

우리나라 국립공원지역의 산사태 발생특성 분석

마호섭¹ · 정원옥^{2*}

¹경상대학교 환경산림과학부(농업생명과학연구원),

²국립공원관리공단 국립공원연구원

Analysis of Landslides Characteristics in Korean National Parks

Ho-Seop Ma¹ and Won-Ok Jeong^{2*}

¹Division of Environment Forest Science, Gyeongsang Nat'l Univ., Jinju 660-701, Korea
(Insti. of Agri. Llife Science)

²National Park Research Institute, Namwon 590-811, Korea

요 약: 우리나라 국립공원 7개 지역을 대상으로 산사태 발생특성 및 산사태 발생면적에 영향을 미치는 산림환경 인자를 분석하였다. 국립공원내 산사태 발생 수는 총 44개소였으며, 산사태 발생 길이는 평균 152 m, 평균 폭 17m, 평균 발생면적 2,818 m²로 나타났다. 산사태가 비교적 많이 발생한 인자는 변성암, 혼효림, 사면경사도 30~35°, 북동사면, 해발 1,000 m 이상, 종단사면형은 하강사면, 횡단사면형은 오목사면, 하천차수는 산정 꼭두부위인 0차 지점으로 나타났다. 특히 단계별 회귀분석에 의한 산사태 발생면적에 많은 영향을 준 인자는 편상, 북동사면, 2차 하천, 남동사면, 사면경사도, 복합사면(횡단사면형) 순으로 도출되었다.

Abstract: This study was carried out to analyze the landslide characteristics and forest environment factors on the landslide area of 7 national parks in Korea. The results obtained from this study were summarized as follows; The total number of landslide occurrence was 44 areas. The average length of the landslides scar was 152 m, average width was 17 m. And the average area was 2,818 m². The factors influencing landslides were highly occurred in Metamorphic rock, mixed forest type. And also, 30~35° in slope gradient, NE in slope aspect, slope higher than 1,000 m, concave (凹) type in vertical and cross slope, 0 ordered stream. The main factors affecting landslide area in stepwise regression analysis were sheet type in landslided shape, NE in slope aspect, 2 ordered stream, SE in slope aspect, slope gradient and complex slope in cross slope type in order of regression coefficient.

Key words : landslide characteristics, forest environment factors, national park

서 론

우리나라는 지형윤회상 대부분 만장년기의 지형에 속하기 때문에 급경사면과 토양층간 성질이 다른 곳이 많고 또한 지리적으로 극동지역에 위치한 온대성 기후지역으로 6월에서 9월 사이에 집중적으로 강우가 내리기 때문에 이 시기에 많은 산사태가 발생하여 왔다. 지난 10년간 산사태로 인해 261명의 인명피해와 연평균 6천억원의 재산피해가 발생하였고 피해규모 또한 지속적으로 증가하는 추세에 있으며(국립방재연구소, 2005), 특히 지난 2002년 8월의 태풍 “루사”의 영향으로 5조 7천억원의 재산손실과 184명의 인명피해가 발생하였고 이중 산사태로 인한 직접

적인 인명피해는 무려 56명에 달하였다(중앙재해대책본부, 2002). 산사태는 호우시 빗물에 의해 포화된 토괴가 균형을 잃고 중력에 의해 무너져 내리는 붕괴현상으로 산림을 파괴할 뿐만 아니라 자원을 훼손하는 큰 원인중의 하나로 강우, 지형, 임상, 토양, 지형 등의 산사태 발생조건에 따라 산사태 특성이 다르게 나타난다. 국내에서 발생하는 산사태는 대부분 여름철 집중호우에 의해 발생하는 토석류(debris flow)로 Oliver and Bell(1994)은 24시간 동안의 강우량이 연평균 강우량의 20%를 초과할 경우 대형 산사태가 발생한다고 보았으며 Brand(1984)는 짧은 시간에 내리는 집중강우는 지형조건이나 수문지형 조건과 관계없이 대형 산사태를 일으킬 수 있다고 보고하였다. 최근 국내 산사태에 관한 연구는 크게 산사태 발생요인 분석(우보명 등, 1978; 최경, 1986; 강위평 등, 1986; 류택규,

*Corresponding author
E-mail: wonokjung@knps.or.kr

1991; 임업연구원, 1996; 김명국, 1997)과 산사태 평가 및 GIS를 이용한 예측기술 연구(마호섭, 1994; 신은선, 1996; 이사로 등, 2001; 박노욱 등 2005; 이상희, 2005), 산사태 발생지점에 대한 모니터링 및 위험지도 작성(한국지질자원연구원, 2004; 이용준 등, 2006; 경상북도, 2006)등으로 구분되어져 일반 산림지역을 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 최근 집중호우로 인하여 우리나라를 대표하는 자연 자원 및 경관지로서 소중히 보전해야 할 유산이며 국민휴식공간으로 국토보전과 합리적 이용 측면에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 국립공원내에도 크고 작은 산사태가 빈번하게 발생하고 있어 대책마련이 시급한 상태이나 국립공원내 산사태 관련 선행 연구는 국립공원내 산사태 발생현황 및 복구대책 수립을 위한 조사(마호섭, 1990; 1992; 1994; 2001; 국립공원관리공단, 2001)와 지리산국립공원 고산지 경관변화 모니터링(국립공원관리공단, 2003) 연구가 전부로 이러한 연구는 산사태 현황 파악 및 복구 공법 선정 등에 중점을 둔 연구로 산사태 발생에 관여하는 각종 인자에 대한 연구는 미비한 상태이다.

