

토석류 유출에 기인하는 몇 가지 산림환경인자 분석 - 부산 및 울산광역시를 중심으로 -

이해동 · 박재현*

경남과학기술대학교 산림자원학과

Analysis of Characteristics of some of Forest Environmental Factors on Debris Flow Occurrence - With a Pusan and Ulsan Metropolitan Areas -

Hae-dong Lee and Jae-hyeon Park*

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

요 약: 본 연구는 부산 및 울산광역시의 토석류 유출 위험지역 총 15개소에서 토석류 유출에 영향을 미치는 산림 환경인자에 대한 인자별 발생분포비율을 분석하였다. 토심은 중(30~99 cm), 방위는 동사면과 북동사면 및 북서사면, 표고는 100~200 m, 산지평균경사는 20° 미만, 모암은 화성암, 과거 토석류 유출이 있었던 지역, 최대시우량은 50~100 mm, 1일 최대강우량은 300 m 이상, 수계밀도는 3~4 km/km², 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 분포비율은 20~40%와 40~60%, 산사태 위험도 2등급 이상 비율은 40~60%, 유목이 있는 상태, 사방공작물 시설이 없는 지역, 4영급, 임분이 밀한 지역, 혼효림 등의 인자가 토석류 발생에 기여하는 것으로 분석되었다.

Abstract: This study was carried out to determine the distribution of factors as effected by debris flow in Ulsan and Pusan metropolitan areas because mainly debris flow caused by typhoons and local heavy rainfall events is mainly attributed to damage of human being ad property. The high risk degree of debris flow was to affected by east (20%), northeast (20%) and northwest (20%) slopes with stand age class with elevation (69%) of 100-200 (33%). Also, the risk was high in high erosion collapse degree with slope degree of 20-25° with over 300 mm (100%) of maximum daily rainfall events and 50-100 mm (50%) or >100 mm (50%) of maximum hourly rainfall events with <5 km of stream path and <50 ha of catchment area. Landslide debris and wood residue flow was also related to igneous rocks (73%) and bank collapse types of debris flow (57%).

Key words: debris flow, maximum daily rainfall events, landslide, catchment area

서 론

우리나라 국토의 64%를 차지하는 산지는 태풍과 기상 이변으로 인한 집중호우의 빈발로 매년 산지토사재해 및 토석류 피해가 증가하고 있다. 산사태는 호우, 지진, 화산에 의해 산의 일부를 이루고 있는 암석이나 토양이 붕괴되어 중력 방향으로 일시에 무너져 내리는 현상이며, 토석류(Debris flow)는 산사태 등과 같은 붕괴작용에 의하여 무너져 내린 토사들이 물과 섞여서 비탈면과 계곡을 따라 흘러내리는 현상으로 빠른 속도로 이동하고 계상의 퇴적

물과 토석 등의 합류로 규모가 증가하며, 하류의 먼 거리까지 큰 재난을 일으킨다(Ma and Jeong, 2010).

우리나라의 산사태 발생면적은 1980년대 연평균 155 ha에서 1990년대 291 ha로 188% 이상 증가하였고, 최근 10년간 연평균 456 ha인 것으로 나타났으며, 복구 비용 또한 최근 10년간 813억 원으로 급증하고 있다(Korea Forest Service, 2014). 특히, 태풍 및 집중호우로 인해 2005년 496 ha, 2006년 1,597 ha, 2011년 824 ha로 산지토사재해가 대규모로 발생하는 추세이다(Statistics Korea, 2014). 더욱이 2011년 서울 우면산, 춘천 신북읍과 2013년에 발생한 국지성 집중호우로 인해 도시 생활권 산사태의 경우 토석류로 인한 유출이 확대되어 대규

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

모의 인명피해까지 발생되고 있는 실정이다(Korea Forest Service, 2013).

최근 국내에서 토석류에 관한 연구는 토석류 입자구성을 고려한 모형실험연구(Kwon, 2013), 토석류 거동 특성 및 규모에 관한 연구(Jang, 2014), 유동학적 인자에 따른 토석류의 이동 및 퇴적 특성(Lee and Kim, 2013), 광산폐석의 유변학적 특성과 토석류 흐름특성 분석(Jeong, 2014), 토석류 위험성평가 및 대책수립(Pack, 2013) 등 연구들이 다양하게 이루어지고 있으나 직접적인 토석류 유출원인 및 도시지역에서의 토석류 발생에 관한 연구는 미진한 실정이다. Park et al.(2006)은 GIS는 많은 양의 공간정보를 관리, 분석하는데 있어 효과적인 GIS의 기능을 이용한다면 산사태와 같은 재해를 관리하는 정보시스템으로 적합할 것이라고 하였다. GIS를 이용한 토석류 관련 연구는 GIS를 이용한 강원지역 토석류 특성분석(Ko et al., 2013), GIS를 이용한 인제 산사태발생지역의 토석류 분석(Kim et al., 1998), GIS기반 토석류 산사태 대응공법 설계 프로그램 개발(Song and Chae, 2013), 정밀도양도와 GIS를 이용한 토석류 발생지역 예측 및 거동 분석(Kim, 2012) 등이 있으며, 임상, 영급, 소밀도 등의 다양한 정보를 제공하므로 토석류 및 산지토사재해에 대한 연구에 이용되고 있다.

