

GIS를 이용한 땅밀림지 특성 분석: 산지경사 및 산사태위험등급을 중심으로

박재현^{1*} · 서정일² · 이창우³

¹경남과학기술대학교 산림자원학과, ²공주대학교 산림자원학과, ³국립산림과학원 산림방재과

Analysis of GIS for Characteristics on the Slow-Moving Landslide: With a Special Reference on Slope and Grade of Landslide

Jae-Hyeon Park^{1*}, Jung Il Seo² and Changwoo Lee³

¹Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

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

³Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약: 이 연구는 땅밀림위험등급을 구축하기 위하여 수행되었다. 땅밀림지의 평균산지경사는 23.8°(11.8°~37.0°), 땅밀림지 내에서 미세지형지의 평균사면경사는 23.5°(10.7°~41.5°)로 미소한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 땅밀림지 및 땅밀림 재발생지에서 땅밀림지 내 등고선 간격과 땅밀림지 내 미세지형지의 등고선 간격은 5% 수준에서 유의한 결과를 나타내었다. 산사태위험등급에 포함되지 않는 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 1등급이 14개소(약 38.0%), 2등급이 6개소(약 16.0%), 3등급과 4등급이 각각 5개소(약 14.0%), 5등급이 16개소(약 43.0%), 산사태위험지등급 외 지역이 9개소(약 24.0%)이었다. 땅밀림지 중 산사태위험 1~5등급으로 지정되지 않은 면적 비율이 50.0% 이상인 지역은 8개소(약 22.0%), 20.0%~50.0% 이상인 지역은 18개소(약 49.0%), 20.0% 이상인 지역은 26개소(약 70.0%)이었다.

Abstract: This study was carried out to establish basic data for the development of slow-moving landslide hazard classes. Mountain slopes in slow-moving landslide areas ranged from 11.8° to 37.0° with a mean slope of 23.8°. However, the slope inclination of microtopography in slow-moving landslide areas was slightly different, with a mean slope of 23.5° (10.7°~41.5°) compared with the mountain slope. There was a significant difference ($p < 0.05$) between the contour intervals of microtopography and the contour intervals of the slow-moving landslide areas. Among all the slow-moving landslide areas examined, 14 plots (approximately 38.0%) were classified into landslide hazard class I, 6 plots (approximately 16.0%) into landslide hazard class II, 5 plots (approximately 14.0%) into landslide hazard class III and IV, and 16 plots (approximately 43.0%) into landslide hazard class V, whereas 9 plots (approximately 24.0%) fit the no landslide hazard class.

Key words: slow-moving landslide, slow-moving landslide hazard classes, microtopography, landslide hazard class

서론

우리나라에서도 땅밀림 발생이 증가하고 있고(Park, 2016), 이로 인해 땅밀림에 대한 관심도 증대하고 있다. Woo et al.(1996)는 단양 휴석동에서 땅밀림 발생특성을 보고하였

고, Park et al.(2003; 2005)는 땅밀림지의 복구를 위해서는 안정성평가가 중요하다고 하였다. Culling(1963)과 Jau et al.(2000)은 토양 중에 포함되어 있는 모래, 미사와는 다르게 점토입자의 변형이 땅밀림에 영향한다고 하였으며, 토질적 측면에서의 불연속면과 단층과쇄대의 붕괴에 대해서는 Tomio et al.(1990), Park et al.(2003; 2005), Kim (2004)이 보고하였고, 융설이나 토양온도의 영향에 대해서는 Shuji(1978), Auzet and Ambroise(1996)가, 지하수위의 증가 및 간극수압의 급격한 상승으로 인한 토양의 전

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

ORCID

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

단력 감소에 대해서는 Matsukura and Tanaka(1983), Anderson and Richards(1987), Montgomery et al.(1998)이, 각종 개발행위로 인한 원인으로는 Park et al.(2003), National Institute of Forest Science(2017) 등이 보고하였다. Park et al.(2003)과 National Institute of Forest Science(2017)는 각종 개발행위로 인하여 땅밀림이 발현한다고 하였다. 일본의 땅밀림 연구는 오래 되었으나 우리나라는 아직 미약한 수준이다. 이후 경상북도 포항지역에서 발생한 지진으로 인한 땅밀림 발생 이후 관심이 증대하고 있는 실정이다(Park, 2018). 그러나 땅밀림지 내의 미세지형이나 GIS를 이용한 땅밀림지의 특성 등에 대한 연구는 전무한 상태이다. 땅밀림과 같은 산지재해는 그동안 일반적인 산사태재해의 범주에 포함되어 인식되어 왔으며(Choi, 2018), 그로 인해 땅밀림에 대한 개념을 명확하게 정의하지 못한 측면이 있다. Lee et al.(2009; 2011; 2015)는 Random Work Model의 최적 파라미터 추출을 통해 토석류 피해 범위를 분석하거나, Tank Model을 이용해 산지토사재해 경계피난 기준우량을 산정하는 등 토양함수지수를 이용한 국가 산사태 예보체계를 구축하였다. 이를 통해 산사태 위험등급을 1등급에서 5등급까지 구분하여 관리하고 있다. 그러나 땅밀림은 일반적인 산사태와는 발생기작 및 지질, 지형 등 발생특성이 다르므로(Takaya, 2017; Park, 2016) 땅밀림지에 대한 위험등급을 구분할 필요가 대두된다. 따라서 이 연구는 추후 땅밀림위험등급을 산정하기 위한 기초자료를 구축하기 위하여 수행되었으며, GIS를 이용하여 산지재해영향요인인 산지경사 및 땅밀림지 내에 포함되어 있는 기왕의 산사태위험등급지를 비교하여 땅밀림지의 특성을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 연구방법

