., 2005a; 2005b; 2005c)와 지질과 지형이 땅밀림에 미치는 영향(Jau et al., 2000)에 관한 연구에 불과하다.

땅밀림 산사태는 활동면 위의 토괴가 일체로 미끄러지는 산사태의 한 형태로 이동토괴의 두께는 10~20 m, 폭은 두께의 5~10배, 길이는 폭의 1.2~1.5배로 규모가 크고, 이동속도는 0.01~10 mm/day의 것이 많으며, 일반적으로 속도가 느린 특징을 가지고 있다(Varnes, 1984; Woo, 1997).

땅밀림 산사태는 지질조건과 관계가 깊으며, 붕괴구성 물질에 따라 암반, 풍화암, 붕괴토사 및 점질토 땅밀림으로 4구분 할 수 있다. 첫째, 암반지 땅밀림은凸형 지형에서 발생되며, 붕괴 토괴는 암반 또는 약간 풍화된 암석이다. 이동속도는 1일 2 cm 이상으로 단시간 내에 발생하며, 대규모 토공이나 사면의 일부가 물에 잠기거나 지진 또는 폭우시 발생한다. 주로 단층지대 파쇄대의 영향을 받는 지역에서 많이 발생한다. 둘째, 풍화암 땅밀림은凸형 대지형(臺地形) 또는凹형 단구상 대지형에서 발생되며, 붕괴 토괴는 균열이 많은 풍화암이다. 이동속도는 1일 1~2 cm이며 단속적이다. 집중호우, 이상 융설, 하안 굴취, 지진 및 중정도의 토공에 의해서 발생되며, 주로 결정편마암지대, 신제3기 분포지, 단층, 파쇄대 지역에서 잘 발생된다. 셋째, 붕괴토 땅밀림은 다구상(多丘狀)凹형 대지형에서 발생되며, 붕괴토괴는 자갈 섞인 점질 토사이며, 운동속도는 1일 0.5~1.0 cm로 단속적이다. 융설, 태풍, 집중호우 또는 토공에 의해서 발생되며, 결정편암지대, 신제3기층 분포지대에서 주로 발생한다. 넷째, 점질토 땅밀림은凹형 지형의 완만한 경사지(凹형 완사면 지형)에서 발생되며, 붕괴 토괴는 자갈이 혼재한 점질토사이며, 운동속도는 1일 0.5 cm 이하이고 계속적이다. 하천침식, 장마비, 융설, 적설, 소규모 토공이 원인이 되어 발생되며, 주로 신제3기층에서 많이 발생되고 파쇄대의 구조선에 의한 지역에서 발견되기도 한다(Woo, 1997; Jau et al., 2000).

최근 포항 지역을 위시하여 밀양, 하동, 김해지역 등 지질에 따른 문제뿐만 아니라 집중호우에 따른 땅밀림 산사태 유형으로 분류되는 산사태 발생지역이 광범위하게 나타나고 있어 여름철 집중호우시 땅밀림 산사태 재해가 급증할 우려가 심각하다. 또한 최근 서울의 우면산 산사태

를 비롯한 도심지역의 산사태 피해(산지재해)가 급증하고 있다. 이는 기상변화 등 집중호우에 따른 영향으로 산사태피해방지에 만전을 기해야 할 시점이다.

따라서 이 연구는 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태의 발생원인을 파악하여 이를 방지하기 위한 관리대책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

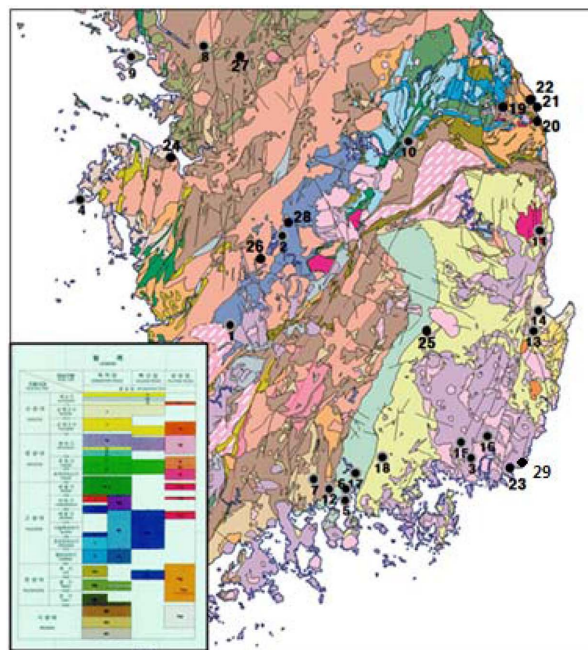


Figure 1. Sites of landslide. 1. Janggu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 2. Sindae-ri, Munui-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do, 3. Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, 4. Sinjindo-ri, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do, 5. Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do, 6. Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do, 7. Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do, 8. Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, 9. Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon metropolitan City, 10. Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do, 11. Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeong-sangbuk-do, 12. Samjeong-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeong-sangnam-do, 13. Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, 14. Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, 15. Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do, 16. Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do, 17. Wolgyeri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do, 18. Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do, 19. Gujeol-ri, Buk-myeon, Jeongson-Gun, Gangwon-do, 20. Nogok-ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do, 21. Sangmyong Kaieda, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do, 22. Chogok-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do, 23. Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan Metropolitan City, 24. Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-gun, Chungcheongnam-do, 25. Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do, 26. Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do, 27. Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do, 28. Unam-ri, Miwon-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do 29. Dadadong-929, Saha-gu, Busan Metropolitan City, Korea.