따라서 이 연구는 대표적인 도시지역이라 할 수 있는 울산 및 부산광역시를 중심으로 토석류 유출 위험지 15개소를 대상으로 토석류 유출에 영향을 미치는 주요 인자별 발생분포율과 상관관계를 분석하여 장래 도시지역에서 발생할 수 있는 토석류피해저감대책 및 사후관리에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 대상지 및 조사방법

이 연구를 위하여 과거 토석류 발생이 있었던 부산과 울산광역시의 15개 대상지를 중심으로 토석류 유출 발생과 관련이 많은(Ma et al., 2014) 사방공작물 시설 유무, 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 분포비율, 유목의 유무, 토심 등 7개 인자를 경사계 및 기타 도구를 활용하여 현장 조사하였으며, FGIS를 이용해 현지 위치에 대하여 모암, 방위, 사면형, 산지평균경사(°), 산사태 위험도 2등급 이상의 비율(%), 소밀도, 수계밀도(km/km²), 영급, 임상, 토질, 표고 등 11개 인자에 대해 지질도, 지형도 및 관련 자료를 연계하여 조사하였다. 또한 산사태 및 토석류 발생 시 영향을 미친다고 판단되는 외부요인인 최대 시우량(mm)과 1일 최대강우량(mm) 2개 인자를 조사대상지와 가장 인접한 기상대의 과거 강우 이력을 토대로 조사하였다(Table 1).

Table 1. Location of survey sites.

No.	Location
1	Deokhyeon-ri, Sangbuk-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
2	Myeongchon-ri, Sangbuk-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
3	Yong-ri, Seosaeng-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
4	Samjeong-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
5	Munjuk-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
6	Yul-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
7	Yul-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
8	Soho-ri, Sangbuk-myeon, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City
9	Sajik-dong, Dongnae-gu, Pusan Metropolitan City
10	Gaya-dong, Pusanjin-gu, Pusan Metropolitan City
11	Beomcheon-dong, Pusanjin-gu, Pusan Metropolitan City
12	Hwamyeong-dong, Buk-gu, Pusan Metropolitan City
13	Gamcheon-dong, Saha-gu, Pusan Metropolitan City
14	Gamcheon-dong, Saha-gu, Pusan Metropolitan City
15	Bansong-dong, Haeundae-gu, Pusan Metropolitan City

2. 분석 방법

Table 1과 같이 조사대상지를 대상으로 토석류 유출에 영향을 미치는 산림환경인자 총 16개를 선정, 조사 후 각 인자들의 특성을 분석하였으며, 각 인자들 간의 상관관계를 spss pc+를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 토석류 유출에 기인하는 산림환경인자 특성 분석

토석류 유출에 영향을 미치는 총 16개의 산림환경인자를 입지환경인자, 강우환경인자, 유역환경인자, 임상환경인자로 구분하여 각 인자들의 특성을 분석하였다.

1) 입지환경인자

입지환경인자는 6개 인자로 토심, 방위, 표고, 산지평균경사, 모암, 과거 토석류 발생 유무 등이 있으며, 이러한 인자는 유역의 평균적인 의미로 다음과 같이 나타났다(Figure 1).

(1) 토심

토심은 깊이에 따라 상(1 m 이상), 중(30~99 cm), 하(30 cm 이하)로 구분하였다. 토석류 위험지 총 15개소 중 토심이 중(30~99 cm)인 곳이 8개소(57%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 하(30 cm 이하)에서 5개소(33%), 상(1 m 이상)에서 2개소(13%)인 것으로 나타났다. 이는 Choi(2001)가 토심이 얇은 지역 즉, 수목의 뿌리가 산사태발생을 방지할 수 있는 깊이 범위 내에서는 토심이 얇을수록 산림이 가지는 산사태 방지능력이 증대된다는 결과와 상반되나 Lee et al.(2008)의 결과와 유사한 결과를