본 연구는 우리나라에서 발생된 37개소의 땅밀림지를 대상으로 하였다(Figure 1). 이들 땅밀림지에 대하여 2015년 3월부터 2018년 10월까지 현장 조사를 실시한 땅밀림 규모 등 GIS 분석을 위하여 국토지리정보원(National Geographic Information Institute, 2018)에서 제작한 1:5,000 수치지형도를 기반으로 DEM을 작성한 후, 땅밀림 발생구역 및 미세지형지, 지하수 유출수지점, 인장균열 위치를 도면화하는 등 grid 자료로 변화하여 1개 셀의 크기는 10 m x 10 m, GIS 분석 프로그램은 ArcMap10을 이용하여 땅밀림 발생지와 그 지역에 포함되어 있는 과거 땅밀림 등으로 인해 변형이 발생한 미세지형지를 凸상미근형 지형, 凸상대지상 지형, 단구형 凹상대지상 지형, 凹상 완사면

지형, 단구형 凹상대지상 지형(Park et al., 2018)으로 구분하고(Park, 2018), 땅밀림지와 미세지형지의 산지경사, 땅밀림지 내에서 미세지형을 나타내는 지역의 등고선 간격과 미세지형을 제외한 땅밀림지의 등고선 간격을 분석하였다. 땅밀림지의 등고선 분석 시 과거 땅밀림 발생 전의 등고선 간격에 대한 분석을 하는 것도 필요하나 그 자료를 구하기 어려워 이 연구에서는 땅밀림 발생 시점에 대한 지형도의 등고선 간격을 기준으로 분석하였다. 또한 땅밀림지에 포함되어 있는 국립산림과학원에서 평가한 산사태위험등급면적(Woo et al., 2014)을 분석하였다. 얻어진 결과는 spss/pc+를 이용하여 T-test를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 땅밀림지의 산지경사

GIS를 이용하여 조사대상 37개소의 땅밀림지 내 산지사면의 경사를 분석한 결과, 평균경사는 23.8°(11.8°~37.0°)를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 우리나라의 평균적인 산지경사 25°보다(Jeong et al., 2002) 비교적 낮은 경사를 나타내 땅밀림지는 산사태지와 같이 급경사에서보다 평균산지경사가 낮은 곳에서 발생하는 것으로 분석되었다. Ranjan et al.(2008)은 Moriyuki 유역에서 산사태는 산지경사 30°~40°에서 가장 많이 발생한 것으로 땅밀림지 보다 높은 산지경사였으며, Biswajeet와 Lee(2010)는 산사태가 발생할 수 있는 민감도를 측정할 때 사면경사가 가장 높은 가중치가 부여된다고 하였다. 그러나 이러한 평균산지경사는 땅밀림이 발생한 지역과 발생 가능한 지역을 전체적으로 조사한 부분이 포함된 것으로 실제 땅밀림이 발생하여 무너진 지역은 이보다 높은 산지경사를 나타내었으며, 인장균열에 영향을 주는 범위까지 포함하면 산지 능선부 또는 산지경사의 변곡점 부근까지 연결되므로 평균산지경사는 땅밀림이 발생한 지역보다 낮아지거나 땅밀림 발생으로 단차가 형성되면 산지경사가 낮아지는 것도 현실적인 조사에서는 영향을 미친다고 생각된다. Woo(1992)는 우리나라에서 땅밀림이 발생하는 지역을 5°~20°의 완경사면 특히 땅밀림지 상부에 대지상의 지형을 갖는 경우에 많이 발생한다고 하였는데, 실제 우리나라에서 발생된 땅밀림지의 평균산지경사는 Woo(1992)가 보고한 결과보다 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Keijourou(1964)가 보고한, 땅밀림 산사태는 비탈면 경사가 25°~35°정도인 집수비탈면에서 발생율이 높고, 지하수가 규칙적인 배열을 하는 경우 발생 위험도가 증가된다고 한 연구결과와 다소 경사가 낮았는데, 이는 일본에서의 땅밀림지와 우리나라에서의 땅밀림지가 다소



Figure 1. Location map of the study site (Korea Institute of Geoscience And Mineral Resources, 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 Iri, 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, Pyeonsa-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.