재료 및 방법

1. 조사대상지의 위치 및 조사방법

조사대상지는 각 시군에서 땅밀림 산사태라고 판단되는 산사태지를 대상으로 산사태 사진자료를 요청하여 땅밀림 산사태로 판단되는 지역에 대하여 현장조사를 실시하였다. 땅밀림 산사태의 일반적인 특성(Varnes, 1984; Woo, 1997; Jau et al., 2000)과 모양, 방위, 형태, 경사 등 입지특성을 조사하였다. 또한 산사태지의 지형적 특성 및 발생정후를 파악하기 위하여 지형도(1:25,000, 1:50,000)를 바탕으로 현지조사를 통해 부동지, 활락애, 균열, 요지, 용기시대, 단애 등의 위치, 방향, 경사, 규모 및 구조물의 파괴사태, 수목의 이상 성장 현상 등을 조사하였다. 아울러 암반의 공학적인 성질에 영향을 미치는 절리의 성질 중에서 중요한 요소인 절리방향, 절리간격, 절리 굴곡, 절리면 강도, 절리 틈새, 절리 충전물질, 절리면 투수, 절리 종류 수, 암피 크기

등을 추가로 조사하였다. 절리의 주향과 경사는 현장에서 클리노미터를 이용하여 절리방향을 조사하였는데, 주향은 절리면 상에서 존재하는 수평선의 방향, 경사는 절리면의 최대 경사각, 경사/경사방향은 수평에서 기울어진 절리면에 있는 가장 급한 선의 경사와 정북으로부터 시계방향으로 측정된 경사방향으로 표시 조사하였다. 지질은 1:500,000 지질도를 이용하여 확인하였으며, 지질적인 땅밀림 산사태를 구분하였다. 또한 땅밀림 산사태 발생면적 및 발생원인을 주변 지형과 토지이용 등을 현장에서 조사하여 분석하였다. 이를 통해 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 총 29개소로 그 위치는 Figure 1과 같다.

결과 및 고찰

1. 땅밀림 산사태의 지질적 유형 구분

땅밀림 산사태의 지질적 원인은 대단히 중요한데, 이는

Table 1. Landslide of geological features type.

Site	Bedrock	Type of landslide
1. Jangu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	Quartzo schist	Colluvium landslide
2. Sindae-ri, Munui-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do	Schist	Clay soil landslide
3. Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	Andesite Rhyolite	Weathered rock landslide
4. Sinjindo-ri, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	Schist, Limestone	Colluvium landslide
5. Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Sandstone, Shale	Colluvium landslide
6. Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Sandstone	Colluvium landslide
7. Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	Metamorphic rocks (Pophyroblastic gneiss)	Colluvium landslide
8. Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	Granite	Bedrock landslide
9. Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon metropolitan City	Schist	Colluvium landslide
10. Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	Great limestone	Colluvium landslide
11. Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	Mudstone, Shale, Conglomerate	Colluvium landslide
12. Samjeong-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	Migmatitic gneiss	Colluvium landslide
13. Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Tertiary shales	Colluvium landslide
14. Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Tertiary mudstones	Colluvium landslide
15. Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Breccia bearing andesite	Colluvium landslide
16. Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	Igneous rocks (Masanite, Felsite)	Colluvium landslide
17. Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Sandstone, Shale	Colluvium landslide
18. Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Sandstone, Shale	Colluvium landslide
19. Gujeol-ri, Buk-myeon, Jeongson-Gun, Gangwon-do	Middle Pyongan Formation (Coal bearing formation, Sandstone, Shale)	Colluvium landslide
20. Nogok-ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	Leucocratic granite (Garnet bearing muscovite granite gneiss)	Colluvium landslide
21. Sangmyong Kaieda, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Mica schist	Clay soil landslide
22. Chogok-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	Leucocratic granite (Granitic gneiss)	Colluvium landslide
23. Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan Metropolitan City	Sandstone, Shale	Colluvium landslide
24. Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-gun, Chungcheongnam-do	Granitic gneiss	Colluvium landslide
25. Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	Sandstone, Shale, Mudstone	Weathered rock landslide
26. Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	Mica schist	Colluvium landslide
27. Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	Banded gneiss	Clay soil landslide
28. Unam-ri, Miwon-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do	Phyllite	Bedrock landslide
29. Dadadong-929, Saha-gu, Busan Metropolitan City	Sandstone, Shale	Colluvium landslide

땅밀림 산사태를 유발하는 원인이 되기 때문이다(Woo, 1992; Jau et al., 2000). 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 총 29개소로 지질은 퇴적변성암규암관입화강암 지역, 규암천매암류화강암류 지역, 안산암유문암 혼재지역, 석회암규암편암 혼재지역, 퇴적암(사암, 셰일 혼재) 지역, 퇴적암(사암) 지역, 변성암류 지역, 미그마싸이트질편마암 지역, 퇴적암(사암, 심성암류 혼재) 지역, 함각력안산암류 지역, 화성암류(마산암, 규장반암 등) 지역, 화강암 지역, 편암류 지역, 대석회암통 지역, 이암 지역, 우백질화강암 지역, 운모편암지역, 화강암질편마암지역, 호상편마암지역, 천매암지역 등으로 나누어지는 것으로 분석되었다.