따라서 본 연구는 국립공원내 산사태 발생지를 중심으로 산사태 규모, 인자별 발생빈도 및 발생면적에 영향을 미치는 인자 도출 등 국립공원내 산사태 발생지에 대한 특성을 분석하여 향후 국립공원내 산사태 발생 위험지 예측 및 관리방안 수립에 필요한 기초적 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상지

우리나라 7개 국립공원에서 2005년도까지 발생한 44개소를 대상으로 각 공원별 산사태지에 대한 일반 현황을 분석하였으며 결과는 Table 1과 같다.

2. 조사 방법

우리나라 7개 국립공원의 산사태 발생 지점을 중심으로 산사태 규모 및 산사태 발생과 관련이 많은 10개의 산림환경인자를 선정하고 각 인자를 아래와 같이 조사하였다.

- (1) 산사태 길이 : 붕괴 시작점에서 종점까지를 산사태 길이로 하여 측정(m) 함.
- (2) 산사태 폭 : 산사태지 상부, 중부, 하부 3지점에서 폭(너비)을 측정하여 평균(m) 함.
- (3) 산사태 면적 : 산사태 길이와 폭으로 계산(m^2) 함.
- (4) 사면경사 : Clinometer를 이용하여 측정($^\circ$) 함.
- (5) 사면방위 : Compass를 이용하여 NE, NW, SE, SW로 구분함.
- (6) 해발고 : 고도계를 이용하여 측정(m) 함.
- (7) 산사태 위치 : 산사태 발생지점의 위치를 산정, 산복,

산복으로 구분함.

(8) 사면형태 : 산사태 발생지 종단·횡단사면을 convex, concave, flat, mixed 형태로 구분함.

(9) 모암 : 지질도와 현지조사를 통하여 퇴적암, 화성암, 변성암으로 구분함.

(10) 임상 : 임상도 및 현지조사를 통해 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 무입목지로 구분함.

(11) 하천차수 : 1/25,000 지형도상에서 Horton-Strahler (1952)의 방식에 의해 구분함.

(12) 산사태 유형 : 산사태 발생 외형에 따라 수지상, 패각상, 선상, 판상으로 구분함.

3. 분석방법

우리나라 7개 국립공원에서 발생한 산사태지 44개소를 대상으로 지형 및 지세에 따라 자연사면 붕괴에 기여할 것으로 예상되는 10개 인자를 중심으로 산사태 규모 및 인자별 발생빈도와 국립공원내 산사태 발생특성을 분석하였다.

산사태 발생면적(m^2)에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위해 경사, 표고, 방위, 임상, 사면형태(종단·횡단) 등 각종 환경인자(10개 인자 30개 설명변수)와 상관분석 및 단계별 회귀분석을 실시하였으며 산림환경인자 중 질적변수(방위, 임상, 사면형태 등)는 반응하는 쪽에 1, 반응하지 않는 쪽에 0을 취하는 더미변수(dummy variable) 형태로 변환하였고 통계분석은 통계 package SPSS program을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 산사태 발생특성 분석

우리나라 7개 국립공원에서 발생한 산사태지 44개소를 대상으로 지형 및 지세에 따른 산사태 발생규모별 발생빈도를 분석한 결과는 Figure 1과 같다.

국립공원 7개 지역에서 발생한 산사태 발생면적은 500~1,000 m^2 범위에서 9개소가 발생하여 가장 많은 빈도를 보였고 다음으로 3,000~5,000 m^2 에서 7개소, 5,000~10,000 m^2 에서 6개소, 10,000 m^2 이상 규모에서도 2개소가 발생하였으며 산사태 평균 발생면적은 2,818 m^2 였다. 이는 산림청(2003)이 산사태 53개소를 대상으로 붕괴면적을 조사한 자료에서 1,000 m^2 이하 21개소, 1,000~5,000 m^2 19개소, 5,000~10,000 m^2 8개소, 10,000 m^2 이상 5개소로 대부분 5,000 m^2 이하의 중·소 붕괴지가 많았다는 보고와 유사한 결과로 우리나라에서 발생하는 산사태는 대부분 중·소규모인 것으로 판단된다.

산사태 발생 길이는 100~150 m범위에서 10개소가 발생하여 가장 많은 빈도를 보였고 다음으로 150~200 m범

Table 1. The general conditions of landslide occurrence in national parks.