다른 산지경사를 가지는 결과에 기인한다고 판단된다.
GIS 분석 결과(Table 1), 우리나라에서 발생한 땅밀림지의

평균최소경사는 $8.5^{\circ}(0.5^{\circ}\sim 20.7^{\circ})$, 평균최대경사는 $39.3^{\circ}(18.2^{\circ}\sim 63.9^{\circ})$ 이었다.

Table 2. Fine topographical slope angle in the slow – moving landslide.

No.	The slow – moving landslide location	Average angle (°)	Minimum angle (°)	Maximum angle (°)
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	14.08	-	18.15
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	26.67	2.73	53.34
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	16.39	8.46	28.10
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	32.66	-	52.28
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	29.49	15.68	52.24
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	18.32	17.99	21.00
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	23.39	-	37.60
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	35.01	18.56	57.77
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	30.37	6.02	49.38
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	25.18	-	43.54
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	21.16	5.44	39.40
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	29.05	3.30	43.76
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	23.90	2.02	41.89
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	16.71	2.21	35.02
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	22.26	0.92	34.80
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	17.58	9.39	26.45
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	23.36	-	40.71
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	22.94	10.18	39.78
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	20.29	-	42.29
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	32.64	0.52	63.90
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	20.79	10.44	29.18
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	17.25	1.62	27.94
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	22.60	10.94	33.10
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	19.25	3.97	41.44
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	13.58	0.48	40.61
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	23.87	-	36.56
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	13.70	-	25.55
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	25.13	0.80	36.28
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	29.95	1.39	42.71
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	29.18	14.17	39.48
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	24.45	14.88	37.13
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	29.64	19.35	52.73
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	24.62	-	37.69
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	11.80	2.32	21.31
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	31.33	20.65	42.43
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	23.76	6.06	41.22
36	san96-9 Jangrinm-dong, Saha-gu, Busan	37.03	18.34	52.49
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	26.50	16.56	35.35
	Mean	23.8(11.8 – 37.0)	8.5(0.5 – 20.7)	39.3(18.2 – 63.9)

우리나라에서 발생한 땅밀림지 내에서 미세지형지의 사면경사를 분석한 결과(Table 2), 미세지형지의 평균사면경사는 23.5°(10.7°~41.5°), 평균최소사면경사는 16.6°(4.6°~38.9°)이었으며, 평균최대사면경사는 39.3°(18.2°~63.9°)이었다. 우리나라에서 발생된 땅밀림지의 평균산지

경사 23.8°(11.8°~37.0°)에 비해 미세지형의 평균산지경사와의 차이는 0.3°(1.1°~4.5°)로 미세지형의 평균산지경사와 땅밀림지 전체의 평균산지경사는 미소한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

조사 대상 땅밀림지를 미세지형별로 평균산지경사를

Table 2. Fine topographical slope angle in the slow – moving landslide.

No.	The slow – moving landslide location	Micro topographical	Average angle (°)	Minimum angle (°)	Maximum angle (°)
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	1	15.26	12.26	15.93
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	1	21.10	17.59	25.09
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	2	17.31	11.42	24.45
			17.31	10.57	25.53
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	3	41.52	38.92	43.82
			35.79	9.39	41.34
			32.19	29.40	38.65
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	1	22.96	14.99	35.23
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	1	17.99	17.99	17.99
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	1	25.16	24.21	26.85
			31.20	27.59	41.22
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	3	34.09	30.89	37.80
			39.76	37.91	42.03
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	1	33.46	10.24	45.00
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	3	24.51	19.54	28.17
			26.83	24.22	29.53
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	3	18.38	8.49	25.51
			19.11	13.46	25.15
			13.93	4.63	23.18
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	2	12.12	5.93	16.26
			27.37	26.71	28.72
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	3	22.21	14.38	24.81
			33.57	25.44	47.41
			16.16	10.58	22.39
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	1	20.36	14.09	27.72
			25.93	22.97	33.79
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	1	22.74	15.23	27.27
			18.85	15.35	22.17
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	3	25.30	20.71	28.25
			12.33	10.45	14.63
			27.45	19.12	33.61
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	2	30.92	26.89	33.39
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	1	24.76	24.76	24.94
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	1	18.70	12.13	27.28
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	2	36.44	16.16	50.67
			34.18	10.90	45.14
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	1	17.44	12.37	29.02
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	2	14.23	5.56	20.59
			22.74	11.42	27.32
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	2	21.54	18.39	22.96
			20.88	20.53	21.22
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	13.27	5.79	20.48
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	10.75	1.45	16.93
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	25.47	20.66	35.16
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	22.08	16.67	28.33
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	2	23.27	19.65	28.14
			21.38	19.39	25.74
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	1	15.30	14.08	17.18
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	1	28.51	28.15	28.87
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	1	23.83	22.50	24.54
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	1	27.63	16.65	32.40
			17.82	17.82	17.82
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	3	18.45	15.65	20.23
			23.05	17.44	29.42
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	1	11.83	5.92	21.71
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	1	26.64	17.87	35.31
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	2	24.60	23.70	25.84
36	san96-9 Jangrim-dong, Saha-gu, Busan	1	21.86	20.64	23.19
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	1	35.20	24.83	48.15