특히 과거 황폐지가 많았던 우리나라는 산지의 토심이 일본에 비하여 얇았기 때문에 땅밀림 현상은 규모가 작고 그 빈도도 적었다. 따라서 땅밀림 현상이 발생하였다 하더라도 산사태로 취급되어 복구되어 왔기 때문에 산사태와 구분되어 조사 연구된 경우는 많지 않다(Woo et al., 1996a; 1996b). 그러나 황폐지가 복구되어 점차 토심이 깊게 형성되어 가고 있고, 토지의 이용도가 증가됨에 따라 많은 산지가 개발되고 있는 과정에서 발생하는 산지훼손에 의하여 현재에 이르러서는 땅밀림 현상이 자주 발생되고 있고, 증가추세에 있다.

총 29개 조사대상지에 대하여 지질에 의한 구분(토괴의 질)으로 땅밀림 산사태를 구분하였는데(Table 1), 암반 땅밀림, 풍화암 땅밀림, 붕적토 땅밀림, 점질토 땅밀림 등 4개로 구분하였다(Varnes, 1984; Jau et al., 2000). 즉, 현장 조사결과 땅밀림 발생지 중 암반 땅밀림지 2개소(6.9%), 풍화암 땅밀림지 2개소(6.9%), 붕적토 땅밀림지가 22개소(75.9%), 점질토 땅밀림지가 3개소(10.3%)로 붕적토 땅밀림지가 가장 많았다. 즉, 땅밀림의 유형은 이동토괴의 성

질(지질)에 의하여 구분하는 것이 가장 간편하고 이해하기가 용이하다. 땅밀림의 발생형태와 위치에 따라 이동토괴의 성질(지질)이 다르고, 진행 중인 땅밀림 지역에서는 이동토괴가 암석인지 붕적토 또는 점질토인지 구분하기가 어려울 경우가 많다. 그러나 암석의 종류와 풍화의 정도에 따라서 이동토괴의 지질(암반, 풍화암, 붕적토, 점질토 등)을 판단할 수 있으며, 땅밀림 발생지역의 위치(선단부, 중부, 말단부)에 따라 다를 경우도 있으나 가장 많은 토괴의 지질은 그 지역의 땅밀림 유형으로 구분하는 것이 타당하다고 판단된다(Jau et al., 2000).



Figure 2. Bedrock landslide. (1980. Unam-ri, Miwon-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do)

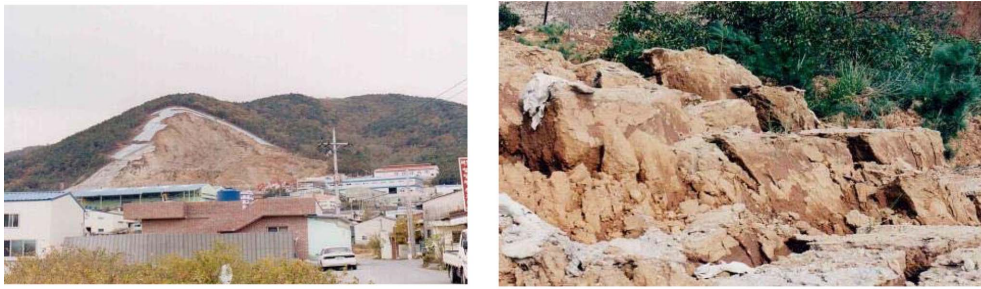


(a) upper area



(b) middle area

Figure 3. Weathered rock landslide. (1998. Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do)



(a) All round area (b) inside area

Figure 4. Colluvium landslide.
(2002. Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do)



(a) upper area (b) middle area (c) down area

Figure 5. Clay soil landslide.
(1999. Chogok-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do)

즉, 29개 땅밀림 산사태지 중 지질적으로 구분된 땅밀림 산사태의 대표적인 유형은 Figure 2~5와 같다. Figure 2는 암반 땅밀림지이며, 이 지역은 천매암지대로 암석이 경암으로 절리가 발달되어 있고, 절리 사이에는 점토층이 충전되어 있어 지하수에 의하여 이 점토층이 윤회제 역할을 하여 땅밀림 현상이 발생하였다. 특히 썰기형 절리는 활동면의 마찰력을 최소화 하므로 용이하게 땅밀림이 발생하게 되는 것으로 나타났다(Jau et al., 2000). 풍화암 땅밀림지는 Figure 3과 같고, 이 지역은 강풍화암의 사암 및 혈암지대로 땅밀림 현상이 진행 중인 지역으로 판단된다. 붕적포 땅밀림지는 Figure 4와 같고, 함각력안산암 안산암질 용회암 분포지로 땅밀림 깊이가 최대 25 m에 이르고 있고, 낮은 지역은 3~5 m로 점토분이 많은 강풍화암이 밀려 내리고 있는 것으로 나타났다. 또한 점질토 땅밀림지는 Figure 5와 같고, 이 지역은 우백질화강암 지대이나 강한 변성작용을 받아 변성암에 해당된다. 땅밀림 현상이 진행 중으로 하단부는 도로변 옹벽에 막혀 전도파괴 현상을 나타내었다.