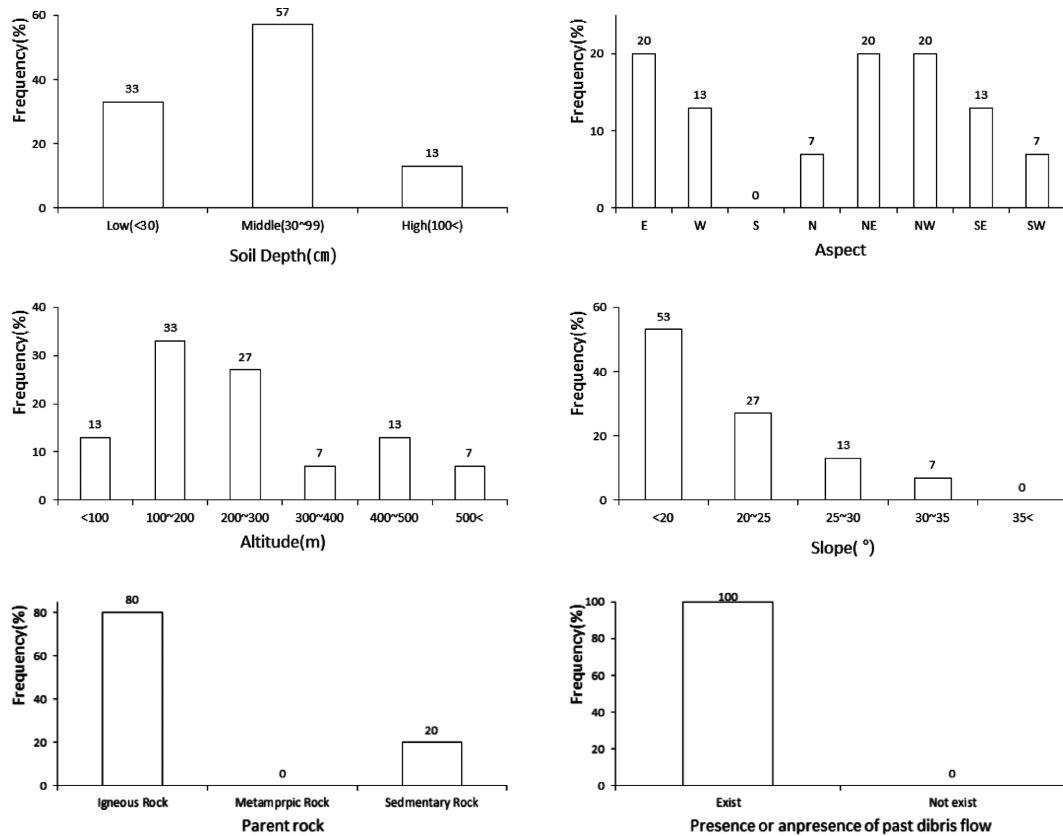


Figure 1. Occurrence frequency of debris flows by site environment factors.

보였다. 이와 같이 토석류가 발생한 지역이 1 m 미만의 낮은 토심의 분포가 많이 나타난 것은 과거에 산사태 및 토석류와 같은 산지토사재해가 발생했던 지역에서 재발생함에 따라 점차 토심이 얕아지는 것으로 추정된다.

(2) 방위

방위는 동사면과 북동사면, 북서사면에서 각각 3개소(20%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 서사면과 남동사면에서 각각 2개소(13%), 북사면과 남서사면에서 각각 1개소(7%) 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Park et al.(2010)의 서사면과 남사면이 붕괴위험이 높다는 결과와는 상반된 결과이었으나 Choi et al.(2004)의 산사태와 지형관계에 대한 분석에서 대체적으로 북동사면, 북서사면과의 관계가 높다는 결과와 유사하며, Jung et al.(2008) 및 Kim et al.(1998), Lee et al.(2008)이 도출한 결과와 같이 우리나라에서 전반적으로 우세하게 발달되는 지질구조인 북동사면이 산지토사재해에 취약하다는 것과 북사면이 남사면에 비해 약 2배 정도 발생빈도가 높다는 결과와 일치하였는데, 이는 북사면의 토양수분함량의 변화가 잦아 토양이 풍화가 진행됨에 따라 산지토사재해의 발생빈도가 높게 나타나는 이유 때문이라 사료된다.

(3) 표고

표고는 100~200 m에서 5개소(33%)로 토석류 위험지역

이 가장 많이 나타났고, 200~300 m에서 4개소(27%), 100 m 미만과 400~500 m과 각각 2개소(13%), 300~400 m과 500m 이상에서 각각 1개소(7%)으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Park et al.(2010)이 보고한 표고 400~500 m에서 가장 많은 발생빈도를 보인 결과와는 다소 차이가 있으나, Kim et al.(1998)의 보고에서처럼 대부분의 산지토사재해가 100 m 보다 높지 않은 곳에서 발생된다는 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과로 볼 때 산지에 집중호우나 태풍과 같은 외부요인이 작용했을 때 정상부에서 하강하는 사면이 계곡과 연결하는 계곡의 표고가 200 m 이하인 경우 토석류 발생빈도가 높아진다는 것을 유추할 수 있는 결과이었다.

(4) 산지평균경사

산지평균경사는 20° 미만에서 8개소(53%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 20~25°에서 4개소(27%), 25~30°에서 2개소(13%), 30~35°에서 1개소(7%)로 경사의 5단계 완, 경, 급, 험, 절로 구분했을 때 경사도 완과 경에서 발생빈도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Kim et al.(2006)과 Park et al.(2006) 등이 보고한 산지경사 20~30°에서 산사태 빈도가 높다는 결과와 상반된 결과를 보이나, Kim et al.(1998)과 Jang et al.(2009)이 보고한 10~20°의 경사면에서 산지토사재해의 약 50%가 집중

되며, 40° 이상의 경사도가 심화될수록 산지토사재해 빈도가 낮아진다는 결과와 유사한 결과이었다. Kim and Chae(2006)의 연구결과 산사태의 대부분이 경사 40° 미만에서 발생되었다는 것 또한 산지사면의 경사가 급할수록 산사태의 영향으로 인한 토석류 발생 확률이 높아지는 것이 아니라 특정경사도에서 산사태의 영향으로 인한 토석류 발생빈도가 높다는 것을 유추 할 수 있는 결과라고 판단된다.