Table 3. Analysis of the slope angle of fine topograph in the slow - moving landslide.

Fine topograph	Fine topograph (EA)	Average angle (°)	Minimum angle (°)	Maximum angle (°)
Monospheric type concave ground	5	20.1 (15.3~24.8)	17.0 (12.3~20.5)	23.2 (15.9~37.9)
Multi-sphere type concave ground	20	22.1 (12.1~39.8)	16.9 (4.6~37.9)	27.3 (14.6~47.4)
Concave ground circumlocution slope	1	21.1	17.6	25.1
Convex ground linear type	10	27.7 (10.8~41.5)	16.8 (1.5~38.9)	34.6 (16.9~50.7)
Convex ground wrapper type	23	24.1 (11.8~35.2)	19.0 (5.9~28.2)	29.6 (17.2~48.2)
Total Micro topographical	59	23.8 (11.8~37.0)	8.5 (0.5~20.7)	39.3 (18.2~63.9)

Table 4. T-test analysis results of average angle and microtopography average angle in slow - moving landslide.

Mean	23.8	23.0
Standard deviation	6.26	6.54
n (participants)	38	38
Variance	39.3	42.8
T-test independent means		0.57
p		0.24

비교한 결과(Table 3), 평균산지경사는 $\text{convex 미근형 지형}[27.7^\circ (10.8^\circ \sim 41.5^\circ)] > \text{convex 대지상 지형}[24.1^\circ (11.8^\circ \sim 35.2^\circ)] > \text{다구형 concave 대지상 지형}[22.1^\circ (12.1^\circ \sim 39.8^\circ)] > \text{concave 완사면 지형}(21.1^\circ) > \text{단구형 concave 대지상 지형}[20.1^\circ (15.3^\circ \sim 24.8^\circ)]$ 의 순으로 나타났다. 땅밀림지에 미세지형을 나타내는 지역이 부분적으로 포함되는데, 이러한 땅밀림지 내 부분적인 미세지형지에 대한 산지경사 분석결과, convex 미근형 지형 과 convex 대지상 지형 은 땅밀림지 전체의 평균산지경사보다 각각 높은 3.9 (-1.0~4.5), 0.3 [0~(-1.8)]의 차이를 나타내었다. 그러나 $\text{다구형 concave 대지상 지형}$ 과 concave 완사면 지형 , $\text{단구형 concave 대지상 지형}$ 은 땅밀림지의 평균산지경사보다 낮은 결과를 나타내었는데, 그 차이는 $\text{다구형 concave 대지상 지형}$ 이 -1.7 (0.3~2.8), concave 완사면 지형 이 -2.7, $\text{단구형 concave 대지상 지형}$ 이 -3.7[3.5~(-12.2)]를 나타내었다. 이와 같이 convex 미지형 은 땅밀림지 내에서도 평균산지경사보다 높게 나타났으며, concave 미지형 은 땅밀림지 내에서도 평균산지경사보다 낮게 나타나 땅밀림으로 인해 지형도의 등고선 상에서 미세지형이 나타나고 있음을 파악할 수 있다.

땅밀림지 내 평균산지경사와 미세지형지에서의 평균산지경사와의 T-test 분석 결과(Table 4), 유의하지 않은 것으로 나타났는데, 이는 그 차이가 미세한 결과 때문이라 생각되며, 보다 많은 땅밀림지의 분석이 필요할 것으로 사료된다.