총 29개 땅밀림 산사태지의 암석 성인별 모암은 화성암류에서 화강암, 안산암, 유문암, 인산암류와 마산암 등이 4개소(13.8%)이었으며, 퇴적암류에서는 석회암, 사암 및 혈암, 사암, 이암 등이 12개소(41.4%)이었다. 변성암류에서는 편암, 천매암, 마그마싸이트질편마암, 석영편암, 반

상변정질편마암, 우백질화강암, 운모편암, 호상편마암, 화강암질편마암 등이 13개소(44.8%)로 변성암 지대에서 가장 많이 발생하였다. 즉, 화성암 중 화강암은 심성암으로 암석이 경암이므로 암반 땅밀림이 발생하였으며, 안산암과 유문암은 화산암으로 풍화암 땅밀림이 발생하였다. 퇴적암에서는 사암, 이암, 혈암, 석회암 등으로 미고결층이거나 반고결층 또는 강풍화암층이며, 변성암에서는 대부분이 편암류와 편마암류로 풍화대가 깊게 형성된 지역으로 풍화토양은 점토분이 많아서 땅밀림 현상이 용이하게 발생한다(Jau et al., 2000; Park et al., 2003a). 단, 경암인 천매암 지대에서는 암반 땅밀림이 발생하였다. 이들 지역의 지질은 시대적으로 구분하면 포항 지역의 이암과 혈암이 제3기층이며, 그 외 지역은 모두 중고생대의 암석들이었다.

2) 발생 원인별 유형

우리나라 땅밀림 지역의 발생규모를 보면 0.2~7.0 ha로 나타나고 있어 일본의 1~100 ha에 비하여 상당히 소규모로 발생되었다. 또한 땅밀림 산사태를 지역적으로 나누어 보면, 총 29개소 중 경기도 2개소, 인천광역시 1개소, 충청남도 3개소, 충청북도 3개소, 경상남도 9개소, 경상북도 4개소, 전라북도 1개소, 부산광역시 2개소로 경상남도가 9개소(31%)로 가장 많은 땅밀림 산사태가 발생하였다. 그

Table 2. Type of occurrences cause of landslide.

No.	Site	Slope(°)	Forest type	Cause occurrence	Additional cause
1	Janggu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	30/28~32	Mixture	Quarrying to cut slope	Heavy rain
2	Sindae-ri, Munui-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do	30/15~45	Mixture	Quarrying to cut slope	Heavy rain
3	Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	34/23~45	Coniferous forest	Factory construction to cut slope	Heavy rain
4	Sinjindo-ri, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	28/20~35	Mixture	Factory construction to cut slope	Heavy rain
5	Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	24/20~28	Coniferous forest	Harvesting to land use	Heavy rain
6	Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	28/20~35	Mixture	Nature phenomenon	Heavy rain to typhoon
7	Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	35/25~45	Mixture	Load construction to cut slope	Heavy rain
8	Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	45/25~65	Mixture	Quarrying to cut slope	Blasting, vibration
9	Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon metropolitan City	25/20~30	Broad leaved forest	House construction to cut slope	Heavy rain to typhoon
10	Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	31/25~37	Mixture	Caving to stream erosion	Heavy rain
11	Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	22/18~25	Bamboo forest	Nature phenomenon	Heavy rain
12	Samjeong-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	16/11~20	Bamboo forest	Nature phenomenon	Heavy rain
13	Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	30/25~35	Coniferous forest	Weathering to geological instability in mudstone (Nature phenomenon)	Heavy rain
14	Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	28/20~35	Coniferous forest	Weathering to geological instability in mudstone (Nature phenomenon)	Heavy rain and fire
15	Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	33/25~40	Mixture	Factory construction to cut slope	Heavy rain
16	Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	28/20~35	Broad leaved forest	Factory construction to cut slope	Heavy rain
17	Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	32/25~39	Broad leaved forest	Caving to stream erosion	Heavy rain to typhoon
18	Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	25/20~30	Coniferous forest	Reservoir construction to cut slope	Heavy rain
19	Gujeol-ri, Buk-myeon, Jeongson-Gun, Gangwon-do	31/21~40	Coniferous forest	Engineering work to cut slope	Heavy rain
20	Nogok-ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	28/18~38	Coniferous forest	Engineering work to cut slope	Heavy rain
21	Sangmyong Kaieda, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	30/20~39	Coniferous forest	Engineering work to cut slope	Heavy rain
22	Chogok-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	29/20~38	Coniferous forest	Engineering work to cut slope	Heavy rain
23	Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan Metropolitan City	28/20~35	Broad leaved forest	Nature phenomenon	Heavy rain
24	Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-gun, Chungcheongnam-do	31/20~42	Mixture	Engineering work to cut slope	Heavy rain
25	Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	28/20~35	Mixture	Engineering work to cut slope	Heavy rain
26	Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	27/18~35	Mixture	Engineering work to cut slope	Heavy rain
27	Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	30/22~38	Mixture	Engineering work to cut slope	Heavy rain
28	Unam-ri, Miwon-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do	29/19~38	Mixture	Engineering work to cut slope	Heavy rain
29	Dadadong-929, Saha-gu, Busan Metropolitan City	23/20~30	Coniferous forest	House construction to cut slope	Heavy rain