(5) 모암, 과거 토석류 유출 유무

모암은 화성암이 12개소(80%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고 퇴적암이 3개소(20%)로 나타났는데, 이는 Park et al.(2010)과 유사한 결과이었다. 즉, 이와 같은 결과는 우리나라 국토의 대부분이 화성암으로 구성된 것으로 보아 화성암의 특성인 풍화의 진행이 심화될수록 산사태의 발생빈도가 커지는 것과 Kim et al.(1998)의 화성암에 포함되는 화강암이 변성암보다 4.7배 산사태 취약성이 높다는 선행결과와 Tanaka et al.(2003)의 화강암 유역의 토양 입경이 편마암보다 크고 토양층의 투수성도 화강암이 편마암보다 높게 나타난다는 연구결과를 연관시켜 보면 화성암과 토석류 유출과의 연관이 있다고 생각되며, 이에 대한 연구는 보다 많은 조사지를 조사하여 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다. 아울러 과거 토석류 유출 유무는 유가 15개소(100%)로 모든 조사지가 토석류 발생 이력이 있는 것으로 확인되었고, 토석류 유출은 과거 산사태 및 토석류 유출로 인하여 지반이 약해진 곳에서 재발확률이 높은 것과 연관이 있다고 생각된다.

2) 강우환경인자

강우환경인자는 조사대상지역의 토석류 발생시 강우환경인자로 최대 시우량과 1일 최대강우량이 있으며, 이를 분석한 결과 다음과 같다(Figure 2).

(1) 최대시우량

최대시우량은 50~100 mm에서 8개소(53%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 100 mm 이상에서 7개소(47%)로 나타났다. Choi(2010)는 토석류의 발생 당일 최대시우량이 50 mm/hr 이상일 때 토석류 발생이 높았다고 하였는데, 이는 최대시우량이 50 mm이상 일 때 토석류 발

생에 영향을 미치는 것으로 추정되며, The National Weather Service(2013)에 의하면 우리나라의 최대시우량 50~100 mm가 가장 많이 분포하는 것으로 보고하여 이 연구결과와 유사한 결과이었다. 아울러 시간당 100 mm이상의 최대시우량은 발생 빈도는 상대적으로 적지만 대규모 토석류 발생을 야기하게 될 것이라 추정된다.

(2) 1일 최대강우량

1일 최대강우량은 300 mm 이상인 곳이 15개소(100%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났다. Kim et al.(2006)에 의하면 여름에 지역적으로 짧게는 2일에서 길게는 4일간에 걸쳐 150~588 mm의 집중호우가 내리는 곳에서의 토석류 산사태가 발생했다는 것으로 나타나 이 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 이와 같은 결과로 토석류 산사태는 1일 최대강우량이 증가할수록 발생빈도는 높아지는 것으로 판단된다.

3) 유역환경인자

유역환경인자는 5개 인자로 수계밀도, 산사태 발생 가능성이 있는 20° 이상의 분포비율, 산사태 위험도 2등급 이상 비율, 유목의 유무, 사방공작물 시설 유무 등이 있으며, 이를 분석한 결과 Figure 3과 같다.

(1) 수계밀도, 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 분포비율

수계밀도는 3~4 km/km²가 5개소(33%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 2~3 km/km²와 5 km/km² 이상이 각각 4개소(27%), 1~2 km/km²와 4~5 km/km²가 각각 1개소(7%)로 나타났다. 또한 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 분포비율이 20~40%와 60~80%가 각각 5개소(33%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 40~60%가 3개소(20%), 20% 미만과 80~100%가 각각 1개소(7%)로 나타났다. 이와 같이 결과는 Kim et al.(2006)과 Park et al.(2010)이 보고한 산지경사 20~30°에서 산사태 빈도가 높다는 결과와 유사하였으며, 이를 통해 산지경사가 20°이상 일 때 산사태와 토석류 유출에 모두 영향을 주는 것으로 판단된다.