2. 땅밀림지 내 등고선 간격

우리나라에서 발생된 땅밀림지 내의 등고선 간격(조곡

선 10 m기준) 변화를 분석하였다(Table 5). 땅밀림지 내에서 미세지형을 나타내는 지역의 등고선 간격과 미세지형을 제외한 땅밀림지의 등고선 간격을 분석한 결과, 미세지형지의 평균등고선 간격은 29.4 (9.5~83.2) m로 땅밀림지 내에서 미세지형을 제외한 땅밀림지 내의 평균등고선 간격 24.3 (14.4~59.4) m에 비해 미세지형지의 평균등고선 간격이 5.1[-4.9~(-23.8)] m 더 넓게 나타났다. 이는 미세지형지에서 땅밀림으로 인해 평탄화 되면서 등고선 간격(높이 10 m 간격 기준)이 더 벌어져 늘어난 것으로 사료된다.

땅밀림지 내에서 미세지형지와 미세지형지를 제외한 평균 등고선 간격과의 T-test 분석 결과(Table 6), 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 땅밀림지 내에서는 미세지형지와 비미세지형지의 등고선 간격의 변화가 유의하게 영향한다는 것을 의미하여 Park(2018)의 연구결과와 유사한 결과이었다.

땅밀림지 내에서 미세지형지를 제외한 땅밀림지 내 평균 등고선 간격을 분석한 결과(Table 7), 땅밀림지(32개소)에서는 26.2 m로 땅밀림이 재발생 한 5개소(충청북도 단양군 영춘면 상리 산46-7, 전라북도 완주군 봉동읍 장수리 산54-5, 경상북도 포항시 북구 용흥동 산110-1, 경상남도 사천시 곤명면 작팔리 산58, 경상남도 김해시 주촌면 내삼리 1082-1)의 값 20.1 m와 그 차이는 약 6.1 m로 땅밀림 재발생지가 등고선 간격이 좁아졌으며, 땅밀림지 내 미세지형지의 평균 등고선 간격은 땅밀림지에서는 28.1 m이었으나 땅밀림 재발생지(5개소)에서는 28.3 m로, 그 차는 약 0.2 m로 땅밀림 재발생지의 등고선 간격이

Table 5. Changes contour distance in slow – moving landslide area (Use 10 m contour distance).

No.	The slow – moving landslide location	Micro – topography	Microtopography average contour line (m)	Average excluding microtopography contour line (m)
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	1	47.5	59.4
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	1	40.6	16.0
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	2	37.6	41.3
			47.4	43.9
4	Nogok Iri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	3	-	18.0
			15.2	23.5
			18.7	19.1
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	1	17.9	17.3
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	1	16.9	47.6
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	1	22.3	34.9
			13.7	14.4
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	3	9.5	15.1
			11.7	15.0
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	1	15.1	19.5
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	3	19.6	21.3
			22.1	22.5
			15.8	17.8
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	3	83.2	24.5
			33.1	29.5
			37.4	24.1
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	2	21.8	20.5
			-	20.6
			27.7	23.1
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	3	20.1	22.5
			36.1	19.6
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	1		Not
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	1	25.8	21.3
			36.3	47.1
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	3	67.4	31.6
			29.4	46.8
			25.9	16.5
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	2	20.9	19.2
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	1	30.2	16.0
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	1	20.1	17.1
19	san90, Geummae-ri, Maehwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	2	27.1	25.2
			36.8	27.4
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	1	27.9	28.7
			40.9	28.7
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	2	28.4	30.2
			30.9	26.3
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	2	25.9	28.7
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	44.3	-
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	71.4	-
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	34.5	30.0
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	1	29.7	18.4
			22.8	19.6
			36.9	16.4
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	1	16.5	17.1
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	1	22.6	17.5
30	1024-1, Harim 2-gil, Gumbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	1	28.6	18.9
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	1	39.1	23.2
			29.9	23.6
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	3	25.2	23.3
			55.4	36.6
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	1	20.9	15.4
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	1	41.3	28.4
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	2	44.8	0.00
36	san96-9 Jangrim-dong, Saha-gu, Busan	1	10.9	13.7
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	1	23.7	24.7
	Mean		29.4	24.3

Table 6. T-test analysis results of average contour line and microtopography average contour line in slow – moving landslide area.

Mean	29.4	24.3
Standard deviation	13.62	10.32
n (participants)	55	55
Variance	185.66	106.51
T-test independent means		0.038
p		0.013

Table 7. Comparison of the mean contour intervals in slow – moving landslide and reactivated slow – moving landslide.

Distribution	Slow – moving landslide area (m)	Reactivated slow – moving landslide area (m)
Microtopographical average contour line in slow – moving landslide	28.1	28.3
Excluding microtopographical average contour line in slow – moving landslide	26.2	20.1
Average contour interval in the valley	30.0	28.9
Average contour interval in the ridges	30.0	28.3
External average contour line	37.5	40.2

Table 8. T-test analysis results of relation external slow – moving landslide and In slow – moving landslide, external slow – moving landslide and microtopographical, in slow – moving landslide and microtopographical in slow – moving landslide area.