다음으로는 경상북도가 4개소(약 14%)로 나타났고, 충청북도와 충청남도가 각각 3개소(약 10%)이었으며, 나머지 경기도와 부산광역시 2개소(7%), 인천광역시, 전라북도는 각각 1개소이었다. 즉, 경상남도에서 땅밀림 산사태가 가장 많이 나타난 것은 이 지역이 지질적으로 대부분이 퇴적암과 변성암, 화성암류 등의 풍화가 심한 완전풍화지역이었으며, 점질토를 많이 포함하고 있는 봉적층이 많은 지역이었기 때문인 것으로 사료된다(Park et al., 2003a; 2003b; 2005a; 2005b). 특히 경상남도에서도 사천시 3개소이었으며, 합천군이 2개소, 김해시가 2개소, 양산시 1개소, 하동군이 1개소로 나타나 사천시와 합천군, 김해시의 토질이 땅밀림 산사태에 열악한 지역으로 분석되었다.

아울러 발생 원인별로 땅밀림 산사태를 유형 구분한 결과, 직접적인 원인으로는 채석 및 토사채취에 의한 산각의 절취, 전원주택, 공장 및 도로건설을 위한 산각의 절취, 산지 상부의 발경작, 저수지 축설을 위한 산지절취 등의 인위적 원인은 우리나라의 땅밀림 산사태지 총 29개소 중 21개소(약 72.4%)로 나타났으며, 하천 및 계곡의 포락 등에 의한 벼랑침식에 의한 지역이 2개소(약 6.9%), 인위적 개발에 의한 땅밀림 산사태가 아니라 지질적이거나 자연적인 현상에 의한 땅밀림 산사태지는 6개소(약 20.7%)로 인위적인 개발에 의한 원인이 가장 높은 것으로 분석되었다. 즉, 공장 및 주택, 토사 및 토석 채취, 주택지 개발 등으로 인한 산지 산각부의 절취로 인하여 산지안정성의 파괴 및 상부 산지의 토압에 의한 안정성의 파괴 등에 의해 땅밀림 산사태가 발생하였으며, 간접적인 원인으로는 이러한 직접적인 원인에 더하여 토사, 토석채취를 위한 발파, 진동 및 태풍과 집중호우에 의하여 산지사면이 안정성을 잃었기 때문에(Park et al., 2003a; 2005a) 발생한 것으로 나타났다.

땅밀림 산사태지의 지황을 분석해 본 결과, 평균경사도는 16~45의 범위를 나타내었는데, 산지경사가 가장 높은 지역은 65로 급경사도 나타났다. 즉, 땅밀림 산사태 발생지의 평균경사도는 약 28.9를 나타내 비교적 급경사에서 땅밀림 산사태가 발생하였다. 이와 같은 결과는 Ma et al.(2008), Kim et al.(2011), Min et al.(2014), Lee et al.(2014) 등과 같이 산사태가 발생하는 산지경사도는 급경사에서 발생하고 있다는 연구결과와 유사한 결과였다.

2. 땅밀림 산사태 발생이 용이한 지역

총 29개 대상지에 대하여 인위적이거나 자연적인 발생 원인을 제외하고 지질적으로나 지형적으로 땅밀림 산사태가 발생하기 용이한 지역에 대하여 분류하여 분석한 결과, 대규모 돌너덜 지대의 산각부 절취로 인하여 발생된 지역은 전체 조사지 중 2개소로 나타났다. 즉, 산지 사면에 형성된 대규모 돌너덜 지대는 토사와 자갈을 포함한

대형 전석층의 퇴적이 있는 후, 장기간에 걸친 침식과 토사유출로 인하여 전석간의 토양물질이 유실되어 형성된 것으로 추정되며, 이러한 돌너덜지대의 형성으로 인하여 지표는 더욱 큰 투수성을 가지게 되고 우수의 지중침투를 조장하여 산사태의 발생을 촉발시키는 원인이 되기 때문인 것으로 사료된다(Woo et al., 2003a; Park et al., 2005a; 2005b). 특히 이러한 지대의 하부를 절취하거나 훼손함으로써 상부 돌 너덜의 균형을 잃게 한다면 돌 너덜의 중력 방향의 미끄러짐뿐만 아니라 이러한 미끄러짐을 유발하는 지하수의 작용이 활발하게 작용하여 땅밀림 산사태 발생이 더욱 심화될 수 있다.

현장 조사 결과, 충청북도 단양군 영춘면 휴석동 지역은 땅밀림 산사태지 하부에 하천 및 계류가 통과하는 지역으로 이와 같은 지형적인 위치에서는 하천 및 계류에 의한 애추지역의 포락 및 침식상황이 산사태의 발생을 유발시키는 원인이 된다. 즉, 산지사면과 하천 및 계류가 만나는 하부 산각은 암반이 존재하지 않고 연약한 봉적층으로 이루어져 있기 때문에 홍수시 하천 및 계류의 영향으로 인한 절벽부의 포락침식을 가중시켜 산사태의 이동을 가속시킨다. 이러한 포락이 발생하는 벼랑에서는 하천 및 계류의 홍수시 강물에 의해 계안침식이 발생되고, 이렇게 발생된 포락과 더불어 포락벼랑의 사면에서 집중호우시 발생하는 대량의 용수로 인한 지하침식이 땅밀림 산사태를 촉발, 진행을 빠르게 일으키는 원인이 된다(Woo, 1997; Woo et al., 1996a)고 판단된다.