(2) 산사태 위험도 2등급 이상 비율, 유목 및 사방공작물 시설 유무

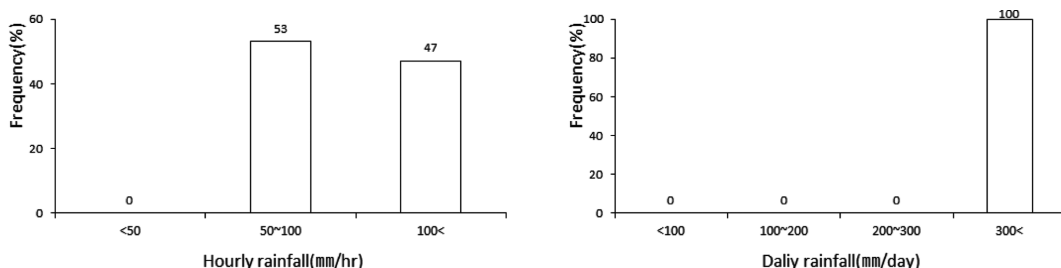


Figure 2. Occurrence frequency of debris flows by rain environment factors.

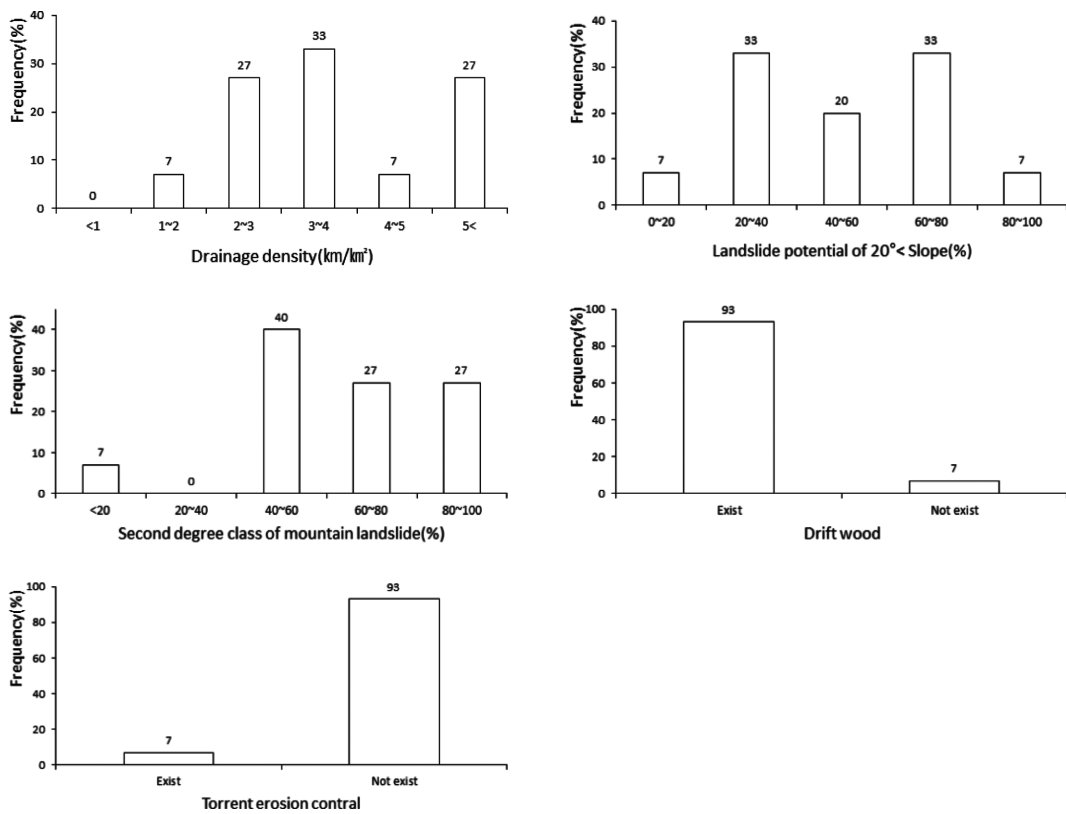


Figure 3. Occurrence frequency of debris flow by drainage area environment factors.

산사태 위험도 2등급 이상 비율은 40~60%가 6개소 (40%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 60~80%와 80~100%가 각각 4개소(27%), 20% 미만인 1개소 (7%)로 나타났다. 산사태 위험등급 기준은 임상, 경급, 사면경사 등 9개 인자를 활용하여 제작한 산사태 위험지도를 활용하였으며, 총 15개소에 대한 산사태 위험도 1등급과 2등급의 분포가 약 30%로 토석류 발생위험도와 산사태위험도가 높은 것으로 나타났다. 또한 산사태와 토석류는 유사한 환경인자의 영향을 받는 것으로 사료된다. 유목의 유무는 유가 14개소(93%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 무는 1개소(7%)로 나타났다. Kim(2012)의 보고에 따르면 대부분의 경우 토석류 이동으로 도로에 퇴적된 재료들 중에 유목이 상당히 포함되어 있는데, 이들이 토석류의 2차 원인이 될 수 있다는 보고와 발생위치별로 구성 재료의 종류와 분포에 있어 차이를 나타내는데, 이처럼 산림 내에 분포한 다수의 유목이 토석류 유출이 진행됨에 따라 토석과 함께 쓸려 내려와 하류에 인접한 시설 및 인명에 피해를 줄 것으로 추정한다. 한편, 사방공작물이 기존에 설치되어 있는 지역이 1개소(7%), 아직 설치되어 있지 않은 지역이 14개소(93%)로 나타나, 해당 토석류 위험지역은 모두 과거에 토석류가 발생했던 지역임에도 불구하고 사후조치가 미흡한 것으로 추정된다.

