

# 땅밀림 산사태 발생지의 산림환경 특성 분석

박재현<sup>1\*</sup> · 이창우<sup>2</sup> · 강민정<sup>1</sup> · 김기대<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경남과학기술대학교 산림자원학과, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림방재연구과

접수일(2015년 6월 10일), 수정일(2015년 10월 26일), 게재확정일(2015년 10월 26일)

## Analysis of Characteristics of Forest Environmental Factors on Land Creeping Occurrence

Jae-Hyeon Park<sup>1\*</sup> · Chang-Woo Lee<sup>2</sup> · Min-Jeong Kang<sup>1</sup> · Ki-Dae Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52727, Korea

<sup>2</sup>Div. of Forst Disaster Management, Korea Forest Research Institute, 57 hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 02573, Korea

Received: JUN. 10. 2015, Revised: OCT. 26. 2015, Accepted: OCT. 26. 2015

### 초록

본 연구는 전국에 위치한 땅밀림 산사태지 총 22개소를 대상으로 땅밀림 산사태 발생에 영향을 미치는 산림환경인자에 대한 인자별 발생분포율을 분석하였으며, 결과는 다음과 같다. 땅밀림 산사태의 입지환경인자 중 토심은 중(31~60cm), 표고는 101~200m, 토성은 사양토, 모암은 퇴적암, 지형습윤지수는 -20~20, 풍화정도는 심한 곳에서 많이 발생하였다. 강우환경인자 중에서 선행강우량은 301~400mm/15day, 발생당일 강우량은 100mm 이하, 강우강도는 6~10mm/hr에서 많이 발생하였다. 사면환경인자 중에서 사면경사는 21~30°, 사면곡률은 -2~0, 사면길이는 100m 이하, 사면방위는 동사면, 산사태위험등급은 2등급, 산사태 기발생횟수는 0회에서 많이 발생하였다. 임상환경인자 중에서 영급은 3영급, 임상은 침엽수림지에서 많이 발생하였다. 또한 이를 토대로 땅밀림 산사태 발생면적과 각 산림환경인자간의 상관관계를 분석한 결과, 모암(퇴적암), 방위(남동사면, 남서사면), 경사도(41° 이상), 사면곡률(1~3%)은 1% 수준에서 부의 상관관계를 나타내었다. 산사태 위험등급 V등급이 1% 수준에서 정의 상관관계를, 시간당 강우강도 < 5mm가 5% 수준에서 부의 상관관계를 나타내었다. 연속강우량 < 100mm는 5% 수준에서 부의 상관관계를, 사면길이 < 100m는 5% 수준에서 부의 상관관계를, 201~400m는 1% 수준에서 정의 상관관계를 나타내었다.

검색어 - 땅밀림 산사태, 발생면적, 발생분포율

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate forest environmental factors and their ranges that affect landslide occurrence and to analyze correlation between these factors and landslide(creeping type) occurrence areas at 22 locations in Korea. All forest environmental factors were categorized into 4 groups and each group and the range of these factors that influence landslide occurrence were summarized as below. The topographic group was soil depth (31~60cm), elevation (101~200m), soil type (sandy loam), bed rock (sedimentary rock), topographic wetness index (-20~20), weathering (high). The rainfall group was antecedent precipitation intensity (301~400 mm/15 days), the amount of rainfall on the day of the landslide occurrence ( $\leq 100$ mm), rainfall intensity (6~10mm/hr), The slope group was slope angle (21~30°), slope curvature (-2~0), slope length ( $\leq 100$ m), slope aspect (East), landslide risk grade (2), the number of previous landslides occurrence (0). Forest vegetation group was age

\*Corresponding author: Jae-Hyeon Park

Tel: +82-55-751-3248

E-mail: pjh@gntech.ac.kr

class (III), forest type (coniferous forest). The correlation results were as follows. Bed rock (sedimentary rock), slope angle ( $\geq 41^\circ$ ) and slope curvature (1~3 %) were negative correlation with a significant level of 1 %. Landslide hazard grade V and slope length (201~400m) were positive correlation with a significant level of 1 %. Rainfall intensity ( $< 5\text{mm/hr}$ ), the amount of continuous rainfall ( $< 100\text{mm}$ ) and slope length ( $< 100\text{m}$ ) were negative correlation with a significant level of 5 %.

**Key words** - Landslide(Creeping), Occurrence Area, Occurrence Distribution Rate

## 서론

우리나라에서 발생한 산사태는 산지 비탈면에서 주로 집중호우로 인하여 흙이 포화되면 응집력을 잃고 일정 깊이의 흩층이 비교적 작은 규모로 급속히 무너져 내리는 중력침식 현상을 총칭한다(Woo et al., 1996<sup>a</sup>). 특히 이러한 산사태에 의한 피해가 증가일로에 있어 인공사면뿐 아니라 암반절취사면에 대한 산사태 방지를 위한 예지시스템을 개발하여(Korea Forest Service, 2003), 산사태 발생원인을 분석함으로써 기존의 산사태에 대한 문제점 및 개선방향을 강구하고 있다(The Institute of Forest Science Kangwon National University, 2003).

최근 우리나라는 산지토사재해로 인해 2005년 이후 연평균 피해면적 480ha, 인명피해 10명, 복구비용 870억원의 피해를 입었다. 특히, 태풍 및 집중호우로 인해 2005년 496ha, 2006년 1,597ha, 2011년 824ha, 2012년 491ha, 2013년 312ha로 산지토사재해가 대규모로 발생하는 추세에 있다(Statistics Korea, 2014). 또한 2011년 서울 우면산 산사태와 같은 도시·생활권 산사태의 발생으로 대규모의 인명피해까지 발생되었다(Korea Forest Service, 2013).

땅밀림 산사태는 주로 토양층 또는 암석층으로 구성된 산비탈이나 비탈면에서 지하수 등으로 말미암아 땅속의 전단저항이나 점착력이 약한 부분을

따라 토층의 일부가 어느 정도 원형을 유지한 상태로 서서히 낮은 곳을 향해 지속적으로 미끄러져 이동하는 현상으로 이동속도가 매우 느려 이동을 인식하기 어려운 경우가 많아 이에 대한 원인분석과 대처방안 및 피해를 저감하기 위한 땅밀림 산사태 발생과 관련이 있는 산림환경인자의 특성을 파악할 필요가 있다.