토사 및 토석채취지의 상단부 비탈면의 절취로 인한 땅밀림 산사태 발생지는 총 조사지 중 3개소에서 발생되었는데, 특히 토사 및 토석채취지는 뿌레카, 밭과 등으로 인한 균열, 충격, 진동이 발생함으로써 상부 산지의 안정성에 부의 영향을 미치므로 더욱 안정성에 훼손이 발생된다(Yoo et al., 2010; Min et al., 2013). 따라서 이러한 지역은 절취되는 산지의 최상단부로부터 상부 산지의 인장균열 가능성, 절리방향, 봉적토의 유무와 양, 나무의 이상성장 등을 확인하고 땅밀림 산사태 가능성에 대해서 충분히 검토하고, 작업을 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

땅밀림 산사태는 지질과 매우 밀접한 관계를 가지는데, 현장 조사 결과, 규암, 화강암, 안산암, 석회암, 사암, 셰일, 편암, 이암, 편마암, 변성암 등 완전풍화가 된 지역에 풍화토 및 봉적토가 쌓여 있는 경우 땅밀림 산사태가 많이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지 중 전체 조사지에서 이러한 특징을 가지는 곳이 대부분으로 각 암질로 구분하면, 화강암지역 1개소, 우백질화강암지역 1개소, 화강암질편마암지역 1개소, 편암류지역 5개소, 편암 + 석회암지역 1개소, 대석회암류 1개소, 안산암 + 유문암지역 1개소, 사암 + 셰일지역 1개소, 사암지역 1개소, 미그마싸이트질편마암지역 1개소, 변

성암류 1개소, 사암 + 혈암류지역 3개소, 함각력안산암류 지역 1개소, 화성암류지역 1개소, 이암 + 혈암 + 역암지역 1개소, 제3기층(혈암, 이암류)지역 2개소, 중부평안층군 1개소, 다대포층, 단층지대지역 1개소, 화강암질편마암 1개소, 낙동층군 1개소, 호상편마암지역 1개소, 천매암지역 1개소로 이들 지질을 지닌 지역에서 땅밀림 산사태가 발생하였다. 즉, 이들 지질을 지닌 지역에 대하여 땅밀림 산사태에 대한 대비를 강구할 필요가 있으며, 특히 이들 지질을 지닌 지역이 완전풍화가 이루어졌거나 여기에 붕적토가 쌓여 있는 경우 땅밀림 산사태가 발생하는 것으로 나타났다.

땅밀림 산사태는 특성상 지속적이며 재발성이 있다. 경상남도 김해시 주촌면 내삼농공단지의 경우 땅밀림 산사태는 2002년 8월 10일에 발생하였는데, 이 지역에서는 그 이전에 4차례에 걸쳐 땅밀림 산사태가 발생하였으며, 그로 인해 복구한 지역이 무너짐으로 인해 피해가 막대하게 커졌다(Park et al., 2003a; 2003b; 2004). 즉, 땅밀림 산사태지 전반에 대한 관찰, 지하수 용출, 인장균열 등 발생 유무, 복구공법적용지의 균열 및 이상 현상 등 전반적인 조사 및 관찰이 필요하다. 아울러 한 번 발생한 땅밀림 산사태지에 대해서는 복구공사가 모두 끝났다고 하여도 주변 지형 및 현지에 대하여 지속적으로 관찰하고 이상 유무를 모니터링 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

특히 인장균열 및 단차 발생이 미소하게 나타난 지역의 집중호우시에는 땅밀림 산사태가 집중적으로 발생된다. 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태는 모두 집중호우 및 태풍 등의 발생 후 나타난 것으로 땅밀림 산사태가 노출된 것은 이러한 집중호우 및 태풍 등에 의한 연속강우 및 단위강우량이 증가한 시점이다(Park, 2005a; Ham and Hwang, 2014). 특히 조사 결과 땅밀림 산사태지는 대부분 인위적인 절취 즉, 주택 건설, 공장부지 조성, 토사토석채취를 위한 비탈면 산각부의 절취지, 붕적토가 쌓여 있는 점질토층의 절취 등 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 지질적이거나 자연적으로 발생한 지역 6개소를 제외한 모두가 이러한 인위적인 산각부의 절취지로 나타났는데, 이러한 무리한 개발은 기 땅밀림 산사태가 점진적으로 나타나고 있는 지역의 산각부 절취가 근본원인이 되고 있다. 따라서 주택 건설, 토사토석 채취, 공장부지 조성을 위한 산각부 절취 등 산지 산각부의 절취시에는 상부 비탈면의 산지 지형, 땅밀림 산사태 발생 흔적 즉, 인장균열의 유무, 단차 발생 징후, 수목의 이상 성장 등 다양한 측면에서의 땅밀림 산사태 발생 및 가능성에 따른 검토가 필요하다. 아울러 현장조사결과 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 모두가 인장균열지 및 단차 발생지의 하방에서 지하수가 용출되고 있는 것으로 나타났다. 이는 땅밀림 산사태가 지하수가 원인이 되고 있는 것과 아울러

집중호우 및 연속강우 이후 산지비탈면에서 지하수가 용출되고 있는데(Park et al., 2005a; Oh and Park, 2014), 이는 쌓인 붕적층과 완전풍화된 지질적 요인 사이에 지하수가 용출되는 지중유로가 형성되어 있기 때문으로 강우 후 산지비탈면에서 지하수가 용출되면 조속히 지하수를 배제하는 조치가 필요하다.