4) 임상환경인자

임상환경인자는 3개 인자로 영급, 소밀도, 임상이 있으며, 분석 결과 Figure 4와 같다.

(1) 영급 및 소밀도

영급은 4영급이 10개소(67%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 3영급이 5개소(33%)순으로 나타났다. Lee et al.(2009)은 30~50년생의 비교적 오래된 나무들이 자라고 있는 산림에서 집중호우 시 빗물의 침투가 용이하나 바람의 흔들림에 의해 뿌리부분으로 전단력이 작용하여 산사태에 취약하다고 하였는데, 이는 이 연구결과와 유사한 것으로 추정되었다. 또한 소밀도는 밀이 10개소(67%)로 토석류 위험지역이 가장 많이 나타났고, 중이 5개소(33%)로 나타났다. 이와 같은 결과는 Lee et al.(2009)은 시간당 강우량이 40 mm 이상일 경우 밀도에 상관없이 강우의 대부분이 지표면에 도달하는 것으로 나타났다고 하였으며, Park et al.(2006)은 산사태 특성을 조사한 선행연구에서의 임분밀도가 70% 이상인 지역에서 가장 많은 부분을 차지하고 있었다는 연구결과와 동일한 결과로 임목의 밀도가 높은 울창한 산지에서도 강우나 태풍 등의 다른 요인에 의해 산사태의 영향으로 인한 토석류가 발생할 수 있다고 생각된다.

(2) 임상

임상은 혼효림이 6개소(40%)로 토석류 위험지역이 가

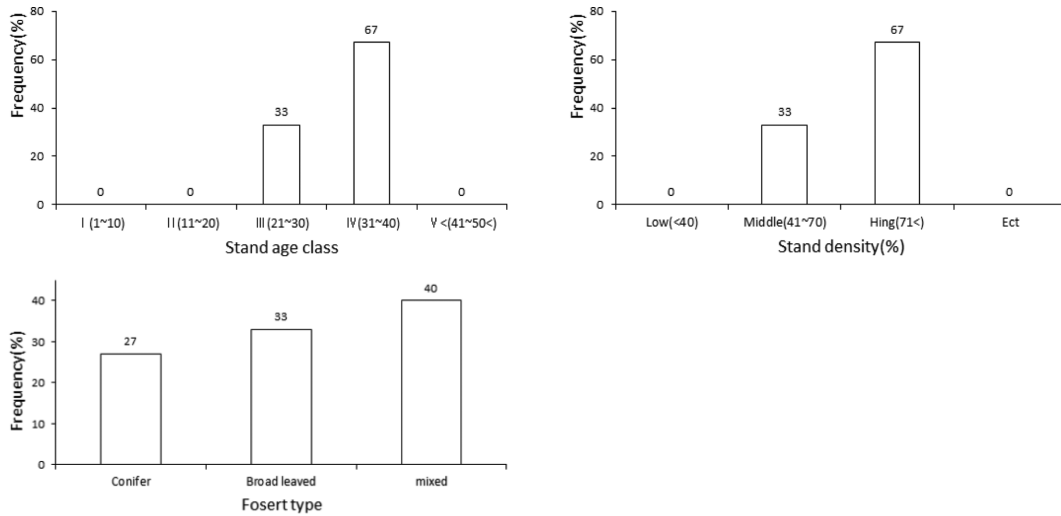


Figure 4. Occurrence frequency of debris flow by forest environment factors.

장 많이 나타났고, 활엽수림 5개소(33%), 침엽수림 4개소(27%)로 나타나 Jung et al.(2008)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 Park et al.(2010)은 혼효림과 활엽수림은 낙엽이 있기 때문에 집중호우 시에 지표면으로 흐르는 유출수의 속도를 늦추어 토양의 유실을 방지하여 다른 임상에 비해 침엽수림의 발생빈도가 높다고 하였는데, 이를 보다 심도 있게 파악하기 위해서는 임상과 산사태의 영향으로 인한 토석류 발생 분포와의 조사 표본을 전국적으로 확대하여 다양한 인자와의 관계를 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

2. 토석류 유출과 산림환경인자와의 상관관계 분석

토석류 유출에 영향을 미치는 산림환경인자 총 16개 중 기여도가 높다고 생각되는 인자 총 11개를 선정하여 SPSS

를 이용한 상관관계 분석결과는 Table 2와 같다.