일본은 땅밀림 산사태의 발생빈도가 높고 피해가 심하므로 이에 대한 대책공법기술의 역사가 오래되고 매우 발전되어 있으나, 우리나라에서는 발생사태가 적고, 이에 대한 연구 및 기술 축적이 부족한 실정이다(Woo et al., 1996<sup>a</sup>; 1996<sup>b</sup>). 현재까지 진행된 땅밀림 산사태에 관련한 연구는 Woo et al.(1996<sup>a</sup>; 1996<sup>b</sup>)의 휴석동 땅밀림 산사태의 발생 특성 연구, Jau et al.(2000)의 지질과 지형이 산사태 및 땅밀림에 미치는 영향 및 Park et al.(2003<sup>a</sup>; 2003<sup>b</sup>; 2003<sup>c</sup>)의 내삼리 땅밀림 산사태의 발생특성 분석, Park et al.(2005<sup>a</sup>; 2005<sup>b</sup>; 2005<sup>c</sup>; 2005<sup>d</sup>)의 매리 땅밀림 산사태의 발생특성 분석 이외에 땅밀림 산사태에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 우리나라에서 땅밀림 산사태가 발생한 지역을 중심으로 땅밀림 산사태의 발생특성을 밝히기 위한 연구로 땅밀림 산사태에 미치는 산림환경인자 특성을 분석함으로써 추후 땅밀림 산사태 발생 예측 등 산사태방지대책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

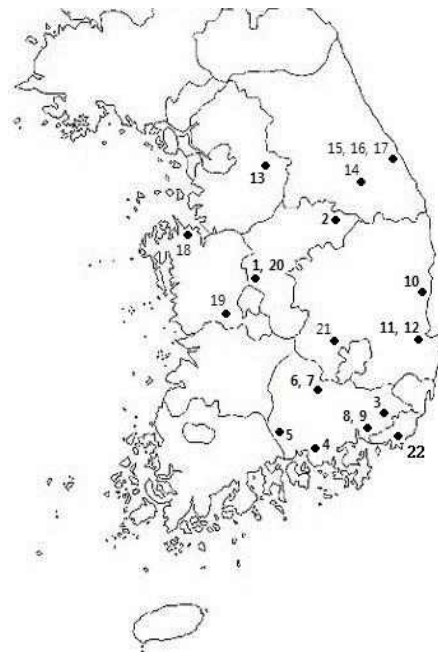
### 1 조사대상지의 위치 및 범위

조사대상지는 우리나라에서 땅밀림 산사태가 발생한 지역을 대상으로 현지조사를 실시하였으며, 땅밀림 산사태의 일반적인 특성(Woo et al., 1996<sup>a</sup>; 1996<sup>b</sup>; Jau et al., 2000)을 조사하였다. 이를 통해 우리나라에서 발생한 땅밀림 산사태지 총 22개소를 선정하여 붕괴지 및 퇴적지와 피해지역에 영향을 미치는 주변지역의 산림환경인자를 조사하였으며, 조사대상지는 Fig. 1과 같다.

### 2 조사방법

땅밀림 산사태지의 지형적 특성 및 발생징후를 파악하기 위하여 지형도(1:25,000, 1:50,000)를 바탕으로 현지조사를 통해 땅밀림 산사태 발생에 관련이 있다고 판단되는 토심(cm), 토성, 모암, 표고(m), 영급, 임상, 풍화정도 등을 조사하였고(Woo et al., 1996; Park et al., 2003<sup>a</sup>), 산사태 위험지도(Korea Forest Service, 2015)를 이용한 해당조사지의 지형습윤지수(TWI), 사면길이(m), 사면곡률(%), 사면경사(°), 사면방위, 산사태위험등급 등을 추출, 조사대상지가 위치한 각 시·군에 요청하여 땅밀림 산사태 기발생횟수를 조사하였다. 산지토사재해 발생에 영향을 미치는 외부요인인 선행강우량(15일 기준), 땅밀림 산사태 발생당일 강우량(mm), 강우강도(mm/hr)를 조사대상지와 가장 인접한 기상대의 강우 이력을 조사하였다.

이와 같이 조사된 산림환경인자 총 17개 인자에 대하여 입지환경인자(토심, 표고, 토성, 모암, 지형습윤지수, 풍화정도), 강우환경인자(선행강우량, 땅밀림 산사태 발생당일 강우량, 강우강도), 사면환경인자(사면경사, 사면곡률, 사면길이, 사면방위, 산사태위험등급, 산사태 기발생횟수), 임상환경인자(영급, 임상)로 구분하여 발생분포율을 분석하였으며, 땅밀림 산사태 발생면적과 이들 인자 간의 상관관계를 분석하였다.



**Fig. 1.** Site of Land Creeping

1. Sindae-ri, Munui-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do, 2. Sang-ri, Yeongchun-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do, 3. Eogok-dong, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, 4. Jodo-ri, Seopo-myeon, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do, 5. Pyeongsa-ri, Agyang-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do, 6. Wolgye-ri, Gahoe-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do, 7. Sangsin-ri, Ssangchaek-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do, 8. Naesam-ri, Juchon-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do, 9. Mae-ri, Sangdong-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do, 10. Chilseong-ri, Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do, 11. Honggye-ri, Daesong-myeon, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, 12. Yongheung-dong, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, 13. Baegan-ri, Yangpyeong-eup, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do, 14. Gujeol-ri, Buk-myeon, Jeongson-gun, Gangwon-do, 15. Nogok-ri, Wondeok-eup, Samcheok-si, Gangwon-do, 16. Sangmyong Kaieda, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do, 17. Chogok-ri, Geundeok-myeon, Samcheok-si, Gangwon-do, 18. Bugok-ri, Songak-eup, Dangjin-gun, Chungcheongnam-do, 19. Yeonmu-eup, Nonsan-si, Chungcheongnam-do, 20. Unam-ri, Miwon-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do, 21. Geumho-ri, Jicheon-myeon, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do, 22. Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan Metropolitan City

## 결과 및 고찰

### 1 땅밀림 산사태 발생현황

조사대상지에서 발생한 땅밀림 산사태의 발생시기는 9월에 8개소(36%) 가장 많이 발생하였고, 7월에 5개소(23%), 8월에 4개소(18%), 1월, 4월, 5월, 6월, 12월에 각각 1개소(5%) 순으로 나타났다. 발생면적은 5ha 이하인 곳에서 20개소(91%)로 가장 많이 발생하였고, 6~10ha, 16ha 이상에서 각각 1개소(5%) 순으로 나타났다. 붕괴토사량은 200,000 m<sup>3</sup> 이하가 16개소(73%)로 가장 많이 발생하였고, 210,000~400,000m<sup>3</sup>와 410,000m<sup>3</sup> 이상이 각각 3개소(14%) 순으로 나타났다. 붕괴유형은 붕적토 땅밀림 산사태 15개소(68%)로 가장 많이 발생하였고, 점질토 땅밀림 산사태 4개소(18%), 풍화암 땅밀림 산사태 2개소(9%), 암반 땅밀림 산사태 1개소(5%) 순으로 나타났다.