현장조사 결과, 1970년대 후반기까지 집중적으로 사방공사를 시행한 포항영일지역은 지질이 제3기 포항분지의 이암이 분포하는 지역이거나 제3기 포항분지의 이암이 분포하는 지역과 남쪽 인접 지역에는 응회암 및 안산암 등의 화산암이 분포하는 곳으로 이 지역에 분포하는 이암은 지표에 노출되면 2~5 cm 내외의 작은 조각으로 분리되어 지표면에 떨어지는 현상을 보인다. 또한 이 지역은 활동면(sliding plane)이 깊은 땅밀림 보다 우기시 급격한 강우가 내릴 때 지표의 암편 조각을 포함한 암편들이 지표유출수에 실려 낮은 곳으로 밀려 올 가능성이 있고(Yoo and Kim, 2010; Kim et al., 2011; Cha, 2014), 이러한 현상으로 인해 땅밀림 산사태가 발생할 가능성이 있을 것으로 사료된다. 즉, 과거 사방녹화공사 후 지표층은 녹화 및 토양화과정을 거치면서 얇게 토양이 덮고 있으나 하부층은 이암이 지속적으로 풍화되어 암편화 되어 있어 집중호우시 토양층이 밀려 내려오는 붕적층 땅밀림 및 이암층의 붕괴 등으로 이어지는 땅밀림 산사태가 우려되므로 이에 대한 지속적인 연구 및 대책을 강구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론

이 연구는 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태의 발생 원인을 파악하여 이를 방지하기 위한 관리대책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 총 29개소로 지질에 의해 구분(토괴의 질)한 결과, 암반 땅밀림, 풍화암 땅밀림, 붕적토 땅밀림, 점질토 땅밀림 등 4개로 구분하였다. 즉, 땅밀림 발생지 중 암반 땅밀림지 2개소(6.9%), 풍화암 땅밀림지 2개소(6.9%), 붕적토 땅밀림지가 22개소(75.9%), 점질토 땅밀림지가 3개소(10.3%)로 붕적토 땅밀림지가 가장 많았다.

총 29개 땅밀림 산사태지의 암석 성인별 모암은 ① 화성암류에서 화강암, 안산암, 유문암, 안산암류와 마산암 등이 4개소(13.8%)이었으며, ② 퇴적암류에서는 석회암, 사암 및 혈암, 사암, 이암 등이 12개소(44.8%)이었다. ③ 변성암류에서는 편암, 천매암, 미그마사이트질편마암, 석영편암, 반상변정질편마암, 우백질화강암, 운모편암, 호상편마암, 화강암질편마암 등이 13개소(44.8%)로 변성암 지대에서 가장 많이 발생하였다.

총 29개 대상지에 대하여 인위적이거나 자연적인 발생 원인을 제외하고 지질적으로나 지형적으로 땅밀림 산사태가 발생하기 용이한 지역에 대하여 분류하여 분석한 결과, 대규모 돌너덜 지대의 산각부 절취로 인하여 발생된 지역은 전체 조사지 중 2개소로 나타났다. 또한 충청북도 단양군 영춘면 휴석동 지역은 땅밀림 산사태지 하부에 하천 및 계류가 통과하는 지역으로 이와 같은 지형적인 위치에서는 하천 및 계류에 의한 애추지역의 포락 및 침식 상황이 산사태의 발생을 유발시키는 원인이 된다. 토사 및 토석채취지의 상단부 비탈면의 절취로 인한 땅밀림 산사태 발생지는 총 조사지 중 3개소에서 발생되었는데, 특히 토사 및 토석채취지는 뿌레카, 밭과 등으로 인한 균열, 충격, 진동이 발생함으로써 상부 산지의 안정성에 부의 영향을 미치므로 더욱 안정성에 훼손이 발생된다. 따라서 이러한 지역은 절취되는 산지의 최상단부로부터 상부 산지의 인장균열 가능성, 절리방향, 붕적토의 유무와 양, 나무의 이상성장 등을 확인하고 땅밀림 산사태 가능성에 대해서 충분히 검토하고, 작업을 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