National park	Survey site	Area (m ²)	Length(m)	Width (m)	Gradient (°)	Aspect	Altitude (m)
	Jungbong-Chilseon valley 01	2,200	200	11	33	SW	1,652
	Jungbong-Chilseon valley 02	2,200	200	11	33	NW	1,781
	Jungbong-Chilseon valley 03	4,500	90	50	36	NW	1,753
	Jungbong-Chilseon valley 04	315	45	7	32	SW	1,683
	Jungbong-Chilseon valley 05	5,180	370	14	39	NE	1,683
	Cheonwang-Chilseon valley 01	678	226	3	37	NE	1,750
	Cheonwang-Chilseon valley 02	256	32	8	33	SW	1,655
	Cheonwang-Chilseon valley 03	720	80	9	32	NW	1,735
	Yeonhwabong-Hansin valley 01	500	125	4	32	NW	1,550
	Yeonhwabong-Hansin valley 02	660	110	6	38	NE	1,549
	Yeonhwabong-Hansin valley 03	900	150	6	35	NW	1,549
	Yeonhwabong-Dojanggol	1,152	128	9	22	SW	1,684
Jirisan	Ilchulbong-Dojanggol 01	450	75	6	33	SW	1,659
	Ilchulbong-Dojanggol 02	266	38	7	38	SW	1,658
	Ilchulbong-Kalbawi	1,524	127	12	34	NE	1,550
	Chotdaebong-Dojanggol	3,250	250	13	27	SE	1,516
	Chotdaebong-Hansin valley 01	600	50	12	37	NE	1,500
	Chotdaebong-Hansin valley 02	880	80	11	34	N	1,415
	Chotdaebong-Hansin valley 03	664	83	8	34	NE	1,335
	Chilseonbong-Daeseonggol 01	460	92	5	35	SW	1,445
	Chilseonbong-Daeseonggol 02	6,075	405	15	32	SW	1,290
	Chilseonbong-Keunsataegol	340	68	5	36	NE	1,440
	Jeseokbong-Chilseon valley 01	2,607	237	11	35	NE	1,050
	Georim	1,760	160	11	29	NE	891
	Bannyabong-Baemsagol	4,355	335	13	37	NW	975
	Tokkibong-Bitjeomgol	2,512	157	16	35	N	948
	Jeseokbong-Tongsingol	7,500	150	50	34	SE	1,760
Seoraksan	Daecheongbong	1,875	125	15	34	NE	1,410
	Sataegol	3,000	200	15	19	NE	1,330
	Biseondaegol 01	4,375	175	25	19	SE	400
	Biseondaegol 02	300	30	10	19	NW	400
	Ulsanbawi 01	1,250	50	25	25	NW	440
	Ulsanbawi 02	1,125	75	15	19	NE	490
	Seorakgol	5,625	225	25	21	NW	710
Odaesan	Jingogae-Noinbong	8,250	165	50	28	SE	1,275
	Sangwonsa-Bukdaesa	4,500	180	25	35	SW	995
Woraksan	Mansuvalley	5,550	150	37	25	NE	600
	Yonghwasa-Cheongbyeokdae	12,500	250	50	32	SW	595
	Mulgol	250	50	5	22	SW	320
Sobaeksan	Yeonhwabong	1,000	50	20	32	SE	1,357
	Huibangsa-Cheonmundae	4,375	125	35	37	SW	1,115
	Choamsa	4,375	175	25	35	SW	870
Deogyusan	Hyangjeokbong	12,600	450	28	40	NW	1,586
Chiaksan	Birobong	540	135	4	38	NE	1,021

위에서 9개소가 조사되었으며 산사태 44개소의 평균길이는 152 m로 나타났다. 이는 태풍 루사로 인한 산사태 평균 발생 길이 21.2 m(산림청, 2003)와 강원도 강릉시 양양시 46개소(이수곤, 2002)의 산사태 발생 길이 10~60 m의 범위 보다 상당히 큰 차이가 있다. 앞서 비교한 산사태 발

생면적 규모는 비교적 유사하지만 산사태 발생 길이는 국립공원의 지리적 특성상 산정 꼭두 및 1차 하천 지점의 토심이 얇은 급경사지 상부에서 발생한 산사태가 토석류로 발전하여 하부로 이동하기 때문에 산사태 발생 길이는 다소 차이가 있는 것으로 판단된다.

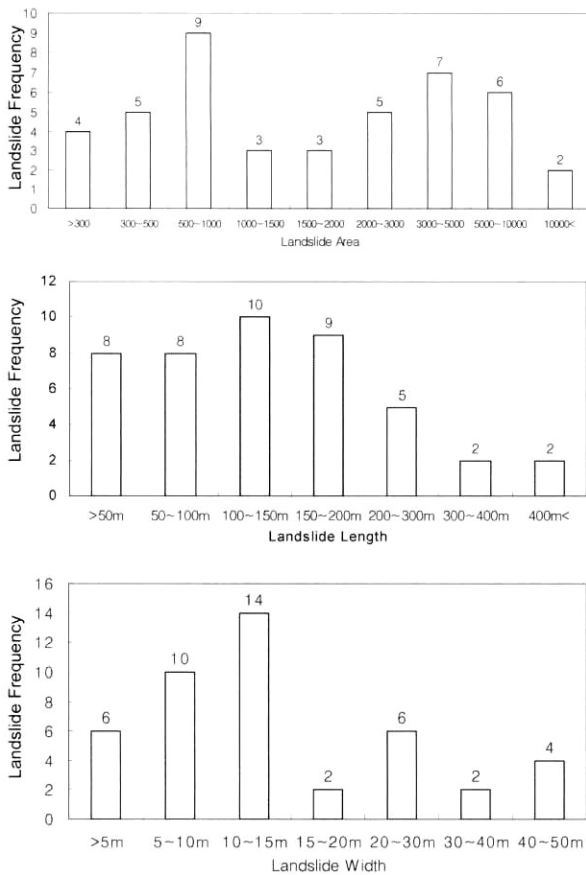


Figure 1. Landslide area, length and width on national parks.

산사태 폭은 10~15 m 범위에서 14개소, 5~10 m 범위에서 10개소가 발생하였고 40~50 m 범위에서도 4개소가 조사되었으며 산사태 평균 폭은 17 m였다. 산림청(2003)이 조사한 산사태 폭 8.0~100 m(평균 29 m)에 비해서는 적은 규모였으나 이수곤(2002)의 3~10 m에 비해서는 큰 규모였다.

지리산국립공원 제석봉-통신골에서 1984년에 발생한 토석류를 조사한 자료(마호섭, 1990)를 통하여 산사태 발생 당시의 강우 및 토사유출 특성을 분석하였으며 산사태 발생시 강우상황은 Table 2 및 Figure 2와 같다.