Distribution	External slow – moving landslide	In slow – moving landslide	Microtopographical
Mean	40.22	21.12	28.06
Standard deviation	10.666	4.132	6.102
N (participants)		5	
Variance	113.761	17.071	37.231
Relation	External slow – moving landslide ↔ In slow – moving landslide	External slow – moving landslide ↔ Micro topographical	In slow – moving landslide ↔ Micro topographical
T-test independent means	0.01564	0.09519	0.10878
p	0.06329	0.13413	0.03575

약간 넓어진 것으로 나타났다. 땅밀림지와 연결된 상, 하부 측, 땅밀림지 외부의 평균 등고선 간격은 땅밀림지 전체에서는 37.5 m이었으나, 땅밀림 재발생지에서는 40.2 m로 그 차는 2.7 m가 더 넓어진 것으로 나타났다. 땅밀림이 재발생 되면서 기존에 땅밀림이 발생되었을 때보다 재발생된 지역에서 등고선 간격이 늘어난 것은 기존에 땅밀림이 발생되면서 등고선 간격이 넓어지지 않은 곳에서 땅밀림이 재발생 되면서 등고선 간격이 넓어지는 것으로 하부 땅밀림 발생지에서는 등고선 간격이 반대로 줄어드는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 기존에 발생되었던 땅밀림지에서 땅밀림이 재발생 되면서 땅밀림이 발생되지 않은 곳의 등고선 간격이 넓어졌음을 의미하는 것이다.

땅밀림 재발생지에서 땅밀림지 내 미세지형지, 비미세지형지 및 땅밀림지와 연결된 비땅밀림지, 비땅밀림지의 계곡부, 능선부에 대한 T-test 분석을 실시한 결과(Table 8),

땅밀림지 바깥 비땅밀림지의 등고선 간격과 땅밀림지 내 미세지형지를 제외한 땅밀림지의 등고선 간격과는 유의 확률이 0.063으로 10%에서 유의한 결과를 나타내었고, 땅밀림지 바깥 비땅밀림지의 등고선 간격과 땅밀림지 내 미세지형지의 등고선 간격은 유의하지 않은 결과를 나타내었다. 그러나 땅밀림지 내 등고선 간격과 땅밀림지 내 미세지형지의 등고선 간격은 5% 수준에서 유의한 결과를 나타내어 땅밀림이 재발생 되지 않은 땅밀림지와 같은 결과를 나타내었다.

3. 땅밀림지에서의 산사태위험등급지 분석

땅밀림은 산사태의 한 형태로 분류되는데(Choi, 2018; Park, 2018), 우리나라에서 산사태위험등급으로 구분한 1등급으로부터 5등급으로 분류된 지역을 땅밀림지 내에서 그 면적과 비율을 분석하였다(Table 9). 우리나라의 산사태위험등급지도는 산사태에 영향을 미치는 임상, 경급,

Table 9. Area (m²) of landslide hazard grade in slow – moving landslide area.