산림환경인자들 간의 상관관계를 분석한 결과 토석류 발생과 모암(화성암)은 5% 수준에서 정의 상관관계를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 Kim et al.(1998), Ma and Jeong(2010), Park et al.(2010), Tanaka et al.(2003) 등 화성암에서의 산지토사재해 발생빈도가 크다고 보고한 연구들과 유사한 결과가 나타났다. 또한 토석류와 방위(북서), 모암(퇴적암)과의 상관관계 분석결과 5% 수준에서 부의 상관관계를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 Kim et al.(1998)과 Park et al.(2006)이 북사면 및 북동사면, 북서사면에서의 토석류 발생빈도가 높다고 제시한 선행연구와는 다소 상반된 결과이었으나, Park et al.(2010)이 보고한 퇴적암의 경우 고화정도가 커서 산지토사재해 발생빈도가 적다는 것과 유사한 결과로 사료된다. 또한 산지평

Table 2. Coefficient among debris flow occurrence.

Factor	Slope					
	<20	20~25	25~30	30~35	35<	
Correlation coefficients	0.000	-0.286	0.218	0.071	0.071	
Factor	Catchment density					
	1~2	2~3	3~4	4~5	5<	
Correlation coefficients	0.071	-0.443	0.189	0.071	0.161	
Factor	Landslide potential of >20° slope					
	<20	20~40	40~60	60~80	80~100	
Correlation coefficients	0.071	-0.378	0.134	0.189	0.071	
Factor	Rates of landslide risk					
	<20	20~40	40~60	60~80	80<	
Correlation coefficients	0.071	.0	0.218	-0.443	0.161	
Factor	Soil depth			Bed rock		
	<30 cm	30~99	1 m<	Igneous	Metamor-phic	Sedimenta-ry
Correlation coefficients	-0.378	0.286	-0.105	0.535	.000	-0.535

Table 2. Ccontinued.

Factor	Elevation					
	<100	100~200	200~300	300~400	400~500	500<
Coefficient correlations	0.105	-0.378	0.161	0.105	0.071	0.071
Factor	Forest type			Wood debris flow		
	Softwood	Hardwood	Mixed forest	Existence	Not	
Correlation coefficients	0.161	0.189	-0.327	0.071	0.071	
Factor	Standage class					
	1	2	3	4	5<	
Correlation coefficients	.0	.0	-0.378	0.378	.0	
Factor	Aspect					
	E	W	S	N		
Correlation coefficients	0.134	0.105	.000	0.071		
Factor	Aspect					
	NE	NW	SE	SW		
Correlation coefficients	0.134	-0.535	0.105	0.071		

경사(25°~30°, 30°~35°, 35° 이상), 토심(1 m 이하, 30 cm~99 cm), 방위(N, E, W, NE, NW, SE, SW), 수계 밀도(1 km/km²~2 km/km², 3 km/km²~4 km/km², 4 km/km²~5 km/km², 5 km/km² 이상), 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 비율(20% 이하, 40~60%, 60~80%, 80% 이상), 산사태 2등급 이상의 분포비율(20% 이하, 40~60%, 80% 이상), 표고(0~100 m, 200~300 m, 300~400 m, 400~500 m, 500m 이상), 임상(침엽수림, 활엽수림, 영급(4영급 이상) 등이 토석류 발생과 정의 상관관계를 나타내었으나 5% 이하 수준으로 편상관계수는 높지 않은 것으로 나타났다.

결론

이 연구는 울산 및 부산광역시에서 토석류 유출 위험이 우려되는 조사지 총 15개소를 대상으로 토석류 유출에 영향을 미치는 산림환경인자 총 16개를 선정하여 인자별 발생분포율과 토석류 발생과의 상관관계를 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 토심은 중(30~99 cm 이하), 방위는 동사면과 북동사면 및 북서사면, 표고는 100~200 m, 산지평균경사는 20° 미만, 모암은 화성암, 과거 토석류 유출은 모든 조사지가 토석류 발생 이력이 있는 것으로 확인 되었다.
2. 최대 시우량은 50~100 mm, 1일 최대강우량은 300 mm 이상인 곳에서 토석류 발생빈도가 높은 것으로 나타났다.
3. 수계밀도는 3~4 km/km² 미만, 산사태 발생 가능성이 있는 경사 20° 이상의 분포비율이 20~40%와 60~80%가

토석류 발생 빈도가 가장 많았고, 산사태 위험도 2등급 이상 비율은 40~60%, 유목이 있는 상태, 사방공작물은 기존에 설치되어 있지 않은 곳에서 토석류의 발생빈도가 높았다.

4. 임령은 4영급, 소밀도는 밀, 임상은 혼효림에서 토석류 발생빈도가 높았다.

5. 산림환경인자들 간의 상관관계를 분석한 결과 모암(화성암)은 5% 수준에서 정의 상관관계를 나타내었고, 방위(북서)와 모암(퇴적암)은 5% 수준에서 부의 상관관계를 나타내었으며, 기타 인자들간에는 편상관계수가 5% 이하로 상관관계가 높지 않은 것으로 나타났다. 따라서 토석류는 어떤 특정 인자에 의해 발생하는 것이 아니라 태풍과 집중호우 등의 직접적인 원인과 간접적 원인에 따라 발생위험의 차이가 있는 것으로 판단되며, 조사 대상지의 입지, 환경적 요인의 복합적인 영향 때문이라 사료된다. 따라서 앞으로 토석류 발생 위험에 대한 연구는 산사태와 면밀한 관계를 가지고 연구할 필요가 있으며, 전국적으로 분포되는 지역에 대한 조사로 연구범위를 확대할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

Choi, J.W., Lee, S.L., Min, K.D., and Woo, I. 2004. Landslide Susceptibility Mapping and Verification Using the GIS and Bayesian Probability Model in Boun. *Economic and Environmental Geology* 37(2): 207-223.