### 2 입지환경인자

입지환경인자는 6개 인자(토심, 표고, 토성, 모암, 지형습윤지수, 풍화정도)로 분석결과는 다음과 같이 나타났다(Fig. 2).

토심은 깊이에 따라 상(61cm 이상), 중(31~60cm), 하(30cm 이하)로 구분하였다. 전국 22개소의 땅밀림 산사태지 중 토심이 중(31~60cm)인 곳에서 13개소(59%)로 가장 많이 발생하였고, 하(30cm 이하)에서 5개소(23%), 상(61cm 이상)에서 4개소(18%) 순이었다. 이는 Kim & Lee(2012)가 보고한 토석류 산사태의 경우 깊음(100cm 이상)으로 분류된 지역에서 거의 발생되지 않고 토심이 낮을수록 발생빈도가 높아진다는 것과 Jau et al.(2000)의 땅밀림 산사태가 40cm 이하의 깊이에서 대부분 발생한다는 연구결과와 유사한 것으로 나타나 땅밀림 산사태는 기존 산사태 및 토석류와 같은 산지토사재해와 유사한 토심에서 발생하는 것으로 판단된다.

표고는 101~200m인 곳이 11개소(50%)로 가장 많이 발생하였고, 100m 이하에서 8개소(36%), 201~300m와 301~400m, 401m 이상에서 각각 1

개소(5%) 순으로 발생하였다. 즉, Jang et al.(2009)과 Park et al.(2010)은 땅밀림 산사태는 201~300m에서 발생한다고 하였으나, Kim et al.(1998)은 대부분의 산사태가 100m 보다 크게 높지 않은 곳에서 발생된다는 결과와 유사한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 서서히 낮은 곳을 향해 지속적으로 미끄러져 이동하는 특징을 가지는 땅밀림 산사태는 특정표고에서 많이 발생하였으나 비교적 낮은 표고 및 안식각을 이루는 곳에서 체류하는 것으로 추정되며, 조사대상지의 대부분이 가옥이나 공단시설에 인접한 곳으로 인위적인 지질 및 지형의 변이가 일어난 곳에서 땅밀림 산사태의 발생빈도가 높다고 사료된다. 따라서 개발이 진행되는 낮은 표고에서의 땅밀림 산사태로 인명 및 재산피해를 야기할 수 있음을 유의할 수 있는 결과로 판단된다.

토성은 사양토가 11개소(50%)로 가장 많이 발생하였고, 미사질양토가 8개소(36%), 점질토가 2개소(9%), 미사질점토가 1개소(5%) 순이었다. 이는 Ko et al.(2013)이 보고한 토석류 유출이 사양토에서 발생빈도가 높았다는 결과와 유사한 결과로 나타났다. 즉, 입자간의 응집력이 약한 모래성분이 많고 점토의 함량이 적은 사양토가 분포하는 지역은 땅밀림 산사태 위험이 높으므로 이러한 토성을 가진 지역에 대하여 면밀한 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다.

모암은 퇴적암이 10개소(45%)로 가장 많이 발생하였고, 변성암이 9개소(41%), 화성암이 3개소(14%) 순이었다. 이는 Kim & Chae(2009)가 연구한 화성암에서의 산사태 발생빈도가 높다는 결과와는 상반된 것으로 나타났으나, Jau et al.(2000)의 땅밀림이 셰일 등이 포함된 퇴적암지대에서 주로 발생한다는 연구결과와는 유사하였다. 이는 화성암의 경우 일정한 풍화심도를 가져 평행이동을 하나 퇴적암의 경우 풍화정도가 깊을수록 고화정도가 커서 단일적인 이동보다 어느 정도의 원형을 가지고 움직이는 결과에 기인하는 것으로(Woo et al., 1996<sup>a</sup>; Park et al., 2003<sup>b</sup>) 산사태와 땅밀림 산사태 발생지역의