산사태 발생에 직접적인 영향을 미친 강우상황은 7월 4일부터 7월 13일까지 누계강우량은 385.8 mm, 산사태 당일 7월 22일의 최대시우량은 16 mm, 24시간 강우량은 62.7 mm이었다. 산사태 발생 전의 총강우량은 385.8 mm이었으며, 그 후 산사태발생까지는 강우가 없어 상승되어 있던 지하수위가 급격히 감소하고 있을 무렵, 22일경 62.7 mm/24 hr 호우가 발생하였다. 이 때문에 산사태길이 약 150 m, 평균너비 50 m, 평균 붕괴깊이 2 m로서 총 15,000 m³의 토사가 생산된 대규모의 산지 붕괴 현상이 발생하였다. 이때 생산된 토사는 계곡에서부터 다시 물과 함께 토석류로 변화하여 하류로 진행하

Table 2. Rainfall conditions related to landslide occurrence.

Date	Daily rainfall (mm)	Rainfall time	Accumulative rainfall (mm)
84.7.4	12.3	14:00~19:00	12.3
5	157.0	01:00~19:00	169.3
6	2.4	17:00~12:00	171.7
7	164.6	01:00~13:00	336.3
.			
10	23.5	08:00~24:00	359.8
11	1.0	14:00~21:00	360.8
12	21.5	09:00~20:00	382.3
13	3.5	01:00~03:00	385.8
.			
22	62.7	09:00~24:00	448.5
23	2.9	01:00~21:00	451.4
24	0.9	04:00~08:00	452.3
25	0.5	06:00~07:00	452.8

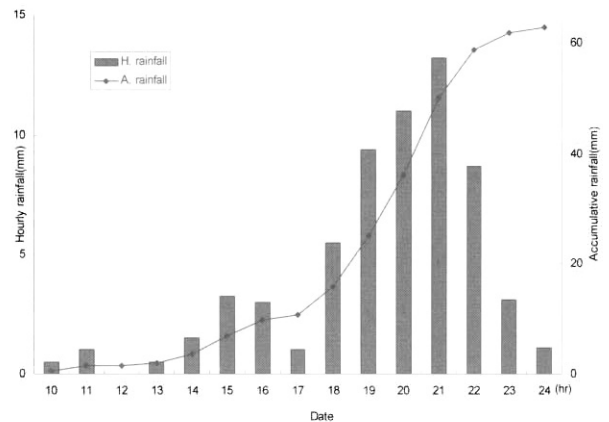


Figure 2. Hyetograph in landslide area.

면서 계류를 황폐하게 만들었다. 제석봉-통신골에서 발생한 산사태는 10부 능선의 산정곡두 부근에서 처음으로 발생하였는데 이때 붕괴물질은 산복사면을 순간적으로 소류 활동하면서 진행로 상에 있는 모든 물체를 쓸고 내려 산복하부에 도달할 때까지 산사태에서 토석류로 돌변하게 되었다. 특히 순간적으로 발생한 토사와 석력은 계류에 유입되고 또는 이전부터 토석류로 발전하여 계류의 황폐를 촉진시켰으며 또 이것은 토석류 구간을 벗어나면서 소류(掃流)구간이 되어 하상에 토사가 퇴적하게 되었다. 지형요인 중 산사태에 가장 큰 영향을 주는 것은 경사로서 본 산사태 지점은 40° 이상의 급경사면으로 발생위치는 1,800 m 고지의 산정 10부 능선으로 일반적으로 6~9부 능선상에서 발생한 경우와는 대조를 이루고 있다.

제석봉-통신골에서 발생한 산사태 단면과 계상내 토사 퇴적지의 종단면을 보면 Figure 3과 같다. 산사태 길이 약 150 m, 토사생산 및 침식구간은 750 m, 토사유과구간은 약 450 m, 토사퇴적 및 침식구간은 약 450 m 정도로서

총유하거리는 1.8 km로 조사되었다. 토사퇴적물의 유하방향, 거리 및 퇴적구배에는 토석류의 유량, 농도, 함유석력의 입경 및 지형 등의 인자가 작용하지만, 水原과 武居(1982) 등은 토석류 유하거리는 주로 1~2 km 범위가 많다고 하였다. 이러한 유하거리의 예측은 유출 토석량의 평가 및 사방계획을 수립하는데 주요한 지표가 될 있을 것이다(新谷, 1971; 清水, 1982). 계상은 평상시에 안정적인 상태로 되어 있어 하도의 변화는 없으나 호우 때는 유수의 증가로 인하여 토사석력은 운반, 퇴적되기 시작하고 유수는 난류상태로 되어 계류는 더욱 황폐화되기 시작한다(辰野 등, 1974). 특히 산지붕괴가 발생하여 상류유역으로부터 토석류가 되어 하류로 이동하게 되면 더욱 위험하게 된다. 토석류의 발생은 상류 곡두(谷頭)부위에서 산지붕괴가 중요한 원인이라고 보고되고 있으나 토석류는 파괴력이 강대하므로 직접 관찰할 기회를 얻는 것은 용이하지도 않고 실험하기도 아주 곤란한 현상이므로 과거부터 많은 추론이 있어 왔다. 토석류가 운반하는 최대입경은 계류의 지형, 지질조건, 토사 이동현상의 규모 및 차이 등에 따라 관계되지만 주로 모암의 성질에 따라 많은 영향을 받는 것으로 보인다. 水原과 武居(1982) 등에 의하면 최대입경은 변성암, 제3기층 및 화강암에서 5~7 m범위, 평균은 각각 1.9 m와 1.8 m, 1.1 m라고 하였는데 비교적 변성암 지대에서 생산되는 것이 거석이 많음을 알 수 있다.

본 조사지역의 지질도 변성암으로서 대체로 이들의 연구결과와 같은 경향이였다. 토석류의 퇴적장은 위험지역을 설정하는데 매우 중요한 지표가 되지만 퇴적장에 관한 연구는 보다 많은 실태조사와 이론을 통한 검증이 필요할 것으로 생각된다.