No.	The slow – moving landslide location	Area by rating (m ²)					Rating Outside Area (m ²)	Overall area (m ²)
		Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5		
1	san262, Unbuk-dong, Jung-gu, Incheon	94	56	5,822	5,435	328	-	11,735
2	san11-1, Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do	2,376	922	1,528	2,137	-	1,822	8,785
3	san12-1, Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	3,717	14,519	7,107	4,233	1,182	369	31,126
4	Nogok 1ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	2,897	3,011	2,196	-	-	2,227	10,331
	Nogok 2ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do	800	803	593	49	-	4,500	6,745
5	san74, Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	1,206	10,508	-	830	-	148	12,693
6	176, Chogok-gil, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do	3,825	6,655	1,520	6,165	7	5,928	24,100
7	san1, Gujeol-ri, Yeoryang-myeon, Jeongseon-gun, Gangwon-do	217	1,017	3,579	7,710	95,019	-	107,543
8	154, Jodong 1-gil, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	2,130	5,984	8,555	9,707	2,900	22,319	51,595
9	san148, Yachon-ri, Nam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	-	-	-	-	-	40,266	40,266
10	san12, Sindae-ri, Munui-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	4,986	34,755	26,061	21,889	13,174	-	100,866
11	san39, Unam-ri, Miwon-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	5,410	7,110	1,591	47	88	-	14,245
12	san46-7, Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	260	1,420	385	421	-	36,532	39,017
13	143-10, Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do	-	-	-	2,704	5,075	6,472	14,251
14	44-7, Sinjindaegyo-gil, Geunheung-myeon, Taean-gun, Chungcheongnam-do	510	5,460	18,566	7,780	2,426	487	35,229
15	san108, Hwanghwajeong-ri, Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do	-	-	1,415	6,520	2,540	769	11,244
16	san54-5, Jangsu-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do	1,680	37,766	42,702	39,859	25,469	5,000	152,476
17	san29, Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	-	811	6,935	4,505	53	-	12,305
18	san110-1, Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	3,263	5,103	5,126	2,037	-	575	16,104
19	san90, Geummae-ri, Machwa-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	124,697	155,853	166,991	78,102	22,699	267,001	815,342
20	san18, Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do	-	45	1,000	-	-	3,555	4,599
21	san8-2, Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do	-	-	7,243	7,339	300	-	14,882
22	72, Hyangyang-ro 217beon-gil, Jiphyeon-myeon, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	-	500	10,180	5,371	-	823	16,875
23	96, Sinsan-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	-	-	-	-	-	10,478	10,478
24	90, Seojeong-gil, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	-	8,678	3,071	99	-	17,367	29,216
25	san58, Jakpal-ri, Gonmyeong-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	429	2,010	18,668	7,947	674	99	29,827
26	san49, Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do	-	-	-	-	-	6,276	6,276
27	1082-1, Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	-	14,862	25,382	14,842	1,150	36,310	92,547
28	san131-29, Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	3,962	17,488	20,888	18,665	9,910	3,252	74,165
29	san333-5, Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do	3,895	2,711	1,600	406	-	3,220	11,831
30	1024-1, Harim 2-gil, Gunbuk-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	-	2,094	8,244	4,965	10,580	88	25,971
31	san80-1, Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	3,753	6,308	6,433	7,902	7,140	-	31,535
32	san217, Cheongnyong-ri, Okjong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do	15,318	50,193	36,581	27,382	32,663	-	162,137
33	san36, Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	-	3,966	4,509	1,158	499	2,843	12,976
34	san213, Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	206	1,854	3,982	2,121	835	-	8,998
35	88, Hwangnyeong-daero 319beon-gil, Nam-gu, Busan	100	1,710	4,761	5,884	-	11,346	23,801
36	san96-9 Jangrim-dong, Saha-gu, Busan	172	1,055	699	74	-	3,003	5,004
37	929, Dadae-dong, Saha-gu, Busan	-	279	3,234	1,566	-	1,308	6,387

사면경사 등 9 개 인자를 활용하여 산사태위험지도 제작에 사용된 자료는 1/5,000 도면을 활용하였고, 산림입지도는 1/25,000, 지질도는 1/50,000을 사용하였다. 또한 과거 전국 산림의 2천 개소의 산사태 발생 이력자료를 활용하여 로지스틱회귀분석을 통해 인자별 영향력에 따라 가중치를 부여하여 산출된 산사태 발생확률을 5등급으로 구분하여 지도 제작한 것(Korea Forest Service, 2018)을 활용하였다. 땅밀림지 내에 산사태위험1등급으로 분류되어 있는 면적이 가장 많이 포함되어 있는 땅밀림지는 경상북도 울진군 매화면 금매리 산90(A)으로 산사태위험1등급 면적은 124,697 m²로 나타났으며, 그 다음으로는 경상남도 하동군 옥송면 청룡리 산217(B)이 15,318 m²이었다. 그러나 땅밀림지 내에 산사태위험1등급으로 지정되어 있지 않은 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 14개소(약

38.0%)로 나타났는데, 이와 같은 결과는 산사태위험1등급 기준에 땅밀림지가 포함되어 있지 않아 나타난 것으로 땅밀림 위험지에 대한 기준을 새로이 정립하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 땅밀림지 내에서 산사태위험2등급 면적이 가장 많은 땅밀림지는 A로 산사태위험2등급 면적은 155,853 m²로 나타났고, 그 다음은 B로 50,193 m²이었다. 그러나 산사태위험2등급지가 아닌 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 6개소(약 16.0%)로 나타났다. 땅밀림지 내에서 산사태위험3등급 면적이 가장 많은 땅밀림지는 A로 산사태위험3등급 면적은 166,991 m²로 나타났고, 그 다음으로 전라북도 완주군 봉동읍 장수리 산54-5(C)로 42,702 m²이었다. 그러나 산사태위험3등급이 아닌 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 5개소(약 14.0%)로 나타났다. 땅밀림지 내에서 산사태위험4등급으로 가장 많은 면적을 차