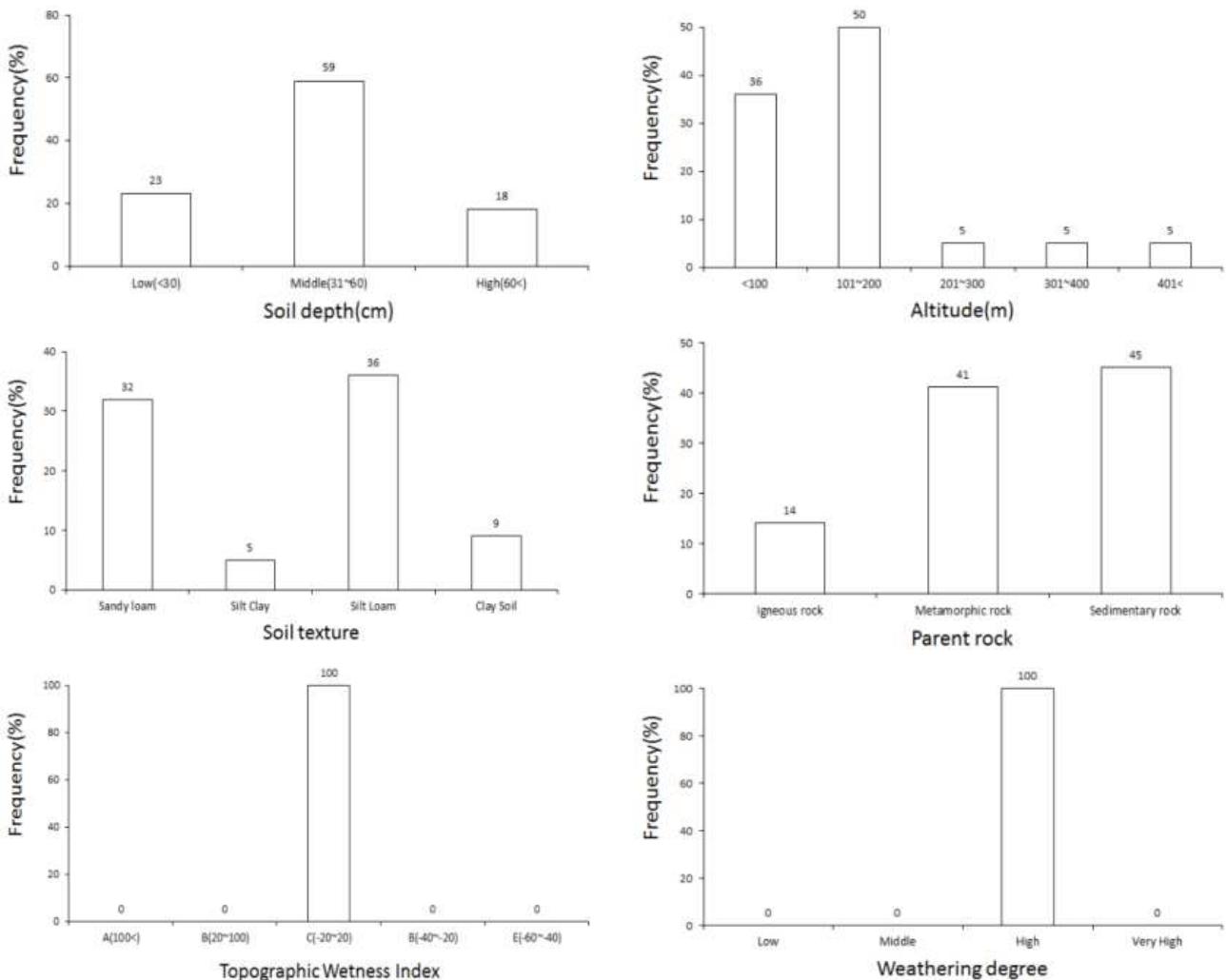


Fig. 2. Occurrence frequency of Land creeping by site environment factors

모암 차이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

지형습윤지수는 사면방위, 해발고, 경사에 의해 결정되는 토양수분의 공간적 분포로, 100이상~ -60까지 총 20단위의 분포로 나누어 5항목으로 구분하였으나, 조사대상지 22개소(100%) 모두 -20~20인 아건조지역에서 땅밀림 산사태가 발생하였다. 이러한 결과로 판단할 때 건기와 우기가 뚜렷한 우리나라의 기후특성상 지하수의 영향이 커지게 되어 땅밀림 산사태 발생에 기인한 결과로 사료된다.

풍화정도는 약(25% 이하), 중(26~50%), 심(50~

75%), 극심(76~100%)으로 구분하였는데, 구분 기준에 대하여 약은 손으로 긁었을 때 모암의 표면에 모암가루가 묻어지는 정도, 중은 손으로 긁었을 때 모암의 표면에 모암가루가 묻어나거나 일부 부서지는 정도, 심은 손으로 긁었을 때 표면이 부서지는 정도, 극심은 손으로 긁었을 때 모암이 부서지는 정도를 나타낸다. 조사대상지 총 22개소(100%) 모두 심인 곳에서 땅밀림 산사태가 발생하였다. 이는 Kim & Lee(2012)가 연구한 산사태발생지의 침식등급을 있음, 없음, 심함, 매우 심함으로 구분한 결과 침식등급이 있음에서 63%, 없음에서 37%로 다소 유의한 결과로 판단된다.

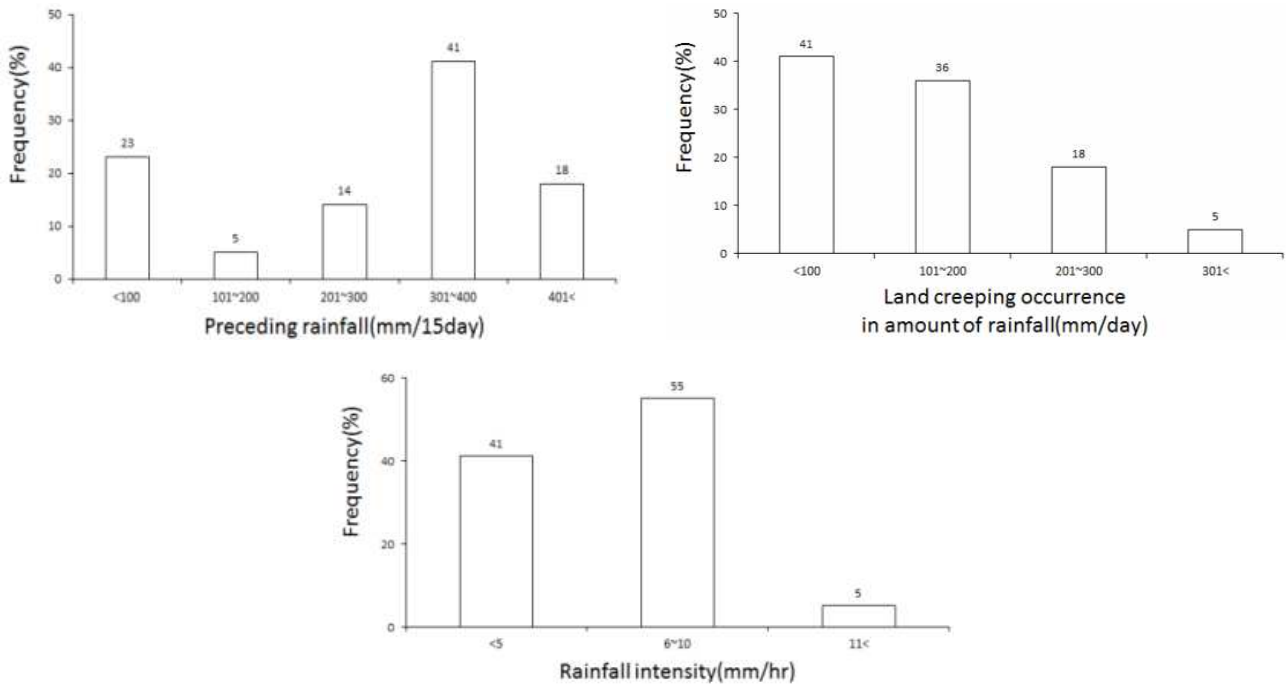


Fig. 3. Occurrence frequency of Land creeping by rain environment factors

### 3 강우환경인자

3개 강우환경인자(선행강우량, 땅밀림 산사태 발생당일 강우량, 강우강도)를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다.