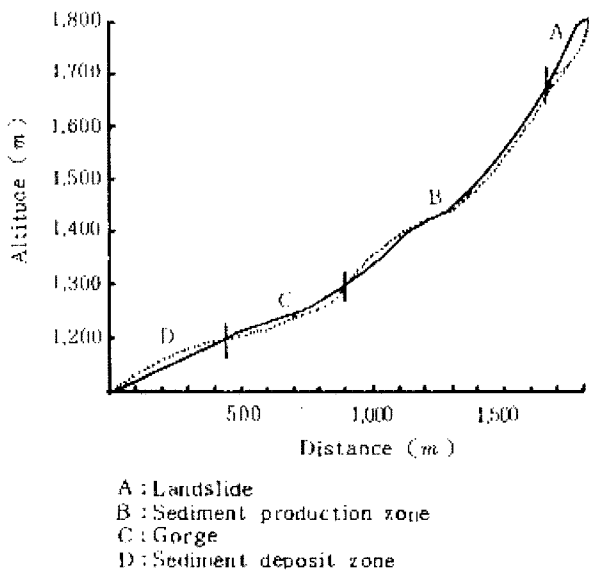


Figure 3. A schematic drawing of longitudinal torrent profile by debris avalanche.

2. 산사태 발생과 산림환경인자와의 빈도분석

우리나라 7개 국립공원에서 발생한 산사태지 44개소를 대상으로 지형 및 지세에 따른 인자별 산사태 발생 빈도를 분석한 결과는 Figure 4와 같다.

국립공원은 고산지역의 분포비율이 높아 모암은 주로 편마암, 화강편마암 및 화강암 등으로 구성되어 있어 산사태 발생지 44개소 중 변성암지역에서 34개소(77%), 화강암지역에서 10개소(23%)가 발생하였다. 일반적으로 화성암과 변성암은 생성시기가 오래 될수록 풍화정도가 깊어 산사태 발생빈도가 크며 반대로 퇴적암은 고화(固化)정도가 커서 산사태 발생빈도가 적으나 이들 암석과의 접촉부분에서 산사태가 많이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 임상은 대부분 토사역지기능이 다른 임상에 비해 높은 혼효림지역에서 24개소(55%), 활엽수지점에서 14개소(32%)로 나타났다. 志水(1977)는 침엽수림 및 활엽수림지역에서 산사태 발생율이 높다고 하여 본 조사와 상방된 결과를 보였는데 이는 국립공원의 자연식생이 침엽수림보다 혼효림과 활엽수림이 많이 생육하고 있기 때문이며 이들 임상조건에 따라 산사태가 좌우되는 것은 아닌 것으로 판단된다.

사면경사도는 15~20° 지점에서 4개소(9%), 20~25° 지점에서 3개소(7%), 25~30°에서 5개소(11%), 30~35°에서 17개소(39%), 35°이상 지역에서 15개소(34%)가 발생하여 대부분 급경사지에서 발생빈도가 높은 것으로 나타났다. 최경(1986)은 산사태발생은 30~35°사이에서 가장 많이 발생되나 대면적의 산사태는 30°이상의 지형에서도 많이 발생하며 우보명 등(1978)은 우리나라 안양천 유역조사에서 36~40°에서 55%, 41~45°에서 8%의 산사태가 발생하였다고 하였다. 사면방위는 북동사면에서 16개소(36%)로 가장 많은 발생빈도를 보였고, 다음으로 남서사면 13개소(30%), 북서사면 10개소(23%), 남동사면 5개소(11%) 순으로 조사되었다. 경상북도(2006)는 68개 산사태 발생지를 대상으로 발생빈도를 분석한 결과 북동 및 북서 지역에서 많은 산사태가 발생한 것으로 조사되었고 강위평 등(1986)은 산사태 발생빈도가 높은 방위는 남서사면이며 일반적으로 강우의 진행방향, 풍향 등에 따라 붕괴방향은 많이 달라지며 서 및 남향사면이 붕괴하기 쉽다고 하였다.

국립공원내에서 발생한 산사태는 1,500 m 이상의 고지대에서 많은 발생 빈도(19개소, 44%)를 보였고, 해발 1,000 m 이상의 지점에서 총 31개소(71%)가 발생한 것으로 조사되었다. 산사태 발생지점의 종단사면형은 상부로 올라 갈수록 경사가 급해지는 하강사면형에서 19개소(44%), 다음으로 경사가 일정한 직선사면형 지점에서 12개소(27%)가 발생하였고, 횡단사면형은 강우 발생시 지표에 도달한 유수가 집수되는 오목사면에서 31개소(70%),

사면위치별로는 산정부에서 30개소(68%), 산복 13개소(30%)순으로 조사되어 대부분의 산사태지는 국립공원의 지형적 특성상 급경사지로 구성되어 있는 산정부위의 토심이 얇은 곡두지점의 오목(凹)사면에서 많은 산사태가 발생되고 있었다. 산사태 발생지의 하천차수는 산정 곡두부위의 0차수에서 23개소(52%)가 발생하였고, 다음으로 1차 하천에서 16개소(36%)가 발생하였다. 0차수에서 산사태가 많이 발생하는 것은 주로 지표유하수가 합류하는 산정부위의 곡두에 물이 집수되기 때문인 것으로 이는 국립공원 산사태가 대부분 산정상부의 오목사면에

서 발생하는 것에 크게 기여하는 원인이 되는 것으로 판단된다. 산사태 발생유형은 폐각상이 22개소, 선상 17개소, 판상 5개소로 조사되었다. 이는 산림청(2003)의 산사태 53개소에 대한 조사에서 A형(수지상)이 28개소(52%)로 가장 많고 B형(폐각상)이 11개소(21%), C형(선상)이 11개소(21%), D형(판상)은 0개소가 발생한 결과와 비교할 때 국립공원은 급경사지로 지형이 단순하고 경사길이 길고 강수가 집수되는 오목사면에서 주로 발생하기 때문에 폐각상과 선상이 많은 반면 수지상의 산사태가 발생하지 않은 것으로 판단된다.