지하는 땅밀림지는 A로 산사태위험4등급 면적은 78,102 m²로 나타났고, 그 다음으로 C로 39,859 m²이었다. 그러나 산사태위험4등급이 아닌 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 5개소(약 14.0%)로 나타났다. 또한 땅밀림지 내에서 산사태위험5등급으로 가장 많은 면적을 차지하는 땅밀림지는 B로 산사태위험5등급 면적은 32,663 m²로 나타났고, 그 다음으로 C로 25,469 m²이었다. 그러나 산사태위험5등급이 아닌 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 16개소(약 43.0%)로 나타났다. 아울러 땅밀림지 내에서 산사태위험등급 외 지역으로 분류된 가장 많은 면적을 차지하는 땅밀림지는 A로 산사태위험등급 외 면적은 267,001 m²로 나타났고, 그 다음으로 강원도 양구군 남면 야촌리 산148로 40,266 m²이었다. 그러나 산사태위험지등급 외 지역이 아닌 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 9개소(약 24.0%)로 나타났다. 즉, 산사태위험등급에 포함되지 않는 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 1등급이 14개소(약 38.0%), 2등급이 6개소(약 16.0%), 3등급과 4등급이 각각 5개소(약 14.0%), 5등급이 16개소(약 43.0%), 산사태위험지등급 외 지역이 9개소(약 24.0%)이었다. 이와 같이 땅밀림지와 산사태 발생예측 지도에 의한 등급은 차이가 발생하였다. 이와 같은 결과로 판단할 때, 산사태위험등급지와 땅밀림지는 일치하지 않으며, 이로 인해 땅밀림재해를 미연에 예방하기 위해서는 땅밀림위험지등급을 결정하기 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다. 따라서 땅밀림과 산사태는 그 발생기작 등 차이가 있으므로 전국적인 땅밀림지 조사를 통한 땅밀림 우려지를 추출하여 땅밀림 발생위험지도를 작성할 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론 및 제언

이 연구는 땅밀림위험등급을 산정하기 위한 기초자료를 구축하기 위하여 수행되었다. 연구결과 땅밀림지의 평균산지경사는 23.8° (11.8°~37.0°)이었으며, 땅밀림지 내에서 미세지형지의 평균사면경사는 23.5° (10.7°~41.5°)로 미소한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 땅밀림지 및 땅밀림 재발생지에서 땅밀림지 내 등고선 간격과 미세지형지의 등고선 간격은 5% 수준에서 유의한 결과를 나타내었다. 산사태위험등급에 포함되지 않는 땅밀림지는 전체 땅밀림지 중 1등급이 14개소(약 38.0%), 2등급이 6개소(약 16.0%), 3등급과 4등급이 각각 5개소(약 14.0%), 5등급이 16개소(약 43.0%), 산사태위험지등급 외 지역이 9개소(약 24.0%)이었다.

따라서 땅밀림과 산사태는 차이가 있으므로 앞으로 전국적인 땅밀림지 조사를 통한 땅밀림 우려지를 추출하여 땅밀림 발생위험지도를 작성할 필요가 있을 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.
- Biswajeet, P. and Lee, S.R. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software* 25: 747-759.
- 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.
- 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 reasons. *Journal of Korean Forest Society* 91(6): 694-700.
- Keijourou, N. 1964. Disaster conference, Land Creep. 1(1): 5-7.
- Kim, H.G. 2004. Slope stability and characteristics of shallow landslide occurred in granite hillslopes. Master. Thesis, KyungHee University, Seoul, Korea. pp. 150.
- Korea Forest Service. 2018. <http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?>
- Lee, C.W., Woo, C.S. and Youn, H.J. 2009. Development and verifying of calculation method of standard rainfall on warning and evacuation for forest soil sediment disaster in mountainous area by using tank model. *Journal of Korean Forest Society* 98(3): 272-278.
- Lee, C.W., Woo, C.S. and Youn, H.J. 2011. Analysis of debris flow hazard zone by the optimal parameters extraction of random walk model. *Journal of Korean Forest Society* 100(4): 664-671.
- Lee, C.W., Kim, D.Y., Woo, C.S., Kim, Y.S., Seo, J.P. and Kwon, H.J. 2015. Construction and operation of the national landslide forecast system using soil water index in republic of Korea. *Journal of Korean Society Hazard Mitig* 15(6): 213-221.
- 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.
- National Geographic Infomation Institute. 2018. <http://map.ngii.go.kr/>
- 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. 2018. What's land creep. *Korean Society of Forest Environment Research* 21: 96-107.
- Ranjan, K.D., Shuichi, H., Atsuko, N., Minoru, Y., Takuro, M. and Katsuhiko, N. 2008. GIS-based weights-of-evidence modeling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environ Geology* 54: 311-324.
- 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 landcreep. 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.
- Woo, B.M. 1992. Erosion control and conservation. Hayngmunsa. pp. 310.
- 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.
- Woo, C.S., Kwon, H.J., Lee, C.W. and Kim, K.H. 2014. Landslide hazard prediction map based on logitic regression model for applying in the whole country of south korea. *Journal of Korean Society Hazard Mitig* 14(6): 117-123.

Manuscript Received : November 19, 2018

First Revision : January 7, 2019

Second Revision : January 11, 2019

Accepted : January 28, 2019