선행강우량은 땅밀림 산사태 발생 전 총 15일 동안의 강우량으로 301~400mm 일 때 땅밀림 산사태가 발생한 곳이 9개소(41%)로 가장 많았고, 100mm 이하 5개소(23%), 401mm 이상 4개소(18%), 201~300mm 3개소(14%), 101~200mm 1개소(5%) 순으로 나타났다. 이는 Choi(2001)가 보고한 연속강우량이 200mm 이상 일 때 산사태가 많이 발생한다는 연구결과와 유사한 결과로 판단된다. 또한 Park et al.(2005<sup>a</sup>)의 땅밀림 산사태 발생 전 3일 동안 내린 선행강우량이 땅밀림 산사태에 영향하였다는 결과와 유사한 결과로 이와 같이 선행강우량은 강우 시 빗물이 땅 속으로 스며들어가 토양공극에 저류하며 수압을 증대시켜 땅밀림 산사태 발생을 유도하는 작용을 하였다고 판단된다.

땅밀림 산사태 발생당일 강우량은 100mm 이하 일 때 땅밀림 산사태가 발생한 곳이 9개소(41%)로

가장 많았고, 101~200mm 8개소(36%), 201~300mm 4개소(18%), 301mm 이상 1개소(5%) 순이었다. 이는 Choi(2001)의 연구결과인 일강우량이 150mm 이상일 때 산사태가 많이 발생하는 것과 유사한 결과로 판단되며, The National Weather Service (2013)에 의하면 우리나라에서는 최대시우량 50~100mm가 가장 많이 분포하는 것으로 보아 이러한 강우가 땅밀림 산사태 발생에 영향을 미치는 것으로 보이나 100mm 이하의 적은 강우에서 발생하는 것은 강우의 직접적 영향에 더해 지하수 등 다른 요인들이 복합적으로 작용하였기 때문으로 생각된다.

강우강도는 땅밀림 산사태 발생당일 강우량을 시우량으로 환산한 것으로 6~10mm/hr 일 때 땅밀림 산사태가 발생한 곳이 12개소(55%)로 가장 많았고, 5mm/hr 이하 9개소(41%), 11mm 이상 1개소(5%) 순이었다. 즉, 선행강우량의 결과로 볼 때 15일 동안 내린 강우가 땅밀림 산사태 발생에 기여한다는 것으로 판단할 수 있으나, 땅밀림 산사태 발생당일 강우량과 강우강도는 Choi(2001)가 연구한 일강우량 150mm 이상, 최대시우량 30mm 이상일 때 산사태

경보가 발령되는 것에 비해 다소 적은 양이며, 이는 Lee et al.(2010)이 보고한 다양한 강우강도가 사면 내의 함수비 변화 차이를 유발하여 땅밀림 산사태에 간접적인 영향을 미친다고 판단된다.

#### 4 사면환경인자

6개 사면환경인자(사면경사, 사면곡률, 사면길이, 사면방위, 산사태위험등급, 산사태 기발생횟수)의 분석 결과는 Fig. 4와 같다.

땅밀림 산사태가 발생한 사면경사  $21\sim 30^\circ$  는 9개소(41%)로 가장 많았으며,  $11\sim 20^\circ$  는 7개소(32%),  $31\sim 40^\circ$  는 3개소(14%),  $41^\circ$  이상은 2개소(9%),  $10^\circ$  미만은 1개소(5%) 순으로 나타났다. Cha(2006)는, 산사태는  $10\sim 40^\circ$  미만에서 대부분 발생하였고 특히  $20\sim 30^\circ$  사이에서 집중적으로 발생한다는 연구결과와 유사한 것으로 나타났지만, Jau et al.(2000)의 땅밀림은  $31\sim 35^\circ$  의 경사에서 가장 많이 발생하였다는 연구결과와는 약간의 차이가 나는데, 이와 같은 결과로 볼 때 특정 사면경사가 땅밀림 산사태 발생에 직접적인 영향을 준다고 보기는 어렵고 경사도가 일정 수준에 도달했을 때 다른 인자들과의 복합적인 영향에 의해 땅밀림 산사태가 발생하는 것으로 판단된다.

사면곡률은  $-5\sim 5\%$ 까지 3%의 계층씩 총 4항목으로 구분하였다.  $-2\sim 0\%$ 인 곳이 15개소(68%)로 땅밀림 산사태가 가장 많이 발생하였고,  $1\sim 3\%$ 에서는 4개소(18%),  $-5\sim -3\%$ 과  $-2\sim 0\%$ 에서는 각각 2개소(9%),  $3\sim 5\%$ 에서는 1개소(5%) 순으로 나타났다. 즉, 사면의 형상을  $-5\sim -1\%$ 을 오목사면,  $0\%$ 을 평행사면,  $1\sim 5\%$ 를 볼록사면이라 할 때 볼록사면 보다 오목사면에서 땅밀림 산사태의 발생빈도가 높은 것은 Park et al.(2010)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 Kim & Lee(2012)와 Cha(2006)는, 산사태는 볼록사면에서 발생빈도가 높다고 하였는데, 이는 산사태와 땅밀림 산사태의 발생기작의 차이에 의한 결과라고 사료된다.

땅밀림 산사태가 발생한 사면길이는 100m 이하인 곳이 17개소(77%)로 가장 많았고, 101~200m에서는

4개소(18%), 401m 이상에서는 1개소(5%) 순이었다. 이는 Kim & Lee(2012)의 연구결과 산사태가 발생한 지역의 사면길이는 10m 미만인 경우가 대부분이며, Cha(2006)가 보고한 우리나라 산사태의 길이는 20m 정도가 50%에 달하고, 100m 이상인 경우가 14%라는 연구결과와 유사한 것으로 나타났다.

땅밀림 산사태와 사면방위와의 관계를 분석한 결과, 동사면인 곳이 5개소(23%)로 가장 많이 발생하였고, 서사면과 남동사면에서 각각 4개소(18%), 남사면과 남동사면에서 각각 3개소(14%), 북사면과 북동사면, 북서사면에서 각각 1개소(5%) 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Park et al.(2010)의 산사태의 대부분이 북사면 계열과 관계가 높다는 연구결과와 차이가 있는 것으로 나타났으나, Ko et al.(2013)이 보고한 남사면 계열의 사면방위에서 토석류 유출빈도가 높은 결과와 유사한 것으로 나타났다. 또한 Jau et al.(2000)은 땅밀림 발생과 사면방위와는 상관관계가 없다고 하였는데, 땅밀림 산사태와 사면방위와의 관계는 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