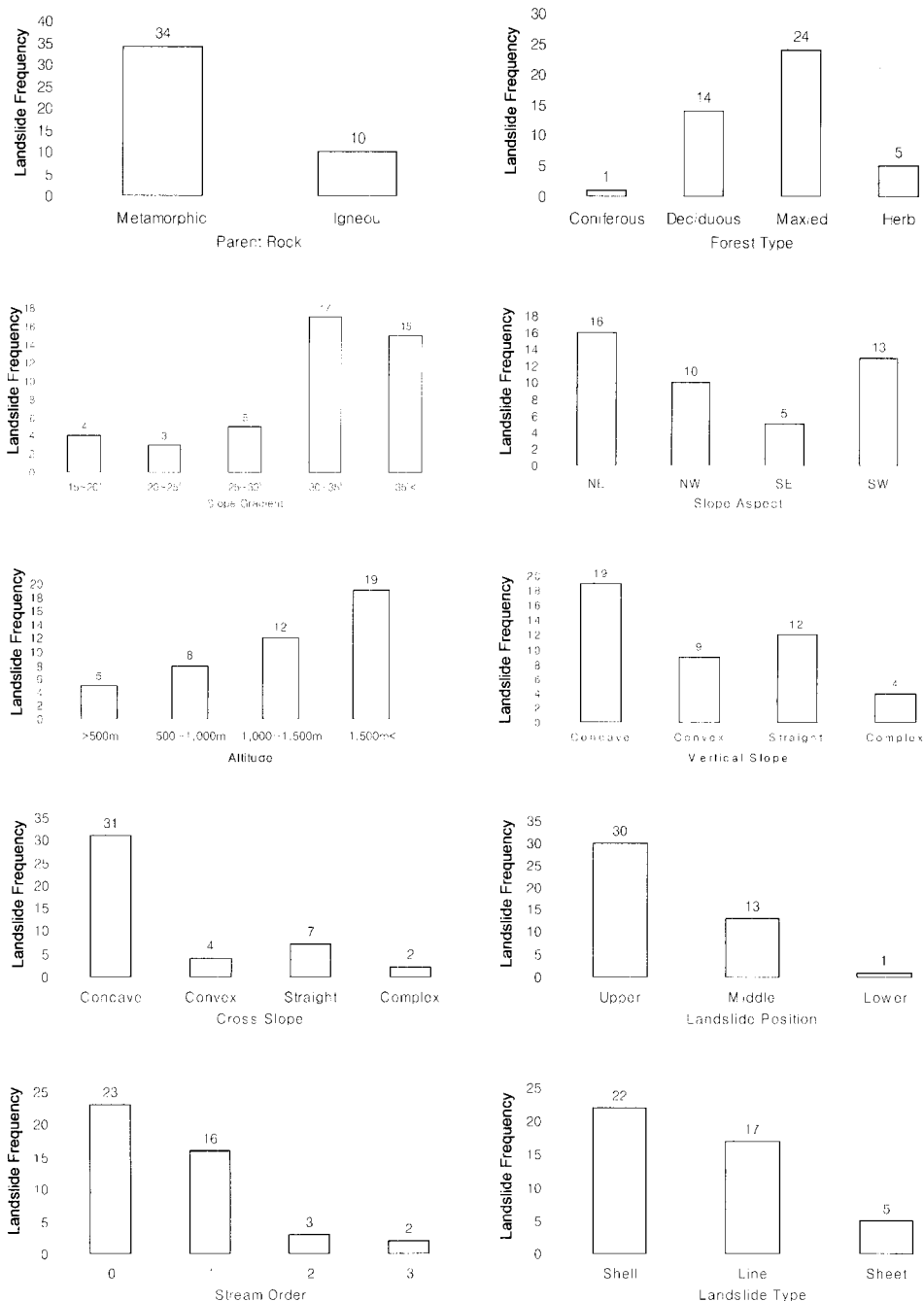


Figure 4. Frequency of landslides occurrence by each factors in national parks.

3. 산사태 발생과 산림환경인자와의 상관성

산사태는 일반적으로 강우인자에 직접적인 영향을 받는 것으로 조사되고 있으나 국립공원지역에서 발생한 산사태의 경우 발생일시를 정확하게 파악할 수 없어 강우인자를 제외한 산사태 발생지점의 입지인자를 대상으로 산사태 발생면적에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 상관분석 및 단계별 회귀분석을 실시한 결과는 Table 3 및 4와 같다.

산사태 발생면적은 2차 하천과 5% 수준내에서, 암반층 상부의 토사가 강우로 인하여 응집력을 잃고 하부로 유실되어 많이 발생되어 판상과는 1% 수준내에서 정의 상관관계를 보였고, 패각상과는 1% 수준내에서 부의 상관관계를 보였다(Table 3). 그 외 남동사면, 하강사면(종단사면형) 등이 산사태 발생면적에 정의 상관관계를 보였으나 상관성은 높지 않는 것으로 분석되었다.

판상은 하부에 단단한 암반층이거나 불투성의 모재층이 있어 토양층을 침투한 강우가 암반층을 중심으로 막을 형성하여 암반층과 토양층을 분리시켜 상부의 토양층을 하부로 유실시키는 특성을 보이는 산사태 유형으로 발생시 대면적으로 나타나는 반면, 패각상은 경사길이가 짧고 경사가 급한 사면에 대부분 발생하는 것이므로 상대적으로 발생 면적이 적게 발생한 것으로 판단된다.