Choi, Y.J. 2010. A Study on Downstream Process of Debris Flow Mobilized from Landslides. Department of Civil Engineering Graduate School, Kang won National University dissertation. pp. 932.

- Jang, C.B. 2014. A Study on Behavior Characteristic sand Scal eof Debris Flow in Korea. Department of Civil Engineering Graduate School, Kang Won National University Dissertation. pp. 101.
- Jang, E.S., Yun, H.S., Lee, M.R., Cho, J.M., and Kim, Y.H. 2009. Risk Analysis of Debris Flow on GIS Technology. 2009 KSCE Conference, 1743-1747.
- Jeong, S.W. 2014. Rheological Characteristics and Debris Flow Simulation of Waste Materials. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 34(4): 1227-1240.
- Jung, G.W., Pack, S.J., and Lee, C.W. 2008. Development of the Score Table for Prediction of Landslide Hazard -A Case Study of Gyeongsangbuk-do Province-. Journal of Korean Forestry Society 97(3): 332-339.
- Kim, K.S., Kim, Y.W., Chae, B.G., Cho, Y.C., Lee, C.O., and Song, Y.S. 2006. Geometry of Debris Flow Occurrence on Natural Slopes. KSEG Conference 2006: 51-59.
- Kim, P.K. 2012. Numerical Modeling for the Detection and Movement of Debris Flow Using Detailed Soil Maps and GIS. Department of Civil Engineering Graduate School, Kyungpook National University. pp. 204.
- Kim, W.Y., Kim, K.S., Lee, S.R., and Chae, B.G. 1998. Landslide Types and Susceptibilities Related to Geomorphic Characteristics -Yeonchon-Chulwon Area-. The Journal of Engineering Geology 8(2): 115-130.
- Ko, S.M., Lee, S.W., Yune, C.Y., and Kim, G.H. 2013. GIS-based Analysis of Debris-flow Characteristics in Gangwondo. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 31(1): 57-67.
- Kwon, J.H. 2013. Model experimental study with consideration for grain composition of debris flows in Korea. Dept of Urban & Environmental System Eng. The Graduate School Seokyeong University dissertation. pp. 63.
- Lee, S.G., Shin, H.W., Lee, K.S., and Jung, S.H. 2008. The study on the predict and characteristics of debris landslides. KGS Spring National Conference 2008: 427-434.
- Lee, M.J. and Kim, Y.T. 2013. Movement and Deposition Characteristics of Debris Flow According to Rheological Factors. Journal of the Korean Geotechnical Society 29(5): 19-27.
- Lee, M.S., Kim, K.S., Song, Y.S., and Ryu, J.C. 2009. Analyzed Change of Soil Characteristics by Rainfall and Vegetation. The journal of engineering geology 19(1): 33-41.
- Ma, H.S. and Jeong, W.O. 2010. Characteristics Analysis of Debris Flow Disaster in Korean National Parks. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 13(4): 52-64.
- Ma, H.S., Kang, W.S., and Lee, S.J. 2014. Effects of Forest Environmental Factors on the Sediment Disaster Occurrence. Journal of agricultural & life sciences 48(4): 73-80.
- Pack, D.G. 2013. Hazard evaluation and measures establish of Debris flow. Major of Civil Engineering Graduate School of Industry Kyungpook National University Dissertation. pp. 95.
- Park, J.M., Ma, H.S., Kang, W.S., Oh, K.W., Pack, S.H., and Lee, S.J. 2010. Analysis of Landslide Characteristics in Jeonlabuk-do, Korea. Journal of Agricultural & Life Sciences 44(4): 9-20.
- Park, S.J., Lee, H.H., Joo, S.H., Heo, T.C., Lee, C.W., Jung, G.W., Kim, B.K., and Kim, H.C. 2006. Analysis on the characteristics of the Landslide in Gyeongsangbuk-Do(1). Journal of Korean Forestry Society on the Annual Conference. 2006: 397-399.
- Tanaka Yukiya, Yukinori Matsukura, and Kim, T.H. 2003. The central region of the Korean peninsula, granite and gneiss basin rainfall flux characteristic, The Geological Society of Korea Fall Conference 2003: 1-157.
- Korea Forest Service. 2013. Nation Landslide Prevention measure. <http://www.forest.go.kr> (2015. 01. 14).
- The National Weather Service. 2013. Annual Climatological Report. <http://www.kma.go.kr> (2015. 01. 14).

(Received: January 20, 2015; Accepted: April 29, 2015)