산사태위험등급은 2등급인 곳이 8개소(36%)로 땅밀림 산사태가 가장 많이 발생하였고, 3등급에서 5개소(23%), 1등급에서 4개소(18%), 5등급에서 3개소(14%), 4등급에서 2개소(9%) 순으로 나타났다. Korea Forest Service(2015)의 산사태위험등급 전국통계에 의하면 산사태위험도 3등급의 비율이 36.1%로 가장 많았으며, 2등급이 24.0%, 4등급이 21.4%, 1등급이 11.2%, 5등급이 7.3% 순으로 1등급과 2등급이 3등급에 비해 적지 않은 비율을 차지하고 있었으며, 땅밀림 산사태 발생지가 대부분 산사태위험등급 2등급지에서 많이 발생한 것은 산사태와 땅밀림 산사태의 차이 등 땅밀림 산사태와 산사태위험등급과의 관계를 다양한 인자를 고려해 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

땅밀림 산사태 기발생횟수는 발생하지 않은 곳이 16개소(73%)에서 땅밀림 산사태가 가장 많이 발생하였고, 1회에서 5개소(23%), 4회 이상에서는 1개소(5%) 순으로 나타났다. 그러나 이와 같은 결과로 볼

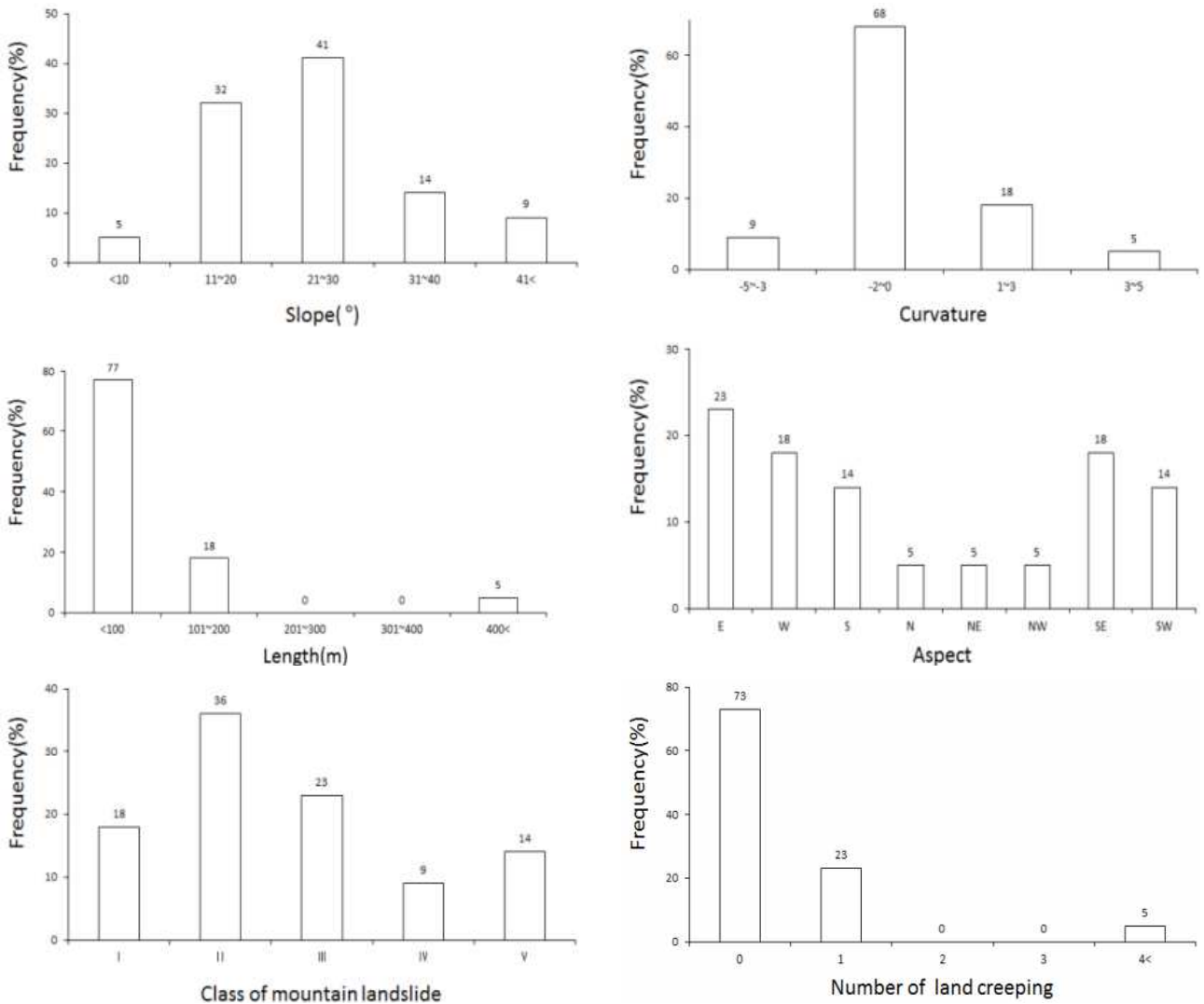


Fig. 4. Occurrence frequency of Land creeping by slope environment factors

때 일반적으로 땅밀림 산사태는 재발생 소지가 크므로 땅밀림 산사태가 처음 발생한 지역에 대해서는 보다 면밀한 관찰과 항구 복구대책의 강구로 땅밀림 산사태가 재발되지 않도록 해야 할 것으로 사료된다 (Park et al., 2003<sup>a</sup>; 2003<sup>b</sup>).

**5 임상환경인자**

땅밀림 산사태와 2개 임상환경인자와의 관계를 분석한 결과는 Fig. 5와 같다.

땅밀림 산사태는 영급이 3영급인 곳이 11개소 (50%)로 많이 발생하였고, 4영급 이상에서 8개소

(36%), 1영급에서 2개소(9%), 2영급에서 1개소(5%) 순으로 나타났다. Lee et al.(2008)이 보고한 결과와 같이 30~50년생의 비교적 오래된 나무들이 자라고 있는 산림에서 집중호우 시 빗물의 침투가 용이하나 바람의 흔들림에 약해 뿌리부분으로 전달력이 작용하여 산사태에 취약하다는 연구결과와 유사한 것으로 판단된다. 또한 Youn et al.(2011)의 연구에서 숲가꾸기를 실시한 지역의 영급분포 중 4영급보다 3영급에서 산사태가 많이 발생한다는 결과와 동일한 결과로 영급이 낮을수록 임목의 활착이 미흡하여 토석류의 발생빈도가 많을 것으로 추정하