단계별 회귀분석에서 산사태 발생 면적에 영향을 미치는 인자로 처음 도입된 변수는 판상(산사태 발생 유형)으로 전체 설명력의 32%를 차지하였다. 다음으로 북동사면, 2차 하천, 남동사면, 사면경사도, 복합사면(횡단사면형) 순으로 도입되었다(Table 4).

각종 환경인자에 의한 산사태 발생면적에 대한 추정식 $Y = -3394.271 + 5456.484(\text{판상}) - 1902.202(\text{북동사면}) + 5180.647(\text{2차 하천}) + 3520.319(\text{남동사면}) + 169.605(\text{사면경사}) + 3581.835(\text{횡단복합사면})$ 으로 도출되었다. 추정된 회귀모형식의 적합도에 대한 F통계량은 13.738(유의확률 0.000)로 매우 유의하고, R² 값은 0.690으로 비교적 설명력이 높은 것으로 나타났다. 특히 상관관계 분석에서 산사태 발생 면적에 1% 수준에서 정의 상관관계를 나타낸 판상의 영향력이 32%로 가장 높게 나타나 얇은 토심지역을 중심으로 암반층 위의 토양층이 강우시 응집력을 잃고 하부로 유실되어 비교적 큰 규모형의 산사태가 발생하는 것으로 보인다. 특히 국립공원은 지형 및 지세가 험준하고 경사가 급한 고산지대에서 발생하여 계곡으로 까지 확대되어 토석류로 발전하면 대규모 산사태로 이어지는 경우가 많으므로 산지 상류유역 구간은 토석류재해로 인한 피해를 줄일 수 있도록 많은 노력이 필요한 것으로 생각된다.

Table 3. Correlation analysis between landslide area and factors.

Factors	Slope gradient	Aspect				Altitude	Forest type			
		NE	SE	SW	NW		Coniferous	Deciduous	Mixed	Herb
Landslide Area	0.055	-0.248	0.246	0.009	0.088	-0.154	-0.130	0.071	-0.030	0.003
Factors	Vertical slope				Cross slope			Parent rock		
	Concave	Convex	Straight	Complex	Concave	Convex	Straight	Complex	Metamorphic	Igneous
Landslide Area	0.213	0.049	-0.234	-0.074	0.065	0.138	-0.218	0.052	-0.189	0.189
Factors	Stream order				Landslide type			Landslide position		
	0	1	2	3	Shell	Line	Sheet	Upper	Middle	Lower
Landslide Area	-0.165	-0.013	0.381*	-0.034	-0.496**	0.140	0.566**	0.034	0.007	-0.130

Note) ** Means statistically significant at 1% level, * means statistically significant at 5% level

Table 4. The stepwise regression analysis between landslide area and factors.

Variables	Regression coefficient	Standard error	Model R ²	F	Prob > F
Constant	-3394.271	1807.968			
Sheet type	5456.484	907.873	0.320	19.753	0.000
NW	-1902.202	604.697	0.445	9.228	0.004
2 Stream order	5180.647	1229.984	0.514	5.658	0.022
SE	3520.319	943.207	0.584	6.559	0.014
Slope gradient	169.605	54.080	0.635	5.372	0.026
Complex(cross slope)	3581.835	1397.933	0.690	6.565	0.015
Total				13.738	0.000

결 론

국립공원내 산사태 발생지 44개소를 대상으로 각 인자별 발생빈도 및 산사태 발생면적에 영향을 미치는 인자를 분석한 결과 국립공원내에서 발생한 산사태의 평균 길이는 152 m, 평균 폭은 17 m 정도였으며 평균 발생면적은 2,818 m²로 일반 산림지역의 발생면적과 비슷한 규모였고 발생유형은 패각상과 선상이 대부분이었다. 국립공원지역에서 발생한 산사태는 산세가 험준하고 해발 1,000 m 이상의 산정상부 급경사지의 토심 얇고 유수가 집수되는 오목(凹)형 지점의 지리적 악조건에 강우라는 외적요인이 가해지면서 산사태 발생 길이는 토석류로 인하여 일반산지보다는 긴 경향을 보였다. 주요 발생지는 변성암, 혼호림, 사면경사도 30~35°, 북동사면, 해발 1,000 m 이상, 종단사면형은 하강사면형, 횡단사면형은 오목사면형, 하천차수는 산정 꼭두부위의 0차수 지점에서 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

산사태 발생 면적에 영향을 미치는 인자에 대해 상관분석 결과 2차 하천과 암반층 상부의 토사가 강우로 인하여 응집력을 잃고 하부로 유실되는 판상과는 정의 상관관계를 보였고, 패각상과는 부의 상관관계를 보였다. 단계별 회귀분석을 실시한 결과 판상, 북동사면, 하천 2차수, 남동사면, 사면경사도, 복합사면(횡단사면형) 순으로 도출되었고 추정식 $Y = -3394.271 + 5456.484(\text{판상}) - 1902.202(\text{북동사면}) + 5180.647(2\text{차 하천}) + 3520.319(\text{남동사면}) + 169.605(\text{사면경사}) + 3581.835(\text{횡단복합사면})$ 로 중상관계수 0.690으로서 설명력이 비교적 높은 것으로 나타났다.