땅밀림 산사태는 지질과 매우 밀접한 관계를 가지는데, 현장 조사 결과, 규암, 화강암, 안산암, 석회암, 사암, 셰일, 편암, 이암, 편마암, 변성암 등 완전풍화가 된 지역에 풍화토 및 붕적토가 쌓여 있는 경우 땅밀림 산사태가 많이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 이들 지질을 지닌 지역에 대하여 땅밀림 산사태에 대한 대비를 강구할 필요가 있으며, 특히 이들 지질을 지닌 지역이 완전풍화가 이루어졌거나 여기에 붕적토가 쌓여 있는 경우 땅밀림 산사태가 발생하는 것으로 나타났다. 특히 인장균열 및 단차 발생이 미소하게 나타난 지역의 집중호우시에는 땅밀림 산사태가 집중적으로 발생된 것으로 나타났다. 특히 땅밀림 산사태지는 대부분 인위적인 절취 즉, 주택 건설, 공장부지 조성, 토사토석채취를 위한 비탈면 산각부의 절취지, 붕적토가 쌓여 있는 절집토층의 절취 등 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지는 지질적이거나 자연적으로 발생한 지역 6개소를 제외한 모두가 이러한 인위적인 산각부의 절취지로 나타났는데, 이러한 무리한 개발은 기 땅밀림 산사태가 점진적으로 나타나고 있는 지역의 산각부 절취가 근본원인이 되고 있다. 현장조사 결과, 1970년대 후반기까지 집중적으로 사방공사를 시행한 포항영일지역은 지질이 제3기 포항분지의 이암이 분포하는 지역이거나 제3기 포항분지의 이암이 분포하는 지역과 남쪽 인접 지역에는 응회암 및 안산암 등의 화산암이 분포하는 곳으로 이러한 지역은 집중호우시 토양층이 밀려 내려오는 붕적층 땅밀림 및 이암층의 붕괴 등으로 이어지는 땅밀림 산사태가 우려되므로 이에 대한 지속적인 연구 및 대책을 강구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

- Cha, A.R. 2014. A Comparison on the Identification of Landslide Hazard using Geomorphological Characteristics. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 15(6): 67-73.
- Ham, D.H. and Hwang, S.h. 2014. Review of Landslide Forecast Standard Suitability by Analysing Landslide-inducing Rainfall. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 3(14): 299-310.
- 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 Forestry society* 89(3): 323-334.
- Kim, K.H., Junh, H.R., Park, J.H., and Ma, H.S. 2011. Analysis on Rainfall and Geographical Characteristics of Landslides in Gyeongnam Province. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 14(2): 33-45.
- Lee, K.C., Jang, Y.G., Song, J.H., and Kang, I.J. 2014. Construction and Utilization Plan of Steep Slope and Underground Spatial Information DB for Steep Slope Disaster Prevention. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 15(7): 13-21.
- Ma, H.S., Jeong, W.O., and Park, J.W. 2008. Development of Prediction Technique of Landslide Hazard Area in Korea National Park. *Journal of Korean foRestry Society* 97(3): 326-331.
- Min, B.K., Kang, I.J., Pack, D.H., and Kim, B.W. 2013. The Selection of Landslide Risk Area Using AHP and Geomorphic Element. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 31(6-1): 431-437.
- Park, J.H., Choi, K., Lee, S.G., Ma, H.S., Lee, J.H., and Woo, B.M. 2003a. Articles : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Nasamri (1) -With a Special Reference on Geo-Topographical Characteristics-. *Journal of Korean Forestry Society* 92(3): 246-253.
- Park, J.H., Choi, K., Ma, H.S., Lee, J.H., and Woo, B.M. 2003b. Articles : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Nasamri (2) -With a Special Reference on Cause of Landslide-. *Journal of Korean Forestry Society* 92(6): 526-535.
- Park, J.H., Lee, S.G., Choi, K., Ma, H.S., Lee, J.H., and Woo, B.M. 2004. Articles : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Naesamri(3) - With a Special Reference on Stability Analysis -. *Journal of Korean Forestry Society* 93(3): 188-197.
- Park, J.H., Choi, K., Bae, J.S., Ma, H.S., and Lee, J.H. 2005a. Article : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Maeri (1) - With a Special Reference on Geo-Topographical Characteristics -. *Journal of Korean Forestry Society* 94(3): 129-134.
- Park, J.H., Choi, K., Bae, J.S., Ma, H.S., and Lee, J.H.

- 2005b. Article : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Maeri (2) -With a Special Reference on Cause of Landslide-. Journal of Korean Forestry Society 94(4): 243-251.
- Park, J.H., Choi, K., Bae, J.S., Ma, H.S., Lee, J.H., and Youn, H.J. 2005c. Article : Analysis on the Characteristics of the Landslide in Maeri (3) -With a Special Reference on Slope Stability Analysis-. Journal of Korean Forestry Society 94(6): 377-386.
- Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation : A review of principle and practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. pp. 9-59.
- Woo, B.M. 1997. Erosion Control Engineering. Hyang-moon Corp. Seoul. pp. 310.
- Woo, B.M., Park, J.H., Choi, H.T., Jeon, G.S., and Kim, K.H. 1996a. Articles : A Study on the Characteristics of the Landslide in Hyuseok - dong (I) - Topographical Characteristics and Surface Displacement -. Journal of Korean Forestry Society 84(4): 565-570.
- Woo, B.M., Park, J.H., Choi, H.T., Jeon, G.S., and Kim, K.H. 1996b. Articles : A Study on the Characteristics of the Landslide in Hyuseok - dong (I) - Geological and Hydrological Characteristics -. Journal of Korean Forestry Society 85(4): 571-576.
- Yoo, C.S. and Kim, K.W. 2010. Analysis on Characteristics of Sediment Produce by Landslide in a Basin 2. Rainfall Event-based Analysis. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 10(3): 147-154.

(Received: February 2, 2015; Accepted: March 27, 2015)