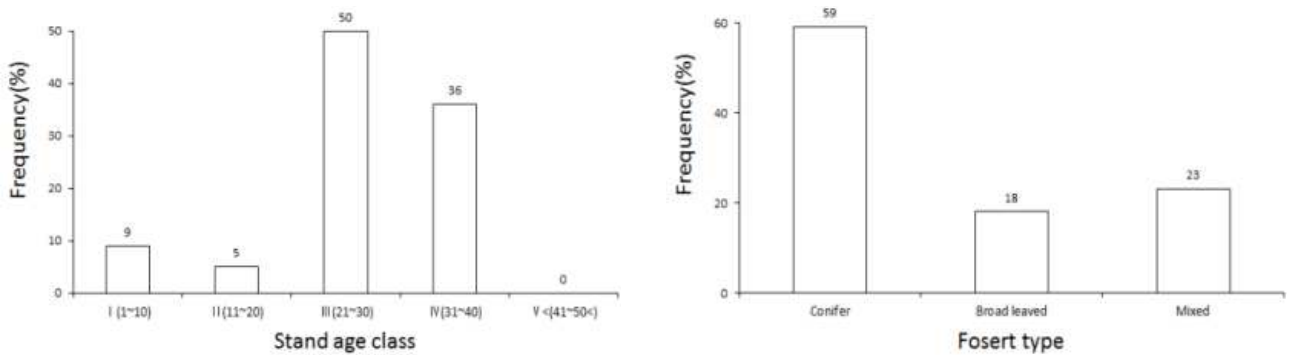


Fig. 5. Occurrence frequency of Land creeping by forest environment factors

지만 Korea Forest Service(2014)에 따른 최근 10년간 영급별 산림면적에 의하면 3영급의 임목이 우리나라의 산림분포에 다수를 차지하기 때문에 땅밀림 산사태도 이러한 지역에서 다수 나타난 것으로 사료된다.

임상은 침엽수림이 13개소(59%)로 땅밀림 산사태가 가장 많이 발생하였고, 혼효림에서 5개소(23%), 활엽수에서 4개소(18%) 순으로 Park et al.(2010)의 연구결과와 유사한 것으로 나타났다. 이는 혼효림과 활엽수림은 낙엽이 있기 때문에 집중호우 시에 지표면으로 흐르는 유출수의 속도를 늦추어 토양의 유실을 방지하지만 침엽수림에서의 집중호우는 지표면에 직접적인 영향을 줄뿐 아니라 이의 영향으로 깊은 토층에도 영향을 데 기인한 결과로 사료된다.

### 6 땅밀림 산사태 발생면적과 산림환경인자와의 관계

땅밀림 산사태 발생에 영향을 미치는 산림환경인자 중 땅밀림 산사태의 발생면적에 기여도가 높다고 판단되는 총 17개 인자를 대상으로 SPSS pc+를 이용한 상관관계 분석결과는 Table 1과 같다.

땅밀림 산사태 발생면적과 각 산림환경인자간의 상관관계를 분석한 결과, 모암(퇴적암), 방위(남동사면, 남서사면), 경사도(41° 이상), 사면곡률(1~3%)이 1% 수준 내에서 부의 상관관계를 나타내었다. 그 외 사면곡률(-2~0%)가 5% 수준 내에서 정의 상관관계를 나타내었으며, 토성(미사질양토), 표고(301~400m), 사면길이(100m 이하, 101~200m), 강우강도(5mm/hr 이하), 선행강우량(100mm/15day)이 5% 수

준에서 부의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 모암(퇴적암)의 경우 땅밀림 산사태 발생분포율에서는 가장 많이 나타났으나, 땅밀림 산사태 발생면적과의 상관관계에서 부의 상관관계를 나타낸 것은 Jau et al.(2000)이 연구한 땅밀림이 셰일 등이 포함된 퇴적암지대에서 대부분 발생한다는 연구결과와는 유사하였다. 경사도(41° 이상)가 부의 상관관계를 나타낸 것은 Cha(2006)의 연구결과인 산사태는 20~30° 사이에서 집중적으로 발생하고, Ma & Jeong(2010)의 토석류 발생 면적과 경사도 41~50°가 부의 상관관계를 나타낸 결과와 유사한 결과로 볼 때 산사태와 토석류를 비롯한 땅밀림 산사태 또한 산지 비탈면의 경사도가 높아짐에 따라 발생빈도 및 피해가 증대되는 것이 아니라 사료되며, 특정각도에 도달했을 때 복합적인 영향에 의해 땅밀림 산사태가 발생하는 것으로 판단된다. 사면곡률(1~3%)이 땅밀림 산사태 발생면적과 부의 상관관계를 나타낸 것은 Ma et al.(2014)이 연구한 산지토사재해의 발생면적과 볼록사면이 정의 상관관계를 나타내는 것과 차이가 있었으나, 사면곡률(-2~0%)의 경우 Park et al.(2005<sup>a</sup>)과 Jung et al.(2008)이 보고한 산지토사재해의 발생 이전의 사면형이 평행과凹형인 것과 유사한 결과로 나타났다. 사면길이의 경우 Kim et al.(1998)의 연구결과인 대부분의 산사태 발생지역의 사면길이가 200m 이하인 것과 유사한 결과로 이는 땅밀림 산사태가 활동기간에 비해 이동길이가 다소 짧은 결과 때문이라 사료된다.

특히, Choi(2001)는 연속강우량이 200mm 이상이

**Table 1.** Correlation analysis among Land creeping area and factors

Factors	Soil depth(cm)			Bed rock				
	<30	31~60	61<	Igneous	Metamorphic	Sedimentary		
Correlation	-0.074	0.177	-0.146	-0.98	0.071	-0.003**		
Factors	Soil texture							
	Sandy Loam		Silt Clay	Silt Loam		Clay Soil		
Correlation	0.150		-0.123	-0.017*		-0.145		
Factors	Aspect							
	E	W	S	N	NE	NW	SE	SW
Correlation	-0.051	0.292	-0.51	-0.45	-0.132	-0.148	-0.010**	-0.006**
Factors	Altitude(m)							
	<100	101~200		201~300	301~400	401<		
Correlation	-0.121	0.094		-0.051	-0.032*	0.137		
Factors	Length(m)							
	<100	101~200		201~300	301~400	401<		
Correlation	-0.037*	-0.037*		0.000**	0.000**	0.142		
Factors	Slope(°)							
	<10	11~20		21~30	31~40	41<		
Correlation	-0.051	-0.067		0.208	-0.170	-0.008**		
Factors	Curvature(%)							
	-5~-3		-2~-0		1~3		3~5	
Correlation	-0.168		0.049*		-0.009**		0.137	
Factors	Stand age class							
	I (1~10)	II(11~20)		III(21~30)	IV(31~40)	V<(41~50<)		
Correlation	0.066	-0.132		-0.283	0.312	0.000**		
Factors	Forest type			Rainfall intensity(mm/hr)				
	Conifer	Broad leaved		Mixed	<5	6~10	11<	
Correlation	-0.309	0.307		0.081	-0.014*	0.065	-0.123	
Factors	Preceding rainfall(mm/15day)							
	<100	101~200		201~300	301~400	401<		
Correlation	-0.032*	-0.116		0.568	-0.221	-0.126		
Factors	Land creeping occurrence in amount of rainfall(mm/day)							
	<100	101~200		201~300	301~400			
Correlation	-0.014	0.193		-0.156	-0.123			
Factors	Class of mountain landslide							
	I	II		III	IV	V		
Correlation	0.066	-0.132		-0.283	0.312	0.000**		
Factors	Number of land creeping							
	0	1		2	3	4<		
Correlation	-0.383	0.388		0.000**	0.000**	0.039		

\*\*means statistically significant at 1% level.