산사태를 지배하는 인자는 강우인자(강우량, 강우강도 등)와 경사면의 기하학적 형상과 구성, 지질 및 지하수 상태 등이며, 이 중에서 관련이 큰 인자는 강우이지만 국립공원내에 발생한 산사태의 경우 정확한 발생일시를 파악할 수 없기 때문에 강우 인자에 의한 원인분석은 불가능한 상태로 강우인자를 제외하고 통계 분석을 실시하였으며 산사태 발생면적에 영향을 미치는 인자는 판상, 남동사면, 2차 하천 등 5개 인자가 도출되어 판상형의 붕괴형태가 산사태 발생면적에 가장 많은 영향력을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 산정부위의 토심이 얇은 지역을 중심으로 암반층 위의 토양층이 강우시 응집력을 잃고 하부로 유실되어 대면적의 산사태가 발생하는 특성을 보여주고 있으며, 특히 산정부위에서 발생한 산사태는 계곡으로 까지 확대되면서 국립공원의 전형적인 산사태인 토석류로 이어지는 경향이 많이 있으므로 산지 상류유역 구간은 토석류 재해로 인한 피해를 줄일 수 있도록 많은 노력이 필요한 것으로 생각된다.

또한 국립공원은 경관 및 자연생태학적으로 보전 가치가 매우 높은 지역이므로 새롭게 발생하는 산사태는 지속

적인 자료축적이 필요하며, 이를 바탕으로 붕괴위험지 판정기술을 확립하고 예방과 복구기술을 통하여 경관자원이 뛰어난 국립공원의 산지유역을 종합적으로 보전할 수 있도록 힘써야 할 것이다.

인용문헌

1. 강위평, 村井 宏, 大村 寛, 마호섭. 1986. 수량화(II)에 의한 산사태사면의 위험도 판별. 한국임학회지 75: 32-37.
2. 경상북도. 2006. 산사태 피해예방 조사연구.
3. 국립공원관리공단. 2001. 국립공원 산사태지 복구대책 수립을 위한 조사.
4. 국립공원관리공단지리산사무소. 2003. 지리산국립공원 고산지 경관변화모니터링.
5. 국립방재연구소. 2005. 8월 집중호우 피해조사 보고서.
6. 김명국. 1997. 경상지역의 산사태 문제 분석에 대한 연구. 배재대학교 석사학위 논문.
7. 류택규. 1991. 한국근세 과학기술 100년사(임업분야). 한국과학재단.
8. 마호섭. 1990. 지리산지역의 산지붕괴와 토사유출에 관한 연구. 경상대 연습림연보 제1호: 13-25.
9. 마호섭. 1992. 지리산지역의 산지붕괴와 토사유출에 관한 연구(II). 경상대 연습림연보 제2호: 17-28.
10. 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2): 175-190.
11. 마호섭. 2001. 주요 국립공원의 산사태 발생특성과 복구방향. 국립공원 제27호: 17-21.
12. 박노옥, 지광훈, 장동호. 2004. 통계학적 공간통합 모델을 이용한 태풍 루사로 발생한 강릉지역 산사태 취약성 분석. 한국지형학회지 11(4): 69-80.
13. 산림청. 2003. 산사태 발생원인 및 예방 대책에 관한 연구.
14. 신은선. 1996. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 보령·서천지역의 산사태 분석. 충남대학교 석사학위 논문.
15. 우보명, 임경빈, 이수욱. 1978. 안양지역에 있어서 강우에 의한 산사태 발생에 관한 실태조사와 예방대책에 관한 연구. 한국임학회지 39: 1-34.
16. 이사로, 지광훈, 박노옥, 신진수. 2001. 산사태와 지형공간정보의 연관성 분석을 통한 장흥지역 산사태 취약성 분석. 자원환경지질학회지 34(2): 205-215.
17. 이상희. 2005. GIS를 이용한 천층산사태 발생 예측을 위한 수문물리모형의 적용. 충북대학교 박사학위논문.
18. 이수근. 2002. 태풍 루사에 의한 피해현황 및 대책방안(산사태). 대한토목학회지 50(10): 40-49.
19. 이용준, 박근애, 김성준. 2006. 로지스틱 회귀분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석. 대한토목학회지 26(5): 861-867.
20. 임업연구원. 1996. 개발제한구역 제도개선을 위한 환경평가 기준 연구(III). 산사태 위험도 최종보고서.
21. 중앙재해대책본부. 2002. 태풍 루사 피해조사보고서.
22. 최경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문.
23. 한국지질자원연구원. 2004. 산사태 위험도 선정시스템

및 피해저감기술 개발.

24. 新谷 融. 1971. 荒廢溪流における土石移動に関する基礎的研究. 北大論研報 28(2): 193 -264
25. 志水俊夫. 1977. 花崗岩地帯の危険の安定性に関する統計的解析. 日林誌 59(5): 186-190.
26. 水原邦夫, 武居有恒. 1982. 扇狀地における土砂災害の實態に関する研究 - 主として, 土石流による土砂の流出と堆積の特性について. - 京都府立大學 學術研報 34: 83-92.
27. 清水 宏. 1982. 溪流における砂防計劃手法に関する研究. 北大論研報 40(1): 102-195.
28. 辰野良秋, 堀内照夫, 北澤秋司. 1974. 流域環境の變化と土石流災害について. 新砂防 93: 13-18.
29. Brand, E.W. 1984. Landslide in Hongkong Special Lecture. The 8th Southeast Asian Geo. Conf. 1-15.
30. Olivier, M. and Bell, F. 1994. The effect of rainfall on slope failure with example from the Greater Durban area. proc. 7th Int. cong. IAEG. 3: 1629-1632.
31. Strahler, A.N. 1952. Dynamic Basis of Geomorphology. Geological Society of America, Bulletin. 63: 923-938.

(2007년 3월 23일 접수; 2007년 10월 22일 채택)