\*means statistically significant at 5% level.

거나 평균 시우량이 최소 3.6mm로 다소 적은 강우량 일지라도 3일 이상 계속 될 경우 산사태가 발생된다고 하였으나, 강우강도(5mm/hr 이하)와 선행강우량(100mm/15day) 등과 같은 강우환경인자의 대부분이 부의 상관관계로 나타난 것은 땅밀림 산사태는 산사태와 토석류에 비해 강우량 등 강우의 직접적 영향에 더해 지하수 등 다른 요인들이 복합적으로 작용하였기 때문으로 사료된다.

## 감사의 글

이 연구는 산림청 훼손지 사업단 및 경남과학기술대학교 기성희(2014)의 지원을 받았음.

## 참고문헌

- Cha KS. 2006. Prediction of Potential landslide sites using deterministic model and geographic information system. *Daewoo Institute of Construction Technology* 28(2006-06): 24-37.
- Choi K. 2001. Landslide occurrence data in Korea. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 1(3): 7-14.
- Jang ES, Yun HS, Lee MR, Cho MR and Kim YH. 2009. Risk analysis of debris flow on GIS technology. *Proceeding Korean Society of Civil Engineer*. pp.1743-1747.
- Jau JG, Park SJ, Son DS and Joo SH. 2000. The effects of geological and topographical features on landslide and land - creep. *Journal of Korean Forestry Society* 83(3): 323-334.
- Jung KW, Park SJ and Lee CW. 2008. Development of the score table for prediction of landslide hazard -a case study of Gyeongsanbuk-Do province-. *Journal of Korean Forestry Society* 97(3): 332-339.
- Ko SM, Lee SW, Yune CY and Kim KH. 2013. GIS-based analysis of debris-flow characteristics in Gangwon-do. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 31(1): 57-67.
- Korea Forest Service. 2003. Development of prevention system of disasters and characteristics of landslides by land use. Ministry of Agriculture and Forestry. pp.306.
- Korea Forest Service. 2013. Nation Landslide Prevention Measure. <http://www.forest.go.kr>(2015. 01. 14)
- Korea Forest Service. 2015. Landslides hazard map. <http://sansatai.forest.go.kr/forecast/GISMapView.ls>(2015. 01. 14)
- Korea Forest Service. 2014. Statistical Yearbook of Forestry. pp.496.
- Kim GH and Lee HG. 2012. GIS Based analysis of landslide factor effect in Inje area using the theory of quantification II. *Journal of Korea Spatial Information Society* 20(3): 57-66.
- Kim WY and Chae BG. 2009. Characteristics of rainfall, geology and failure geometry of the landslide areas on natural terrains, Korea. *The Journal of Engineering Geology* 19(3): 331-344.
- Kim WY, Lee SR, Kim KS and Chae BG. 1998. Landslide types and susceptibilities related to geomorphic characteristics - Yeonchon-Chulwon area. *The journal of engineering geology* 8(2): 115-132.
- Lee JS, Han HS, Lee JU and Yang NY. 2010. Relationship between rainfall intensity and shear strength of slope. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 11(2): 13-21.
- Lee SG, Shin HW, Lee KS and Jung SH. 2008. The study on the predict and characteristics of debris landslides. *Korean Geotechnical Society. KGS Awards Lecture*. pp.427-434.
- Ma HS, Kang WS and Lee SJ. 2014. Effects of

- forest environmental factors on the sediment disaster occurrence. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 48(4): 73-80.
- Ma HS and Jeong JH. 2010. Characteristics analysis of debris flow disaster in Korean National Parks this study was carried out to analyze the occurrence characte. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 13(4): 52-64.
- Park JH, Choi G, Lee SG, Ma HS, Lee JH and Woo BM. 2003. 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<sup>a</sup>.
- Park JH, Choi G, Ma HS, Lee JH, and Woo BM. 2003. 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<sup>b</sup>.
- Park JH, Lee SG, Choi G, Ma HS, Lee JH and Woo BM. 2003. 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<sup>c</sup>.
- Park JH, Choi G, Bae JS, Ma HS and Lee JH. 2005. 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<sup>a</sup>.
- Park JH, Choi G, Bae JS, Ma HS and Lee JH. 2005. 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<sup>b</sup>.
- Park JH, Choi G, Bae JS, Ma HS, Lee JH and Yoon HJ. 2005. 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<sup>e</sup>.
- Park JH, Choi G, Bae JS, Ma HS and Lee JH. 2005. Analysis on the characteristics of the landslide in Maeri (4) - with a special reference on stability analysis of structures. *Journal of Korean Forestry Society* 95(1): 5-11<sup>d</sup>.
- Park JM, Ma HS, Kang WS, Oh KW, Pack SH and Lee SJ. 2010. Analysis of landslide characteristics in Jeonlabuk-do, Korea. *Journal of Agricultural & Life Sciences* 44(4): 9-20.
- Statistics Korea. 2014. e-Nation index. [http : //www.index.go.kr](http://www.index.go.kr)(2015. 01. 14)
- The National Weather Service. 2013. Annual climatological report. [http : //www.kma.go. kr](http://www.kma.go.kr)(2015. 01 .14)
- Woo BM, Park JH, Choi HT, Jeon GS and Kim KH. 1996. A Study on the characteristics of the landslide in Hyuseok - dong ( I ) - topographical characteristics and surface displacement. *Journal of Korean Forestry Society* 85(4): 565-570<sup>a</sup>.
- Woo BM, Park JH, Choi HT, Jeon GS and Kim KH. 1996. 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<sup>b</sup>.
- Youn HJ, Woo CS and Lee CW. 2011. Effects of forest tending on landslide. *Journal of Korean Forestry Society* 100(3): 417-422.